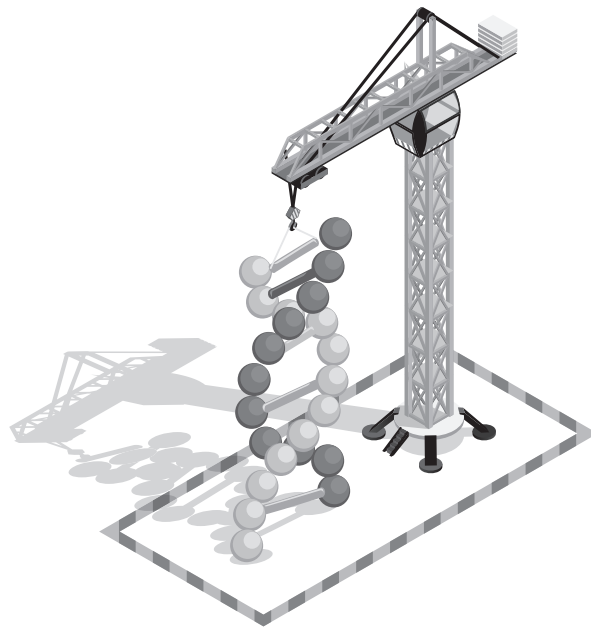


# 工程 研究与应用

Engineering Research and Application



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

119 S Atlantic Blvd, Suite 300D

Monterey Park, CA 91754

Copyright © 2024 by ART AND DESIGN PRESS INC.

Complimentary Copy



## Editorial Board

### Editors-in-Chief

Xiaolei Ju

China Architectural Design and Research Institute, China

Meilian Chao

Heze Dehe Construction Engineering Group Co., LTD

### Editorial Board Member

Xianbo Tu

Guizhou Institute of Geological Exploration, General Bureau of Geology  
and Mines, Sinochem, China

Neda Abbasi

School of Engineering and Technology

Tanvir Ahamed

School of Engineering and Technology

Zhen Xu

Zhongtong Bus Holding Co., Ltd

# 工程研究与应用

Engineering Research and Application

第2卷 第12期 2024年12月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《工程研究与应用》编辑部

ISSN(O): 2993-2742

ISSN(P): 2995-3154

地址: 119 S Atlantic Blvd, Suite 300D Monterey  
Park, CA 91754

网址: <https://www.artdesignp.com>

## 本刊说明:

凡向本刊所投稿件, 全体作者需签署论文著作权  
转让声明书和论文发表承诺书, 声明、承诺及相关事  
项如下:

- 作者将论文的复制权、发行权、网络传播权、  
翻译权、汇编权、信息网络传播权、改编权等著  
作权在世界范围内免费转让给本刊。
- 论文不侵犯他人著作权和其他权利, 否则作者将  
承担由此产生的全部责任, 并赔偿由此给出版单  
位造成的全部损失。
- 论文署名作者享有该作品的完全著作权, 署名作  
者的身份真实。
- 论文未曾以任何形式公开发表过。
- 作者所投本刊稿件, 本刊编辑部拥有修改权。



## 材料科学 | MATERIAL SCIENCE

- 005 ZSK250挤压造粒机出现垫刀料的原因分析及处理方法 黎镇杰  
The Reason Analysis and Treatment Method of Cushion Material  
in ZSK250 Extruded Granulator Li Zhenjie
- 008 异径厚壁铜导电杆高频感应  
钎焊工艺研究 杨永侃, 李腾, 陈带军, 李永, 邓逸洋  
Study on High Frequency Induction Brazing Technology  
of Reducing Thick Wall Copper  
Conductive Rod Yang Yongkan, Li Teng, Chen Daijun, Li Yong, Deng Yiyang
- 011 飞机复合材料损伤检查及维修技术应用探究 王昊  
Exploration of Damage Inspection and Maintenance Technology  
Application of Aircraft Composite Materials Wang Hao

## 电子与通信工程 | ELECTRONIC AND COMMUNICATION ENGINEERING

- 014 通信工程中光纤传输技术的创新与应用 杨金凤, 辛文启, 张林林  
Innovation and Application of Optical Fiber Transmission Technology  
in Communication Engineering Yang Jinfeng, Xin Wenqi, Zhang Linlin
- 017 一种组装式 ASTERIX 数据通用解码算法 龙滨, 李建宏  
A general Decoding Algorithm for Assembled ASTERIX Data Long Bin, Li Jianhong

## 工程科学 | ENGINEERING SCIENCE

- 022 高压电动机自动化控制原理及电气调试技术 刘祎瑾  
Principles of Automation Control and Electrical Debugging Technology  
for High Voltage Electric Motors Liu Yijin
- 025 滑模技术在水利水电施工中的应用浅探 轩亚英  
Application of Sliding Mode Technology in Water Conservancy  
and Hydropower Construction Xuan Yaying
- 028 升降驾驶室升降过程冲击大的分析和改进 廖彦专  
Analysis and Improvement of the Lifting Process of Lifting Cab Liao Yanzhuan
- 031 国网单位充电桩网络建设的挑战与对策 章燕, 成先平, 陈春梅  
Challenges and Countermeasures in the Construction  
of State Grid Charging Pile Network Zhang Yan, Cheng Xianping, Chen Chunmei
- 034 工程招投标过程中造价核算方法及问题分析 龚婷  
Cost Accounting Method and Problem Analysis  
in Project Bidding Process Gong Ting
- 037 LY1H 井快速钻完井技术 赵小宁, 柳伟荣, 姜慧强  
Rapid Drilling and Completion  
Technology of LY1H Well Zhao Xiaoning, Liu Weirong, Jiang Huiqiang
- 040 冷凝与超冷凝技术在聚乙烯生产中的应用分析 任勃  
Application Analysis of Condensation and Super-condensation Technologies  
in Polyethylene Production Ren Bo
- 043 闭式水余热利用在水处理工艺中的应用优化 李恒圆, 赵鹏飞  
Application Optimization of Closed - Loop Water Waste Heat Utilization  
in Water Treatment Process Li Hengyuan, Zhao Pengfei
- 046 陇东区域大井眼超深探井安全钻完井技术研究 惠铁军, 董家林, 童泽亮  
Study on the Safe Drilling and Completion Technology of Large Well Hole Ultra-Deep  
Exploration Hole in Longdong Area Hui Tiejun, Dong Jialin, Tong Zeliang

049	600MW 超超临界锅炉汽机运行稳定性分析 Operation Stability Analysis of 600MW Ultra-Supercritical Boiler Steam Turbine	吴小锁 Wu Xiaosuo
052	炼钢转炉及汽包安装技术 Installation Technology of Steelmaking Converter and Steam Container	阎文忠, 朱丰运, 张春勇, 刘群, 陈晨 Yan Wenzhong, Zhu Fengyun, Zhang Chunyong, Liu Qun, Chen Chen
055	基于振动分析的汽机转机泵故障诊断技术研究 Research on Fault Diagnosis Technology of Turbine Transfer Pump Based on Vibration Analysis	王科然 Wang Keran
058	组合支挡及分台支挡方案在挖方高边坡中的应用 Application of Combined Support and Split-Platform Support Design in Excavated High Slopes	陈贵生 <sup>1</sup> , 余再西 <sup>2*</sup> Chen Guisheng <sup>1</sup> , Yu Zaixi <sup>2*</sup>
062	浅谈地测钻探测斜成像 Shallow Talk on Dip Measurement and Imaging in Geological Survey and Drilling	苏振明, 彭坤, 程艳涛 Su Zhenming, Peng Kun, Cheng Yantao
065	复合功率分流式混合动力汽车能量管理策略 Energy Management Strategy for Composite Power Split Hybrid Electric Vehicles	邱亮 Qiu Liang
068	起重机械安全管理及事故预防 Safety Management and Accident Prevention of Lifting Machinery	李永福 Li Yongfu
071	Ti 微合金化对 45# 钢相变的影响研究 Effect of Ti Microalloying on Phase Transformation of 45# steel	华浩, 杨小军, 袁桥军 Hua Hao, Yang Xiaojun, Yuan Qiaojun
074	土地整治过程中耕地质量提升与资源利用优化 Improvement of Cultivated Land Quality and Optimization of Resource Utilization in the Process of Land Consolidation	陈建荣 Chen Jianrong
077	基于 Matlab 的音频降噪数字滤波器设计与工业应用 Design and Industrial Application of Audio Noise Reduction Digital Filter Based on Matlab	石昌丰, 李自成, 周富军, 周星宇, 牟恩乐 Shi Changfeng, Li Zicheng, Zhou Fujun, Zhou Xingyu, Mou Enle
080	飞机辅助动力装置故障预测方法研究 Research on Fault Prediction Method for Aircraft Auxiliary Power Unit	龙长厚 Long Changhou
084	脱硝、脱硫协同处理的高效策略探究 Study on Efficient Strategies of Denitrification and Desulfurization Collaborative Treatment	单西海 Shan Xihai
087	城区市政工程给排水管道施工技术运用分析 Analysis on the Application of Water Supply and Drainage Pipeline Construction Technology in Urban Municipal Engineering	李玉升 Li Yusheng
090	分析市政工程给排水管网建设中存在的问题与对策 Analysis of Problems and Countermeasures in the Construction of Water Supply and Drainage Pipe Network in Municipal Engineering	蒋泰山 Jiang Taishan

建筑科学 | BUILDING SCIENCE

093	技术创新对建筑工程管理的影响与应用 The impact and Application of Technological Innovation on Construction Project Management	郑岳志 Zheng Yuezhi
096	土木工程造价风险管理与控制策略研究 Research on Risk Management and Control Strategies in Civil Engineering Cost	周萍 Zhou Ping
099	智能装配产业园区建筑电气设计研究 Research on Building Electrical Design in Smart Assembly Industrial Park	盘承勇 Pan Chengyong
102	大跨度型钢混凝土转换梁施工技术 Construction Technology of Large-Span Steel Reinforced Concrete Transfer Beam	林建刚 Lin Jiangang
105	岭南地区地景式商业文化建筑的绿色生态设计策略研究 Research on Green Ecological Design Strategies for Landscape-style Commercial Cultural Buildings in Lingnan Region	刘一欣 Liu Yixin

能源科学 | ENERGY SCIENCE

108	配网自动化技术在提升电网安全稳定性方面的作用研究 Research on the Role of Distribution Network Automation Technology in Improving the Safety and Stability Of Power Grid	肖阳波, 张功华, 刘红 Xiao Yangbo, Zhang Gonghua, Liu Hong
111	核电项目大型设备起重吊装方案优化与风险控制 Optimization and Risk Control of Lifting and Hoisting Schemes for Large-Scale Equipment in Nuclear Power Projects	李留维 Li Liuwei
114	燃气机组故障预警模型研究及应用 Research and Application of Fault Early Warning Model of Gas Unit	杨耀辉 Yang Yaohui
117	煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术优化措施研究 Research on Optimization Measures for Tunnel Excavation and Support Technology in Coal Mining Engineering	罗建发 Luo Jianfa
120	工业工程技术在新能源产业中的应用与创新研究 Research on the Application and Innovation of Industrial Engineering Technology in the New Energy Industry	徐志刚 Xu Zhigang
123	电力装备制造业物流规划设计方案研究与实践——以某公司为例 Research and Practice on Logistics Planning and Design of Electric Power Equipment Manufacturing Industry —A Case Study of a Company	张鹏, 张尚铎, 赵一多, 张金亮, 段予 Zhang Peng, Zhang Shangduo, Zhao Yiduo, Zhang Jinliang, Duan Yu
126	抽水蓄能水电站档案规范化管理与利用效率研究 Research on Standardized Management and Utilization Efficiency of Archives in Pumped Storage Hydropower Stations	段雯蝶 Duan Wendie



# ZSK250 挤压造粒机出现垫刀料的原因分析及处理方法

黎镇杰

中国石化北海炼化有限责任公司，广西 桂平 537200

**摘 要：** 挤压造粒机作为聚烯烃生产中的关键设备，其性能和稳定性对于最终产品的品质和生产效率有着决定性的影响。在实际生产中，挤压造粒机常出现垫刀料问题，导致生产效率下降，产品质量受到影响。本文探讨了挤压造粒机在生产过程中出现垫刀料的问题，并对其成因进行了简要分析。通过分析发现，垫刀料问题的成因涉及物料特性、设备状况、操作参数设定、维护保养等多个方面。针对这些已识别的关键问题本文提出了相应的应对措施，旨在提升产品质量与挤压机整体生产效率，同时也为今后预防和处理垫刀料问题提供参考。

**关 键 词：** 刀压；模板；垫刀料；切粒机

## The Reason Analysis and Treatment Method of Cushion Material in ZSK250 Extruded Granulator

Li Zhenjie

Sinopec Beihai Refining&Chemical Co., Ltd. Guiping, Guangxi 537200

**Abstract：** The extrusion granulator, as a key equipment in polyolefin production, has a decisive impact on the quality and production efficiency of the final product. In actual production, the extrusion granulator often encounters the problem of pad knife material, which leads to a decline in production efficiency and affects product quality. This paper discusses the problem of pad knife material in the production process of the extrusion granulator and briefly analyzes the causes. Through the analysis, it was found that the causes of the pad knife material problem involve the characteristics of the material, the condition of the equipment, the setting of the operation parameters, and the maintenance and maintenance of the equipment. In view of these identified key issues, this paper proposes corresponding countermeasures to improve product quality and overall production efficiency of the extrusion granulator, and also provides reference for future prevention and treatment of pad knife material problems.

**Keywords：** knife pressure; template; knife pad material; pelletizer

## 引言

由于仪表、设备等原因，自投产以来挤压造粒机组出现过一系列故障停机事故，在2022年至2023年期间，挤压机共停机45次，其中出现退刀、垫刀现象就有29次，由此可见出现垫刀料是导致产品质量问题和停车事故的主要原因之一。为提高生产品质量和生产效率，分析出现垫刀料的成因及对策显得尤为重要，通过对产生垫刀料这一现象的分析，从中总结出一系列行之有效的解决方法，确保产品达到预期质量标准，延长运行周期。

## 一、挤压造粒机简介

聚丙烯装置挤压造粒机 EX-801 机组型号 ZSK-250，为双螺杆挤压造粒机，由德国 CWP 科倍隆厂家制造。挤压造粒机核心组成部分包括了进料阶段、动力驱动部分、加工处理阶段、出料造粒以及必要的辅助单元，如图1所示。聚合物和添加剂通过计量装置连续地加入双螺杆挤压造粒机的第一筒体段，同步旋转、相互紧密啮合的双螺杆对产品进行均匀混合，在筒体中聚丙烯粉料经过加热融化、混炼均化被输送到出料段，由螺杆推动聚合物通过换网器滤除杂质进入模板，通过水下切粒机切成颗粒。水和粒料在下游的离心干燥器内被分离、干燥。干燥器将经过脱水和干燥的粒料输送到

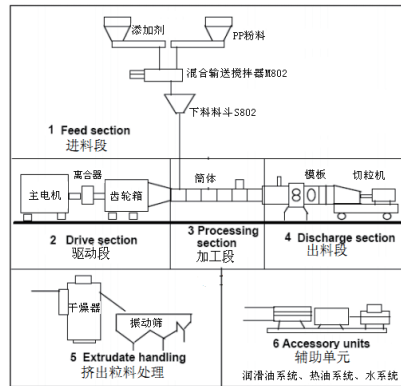


图1 挤压造粒机主要组成部分

作者简介：黎镇杰（1997-），男，广西省桂平人，本科，助理工程师，研究方向：化工机械设备。

振动筛，振动筛将合格的粒料与颗粒过小和过大的粒料分开，这些合格的粒料被风机送入成品掺混料仓，最后再经包装出厂。

## 二、出现垫刀料的原因分析

### （一）切刀以及刀压的影响

切刀的锋利程度直接影响到切粒性能。在切粒机运行过程中，由于产品牌号和操作条件的不同，切刀的磨损是不可避免的。当切刀变钝会导致拖尾粒和蛇皮粒等问题，直接影响产品的外观和性能，严重时可能会导致垫刀或缠刀的现象。

在挤压机开车过程中，当切粒机水室与模板完成锁紧动作后，进刀油压开关阀动作慢或进刀压力设置偏低，都有可能导导致刀轴未能精准前进到磨刀时的位置。这种情况下，刀片与模板仅在刀尖处接触，刀片局部和模板之间会有较大间隙，物料从模板挤出后，在冷却水作用下迅速冷却，切刀无法正常接触并切削物料，从而产生垫刀料<sup>[1]</sup>。

当刀压设定过高时，切刀与模板面仅在内侧接触，刀尖与模板是非正常接触，二者间存在一定间隙，这种情况下切削产生的结果和低刀压时的切削结果类似<sup>[2]</sup>。同时刀刃内部区域有出现裂纹和锯齿状缺口的风险，这会加速切刀与模板造粒带的磨损。

### （二）“三同时”的影响

“三同时”是指同时进刀、同时进水、同时进料。切粒机启动后，切刀进刀与模板充分贴合到位，熔融状态的物料到达模板的同时切粒水进入切粒室。然而在实际生产当中，由于启动机组时物料负荷过低、进刀液压油阀老化动作慢、油路堵塞等多种因素的影响，往往难以实现理论上的“三同时”。在造粒机组开车过程中，由于“进刀、进水、进料”的时间差异过大，从模板挤出的熔融状态的聚丙烯就容易出现缠刀，严重时还会损坏切刀。

第一种情况是当熔融聚丙烯先到模板，颗粒冷却水进水缓慢，此时物料从模板孔挤出后未能得到及时冷却，熔融聚丙烯就会地缠结在高速旋转的切刀上，最终导致切粒机电机电流超高联锁停车<sup>[3]</sup>。第二种情况是颗粒冷却水过早进入切粒室，模板温度会受冷却水影响而降低，当高温熔融聚丙烯到达模板孔时过早冷却固化而堵塞模板孔，会造成切粒大小严重不均，堵塞严重时导致物料无法挤出，此时还会使主电机扭矩升高最后会导致联锁停车。第三种情况是熔融聚丙烯和颗粒冷却水同时到达，但切刀进刀缓慢，此时也会产生垫刀。

### （三）熔融指数（MFR）的影响

在生产过程中涉及到牌号的切换时，由于不同牌号之间物料的熔融指数变化较大。在这个变化过程中，熔融状态的物料在挤压机的筒体内呈现不均匀的流动速度，会直接影响模孔的正常出料，容易出现粒子带尾、粒子大小不均、垫刀料以及碎屑料等，对最终产品的质量和性能造成严重影响，参数调整不到位也可能导致挤压机联锁停车<sup>[4]</sup>。

### （四）模板的影响

造粒模板以导热油为加热介质，在模板造粒带下方沿着出料孔排布密集的导热通道。导热油通过这些热通道被精确地分配至模板内，这样的布局确保了加热过程的均匀性和高效性，确保物料能够达到完全熔融状态。模板温度控制、模板表面平整度以及模孔的通孔率等均是影响切粒的重要因素<sup>[4]</sup>。

当模板表面平整度变差，如因磨损、腐蚀或热应力等原因出现小凹坑、贯穿式裂痕或细小裂纹时，如图2所示，都会严重影响切刀与模板的贴合度，切刀与模孔出口之间的接触会变得不紧密，产生细小缝隙，开车过程中就会频繁出现垫刀现象。当模板表面受热不均时，内部应力增加，也会导致模板表面产生细小裂纹，这些裂纹会进一步破坏模板表面的平整度，使切刀无法与模板紧密贴合。



>图2 损伤的模板

### （五）切粒机转速的影响

切粒机转速是一个至关重要的参数，直接决定了物料颗粒的大小、形状和均匀性。根据生产负荷和熔融指数的变化，实时监测并调整切粒机的转速。在生产负荷一定的情况下，当切粒机转速偏低时，熔融聚丙烯在切割过程中可能无法完全分离，会出现拖尾现象。同时熔融聚丙烯在切割区停留时间过长，从而增加粘料和团状料，严重时会出现缠刀，继而出现垫刀料。

### （六）粉料夹带水分

对此前发生过的案例分析发现，当气温骤降、出现暴雨等恶劣天气时，或使用蒸汽对聚丙烯粉料中三乙基铝做失活处理过量时，如果没有及时排凝、干燥鼓风机未及时调整风量、粉料在干燥罐的停留时间过短，粉料输送风机出口未排水，此时将会导致粉料夹带的水分含量增加。当夹带水分的聚丙烯粉料进入到210℃以上的加热筒体时，最终熔融状态的聚丙烯会以不稳定的爆炸形式高速从模孔喷出，从而给切刀一个后退的推力。进刀液压油压力异常波动导致切刀轴向跳动，使得切刀与模板瞬间产生间隙，进而造成缠刀或者垫刀的情况，并且还会产出粘连、气泡料，最终致使联锁停机<sup>[5]</sup>。

### （七）模板与刀轴的垂直度偏差大

刀轴与模板之间的垂直度偏差直接关系到切刀与模板的接触均匀性和磨损情况。当垂直度偏差较大时，切刀与模板的接触就会变得不均匀，导致偏磨现象的发生。这种偏磨不仅加速了模板和切刀的磨损速度，还严重影响了切粒的质量和效率。导致刀轴与模板垂直度偏差大的主要原因，一是安装时的找正偏差，这可能是由于安装工人的技术水平有限、测量工具精度不足或安装过程中的疏忽等原因造成的。二是模板制造偏差，模板在制造过程中可能存在一定的尺寸偏差或形状偏差，这些偏差在安装和使用过程中会逐渐显现，进而导致刀轴与模板之间的垂直度偏差<sup>[6]</sup>。三是温度对材料的影响，如果模板和刀轴的热膨胀系数不匹配或膨胀量不一致，也可能导致垂直度偏差。

长期受到偏磨的影响，模板的表面会出现不均匀的磨损现象，导致其与切刀表面的接触点之间的间隙大小不一。这不仅降低了切刀

与模板的贴合度，还使得刀盘与模板之间形成的小腔空间变小，当熔融聚丙烯缠在切刀上时，无法被切粒水带走，从而产生垫刀料<sup>[4]</sup>。

### （八）切刀轴承不良状态

切刀轴承作为支撑和转动刀轴的关键部件，一旦磨损，其原有的精度和稳定性就会受到影响，进而无法有效地约束刀轴的运动轨迹。在往年的案例中也能体现，如图3所示。造成轴承磨损这种现象原因一是进刀液压油缸与推力盘的调整垫片厚度不合适，导致三个活塞的作用力不能均衡地作用到刀轴推力盘上，对刀轴前进产生了不同轴向的力，长时间运行磨损，导致轴承损坏。二是轴承装配径向间隙不符合安装要求。轴承磨损会导致其支撑作用减弱，进而引起刀轴的振动，这种振动会使得切刀在运行过程中产生前后位移，稳定性大幅下降。当熔融聚丙烯被挤出时，由于切刀位置的偏移，部分物料可能会垫在切刀与模板之间，形成所谓的“垫刀”现象。“垫刀”不仅会影响切粒的均匀性和质量，还可能导致切刀与模板之间的摩擦加剧，进一步损坏设备。

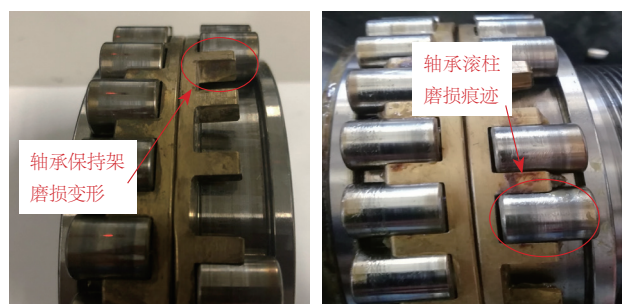


图3 切刀径向轴承磨损情况

## 三、处理方法

1. 当切刀的磨损达到一定程度时，就需要停机进行磨刀处理，经过打磨的切刀重新投入使用后，与模板完全贴合，形成理想的切割面，从而实现高效、稳定的切粒效果。适当提高开车时进刀压力设定值和切刀转速，较高的进刀压力能够避免刀轴在进刀时发生退刀，同时高的切刀转速可以甩开切刀上黏连的聚丙烯料，避免垫刀<sup>[7]</sup>。如过进刀没进到位，排出机械方面原因，问题可能就出现在液压油系统，处理方法是清理更换全部液压油，同时还须关注进刀液压控制电磁阀动作时间，如果开关较慢应及时更换处理。

2. 在充分考虑产品牌号、生产负荷、颗粒冷却水的温度压力及流速等关键因素，不断优化三同时控制方案，确保切粒水、切刀、聚丙烯挤出料能同时到达模板。需要注意的是，进刀时间不能设定为0秒，设定值须大于0秒，否则会不执行进刀程序。

3. 优化生产计划，应当尽量将同一牌号的产品集中生产，减少不同产品牌号之间的切换次数。针对各产品牌号及其物理特性，根据熔融指数的变化灵活调整挤压机的各项操作参数。

4. 根据不同牌号的产品及时设定相应的模板温度。结合生产实际，模板的温度需要维持在180℃至230℃的适宜区间内，这个温度范围能够为物料提供足够的热量，使聚丙烯达到熔融状态，从而有利于后续的切粒操作。粉料的熔融指数较高时，应适当降低模板温度，以防止物料过度熔融而产生粘连从而导致产生垫刀料<sup>[8]</sup>。

一旦发现模板表面的平整度有所下降，即出现不平整、粗糙或模孔变形等情况时，就需要及时对模板进行修复处理。修复的

目标是恢复模板表面的平整与光滑，确保每一个模孔都保持圆形，同时模孔与模板交界的部分要形成锋利的刀口状，有利于物料在模孔中的顺畅流动和切割，从而确保造粒的均匀性和一致性。经过长时间的连续运行，挤压机可能会出现部分模孔物料流出不畅或完全堵塞的现象，这会导致模孔的有效开孔率降低。为了保持模孔的高开孔率，确保物料能够均匀地从所有模孔中流出，可以尝试适当增加开机时的充模负荷，冲通部分堵塞的模孔<sup>[9]</sup>。如果模孔的堵塞情况较为严重时，则需要根据实际情况选择其他疏通方法，比如手工清理或使用高温加热来软化并清除堵塞物。

5. 面对不同熔融指数的聚丙烯产品进行生产时，切粒机的转速调整显得尤为重要，按照操作经验，转速调整范围应控制在680~745rpm。当生产熔融指数较高的聚丙烯时，其流动速度加快，应及时提高切粒机转速，避免垫刀情况发生。

6. 为了保障挤压造粒机的稳定运行，必须对聚丙烯粉料中的水分含量进行严格的控制<sup>[10]</sup>。若发生粉料带水严重，筒体温度会有明显的下降趋势，应及时合理调整挤压造粒机的运行参数，同时要对聚合系统进行相应的调整，蒸汽系统需排凝，干燥鼓风机加大风量，延长粉料在干燥罐的停留时间，保证其干燥效果，粉料输送风机出口排水，以此来降低粉料中的水含量。

7. 模板与刀轴的垂直度至关重要，每次停车检修时都应仔细检查，当垂直度偏差较大时要及时调整，同时还应对切粒刀轴进行直线度和轴颈跳动量检查。用塞尺分别检查三个油缸活塞柱到圆盘的间距，根据所测得的不同数据，调整垫片确保三个活塞的作用力能均衡地作用到刀轴推力盘上。每次开车前须对切刀与模板的磨损状况进行全面检查，并依据磨损情况适时更换。

8. 定期对机组进行全面而细致的检查和评估，制定预防性维护检修措施，确保机组始终处于最佳状态。

## 四、结论

综上所述，导致挤压机产生垫刀料原因是多方面的。本文就以往发生过的案例，结合机械设备、工艺操作等多方面原因进行了简要分析，并总结提出一些可行的处理方法。每次机组出现问题的情况不一样，需要不断地摸索和总结，优化机组各项运行相关参数，做好日常特护管理，从而确保挤压机能稳定高效运行。

## 参考文献

- [1] 王聪. 聚丙烯装置挤压造粒机运行问题分析及处理[J]. 化工技术与开发, 2020, 49(06): 83-84.
- [2] 方镇子. 挤压造粒机出现垫刀料的原因及处理措施[J]. 化工技术与开发, 2022, 51(11): 83-85.
- [3] 丁文波. 挤压机运行故障分析及处理方法[J]. 流程工业, 2023, (07): 48-50.
- [4] 张文光, 陈茜. 聚丙烯挤压机造粒质量缺陷成因分析及对策[J]. 化学与粘合, 2020, 42(02): 140-143.
- [5] 卢昌峰. 聚丙烯挤压机运行不稳及切粒质量改进[J]. 石化技术, 2023, 30(12): 241-242+235.
- [6] 陈敏; 赵珂. 挤压造粒机模板、切刀参数优化[J]. 机电工程技术, 2007, (12): 105-107+122.
- [7] 田朴. 浅谈聚丙烯造粒质量的影响因素[J]. 广州化工, 2022, (18): 21-22.
- [8] 李新昌; 范新泉; 张文辉; 孙林. 高熔融指数聚丙烯生产中挤压造粒机的故障分析与处理[J]. 化工技术与开发, 2023, (Z1): 85-87.
- [9] 张鑫; 王昌. 煤化工聚烯烃挤压造粒机组常见故障及处理[J]. 合成树脂及塑料, 2022, (05): 45-49.
- [10] 孙丰年. CWP\_ZSK350挤压造粒机运行问题诊断及优化[J]. 石油和化工设备, 2020, (09): 90-91.



# 异径厚壁铜导电杆高频感应钎焊工艺研究

杨永侃, 李腾, 陈带军, 李永, 邓逸洋

西安西电高压开关有限责任公司, 陕西 西安 710018

**摘 要 :** 针对异径厚壁铜导电杆钎焊结构, 采用传统火焰钎焊焊接, 存在两端同轴度差、一次钎焊合格率低等问题。本文研究了铜导电杆高频感应钎焊的工艺和方法, 通过对焊接接头、材料、工艺参数等的设计与选择, 通过实验验证, 实现了对铜导电杆焊接性能的优化。

**关 键 词 :** 高频感应钎焊; 钎料; 钎焊保温时间; 温升试验

## Study on High Frequency Induction Brazing Technology of Reducing Thick Wall Copper Conductive Rod

Yang Yongkan, Li Teng, Chen Daijun, Li Yong, Deng Yiyang

Xi'an XD High Voltage Apparatus Co., Ltd. Xi'an, Shaanxi 710018

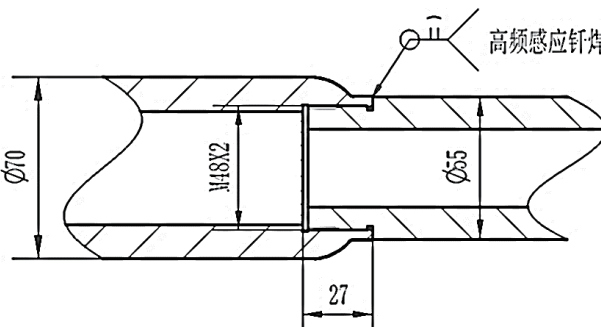
**Abstract :** Aiming at the brazing structure of thick-wall copper conductor rod with reduced diameter, the traditional flame brazing has some problems, such as poor coaxiality at both ends and low qualification rate of single brazing. In this paper, the technology and method of high frequency induction brazing of copper conductive rod are studied. Through the design and selection of welding joints, materials and process parameters, the optimization of welding performance of copper conductive rod is realized through experimental verification.

**Keywords :** high frequency induction brazing; brazing filler metal; brazing holding time; temperature rise test

铜导电杆作为一种重要的导电部件, 在电力传输领域具有广泛的应用, 其具有良好的导电性能和稳定的机械性能, 是保证电力系统稳定运行的重要条件。目前公司产品选用传统的火焰钎焊工艺方法, 受工艺特点限制, 火焰钎焊过程中人为影响因素大, 焊接变形大且无规律, 焊后存在管接头形位公差大、焊缝易存在气孔等问题。为了提高产品质量, 考虑对铜导电杆采用高频感应钎焊进行焊接。高频感应钎焊是一种基于电磁感应原理的焊接方法, 通过高频磁场的作用, 在金属表面产生强烈的涡流, 从而使金属加热至钎焊温度, 利用钎料润湿母材, 填充母材接头间隙并与母材相互扩散, 以实现焊接。高频感应钎焊具有许多优点。首先, 其加热速度快, 可以减少热损失和热变形。其次, 高频感应钎焊的热影响区小, 因为焊速高, 焊件自冷作用强, 故高频焊的热影响区窄小且不易发生氧化, 可获得具有良好组织与性能的焊缝。此外, 高频感应钎焊的接头性能好, 能够实现牢固的连接<sup>[1]</sup>。

## 一、材料及结构

某异径厚壁铜导电杆各管路均为长直厚壁结构, 由两种管材 55X12.5铜管 T2-Y 和 70X12.5铜管 T2-Y 焊接而成, 属于典型大管径厚壁管, 铜导电杆长度为 1562mm, 焊接后不进行组合加工, 直接保证两端接头的同轴度不大于 1mm 的形位要求<sup>[2]</sup>。为了提高钎焊结构的直线度, 此导电杆为静态装配, 不受拉力或剪切力, 接头结构采用 M48\*2 螺纹结构, 图 1 给出了异径厚壁铜导电杆的钎焊结构。



> 图 1 异径厚壁铜导电杆钎焊结构

## 二、高频感应钎焊材料的选择

### (一) 钎料的选用

在铜导电杆高频感应钎焊中, 适宜的钎焊材料是保证焊接质

量的关键因素之一。铜导电杆钎焊材料的选择应考虑以下两个方面: 1) 良好的润湿性: 钎焊材料应能够在短时间内充分润湿铜导电杆的表面, 确保焊接部位的可靠连接。2) 良好的导电性: 钎焊材料应具有较好的导电性能, 以保证焊接后的导电性能<sup>[3]</sup>。铜导电

作者简介: 杨永侃, (1979.06-), 男, 汉族, 陕西凤翔, 本科, 中级工程师, 研究方向: 高压电气工艺。

杆作为高压开关产品的一种重要导电材料，从电性能方面考虑，优先选用片状银基 BAg40CuZnCd 钎料（厚度 0.2mm），具有优良的工艺性能，低熔点、良好的润湿性和填满间隙的能力，并且强度高、塑性好，导电性和耐蚀性优良，可钎焊铜、铜合金、钢等材料。BAg40CuZnCd 钎料化学成分见表 1<sup>[4]</sup>。

表 1 BAg40CuZnCd 钎料化学成分（GB/T 10046）

型号	化学成分（质量分数）/%				熔化温度范围（参考值）/℃	
	Ag	Cu	Zn	其他	固相线	液相线
BAg40 CuZnCd	39.0 ~41.0	18.0 ~20.0	19 ~23.0		595	630

（二）助焊剂的选用

助焊剂的作用是改善焊接性能、增强焊接牢固度。助焊剂能够去除金属表面的氧化物并防止其继续氧化，增强焊料与金属表面的活性从而增加浸润能力和附着力。高频焊接与火焰焊接不同，没有火焰焊接的助流作用，需依赖助剂进行流动<sup>[5]</sup>。铜导电杆钎焊助焊剂选用糊状 FB102 银钎焊溶剂，其熔化温度为 550~850℃，可作紫铜及黄铜合金气焊或钎焊助熔剂，是高温焊接中理想的焊接溶剂，能有效地溶解各种金属表面氧化物，助长钎料漫流，不易吸潮，不结块，焊后残渣易清除。

三、高频感应钎焊工艺

（一）高频感应钎焊工艺参数的选择

高频感应钎焊是通过高频感应产生热能，将金属接头加热至钎料熔化，实现可靠的连接。在实施高频感应钎焊时，正确的参数选择对于焊接质量和效率具有至关重要的影响。钎焊过程的主要参数是钎焊温度和保温时间<sup>[6]</sup>。

1. 钎焊温度的选择

钎焊加热温度是钎焊工艺规程的重要参数之一，它的高低直接决定了钎焊接头的质量。钎焊加热温度是在熔化钎料并使其流动的同时，使基材表面产生足够的润湿，从而在钎料与基材之间形成牢固的结合<sup>[7]</sup>。依据 GB/T 11363《钎焊接头强度试验方法》，钎焊温度为高于钎料液相线温度 30~50℃，特殊情况可放宽上限温度。BAg40CuZnCd 钎料液相线温度为 630℃，考虑到导电杆为厚壁，将钎焊温度定为 650~700℃。

2. 钎焊保温时间

钎焊保温时间视工件大小，钎料与母材相互作用的剧烈程度而定。大件保温时间应长些，以保证加热均匀。钎料与母材作用强烈的，保温时间要短。一般来说，一定的保温时间是促使钎料与母材相互扩散，形成牢固结合所必须的，但过长的保温时间将导致溶蚀等缺陷的发生<sup>[8]</sup>。依据 GB/T 11363《钎焊接头强度试验方法》，推荐保温时间为 10~40s，对比相似产品焊接经验，选定铜导电杆保温时间为 20~25s。

（二）异径厚壁铜导电杆高频感应钎焊

1. 接头表面清理

使用百洁布、毛刷和酒精对铜导电杆接头以及接头周围 10mm 区域内表面进行彻底清洗，以去除杂质和氧化物，保证焊

接部位的清洁度<sup>[9]</sup>。

2. 高频感应钎焊

焊接前预先将钎料安置在接头上，并将糊状 FB102B 银钎焊溶剂均匀涂抹于接头上。将感应加热线圈套至铜触头焊接位置，通过高频感应加热使钎料熔化，同时依靠工装对导电杆进行拧紧，保证钎料通过毛细作用填充间隙，保温 20.25s 后立即停止加热，避免焊料过度流出，导致焊缝缺陷。钎焊结束后，应使焊件自然冷却，冷却后清除接头处的残渣及氧化物，焊接效果见图 2。



> 图 2 高频感应钎焊效果



> 图 3 着色探伤

四、高频感应钎焊焊后检测

（一）焊缝着色渗透探伤检验

着色渗透探伤是一种表面检测方法，主要用来探测诸如肉眼无法识别的裂纹之类的表面损伤。对焊缝处进行粗车漏出接头处焊缝，并进行着色渗透探伤，焊缝表面及焊缝边缘没有裂纹、气孔、凹陷等缺陷，见图 3。

（二）拉伸试验

依据 ASME QB-153《焊接和钎焊评定标准》，评定拉伸试验合格标准是试样的抗拉强度不小于退火状态母材所规定的最小抗拉强度<sup>[10]</sup>。GB/T 1527《铜及铜合金拉制管》中 T2-Y 铜管软态退火态的最小抗拉强度为 200MPa，见表 3，试件抗拉强度检测结果，见表 4，检测值均大于 200MPa，试验结果满足标准要求。

表 3 材料力学性能

项目	状态	抗拉强度 /MPa	参考标准
标准值	Y（硬态）	295	GB/T 1527 《铜及铜合金拉制管》
标准值	O60（软态退火态）	200	
导电杆材料	Y（硬态）	295	

表 4 试件抗拉强度检测

抗拉强度标准值 /MPa	试件 1	试件 2	试件 3
200	209	222	318

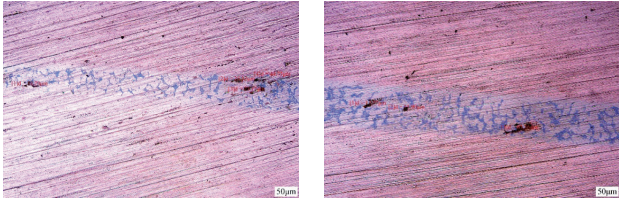


> 图 4 抗拉强度检测



（三）金相检测

金相检验法是将钎焊接头切开、研磨、抛光后用显微镜来观察其界面，是发现钎焊接头内部夹杂、疏松、气孔及微裂纹的有效方法。经对钎焊接头进行金相检测，见图4，GB/T 33219《硬钎焊接头缺陷对接头缺陷限度的建议》，严格级（B级）要求气孔的总面积不大于投影面积的20%，导电杆钎焊接头气孔尺寸均在0.023mm ~ 0.053mm之间，且数量较少，无连贯性气孔，满足要求。接头处不存在夹杂、裂纹等缺陷。

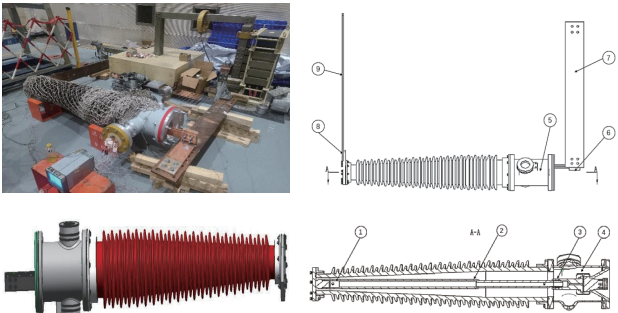


> 图4 焊缝金相检测

（四）温升试验

温升试验是高压电气产品安全性能的重要试验之一，用来评价电气产品的质量和电气安全特性。电气产品在正常使用时，由于一些通过大电流元件的发热，导致自身的温升过高，长时间这种状态下工作，可能降低绝缘材料性能，从而导致设备电击、烫伤或着火危险。温升试验就是用来检测和规避这些危险的重要

方式。IEEE C37.100.1规定了在正常操作下，可触及部件温度不能超过50℃，不可触及部件温度不能超过70℃。试验电流：1.1X3150A；表压（20℃表压）：0.5MPa，试验结果合格。



> 图6 温升试验

表5 温升试验值检测值

五、结论

通过将异径厚壁铜导电杆气焊焊接改为高频感应钎焊工艺研究表明，制定合适的焊接接头，选择合适的焊料并制定合适的焊接工艺后，可显著提高异径厚壁铜导电杆的焊接质量和生产效率。

参考文献

[1] 贾志华, 王轶, 李银娥, 等. 不锈钢导管的氩气保护感应钎焊工艺研究 [J]. 广州化工, 2019, 47(23): 77-79.  
[2] 赵丽辉, 国忠齐, 陈建敏. 铜管钎焊工艺评定及工程应用 [J]. 金属加工 (热加工), 2015, (10): 36-37.  
[3] 王娜, 李海庆, 徐方涛, 等. 双组元液体火箭发动机推力室材料研究进展 [J]. 宇航材料工艺, 2019, 49(03): 1-8.  
[4] 张丽霞. 陶瓷及陶瓷基复合材料连接的研究进展 [J]. 焊接, 2017, (04): 1-9+16+85.  
[5] 宋鹏哲. CBN 磨头高频感应钎焊温度场仿真与试验研究 [D]. 沈阳航空航天大学, 2022.  
[6] 马炳辉. 硬质合金与钢高频感应钎焊工艺研究 [D]. 上海工程技术大学, 2021.  
[7] 王杰, 熊清莲, 熊宴邻, 等. 瞬间液相 (TLP) 扩散连接 GH4169/TC4 接头的微观结构及力学性能 [J]. 稀有金属材料与工程, 2019, 48(04): 1275-1280.  
[8] 张成聪, 余丽玲, 王玉华, 等. 焊缝高倍化研究现状与展望 [J]. 焊接学报, 2022, 43(04): 7-15+113.  
[9] 冯吉才. 异种材料连接研究进展综述 [J]. 航空学报, 2022, 43(02): 6-42+457.  
[10] 刘昌国, 陈锐达, 刘焱, 等. 小推力空间液体火箭发动机夹气启动特性 [J]. 火箭推进, 2021, 47(03): 8-15.

# 飞机复合材料损伤检查及维修技术应用探究

王昊

北京航空有限责任公司, 北京 100621

**摘要：** 随着现代航空工业的发展，传统材料已经无法满足飞机对轻量化和高性能的需求，为解决飞机复合材料在使用过程中可能出现的损伤问题。本文探讨了复合材料损伤的检查技术，包括感官检测和超声检测技术，分析了复合材料的维修技术，具体涉及胶接修理技术、机械连接修理技术和复合材料补片修理技术。通过上述措施，实现了对复合材料损伤的有效检查和维修，以此为相关人员提供实践参考。

**关键词：** 飞机复合材料；损伤检查；维修技术

## Exploration of Damage Inspection and Maintenance Technology Application of Aircraft Composite Materials

Wang Hao

Beijing Airlines Co., Ltd. Beijing 100621

**Abstract：** With the development of modern aviation industry, traditional materials can no longer meet the demand for lightweight and high-performance in aircraft. To solve the problem of damage that may occur in the use of composite materials in aircraft. This article explores the inspection techniques for damage in composite materials, including sensory and ultrasonic testing techniques, and analyzes the repair techniques for composite materials, specifically involving adhesive repair techniques, mechanical connection repair techniques, and composite patch repair techniques. Through the above measures, effective inspection and repair of composite material damage have been achieved, providing practical reference for relevant personnel.

**Keywords：** aircraft composite materials; damage inspection; maintenance technology

### 前言

随着航空工业的快速发展，飞机复合材料的应用日益广泛，这些材料因其优异的强度重量比、耐腐蚀性和设计灵活性，逐渐成为现代飞机制造的首选。然而复合材料的复杂结构和多样化特性也对其损伤检查与维修技术提出了更高要求，传统的金属材料检测方法在复合材料上并不总是适用，因此开发和应用新型检测技术显得尤为重要。

### 一、飞机复合材料损伤检查技术

#### （一）感官检测

飞机复合材料损伤检查中的感官检测是一种基础且重要的技术，主要依赖检查人员的观察能力和经验，检查人员需要在良好的光线条件下进行目视检查，这通常是在自然光或人工光源下进行，以确保能够清晰地观察到复合材料表面的细节。在检查过程中，检查人员应仔细观察材料表面，寻找任何可能的损伤迹象，如凹坑、划痕、裂纹、变色等。为了提高检测的准确性，检查人员可以使用放大镜等光学工具，这些工具能够放大材料表面的微小细节，使得细微的损伤更容易被发现。检查人员应特别注意复合材料的边缘和接缝处，因为这些地方更容易受到应力集中和环境因素的影响，从而产生损伤。

在进行感官检测时，检查人员还可以用手轻轻触摸材料表面，以感知任何不平整或异常的地方。通过触觉，检查人员可以发现一些目视检查可能遗漏的细微凹凸或粗糙感。此外检查人员可以轻轻敲击材料表面，听取声音的变化。不同的声音可能表明材料内部存在分层或空洞等问题。检查过程中检查人员应保持高度的专注力，并具备丰富的经验和知识，以便正确识别和判断损伤的类型和严重程度。对于一些不易识别的损伤，如细小裂纹或微小凹坑，检查人员可以在不同的角度和光线下反复观察，以确保不遗漏任何潜在的问题<sup>[1]</sup>。

检查人员应注意复合材料表面的颜色变化，颜色的变化可能是由于材料老化、化学反应或环境影响造成的，这些变化可能预示着材料性能的下降或即将出现的损伤，检查人员还需注意材料表面的光泽度变化，因为光泽度的变化可能是材料内部结构发生

作者简介：王昊（1986.05-），男，汉族，北京人，本科，工程师，从事飞机维修研究。



变化的信号。此外检查人员应详细记录每一次检查的结果，包括发现的任何损伤的类型、位置和严重程度，这些记录不仅有助于后续的维修和维护工作，还能为未来的检查提供参考。

## （二）超声检测技术

超声检测技术在飞机复合材料损伤检查中应用广泛，主要利用超声波在材料中的传播特性来识别和评估损伤，首先准备工作包括选择合适的超声检测设备和探头，常用的超声频率范围为1到10 MHz，其中5 MHz 探头常用于复合材料检测，因为它在检测分层和小空洞时具有较好的分辨率。探头选择还需考虑材料的厚度和预期的损伤类型。接触式超声检测通常使用耦合剂（如水或油）来促进超声波在探头与复合材料之间的传输，操作时将探头紧密接触复合材料表面，并使用耦合剂填充探头和材料之间的间隙。确保耦合剂均匀分布，以避免信号衰减或失真。在扫描过程中，探头以恒定速度移动，通常为每秒5到10毫米，以确保数据的准确性和完整性，超声波发射后，遇到材料内部的缺陷（如分层或空洞）会产生反射、折射或散射。接收器捕获这些反射信号，并将其转换为电信号，显示在A扫描、B扫描或C扫描图像上。A扫描提供单点的深度信息，B扫描显示二维截面图像，而C扫描则提供平面图像，显示缺陷的大小和位置<sup>[2]</sup>。

在实际检测中，信号分析是关键步骤，通过分析回波信号的幅度、相位和到达时间，可以确定缺陷的位置和性质，通常反射信号的幅度减小或出现异常峰值，表明材料内部存在缺陷。对于分层缺陷，信号会在缺陷边界处产生明显的反射，而空洞则可能导致信号完全消失。为了提高检测的可靠性和准确性，数据处理软件可以进行进一步分析。软件可以自动识别和标记可能的缺陷区域，并计算缺陷的尺寸和深度。

非接触式超声检测，如激光超声检测，适用于不规则表面或高温环境，激光超声利用激光脉冲激发超声波，无需耦合剂，避免了接触式方法的局限。激光脉冲频率通常设置在1到10 kHz 范围内，以确保足够的信号强度，检测过程中激光束扫描材料表面，产生的超声波在材料中传播，遇到缺陷时同样会产生反射和散射，接收端使用激光干涉仪捕获返回信号，进行分析和成像。在操作中，激光超声检测的精度依赖于激光脉冲的能量和接收器的灵敏度，通常情况下激光能量设置在10到100 mJ 范围内，以提供足够的信号强度而不损伤材料。接收器的灵敏度需要足以检测到微弱的回波信号，尤其是在检测深层缺陷时。

超声检测技术在复合材料损伤检查中具有高效、精确的特点，通过合理选择设备和参数，结合先进的数据处理技术，可以有效地识别和评估复合材料中的各种损伤类型。

## 二、飞机复合材料维修技术

### （一）胶接修理技术

飞机复合材料的胶接修理技术是一种精细的维修方法，能够有效恢复受损结构的强度和刚度，首先对损伤区域进行彻底清理是至关重要的。使用细砂纸或专用磨具去除损伤区域的松散纤维和杂质，确保表面光滑且没有残留物。清理后的表面应达到一定

的粗糙度以增强胶粘剂的附着力，通常建议表面粗糙度在3–5微米之间。

选择合适的航空胶粘剂是修理成功的关键，常用的胶粘剂包括环氧树脂类，这类胶粘剂具有优异的强度和耐久性，在使用前应根据制造商的说明对胶粘剂进行混合和准备，确保其在适宜的温度和湿度条件下应用。通常胶粘剂的混合比例为树脂与固化剂的重量比2:1，混合后的胶粘剂应在30分钟内使用完毕，以免影响粘接性能。将准备好的胶粘剂均匀涂覆在清理后的损伤区域和补片的接触面上，涂层厚度应控制在0.2至0.5毫米之间，以确保粘接强度和固化效果。然后将补片精确地贴合在损伤区域上，确保没有气泡和皱褶。可以使用滚压工具从中心向外轻轻滚压补片，以排出多余的胶粘剂和气泡<sup>[3]</sup>。

固化过程是胶接修理的关键步骤之一，通常使用热压固化的方法，通过专用的加热毯或红外加热设备对粘接区域进行加热，使胶粘剂达到完全固化。固化温度一般设定在60至80摄氏度，固化时间为2至4小时，具体参数应根据胶粘剂的特性和制造商的建议进行调整。在固化过程中保持均匀的压力（通常为0.2至0.4兆帕）以确保补片与基体的紧密结合。

最后进行质量检查以确保修理效果，检查补片的粘接牢固性和表面光洁度，确保没有气泡、裂纹或分层现象。可以通过超声波检测或其他非破坏性检测方法确认修理质量，这种胶接修理技术不仅有效，而且在操作过程中充分考虑了材料特性和环境因素，确保了修理的可靠性和长效性。

### （二）机械连接修理技术

飞机复合材料的机械连接修理技术是一项复杂而精细的工艺，旨在通过安装机械连接件来修复损伤，首先需要对损伤区域进行详细评估，以确定最佳的修复方案。假设在飞机的起落架舱门出现了一条长约150毫米的裂缝，且裂缝宽度达到3毫米，传统的胶接方法已无法提供足够的强度，此时可以考虑采用机械连接修理技术。

在开始修复之前，必须准备适合复合材料的专用工具和材料，需要使用高精度钻头以避免对复合材料的纤维结构造成过多损伤。选择直径6毫米的碳化钨钻头，以确保钻孔的精度和光滑度。钻孔时采用低转速（约500转/分钟）和恒定的进给速度（约0.05毫米/转），以减少热量积聚和纤维撕裂。在损伤区域的两端以及沿裂缝每隔50毫米的位置钻孔，确保每个孔的中心距裂缝边缘至少15毫米，以防止新的损伤。在钻孔过程中使用真空吸尘设备清除钻屑，保持工作区域干净，并避免粉尘对操作人员的健康影响。

接下来选择合适的机械连接件，此案例中使用直径为6毫米的钛合金螺栓，因其具有高强度和耐腐蚀性，螺栓的长度应根据复合材料的厚度和需要连接的加强片厚度来确定，通常为复合材料厚度的2.5倍。在安装螺栓前必须在孔内涂抹防腐涂层，以延长修复结构的使用寿命，涂层厚度应控制在0.05毫米左右，以确保螺栓能够顺利安装。然后将预先准备好的碳纤维加强片放置在裂缝上方，确保所有钻孔完全对齐。使用扭矩扳手以精确控制螺栓的紧固力，避免因过度紧固而引起复合材料的局部损坏，每个螺



栓的紧固力应控制在20牛米，以提供足够的夹紧力，同时避免损坏复合材料的层合结构，安装完成后用专用的密封剂对螺栓头部进行密封，以防止水分渗入。

在完成所有机械连接件的安装后，进行最终的结构检查，确保加强片与原结构紧密贴合，没有明显的间隙或翘曲现象，修复后的结构不仅恢复了原有的承载能力，还增强了抗疲劳性能。这种机械连接修理技术被广泛应用于飞机的关键部位，如机翼和尾翼等，尤其是在承受较大载荷的区域，通过精确的操作和严格的工艺控制，可以有效延长复合材料结构的使用寿命，保证飞机的安全性和可靠性。

### （三）复合材料补片修理技术

预浸料补片修理技术是最常用的方法之一，此技术使用预先浸渍了树脂的纤维材料作为补片。修理的第一步是对损伤区域进行精确的测量和评估，以确定损伤的范围和深度，假设在某次飞行中，飞机机翼遭受了鸟击，导致一个面积为30平方厘米、深度为3毫米的损伤，根据损伤的形状和尺寸，裁剪出相应大小的预浸料补片。通常补片的边缘应超出损伤区域至少2厘米，以确保足够的粘接面积。接下来对损伤部位进行表面处理，这包括使用砂纸或磨床去除表面的油漆和杂质，并用丙酮等溶剂清洗干净。表面处理的目的是确保补片与基材之间的良好粘接，然后将裁剪好的预浸料补片覆盖在损伤区域上，使用热压罐设备进行固化处理，通常需要在120℃的温度下维持至少2小时，并施加0.5 MPa的压力。这一过程确保树脂充分固化，从而使补片与基材形成坚固的整体。

另一种方法是真空辅助成型补片技术，在某次维修中，飞机机身出现了一处面积为50平方厘米的凹坑，使用真空袋将补片材料紧密贴合在损伤区域，真空袋的作用是通过抽真空，使补片材料紧密贴合在基材表面，消除空气和气泡，从而提高粘接质量。随后在真空环境下进行树脂的浸润和固化，通常固化过程在90℃

至100℃的温度下进行，持续时间为3至4小时。这种方法的优势在于能够在较低的温度和压力条件下实现高质量的修复。

在一个具体案例中，某飞机的机翼由于遭受外物撞击，产生了一处直径为15厘米的凹坑，维修团队选择了预浸料补片修理技术，首先损伤区域被清理并打磨至露出纤维层，然后裁剪出直径为20厘米的圆形预浸料补片。为了保证补片的粘接强度，使用热压罐在130℃的环境下固化3小时，同时施加0.6 MPa的压力。经过固化后补片与机翼基材之间的粘接强度达到35 MPa，完全满足飞行安全的要求。在整个修理过程中，关键在于严格控制温度、压力和时间，以确保树脂的充分固化和补片的粘接强度，此外修理后的区域通常还需要进行后续的表面涂装，以恢复飞机的外观和防护性能。这些步骤确保了修理后的复合材料结构能够承受飞行中的各种应力和环境因素。

复合材料补片修理技术通过精确的测量、裁剪、表面处理和固化工艺，实现了对飞机复合材料结构的有效修复，通过实际案例可以看出，这些技术在实际应用中不仅提高了修理的效率，还显著增强了修理部位的结构强度和耐久性。

## 三、结束语

综上所述，复合材料在航空领域的广泛应用对损伤检查和维修技术提出了新的挑战和机遇。通过对各种先进检测和维修技术的探讨，能够更全面地掌握复合材料的特性及其在实际应用中的表现，这不仅有助于提高航空器的安全性和可靠性，还能显著降低运营成本，延长飞机的服役周期。未来，随着技术的不断进步，智能化和自动化检测手段的引入将进一步提升复合材料检查和维修的效率与精确度。持续的研究与创新将为航空工业的发展提供坚实的技术保障，确保其在全球竞争中保持领先地位。

## 参考文献

- [1] 胡昊, 冯蕴雯, 陈俊宇. 基于EMA3D的民用飞机复合材料雷击电流分析[J]. 航空工程进展, 1-11.
- [2] 徐林, 刘传军, 赵崇书. 复合材料在民用飞机应用与发展趋势[J]. 复合材料科学与工程, 2024, (09): 98-104.
- [3] 张德伟, 卫伟, 张聘. 基于实测数据的飞机复合材料构件外形调控[J]. 复合材料科学与工程, 2024, (09): 57-66.

# 通信工程中光纤传输技术的创新与应用

杨金凤, 辛文启, 张林林

中国人民解放军32125部队, 山东 济南 250004

**摘 要 :** 本文深入分析了光纤传输技术的原理、创新进展、在通信工程的应用, 以及我国的发展现状与挑战, 并对未来趋势进行了展望。文章首先阐释了光纤结构与信号传输机制, 接着探讨了超高速传输、宽带接入等关键技术及其应用, 同时评估了光纤技术在多个领域的实际应用情况。

**关 键 词 :** 光纤传输技术; 原理; 技术创新; 应用实践; 发展状况

## Innovation and Application of Optical Fiber Transmission Technology in Communication Engineering

Yang Jinfeng, Xin Wenqi, Zhang Linlin

Unit 32125, the Chinese People's Liberation Army, Jinan, Shandong 250004

**Abstract :** This article provides an in-depth analysis of the principles, innovative advancements, and applications of optical fiber transmission technology in communication engineering, as well as the current development status and challenges in China. Additionally, it offers an outlook on future trends. The article first explains the structure of optical fibers and signal transmission mechanisms. Subsequently, it explores key technologies such as ultra-high-speed transmission and broadband access, along with their applications. Furthermore, it evaluates the practical application of optical fiber technology in multiple fields.

**Keywords :** optical fiber transmission technology; principle; technological innovation; application practice; development status

## 引言

随着信息时代的飞速发展, 通信技术在全球范围内扮演着越来越重要的角色。光纤传输技术, 作为一种高效、可靠的通信手段, 已经成为现代通信网络的核心。本文旨在全面剖析光纤传输技术的核心原理、技术革新、应用实践以及我国在该技术领域的发展状况与挑战。通过对光纤传输技术的深入探讨, 我们不仅能够更好地理解这一技术的重要性, 还能够展望其在未来通信领域的潜在发展方向和应用前景, 为我国光纤通信技术的进一步创新和广泛应用提供理论支持和实践指导。

## 一、光纤传输技术的基本原理

光纤, 被誉为现代通信领域的生命线, 以其卓越的传输特性彻底革新了传统的信息传递模式。它如同细腻而坚韧的神经网络, 将海量数据以光速穿梭于各大洲之间, 极大地提升了信息传递的效率和稳定性。光纤的纤细身躯中蕴藏着无限的可能, 它不仅承载着语音、数据和视频等多种信息载体, 更在互联网、电信、广播等多个领域发挥着无可替代的作用。

### (一) 光纤传输系统的组成

光纤通信技术的核心组成部分包括光纤、光源、光接收器和光纤传输系统。光纤是一根非常细的由玻璃或塑料材料制成的线缆, 具有非常高的折射率, 可以高效传输光信号。光源可以是激光器或发光二极管, 用于产生光信号。光接收器则是将接收到的

光信号转换为电信号的设备。光纤传输系统由光纤传输设备、连接器和光纤网络管理系统组成, 用于控制和管理光纤通信系统<sup>[1]</sup>。

光纤的分类基于折射率分布和传输模式的不同, 分为单模光纤和多模光纤。单模光纤因其仅允许单一模式的光通过, 适合于长距离、高速的传输需求; 相对地, 多模光纤能够支持多个模式的光同时传输, 更适用于短距离通信的应用场景。

### (二) 光信号的发射与接收

在光纤通信系统中, 光信号的发射与接收是信号传递的关键环节。发射过程主要通过发光二极管(LED)或激光二极管(LD)来实现, 其中LED发射的光谱较宽, 适用于低速率、短距离的传输需求, 而LD发射的光谱则较窄, 更适用于高速、长距离的传输。至于光信号的接收, 则由光检测器如光电二极管(PD)和雪崩光电二极管(APD)来完成, 这些检测器能够将接收到

的光信号转换为电信号，并通过放大和处理，最终恢复出原始信息。

### （三）光信号在光纤中的传输过程

光纤中的光信号传输是建立在全内反射原理之上的，当入射角超过临界角时，光在芯与包层的界面发生全内反射，使得光信号能够在光纤内长距离传播。然而，这一过程并非无损耗，光纤传输损耗主要包括吸收损耗和散射损耗，同时，色散现象也是不可忽视的问题，它由不同频率或模式的光在传输速度上的差异引起，会导致信号失真<sup>[2]</sup>。为了提高光纤传输性能，降低损耗和色散至关重要。此外，为了实现长距离传输，信号放大和中继是必不可少的，其中掺铒光纤放大器（EDFA）因其能在不改变信号模式的情况下提供高增益和低噪声的放大效果，而成为常用的放大器选择。

## 二、光纤传输技术的创新

在信息时代迅猛推进的今天，社会对通信容量和传输速率的需求不断攀升。在这一背景下，光纤传输技术的创新显得尤为关键，它已成为推动通信行业持续发展的核心动力。随着技术的不断突破，光纤通信不仅满足了日益增长的带宽需求，还大幅提升了数据传输的速度和质量。

### （一）超高速光纤传输技术

超高速光纤传输技术应大数据时代的带宽与速度需求而生，其通过提升单个信道的数据传输速率及增加信道数量来满足这一需求。技术创新方面，该技术融合了高速调制格式、相干检测和数字信号处理等多项技术，这些技术的协同作用使得单根光纤的传输速率能够达到数百 Gbps 乃至 Tbps 的惊人水平。在实际应用领域，超高速光纤传输技术已成为长距离海底光缆通信和数据中心互联等关键网络基础设施的核心，极大地增强了网络的核心传输能力<sup>[3]</sup>。

### （二）宽带光纤接入技术

宽带光纤接入技术，包括光纤到户（FTTH）和光纤到楼（FTTB），为用户带来了高速且稳定的网络接入体验。技术创新方面，无源光网络（PON）技术的应用实现了光纤资源的多用户共享，有效降低了网络建设和运营的成本。在实际应用中，宽带光纤接入技术已成为现代通信网络的标准配置，它为用户提供了高清视频、在线游戏等高带宽服务，极大地丰富了用户的网络生活。

### （三）波分复用技术

波分复用（WDM）技术，通过在单根光纤中同时传输多个不同波长的光信号，显著提升了光纤的传输容量。技术创新方面，密集波分复用（DWDM）和粗波分复用（CWDM）技术的发展进一步增强了光纤网络的容量和灵活性。波分复用技术作为现代光纤通信系统的核心技术之一，已在骨干网和城域网的建设中得到了广泛应用，成为支撑高速、高效通信网络的关键。

### （四）光纤传感器技术

光纤传感器技术基于光纤对外部环境变化的敏感特性，如强

度、相位和波长等，来实现检测功能。该技术在多个领域，包括材料科学、结构健康监测和生物医学等，取得了显著的创新发展，其抗电磁干扰、尺寸小巧和测量精度高等特点使其应用前景广阔。在实践应用中，光纤传感器已被广泛应用于航空航天、石油化工和医疗诊断等领域，为智能化和自动化技术的发展提供了重要支撑<sup>[5]</sup>。

## 三、光纤传输技术在通信工程中的应用

光纤传输技术的广泛应用，已经彻底重塑了通信工程领域的格局。它如同神经网络般贯穿于各个领域，从电力通信的稳定保障到5G网络的高速连接，从数据中心的海量信息处理到智能家居的便捷生活，光纤技术的身影无处不在，无所不能。

### （一）电力通信领域

电力通信是确保电网安全与高效运行的核心，而光纤传输技术凭借其高带宽和强抗干扰能力，已成为电力通信网的首选技术。在电力通信领域，光纤技术被广泛应用于构建调度电话、数据传输、视频监控以及SCADA系统等，保障了电力系统的稳定运行与实时监控。面对智能电网的不断发展，通信网络面临的实时性、可靠性和安全性要求日益提高，光纤传输技术因此需要持续创新，以满足这些日益增长的需求。

### （二）无线通信领域

光纤传输技术在无线通信领域扮演着关键角色，主要通过承载基站间的回传信号，即“光纤拉远”技术来实现。在4G和5G网络中，光纤到天线（FTTA）解决方案的应用显著提升了无线网络的覆盖范围和数据传输速率。展望未来，随着无线通信技术的不断演进，光纤传输技术在支持更高频段和更大数据吞吐量方面将发挥更加关键的作用。

### （三）数据中心与云计算

数据中心作为信息时代的基石，光纤传输技术为其内部及之间的互联提供了高速、低延迟的解决方案<sup>[6]</sup>。在数据中心的应用中，光纤技术涵盖了服务器互联、存储网络以及数据中心间的长途互联，这些都是支撑云计算服务快速发展的关键。展望未来，随着数据中心规模的不断扩展，光纤传输技术的优化和创新将不断推动网络性能的提升和能效比的增强。

### （四）物联网与智能家居

光纤传输技术在物联网和智能家居领域的融合应用，为海量设备的连接和数据传输开辟了高速通道。在智能安防、智能照明等多个实际应用场景中，光纤网络不仅确保了家庭内部与外部世界的高效通信，还显著提升了居住的舒适性和安全性。展望未来，随着物联网设备的数量激增，光纤传输技术在提供稳定、高速连接方面的优势将愈发凸显，成为智能家居发展的关键支撑。

### （五）5G 通信网络

5G 通信网络对带宽和速度的需求达到了前所未有的高度，光纤传输技术因此成为支撑5G网络基础设施建设的关键技术。在5G网络的实际应用中，光纤技术覆盖了前传、中传和回传等多个环节，确保了网络的高速率、低时延和广连接特性<sup>[7]</sup>。展望未来，

随着5G网络的全面部署,光纤传输技术将继续优化和升级,以支持更广泛的业务应用和更高效的网络运营。

## 四、光纤传输技术在我国的发展现状与挑战

中国,作为全球最大的通信市场之一,光纤传输技术的发展和应用在这里呈现出独特的景象。

### (一) 政策与市场环境

中国政府高度重视光纤通信产业的发展,并出台了如“宽带中国”战略和“新型城镇化”规划等一系列政策,以推动光纤网络的建设和升级。在这些政策的积极推动下,我国光纤通信市场迅速扩张,宽带接入用户数量持续增长,市场需求表现出强劲的势头。展望未来,随着5G、物联网等新兴技术的兴起,市场对光纤传输技术的需求预计将进一步增长,同时政策环境也将变得更加有利,为光纤通信产业的发展提供更加坚实的支撑。

### (二) 产业链发展状况

我国光纤传输产业链结构已较为成熟,从光纤预制棒、光纤、光缆到光通信设备和网络服务,各环节均有所涵盖<sup>[8]</sup>。产业布局方面,主要集中在江苏、浙江、广东等地区,形成了多个产业集群,并展现出显著的产业链协同效应。然而,尽管产业链发展迅速,我们仍面临挑战,尤其是高端光纤预制棒等核心材料依赖进口的问题,这意味着产业链高端环节需要进一步的技术突破和自主创新。

### (三) 技术创新与研发

我国在光纤传输技术领域取得了显著的进展,特别是在超高

速传输、光纤传感等技术与应用方面已达到国际先进水平。这一成就的背后,是企业与政府对光纤传输技术研发的大力投入,这些投入不仅推动了技术创新,也加速了成果的转化。事实上,我国在光纤传输技术的成果转化方面已取得实质性进展,众多拥有自主知识产权的产品和技术已成功投入市场,展现出我国在该领域的竞争力和创新能力<sup>[9]</sup>。

### (四) 面临的挑战与问题

光纤传输技术在追求超高速、超长距离传输的过程中遇到了技术瓶颈,迫切需要持续的创新来提升性能。与此同时,随着市场的逐渐成熟,竞争也变得更加激烈,企业不得不通过提升产品质量和服务水平来保持竞争力。此外,光纤网络的规模化部署引发了新的网络安全挑战,确保网络的稳定运行成了一个关键问题<sup>[10]</sup>。与此同时,光纤通信网络的建设和运营对资源和能源的消耗不容忽视,如何在发展过程中实现绿色环保,也成为行业亟须解决的焦点问题。

## 五、结束语

展望光纤传输技术的未来,见证了技术创新的巨大潜力及其对社会的深远影响。智能化、高速化、低损耗和环保新型材料的应用,预示着光纤通信的新变革。随着这些技术的成熟,我们正向一个更高效、智能、环保的通信时代迈进。期待光纤传输技术的进步,为人类社会带来更便捷、快速的通信体验,加速全球信息高速公路的建设。向过去的创新者和未来的开拓者致敬,光纤通信技术将继续照亮信息时代之路。

## 参考文献

- [1] 刘晶晶. 光纤通信技术在5G移动通信中的运用[J]. 大众科技, 2023, 25(12): 19-21.
- [2] 袁勤峰. 高清数字电视光纤传输技术应用研究[J]. 西部广播电视, 2023, 44(22): 219-223.
- [3] 胡珍仁, 陈杨明, 周榕, 等. 自动化智能化技术在高山发射台的应用[J]. 广播与电视技术, 2023, 50(10): 92-95. DOI: 10.16171/j.cnki.rtbe.20230010018.
- [4] 何云峰. 通信工程中有线传输技术的优化策略[J]. 网络安全技术与应用, 2021, (05): 144-146.
- [5] 宋丽娜. 通信工程中光纤传输技术的发展[J]. 中国新通信, 2021, 23(08): 17-18.
- [6] 赵道晓. 有线传输技术在通信工程的应用[J]. 中国新通信, 2021, 23(07): 3-4.
- [7] 桑磊. 通信工程中有线传输技术的运用[J]. 信息通信, 2020, (11): 170-172.
- [8] 宫明. 论通信工程中有线传输技术的改进[J]. 信息通信, 2020, (08): 229-230.
- [9] 刘爽. 有线传输技术在通信工程中的应用及发展趋势[J]. 中国新通信, 2020, 22(12): 22.
- [10] 李毅强. 通信工程中有线传输技术的应用及改进[J]. 科技创新导报, 2020, 17(07): 125-126. DOI: 10.16660/j.cnki.1674-098X.2020.07.125.



# 一种组装式 ASTERIX 数据通用解码算法

龙滨, 李建宏

民航重庆空管分局, 重庆 400000

**摘 要 :** ASTERIX 是 Euro Control 组织开发的一种数据传输格式, 在民航空管、军事、航海等领域有广泛应用。目前 ASTERIX 数据的解码有多种算法, 本文提出一种独特的组装式 ASTERIX 通用解码算法, 通过类似模块化组装的方式, 可实现所有 CAT 类型 ASTERIX 数据的解码, 并以 C++ 语言为例对该算法进行了阐述。该算法不同于其他算法的特点是, 实现了对 ASTERIX 最底层数据的解码和访问, 无需用户二次解码。

**关 键 词 :** ASTERIX; 通用; 解码; 组装式; 模块化; 插槽; 插件

## A general Decoding Algorithm for Assembled ASTERIX Data

Long Bin, Li Jianhong

CAAC Chongqing Air Traffic Control Branch, Chongqing 400000

**Abstract :** ASTERIX is a data transmission format developed by Euro Control organization, which is widely used in the fields of civil aviation air traffic control, military, navigation and so on. At present, there are many algorithms for decoding ASTERIX data. This paper proposes a unique assembly ASTERIX general decoding algorithm, which can realize the decoding of all CAT type ASTERIX data through modular assembly, and takes C++ language as an example. This algorithm is different from other algorithms in that it can decode and access the lowest level data of ASTERIX without the need of user secondary decoding.

**Keywords :** ASTERIX; general; decoding; assembly; modular; slot; plug-in

ASTERIX (通用结构化欧控监视信息交换) 是 Euro Control 组织开发的一种数据传输方法, 广泛用于雷达等监视数据的传输。在民航空管中, 广泛用于一 / 二次雷达、场面监视雷达、ADS-B、多点定位、综合航迹等监视信息的输出。

本人查阅了大量 ASTERIX 各类文档, 研究出一种 ASTERIX 数据解码算法。运用这种方法, 可以实现对 ASTERIX 所有 CAT 类型数据的通用解码。该方法相对于传统算法有以下几个优点:

1. 组装方式简单。基于组装方法, 实现无限层级组装, 容易理解和实现。
2. 前后向兼容。算法充分满足 ASTERIX 规范要求规定的对 CAT 类型的前后向兼容。
3. 深度解码。可以实现对 ASTERIX 定义的最底层数据, 无需用户二次解码。
4. 对字段和元素高低位进行翻转。ASTERIX 数据在传输过程和处理过程中存在字节高低位问题, 该算法在处理过程中对字段高低位进行了合理化反转, 方便用户进行后续处理。
5. 该算法保留多层级的 FSPEC 元素, 方便用户判断该字段是否存在。
6. 低代码引用。以 C++ 为例, 最终用户只需要三行代码, 即可完成注入数据的解码。

## 一、ASTERIX 基本数据结构分析

在欧控规范监视数据交换第一章中, 规定了一个 ASTERIX 数据由 CAT、LEN 和数据记录组成。数据记录又由 FSPEC 和各数据字段组成。FSPEC 表示以位为单位标识每一个字段是否存在。通过查阅大量 ASTERIX 文档, 笔者发现, 在实际的 CAT 类型中, 由于欧控官方在各文档的字段类型方面不够严谨, 比如未对 1+ 和 1+1+ 类型的区别进行说明、未对 a+ 类型类型进行分类等, 笔者实际参考多个 CAT 文档总结出来的数据字段类型, 不同于官

方<sup>[1]</sup>定义, 分类如下:

1. 固定长度类型。比如: 1个字节、3个字节、8个字节等。
2. 可变长度类型, 可变长度类型又分为 4 类:
  - 1) FSPEC 类型, 定义。
  - 2) a+ 类型, a+ 类型又分为两种:
    - a. 扩展 a+ 类型: 如 CAT048 类型中的 Target Report Descriptor。
    - b. 重复 a+ 类型: 如 CAT048 类型中的 Warning/Error Conditions 是 1+ 类型、CAT062 中的 Composed Track Number

作者: 龙滨 (1976.03-), 男, 汉族, 重庆市巫溪县人, 大学本科 (研究生学位), 高级工程师, 研究方向: 空中交通管理通信、导航、监视。



则未进行定义名称。因此，为保证唯一性，笔者采用对父节点和子节点命名的方法，比如：“Category”表示 cat 类型，”FSPEC”表示顶层的 Fspec，“Data Source Identifier”表示数据源标识符项，“Flight Plan Related Data FSPEC”表示 Fspec 下层的 FSPEC。这样，我们就可以通过当前节点的父节点和子节点名称（该 CAT 类型中，要求所有插槽和插件名称不相同），就能确定到当前唯一节点，以取代了 Asterix 文档中的 data item 名称的方式。

三、数据项的基本结构

数据结构封装完毕后，整个数据都是空的，需要注入相关的 CAT 数据才能获取到数据项。

为保存每个数据项，我们定义了一个 DATA ITEM 容器。该类型容器结构和数据结构的复合体，既可以定义插槽，也可以定义插件。所有的插槽、子插槽和插件均用该容器进行定义。其结构如下：

表 1 ASTERIX 基本数据项结构

DATA ITEM 数据项	含义及作用
数据列表	容器，用于存储该数据项的字节数据
数据类型	包含 5 种基本类型：1.Cat 类型，2. 长度类型 Len，3.FSPEC 类型 4. 基本数据项类型，5.LINK 类型
项目名称	本节点数据项名称
项目父名称	父节点数据项名称
总长度	本数据项的总长度
数据项存在状态	包括三种状态：存在、不存在、未知
CAT 数据	数据类型为 CAT 类型时，存储 CAT 类型
LEN 数据	数据类型为 LEN 类型时，存储该数据包或容器总字节长度
数据长度类型	包含三种基本类型：固定长度、a+ 类型、a+b*n 类型（ASTERIX 文档中只存在 1+b*n 类型，此处用 a 代替 1 是考虑未来可能的不规则写法）
数据头部长度	对于固定长度，等于固定长度 对于 a+ 类型，等于 a 对于 a+b*n 类型，等于 a
是否长度扩展	对于固定长度类型，等于 false 对于 a+ 类型，等于 true 对于 a+b*n 类型，等于 true
乘数	对于 a+b*n 类型，等于 b
重复次数	对于 a+b*n 类型，等于重复次数 n（该值从具体数据获取）
Fspec 类型	1. 普通 FSPEC 2. LINK 类型，用于保留扩展 FSPEC，保留扩展的 fspec 的第一个数据为 len 长度 =1，同普通的 fspec 不同
子节点列表	容器，用于存储下一层的所有子节点

上述的数据成员中的“子节点列表”，也就是插槽，是用于存储下一层的所有节点。我们只需要将下一层的每个节点插入到这个列表，即可实现整个结构数据的封装，在 c++ 中可以通过

vector<DataItem> 来实现这个树形结构的封装。

从上面的数据项定义可见，最上层是数据包 package，其中子节点列表中封装了三个数据：CAT、LEN 和 FSPEC。在 FSPEC 中，我们又可以将下一层的数据插入到这个列表中。通过这种方式，我们可以实现任何复杂的数据类型的封装。

四、对 CAT 数据基本格式进行结构定义

为实现访问到 ASTERIX 的最底层数据，也就是元素，我们需要按照 ASTERIX 的具体文档进行对该 CAT 类数据进行定义，以 C++ 为例，我们可以在 CAT048 头文件中定义一个 CAT048 类型<sup>[9]</sup>：

```
class Cat048Data {
Public:
Struct Fspec {
BYTE fx1:1;
BYTE radarPlotCharacteristics:1;
...
BYTE dataSourceIdentifier:1;
BYTE fx2:1;
...
BYTE calculatedAcceleration:1;
...
} fspec;
struct DataSourceIdentifier
{
BYTE SIC;
BYTE SAC;
} dataSourceIdentifier;
...
struct ModeSmbData
{
BYTE REP; // 重复次数
ModeSmbDataItems *modeSmbDataItems; // 用指针可存储
多个项
} modeSmbData;
}
```

这样，对我们的一个对象实例，如 cat048Instance，在数据解码后，则可以直接通过如 cat048instance.dataSourceIden-tifier.SIC 方式直接对最底层元素进行访问。对于重复性的如 a+bn 的结构，我们可以通过 cat048Instance.modeSmbData.ModeSmbDataItems[i].MB 来访问某个重复数据的元素。

这样就实现了对最底层数据的访问。对于其他编程语言，可以采用相应的类代替上述的 struct。

五、数据的解码

我们需要实现将实际数据进行注入和解码。我们可以对第二

节封装的数据包的树形结构进行遍历处理，在遍历的过程中，根据数据结构的定义，将 cat 实例的各数据进行填充。

我们在 asterix.h 文件中定义了 DataItem 结构（见第三节），还需要定义一个 Asterix 类，用于对数据结构进行初始化、具体数据项处理和数据解码<sup>[3]</sup>。

```
class Asterix
{
public:
    Cat048Data cat048data;
    ...
    virtual vector<DataItem> initDataItemList();
    virtual void processDataItemList(vector<DataItem>::iterator
or iter);
    void dataParser(vector<DataItem> *packageDataItemList,
    BYTE *datas);
    ...
};
```

这里设计了虚函数 initDataItemList()，用于初始化某 CAT 类型的数据结构封装（见第三节），并生成一个 packageDataItemList 树形结构。

这里的 dataParser()，通过封装的 packageDataItemList 的树形数据结构定义，将实际数据进行注入，通过对该结构进行遍历，解码出各个数据，并将各数据填入到 cat 类对象的实例的数据列表中。由于 ASTERIX 的最底层元素的解码是没有任何一个统一规律，因此，对最底层数据的解码要逐项进行进行，因此我们设计了 processDataItemList() 虚函数，用于处理各具体的数据项，需要在继承该 Asterix 类的具体 CAT 类中实现。

上述的 initDataItemList() 和 processDataItemList() 由于必须结合具体 CAT 结构定义和数据具体来实现，因此设置为虚函数，是必须在 CAT 类中予以实现。

根据第二节 ASTERIX 数据的数据结构组装，可以看到，整个数据必须安装 CAT 文档定义的顺序进行组装。因此，在 dataParser() 函数中，我们分两个阶段对数据进行处理，第一步根据 packageDataItemList 中定义的数据结构对树形节点进行遍历，根据 FSPEC 定义的数据是否存在，和数据类型和数据长度，确定该各数据项的具体内容，将具体的字节数据置入数据列表。由于组装过程是安装定义顺序的，因此遍历过程也是顺序执行的。初次遍历完成后，所有的数据都存入了 packageDataItemList 中。此时进行再次遍历，将 packageDataItemList 中各数据项的值写入到 cat 类型实例中。最终对解码出来数据的访问是通过 cat 类型实例来获取的。

```
void Asterix::dataParser(vector<DataItem> *package-
DataItemList, BYTE datas[])
{
    int position = 0;
    initTraversal(packageDataItemList, datas, &position);
    processTraversal(packageDataItemList);
```

```

}

    在 initTraversal() 中，我们注入的数据，并对树形结构进行
    遍历，进行首次解析处理。

    void Asterix::initTraversal(vector<DataItem> *dataItem-
    List, BYTE *datas, int *position)
    {
        for (vector<DataItem>::iterator iter = dataItemList->
    begin(); iter != dataItemList->end(); ++iter) {
            if (iter->dataType == IS_CAT && iter->existed ==
    EXISTED_TRUE) { //category 类型
                ...
            } else if (iter->dataType == IS_LEN && iter->existed ==
    EXISTED_TRUE) { //len 类型
                ...
            } else if (iter->dataType == IS_FSPEC && iter->existed
    == EXISTED_TRUE) {
                ...
                if (iter->fspecType == IS_VARIABLE_LENGTH_FSPEC) {
    // 是普通的变长 fspec
                    ...
                    initTraversal(&iter->subdataItemList, datas, position); //
    继续遍历
                } else if (iter->fspecType == IS_FIXED_LENGTH_FSPEC)
    { // 保留扩展字段 fspec
                    ...
                    initTraversal(&iter->subdataItemList, datas, position); //
    继续遍历
                }
            } else if (iter->dataType == IS_BASIC_DATA && iter->
    existed == EXISTED_TRUE) {
                if (iter->dataLengthType == IS_DATA_ITEM_FIX-
    LENGTH) { // 固定长度数据
                    ...
                } else if (iter->dataLengthType == IS_DATA_ITEM_A-
    PLUS) { // 变长，a+ 的情况
                    ...
                } else if (iter->dataLengthType == IS_DATA_ITEM_A-
    PLUS_B_N) { //a+bn
                    ...
                }
            } else if (iter->dataType == IS_LINK && iter->existed ==
    EXISTED_TRUE) { // 链接，不做处理，继续遍历
                ...
                initTraversal(&iter->subdataItemList, datas, position); //
    继续遍历
            }
        }
    }
```



```
}
```

主要思路是每个层级对每个数据项进行遍历，如果数据项类型是 FSPEC 或 LINK，则继续往下遍历，否则就终止遍历，回到上层继续处理。通过这种遍历，我们可以根据当前数据的 position，确定当前数据的相关数值，并写入到当前数据项 iter 中。

以上将注入的数据全部都放到了 packageDataItemList，最后一步就是要再次进行遍历，packageDataItemList 中的数据转到 CAT 实例中。此处需要在 catxxx.cpp 中实现 processDataItemList() 函数。

以 cat048 为例，进行如下处理：

```
void Cat048::processDataItemList(vector<DataItem>::iterator iter)
{
    // 顶层的 CAT 类型和 LEN 在初始化时已处理，只需从 fspec 开始处理
    if (iter->fatherName == "PACKAGE" && iter->itemName == "FSPEC") {
        setFspec(iter);
    }
    if (iter->fatherName == "FSPEC" && iter->itemName == "Data Source Identifier") {
        {
            setDataSourceIdentifier(iter);
        }
        ...
    }
}
```

上述处理过程中，我们可看到，我们处理一个某一个指定的数据包，是通过父节点名称和自身名称来判断的。

以 setDataSourceIdentifier(iter) 为例，以下简单介绍处理过程（处理方式可自行设计）：

```
void Cat048::setDataSourceIdentifier(vector<DataItem>::iterator iter)
{
```

```
    BYTE* arr = new BYTE[iter->totalLength];
    copy(iter->dataByteList.begin(), iter->dataByteList.end(),
arr);
    memcpy(destination, arr, iter->totalLength);
    delete []arr; // 释放 arr 内存
}
```

通过上述内存拷贝方式，将数据传入给了 cat048Data 实例，后续就可以通过 cat048Data.dataSourceIdentifier.SIC 进行数据访问。

## 六、极简的数据解码过程

最终，用户只需要以下三行代码，就可以实现对某 CAT 类型的 ASTERIX 数据包进行解码：

```
Cat048 asterixCat048;
vector<DataItem> package = asterixCat048.
initDataItemList();
asterixCat048.dataParser(&package, datas);
使用时，只需要 asterixCat048.cat048Data.dataSourceIdentifier.SIC 即可获取解码后的原始数值。当然，解码后，如果用户需要将经纬度等原始数据进行一些格式转换，可以自行进行处理。
```

## 七、总结

该解码算法是一种通用 ASTERIX 解码方法，不针对特定 CAT 类型。笔者通过上述算法，完成了 cat048 的 C++ 解码样例，并同组织完成对最新版本 cat010 和复杂的 cat062 进行了解码。通过编写 asterix 类，让 Cat 类继承 Asterix 类，并在 Cat 类的方法中，实现该类型的数据封装和具体数据项处理。极大降低了解码的难度。同时，对于用户来说只需要 3 行代码即可完成数据的深度解码。由于采用了父节点和子节点名称的命名方式确定唯一节点，完全做到了前向后兼容。

采用该方法，将极大地简化整个解码过程，并方便用户引用。

## 参考文献

- 
- [1] EUROCONTROL Specification for Surveillance Data Exchange – Part 1 – All Purpose Structured EUROCONTROL Surveillance Information Exchange (V3.1).
  - [2] EUROCONTROL Specification for Surveillance Data Exchange – ASTERIX Part 4 – Category 048: Monoradar Target Reports(v1.32).
  - [3] EUROCONTROL Specification for Surveillance Data Exchange – ASTERIX Part 4 Appendix A Category 048: Monoradar Target Reports – REF(V1.12).

# 高压电动机自动化控制原理及电气调试技术

刘玮瑾

国家电投集团山西铝业有限公司, 山西 原平 034100

**摘要：**随着智能制造理念的深入，高压电机的自动化控制呈现出智能化、网络化、绿色化的发展趋势。这对电机故障诊断、节能优化、状态监测等环节提出了更高要求，传统的自动化控制理论和方法亟需创新突破。同时，电气调试作为电机投运前的关键环节，其技术水平也需紧跟自动化控制的发展步伐，通过与现代传感技术、智能算法的深度融合，实现调试过程的自动化和智能化，提升电机运维效率和可靠性。

**关键词：**高压电动机；自动化控制原理；电气工程；电气调试技术

## Principles of Automation Control and Electrical Debugging Technology for High Voltage Electric Motors

Liu Yijin

State Power Investment Corporation Shanxi Aluminum Industry Co., Ltd. Yuanping, Shanxi 034100

**Abstract：** With the deepening of the concept of intelligent manufacturing, the automation control of high-voltage motors presents a development trend of intelligence, networking, and greening. This poses higher requirements for motor fault diagnosis, energy-saving optimization, and status monitoring, and traditional automation control theories and methods urgently need innovative breakthroughs. At the same time, as a key link before the motor is put into operation, the technical level of electrical debugging also needs to keep up with the development pace of automation control. Through deep integration with modern sensing technology and intelligent algorithms, the automation and intelligence of the debugging process can be achieved, and the efficiency and reliability of motor operation and maintenance can be improved.

**Keywords：** high voltage electric motor; principles of automation control; electrical engineering; electrical debugging technology

### 一、高压电动机自动化控制原理

#### （一）多模态协同控制的实现机制

高压电动机自动化控制涉及多个物理量的调节，如转速、转矩、磁通、电流等，这些量之间存在着内在耦合关系，传统的单变量控制方式难以同时满足各性能指标<sup>[2]</sup>。多模态协同控制的基本思想是综合考虑各物理量的耦合机理，通过合理的解耦算法和协调机制，实现对不同控制模式的统一调度。其中，转速控制和转矩控制是两种最基本的控制模式<sup>[3]</sup>。系统根据工况需求，动态切换控制模式，并协调两种模式的平滑过渡，既可保证控制性能，又能兼顾系统稳定性。

#### （二）自寻优参数整定的计算方法

PID 控制是高压电动机控制系统中的基本控制环节，其参数整定的优劣直接影响控制品质。传统的 PID 参数整定多采用 Ziegler-Nichols 频率响应法等，难以兼顾调节品质和鲁棒性能。自寻优参数整定是一种智能化的参数优选方法，它以某一性能指标（如积分绝对误差 IAE）为目标函数，利用优化算法（如遗传算法、粒子群算法）在参数空间内搜索最优参数组合<sup>[4]</sup>。该方法可在线实时整定 PID 参数，且具有全局寻优能力，能够克服传统整

定方法的局限性，实现控制系统性能的自适应优化。

#### （三）故障诊断与容错控制的决策逻辑

由于高压电动机功率大、作用重要，一旦发生故障可能造成严重损失。因此其控制系统必须具备故障诊断与容错控制能力。故障诊断通过对电机电气量和机械量的实时监测，提取故障特征信息，并利用故障树分析、专家系统决策等方法，实现故障类型和严重程度的判别<sup>[5]</sup>。容错控制则是在准确诊断的基础上，根据预设的决策逻辑，及时采取相应的容错措施，如降额运行、超限保护、安全停机，最大限度地减小故障影响。同时还可启动冗余备份或重构控制通道，保证系统的可靠运行。

### 二、高压电动机电气调试技术

#### （一）绝缘诊断技术

高压电动机绕组绝缘性能的优劣直接关系到电机的安全运行和使用寿命。在电气调试过程中，必须采用科学、先进的绝缘诊断技术对电机绕组的绝缘状态进行全面评估。其中，常用的诊断方法包括绝缘电阻测试、交流耐压试验、局部放电测试、极化指数测试和介电损耗测试等。通过绝缘电阻测试，可评估绕组绝缘

作者简介：刘玮瑾（1991.01—），汉族，山西省大同市人，大学本科，助理工程师，研究方向：电气工程及其自动化。

材料的基本电阻水平；交流耐压试验可考核绝缘在工频高压下的耐受能力；局部放电测试可检测绕组内部存在的绝缘缺陷和薄弱点；极化指数测试可判断绝缘受潮气和污秽程度；介质损耗测试可诊断绝缘老化和劣化程度。在实际诊断中，需根据电机绕组的材料特性、绝缘等级、运行工况等因素，合理选用诊断方法和判据，并综合分析各项指标，科学评估绝缘性能。此外，还应关注绝缘缺陷的类型、分布和发展趋势，为制定检修策略提供依据。只有通过先进可靠的绝缘诊断技术，才能及时发现高压电机绕组的绝缘隐患，预防事故发生，确保电机长周期安全运行。

## （二）振动分析技术

高压电动机在运行过程中不可避免地会产生机械振动，而振动的大小、频率和形态都蕴含着电机机械状态的重要信息。因此，振动分析技术在高压电机电气调试中占据着至关重要的地位。通过采集电机关键部位的振动信号，并运用先进的信号处理和特征提取方法，可以准确诊断出电机的各种机械故障。例如，通过对振动信号进行时域波形分析，可判断振动的类型和严重程度；通过频谱分析，可根据振动频率成分的分布，确定故障部位和类型；通过阶次分析，可诊断转子不平衡、不对中等问题<sup>[9]</sup>；通过包络谱分析，可检测轴承、齿轮的早期微小缺陷。此外，先进的模态分析技术可通过测试电机结构的固有频率和振型，揭示振动产生的内在机理，为优化电机结构设计、消除共振提供依据。在实际振动分析中，需根据电机的类型、速度、功率等参数，合理设置传感器的布点、采样率等，并综合运用多种分析方法，全面解译振动信号所包含的信息。

## （三）热态试车技术

热态试车是高压电动机出厂前的全面性能考核，其目的是在额定工况下验证电机的电气和机械性能是否满足设计要求。试车过程涉及无功调压、负载模拟、温升测试、效率测试和振动噪声测试等多种关键技术。其中，无功调压技术通过调节励磁电流实现电机平滑启动和电压调节；负载模拟技术通过变频调速、磁粉制动等方式模拟实际负载特性；温升测试通过热电偶记录关键部位温度，评估散热和绝缘性能；效率测试通过分析输入输出功率和各类损耗，评估电机节能性能；振动噪声测试则用于考察机械安装质量和电磁设计合理性。热态试车综合运用电气、机械、热工、测试等多领域技术，严格依据标准规范，全面考核高压电动机性能指标，是电气调试中的关键环节。

# 三、高压电动机自动化控制技术应用

## （一）绝缘诊断技术在智能状态监测中的应用

传统的定期下线绝缘测试已无法满足现代工业对设备可靠性和运维效率的要求。通过在电机线圈和铁芯的关键部位布置在线局放传感器、泄漏电流传感器等，并将其接入自动化控制系统，可实时获取绝缘状态数据。控制系统采用机器学习算法，对海量监测数据进行特征提取和智能分析，构建绝缘老化趋势预测模型，及时发现潜在绝缘故障，优化检修周期<sup>[7]</sup>。这种融合了先进传感技术、数据分析与自动控制的智能监测方法，开辟了高压电机

运维管理的新途径。

例如，在某大型石化企业的高压电机绝缘在线监测项目中，技术人员在每台电机定子绕组的汇线端子和铁芯上安装了高频局放传感器，在引出线和接地端之间接入泄漏电流采集装置，并通过工业以太网将数据传输至监控中心。自动化控制系统采用小波分析和支持向量机算法，对局放和泄漏电流信号进行降噪、特征提取和故障模式识别。同时，系统还结合温度、湿度等环境因素，建立了绝缘老化速率预测模型。当监测数据异常或预测结果超标时，系统自动向值班人员发送警报，生成隔离工单。在试运行期间，系统成功预警了两起潜在绝缘故障，避免了事故发生，为企业节省了大量检修成本。

将绝缘诊断技术纳入高压电机自动化控制体系，通过智能算法赋能，可显著提升设备运维效率和可靠性。这需要电气工程师精通传统的绝缘测试方法，还要熟悉自动化控制系统的集成开发，掌握机器学习等数据分析技能，以适应智能制造时代的新要求。

## （二）振动分析技术在设备故障智能诊断中的应用

振动分析技术作为设备故障诊断的利器，其与自动化控制的融合正成为高压电动机智能运维的新趋势。传统的离线振动测试难以全面反映电机的动态特性，而现代振动传感技术与自动化控制系统的完美结合，则为实现电机故障的在线智能诊断提供了新思路。通过在电机关键部位布置高精度加速度传感器、速度传感器等，可连续采集多维度振动信号。自动化控制系统利用信号处理和机器学习算法，对振动大数据进行特征提取、模式识别和趋势预测，构建起电机故障诊断知识库和推理模型，实现从数据到决策的无缝链接，大幅提升故障诊断的精度和效率<sup>[8]</sup>。

振动分析技术在智能故障诊断中的应用，可以遵循以下技术路线：首先，根据高压电机的类型和结构特点，优化振动传感器的选型和布点方案，确保信号的完整性和代表性；其次，将采集到的振动信号通过工业总线传输至自动化控制系统，并进行预处理和特征提取，常用的方法包括全波形分析、频谱分析、包络分析等；再次，采用支持向量机、卷积神经网络等智能诊断算法，对振动特征进行分类和回归分析，建立从特征到故障模式的映射关系<sup>[9]</sup>；最后，将诊断结果与电机运行工况、历史维修记录等数据相融合，形成故障溯源和预测模型，并及时将诊断信息反馈给控制系统，动态优化运行参数，实现故障的预防控制。

工程师既要精通机械设计、信号处理等基础理论，又要熟练运用自动控制和人工智能技术，构筑起多学科交叉的知识体系，以创新的思维和务实的作风，推动高压电机的智能化运维向纵深发展。

## （三）热态试车技术在电机节能优化控制中的应用

热态试车作为高压电动机出厂前的重要检验手段，其获得的宝贵数据若能与自动化控制技术充分融合，传统的电机节能控制多依赖于经验模型和静态参数，难以适应电机实际运行工况的动态变化。而热态试车过程中获得的温升、损耗、效率等数据，则为构建电机能效动态评估模型提供了可靠依据<sup>[10]</sup>。将这些数据与自动化控制系统实时交互，运用智能优化算法动态优选控制参

数,可在满足工艺需求的同时最大限度提升系统效率,实现电机节能运行与自动调优的完美结合。

在热态试车阶段,应在电机定子绕组、铁芯、轴承等部位布置高灵敏度温度传感器,同时使用高精度功率分析仪对电机输入输出功率进行测量,并连续记录冷却系统的运行参数。试车结束后,将获得的结构化数据导入自动化控制系统,并结合有限元仿真模型,构建电机效率与温升、负载、转速、冷却效率等变量之间的函数关系。在实际运行中,控制系统可实时采集电机工况参数,代入节能优化模型进行滚动计算,动态确定最佳工况区间,并自动调节电源电压、励磁电流等输入量,使电机始终在高效区运行。同时,系统还可根据负载预测信息,提前优化控制策略,减少频繁调节带来的能量损耗。

电气工程师应转变传统的节能控制理念,充分发掘热态试车数据的价值,运用现代控制理论和智能优化算法,构建自适应、实时的电机节能控制系统。

四、结束语

综上所述,高压电动机自动化控制和电气调试技术的发展,是智能制造时代电气工程创新的重要方向。自动化控制系统正从传统的定型化、刚性化向智能化、灵活化演进,这要求电气工程师不仅要精通电机拖动、电力电子等传统理论,还要熟练运用现代控制、人工智能、大数据分析等前沿技术,构建跨学科的知识体系。同时,电气调试也正经历从经验化、离线化向智能化、在线化的变革,绝缘诊断、振动分析、热态试车等调试数据正成为自动化控制不可或缺的重要输入,为实现高压电机全生命周期的智能运维奠定了数据基础。展望未来,电气工程师应以开放创新的理念,加强产学研用的协同攻关,加快推进电气调试与自动化控制技术的融合应用,为高压电机的安全、高效、节能运行提供坚实保障,助推我国工业高质量发展。

参考文献

[1] 谢明浩. 浅谈高压电机的自动化控制技术原理及电气调试技术 [J]. 中国设备工程, 2022(4):3.  
[2] 陈梁昊. 采煤机记忆截割自动化控制工作原理 [J]. 机械管理开发, 2022(006):037.  
[3] 李建宁. 高速空心杯电动机控制技术研究 [D]. 山东理工大学, 2023.  
[4] 张玉宇. 自动化仪器仪表与控制技术分析 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(4):238-239.  
[5] 胡亭. 电力系统自动化控制中的标准化智能技术应用探讨 [J]. 科技资讯, 2024, 22(15):66-68.  
[6] 刘玉军. 高压电器设备的自动化控制及调试要点探究 [J]. 流体测量与控制, 2022, 3(3):61-64.  
[7] 邵文良. 高压电机及开关电气试验自动化系统设计及数据处理 [J]. 科技创新与应用, 2023, 13(23):124-127.  
[8] 程国栋, 王华平, 夏晶晶. 高压绕线电动机转子变频调速技术研究 [J]. 工矿自动化, 2018, 44(8):81-86.  
[9] 杨青松, 李玉平, 张玮, 等. 高压变频系统电动机保护方案研究 [J]. 华电技术, 2016, 38(12):6-8.  
[10] 黎明焱. PLC 控制在工业自动化中的应用 [J]. 通信电源技术, 2023, 40(3):83-86.



# 滑模技术在水利水电施工中的应用浅探

轩亚英

中国水利水电第三工程局有限公司，陕西 西安 710024

**摘 要：** 随着水利水电工程规模的不断扩大和技术要求的日益提高，传统施工方法在效率和质量上逐渐暴露出局限性。滑模技术作为一种新兴的施工手段，以其独特的连续浇筑特性和高效的施工流程，逐渐受到广泛关注。该技术不仅可以使混凝土结构的建筑质量得到显著提高，而且可以使建筑周期得到有效缩短，降低工程造价。本文旨在探讨滑模技术在水利水电施工中的应用，通过分析其原理和优势，揭示滑模技术如何在实际工程中提升施工效率和结构安全性，为今后的研究和实践提供参考。

**关 键 词：** 水利水电施工；滑模技术；应用

## Application of Sliding Mode Technology in Water Conservancy and Hydropower Construction

Xuan Yaying

China Water Resources and Hydropower Third Engineering Bureau Co., Ltd. Xi 'an, Shaanxi 710024

**Abstract：** With the continuous expansion of the scale of water conservancy and hydropower projects and the increasing technical requirements, traditional construction methods have gradually exposed their limitations in efficiency and quality. Sliding mode technology, as an emerging construction method, has gradually gained widespread attention due to its unique continuous pouring characteristics and efficient construction process. This technology can not only significantly improve the construction quality of concrete structures, but also effectively shorten the construction period and reduce project costs. This article aims to explore the application of sliding mode technology in water conservancy and hydropower construction. By analyzing its principles and advantages, it reveals how sliding mode technology can improve construction efficiency and structural safety in practical engineering, providing reference for future research and practice.

**Keywords：** water conservancy and hydropower construction; sliding mode technology; application

### 一、滑模技术的概述

#### （一）滑模技术的原理

滑模技术是与传统的固定模板建造方法不同的一种技术，这种技术通常采用预先设定好的定型模板，通过牵引设备配合施工进度，使模板移动起来。在应用该项技术时，首先，施工人员在混凝土工程建设的初期阶段，会对一系列固定大小的模板进行设置。这些模版一般都是有标准的尺寸，这样便于后续建设的顺利进行。其次，由施工人员逐层向套槽内浇筑混凝土，从模板的上口开始施工。在此过程中，为了保证混凝土的均匀性和结构的稳定性，每一层混凝土浇筑厚度一般都在 30cm 以内。随着浇筑的混凝土，为了使混凝土的均匀度和结构的稳定性，模板最底层的混凝土会逐渐开始凝固。再者，当这些混凝土达到一定的强度，足以承受后续施工的重量和压力时，施工人员就会启动牵引装置，这时就可以将模板沿已经浇筑成型的混凝土构件或滑框进行牵引，使模板向上滑行。此过程可重复进行，施工人员在每次滑动后，都会不断地浇筑混凝土，直至完成整个工程结构的施工。<sup>[1]</sup>

#### （二）滑模技术的优势

在水利水电建设中，滑模技术呈现诸多优越性，第一，显著提高施工效率。采用滑模技术可减低模板安装拆卸时间及缩短施工总循环，无需拆模便可以连续浇筑滑模施工，从而达到缩短整体建造周期目的。特别是大型结构水泥结构的修建，滑模工艺可以使工期降低很多，从而提高工程经济利益。第二，能够有效管控混凝土的质地。该技术保证了混凝土在浇筑过程中的整齐性及密实度，避免了在传统的浇灌过程中出现的分层、蜂巢等质量缺陷，是一种很好的施工技术。而且滑模技术的温度控制系统可以帮助减少混凝土的温度差，防止造成温度裂缝，从而使结构的使用年限得以延长，这也是目前国内比较流行的施工工艺。第三，有效提高施工安全性。应用该项技术可以减小工人高空作业的频段，也可以降低施工过程中的事故发生率。同时因此该项技术的适应性和柔韧性都很强，所以在应用过程中可以大大降低板架失稳等问题，从而使得工地的安全隐患得以减少。第四，滑模技术具备良好的适应性和灵活性。其设计可根据施工环境的不同和工程要求的不同而作适当的调整，适用于各种地形、气候等复杂的地形地貌。而这种弹性又使滑模技术在满足各种工程需要的水利水电项目。<sup>[2]</sup>

作者简介：轩亚英（1990.05-），女，汉族，河南临颍人，本科，职称：助理工程师，研究方向：市政工程，水利水电工程。

## 二、滑模技术在水利水电施工中的应用

### （一）滑模的安装与调试

第一，保证水利水电工程建设平稳进行的关键一环是滑模系统的安装。首先，保证滑模的水平度与垂直度均与规定要求相一致。施工人员需要做好基本的结构的测量和放样的工作。其次，并且为了保证它的强度和刚度，一般都会根据设计图来采用钢结构或者铝合金等作为滑模材料。再者，为了保证各个连接件的刚度和刚度的紧固度，需在地面上组装模具，这样就可以避免由于集中的应力而造成的模具变形的情况发生。此外，在滑模的装夹过程中，用定位销或者夹具固定，保证每个构件的配合精度。在安装的时候要注意到滑模之间的衔接空隙，这样才能避免由于水泥浆的渗漏而导致结构强度受到的影响。最后，模具的校正是在初步安装之后才能开始的，利用水准仪或 Laser 水平仪来侦测滑模的整体水平方向的，并将滑模调整到设计高度。

第二，到正式施工之前，在滑模系统安装完毕以后，调试是必不可少的一步。在调试过程中，为了保证滑模在施工过程中能平稳滑动，应当对滑模的运动性能进行检查，包括对滑轨系统进行调整，并对滑轨的平整度和光滑度进行检查，这样才能保证在升降过程中滑模不会卡滞。为了减少摩擦阻力，与此同时，还要合理设定液压系统的压力和流量，这样才能保证模具在升模的时候受力均匀，避免模具因为升降不均而产生倾斜现象。<sup>[3]</sup> 此外，液压系统的密封性检查要在调试过程中加以重视，防止因为油液外泄而影响升降效率。最后，实施负荷试验。滑模系统在实际运行状态下，通过模拟施工条件，检测其稳定性及承载力。在各不同工况下都要进行负载测试，保证极端条件下滑模的安全。

### （二）混凝土浇筑

混凝土浇筑是滑模施工中的重要环节，涉及多个步骤和技术要求。第一，要求混凝土的配比达到满足设计的要求，这样便可保证其流动性与强度良好。为了使混凝土的功能性及耐久性达到相应要求，工作人员需根据特定的施工条件以及按照国家标准来选择合适的水泥、骨料以及外加剂等，保证材料的品质。第二，在浇筑之前要将滑模内表面上仔细清理干净，保证没有杂质，这样就不会对混凝土的附着性产生影响。为了消除混凝土内的气泡，保证它的密实度，在浇筑的时候要用振动器来完成。其中，振动要有均匀，避免由于振动过多而导致结构的整体性能受到影响，导致混凝土分离的问题发生。而且混凝土浇筑要遵循浇灌的匀称、连续原则。为避免混凝土早期凝固，浇筑高度应根据滑模升降速度作合理安排。第三，为了保证混凝土的温度控制，尤其是高温环境下需要采取相应的降温措施，如在混凝土中加入冰块或采用遮阳措施，以保证混凝土在浇筑时的温度控制，防止由于温度太高造成的混凝土强度损失。第四，在进行浇筑混凝土的时候，为了保证混凝土在滑模中的流动性，浇注时要控制浇水的速度。并且合理使用泵送设备或输送带减少由于人为操作而造成不确定因素，使得混凝土可以均匀地送入滑模。第五，混凝土浇筑完毕后，为了防止混凝土表面平整、美观，需要做好表面处理，用抹子平整光滑地处理表面。为防止干缩、裂缝的产生，还

应及时采取养护措施。一般采用覆盖塑料薄膜或喷洒养护剂的方式进行养护，使混凝土表面保持湿润状态。<sup>[4]</sup>

### （三）提升与移动滑模

滑模的提升与移动是滑模施工中的关键环节，直接影响工程进度和施工质量。第一，在滑模提升之前，为了确保设备处于正常工作状态，需要对包括液压系统的压力、油液的清洁度和密封性进行全面的检查。并且为了保证滑模在升降过程中的稳定性，还要根据工程设计要求，设置合理的提升速度。第二，合理使用液压提升装置，控制提升的均匀性、同步性。液压系统在升降过程中要配置压力传感器和流量控制阀，对压力变化进行实时监控和调节，并根据实际情况对系统参数进行动态调整，保证滑模在各个阶段都能受力均匀，避免倾斜或失稳现象的发生。第三，工作人员需要经常检查提升过程中滑模连的接部位，保证各接头具有很好的紧固状态。在提升前，为了减少摩擦力，提高滑动效率，应当要对滑模底部与混凝土之间的界面做好润滑工作。针对不同的建筑环境，要选择合适的润滑材料，保证持久的润滑作用。第四，为了防止滑模在运动中产生移位或变形，应采取多点支撑措施。<sup>[5]</sup> 为了保证滑模沿着预定轨迹移动，移动时应采用轨道或导向系统。针对大型滑模，为了提高移动的精确性和安全性，建议采用自动化控制系统。移动过程中，要对滑模的位移情况进行监控，保证在误差允许的范围内运行。第五，滑模达到设计高度后，为了保证其在后面的浇筑混凝土期间具有稳定的稳定性，必须进行固定。为了抵抗外部荷载的作用，固定要采用支撑架或锚固装置。在布置支撑点的时候，要根据荷载的分布，合理地安排支架的布置，这样才能保证每个支架点都能有效的承受相应的荷载。<sup>[6]</sup>

### （四）滑模拆除

滑模拆除是水利水电施工中重要的工序，涉及对滑模系统的安全和有效去除。

在拆除之前，施工人员需要做好混凝土强度测试工作，保证混凝土结构与规定强度标准相符，且达到设计要求。为此，在实际工作中可以采取试块检测等方法来对混凝土强度与拆除条件是否相符进行确认。并且拆除时要对滑模各连接部位进行全面检查，确认没有出现破损、松动的现象。而且需要逐一检查液压系统和滑模的机械连接处，以确保混凝土结构在拆卸过程中不会受到破坏。在实际拆除过程中，需要按照系统流程来进行。一是滑模固定装置要逐步放松，保证各接点受力均匀，防止滑模变形或因局部受力不均而损坏。拆卸作业可用专用工具器材，保证作业安全高效。其次，为了保证重心稳定，减少滑模对混凝土表面的干扰，通常应从上到下、从外到内循序渐进地进行。对于大型滑移模型，为减轻整体重量，提高拆卸安全性，建议分段拆卸。在拆卸过程中，每一步都要监控到位，确保安全、可控地完成拆卸工作。<sup>[7]</sup>

## 三、优化滑模技术在水利水电施工中应用效果的策略

### （一）科学选择滑模材料

首先，应优先考虑材料的强度与刚度。选用高强度钢材或增

强塑料作为滑模材料，能够有效提高模具的承载能力，降低变形风险。确保材料在重载条件下依然保持良好的几何稳定性是关键。其次，防水性能也是材料选择的重要指标。因为在水利工程中，环境水分含量较高，所以要选用防水性能优良的材料。如：可有效防止水分渗透的是防水涂层或复合材料。再者，要兼顾材料的抗腐蚀性。因为腐蚀性介质常存在于水利水电工程中，所以可以采取表面镀锌或防腐涂层等表面处理技术，或是使用耐腐蚀合金材料，以有效抵御外界环境的侵蚀，延长滑模使用寿命。另外，选择具有良好热膨胀特性的材料。在温度变化较大的施工环境中，为避免温差引起的变形或裂缝，应使用与混凝土接近的热膨胀系数。<sup>[8]</sup>最后，在抗磨损方面，为减少施工过程中因摩擦产生的损耗，选用耐磨性较高的材料。表面硬化处理或合成材料的使用，使滑模的耐磨性得到有效的改善，使用周期延长，保养频率降低。

### （二）改进液压系统的设计与配置

液压系统在滑模技术应用中起着至关重要的作用，其设计与配置的优化对施工效率与安全性有显著影响。第一，液压系统的选型要与工程的具体需要结合起来。施工人员要合理选择液压泵的流量、压力参数，以达到滑模的重量和升降高度，保证系统在运行过程中的平稳性和高效性。同时采用能降低能源损耗，提高工作效率的高效液压泵及执行元件。第二，要遵循简便、高效的原则来设计液压管路。一方面要对管道进行科学布置，减少接驳点和弯头，减少输送过程中液压油的损耗及渗漏风险。二是选用耐高压、耐蚀能力高的液压管材，使体系的可靠性及安全性得到很好的提高。并且，还要做好管路的固定，避免因运行过程中的振动或撞击造成的管路松垮或折断的问题出现。第三，做好动态监控工作。液压系统的实时监视调节可以通过 PLC 控制系统采用先进的自动控制技术实现。通过液压压力及流量的变化及时响

应这种智能控制的手段来改善系统的反应速度和精度。而且通过合理设置报警与安全保护的机制，一旦出现异常，可以迅速切断液压系统，从而规避意外的发生。第四，落实液压系统检修、检修。建立经常性的系统检查制度，综合评定液压油洁净程度、管道封路、液压元器件磨损等。如果发现损坏零部件要及时更换，使系统处于一个很好的工作状态中。<sup>[9]</sup>

### （三）实施严格的质量控制措施

在水利水电施工中，实施严格的质量控制措施对滑模技术的应用至关重要。首先，应建立完善的质量管理体系，制定详细的质量控制规范与标准。在滑模设计、装配式混凝土浇筑及拆除各个环节，要做到质量要求明确，保证各阶段均按既定标准开展。其次，必须从严落实养护措施。为了防止在固化过程中产生裂缝或是混凝土出现不够强度的情况，要根据施工环境的不同选择合适的养护模式。对混凝土表面状态要经常巡视，这样才能在整个养护期内保持适宜的湿度及温度。再次，建立质量反馈机制，施工现场要及时采集质量资料。分类分析存在的质量问题，查找原因，制订相应的整改措施，确保控制措施的有效性。<sup>[10]</sup>在水利水电施工当中不断严格质量控制，提高滑模技术应用效果，保证工程的安全性及稳定性。

## 四、结束语

总之，滑模技术在水利水电施工中的应用，为行业带来了显著的创新与变革。通过提升施工效率、优化混凝土质量和降低资源浪费，该技术有效满足了现代水利工程对精度和高要求。展望未来，随着技术的不断进步和管理模式的优化，滑模技术必将在水利水电领域发挥更加重要的作用，为推动工程建设的可持续发展提供强有力的支持。

## 参考文献

- [1] 谢文昊. 护坡滑模施工技术在水利工程中的应用 [J]. 四川水泥, 2024(4):160-161.
- [2] 钱德虎. 滑模技术在水利水电施工中的运用重点探讨 [J]. 中华建设, 2023:162-164.
- [3] 柳辉, 郑亚伟. 滑模技术在水利水电工程施工中的应用探究 [J]. 装饰装修天地, 2023:202-204.
- [4] 姜鹏, 张莲香. 水利工程斜坡护面施工中简易滑模技术的应用分析 [J]. 世界家苑, 2023(15):168-170.
- [5] 水利水电施工中的滑模施工技术分析 [J]. 吴建军. 中国住宅设施, 2019(11).
- [6] 滑模技术在水利水电施工中的运用重点探讨 [J]. 马清新. 工程建设与设计, 2020(05).
- [7] 滑模技术在水利水电工程施工中的应用 [J]. 杨立兵. 工程建设与设计, 2022(05).
- [8] 滑模技术在水利水电施工中的应用 [J]. 袁伟. 中国新技术新产品, 2021(11).
- [9] 浅谈液压滑模施工技术在水利水电工程施工中的应用与研究 [J]. 梁成福; 黄未来. 智能城市, 2019(09).
- [10] 水利水电施工中滑模技术的应用探析 [J]. 范士军; 李二霞. 黑龙江水利科技, 2018(06).

# 升降驾驶室升降过程冲击大的分析和改进

廖彦专

广西柳工机械股份有限公司, 广西 柳州 545007

**摘 要 :** 升降式驾驶室由于机动性能好、操作简单、视野开阔等特点, 被广泛应用于抓料机中。国内外各大品牌抓料机对于可升降驾驶室的控制, 普遍使用开关电磁阀进行控制, 本文针对该控制方法和策略在实际应用中存在的升降过程冲击问题, 进行探究和分析, 并提出一种新改进方案和思路。

**关 键 词 :** 抓料机; 升降驾驶室; 比例阀; 控制

## Analysis and Improvement of the Lifting Process of Lifting Cab

Liao Yanzhuan

Guangxi Liugong Machinery Co., Ltd. Liuzhou, Guangxi 545007

**Abstract :** Lift cab is widely used in grimachine because of its good mobility, simple operation and wide vision. The paper generally uses the switch solenoid valve to control and lift the cab. This paper explores and analyzes the impact problems of the lifting process, which exist in the practical application of the control method and strategy, and puts forward a new improvement scheme and idea.

**Keywords :** grip machine; lift cab; proportional valve; control

### 前言

抓料机<sup>[1]</sup>凭借着其回转速度快、抓取范围广等特点, 被广泛应用于港口、码头、钢厂、铁路货运、木材加工厂等各个领域的物料转运、收集、堆高、抓取工况, 并深受客户青睐。由于抓料机对“更高、更深、更远”的作业范围有着更高的要求, 可升降驾驶室已经成为其标配的功能之一(见图一)。通过可升降驾驶室的辅助作用, 使得驾驶员在作业时有了更开阔的视野, 把抓料机“更高、更深、更远”的作业特点更好的发挥出来, 提升作业效率。与此同时, 驾驶室升降过程的体验感和舒适度也越来越受到客户的关注。

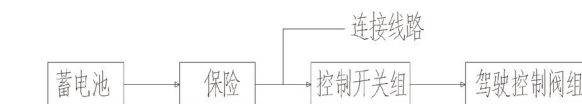


> 图一: 配置升降驾驶室的抓料机

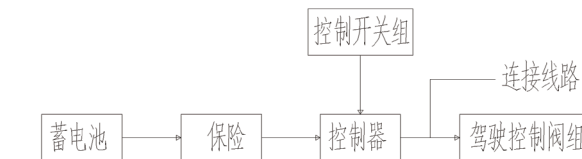
### 一、非比例阀控制升降驾驶室系统组成

非比例阀控制升降驾驶室<sup>[2]</sup>系统一般由控制器、操作开关、开关电磁阀组、连接电路、液压主泵、液压油缸、连接管路等主要零部件及控制程序组成。机器正常启动后, 发动机或者电动机驱动过联轴器带动液压泵工作, 为整个驾驶室控制系统<sup>[3]</sup>提供驱动力; 操作者在驾驶室端操作驾驶室上升/下降开关, 开关信号给到控制器, 控制器收到升/降动作指令后给对应的电磁阀执行输出控制, 电磁阀控制的油路接通, 液压油流经驾驶室升/降油路系统, 推动液压油缸伸出或者收缩, 实现驾驶室上升/下降的控制。由于该套系统是开关电磁阀控制, 是一种非0即1的工作状态, 在电磁阀得电或者失电的瞬间, 会突然接通油路或者切断油路, 给升降驾驶室在启动或者停止的瞬间带来比较大的冲击, 极大的影响了操作者的舒适度。

作者简介: 廖彦专(1989.10—), 男, 壮族, 广西象州人, 本科, 中级职称, 研究方向: 挖掘机电气系统设计与研发。



> 图二: 非比例阀控制驾驶室升降系统 (一)



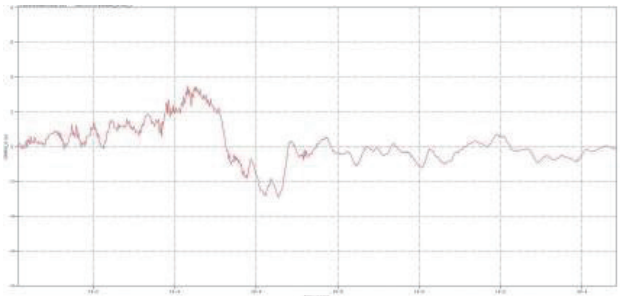
> 图三: 非比例阀控制驾驶室升降系统 (二)

### 二、非比例阀控制升降驾驶室系统测试

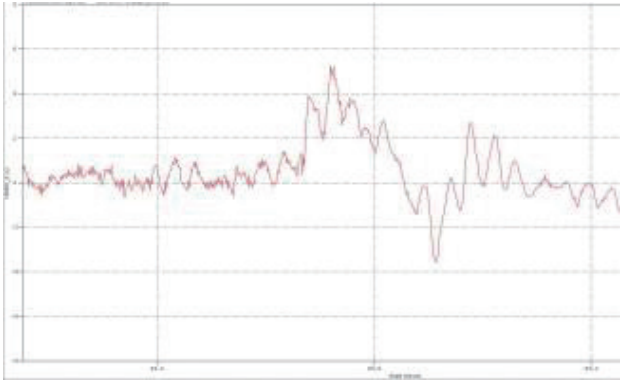
分别对驾驶室升降<sup>[4]</sup>过程的6个位置点即上升过程的最低点、最高点、中间点以及下降过程的最低点、最高点、中间点进行了



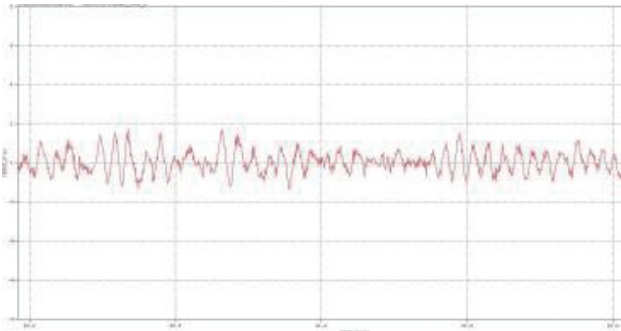
振动测试并记录。在驾驶室上升过程中，无论在最低点、中间点的哪一个位置，只要是驾驶室的运动状态发生变化，即驾驶室从静止状态到运行状态，或者从运行状态到静止状态，操作者在驾驶室内明显感觉到强烈的推背感或者冲击感，驾驶室升到最高点停止时，冲击感更加明显。在驾驶室下降的过程中，无论在最低点、中间点的哪一个位置，只要是驾驶室的运动状态发生变化，即驾驶室从静止状态到运行状态，或者从运行状态到静止状态，操作者在驾驶室内明显感觉到强烈的失重感或者冲击感，驾驶室降到最低点停止时，冲击感更加明显。通过以上的几组数据对比发现：无论驾驶室处在何种位置、无论驾驶室是在上升或者下降的过程，只要是驾驶室的运动状态发生变化，驾驶室在状态变化的瞬间，会伴随着明显的推背感、失重感、冲击感，对操作者的舒适度造成了不小的影响。



> 驾驶室最低位置振动曲线



> 驾驶室中间位置振动曲线

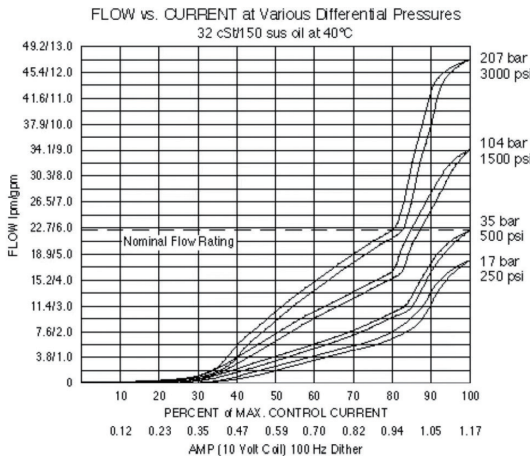


> 驾驶室最高位置振动曲线

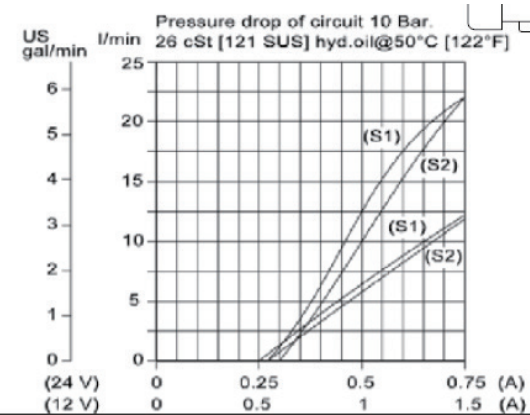
### 三、比例阀控制升降驾驶室系统组成

比例阀控制升降驾驶室系统<sup>[6]</sup>在开关阀控制系统<sup>[6]</sup>基础上，将开关电磁阀组替换成比例电磁阀组，新增检测驾驶室上升/下降

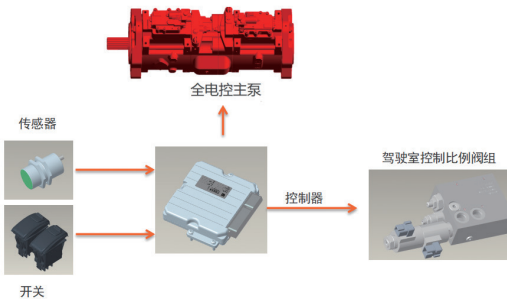
到位的接近开关以及全新的控制程序；此外，其他主要零部件和开关阀控制系统的零部件保持一致。机器正常启动后，发动机或者电动机通过联轴器带动液压泵工作，为整个驾驶室控制系统提供驱动力；操作者在驾驶室操作驾驶室上升时，控制器不会立即给驾驶室上升比例电磁阀输出最大工作电流<sup>[7]</sup>，而是会通过一定斜率信号，工作电流由最初的最小值在一定的时间内由逐步给到最大值，这个过程保证驾驶室在启动的瞬间冲击<sup>[8]</sup>降到尽可能低，确保操作者的舒适度；在驾驶室准备升至最高位时，驾驶室上升到位接近开关<sup>[9]</sup>接收到信号并反馈给控制器，控制器开始按一定斜率降低比例电磁阀的输出电流值，并使其保持在一个固定值，确保驾驶室平稳停止，最大程度降低驾驶室停止过程带来的冲击感，提升了操作者的舒适度。同时，通过程序控制，使得驾驶室无论处于最高点、最低点或者最高点和最低点之间的任意位置，在驾驶室运动状态发生变化时，均能保证驾驶室能够平稳的过渡。



> 图四：升降阀组工作电流曲线



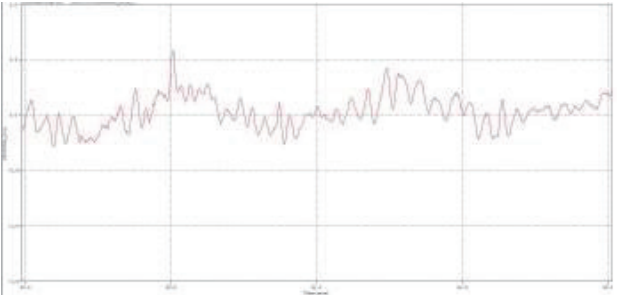
> 图五：升降阀组的工作特性曲线



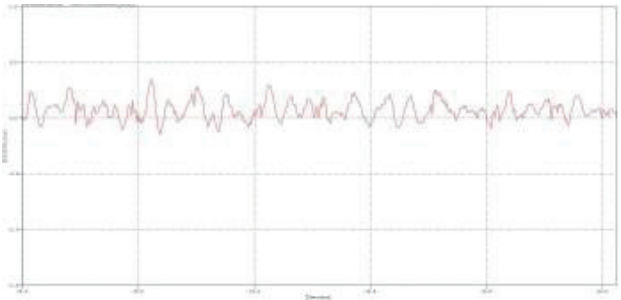
> 图六：比例阀控制驾驶室升降系统

四、比例阀控制升降驾驶室系统测试

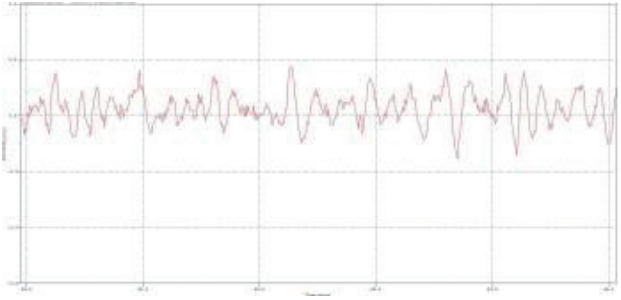
为了方便和非比例阀控制的升降驾驶进行数据和结果对比，在驾驶室相同的位置进行了同样的测试并记录。在驾驶室上升过程中，无论驾驶室处在最低点、中间点的哪一个位置，驾驶室的运动状态发生变化时，驾驶室运行速度均能够缓慢平稳的逐渐加至最大，操作者在驾驶室内部几乎没有感到推背感或者冲击感<sup>[10]</sup>，驾驶室升到最高点停止时，驾驶室也能够缓慢平稳的减速并最终停止。在驾驶室下降的过程中，无论在最低点、中间点的哪一个位置，只要是驾驶室的运动状态发生变化，操作者在驾驶室内几乎没有感到失重感或者冲击感，驾驶室降到最低点停止时，驾驶室也能够缓慢平稳的减速并最终停止。通过以上的几组数据对比发现：无论驾驶室处在何种位置、无论驾驶室是在上升或者下降的过程，只要是驾驶室的运动状态发生变化，驾驶室在状态变化的瞬间，驾驶室的速度均能够缓慢平缓的过渡，并且驾驶内部的操作者操作体验感较好，没有感受到明显的冲击感、失重感以及推背感。



> 驾驶室最低位置振动曲线



> 驾驶室中间位置振动曲线



> 驾驶室最高位置振动曲线

五、小结

本文针对现有抓料机驾驶室升降控制系统启动、停止过程的冲击问题，提出一个新的解决思路，通过实验数据分析以及实车的测试对比，在驾驶室启动 / 停止瞬间冲击方面比例阀控制升降驾驶室系统比非比例控制升降驾驶室系统明显得到良好的改善，为驾驶室升降控制系统提供一种新的解决方案。

参考文献

[1] 胡恒强; 李亚东; 殷钟鈔. 浅析四连杆机构式升降驾驶室及其应用 [J]. 建筑机械, 2022, (01): 82-85.

[2] 张玉萍; 杨甜甜; 杨一; 罗晓庆. 基于 SAPAD-QFD 的施工升降机驾驶室设计研究 [J]. 包装工程, 2024, (02): 88-98+117.

[3] 邵金龙. 商用车驾驶室举升系统的介质选用研究 [J]. 中国设备工程, 2020, (21): 99-101.

[4]. 中国制造可升降驾驶室液压挖掘机下线 [J]. 起重运输机械, 2014, (08): 95.

[5] 秦军强. TRT 机组电液比例阀控制系统的应用 [J]. 冶金设备管理与维修, 2014, 32(6): 36-37. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5644.2014.06.017.

[6] 徐磊, 苏会杰. 液压挖掘机控制系统方案设计 [J]. 建筑工程技术与设计, 2018(30): 707.

[7] 陈岩, 元斌, 许力杰. 电磁阀原理及其限值电流的快速计算方法 [J]. 液压气动与密封, 2021, 41(8): 94-96. DOI: 10.3969/j.issn.1008-0813.2021.08.025.

[8] 陈作炳, 张政, 阳小松. 挖掘机驾驶室顶板抗冲击性能分析及结构改进 [J]. 装备制造技术, 2011(4): 3-5. DOI: 10.3969/j.issn.1672-545X.2011.04.002.

[9] 陈锁发. 浅议接近开关的分类及应用 [J]. 装备制造技术, 2012(11): 54-56. DOI: 10.3969/j.issn.1672-545X.2012.11.021.

[10] 丛晓妍. 挖掘机驾驶室舒适度评价 [D]. 山东: 山东大学, 2011. DOI: 10.7666/d.Y2003705.

# 国网单位充电桩网络建设的挑战与对策

章燕, 成先平, 陈春梅

荆州三新供电服务有限公司, 湖北 荆州 434000

**摘要：** 本文论述国网单位充电桩网络建设现状，主要从建设规模和布局、技术水平和标准及运营模式和管理进行分析，对其在建设规划、运营管理及电力供应方面存在的挑战进行深入剖析，提出优化建设规划和健全技术标准体系等具有针对性的建议，以期为国网单位充电桩网络建设可持续发展起到一定借鉴作用。

**关键词：** 国网单位；充电桩网络建设；挑战；对策

## Challenges and Countermeasures in the Construction of State Grid Charging Pile Network

Zhang Yan, Cheng Xianping, Chen Chunmei

Sanxin Power Supply Service Co., Ltd. Jingzhou, Hubei 434000

**Abstract：** This discusses the current situation of the construction of the State Grid charging pile network, mainly analyzing the construction scale and layout, technical level and standards, and operation mode management. It delves into the challenges in construction planning, operation management, and power supply, and proposes targeted suggestions such as optimizing construction planning and improving the technical system, in the hope of providing some reference for the sustainable development of the State Grid charging pile network construction.

**Keywords：** state grid; charging pile network construction; challenge; countermeasures

### 引言

在电动汽车市场快速发展的背景下充电桩网络建设已经成为支持电动汽车推广的关键基础设施，其中国网单位对充电桩网络的构建起到了至关重要的作用，但构建过程也遇到了很多的挑战。对上述挑战进行深入研究并提出应对措施，对促进充电桩网络建设高质量发展有着十分重要的意义。

## 一、国网单位充电桩网络建设现状

### （一）建设规模与布局

截止到目前，国网各单位已经建设了上千个充电桩，其中种类丰富，既有慢充交流桩也有快充直流桩。与此同时其分布地区广，城市核心地区商业中心和写字楼周围都有数量众多的充电桩来满足上班族每天充电的需要；沿高速公路服务区每间隔一段距离就安装一个快充桩以保证电动汽车的长途跋涉；重要的交通枢纽，例如火车站和汽车站也有所布置，以便于乘客在转乘过程中充电；一些旅游景区还逐渐修建了充电桩以改善旅游者的出行体验<sup>[1]</sup>。

### （二）运营模式与管理

#### 1. 充电桩的运营管理主体及职责分工

国网单位在充电桩运营管理中处于主体地位，负有全面职责。内部成立若干专业部门协同配合，包括规划部门对充电桩建设项目进行前期规划与选址并结合市场需求与电网布局拟定合理建设方案等；采购部门对设备进行采购并对高质量充电桩供应商进行严格筛选，以保证设备质量及性能达到要求；安装调试部门

对充电桩进行现场安装调试，以保证设备的正常使用；运维服务部门负责对充电桩进行日常检修及故障抢修工作来确保用户能在任何时候都能正常使用。

#### 2. 运营模式，如自营、合作运营等

国网各单位以自营模式为主来实现充电桩施工、运行及维护全过程管控，并且通过自主运营更能保证服务质量及充电设施安全。与此同时也应积极地与其他公司进行合作经营，比如与一些房地产开发商一起在新开发的住宅小区内修建充电桩以达到资源共享、优势互补的目的；联合部分大型商业综合体对商业区域内电动汽车用户充电来完善商业配套设施<sup>[2]</sup>。

## 二、充电桩网络建设面临的挑战

### （一）建设规划挑战

#### 1. 与城市发展规划的协调性不足

充电桩建设通常没有充分考虑到城市土地利用规划和交通规划问题。以部分城市新区为例，充电桩的布局并没有与新开发的

作者简介：章燕（1978.07-），女，汉族，湖北荆州人，本科，从事电气自动化专业，技术员。

住宅小区和商业中心等同步进行,给居民及消费者带来了充电的不方便。与此同时一些建在老旧城区的充电桩,由于场地的限制和安装地点的不尽合理,既影响了市容市貌又会妨碍交通<sup>[3]</sup>。另外充电桩建设同城市公共交通枢纽联系不密切,不能满足城市之间和地区之间电动汽车方便出行的需要。

## 2. 区域建设不平衡

沿海城市等经济发达地区充电桩建设较为密集,可基本满足本地电动汽车充电需求,但中西部部分经济欠发达地区的充电桩却严重缺乏。在农村地区充电桩的建设显得尤为薄弱,这主要是因为基础设施建设相对落后、电力供应不够稳定的情况,再加上居民对购买和使用电动汽车的意愿相对较低,这些因素共同导致了充电桩建设的动力不足。这种区域建设的不均衡制约着电动汽车在我国的推广与普及,同时也加剧了区域间发展的差异。

## (二) 技术标准挑战

### 1. 标准不统一

当前国内充电设施市场上的技术标准五花八门,从充电接口上看各品牌类型电动汽车充电接口的外形、大小及电气参数都不相同,导致一些充电桩并不能与各类型汽车相适应,为用户提供了很大的不便<sup>[4]</sup>。同时通信协议标准不一致还造成充电桩和电动汽车通信不畅并不能进行有效信息交互及充电控制;另外不同的安全标准也使部分充电桩存在着安全性隐患,对用户生命和财产安全构成威胁。

### 2. 技术更新换代快

在科学技术高速发展的今天,充电技术也在不断地推陈出新,举例来说快速充电技术已从最初的几十千瓦扩展到如今的数百千瓦甚至更高的功率输出,这大大减少了充电所需的时间。与此同时一些新兴的技术如无线充电技术和智能充电管理系统逐渐脱颖而出,国网单位在技术研发、设备更新等方面都需要持续的资金投入与人力才能满足上述技术变化的要求。但技术更新换代速度太快,使早期修建的充电桩有可能会迅速面临技术淘汰而导致资源浪费。

## (三) 运营管理挑战

### 1. 运营成本高

充电桩建设所需资金投入巨大,主要涉及设备购置费用、土地租赁费用和安装施工费用等。以中等规模充电站为例,其建设成本大概在几百万元,并且在运营期间,电力成本占比很大,特别是商业用电价格偏高区域使其充电运营利润空间被挤占。另外设备的维护成本不容忽视,充电桩需定期检验与维护才能保证正常工作;与此同时人工成本和管理费用等越来越高也会造成充电桩运营的总体费用较高<sup>[5]</sup>。

### 2. 用户体验有待提升

有些充电桩质量不稳定,常发生故障而造成用户不能正常充电,其中充电速度太慢也是使用者反映比较多的一个问题,尤其是一些陈旧的充电桩,充电时间太长就会影响使用者的使用效率。与此同时支付方式也缺乏多样性与便捷性,部分充电桩只支持特定充电卡或者某种移动支付等方式单一支付方式,对用户造成了支付烦恼。另外充电桩周围服务设施不够齐全,缺少必要的

指示标识、休息场所及卫生间也对使用者造成了不便。

## (四) 电力供应挑战

### 1. 电力容量不足

在电动汽车保有量急剧上升的今天,电力需求也在以几何级数递增,部分城市老旧居民区、商业区原有电力基础设施能力有限,不能满足海量充电桩同步运营需要。比如在某些老旧小区中多台电动汽车同时进行充电时会造成电压下降和跳闸的情况发生,从而影响到居民的正常生活和用电<sup>[6]</sup>。同时一些城市中心城区因电力负荷已接近饱和状态,新充电桩接入面临更大难度,电网需大规模升级,它不仅要求投入巨大资金而且涉及繁杂的工程施工与协调工作。

### 2. 电力负荷波动大

电动汽车充电存在显著的随机性与间歇性且用户充电时间与充电量预测难度较大。用电低谷时段充电桩利用率低、电力资源空闲;而且用电高峰时大量电动汽车的集中充电将造成电力负荷的剧增而对电网造成很大的压力。这类电力负荷剧烈波动给电网调度带来较大困难并可能造成电网频率波动和电压失稳,从而影响电网安全平稳运行;尤其是夏季气温高、冬季严寒等用电高峰时段,电网自身负荷更大,其电动汽车充电负荷叠加又进一步增加电网运行风险<sup>[7]</sup>。

## 三、应对充电桩网络建设挑战的对策

### (一) 优化建设规划

#### 1. 加强与城市规划的协同

建立常态化沟通协调机制国网各单位及城市规划部门经常召开讨论会能够对城市发展趋势、电动汽车增长预测等进行分析。在城市新区的建设上要预先为充电桩的建设留出场地并结合公共停车场和商业中心的规划进行站点布局,如新建大型商场地下停车场按一定比例计划设置充电桩车位以方便购物和充电。同时针对老城区改造问题要充分利用闲置土地或者对既有停车场进行改建、新增充电桩设施,通过增加充电桩覆盖率来降低充电设施不完善造成交通拥堵和能源浪费等问题。

#### 2. 促进区域均衡发展

制定区域差异化发展战略要对经济欠发达地区及农村地区加大政策倾斜与资金投入力度,通过建立专项建设基金对上述区域充电桩建设及运营成本进行补助;并且深入开展“充电桩到农村去”活动来根据农村居民出行特点及用电需求,将充电桩沿农村集市、乡镇政府驻地及主要交通干道合理布设<sup>[8]</sup>。同时加强同当地企业及政府合作,在农村地区利用闲置厂房和仓库等建集中式充电站对农村电动汽车用户进行充电;另外通过组织培训活动、宣传推广等方式提升当地市民对于电动汽车、充电桩等产品的认同度与接受程度,以便能够推动电动汽车向农村地区推广。

### (二) 完善技术标准体系

#### 1. 推动标准统一

积极参加国家及行业标准制定十分重要,通过国网各单位组织专业技术团队对国内外充电设施技术标准进行了深入调研,并



根据国情提出前瞻性、可行性标准建议能够强化与全国各大充电桩生产企业合作，联合建立产品统一标准及接口规范。同时要搭建充电桩标准兼容性试验平台，严格测试市面上充电桩产品是否达到统一标准，对达不到标准要求的，要督促其整改或者淘汰，以便能够推动充电设施市场规范发展；在此基础上还应该加大标准宣传与普及力度，增强业内对于统一标准的理解与贯彻。

2. 加强技术研发与创新

加大技术研发投入力度要建立专门研发机构与创新实验室，重点发展智能充电、高效储能、无线充电等前沿技术领域；并且与大学、科研机构合作产学研项目攻克技术难题。以智能充电技术为例，其研究开发了基于大数据及人工智能充电策略，针对电动汽车电池状态、用户出行习惯及电网负荷等因素进行个性化智能充电。与此同时在高效储能技术中对新型电池材料及储能系统进行了研究，以提高储能效率及寿命，并为充电桩稳定工作提供了保证。另外要积极进行国际间的技术交流和合作，介绍国外充电先进技术及经验来促进国内充电桩技术创新发展<sup>[9]</sup>。

（三）提升运营管理水平

1. 降低运营成本

对采购流程进行优化，采用集中招标和批量采购相结合的方式能够降低充电桩设备的采购成本，并与设备供应商进行长期的合作以获得较优惠价格及售后服务等。施工过程中采取标准化的设计与施工来提高施工效率、降低施工成本，同时在充电桩场地租赁方面要主动征求场地所有者意见并采取合作分成和长期租赁优惠的灵活多样租赁方式以减少租赁费用。除此之外还可采用物联网和大数据建立智能化运维管理平台以实现充电桩远程监控、故障诊断及预防性维护等措施来降低人工巡检费用，提升运维效率；在此基础上还能够进行充电桩共享运营模式以提高充电桩使用率和降低运营成本。

2. 改善用户体验

强化充电桩设备质量控制要构建严格质量检测体系来实现充电桩生产、安装和调试全过程监控。充电桩的定期维护与更新保证了充电桩性能的稳定与充电速度的提高，在优化后的支付系统支持包括微信、支付宝、银联在内的各种支付方式，做到了无现金的轻松支付。同时引入会员制度及优惠活动给用户带来积分和优惠等福利以增加用户满意度；在此基础上还要完善充电桩外围配套，充电桩站点设休息区、卫生间和便利店等给用户一个舒适

的环境。

（四）保障电力供应稳定

1. 增强电力容量

密切配合电力部门进行电力需求预测及电网规划，要依据充电桩建设规划及电动汽车保有量的增长态势，对电力需求进行了合理评价并编制了相关电网升级改造方案。同时加强变电站、输电线路及其他电力基础设施建设与改造来增强电网供电能力与可靠性，比如在电动汽车集中充电区域加装专用变压器、配电柜等保障电力供应。另外还要大力推广智能电网技术、电网、充电桩双向互动、智能调控，通过设置智能电表和电力传感器对电网负荷及充电桩工作状态进行实时监控，并依据电力供需平衡自动调节充电桩输出功率以避免电网过载<sup>[10]</sup>。

2. 平抑电力负荷波动

普及智能充电、有序充电等技术并利用充电桩管理系统同用户手机 APP 或者车载终端进行交互，在用电低谷时段对用户进行充电指导；如对用户低谷时段进行充电实行优惠电价、鼓励错峰充电等。同时运用大数据分析 with 预测技术实现电动汽车充电负荷的准确预测、电网运行方式的预先调整以及电力资源的合理配置，在此基础上开发分布式能源及储能技术，为充电桩站点分配太阳能光伏发电系统和储能电池以便在存储过剩电能的同时释放在用电高峰时电力负荷削峰填谷。另外还建立了电力需求响应机制以激励用户参与电网调峰并通过调节充电时间或者减小充电功率来减轻电网压力以确保电力供应稳定。

四、结语

国网单位充电桩网络的建设对促进电动汽车产业发展和推动能源转型有着十分重要的意义。在建设过程中尽管遇到了建设规划、运营管理以及电力供应方面的诸多挑战，但是通过采用优化建设规划来健全技术标准体系、提高运营管理水平能够确保电力供应稳定的应对措施才能有效地应对上述挑战，使充电桩网络建设得以可持续发展。在今后的发展过程中伴随着科技的不断进步以及政策的深入扶持，国网各单位要不断加强充电桩网络建设，持续提升建设质量以及服务水平，给电动汽车用户带来更方便，更有效，更可靠的充电，其对中国绿色交通发展及能源转型起到更大的促进作用。

参考文献

[1] 张秀云, 陈举. 贵州省充电站、充电桩覆盖全部 1145 个乡镇 [J]. 农村电工, 2023,31(11):3.  
[2] 湖南岳阳公司: 推进乡村充电网络建设 [J]. 农村电气化, 2023,(06):76.  
[3] 湖南岳阳: 推进乡村充电网络建设 [J]. 农电管理, 2023,(06):4.  
[4] 李永兴. 欧美电动汽车充电网络建设正在加速 [J]. 汽车纵横, 2021,(06):96-98.  
[5] 杨玉艳. 充电桩网络建设对新能源汽车产业发展的影响 [J]. 企业观察家, 2020,(08):71-72.  
[6] 孙静, 卢献国. 河南能源监管办: 推动充电网络建设有序发展 [J]. 中国电业, 2020,(08):60.  
[7] 丁晓伟, 王占全, 王建兴, 等. 基于储能系统的公交充电网络建设优化方案 [J]. 农村电气化, 2018,(07):61-63.  
[8] 张萌, 张卫宁. 为绿色出行发电——国网濮阳供电公司推进充电桩建设工作纪实 [J]. 河南电力, 2021,(11):26-27.  
[9] 张文博. 国网 J 省公司充电桩备品备件网络库存配置策略研究 [D]. 北京交通大学, 2020.  
[10] 姜爽, 沈贞海. 国网金华以“绿色充电”助“畅享通途” [N]. 中国经济导报, 2024-06-22(004).

# 工程招投标过程中造价核算方法及问题分析

龚婷

中国水电基础局有限公司, 天津 300170

**摘要：** 在当前的建筑领域中，工程招投标过程中的造价核算对于整个建筑项目的成功至关重要。这是因为造价核算不仅关系到项目的预算控制，还直接影响到投标的竞争力和项目的最终利润。因此深入研究和分析造价核算方法及存在的问题，对于提高工程招投标的效率和质量具有重要意义。本文针对于此首先对工程造价核算方法进行概述，阐述了造价核算在招投标过程中的作用，并针对实际投标中存在的问题提出了相对应的优化策略，期望能为工作招标核算方法的优化提供帮助。

**关键词：** 工程招投标；造价核算方法；核算问题；造价核算优化

## Cost Accounting Method and Problem Analysis in Project Bidding Process

Gong Ting

China Hydropower Infrastructure Administration Co., LTD. Tianjin 300170

**Abstract：** In the current construction field, the cost accounting in the process of engineering bidding is crucial to the success of the entire construction project. This is because the cost accounting is not only related to the budget control of the project, but also directly affects the competitiveness of the bid and the final profit of the project. Therefore, in-depth research and analysis of cost accounting methods and existing problems are of great significance for improving the efficiency and quality of project bidding. Aiming at this, this paper first summarizes the engineering cost accounting method, expounds the role of cost accounting in the bidding process, and puts forward corresponding optimization strategies for the problems existing in the actual bidding, hoping to provide help for the optimization of the work bidding accounting method.

**Keywords：** project bidding; cost accounting method; accounting problems; optimization of cost accounting

## 引言

造价核算方法的准确性与合理性在工程招投标过程中，是确保项目顺利进行的基础。然而由于当前建筑市场的复杂性和多变性，使得造价核算面临着诸多挑战。例如材料价格波动、劳动力成本变化、设计变更以及政策法规的更新等，都可能对造价核算产生影响。此外招投标双方信息不对称、预算编制的不规范以及核算人员的专业能力不足等问题，也常常导致造价核算结果的不准确，进而影响投标的公正性和项目的经济效益。

## 一、工程造价核算方法概述

### （一）工程量清单计价法

工程量清单计价法是一种在近近年来被建筑行业广泛采用的计价方式，它的应用原理是通过详细列出工程项目的各个组成部分的量和单价，来计算整个工程项目的总造价。该方法的核心在于对项目造价清单的编制，它要求对工程的每一个细节进行量化，这些细节具体应包括材料、人工、机械使用等，然后就可以根据市场行情或预先约定的价格标准来确定每个项目的单价。

### （二）综合单价法

综合单价法是一种将工程量清单中的每一项工程内容的直接费、间接费、利润和税金等费用综合在一起，形成一个综合单价的工程造价核算方法。这种方法在如今的工程造价应用中，进一步帮助工作人员简化了计算过程，便于快速报价和结算。例如假设某建筑公司需要对一栋住宅楼的主体结构进行造价核算。首先工程量清单会详细列出所有需要施工的项目。然后公司会根据市场行情计算出每一项工程内容的直接费用。接着根据公司的管理费用、利润目标和行业规定的税率，计算出间接费、利润和

作者简介：龚婷（1988.11-），女，汉族，甘肃省武威市人，工程硕士，工程师，研究方向：工程造价。

税金<sup>[1]</sup>。

### （三）定额计价法

定额计价法是一种传统的工程造价核算方法，这种方法的由来可以追溯到20世纪初，当时相关部门为了统一和规范建筑市场，开始制定统一的工程定额标准。定额计价法通过将工程量与相应的定额单价相乘，从而得出整个工程的造价。定额计价法在如今的建造行业应用中的主要优势在于其标准化和规范化。它能够根据不同工程提供一个相对公平和统一的计价基准，便于造价的比较和控制。其次定额计价法在工程造价中操作较为简单，对于当前的建造企业中大量初学者和非专业人士来说更容易理解和应用。

## 二、造价核算在招投标过程中的作用

### （一）确保预算的准确性和合理性

近些年来在建筑市场竞争的日益激烈背景下，使得当前企业应用造价核算方法在招投标过程中的作用变得愈发重要。这是因为造价核算可以帮助企业进一步确保预算的准确性和合理性。如果企业在招投标阶段能够进行准确的预算，则能帮助投标单位合理评估项目成本，进而避免因预算过高而失去竞争力，或因预算过低而无法覆盖实际成本导致项目亏损。例如在某大型商业综合体的建设招投标过程中，造价工程师就是通过详细分析市场材料价格、人工成本以及机械使用费等，来为投标单位提供了一份详尽的预算报告。最终该投标单位凭借其合理的预算报价和高质量的施工方案成功中标，项目完成后也证明了预算的准确性，为建设方节约了大量成本<sup>[2]</sup>。

### （二）提高投标竞争力和中标几率

企业招标时准确的造价核算不仅能够帮助自身合理控制成本，还能提高投标竞争力和中标几率。举例来说当建筑企业在参与一项大型基础设施项目的投标时，如果招标设计师可以通过精细化的造价核算来计算出项目的直接成本、间接成本以及可能的风险成本，就可以帮助企业在制定投标报价时既能保证报价具有竞争力，又能确保在项目实施过程中不会因成本估算不足而陷入财务困境。由此可以看出造价核算在招投标过程中的重要性，它不仅关系到企业的经济效益，更是企业赢得市场竞争的重要手段。

### （三）避免项目实施过程中的成本超支

经济的快速发展和城市化进程的加速之下，使得建筑行业面临着前所未有的机遇与挑战。在机遇方面，由于市场需求的持续增长为建筑企业提供了广阔的发展空间。而在另一挑战方面，激烈的市场竞争、资源成本的上升以及环保要求的提高，都对建筑企业的管理水平和成本控制能力提出了更高的要求。在这样的背景下造价核算在招投标过程中的作用显得尤为重要。在实际应用中，企业还发现造价核算在避免项目实施过程中的成本超支方面也发挥着关键作用。企业通过造价核算使得自身可以在招投标阶段就对项目成本进行严格控制，这一举措不仅为项目预算提供了基础，还为后续的成本控制和财务监控提供了依据，确保项

目能够在预算范围内顺利进行，避免因成本超支而导致的项目亏损<sup>[3]</sup>。

### （四）为项目后期的财务管理和审计提供依据

而建筑项目后期的财务管理和审计工作进行中，造价核算的应用还为相关工作者提供了重要的基础数据。举例来说中建集团在招投标阶段会进行详尽的造价核算，以确保投标报价既能覆盖成本又能具有竞争力。在中建集团的一个具体案例中，某大型基础设施项目在招投标阶段，造价部门通过细致的市场调研、成本分析和风险评估，根据这些分析的结果来进一步制定详尽的造价核算报告。这份报告不仅帮助公司确定了合理的投标价格，还为项目实施阶段的成本控制提供了依据。而在中建集团的项目中标后，造价核算报告中的数据还可以被用于制定项目预算，为项目财务部门提供了成本控制的基准<sup>[4]</sup>。

## 三、工程招投标过程中造价核算存在的问题

### （一）信息不对称问题

在企业工程招投标过程的推进，造价核算环节十分关键的关键，然而在当前的这一环节中存在着诸多问题，其中信息不对称问题尤为突出。在招投标过程中信息不对称问题一旦阐述，就会使投标方难以全面了解项目的所有细节，这可能导致投标方在报价时无法准确评估工程成本，进而影响到最终的投标价格。这种信息的不对称性不仅增加了投标方的风险，也可能导致业主方无法获得最合理的报价<sup>[5]</sup>。

### （二）造价核算标准不统一

造价核算标准不统一这一问题的产生，主要源于我国建筑市场的多元化和地方保护主义。在各地的建筑企业发展中，由于各地区经济发展水平不一，这一现象会进一步导致在工程招投标过程中核算标准存在较大差异。这种差异不仅体现在材料、人工等成本的计算上，还体现在对工程量清单的编制和解读上。在各地建筑工作的实际招标中，往往会因为缺乏统一的行业标准，而造成跨区域的工程项目在招投标过程中的诸多不便现象产生。

### （三）造价人员专业素质参差不齐

在当前企业工程招投标的开展过程中，造价核算的准确性很大程度上取决于造价人员的专业素质。但是当前建筑企业造价人员的专业水平存在较大的差异。一些造价人员可能缺乏足够的理论知识和实践经验，导致在进行成本核算时无法准确把握市场动态和材料价格，从而影响了造价的准确性。此外还存在一小部分的造价人员对新技术、新材料的应用不够熟悉，以至于自身无法及时更新知识体系，这一现象也在一定程度上限制了工程成本控制的效率和效果<sup>[6]</sup>。

### （四）合同管理与造价核算脱节

此外在当前企业的工程招投标过程中，合同管理与造价核算脱节也是一个常见的问题。造价中的合同是规定项目各方权利和义务的法律文件，而造价核算则是确保项目成本控制的关键环节。然而在投标部门的实际操作中，现有的现象是这两者往往没有得到有效的整合，导致了一系列问题的出现。



四、工程招投标过程中造价核算问题的解决对策

（一）加强信息透明度与共享

为了解决和优化当前工程招标中造价核算等问题，企业需要建立一个全面的信息共享平台来实现。例如企业的招标部门可以利用云计算技术搭建一个在线数据库，这个数据库所有参与项目的供应商、承包商和内部审计人员都可以访问，里面会实时更新和查询材料价格、人工成本、机械使用费用等关键数据。企业可以通过这种方式的实施来减少信息不对称带来的风险，提高造价核算的准确性和效率。其次企业还可以通过定期举办招投标培训和研讨会，来加强投标部门与合作伙伴之间的沟通和理解。例如某大型建筑企业定期组织供应商和承包商参加招投标流程和造价核算的培训，确保所有参与方都对最新的行业标准和企业要求有清晰的认识。企业通过这样的培训不仅提高了合作伙伴的专业水平，也确保了招投标过程的公正性和透明度<sup>[7]</sup>。

（二）统一造价核算标准与规范

企业在规范化的造价核算标准应用下，可以极大的减少人为误差和主观判断，提高整个行业的透明度和公平性。这就要求企业需要制定明确的工程量计算规则、材料价格标准、人工费用标准以及机械使用费用标准等。同时企业还应建立严格的监督机制，来进一步确保造价核算标准与规范得到有效执行。在具体开展与实施中，企业可以通过联系第三方审计和行业内部对造价核算过程进行检查和评估，以便能及时发现并纠正核算过程中的问题，确保造价核算的公正性和透明度<sup>[8]</sup>。

（三）提升造价人员的专业培训与考核

施工人员在当前的建筑行业中，由于工期紧张与工作强度大等问题，导致他们常常需要在恶劣的环境下长时间工作，这不仅对他们的身体健康构成威胁，也对他们的心理状态产生负面影响。同时当前的施工人员还普遍存在缺乏足够专业培训的问题，这也进一步导致施工质量和效率难以保证。针对于此建筑企业为

了解决这一问题，一方面应定期组织造价人员参加各类专业培训，通过更新他们的知识结构，来进一步提高他们的业务能力与对自身的安全保护艺术。另一方面企业还需要逐渐建立起严格的造价人员资格认证和考核制度，确保只有具备相应资质和能力的人员才能从事造价工作<sup>[9]</sup>。

（四）强化合同管理与造价核算的衔接

随着工程招投标市场竞争的日益激烈，造价核算问题成为影响项目成败的关键因素之一。所以企业要想确保工程项目的顺利进行，就必须采取有效的解决对策。，而强化合同管理与造价核算的衔接是其中的重要一环。例如在某大型基础设施建设项目中，项目管理团队他们首先对合同条款进行了细致的审查，明确了工程量清单、材料价格、人工费用等关键因素，并将其与造价核算标准相对应。其次项目团队定期组织合同与造价核算的联合审查会议，及时发现并解决两者之间可能出现的偏差。此外他们还引入了先进的造价核算软件，通过信息化手段，实现了合同条款与造价核算数据的实时同步更新。通过这些措施项目团队有效地控制了工程成本，避免了因合同与造价核算脱节导致的额外费用 and 纠纷<sup>[10]</sup>。

五、结语

综上所述可知，在近些年来的建筑企业工程招投标过程中，造价核算问题涉及信息透明度、核算标准、人员素质以及合同管理等多个方面。而企业为了应对这些问题，通过加强信息共享、统一核算标准、提升造价人员专业素质以及强化合同管理与造价核算的衔接来实现。此外企业还应不断优化内部管理机制，加强与合作伙伴的沟通与协作，确保招投标过程的透明度和公平性。同时更加需要注意的造价人员的持续教育和专业能力提升，以适应不断变化的市场环境和技术进步。建筑企业只有这样才能在激烈的市场竞争中脱颖而出，实现自身的可持续发展。

参考文献

[1] 周东. 建筑工程造价控制中施工项目成本核算的优化策略 [J]. 陶瓷, 2024, (09): 190-193.DOI:10.19397/j.cnki.ceramics.2024.09.050.  
[2] 王胜升. 建筑工程造价控制中施工项目成本核算的优化策略 [J]. 财富时代, 2024, (09): 103-105.  
[3] 饶涛震. 基于价值工程的 EPC 项目工程造价控制策略应用研究 [J]. 工程建设与设计, 2024, (17): 254-256.DOI:10.13616/j.cnki.gcjsysj.2024.09.079.  
[4] 石磊. 建筑工程造价控制中施工项目成本核算的对策 [J]. 营销界, 2024, (11): 59-61.  
[5] 蒲秀碧, 周桃. 建筑工程造价控制中施工项目成本核算措施 [J]. 城市建筑, 2023, 20(24): 196-199.DOI:10.19892/j.cnki.csjz.2023.24.54.  
[6] 李智青. 建筑工程造价控制中施工项目成本核算的对策研究 [J]. 工程建设与设计, 2023, (22): 224-226.DOI:10.13616/j.cnki.gcjsysj.2023.11.274.  
[7] 马秀颖. 建筑工程造价控制中施工项目成本核算的优化策略 [J]. 江苏建材, 2023, (04): 119-120.  
[8] 张燕琴. 建筑工程造价控制中施工项目成本的核算分析 [J]. 居业, 2023, (04): 133-135.  
[9] 黄艳霞, 王伟. 工程造价控制中施工项目成本的核算分析 [J]. 质量与市场, 2022, (16): 67-69.  
[10] 谢婉君, 李晓娟, 杨婷, 等. 装配式建筑施工阶段碳排放测算研究 [J]. 工程管理学报, 2022, 36(03): 52-57.DOI:10.13991/j.cnki.jem.2022.03.010.



# LY1H 井快速钻完井技术

赵小宁, 柳伟荣, 姜慧强

川庆钻探工程有限公司长庆钻井总公司, 陕西 西安 745100

**摘 要 :** 2024年长庆油田在陇东地区首次部署了一口 LY1H 井, 探索长73高 TOC 页岩油出油潜力。为了解决311毫米钻头造斜施工效率低、入窗滑动井段长、炭质泥岩脆弱易垮塌、地层可钻性差、长水平段摩阻扭矩大等施工难点, 本文通过优选钻头和螺杆类型、合理调配钻具组合、使用 CQSP-4 钻井液、引入自研近钻头方位伽玛精准制导、漂浮下套管等技术, 实现了斜井段稳定增斜入窗、水平段快速钻进、井壁稳定、完井下套管顺利完成, 为后期施工同类井提供了经验借鉴。

**关 键 词 :** 炭质泥岩; 水平井; 垮塌; 近钻头

## Rapid Drilling and Completion Technology of LY1H Well

Zhao Xiaoning, Liu Weirong, Jiang Huiqiang

Chuanqing Drilling Engineering Co., LTD. Changqing Drilling Corporation, Xi'an, Shaanxi 745100

**Abstract :** In 2024, Changqing Oilfield deployed a 1H well in Huanxian County, Gansu province for the first time to explore the potential of long 73 high TOC shale oil. In order to solve the construction difficulties of 311 mm drill bit with low construction efficiency, window sliding well length, carbon mudstone fragile easy to collapse, poor formation drillability, the drilling tools, using CQSP-4 drilling fluid, the experience for the late construction of similar well.

**Keywords :** carbonaceous mudstone; horizontal well; collapse; near the drill bit

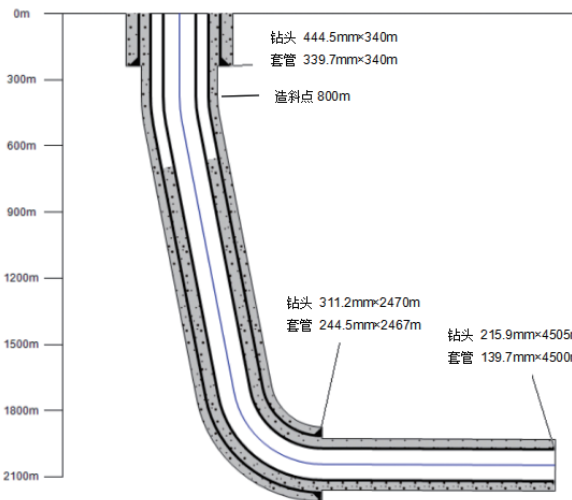
## 引言

鄂尔多斯盆地西南地区延长组长7 下部普遍沉积的一套高阻泥岩<sup>[1]</sup>, 特征明显、分布稳定, 具区域可比性。其厚度由几米到几十米, 往往由厚层深灰、灰黑色泥岩或碳质泥岩与灰绿色、深灰色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、粉、细砂岩的薄互层、韵律层组成。电性曲线十分突出, 表现为高电阻、高伽玛、低电位的特征。长7段是一套半深湖-深湖相重力流沉积, 具有自生自储、源内成藏的特征, 单砂体厚度薄, 砂地比低, 属典型页岩油。为提高开发利用价值, 2023年集团公司部署了一口2000米长水平段井 LY1H 井, 目的层为长7<sub>3</sub>, 属于半深湖-深湖相页岩层系发育, 黑色页岩厚度大 (> 20m)、分布稳定, 有机质成熟度较高 (Ro 值0.88%)、轻质烃较高 (S<sub>1</sub> 平均3.9mg/g)、有机碳高 (TOC 平均15.4%)。

## 一、LY1H 井概况

LY1H 井是一口三开结构的预探水平井。该井主要目的为探索长73高 TOC 页岩油出油潜力及水力压裂可改造性, 拓展非常规全新领域, 开展水平井攻关试验, 评价资源可动用情况, 实现该类资源的有效动用。目的层位长7<sub>3</sub>, 设计井深4505米, 水平段长2000米。偏移距18.14米, 靶前距505米。该井实际造斜点井深800米, 入窗点井深2470, 完钻井深4505米, 完钻垂深2222.21米, 水平段长2035米。LY1H 井的井身结构如图1所示。

LY1H 井一开使用444.5毫米钻头钻穿第四系进入环河组, 下339.7毫米套管封隔疏松黄土层。二开使用311.2毫米钻至入窗点, 下244.5毫米封隔易漏的洛河层、易塌的直罗层、长7易塌凝灰岩。水平段使用215.9毫米钻头钻至完钻, 下139.7毫米产层套管。



> 图1 LY1H 井身结构示意图

作者简介: 赵小宁 (1977.04-), 男, 汉族, 甘肃陇南人, 工程师, 本科, 研究方向: 石油钻井。

## 二、钻井技术难点

### （一）311毫米井眼大，滑动钻进、复合钻进增斜率低<sup>[2]</sup>

二开斜井段311毫米井眼，钻头、螺杆外径大、向下垂直力大，钻头增斜侧向力低，增斜困难，需要大段滑动增斜控制轨迹。斜井段全角变化率4°/30米，井斜方位跟上轨迹需求难度大。

### （二）311毫米井眼环空返速低<sup>[3]</sup>，携砂困难

311毫米井眼存在洛河组，该地层承压能力低，排量过大时易发生井漏<sup>[4]</sup>。排量过小时环空携砂困难。

### （三）水平段长度大于1500米后定向困难，轨迹控制难度大<sup>[5]</sup>

该井采用水基钻井液体系，摩阻扭矩大<sup>[6]</sup>，水平段施工后期滑动托压现象严重，使用常规定向工具摆工具面时间长、滑动托压严重<sup>[7]</sup>。

### （四）水平段在炭质泥岩中穿行，易坍塌失稳<sup>[8]</sup>

炭质泥岩在水基钻井液中易发生井壁失稳，尤其是已钻成的井眼，在钻井液长期浸泡下极易坍塌，导致井下事故。

### （五）无炭质泥岩长水平段完井作业经验，下钻、下套管易遇阻<sup>[9]</sup>

区域内未施工目的层为炭质泥岩的水平井，电测下钻过程中易堵水眼，下钻可能会遇阻，存在卡钻风险。下钻过程中分段循环不及时或开泵未落实小排量易发生井漏。中途顶泵不及时以及中途未落实分段循环，重晶石沉淀堵水眼。下钻遇阻下压吨位过大钻头进入沉淀重晶石或者砂桥内导致堵水眼，卡钻。水平段泥岩坍塌发生卡钻。套管下入时间6-10分钟/根，静止时间长，易发生粘卡<sup>[10]</sup>。水平段长下套管摩阻大，水平段泥岩坍塌，易导致下套管遇阻。

## 三、主要关键技术

### （一）优选钻头、螺杆，强化钻井参数

二开优选长庆自研钻头 CZS1674E、CZS1686B，匹配228毫米1.5°单弯螺杆、185水力振荡器，提高单只钻头进尺。钻井参数：钻压8-16吨，转数70，排量55L/s，泵压10-13MPa。优选钻具组合：φ311.2PDC+228\*1.5°\*306+631\*410+NC50回压阀+178无磁+411\*630+631\*630（仪器悬挂）+631\*410+178钻铤\*5根+127HWDP\*1柱+水力振荡器+127HWDP\*7柱+127DP。

使用该钻具组合，滑动增斜率0.2-0.3°/米，单根滑动4-5米，复合3-4米，可以跟上轨迹需求。斜井段实现两趟钻入窗。如表1所示。

表1 斜井段钻头使用情况

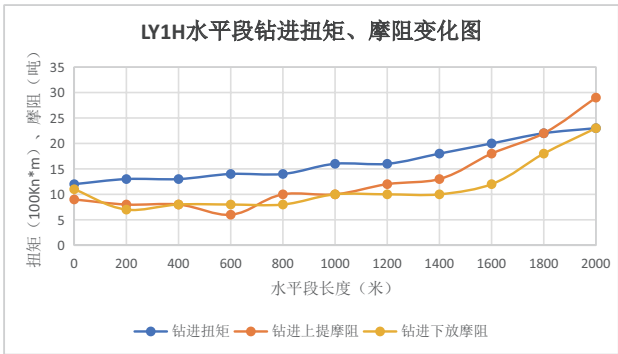
序号	钻头型号	使用井段（米）	进尺（米）	纯钻时间（小时）	机械钻速（米/小时）
1	311mmCZS1674E	356-1587	1231	68	18.10
2	311mmCZS1686B	1587-2520	933	123	7.59

### （二）优选钻井液体系

优选抑制性强的复合盐水基钻井液体系 CQSP-4，提高钻井液密度，降低钻井液失水。在钻开直罗组后开始转换钻井液体系，

钻井液性能：密度1.13g/cm<sup>3</sup>，粘度39s。井斜60°达到1.30g/cm<sup>3</sup>。复合盐含量达到40%左右时基本达到饱和状态，后期提密度使用重晶石，入窗密度≥1.36g/cm<sup>3</sup>，失水≤4ml。水平段控制性能：ρ=1.36-1.42 g/cm<sup>3</sup>，FV=36-42s，Pv=15-25mP.s，YP=3-6Pa，FL≤4.0ml，PH=8-9。出现渗漏时，原浆中加入云母或KSD-1随钻防堵漏。完钻后提高钻井液性能：ρ=1.40-1.42 g/cm<sup>3</sup>，FV=50-55s，FL≤3.0ml，PH=8-9。

中途地质循环时注意保护井壁稳定，循环一周后小排量循环，避免定点大排量冲刷井壁。全井施工过程扭矩平稳、井壁稳定，上提下放正常，未出现井塌等情况，如图2所示。



>图2 LY1H水平段钻进扭矩、摩阻统计

### （三）优选水平段钻具组合，提高复合钻进比例

水平段优选自研 SFD65DH 钻头，引入自研方位伽玛导向工具，钻具组合：Φ215.9PDC\*0.37m+发射短节\*1m+7LZΦ172\*stab208\*1.25\*6.9m+回压阀\*0.5m+Φ212stab\*1.05m+转换461\*410+接收短节\*2.1m+NDC\*9.28m+NWD上悬挂\*0.95m+3柱加重钻杆+95柱普通钻杆+15柱加重钻杆+普通钻杆。钻具组合示意图如图3所示。



>图3 钻具组合示意图

通过控制钻井参数实现增降斜、控制轨迹，减少水平段1500米以后滑动进尺，水平段实现2趟钻完钻。水平段机械钻速情况见表2所示。

表2 水平段机械钻速情况统计表

序号	钻头型号	使用井段（米）	进尺（米）	纯钻时间（小时）	机械钻速（米/小时）
1	215.9mmSFD65DH	2520-3919	1399	103	13.58
2	215.9mmSFD65DH	3919-4505	586	64	9.16

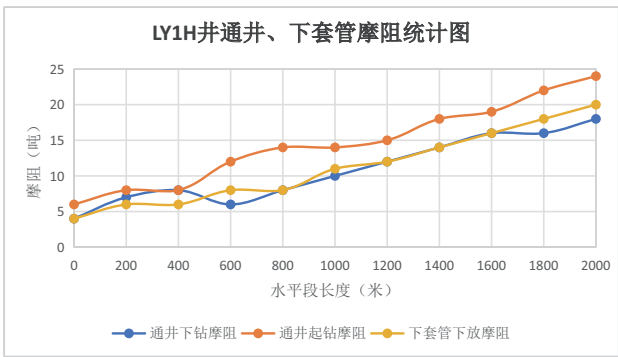
### （四）优化完井作业方式，使用悬浮下套管技术，确保完井质量

1. 优化电测方式。提前了解电测方式、电测项目、电测趟数、电测仪器厂家，每柱钻具按要求进行通内径，防止钻具水眼内落物，通径销子统一存放，每班安排专人负责，电测期间交接班时落实好交接；电测下钻出技套脚后每下10柱顶泵一次，确保水眼畅通。落实分段循环，技套内分2次循环，在套管脚循环一周将气体排出；水平段分3次循环，每次循环先开转盘再开泵，必须小排量开泵，待返出正常后再逐步提排量循环，循环期间加密

测量进出口密度，加强液面监测，观察好出口返出量。下钻出套管时主动划眼，防止沉淀重晶石堵水眼。下钻有遇阻必须进行短通，保证起下都正常。电测下钻及时记录上提下放摩阻。水平段如有遇阻尽量间歇顶泵将掉块推送至井底，推送至井底后上提一个单根循环，如水平段泥岩掉块未推至井底，短起至入窗点大排量循环带出井筒。

2. 优选通井工具。完井通井时，使用双扶通井（其中下扶正器为倒划眼扶正器），破坏岩屑床。作业前，钻井队工程技术人员准确核对分段循环井深，通井下钻至该井段控制下放速度。落实分段循环，必须小排量开泵，待返出正常后在逐步提排量循环，循环期间加密测量进出口密度，加强液面监测，观察好出口返出量。中途遇阻严禁硬压，严防水平段重晶石沉淀区域堵水眼卡钻，下钻遇阻吨位控制5吨，起钻遇阻吨位控制8吨。水平段短起下2趟，第1趟全程倒划眼起至入窗点，循环一周半后下至井底（中途措施同下钻，井深同第一趟到底循环井深），下到底后再次进行停泵短起验证井下摩阻，下到底后循环处理钻井液，要确保井下正常。处理井筒至正常，无井漏、无井塌。水平段密度1.46g/cm<sup>3</sup>，粘度60s，延缓水平段泥浆稀释。加入润滑剂，水平段润滑剂含量15%的（7%XCS-3+8%PGCS-1），降低摩阻，保证通井起钻时下放摩阻力争控制在10吨以内。

通井后上提、下放摩阻分别下降5-6吨。在套管串中部下入套管悬浮器，悬浮水平段套管，降低套管下放摩阻。施工中套管下放摩阻20吨，套管顺利下入。通井下套管摩阻如图4所示。



> 图4 LY1H井通井、下套管摩阻统计

四、结论与建议

- 1) 通过优选水基钻井液 CQSP-4 体系，顺利完成了2000米炭质泥岩水平段的 LY1H 井钻井作业。
- 2) 优选的钻头、螺杆、水力振荡器、倒划眼扶正器、近钻头方位伽玛等工具，助力实现了 LY1H 井的钻井提速。
- 3) CQSP-4 钻井液体系，具有良好的抑制性、润滑性，能够满足炭质泥岩长水平段对钻井液的要求。
- 4) LY1H 井的顺利完钻，说明通过优化水基钻井液的性能，采取一定的技术措施，能够替代油基钻井液实施长水平段钻井作业。该井的成功实施，为以后实施同类目的层井积累了一定的经验。

参考文献

[1] 王广利, 李阳阳, 王一帆等. 鄂尔多斯盆地南缘长7 烃源岩地球化学特征与沉积环境 [J/OL]. 中国石油大学学报(自然科学版): 1-13[2023-12-15].

[2] 胡祖彪, 张建卿, 王清臣等. 长庆油田华 H50-7 井超长水平段钻井液技术 [J]. 石油钻探技术, 2020, 48(04): 28-36.

[3] 史配铭. 榆阳区块  $\Phi 311.2$  mm 及以上大井眼井段钻井提速关键技术 [J]. 石油工业技术监督, 2024, 40(06): 46-52.

[4] 谢凌祥, 黄龙, 杨慧壁. 浅析长庆油田洛河组堵漏方法 [J]. 中国新技术新产品, 2012, (12): 124.

[5] 栗奇. 垦平1 长水平段水平井轨迹控制技术 [J]. 内蒙古石油化工, 2013, 39(18): 98-100.

[6] 艾磊, 高云文, 欧阳勇, 等. 适用于页岩油钻井的低伤害防塌水基钻井液体系 [J]. 钻井液与完井液, 2023, 40(05): 602-610.

[7] 刘海涛. 长水平段水平井钻井技术分析与对策 [J]. 西部探矿工程, 2024, 36(07): 57-59.

[8] 吴晓红, 李云峰, 周岩, 等. 复杂压力系统薄互层致密油藏水平井钻井关键技术 [J]. 钻井液与完井液, 2024, 41(01): 45-52.

[9] 李文哲, 文乾彬, 肖新宇, 等. 页岩气长水平井套管安全下入风险评估技术 [J]. 天然气工业, 2020, 40(09): 97-104.

[10] 雷万能, 朱忠喜. 粘吸卡钻的成因及处理 [J]. 内蒙古石油化工, 2007, (11): 84-86.

# 冷凝与超冷凝技术在聚乙烯生产中的应用分析

任勃

身份证号码: 6224211988\*\*\*\*0316

**摘要：** 聚乙烯是全球产量最庞大且应用最广的塑料之一，它在包装、管材、电线电缆等多个领域有着广泛的应用，并且其市场需求也在持续上升。在聚乙烯的制造流程中，如何有效地利用能量和控制生产成本变得尤为关键。冷凝和超冷凝技术是现代化工工艺的关键节能措施之一，由于其在能量回收和利用以及生产过程的优化等方面有着显著优势而逐渐受到了行业的重视。对冷凝和超冷凝技术进行深入的分析和研究可以进一步提高聚乙烯生产过程的整体效率、降低生产成本、减小环境影响。

**关键词：** 冷凝技术；超冷凝技术；聚乙烯；生产应用

## Application Analysis of Condensation and Super-condensation Technologies in Polyethylene Production

Ren Bo

ID: 6224211988\*\*\*\*0316

**Abstract：** Polyethylene is one of the most produced and widely used plastics in the world, with extensive applications in packaging, piping, wire and cable, and other fields, and its market demand is continuously rising. In the polyethylene manufacturing process, effective energy utilization and production cost control have become particularly critical. Condensation and super-condensation technologies are among the key energy-saving measures in modern chemical processes, gradually gaining attention in the industry due to their significant advantages in energy recovery and utilization, as well as optimization of production processes. Deep analysis and research on condensation and super-condensation technologies can further improve the overall efficiency of the polyethylene production process, reduce production costs, and minimize environmental impact.

**Keywords：** condensation technology; super-condensation technology; polyethylene; production application

### 引言

随着全球能源资源紧张和环境保护要求的提高，化工行业正在积极寻求高效、节能的生产方式。聚乙烯的生产主要通过高压法、低压法和气相法进行，这些工艺普遍伴随着较高的能量消耗和复杂的操作流程。为了提高生产效率、降低能耗，化工企业逐渐引入冷凝与超冷凝技术<sup>[1]</sup>。这些技术通过冷却反应产物，将气态物质转化为液态，从而实现能量回收，降低反应器的操作温度和压力，进而优化整个聚乙烯生产过程。

### 一、聚乙烯生产工艺概述

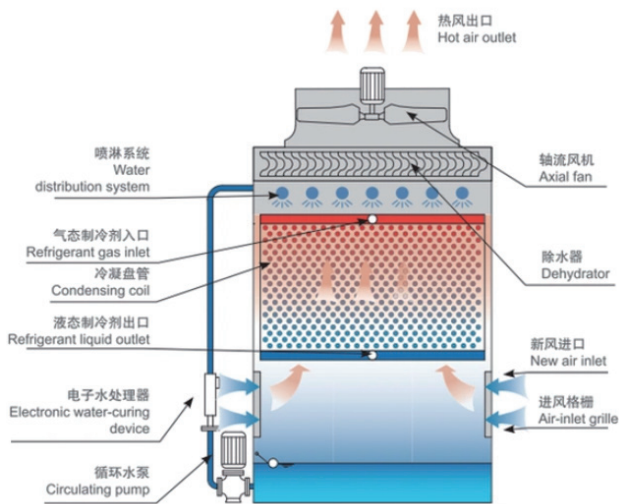
聚乙烯生产工艺因其复杂性和多样性，通常包括高压法、低压法和溶液法等多种工艺路径，每种工艺对应不同的反应条件和设备配置。高压法是最早开发的生产工艺，其反应压力通常高达100–300 MPa，反应温度在200–300°C之间，适用于低密度聚乙烯（LDPE）的生产。该工艺依赖自由基聚合反应，能够得到具有较高支化度的聚乙烯，赋予材料优良的柔韧性和透明度，但其高能耗和设备成本相对较高。与之相比，低压法（如齐格勒-纳

塔催化剂工艺和茂金属催化剂工艺）在较低压力和温度条件下运行，通常在0.5–2 MPa和70–100°C范围内，能够生产出高密度聚乙烯（HDPE）和线性低密度聚乙烯（LLDPE）。这些聚乙烯产品具有较高的结晶度和机械强度，更适用于管材、吹塑膜等领域。溶液法则在较高温度和压力下进行，反应条件一般在140–250°C和5–10 MPa之间，聚合物通过溶剂溶解后从反应器中分离，该工艺的优点是反应速率快、设备规模大，常用于大规模生产<sup>[2]</sup>。在所有工艺中，温度和压力控制对于反应速率、产品结构和能耗有重要影响，而这些工艺的优化和选择直接关系到产品的物性、应

作者简介：任勃（1988.12—），男，汉族，本科学历，助理工程师，主要从事化工品生产方面的研究工作。



用领域以及生产的经济性和可持续性。



> 图1 逆流蒸发式冷凝器工作原理图

## 二、冷凝与超冷凝技术原理概述

### （一）冷凝技术

冷凝技术是一种通过将气态物质转化为液态以回收能量或物料的关键工艺，广泛应用于化工、石化等行业中。在聚乙烯生产过程中，冷凝技术主要用于从反应器中的气体混合物中分离出有价值的物质，同时有效降低系统的总能耗。冷凝的基本原理是通过降低气体的温度，使其达到饱和状态并发生相变，释放潜热<sup>[3]</sup>。这一过程中，热量被转移到冷却介质中，通常是水或其他冷却剂，从而使得气体冷凝成液体并可被进一步处理或再利用。关键在于如何精准控制冷凝温度，以确保仅所需组分被冷凝，避免过度冷却带来的能量浪费。在聚乙烯生产中，通过冷凝技术回收未反应的乙烯单体和轻质组分，可以显著提高原料的利用率，并减少环境排放。同时，冷凝后的液态产物可以直接循环回生产流程中，降低对新鲜原料的需求。通过选择合适的冷凝器类型（如表面冷凝器或接触式冷凝器）以及优化冷凝器操作参数，能够实现能效和资源利用率的最大化，使整个生产过程更为高效、经济。

### （二）超冷凝技术的发展与应用

超冷凝技术是一种相较传统冷凝技术更为先进的工艺，能够在极低温度下将气体中的更多组分冷凝为液态，以最大限度提高资源回收率和能效。在聚乙烯生产过程中，超冷凝技术的应用日益广泛，尤其是在乙烯、丙烯等单体的回收上具有显著优势。传统冷凝技术通常受限于冷却介质的温度和冷凝器的效率，难以将低沸点组分充分回收，而超冷凝技术通过使用超低温冷却剂，如液氮或制冷剂混合物，可以将气体温度降低至 $-100^{\circ}\text{C}$ 甚至更低的水平，从而实现更多轻质组分的冷凝<sup>[4]</sup>。通过这种技术，未反应的乙烯单体和副产物如丙烯、丁烯等可在极低温下被有效分离，提高单体循环利用率，并减少排放。该技术还能够进一步降低能耗，因为超冷凝过程中潜热释放更为彻底，减少了后续处理步骤的能量需求。超冷凝技术不仅在提高物料回收率方面表现出色，还在降低聚乙烯生产的整体碳足迹方面做出了重要贡献。设备的

先进性和工艺的复杂性使得超冷凝技术在大型化工装置中的应用潜力巨大，特别是在高效、低排放的绿色化生产趋势下，其未来应用前景广阔。

## 三、冷凝与超冷凝技术在聚乙烯生产中的具体应用

### （一）在聚乙烯生产过程中的作用

在聚乙烯生产过程中，冷凝与超冷凝技术发挥了至关重要的作用，特别是在提高能效和资源回收方面<sup>[5]</sup>。冷凝技术能够通过降低气体温度，将未反应的乙烯单体和其他轻质组分从反应器排出的气体中有效分离并回收。这一过程减少了原料浪费，并提高了反应器内原料的利用效率，有助于控制生产成本和减少对新鲜乙烯的需求。此外，冷凝过程中回收的热量可以用于其他工序，进一步优化能量分配和工艺热平衡。相比之下，超冷凝技术在更低的温度下操作，通过使用如液氮等超低温冷却剂，能够更加彻底地回收低沸点组分，例如未反应的乙烯和副产物丙烯、丁烯等。这种技术的引入，显著提高了气体分离的精度和效率，减少了排放和能量损失。超冷凝不仅能够提升聚乙烯生产的资源回收率，还通过更深层次的热量回收减少了后续处理设备的负荷。在高效环保的生产要求下，冷凝与超冷凝技术的结合为聚乙烯工业提供了重要的技术支持，不仅降低了能耗，还减少了废气排放，对实现更可持续的生产模式具有深远意义<sup>[6]</sup>。

### （二）超冷凝技术对聚乙烯生产反应效率的提升

超冷凝技术在聚乙烯生产中对反应效率的提升具有显著作用，特别是在低温环境下提高单体回收和反应控制方面。通过将反应过程中未反应的乙烯单体、丙烯以及其他轻质气体组分在极低温度下冷凝，超冷凝技术能够更有效地捕获和回收这些关键物质，减少物料浪费并提高反应器的整体产率。传统冷凝技术往往受限于冷却剂的温度，未能完全冷凝低沸点组分，而超冷凝技术通过使用液氮等冷却剂，将气体温度降低至 $-100^{\circ}\text{C}$ 甚至更低，使得未参与反应的乙烯单体几乎全部回收。这种深度冷凝提高了循环利用率，从而减少了对新鲜乙烯的需求，提升了原料利用效率。此外，超冷凝技术通过精确控制反应温度，有效抑制副反应的发生，减少了不必要的副产物生成，提高了聚合物的质量和纯度<sup>[7]</sup>。更低的操作温度使得反应过程更加稳定和可控，有助于提高聚乙烯生产的整体效率，减少能耗，同时降低了排放。超冷凝技术不仅在大规模工业生产中展现出显著优势，还为绿色化和高效化的聚乙烯生产奠定了技术基础，推动了整个行业的技术进步和可持续性。

### （三）反应气体的冷却与循环中的应用

在聚乙烯生产中，反应气体的冷却与循环对维持反应效率和稳定性至关重要。冷凝与超冷凝技术被广泛用于将反应气体迅速降温，从而提高气体的循环利用效率<sup>[8]</sup>。通过冷却气体并使其重新进入反应系统，可显著提高乙烯单体的转化率，同时减少新鲜乙烯的补充量，降低生产成本。例如，某聚乙烯生产装置使用冷凝技术后，将反应气体从 $120^{\circ}\text{C}$ 降至 $50^{\circ}\text{C}$ ，实现了50%以上的气体回收，节省乙烯补充约15%。相比之下，超冷凝技术在更低温环

境（通常在 -30℃到 -50℃）下能进一步降低能耗并增强回收效率。根据实际应用数据，在反应气体循环阶段采用超冷凝系。

表 1 冷凝与超冷凝技术的应用效果案例表

项目	冷凝技术应用前	冷凝技术应用后	超冷凝技术应用后
反应气体温度	120℃	50℃	-30℃到 -50℃
气体回收率	30%	50%	75%
年乙烯消耗量	1000 吨	850 吨	800 吨
年乙烯节约量	-	150 吨	200 吨
年节能量	-	10%	15%
设备维护成本	常规	低	较低
系统操作稳定性	一般	高	极高

表 1 显示，采用冷凝和超冷凝技术后的气体回收率和系统节能效率显著提高，同时有效降低了反应气体温度和设备维护成本，为聚乙烯生产工艺带来显著的经济效益和技术优势<sup>[9]</sup>。

（四）节能降耗方面的应用

在聚乙烯生产中，冷凝与超冷凝技术的应用在节能降耗方面展现了突出的经济和环保效益。通过冷凝技术，生产过程中未反应的乙烯气体可被冷却液化并循环回收，减少了新鲜乙烯的输入需求。以某生产装置为例，冷凝技术使乙烯的年回收率提高了 30%，新鲜乙烯的补充量降低约 20%，这一过程不仅大幅减少原材料消耗，还使设备运转能耗下降近 10%。超冷凝技术在低温环境（-30℃到 -50℃）下操作，通过更有效的低温回收将废气转

化为可利用的原料气<sup>[10]</sup>。超冷凝技术使得乙烯和丙烯回收率在原有基础上提高了 25%，从而将系统能耗降低至 15% 以上，并减少废气排放约 30%，有效实现了生产过程的低碳化。在电力消耗方面，冷凝与超冷凝系统相比传统冷却工艺节省电耗约 12%，还能延长设备的使用寿命，减少维护频率与费用。该技术在优化聚乙烯生产工艺的同时也大大降低了生产成本，使聚乙烯生产企业在节能降耗目标上取得了显著成效，为行业实现绿色低碳发展提供了技术保障。

四、结束语

冷凝与超冷凝技术在聚乙烯生产中的应用为该行业的技术进步和可持续发展提供了强有力的支持。通过这些技术的有效运用，聚乙烯生产过程中的能耗显著降低，原料利用率大幅提升，未反应的单体和其他轻质组分得以回收再利用，减少了环境排放和资源浪费。尤其是超冷凝技术，通过更低温度下的高效冷凝，实现了对低沸点组分的深度分离和回收，进一步优化了工艺效率，改善了产品质量，同时降低了副产物生成的可能性。在当前工业生产向高效、环保、节能方向发展的背景下，冷凝与超冷凝技术的应用不仅满足了聚乙烯生产企业的经济效益要求，也符合全球绿色化生产的趋势。

参考文献

[1] 吴丹. 微波强化及气体辅助的聚乙烯颗粒脱挥研究 [D]. 浙江大学, 2023.

[2] 李永帅, 郑毅, 李岚, 等. 聚乙烯流化床反应器气-液-固流场中升力模型的影响研究 [J]. 化工学报, 2022, 73(12):5355-5366.

[3] 杜立君, 胡禹, 李瑞桢, 等. 基于聚乙烯亚胺包覆碳量子点的亚硝酸盐荧光纳米传感器 [J]. 分析试验室, 2022.

[4] 张静宇, 霍金兰, 高芙蓉. 降低气相流化床聚乙烯装置原料单耗的措施 [J]. 合成树脂及塑料, 2022(003):039.

[5] 宋伊梦, 张云龙, 刘正家, 等. 气相法聚乙烯工艺静电产生及控制 [J]. 合成树脂及塑料, 2024, 41(1):52-56.

[6] 周吉祥. 乙烯三聚反应分离耦合工艺设计及模拟 [D]. 东北石油大学, 2023.

[7] 王焯. 世界聚乙烯催化剂的新进展 [J]. 中国石油和化工. 2003, (9):27-28.

[8] 王焯. 非茂金属烯烃聚合催化剂 [J]. 现代塑料加工应用. 2003, (3).DOI: 10.3969/j.issn.1004-3055.2003.03.010 .

[9] 宋玉春. 双峰聚乙烯的研究进展 [J]. 石化技术与应用. 2002, (1).DOI: 10.3969/j.issn.1009-0045.2002.01.014 .

[10] 宫小文, 苗春兰, 杨宝柱, 等. UNIPOL 气相流化床聚乙烯工艺冷凝态技术最新进展 [J]. 齐鲁石油化工. 2002, (2):146-149.

# 闭式水余热利用在水处理工艺中的应用优化

李恒圆, 赵鹏飞

国家电投集团协鑫滨海发电有限公司, 江苏 盐城 224500

**摘要：** 随着全球能源危机的日益加剧和环境保护要求的不断提高, 提高能源利用效率成为当务之急。闭式水系统在电厂生产中广泛应用, 其携带的余热具有巨大的利用潜力。本文对闭式水余热利用优化深入探究, 分析了当前闭式水余热利用的现状及存在的问题, 提出了一系列优化策略, 并通过实例验证了优化方案的可行性和有效性。旨在为提高闭式水余热利用效率、降低能源消耗、实现可持续发展提供理论依据和实践参考。

**关键词：** 闭式水; 余热利用; 水处理; 优化策略; 可持续发展

## Application Optimization of Closed - Loop Water Waste Heat Utilization in Water Treatment Process

Li Hengyuan, Zhao Pengfei

GCL - SPIC Binhai Power Generation Co., Ltd. Yancheng, Jiangsu 224500

**Abstract：** With the increasing global energy crisis and the continuous improvement of environmental protection requirements, improving energy utilization efficiency has become an urgent task. The closed - loop water system is widely used in power plant production, and the waste heat it carries has huge utilization potential. This paper conducts an in - depth exploration of the optimization of closed - loop water waste heat utilization, analyzes the current status and existing problems of closed - loop water waste heat utilization, and proposes a series of optimization strategies. The feasibility and effectiveness of the optimization scheme are verified through examples. It aims to provide a theoretical basis and practical reference for improving the utilization efficiency of closed - loop water waste heat, reducing energy consumption, and achieving sustainable development.

**Keywords：** closed - loop water; waste heat utilization; water treatment; optimization strategy; sustainable development

### 引言

国家电投集团协鑫滨海发电有限公司2×1000MW超临界燃煤机组, 在2021年10月投运闭式水余热利用系统, 该系统设置1台余热利用装置, 包括变频闭式水增压泵、变频生水增压泵、板式换热器、相关阀门及流量、温度测点组成。余热利用装置可以按需要投至单台机组运行, 在生水温度低至25℃以下时用于对化学水处理生水的加热保证超滤、反渗透产水的效率, 相较于蒸汽加热生水, 利用闭式水的热量加热生水更加节能, 也可降低机组闭式水依靠循环水冷却的换热需求。水处理系统采用管式换热器和板式换热器、盘式过滤器、超滤、反渗透、一级除盐和混床的处理工艺满足超超临界直流锅炉除盐水补水水质要求。

### 一、闭式水余热利用主要有以下优点：

1. 水质要求高：闭式水系统采用化学除盐水作为工质。除盐水经过了一系列的化学处理, 去除了水中的大部分杂质、盐分和离子等, 水质纯度高, 这样可以避免在管道和换热器等设备内部形成水垢、沉淀物等, 减少对设备的磨损和腐蚀, 保证系统的稳定运行。<sup>[1]</sup>

2. 运行温度稳定：闭式水的运行温度通常在一定范围内保持稳定。例如, 供水温度约为35℃左右, 最高不高于38℃, 回水温度一般升高8-10℃, 在43-48℃。这种相对稳定的温度有利于设

备的正常运行和散热, 不会因为水温过高或过低对被冷却设备造成不良影响。

3. 系统压力稳定：闭式水系统有专门的闭式冷却水泵为其提供动力, 使系统内的水保持一定的压力。<sup>[2]</sup>例如, 泵出口压力通常维持在较高水平, 以确保水能顺利输送到各个被冷却设备, 满足设备的冷却需求。在正常运行过程中, 闭式水系统的压力波动相对较小, 这是因为系统的封闭性和水泵的稳定运行共同作用的结果。稳定的压力有助于保证水流量的稳定, 从而保障设备的冷却效果。

4. 热量回收利用：闭式水在冷却设备的过程中会吸收设备散

作者简介：李恒圆（1984.05-），男，汉族，河南省邓州市，大学本科，工程师，从事火力发电厂化学运行及节能减排。

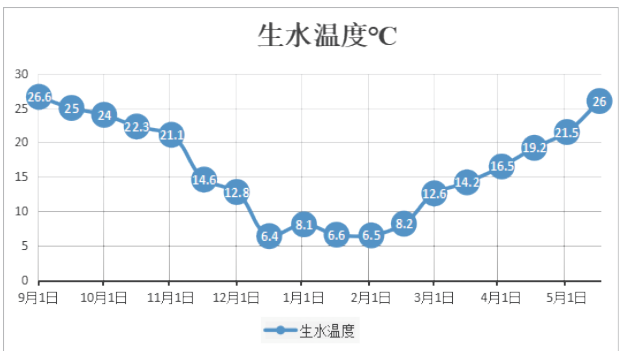
发的热量，水温会升高，这部分余热可以通过一定的技术手段进行回收利用。例如，可以利用闭式水的余热来加热凝结水，提高机组的热效率，降低能源消耗。闭式水系统是一个封闭的循环系统，水在系统内不断循环使用，与开式水系统相比，减少了水的蒸发损失和排放，节约了水资源。

## 二、闭式水余热利用在生产应用过程中出现的问题

1. 闭式水余热系统的频繁启停对闭式水压力产生扰动。
2. 制水量和负荷不匹配，影响余热利用的发挥。如高负荷时不制水，闭式水余热无法有效利用，或者低负荷时双列制水（尤其是切至1号机运行时），生水无法被加热到28~30℃，造成反渗透出水率低。
3. 反渗透膜进水温度升高1℃，膜的渗透性提高了7%，且乙酸纤维素膜适用4℃~35℃，为保证产水量，应保证进水温度稳定，减少波动。
- 4.1、2号机循环水管道的布置方式导致在联络运行期间循环水在两台机之间的分配不均。而闭式水余热利用可以适当改进这种不平衡的现象。
5. 相同工况下2号机的闭式水较1号机闭式水发热量大，闭式水热交换器需要的循环水量大，进一步导致两台机组凝汽器换热循环水量偏差，导致机组真空2号机低于1号机。
6. 水处理系统自身逻辑控制，超滤装置每40分钟进行反洗操作，反洗时间约4分钟，反洗时开回流泵，将多余的水通过回流管回流至化学水池，回流管道设计回水量仅为单台超滤产水量的50%，快速降生增压泵的频率，致使超滤进水温度升高，无法满足制水稳定性的要求。
7. 深冬时生水水温仅有6℃，超滤装置在反洗时、投运时，闭式水余热利用增压泵的频率增幅较快，对闭式水温度影响较大，对机组的安全稳定运行带来风险。<sup>[3-4]</sup>

## 三、对存在的问题优化分析

1. 水处理工艺进水温度要求25至30℃，温度越低，膜渗透性差产水量越小，温度越高，渗透性好产水量越大。但当温度高于35℃时，反渗透膜变得不稳定，且影响反渗透使用寿命。目前我厂余热系统控制超滤装置进水水温28℃左右。
- 10月至5月原水水温较低，需要加热处理。



结合热力学公式  $Q = mc\Delta T$ ，利用余热利用相比辅汽加热生水每年可节省标煤1324.8吨标煤。（ $Q$ 表示热量， $m$ 表示质量； $c$ 表示水的比热容4200焦/千克·摄氏度， $\Delta T$ 表示水的温度变化量）。<sup>[5-6]</sup>

2. 因为循环水管道布置的差异，2号机的循环水进水管阻要明显大于1号机组，在冬季两机两泵期间2号机的凝汽器入口压力明显低于1号机，在循环水回水蝶阀开度一致的情况下导致循环水在两台机组中的分配产生差异，2号机循环水量低于1号机的循环水量，两机三泵（1号机两台）期间这种现象会更加明显，考虑到循环水母管压力高会造成循泵（混流泵压力高电流高）电流高，我们会将凝汽器入口压力高的机组循环水回水蝶阀开大，这进一步造成循环水量分配的不均。

循环水联络运行	1号机回水门开度 / 凝汽器入口压力	2号机回水门开度 / 凝汽器入口压力
两机两泵	31%/88kPa	31%/83kPa
两机三泵 (1号机两台)	45%/93kPa	45%/86kPa
两机三泵 (2号机两台)	45%/86kPa	45%/85kPa

综上所述，循环水联络运行期间循环水在两台机组的分配不均始终是始终存在的，2号机循环水量低于1号机的循环水量，只有在联络运行2号机多启动一台循泵的条件下才有明显改善。我们只需适当改变机组对循环水量的需求，循环水的主要用户由凝汽器和闭式水热交换器，凝汽器中循环水的量根据负荷来定，我们无法干预。闭式水热交换器所需的循环水量是可以通过闭式水余热利用进行适当调整。

3. 自2021年余热利用投运后，制水（生水）和负荷（耗水）的运行方式依旧按照除盐水箱水位的控制思路调整，导致制水工艺投、退相对无序，无法充分利用闭式水余热系统，节能降耗。
4. 提高余热利用效率，通过实际数据对比判断适合投至哪台机组。
5. 减少余热利用系统的运行电耗，部分工况可停运生水增压泵，根据机组负荷情况和闭式水温，择机单列制水。

## 四、优化对策

1. 利用闭式水加热生水不仅可以减少闭式水热交换器循环水的用量，还可以提高反渗透膜的出水率，是一把双刃剑，应在生水不超28℃的情况下尽可能投入余热利用运行。
2. 为减小因循环水分配不均造成的影响，且2号机闭式水热交换器的进水温度较1号机的高，闭式水余热利用正常情况下切至2号机运行，更容易满足生水加热要求，更节省制水电耗。
3. 机组负荷具有周期性和可预见性，应根据负荷情况决定制水方式，在全厂负荷小于140万时期间选用不制水或单列制水的方式，在全厂负荷大于140万时期间选择单列制水或双列制水方式。<sup>[7-8]</sup>
4. 在两机两泵循环水联络运行方式时，升负荷启动第三台循环水泵时优先启动2号机的循环水泵以弥补2号机相对较高的管道阻力损失。



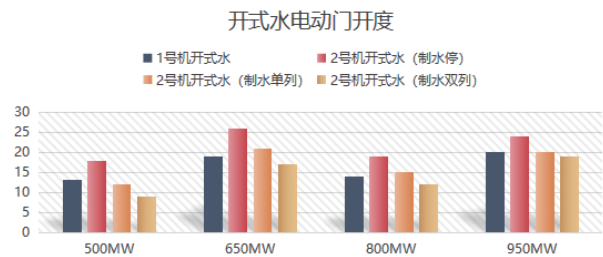
5. 充分利用闭式水余热系统提高产水量，在超滤进水泵出口母管温度 < 25℃，投运闭式水余热利用系统；生水增压泵出口侧温度 > 25℃，退出闭式水余热再利用系统。

6. 闭式水余热系统投运后，超滤进水泵频率设定 45Hz，联系热控将 1、2 号超滤进口调节阀开度设定由 50% 降至 40%，确保自清洗过滤器的反洗压正常，生水增压泵频率手动位调至 27Hz；闭式水增压泵自动位，设定温度 28℃ 自动调节。<sup>[9]</sup>

## 五、效果展示

1. 通过余热利用将负荷和制水相关联，有序制水可充分发挥余热利用的作用，保证生水出口温度的同时又减少了闭式水对循环水冷却量的要求。

2. 余热利用投至 2 号机组可以减小循环水在机组之间分配不均的偏差。稳定工况下使得 2 号机的开式水用量减小，进入凝汽器循环水量增加。对比投余热利用的效果，以 5 月份为例。



3. 稳定工况下闭式水温调节阀和热交换器开式水电动门开度的统计关系。

机组负荷/MW	热交换器开式水电动门开度	闭式水温调节阀
900	30%	80%
	25%	20%
700	28%	90%
	20%	20%
650	22%	80%
	16%	10%
500	17%	80%
	12%	20%

4. 机组运行中应根据负荷适当调整热交换器开式水侧电动门开度，避免循环水在热交换器中流量过大，造成不必要的浪费。

我厂化学日制水量最大对应的生水量为 5061 吨（双列），生水流量 210t/h。双列运行期间闭式水增压泵变频自动跟踪生水出口温度，设定值 28℃。因流量较大，需要两台化学水泵并联再和生水增压泵串联运行，以保证制水量满足要求。<sup>[10]</sup>

单列制水时生水流量 105t/h。单列运行期间闭式水增压泵变频自动跟踪生水出口温度，设定值 28℃。因流量较小，需要两台化学水泵并联即可满足制水量要求，可以停运生水增压泵。

年度可节省电量  $1.732 \times 380 \times 3.6 \times 0.86 \times 1 = 2.0 \text{KJ}$ （年度单列制水时长）

在单列运行且生水入口温度大于 20℃ 的情况下，可以同时停运生水增压泵和闭式水增压泵，生水出口温度也可升至 26℃。

年度可节省电量  $1.732 \times 380 \times 2.2 \times 0.86 \times 1 + 1.732 \times 380 \times 3.6 \times 0.86 \times 1 = 3.2 \text{KJ}$ 。

## 六、总结

闭式水余热利用是提高能源利用效率、降低能源消耗、实现可持续发展的重要途径。本文通过对闭式水余热利用的现状及存在的问题进行分析，提出了一系列优化策略，并通过实例验证了优化方案的可行性和有效性。在实际应用中，企业应根据自身的实际情况，选择合适的闭式水余热利用方式，提高余热利用系统的稳定性，加强统一规划和管理，以实现闭式水余热的高效利用。

## 参考文献

- [1] 畅巨东. 国家电投集团协鑫滨海发电有限公司化学运行规程. 2019.
- [2] 巩耀武, 管丙军. 火力发电厂化学水处理使用技术 (2014 版) [M] 中国电力出版社.
- [3] 王学松, 郑领英. 膜技术 (2013 版) [M] 化学工业出版社.
- [4] 罗海华, 王宝玉, 赵玉柱, 催传涛. 超临界 600MW 机组闭式循环水余热利用的可行性 [J] 热力发电, 2013, 42 (3) .
- [5] 陈东, 谢继红. 热泵技术与其应用 [M] .北京: 化学工业出版社, 2008.
- [6] 雷权, 韩颖. 循环水余热回收利用技术在热电厂的应用 [J] 节能, 2014, 384.
- [7] 王讲义, 王刚. 某电厂余热回收制热水的工程实践 [J] 节能, 2011, 30 (7) : 79-81.
- [8] 石会群, 高立江. 利用吸热式热泵回收热电厂循环水余热 [J] 电力勘测设计, 2013 (4) : 31-36.
- [9] 西安热工院有限公司. 一种电厂闭式水系统水质处理及余热利用的系统及方法. 202210193085.4 [ 2022-05-27 ] .
- [10] 河南华东工控技术有限公司. 一种工业余热回收利用控制系统. 201810337998.2 [ 2018-09-18 ] .

# 陇东区域大井眼超深探井安全钻完井技术研究

惠铁军, 董家林, 童泽亮

川庆钻探工程有限公司长庆钻井总公司, 陕西 西安 710021

**摘 要 :** 为探索鄂尔多斯盆地西南部中元古界长城系崔庄组、白草坪组暗色泥岩及烃源岩情况, 部署了一口超深探井-PT-\*井, 设计井深6250米, 钻穿长城系进入太古界完钻。采用四开结构, 邻井资料少、地质不明、无超深井施工经验, 白垩纪疏松易漏含砾、井斜难控制、深层超高温、地层坚硬可钻性差等难题共存, 如何安全钻井, 颇具挑战。

**关 键 词 :** 大井眼; 钻具组合; 井壁防塌; 防漏治漏; 完井工具

## Study on the Safe Drilling and Completion Technology of Large Well Hole Ultra-Deep Exploration Hole in Longdong Area

Hui Tiejun, Dong Jialin, Tong Zeliang

CCDC Changqing General Drilling Company, Xi'an, Shaanxi 710021

**Abstract :** In order to explore the situation of dark mudstone and hydrocarbon source rocks in Cuizhuang Formation and Balawn Formation of the Middle Proterozoic Great Wall system in the southwest Ordos Basin, an ultra-deep exploration well-PT-\* well was deployed, with the designed depth of 6250 meters, drilled through the Great Wall system and drilled into the Swire Circle. Using the four-open structure, little data, unknown geology, no ultra-deep well construction experience, Cretaceous loose leakage, difficult to control, deep ultra-high temperature, hard formation, poor drillability and other problems coexist, how to drill safely is quite challenging.

**Keywords:** large well hole; drill tool combination; well wall to prevent collapse; leakage prevention and treatment; well-completion tool

## 引言

长城系超深探井具有埋藏深、大井眼、地层应力大、钻井液维护难度高、测斜仪器耐温不足等难点; 长城系发育有变质含砾石英砂岩<sup>[1]</sup>, 研磨性高, 可钻性差, 单只钻头进尺少, 机速低; 延长组、刘家沟、双石层等地层天然裂缝发育, 地层承压能力低, 区域内漏失井比例43.5%; 埋深4500~6000m的古地温130℃~185℃, 需配套耐温更高、封堵更强的钻井液。

## 一、超深探井施工难点分析

(一) 多层多段井漏。自上而下有黄土层、洛河、延安煤层、长<sub>3</sub>、长<sub>7</sub>、纸坊、和尚沟、石盒子、太原煤层、三山子、北大尖10个易漏层位。

(二) 山西组富含深灰色、黑色泥岩导致防塌难度大, 携砂难; 长城系崔庄组灰绿色泥页岩易塌, 井径扩大严重, 易卡钻。

(三) 大井眼钻进蹿跳钻, 易造成钻具疲劳、螺杆断裂, 设备振动损坏; 返速低, 携砂难, 易造成沉砂卡钻; 钻头切削齿线速度大, 磨损快, 机速低。

(四) 长城系地层硬度大、密度高, 岩石单轴抗压强度高, 机速低, 可钻性差, 单只进尺少。

## 二、超深探井安全钻完井关键配套技术

### (一) 444.5mm大井眼钻具组合设计

大井眼施工钻具的损坏一是由于钻具的纵向振动<sup>[2]</sup>、横向振

动、扭转振动相互叠加作用后形成横向摆动与井壁接触, 形成新的切点, 产生较大交变应力, 引发疲劳断裂; 二是钻具外径与井眼不匹配, 强度不足造成损坏。因此, 合理的螺杆钻具外径、钻铤外径及长度对于减低钻具故障, 防斜打直, 快速钻进尤为重要。

1. 钻铤尺寸: 钻铤尺寸决定着井眼的有效直径 $D_{he}$ 。

$$D_{he} = \frac{D_h + D_c}{2}$$

式中 $D_h$ -- 钻头直径, cm;  $D_c$ -- 钻铤外径, cm; 霍奇根据上述理论提出了允许最小钻铤外径 $D_{cmin}$ 的计算公式:

$$D_{cmin} = 2D_{cjo} - D_h$$

式中 $D_{cjo}$ -- 套管接箍外径, cm;  $D_h$ -- 钻头直径。

计算出444.5mm井眼钻铤直径为285.5mm。当下部组合中采用螺杆钻具、安装扶正器, 可使用稍小的钻铤, 一般在444.5mm井眼采用228.6mm~279.4mm的钻铤。

2. 钻铤长度: 钻铤长度取决于最大钻压、选定的钻铤尺寸与所需钻铤重量。

按目前广泛采用的浮力系数法, 应保证在最大钻压时钻杆不

作者简介: 惠铁军(1984.02-), 男, 汉族, 陕西西安人, 工程师, 本科, 从事深井钻完井技术与井下事故复杂处置与研究。

承受压缩载荷,所需的钻铤重量由下式计算:

$$G_c = \frac{W_{\max} \cdot S_f}{K_f \cdot \cos \alpha} \quad K_f = 1 - \frac{\rho_m}{\rho_s}$$

式中  $G_c$ —所需钻铤的重量,KN;  $W_{\max}$ —设计最大钻压,KN;  
 $S_f$ —安全系数,取值范围 1.15~1.25;  $K_f$ —浮力系数;  $\rho_m$ —钻井液密度  $\text{g/cm}^3$ ;  $\rho_s$ —钢材密度  $\text{g/cm}^3$ ;  $\alpha$ —井斜角°

根据钻铤重量并考虑钻铤尺寸选择的有关因素,即可确定各段钻铤的长度和钻铤柱的总长度,其长度可通过下式确定:

$$L_c = \frac{W_{\max} \cdot S_n}{q_c \cdot K_f \cdot \cos \alpha}$$

式中  $L_c$ —所需钻铤长度 m;  $W_{\max}$ —设计最大钻压 KN;  $K_f$ —浮力系数;  $S_n$ —安全系数;  $q_c$ —钻铤单位重量 KN/m;  $\alpha$ —井斜角°

PT-\* 井 444.5mm 井眼 1318m, 假设钻压 140KN, 钻井液密度为  $1.10\text{g/cm}^3$ , 井斜角  $\leq 2^\circ$ ,  $S_f$  取值 1.25,  $S_n$  取值 1.2, 使用 228.6mm 钻铤 3 根 (27m)、203.2mm 钻铤 6 根 (54m), 计算得出 177.8mm 钻铤长度为 55.9m (未考虑 286mm 螺杆钻具、244.5mm 液压减震器重量)。

### 3. 大井眼快速钻进防斜打直组合:

对于旋转钻井, 破岩机械能量采用比钻压与转速的乘积来衡量, 受制于大井眼钻具尺寸的限制, 钻头上施加的钻压不足<sup>[3-4]</sup>, 造成大井眼机械能量不足, 目前国内常使用的 444.5mm 及以上钻头的比钻压远远低于 215.9mm 和 311.2mm 钻头  $20\text{kN} / \text{in}$  的水平。要提高机械能量除了提高钻压外还可采用动力钻具提高钻头转速达到提高机械能量的目的。在保持恒定比钻压的条件下如将钻头转速提高, 也会使机械钻速有较大幅度的提高<sup>[5]</sup>。

结合 HT14 井施工数据, 采用双扶单弯动力钻具组合钻进, 可以提高钻头转速而且使用大尺寸螺杆能够采用更高的钻压来提高钻井速度, 起到了很好的防斜打直作用。

## (二) 深井个性化 PDC 钻头设计

### 1. 444.5mm 井眼钻头设计<sup>[6]</sup>

针对环河—直罗组泥岩和砂岩, 可钻性好, 埋藏浅, 设计了 7 刀、16 mm 双排齿、强保径、抗冲击能力强的 TS716PDC 钻头, 大深排屑槽流道设计, 利于井底净化。

直罗底部含有不均质石英砂岩、泥岩等, 岩性混杂, 设计了 9 刀、16 mm 双排齿、强保径、抗冲击能力强的 SD6921PDC 钻头。

### 2. 311.2mm 井眼钻头设计

针对延长组—刘家沟大段均质砂岩, 设计了 6 刀、16 mm 双排齿、强保径的 SFD65DH 钻头, 采用 55~60l/s 排量钻进, 保证净化, 实现了 311.2mm 单只钻头进尺 1353 米最高记录, 为区块最优指标。

针对下古界张夏—徐庄, 岩性密度大, 单轴抗压强度高, 研磨性强, 钻头磨损严重, 进尺低, 设计了 8 刀、13 mm 双排齿、加强保径带倒划眼、肩部限位、鼻部抗冲击能力强的 SFD85DH 钻头; 针对蓟县—长城系洛峪口地层的高研磨性, 设计了 8 刀、13 mm 双排齿、强保径、带孕镶保径齿的个性化高抗磨 TS813 钻头, 应用效果良好。

### 3. 长城系 215.9mm 井眼钻头改进及设计

深井段因地层高温、压实性强、岩石抗压强度高等因素, PDC 钻头钻速慢、单只进尺少; 普遍采用涡轮+孕镶钻头施工, 但孕镶钻头本体长、满眼、涡轮扭矩低等原因, 易发生钻头阻卡。

通过分析地层岩性及特性, 优化改进使用哈里伯顿 GT84DRS 系列钻头+中速螺杆钻具组合, 提高了耐磨性及抗冲击性, 改变 PDC 破岩为冲击压碎、研磨再带出井筒的破岩方式。该钻头施工过程中扭矩平稳, 钻时稳定, 单只钻头进尺逐步突破到 216m。

在深井段使用耐温 160~170℃、3/4 头高速螺杆+PDC 钻头钻进, 钻头转速 300~400rpm, 提高硬地层破岩效率, 相较于孕镶+涡轮钻进组合, 提速约 65.9%。

## (三) 高抗温钻井液体系及井壁防塌

针对深井温度高, 钻井液性能难控制, 在 HT14 井基础上实验改进出超高温钻井液体系, 该体系以抗高温 FT401、SMP-3、KFT、白土、石灰石为主要处理剂, 复配 K-PAM、KCl、3000 目 ZDS 进行防塌、封堵, 具有强封堵、低失水、高抗温 (180℃) 性, 兼顾纳米级粒度处理剂复配, 控粘度、降固含, 高剪切稀释性, 低循环压耗, 减少地层呼吸效应, 防塌防漏效果良好。

深井钻井液除高抗温外, 在钻进过程中应勘测全套性能, 控制塑性粘度, 降低循环压耗, 预防井漏; 可靠的流变性是携砂清理井筒的关键, 通过井眼清洁监测分析调整处理钻井液。通过高抗温钻井液体系的应用, 崔庄组泥岩稳定性大幅加强。HT14 井崔庄组泥岩打开周期 34d, 剥落坍塌严重, 返出岩屑失真; PT-\* 井至完井时崔庄组打开 90d, 井下正常, 电测井径扩大率最大仅 14.8%, 裸眼段起下钻正常。

## (四) 311.2mm 大井眼完井技术与应用

良好、稳定、清洁的井眼是下入套管的关键, 深井大井眼如何清理干净井筒是作业的难点。通过通井组合刚度计算、与套管刚度对比模拟、使用定制的 304mm 岩屑清除扶正器<sup>[7]</sup>通井、分段携砂清洗井筒、短起下验证等措施, 采用“工具+工艺+钻井液”相结合的方式清洁井筒, 以保障套管下入顺利, 同时也应根据井深提前调节套管长度, 考虑套管伸长量, 裸眼悬空尽量控制在 5m 以内。

根据胡克定律计算 4657m 技术套管在自重下的伸长量<sup>[8]</sup>:

$$\Delta L = \frac{q \cdot L^2 \cdot 100}{2 \cdot E \cdot A} \cdot \delta$$

L 为套管长度 m, q 为套管单重 kg/m, E 为弹性模量  $E=210\text{GPa}$ , A 为管材横截面积  $\text{cm}^2$ ,  $\delta$  为浮力系数, 计算出套管伸长量为:  $347.26\text{cm}$ ,  $4657\text{m}+3.48\text{m} < 4663\text{m}$ , 符合套管下深+伸长量小于井深的要求, 满足下套管条件。

采用单扶组合通井, 根据水平井斜井段井眼与套管相容性分析<sup>[9]</sup>中刚度对比  $1.32 > 1$ , 满足套管下入要求。

## (五) 元古界长城系螺杆钻具组合取心技术

PT-\* 井首次在陇东区域元古界长城系采用孕镶取心钻头+川式耐高温高强取心筒+螺杆/顶驱的井底动力驱动的复合回转钻进工艺进行取心作业<sup>[10]</sup>, 外筒材料为 42CrMo 钢, 其弹性模量  $E=210\text{GPa}$ , 屈服应力值  $930\text{MPa}$ , 设安全系数 1.5, 则许用应力:  $930 \div 1.5=620\text{MPa}$ 。计算出最大拉力为:  $F=\delta \cdot A=620 \cdot (172^2-136^2) \cdot 3.14 \div 4 \div 1000=5399.28\text{KN}$ , 实际使用时, 割心拉力不会超过  $150\text{kN}$ , 因此工具安全, 满足施工要求。

取心钻头转速 110~120rpm, 机速提高, 基本与全面钻进钻相当, 较常规取心方式提高 46.93%。

## (六) 深井井漏防治技术

对于深井而言, 裸眼段井漏, 极易造成漏塌矛盾, 导致井

下复杂。PT-\*井四开施工中,在北大尖、白草坪段(4884–5174m)共发生14次多点长段漏失,其中2次失返;2次通过随堵、11次挤封、1次注水泥堵漏方式,堵漏均取得良好效果。

在钻进过程中通过地层岩性、元素分析得出漏失原因:一是玄武岩喷发过程中地层中产生气泡,聚集形成“气包”,此地层漏失为填充型,无长效性。钻至5757m瞬时消耗 $1.3\text{m}^3$ 后正常,后续再无消耗。二是地层本身承压能力弱,当量ECD过高会发生漏失。钻至4884m时,漏速 $18\text{--}20\text{m}^3/\text{h}$ ,通过挤封提高地层承压后正常。三是地层在沉积过程中,受侵蚀、水流等影响,存在微裂缝(如北大尖、白草坪组含有方解石),在5123–5238m钻进时,当钻时加快,返出岩屑中还有方解石时,都不同程度发生了漏失。通过漏速、漏失压力分析、随钻元素分析,判断漏失原因及类型,优选抗高温堵漏材料,粒径按照正态分布,最大化与地层裂缝匹配,通过随堵、挤封、注水泥堵漏工艺,完成堵漏工作。

### (七) 深井段井下故障复杂预防技术

深井段钻进主要有钻具断裂、落物卡钻、坍塌卡钻等主要井下故障,深井因钻具悬重大,抗拉余量低,极易出现钻具故障。可靠的钻具及检测是有效防止钻具故障的有效手段。为更好的传递扭矩及保障钻具接头处的密封,PT-\*井采用了双台阶139.7mm钻杆+127mm钻杆的复合钻柱钻进<sup>[11]</sup>,通过泵压双坐岗监控、每趟钻对入井接头及钻铤探伤、卸扣释放应力、定期倒换等措施,无钻具故障发生。

在长城系北大尖下部存在棕红色变质沉积岩,沉积岩与变质岩互层、变质岩空隙间填充物胶结不牢,钻进时受钻头挤压刮削、撕裂滑脱破碎,岩屑为片、块状( $0.5\text{cm}\times 2\text{cm}\times 2\text{cm}$ ),易出现钻头阻卡,采取每钻进2m进行一次拉划,清除钻头处岩屑,打替根方式钻进,能有效降低卡钻风险。还应根据钻时、岩屑、元素分析,细化钻进参数匹配:沉积岩地层稳定且连续,宜适当增加钻压 $10\text{--}20\text{KN}$ ,提高钻速;变质岩弱化钻压,保护钻头,同时防卡;地层岩屑返出带有方解石等填充物时,可能出现漏失,应提前随堵漏剂钻进防漏。

## 三、实施效果

通过以上钻井技术的配套实施,取得了显著效果:井身质量全优,与同类型井相比,机械钻速大幅提高、钻井周期大幅缩短。

### (一) 井身质量全优

PT-\*井井身质量全优。井斜得到有效控制,一开段(0–315m)井斜最大仅为 $0.88^\circ$ (井深250米),二开井段(315–1318m)最大井斜仅为 $1.15^\circ$ (井深1275m),三开井段(1318–4663m)最大井斜 $1.15^\circ$ (井深1275m),全角变化率只有 $0.45^\circ/30\text{m}$ ,远远小于设计中全角变化率标准 $3.0^\circ/30\text{m}$ 。四开井段(4663–5818m)最大井斜 $1.15^\circ$ (井深5550m),全角变化率只有 $0.598^\circ/30\text{m}$ ,远远小于设计中全角变化率标准 $4^\circ/30\text{m}$ 。井径扩大率得到有效控制,平均井径扩大率仅为8.11%,小于一般井径扩大率10%。

### (二) 机械钻速大幅提高

444.5mm井段机速达到 $16.5\text{m}/\text{h}$ ,比HT14井提高134%,311.2井段机速达到 $13.03\text{m}/\text{h}$ ,比HT14井提高59.5%。在长城系北大尖变质岩地层使用PDC+高速螺杆钻进,相较于孕镶+涡轮钻进组合,提速约65.9%,同时规避涡轮钻具易卡风险,实现长城系高研磨变质岩地层去涡轮施工。

### (三) 钻井周期大幅度缩短

311.2mm井眼用时40.75d钻至井深4663m,比设计周期缩短13d。创造了区块元古界311.2mm井眼单只钻头最高进尺1353m、311.2mm井眼钻深最深、长城系单只钻头最高进尺216m、长城系取心最高机械钻速 $3.67\text{m}/\text{h}$ 等8项指标记录。

### (四) 应用高抗温钻井液体系并壁稳定性大幅提高

通过高抗温钻井液体系的应用,崔庄组泥岩稳定性大幅加强,HT14井崔庄组泥岩打开周期34d剥落坍塌严重,返出岩屑失真;PT-\*井至完井时崔庄组打开90d,井下正常,电测井径扩大率最大仅14.8%,平均井径扩大率8.11%,远远低于设计要求的20%,裸眼段起下钻正常。

### (五) 深层系防治漏效果显著

在北大尖、白草坪段(4884–5174m)发生过14次多点长段漏失,钻具组合中安装PBL,应用随漏、桥浆挤封等,成功率100%,节约处置时效167.5h。

### (六) 元古界地层取心技术突破

首次在陇东区域长城系采用孕镶取心钻头+川式高强取心筒+螺杆+顶驱的复合回转钻进工艺进行取心,取心钻头转速 $110\text{--}120\text{rpm}$ ,速度大幅提高,基本与全面钻进钻时相当,较常规取心方式钻提高46.93%。共使用螺杆取心3趟,取心进尺16.6m,取心收获率100%。

## 四、结论与建议

1. 如配备大尺寸钻铤(279mm)采用大钻压钻进提高破岩机械能量,444.5mm井眼的机械钻速必定会有大幅度提高。
2. 长城系北大尖下部变质岩钻进,需弱化参数,利于保护钻头,延长寿命。
3. 444.5mm井眼采用单弯螺杆组合,螺杆度数应不大于 $1.25^\circ$ 。PT-\*井使用 $0.75^\circ$ 螺杆,防斜打直效果好,未出现因井眼扩大交变载荷变大引发的钻具断裂。

### 参考文献

- [1] 井向辉, 才才利, 白海峰, 等. 鄂尔多斯盆地元古界长城系沉积、储层特征及油气勘探潜力[C]//中国矿物岩石地球化学学会岩相古地理专业委员会, International Society of Palaeogeography (ISP, 国际古地理学会), 中国矿物岩石地球化学学会沉积专业委员会, 中国地质学会沉积地质专业委员会. 第十七届全国古地理学及沉积学学术会议摘要集——专题17 超深储层表征与规模优质储层形成、保存机理. 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院; 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室; 2023:3. DOI:10.26914/c.cnkihy.2023.040876.
- [2] 苏凯, 孙友宏, 贾瑞. 基于有限元法的钻杆柱纵向振动分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(12):52–56.
- [3] 钻井手册(甲方)[M]. 北京:石油工业出版社, 1990.
- [4] 张国龙, 曹满党, 倪益明. 深井大尺寸井眼钻速低的原因及对策[J]. 石油钻探技术, 2001, 29(2):24–25.
- [5] 潘仁杰. 莫深1井 $\phi 444.5\text{mm}$ 大尺寸井眼钻井技术[J]. 天然气工业, 2008(07).
- [6] 王雷, 李勇, 李洪利, 等. 页岩油地层高效PDC钻头的设计及应用[J]. 设备管理与维修, 2023, (12):62–64. DOI:10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2023.06D.24.
- [7] 张鑫, 何阳, 和鹏飞, 等. 新型配切削齿扶正器在渤海油田的应用[J]. 科技创新与应用, 2015, (33):123.
- [8] 杨明清, 刘忠. 钻进中钻具伸长量的计算[J]. 录井技术, 2003, (04):38–42.
- [9] 石崇东. 水平井斜井段井眼与套管相容性分析[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2018, 20(01):63–66.
- [10] 张伟. 螺杆钻具取心钻进系统(KIBM系统)[J]. 探矿工程, 1987, (02):60–62.
- [11] 陈锋, 宾国成, 刘志虎, 等. 钛合金/钢钻杆复合钻柱动力学特性分析与优化设计[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2024, 48(03):75–83.



# 600MW 超超临界锅炉汽机运行稳定性分析

吴小锁

江苏润山发电有限公司，江苏 徐州 221005

**摘 要：** 本文深入探讨了600MW 超超临界锅炉汽机运行稳定性问题，主要从锅炉运行特性及其对稳定性的影响、汽机运行特性及其对稳定性的影响两个方面进行分析。通过对锅炉和汽机关键参数的详细解析，揭示了影响运行稳定性的关键因素，并提出了针对性的改进措施。这些措施旨在优化锅炉汽机系统的运行，提高其稳定性和经济性，为实际运行提供理论支持和实践指导。

**关 键 词：** 600MW 超超临界锅炉；汽机运行；稳定性

## Operation Stability Analysis of 600MW Ultra-Supercritical Boiler Steam Turbine

Wu Xiaosuo

Jiangsu Kan Shan Power Generation Co., LTD. Xuzhou, Jiangsu 221005

**Abstract：** This paper deeply discusses the operation stability of 600MW ultra-supercritical boiler, mainly from the boiler operation characteristics and its influence on stability, the operation characteristics of steam engine and its influence on stability. Through the detailed analysis of the key parameters of the boiler and steam engine, the key factors affecting the operation stability are revealed, and the targeted improvement measures are proposed. These measures aim to optimize the operation of the boiler steam engine system, improve its stability and economy, and provide theoretical support and practical guidance for the practical operation.

**Keywords：** 600MW ultra-supercritical boiler; steam engine operation; stability

随着能源需求的不断增加和环保要求的日益严格，超临界和超超临界机组在电力工业中的应用越来越广泛。600MW 超超临界锅炉汽机作为大型发电设备，其运行稳定性对于确保电网安全、提高发电效率和降低污染物排放具有重要意义。本文将从集控运行的角度出发，详细分析锅炉和汽机的运行特性及其对稳定性的影响，并提出提高运行稳定性的措施。

### 一、锅炉运行特性及其对稳定性的影响

#### （一）锅炉运行特性

超超临界锅炉作为一种高参数、高效率的发电设备，其运行特性显著且复杂。具体而言，这种锅炉的蒸汽参数远高于常规锅炉，蒸汽压力可超过25MPa，蒸汽温度则可达600℃以上，这样的高参数设计极大提升了锅炉的热效率。然而，这也对锅炉的材料选择、结构设计以及控制系统提出了更为严苛的要求。在运行方式上，超超临界锅炉通常采用直流运行，即给水一次性通过锅炉受热面加热成蒸汽，没有固定的汽水分界面，这导致了蒸发段和过热段的吸热量分配比例易于变化，进一步增加了对锅炉控制系统的挑战。此外，超超临界机组还采用复合变压运行方式以适应负荷变化，在部分负荷时运行在亚临界状态，随着负荷增加逐渐过渡到超临界状态，这种运行方式使得锅炉的热力特性更为复杂<sup>[1]</sup>。同时，超超临界锅炉的启动系统也颇为复杂，包括汽水分

离器、储水箱、循环泵等部件，要求从启动到满负荷全过程保持安全性，避免在亚临界参数下出现膜态沸腾或在超临界参数下导致管壁超温。

#### （二）锅炉运行特性对稳定性的影响

锅炉的运行特性对机组的稳定性具有至关重要的影响。在直流锅炉中，水煤比的控制是确保主汽温度稳定的关键因素，其失调会导致主汽温度偏离设计值，进而影响到机组的稳定性和经济性。因此，为了实现精确的水煤比控制，必须确保主汽温度在合理范围内波动。中间点温度作为反映锅炉蒸发和过热吸热比例的重要指标，其变化同样会对主汽温度产生影响。为了维持中间点温度的稳定，需要根据主汽温度曲线的变化，适时调整给水量、给水温度以及燃料量等关键参数。在锅炉启动和低负荷运行时，汽水分离器发挥着关键的汽水分离作用，其水位的变化会直接影响到锅炉的蒸发量和过热段的吸热量，从而进一步影响主汽温度。因此，对汽水分离器水位的精确控制也是确保锅炉稳定运行

作者简介：吴小锁（1995-），男，汉族，江苏省东海县人，本科，助理工程师，研究方向或：集控运行方向。

的重要环节。此外，过热汽温的控制同样不容忽视。过热汽温过高或过低都会给机组的安全性和经济性带来负面影响，甚至可能引发事故<sup>[2]</sup>。为此，需要采取一系列有效的过热汽温控制措施，如喷水减温、烟气分配挡板调节等，以确保过热汽温始终保持在合理范围内。

## 二、汽机运行特性及其对稳定性的影响

### （一）汽机运行特性

汽机作为将蒸汽热能转化为机械能的关键设备，其运行特性十分显著。超超临界汽机通常采用高转速设计，旨在提高功率密度和运行效率。然而，高转速也带来了振动和轴系稳定性方面的挑战。在运行过程中，汽机需要灵活适应负荷的变化，进行变工况运行，这会导致其热力参数和运行状态发生相应变化，对汽机的稳定性和安全性产生重要影响。为了实现对汽机转速、负荷以及热力参数的精确控制，超超临界汽机配备了复杂的控制系统，如数字电液控制系统（DEH）和给水泵汽机电液控制系统（MEH）等。这些系统确保了汽机在各种工况下的稳定运行。此外，汽机在高温高压环境下运行，这对所使用的材料和密封性能提出了极高的要求。高温高压环境会导致汽机部件出现热膨胀、热应力等问题，进而影响其整体稳定性和使用寿命<sup>[3]</sup>。因此，在设计 and 运行汽机时，必须充分考虑这些因素，以确保汽机的长期稳定运行。

### （二）汽机运行特性对稳定性的影响

汽机的运行特性对机组的稳定性具有至关重要的影响。转速控制是确保机组稳定运行的首要因素，转速过高或过低均会加剧机组振动，甚至可能导致轴系断裂等严重事故，因此需采用如 DEH 系统等精确的转速控制措施，将汽机转速维持在合理范围。负荷控制则是汽机适应电网需求、保证稳定运行的重要手段。负荷变化会直接影响汽机的热力参数和运行状态，进而影响机组的稳定性和经济性，因此需通过协调控制系统等有效措施，确保汽机负荷在合理范围内波动。此外，热力参数的控制也不容忽视。进汽温度、进汽压力、排汽温度等热力参数的变化均会影响汽机的效率和稳定性，需采取喷水减温、抽汽回热等精确控制措施，确保热力参数在合理范围内<sup>[4]</sup>。最后，轴系稳定性是机组安全运行的基石，需通过轴系振动监测、轴瓦温度监测等有效措施，确保轴系稳定运行，防止振动加剧和轴系断裂等事故的发生。

## 三、提高600MW 超超临界锅炉汽机运行稳定性的措施

### （一）优化锅炉控制系统

为了提升锅炉控制系统的性能和稳定性，必须从多个方面进行优化和改进。首先，精确控制水煤比是确保锅炉稳定运行的关键。通过采用先进的测量技术和控制算法，可以精确测量锅炉的给水量和燃料量，从而实现水煤比的精确控制。同时，考虑到煤质的变化可能对燃烧过程产生影响，控制系统需要根据煤质变化

及时调整水煤比，以确保主汽温度在合理范围内波动，从而保障锅炉的热效率 and 安全性。其次，优化中间点温度控制也是提升锅炉控制系统性能的重要一环。控制系统需要根据主汽温度曲线的高低来确定合适的中间点温度，并通过调整给水量、给水温度以及燃料量等参数来保持中间点温度的稳定<sup>[5]</sup>。同时，加强对中间点温度的实时监测和分析，能够及时发现并处理任何异常情况，防止潜在故障的发生。汽水分离器水位控制同样需要得到重视。采用先进的液位测量技术和控制算法，可以精确测量汽水分离器的水位，并根据水位变化及时调整给水量和循环泵转速，确保汽水分离器水位在合理范围内波动。这不仅可以防止汽水分离器发生满水或干锅等故障，还可以提高锅炉的热效率和运行稳定性。最后，加强过热汽温控制也是提升锅炉控制系统性能的重要措施之一。通过采用有效的过热汽温控制措施，如喷水减温、烟气分配挡板等，可以确保过热汽温在合理范围内波动<sup>[6]</sup>。同时，加强对过热汽温的实时监测和分析，能够及时发现并处理异常情况，保障锅炉的安全运行。

### （二）优化汽机控制系统

为了提升汽机控制系统的整体性能和运行效率，必须从多个维度进行优化和完善。在转速控制方面，采用精确的转速控制措施至关重要。例如，引入 DEH 系统等先进的控制技术，可以确保汽机转速始终维持在合理范围内。同时，加强对转速的实时监测和深入分析，能够及时发现并处理任何转速异常情况，防止潜在故障的发生。负荷控制同样不容忽视。通过采用有效的负荷控制措施，如协调控制系统，可以确保汽机负荷在合理范围内波动，既满足电网需求，又提高机组的灵活性和经济性<sup>[7]</sup>。在实际运行中，应根据电网的实时需求，及时调整汽机负荷，确保供需平衡，提高整体运行效率。热力参数控制也是优化汽机控制系统的重要一环。采用精确的热力参数控制措施，如喷水减温、抽汽回热等，可以确保汽机的热力参数如温度、压力等保持在合理范围内。同时，加强对热力参数的实时监测和分析，能够及时发现并处理异常情况，保障汽机的运行效率和稳定性。此外，提高轴系稳定性也是确保汽机安全运行的关键。采取有效的轴系稳定性控制措施，如轴系振动监测、轴瓦温度监测等，可以实时监测轴系的运行状态，及时发现潜在问题<sup>[8]</sup>。同时，加强对轴系的维护和保养，如定期检查和更换轴瓦、轴承等关键部件，可以延长轴系寿命，确保汽机长期稳定运行。

### （三）加强设备维护和管理

为了确保锅炉和汽机设备的持续高效、安全运行，必须加强设备维护和管理。具体而言，这需从多个方面入手，形成一套完整的维护管理体系。首先，定期检修和维护是确保设备性能稳定、延长使用寿命的关键。针对锅炉和汽机等关键设备，应制定详细的检修和维护计划，并严格按照计划执行。通过定期的检查、清洁、润滑和更换易损件等工作，及时发现并处理设备故障和缺陷，防止小问题演变成大问题<sup>[9]</sup>。同时，加强对设备的日常巡检和监测，利用先进的检测技术和手段，实时掌握设备运行状态，确保设备始终处于良好状态。其次，提高运行人员的技能水平和操作经验也是不可忽视的一环。企业应加强对运行人员的培

训和教育，使其熟练掌握设备操作技能和安全知识。同时，建立完善的操作规程和应急预案，明确设备操作过程中的注意事项和应急处理措施，确保在紧急情况下能够迅速、正确地处理故障，保障设备安全稳定运行。此外，加强安全管理是确保锅炉和汽机安全运行的重要保障。企业应建立完善的安全生产管理制度和监管机制，明确各级人员的安全职责和操作规程<sup>[9]</sup>。同时，加强对安全生产的宣传教育，提高员工的安全意识和责任感，形成人人关心安全、人人参与安全管理的良好氛围。

#### （四）引入新技术和新设备

为了全面提升锅炉和汽机的运行效率、智能化水平以及节能环保性能，必须积极引入和应用新技术与新设备。具体而言，首先应在测量技术和传感器方面实现突破，引入诸如激光测距、光纤测温等先进的测量技术和高精度传感器。这些技术和设备的应用，不仅能够显著提高测量的精度和可靠性，为优化控制提供更加精准的数据支撑，还能够增强对设备状态的实时监测能力，及时发现并处理潜在问题。在控制系统和算法方面，同样需要紧跟时代步伐，引入先进的控制系统和智能算法，如神经网络控制、模糊控制等。这些先进的控制系统和算法能够显著提升控制系统的智能化和自适应能力，使其能够根据设备状态和外部环境的变化，自动调整控制策略，确保锅炉和汽机始终处于最佳运行状

态。同时，加强对控制系统的维护和优化工作，也是确保其稳定运行、延长使用寿命的重要措施。此外，为了降低能耗和排放，还应积极推广和应用节能技术和设备。高效燃烧器、余热回收装置等节能技术和设备的应用，不仅能够显著降低锅炉和汽机的能耗，减少对环境的影响，还能够提高企业的经济效益和社会效益<sup>[10]</sup>。因此，应加大对节能技术和设备的评估和推广力度，推动其在更多领域得到广泛应用，为实现可持续发展目标贡献力量。

## 四、结论

600MW 超超临界锅炉汽机的运行稳定性是确保电网安全、提高发电效率和降低污染物排放的关键。通过对锅炉和汽机的运行特性及其对稳定性的影响进行深入分析，本文提出了优化锅炉和汽机控制系统、加强设备维护和管理、引入新技术和新设备等改进措施。这些措施的实施可以显著提高锅炉和汽机的运行稳定性和经济性，为实际运行提供理论支持和实践指导。未来，随着技术的不断进步和设备的不断更新，600MW 超超临界锅炉汽机的运行稳定性将得到进一步提升，为电力工业的发展做出更大贡献。同时，也需要持续关注和研究锅炉和汽机运行中的新问题和新的挑战，不断提出新的解决方案和改进措施。

## 参考文献

- [1] 张泽玉, 连长康, 任庚坡, 等. 600 MW 超超临界“W”型火焰锅炉 SNCR 脱硝的数值分析 [J]. 上海节能, 2023, (08): 1149-1154.
- [2] 郑向阳. 600 MW 超临界锅炉电除尘超低排放改造及其应用 [J]. 设备监理, 2023, (04): 50-52+59.
- [3] 颜纲要, 杜磊, 杨志君. 600MW 超临界锅炉低负荷水冷壁超温控制策略 [J]. 仪器仪表用户, 2023, 30 (01): 85-87+40.
- [4] 王学华. 600 MW 超临界锅炉深度调峰对燃烧及脱硝影响研究 [J]. 能源与节能, 2022, (12): 160-163.
- [5] 刘军, 郑志行, 吴爱军, 等. 600MW 超临界锅炉水冷壁高温腐蚀综合治理应用研究 [J]. 锅炉技术, 2022, 53 (06): 65-71.
- [6] 顾有为, 姜子翔. 600MW 超超临界烟煤锅炉褐煤掺烧运行调整研究 [J]. 锅炉制造, 2022, (05): 4-5+11.
- [7] 刘永成. 600MW 超临界锅炉高温过热器管泄露原因分析 [J]. 热加工工艺, 2022, 51 (21): 148-151.
- [8] 周公文. 600 MW 超临界锅炉水冷壁管爆管原因分析 [J]. 化工装备技术, 2022, 43 (02): 26-28.
- [9] 李建武, 陈俊彬. 600 MW 超临界锅炉热效率下降原因分析及对策 [J]. 能源与环境, 2021, (06): 25-26+42.
- [10] 钱林峰, 徐光明, 杨旭, 等. 600MW 超超临界机组锅炉三级过热器爆管分析 [J]. 锅炉技术, 2021, 52 (06): 43-47+54.

# 炼钢转炉及汽包安装技术

阎文忠, 朱丰运, 张春勇, 刘群, 陈晨

中国二十二冶集团有限公司唐山市冶金机电工程技术创新中心, 河北 唐山 064000

**摘 要 :** 课题围绕炼钢工程中转炉及汽包设备安装的关键技术展开综合性研究, 主要是针对转炉及汽包设备的设计分析、实施条件分析和施工技术研究, 按照设计和规范要求, 通过研发转炉整体推移和汽包吊装技术, 完成设备吊装和就位, 形成一项炼钢核心设备安装的综合施工技术。

**关 键 词 :** 转炉; 倾动装置; 整体推移; 汽包; 受限; 卷扬; 支座

## Installation Technology of Steelmaking Converter and Steam Container

Yan Wenzhong, Zhu Fengyun, Zhang Chunyong, Liu Qun, Chen Chen

Tangshan Metallurgical Mechanical and Electrical Engineering Technology Innovation Center of China 22MCC Group Co., Ltd. Tangshan, Hebei 064000

**Abstract :** The project focuses on the comprehensive research of key technologies for the installation of converter and steam drum equipment in steelmaking engineering. It mainly focuses on the design analysis, implementation condition analysis, and construction technology research and development of converter and steam drum equipment. According to the design and specification requirements, through the research and development of converter overall pushing and steam drum lifting technology, the equipment lifting and positioning are completed, forming a comprehensive construction technology for the installation of steelmaking core equipment.

**Keywords :** converter; tilting device; integral pushing; steam drum; restricted; winch; support

### 一、技术背景

转炉作为炼钢工程中的核心设备, 转炉的安装是炼钢工程的重中之重, 转炉需要作为主传动机构的倾动装置同时使用。传统转炉倾动装置一直采用在炉壳、托圈就位后再单独安装的方法, 因为倾动装置属于重型设备, 与转炉的托圈耳轴连接配合间隙很小, 安装精度要求高, 吊装过程中倾动装置的水平度很难控制, 安装过程耗时长, 在现场起吊安装需要消耗大量人工, 拖延工期。这个问题需要我们仔细研究, 制定针对性的创新措施, 采取全新的思路来进行解决。

对于安装于较高高度和受限空间的大型卧式设备进行抬吊、平移和就位, 例如在炼钢厂房转炉跨内进行的安装工程和生产检修工作中, 作为重量和尺寸较大的大件设备汽包的吊装一直是我们工作的重点, 同时因为汽包安装于转炉跨框架顶层平台, 安装高度偏高, 往往高达50米。多数时候使用单台大型汽车吊或履带吊吊装, 这样会大幅度增加施工费用。同时有时现场条件复杂, 如汽包到货较晚, 造成汽包间屋面结构已经完成, 使汽包吊装空间受限, 无法直接吊装就位, 都大大增加作业难度。<sup>[1]</sup>

### 二、施工方法和技术要点

#### (一) 转炉含倾动装置整体推装技术

##### 1. 技术方案和概述

为了保证施工进度跟上, 保证转炉及倾动装置能够安全高

效地完成, 我们研究在钢水车上设置支撑框架并实现转炉及倾动装置整体推装的装置和方法, 可以很好地完成生产任务。

1) 预制承载转炉托圈和炉壳的转炉支架, 转炉支架放置在钢包车上, 在支架的4根立柱顶部放置同步千斤顶, 支架的立柱底部和钢包车车体框架上焊接牛腿, 待放置配重; 利用加料跨天车先后将转炉托圈和炉壳吊装至转炉支架上, 在支架上安成炉壳和托圈的组装, 并将两侧轴承座与托圈组装。

2) 在转炉推装支架的游动端一侧, 焊接好的牛腿上放置配重板坯。

3) 继续利用加料跨天车将倾动装置提起并与托圈倾动侧耳轴组装到位, 完成倾动装置与转炉托圈的组装。

4) 钢包车前方设置有一台卷扬机, 卷扬机钩锁与钢包车连接, 卷扬机拉动钢包车匀速移动, 同时加料跨天车带动倾动装置同速跟进, 实现转炉本体及倾动装置整体推装到位。

5) 待施工人员确定转炉本体及倾动装置均已推移到位后, 使用千斤顶回落并安装固定转炉本体及倾动装置, 安装完毕后, 将加料跨天车吊钩由倾动装置上摘除, 卷扬机钩锁由钢包车上摘除, 完成转炉本体和倾动装置整体推装施工。

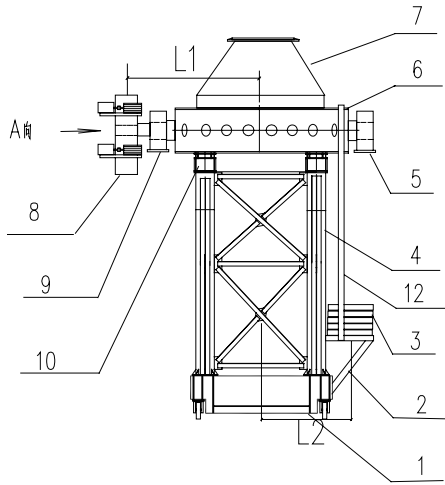
#### 2. 操作方法

步骤一: 根据转炉本体托圈、炉壳及倾动装置的吨位, 设计转炉推装支架, 在支架的4根立柱顶部放置同步千斤顶, 现场将转炉支架在钢包车上组装完成。

步骤二: 经计算, 因为组装倾动装置会造成整体偏重, 需要在其对侧使用钢板坯为配重进行平衡, 在支架靠转炉游动端一侧

作者简介: 阎文忠 (1975.06-), 男, 汉族, 辽宁省鞍山市人, 本科, 高级工程师, 研究方向: 机械安装。





> 图1 转炉整体推装示意图

图中：1——钢包车 2——牛腿支架 3——板坯配重 4——推装支架  
5——游动端轴承座 6——托圈 7——炉壳 8——倾动装置  
9——固定端轴承座 10——同步千斤顶 11——卷扬机 12——连接结构

的两个立柱底部和钢包车车体框架上使用 H 型钢制作焊接牛腿，其中牛腿的横臂焊接在支架的立柱上，牛腿的斜撑焊接在钢包车车体框架上，待放置配重的板坯。

步骤三：先将转炉托圈吊装至转炉支架上，并将转炉炉壳吊起组装在转炉托圈上，并将传动端轴承座和游动端轴承座与托圈组装，然后将准备好的长板坯放置到上个步骤安装好的牛腿上面。再使用 H 型钢制作 2 个 L 形的连接结构，用于连接托圈和板坯，连接方式在板坯侧面采用焊接，同时通过连接结构横臂钩挂在托圈的上表面。

步骤四：转炉托圈两侧设置有耳轴，其中一侧耳轴与倾动装置连接。利用加料跨天车将倾动装置（含全部一二次减速机及电机）吊起，吊装前将其 4 个一次减速机电机抱闸通过间隙调节螺母全部实现手动抱紧，套入转炉托圈传动侧耳轴并平移到位，将两对楔形键临时装入倾动装置二级减速机内孔与耳轴之间的键槽，先装静键，再研磨装入动键，动键和静键的实际错开距离 L 要大于设计距离值，不能全部装入。在倾动装置与托圈耳轴的组装过程中，始终保持倾动装置的水平状态。转炉托圈的耳轴承担倾动装置的全部重量，此时钢包车及支架已经加满了全部荷载。

步骤五：组装完成后，整个包括转炉托圈、炉壳、倾动装置及钢包车、配重的推装系统已经达到了平衡稳定的条件，倾动装置因为切向键的装入，使托圈耳轴与大齿轮连为一体，同时与大齿轮啮合的一次减速机输出轴的 4 个小齿轮因一次减速机电机抱闸的抱紧，而不会带动二次减速机大齿轮箱产生旋转。

步骤六：钢包车的前方设置有 1 台卷扬机，启动卷扬机拉动钢包车向前移动，将转炉本体及倾动装置推装至安装位置，停止卷扬机，将卷扬机的与钢包车的连接索具摘除。

步骤七：待作业人员确认转炉本体及倾动装置 4 均已被推装平移到位后，操作同步千斤顶 10 将设备回落，进行设备平移到位后的精调工作，然后安装固定转炉本体的两侧轴承座及倾动装置，完成转炉本体和倾动装置整体推装施工。

### 3. 技术优点

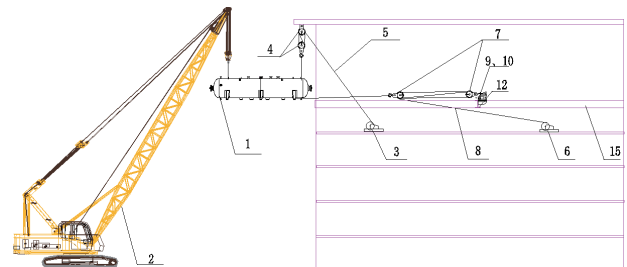
最突出的优点是解决了转炉包含倾动装置的整体推装问题，避免了单独安装倾动装置出现的难度大、效率低、费用高的突出弊端，同时对于偏重的情况处理，没有采用在倾动装置下面做支撑、滑道类的技术措施，也不需要加料跨天车辅助承载倾动装置，而是用加配重的方法保证了系统的稳定性，圆满实现了转炉整体推装，又将施工及措施费用降到了最低，取得了非常可观的经济效益。<sup>[2]</sup>

### （二）汽包吊装技术

#### 1. 技术方案和概述

该技术涉及一种用吊车和卷扬抬吊和平移设备的装置和方法，同时使用吊车和卷扬机、滑轮系统，特别是一种适用于对安装于较高高度和受限空间的大型卧式设备进行抬吊、平移和就位的装置和方法。包括吊车和卷扬机、滑轮系统以及汽包支撑或滑道，吊车仅需承担汽包重量的一半，汽包重量的另一半由卷扬机、滑轮系统承担，将汽包抬吊至就位高度再进行平移就位。

#### 2. 操作方法



> 图2 汽包吊装示意图

图中：1—汽包 2—吊车 3—卷扬 I 4—滑轮组 I 5—钢丝绳 I  
6—卷扬 II 7—滑轮组 II 8—钢丝绳 II  
9—支座（9-1 固定座 9-2 活动座 9-3 连接螺栓 9-4 固定顶丝）  
10—连梁 11—千斤顶 12—平台梁 1 13—平台梁 2 14—卡环 15—平台

（1）采用钢板切割下料制作支座，该支座用于千斤顶的支顶作业。

（2）分别将主吊装系统的 3—卷扬 I、4—滑轮组 I、5—钢丝绳 I 和水平牵引系统的 6—卷扬 II、7—滑轮组 II、8—钢丝绳 II 设置于钢结构框架和平台。

（3）将汽包和吊车的在吊装地面位置布置，并将汽包两端分别与吊车的吊钩和 4—滑轮组 I 采用钢丝绳索具进行连接。

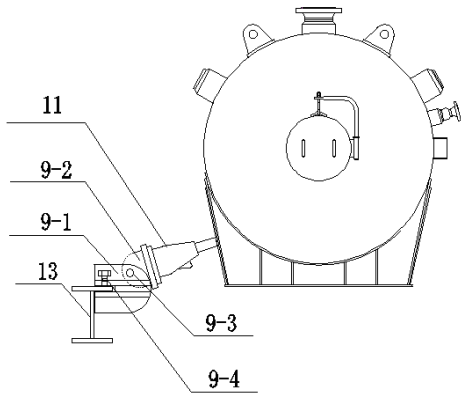
（4）同时操作吊车和 3—卷扬 I、4—滑轮组 I、5—钢丝绳 I，缓慢将汽包提升，当汽包高度超过平台 15 时，停止吊车提升和卷扬 3。

（5）将 7—滑轮组 II 与汽包通过钢丝绳连接，启动 6—卷扬 II 将汽包向平台里侧拉动，吊车配合进行吊臂回转，辅助汽包的水平移动，同时反向启动 3—卷扬 I，逐步松开 5—钢丝绳 I。

（6）当汽包的一侧支座完全与平台梁接触后，停止 6—卷扬 II 和吊车的回转。将 4—滑轮组 I、5—钢丝绳 I 与汽包 1 完全脱开。

（7）在平台梁上涂抹干油以减小小滑移摩擦阻力，启动 6—卷扬 II 继续将汽包向平台里侧拉动，吊车吊臂回转继续配合对汽包进行滑移，当汽包的另一侧支座也进入平台的区域内，能够与平台梁接触后，停止 6—卷扬 II，将吊车与汽包摘钩。

(8) 单独采用6—卷扬 II、7—滑轮组 II、8—钢丝绳 II 将汽包牵引至安装位置，行进过程中中心线的偏移采用千斤顶进行调整，具体方法是采用支座9为其提供支撑点，将9-1固定座插入平台梁上翼板，采用固定顶丝9-4顶紧平台梁上翼板进行固定。见下图。



> 图3 汽包调整示意图

(9) 因汽包用于千斤顶支顶几乎没有理想的垂直平面，角度可调的活动支座解决了这个问题，我们通过松紧螺栓调节其活动座的角度，以此来保证千斤顶的支顶轴线与汽包支顶面垂直或圆弧曲面切线垂直。既能满足千斤顶支顶斜面，又能满足千斤顶支顶圆弧曲面，这个装置和方法同样满足汽包滑移至安装位置后的找正精调。该措施显著提高千斤顶的稳定性，防止支顶过程中突然滑脱，保证了作业安全，提高了作业效率。<sup>[3]</sup>

### 三、技术的突出优点

(1) 该方法由于吊车仅需承担汽包重量的一半，使采用吊车车型也随之减小，大大降低了吊车租赁费用。不限于转炉汽包，为工业领域其他重量和尺寸较大的大件设备吊装提供了一个新的思路。

(2) 该方法有利于克服吊车双机抬吊费用和危险性较高的缺点，更加有利于汽包到达安装高度后进行单侧高度、水平度和平面角度的调整。

(3) 该方法有利于克服全部采用卷扬、滑轮系统吊装时进行设备平移并全部进入到支撑平台比较困难的缺点，通过外部吊车的回转，高效实现这一步操作。

(4) 与全部采用卷扬、滑轮系统吊装相比，该装置提高了作业安全性，保护了作业人员和设备安全。

(5) 该方法可采用吊装吊车进行卷扬、滑轮系统的拆装，比较方便和迅速，提高了施工效率。

(6) 移动式支座装置在能够为千斤顶和倒链、滑轮提供着力或连接点的同时，从平台梁翼板单侧即可插入装配，避免了对所依靠的平台梁焊接造成的损害或变形。

(7) 移动式支座装置与千斤顶的接触面具有角度调节功能，满足千斤顶支顶非垂直平面或曲面，也显著改善了装置及平台梁受力状况。

### 参考文献

- [1] 王作雅，赵黎明，黄捷. 炼钢转炉倾动机构整体安装技术总结 [J]. 安装, 2017, (04):47-49.
- [2] 张啸风，王敏. 冶金工厂炼钢核心设备模块化安装施工技术 [J]. 冶金与材料, 2023, 43(08):115-117.
- [3] 周小程. 2×150t 转炉本体设备台车法安装技术浅析 [J]. 中国设备工程, 2022, (06):105-106.

# 基于振动分析的汽机转机泵故障诊断技术研究

王科然

辽宁清河电力检修有限责任公司, 辽宁 瓦房店 116300

**摘 要：** 随着工业生产技术的不断进步，汽机转机泵作为重要的机械设备，在电力、石化、冶金等行业中扮演着至关重要的角色。然而，由于其结构的复杂性和运行环境的特殊性，汽机转机泵故障频发，严重影响了生产效率与设备安全。因此，对汽机转机泵进行故障诊断技术的研究显得尤为重要。本文基于振动分析的方法，对汽机转机泵的故障诊断技术进行了深入研究。通过对振动信号的采集、处理与分析，结合现代信号处理技术和人工智能技术，实现了对汽机转机泵故障类型的准确识别与定位。研究结果表明，基于振动分析的故障诊断技术具有较高的诊断精度与可靠性，为汽机转机泵的故障预防与维修提供了有效的技术支持。

**关 键 词：** 汽机转机泵；振动分析；故障诊断

## Research on Fault Diagnosis Technology of Turbine Transfer Pump Based on Vibration Analysis

Wang Keran

Liaoning Qinghe Electric Power Maintenance Co., Ltd. Wafangdian, Liaoning 116300

**Abstract：** With the continuous progress of industrial production technology, the steam turbine transfer pump, as an important mechanical equipment, plays a vital role in electric power, petrochemical, metallurgy and other industries. However, due to the complexity of its structure and the particularity of the operating environment, the failure of the steam turbine transfer pump is frequent, which seriously affects the production efficiency and equipment safety. Therefore, it is particularly important to study the fault diagnosis technology of steam turbine transfer pump. Based on the method of vibration analysis, the fault diagnosis technology of steam turbine transfer pump is studied in depth. Through the acquisition, processing and analysis of vibration signals, combined with modern signal processing technology and artificial intelligence technology, the accurate identification and positioning of the fault type of the steam turbine transfer pump are realized. The results show that the fault diagnosis technology based on vibration analysis has high diagnostic accuracy and reliability, and provides effective technical support for the fault prevention and maintenance of steam turbine transfer pump.

**Keywords：** steam turbine transfer pump; vibration analysis; troubleshooting

汽机转机泵作为电力生产和工业流程中的关键设备，其运行状态直接关系到整个系统的安全与稳定。然而，由于设备结构的复杂性和运行环境的恶劣性，汽机转机泵在运行过程中难免会出现各种故障。常见的故障类型包括转子不平衡、转子弯曲、油膜振荡、碰摩、轴承损坏等，这些故障不仅会导致设备性能下降，严重时还会引发安全事故。因此，对汽机转机泵进行故障诊断，及时发现并排除故障，对于保障设备安全运行、提高生产效率具有重要意义。近年来，随着信号处理技术和人工智能技术的不断发展，基于振动分析的故障诊断技术逐渐成为研究热点。振动信号作为机械设备运行状态的重要信息源，包含了丰富的故障信息。通过对振动信号的采集、处理与分析，可以实现对设备故障类型的准确识别与定位。本文旨在探讨基于振动分析的汽机转机泵故障诊断技术，为设备的故障预防与维修提供技术支持。

### 一、基于振动分析的故障诊断原理

振动分析法是对设备所产生的机械振动进行信号采集、数据处理后，根据振幅、频率、相位及相关图谱所进行的故障分析。在大机组的所有故障中，振动故障的概率最高，且振动信号所

括的设备状态的信息量最大。因此，振动分析法是转动设备故障诊断中运用最广泛、最有效的方法。

#### (一) 振动信号的采集与处理

振动信号的采集与处理在故障诊断过程中占据着至关重要的地位。这一流程起始于利用专业的传感器设备，如加速度传感

作者简介：王科然(1992.01-)，男，汉族，辽宁省铁岭市人，本科，研究方向：汽机转机检修(泵)。

器、速度传感器或位移传感器，它们能够精准地将汽机转机泵的机械振动转化为电信号形式，便于后续的记录与分析。然而，原始采集到的振动信号往往混杂着多种噪声与干扰因素，这些不必要的成分会极大地影响信号分析的准确性。因此，为了提升信号质量，确保故障诊断的可靠性，对振动信号进行预处理是不可或缺步骤。预处理工作主要包括滤波处理，以去除高频或低频的噪声干扰；去噪技术，旨在进一步净化信号；以及信号增强手段，通过放大有效信号成分，使其更加凸显。这一系列预处理措施共同作用于振动信号，为后续的精确定分析与故障诊断奠定了坚实的基础。

### （二）信号处理技术

现代信号处理技术在振动分析中发挥着举足轻重的作用，为深入理解和诊断机械振动提供了强有力的工具。其中，傅里叶变换是一项基础且广泛应用的技术，它能够将时域中的振动信号转换到频域，从而清晰地揭示出信号中的频率成分，为振动特性的分析提供了直观的依据。而小波变换则以其独特的时间-尺度分析能力脱颖而出，它不仅能够在多个分辨率下对信号进行细致剖析，还能有效检测信号的奇异特征，这使得它在处理非平稳信号时表现出色，为振动信号的动态分析提供了新的视角。此外，经验模态分解技术通过将复杂的时间序列信号分解为一系列单组分的本征模态函数，实现了信号的精细分解。每个本征模态函数都代表着信号在不同尺度上的瞬时频率特征，避免了频率组分的相互叠加，为振动信号的深入分析提供了更为精确的手段。这些先进的信号处理技术共同推动着振动分析领域的发展。

### （三）故障特征提取

故障特征提取是振动分析流程中的核心环节，对于准确识别设备故障状态具有至关重要的作用。在这一步骤中，技术人员需要对经过预处理后的振动信号进行深入分析，以提取出能够反映设备运行状态的特征参数。这些特征参数通常包括振幅、频率和相位等关键指标，它们能够直观地展示出振动信号的波动情况、周期性变化以及相位关系等关键信息。通过对这些特征参数的细致观察和比对，技术人员可以准确地捕捉到设备在故障发生前后的振动特性变化，从而为后续的故障诊断提供有力的依据。因此，故障特征提取不仅是对振动信号进行深度挖掘的过程，更是确保故障诊断准确性和可靠性的重要保障。通过这一步骤，技术人员能够更有效地识别设备的潜在故障，为设备的维护和管理提供科学的决策支持。

## 二、基于振动分析的故障诊断方法

### （一）基于信号处理的故障诊断方法

基于信号处理的故障诊断方法是一种高效且精确的技术手段，它依赖于现代信号处理技术的深入分析能力，通过对设备振动信号进行细致剖析，提取出关键的故障特征，从而实现故障的准确识别<sup>[1]</sup>。在这一方法中，频谱分析是不可或缺的一环。该方法通过应用傅里叶变换这一数学工具，巧妙地将振动信号从时域转换到频域，使得技术人员能够清晰地观察到信号中各个频率成分

的变化情况。通过对比分析正常状态与故障状态下频率成分的差异，可以准确地判断出故障的类型及其可能的原因，为后续的维修和保养工作提供有力的依据。除了频谱分析，包络分析也是基于信号处理的故障诊断方法中的重要组成部分。该方法主要通过解调处理，提取出包含关键信息的包络信号。包络信号能够反映出设备在运行过程中产生的冲击和振动情况，特别是轴承、齿轮等关键部件的故障特征。通过对包络信号进行频率成分的分析，可以进一步揭示出故障的具体位置和严重程度，为设备的精准诊断提供有力支持<sup>[2]</sup>。此外，小波分析作为一种先进的信号处理技术，也在故障诊断中发挥着重要作用。它利用小波变换对振动信号进行多分辨率分析，不仅能够捕捉到信号的细节特征，还能有效检测信号的奇异点<sup>[3]</sup>。这些奇异点往往与设备的故障密切相关，因此通过小波分析可以提取出更为精细的故障特征，为设备的故障诊断提供更加准确和可靠的依据。

### （二）基于人工智能的故障诊断方法

基于人工智能的故障诊断方法是一种前沿且高效的技术手段，它充分利用神经网络、支持向量机以及专家系统等人工智能技术，对设备振动信号进行深度模式识别，以实现故障的精准分类<sup>[4]</sup>。在这一方法中，神经网络发挥着举足轻重的作用。通过训练神经网络模型，使其能够学习到不同故障类型所对应的振动信号特征，进而实现对故障类型的准确识别与分类。神经网络凭借其强大的非线性映射能力和自学习能力，在处理复杂多变的故障模式时表现出色，为故障诊断提供了有力的支持。支持向量机则是另一种重要的机器学习方法，它基于统计学习理论，通过构建支持向量机模型，对振动信号进行高效分类识别<sup>[5]</sup>。支持向量机具有出色的泛化能力和分类精度，能够在有限的训练样本下实现较好的故障诊断效果，为设备的稳定运行提供了有力保障。此外，专家系统也是基于人工智能的故障诊断方法中的重要组成部分。它基于领域专家的知识和经验，通过构建专家系统模型，模拟人类专家的思维过程，对振动信号进行智能故障诊断。专家系统能够处理复杂多变的故障问题，为技术人员提供可靠的故障诊断建议，提高了故障诊断的准确性和效率<sup>[6]</sup>。

### （三）基于解析模型的故障诊断方法

基于解析模型的故障诊断方法是一种依赖于精确系统模型进行故障检测和诊断的先进技术。该方法的核心在于利用系统模型对振动信号进行深入分析，通过构建系统结构、行为以及功能模型，实现对设备故障状态的精准诊断推理<sup>[7]</sup>。这一方法要求技术人员首先根据设备的物理特性和工作原理，建立起详尽且准确的系统模型。该模型不仅包含了设备的结构特征，还涵盖了其运行过程中的行为模式和功能表现，为后续的故障诊断提供了坚实的理论基础。在基于解析模型的故障诊断过程中，技术人员会利用所建立的系统模型，对采集到的振动信号进行细致的分析和处理。通过对比实际振动信号与模型预测信号之间的差异，可以敏锐地捕捉到设备在运行过程中可能出现的异常情况<sup>[8]</sup>。这些异常情况往往与设备的故障状态密切相关，因此通过对振动信号的深入分析，可以实现对设备故障类型的准确判断。值得一提的是，基于解析模型的故障诊断方法特别适用于已知系统结构和参数的故障



诊断场景<sup>[9]</sup>。在这种情况下，技术人员可以充分利用系统模型中的已知信息，对振动信号进行更为精确的诊断推理，从而进一步提高故障诊断的准确性和可靠性。

### 三、故障诊断技术的应用与发展

#### （一）实时监测与预警

随着传感器技术和数据处理技术的不断进步，实时监测与预警已成为故障诊断技术的重要发展趋势。在汽机转机泵等关键设备上安装高精度传感器，能够实时捕捉设备的振动信号，为故障的早期预警和准确诊断提供了可能。这些传感器所采集的数据，经过先进的故障诊断算法处理，能够迅速识别出设备在运行过程中可能出现的异常情况。一旦检测到潜在故障，系统便会立即发出预警信号，通知技术人员进行及时检修，从而有效避免故障的发生或进一步扩大。实时监测与预警技术的应用，不仅显著提高了设备的可靠性和安全性，还大大降低了因故障停机而造成的经济损失。它使得技术人员能够迅速响应设备故障，减少维修时间，确保设备的持续稳定运行。这一技术的发展，无疑为工业生产的安全和效率带来了革命性的提升。

#### （二）智能诊断系统

智能诊断系统是故障诊断领域的一项创新技术，它将信号处理、人工智能以及解析模型等多种技术巧妙融合，构建出一个功能强大的故障诊断平台。该系统具备自动采集振动信号的能力，能够实时捕捉设备运行状态的关键信息。在采集到振动信号后，智能诊断系统会对其进行预处理和特征提取，以获取用于故障识别的关键数据。随后，利用神经网络、支持向量机等先进的算法，对这些特征数据进行深度分析和模式识别，从而准确判断设备的故障类型和故障位置。智能诊断系统的显著特点在于其自动化、智能化和高效化。它无需人工干预，即可自动完成从信号采集到故障识别的全过程，大大提高了故障诊断的效率和准确

性<sup>[10]</sup>。此外，该系统还能够根据历史数据和故障模式，不断优化自身的诊断算法，实现故障诊断的持续优化和升级。展望未来，智能诊断系统将成为故障诊断技术的重要发展方向，为设备的稳定运行和工业生产的安全高效提供有力保障。

#### （三）故障预测与健康管理

故障预测与健康管理代表着基于振动分析的故障诊断技术的一个重要演进方向。这一技术框架通过对设备振动信号的长期、持续监测，结合设备运行的历史数据和维修记录，构建出设备健康状态的全面评估模型。该模型能够深入分析设备的振动特性，准确预测其剩余寿命以及故障的发展趋势。这种预测能力使得技术人员能够提前洞察设备可能存在的问题，从而有针对性地制定维修计划，避免设备在关键时刻突发故障，确保生产流程的连续性和稳定性。故障预测与健康管理不仅提升了设备的可靠性，还显著增强了其经济性。通过优化维修策略，减少不必要的停机时间和维修成本，企业能够更有效地利用设备资源，提高整体运营效率。这一技术的发展和應用，对于保障设备健康、提升生产效率具有重要意义。

### 四、结论

基于振动分析的汽机转机泵故障诊断技术是一种有效的故障诊断方法。通过对振动信号的采集、处理与分析，结合现代信号处理技术和人工智能技术，可以实现对汽机转机泵故障类型的准确识别与定位。本文介绍了基于振动分析的故障诊断原理、方法和应用，探讨了故障诊断技术的发展方向。研究表明，基于振动分析的故障诊断技术具有较高的诊断精度与可靠性，为汽机转机泵的故障预防与维修提供了有效的技术支持。未来，随着传感器技术、数据处理技术和人工智能技术的不断发展，故障诊断技术将朝着更加智能化、高效化和自动化的方向发展。

### 参考文献

[1] 周新生, 陈留成, 卢永慧. 振动分析在循环气压缩机电机故障诊断中的应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44 (19): 129-131.  
[2] 郑洋. 基于振动分析的发动机异响故障诊断 [J]. 专用汽车, 2024, (09): 109-112.  
[3] 梁金舵. 风机振动的监测与故障诊断技术分析 [J]. 集成电路应用, 2024, 41 (06): 324-325.  
[4] 张殿树. 在线监测与频谱分析在汽机故障诊断中的应用 [J]. 化工管理, 2020, (18): 150-151.  
[5] 宋太浩, 许国胜. 在线监测与频谱分析在汽机故障诊断中的应用 [J]. 化工进展, 2020, 39 (S1): 101-106.  
[6] 徐军锋. 电厂汽机摩擦振动故障分析与诊断 [J]. 设备管理与维修, 2019, (21): 158-160.  
[7] 张鹏, 刘德荣. 汽动给水泵周期性振动故障诊断分析 [J]. 电站系统工程, 2018, 34 (02): 56-58.  
[8] 邓彤天, 洪宇. 汽机故障诊断专家系统与调速振荡诊断分析系统的研究方法 [J]. 汽轮机技术, 2015, 57 (05): 391-392+395.  
[9] 屈斌, 张宁, 甘智勇, 等. 汽动给水泵油膜振荡故障分析与治理 [J]. 热力透平, 2015, 44 (03): 215-219.  
[10] 童小忠. 某燃机电厂1号汽轮发电机异常振动分析和故障处理 [J]. 汽轮机技术, 2007, (05): 382-384.

# 组合支挡及分台支挡方案在挖方高边坡中的应用

陈贵生<sup>1</sup>, 余再西<sup>2\*</sup>

1. 昆明恒基建设工程施工图审查中心, 云南 昆明 650000

2. 云南建安昆宁工程设计咨询有限公司, 云南 昆明 650000

**摘 要 :** 边坡工程因地质条件的时空变异性强、诱发因素多、不确定性强, 导致其破坏模式复杂多变、治理难度大、事故多发, 是工程建设安全管控的重点和难点, 高大边坡更是如此。单一的支护形式难以应对各种可能出现的不利因素而导致坡体变形或垮塌, 多种治理措施或支护方式联合使用成为边坡支护工程的常态。本文基于某实际工程案例, 探讨了组合支挡结构和分台支挡方案在挖方高边坡工程中的应用情况, 提出了组合支挡及分台支挡方案设计思路及其重点、难点和关键点, 以供类似项目参考借鉴。

**关 键 词 :** 挖方高边坡; 组合支挡; 分台支挡; 稳定性分析; 工程应用

## Application of Combined Support and Split-Platform Support Design in Excavated High Slopes

Chen Guisheng<sup>1</sup>, Yu Zaixi<sup>2\*</sup>

1. Kunming Hengji Construction Engineering Construction Drawing Review Center, Kunming, Yunnan 650000

2. Yunnan Jianan Kunming Engineering Design & Consulting Co., LTD. Kunming, Yunnan 650000

**Abstract :** Slope engineering is characterized by strong temporal and spatial variability of geological conditions, multiple inducing factors, and high uncertainty, which leads to complex and variable failure modes, difficult governance, and frequent accidents, making it a key and difficult point in the safety management of engineering construction. High and steep slopes are even more so. A single support form cannot effectively deal with various possible unfavorable factors that may cause slope deformation or collapse, and the combination of multiple governance measures or support methods has become the norm in slope support engineering. Based on a real engineering case, this paper discusses the application of composite retaining structures and tiered retaining schemes in cut high slope engineering, proposes the design ideas, key points, difficulties, and key points of composite retaining and tiered retaining schemes, and provides reference and learning for similar projects.

**Keywords :** excavated high slopes; combined support; split-platform support; stability analysis; engineering applications

### 一、研究背景

边坡工程因地质条件的时空变异性强、诱发因素多、不确定性强, 导致其破坏模式复杂多变、治理难度大、事故多发, 是工程建设安全管控的重点和难点, 高大边坡更是如此。单一的支护形式难以应对各种可能出现的不利因素而导致坡体变形或垮塌, 多种治理措施或支护方式联合使用成为边坡支护工程的常态。挖方高边坡的工程项目, 尤其是山区公路、铁路和水利工程等场景, 因其具有地形陡峭、地质条件复杂、边坡高度较高的特点, 一直是岩土工程领域的研究热点和技术难点<sup>[1,2]</sup>。随着我国基础设施建设的不断推进, 许多项目的选址逐渐延伸到地质条件复杂的山区和丘陵地区, 挖方高边坡的支护设计与施工面临着越来越高的挑战。挖方高边坡支挡设计不仅关系到施工安全, 更直接影响工程的长期稳定性, 因此有必要探讨其支挡结构的合理设计及技

术支持。

边坡工程因地质条件的时空变异性强, 挖方高边坡通常存在软硬不均的地质条件, 如软土层、风化层或岩石夹层等, 坡体在开挖过程中容易产生滑动和变形, 大大增加了支挡结构设计的复杂性<sup>[3,4]</sup>。高边坡的高度及坡度较大, 单一支挡形式往往难以满足其支挡要求, 实际工程中通常使用组合支挡结构来达到治理目的。地下水的影响也是挖方高边坡支挡中的重要难点, 地下水渗流作用不仅影响边坡稳定性, 还可能对岩土体和支挡结构产生削弱作用。综上所述: 挖方高边坡的支挡施工难度较大, 受地形、气候及施工空间限制, 施工技术和管理要求高。因此支挡结构的合理布置及边坡变形和稳定性控制是设计的核心目标之一。本文基于某实际工程案例, 探讨了组合支挡结构和分台支挡方案在挖方高边坡工程中的应用情况, 提出了组合支挡及分台支挡方案设计思路及其重点、难点和关键点, 以供类似项目参考借鉴。

第一作者简介: 陈贵生 (1965-), 男, 汉族, 云南曲靖人, 工程地质学士, 高级工程师, 国家注册土木工程师 (岩土), 主要从事岩土工程勘察、设计、检测、咨询和施工图审查工作, Email: chs97412@163.com。

通讯作者简介: 余再西 (1988-), 男, 汉族, 云南大理人, 岩土工程硕士, 高级工程师, 国家注册土木工程师 (岩土)、一级建造师, 主要从事岩土工程勘察、设计、审查、咨询和研究工作, Email: 764388172@qq.com。

二、工程概况

(一) 基本概况

此边坡项目位于山体半坡，地貌类型为构造低、中山缓斜坡地貌，场地为一单斜坡，场地平整工作完成后将在场地外形成了多处边坡，其中3#边坡为位于建筑区上坡向，为挖方斜坡，边坡长约168.3m，坡度为36°~46°，挖方后支挡高度为5.58m~27.56m，如图1所示。结合场地规划以及合理治理理念，决定对3#边坡进行分段分方案治理，其中边坡3#A支挡高度26.80m~27.56m、边坡3#B支挡高度27.56m~26.30m，坡顶电塔须保护。本文主要对挖方高边坡段—3#A、3#B的支挡结构及设计展开讨论。



> 图1 治理前边坡实景图  
> Fig. 1 Realistic view of the slope before treatment

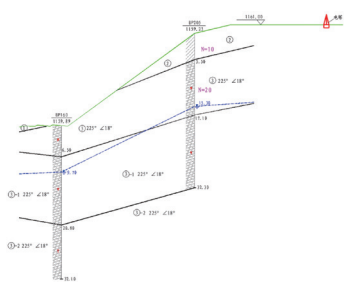
(二) 工程地质条件

项目区域地基土(岩)层包括第四系填土层( $Q^{ml}$ )和第四系坡残积( $Q^{el}$ )黏性土层，白垩系下统普曼岗组( $K_{1m}$ )泥岩，局部夹薄层粉砂质泥岩。场地下伏基岩岩层倾向约在220°~230°之间，倾角约在 $\angle 15^\circ \sim 21^\circ$ 之间。具体各地层情况如下：①素填土：褐红色，松散，湿，成份以粉质黏土为主，局部为粉土夹层，含少量角砾、碎石，未经碾压，土质不均匀，未完成自重固结。②粉质黏土：褐红色，稍湿，可塑~硬塑状，中等压缩性。含少量未风化完全岩石碎块，稍有光泽，韧性中等，局部夹粉土层。③全风化泥岩：褐红色，稍湿，已风化为土状，切面稍粗，韧性中等，可~硬塑，中等压缩性，不均匀含5%~30%左右的粒径多为2~5cm、部分5~20cm的风化泥岩碎块。④-1强风化泥岩：褐红色，泥质结构，碎块状构造，差异风化强烈，节理、裂隙极发育，黏性土充填，岩体基本质量等级为V级。⑤-2中风化泥岩：褐红色，泥质结构为主，部分粉粒结构，中厚层状构造，岩石强度差异较大，岩体较破碎~较完整，节理、裂隙较发育，泥质充填，差异风化明显。岩石饱和单轴抗压强度为1.74~17.2Mpa，平均值为7.61Mpa，标准值为3.6Mpa，岩体强度差异大，以软岩为主，部分为极软岩，软化系数为0.626，为软化岩石，岩石基本质量等级为V级。

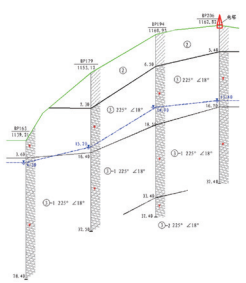
各土(岩)层物理力学指标取值见表1，削坡前地层结构分别见图2、图3。

表1 各岩土层物理力学指标(注：\*表示为经验值)  
Table 1 Physical and mechanical parameters of each rock and soil layer

土层及代号	土的重度 $\gamma$ ( $kN/m^3$ )	地基承载力特征值 $F_{ak}$ (kPa)	天然状态		浸水状态		锚固体与岩土层粘结强度标准值 $f_{reb}$ (kPa)
			粘聚力 $c$ (kPa)	内摩擦角 $\phi$ (°)	粘聚力 $c$ (kPa)	内摩擦角 $\phi$ (°)	
①素填土	18.8	90	20.0	8.0	16.0	7.0	18
②粉质黏土	20.0	170	43.0	14.0	35.0	9.0	55
③全风化泥岩	20.7	180	44.0	15.0	33.0	10.0	60
③-1强风化泥岩	22.5	260	45.0	23.0	36	18	120
③-2中风化泥岩	25.7	—	70.0*	35.0*	—	—	270



> 图2 边坡3#A 削坡前地层结构图  
> Fig. 2 Stratigraphic structure of slope 3#A before slope cutting



> 图3 边坡3#B 削坡前地层结构图  
> Fig. 3 Stratigraphic structure of slope 3#B before slope cutting

全强风化泥岩含水量较大时，物理力学指标降低明显，极易造成边坡失稳滑动。此外，根据评价分析<sup>[5]</sup>，场地地下水对砼结构及钢筋砼结构中的钢筋具有微腐蚀性。

三、边坡治理

(一) 边坡稳定性分析

根据《建筑边坡工程技术规范》(GB50330-2013)<sup>[6]</sup>，确定边坡3#A、边坡3#B的安全等级确定为一。一般工况情况下边坡稳定安全系数 $F_{st}$ 不应小于1.35，校核工况(地震工况)边坡稳定安全系数 $F_{st}$ 不应小于1.15，校核工况(浸水工况)边坡稳定安全系数 $F_{st}$ 不应小于1.10。根据边坡的工程地质条件，结合表1各岩土层物理力学指标，采用理正边坡综合治理分析软件对削坡未支挡工况下边坡的稳定性和剩余下滑力进行分析计算，计算结果见表2。

(三) 水文地质条件

场地静止水位埋深约0.0~16.5m，水位随季度变化较大，变化幅度为1.5~2.0m。场地内地下水赋存于①人工填土、②粉质黏土和③系列泥岩中，为裂隙水和孔隙水组成的混合水，黏性土及



结果表明,在边坡削坡未支挡的一般工况下,边坡3#A、边坡3#B均不足1.35,为欠稳定和欠稳定状态。在浸水工况下,边坡稳定性大幅下降,表明坡体稳定性受地下水升降或降雨影响显著。此外,边坡3#B在各个工况下的稳定安全系数均不足1.0,表明其开挖风险大。因此,为保证场地永久性边坡稳定以及山顶电塔、坡下拟建建(构)筑物等的安全使用,需对边坡3#A、3#B进行支挡设计,且支挡结构在设计中需要有效考虑截排水系统,使其满足安全要求。

表2 削坡未支挡工况下的稳定性和剩余下滑力分析  
Table 2 Stability and residual sliding force analysis for the unsupported condition of the cutting slope

边坡号	稳定安全系数			剩余下滑力 kN/m			
	一般工况	地震工况	浸水工况	圆弧法	折线法		
				一般工况	一般工况	地震工况	浸水工况
3#A	1.046	1.045	0.794	761.128	161.288	0	425.337
3#B	0.747	0.746	0.478	1429.152	1407.919	1095.845	1745.637

(二) 选型分析

挖方边坡可以选择的支护结构主要有重力式挡墙、锚杆(索)挡墙、抗滑桩等支挡措施;开挖卸荷堆载反压等减小应力应变提高稳定性的削坡方案;坡面截排水和坡体内截排水措施。挖方边坡有条件应以削坡方案为主,削坡方案满足稳定性要求的基础上再辅以截排水措施进行治理;若削坡方案不能满足变形和稳定性的要求,应采取抗滑桩、锚索和挡墙等支挡措施,这样才能做到经济合理。本项目综合考虑工程地质条件、地下水影响、边坡高度、可利用的放坡条件、边坡的保护对象等因素,先验算了纯削坡减载方案,论证发现边坡高度太高,放坡空间有限,采用纯削坡减载方案不能满足安全要求,故需要考虑使用多形式联合支挡结构,以满足其高边坡的稳定性要求。在组合支护结构中,常用的支挡部件包括挡土墙、抗滑桩、锚杆(索)和格构梁等。首先,抗滑桩嵌入深度较大,相较于挡土墙更能有效控制坡体的深层滑移,抗滑桩桩体刚度较大,提供良好的抗弯支撑,使整个支护体系更加稳固。其次,锚杆(索)适用于多种土体和岩体,特别适用于坡体浅层滑动控制,且锚杆(索)具有较好的灵活性,可以根据实际情况调整其布置方式。最后,基于坡体排水系统的布置、防止坡体表层土石剥落、增强坡面和坡体浅层的稳定性,可在组合支挡结构中加入格构梁。

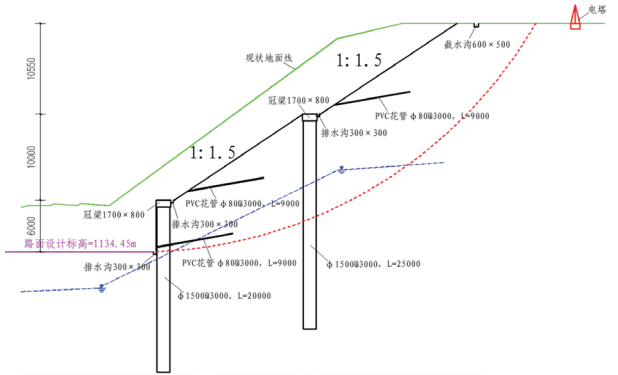
分台支挡是一种常用的高边坡支护方式,尤其适用于高度较高、地质条件复杂的边坡。分台支护通过将坡体分段、降低单层边坡的高度,可以有效提高了边坡的自稳能力。分台支挡也为组合支挡提供了便利的条件,不同土层和高度的支护需求各异,分台设计可以根据坡体土层的特点布置不同的支护结构,形成多层次、多类型的支挡形式,优化了整体设计。此外,在坡体较高的情况下,采用分台阶形式施工,可以有效降低每一台阶的施工难度。而抗滑桩、锚杆、格构梁等支挡部件各具优势,相互合理组合能够在复杂地质条件和多变工况下确保边坡的长期稳定性。

综上分析,组合支挡和分台支挡在边坡3#A、3#B的支挡设计中具有必要性、合理性和可行性。

(三) 具体方案设计

根据分析论证和计算后,本项目采用了在放坡的基础上采用抗滑桩、锚索和截排水等综合治理措施。边坡3#A、3#B分别采用如下治理措施:

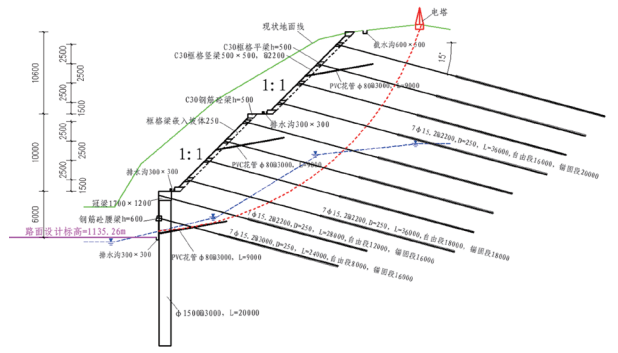
(1) 边坡3#A:如图4所示,采用组合支挡结构和分两台支挡措施。上台约1:1.5削坡,坡体高度约10.6m,坡面内植被种草,分级平台处设置 $\phi 1500@3000$ 的抗滑桩,桩长25m;下台约1:1.5削坡,坡体高度约10.0m,坡面内植被种草;坡脚处设置 $\phi 1500@3000$ 的抗滑桩,桩长20m,桩体高出设计标高6m。



>图4 边坡3#A支挡设计

> Fig. 4 Slope 3#A support design

(2) 边坡3#B:如图5所示,采用组合支挡结构和分两台支挡措施。上台约1:1削坡,坡体高度约10.6m,采用框格梁预应力锚索进行支挡,框格梁方格坡面内植被种草,锚索为4排 $7\phi 15.2@2200$ 的无粘结钢绞线,锚固体直径250mm,锚索长36m,自由段16m,锚固段20m,入射角度 $15^\circ$ 。下台约1:1.5削坡,坡体高度约10.0m,采用框格梁预应力锚索进行支挡,框格梁方格坡面内植被种草,锚索为4排 $7\phi 15.2@2200$ 的无粘结钢绞线,锚固体直径250mm,锚索长36m,自由段18m,锚固段18m,入射角度 $15^\circ$ 。坡脚处采用抗滑桩和2排预应力锚索进行支挡,抗滑桩为 $\phi 1500@3000$ ,桩长20m,桩体高出设计标高6m;上排锚索为 $7\phi 15.2@2200$ 的无粘结钢绞线,锚固体直径250mm,锚索长28m,自由段12m,锚固段16m,入射角度 $15^\circ$ ;下排锚索为 $7\phi 15.2@3000$ 的无粘结钢绞线,锚固体直径250mm,锚索长24m,自由段8m,锚固段16m,入射角度 $15^\circ$ 。其中,锚索轴向拉力标准值为700kN,预应力张拉值为735kN,锁定值为600kN。



>图5 边坡3#B支挡设计

> Fig. 5 Slope 3#B support design



此外,边坡3#A、3#B 坡顶设置截排水沟,尺寸为600mm×500mm,沟两侧应采取硬化封闭措施。坡脚设置场地内排水沟,尺寸300×300mm,并设置盖板。坡体设置  $\phi 80@3000$ , 长为9m 的 PVC 花管作为泄水孔。边坡3#B 框格梁马道底部设置排水沟,尺寸为300mm×300mm。

（四）设计计算

根据各岩土层物理力学指标及上述边坡支挡措施,采用理正边坡综合治理分析软件进行分析验算,其结果见表3。

表3 边坡支挡后稳定性分析结果

Table 3 Stability analysis results after the slope support

边坡号	一般工况			校核工况稳定安全系数	
	稳定安全系数	桩身最大位移 (mm)		地震工况	浸水工况
		坡脚抗滑桩	分级平台处抗滑桩		
3#:5-5	1.401	3.24 (桩顶)	8.95 (桩顶)	1.399	1.145
3#:6-6	1.472	30.72 (桩顶)	-	1.471	1.160

结果可知,边坡3#A、边坡3#B 在一般工况、地震工况和浸水工况下的稳定性均达到了规定标准,表明支护体安全性在放坡的基础上得到了大幅提升能满足要求。这也表明组合支挡结构、分台支挡方案在本项目是适用的,成功应对了挖方高边坡的复杂地质条件、地震荷载以及降雨浸水等不利因素。

（五）方案注意事项及要点

（1）在坡体开挖过程中应充分考虑时空效应的影响:遵循分区、分块、分层开挖的原则,减少边坡开挖期间无支护体系暴露时间、宽度和深度,将边坡开挖造成的周围设施的变形控制在允许的范围內。

（2）根据设计,边坡支挡结构施工时应分阶段进行施工,避免在同一时间段内进行大面积开挖或支护,以降低施工对岩土体

内应力应变的影响。

（3）边坡开挖过程中,要严格做好降排水工程,边坡开挖至设计标高后应尽快进行基底检查、边坡封底。

（4）后期场地使用期间应不定期检查,疏导边坡排水系统,清除沉积物和杂物,保证其排水畅通。

（5）支挡结构施工后应在坡面及时进行植被种草等生态恢复措施,促进土壤稳定和环境可持续性。

（6）做好施工监测和运营期的监测和维护工作,岩土工程偶然因素和突发事件比较多,发现异常情况应及时分析和处理,避免事态扩大。

四、结语

（1）在挖方高边坡的支护设计中,单一支挡形式一般难以满足复杂地质条件下的支护要求,需要采用多种治理措施联合使用。本文通过具体工程案例分析了组合支挡结构和分台支挡设计的边坡治理的设计思路和设计过程,提出了此类支护结构设计重点和难点。

（2）在组合和分级支挡结构中,工程地质条件的分析、设计条件的应用和各种支护措施的布置显得尤为重要。其中削坡减载、坡面防护和截排水措施是基础措施,各种支挡方案都是根据其结构特点和适用范围在这些基础方案上做加法,解决这些基础方案尚未解决的问题。

（3）合理的截排水系统,包括坡顶截排水沟、坡脚和坡面排水沟,以及坡体泄水孔,有效控制了水流对边坡稳定性的影响,减少了潜在的渗水和土体失稳风险,不仅增强了边坡的抗滑能力,还保障了在极端工况下的安全性。

参考文献

[1] 梁瑞,张永安,王三德,等. 东乡新区挖方高边坡渗水引发滑坡机理研究 [J]. 四川建材, 2024,50(09):81-83.  
[2] 秦良彬,李学伟. 典型山地城市建筑挖方高边坡支护应用研究 [J]. 中国勘察设计, 2017,(09):105-107.  
[3] 周志武. 探讨公路软土地基高边坡防护处理研究 [J]. 中国住宅设施, 2020,(05):103-104.  
[4] 杨健,李金锋,孙浪,等. 千枚岩风化层高边坡稳定性评价研究 [J]. 工程与建设, 2023,37(04):1222-1231.  
[5] GB 50021-2001(2009), 岩土工程勘察规范 [S].  
[6] GB 50330-2013, 建筑边坡工程技术规范 [S].

# 浅谈地测钻探测斜成像

苏振明, 彭坤, 程艳涛

河南省商丘市永城市河南神火煤电股份有限公司新庄煤矿, 河南 商丘 476600

**摘 要 :** 煤炭矿山测量贯彻于矿山建设和生产的全过程, 是矿山安全生产中的十分重要的基础性工作。经过我国煤矿地质工作者数十年的不懈奋斗, 构建了一套针对我国煤田地质特征的勘探技术体系。该体系依托精确的地质填图、高效的遥感监测、精准的钻探技术、先进的物探方法和细致的样品测试等多元化技术手段, 紧密结合我国煤田的特定环境条件, 以最大化信息获取为目标, 形成了一套综合性的煤矿勘探技术策略。这一策略不仅体现了对地质条件的深刻理解, 也展现了我国煤矿地质勘探技术的专业水准和创新能力。为避免在煤炭开采作业中意外穿透既有的采空区、含水层、溶洞或侵入邻近巷道, 引发潜在的安全事故, 必须采取严格的技术措施和管理手段, 确保开采活动的安全性和稳定性。这一过程要求高度的专业性, 以确保对地质结构的精准识别与控制, 防止因地质风险导致的安全生产事故。

**关 键 词 :** 矿山测量; 矿山安全生产; 地质; 钻探; 测斜; 成像

## Shallow Talk on Dip Measurement and Imaging in Geological Survey and Drilling

Su Zhenming, Peng Kun, Cheng Yantao

Henan Shenhuo Coal and Electricity Co., Ltd. Xinzhuang Coal Mine, Yongcheng City, Shangqiu City, Henan Province, Shangqiu, Henan 476600

**Abstract :** Coal mine surveying runs through the entire process of mine construction and production, and it is a very important basic work in mine safety production. After decades of unremitting efforts by Chinese coal mine geologists, a set of exploration technology system has been established according to the geological characteristics of China's coalfields. Relying on diversified technical means such as precise geological mapping, efficient remote sensing monitoring, precise drilling technology, advanced geophysical exploration methods, and meticulous sample testing, and closely combining with the specific environmental conditions of China's coalfields, this system aims to maximize information acquisition, forming a comprehensive coal mine exploration technology strategy. This strategy not only reflects a deep understanding of geological conditions, but also demonstrates the professional level and innovation ability of China's coal mine geological exploration technology. To avoid accidentally penetrating existing goafs, aquifers, caves, or invading adjacent tunnels during coal mining operations, which may cause potential safety accidents, strict technical measures and management methods must be taken to ensure the safety and stability of mining activities. This process requires a high degree of professionalism to ensure accurate identification and control of geological structures, preventing safety production accidents caused by geological risks.

**Keywords :** mine surveying; mine safety production; geology; drilling; dip measurement; imaging

### 引言

矿山测量旨在解决矿山地质勘探、建设及采矿过程中, 从矿体至围岩、从地下至地面的各类静态与动态几何问题, 为矿山工程提供精确的空间数据和技术支持。该领域涉及对矿山空间结构的精确测定与分析, 确保矿产资源开发的安全、高效与精准。它是由测绘, 采矿地质等学科交叉而成的边缘性学科; 矿山测量是矿业开发, 矿山生产中一项重要的基础工作, 指导采矿安全生产各项工程工作正确进行。矿山测量工作有很多, 其中钻探、物探工作是矿山测量环节矿山开采钻探工作中一项极其重要的测量工作, 也是关乎安全与效率的关键环节。通过精准的测量, 不仅能够保证钻探作业的安全进行, 更能有效提高工作效率, 为作业人员提供一个安全的作业环境, 从而避免各类钻孔事故的发生。在钻探作业中, 煤矿测斜钻孔的重要性不容忽视。为了确保钻探作业的安全与高效, 必须对斜度进行准确的测量和定位。

## 一、地质勘探中钻探技术的应用与发展挑战

### （一）岩心钻探技术

钻探技术已经为资源勘探工作做出了较大贡献，在已经发现的矿种中有 171 个都使用了此类技术，在储量被探明的 150 个矿种中也有该技术的应用<sup>[1]</sup>。就是提取地下深处矿体的信息数据，将其作为后期工程施工的参考依据。岩心钻探技术所适用的范围较广，很少受现场环境制约，即便在地质复杂情况下，岩心钻探大都可以获取地下深处的各种信息数据。在工作中，技术人员一般是靠其在地下深处获取的岩石或者是石粉取样来判断出地质地貌，从而分析准确的情况。

### （二）浅钻技术

浅钻和浅井较为相似，在实际的地质钻探中，如果使用的是钻井技术适用于勘察较浅的岩层或煤层，如果勘察的矿井范围比较浅，那么同样可以用这种技术来进行<sup>[2]</sup>。浅钻技术与岩心钻探相比，其地质钻孔深度较浅，操作过程中所使用的设备更为轻便，易于移动，且成本较低，能够迅速获取矿体数据信息。浅钻技术方法多样且具有一定的复杂性，其对地质勘察的主要要求为岩石层的硬度不宜过高。在实际作业中，必须依据具体的技术要求和操作方案进行精确执行。

### （三）地下钻探技术

地下钻探技术就是应用于水平巷道中，也被叫作坑内钻。在实际的钻探操作中，其应用的原理太过复杂，并且很难被理解，使用的成本也很高。目前地下钻技术很少被拿来广泛应用，其中在较小的范围内使用<sup>[3]</sup>。但是如果在矿床和地质环境都复杂的矿井之内，地下钻技术就可以被使用起来，其能够准确地获得地质勘察需要的数据信息，高效完成工作，占有很大优势。

### （四）钻孔技术存在的问题

钻探技术是地质勘探不可或缺的关键手段，它能够精确地将地下深层的测量样品提取至地表，供技术人员进行地质分析判断。随着科技进步，科研人员的研究与开发推动了钻孔施工技术对传统取样方法的替代，不断提升钻探技术和设备的完善与革新。这一进程不仅是技术发展的必然结果，也是社会进步的客观需求。鉴于我国地质条件的复杂性，采用更先进的钻探设备与技术进行地质勘察的工作已提上议事日程，成为当前地质工作的重要发展方向。

## 二、钻孔技术的应用分析

在实际的地质勘察钻探过程中，专业的设备是必不可少的，而钻孔就是利用相关的设备向地下深处钻出小直径范围的圆孔，钻出圆孔深度和直径是由钻孔的设备和地质情况所决定的<sup>[4]</sup>。地质勘察中，钻孔技术的核心目的是使勘察人员能够有效获取地下深层的地质资料。通过分析提取的岩心或岩煤粉样本，工作人员能够准确判断地质状况，这一过程对于确保开采计划的顺利实施至关重要。

## 三、钻孔设备仪器的应用

我们就以钻探测斜仪器为例说说，测斜仪是一种滑坡深部位移变形监测以及滑坡稳定性监测的重要仪器。随着研究人员的努力，新一代高精度、高效率、操作人性化、自动化程度高、性能更为优良的测斜仪具有十分重要的现实意义。测斜仪最高能达到的精度是多少？通常在空间环境条件下传感器的精度是有限的线性规范。倾斜角度范围的测量度是理想的线性输出。高度敏感的电子测斜仪传感器级的分辨率，可能最小精度会限于 $0.01^{\circ}$ <sup>[5]</sup>。然而，测斜仪传感器的真值或绝对精度（误差总和），是一个对初始传感器零点误差和灵敏度、传感器线性度、滞后、可重复性和零的温度漂移、敏感度的组合（根据传感器和情况的不同倾斜计精度通常范围是 $0.01^{\circ} \pm 2^{\circ}$ ）。

一种矿用钻孔测量仪探头出现：由成像短节、轨迹短节、伽马短节和连接短节组成，其特征在于：所述成像短节、轨迹短节和伽马短节和连接短节通过螺纹连接，连接处设置有密封用 O 形圈，连接的同时通过航空插头和航空插座实现电熔连接。

### （一）技术方案

由成像短节、轨迹短节、伽马短节和连接短节组成，所述成像短节、轨迹短节和伽马短节和连接短节通过螺纹连接，连接处设置有密封用 O 形圈，连接的同时通过航空插头和航空插座实现电熔连接<sup>[6]</sup>。

所述成像端架由灯罩、闪光灯、摄像头、成像骨架、成像保护筒、成像电路板、母接头和航空插头组成，摄像头、闪光灯和灯罩装在摄像骨架前端内孔里，闪光灯和灯罩装在摄像头的外圈，灯罩装在闪光灯的前面，保护闪光灯，成像骨架通过螺纹与成像保护筒连接，连接处以及成像骨架另一端均装有 O 形圈，成像保护筒的另一端通过螺纹与母接头连接，连接处装有 O 形圈，母接头的内孔通过螺纹装有航空插头，摄像电路板安装在摄像骨架的凹槽内，摄像电路板分别通过导线与闪光灯、摄像头和航空插头实现电连接。

所述轨迹插件由航空插座、轨迹骨架、轨迹电路板、轨迹保护筒、母接头和航空插座组成，所述航空插头通过螺纹与轨迹骨架一端内孔连接，轨迹骨架通过螺纹与轨迹保护筒连接，连接处以及轨迹骨架另一端均装有 O 形圈，轨迹保护筒的另一端通过螺纹与母接头连接，连接处装有 O 形圈，母接头的内孔通过螺纹装有航空插头，轨迹骨架上设置有轨迹电路板，所述轨迹电路板上包括电熔连接的轨迹测量传感器、微处理器、稳压电源，轨迹电路板分别通过导线与航空插座和航空插头实现电连接<sup>[7]</sup>；所述伽马插件由航空插座、伽马骨架、晶体、光电倍增管、伽马电路板、伽马保护筒、母接头和航空插头组成，所述航空插头通过螺纹与伽马骨架一端内孔连接，伽马骨架通过螺纹与伽马保护筒连接，连接处以及伽马骨架中间和另一端均装有 O 形圈，伽马保护筒的另一端通过螺纹与母接头连接，连接处装有 O 形圈，母接头的内孔通过螺纹装有航空插头，晶体、光电倍增管封装在伽马骨架内孔里，伽马骨架另一端设置有伽马电路板，所述伽马电路板上包括电性连接的高压电源和微处理器，伽马电路板和光电倍增管电性

连接，伽马电路板与航空插座和航空插头电熔连接<sup>[8]</sup>。

所述连接短节由航空插座、连接头、电缆组成，所述航空插头通过螺纹与连接头内孔连接，航空插座与电缆连接，并用密封胶将连接处粘接牢固，连接头的另一端备有推杆连接螺纹。

(二) 技术方案的有益效果

1. 本实用新型的钻孔测量仪探头能独立实现轨迹测量、钻孔成像、自然伽马测量，也可随意组合同时进行两种或三种测量，可应对不同钻孔的地质勘探需要，即可降低采购成本，也可提高探头的使用寿命。

2. 本实用新型的钻孔测量仪采用操作简单、可靠性好，不易出问题。

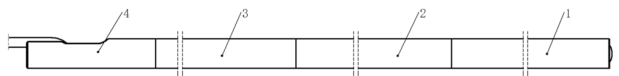
(三) 具体实施方式

下面结合具体实施例对本实用新型作进一步描述，在此实用新型的示意性实施例以及说明用来解释本实用新型，但并不作为对本实用新型的限定。

实施例：如图1所示的一种矿用钻孔测量仪探头。本实用新型实施例的实施原理为：

在使用本实用新型进行三种功能工作时，按照图1完成探头组装，电缆通过计米装置与测量仪主机连接，测量仪主机为探头供电，计米装置可记录电缆伸入孔内深度，使用推杆安装在连接短节4的推杆连接螺纹孔4-3，推杆首尾依次连接实现将测量仪探头推入孔内，实现对轨迹、钻孔成像和自然伽马的测量，测量仪主机可实时显示测量数据。

在使用本实用新型进行两种功能工作时，以实现针孔成像和轨迹测量举例，参考图1将成像短节、轨迹短节和连接短节依次连接，电缆通过计米装置与测量仪主机连接，测量仪主机为探头供电，计米装置可记录电缆伸入孔内深度，使用推杆安装在连接短节4的推杆连接螺纹孔4-3，推杆首尾依次连接实现将测量仪探头推入孔内，实现对轨迹、钻孔成像测量，测量仪主机可实时显示测量数据。



> 图1

- 1. 实验分析：23机轨巷-1
- 2. 仪器型号：ZXC1000矿用本安型钻孔测斜仪
- 仪器型号：CXK7.2矿用钻孔成像仪

3. 探测目的：两套设备测斜结果对比

(四) 钻孔数据

实测数据 (ZXC1000 矿用本安型钻孔测斜仪)						
序号	孔深(m)	倾角(°)	方位角(°)	工具面向角	上下偏差(m)	左右偏差(m)
1	6.00	-9.99	19.22	53.44	-0.00	0.44
2	9.00	-9.59	19.40	53.44	0.01	0.66
3	12.00	-9.40	22.04	53.46	0.03	0.95
4	15.00	-8.90	19.02	53.46	0.07	1.24
5	18.00	-8.18	22.44	53.47	0.15	1.53
6	21.00	-8.01	22.54	53.49	0.25	1.92
7	24.00	-8.18	22.57	53.48	0.34	2.31
8	27.00	-7.97	21.61	53.49	0.44	2.68
9	30.00	-7.99	20.09	53.50	0.55	2.98
10	33.00	-7.31	20.29	53.50	0.67	3.25
11	36.00	-7.23	20.39	53.49	0.81	3.52
12	38.00	-5.60	25.83	53.49	0.93	3.80

> 实测数据 (CXK7.2矿用钻孔成像仪)

序号	孔深	倾角	方位角	磁场强度	温度	工具面	电压	校验和	时间	目标方位角
1	5.99	-9.55	20.74	54	25	27.22	7.5	1	0.999	20
2	9	-9.02	19.37	52	25	145.9	7.5	1	0.999	20
3	12	-9.74	21.90	53	25	340.44	7.5	1	0.999	20
4	15	-8.43	18.24	51	26	189.63	7.5	1	0.999	20
5	17.98	-7.46	20.3	50	27	136.82	7.5	1	0.999	20
6	21	-7.31	22.76	51	27	83.06	7.4	1	0.999	20
7	24	-7.64	24.08	52	28	18.08	7.5	1	0.999	20
8	27	-6.78	21.80	50	29	117.23	7.4	1	0.999	20
9	30.01	-7.62	20.87	50	30	142.42	7.4	1	0.999	20
10	33.01	-7.99	20.43	50	30	221.36	7.4	1	0.999	20
11	36	-7.99	20.44	50	31	221.36	7.4	1	0.999	20
12	37.94	-7.99	25.86	49	31	40.08	7.4	1	0.999	20

(五) 试验概况

2023年12月至2024年1月在XX煤矿23机轨巷-1钻场进行现场试验。本次试验共施工距离孔深为70多米，由于孔内出现局部塌孔，实际测量38米。试验要求技术指标是准确性，误差性。通过实验验证了XXXX微科科技有限公司具CXK7.2矿用钻孔成像仪具备钻孔轨迹测量的能力，解决了在煤层钻孔后长距离快速复测的问题，达到了长距离轨迹测量的目的，有较好的应用效果。

(六) 施工结论

对同一钻孔进行两套设备倾角与方位角复测，由于人工推送测量，测量结果有极小误差，在允许范围内。两套设备均可达到测斜目的。

四、结束语

煤矿侧斜钻孔在钻探工作中具有举足轻重的地位。在未来的钻探工作中，我们应更加重视这一环节，充分利用高科技手段，不断提高地质测量准确度和钻孔质量，为安全生产保驾护航。

参考文献

[1] 刘浩. 地质岩心钻探技术及其在资源勘探中的应用研究 [J]. 中国金属通报, 2022, (01): 181-183.

[2] 张国良, 朱家钰, 顾和和. 矿山测量学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2000.

[3] 陈俊杰, 邹友峰. 矿山测量在煤矿安全生产中的作用及发展趋势 [J]. 焦作·河南理工大学测量工程系 2006.

[4] 黄盟. 矿山测量对矿山安全生产的作用 [J]. 沿海企业与科技, 2010, (10): 99-100+98.

[5] 曹思文, 祁洪晓, 张民. 浅谈矿山测量在煤矿中的作用及发展前景 [J]. 山东煤炭科技, 2003, (06): 32-33.

[6] 李永强, 向文斌. 煤矿地质钻探技术的应用探讨 [J]. 资源信息与工程 2018, 33 (5): 54-55.

[7] 高盛林. 浅析安全生产管理在地质钻探工艺技术中的应用 [J]. 世界有色金属, 2018, (14): 263+265.

[8] 闻家俊. 煤田地质钻探中钻孔漏失与堵漏情况分析 [J]. 科技风, 2018, (21): 135.D0I: 10.19392/j.cnki.1671-7341.201821119.



# 复合功率分流式混合动力汽车能量管理策略

邱亮

江铃汽车股份有限公司, 江西 南昌 330052

**摘要：** 为优化复合功率分流式混合动力汽车（CPHEV）性能，并促进新能源控制系统的发展，文章首先概述 CPHEV 的系统结构、工作原理及模式，同时建立系统动力学模型；其次，阐述现有能量管理策略的分类及其优缺点，并指出当前面临的挑战与不足。对此，文章深入探究与探讨基于动态规划、等效燃油消耗最小化以及机器学习三种能量管理策略。动态规划策略利用全局优化提升燃油经济性；等效燃油消耗最小化策略实现了局部最优控制；而机器学习策略则利用大数据与智能算法来进行预测与优化。此外，文章还构建综合评价指标体系，同时，运用多目标优化方法对策略进行了优化，以期 CPHEV 的能量管理提供理论支持与实践指导。

**关键词：** 功率分流；混合动力汽车；能量管理策略

## Energy Management Strategy for Composite Power Split Hybrid Electric Vehicles

Qiu Liang

Jiangling Motors Co., Ltd. Nanchang, Jiangxi 330052

**Abstract：** In order to optimize the performance of compound power split hybrid electric vehicles (CPHEV) and promote the development of new energy control systems, this article first outlines the system structure, working principle, and mode of CPHEV, and establishes a system dynamics model; Secondly, elaborate on the classification and advantages and disadvantages of existing energy management strategies, and point out the challenges and shortcomings currently faced. The article delves into and discusses three energy management strategies based on dynamic programming, minimizing equivalent fuel consumption, and machine learning. Dynamic programming strategy utilizes global optimization to improve fuel economy; The strategy of minimizing equivalent fuel consumption has achieved local optimal control; Machine learning strategies utilize big data and intelligent algorithms for prediction and optimization. In addition, the article also constructs a comprehensive evaluation index system, and uses multi-objective optimization methods to optimize the strategy, in order to provide theoretical support and practical guidance for the energy management of CPHEV.

**Keywords：** power splitting; hybrid electric vehicles; energy management strategy

近年来，全球能源危机与环境污染问题日益严峻，新能源汽车的普及与应用成为解决这些问题的重要途径。混合动力汽车（HEV）作为过渡车型，兼具纯电动汽车与燃油车的优点，在新能源领域表现出巨大的潜在应用价值。而 CPHEV 凭借其高效的能量分配机制，进一步提升了 HEV 的性能。目前，如何优化 CPHEV 的能量管理策略，以实现更好的排放性能、燃油经济性并有效延长电池寿命，仍是当前研究的热点。本文深入研究汽车能量管理策略，旨在为 CPHEV 能量管理提供新的思路与方法。

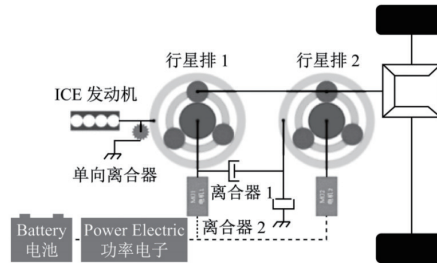
### 一、汽车系统与能量管理策略

#### （一）混合动力汽车系统概述

##### 1. 系统结构、工作原理及模式

CPHEV（复合功率分流式混合动力汽车）核心部件涵盖发动机、电动机、行星齿轮机构及电池等，这些关键组件通过特定的连接方式相互关联，共同构建了一个高效的能量传递网络。其中，发动机作为主要的动力源，电动机负责提供辅助动力及能量回收功能，行星齿轮机构则负责实现动力的分流与汇流，而电池则作为储能装置，用以平衡整个系统的能量需求与供应。各部件

间的协同工作确保了 CPHEV 在不同工况下的高效运行。混合动力系统如图1所示。



> 图1 混合动力系统示意图

作者简介：邱亮（1984-），男，汉族，江西省南昌市人，本科，工程师，研究方向：新能源控制系统。

根据行驶工况的不同，CPHEV 能够灵活切换工作模式以优化能量使用效率。在纯电动模式下，系统完全依赖电动机驱动，实现零排放行驶；混合动力模式则有效整合发动机与电动机的动力输出，以更好地满足更高的功率需求；而增程模式则通过发动机为电池充电，来达到延长电动行驶里程的目的<sup>[1]</sup>。不同模式下，系统均通过精细的能量分配策略，确保动力输出的同时，以此最大化能源利用效率。车辆运行模式与各动力源工作状态详见表1。

表1 车辆运行模式与各动力源工作状态

运行模式	离合器1	离合器2	单向离合器	电机1 功能	电机2 功能
纯电驱动 模式1	接合	分离	分离	不工作	电动机 驱动
纯电驱动 模式2	接合	分离	接合	电动机 驱动	电动机 驱动
低速增程 模式	接合	分离	分离	发电机 发电	电动机 驱动
固定速比 增程模式	接合	接合	分离	不工作	电动机/ 发电机
高速增程 模式	分离	接合	分离	电动机/ 发电机	电动机/ 发电机

2. 系统动力学模型

为深入研究 CPHEV 能量管理策略，首要任务是构建精确的系统动力学模型。该模型需涵盖发动机、电动机以及电池等核心组件的数学描述，确保能够全面且准确地反映各部件在复杂动态工况下的实际性能表现。具体而言，发动机模型需考虑其燃油消耗特性、功率输出曲线及热效率等因素；电动机模型则需涵盖转矩转速特性、效率曲线及能量回收能力；而电池模型则需关注其充放电特性、内阻变化及 SOC 管理<sup>[2]</sup>。模型构建过程中，还要收集大量的实验数据与工程经验，对各部件的数学模型完成精细校准与验证，以确保模型的准确性与可靠性。

(二) 能量管理策略概述

1. 现有能量管理策略分类及分析

能量管理在 CPHEV 中发挥着不可或缺的作用，其根据控制逻辑的不同可分成基于规则与基于优化的管理策略两大类。其中，基于规则的管理策略主要依赖预设的逻辑规则完成决策，实施简便且易于实现；而基于优化的管理策略则利用数学优化算法来寻求全局和局部最优解，以最大化系统性能。目前，CPHEV 领域已广泛探索并应用了多种能量管理策略。基于规则的策略，如电量消耗-电量保持（CD-CS）策略，通过提前设置明确的阈值来控制动力源的工作状态，但它在应对复杂多变工况时显得灵活性不足；基于优化的策略，如动态规划（DP）与等效燃油消耗最小化策略（ECMS），能够更精确、高效地根据当前工况灵活调整能量分配，显著提高了燃油经济性，然而，其计算复杂度与实时性要求也相应提高<sup>[3]</sup>。这些策略各有优劣，适用于不同的应用场景与性能需求。

2. 挑战与不足

尽管当前 CPHEV 能量管理策略的研究已取得显著进展，然而，仍面临诸多挑战。一方面，如何平衡策略的优化效果与计算复杂度，实现高效实时的能量管理，是当前研究的难点之一。另一方面，伴随新能源汽车技术的快速发展，对能量管理策略的自

适应性、智能化提出了更高的要求。未来研究应聚焦于开发更灵活、先进的能量管理策略，以更好地应对日益复杂多变的行驶工况，同时探索人工智能、机器学习等新技术在能量管理中的应用潜力，以推动 CPHEV 能量管理策略的创新与发展<sup>[4]</sup>。

二、混合动力汽车能量管理策略

(一) 基于动态规划的能量管理策略

1. 动态规划原理及其应用优势

动态规划算法作为一种解决多阶段决策优化问题的有效方法，其核心在于通过逆向递推来求解最优策略，以达到全局最优解。在 CPHEV 的能量管理策略中，动态规划算法展现出显著优势。具体而言，通过精确预测未来工况，动态规划算法能够精准、高效地计算出最优的能量分配方案，从而在满足动力需求的同时，最大化燃油经济性，并最小化排放。值得一提的是，该算法还能有效管理电池状态（如 SOC），延长电池使用寿命，并提升系统整体效率。

2. 状态变量与控制变量选择

在基于动态规划的 CPHEV 能量管理策略中，状态变量与控制变量的选择至关重要。其中，状态变量通常选择可以全面反映系统当前状态的参数，如电池 SOC，它直接关联到能量分配与电池健康。而控制变量则涉及电动机转矩、发动机转矩等，这些变量经过动态规划算法的优化，有望在不同工况下实现最优的能量分配。通过科学选择状态变量与控制变量，动态规划算法能够更精确、高效地模拟 CPHEV 的实际运行状况，从而为能量管理策略的制定提供科学依据。

3. 优化目标函数构建与仿真验证

为制定有效的能量管理策略，需构建以燃油经济性为优化目标的函数。该函数一方面需要考虑当前时刻的能量消耗，另一方面还要前瞻性地预测未来工况，以实现全局最优。与此同时，为平衡燃油经济性与电池寿命，还需在目标函数中纳入电池 SOC 的维持、排放等因素。在 MATLAB/Simulink 环境下，通过构建仿真模型，可以验证基于动态规划的能量管理策略的有效性。仿真结果能够直观展示能量管理策略对燃油经济性、电池寿命等关键指标的影响，为策略的优化提供数据支持。

(二) 基于等效燃油消耗最小化的能量管理策略

1. 最小化原理与求解方法

等效燃油消耗最小化策略（ECMS）作为一种实时优化的能量管理策略，其核心在于将电能消耗转化成等效的燃油消耗，据此构建一个统一的优化目标函数。该能量管理策略通过引入等效因子，将电池 SOC 的变化量折算成等效的燃油消耗量，使得在优化过程中能够同时考虑燃油经济性与电池 SOC 的维持<sup>[5]</sup>。而 ECMS 的求解方法通常涉及对系统动力学模型的精确建模，以及基于瞬时优化原则的算法实现，以此保证在每个控制周期内均能找到最优的能量分配方案。

2. 等效因子确定与动态调整

等效因子是 ECMS 策略中的关键参数，它直接决定了电能消耗与燃油消耗之间的等效关系。通常情况下，等效因子的选择需综合

考虑车辆工况、电池状态、驾驶需求等多个因素。实际应用中，为了进一步提升能量管理策略的优化效果与自适应性，等效因子往往需要结合实时工况与车辆状态进行动态灵活调整。通过运用先进的控制算法与机器学习技术，能够实现对等效因子的在线优化，保证了 ECMS 策略在不同运行条件下都可以保持较好的优化性能。

### 3. 策略实现与仿真验证

在 AMESim 与 MATLAB/Simulink 联合仿真平台上，能够实现对 ECMS 策略的高效建模与仿真验证。通过建立精确的 CPHEV 系统模型，同时设置合理的仿真工况，可以全面、精准评估 ECMS 策略在电池 SOC 维持、燃油经济性等方面的表现。此外，将 ECMS 策略与动态规划策略进行对比分析，可以发现两者在计算复杂度、优化效果等方面的差异。其中，动态规划能量管理策略尽管能够实现全局最优解，然而，其计算复杂度较高，不能很好地应用于实时控制；而 ECMS 策略则能够通过简化优化问题，实现较好的实时性与优化效果，由此成为一种具有广泛应用前景的能量管理策略<sup>[6]</sup>。

## （三）基于机器学习的能量管理策略

### 1. 机器学习算法及其应用潜力

近年来，机器学习在各个领域展现出强大的应用潜力。在 CPHEV 的能量管理策略中，机器学习算法同样发挥着至关重要的作用。常用的机器学习算法，如神经网络、支持向量机等，通过从大规模历史数据中学习系统的运行规律与模式，可以实现对复杂工况下能量分配的优化决策。这些先进算法一方面能够较好地处理非线性关系，另一方面还可以适应复杂多变的运行条件，为 CPHEV 的能量管理策略提供了全新的解决方案。

### 2. 特征选择与数据预处理

在将机器学习算法应用于 CPHEV 能量管理之前，需要先对车辆的运行数据进行一系列预处理。特征选择作为其中的关键环节，主要涉及从众多变量中挑选出对能量管理策略影响最大的特征变量，如加速度、电池 SOC、车速、发动机转矩等。这些特征变量可以全面反映车辆的运行状态与能量需求。数据预处理操作主要涉及数据清洗、缺失值处理、异常值检测以及归一化处理等步骤，旨在提高数据质量，保证机器学习模型的训练效果<sup>[7]</sup>。

### 3. 模型训练、验证与应用

准备好高质量的数据集后，便可以使用大量历史数据来训练机器学习模型。通过持续调整模型的参数与结构，能够使模型更好地拟合数据，从而提高预测与决策的准确性。此外，交叉验证等方法的应用有助于评估模型的泛化能力，确保其在未见过的数据上也可保持良好的性能。一旦模型训练完成并经过充分验证，便可将其应用到 CPHEV 的实时能量管理中<sup>[8]</sup>。

## 三、能量管理策略的综合评价与优化

### （一）综合评价指标体系构建

为了全面客观评估 CPHEV 能量管理策略的性能，本研究建立了一个综合评价指标体系。该体系主要涵盖燃油经济性、排放性能、电池寿命以及驾驶舒适性等多个维度，旨在从不同角度综

合评价能量管理策略的效果。其中，燃油经济性作为衡量能量管理策略节能效果的关键指标，直接反映了策略在降低燃油消耗方面的能力；排放性能则关注能量管理策略对车辆尾气排放的影响，体现了其在环保方面的贡献；电池寿命作为评价策略对电池健康影响的重要指标，对于延长车辆使用寿命具有重要意义；而驾驶舒适性则通过评估能量管理策略对车辆动力响应、平顺性等方面的影响，反映出其对提升驾乘体验的贡献<sup>[9]</sup>。该综合评价指标体系的构建，为后续策略的优化与验证提供了科学依据。

## （二）多目标优化方法应用与策略优化

针对 CPHEV 能量管理策略的优化问题，本研究引入了多目标优化方法，如帕累托前沿法、加权法和法等，这些方法能够在综合考虑多个优化目标的同时，最大限度地寻找各目标之间的最佳平衡点，从而制定出更为全面、有效的能量管理策略。其中，加权法和法通过将不同目标的优化值进行加权求和，巧妙转化成单一目标进行优化；而帕累托前沿法则通过寻找所有非支配解，即一个解在某个目标上的优化同时不会导致其他目标恶化，来揭示多目标优化问题的本质<sup>[10]</sup>。策略优化过程中，研究基于综合评价指标体系，运用多目标优化方法对现有能量管理策略完成了优化与改进，并通过仿真与实车试验验证了优化效果。

## 四、结束语

综上所述，本文重点研究与探讨了基于动态规划、等效燃油消耗最小化及机器学习的能量管理策略在提升 CPHEV 性能方面的应用优势，这不仅有助于大幅提高燃油经济性，还能够显著优化排放性能与电池寿命，从而为新能源控制系统的发展与创新提供强有力的技术支撑。然而，现有研究仍存在一定不足，如复杂工况下的实时性、适应性等仍有待进一步提升。未来，将持续探索更先进的控制算法与智能技术，以推动与促进 CPHEV 能量管理的创新与发展。

## 参考文献

- [1] 杜爱民, 陈垚伊, 张东旭. 功率分流式混合动力汽车能量管理策略研究[J]. 机械设计与制造, 2024(6): 121-127.
- [2] 胡后征. 燃料电池混合动力汽车能量管理策略研究进展[J]. 品牌研究, 2024(6): 0093-0095.
- [3] 虞志浩, 赵又群, 潘陈兵, 何鲲鹏, 李丹阳. 基于 TD3-PER 的氢燃料电池混合动力汽车能量管理策略研究[J]. 汽车技术, 2024(1): 13-19.
- [4] 王欢, 葛帅帅, 姜艳军, 张志刚, 郭栋, 李明. 混合动力汽车功率分流传动系统扭转振动及其影响因素研究[J]. 机械科学与技术, 2024, 43(2): 203-211.
- [5] 李东兵, 王妮, 马涛涛. 混合动力汽车能量管理策略研究[J]. 机械设计与制造, 2024(6): 193-197203.
- [6] 戴科峰, 胡明辉. 混合动力汽车深度强化学习分层能量管理策略[J]. 重庆大学学报, 2024, 47(1): 41-51.
- [7] 崔清章, 许昆朋. 功率分流式 PHEV 车辆动力学模型与能量管理策略研究[J]. 小型内燃机与车辆技术, 2024, 53(4): 21-25.
- [8] 张雪钊, 周沁悠. 基于动态规划的混合动力汽车能量管理策略优化[J]. 农机使用与维修, 2024(5): 14-17.
- [9] 游杰. 基于 Q-learning 的混合动力汽车能量管理策略[J]. 汽车电器, 2024(8): 24-2730.
- [10] 曾晓帆, 胡明辉, 徐磊. 基于实车试验大数据分析的插电式混合动力汽车能量管理策略解析[J]. 重庆大学学报, 2023, 46(2): 11-2942.



# 起重机械安全管理及事故预防

李永福

中国电建集团青海工程有限公司，青海 西宁 810000

**摘 要：** 起重机械作为现代工业生产中的关键设备，其安全运行直接关系到生产效率和员工生命财产安全。然而，由于起重机械自身结构复杂、作业环境多变等特点，事故风险始终存在。因此，探索科学有效的起重机械安全管理和事故预防策略，涉及完善安全管理制度、强化人员技能培训、推进技术升级应用等方面，还关系到提高企业安全管理水平和员工安全意识。本文旨在深入探讨起重机械安全管理与事故预防的系统解决方案，为强化企业本质安全能力提供有益参考，以促进起重机械行业的安全、高效发展。

**关 键 词：** 起重机械；安全管理；事故预防

## Safety Management and Accident Prevention of Lifting Machinery

Li Yongfu

China Power Construction Group Qinghai Engineering Co., Ltd. Xining, Qinghai 810000

**Abstract：** As a key equipment in modern industrial production, the safe operation of lifting machinery is directly related to production efficiency and the safety of employees' lives and property. However, due to the complex structure and variable working environment of lifting machinery, the risk of accidents always exists. Therefore, exploring scientifically effective safety management and accident prevention strategies for lifting machinery involves improving safety management systems, strengthening personnel skill training, promoting technological upgrades and applications, and is also related to improving the level of enterprise safety management and employee safety awareness. This article aims to explore in depth the systematic solutions for safety management and accident prevention of lifting machinery, providing useful references for strengthening the intrinsic safety capabilities of enterprises and promoting the safe and efficient development of the lifting machinery industry.

**Keywords：** lifting machinery; safety management; accident prevention

## 引言

起重机械是现代工业生产中的重要装备，在港口、建筑、制造等行业得到广泛应用。起重机械的安全管理涉及安全管理制度、人员技能培训、技术升级应用等多个方面<sup>[1]</sup>。其中，科学完善的安全管理制度是规范起重机械作业行为、消除事故隐患的基础；系统有效的人员培训是提升作业人员安全意识和操作技能的关键；先进可靠的技术应用则为实现设备安全监测、故障预警提供有力保障。此外，起重机械事故预防能力的提升离不开规范操作流程、定期检修维护、健全应急处置机制等措施的有机结合。深入探索起重机械安全管理和事故预防对策，对于构建企业安全生产长效机制，降低事故发生风险，保障员工生命财产安全，推动起重机械行业持续健康发展具有重要意义。

## 一、起重机械安全管理对策

### （一）完善安全管理制度，加强监督落实

科学合理的安全管理制度是起重机械安全运行的基础，通过制定完善的操作规程、维护计划以及应急预案，企业可以有效规避机械操作中的潜在风险。制度建设需要明确各环节的责任主体，强化监督执行力度，确保各项管理措施能够真正落地<sup>[2]</sup>。监督机制的有效运行可以通过定期检查、随机抽查以及绩效考核等方

式得以保障。在此过程中，企业需注重针对性和实效性，通过细化制度内容适配实际需求，从而减少因制度缺失或执行不到位引发的安全隐患。

在实际操作中，可以建立起重机械全生命周期的安全管理制度，包括采购、安装、使用、检修到报废的各个环节。企业需要设置专门的安全管理部门，对设备的使用年限、载荷范围和技术状态进行统一管理。例如，安装阶段应组织技术团队对设备选址、基础结构进行安全评估；运行期间，安排专人负责机械操作

作者简介：李永福（1984.10-），男，汉族，青海省乐都县，大学本科，中级工程师，从事起重机械管理及起重吊装技术工作。



记录与每日检查台账；在检修环节，实行“责任到人”的管理模式，确保维修质量达标。监督机制的落实则可以通过引入第三方评估机构定期对制度执行情况进行检查，对发现的问题立即整改<sup>[3]</sup>。此外，结合信息化手段开发安全管理系统，实现对起重机械的实时监测与信息化追溯，有助于提高管理效率，确保制度执行的严谨性与规范性。

### （二）强化人员培训，提升操作技能

人员培训是起重机械安全管理的重要环节，对于提升操作人员的安全意识和技能水平具有关键作用。起重机械作为特种设备，其操作复杂性高、危险性大，操作人员必须具备过硬的专业技能和严谨的安全意识<sup>[4]</sup>。因此，企业要高度重视起重机械操作人员的培训工作，建立完善的培训体系，从理论知识到实践操作，从安全意识到应急处置，全方位提升操作人员的综合素质和技能水平。

在起重机械安全管理中，企业可以从以下几个方面强化人员培训，提升操作技能。首先，要制定系统的培训计划，明确培训目标、内容和方式。理论培训可以邀请行业专家或资深技术人员授课，围绕起重机械的结构原理、操作规程、安全规范等展开，帮助操作人员夯实理论基础<sup>[5]</sup>。在实践培训中，可以采用师徒制，由经验丰富的老员工带领新员工进行实操演练，传授实战经验和技巧。同时，要建立培训档案，如实记录每位员工的培训情况和考核结果，对于考核不合格者及时补训，确保所有操作人员都达到规定的技能标准。

培训内容要紧扣操作安全和技能提升，理论课程应重点讲解事故案例，深入剖析事故原因和防范措施，警示员工增强安全意识。在实操训练中，要创设逼真的工况场景，模拟可能出现的突发情况，如设备故障、恶劣天气等，锻炼员工的应急处置能力。对于复杂的操作步骤和关键环节，要反复训练，优化操作流程，确保员工能够熟练掌握。在培训过程中，鼓励员工提出问题，及时解答疑惑，营造互动、开放的学习氛围。

### （三）推进技术升级，应用智能监控

技术升级和智能监控的应用为起重机械安全管理注入了全新活力。传统的安全管理方式以人工监测为主，存在反应滞后、精度不足等问题，难以满足现代工业对起重机械高效、安全运行的要求<sup>[6]</sup>。借助智能化技术，能够对设备运行状态实现实时监控与动态管理，及时发现并处理潜在隐患，从而有效降低事故风险。

在实际应用中，可以在起重机械的关键部位安装传感器，用于监测载荷、振动、温度等运行参数。例如，在吊钩、钢丝绳及刹车系统处布设应力和磨损传感器，通过实时采集数据传输至物联网平台。当设备运行状态异常时（如吊钩应力超过额定负荷或钢丝绳磨损超标），系统将自动发出报警信息，并同步推送至操作人员和管理人员的移动设备。此外，可利用 AI 算法对设备运行数据进行历史分析和趋势预测，判断可能的故障点<sup>[7]</sup>。例如，通过分析液压系统的温度波动趋势，预测油液泄漏或泵体老化问题，提前安排检修避免事故发生。同时，基于视频监控与人工智能识别技术，可实现对操作行为的智能分析，识别违规操作如超载起吊或斜拉吊运，及时提醒操作人员进行纠正。结合无人机巡检技

术，还可以对大型起重设备的外部结构进行远程检查，提高检查覆盖率并减少人力投入。

## 二、起重机械常见安全事故预防对策

### （一）规范操作流程，杜绝违规行为

由于起重机械作业环境复杂，操作不当或违规行为可能直接导致机械故障或安全事故。规范操作流程是技术层面的要求，更是管理层面对安全文化建设的具体体现。通过明确操作规程、强化责任分工以及严格监督考核，可以有效减少因操作不规范导致的事故隐患<sup>[8]</sup>。此外，规范化的操作流程有助于提升操作人员的工作效率和安全意识，形成安全作业的良好循环。

在实际管理中，可以通过编制《起重机械操作规程手册》，涵盖设备启动、运行、停机等各环节的操作要求。例如，启动设备前，操作人员需对起重机的钢丝绳、吊钩和限位装置进行常规检查，确保设备无异常；运行过程中，严格禁止超载运行、斜拉起吊或快速下降；停机后，需按照标准流程关闭电源并记录设备运行状态。此外，企业可以设置操作行为监控系统，通过安装摄像头或操作记录设备，实现对重点工序和高风险区域的实时监控。对于发现的违规行为，如未按规定佩戴安全防护装备或擅自更改操作流程，应立即进行通报并记录在案。与此同时，企业需定期组织操作流程培训与考核，确保所有操作人员熟练掌握设备操作要点和应急处理技能<sup>[9]</sup>。例如，通过模拟常见违规场景（如超载起吊导致吊索断裂），让操作人员现场演练如何正确处置异常情况，同时分析违规操作带来的风险与后果，从而提高其执行规范流程的自觉性。

### （二）定期检修设备，预防故障发生

定期检修是确保起重机械安全运行的关键手段，能够有效预防因设备老化或部件磨损引发的故障和事故。机械设备在长期使用过程中不可避免地出现性能下降和隐性问题，这些隐患一旦被忽视，可能导致严重的安全事故。科学的检修计划，及时发现并解决设备潜在的问题，可以延长设备使用寿命，提升运行的安全性和可靠性。定期检修应遵循“日检、周检、月检、年检”的梯度原则，明确不同频率下的重点内容和责任分工，以确保检修工作全面覆盖。

在实际操作中，企业可制定详细的检修流程，针对不同部件和系统安排具体的检查和维护计划。例如，吊钩、钢丝绳和滑轮等承重部件需每天进行目视检查，重点关注是否存在裂纹、磨损和松动；液压系统、电气系统和传动部件可安排每周进行功能测试和运行状态监测；每月则需要专业人员利用仪器对设备核心部件如刹车系统和减速器进行深度检测<sup>[10]</sup>。在年度检修中，企业可引入第三方检测机构使用无损探伤技术或振动分析工具，对关键部件进行全面诊断，确保设备达到行业安全标准。在发现问题后，需根据故障等级实施相应的处理措施，如更换损坏部件、调整设备参数或升级核心组件。同时，在检修过程中，应记录每一次检查和维修的详细信息，包括问题描述、解决方案以及责任人，以形成完整的设备维护档案，便于后续管理和追溯。

（三）提升应急管理能力，完善事故处理机制

起重机械应急管理是一项系统工程，涉及应急预案、应急资源、应急技术等多个方面。提升应急管理能力，关键在于运用现代信息技术手段，建立全过程、全方位的应急管理体系。利用物联网、大数据、人工智能等技术，实现对起重机械运行状态的实时监测和预警，对异常情况进行及时诊断和处置，最大限度地预防和减少事故发生。同时，要加强应急装备的配置和更新，引进先进的事故模拟、救援训练等技术设备，提高应急处置的专业化水平。此外，还要优化事故调查和分析技术手段，运用三维重构、故障树分析等方法，准确查明事故原因，为事故防范提供科学依据。只有以先进技术为支撑，以完善机制为保障，才能不断提升起重机械应急管理的科学化、精细化水平。

在起重机械应急管理实践中，可以建立起重机械监测预警系统。在起重机械上安装传感器，采集设备的运行参数，如吊装重量、幅度、速度、风速等，传输至监控中心。监控中心利用大数据分析技术，对设备运行数据进行实时分析，建立正常运行模型。一旦发现数据异常，偏离正常模型，系统自动触发预警，通知现场操作人员和管理人员，及时排查和处置潜在风险。同时，预警信息可以通过短信、应用推送等方式，第一时间传递给相关人员，提高预警的时效性。

针对起重机械发生坍塌、倾覆等事故时，需要快速实施救援的特点，配备特种救援装备，如大型吊装设备、切割设备、破拆设备等，提高事故处置效率。储备无人机、生命探测仪等先进装

备，在救援过程中快速搜索被困人员，实现精准定位和施救。定期开展技术性培训和演练，针对性地训练事故情景下的应急技能，提高操作人员使用装备的熟练程度。最后，完善事故调查分析技术。利用三维激光扫描、无人机航拍等技术，快速、准确地勘察事故现场，获取全面的现场信息和数据。运用三维重构技术，复原事故发生、发展的全过程，直观展现事故原因和机理。借助故障树分析、时序分析等方法，系统梳理事故发生的逻辑关系，查明设备故障、人员失误、管理缺陷等深层次原因。引入专家智库和知识库，对事故调查结果进行深入研判，提出针对性的整改措施和对策建议。

三、结束语

综上所述，起重机械安全管理是一项系统工程，需要从制度建设、人员培训、技术升级、事故预防等多个维度入手，构建全方位、立体化的安全防控体系。企业要高度重视起重机械安全生产，健全安全管理制度，加强全过程监督执行，确保安全措施落地生根。未来，随着新技术的不断发展，智能化、无人化将成为起重机械安全管理的主流趋势。5G、人工智能等前沿技术在安全生产领域的深度应用，将进一步提高事故预警、应急处置和调查分析的智能化水平。唯有与时俱进，创新管理方式，提升管控效能，方能为起重机械的本质安全运行提供坚实保障，推动企业实现高质量发展。

参考文献

[1] 徐杨. 建筑起重机械安全管理对策探讨 [J]. 现代物业, 2023:19-21.  
[2] 吕刚峰. 特种设备起重机械的安全管理与风险分析 [J]. 冶金与材料, 2024, 44(8):157-159.  
[3] 李杨. 建筑起重机械安全管理对策探讨 [J]. 中国厨卫, 2023, 22(7):51-53.  
[4] 郑崇玄. 浅论建筑起重机械的安全监督管理 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2015, 5(13):342-343.  
[5] 韦怀锋, 赵红杰. 塔式起重机的安全操作与事故预防 [J]. 今日自动化, 2024(3):86-87, 90.  
[6] 周铁仁, 徐贞乾. 论塔式起重机的安全与使用 [C] // 江苏省土木建筑学会建筑机械专业委员会 2015 年学术年会论文集. 2015:248-250.  
[7] 黄华学. 浅谈对起重机械安全管理的评估 [J]. 建筑机械, 2024(1):12-14.  
[8] 高宇. 智慧工地技术在建筑起重机械安全管理中的应用实践 [J]. 中国新通信, 2024, 26(12):62-64.  
[9] 罗彦华. 起重机械安全管理注意事项 [J]. 建筑机械, 2017(3):66-68.  
[10] 张中. 浅谈起重机械安全管理 [J]. 军民两用技术与产品, 2015(6):105.

# Ti 微合金化对 45<sup>#</sup> 钢相变的影响研究

华浩, 杨小军, 袁桥军

湖南湘潭钢铁集团有限公司, 湖南 湘潭 411101

**摘 要 :** 利用 MMS-200 热力模拟试验机对 45<sup>#</sup>、45Ti 不同冷速下 (1 °C /s ~20 °C /s) 的相变温度进行测定, 绘制出连续冷却相变曲线, 并利用 Leica DMI8 金相显微镜观察了不同冷速获得的金相组织; 同时采用水淬 + 回火工艺对 45<sup>#</sup>、45Ti 热处理后的相变组织进行观察。结果显示, 在 1 °C /s~20 °C /s 冷速范围, 45<sup>#</sup>、45Ti 获得铁素体 + 珠光体为主的金相组织, 且随着冷速增加, 珠光体含量持续增多, 铁素体含量持续减少, 且形态由多边形铁素体转变为沿晶界分布的片状铁素体; 45Ti 相变后获得的组织明显比 45<sup>#</sup> 细小; 45<sup>#</sup> 与 45Ti 的相变温度区间大部分重合, 但 45Ti 的相变开始温度整体较 45<sup>#</sup> 低约 30 °C。在淬火冷速条件下, 45Ti 试验钢表现出更好的淬透性。

**关 键 词 :** Ti 微合金化; 连续冷却相变; 显微组织

## Effect of Ti Microalloying on Phase Transformation of 45<sup>#</sup> steel

Hua Hao, Yang Xiaojun, Yuan Qiaojun

Xiangtan Iron and Steel Group Co.,Ltd. Xiangtan, Hunan 411101

**Abstract :** The CCT diagrams of 45<sup>#</sup> and 45Ti at different cooling rates (1 °C /s ~20 °C /s) were measured by MMS-200 thermal simulation machine. The microstructure obtained at different cooling rates was observed by Leica DMI8 optical microscope. Meanwhile the microstructure of 45<sup>#</sup> and 45Ti obtained by water quenching followed tempering process was observed. The results show that during the cooling rate range of 1 °C /s ~ 20 °C /s, ferrite + pearlite microstructure were obtained for 45<sup>#</sup> and 45Ti. With the increase of cooling rate, ferrite content decreases continuously, and the morphology changes from polygonal ferrite to flake ferrite along grain boundary. The transformed microstructure obtained by 45Ti is significantly finer than that of 45<sup>#</sup>. The transformation temperature interval of 45<sup>#</sup> and 45Ti mostly coincides, but the starting temperature of 45Ti phase transformation is about 30 °C lower than that of 45<sup>#</sup>. The 45Ti steel shows better hardenability than 45<sup>#</sup> during quenching process.

**Keywords :** Ti microalloying; continuous cooling transformation; microstructure

目前, Ti 微合金在钢种的应用研究主要集中在板材领域, 并已经获得较广泛的应用。中厚板生产过程中, 钛微合金化的主要应用有两种思路: 一种是微钛处理, 即在钢中加入 0.015% ~ 0.025% 的 Ti, 目的是为了固定钢中的自由氮, 控制板坯表面裂纹, 同时利用析出的 TiN 第二相颗粒控制钢坯加热过程中奥氏体晶粒粗化<sup>[1,2]</sup>; 另一种通过 Ti 微合金化 (0.05% ~ 0.12%), 利用轧制、卷取过程中析出的纳米级 TiC 第二相来提高钢板的强度<sup>[3-5]</sup>, 开发 700MPa 级的高强钢。

在线棒材领域, Ti 微合金化主要应用于齿轮钢 20CrMnTi, 以及合金结构钢 20MnTiB 等钢种, 而在中高碳钢领域, 关于 Ti 微合金化的研究资料较少<sup>[6,7]</sup>, 侧重于微钛处理对铸坯裂纹改善的研究。对中碳钢成分, 常用的微合金元素 Nb、V、Ti 中, NbC 固溶度积较低, VC 固溶度积过高, 而 TiC 固溶度积介于 NbC 和 VC 之间, 较适合应用于中碳钢以获得晶粒细化和第二相强化效果<sup>[8]</sup>。本文通过 MMS-200 热力模拟试验机对 45<sup>#</sup>、45Ti 的相变行为进行研究, 并利用淬火 + 回火热处理工艺对 45<sup>#</sup>、45Ti 的组织进行分析, 分析 Ti 的加入对相变行为、相变组织的影响, 为现场生产、下游客户使用等提供理论支持。

## 一、试验材料和方法

试验材料取自湘钢生产的 Φ50mm 规格的 45<sup>#</sup>、45Ti 热轧圆钢, 在圆钢 1/4 直径位置沿轧制方向取 Φ10 mm × 15 mm 规格的热模拟试样, 试验钢化学成分见表 1。利用 MMS-200 热力模拟试验机测定出两种钢在不同冷速 (1 °C /s~20 °C /s) 范围的热膨胀曲线 (图 1), 根据切线法测定出相变温度, 利用 Leica DMI8 金相

显微镜对不同冷速下后的组织进行分析, 根据相变温度结合金相组织绘制出 CCT 曲线。

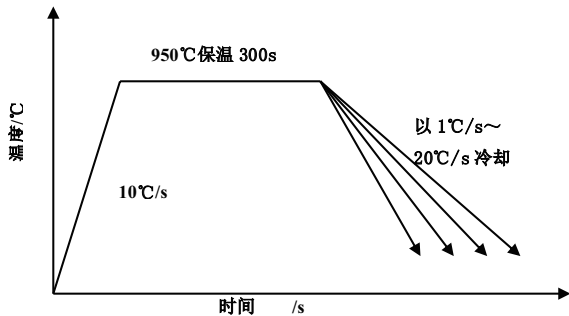
另外, 在 45<sup>#</sup>、45Ti 热轧圆钢 1/4 直径处取 Φ20\*200mm 圆棒试样, 在箱式电阻炉中加热至 850 °C, 保温 30min 后分别淬入水中和油中, 待完全冷却后在 580 °C 进行回火。对热处理后的试样进行金相组织分析, 对比微合金 Ti 的加入对淬透性的影响。



表1 45<sup>#</sup>、45Ti 试验钢的化学成分 ( wt% )

Table 1 Chemical composition of 45<sup>#</sup>、45Ti steel ( wt% )

钢种 \ 成分	C	Si	Mn	Ti	P	S
45 <sup>#</sup>	0.45	0.21	0.65	0.008	≤ 0.018	≤ 0.01
45Ti	0.45	0.22	0.64	0.059	≤ 0.018	≤ 0.01



> 图1 热模拟实验工艺示意图

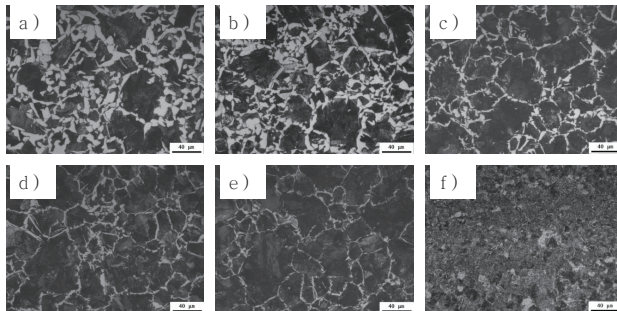
> Fig.1 Process diagram of thermal simulation experiment

热模拟试验 & 热处理试验完成后, 将试样从中间 (焊接热偶处) 剖开, 经镶嵌 - 磨削 - 抛光后, 采用 4% 的硝酸酒精溶液腐蚀后制作成金相试样, 利用 Leica DMI8 金相显微镜观察不同冷速下的金相组织。其中淬火 + 回火后的试样观察位置为横截面 1/4 直径处区域。

## 二、试验结果与讨论

### (一) 显微组织分析

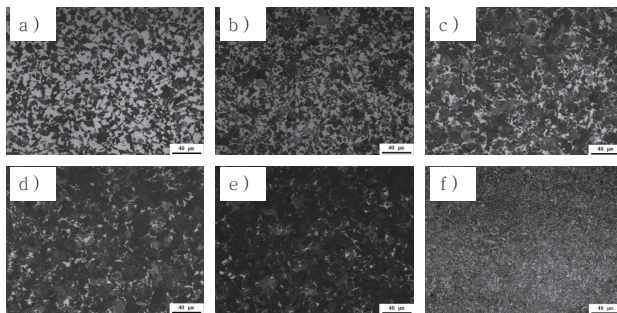
图2、图3分别为 45<sup>#</sup> 试样不同冷速后获得的金相组织照片。可以看出: 在试验冷速 1℃ /s~20℃ /s 范围内, 45<sup>#</sup>、45Ti 试验钢



a) 1℃ /s; b) 2℃ /s; c) 5℃ /s; d) 10℃ /s; e) 20℃ /s; f) 淬火 + 回火

> 图2 45<sup>#</sup> 试验钢在不同冷速下的显微组织

> Fig.2 Microstructure of 45<sup>#</sup> steel obtained under different cooling rate



a) 1℃ /s; b) 2℃ /s; c) 5℃ /s; d) 10℃ /s; e) 20℃ /s; f) 淬火 + 回火

> 图3 45Ti 试验钢在不同冷速下的显微组织

> Fig.3 Microstructure of 45Ti obtained under different cooling rate

均获得铁素体 + 珠光体为主的金相组织; 随着冷速加快, 铁素体含量持续减少, 珠光体含量持续增多, 在冷速 ≥ 10℃ /s 时, 珠光体含量占主导地位, 同时随着冷速的增加, 铁素体由多边形铁素体转变为沿晶界的片状铁素体和魏氏组织。在淬火 (约 180℃ /s) 冷速条件下<sup>[9]</sup>, 45<sup>#</sup> 试样基体组织为马氏体 + 少量屈氏体 + 极少量晶界铁素体, 而 45Ti 则获得全马氏体组织。

另外, 试验发现在相同冷速条件下, 45Ti 相变后获得的组织较 45<sup>#</sup> 明显细化, 具体的金相组织和晶粒度对比结果见表2。分析认为应与 45Ti 钢中的 TiC 第二相析出颗粒对奥氏体晶粒长大存在抑制作用有关<sup>[9]</sup>。

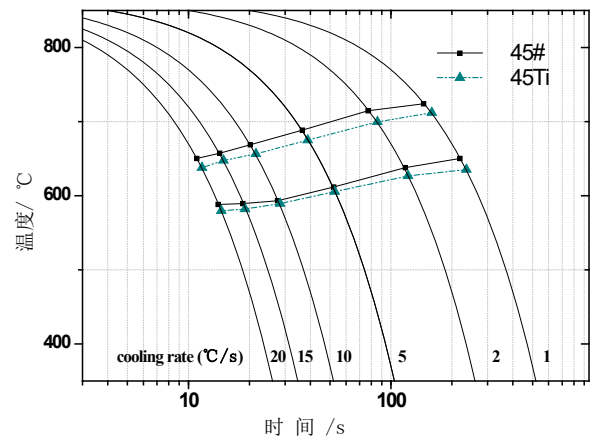
表2 不同冷速下 45<sup>#</sup>、45Ti 试验钢的显微组织

Table 2 microstructure of 45<sup>#</sup>、45Ti steel under different cooling rate

冷速	45 <sup>#</sup>		45Ti	
	金相组织	晶粒度	金相组织	晶粒度
1℃ /s	珠光体 + 铁素体	6.5~7.5	珠光体 + 铁素体	8.5~9.5
2℃ /s	珠光体 + 铁素体	6.5~7.5	珠光体 + 铁素体	8.5~9.5
5℃ /s	珠光体 + 网状铁素体	6~7	珠光体 + 网状铁素体	8.5~9.5
10℃ /s	珠光体 + 片状铁素体	6~7	珠光体 + 少量网状铁素体	8~9
20℃ /s	珠光体 + 片状铁素体	6~7	珠光体 + 少量网状 / 片状铁素体	8~9
淬火 + 回火	回火索氏体 + 少量屈氏体 + 少量片状铁素体	—	回火索氏体	—

### (二) 连续冷却相变 (CCT) 曲线

根据实验采集的膨胀量 - 温度变化曲线 (D-T 曲线), 利用切线法测定出不同冷速下的相变开始温度和结束温度; 再根据测量结果利用 Origin 软件做出实验钢的连续冷却转变曲线 (静态 CCT 曲线), 结果见图 4。



> 图4 45Ti、45<sup>#</sup> 连续冷却转变曲线

> Fig.4 CCT diagram of 45Ti and 45<sup>#</sup> steel

如上 CCT 曲线可以看出, 45Ti 与 45<sup>#</sup> 相变温度区间大部分重合, 但 45Ti 相变开始温度和结束温度均比 45<sup>#</sup> 略低。45Ti 相变开始温度较 45<sup>#</sup> 整体低约 30℃ 左右, 相变结束温度整体低 30~10℃。这说明 Ti 的加入一定程度上推迟了 45<sup>#</sup> 的铁素体开始相变温度, 但对珠光体相变影响相对较小。金相分析结果与 CCT 曲线对比结果一致。



### (三) 分析讨论

#### 1. Ti 在 45Ti# 钢中的存在形态

钛是强碳氮化物形成元素, 钛微合金钢中, 其常见析出物为 TiN 和 TiC, 其中 TiN 的析出温度较高, 一般于铸坯凝固过程中析出, 而 TiC 的固溶度积较大, 一般于轧制过程中在变形奥氏体中或相变后在过饱和铁素体中析出。根据 TiC 在奥氏体中的平衡固溶度积公式  $\log\{[Ti] \cdot [C]\} = 2.75 - 7000/T^{[10]}$ , 考虑到钢种 TiN 析出消耗的 Ti 元素, 可计算出 45Ti 钢 TiC 在奥氏体中的全固溶温度约为 1250℃ 左右, 在 900℃ 以下, 热力学平衡状态下 Ti 在钢中主要以 Ti(C、N) 第二相析出形式存在, 但实际轧制过程由于工艺过程快, 时间短, 故 TiC 析出不充分, 仍存在部分 Ti 以固溶态形式存在于基体中<sup>[8]</sup>。根据第二相钉扎理论, 轧制过程中析出的 TiC 粒子会细化热处理过程中的奥氏体晶粒, 从而细化最终的相变组织。

#### 2. Ti 微合金对相变的影响

45# 属于普通碳素钢, 淬透性较差, 根据 2.1、2.2 节试验结果, 在 1/s~20℃/s 范围主要发生高温相变, 且随着冷速的增加, 铁素体含量减少, 珠光体含量增加, 符合碳素钢高温相变的一般特征。微合金元素 Ti 的加入对铁素体相变有一定的抑制作用, 这

是由于 Ti 固溶于奥氏体后, 提高了碳原子在奥氏体中的扩散激活能, 降低了其在奥氏体中及相界的扩散速率, 延缓了先共析铁素体的形核和长大速度, 一定程度上抑制了铁素体相变<sup>[11]</sup>。同时固溶的 Ti 增加了奥氏体的稳定性, 因此当冷速较快时较 45# 更容易获得贝氏体/马氏体组织。

### 三、结论

(1) 在 1℃/s~20℃/s 冷速范围, 45#、45Ti 均获得铁素体+珠光体为主的金相组织。随着冷速加快, 珠光体含量持续增多, 在冷速  $\geq 10^\circ\text{C}/\text{s}$  时, 珠光体含量占主导地位。

(2) 1℃/s~20℃/s 冷速范围, 45Ti 的相变组织较 45# 明显细化, 相同冷速下晶粒度较 45# 高 2 级左右。

(3) Ti 微合金加入推迟了铁素体相变开始温度, 使铁素体相变开始温度整体降低了约 30℃。

(4) Ti 微合金加入明显提高了 45# 的淬透性, 水冷条件下 45Ti 试棒 ( $\Phi 20 \times 200\text{mm}$ ) 横截面 1/4 直径位置可获得全马氏体组织。

### 参考文献

- [1] 许峰云, 白秉哲, 方鸿生. 低合金高强度钢钛微合金化进展 [J]. 金属热处理, 2007(12):29-34.
- [2] 韩晨, 孙付涛. Ti 与 Nb 微合金化汽车用钢二相粒子及织构研究 [J]. 金属材料与冶金工程, 2018, 46(01):3-9.
- [3] 廖志, 曹燕光, 刘旭辉, 李会等. Ti 微合金化高强度钢性能波动原因分析与工艺优化 [J]. 轧钢, 2020, 37(03):13-17.
- [4] 张可, 雍岐龙, 孙新军, 李昭东等. 卷取温度对 Ti-V-Mo 复合微合金化超高强度钢组织及力学性能的影响 [J]. 金属学报, 2016, 52(05):529-537.
- [5] 潘辉, 王昭东, 李飞, 郭佳等. 700MPa 级高强工程机械用钢产品设计和生产实践 [J]. 中国冶金, 2014, 24(10):1-6.
- [6] 钱永兰, 乐敏毅, 孙少乐, 虞衡. 微钛处理 45 钢的研究 [J]. 钢铁钒钛, 1990(01):41-49.
- [7] 麻哈, 王雷. V 和 Ti 在高碳钢中的应用 [J]. 钢铁研究学报, 2015 (27):P69-74
- [8] 雍岐龙. 钢铁材料中的第二相 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006
- [9] 胡立光, 赵希文. 钢的热处理 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2010
- [10] 雍岐龙, 刘正东, 孙新军, 曹建春等. 钛微合金钢中碳氮化钛固溶量及化学组成的计算与分析 [J]. 钢铁钒钛, 2005(03):12-16.
- [11] 陈翱, 李忠华, 何康, 李烈军等. 钛微合金钢形变诱导析出规律的热模拟 [J]. 材料热处理学报, 2019, 40(05):162-167.

# 土地整治过程中耕地质量提升与资源利用优化

陈建荣

山西省保德县自然资源事务中心, 山西 忻州 036600

**摘 要：** 土地整治作为提升农业生产力的重要手段，重点关注耕地质量的提升与资源的优化利用。通过科学的整治措施，如土壤改良、灌溉设施更新及农业技术的创新，能够有效提升耕地的生产能力与生态环境质量。此外，合理的资源配置与优化管理，有助于提高土地利用效率，减少浪费，实现可持续发展目标。结合不同地区的土壤特性与气候条件，实施精准的整治方案，不仅提升耕地质量，还促进了农业生产的绿色转型。

**关 键 词：** 耕地质量；土地整治；资源利用优化；可持续发展；土壤改良

## Improvement of Cultivated Land Quality and Optimization of Resource Utilization in the Process of Land Consolidation

Chen Jianrong

Baode County Natural Resources Service Center, Xinzhou, Shanxi 036600

**Abstract：** Land consolidation, as an important means to enhance agricultural productivity, focuses on improving the quality of cultivated land and optimizing resource utilization. Through scientific consolidation measures such as soil improvement, irrigation facility updates, and agricultural technology innovations, the production capacity and ecological environment quality of cultivated land can be effectively improved. Additionally, reasonable resource allocation and optimized management can help improve land use efficiency, reduce waste, and achieve sustainable development goals. By implementing precise consolidation plans based on the soil characteristics and climatic conditions of different regions, not only can the quality of cultivated land be improved, but also the green transformation of agricultural production can be promoted.

**Keywords：** cultivated land quality; land consolidation; resource utilization optimization; sustainable development; soil improvement

## 引言

随着全球人口增长和资源压力加剧，耕地质量的提升和资源的合理利用成为现代农业发展的关键。土地整治作为一项重要的农业管理手段，不仅有助于恢复和提升耕地质量，还能优化资源配置，推动农业的可持续发展。如何科学地进行耕地整治、提高土地利用效率，并解决日益严峻的生态与生产问题，成为当前亟待解决的课题。探索合理的整治措施，既是提高农业生产力的途径，也是实现绿色发展的必要步骤。

## 一、土地整治对耕地质量提升的作用与机制

土地整治在提升耕地质量中起着至关重要的作用。通过科学合理的整治措施，不仅能够改善土壤环境，还能提高土地的利用效率，促进农业可持续发展。耕地质量的提升，涉及土壤改良、作物种植结构调整以及农业基础设施建设等多个方面<sup>[1]</sup>。

土壤改良是土地整治中最为基础也是最为关键的环节。通过科学施肥、灌溉和耕作方式，能够有效改善土壤的理化性质，增强土壤的肥力和水分保持能力。比如，适量施用有机肥料能够改善土壤的有机质含量，提升土壤的结构稳定性和透气性，减少盐

碱化土壤的酸化，进而提高耕地的生产能力。此外，采用轮作、间作等方式，可以调节土壤中养分的消耗和积累，避免单一作物长时间种植导致土壤贫瘠的情况。

灌溉设施的更新和水资源的合理利用是提高耕地质量的重要手段。水资源是农业生产的基础，然而在许多地区，水资源的分布不均衡和利用效率低下严重制约了土地的生产潜力。通过实施高效灌溉系统，如滴灌、微喷灌溉等技术，能够精确控制水分的分配，避免水资源浪费的同时，保证作物生长所需的水分充足。此外，智能化水利设施的使用，使得灌溉管理更加科学和精细，提升了水资源的利用率，进一步促进了耕地质量的提高<sup>[2]</sup>。

土地整治还包括农业基础设施的改善，如道路、排水系统、农田水利设施等的建设。这些基础设施的完善，为农业生产提供了更加可靠的保障。良好的排水系统能够有效防止积水对土壤造成的不良影响，减少土壤的酸化和盐碱化现象。道路的修建则方便了农业生产资料的运输和农产品的流通，提高了农业生产的整体效率。

土地整治中的生态修复措施也是提升耕地质量的重要内容。随着环境污染和生态退化的加剧，单纯的生产性措施已无法满足现代农业的需求。通过加强生态保护，恢复自然生态功能，例如种植绿化带、设置生态缓冲区等，有助于改善土壤的生物活性，提升耕地的整体质量。此外，保护生物多样性，避免过度开发，也能促进农业生态环境的可持续性<sup>[3]</sup>。

## 二、耕地土壤改良技术及其应用效果分析

耕地土壤改良技术在提升耕地质量、提高农业生产效益中起到了关键作用。通过对土壤的科学改良，不仅能够恢复土壤的肥力，还能改善其结构，提升作物的生长环境，进而提高农作物的产量与质量。土壤改良技术的应用，通常涉及物理、化学和生物多方面的手段，其效果在不同地区、不同土壤类型和气候条件下存在一定差异。

物理性土壤改良技术通过改善土壤的结构来提升其透水性、通气性和保水性。常见的方法包括耕作、深翻、打孔等。耕作是通过改变土壤的物理性质，减少土壤板结，改善土壤的通气性和水分渗透性，增加土壤的有机质含量。深翻技术可以打破土壤中的硬盘层，提高根系的的活动空间，促进植物根系的生长，增强土壤的通透性。打孔技术则通过人工开孔的方式促进空气和水分流通，减轻土壤的紧实程度，尤其对粘性土壤效果显著<sup>[4]</sup>。

化学性土壤改良技术通过调整土壤的酸碱性和盐碱度来提高其肥力。酸性土壤常常限制作物的生长，施用石灰可以有效中和土壤酸性，改善土壤的 pH 值，增强土壤的养分供应能力。而对于盐碱化土壤，施用有机肥料、改良剂或通过灌溉来洗涤土壤中的盐分，是常见的改良措施。此外，施用磷、钾、硼等微量元素肥料，能够为土壤提供作物生长所需的微量营养成分，避免土壤养分的单一性，进而提升土壤肥力<sup>[5]</sup>。

生物性土壤改良则主要依靠生物技术手段通过增加土壤中的有益微生物群落来改善土壤质量。例如，施用有机肥料可以为土壤提供丰富的有机物质，促进有益微生物的繁殖，提高土壤的生物活性。同时，生物肥料如固氮菌、解磷菌等能够改善土壤中的氮、磷等元素的循环，提升土壤的养分供应能力<sup>[6]</sup>。

不同地区 and 不同类型的土壤，在土壤改良技术的应用上需要根据具体情况进行选择和调整。在干旱和半干旱地区，节水灌溉、保水剂和有机肥料的结合使用，可以有效改善土壤的水分保持能力，提高土壤质量；而在湿润地区，注重透气性和排水性，减少土壤积水，避免土壤的水 logging 现象。土壤改良的应用效果在短期内可能较为显著，但要保持土壤的长效改良，需进行持续的技术管理与监控。

## 三、资源利用优化：高效灌溉与设施更新的实践

资源利用优化，尤其是高效灌溉与设施更新，是提升耕地质量、提高农业生产力的关键措施之一。水资源是农业生产中不可或缺的资源，而合理有效的灌溉不仅可以提升作物生长环境，还能显著提高水资源的利用效率，减少水资源的浪费。随着气候变化和水资源短缺问题的日益严峻，高效灌溉技术和农业设施的更新已成为现代农业不可忽视的重要内容。

高效灌溉技术的核心目的是在保证作物生长所需水分的同时，最大限度地减少水资源的浪费。滴灌、微喷灌溉和精准灌溉系统是当前常见的高效灌溉技术。滴灌技术通过管道将水分精确输送到作物根部，能够减少水分蒸发和流失，尤其适用于干旱、半干旱地区和节水型农业系统。微喷灌溉则通过喷头将水分分散喷洒到土壤表面，适用于需水量较大的作物，能够确保水分均匀分布，减少土壤表面水分的不均匀性。精准灌溉系统则借助现代信息技术，通过气象数据、土壤湿度传感器等技术手段，实时监测土壤水分状态，并根据作物生长需求动态调整灌溉量。这些技术不仅有效提升了灌溉效率，还能够显著降低用水成本，节省水资源<sup>[7]</sup>。

在灌溉设施的更新方面，旧有的灌溉设施往往存在水资源浪费、管理不善等问题。因此，设施更新的关键是提高灌溉系统的智能化与自动化水平。例如，自动化灌溉系统可以根据气候变化、土壤湿度、作物需求等多方面数据，自动调节灌溉量，确保作物在最佳水分条件下生长，避免过度灌溉和水分浪费。此外，现代农业设施还可以结合太阳能等可再生能源，减少传统能源的依赖，提升农业生产的绿色性和可持续性。

设施更新不仅限于灌溉系统，还包括农业基础设施的其他部分，如农田水利设施、土壤改良设备等。例如，现代农田排水系统可以通过精准的管道布局和自动化控制设备，及时排除积水，减少水分对土壤造成的负面影响。更新后的农业设施能够有效提高生产效率，降低人为操作失误，提高土壤和水资源的利用率，减少环境污染<sup>[8]</sup>。

## 四、土地整治与农业可持续发展路径的探索

土地整治作为提升农业生产力的重要手段，与农业可持续发展密切相关。随着全球农业面临资源短缺、环境污染和气候变化等多重挑战，土地整治不仅有助于提高耕地质量，还能推动农业的绿色转型，实现资源的高效利用和生态环境的保护。探索土地整治与农业可持续发展的路径，关键在于通过科学规划和综合施策，促进土地资源的优化配置和农业生产的可持续性。

土地整治可以通过改善土壤质量、提升耕地生产力为农业可持续发展奠定基础。土壤退化、酸化、盐碱化等问题严重影响农业生产，因此，科学的土壤改良措施至关重要。通过施用有机肥料、合理轮作、深耕等手段，能够有效恢复土壤的结构和肥力，提高土地的生产能力。此外，针对不同地区的土壤特性，采用区域化的整治方案，以提高土地的适应性和利用效率。这不仅能提

升作物的产量和质量，还能减少资源浪费，降低环境负担。

土地整治应注重水资源的合理利用和优化配置。水资源是农业生产的核心要素，合理的水资源管理对农业可持续发展至关重要。在土地整治过程中，应强化灌溉系统的现代化建设，提高灌溉效率。高效灌溉技术如滴灌和微喷灌溉可以减少水分蒸发和流失，确保作物根部获得足够的水分。此外，水资源的科学调度与分配能够避免过度灌溉和水资源浪费，有助于保障农业生产的长期可持续性<sup>[9]</sup>。

农业基础设施的建设与改善也是推动农业可持续发展的重要因素。土地整治往往涉及农田基础设施的全面更新，包括排水系统、道路建设、水利设施等。这些设施的改善，不仅能够提升农田的生产条件，还能有效减轻自然灾害带来的损害。例如，完善的排水系统可以减少积水对土壤和作物的危害，避免土壤水涝，提高土地的利用效率。农业基础设施的现代化建设有助于提高生产的稳定性和可靠性，为农业的可持续发展提供保障。

五、区域差异化整治方案的制定与实施策略

区域差异化整治方案的制定与实施策略，是根据不同地区的自然条件、资源禀赋和农业需求，量身定制的土地整治措施。由于土壤类型、气候条件、地形地貌等差异，土地整治的需求和挑战因地区而异，因此需要采取差异化的整治策略，以实现土地资源的最优配置和可持续利用。

土壤特性和水资源状况的差异是制定区域差异化整治方案的基础。在干旱和半干旱地区，水资源相对匮乏，因此水资源的合理利用是整治方案的重点。针对这些地区，首先应采用节水灌溉技术，如滴灌和微喷灌溉系统，确保水分精准供应，减少浪费。同时，土壤的保水能力较弱，需通过施用有机肥料、改良剂等手段增加土壤的有机质含量，提高土壤的水分保持能力。此外，干旱地区还应加强水资源的管理，优化水利设施建设，实施区域水资源的合理调配和共享。

对于湿润地区，土壤易积水、渍涝现象较为严重，因此排水系统的建设至关重要。在这些地区，土地整治的核心是改善排水条件，防止土壤长期积水导致的酸化和盐碱化问题。可以通过建设高效的排水网络和提升农田的地势，增强土壤的透水性，防止水涝对农业生产的影响。此外，在湿润地区，土壤的肥力通常较高，但长期的耕作可能导致土壤结构松散，因此应重点进行深耕和有机肥料施用，改善土壤的物理性质和增强作物根系的生长空间。

在山地和丘陵地区，地形起伏较大，土地平整度较差，这对农业生产造成一定的挑战。针对这些地区，应通过农田平整和梯田建设，提高土地的利用率。通过合理的地形改造和水土保持措施，可以防止水土流失，提高土地的可耕性。同时，这些地区多为小规模农田，设施建设较为分散，应该加强农业基础设施的建设，尤其是交通、灌溉和储水设施，以提高农业生产的效率和可持续性<sup>[10]</sup>。

不同地区的农业生产结构也应考虑在整治方案中进行差异化设计。对于农业主产区，应根据作物的需求进行土地整治，如根据不同作物的生长特性，合理调整种植结构，优化作物轮作与间作，避免土壤单一养分的消耗，保持土壤健康。而对于非农业主产区，可以通过发展生态农业或林业等方式，结合当地生态环境特点，实施更加综合的整治方案。

六、结语

区域差异化整治方案的制定与实施，对于提高土地利用效率、促进农业可持续发展具有重要意义。通过根据不同地区的土壤、气候、水资源和地形特点，量身定制整治措施，能够实现资源的最优配置，解决区域性土地退化问题。有效的土地整治不仅能提高农业生产力，还能改善生态环境，为实现绿色农业和可持续发展提供强有力的支持。未来，应继续优化和完善区域整治方案，推动农业高效、绿色、可持续发展。

参考文献

[1] 马仕柱, 杨成文, 李自平, 杨彦民. 土地整治在禄丰县耕地保护中的作用分析 [J]. 云南冶金, 2024, 53(04): 206-213.  
[2] 王洪秋, 师晓文, 杨帆, 李健雄, 王川. 残次林地土地综合整治耕地质量等级评价研究 [J]. 数字农业与智能农机, 2023(09): 64-66.  
[3] 张浩. 土地整治项目分析及效益评价 [D]. 河北农业大学, 2022.DOI:10.27109/d.cnki.ghbnu.2022.000330.  
[4] 韩雨. 土地整治视角下的耕地质量遥感评价研究 [D]. 东北农业大学, 2022.DOI:10.27010/d.cnki.gdbnu.2022.000414.  
[5] 吴龙驰. 土地整治项目对台源区耕地质量的影响研究 [J]. 南方农机, 2022, 53(04): 72-74.  
[6] 周聪. 现有模式下土地整治对耕地质量变化的影响和对策 [J]. 新农业, 2022(02): 84.  
[7] 王鹏, 赵微. 土地整治对农户耕地流转的影响研究——基于断点回归的实证分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(12): 2992-3003.  
[8] 姚春娟. 子长县瓦窑堡镇、杨家园则镇和马家砭镇清涧河土地整治项目效益分析 [J]. 南方农机, 2021, 52(20): 79-81.  
[9] 字锦丽. 高校图书馆资源利用优化 [J]. 文化产业, 2024(30): 130-132.  
[10] 张晓婧. 引黄灌区农业水资源高效利用与优化配置研究 [J]. 南方农机, 2024, 55(16): 48-50.



# 基于 Matlab 的音频降噪数字滤波器的设计与工业应用

石昌丰, 李自成, 周富军, 周星宇, 牟恩乐  
成都理工大学工程技术学院, 四川 乐山 6140000

**摘要 :** 随着工业技术的不断更新迭代, 我们在工业生产过程中发现了数字信号的问题对工业领域的巨大影响, 因此在工业生产中, 数字噪声信号的处理解决受到越来越多的关注和研究, 这对整个工业生产都具有十分重要的意义<sup>[1]</sup>。在 MATLAB 软件中, 利用 MATLAB 语言编写程序对信号进行加噪和噪声处理, 在此过程中使用数字滤波器对数字噪声信号进行处理, 通过仿真并得到各信号的时域图, 然后通过快速傅里叶变换 fft 函数转换得到频域图, 观察结果并比较不同滤波器的作用效果, 适应环境和性能, 然后分析不同滤波器的优缺点, 进而进行改善和选择, 以此来选择更加适合工业生产中处理噪声的滤波器, 减少不必要的损耗, 使得工业生产更加完善高效<sup>[2]</sup>。

**关键词 :** MATLAB; 工业生产; 语音信号; 滤波器处理噪声; 快速傅里叶变换 (FFT)

## Design and Industrial Application of Audio Noise Reduction Digital Filter Based on Matlab

Shi Changfeng, Li Zicheng, Zhou Fujun, Zhou Xingyu, Mou Enle  
School of Engineering and Technology, Chengdu University of Technology, Leshan, Sichuan 6140000

**Abstract :** With the continuous update and iteration of industrial technology, we found the problem of digital signal in the process of industrial production on the industrial field, so in the industrial production, the treatment of digital noise signal by more and more attention and research, which has a very important significance for the whole industrial production<sup>[1]</sup>. In MATLAB software, using MATLAB language program to add signal noise and noise processing, in the process using digital filter to digital noise signal processing, simulation and get the signal time domain map, and then through fast Fourier transform fft function conversion frequency domain map, observation and compare the effect of different filters, adapt to the environment and performance, and then analyze the advantages and disadvantages of different filters, and then improve and selection, in order to choose more suitable for industrial production noise filter, reduce unnecessary loss, make industrial production more perfect and efficient<sup>[2]</sup>.

**Keywords :** MATLAB; industrial production; speech signals; filter noise processing; fast Fourier transform (FFT)

## 引言

在工业机械生产的过程中应用数字噪声信号有着不同的使用方法和模式。探索噪声信号在工业生产方面的实际作用进行探索与研究, 如工业数据信号信息的远程传输、对机械设备损伤程度和位置的快速检测等。研究工业环境噪声对于工业生产过程中产生的数字语音信号的影响, 并观察不同滤波器对语音信号过滤后得到的去噪信号<sup>[3]</sup>。通过 MATLAB 软件对该现象进行延展仿真实验, 观察滤波器对工业生产环境中所产生的各种噪声信号的处理效果, 对工业环境噪声的产生以及危害与作用得出一个较为详细的解释应用和解决方案, 也对滤波器的使用方法和作用效果有个更加清晰的认知。

## 一、快速傅里叶变换的认识

快速傅里叶变换 (FFT) 是通过离散傅里叶变换 (DFT) 的周期性和对称性的利用。方便优化算法降低复杂程度到  $O(n \cdot \log n)$ , 提高算法的计算速度。

对于连续时间信号, FFT 的定义为:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

对于离散时间信号, DFT 定义为:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}, k=0, 1, \dots, N-1$$

## 二、数字滤波器的分析及应用

数字滤波器在工业雷达和声纳的目标检测反馈定位、电站的控制运行状态监测系统、飞行器的电子器件损伤诊断、精确工业装置的磨损检测等领域得到了广泛应用, 将数字滤波器进行工业生产方面应用, 方便工业环境中传播精确的数字信号时, 保持信

作者简介: 石昌丰 (2004.09-), 男, 四川省雅安市人, 本科生在读, 研究方向: 信息安全。

号本身应有内容频率,防止出现误差使信息出现错误。数字滤波器有 IIR 滤波器和 FIR 滤波器以及其他各种数字滤波器,但是我们要根据不同实际情况中不同的环境,算法以及功能来选择不同的滤波器。



数字滤波器的原理方框图

### IIR 滤波器的基本结构

IIR 滤波器设计方法:使用巴特沃斯低通滤波器对信号进行过滤,其滤波器的频率响应  $|H(j\omega)|$  在阻带内单调下降,在通带内是平坦的。

IIR 滤波器的系统函数:

$$H(z) = \frac{\sum_{k=1}^M b_k z^{-k}}{1 - \sum_{k=1}^N a_k z^{-k}}$$

IIR 滤波器的差分方程的一般形式为:

$$y(n) = \sum_{k=1}^N a_k y(n-k) + \sum_{k=0}^M b_k x(n-k)$$

滤波器的阶数 N 可以通过以下公式计算:

$$N = \frac{\log_{10} \left( \frac{10^{\frac{\alpha_p}{10}} - 1}{10^{\frac{\alpha_s}{10}} - 1} \right)}{2 \log_{10} \left( \frac{\omega_s}{\omega_p} \right)}$$

极点的位置可以通过以下公式计算:

$$p_k = e^{j \left( \frac{\pi}{2} \frac{(2k+1)\pi}{2N} \right)}$$

将极点的位置代入传递函数中,求得传递函数  $H(s)$  为:

$$H(s) = \frac{1}{\prod_{k=0}^{N-1} (s - p_k)}$$

将滤波器的传递函数  $H(s)$  映射到数字域,得到传递函数  $H(z)$ :

$$s = \frac{2}{T} \frac{1+z^{-1}}{1-z^{-1}}$$

### FIR 滤波器的基本结构

FIR 滤波器设计方法:通过使用窗函数对所需过滤数字噪声信号进行的过滤削弱,将无限脉冲响应滤波器转换为有限长度的 FIR 滤波器。

单位脉冲响应长度为 N,系统函数关系式:

$$H(z) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n) z^{-n}$$

理想低通滤波器的冲激响应为:

$$h_d(n) = \frac{\sin(\omega_c n)}{\pi n}$$

将窗函数  $\omega(n)$  带入无限脉冲响应  $h_d(n)$  中:

$$h(n) = h_d(n) \cdot \omega(n)$$

### IIR 滤波器和 FIR 滤波器的比较

巴特沃斯滤波器和窗函数滤波器在许多的场景中都存在有很多不同点<sup>[4]</sup>。稳定性:二者稳定性的差异使得他们的稳定性也大不相同,结果的准确度也受到影响;计算效率:因为其两种滤波器的计算影响因素不同,IIR 滤波器不受阶数影响,以此在多阶数运算时,该滤波器更加高效快速<sup>[5]</sup>。应用场景:IIR 滤波器适用于短时间快速计算时选择使用,而 FIR 滤波器适用于所需计算结果精确时使用。

## 三、噪声信号在工业生产过程中的影响及应用

工业生产环境中总是充斥着各种各样的噪声,这些噪声不仅会影响到工业系统中控制生产的机械装置的工作性能,造成生产效率下降<sup>[6]</sup>。同时噪声因其传播振动的形式对系统装置造成一下不可逆损伤,使得生产成本提高。工业生产环境中常见的噪声源有铁质机械和电器电子元件在长时间负荷工作运转下会因为低频振动而产生机械噪声,这些噪声会干扰其他的传输数据的各种传感器和执行器的精确度。

数字噪声信号在工业生产控制过程中有多种不同的作用:1. 机械设备的监测与电子器件的故障诊断:工厂中的机器设备在运行时会因为不同的原因导致装置的铁块间存在缝隙,产生振动声、撞击声、摩擦声等噪声信号。通过对这些信号进行噪声信号处理观察,可以更准确地识别出设备的基本特征信息,如振动频率、声音强度等,从而判断设备是否有损坏磨损,能否正常运行,通过反馈的噪声信号及时发现潜在可能存在的机械故障。例如,利用对机械设备的噪声的反馈进行分析,能够检测出装置器件的损坏位置和磨损程度等。2. 生产过程优化:在工业控制生产过程中,各种传感器自行会采集大量生产数据,从而更好的制定生产计划,其中收集的数据可能受到工业环境噪声的干扰。对这些数据进行噪声处理后,可以更精确无误地分析出生产过程中的各种参数变化范围程度,优化生产工艺,以此提高产品的质量和生产效率。比如,在碳炼钢铁的生产过程中,通过对温度、湿度、压力等传感器数据的噪声处理,能够更好地控制冶炼过程中的各种参数,提高钢材的质量和数量<sup>[7]</sup>。3. 信号的传输与接收:在工业生产中通过无线通信是非常常见的,而语音信号在通过无线传输的过程中可能会受到各种工业噪声的干扰,如电子元器件所发出的电磁干扰以及信号重叠导致的信号失真等。通过数字滤波器过滤噪声信号后会使得传输的信号保持本来的频率,不因为工业噪声的攻击而使信号混乱。例如,在现在工业对讲机通信中,会采用滤波噪声处理技术,使信号的传输速率和稳定性得到质的提升<sup>[8]</sup>。

## 四、数字滤波器的 MATLAB 仿真

滤波器代码编写

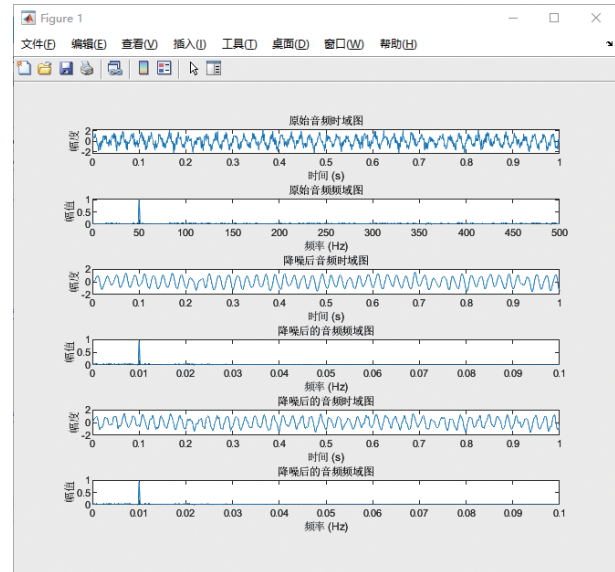
```
fs = 10
T = 1/fs;
t = 0:1/fs:1;
L = 1000;
f0 = 50;
A = 1;
s = A * sin(2 * pi * f0 * t);
noise_amplitude = 0.5;
noise = noise_amplitude * randn(size(s));
x = s + noise;
fc = 100;
Wn = fc/(fs/2);
[b1, a1] = butter(6, Wn, 'low');
IIR_audio = filter(b1, a1, x);
fc = 100;
```

```

Wn = fc/(fs/2);
[b2, a2]= fir1(6, Wn, 'low', hamming(6+1));
FIR_audio = filter(b2, a2, x);
figure;
subplot(6,1,1);
plot(t, x);
xlabel( '时间 (s)' );
ylabel( '幅度' );
title( '原始音频时域图' );
subplot(6,1,2);
plot(f1, Q1);
xlabel( '频率 (Hz)' );
ylabel( '幅值' );
title( '原始音频频域图' );
Y1=fft(x);
Y2=fft(IIR_audio);
Y3=fft(FIR_audio);
f1 = fs*(0:(L/2))/L;
f2 = Wn*(0:(L/2))/L;
Q2 = abs(Y1/L);
Q1 = Q2(1:L/2+1);
Q1(2:end-1) = 2*Q1(2:end-1);
P2 = abs(Y2/L);
P1 = P2(1:L/2+1);
P3 = abs(Y3/L);
P1 = P3(1:L/2+1);
P1(2:end-1) = 2*P1(2:end-1);
subplot(6,1,3);
plot(t, IIR_audio);
xlabel( '时间 (s)' );
ylabel( '幅度' );
title( '降噪后音频时域图' );
subplot(6,1,4);
plot(f2, P1);
xlabel( '频率 (Hz)' );
ylabel( '幅值' );
title( '降噪后的音频频域图' );
subplot(6,1,5);
plot(t, FIR_audio);
xlabel( '时间 (s)' );
ylabel( '幅度' );
title( '降噪后的音频时域图' );
subplot(6,1,6);
plot(f2, P1);
xlabel( '频率 (Hz)' );
ylabel( '幅值' );
title( '降噪后的音频频域图' );

```

代码运行结果



## 五、总结

工业音频降噪的主要目的是通过数字滤波器的滤波技术来去除工业信号传递时音频信号中出现的不必要的工业噪声，例如：环境、设备本身，其他电磁干扰。工业噪声的滤波处理是工业生产中的一个重要环节，通过使用数字滤波器的特定的算法技术消除信号噪声，保留所需要的信号频率<sup>[9]</sup>。同样我们也可以通过特定的技术手段，把噪声信号反应出的机械损伤位置和磨损程度都更加浅显的表示出来，以此方便工厂检修人员对机械设备，电子元件进行检修和替换。通过生成正弦函数加入高斯噪声来代替工业信息传递中的出现的工业噪声，同时我们也可通过创建 audioread 函数，以此来读取含工业噪声文件，这种采集工业噪声方式更加贴近现实工业环境，通过滤波器过滤噪声<sup>[10]</sup>。在了解滤波器过滤噪声方法的同时，了解多种滤波器在工业信息传递时的使用方法以及窗函数的应用原理，也在时域频域的转换中研究快速傅里叶转换 fft 的使用方法和应用条件。了解在使用 matlab 软件过程中编写函数代码的过程和方式及对图形进行观测和比较。

## 参考文献

- [1] 程建华、袁书明、弗雷德 J. 泰勒, 数字滤波器原理及应用 [M]. 国防工业出版社, 2013.
- [2] 曾霞、廖干洲、曾贵娥, MATLAB 语言及应用实用教程 [M]. 西北工业大学出版社, 2021.
- [3] 黄波, 基于窗函数法的 FIR 数字滤波器仿真与实现 [J]. 内江科技, 2019 (11): 29-30.
- [4] 袁梅、陈林、董韶鹏, 声发射信号分析与数字信号处理实验设计 [J]. 电气电子教学学报, 2021 (02): 139-143+152.
- [5] 陈国泰、张赛男、付爽, 数字滤波器相位的理解 [J]. 黑河学院学报, 2020 (05): 180-183.
- [6] 殷仕淑、武岳、常郝, 三维线性相位 FIR 数字滤波器对称特性的设计 [J]. 电子技术与软件工程, 2019 (16): 88-92.
- [7] 郝日杰, 数字信号处理技术在电子信息工程中的应用 [J]. 通信电源技术, 2020 (05): 206-207.
- [8] 尹国威、马俊涛、史林等, 基于 MatLab 的 IIR 数字滤波器设计与应用 [J]. 中国现代教育装备, 2021 (21): 31-33+42.
- [9] 刘宇, 可调分数延迟 FIR 数字滤波器约束优化设计问题研究 [D]. 山东大学, 2022.
- [10] 刘飞, FIR 数字滤波器设计与应用 [D]. 浙江工业大学, 2019.

# 飞机辅助动力装置故障预测方法研究

龙长厚

深圳航空有限责任公司, 广东 深圳 518128

**摘 要：**飞机辅助动力装置（APU）由动力、传动、控制系统及辅助系统构成，在飞机运行中发挥多重重要作用。APU 性能参数选取是故障预测基础，数据预处理包括异常数据检测处理与归一化以提高数据质量。排气温度预测方法基于数据驱动与机理分析，经数据特征分析与算法优化，模型预测精度显著提升。故障诊断与预测研究通过分析故障机理，建立包含多种指标的预测指标体系与分层预测阈值，经系统验证在预测准确性、响应性能和维护效益等方面表现良好，具有显著技术与经济可行性，可推广应用于航空器维护管理领域。

**关 键 词：**APU；数据预处理；故障诊断与预测

## Research on Fault Prediction Method for Aircraft Auxiliary Power Unit

Long Changhou

Shenzhen Airlines Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong 518128

**Abstract：**The aircraft auxiliary power unit (APU) consists of power, transmission, control systems, and auxiliary systems, and plays multiple important roles in aircraft operation. The selection of APU performance parameters is the basis for fault prediction, and data preprocessing includes abnormal data detection and normalization to improve data quality. The exhaust temperature prediction method is based on data-driven and mechanism analysis. Through data feature analysis and algorithm optimization, the model prediction accuracy has been significantly improved. The research on fault diagnosis and prediction establishes a prediction index system and hierarchical prediction threshold that includes multiple indicators by analyzing the fault mechanism. The system has been verified to perform well in prediction accuracy, response performance, and maintenance efficiency, and has significant technical and economic feasibility. It can be widely applied in the field of aircraft maintenance management.

**Keywords：**APU; data preprocessing; fault diagnosis and prediction

## 引言

飞机辅助动力装置（APU）作为飞机上的关键独立动力源，对飞机的正常运行与安全保障起着至关重要的作用。其组成涵盖动力、传动、控制等多个部分，具备地面供电供气、飞行中提供气源、应急备用动力等多种功能。然而，APU 的运行状态受多种因素影响，为确保其可靠性，排气温度预测及故障诊断与预测研究意义重大。通过对 APU 性能参数的合理选取与数据预处理，深入研究排气温度预测方法，分析其变化特征与影响因素，并优化预测算法，同时开展故障机理分析、建立预测指标体系与策略，最终通过实际验证展示了预测系统在准确性、可靠性及经济效益等方面的显著优势，凸显了相关研究在航空维修领域的重要价值。

## 一、APU 概述与数据预处理

### （一）APU 概述

#### 1. APU 组成

APU 的整体结构主要由动力部分、传动系统和控制系统三大部分构成。动力部分包括压气机、燃烧室和涡轮，压气机将进气道引入的空气压缩后送入燃烧室，燃烧室内喷入的燃油与压缩空气混合燃烧，产生的高温高压燃气推动涡轮旋转做功。传动系统

由齿轮箱、传动轴、发电机和附件驱动装置组成，齿轮箱通过传动轴将涡轮的动力传递给发电机和其他附件。控制系统由电子控制器、传感器网络和执行机构组成，电子控制器根据传感器反馈的温度、压力、转速等参数信息，控制燃油供给、引气调节等执行机构的工作。

#### 2. APU 功用

APU 作为飞机上的独立动力装置，在航空器运行过程中发挥着多重重要作用。在地面运行时，APU 可为飞机提供独立的电力

作者简介：龙长厚（1996.12-），男，汉族，广东英德人，大专，定检维修工程师，从事民用飞机动力系统工作。



供应,使飞机无需依赖地面电源设备即可维持客舱照明、空调等设备的正常运转;同时APU产生的高压气源能够为主发动机提供启动所需的动力,避免使用地面气源车,提高飞机的独立保障能力。在飞行过程中,APU可为机上空调系统提供气源,维持客舱环境的舒适度;当飞机主发动机出现故障时,APU能够作为应急备用动力源,为飞机提供必要的电力和气源支持,确保飞行安全。在特殊气候条件下,APU也可作为飞机除冰系统提供所需气源,保证飞机在寒冷天气下的正常运行。APU的这些功能大大提升了飞机的独立运行能力和安全性能,在现代航空器中扮演着不可或缺的角色。

## （二）APU性能参数选取

APU性能参数选取是评估其运行状态和预测故障的基础,合理的参数选取直接影响故障诊断的准确性和可靠性。在APU运行过程中,排气温度(EGT)是反映燃烧效率和涡轮工作状态的重要指标,其变化趋势能够直接反映APU的健康状况。发动机转速参数包括燃气发生器转速(N1)和负载压气机转速(N2),这些参数不仅反映了APU各级部件的动力输出特性,也是评估机械系统工作状态的关键指标。

滑油系统参数包括滑油压力、滑油温度和滑油消耗量,这些参数对监测APU轴承、齿轮等机械部件的工作状态具有重要意义。滑油压力的突变可能预示着轴承故障或管路泄漏,滑油温度的异常升高则可能表明摩擦过度或冷却系统故障。燃油系统参数主要包括燃油流量和燃油压力,用于评估APU的燃油效率和燃烧性能,这些参数的变化可反映喷油器堵塞或燃油系统故障。

## （三）APU性能参数数据预处理

### 1. 异常数据检测与处理

APU性能参数数据在采集过程中不可避免会出现异常值,这些异常数据会影响后续分析的准确性,因此需要进行有效的检测和处理。异常数据主要包括缺失值、噪声数据和离群值三种类型。缺失值通常由传感器故障、数据传输中断等原因造成,可能表现为数据记录为零值或空值;噪声数据则由传感器精度误差、环境干扰等因素引起,表现为数据的随机波动;离群值是指与正常数据偏离较大的异常记录,往往由传感器突发故障或记录错误导致。

针对缺失值,可采用时间序列插值法进行处理,根据相邻时刻的有效数据估算缺失位置的数值。对于连续型参数如温度、压力等,可使用线性插值或多项式插值方法;对于离散型参数,则可采用前值替代或众数填充的方式。噪声数据的处理主要通过滤波算法实现,可根据数据特征选择移动平均滤波、中值滤波等方法,在保留数据原有变化趋势的同时降低随机波动的影响。

离群值的检测可采用统计方法,通过计算数据的均值和标准差,将超出正常范围的数据点标记为离群值。具体可采用 $3\sigma$ 准则或箱线图方法,结合APU性能参数的物理特性设定合理的阈值。对于检测出的离群值,可选择直接删除或使用临近有效值替换的方式进行处理。在处理过程中,需要注意保持数据的连续性和物理意义,避免过度处理导致有效信息的丢失。

通过异常数据的检测与处理,可以显著提高数据质量,为后

续的性能分析和故障预测奠定可靠的数据基础。在实际应用中,异常数据处理方法的选择需要综合考虑数据特征、处理效率和准确性要求,采用适当的算法确保处理结果的合理性。

## 2. 数据归一化

数据归一化是将不同量纲和数值范围的APU性能参数转化为可比较的统一标准尺度的过程。由于APU各性能参数的物理意义和量纲不同,如排气温度的范围在数百摄氏度,转速可达数万转每分钟,压力则以帕斯卡为单位,这些差异会导致参数之间的权重失衡,影响后续分析的准确性。最小-最大归一化方法是最常用的归一化方式之一,它将原始数据线性映射到[0,1]或[-1,1]区间内,该方法保持了原始数据的分布特征,便于不同参数之间的比较。对于某些参数可能出现的极端值,可采用Z-score标准化方法,将数据转换为均值为0、标准差为1的标准正态分布,这种方法对异常值比较敏感,能够突出数据的变化特征。在实际应用中,归一化方法的选择需要考虑数据的分布特征和物理意义,对于具有明确物理限制的参数,如温度、压力等,最小-最大归一化更为适用;而对于波动较大的参数,如振动信号,Z-score标准化则能更好地反映其变化规律。归一化过程中还需要注意保存原始数据的转换参数,以便在必要时进行反归一化,恢复数据的实际物理含义,通过合理的归一化处理,可以为APU性能评估和故障预测提供标准化的数据基础,提高分析结果的可靠性<sup>[1]</sup>。

# 二、APU排气温度预测方法研究

## （一）预测方法概述

APU排气温度的预测方法基于数据驱动和机理分析相结合的思路,通过建立温度变化规律与影响因素之间的映射关系来实现预测。传统的预测方法主要依赖于统计分析和经验模型,通过对历史数据进行回归分析,建立温度与相关参数之间的数学关系。随着数据采集技术的发展,大量的APU运行数据为温度预测提供了丰富的数据基础,使得基于数据挖掘的预测方法得到广泛应用。这些方法通过对历史数据中的温度变化特征进行学习,结合APU的工作机理,构建预测模型。数据预处理是预测过程中的关键环节,通过对原始数据进行清洗、归一化等处理,可以提高预测模型的准确性和稳定性。在预测过程中,需要考虑APU工作环境、负载变化、部件磨损等多个影响因素,建立温度变化的多维度分析模型。预测结果的可靠性评估采用多个指标,包括预测误差、预测时效性和模型稳定性等。通过持续优化预测方法,可以提高APU排气温度预测的准确度,为设备维护和故障预测提供重要依据。

## （二）数据特征分析

APU排气温度作为反映发动机工作状态的关键参数,其变化特征与多个因素密切相关。通过对大量历史运行数据的统计分析表明,在正常工作状态下,APU排气温度的变化呈现出明显的规律性。启动阶段温度快速上升,从环境温度升至约300℃,随后在稳定工作阶段,温度在580℃至620℃范围内波动,标准差约为5℃。温度变化受环境温度、大气压力等外部因素影响显著,当环

境温度每升高10℃,排气温度平均上升约8℃;海拔每升高1000米,由于大气压力降低,排气温度平均升高约12℃。

在空载状态下,排气温度维持在较低水平,平均值约为560℃;当APU带载运行时,温度会随负载增加而升高,满负载时温度可达到615℃左右。数据显示,电负载每增加10kW,排气温度平均上升约5℃;引气负载每增加0.1kg/s,温度上升约7℃。此外,APU运行时长也会影响排气温度的变化趋势,连续运行4小时后,由于热积累效应,温度会有2~3℃的缓慢上升。

通过对温度数据进行频谱分析,发现排气温度存在明显的周期性波动,主要周期包括短周期(约5~10秒)和长周期(约30~60分钟)。短周期波动主要由控制系统的调节造成,波动幅度在±3℃范围内;长周期波动则与环境温度变化和设备热平衡过程有关,波动幅度可达±8℃。这些特征为建立准确的温度预测模型提供了重要依据。

### (三) 预测算法优化

APU排气温度预测算法的优化主要围绕模型结构和参数调整两个方面展开,通过引入改进的深度学习方法提高预测精度。传统LSTM网络在处理长序列温度数据时存在长期依赖性不足的问题,优化后的算法采用双向LSTM结构,增加了对历史数据和未来数据的双向信息提取能力,使得模型能够更好地捕捉温度变化的时序特征。

在网络结构设计中,采用三层LSTM层级结构,通过这种渐进式特征提取方式,提高了模型对温度变化规律的学习能力。

为解决模型训练过程中的过拟合问题,在LSTM层之间引入Dropout机制,丢弃率设置为0.2,同时采用L2正则化方法,正则化系数为0.001,这些措施有效提高了模型的泛化能力。在损失函数的选择上,考虑到温度预测的特点,将均方误差损失和平均绝对误差损失进行加权组合,权重比例为7:3,这种复合损失函数能够同时关注大幅度温度变化和小波动的预测精度。优化器选用Adam算法,初始学习率设为0.001,并采用学习率动态调整策略,当连续5个epoch验证集损失没有改善时,学习率降低为原来的0.8倍。

通过交叉验证确定最优的时间窗口大小为60个时间步,相当于10分钟的数据长度,这个设置在计算效率和预测精度之间取得了较好的平衡。为提高模型的鲁棒性,在训练数据中加入高斯噪声,噪声强度为标准差的0.1倍,这种数据增强方式使模型对实际运行中的干扰因素具有更强的适应能力。通过这些优化措施,预测算法的均方根误差从原来的4.8℃降低到2.3℃,平均绝对误差从3.9℃降低到1.8℃,预测准确度显著提升。

### (四) 预测结果分析与验证

APU排气温度预测模型的性能评估通过多个实验场景和评价指标进行全面验证。通过对不同运行工况、环境条件和时间跨度的测试数据分析,全面评估了预测模型的性能。预测结果分析主要从预测精度、模型稳定性和泛化能力三个方面展开,同时结合实际工程应用需求,对模型的实用性进行验证。

在典型工况下采集的2000组测试数据中,对比模型的预测结果与实测值。

分析模型在不同环境条件下的预测性能。

通过分析可知,预测模型在稳态工况下表现优异,均方根误差控制在2.5℃以内。在负载突变等过渡工况下,虽然预测误差略有增加,但最大误差仍控制在5.1℃范围内,满足工程应用要求。从温度范围分布来看,模型在550~600℃范围内的预测样本最多,这与APU的主要工作温度区间相符,该范围内的预测准确率达到96.2%。

在环境适应性方面,模型在标准大气条件下表现最佳,平均误差仅为1.6℃。随着环境条件的恶化,预测性能有所下降,但仍保持在可接受范围内。特别是在高海拔地区,由于空气密度降低导致APU工作特性发生变化,预测误差相对较大,这也提示了模型在极端环境下还有优化空间。

长期验证结果显示,预测模型在连续运行过程中没有出现明显的性能退化,预测准确度保持稳定。通过与传统预测方法的对比,改进后的模型在预测精度和实时性方面都显示出明显优势,特别是在捕捉温度突变特征方面表现出色,预测结果的时间响应延迟控制在2秒以内,能够为APU故障预测提供可靠的数据支持<sup>[2]</sup>。

## 三、APU故障诊断与预测研究

### (一) 故障机理分析

APU排气温度异常是反映系统故障的重要指标,通过对温度变化特征与故障机理的深入分析,可以建立起温度异常与故障类型之间的关联关系。

根据历史运行数据和故障案例,分析APU常见故障与排气温度异常的对应关系和不同类型故障导致的温度变化特征。

从机理角度分析,燃油系统故障主要表现为供油不稳定,导致燃烧过程波动加剧,温度呈现出较大幅度的随机波动特征。这种波动往往伴随着功率输出的不稳定,系统效率下降。压气机磨损故障则因压缩效率降低,导致进入燃烧室的空气温度升高,同时压比下降使得燃烧效率降低,最终表现为排气温度的缓慢但持续上升。涡轮叶片损坏是最严重的故障类型之一,由于直接影响燃气流道,可能导致温度急剧升高,需要及时进行处理。

温度传感器故障具有特殊性,其表现形式多样,可能出现数据跳变、漂移或完全失效等情况。这类故障虽然不直接影响APU的物理性能,但会干扰控制系统的正常工作,影响系统的可靠性。因此,在故障诊断时需要结合其他参数进行交叉验证,以准确判断故障性质。通过分析温度异常与故障发展过程的关系,可以发现大多数故障都具有渐进性特征,温度异常往往是故障早期的重要预测信号。例如,压气机故障从出现到达到严重程度通常需要1~2周时间,这为预测性维护提供了充足的响应时间。相比之下,涡轮故障的发展较快,从发现异常到需要停机处理可能只有几小时时间,这要求监测系统具有快速响应能力。

这些故障机理分析为建立温度异常预测模型提供了理论基础,通过识别温度变化特征,可以实现故障的早期预测和准确诊断。同时,不同故障的发展特征和时间尺度差异,也为制定差异

化的维护策略提供了依据。在实际应用中,需要结合具体工况和环境条件,综合考虑多个参数的变化特征,以提高故障诊断的准确性和可靠性。

### (二) 预测方法研究

基于APU排气温度的故障预测方法研究主要围绕预测指标体系的建立、预测阈值的确定以及预测策略的优化展开。通过建立多层级预测机制,实现对不同类型故障的及时识别和风险等级评估。

在预测指标体系构建方面,主要包括三类指标:实时监测指标、统计特征指标和组合评估指标。实时监测指标包括温度瞬时值、变化率和波动范围,更新周期为1-10秒;统计特征指标包括均值偏差、标准差和趋势系数,更新周期为1-5分钟;组合评估指标包括健康度指数、可靠性指数和剩余寿命预测,更新周期从1分钟到1小时不等。

预测阈值的设置采用分层预测机制,建立了四个预测等级。一级预测主要用于提示状态监测加密,温度偏差阈值为 $\pm 15^{\circ}\text{C}$ ,变化率阈值为 $\pm 10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ;二级预测启动故障诊断程序,相应阈值分别提高到 $\pm 25^{\circ}\text{C}$ 和 $\pm 20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ;三级预测要求限制负荷运行,阈值进一步提高到 $\pm 40^{\circ}\text{C}$ 和 $\pm 30^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ;当温度偏差超过 $\pm 60^{\circ}\text{C}$ 或变化率超过 $\pm 50^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 时,系统将发出紧急停机信号。

在预测准确性验证方面,针对不同类型故障进行了系统测试。结果显示,对于燃油系统故障,预测提前量可达24-48小时,识别准确率为94.4%;压气机故障的预测提前量为48-96小时,准确率达到95.3%;涡轮部件故障虽然发展较快,但仍能提供4-12小时的预测时间,准确率为96.5%;对于传感器故障,由于其突发性特征,预测提前量相对较短,为0.5-2小时,准确率为92.3%。

为提高预测系统的可靠性,采取了动态阈值调整策略。系统会根据环境温度(修正系数 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$ )、工作负荷(修正系数 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}/\%$ )、运行时间(修正系数 $+0.1^{\circ}\text{C}/\text{h}$ )等因素自动调整预测阈值。同时,通过多参数融合分析,建立了综合健康状态评估模型,将温度特征与转速、振动、功率等参数进行加权融合,提高预测的可靠性。实际运行验证,优化后的预测系统性能显著提升。平均预测提前量增加了30%,误报率和漏报率分别降低了40%和35%,预测准确率提升到95%以上。这表明所建立的预测方法能够有效识别不同类型的故障征兆,为设备维护决策提供可靠依据。

### (三) 预测效果验证

APU故障预测系统由数据采集、特征提取、预测分析和预警

输出四个功能模块组成。数据采集模块实现温度、转速、振动等参数的实时采集,采样频率分别为1Hz、10Hz和100Hz。特征提取模块完成时域特征、频域特征和趋势特征的提取与分析。预测分析模块基于特征识别算法实现故障预测和健康评估。预警输出模块生成分级预警信息和维护建议。

系统验证在某航空公司20架次飞机上进行,测试周期为6个月,累计运行时间超过12000小时。验证过程重点关注预测准确性、系统响应性能和维护效益三个方面。

系统运行结果显示,综合预测准确率达到95.6%,平均预测提前量超过24小时,系统可靠性为99.5%,虚警率控制在3.2%以内。经济效益方面,年度维修成本节省约180万元,航班准点率提升2.8个百分点,设备利用率提升15%,项目投资回收期为1.5年。

通过运行维护实践,建立了完整的预测性维护体系,实现了维修计划的科学制定和故障处理效率的提升。技术档案管理体系得到进一步完善,为后续系统优化提供了数据支持。验证结果表明,该预测系统在技术可行性和经济可行性方面具有显著优势,可推广应用于航空器维护管理领域。

系统的实际应用效果显示了预测性维护在航空维修领域的重要价值。通过对APU运行状态的实时监测和故障预测,有效降低了设备故障率,提高了维修效率。这种基于数据驱动的维护模式将成为航空维修领域的重要发展方向<sup>[3]</sup>。

## 四、结论

本研究对飞机辅助动力装置(APU)进行了全面深入的剖析。通过对APU组成、功用及性能参数的细致阐述,明确了其运行机制及关键指标。在数据预处理方面,有效解决了异常数据问题并实现数据归一化,为后续分析奠定基础。APU排气温度预测模型经优化后,在不同工况和环境条件下均展现出良好性能,能为故障预测提供可靠支持。故障诊断与预测研究中,依据故障机理建立的预测指标体系和分层预测阈值,经实际验证具有较高准确性和可靠性,显著提升了预测提前量,降低了误报率和漏报率,同时在系统响应性能和维护效益上成果显著,该研究成果对航空器维护管理具有重要推动作用,为基于数据驱动的航空维修模式发展提供有力支撑。

## 参考文献

- [1] 朱新宇,吴佩汶. 基于SSA-LSTM的高高原民航飞机空调系统故障预测[J]. 郑州航空工业管理学院学报, 2024, 42(05):36-41+49.
- [2] 孙见忠,左洪福,闫洪胜,等. 民用飞机预测维修技术研究进展[J]. 航空科学技术, 2024, 35(07):14-31.
- [3] 张世杰,李喆,顾锡扬,等. 基于性能评估的民航空调组件故障预测研究[J]. 航空计算技术, 2024, 54(04):29-33.



# 脱硝、脱硫协同处理的高效策略探究

单西海

江苏爱尔沃特环保科技有限公司，江苏 徐州 221100

**摘 要：** 在当前环保大潮下，研究脱硝与脱硫一体化工艺是提高工业废气治理效能的重要途径，将脱硝与脱硫有机结合不但可以大幅降低污染物的排放，而且对节能降耗具有重要意义。因而深刻探究二者之间的协同效应与相互作用机制，对推动环境管理向高效、可持续方向发展具有重要意义，相关人员必须思考如何巧妙地融合环保措施与经济效益，以达到最佳的平衡效果。只有当环保战略与经济增长策略能够相辅相成，形成一种相互促进的良性循环时，人们才能在保障生态系统健康的同时实现经济上的增值和社会福祉的提升。希望通过本文的研究可以为政策制定提供科学依据，为企业实践提供指导，共同绘制出一条既符合自然规律又适应人类需求的绿色发展之路。

**关 键 词：** 脱硝；脱硫；协同处理；高效策略

## Study on Efficient Strategies of Denitrification and Desulfurization Collaborative Treatment

Shan Xihai

Jiangsu Erwert Environmental Protection Technology Co., LTD. Xuzhou, Jiangsu 221100

**Abstract：** In the current tide of environmental protection, the study of denitrification and desulfurization integration process is an important way to improve the efficiency of industrial waste gas treatment, the organic combination of denitrification and desulfurization can not only greatly reduce the emission of pollutants, but also has important significance for energy saving and consumption reduction. Therefore, to deeply explore the synergistic effect and interaction mechanism between the two is of great significance to promote the development of environmental management to an efficient and sustainable direction. Relevant personnel must think about how to skillfully integrate environmental protection measures and economic benefits to achieve the best balance effect. Only when environmental protection strategy and economic growth strategy can complement each other and form a virtuous circle of mutual promotion, people can realize economic value-added and social well-being while protecting the health of the ecosystem. It is hoped that the research of this paper can provide scientific basis for policy formulation, provide guidance for enterprise practice, and jointly draw a green development road that conforms to the law of nature and ADAPTS to human needs.

**Keywords：** denitration; desulfurization; collaborative processing; efficient strategy

### 引言

在当今这个日益关注环境质量和人类健康的时代，脱硝与脱硫技术的结合不仅是应对当前严峻大气污染挑战的关键措施，也是实现大气环境保护目标、推动绿色发展战略的重要途径。工程人员通过这种协同处理方式，可以有效地减少氮氧化物（NO<sub>x</sub>）和二氧化硫（SO<sub>2</sub>）的排放，从而显著降低空气污染水平，改善空气质量，并对保护人民群众的身心健康产生积极影响。因此深入研究和开发高效的脱硝与脱硫协同控制策略显得尤为迫切，它对于提高我国乃至全球的环保技术水平具有重要意义，同时是为子孙后代创造一个更加清新、健康的生存环境的责任所在。

### 一、大气污染中氮氧化物（NO<sub>x</sub>）和二氧化硫（SO<sub>2</sub>）排放的危害

NO<sub>x</sub> 和 SO<sub>2</sub> 是我国空气质量的主要组分，其排放会对环境造成严重的危害。氮氧化物（NO<sub>x</sub>）可参与光化学过程，生成

光化学烟雾，导致空气质量下降，给交通、人民生活带来负面影响，同时也会刺激呼吸道、诱发肺部疾病等。另外，氮氧化物（NO<sub>x</sub>）也是酸雨生成的主要前体物质，它会对土壤、水体、建筑等产生侵蚀与损伤，进而对生态平衡及人类居住环境产生不利影响。<sup>[1]</sup>

作者简介：单西海（1992.02-），男，汉族，江苏省徐州市铜山区人，本科，工程师，研究方向：脱硝，脱硫，脱硝催化剂，煤气精脱硫。



二氧化硫（SO<sub>2</sub>）也是造成酸雨的重要原因，它进入大气后会发生一系列的化学变化，如硫酸，并随雨水降落引起土壤酸化，对作物的生长造成严重的危害，严重时还会造成森林植物的枯死。同时高浓度 SO<sub>2</sub> 对人类呼吸道也具有较强的刺激性，容易引起呼吸道疾病，如咳嗽、气喘等，甚至会引发更严重的健康问题。

## 二、脱硝、脱硫基本原理

### （一）脱硝原理

氮氧化物（NO<sub>x</sub>）的去除是一种重要的技术，目前常用的脱硝技术主要有选择性催化还原（SCR）、选择性非催化还原（SNCR）等。选择性催化还原（SCR）是在催化剂的作用下，利用还原剂（如氨气）将 NO<sub>x</sub> 还原为氮气和水，其化学反应式为： $4NO + 4NH_3 + O_2 \rightarrow 4N_2 + 6H_2O$ （以 NO 为例）。在这个过程中，催化剂起到关键作用，它能够降低反应的活化能使反应在较低温度下高效进行。

而选择性非催化还原（SNCR）则是在没有催化剂的情况下，直接将还原剂喷入到高温烟气中，使 NO<sub>x</sub> 与还原剂发生反应生成氮气和水。<sup>[2]</sup> 一般反应温度要求较高，通常在 850 - 1100°C 之间，其反应式例如： $4NO + 4NH_3 + 3O_2 \rightarrow 4N_2 + 6H_2O$ （以 NO 为例）。

### （二）脱硫原理

脱硫的过程是为了有效地除去烟气中的二氧化硫（SO<sub>2</sub>），以达到排放标准。目前广泛应用的脱硫方法主要包括石灰石和石膏法，该方法利用石灰石与石膏反应生成的氢氧化钙来吸附和分解二氧化硫。其中干法脱硫则通过添加化学吸收剂，如亚硫酸钠或硫酸钠等，在不产生湿式所需的水时进行吸收；半干法脱硫会采用介于上述两种方法之间的工艺，它结合部分湿法的效果，同时减少对环境的影响。这些脱硫方法各有其特点和适用场景，企业可根据自身的需求和条件选择最合适的脱硫技术。另外，石灰石 - 石膏法是目前应用较为广泛的脱硫技术，其原理是利用石灰石（CaCO<sub>3</sub>）作为吸收剂，在吸收塔内，SO<sub>2</sub> 与石灰石浆液发生反应，生成亚硫酸钙（CaSO<sub>3</sub>），然后亚硫酸钙被氧化为硫酸钙（CaSO<sub>4</sub>），最终生成石膏（CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O）。主要反应式为： $SO_2 + CaCO_3 + 1/2O_2 \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O + CO_2$ 。

## 三、脱硝、脱硫协同处理的现有技术与问题分析

### （一）现有协同处理技术概述

目前已有多种协同处理脱硝和脱硫的工艺，如将脱硝与脱硫一体化的集成装置或流程，通过反应区域的选择、反应条件的调控，实现 NO<sub>x</sub> 与 SO<sub>2</sub> 的同步高效脱除。还有技术利用特定的复合催化剂对 NO<sub>x</sub> 起到催化还原作用，也对 SO<sub>2</sub> 进行吸附或反应转化，从而在一定程度上实现协同处理效果。<sup>[3]</sup>

### （二）存在的主要问题

#### 1. 催化剂中毒与失活

在脱硝和脱硫一体化工艺中，催化剂是关键，但在实际操作

过程中，催化剂易受各种因素的影响而发生毒化和失活。如燃煤烟气中的粉尘、重金属（砷、汞等）、碱金属（钾、钠等）会吸附于催化剂上，使其活性位被阻塞，不能正常工作。此外，部分硫化物（如硫化氢等）还会与催化剂发生化学反应，导致催化剂的化学结构发生变化，从而导致催化性能下降，甚至彻底失去活性。

#### 2. 副产物处置困难

在进行协同加工的过程中，工程人员常常会发现一系列副产品的产生，例如溶剂残留物、化学品残留以及其他化学物质，它们通常具有特定的用途和价值。在一些脱硝过程中，除产生氮、水之外，还会生成少量的 NO<sub>x</sub> 二次污染物（如氧化亚氮等），其治理过程较为复杂，目前尚无高效的治理手段。<sup>[4]</sup>

#### 3. 设备腐蚀与堵塞

在进行脱硝处理和脱硫技术时，由于烟气的成分中含有氮氧化物（NO<sub>x</sub>）和二氧化硫（SO<sub>2</sub>）等酸性物质，这些物质一旦与设备直接相接触，便会迅速产生化学反应，这一过程会导致设备材料表面的快速腐蚀，进而可能对设备造成严重损害。因此为防止这种情况发生，工程人员必须采取适当的保护措施，如使用耐酸性涂层或特殊设计的材料来增强设备的抗腐蚀性。同时定期检查和维修也是确保设备长期稳定运行的关键，尤其在某些湿法加工过程中，由于废液中含有大量的酸液，会对金属零件造成持续的腐蚀，从而降低设备的使用寿命。<sup>[5]</sup>

## 四、高效脱硝、脱硫协同处理策略探究

### （一）新型催化剂研发与应用

为了应对催化剂因中毒或失活而导致的种种挑战，研发新型催化材料显得尤为关键，这些材料应当具备高度稳定性和高效性，以确保在各种工业过程中发挥出色的性能。<sup>[6]</sup> 工程人员通过不断地实验探索与技术创新能够克服现有的限制，推动催化科技向前发展。而新的催化材料必须具有较强的耐毒性，以此有效抵御烟尘中多种有害物质（粉尘、重金属、碱金属、硫化物等）的腐蚀。<sup>[7]</sup>

### （二）协同处理工艺优化与创新

#### 1. 工艺流程改进

工程人员通过对现有脱硫脱硝联合处理流程的改进，能够显著提升处理效率，同时也能有效降低整个过程中所需的能耗和成本，这种改造不仅可以增强系统的环保性能，还能在不牺牲任何质量标准的前提下实现更经济、更高效地运行。例如工程人员通过对反应区布置的优化，实现 NO<sub>x</sub> 与 SO<sub>2</sub> 的充分反应，降低无反应性气体的排放，通过对反应条件（如温度、压力、停留时间等）的调控，保证反应在最优的反应条件下进行，从而提高反应的转化率。<sup>[8]</sup>

#### 2. 多技术联合应用

综合运用多种脱硝和脱硫技术是一条行之有效的革新途径。比如将 SCR 技术与石灰石 - 石膏工艺相结合充分发挥 SCR 脱硝性能和石灰石 - 石膏工艺的优势，实现 NO<sub>x</sub> 与 SO<sub>2</sub> 的协同、高效

治理。工程人员也可以考虑将干法脱硫技术与 SNCR（选择性非催化还原）工艺巧妙地整合，因为这样不仅能够根据实际工作环境中的具体条件来灵活调整，还能充分发挥各自在烟气处理方面的优势。

（三）过程控制与智能化管理

1. 实时监测与控制系统构建

为了实现对氮氧化物（NO<sub>x</sub>）和二氧化硫（SO<sub>2</sub>）排放的精确控制，工程人员需要构建一个集成了多项关键参数的在线监控系统，实时监测 NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 浓度，详细记录温度、压力和流速等关键参数。工程人员通过这种全方位的在线监测机制，可以有效地实现高效脱硝与脱硫技术的协同运作，确保污染物得到最佳处理效果，同时也保证环保法规的严格遵守。这一创新的监控系统将为工业生产中的环境保护提供强有力的技术支持，通过在重要部件上加装传感器，能够实时掌握设备的工作状况，从而对故障进行检测和处理。例如如果氮氧化物的含量突然上升，说明脱硝系统有问题，要对催化剂和还原剂的供应状况进行检查。<sup>[9]</sup>

2. 智能化运行管理策略

在当今这个数据驱动的时代，通过大规模搜集环境监测的数据，并运用先进的大数据分析技术进行深入分析，工程人员可以揭示出一些以往被忽视的规律与问题。同时利用这些数据科研人员能够对 NO<sub>x</sub> 和 SO<sub>2</sub> 这两种主要污染物的排放情况进行细致的

探究。比如他们可以研究在不同季节中这些污染物排放的变化趋势，或者在特定的工作条件下，不同的气象条件、交通流量或工业活动水平等因素是如何影响这些污染物的排放的。<sup>[10]</sup>

通过这样的分析，科学家们就能提前预测可能出现的污染峰值，从而制定出更为有效的应对措施，比如调整能源使用策略、优化车辆路线规划、改进工业生产流程以减少污染物排放。这种前瞻性的数据管理和分析技术既可以提高环境保护的效率，也能够为政策制定者提供了强有力的数据支持，使得工程人员能够更加精准地实施环保措施，推动社会朝着更绿色、更可持续发展的方向迈进。

五、结语

综上所述，将脱硝和脱硫相结合对降低空气污染具有重要意义。目前虽然已有一些研究成果，但仍然存在着一系列亟待解决的问题，制约着该技术在实际应用中的效率与环境效益。为此亟需对该工艺进行进一步的研究与完善，以满足更高的环境需求。本文通过对新催化剂的开发与应用、协同处理过程的优化与创新、工艺调控与智能化管理等方面的研究，以期提高协同处理工艺的效能，降低空气污染，提高环境品质，促进经济与环境的和谐发展。

参考文献

[1] 朱骏. 火电厂锅炉烟气脱硫脱硝协同控制技术探析 [J]. 电力设备管理, 2024, (18): 283-285.

[2] 王玮. 赤泥协同添加剂在烟气脱硫脱硝中的应用实验研究 [J]. 山西化工, 2024, 44(05): 162-164. DOI: 10.16525/j.cnki.cn14-1109/tq.2024.05.060.

[3] 保德山, 任楚, 张秋林. 焦炉烟气低温钒系 NH<sub>3</sub>-SCR 脱硝应用与展望 [J]. 云南化工, 2024, 51(03): 13-15+27.

[4] 赵婉莹. 船舶舱底油污水与废气洗涤废液的协同处理方法 [D]. 大连海事大学, 2023. DOI: 10.26989/d.cnki.gdlhu.2023.001390.

[5] 周龙, 王军正, 欧阳丹丽. 校企“协同”育人模式下“烟气脱硫脱硝及副产物资源化”课程建设与实施 [J]. 云南化工, 2023, 50(05): 201-204.

[6] 杨敏. 火电厂锅炉烟气脱硫脱硝协同控制技术的研究 [J]. 清洗世界, 2023, 39(03): 69-71.

[7] 潘俊萍, 汤秀丽, 刘浩. 烟气一体化超低排放技术的应用与研究进展 [J]. 资源节约与环保, 2022, (09): 1-4. DOI: 10.16317/j.cnki.12-1377/x.2022.09.002.

[8] 王军, 唐遥, 李朝进, 等. 马钢焦炉烟气脱硫脱硝装置的运行实践 [J]. 冶金动力, 2023, (01): 30-34. DOI: 10.13589/j.cnki.yjdl.2023.01.016.

[9] 谢伟. 燃煤电厂脱硫智能控制技术和智慧协同管理平台应用 [C] // 浙江省电力学会2021年度优秀论文集. 浙江大唐乌沙山发电有限责任公司, 2022: 3. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2022.018158.

[10] 侯长江, 张余亮, 田京雷, 等. 烧结烟气脱硫协同脱硝副产物在水泥中的应用 [J]. 河北冶金, 2022, (06): 70-76. DOI: 10.13630/j.cnki.13-1172.2022.0615.

# 城区市政工程给排水管道施工技术运用分析

李玉升

中国电建市政建设集团有限公司，天津 300384

**摘 要：** 市政给排水管道的管路比较复杂且路由具有一定的隐蔽性，在排水管道的实际施工过程中也增添了一定的难度，容易在施工中出现一些问题，如管材规格不合理、地质条件考虑不周全、沟槽开挖不规范、缺乏施工现场管理等。这就需要全面掌握市政给排水管道施工要点，做好施工过程的全面监督与有效控制，严格按照设计方案开展作业，从而保障市政给排水管道工程顺利完工。基于此，本文分析了市政给排水管道工程特点，提出施工中可能存在的问题，并探究给排水管道工程施工技术的应用措施。

**关 键 词：** 市政工程；给排水管道；施工技术；沟槽；管材

## Analysis on the Application of Water Supply and Drainage Pipeline Construction Technology in Urban Municipal Engineering

Li Yusheng

Power China Municipal Construction Group Co., LTD. Tianjin 300384

**Abstract：** The pipelines of municipal water supply and drainage systems are relatively complex and have a certain degree of concealment in their routing. This also adds certain difficulties in the actual construction process of drainage pipelines, which can easily lead to some problems during construction, such as unreasonable pipe specifications, inadequate consideration of geological conditions, non-standard trench excavation, and lack of construction site management. This requires a comprehensive understanding of the key points of municipal water supply and drainage pipeline construction, comprehensive supervision and effective control of the construction process, and strict adherence to the design plan to ensure the smooth completion of municipal water supply and drainage pipeline projects. Based on this, this article analyzes the characteristics of municipal water supply and drainage pipeline engineering, proposes possible problems during construction, and explores the application measures of construction technology for water supply and drainage pipeline engineering.

**Keywords：** municipal engineering; water supply and drainage pipelines; construction technology; groove; pipe

## 引言

随着城市建设规模不断扩大，城市基础设施新建、改建工程数量也随之增多。市政给排水管道作为市政基础工程体系的重要组成部分，直接影响了当地经济发展以及民生，因此保障市政给排水管道工程施工质量有着重要意义。市政给排水管道工程具有工程量大和隐蔽性强等特点，优质的给排水管道系统能有效排除城市积水、降低洪涝灾害、自来水供给充足、保持城市正常运转。这就需要有效运用给排水施工技术方案，加强施工技术管控，充分发挥市政给排水工程的综合效益<sup>[1]</sup>。

## 一、市政工程给排水管道施工的重要性

市政给排水管道包括供水管道、雨水管道、污水管道。供水管道是为城市居民提供自来水的重要载体，如果供水管道工程施工不合理，容易造成供水污染、压力不足等，严重影响居民正常用水<sup>[2]</sup>。雨水管道是雨季保证城市正常运转的基本保证，特别是降水量较大的区域，如果雨水管道质量不达标，容易造成雨季路面大量积水，影响居民出行。污水管道负责收集城市生活污水的工

程，也是城市污水进入污水厂的必要通道，作为保证城市水系健康的基础设施，如果污水管道施工不合理会导致城市污水外溢、臭气熏天、滋生蚊虫，严重危害城市环境和人体健康。

## 二、市政给排水工程施工特点

### （一）作业面多，影响大

市政工程给排水管道工程施工距离较长，且需要开挖管道沟

槽,严重影响正常交通运输。施工期间,管道开挖会直接影响居民出行,还要与交通部门协调沟通,合理疏解施工作业面周围交通,最大程度上减少对城市居民出行的影响<sup>[3]</sup>。

### （二）露天作业,影响因素多

市政给排水管道作为一项典型的室外工程项目,几乎所有施工环节都需要露天作业,自然环境会直接影响管道工程施工进度、质量、安全,特别是在雨季作业时,将及时开展降水作业,避免沟槽积水。沟槽断面开挖中应确保岩土层稳定、管道基础不受雨水浸泡<sup>[4]</sup>。

### （三）涉及专业多,协调难度大

由于城市地下管道种类繁多,包括通信线路管道、天然气管道、电力管道等等。因此,市政给排水管道工程施工前,应于道路、通信、煤气、电力等多部门展开沟通。在前期勘察阶段应摸清工程施工场地周围地下管线分布情况,提前进行迁改、采取保护措施,最大程度上降低管道施工对周围环境的影响<sup>[5]</sup>。

## 三、市政给排水管道工程建设的常见问题

### （一）选材规格不合理

管材规格、质量直接决定了给排水管道施工作业质量,如果给排水管材规格不合理、质量不达标,除了会影响管道整体的使用寿命,同时也会出现漏水、渗水等质量问题,甚至产生爆管现象。给排水工程建设中,给排水管道成本占据总投资成本的大部分,施工中所使用的管材会直接影响投资量,高质量管道能够降低后期运维费用,保障系统运行安全。因此,在选材方面既要满足给排水系统运行质量要求,也要经济实用<sup>[6]</sup>。

### （二）前期勘察不到位

前期勘察决定了施工设计方案,如果城市地形较为复杂,且前期勘察工作不到位,会增加设计偏差,最终会落实到给排水管道施工层面。例如城市地形落差大、房屋排列不规整,一旦勘察测量不精准,在设计阶段可能造成偏移线、坡度计算不准,严重影响给排水管道最终施工质量和造价。因此,必须要全方位做好前期勘察工作,充分掌握施工现场实际情况,保证管线设计的合理性以及施工方案的科学性,尽可能避开高难度施工路段,减少对周围其他管道和居民的影响。

### （三）沟槽开挖不合理

市政给排水管道通常以沟槽开挖方案为主,如果沟槽开挖方法不当、放坡系数选择不精准、机械开挖未支护、边坡荷载较大,则很可能影响沟槽正常使用,甚至造成安全事故。市政给排水管道由于是露天作业,会直接受到气候因素影响,特别是在雨季,如果未及时采取有效的防护措施,可能导致沟槽被泡、基础变形、塌方等问题<sup>[7]</sup>。

### （四）施工现场管理不当

施工管理是保障施工质量的重要措施,良好的施工管理工作需要专业人员负责施工管控和技术指导。但在实际施工作业中,存在施工现场管理不严、技术指导不到位等情况,很多出现微小质量问题无法及时发现,随着施工进度持续推进,最终演变为隐

患,无法保障整体施工质量。同时,在施工作业中遇到突发技术性问题或质量问题,不能第一时间解决,从而延误工期<sup>[8]</sup>。

## 四、城区市政工程给排水施工技术的运用方案

### （一）施工前准备工作

#### 1. 图纸审核

施工前应进行设计图纸会审,判断文件内容是否符合施工现场实际情况、是否符合质量标准,如给排水管道与其他管道、周围建筑、交通运输存在较大的冲突等。在施工图纸上查缺补漏,特别是预留预埋部件必须要足够精准,及时纠正错误,明确施工质量标准。

#### 2. 施工组织

结合给排水管道施工规范、设计标准、工程特点等开展施工组织工作,包括技术交底、材料准备、人员进场、工种搭配、设备准备等,制定施工现场管理方案,制定质量监理工作细则。

#### 3. 材料与成品控制

给排水管道施工涉及到的材料有管材、砂石、水泥等,各类材料规格、性能、质量标准均要满足施工标准,要求所有材料、半成品均要有厂家提供的质检报告,并对每个批次材料、半成品进行质量抽检,不合格产品整个批次退回。

#### 4. 沟槽开挖与支护

市政给排水管道开挖施工中,土方施工占据沟槽开挖工程量的大部分。沟槽开挖应以机械为主、人工为辅的方式开展,提前准备好挖掘机、推土机、自卸车。开挖前再次确认地下既有管线、电缆以及建筑物,并采取相应的迁移、保护措施,确保沟槽开挖工作持续进行,确认无误后即可准备开挖。

#### 5. 施工测量

施工测量会影响给排水管道施工精度,技术性非常强,贯穿于给排水管道施工作业的始终,必须由经验丰富的专人负责完成,最大程度上保障测量精度。每个环节均有专业工程师展开测量,再由另一名专业测量工程师进行复检。测量中所使用的测量仪器均要进行标定后再投入使用。

#### 6. 管基制作

完成沟槽开挖作业且质量检验合格后,即可开展管基施工作业环节,管基施工应严格按照施工设计图纸、标高、中心线等作业。在施工阶段,应尽可能缩短管基的裸露时间,同时做好保养工作,充分考虑当地气候条件、混凝土运输时长等各类影响因素。混凝土可使用高一等级的水泥,也可以加入一定量的早强剂,缩短管基的凝结时间,待到强度达到标准后即可下管。

#### 7. 管材施工

埋地管道主要是受到外部荷载影响,包括管道上部荷载、土层压力荷载等,特别是管道顶部的活荷载,会打破整个荷载体系平衡,应重点考虑。给排水管道敷设条件、施工质量对管道运行安全有着直接影响,敷设决定了埋地管道施工的成败。

在管道运输到施工现场后,质检人员要对管道外观进行检查,包括变形、裂纹、孔洞、防腐层破损等,如果存在质量问题



应及时修复，无法修复的管材应统一存放，严禁使用。再次复合管基中心线、边线、井基的高程与尺寸标准，同时还要对检查井位置、间距、混凝土强度、接口防渗口等是否满足标准。管道采用吊装下管方案，吊装施工柔性吊线对称捆绑在管道两侧，缓慢起吊保持平衡，由专人指导下管，尽可能将管道放置在中心线位置，若有些许偏差应有施工人员调节。金属或复合型管道焊接时，应保证焊接焊透，不得出现过焊、漏焊、焊瘤等问题<sup>[9]</sup>。混凝土管道安装应采用拉草包法将挤出凸起砂浆拉平。

8. 闭水试验

管道闭水试验主要检测管道系统的严密性，需要在回填土前完成试验工作。在开展闭水试验前，应对管道、检查井外观进行检查，同时还要检查管槽是否有积水、管道两端堵板是否满足试压标准、预留进水管外其他封堵是否紧密等。待到一切检查无误后即可准备正式进行闭水试验。

9. 沟槽回填

在隐蔽工程验收且闭水试验合格后回填沟槽。胸腔处回填土时采用两侧对称回填方法，避免一侧土压过大造成管道位移。如果采用机械回填，则要先由人工在胸腔、管顶50cm 进行回填，同时也要做好检查井回填，之后再行机械对称回填<sup>[10]</sup>。

五、市政给排水管道施工质量控制措施

（一）防控管道渗漏问题

严控管材、砂石、水泥、构件以及半成品的采购过程，各个批次材料进场后均要进行质量检验和记录，一旦发现质量问题及时更换。在管道安装后，与其他工作时刻保持联系，在管道、设备交叉区域标注好管道具体位置。提前对施工人员进行培训，做好技术交底工作，制定责任制度。

（二）防控管道堵塞问题

如果管道安装中途被中断，特别是立管施工中中断时，必须在

断口部位使用麻袋包紧或覆盖木板，避免块状杂物进入。结合施工实际情况以及施工图纸安装管道，如果施工过程中存在疑虑应及时与设计单位沟通考虑设计变更。积极开展施工现场的作业指导以及质量管理工作。如果已经出现了管道堵塞问题，应将堵塞部位截掉重新更换管材、管件。管道系统堵塞应分区查找堵塞点。

（三）防控给水量或水压不足的问题

针对此类问题，必须要提前对施工图纸进行全面审核，各项施工数据应以相邻建筑物作为调查获取参照点。一旦在实际应用中产生水量、水压不足情况，则要更换设备对局部进行控制。

（四）防控管道周围渗漏问题

加强预留孔洞、预埋套管质量管控，做好预留孔洞、套管缝隙的填充，每个环节均要达到质量防控标准。在管道孔洞周围区域使用砂浆围成一个密封圈，向密封圈区域倒水并保持24h，判断是否存在渗漏情况，期间未出现渗漏问题代表合格。

（五）加强质量验收控制

严格按照《市政给排水工程施工质量验收统一标准》要求开展质量验收工作。勘察文件、设计文件、设计变更文件除了是施工作业依据，同时也是质量验收依据，严禁自行更改施工方案，需要变更则要与设计单位沟通后再进行设计变更。保证验收记录的完整性，包括质控方案、施工记录、交接工序、自检材料、技术管理材料以及各阶段监理验收记录等。所有参数质量验收的人员均要具备相关资格，否则不允许参加验收。

六、结束语

综上所述，市政给排水工程施工直接关系到社会经济发展以及民生，这就需要保障施工方案设计的合理性，充分做好施工前期准备工作，严控每道施工工序，做好施工现场质量管理以及技术指导工作，这样才能够保障市政给排水工程施工质量，确保给排水工程顺利完工。

参考文献

[1] 王振兴. 市政工程给排水管道承插口施工技术分析 [J]. 福建建材, 2008(1):3.DOI: CNKI: SUN: FJJC.0.2008-01-040.

[2] 李宝胜, 李淑芬. 市政工程给排水管道承插口施工技术分析 [J]. 黑龙江科技信息, 2015(31).DOI: 10.3969/j.issn.1673-1328.2015.31.246.

[3] 冷有影. 市政工程给排水管道承插口施工技术分析 [J]. 中国科技投资, 2017, 000(031):45.DOI: 10.3969/j.issn.1673-5811.2017.31.040.

[4] 曲道岩. 市政工程给排水管道施工技术分析 [J]. 2021.DOI: 10.12334/j.1002-8536.2021.09.156.

[5] 沈立芳. 市政工程给排水管道施工技术分析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2014, 000(020):434-434.

[6] 王晓雨. 顶管技术在市政给排水工程施工中的运用研究 [J]. Urban Architecture & Development, 2023, 4(7).DOI: 10.37155/2717-557x-0407-23.

[7] 李浩宇. 市政道路给排水管道施工的常见问题解析 [J]. 轻松学电脑, 2019(7):P.1-1.

[8] 何平. 浅析现阶段市政工程给排水管道施工中的问题及对策 [J]. 门窗, 2013, 06(No.78):68-69.DOI: CNKI: SUN: MENC.0.2013-06-030.

[9] 周建萍, 陈慧. 市政工程给排水管道施工技术研究 [J]. 散装水泥, 2023(3):108-110.

[10] 朱敏. 浅谈在市政工程给排水管道施工中质量的控制 [J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2013, 000(020):38-38.DOI: 10.3969/j.issn.1672-3791.2009.18.034.

# 分析市政工程给排水管网建设中存在的问题与对策

蒋泰山

广州龙达工程管理有限公司，广东 广州 510000

**摘 要：** 市政工程给排水管网是城市基础设施的核心部分，其建设质量对城市居民的日常生活和城市的长期发展至关重要。本文旨在探讨中国市政工程给排水管网建设中存在的挑战，分析产生这些问题的根源，并提出针对性的解决方案，以期提升我国给排水管网建设的质量和效率提供参考和指导。

**关 键 词：** 市政工程；给排水管网；问题；对策

## Analysis of Problems and Countermeasures in the Construction of Water Supply and Drainage Pipe Network in Municipal Engineering

Jiang Taishan

Guangzhou Longda Engineering Management Co., Ltd. Guangzhou, Guangdong 510000

**Abstract：** The water supply and drainage pipe network of municipal engineering is a core component of urban infrastructure, and its construction quality is crucial to the daily life of urban residents and the long-term development of the city. This article aims to explore the challenges in the construction of water supply and drainage pipe networks in China's municipal engineering, analyze the root causes of these problems, and propose targeted solutions. It is hoped that this article can provide reference and guidance for improving the quality and efficiency of water supply and drainage pipe network construction in China.

**Keywords：** municipal engineering; water supply and drainage pipe network; problems; counter-measures

### 引言

伴随着城市化的飞速发展，城市版图持续扩张，人口数量持续攀升，给排水管网作为市政工程的关键组成部分，其在城市基础设施中的作用日益凸显。然而，我国在市政工程给排水管网建设过程中遭遇了一系列挑战，包括管网设计的不尽合理、施工质量的参差不齐以及后续管理维护的不足。这些问题不仅阻碍了给排水管网系统的有效运行，还可能对城市水环境的保护和居民的生活品质构成威胁。鉴于此，深入分析市政工程给排水管网建设中存在的问题，并制定切实可行的改进措施，对于提升城市水管理效率和居民生活质量具有至关重要的意义。

### 一、市政工程给排水管网建设中存在的问题

#### 1. 管网设计不合理

(1) 规模不足：在某些城市中，给排水管网的设计规模未能充分考虑到城市发展的长远需求，导致规模偏小。这种设计规模的不足，随着时间的推移和城市规模的扩张，愈发显得力不从心。它不仅无法适应不断增长的城市人口和扩展的城市区域对水资源的需求，还可能在极端天气事件或突发事件中，如暴雨或干旱，造成给排水系统的瘫痪，严重影响城市的正常运行和居民的生活安全。

(2) 布局不合理：在我国部分城市的给排水管网建设中，布局设计存在明显的优化不足。这表现在管网的密度分布不均，某些区域管网密集，而其他区域则相对稀疏，导致水资源分配不

均，难以有效满足不同区域的用水需求。同时，管网的覆盖范围也存在不全的问题，一些新兴区域或者偏远地区未能纳入到给排水管网的覆盖范围之内，这不仅限制了这些区域的发展，也使得这些地方在面临水资源问题时缺乏有效的应对措施。因此，优化给排水管网的布局，确保管网密度和覆盖范围的合理性，是提升城市给排水系统功能的重要环节。

(3) 管线交叉干扰：在城市地下空间利用中，给水、排水、燃气、电信等不同类型的管线往往需要共同布局在有限的空间内。然而，由于缺乏有效的协调和统一规划，这些管线在地下布局时常常出现交叉和干扰的情况。这种交叉不仅增加了管线的维护难度，还可能对城市的地下基础设施安全构成潜在威胁。此外，管线的干扰也可能导致施工难度增加、工程成本上升，甚至会影响到管线的正常运行和城市的整体功能性。因此，有必要在

市政工程规划中加强不同管线之间的协调，采取综合措施优化地下空间的布局，确保各类管线的安全、高效和稳定运行<sup>[1]</sup>。

## 2. 施工质量不高

(1) 施工工艺不成熟：在一些市政工程给排水管网的建设过程中，部分施工单位所采用的施工工艺相对落后，技术水平不高，这不仅影响了给排水管网的建设质量，也对其长期安全运行构成了潜在威胁。落后的施工工艺可能导致管网系统存在缺陷，如强度不足、密封性差等问题，这些问题在管网运行过程中可能会逐渐暴露，引发泄漏、破裂等安全事故。因此，提升施工单位的工艺水平和技术能力，是确保给排水管网质量和安全的关键所在。需要通过培训、技术升级等措施，不断提高施工技术水平，采用更为先进和适用的施工工艺，以保障给排水管网的质量和安

(2) 施工管理不到位：在一些建筑施工现场，管理层面存在混乱现象，施工人员的操作行为不规范，这导致了工程质量问题频繁出现。施工现场管理混乱可能表现为施工流程无序、材料管理不善、安全措施落实不到位等，这些问题直接影响了工程的质量控制。同时，施工人员操作不规范，如不按照设计图纸和施工规范进行作业，使用不合格的材料或设备，以及忽视安全操作规程等，都可能导致工程质量问题频发。这些质量问题不仅会影响工程的正常使用，还可能给城市的安全运行和居民的生命财产安全带来隐患。因此，强化施工现场管理，提升施工人员操作的规范性，是确保工程质量、保障城市基础设施安全的关键。

(3) 原材料质量参差不齐：在给排水管网建设中，部分施工单位由于对成本的考虑或其他原因，使用了质量不达标的原材料。这些原材料可能存在强度不足、耐腐蚀性差、密封性能不好等问题，这直接影响了给排水管网系统的运行效率和寿命。质量不合格的原材料在管网中使用，会导致管网容易发生泄漏、破裂等故障，增加维护和更换的频率，从而增加了长期运营成本。此外，这些问题还可能对水质安全造成威胁，影响居民的正常生活。因此，严格控制原材料的质量，确保施工单位使用符合国家和行业标准材料，是保障给排水管网系统质量和运行寿命的重要措施。

## 3. 管理维护不到位

(1) 管理制度不健全：在市政工程领域，给排水管网的管理制度存在不完善之处，缺乏一套长效的管理机制。这表现在管网的规划、设计、施工、运行、维护等各个环节，管理制度往往不够健全，无法形成一个闭合的管理循环。管理制度的不完善可能导致管网建设质量参差不齐，运行维护不到位，以及应急响应不及时等问题。此外，缺乏长效机制也意味着在管网的日常管理中，难以形成持续改进和优化的路径，难以适应城市发展的需要和变化。因此，构建完善的给排水管网管理制度，形成长效的管理机制，对于提升市政工程给排水管网的运行效率和服务质量至关重要。

(2) 维护经费不足：在市政工程的管理中，给排水管网的维护经费投入存在不足，这直接导致了管网系统的维修和更新工作无法得到及时有效的开展。经费的不足可能限制了维护工作的规

模和频率，使得管网系统在出现问题时无法得到及时的修复，进而可能导致问题的恶化，增加未来的维修成本。同时，由于缺乏足够的更新资金，老旧或损坏的管网部件无法得到及时的更换，这可能影响管网的整体性能和安全运行。因此，加大给排水管网维护经费的投入，确保有足够的资金支持管网的维修和更新工作，是保障城市给排水系统正常运行和长远发展的必要条件。

(3) 技术水平不高：在给排水管网的运行管理过程中，管理人员的专业素质和技术人员的技术水平存在较大差异，这使得管网系统在面临复杂运行问题时，难以得到有效和及时的应对。管理人员素质参差不齐可能表现为对管网运行规律理解不深、决策能力不足、应急响应不及时等，而技术人员的技术水平不一则可能导致管网维修和故障排除的效果不佳。这种素质上的差异不仅影响了给排水管网的运行效率，也对其安全性和可靠性构成了潜在威胁。因此，提升管理人员和技术人员的教育培训水平，优化人才结构，确保他们具备应对各种运行问题的能力和素质，对于提高给排水管网的运行质量和安全性具有重要意义。

# 二、市政工程给排水管网建设中问题的原因分析

## 1. 政策法规不完善

在我国，相关的政策法规对于给排水管网建设的规范力度有待加强，这直接导致了在建设过程中出现了一系列的问题。规范力度的不足可能表现在监管体系不完善、标准规范不够细化、执法力度不够严格等方面。这使得部分施工单位在建设过程中可能忽视工程质量，使用不合格的材料和设备，或者采取不规范的施工方法。此外，规范力度不足也可能导致建设项目的审批流程不规范，项目监管不到位，从而影响了给排水管网建设的质量和安

## 2. 投资机制不健全

在市政工程领域，给排水管网建设的投资渠道相对单一，资金来源主要依赖于政府财政拨款，缺乏多元化的融资途径。这种单一的投资模式限制了资金的流动性和可获得性，导致在管网建设过程中，资金供应可能无法完全满足实际的建设需求。资金的不足可能会影响到管网建设的规模、质量和进度，进而影响到城市基础设施的完善和居民生活的正常运行。因此，探索和建立多元化的融资渠道，如吸引社会资本参与、发行债券、实施 PPP (Public-Private Partnership, 公私合作伙伴关系) 项目等，以扩大给排水管网建设的资金来源，对于确保市政工程给排水管网建设的顺利进行，提升城市给排水系统的整体性能和服务水平具有重要意义<sup>[2]</sup>。

## 3. 市场竞争激烈

在当前的建筑市场中，竞争异常激烈，为了在竞争中脱颖而出，部分施工单位采取降低成本的策略。然而，在这种成本控制的过程中，一些施工单位可能会忽视工程的质量控制。他们可能使用低质量的材料、减少必要的施工步骤或者压缩工期，这些行



为都可能导致工程质量的不达标。忽视工程质量不仅会影响建筑物的使用寿命和安全性，还可能给城市的基础设施带来潜在的风险和隐患。因此，对于建筑行业来说，强调工程质量的重要性，加强对施工单位的监管，确保他们在追求经济效益的同时，不牺牲工程质量，是保障建筑安全和城市可持续发展的关键。

4. 管理水平不高：在市政工程领域，给排水管网的管理水平普遍存在一定程度的不足，这一现状严重影响了工程质量的有效保障。管理水平整体较低可能表现为管理机制不健全、监管不到位、技术更新滞后、人员培训不足等方面。这些问题的存在导致管网建设、维护和更新过程中可能出现质量控制不严、安全隐患排查不及时、应急响应不高效等情况。这不仅降低了给排水管网的运行效率 and 安全性，也增加了长期的维护成本。因此，提升市政工程给排水管网的管理水平，完善管理制度，加强监管力度，注重技术更新和人员培训，是确保工程质量、提高市政服务质量、保障城市可持续发展的必要措施。

### 三、市政工程给排水管网建设的对策

#### 1. 完善政策法规体系

为了提升给排水管网的建设质量和效率，有必要加强相关政策法规的制定工作。这包括明确给排水管网建设的技术标准、施工规范和安全要求，以指导施工单位的工程实践。通过立法和政策制定，可以确保施工行为符合行业标准和规范，从而提高工程质量。此外，加强监管和执法力度，对违反规定的行为进行严厉处罚，将有助于营造一个公平竞争、规范有序的建设环境。这样一来，不仅可以保障给排水管网建设的质量和安全性，还能够提升城市基础设施的整体水平，满足人民群众对美好生活的向往。

#### 2. 优化投资机制

为了促进给排水管网建设的可持续发展，需要积极拓展多元化的投资渠道。这包括通过政策激励和环境营造，吸引社会资本参与给排水管网的建设和运营。通过引入市场机制和私营部门的资金、管理经验和技术，可以提高给排水管网建设的投资效益，加快项目的实施进度，提升工程质量。同时，这种多元化的融资模式还有助于分散风险，减轻政府财政压力，实现公共基础设施的长期维护和更新。因此，构建一个开放、竞争和有序的投资环境，鼓励和引导社会资本投入给排水管网建设，对于推动城市基础设施的现代化，保障城市水资源的合理利用和城市生活的正常运行具有重要意义<sup>[3]</sup>。

#### 3. 提高设计水平

为了确保给排水管网系统能够适应城市发展的需求并高效运行，首先需要进行科学的预测分析，综合考虑城市人口增长、经济发展、用地规划等因素，合理预测未来给排水设施的服务需求，从而确定适宜的给排水管网规模。其次，应优化给排水管网的布局设计，这包括合理安排管线走向、层级和互联互通，以提高管网的整体密度和覆盖范围，确保城市各个区域都能得到有效的供水和排水服务。同时，加强不同管线之间的协调工作，合理安排施工和维护计划，减少管线之间的交叉和干扰，提高管网系

统的运行效率 and 安全性。通过这些措施，可以有效提升给排水管网的性能，满足城市可持续发展的需求，保障市民的日常生活和水资源的合理利用。

#### 4. 提升施工质量

为了保障给排水管网建设的质量和安全性，首先应采纳先进且成熟的施工工艺，这些工艺应经过实践验证，能够提高施工效率和工程质量。同时，也需要注重施工技术的提升，通过培训和教育，使施工人员掌握最新的技术知识和操作技能。其次，加强施工现场的管理至关重要，这意味着制定和执行严格的施工标准，监督施工过程，确保施工人员遵循规范操作，避免安全事故和质量问题的发生。此外，对原材料的质量控制也不容忽视，应建立严格的质量检测体系，对所有原材料进行检测，确保其符合国家和行业标准，从而从源头上保障工程质量。通过这些措施，可以有效提升给排水管网建设的整体水平，增强城市基础设施的可靠性和可持续性。

#### 5. 加强管理维护

为了确保给排水管网系统的长期稳定运行和优质服务，首先需要建立健全的管理制度，这包括制定完善的工作流程、操作规程、质量标准和考核机制，形成一套长效的管理机制。其次，应加大维护经费的投入力度，保障管网的维修和更新工作能够及时进行，这有助于防止管网老化、泄漏等问题的发生，确保管网系统的安全性和可靠性。同时，提高管理人员和技术人员的素质也是关键，这不仅包括专业知识的教育和技能提升，还包括职业道德和管理能力的提升。通过这些措施，可以有效提升给排水管网的管理水平和技术能力，为城市的发展提供坚实的基础设施保障，满足市民对高质量水服务的需求。

### 四、结论

市政工程中的给排水管网建设对于城市基础设施的完善至关重要，它不仅影响到城市居民的日常生活，也是城市可持续发展的关键因素。我国在这一领域的建设中遇到了一些挑战，例如标准不统一、施工质量不一、布局不合理和维护管理不足等。为了应对这些问题，本文深入分析了它们的成因，并提出了相应的解决策略，旨在为我国市政工程给排水管网的建设提供务实的建议和指导。尽管如此，这些策略在实际应用中仍需不断地调试和优化，以确保给排水管网建设的质量与效率，进一步提升城市居民的生活品质，推动城市的长期繁荣发展。

### 参考文献

- [1] 钟原, 樊丽. 关于市政工程给排水管网改造设计的探究[J]. 门窗, 2017(8): 173.
- [2] 曾滨, 谢文军. 市政排水管网规划和优化设计探讨[J]. 山西建筑, 2015, (10): 108 - 109.
- [3] 苏金江, 李玉君. 试述市政给排水管道的施工技术[J]. 价值工程, 2016, (09): 103 - 104.



# 技术创新对建筑工程管理的影响与应用

郑岳志

台州坤胜建设工程有限公司，浙江 台州 318020

**摘 要：** 随着科技的快速发展，建筑工程管理领域正经历深刻变革。本文分析了 BIM 技术、物联网、人工智能等新兴技术在建筑工程管理中的具体应用及其影响。研究表明，技术创新显著提升了工程管理的数字化、智能化水平：BIM 技术实现了项目全生命周期的可视化管理，物联网技术加强了现场实时监控和资源调配能力，人工智能则在工程质量检测和安全预警方面发挥重要作用。同时，新技术的应用也带来了人才培养、数据安全等新的挑战。针对这些问题，本文提出了完善技术标准体系、加强人才队伍建设、建立数据保护机制等建议，为建筑工程管理的数字化转型提供参考依据。

**关 键 词：** 技术创新；建筑工程；管理；影响与应用

## The impact and Application of Technological Innovation on Construction Project Management

Zheng Yuezhi

Taizhou Kunsheng Construction Engineering Co., Ltd. Taizhou, Zhejiang 318020

**Abstract：** With the rapid development of technology, the field of construction project management is undergoing profound changes. This article analyzes the specific applications and impacts of emerging technologies such as BIM, Internet of Things, and artificial intelligence in construction project management. Research has shown that technological innovation has significantly improved the digitalization and intelligence level of engineering management: BIM technology has achieved visual management of the entire project lifecycle, IoT technology has strengthened on-site real-time monitoring and resource allocation capabilities, and artificial intelligence plays an important role in engineering quality inspection and safety warning. At the same time, the application of new technologies has also brought new challenges such as talent cultivation and data security. In response to these issues, this article proposes suggestions such as improving the technical standard system, strengthening the construction of talent teams, and establishing data protection mechanisms, providing reference for the digital transformation of construction project management.

**Keywords：** technological innovation; architectural engineering; administration; impact and application

## 引言

随着我国建筑业的快速发展，工程项目规模不断扩大、结构日趋复杂，传统的建筑工程管理模式已难以满足现代化建设需求。在“互联网+”和“数字中国”战略的推动下，以 BIM 技术、物联网、人工智能为代表的新一代信息技术正加速向建筑行业渗透，为工程管理带来全新的机遇与挑战。<sup>[1]</sup> 当前，我国建筑工程管理仍面临效率低下、信息孤岛、质量控制不足等问题。技术创新为解决这些问题提供了有力支撑：BIM 技术实现了设计、施工、运维全过程的协同管理；物联网技术构建起项目现场的数字感知体系；人工智能则为决策分析和风险预警提供了智能化手段。然而，新技术在实践中的应用效果如何，存在哪些瓶颈，需要突破哪些关键环节，这些都是亟待研究的重要问题。本文旨在系统分析技术创新对建筑工程管理的影响，探讨新技术在工程管理各环节的具体应用，并就推进建筑业数字化转型提出建议，以期提升工程管理水平提供参考。

## 一、技术创新对建筑工程管理的有利影响

### （一）提升工程管理的精准性和可视化水平

BIM（建筑信息模型）技术的应用显著提高了建筑工程管理

的精确度。以上海中心大厦项目为例，项目团队运用 BIM 技术创建了 632 米高楼的精确三维模型，实现了对 15 万个构件的精准管理。通过 BIM 模型的可视化功能，项目管理人员能够直观地发现设计碰撞点，提前协调解决各专业之间的冲突。据统计，该项目

作者简介：郑岳志（1985.01—），男，汉族，浙江省台州市人，本科，中级，研究方向：建筑工程管理。

通过 BIM 技术共发现并解决了超过 5000 处设计碰撞问题，避免了施工过程中的返工，节省工程造价约 2.8%。<sup>[2]</sup>

3D 激光扫描技术的应用进一步增强了现场管理的准确性。在北京大兴国际机场建设中，管理团队采用 3D 激光扫描技术对航站楼网架结构进行实时监测，测量精度达到毫米级。通过与设计模型的实时比对，确保了复杂曲面网架的施工精度，为后期精准安装金属屋面板提供了可靠保障。

## （二）强化工程质量和安全管理

物联网技术与人工智能的结合，极大地提升了工程质量控制和安全监管能力。以广州某大型住宅项目为例，管理团队部署了智能安全帽系统，通过内置传感器实时监测工人位置和生理状态。系统自动识别危险区域的人员聚集情况，当发现异常时即时预警。项目实施一年来，现场安全事故发生率下降了 45%。

智能质量检测机器人的应用使得工程质量管理更加科学。在深圳某超高层建筑项目中，采用智能爬壁机器人对外立面进行自动化检测，不仅大幅提高了检测效率，还通过 AI 算法精确识别外墙的裂缝、空鼓等质量缺陷，检测准确率达到 95% 以上，远超传统人工检测方式。<sup>[3]</sup>

## （三）优化资源配置和成本管理

大数据分析技术为工程资源优化配置提供了有力支持。以重庆某保障房项目为例，管理团队开发了基于大数据的材料管理系统，通过分析历史数据 and 市场行情，实现了材料采购的精准预测。系统根据工程进度自动生成最优采购计划，并实时监控库存水平。项目实施后，材料周转率提升了 30%，库存成本降低了 25%。

云计算技术则显著提升了成本管理的效率。某建筑集团在多个项目中推广使用云端造价管理系统，实现了清单、预算、结算等数据的统一管理和实时更新。通过对历史工程数据的挖掘分析，系统能够快速生成准确的成本估算，并对整个项目的成本进行动态监控。实践表明，该系统将工程造价编制时间缩短了 40%，造价准确率提升了 15%。

智慧工地管理平台的应用体现了技术创新的综合效益。以杭州某商业综合体项目为例，该项目构建了集成 BIM、物联网、人工智能等技术的智慧工地管理平台。平台通过多个子系统协同运作，实现了人员、机械、材料等要素的智能化管理。塔吊、升降机等特种设备的运行状态实时监测，现场视频的 AI 分析自动识别违规行为，材料进场的 RFID 自动核验等功能，使项目管理效率提升了 35%，管理成本降低了 20%。<sup>[4]</sup>

这些具体案例充分说明，技术创新正在从精确度提升、安全质量管控、资源优化配置等多个维度重塑建筑工程管理模式，推动建筑业向数字化、智能化方向转型升级。通过新技术的综合应用，不仅显著提高了工程管理效率，也为降本增效提供了有力支撑。

# 二、建筑工程管理在技术创新方面所存在的难点问题

## （一）技术系统整合与数据互通的难点

建筑工程管理涉及多个专业系统，各系统之间的数据整合与

互通成为技术创新的首要难点。以某省会城市的标志性文化中心项目为例，该项目虽然引入了 BIM 技术、智慧工地平台等多个先进系统，但各系统之间形成了“信息孤岛”。设计单位使用的 Revit 建模软件与施工单位的广联达算量软件存在数据转换障碍，造成工程量统计效率低下。数据显示，项目团队在数据转换和核对上花费了额外 20% 的工作量。现场的物联网感知系统（包括环境监测、设备监控等）与项目管理系统之间缺乏有效的数据对接机制。当发生异常情况时，无法实现数据的自动关联分析，影响应急处置效率。建设单位、施工单位、监理单位各自采用不同的管理软件，导致项目信息难以实现多方实时共享。例如，质量问题整改流程中，从问题发现到整改完成往往需要 2-3 天时间，其中很大一部分时间耗费在信息传递和确认环节。<sup>[5]</sup>

## （二）技术应用成本与效益平衡的难点

新技术应用需要较大投入，而其效益往往难以在短期内显现，这使得许多建筑企业在技术创新方面举步维艰。以深圳某建筑集团为例，该集团在三个项目中试点部署智能建造系统，包括机器人焊接、3D 打印构件、智能物流等技术，初期投入达 3000 万元。但由于技术不够成熟，实际应用效果未达预期：机器人焊接的返工率达 15%，比熟练工人高出 5 个百分点；3D 打印构件的生产效率仅为传统方式的 80%。智慧工地系统的维护成本居高不下，以其中一个项目为例，仅设备维护和系统升级的年度支出就达到 200 万元，而通过系统实现的直接成本节约仅 150 万元左右。某施工企业投资开发的智能施工管理平台，由于缺乏标准化接口，难以在不同项目间复用，导致每个新项目都需要重复开发，大大增加了技术应用成本。

## （三）技术人才储备与管理创新的难点

新技术的应用需要专业的技术人才支撑，同时也要求管理模式随之创新，这成为许多建筑企业面临的又一难点。以北京某大型建筑央企为例，该企业在推广 BIM 技术应用时发现，具备 BIM 专业技能的工程师仅占技术人员的 8%，远低于项目需求。为此不得不大量聘请外部专家，年度技术咨询费用超过 1000 万元。在建筑机器人、AI 算法等新兴领域，企业更是面临严重的人才短缺。某智能建造项目因无法招聘到合适的算法工程师，导致开发进度延期 6 个月。传统的项目管理制度难以适应新技术应用的需求。例如，某项目采用装配式建造技术，但采购管理流程仍沿用传统模式，导致构件供应不能满足施工进度要求。企业的技术培训多停留在基础操作层面，缺乏系统化的进阶培训。例如，智慧工地系统上线后，一线管理人员仅掌握基本功能操作，无法充分利用系统的高级分析功能，培训方式单一，以课堂讲授为主，缺乏实践演练环节。调查显示，参训人员的知识应用率不足 50%。

# 三、技术创新应用于建筑工程管理的有效策略

## （一）构建集成化的智慧工程管理平台

建立统一的信息管理平台是实现技术创新的关键。以江苏某大型建工集团为例，该集团投资 2 亿元打造了覆盖设计、施工、运维全过程的智慧建造平台。平台采用微服务架构，实现了 BIM、

物联网、人工智能等技术的深度融合。在南京某超高层项目中，该平台充分发挥了集成优势：通过统一的数据中台，实现了设计阶段 BIM 模型到施工阶段的无缝对接，各专业数据实时共享，协同效率提升 40%；基于物联网技术的智能监测系统，对塔吊、升降机等特种设备运行状态进行实时监控，年均减少设备故障 30%；集成了基于深度学习的智能识别系统，对现场安全隐患进行自动预警，安全事故发生率下降 50%。平台还建立了标准化的数据接口规范，支持第三方系统快速接入，为后续功能扩展提供了便利。<sup>[6]</sup>

### （二）建立分层递进的技术应用体系

技术创新要遵循循序渐进的原则，根据项目特点和管理需求，分层次推进技术应用。浙江某建筑集团采用的“三层递进”策略值得借鉴：第一层是基础数字化，所有项目必须实施的基本技术应用，如项目管理信息系统、视频监控系统等；第二层是重点创新，在重点项目中开展的技术创新试点，如智能建造、数字孪生等；第三层是前沿探索，面向未来的技术研发，如建筑机器人、新型建材等。在杭州某大型保障房项目中，该集团首先完成了基础数字化建设，实现了项目管理的信息化；在此基础上，引入装配式建造技术，开发了基于 RFID 的构件管理系统，构件安装效率提升 35%；最后在部分区域试点应用建筑机器人进行墙体喷涂，效率较人工提高 50%。这种分层递进的方式，既保证了基础管理需求，又为技术创新预留了发展空间。<sup>[7]</sup>

### （三）完善技术创新支撑体系

技术创新需要完善的支撑体系，包括人才培养、制度建设和资源配置等方面。广东某建筑总承包企业通过系统化布局，建立了较为完善的技术创新支撑体系：

在人才培养方面，该企业与华南理工大学合作建立了“智慧建造研究院”，开展专业人才培养。采用“导师制+项目制”的培训模式，每年培养 BIM 工程师、智能建造工程师等专业人才 100 余名。在深圳某商业综合体项目中，由研究院培养的技术团队成功开发了基于计算机视觉的质量检测系统，混凝土表面缺陷识别准确率达到 92%。

在制度建设方面，建立了与技术创新相适应的管理机制。设立技术创新专项基金，年度投入不低于营业额的 3%；实行技术创新项目负责人制，赋予项目团队充分的决策权；建立创新激励机制

制，将技术创新成效纳入绩效考核。在广州某科技园项目中，项目团队获得充分授权，自主开发了智能施工放样系统，测量效率提升 60%，团队获得 50 万元创新奖励。<sup>[8]</sup>

在资源配置方面，建立了产学研合作网络。与高校、科研院所建立战略合作关系，共建实验室 5 个；与供应商组建技术创新联盟，共同开发新技术、新工艺；设立技术创新孵化基地，为创新项目提供试验场所。例如，与中建科技合作开发的新型模块化建筑技术，在东莞某安置房项目中成功应用，工期缩短 30%。

值得注意的是，技术创新的支撑体系建设要注重实效性。企业应根据自身实际情况，合理配置资源，避免盲目追求高大全。例如，该企业在技术人才培养中，采用“内部培养+外部引进”相结合的方式，既保证了人才供给，又控制了成本。在某地铁上盖项目中，通过引进 3 名 BIM 专家，带动培养内部技术骨干 15 人，仅用半年时间就建立起专业的 BIM 技术团队。<sup>[9]</sup>

实践表明，只有建立统一的信息平台、采用分层递进的应用策略、完善配套支撑体系，才能确保技术创新在建筑工程管理中发挥实效。企业应当结合自身特点和发展阶段，选择适当的技术创新路径，既要坚持创新导向，又要注重实际效果，推动建筑工程管理水平的整体提升。<sup>[10]</sup>

## 四、结论

综上所述，随着科技的快速发展，建筑工程管理领域正经历深刻变革。通过分析 BIM 技术、物联网、人工智能等新兴技术在建筑工程管理中的应用及其影响，研究表明，这些技术创新显著提升了工程管理的数字化和智能化水平。BIM 技术通过项目全生命周期的可视化管理，优化设计、施工及运维协同；物联网技术实现了现场实时监控和资源调配的精确管理；人工智能在工程质量检测和安全预警方面展现了强大优势。然而，技术创新也带来了系统整合、应用成本、人才培养等方面的挑战。针对这些难点，提出了构建集成化智慧管理平台、建立分层递进的技术应用体系、完善技术创新的支撑体系等策略。这些措施为建筑工程管理的数字化转型提供了重要参考，推动行业向更加高效、安全和智能的方向发展。通过技术创新，建筑工程管理将不断提升实际效能和整体水平，为未来建筑行业的发展奠定坚实基础。

## 参考文献

- [1] 郭河勇. 技术创新对建筑工程管理的影响与应用 [J]. 中华建设, 2024, (11): 55-57.
- [2] 楚秀梅. 建筑工程管理现状以及新经济形势下的发展方向研究 [J]. 中国住宅设施, 2024, (08): 35-37.
- [3] 秦川. 建筑工程管理现代化和精细化分析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024, (05): 54-56.
- [4] 张海艳. 新时期建筑工程施工技术的管理与创新 [J]. 住宅与房地产, 2021, (02): 154-155.
- [5] 王斌. 创新建筑工程管理技术研究 [J]. 中国管理信息化, 2020, 23(22): 146-147.
- [6] 颜冲. 建筑工程管理的重要性与创新方法研究 [J]. 建材与装饰, 2017, (03): 142-143.
- [7] 田正. 浅谈创新建筑工程管理技术 [J]. 中华民居 (下旬刊), 2014, (02): 444+446.
- [8] 于刚. 试论建筑工程管理中创新模式的应用及发展 [J]. 无线互联科技, 2013, (09): 145.
- [9] 覃政强. 浅谈建筑工程管理技术的创新实践 [J]. 河南科技, 2013, (11): 151.
- [10] 张永新. 技术创新视角下我国建筑工程管理的质量管控研究 [J]. 企业导报, 2012, (24): 58-59.

# 土木工程造价风险管理与控制策略研究

周萍

南京长江都市建筑设计股份有限公司, 江苏 南京 211000

**摘 要：** 本文深入解析了土木工程造价风险理论，探讨了风险在土木工程造价领域的应用、风险特性及其影响机理。通过对招标、施工、结算等各阶段风险的详细分析，提出了针对性的风险控制策略。研究指出，建立健全的风险管理体系是关键，包括完善招标文件、强化投标报价管理、规范合同签订流程、加强设计变更管理、规范化工程索赔程序、构建材料价格风险预警机制、实施环境保护措施和加强安全生产管理。此外，本文还强调了结算阶段风险控制的重要性，包括规范竣工结算程序和加强工程款支付管理。研究结果为土木工程造价风险的有效控制提供了理论依据和实践指导。

**关 键 词：** 土木工程造价风险；风险管理；控制策略；风险评估；风险特性

## Research on Risk Management and Control Strategies in Civil Engineering Cost

Zhou Ping

Nanjing Changjiang Dushi Architectural Design Co., Ltd. Nanjing, Jiangsu 211000

**Abstract：** This paper deeply analyzes the theory of civil engineering cost risk, explores the application of risk in the field of civil engineering cost, risk characteristics, and its influence mechanism. Through detailed analysis of the risks in various stages such as bidding, construction, and settlement, targeted risk control strategies are proposed. The research points out that establishing a sound risk management system is the key, including improving bidding documents, strengthening bid quotation management, standardizing contract signing procedures, strengthening design change management, standardizing engineering claim procedures, establishing a material price risk warning mechanism, implementing environmental protection measures, and strengthening safety production management. In addition, this article also emphasizes the importance of risk control in the settlement stage, including standardizing completion settlement procedures and strengthening project payment management. The research results provide a theoretical basis and practical guidance for effective control of civil engineering cost risks.

**Keywords：** civil engineering cost risk; risk management; control strategy; risk assessment; risk characteristics

## 引言

土木工程作为国家基础设施建设和经济社会发展的重要支柱，其项目规模和复杂性的日益增加使得工程造价管理面临诸多挑战。造价风险作为影响土木工程项目成本控制的关键因素，对项目的成功实施和经济效益具有重大影响。

随着市场经济的发展和全球化的进程，土木工程项目的实施环境日益复杂，各种不确定性因素如市场波动、政策变动、技术更新和自然环境变化等，都可能导致工程造价的风险。这些风险不仅会影响项目的成本预算，还可能威胁到项目的进度、质量和安全。因此，如何识别、评估、管理和控制这些风险，成为土木工程造价管理中的重要课题。

## 一、土木工程造价风险理论解析

在土木工程造价管理的研究与应用中，风险理论扮演着至关重要的角色。以下将对风险概念在土木工程造价领域的应用、土木工程造价风险特性以及风险类型及其影响机理进行深入解析。

### （一）风险概念在土木工程造价领域的应用

风险，作为一个多维度的概念，其在土木工程造价领域的应

用涉及对潜在不确定性的识别、评估和控制。在这一领域，风险被理解为工程项目在预算执行过程中可能遇到地对成本、进度和质量等目标产生负面影响的事件及其发生的概率。这些事件可能源于市场波动、政策变动、技术难题、自然环境变化等多方面因素。因此，在土木工程造价中应用风险概念，不仅需认识到风险的普遍性，更需针对特定工程项目的特征，实施定制化的风险识别与评估。



## （二）土木工程造价风险特性分析

土木工程造价风险的特性分析是理解和管理风险的基础。这些风险通常具有以下特性：首先，不确定性是风险的本质特征，它体现在风险事件的发生与否以及其影响程度都难以精确预测。在整个工程施工中，往往会因为各种因素导致工程造价出现问题，所以工程造价风险具有不确定性。这些风险并不会提前预知，也不是在施工过程中想要避免就可以找到相应的避免方法，简单来说，在整个施工过程中出现造价风险问题都是随机性的，没有规律可循，所以，针对这样的情况，相关的工作人员就要对工程造价风险管理进行详细的研究，极大程度地降低造价风险对工程的影响<sup>[1]</sup>。其次，风险的潜在影响具有双向性，既可能带来成本的增加，也可能导致项目价值的损失。再次，风险具有时间依赖性，随着项目周期的推进，风险的表现和影响可能发生变化。此外，土木工程造价风险还呈现出相互关联性，即不同风险之间可能存在触发或加剧的关系。最后，风险的可控性，即通过有效的管理措施可以降低风险的发生概率或减轻其影响。

## （三）风险类型及其影响机理

在土木工程造价中，风险类型多样，其影响机理复杂。根据风险的来源，可以将其分为市场风险、政治风险、技术风险、环境风险和金融风险等。市场风险主要涉及材料价格波动、劳动力成本变化等，其影响机理在于市场供需关系的不稳定导致成本控制难度增加。政治风险则包括政策变动、法律法规变化等，其影响在于可能改变项目的合规成本或运营环境。技术风险涉及设计缺陷、施工技术难题等，其影响机理在于技术的不确定性可能导致项目延误或成本超支<sup>[2]</sup>。环境风险包括自然灾害、气候变化等，其影响在于可能对施工进度和成本造成不可预测的影响。金融风险则涉及汇率变动、融资成本变化等，其影响机理在于金融市场的波动可能影响项目的资金成本和资金流动性。通过对这些风险类型及其影响机理的深入分析，可以为制定有效的风险控制策略提供理论依据。

# 二、土木工程造价风险分析

在土木工程造价风险分析方面，以下是对各阶段风险的专业分析和扩展。

## （一）招标阶段风险分析

招标文件的编制作为建设项目风险管理的起始环节，其风险主要源于文件的不完善或错误，这不仅可能引起后续合同执行过程中的争议，还可能导致额外的成本支出<sup>[3]</sup>。在投标报价环节，风险则体现在投标者对项目成本的估算准确性上，这要求投标者深入理解项目需求，同时综合考虑市场条件、资源价格波动等多元因素。至于合同签订阶段，风险主要与合同条款的明确性和合理性相关联，含糊不清的合同条款有可能在合同执行过程中引发争议，甚至带来额外的财务压力。因此，这三个阶段的风险管理都要求高度的专业性和细致性，以确保项目整体的顺利实施。

## （二）施工阶段风险分析

设计变更在施工阶段频繁出现，其风险在于可能引起成本上

升和工期延长，因此，有效的风险管理要求及时地识别和评估设计变更带来的影响。工程索赔往往源于合同执行中的分歧，而风险管理策略的成效依赖于合同管理的清晰性和沟通的及时性<sup>[4]</sup>。物价波动，尤其是建筑材料和资源价格的变动，是施工阶段不可忽视的风险，通过市场分析和合同策略的运用，可以在一定程度上缓解其影响。施工技术的选择和应用对项目的成本和进度具有决定性作用，风险管理应涵盖对施工技术的全面评估。环境保护法规的遵守是建设项目必须考虑的因素，违规可能招致罚款甚至导致项目延期<sup>[5]</sup>。安全生产风险不仅关乎工人的生命安全，也可能因事故而导致项目成本大幅增加。因此，对这些风险的识别、评估和控制是确保建设项目顺利进行的关键。

## （三）结算阶段风险分析

在竣工结算阶段，风险主要集中在合同执行的实际情况、工程量的精确核算，以及最终成本的确认上，这些关键环节的任何偏差都可能导致结算流程的障碍。此外，工程款支付的及时性与否，直接关系到项目资金的流动性，以及是否存在支付延迟的风险，这些因素对项目的整体财务健康具有深远的影响。因此，对这一阶段风险的有效管理，不仅是确保项目财务稳健的必要条件，也是保障项目能够顺利结束的重要环节<sup>[6]</sup>。这要求相关管理人员具备高度的专业素养，能够通过精确的核算、严格的合同执行监控，以及高效的资金管理策略，来防范和化解潜在的风险，确保项目能够按照既定目标圆满完成。

# 三、土木工程造价风险控制策略

在土木工程造价风险控制策略的研究领域，已有不少深入的探讨和分析。以下是基于相关学术论文的扩写内容，旨在深化对土木工程造价风险控制策略的理解。

## （一）建立健全的风险管理体系

建立健全的风险管理体系是企业持续健康发展的关键。在此过程中，企业需从全面风险管理理论出发，深入研究和理解其理论基础及发展脉络。全面风险管理理论融合了风险管理理论和内部控制理论，这两个原本迥异的研究学科共同构成了全面风险管理理论体系<sup>[7]</sup>。在此基础上，企业应关注如何继承和发展原有体系的理论基础，并探索全面风险管理的未来发展趋势。

国家开发投资公司在构建全面风险管理体系方面提供了宝贵的实践经验。该公司高度重视风险管理工作，从风险分析、监控、管理关系理顺、体系构建和总结提高等方面着手，逐步形成了适合公司特点的全面风险管理体系。特别是在风险分析方面，公司加大了对重大风险的分析力度，设计了合理、完善的风险监控指标和预警标准值，逐步形成了科学的全面风险监测预警体系<sup>[8]</sup>。此外，公司还重视全面风险管理与其他管理活动的融合，确保风险管理真正融入公司各项经营管理过程中。

在构建全面风险管理体系的过程中，企业还需关注风险评估方法的研究和应用。结合国际风险管理标准如《巴塞尔新资本协议》和《COSO 框架》，企业可以运用模块化思路对风险进行评估，构建新的风险评估方法体系。通过这样的方法，企业不仅能

有效应对当前的风险，还能对未来潜在的风险进行预测和防范。

### （二）加强招标阶段的风险控制

在招标阶段的风险控制实践中，完善招标文件是奠定坚实基础的基础的起始步骤。招标文件的精确性与完整性是确保招标活动有效性和公正性的关键所在。在此环节，必须确保技术要求、合同条款、评标标准等内容的具体明确和合理设置，这是减少招标过程中潜在误解和争议的核心措施。进一步地，加强投标报价的管理显得尤为关键，因为合理的投标报价直接关系到项目成本的有效控制和合同执行的顺畅<sup>[9]</sup>。因此，建立一套科学的投标报价审核机制，确保报价的合理性和透明度，同时有效遏制围标、串标等不正当竞争行为，是不可或缺的。

此外，规范化合同签订流程是招标阶段风险控制的重要环节。合同作为明确招标与投标双方权利与义务的法定文件，其签订流程的规范化对于降低合同执行过程中的风险具有显著作用。在这一阶段，应当特别重视合同条款的明确性、双方权责的清晰界定，以及风险分配与应对策略的周密规划。通过这些措施，可以有效地规避合同执行中的不确定性，保障招标活动的顺利进行，从而为项目的成功实施奠定坚实的法律和合同基础。

### （三）加强施工阶段的风险控制

在施工阶段的风险控制中，强化设计变更管理扮演着关键角色。设计变更频繁发生于施工过程中，其有效管理能够显著降低由此产生的风险和成本上升。建立一套严格的设计变更审批机制，确保每一项变更都经过全面评估并获得正式批准，是管理工作的核心<sup>[10]</sup>。同时，规范化工程索赔程序对于保障合同双方权益极为重要。合理处理工程索赔不仅是成本控制的一部分，也是确保合同顺利执行的关键所在。因此，确立明确的索赔流程和标准，以便在索赔事件发生时能够迅速且公正地予以解决，是必要的措施。

构建材料价格风险预警机制对于应对市场波动带来的挑战极为关键。通过持续监控材料价格动态，能够有效预测并应对潜在的经济风险，从而保障项目成本控制的稳定性。此外，提升施工技术管理的水平是确保施工质量和安全的核心。这包括对施工技术的选用、应用及其监控进行严格把控，确保施工活动符合技术规范和安全标准。

实施环境保护措施在现代化建筑工程中占据着不可或缺的地位。通过制定并执行环保策略，不仅能够减轻施工对环境的不利

影响，还能增强企业的社会责任感。最终，加强安全生产管理对于保障工人安全和项目的顺利推进具有决定性意义。这涉及制定和执行安全规章制度、提供安全培训以及建立安全文化等多个层面的工作。

### （四）加强结算阶段的风险控制

规范化竣工结算程序是确保工程顺利交付与资金安全的关键环节。在此关键阶段，商业银行单位结算账户的管理及其风险控制显得尤为突出。研究指出，银行与客户之间的账户结算业务构成了银行业务运营体系的核心，它不仅涉及金融产品与服务，还关乎双方互利合作的持续发展。一个有效的账户结算管理体系能够确保资金流转的顺畅，同时有效预防逃税、躲债等风险，对于维护金融机构的稳定运营具有不可替代的作用。因此，在结算阶段，必须重视单位结算账户管理的优化，这包括但不限于组织结构的完善、流程的整合、制度的健全、管理措施的改进以及管理人员培训的加强。

与此同时，加强工程款支付管理对于保障工程项目资金透明度和使用效率同样至关重要。工程款支付管理涵盖了严格的支付流程、支付凭证的细致审核，以及对支付进度的实时监控，这一切都是为了确保每一笔款项的支付都严格遵循合同规定和工程实际完成情况。通过实施高效的管理措施，可以显著降低资金流转过程中的风险，确保工程项目资金的合理分配和高效利用，从而为整个项目的成功交付提供坚实的财务保障。

## 四、结束语

总之，土木工程造价风险的管理与控制是一个复杂而系统的过程，涉及招标、施工、结算等多个阶段。通过对风险理论的深入解析和各阶段风险的专业分析，本文提出了针对性的风险控制策略。这些策略的实施，不仅有助于降低工程造价的不确定性，保障项目顺利进行，还能提升企业的风险管理水平，为土木工程行业的健康发展提供有力支持。然而，风险管理是一个持续的过程，随着市场环境的变化和工程项目的不同，风险管理的策略和方法也需要不断调整和完善。未来，土木工程造价风险管理的研究和实践应更加注重动态性、前瞻性和创新性，以适应不断变化的建设环境，确保工程项目的成功实施。

## 参考文献

- [1] 金良杰. 施工阶段工程造价风险管理研究[J]. 纳税, 2018, (20): 143.
- [2] 吴蔚兰. 建筑工程施工阶段造价风险管理要点分析[J]. 中华建设, 2019, (09): 42-43.
- [3] 李莉, 赵财军, 秦伟. 土木工程管理与工程造价的有效控制策略[J]. 散装水泥, 2021, (03): 30-32+37.
- [4] 周学磊. 大型土木工程施工安全风险监测管理研究[J]. 黑龙江科学, 2023, 14(22): 153-155.
- [5] 李向轩. 土木工程管理与工程造价的有效控制策略研究[J]. 工程技术研究, 2019, 4(19): 192-193. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2019.19.094.
- [6] 黄茂英, 万家元. 土木工程管理与工程造价的有效控制策略研究[J]. 农家参谋, 2018, (24): 218.
- [7] 黄烨. 土木工程施工安全风险与管理措施探讨[J]. 散装水泥, 2023, (05): 80-82.
- [8] 李雯. 土木工程实验室建设及管理安全风险防控[J]. 贵州农机化, 2023, (01): 27-28+32.
- [9] 刘贻胜. 土木工程施工中分包管理技术风险分析[J]. 大众标准化, 2022, (06): 144-146.
- [10] 文春林, 胡军, 王海琳, 等. 土木工程施工安全风险与管理措施研究[J]. 科技风, 2022, (10): 77-79. DOI: 10.19392/j.cnki.1671-7341.202210026.

# 智能装配产业园区建筑电气设计研究

盘承勇

深圳市东大国际工程设计有限公司，广东 深圳 518000

**摘 要：** 以某产业园区项目电气设计为例，介绍高低压配电系统设计、应急电源选择、照明设计及节能设计注意事项，为同类项目的电气设计提供参考。

**关 键 词：** 产业园区；供配电系统；负荷等级；节能

## Research on Building Electrical Design in Smart Assembly Industrial Park

Pan Chengyong

Shenzhen Dongda International Engineering Design Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong 518000

**Abstract：** Taking the electrical design of a certain industrial park project as an example, this paper introduces the design of high and low voltage distribution system, selection of emergency power supply, lighting design, and precautions for energy-saving design, providing a reference for the electrical design of similar projects.

**Keywords：** industrial park; power supply and distribution system; load level; energy saving

### 一、产业园区的发展历程

产业园区是伴随着我国的改革开放而诞生、成长与发展起来的。产业园区作为现今社会经济技术发展的引擎和载体，其产品的设计、开发的模式、盈利的模式等等，均与经济发展不同阶段的需要相结合、适应。

从一九七九年深圳设立的第一个产业园区——深圳蛇口工业区开始，中国产业园区的发展大致可以分为四个阶段，具体如下：1. 起步阶段、创建阶段、探索阶段（1979年—1991年）；2. 成长阶段与快速推进阶段（1992年—2002年）；3. 整顿调整阶段（2003年—2015年）；4. 转型升级阶段（2016年以后至今）。

从我国产业园区发展的第一炮至今，工业园到产业园已经走过了40多年，一直伴随着国内经济建设稳健快速发展。产业园区已经成为经济增长的重要引擎与创新引领。一流的产业生产区和集中聚集区，不仅仅是一个国家重大产业发展布局的重要承载之地，也是国家发展综合实力的快速发展的体现。它不仅是国家的一片亮丽名片，更是全世界响当当的相关产业重县。笔者能与多个产业园区项目设计，各个产业园区建筑功能和生产流线不同，用电负荷相差较大，因此电气设计上多有别于其它建筑项目之处。

#### 1. 项目概况

某产业园项目位于江苏省江阴市，整个项目园区内由一栋综合楼、六栋丙类厂房组成；以办公、生产厂房及为主，1#综合楼地上13层，建筑高度46.5米，地下一层平时为汽车库及设备用房，战时局部为二等人员隐蔽所；2#~7#为智能装配类厂房，地上4层，建筑高度23.95m；总建筑面积193888.3m<sup>2</sup>，建筑耐火等级为一级，均为高层房；结构类型为：框架结构。

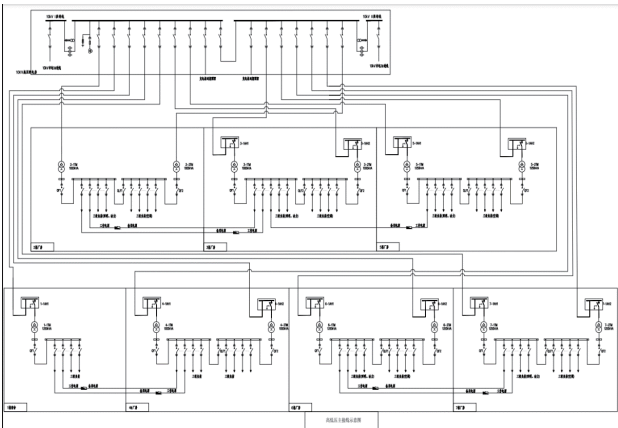
#### 2. 负荷等级

该园区为丙类工业用地，按照 GB 50016 - 2014《建筑防火设计 规范（2018 年版）》第 10.1.1 条、10.1.2 条规定，1#综

合楼内设置泵房内的消防水泵配电、防烟、排烟风机配电、消防电梯配电、应急照明灯、疏散指示照明灯、防火卷帘配电等消防负荷按一级负荷要求供电，1#综合楼主要通道及楼梯间照明用电、2#~7#智能装配类厂房所有消防设备用电、弱电机房等均为二級负荷，其它电力负荷及一般负荷为三级负荷。本园区由于占地面积大，南、北距离约为500多米，考虑用电负荷及经济成本要求，智能装配类厂房采用独立两路10kV供电，互为备用，确保一、二级消防及重要负荷供电，主、备电源分别接自不同变压器的低压母排<sup>[1]</sup>。

#### 3. 10kV 变配电系统

本园区结合用电实际情况及客户需求，厂房体量较大，10 kV中压开闭所设在便接市政接入位置，分别在各栋各设置一处变配电房，变配电房处在负荷中心。根据本项目各建筑单体的功能布局及业主招商的具体需求，并且还应符合用户供配电系统的用电安全、经济、能耗设计的要求，本项目的 10 kV 中压开闭所用电负荷设计总容量为：14750kVA，具体 10 kV 中压变配电所配电干线如下图 1 所示。



> 图 1 中、低压系统示意图



根据建筑特点，在2#智能装配厂房区域设置10kV中压配电室及电工值班室。根据建筑分布的功能及园区厂房分布的位置设置中、低压变电所，按建筑功能及厂房分布形式将1#综合楼和智能装配厂房的中、低压变电所分别设置，物业统一管理。变配电所需要分别在1#综合楼~7#楼智能装配厂房设置，低压变电所供电距离不应大于250米的情况下，变配电所分配及供电用务如表1所示。

如：表1 各个低压变电所容量及供电服务范围

变配电所所址	变电所设置名称	装机容量/kVA	变电所服务范围
1栋综合楼一层	1栋综合楼变压器	1250	1栋楼动力、照明
2栋厂房一层	2栋厂房变压器	2x1000	2栋楼动力、照明
3栋厂房一层	3栋厂房变压器	2x1000	3栋楼动力、照明
4栋厂房一层	4栋厂房变压器	2x1000	4栋楼动力、照明
5栋厂房一层	5栋厂房变压器	2x1250	5栋楼动力、照明
6栋厂房一层	6栋厂房变压器	2x1250	6栋楼动力、照明
7栋厂房一层	7栋厂房变压器	2x1250	7栋楼动力、照明

供电电源：本工程高压拟采用从市政两个不同的变电站母线段分别引入一路10kV市电电源供电。当一个电源发生故障时，另一个电源不应同时受到损坏。10kV电源应从本建筑室外绿化带穿钢管埋地敷设引入2栋楼一层中压配电室。

中、低压配电系统运行方式：两路10kV中压电源采用单母线分段运行方式，中间设母联开关。平时两段母线互为备用，分列运行，当一路电源发生故障时，通过手动操作母联开关，由另一路电源负担酒店100%负荷用电。进线、母联开关之间设电气连锁，任何情况下只能有两个开关处在闭合状态。

## 二、低压供、配电系统的设置方式

### （一）供电系统的运行方式

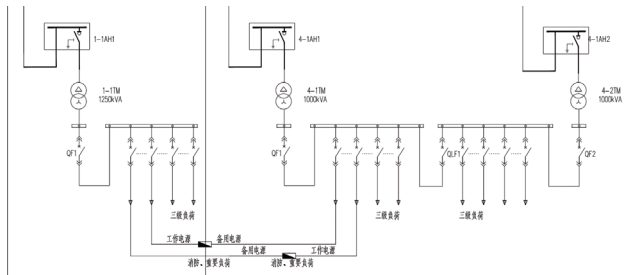
低压配电系统采用各变压器单母线分段的运行方式，中间设联络开关，正常情况下变压器分列运行，因一台变压器由故停运时，经负荷调整后，联络开关手动合闸，各母线段的进线主开关与联络开关之间，设有防止变压器并列运行的联锁机构，任何情况下相关两段母线的三个开关之间，只能有两个开关处于闭合状态<sup>[2]</sup>。

### （二）电力配电系统

低压配电系统采用~220/380V放射式与树干式相结合的方式，对于单台容量较大的负荷或重要负荷采用放射式供电，对于照明及一般负荷采用树干式与放射式相结合的供电方式。

消防负荷采用双电源供电，其中消防控制室、消防水泵、消防电梯的双电源在末端配电箱处自动切换。所有双电源切换装置采用四极开关，带电气与机械联锁。双电源切换装置本体应有检修隔离功能，如本体不带，应在双电源切换装之前加设隔离开关。消防负荷的电源回路与普通负荷的电源回路，供电严格分开，消防负荷配电回路按防火分区划分。非消防负荷的电源火警时通过火灾自动报警系统的控制模块切除。消防专用设备的过载保护只报警，不跳闸。客梯及客货兼用的电梯均应具有断电就近自动平层开门功能。

电力配电系统示意如下：图2所示。



> 图2 电力配电系统示意图

该智能装配厂区总建筑面积较大，地形复杂，建筑、结构造型复杂、多样，本项目在1栋综合楼地下室设置地下停车场、人民防空地下室的人防单元、设备用房等多功能用途的地下室组成，项目地上为单栋宿舍及裙房建筑，2栋~7栋厂区均分开设置于同一地块的不同楼栋。项目10kV的电气主干路由应通过电缆沟沿室外地面埋地敷设到各楼栋低压变电所内，再通过楼栋内的管井垂直走向，采用竖井方式到各个楼层配电间，楼栋的水平主干线路走向应在一层天花沿桥架与各竖向管井进行连通。由于6栋、7栋厂房在运河的对岸，整体制约了10kV管线敷设的走向，应重点考虑走向方式和配合桥梁专业出解决方式。由于管线敷设的多专业碰撞问题，同时还应考虑管与管之间的间距和规范要求等问题<sup>[3]</sup>。

### （三）项目用户安装计量方式

智能装配厂区根据不同租户需求，各厂房出租的性质及厂房生产较复杂，因此对各栋厂房进行总计量，在满足不同生产线运营的需求同时，还应满足物业在实际运行过程中的便利，按楼层分别进行分计量的方式。经与供电部门沟通及咨询要求，供电局电费的读取采用高供高计计量方式收取，业主（物业）读取数据需自行在楼层单独设置计量表，同时采用远程抄表方式方便物业管理；1栋的办公及裙房餐饮部分需要设置一户一表方式计量，为物业自己内部计量，同时采用远程抄表方式方便物业管理<sup>[4]</sup>。

2栋~7栋厂房部分均按栋设置总表的方式，按楼层一层一表或一层多表的方式计量（具体需与招商部进行对接），均为物业计费的内部计量。1栋按功能分区划分为：裙房商业、餐饮、办公等部分；计量方式按功能划分的具体情况，均按功能划分的商业、餐饮、办公设置独立的配电箱，在楼层配电间或电表间设置集中电表，同时采用远程抄表。楼栋公共区域用电的计量方式，按用电功能要求分别在低压柜内设置总计量表。空调系统的负荷计量在各楼层空调配电总箱处设置计量装置，对于空调主机的计量，设置于空调主机房内的总进线位置，同时各计量表均自带S485总线接口。供电部门有联网管理要求的，经供电局同意采用微机抄表系统时，选用带可联网借口的电度表。

各楼栋的电梯用电、自动扶梯用电、水泵用电、消防及普通风机用电、充电桩用电等供电回路在其低压出线回路的供电干线设置多功能计量表或加装单独计量表。采用带通信功能的数字电能表，通过电能管理监控系统，计量总的用电量<sup>[5]</sup>。

## 三、电气节能及能耗管理

设计原则：在充分满足、完善建筑物功能要求的前提下，减



少能源消耗，提高能源利用率；并且综合考虑建筑物供配电系统、电气照明、建筑设备的能效标准以及电气节能、计量与管理的措施及可再生能源的利用，合理选择负荷计算参数，选用节能设备，采用合理的照度标准，减少设备及线路损耗，提高供配电系统的功率因数，抑制谐波电流。而且合理定位建筑智能化系统，信息网络功能完善，建筑通风、空调、照明等设备自动监控系统技术合理，系统高效运营。

设计措施：本项目智能产业园区的电力变压器、电动机、交流接触器和照明产品的能效水平设计高于能效限定值或能效等级3级的要求。考虑建筑供配电系统设计变压器多，电抗损耗大，应进行负荷计算；当功率因数未达到供电主管部门要求时，应采取无功补偿措施，在低压侧集中设置无功补偿装置；考虑季节性负荷、工艺负荷卸载时，为其单独设置的变压器应设置了具有退出运行的措施；同时，项目的水泵、风机以及电热设备采取节能自动控制。本项目建筑的走廊、楼梯间、门厅、电梯厅及停车库照明采用的LED节能灯，同时根据照明需求进采用感应和智能照明等节能控制。对于垂直电梯的控制采取了群控、变频调速控制，

自动扶梯、自动人行道采用变频感应启动等节能控制。冷热源、输配系统和照明等各部分能耗进行独立分项智能表计量。建筑设备管理系统应具有自动监控管理功能<sup>[6]</sup>。

## 四、结束语

本文章题材主要根据项目设计的实际经验，争对智能装配产业园区高、低压配电系统设计，主要总结设计中需要注意的问题：1. 结合项目及建设周期，合理设置变电所及其位置的考虑。综合建筑平面设有较多功能区域和工艺需求，应合理考虑各变电所的位置。2. 为了节省成本，通常不考虑全铺地下室，对电气主干线路在室外走向及与水、暖、燃气专业如何避让的问题。无地下室的情况下，用户变电所原则会设在一层，由中压开闭所出来的所有中压配电线路都要通过室外埋地敷设到各楼栋，对电气设计人员同机电、建筑、结构、燃气等各专业密切配合。3. 需综合考虑各栋单体电气低压变配电房与室内、外的对应标高关系，协调进出室外与室内标高管道进出的衔接。

## 主要参考文献

- 
- [1] 民用建筑电气设计标准 GB 51348-2019.  
[2] 电力变压器能效限定值及能效等级 GB 20052-2020.  
[3] 工业与民用供电设计手册（中国航空规划设计研究总院有限公司）第四版.  
[4] 供配电系统设计规范 GB 50052-2009.  
[5] 建筑设计防火规范 GB 50016-2014(2018年版).  
[6] 20kV及以下变电所设计规范 GB 50053-2013.

# 大跨度型钢混凝土转换梁施工技术

林建刚

深圳市前海产城发展有限公司, 广东 深圳 518000

**摘 要 :** 现代建筑中, 大跨度型钢混凝土转换梁施工技术为核心, 广泛应用于桥梁工程。该结构力学性能和经济效益佳, 但施工复杂、风险高、控制难。具有高强度、抗震性、耐久性和抗腐蚀性等优点。通过对前海控股桂湾汇施工总承包项目的深入分析, 了解大跨度型钢混凝土转换梁在增强建筑结构性能和确保工程质量上的明显优势, 揭示了位于结构首层的大跨度型钢混凝土转换梁的施工重难点, 为相似项目的建设提供了宝贵的参考和实践方向。

**关 键 词 :** 结构首层; 大跨度型钢混凝土转换梁; 施工重难点

## Construction Technology of Large-Span Steel Reinforced Concrete Transfer Beam

Lin Jiangang

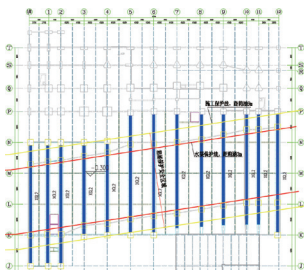
Shenzhen Qianhai Industrial and City Development Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong 518000

**Abstract :** In modern architecture, the construction technology of large-span steel reinforced concrete transfer beams serves as a core component, widely utilized in bridge engineering. This structural configuration excels in mechanical properties and economic benefits, yet it poses challenges due to its complexity, high risk, and difficult control during construction. It offers advantages such as high strength, seismic resistance, durability, and corrosion resistance. Through an in-depth analysis of the Qianhai Holding Guiwanhui general construction contracting project, this paper provides insights into the significant advantages of large-span steel reinforced concrete transfer beams in enhancing building structural performance and ensuring project quality. Furthermore, it reveals the key construction difficulties and focal points of large-span steel reinforced concrete transfer beams located on the first floor of the structure, offering valuable references and practical guidance for similar projects.

**Keywords :** first floor of the structure; large-span steel reinforced concrete transfer beam; key construction difficulties and focal points

## 引言

前海控股桂湾汇施工总承包项目因地下存在一条20.5m宽的排水箱涵横穿地块, 为了保护箱涵, 结构采用型钢混凝土转换梁对箱涵保护区域内的结构竖向构件进行转换, 转换梁位于首层地面以下, 共13根跨箱涵型钢混凝土转换梁, 转换梁总长34.3m ~ 46.8m, 转换梁尺寸为1800mmX3600mm, 其中型钢尺寸为1000mmX3000mm, 单根型钢梁重75t ~ 102t, 型钢混凝土转换梁通过1000mmX1000mmX1300mm H型钢抗剪键与Ø1800的旋挖灌注桩相连, 为了防止整体土方开挖卸载过大而引起排水箱涵上浮, 13根转换梁需按照相应施工工序逐一进行施工(土方开挖→抗剪件区域抽芯→转换梁底筋绑扎→转换梁吊装→临时支撑加固→转换梁上部钢筋绑扎→砖胎膜砌筑→土方回填→混凝土分层浇筑), 施工作业场地狭小, 转换梁内钢筋分布密集, 桩于梁及柱与梁节点钢筋交错复杂, 桩头处理耗时较长, 尺寸精度要求高, 钢梁吊装、钢梁固定、钢筋绑扎、模板搭设及混凝土浇筑施工难度很大。



## 一、工程概况

前海控股桂湾汇施工总承包项目位于深圳市前海自贸区, 东临月亮湾大道, 北接桂湾三路, 南临桂湾四路; 西临怡海大道、平南铁路和规划中的深惠、深莞城际铁路。占地面积约26846 m<sup>2</sup>, 总建筑面积约61502 m<sup>2</sup>, 本工程主要功能为仓储式商业和机动车库。地上三层, 层高分别为首层6.55m, 一层夹层4.1m, 二层8.95m, 三层3.9m。局部地下室功能为设备消防水池, 层高4.35m。结构形式为钢筋混凝土框架结构。本工程相对标高±0.000相当于绝对标高7.000。

## 二、型钢混凝土结构特征

### (一) 型钢混凝土结构概述

型钢混凝土结构是以型钢为骨架并在型钢周围配置钢筋和浇筑混凝土的埋入式组合结构体系, 为混凝土内配置型钢和钢筋的型钢混凝土组合结构, 由混凝土、型钢、纵向钢筋和箍筋组成, 型钢可采用轧制型钢或焊接型钢。由于型钢混凝土的内部型钢与外包混凝土形成整体, 共同受力, 其受力性能优于这两种结构的简单叠加, 具有较高的强度和抗震性能, 同时具备一定的耐久性

能和良好的经济优势。尤其在大跨度结构转换项目中，型钢混凝土结构能够有效地保证结构的强度、稳定性和耐久性<sup>[1]</sup>。

### （二）实腹式与空腹式配钢型混凝土结构

型钢混凝土结构可根据内部配钢形式的不同分为实腹式和空腹式两大类。实腹式型钢通常采用由钢板焊接拼制或直接轧制而成的工字型、H型、口字型、十字型截面等；空腹式型钢一般由缀板或缀条连接角钢或槽钢构成空间桁架式骨架。由于空腹式截面抗震性能较差，在实际设计中较少采用，而实腹式截面强度和抗震性更高，在大型建筑中广泛应用。和常规钢筋混凝土结构比，型钢混凝土结构由于使用型钢作为结构钢骨架，可以用于框架结构、剪力墙结构及筒体结构中的梁、柱、节点中，使结构强度、刚度及整体稳定性明显增加，而且很好的提高了结构延性，结构抗震性能明显提高。

## 三、本工程大跨度型钢混凝土转换梁施工技术

### （一）施工平面布置

本工程施工中，平面布置严格依总承包单位安排，结合现场实际及工期、工序要求科学合理规划。依据招标图纸、文件、答疑，现场及周边调研信息与相关标准规范。要考虑施工通道、周边交通、可利用场地、人车分流、车车分流及“三防”。要合理布局现场，设计进出路径，不扩大用地，规划流程与场地，减少施工道口交通及周边影响，充分利用现有场地潜力。该结构受力、抗震、经济优势明显，是广泛应用的新型结构设计体系。布置施工设备和材料堆场遵循“就近堆放”“及时周转”原则。道路两侧建筑等分类处理并预留安全疏散空间。人员与施工车辆进出口分开设置，人员穿工作服进入并保持安全距离。不同交通工具分大门进出，确保车车分流。加强施工现场安全管理，保障人员及周边居民生命财产安全，防止火灾事故。现场防火、防水、防盗措施完备且布局合理，消除潜在不稳定因素。400t履带吊沿承台8.1m保护线行走，履带吊行走及站位区域地基土压实处理，原状地基土承载力 $f_{ak1}=80\text{kPa}$ ，压实后达 $f_{ak2}=120\text{kPa}$ 。

### （二）现场临水临电布置

据现场考察，依工程按期建成原则，统一规划施工总平面，合理布置使其紧凑；临时性建设及水、电等线路布置不影响正常施工；编制前海控股桂湾汇施工总承包首层转换梁安全专项施工方案，外购材料场外加工成品后再进场，减小临时堆放场地面积。临时用水、电布置，工程从总包指定给水点接入水源，做水表并供消防、施工用水，引出给水管绕一周，主管引两路横干管至生活区，按用水点预留甩口，按间距布置消防栓。临时用电从总包配电房接入，采用三级配电系统。

### （三）构件进场施工

#### （1）土方开挖

根据抗浮验算，单次开挖长度不大于51m即可局部开挖。因此，本工程箱涵区域共分为3段进行施工，土方开挖跟随转换梁分为3段有序施工。土方开挖用3台反铲挖掘机开挖，开挖前做好标高的复测工作，土方外运由西侧临时施工道路进行外运。开挖时，应注意运输道路的通畅，如遇到软土或车辆陷轮，应采取措

施，用钢板铺路等。土方开挖按1:1.29放坡开挖。土方开挖至设

#### （2）抗剪槽钻孔施工

跨箱涵型钢砼转换梁两端皆焊接H型钢锚入灌注桩作为转换梁抗剪键，其截面为1000mmX1000mmX1300mm的H型钢。桩头抗剪槽需后期钻孔抽芯凿除，施工工序繁杂，钻芯截面尺寸与标高控制难度大，单个抗剪件施工周期约为4天（涵盖钻芯、找平、清理等工序）。需先把桩头破除至设计标高并平整，然后通过钻孔抽芯的方式开凿出抗剪槽，抗剪槽洞口抽芯完成后再由人工进行精细修整找平。

#### （3）施工场地部署

为了便利钢梁现场拼装，于场地北侧设置2个50m×4m的拼装场，场地平整至底板底标高。拼装场地地基处理后采用200mm厚的C30素混凝土硬化，经验算后满足地基承载力要求。在钢梁拼装前设置好临时支撑胎架，由于钢梁截面较大，为了拼装过程中焊接方便，现场采用钢梁卧式拼装焊接。

#### （4）转换梁底部钢筋铺设

转换梁劲性结构配筋密集、钢材用量大，钢筋主筋直径为C16和C25，箍筋直径C12，拉筋直径为C6。钢筋在现场加工制作，成型后由汽车吊配合塔吊吊运箱涵转换梁施工区域进行绑扎施工。C16及以上钢筋采用直螺纹连接。

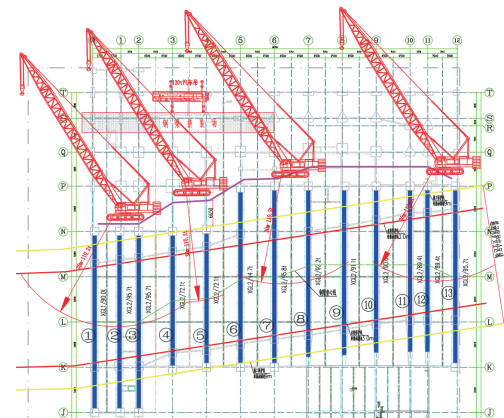
考虑到现场时间条件受限，并征求设计同意后，转换梁箍筋采用开口形式，先绑扎完成转换梁下部纵筋及下U型箍，然后吊装钢梁，最后搭设操作架体，再继续绑扎完成剩余转换梁上部钢筋。转换梁拉筋加工时，需设置为一端弯钩，现场穿腹板绑扎完成后在进行直段弯曲。转换梁箍筋设置钢筋PVC垫块或水泥砂浆垫块，避免砖胎模侧壁回填时挤压砖胎模，导致保护层厚度减小。

转换梁钢筋绑扎采用盘扣式脚手架搭设而成，主要用于人员上下操作及外防护。立杆纵距1500mm，横距600mm，步距1500mm。

操作架每两跨设置抛撑，即用一根斜钢管，一端用旋转扣件连接在立杆上，另一端斜撑在周边边坡坚硬土面上，与地面的倾角在45°~60°之间，保证操作架安全可靠。

#### （5）钢梁吊装

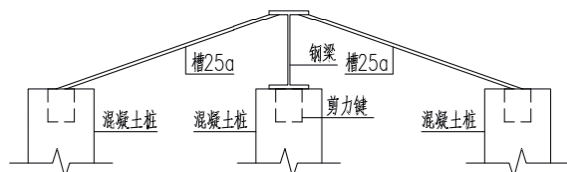
单根钢梁最大重量约为100t，钢梁现场拼装完成后采用400t履带吊进行整体吊装。涵北侧设置拼装场地及20mm厚钢板路面供履带吊行走吊装。13条钢梁最大吊装半径30m，钢梁钢筋约35t。400t履带吊在42m超起重型主臂，大臂倾角52°，240t超起重重工况下额定吊重165t，满足吊装要求。





#### (6) 型钢梁侧向稳定加固施工

为了防止首条钢梁在安装过程中发生倾覆,需对钢梁进行侧向加固。加固采用 C25 槽钢,一端焊接在钢梁上翼缘边缘处,另一端固定在灌注桩的埋板上。其余型钢梁安装就位后吊装机械不松钩,用 C25 槽钢将钢梁与相邻已经稳固的型钢梁刚接,C25# 拉结钢梁共设三道。



#### (7) 砖胎膜砌筑及混凝土浇筑

转换梁侧模及承台用预制砖胎模,转换梁吊装、钢筋绑扎后分阶段砌筑。因转换梁中间设计有次梁,砖胎膜和混凝土浇筑以次梁底 2100mm 高为界分两次,单次混凝土分层浇筑,上层初凝前完成,下料钢筋两侧对称,振捣对称,用低水化热水泥、低收缩率混凝土,粗骨料粒径不超过 25mm。 $0 < h \leq 1100$  时砖胎膜厚 400mm, $1100 < h \leq 2100$  时厚 200mm,砌到 2100mm 高时回填土方,首次回填后浇转换梁混凝土,再砌砖胎膜, $2100 < h \leq 2500$  时厚 400mm, $2500 < h \leq 3420$  时厚 200mm,此时二次回填,待次梁土方开挖、砌筑砖胎膜及完成次梁和转换梁上部钢筋绑扎后,一起浇筑梁与转换梁混凝土。劲性结构构件浇筑后加强养护,可全覆盖塑料薄膜,养护不少于 14 天。

#### (四) 钢梁安装布置

横跨箱涵的钢梁共 13 根,为了保护箱涵,避免钢梁施工过程中对箱涵产生损坏,钢梁需整根吊装。根据钢构件重量、截面尺寸及现场情况,拟在现场箱涵保护线外北面布置一台 400t 履带吊,履带吊沿箱涵保护线行走,将拼装好的钢梁整根吊装就位。由于本工程地下水位较高,钢梁下方箱涵在施工过程中有上浮风险,所以钢梁需分批次安装,待先装钢梁浇筑砼并填土完成后方可开挖下一批钢梁地基土。根据现有工程资料,本项目 13 根超大尺寸型钢梁拟分两个批次进行安装。钢梁安装顺序从中间往两边分两个阶段进行。

#### (五) 钢梁安装施工技术

钢梁安装时要清理表面污物,吊装前对连接板和摩擦面除锈。测量校正时确保标准框架整体精确,吊具与钢柱平行以防钢梁弯曲变形。安装后检查贴合方向,按钢柱吊装顺序操作以构建框架并保证垂直。梁端及支座焊接部位加强处理。吊装定位确保方向和水平正确,起吊时将钢梁端部绑牢,定位后用冲钉和常规螺栓紧固。钢梁起吊要水平且与地面保持距离,工厂加工时设吊装孔或吊耳,大跨度大吨位钢梁用焊接吊耳技术<sup>[3]</sup>。

钢梁到预定位置后迅速固定连接板,对轻微孔洞偏差用冲钉调跨度,再用安装螺栓紧固,偏差大可适当处理。规定安装螺栓数不低于节点总数 30% 且不少于 2 个。钢梁工厂加工时焊吊耳,用卸扣连接,禁用钢丝绳捆扎起吊,同时每隔 3 米设 1.2 米脚手架管支撑安全绳并悬挂  $\phi 9$  钢丝绳,施工人员带双钩安全带经外筒钢柱进入操作区,安装后立即拉设安全绳以便施工人员挂安全带确保施工安全。

#### (六) 钢结构焊接施工技术

上下柱的工地连接采用全熔透焊接。当框架梁高不大于 800mm 时,宜带出一段悬臂段再进行梁梁拼接,该悬臂段长度从柱端算不少于  $L_n/10$  及 1 倍梁高 ( $L_n$  为梁净跨),悬臂段与柱的连接采用全熔透等强度焊接。箱型截面(含型钢混凝土柱的箱形钢骨)组装焊接时应设置足够刚度的内隔板(含组装过程临时内隔板件)以保证箱体的坚固性,组装过程临时设置内隔板件(工艺板),现场拼接接头处每段箱型截面端部应设置内隔板,永久内隔板结合节点区详图所示的要求确定,当其间距大于 6m 时应加设内隔板,对于箱型截面矩形钢管混凝土构件,内隔板应设置浇灌孔和排气孔,通常箱型截面内隔板按下表取值(B 为较小边),在节点区,隔板和壁板的焊接应使用完全熔透的焊缝,而对于那些不能手动焊接的焊缝,建议使用熔嘴电渣焊,并确保焊缝的对称布局与焊接同步进行。

#### (七) 梁柱节点焊接施工技术

本工程钢梁翼缘板焊接时应力变形大。若先焊后栓,焊接翼缘板会导致腹板变形使高强螺栓难穿过;若先初拧高强螺栓再焊翼缘板,焊接变形会使腹板摩擦面位移致螺栓受剪且轴力减少,故柱梁连接栓焊组合节点采用先终拧高强螺栓后焊接的方法。栓焊组合节点焊接采用上下翼缘轮换法,可减小厚板变形和内应力,步骤为:先焊下翼缘至 1/3 焊缝高度,再焊上翼缘至 1/3 焊缝高度,接着焊下翼缘至完成,最后焊上翼缘至完成。柱梁全焊组合节点中,H 型钢梁全焊节点焊接步骤是先焊下翼缘至 1/3 焊缝高度,再焊上翼缘至 1/3 焊缝高度,然后焊腹板至 1/3 焊缝高度,再焊下翼缘至完成,再焊上翼缘至完成,最后焊腹板至完成;型钢梁全焊节点焊接步骤是先焊腹板至 1/3 焊缝高度(两侧腹板同时对称焊),再焊下翼缘至 1/3 焊缝高度,接着焊上翼缘至 1/3 焊缝高度,然后焊腹板至完成,再焊下翼缘至完成,最后焊上翼缘至完成。柱梁全焊节点焊接时上下翼缘要多次轮换且严控层间温度,每步焊接前需重测焊道温度,低于则加热至最低预热温度才可继续焊接。

## 四、结束语

大跨度型钢混凝土结构融合型钢、钢筋和混凝土,形成一个坚固结构体系,具有良好的抗震和耐久性,经济优势显著。该结构适应性强,稳定性高,在大工程中扮演关键角色,尤其适合应用于大跨度的结构体系中,推动了建筑行业向更高标准发展。随着需求变化和科技进步,大跨度型钢混凝土转换梁施工技术有望进一步优化创新。

## 参考文献

- [1] 陈琦. 大跨度型钢混凝土梁的有限元分析[J]. 安徽建筑, 2024, 31(3): 59-61.
- [2] 罗玉龙, 王林, 王东. 高空间大跨度型钢混凝土梁施工技术[J]. 建材与装饰, 2019(27): 30-31.
- [3] 武永丽, 刘鹏云, 李芳军, 等. 大跨度型钢混凝土梁承载力及影响因素分析[C]. // 第二十二届现代结构工程学术研讨会论文集. 2022: 267-272.



# 岭南地区地景式商业文化建筑的绿色生态设计策略研究

刘一欣

筑博设计股份有限公司, 广东 深圳 518000

**摘 要 :** 随着城市快速发展对用地的需求量急剧增大, 城市用地日趋紧张, 城市地上空间资源日益短缺。为了有效解决城市建设过程中出现的交通拥挤、环境污染等一系列影响城市现代化进程问题, 越来越多的城市开始将目光投向了地下空间的开发与利用, 于是随之诞生出一系列地下建筑。地下建筑以景观视角与建筑完美整合, 完成建筑与城市肌理的自然衔接, 以景观化建筑作为都市单元活跃了周边城市区域, 是为地景式建筑。

**关 键 词 :** 地景式建筑; 热舒适性; 采光通风; 水土保持; 绿色生态

## Research on Green Ecological Design Strategies for Landscape-style Commercial Cultural Buildings in Lingnan Region

Liu Yixin

Zhubo Design Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong 518000

**Abstract :** With the rapid development of cities, the demand for land use has increased dramatically, urban land use is becoming increasingly tense, and urban ground space resources are increasingly scarce. To effectively address a series of issues that affect the process of urban modernization, such as traffic congestion and environmental pollution, that arise during urban construction, more and more cities are beginning to focus on the development and utilization of underground space, giving birth to a series of underground buildings. Underground buildings are perfectly integrated from a landscape perspective, completing the natural connection between the building and the urban fabric. Using landscaped buildings as urban units activates surrounding urban areas, which are known as landscape-style buildings.

**Keywords :** landscape-style architecture; thermal comfort; daylighting and ventilation; soil and water conservation; green ecology

## 引言

地下空间是一种极其宝贵的自然资源, 具有不可再生性、不可逆性; 城市的地下空间开发有着丰富的潜力及用途的多样性, 但同时会带来一系列的挑战与问题。本文将探讨地景式建筑的设计策略, 最大限度的发挥地景式建筑的优势, 并从技术上解决地景式建筑的劣势所带来的问题。

## 一、地景式建筑研究基础

### (一) 地景式建筑的特质

1. 呼应城市地形: 选择性保留原有场地因素, 重组场地信息, 是地景式建筑设计呼应场地的两个惯用策略。
2. 重构城市地表: 通过一体化的大尺度、整体性的屋顶形态的变化将建筑体量消解于城市环境中, 借助人工的力量以相对人工化的形态将城市地表重现自然的景观形态。
3. 激发城市活力: 巨大规模的现代建筑占用人们活动的公共空间, 隔绝人们同自然的联系。我们不能对现代建筑全盘否定, 但需要考虑如何在保持现代建筑原有特性的情况下消除这些消极的影响。地景式建筑是一个很好的解决策略, 它在提供现代生活需要的巨大室内空间的同时, 又提供了一个不破化地表连续性的界面, 为

城市提供便捷通道、提高公众在建筑内部外部的参与度<sup>[1]</sup>。

### (二) 地景式建筑的优点和不足

1. 优势: ①恒温, 能较好地绝热和蓄热; ②抗震性能强; ③隐蔽性好, 能经受和抗御武器的破坏; ④气密性、遮蔽性、隔声性均良好, 并能收到保护环境的效果; ⑤具有良好的地下水保持性; ⑥节约使用土地资源; ⑦空间开挖有很大的灵活性。
2. 劣势: 见不到阳光、温差小、湿度大; 空气封闭压抑, 不易流通; 人员活动不自在; 环境噪音级增强; 微生物繁殖快; 不可逆性, 地下空间一经建成后, 对其再度改造与改建的难度是相当大的, 不可能恢复原样。地下构筑物的建设成本高, 工期长, 难于利用太阳光及天然景观, 方向性感观较差。

我们不能因地景式建筑的劣势而对其否定, 而应该考虑如何最大程度的发挥其优势, 并在技术上解决劣势带来的消极影响。

## 二、地景式建筑理念下岭南地区商业文化建筑的设计需求及制约因素

地景式商业文化建筑设计，需要在满足使用功能的前提下，将自然元素融入建筑，创造出一个与周围环境相互呼应的使用空间，同时满足对内使用功能（购物、餐饮、会议、演讲等）需求、对外市民公众游览憩息需求。

### （一）协调外部环境需求

地景式建筑强调与周围环境的融合与互动，建筑的屋顶绿化设计最大程度的保留城市绿化公园的绿地，打造与自然相互渗透的绿色建筑，形成多层次生态景观，通过大面积的绿植增加固碳及降低碳排放。

### （二）增加公共空间需求

在延续城市景观界面的同时，充分考虑岭南地区沿海气候特征，借助骑楼、下沉庭院、架空等设计元素，形成穿插的遮阳避雨廊下空间，提升场所舒适度。规划设计“半室外”的城市公共通道贯穿建筑内部，既获得丰富的公共活动空间，同时节能减排，大幅降低空调的使用频率。

### （三）满足内部功能需求

做为商业文化建筑，建筑空间需结合周边配套及商业设计统筹考虑，空间设计中统筹考虑周边商业配套，留足空间，优化效果。结合商业运营的差异化定位，打造商业街+复合多元文化综合体模式。

综合考虑后期空间的灵活使用，结合建筑的空间条件，商业的常变常新，餐饮范围最大化的设置需求，在优化成本的同时，充分预留建筑空间、使用率、层高、机电等建筑条件。

### （四）功能需求及造型效果的相互制约

#### 1. 预留餐饮制约因素：

地景式建筑屋面景观效果及屋面人员活动不受干扰的硬性要求与餐饮设计所需油烟排放等互为制约。

排油烟设计：需结合地景埋地式建筑条件，明确排油烟及燃气适用范围、设计措施，确保餐饮范围最大化，综合考虑屋面人员活动空间的完整性，优化油烟井布置。

燃气设计：结合地下空间的大面积下沉庭院开敞骑楼等区域，有自然通风条件的商铺可以考虑预留燃气管道设置条件。

#### 2. 净高制约因素：

土建工程中地下室建设成本较地上建筑高出许多，需合理平衡建筑埋深、控制地下成本与建筑净高之间的关系。协调各专业，通过优化结构高度，设备层高度及管线路由，在不增加层高的情况下确保净高最大化。

#### 3. 出地面楼梯管井制约因素：

结合地景式建筑屋面景观效果，出屋面楼梯、管井及设备间需考虑隐藏设置。疏散楼梯必不可少，应合理优化本片区竖向交通体系，优化防火分区，调整疏散布局，整合出屋面楼梯的数量和位置。管井设计考虑：1. 新风井、进风井以管道夹层的方式引至侧墙排放；2. 排风井、排烟井在屋面覆土层内部消化，地面排放；3. 排油烟井考虑行人不宜靠近，以绿植围挡。

## 三、岭南地区地景式商业文化建筑的绿色生态设计策略

### （一）热舒适度设计策略

岭南地区湿热多雨，通风设计尤为重要，常用的设计手法半开敞空间与室外连通，热舒适度较难控制，为了更好的使顾客驻足在该区域，尤其是夏季的热舒适度需要得到一定的保障，尽量确保温度、湿度、风速等和舒适度相关的参数控制在合理的区域内，使人体感到舒适。

大面积屋顶绿化，可改善局部微气候，降低太阳辐射，降低热岛强度，对架空空间内的热环境有较好的积极作用，改善整个场地内的热舒适状况。岭南地区“骑楼”设计，为廊下区域提供遮阳、避雨功能；为架空通道形成部分遮阳，较大程度的改善太阳直射导致的不舒适<sup>[2]</sup>。

### （二）水土保持设计策略

#### 1. 水土保持措施

（1）场地坡度及地形设计：在方案设计阶段，根据场地的地形情况，采取适当的地形调整措施，减缓坡面径流速度降低水土流失的发生。

（2）覆土植被：在场地开挖和地形调整完成后，对裸露的土地进行及时的覆土植被，选择适合于当地气候和土壤条件的植被种类，提高植被覆盖率，减少土壤侵蚀的风险。

（3）排水系统：合理设计场地的排水系统，避免水体积聚，造成场地内的积水和泥滑现象，同时避免排水管道的渗漏，保护场地内的地下水资源。

（4）管理措施：在景观工程的日常管理中，对植被和水体进行适时的养护和管理，保证景观工程的水土保持效果能够持续和稳定地发挥作用。

#### 2. 屋面构造设计

屋顶花园的覆土既可满足屋面保温隔热的需求，又可满足城市公园界面的绿化需求。

建筑的屋面对建筑室内的保温隔热有着较大影响，地景式建筑可利用覆土屋面降低屋面的传热系数，以较经济的方式增强建筑的热工性能，提高室内温度的稳定性，降低建筑的后期运维成本。

覆土屋面各构造层次与功能如下（图1）：

屋2	种植坡屋面（设置保温层，种植屋面）（上人屋面）	防水等级	I 级
1、	面层为中轴景观工程负责		
2、	种植土层		
3、	无纺布（或玻纤布）过滤层（300g/m <sup>2</sup> ）		
4、	20高凸凹型塑料排水板（承压荷载200KN/平米），凸点向上；		
5、	70厚C25细石混凝土，表面压光，混凝土内配Φ6（Φ4）@150（100）双向，分格缝不大于4m，缝宽15，缝内填聚氨酯密封胶		
6、	干铺玻纤布一层隔离层（200g/m <sup>2</sup> ）		
7、	50厚XPS阻燃型挤塑保温隔热板（燃烧性能B1级）；		
8、	耐根穿刺防水层：4厚SBS耐根穿刺改性沥青防水卷材（II型PY类）		
9、	第二道防水层：3.0厚自粘聚合物改性沥青防水卷材（PY类双面粘）		
10、	第一道防水层：2.5厚非固化橡胶沥青防水涂料，四周沿墙上反建筑完成面以上350mm		
11、	钢网混凝土屋面板，原浆抹平压光		

> 图1：坡屋面构造做法

#### 3. 土壤及防滑坡设计

回填土建议采用质地疏松，通气透水的壤土作为回填土，不

得含有大块的石块或建筑垃圾；场地内绿地表面建议采用优质种植土，优质种植土配比：80% 园土，15% 腐殖土，5% 有机肥。土壤块茎小于5cm，土壤不能出现板结，不允许基坑渣土，建筑垃圾等情况出现。种植土需明确取土点，经有资质检测单位检测合格后方可进场。在覆土前，考虑预留排水、供水及电气系统的位置，以便未来维护。

（三）注重生态性的绿色低碳设计策略：

为积极响应落实国家“碳中和、碳达峰”政策，建设绿色低碳建筑，年均减碳量1084吨。在规划、设计、建设和管理过程中，应充分考虑节能、环保、可再生能源利用等方面，以实现建筑的低碳、绿色化运行。项目在设计之初就应明确减少碳排放的目标。通过可再生能源利用、合理的冷源系统设计、雨水中水回收利用等方式达到低碳减排的目的。

1. 可再生能源利用

太阳能光伏建筑一体化设计

地景式建筑屋面为上人景观公园，为大量游览人员活动区域，且光伏面板对鸟类的日常活动和安全都有一定的负面影响，因此不宜在屋顶大面积设置光伏玻璃；需综合考虑各个区域的活动属性、项目人流的分布、建筑接受阳光的角度及周边建筑的遮阳来分析，在项目中采用光伏设计的范围及用量。产生的电量可提供地下车库部分照明使用。

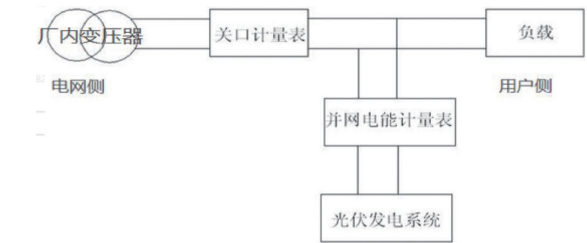
光伏安装方式：混凝土基础 + 支架安装，不影响屋面防水层结构；

光伏荷载：光伏电站要求的承载力为15-30Kg/m<sup>2</sup>，屋面满足该承重要求；

安装角度：可平放于屋顶。

防雷接地、过载保护和漏电保护装置，安全可靠。

输电过程：光伏组件发电后，通过逆变器由直流电变为交流电，接入场内变压器低压侧，优先供给馆内用电，若光伏发电量高于馆内用电，则剩余电量通过变压器反送回电网，若光伏发电量低于馆内用电，则光伏发电量完全消纳，不足部分由电网自动供给，无需切换，无断电风险（图2）。



> 图2：输电过程示意

资料来源：网络

2. 冷源系统设计

考虑成本控制，降低长期运营成本，如：

利用项目消防水池做为水蓄冷系统的条件，按照水蓄冷进行冷源系统设计。投资回收期（约3-5）年过后，可较常规冷源系统每年节省高额电费。

水蓄冷系统介绍：技术利用峰谷电价差，在低谷电价时段将冷量存储在水中，在白天用电高峰时段使用储存的低温冷冻水提供空调用冷。当空调使用时间与非空调使用时间和电网高峰和低谷同步时，就可以将电网高峰时间的空调用电量转移至电网低谷时使用，达到节约电费的目的。

3. 雨水中水回收利用设计

随着绿色建筑的大力发展，许多新建项目设计时不只要考虑自身，还要兼顾建设周边已建项目地块雨水收集、中水利用，承担社会公益功能建设。

中水处理回用，原水为优质杂排水，处理达标的中水用于绿化、冲洗、冲厕、集中空调冷却水补充水及景观水体补充水。建筑雨水收集回用，原水为项目红线内经弃流后的雨水，处理达标后用于绿化、冲洗、冲厕、集中空调冷却水补充水。

（四）防水排水排涝设计策略

岭南地区本身湿热多雨靠近海边，且地下建筑对于排水排涝的需求更高，设计时需注意：

（1）基地不位于市政的低洼地段，场地标高高于市政道路标高。

（2）合理设计暗沟、盲沟、地面明沟及雨水口，暗沟设置雨水检查井、沉沙井，接至总图雨水井。

（3）加强设计地下空间雨水排水。

四、结束语

综上所述，随着城市的快速发展，人们对于建筑空间与自然环境也愈发高要求，从最初单纯追求建筑空间实用性，逐渐转变为注重生态环境品质。建筑形式与基地周围的环境相融合的地景式建筑，可利用地下空间，弱化建筑自身的体量，将建筑基地周边大地景观的特征与趋势抽象出来作为新建建筑的构成元素，建筑宛如从当地环境中生长出来，达到与周边环境相融合并、减少新建建筑对周围环境的破坏、将建筑地面空间还给当地居民的目的。

参考文献

[1] 王亚超. 基于地景建筑理念的拉扎池革命纪念馆设计研究 [J]. 工程科技 II 辑, 2023-01-16——2023-02-15.  
[2] 陈克强. 地景化建筑设计手法研究 [D]. 天津大学, 2014.

# 配网自动化技术在提升电网安全稳定性方面的作用研究

肖阳波, 张功华, 刘红

国网湖北省电力有限公司潜江市供电公司广华供电所, 湖北 潜江 433124

**摘 要 :** 配网自动化技术是现代电力系统中不可或缺的一部分, 它通过集成先进的通信、控制和信息技术, 实现对配电网的实时监控、故障检测、隔离和恢复供电等功能, 当前研究配网自动化技术的应用对于提升电网的安全稳定性具有重要意义。针对于此本文首先对配网自动化技术进行概述, 随后阐述了配网自动化技术在提升电网安全稳定性方面的重要性, 并针对企业实际应用中存在的问题提出了相应的优化策略, 期望能为电网稳定性的提升做出贡献。

**关 键 词 :** 配网自动化技术; 电网安全性; 电网稳定性

## Research on the Role of Distribution Network Automation Technology in Improving the Safety and Stability Of Power Grid

Xiao Yangbo, Zhang Gonghua, Liu Hong

Guanghua Power Supply Office, Qianjiang City Power Supply Company, Hubei Province Electric Power Co., Ltd. Qianjiang, Hubei 433124

**Abstract :** Distribution network automation technology is an indispensable part of modern power systems. By integrating advanced communication, control, and information technology, it realizes real-time monitoring, fault detection, isolation, and power restoration functions for the distribution network. The current research on the application of distribution network automation technology is of great significance for improving the safety and stability of the power grid. To this end, this paper first provides an overview of distribution network automation technology, then elaborates on the importance of distribution network automation technology in improving the safety and stability of the power grid, and finally, based on the problems existing in the actual application of enterprises, corresponding optimization strategies are proposed, with the hope of contributing to the improvement of power grid stability.

**Keywords :** distribution network automation technology; power grid safety; power grid stability

## 引言

随着全球能源结构的转型和电力需求的不断增长, 配网自动化技术的发展显得尤为重要。配网作为电力系统的重要组成部分, 其运行的稳定性和可靠性直接关系到整个电网的安全。传统配电网由于缺乏有效的监控和管理手段, 往往在面对突发故障时反应迟缓, 处理效率低下, 这不仅影响了供电的可靠性, 也增加了电网运行的风险。

## 一、配网自动化技术概述

### (一) 配网自动化技术的发展历程

配网自动化技术的发展历程可以追溯到20世纪70年代, 当时主要是为了提高配电网的运行效率和可靠性。在早期的配网自动化系统设计时主要依赖于固定式遥控终端单元和电话线通信, 在应用中的功能相对简单, 主要用于远程监控和控制开关设备。而随着计算机技术的发展, 使得配网自动化系统开始集成更多的智能控制功能。在进入21世纪之后, 配网自动化技术随着智能电网概念的提出得到了快速发展。智能终端设备、先进的传感器技术、大数据分析和云计算等技术的应用, 使得配网自动化系统能

够实现更高级别的智能化和信息化管理。系统不仅能够实时监控电网状态, 还能进行负荷预测、需求响应管理、分布式能源接入控制等, 大大提高了配电网的灵活性和经济性<sup>[1]</sup>。

### (二) 配网自动化技术的主要组成部分

如今广泛应用的配网自动化技术主要组成部分包括馈线自动化、变电站自动化、配电管理系统等。馈线自动化是指通过安装在馈线上的自动化设备, 实现故障检测、隔离和恢复供电等功能, 从而提高供电可靠性和供电质量。馈线自动化系统通常包括智能开关、故障指示器、等设备, 它们能够实时监测线路状态, 并在发生故障时迅速作出反应。变电站自动化则是指利用先进的计算机技术、通信技术和控制技术, 实现变电站运行的自动化监

作者简介: 肖阳波 (1981.09—), 男, 汉族, 湖北省潜江市人, 大学专科, 技师, 研究方向: 从事电力生产与营销服务。



控和管理。配电管理系统是配网自动化的核心，它通过集成各种信息和控制功能，实现对配电网的全面监控和管理。

## 二、配网自动化技术在提升电网安全稳定性方面的重要性

### （一）实时监控与故障快速定位

在当前配网自动化技术的广泛应用下，使得电网安全稳定性得到了极大的提升，实时监控与故障快速定位是其中的关键功能之一。相关部门通过安装在电网各关键节点的智能传感器和监控设备，配网自动化系统能够实时收集电网的运行数据，包括电压、电流、功率等参数。这些数据通过高速通信网络传输至控制中心，由先进的数据处理软件进行分析。系统能够即时识别出电网运行中的异常情况，如过载、短路、电压不稳定等，从而实现对电网状态的实时监控。当发生故障时配网自动化系统能够迅速进行故障定位。利用先进的算法和故障分析技术，系统可以精确判断故障发生的位置，甚至能够识别出是单相接地故障还是多相短路故障。这种快速定位能力极大地缩短了故障处理时间，减少了停电范围，提高了电网的供电可靠性<sup>[2]</sup>。

### （二）优化电网运行效率

在优化电网运行效率层面，配网自动化技术通过实时监控和数据分析能够及时发现电网中的异常情况，从而快速响应并采取措施，在帮助企业减少停电时间的同时还提高供电可靠性。此外配网自动化系统能够实现负荷的动态管理，通过智能调度，优化电力资源的分配，减少线路损耗，提升整个电网的运行效率。

### （三）增强电网自愈能力

随着社会对于用电需求日益增加，使得当前相关部门需要更加重视电网安全稳定性。而配网自动化技术的应用能通过实时监控和智能控制，来快速响应电网运行中的各种异常情况，从而有效增强电网的自愈能力。例如在某城市电网中，相关部门就通过部署配网自动化系统实现了对电网运行状态的实时监控。当系统检测到某条线路发生故障时，能够迅速定位故障点，并自动隔离故障区域，同时重新调整电网运行方式，将未受影响的区域与故障区域隔离，确保供电的连续性和稳定性。这种快速的故障处理能力，大大缩短了停电时间，提高了供电可靠性<sup>[3]</sup>。

### （四）提升用户用电体验

在用户体验层面，配网自动化技术显著提升了用户用电体验。在具体的应用中，配电网系统通过实时监控和智能分析能够快速响应用户的用电需求变化，实现负荷的动态平衡。用户不再需要担心因电网负荷过高而导致的频繁停电问题，因为系统能够自动调节电网的运行状态，确保供电的连续性和稳定性。此外配网自动化技术还为用户提供了更加灵活的用电选择。例如智能电表的普及使得用户能够实时查看自己的用电情况，根据电价的峰谷时段调整用电习惯，从而有效降低电费支出。同时用户还可以通过智能电网平台参与到需求响应项目中，通过减少非高峰时段的用电量，帮助电网公司平衡负荷，进一步提升整个电网的运行效率。总之配网自动化技术不仅提升了电网的安全性和稳定性，

还极大地改善了用户的用电体验，使得电力服务更加人性化、智能化。随着技术的不断进步和应用的深入，未来的电力系统将更加高效、可靠，为用户带来更加优质的用电体验<sup>[4]</sup>。

## 三、提升电网安全稳定性时应用配网自动化技术的难点

### （一）设备兼容性与标准化问题

在当前相关部门应用配网自动化技术时，会遇到的设备兼容性与标准化等问题。具体而言配网自动化技术的实施需要各种智能设备和系统的协同工作，但目前市场上设备种类繁多，不同厂商的产品在通信协议、数据接口等方面存在差异，导致设备间的兼容性问题。这不仅增加了系统集成的复杂性，也提高了维护成本<sup>[5]</sup>。

### （二）数据安全性与隐私保护挑战

近些年来随着全球能源结构的转型和智能电网技术的快速发展，配网自动化技术成为提升电网安全稳定性的重要手段。配网自动化技术通过集成先进的通信、控制和信息技术，实现电网的实时监控、故障定位、隔离和恢复供电等功能，极大地提高了电网的运行效率和可靠性。然而应用配网自动化技术的过程中，数据安全性与隐私保护问题尤为突出。例如在某座城市的配网自动化改造时，引入了大量智能终端设备和先进的数据采集系统。这些设备和系统能够实时收集电网运行数据，为电网的稳定运行提供了有力支持。然而随着数据量的激增，数据安全和隐私保护问题也日益凸显。例如智能电表能够记录用户的用电习惯和模式，如果这些数据被未经授权的第三方获取，可能会对用户的隐私造成侵犯。

### （三）高成本投入与经济效益平衡难题

配网自动化技术的实施需要大量的资金投入，包括硬件设备的购置、软件系统的开发与升级、通信网络的建设以及专业人才的培养等。这些投入在短期内往往难以看到直接的经济效益，尤其是对于一些资金有限的地区或企业来说，高成本投入与经济效益的平衡成为了一个显著的难题。例如某地区电网公司计划实施配网自动化项目，初步预算显示仅硬件设备的购置就需要数百万美元。此外还需要对现有的电网架构进行改造，以适应自动化技术的要求，这又是一笔不小的开销<sup>[6]</sup>。

### （四）技术人员培训与专业人才短缺问题

相关部门在应用配网自动化技术进行电网安全稳定性提升时，由于配网自动化技术涉及先进的通信、控制、信息技术和电力系统知识，这就要求操作人员不仅要有扎实的理论基础，还要具备丰富的实践经验。然而目前电力行业面临的一个普遍问题是专业人才的短缺。一方面是因为现有的技术人员可能缺乏足够的培训来掌握新技术。而另一方面是因为高校和培训机构培养的电力专业人才数量和质量可能无法满足行业需求<sup>[7]</sup>。

## 四、提升电网安全稳定性时应用配网自动化技术的优化策略

### （一）执行统一的设备接口与协议

相关单位为了解决配网自动化技术应用中的设备兼容性与标

准化问题，其采用的执行统一的设备接口与协议策略是至关重要的一步。相关部门在具体实施中可以通过制定和实施统一的通信标准和协议，来进一步确保不同厂商的设备能够无缝集成和高效协作。这样不仅减少了企业内部设备间的兼容性问题，还提高了系统的整体可靠性和维护效率。这就需要相关单位应推动行业内部达成共识，制定一套全面的设备接口标准。这包括物理接口、数据格式、通信协议等各个方面，确保所有设备在设计和制造时都遵循这些标准<sup>[8]</sup>。

（二）建立严格的数据访问控制机制

随着智能电网技术的快速发展，配网自动化技术在提升电网安全稳定性方面发挥着越来越重要的作用。为了确保电网运行的高效和安全，建立严格的数据访问控制机制显得尤为关键。举例来说，某地区电网公司通过实施精细化的数据访问控制策略，显著提升了其配网自动化系统的安全性。在具体的实施中该公司管理者对所有操作人员进行了严格的权限分级管理。相关部门需要根据员工的职责和工作需要来分配不同的访问权限，确保每个人只能访问其工作范围内的数据和资源。例如一线运维人员仅能访问与日常维护相关的数据，而高级管理人员则可以访问更全面的系统信息。这种分级管理有效防止了数据的滥用和误操作<sup>[9]</sup>。

（三）通过政府补贴、税收优惠等政策手段降低初期投资成本

企业为了进一步提升电网的安全稳定性和响应速度，需要加大对配网自动化技术应用与推广中的资金投入。企业可以寻求政府的合作，通过提供补贴和税收优惠等政策手段来降低企业的初期投资成本，从而激励更多的电力企业采用配网自动化技术。例如企业可以寻求政府设立专项基金，对那些在配网自动化技术上进行投资的企业给予一定比例的补贴。这不仅能够减轻企业的

经济负担，还能鼓励企业加快技术升级的步伐。同时政府还可以通过税收减免政策，对投资配网自动化技术的企业在一定年限内减免部分税收，以此来降低企业的运营成本<sup>[10]</sup>。

（四）与高校和研究机构合作，开设相关课程和培训

在当前的电网安全工作领域，基础工作人员的专业素养往往较低，使得配电网自动化技术的应用效果有限。企业针对于这一问题，需要积极于高校和研究机构展开业务合作，开设相关课程和培训来进一步优化员工专业素养。企业通过于高校和研究机构的合作可以定期邀请高校教授和研究人员举办讲座和研讨会，从而提高他们的专业素养和技能水平。其次企业可以与高校合作开设定制课程，针对电网安全和配网自动化技术进行深入教学。这些课程可以结合理论与实践，使员工在掌握基础知识的同时，也能了解实际操作中的应用技巧。此外，企业还可以设立奖学金或资助项目，鼓励员工参加在职研究生或博士生的学习，进一步提升他们的研究和创新能力。

五、结语

综上所述，配网自动化技术在提升电网安全稳定性方面具有不可替代的作用，但同时也面临着数据安全、高成本投入、专业人才短缺等挑战。为了充分发挥其潜力，必须采取一系列优化策略，包括执行统一的设备接口与协议、建立严格的数据访问控制机制、通过政府补贴和税收优惠降低初期投资成本，以及与高校和研究机构合作，提升员工的专业素养。只有这样企业才能确保配网自动化技术在未来的电网安全稳定性提升中发挥出最大的效益，为社会的可持续发展提供坚实的电力支持。

参考文献

[1] 唐礴. 基于配电自动化的配网单相接地故障定位与自愈 [C] // 冶金工业教育资源开发中心, 中国钢协职业培训中心. 第13届钢铁行业职业教育培训优秀多媒体课件活动系列研讨会——电力工程与技术创新论文集. 新疆五家渠恩科雨露实验学校, 2024:3.DOI: 10.26914/c.cnkihy.2024.025949.

[2] 黄存强, 王宇思, 张舜祯, 等. 基于分布式光伏电源高渗透的配网自动化法及应用 [J/OL]. 自动化与仪器仪表, 1-10.2024.http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1066.TP.20240816.1739.002.html.

[3] 谢旭峰, 陈上上, 潘攀, 等. 电力配网自动化系统配变终端电能质量综合治理功能设计探究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2024, 14(07):110-113.DOI: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2024.07.038.

[4] 杨津威, 只玉财. 智能化时代配网自动化及其配网规划的应用分析 [J]. 电工技术, 2024, (S1):85-87.DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2024.25.030.

[5] 陈雪琨, 王科龙, 高源. 基于物理模拟的配电自动化仿真试验系统研究与实现 [J]. 自动化与仪器仪表, 2024, (05):127-131.DOI: 10.14016/j.cnki.1001-9227.2024.05.127.

[6] 慈白山, 吴彬, 肖惠, 等. 中压电力线宽带载波技术在配网自动化通信中的应用 [J]. 农村电工, 2024, 32(03):38-39.DOI: 10.16642/j.cnki.ncdg.2024.03.044.

[7] 肖静薇, 黄斌, 罗滨, 等. 基于5G+SD-WAN的电力智能分布式配网自动化研究与应用 [C] // 中国电机工程学会电力通信专业委员会. 中国电机工程学会电力通信专业委员会第十四届学术会议论文集. 广东电网有限责任公司汕头供电局, 2024:6.DOI: 10.26914/c.cnkihy.2024.004958.

[8] 郑华勇. 配电自动化终端设备在电力配网自动化的应用 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023, (35):1-3.DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202335001.

[9] 孔译辉, 侯盟, 王明泽, 等. 环网柜内部电缆燃烧特性及预警控制研究 [C] // 吉林省电机工程学会. 吉林省电机工程学会2023年学术年会获奖论文集. 国网延边供电公司, 2023:8.DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.046179.

[10] 陈银东, 张丹, 柯莉萍, 等. 区域自动气象站远程启动装置研究 [J]. 气象水文海洋仪器, 2023, 40(03):36-37+41.DOI: 10.19441/j.cnki.issn1006-009x.2023.03.026.

# 核电项目大型设备起重吊装方案优化与风险控制

李留维

上海国核机械有限公司, 上海 200030

**摘要：** 作为国家能源战略的关键环节，核电站建设中设备的吊装工作对于项目的成功至关重要。鉴于这些设备体积庞大、重量沉重且构造复杂，其安装过程技术要求高且存在较大的安全隐患。因此，在确保操作安全的同时，如何改进吊装计划以提升工作效率成为当前核电设施建设亟待解决的问题之一。本研究通过对核电工程内大型装置吊装流程的基本分析，提出了一系列优化建议，并深入探讨了在执行此类任务时可能遇到的风险及相应的预防策略，旨在为推进核电项目的发展提供有力支持。

**关键词：** 核电项目；大型设备；起重吊装；风险控制；优化措施

## Optimization and Risk Control of Lifting and Hoisting Schemes for Large-Scale Equipment in Nuclear Power Projects

Li Liuwei

Shanghai Guohe Machinery Co., Ltd. Shanghai 200030

**Abstract：** As a key link in the national energy strategy, the lifting of equipment in nuclear power plant construction is crucial for the success of the project. Given the large volume, heavy weight, and complex structure of these devices, their installation process requires high technical requirements and poses significant safety hazards. Therefore, while ensuring operational safety, how to improve the lifting plan to enhance work efficiency has become one of the urgent problems to be solved in the current construction of nuclear power facilities. This study proposes a series of optimization suggestions through a basic analysis of the lifting process of large equipment in nuclear power projects, and explores in depth the risks and corresponding prevention strategies that may be encountered during the execution of such tasks, aiming to provide strong support for promoting the development of nuclear power projects.

**Keywords：** nuclear power projects; large scale equipment; hoisting; risk control; optimization measures

### 前言

作为国家能源战略的关键一环，核电项目在促进清洁能源发展以及达成碳中和目标方面发挥着不可或缺的作用。从建设到运营，核电站面临着诸多技术挑战及安全考量，尤其在大型装备的吊装作业过程中更是如此<sup>[1]</sup>。这类作业不仅需要处理复杂的技术问题，还要求操作流程精准无误、安全管理到位。大型设备的安装是核电工程中的一个核心步骤，涵盖了反应堆压力容器、蒸汽发生器、冷却泵等一系列重要组件的吊装。鉴于这些装置体积庞大、重量惊人且对精度有着极高要求，使得相关吊装工作变得极其困难且充满风险。因此，在确保绝对安全的同时，如何进一步优化吊装策略、减少潜在危险并提升工作效率，成为了核电领域亟需攻克的重大课题。

### 一、核电项目大型设备起重吊装的流程

在核电站建设项目中，大型设备的吊装作业对于保障工程顺利推进至关重要。这一过程包含了多个步骤和操作环节，其复杂性要求极高的计划精准度及团队间无缝协作。下面概述了此类项目中实施重型装备提升与安置的基本程序：

#### （一）吊装方案设计与审核

吊装作业的初始阶段在于精心设计一套详细的吊装计划，该

计划需基于设备的具体类型、尺寸、重量以及现场条件等多方面因素进行综合考量。吊装计划涵盖了起重装置的选择、吊运路线的设计、工作人员的角色分配及紧急情况应对策略等内容。完成规划后，整个方案还需经过项目管理层和技术安全团队的审核，以确保其完全符合既定的安全与技术规范<sup>[2]</sup>。

#### （二）设备检查与准备

在进行吊装作业之前，所有起重装置（例如起重机、各类吊具）都应接受彻底的检查及维护工作，以保证其处于最佳的工作

作者简介：李留维（1988.05-），男，汉族，河北省衡水市故城县人，本科，工程师，核电站施工建设。



状态。此外，用于辅助吊装过程中的设备，比如支撑架、吊带以及钢丝绳等，也必须经过细致的检验，确保这些工具没有任何损伤或瑕疵。所选用的起重机及其配套装备应当符合特定载荷要求，并且适应于预定的操作环境。

### （三）现场准备与布置

在进行吊装作业前，必须完成一系列准备工作，如搭建适合的吊装平台、安装防护围栏，并明确标识出安全区域。此外，还应当精心规划吊装路线，以保证在整个移动过程中设备能够顺利通行而不会碰到任何阻碍<sup>[9]</sup>。现场还需布置充足的安全指示标志，清晰界定各工作区的责任分工，确保只有相关人员才能进入指定的操作范围。

### （四）吊装作业实施

在所有前期准备工作均已完成的情况下，接下来便可以正式进入吊装作业阶段。在此过程中，负责操作起重机的技术人员需严格按照预定方案执行任务，以确保被吊物体能够平稳地提升、转移，并最终准确无误地安置到位。

### （五）吊装后检查与验收

在完成吊装操作后，接下来的任务是确保设备被准确放置并牢固固定。通过细致的验收程序来验证，所有装置均按照既定位置安全无误地安装完毕。随后，应当对整个起吊设施及其使用流程进行全面回顾，以评价其安全性与工作效率，并从中提炼出宝贵的经验教训，为将来的工作提供参考<sup>[10]</sup>。

## 二、核电项目大型设备起重吊装的方案优化策略

### （一）吊装路径的优化

在进行吊装作业时，路径的选择对操作可行性、设备稳定性及工作人员安全有着直接的影响。因此，必须通过周密的规划与深入分析来确定最佳方案。优化吊装路径时，需全面考量诸如设备尺寸、重量以及所需吊装高度等关键因素，这些参数将直接影响到吊装过程中设备的摆动范围和起重机械的操作范围。

从一个角度来看，吊装路径所在的地表状况，比如是否平坦、是否有地下管道分布或土壤稳定性差等问题，都直接关系到吊装机械的承重能力和作业安全性。为了保证设备在移动过程中的稳定性和避免潜在的安全隐患，在规划最优路径时，应先行开展详尽的地质调查与承载力测试<sup>[11]</sup>。此外，考虑到强风天气下露天环境可能给操作带来不利影响，路线设计还需避开开阔地带，以降低风速对吊装活动的影响；同时，随着气象条件的变化，还须适时调整吊运的角度和速度，从而确保整个搬运过程既安全又高效地完成。

### （二）构建多部门的协同工作模式

在核电项目中实施大型设备吊装时，需要跨部门和多专业团队之间的紧密合作。这不仅涵盖了起重机械的操作、工程技术的应用、安全保卫措施的落实、指挥调度的有效性以及气象条件的监测等多个方面，而且强调了构建一个高效协作框架的重要性，以确保整个吊装过程既快速又安全。为此，在正式开始吊装之前，应当制定详尽的任务分配方案，并清晰界定各参与方的具体

责任<sup>[12]</sup>。此外，起重机驾驶员、现场负责人、技术顾问及安全监管人员之间需维持持续的信息交换，利用无线通讯工具与集中控制系统来促进即时沟通，从而保证各个环节能够得到妥善安排与监控。通过设立定期的工作协调会及信息共享平台，可以有效防止由于沟通不畅而可能引发的操作失误或管理漏洞。

在跨部门协作的工作模式中，明确各专业团队的职责分配显得尤为重要。技术小组承担着设计与优化吊装方案的任务，确保整个吊装流程符合所有既定的技术标准；而安全团队则负责评估吊装活动中的潜在风险，制定相应的安全操作指南，并实施现场的安全监督，以保障工作人员及设备的安全无虞<sup>[13]</sup>。至于起重机的操作员及其指挥人员，则需根据实际情况灵活调整作业方法，并严格按照指挥官的指示执行精确的操作任务。

### （三）设立综合化应急预案

在核电项目的吊装过程中，即便有了周密的规划与预防措施，在面对复杂的作业环境时，突发事故仍然是一种不可忽视的风险。因此，构建一个全面的应急计划对于完善吊装方案至关重要。在执行任何吊装任务之前，项目团队必须对潜在的各种风险进行全面评估，这些风险包括但不限于机械设备故障、起吊设备稳定性丧失、极端气候条件变化以及人为操作错误等。针对每一种可能遇到的风险情况，都需要准备相应的紧急应对策略。

当面临突发状况时，项目管理团队需立即调动各相关部门快速响应。应急预案应当详尽地界定每个部门的具体职责，并通过即时通讯平台促进跨部门合作，以保证应急措施能够高效执行。例如，在遇到吊装设备失去稳定性的情况时，起重机的操作人员必须立刻启用紧急制动系统；同时，现场指挥人员应及时联络安全负责人组织人群疏散；此外，技术人员与维修专家则需要尽快诊断问题根源并采取修复行动。

## 三、核电项目大型设备起重吊装的流程的风险控制方法

### （一）安全规范与标准操作程序优化

安全规范与标准操作程序（SOP）构成了起重吊装作业安全保障体系的核心。为有效减少潜在的安全隐患，持续改进现行的安全指导原则及实践流程显得尤为关键。这种改进旨在使安全措施更加科学严谨、具体明确且易于执行，从而确保每一个操作步骤都能够被严密监督和管理<sup>[14]</sup>。

首要任务在于明确吊装作业的具体标准，涵盖设备选择、路径规划、起重机负载测试及作业区安全布局等方面。这些规定应当以系统化和详细化的形式呈现，确保每个步骤都有清晰的操作指南，从而减少因操作失误造成的安全隐患。

### （二）设备检查与维护

吊装设备的故障或损坏不仅会导致作业中断，还可能引发严重的安全事故。为了保障吊装过程的安全性和稳定性，建立一套严格的检查与维护机制显得尤为关键。这套机制涵盖对起重机、吊索、吊具、钢丝绳及其他相关工具的全面检测。在每一次执行吊装任务之前，都应仔细核查所有涉及设备的安全状态，特别是



对于机械组件、液压系统、电气设施、制动装置以及钢缆连接部件等核心部分的状态进行细致检验，以确保它们处于良好工作状态。

除了日常的设备检查，定期维护同样是对保障设备安全不可或缺的一环。维护策略应当依据设备的具体使用情况及其所在的工作环境灵活调整。对于那些高频率使用的装置，例如起重机和吊车，按照生产商提供的指南并结合实际操作经验，定期执行全面的技术审查尤为重要。这其中包括但不限于电气系统的检测、机械部件的润滑保养及必要时的更换工作，这些措施有助于延长设备的服务寿命，同时有效预防潜在故障的发生<sup>[9]</sup>。通过这种方式加强对起重设备的安全性能管理，不仅能够显著提升其运行稳定性，还能大大降低因突发故障而可能导致的各种安全事故风险。

（三）优化环境监控与气象预警

起重作业多在户外实施，自然环境因素对操作安全性具有显著影响。诸如风速、温度及降水量等条件能够直接影响到起重机械的稳定性，有时甚至会导致作业中断或发生安全事故。理想的气象监测系统应当具备实时追踪工作区域内天气变化的能力，特别是那些对于安全至关重要的参数如风力强度、雨量以及气温等。面对恶劣气候状况，比如强风、雷暴或是大雪等情况时，该系统需自动触发警报机制，并迅速采取必要防范措施<sup>[10]</sup>。例如，在检测到风速超出设备允许的最大值时，应立刻叫停所有相关活动，直至外界条件恢复至安全范围之内。

除气象预警外，环境监控还涵盖了作业区域内地面状态的监测。地面状况、地基承载能力以及周围障碍物等因素直接影响着吊装作业的安全性。为了确保起重机的稳定性和吊装设备的安全运作，必须对作业现场的地质条件进行全面考察与评估，以防因

地形不平或基础不稳定而引发设备倾斜甚至失控的情况。为有效应对突如其来的气候变化及其它环境因素影响，项目管理者应当与当地气象机构建立紧密联系，及时获取最新的天气预报和警报信息，并据此灵活调整施工计划。特别是在面临台风、强降雨等极端气候事件时，需预先制定紧急预案，保障工作人员能够迅速安全撤离，并立即暂停所有吊装活动，直至恶劣天气完全消退方可恢复工作。

四、结语

在核电项目中，大型设备的起重吊装作业是一项极具挑战性和风险的任务，要求各个环节之间高度协同与精细化管理。首要任务是优化吊装方案，这不仅是确保作业顺利进行的基础，也包括了吊装路径的科学规划、跨部门合作机制的建立以及综合应急响应计划的设计，以保障每个步骤都能高效且安全地完成。从风险管理的角度来看，通过改进安全规章和标准操作流程，促使工作人员严格遵守规定，并加强对设备的检查维护工作，可以大大提高设备在整个吊装过程中的稳定性和安全性。另外，增强环境监测能力和气象预警系统的效能同样不可忽视，及时掌握天气变化及作业现场状况，有助于有效抵御因恶劣气候或突发环境因素导致的风险。总之，针对核电项目中大型设备吊装作业的安全管理和效率提升策略，应全面考虑安全准则、设备状态监控以及外部条件影响等多方面因素，在前期准备、实施过程中乃至应对紧急情况时均需加强管控措施，从而实现整个工程项目的高效与安全运营。

参考文献

[1] 董祺纲. 华龙一号核电站土建工程塔式起重施工安全管理研究 [D]. 南华大学, 2020.  
[2] 秦玮. 核电站起重设备设计采购施工接口管理研究 [D]. 清华大学, 2020.  
[3] 段百齐, 张启春, 高玉忠, 等. AP1000核电项目核岛用桁架臂履带起重机选型分析 [J]. 起重运输机械, 2012,(11):103-106.  
[4] 刘鹏, 张妍. 起重电磁铁控制系统的研制与应用 [J]. 船舶工程, 2011,33(06):131.  
[5] 李今朝, 张峰, 辛晓亮, 王欢, 刘倩. 核电厂桥式起重机钢丝绳偏角异常事件处理分析 [J]. 起重运输机械, 2022(20):54-58.  
[6] 荀志国, 徐伟, 韦俏斌. 第三代核电吊装用大型起重机选型与总平布置 [J]. 山西建筑, 2015, 41(7):2.  
[7] 缪波, 吴伟. 核电建设工程现场起重吊装安全管理探讨 [J]. 现代职业安全, 2022(3).  
[8]None. 连云港大件装卸“全程无忧”成功接卸63吨核电设备 [J]. 起重运输机械, 2019(9):1.  
[9] 丁慧智, 张玉柱. ZCC32000型2000t履带起重机在核电吊装行业的应用 [J]. 建设机械技术与管理, 2023, 36(3):26-28.  
[10] 牛凯. 起重吊装作业安全管理研究 [J]. 工程技术研究, 2024, 9(1):137-139.

# 燃气机组故障预警模型研究及应用

杨耀辉

北京京桥热电有限责任公司, 北京 100067

**摘 要 :** 随着近些年来科技的快速发展, 燃气机组作为重要的能源设备, 在电力、工业和民用领域扮演着至关重要的角色。它们的稳定运行直接关系到能源供应的可靠性以及经济效益。针对于此本文首先分析了燃气机组的工作原理及常见故障类型, 随后说明了故障预警模型设计中的理论基础, 并通过分析燃气机组故障预警模型的关键技术问题提出了该系统的优化方向与部分策略, 期望通过数据处理技术与多源数据融合技术的应用, 能为燃气机组的稳定运行提供帮助。

**关 键 词 :** 燃气机组; 故障预警模型; 应用

## Research and Application of Fault Early Warning Model of Gas Unit

Yang Yaohui

Beijing Jingqiao Thermal power Co., LTD. Beijing 100067

**Abstract :** With the rapid development of science and technology in recent years, gas units, as an important energy equipment, play a vital role in the electric power, industrial and civil fields. Their stable operation is directly related to the reliability of the energy supply and the economic benefits. In this paper, we first analyzed the working principle of gas unit and common fault types, then illustrates the theoretical basis of the fault warning model design, and analyzed the optimization direction of the system and part of the strategy, expected through the data processing technology and the application of multi-source data fusion technology, can provide help for the stable operation of the gas unit.

**Keywords :** gas unit; fault early warning model; application

## 引言

燃气机组的稳定运行对于保障能源供应和提高经济效益具有重要意义。然而, 由于其工作环境复杂、运行条件苛刻, 机组故障时有发生, 这不仅影响了能源供应的稳定性, 还可能带来巨大的经济损失和安全隐患。因此研究人员如何建立一个有效的故障预警模型, 对于预防和减少故障发生具有重要的现实意义<sup>[1]</sup>。

## 一、燃气机组的工作原理及常见故障类型

### (一) 燃气机组工作原理概述

燃气机组是一种具有高效性能的能源转换设备, 它在工作时可以通过燃烧天然气或其他类型的燃气来产生动力或电力。它的主要工作原理是基于热力学的卡诺循环和布雷顿循环, 同时结合了内燃机和燃气轮机的特点。在组织架构中, 燃气机组通常由燃气轮机和发电机两大部分组成。在燃气轮机部分, 空气通过进气系统被吸入, 并通过压缩机进行压缩来提高空气的压力和温度<sup>[2-3]</sup>。随后压缩后的空气进入燃烧室, 在这里与喷入的燃气混合并点燃, 产生高温高压的燃气。这些燃气随后进入涡轮机部分, 推动涡轮叶片高速旋转, 从而将热能转换为机械能。

### (二) 常见故障类型

#### 1. 机械故障

在燃气机组的工作运行中, 机械故障是最常见的问题之一。

这类故障的产生原因通常包括于轴承损坏、密封件失效、叶片断裂、齿轮磨损等。例如在运行中燃气机的轴承在长时间的高速运转下可能会因为过热或润滑不足而损坏, 导致机组运行时产生异常噪音和振动。而对于一些密封件而言, 当发生失效则可能导致燃气泄漏。这一情况的产生不仅影响机组效率, 还可能引发安全问题。而叶片断裂往往是由于材料疲劳或外来异物撞击造成的, 这会直接导致机组输出功率下降甚至停机。齿轮磨损则可能是由于润滑不良或负载过大引起的, 这会增加机械噪音并可能导致传动效率降低<sup>[4-5]</sup>。

#### 2. 燃烧故障

因燃烧而产生的故障是燃气机组运行中非常关键的问题, 它不往往在影响机组效率的同时还可能对设备安全造成威胁。在燃气机组的运行中点火系统是燃气机组启动和运行的基础, 点火失败可能是由于点火电极脏污、损坏或位置不当, 点火线圈故障, 或是燃气和空气混合比例不当等原因造成的<sup>[6]</sup>。点火失败会导致燃

作者简介: 杨耀辉 (1983.08-), 男, 汉族, 北京人, 工程师, 本科, 研究方向: 发电运行。

气无法正常燃烧，从而影响机组的启动和运行。其次发生燃烧故障的原因也可能是燃烧不完全的发生，它可能是由于燃气压力不稳定、空气供应不足、燃烧室设计不合理或燃烧器老化等原因造成的。燃烧不完全会产生大量的一氧化碳和其他有害气体，不仅降低热效率，还会对环境造成污染。

### 3. 热部件故障

对于燃气机组工作中的热部件故障，这通常涉及到燃烧室、涡轮叶片、排气系统等关键部件的损坏或性能下降。热部件故障的成因多种多样，例如燃烧室内的高温腐蚀可能是由于燃料中的硫化物在高温下与金属材料发生化学反应，导致材料表面的腐蚀和剥落。使得涡轮叶片在长期运行中反复的热胀冷缩而产生热疲劳裂纹，影响其结构完整性和使用寿命。排气系统中的热部件，如排气阀和管道，也可能因为长时间暴露在高温环境中而发生材料老化和结构损坏<sup>[7]</sup>。

### 4. 控制系统故障

随着燃气机组在工业领域的广泛应用，其控制系统故障也成为了维护人员需要重点关注的问题。控制系统故障通常涉及多个方面，其中传感器故障是控制系统较为常见的问题之一。传感器负责监测机组运行中如温度、压力、流量等各种参数，一旦传感器出现故障就可能导致机组运行参数的误读，进而引起机组的不正常运行甚至停机。例如温度传感器的损坏可能会导致机组过热保护功能失效，从而引发安全事故。

## 二、故障预警模型的理论基础

### （一）数据驱动方法

数据驱动方法在燃气机组故障预警模型中扮演着至关重要的角色。该方法在燃气机组的应用中需要依赖于大量的历史运行数据，然后通过机器学习和统计分析技术来挖掘出潜在的故障模式和特征。其中数据预处理是关键步骤，该步骤包括数据清洗、归一化、特征选择等，以确保数据质量，提高模型的准确性和可靠性。接下来可以采用多种机器学习算法，如支持向量机、随机森林、神经网络等，来构建故障预测模型。

### （二）物理模型方法

物理模型方法是指通过建立燃气机组各组成部分的物理行为和相互作用的数学描述，来模拟和预测机组在不同工况下的性能和可能出现的故障。这种方法依赖于对燃气轮机内部流体动力学、热力学、燃烧学以及材料科学等领域的深入理解。通过精确的物理模型，可以对燃气轮机的温度分布、压力变化、燃烧效率以及排放特性等关键参数进行分析<sup>[8-9]</sup>。

### （三）混合模型方法

在当前的燃气机组工作当中，故障预警模型设立中应用作为广泛的是混合模型方法。理论基础混合模型方法是将多种统计和机器学习技术结合起来，以此来进一步提升燃气机组预警系统的故障检测和预测的准确性。在燃气机组的运行过程中，各种传感器会实时监测机组的运行状态，包括温度、压力、振动等关键参数。这些数据通过混合模型方法进行分析，可以有效地识别出潜

在的故障模式<sup>[10]</sup>。

## 三、燃气机组故障预警模型的关键技术问题

### （一）数据采集与预处理技术

1. 燃气机组运行数据的来源和采集方法（如传感器布置、数据采集频率等）

目前相关部门在燃气机组设计时，运行数据的来源主要依赖于安装在机组关键部位各类传感器。这些安装在燃气机内部的传感器包括温度传感器、压力传感器、流量传感器、振动传感器等，它们能够实时监测机组的运行状态和环境参数。例如温度传感器可以安装在燃烧室、排气管和轴承等部位，以监测关键部件的温度变化。而压力传感器则用于监测燃烧室内的压力以及进气和排气的压力，以判断是否存在异常<sup>[11]</sup>。

而数据采集频率需要根据燃气机组的工作特性和监测需求来确定。通常关键参数如温度和压力的采集频率较高，可能达到每秒数次到数十次，以确保能够捕捉到机组运行中的快速变化。

2. 数据清洗、归一化、特征选择等预处理技术对模型性能的影响

燃气机组故障预警模型的数据采集与预处理技术是确保模型准确性和可靠性的关键步骤。其中数据清洗是预处理的第一步，它的流程中往往涉及去除噪声和异常值，进而确保数据质量。而归一化是将数据缩放到一个标准范围内的过程，这有助于消除不同量纲和量级对模型的影响。在燃气机组故障预警模型中，归一化处理使得不同参数的比较和模型训练更为合理<sup>[12-13]</sup>。特征选择是确定哪些数据特征对于预测故障最为重要。在燃气发电厂的案例中，通过统计分析和机器学习算法，如主成分分析和递归特征消除可以识别出对故障预测贡献最大的特征。这不仅减少了模型的复杂度，还提高了模型的预测性能。

### （二）模型训练与优化技术

1. 模型训练数据的划分和标注方法

在燃气机组故障预警模型的训练过程中，数据的划分和标注是至关重要的步骤。首先它需要从燃气机组的历史运行数据中收集大量的样本，这些样本包括正常运行数据和故障数据。为了确保模型的泛化能力，数据集应涵盖各种运行条件和故障类型。数据划分通常分为训练集、验证集和测试集。标注方法需要根据故障类型和特征进行。例如可以将故障类型分为“涡轮叶片磨损”“燃烧室异常”“冷却系统故障”等类别。对于每一条数据，需要有经验的技术人员根据燃气机组的运行日志、维护记录和传感器数据进行准确标注。标注过程可以采用专家系统辅助，以提高标注的准确性和效率。

2. 模型参数优化算法（如梯度下降法、遗传算法等）的应用

梯度下降法是燃气机组故障预警系统优化中的一种常用的优化算法，它通过迭代地调整模型参数，进而以最小化损失函数提高模型的预测准确性。在燃气机组故障预警模型中，梯度下降法可以用来优化神经网络的权重和偏置，以减少预测误差。除了梯度下降法，遗传算法也是另一种常用的模型参数优化技术。

遗传算法在优化应用中可以通过模拟自然选择和遗传学原理,利用选择、交叉和变异等操作对参数进行优化。在燃气机组故障预警模型中,遗传算法可以用来优化支持向量机或决策树等模型的参数<sup>[14]</sup>。

### 3. 交叉验证等评估方法在模型性能评估中的应用

近些年来随着人工智能技术的不断发展,进而使得燃气机组故障预警模型的模型训练与优化技术也取得了显著进步。研究人员可以通过应用机器学习和深度学习算法构建出更为精准和高效的故障预测系统。这些新的系统应用之下能够帮助工作人员实时监测燃气机组的运行状态,进而及时发现潜在的故障风险,提高能源利用效率。

### (三) 实时性与准确性的平衡技术

#### 1. 满足实时预警需求的模型计算效率提升方法

现在在工业自动化和智能化水平的不断提高背景下,使得当前的燃气机组故障预警模型的实时性与准确性的平衡技术变得尤为重要。研究人员为了满足燃气机组工作中实时预警的需求,需要模型计算效率进行深层面的提升。在具体实施中可以采用先进的数据处理技术,如流数据处理框架对燃气机组运行中产生的大量实时数据进行快速处理。例如 Apache Kafka 和 Apache Flink 等流处理系统能够以极高的速度处理和分析数据流,从而实现快

速预警。

#### 2. 减少误报和漏报的技术措施

研究人员为了减少燃气机组故障预警模型误报和漏报的技术措施,引入了多源数据融合技术。在该技术的应用之下不仅可以充分分析了机组的运行参数,还整合了环境因素、历史维护记录和操作日志等信息。通过这种综合分析预警模型能够更全面地理解机组状态,从而有效降低误报和漏报的风险。此外他们还设计了一套智能诊断机制,该机制能够根据历史故障案例和专家知识,对预警信号进行二次验证,确保预警的可靠性。

## 四、结语

综上所述,燃气机组故障预警模型的构建是一个复杂而精细的过程,涉及数据采集、预处理、模型训练、优化以及实时性与准确性的平衡等多个关键技术环节。通过不断优化这些环节,可以显著提高故障预警的准确性和及时性,从而保障燃气机组的安全稳定运行,减少意外停机时间,提高能源利用效率。相信在不远的未来,将随着人工智能、大数据分析和物联网技术的进一步发展,燃气机组故障预警模型将更加智能化、自动化,为能源行业提供更为可靠的技术支持。

## 参考文献

- [1] 王明达, 韦永健, 王建军, 等. 基于 SVM-BN 的天然气长输管道燃气轮机故障预警方法研究 [J]. 天然气工业, 2017, 37(11): 112-118.
- [2] 应雨龙, 李靖超, 庞景隆, 等. 基于热力模型的燃气轮机气路故障预测诊断研究综述 [J]. 中国电机工程学报, 2019, 39(03): 731-743+952.
- [3] 罗颖锋, 曾进. 基于支持向量机的燃气轮机故障诊断 [J]. 热能动力工程, 2004, (04): 354-357+436.
- [4] 范小霞, 古小平, 李国志, 等. 压气站燃气轮机模糊故障树失效分析 [J]. 天然气与石油, 2010, 28(06): 10-13+28+89.
- [5] 吕庭彦. 重型燃气轮机透平排气密封冷却系统故障预警诊断技术研究及工程应用. 北京市, 中国大唐集团有限公司, 2019-06-14.
- [6] 徐童, 茅大钧. 多数据融合的燃气-蒸汽机组设备故障预警系统 [J]. 电工电气, 2017, (06): 40-43+47.
- [7] 李连杰, 朱从乔. 模糊数据融合技术在柴油机状态监测中的应用研究 [J]. 船海工程, 2006, (05): 33-35.
- [8] 杜守印, 李斌, 胡鑫. 基于决策树的数据融合技术在电主轴故障分析与预测中的应用 [J]. 天津科技, 2016, 43(10): 15-17+20.
- [9] 牛立东. 基于数据挖掘法的矿井瓦斯联动监测 [J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(07): 62-68.
- [10] 金杉, 崔文, 金志刚. 正态分布的贝叶斯网络火灾数据融合预警研究 [J]. 计算机应用研究, 2016, 33(05): 1473-1476+1485.
- [11] 侯跃恩, 李伟光, 容爱琼, 等. 融合背景信息的分块稀疏表示跟踪算法 [J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2013, 41(08): 21-27.
- [12] 杨杰, 杨虎, 王鲁滨, 等. 高维相关性缺失数据的分块填补算法研究 [J]. 计算机科学与探索, 2017, 11(10): 1557-1569.
- [13] 陈志奎, 杨英达, 张清辰, 等. 基于属性约简的物联网不完全数据填充算法 [J]. 计算机工程与设计, 2013, 34(02): 418-422.
- [14] 胡立花, 丁世飞, 丁浩. 基于启发式的粗糙集属性约简算法研究 [J]. 计算机工程与设计, 2011, 32(04): 1438-1440+1507.



# 煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术优化措施研究

罗建发

陕西彬长胡家河煤矿, 陕西 咸阳 713600

**摘要：** 巷道掘进与支护技术已成为目前各大煤矿采矿工程广泛应用的关键技术, 本文结合煤矿采矿工程实例, 围绕工程中巷道掘进与支护技术的应用情况展开探讨。分析了巷道掘进与支护作业的主要影响因素, 包括地质条件、设备性能、围岩性质, 基于目前常用的巷道掘进及支护技术方法, 提出相应的优化措施, 旨在提高巷道掘进效率、保障支护质量, 促进煤矿安全生产与高效开采。

**关键词：** 采矿工程; 巷道掘进; 支护; 优化; 通风降尘

## Research on Optimization Measures for Tunnel Excavation and Support Technology in Coal Mining Engineering

Luo Jianfa

Shaanxi Hujiahe Coal Mine in Binchang, Xianyang, Shaanxi 713600

**Abstract：** Tunnel excavation and support technology has become a key technology widely used in major coal mining projects. This article discusses the application of tunnel excavation and support technology in coal mining engineering based on examples. The main influencing factors of tunnel excavation and support operations were analyzed, including geological conditions, equipment performance, and surrounding rock properties. Based on commonly used tunnel excavation and support technology methods, corresponding optimization measures were proposed to improve tunnel excavation efficiency, ensure support quality, and promote coal mine safety production and efficient mining.

**Keywords：** mining engineering; tunnel excavation; support; optimization; ventilation and dust reduction

在当今能源领域, 煤矿资源依旧占据着举足轻重的地位, 是推动工业发展、保障社会能源供应的关键要素之一, 而煤矿开采过程中的巷道掘进与支护工作至关重要。巷道是井下开采的通道, 关乎着人员通行、通风、运输以及煤炭的顺利采出等多个环节<sup>[1]</sup>。高效且安全的巷道掘进技术能够提升煤炭开采的整体进度, 而可靠的支护技术则是确保巷道稳定、预防顶板冒落等事故的关键所在。随着煤矿开采深度的增加、地质条件的日益复杂以及对生产效率和安全要求的不断提高, 传统的巷道掘进和支护技术逐渐暴露出诸多局限性, 例如掘进速度难以满足生产需求、支护效果在复杂环境下大打折扣等问题, 对巷道掘进和支护技术进行优化显得尤为迫切<sup>[2]</sup>。在此背景下, 深入探究煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术的优化措施, 这不仅关乎煤矿企业的经济效益与生产效率提升, 更是保障井下作业人员生命安全、推动煤炭行业可持续发展的必然要求, 为煤矿企业的巷道施工提供参考依据。

### 一、项目背景

某煤矿采矿工程地处山西, 是一座具有一定规模的煤矿生产企业, 其井田范围涵盖了 25.0km<sup>2</sup>, 煤炭储量丰富, 煤质优良, 在当地能源供应中占据着重要地位。该煤矿采用长壁式开采方法, 井下巷道网络错综复杂, 主要包括开拓巷道、准备巷道以及回采巷道等不同类型, 以满足通风、运输、行人以及煤炭开采的多方面需求。开拓巷道负责将矿井与地面连通, 为后续的开采活动构建基础通道; 准备巷道服务于各个采区, 对煤层进行合理划分与准备; 回采巷道则直接与采煤工作面相连, 保障煤炭能够顺

利采出并运出工作面。随着开采深度的逐渐增加以及周边地质条件的复杂性逐渐凸显, 在巷道掘进和支护工作中面临着诸多挑战, 亟待通过优化技术措施来提升整体效率与安全性。

### 二、巷道掘进和支护主要影响因素

#### (一) 地质条件

在该煤矿采矿工程的巷道掘进过程中, 遇到了不同硬度的岩石层。部分开拓巷道施工时, 穿越了硬度较高的砂岩区域, 这使得传统的掘进机切割效率明显下降, 截齿磨损严重, 频繁更换截

作者简介: 罗建发 (1986.05-), 男, 汉族, 甘肃省庆阳市人, 本科, 研究方向: 煤矿方面。

齿导致掘进工作频繁中断,严重影响了掘进速度。而在一些煤巷掘进中,虽然煤层相对较软,但偶尔夹杂的硬岩夹层也给连续掘进带来了阻碍<sup>[3]</sup>。断层、褶曲等地质构造在该煤矿井下较为常见,当巷道遇到断层时,岩层的完整性被破坏,岩石破碎且应力分布复杂,容易出现冒顶、片帮等安全隐患,同时也使得掘进施工难以按照预定的方向和坡度进行,需要花费大量时间进行处理和调整施工方案,增加了掘进的难度和成本。

### (二) 设备性能

目前煤矿所采用的综合机械化掘进机在面对复杂地质条件时,其适用性存在一定局限。对于一些大断面巷道掘进,现有掘进机的功率和截割范围可能无法满足高效施工的要求,导致单次截割量不足,循环作业时间延长,影响了整体的掘进效率<sup>[4]</sup>。再加上井下作业环境恶劣,掘进设备容易出现各类故障。如果设备维护不及时,例如液压系统故障、电气线路老化等问题得不到快速解决,就会造成设备长时间停机,进而使得掘进工作停滞,无法保证连续稳定的掘进进度。

### (三) 围岩性质

该工程不同区域的巷道围岩强度差异较大。在围岩强度较高的地段,支护相对容易,支护结构承受的变形压力较小。但在一些围岩较为破碎、强度低的区域,如靠近断层破碎带的巷道,围岩自身承载能力差,容易发生较大变形,对支护结构的强度和稳定性要求极高,常规的支护方式往往难以满足需求<sup>[5]</sup>。随着开采深度的增加,围岩所受的原岩应力不断增大,尤其是在回采巷道周边,由于受到采动影响,应力重新分布,出现应力集中现象,容易导致巷道顶板下沉、两帮收敛变形加剧,这就需要支护结构能够具备足够的承载能力来抵抗这种高应力带来的破坏作用。

## 三、煤矿采矿工程巷道掘进与支护技术的应用

### (一) 巷道掘进技术应用

#### 1. 光面爆破技术

通过在岩石上钻孔,装填炸药进行爆破,破碎岩石后再利用装岩设备将破碎的岩石运出,接着进行支护等后续工序。对于一些硬度较高、节理裂隙不太发育的岩层中,通过合理设计炮眼布置、装药量等参数,能够有效地实现岩石的破碎。它具有灵活性强、对不同地质条件适应性相对较强的特点,适用于各类断面形状和尺寸的巷道掘进,但爆破过程会产生一定的烟尘、震动等,对施工环境和周边岩体稳定性有一定影响。

#### 2. 综合机械化掘进技术

在该煤矿采矿工程的巷道掘进作业中,采用了EBZ系列的悬臂式掘进机<sup>[6]</sup>。该掘进机功率适配于该区域煤层及夹矸的硬度情况,操作人员通过操作控制台,控制掘进机的行走、截割臂的升降与摆动,实现对巷道断面的精确切割。同时,为配合掘进机作业,煤矿还配备了完善的后续运输系统,包括与掘进机相匹配的转载机以及足够长度和输送能力的皮带输送机,保障了截割下来的煤炭能够不间断地被运出,维持了连续掘进作业。在通风方面,采用了局部通风机进行压入式通风,为掘进工作面提供了良

好的通风条件,排出了掘进过程中产生的瓦斯等有害气体以及粉尘,营造了相对安全的施工环境。

### (二) 巷道支护技术应用

#### 1. 锚杆支护

大部分煤巷以及部分围岩相对稳定的岩巷中,锚杆支护是主要的支护方式。施工时,先使用锚杆钻机按照设计的间距和排距在巷道围岩上钻孔,钻孔深度、角度都严格遵循设计要求。比如,在此工程巷道支护中,采用的是树脂锚杆,其杆体材质具有良好的强度和抗腐蚀性。在钻孔完成后,将树脂锚固剂插入孔底,然后将锚杆插入孔中,通过锚杆钻机的搅拌功能使锚固剂充分搅拌均匀,实现锚杆与围岩的有效粘结,待锚固剂凝固后,再使用力矩扳手对锚杆施加预紧力,使锚杆能够主动地对围岩施加支护力,抑制围岩的变形和裂隙扩展,增强围岩的整体性和承载能力<sup>[7]</sup>。

#### 2. 锚索支护

对于深部巷道、大断面巷道以及围岩破碎区域,该工程采用了锚索支护与锚杆支护相结合的方式。锚索一般由高强度的钢绞线制成,在施工时,利用锚索钻机钻出较深的钻孔,钻孔深度可达数米甚至十几米,一端将锚索锚固在深部稳定岩层,另一端通过专用的张拉设备施加预应力<sup>[8]</sup>。在该煤矿的深部开拓巷道支护中,锚索的预应力施加达到了设计规定的数值,使其能够对巷道围岩提供较大的支护力,有效控制了顶板的下沉和两帮的移近量,特别是在承受采动影响和高地应力作用时,锚索与锚杆协同作用,显著提高了巷道的稳定性,防止了顶板垮落等重大安全事故的发生。

#### 3. 棚式支护

在一些临时支护以及受动压影响较大、围岩较软的巷道中,应用棚式支护。常见的有U型钢棚支护,施工人员先按照设计要求将棚腿扎入巷道底板一定深度,然后架设棚梁,使用拉杆、卡缆等连接件将棚梁与棚腿紧密连接在一起,形成稳固的支护结构。在遇到顶板压力较大或有侧压时,U型钢棚的可缩性能够发挥作用,通过自身的结构变形来适应围岩的变形,释放部分围岩压力,避免支护结构因刚性过大而被压坏,保障了巷道在复杂受力条件下的正常使用<sup>[9]</sup>。

## 四、巷道掘进与支护技术的优化措施

### (一) 优化掘进施工组织

对于钻爆法,要精确计算钻孔、装药、爆破、通风排烟、装岩等各工序的时间,采用平行作业、交叉作业等方式优化工序衔接。例如在钻孔的同时,可以安排人员准备爆破器材,爆破后通风排烟时,可同步对装岩设备进行检查维护,以缩短循环作业时间,提高掘进效率。根据巷道掘进的规模和进度要求,合理配备各工种的施工人员数量,确保每个岗位都有足够的人手且分工明确<sup>[10]</sup>。同时,按照巷道地质条件和掘进方法选择合适的设备型号,并保证设备的完好率,配备充足的易损件,以便及时维修更换,减少因设备故障导致的停工时间。比如在综合机械化掘进

中,要根据巷道断面大小选择合适功率的掘进机,并安排专业的设备维护人员进行定期保养和故障抢修。确保合理安排掘进工序,采用平行作业、交叉作业等方式优化工序衔接。根据巷道掘进的进度和产量需求,选用更大输送能力的皮带输送机,并合理设置转载点,减少煤炭转运过程中的洒漏和堵塞现象,提高运输效率。同时,加强通风设备的选型,选用大风量、低噪音且具备智能调控功能的局部通风机,能够根据巷道内瓦斯浓度、粉尘含量等情况自动调节通风量,为掘进工作面提供更优质的通风环境,保障施工安全和人员健康。

### （二）地质超前精准探测

运用多种地质超前探测技术,如将地质雷达、超前钻孔、瞬变电磁法等相结合,对巷道前方的地质构造、岩石性质、水文情况进行全面细致的探测。例如,在掘进工作面前方一定距离开始进行地质雷达扫描,初步判断是否存在断层、溶洞、富水区等不良地质体,然后通过超前钻孔进一步验证并获取准确的岩性参数和含水量等信息<sup>[11]</sup>。根据探测结果,绘制详细的地质预报图,为施工队伍提供直观的地质情况参考,提前制定应对措施,避免因地质突变而导致掘进停滞或出现安全事故。

### （三）引进先进设备工艺

针对硬岩巷道掘进,可引进全断面硬岩掘进机或悬臂式硬岩掘进机,这类掘进机配备了更强大的破岩刀具和驱动系统,能够有效应对高硬度岩石,提高掘进速度和成型质量。同时,其自动化程度较高,具备智能截割、故障诊断等功能,可减少人为操作误差,提升掘进效率。利用安装在掘进机上的各类传感器,实时监测截割头的受力情况、截割电机的电流和温度等参数,利用智能控制系统根据这些反馈信息自动调整截割速度、截割深度等,实现自适应截割。这样可以避免截齿的过度磨损,提高截割效率,同时保证巷道断面尺寸的精度,减少人工干预导致的误差,提升掘进质量。还需引入先进的支护技术,如锚注支护技术和预应力桁架支护技术等。锚注支护技术可以填充裂隙,提高围岩的强度和整体性,增强锚杆的锚固效果,有效控制围岩的变形。预应力桁架支护技术则利用高强度的钢桁架,对巷道顶板进行主动支护,能够更均匀地分担顶板压力,显著提高巷道的稳定性,降低支护成本,提升支护效果。

### （四）地质评估精准支护

在进行巷道支护设计前,开展更为深入全面的地质力学评估

工作。运用多种地质超前探测技术,如将地质雷达、超前钻孔、瞬变电磁法等相结合,对巷道前方的地质构造、岩石性质、水文情况进行全面细致的探测。除了常规的现场勘查获取岩层岩性、厚度等信息外,运用原位应力测试技术准确测量巷道围岩的初始应力状态,通过实验室岩石力学试验测定岩石的强度、弹性模量、泊松比等参数。结合 FLAC3D、UDEC 等数值模拟软件,建立精细化的地质力学模型,模拟不同支护方案下巷道围岩的应力应变变化过程,对比分析各方案的优劣,从而为支护设计提供科学准确的依据,确保支护参数能够与实际地质条件高度匹配。并建立支护设计动态调整机制,根据巷道掘进过程中的实际地质变化情况及时修改支护方案。在巷道每推进一定距离后,安排专人对围岩的变形情况进行监测,通过安装在巷道内的多点位移计、锚杆测力计等监测仪器获取围岩位移、锚杆受力等数据。

### （五）加强工程质量管理

加强对支护施工人员的专业技能培训,制定详细的培训计划,涵盖锚杆、锚索、棚式支护、砌碛支护等各种支护方式的施工工艺、操作规范、质量标准等内容。建立健全支护施工质量管理体系,从材料进场检验、施工过程监督到成品质量验收等环节进行全过程严格把控。在材料进场时,对锚杆、锚索、锚固剂、钢材等支护材料进行严格的质量检验,核对产品合格证、检验报告等资料,对不符合质量要求的材料坚决予以退回。在施工过程中,安排专人进行跟班监督,对钻孔、锚固剂安装、预应力施加等关键施工工序进行逐一检查,发现问题及时督促整改。在支护施工完成后,按照相关标准和设计要求进行成品质量验收,对支护结构的强度、稳定性等进行检测评估,只有验收合格的支护工程方可进入下一阶段施工,通过严格的质量监管确保支护施工质量达到预期标准。

## 五、结语

综上所述,在煤矿采矿工程中,巷道掘进与支护技术的合理应用及持续优化对于煤矿的安全生产和高效开采起着至关重要的作用。通过结合工程实例,对现有掘进技术如综合机械化掘进、钻爆法掘进,以及支护技术像锚杆支护、锚索支护、棚式支护等应用情况的剖析,从施工组织、设备工艺、精准支护多方面提出优化措施,真正提升煤矿采矿工程的施工质量与安全性。

## 参考文献

- [1] 李德均,董岩,孙计云,等. 煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术措施研究[J]. 矿业装备, 2022(5):57-59.
- [2] 崔啸. 煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术措施研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2023(24):37-39.
- [3] 张峰. 煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术措施研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2022(21):6-8.
- [4] 杨东旭. 采矿工程巷道掘进和支护要点[J]. 数码-移动生活, 2023(12):403-405.
- [5] 吴玉杰. 煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术措施研究[J]. 户外装备, 2023(11):109-111.
- [6] 林旭. 煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术措施研究[J]. 电脑爱好者(普及版)(电子刊), 2020(5):925-926.
- [7] 郝卓琦. 煤矿采矿工程巷道掘进和支护应用研究[J]. 当代化工研究, 2022(1):78-80.
- [8] 田斌. 采矿工程巷道掘进和支护技术[J]. 当代化工研究, 2021(12):72-73.
- [9] 刘超. 煤矿采矿工程巷道掘进与支护技术措施探析[J]. 数码-移动生活, 2020(7):182.
- [10] 王忠华. 煤矿采矿工程巷道掘进和支护技术措施研究[J]. 世界家苑, 2022(24):189-191.
- [11] 张二宾. 采矿工程中巷道掘进和支护技术措施研究[J]. 电脑校园, 2020(11):6115-6116.



# 工业工程技术在新能源产业中的应用与创新研究

徐志刚

山西和信电力发展有限公司, 山西 太原 030006

**摘要：** 本文全面分析了能源领域中机电工程的角色及其在传统能源和新能源技术中的应用与创新。探讨了“十四五”期间电力科技的重大技术方向和关键技术研究，并深入讨论了新能源技术研究的机遇与挑战。同时，文章还关注了绿氢制备及应用技术的发展现状，指出其对于实现双碳目标的重要性。

**关键词：** 机电工程；新能源技术；传统能源；电力科技；绿氢制备

## Research on the Application and Innovation of Industrial Engineering Technology in the New Energy Industry

Xu Zhigang

Shanxi Hexin Electric Power Development Co., Ltd. Taiyuan, Shanxi 030006

**Abstract：** This article comprehensively analyzes the role of electromechanical engineering in the energy field and its application and innovation in traditional energy and new energy technologies. It explores the significant technical directions and key technology research of electric power technology during the "14th Five-Year Plan" period, and delves into the opportunities and challenges of new energy technology research. Meanwhile, the article also focuses on the development status of green hydrogen preparation and application technology, pointing out its importance for achieving the dual-carbon goal.

**Keywords：** electromechanical engineering; new energy technology; traditional energy; electric power technology; green hydrogen preparation

### 引言

能源问题一直是全球关注的焦点，随着能源需求的增长和环境问题的凸显，能源领域的创新成为推动社会经济发展的关键。机电工程作为一门综合性工程技术，其在能源领域的应用与创新对于促进能源结构转型、提高能源利用效率和实现可持续发展具有重要意义。本文旨在探讨机电工程在传统能源和新能源技术中的应用与创新，分析电力科技的发展趋势，并探讨新能源技术研究的机遇与挑战。

## 一、能源领域中的机电工程概述

### （一）能源领域的重要性

能源是现代社会的基石，对经济、社会和环境发展具有至关重要的影响。随着全球经济增长和人口的增加，对能源的需求持续增长。能源供应的稳定性和可持续性直接影响着国家的安全和发展。能源领域的发展对于维护国家利益、推动经济发展以及实现可持续发展目标具有重要意义。新能源技术的发展为解决能源危机和环境挑战提供了重要途径，同时也带来了新的机遇和挑战。因此，新能源已成为当前的研究热点，其中，太阳能、风能、地热能等新能源工程项目得到了广泛关注。在新能源的持续勘探过程中，相关工程项目的问题层出不穷。在多项项目集合模式下的工程运行中，单一的管理方法已不能满足新能源项目构建的需要<sup>[1]</sup>。

### （二）机电工程在能源行业的角色

机电工程在能源行业中扮演着至关重要的角色，涵盖了能源

的生产、传输、转换和利用等各个环节。在能源生产方面，机电工程技术应用于煤炭、石油、天然气等传统能源的开采与提炼，以及风能、太阳能等新能源的利用。在能源传输方面，机电工程技术用于电力系统、输油管道、天然气管道等能源传输设施的设计、建设和运营管理。在能源转换和利用方面，机电工程技术用于发电厂、变电站等设施的建设和运营，提高了能源利用效率，保障了能源供应的稳定性和安全性。此外，机电工程还通过技术创新推动新能源领域的发展，如智能电网、微电网、储能技术等，为构建清洁、高效、可持续的能源体系提供了重要支撑<sup>[2]</sup>。通过这些技术创新，机电工程在促进能源结构转型、提高能源利用效率、降低环境污染等方面发挥着重要作用。

## 二、传统能源在机电工程下的应用与创新

### （一）煤炭的应用与创新

煤炭清洁高效利用和矿井安全生产技术是机电工程在传统能



源领域的重要应用。通过研发高效清洁煤技术，如煤气化、煤液化和超临界燃煤发电等，机电工程显著提升了煤炭的利用效率，同时大幅减少了污染物排放，为煤炭行业的绿色发展奠定了基础。同时，机电工程技术在煤矿安全生产中的应用也至关重要，涵盖了矿井通风、瓦斯抽采、矿用机械自动化等方面，这些技术的应用有效提升了煤矿的安全水平，保障了矿工的生命安全和煤矿的稳定运行。这些创新技术的综合运用，不仅优化了煤炭资源的开发利用，还促进了煤矿安全生产的现代化进程。

### （二）石油与天然气的应用与创新

机电工程在油气田开发领域的应用，通过钻探技术、油气藏评价、油气分离与处理等技术的运用，显著提高了油气资源的开采效率，确保了资源的有效利用。同时，在油气管道运输方面，机电工程技术如管道设计、自动化控制和泄漏检测等，实现了石油与天然气的高效、安全运输，保障了能源供应链的稳定性和可靠性<sup>[3]</sup>。这些技术的集成应用，不仅提升了油气田开发与运输的整体技术水平，也为油气行业的可持续发展提供了强有力的技术支持。

### （三）核能的应用与创新

机电工程在核能领域的作用不可或缺，它在核反应堆的设计、建造和维护方面扮演着重要角色，涵盖了反应堆冷却系统、控制系统和安全系统等多个关键环节，确保了核能的安全、高效运行。此外，机电工程技术在核废料的处理和储存方面也在不断创新，这些创新不仅提高了核废料处理的效率 and 安全性，而且为核能的可持续发展提供了坚实的技术保障，从而推动了核能产业的整体进步和环境友好型能源的发展。

### （四）水力能源的应用与创新

机电工程在水电站的整个生命周期中发挥着关键作用，从规划、设计到施工，它应用了包括大坝建设、水轮机设计、电站自动化控制等先进工程技术，确保了水电站的高效建设和可靠运行<sup>[4]</sup>。同时，为了适应可再生能源的波动性，机电工程还创新了水电站的灵活调节技术，这些技术的应用显著提升了电网的稳定性和调峰能力，使得水电站能够在不断变化的能源需求中保持灵活应对，进一步增强了水电作为可再生能源的实用性和经济性。

## 三、新能源技术下的机电工程创新

### （一）电动车与储能技术

机电工程在推动电动车动力系统的发展上取得了显著成就，通过系统集成、电机设计、电池管理系统等方面的创新，大幅提升了电动车的能效和续航能力，推动了电动汽车行业的快速发展。同时，在储能技术领域，机电工程技术的不断创新，无论是在电化学储能如锂电池，还是机械储能如飞轮储能等方面，都为新能源的稳定供应和电网调峰提供了重要的技术支持，从而促进了新能源应用的广泛性和可持续性。

### （二）智能电网与微电网

机电工程在智能电网领域的贡献体现在通过监测、控制、通信等技术的研发，实现了电网的自动化和智能化管理，极大地提

高了电网的运行效率和可靠性。此外，在微电网技术方面，机电工程通过设计、运行控制和能量管理等方面的创新，为分布式能源和可再生能源的接入提供了有效的解决方案，促进了能源系统的灵活性和自给自足能力<sup>[5]</sup>。这些技术的融合和应用，为构建更加高效、可持续的能源网络奠定了坚实的基础。

### （三）能源转换与储存技术创新

机电工程在新能源领域取得了重大进展，研发了高效的光伏发电、风力发电等能量转换装置，显著提升了新能源的转换效率，同时，工程技术人员还探索了新型储能技术，如压缩空气储能、液流电池储能等，这些创新为能源的高效储存和快速释放提供了新的可能性，从而推动了能源转换和储存技术的全面发展。

### （四）可再生能源与电力系统集成

机电工程在推动可再生能源与传统能源集成的过程中，创新性地开发了风光互补系统、多能互补系统等，这些集成技术的应用显著提升了能源系统的整体效率。同时，为了应对可再生能源的波动性和间歇性，机电工程还研发了电力系统的调节技术，如需求侧管理、虚拟电厂等，这些技术的应用增强了电力系统的灵活性和稳定性，为可再生能源的大规模接入和高效利用提供了坚实的技术支持。

## 四、十四五电力科技重大技术方向及关键技术研究

### （一）项目背景

“十四五”时期，我国正处于能源转型和电力体制改革的双重关键节点。在这一时期，我们面临着全球气候变化的严峻挑战和能源结构优化的迫切需求，电力科技的发展显得尤为紧迫和关键。本项目旨在深入剖析“十四五”期间电力科技的发展动态与趋势，精准定位重大技术发展方向和关键技术研究领域，以期为我国电力行业的持续、健康、高质量发展提供坚实的科学依据和技术支撑。

在此背景下，我们将全面审视电力科技的最新进展，包括新能源发电技术、智能电网建设、电力系统优化调度、储能技术、电动汽车充电基础设施等领域。通过系统分析，我们旨在揭示电力科技发展的内在规律和外部驱动因素，从而为政策制定者、行业企业和科研机构提供决策参考，推动电力科技的创新与应用，助力我国能源结构的转型升级，实现绿色、低碳、可持续的能源未来。

### （二）电力科技发展形势

在全球范围内，能源转型正在加速，新能源和可再生能源技术快速发展，电力系统的智能化、网络化、绿色化已经成为国际电力科技发展的主流趋势。而在国内，我国提出了“碳达峰、碳中和”的目标，电力行业作为减碳的主力军，面临着巨大的技术创新需求<sup>[6]</sup>。在这一背景下，新型电力系统的构建、电力市场的完善等方面的发展，为电力科技提供了广阔的发展空间和机遇。

### （三）“十四五”电力科技重大方向及关键技术

新能源领域的研究致力于提升太阳能光伏、风力发电和海洋能发电技术的效率与成本效益，确保新能源发电的可靠性与经济

性。储能技术的探索着重于开发大规模储能系统、创新储能材料与技术，并对其安全性及经济效益进行评估。智能电网技术的进步着重于智能调度、分布式能源管理、需求侧响应等技术的提升，以增强电网的智能化程度。研究还涉及提高电力系统灵活性的技术，如燃机调峰、电化学储能和抽水蓄能等，以适应电力需求的变化<sup>[7]</sup>。电力市场技术支持系统的开发涉及市场规则设计、电价机制和交易结算技术。在电力装备领域，关键材料与制造技术的创新是提高制造质量的核心。电力系统的安全与防御技术研究包括系统稳定控制、灾害防护和网络安全，保障电力系统的稳健运行。

## 五、新能源技术研究的机遇与挑战

### （一）全球新能源领域研究的发展趋势

全球范围内，技术创新在新能源领域不断取得突破，光伏电池效率的提高、风力发电成本的降低、储能技术的进步等均为显著成就。新能源技术研究已扩展至海洋能、生物质能、地热能等多种形式，呈现出多元化发展的趋势。同时，研究的重点逐渐转向系统集成与智能化，智能电网、微电网、多能互补系统等成为关键发展方向。在这一过程中，环境友好与可持续发展成为新能源技术研究的重要考量，旨在实现绿色、低碳、环保的能源解决方案。

### （二）中国新能源技术的发展与研究特点

中国政府高度重视新能源技术的发展，出台了一系列政策措施，为技术研究提供了良好的政策环境，同时，技术研发的投入也在逐年增加，科研机构和企业在技术创新上取得了显著成果。新能源技术的应用场景丰富多样，覆盖了城市到农村、工业到民用各个领域，且技术创新与产业升级紧密结合，推动产业链向高端发展<sup>[8]</sup>。然而，中国新能源技术研究在迎来机遇的同时，也面临着技术成熟度、市场竞争、产业链完善以及环境与资源约束等挑战。部分技术尚未完全成熟，国际市场竞争激烈，关键材料和核心部件依赖进口，以及如何在保障环境可持续性的前提下实现资源的高效利用，都是需要解决的问题。因此，推动新能源技术的健康发展，需要持续科技创新、政策支持和国际合作的多方面努力。

## 参考文献

- [1] 邹万里. 新能源工程项目质量管理与项目进度控制 [J]. 自动化应用, 2023, 64(S2): 161-162+165.
- [2] 李泽强, 邹世豪, 孟小威, 等. 新能源产业超大规模低湿度厂房复杂机电工程低碳快速精益建造关键技术 [J]. 安装, 2022, (S1): 196-197.
- [3] 李昊, 李瑞霞, 王天任, 等. 中深层地热能源站机电管网工程快速施工方法探索 [J]. 建筑热能通风空调, 2022, 41(06): 61-64.
- [4] 刘斌. 杭海城际铁路机电工程项目节能管理改进研究 [D]. 西安电子科技大学, 2020.DOI: 10.27389/d.cnki.gxadu.2020.001531.
- [5] 张静. 建筑机电工程的节能设计分析 [J]. 工程设计与设计, 2020, (08): 10-11.DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2020.04.205.
- [6] 专业专注面向新能源、电力电网、工业工程、基础设施…… [J]. 电气应用, 2022, 41(10): 98.
- [7] 专业专注面向新能源、电力电网、工业工程、基础设施…… [J]. 电气应用, 2022, 41(08): 106.
- [8] 潘苗. 新能源背景下我国传统电力发展方向研究 [J]. 电子元器件与信息技术, 2022, 6(11): 6-9.DOI: 10.19772/j.cnki.2096-4455.2022.11.002.
- [9] 高驰. 100万台新能源车桥下线, 五菱工业加速电动化转型 [J]. 汽车与配件, 2022, (21): 34-35.
- [10] 赵晓娟, 郭建军. 山西晋中抢抓“双碳”机遇, 加快推动新能源产业发展 [J]. 新能源科技, 2022, (10): 10-11.

## 六、绿氢制备及应用技术发展现状

### （一）双碳目标下的绿氢制备技术

绿氢，作为一种通过可再生能源如风能、太阳能等电力来制备的氢气，其制备过程几乎不产生温室气体排放，对于实现双碳目标具有重要意义。目前，电解水是绿氢的主要制备方法，涵盖了碱性电解水、质子交换膜电解水（PEM）和固体氧化物电解水（SOEC）等技术，这些技术在效率、成本和可扩展性方面不断进步<sup>[9]</sup>。技术创新集中在提高电解器的效率、降低成本和延长使用寿命等方面，而如何实现大规模绿氢生产与电网的协同则是当前面临的主要挑战。

### （二）绿氢的应用技术发展现状

绿氢在能源领域的应用正逐步拓宽，包括作为燃料电池车辆的能源、氢能发电和热电联产等，这些应用不仅推动了氢能基础设施的建设，还为实现低碳能源系统提供了新的解决方案。在工业领域，绿氢作为还原剂的应用正在钢铁、化工等行业中替代化石燃料，助力脱碳工艺的发展。同时，绿氢作为一种储能介质，能够将多余的可再生能源电力转化为可储存的氢能，并在需求时释放，增强了能源系统的灵活性和可靠性<sup>[10]</sup>。然而，绿氢应用技术的发展挑战依然存在，包括氢储存与运输的安全性问题、基础设施建设的高成本问题，以及氢能终端应用的市场推广难题。

总体来看，绿氢制备及应用技术的发展是实现双碳目标的重要手段，尽管目前还存在诸多挑战，但随着技术的不断进步和成本的降低，绿氢有望在未来能源体系中扮演重要角色。

## 七、结束语

总之，机电工程在能源领域的应用与创新为传统能源的优化利用和新能源技术的发展提供了有力支撑。面对新能源技术的机遇与挑战，我们需要继续推动科技创新，加强政策支持和国际合作，以实现新能源技术的健康发展。绿氢制备及应用技术的发展为双碳目标的实现提供了新的路径，尽管存在挑战，但其潜力巨大，未来有望在能源体系中发挥更加重要的作用。

# 电力装备制造物流规划设计方案研究与实践

## ——以某公司为例

张鹏, 张尚铎, 赵一多, 张金亮, 段予  
西安西电高压开关有限责任公司, 陕西 西安 710076

**摘 要 :** 本文以电力装备制造数字化仓储物流管理项目为例, 通过构建自动化立体仓库和 AGV 运输物流系统, 并通过与自动化生产线数据横向集成, 实现了各类物料出入库管理及库存管理的精确纵向作业, 全面贯通了电力装备制造企业的仓储物流数字化管理。该项目显著提升了物流运营效率, 减少了非增值时间, 并优化了价值流的增值比。本文成果为今后电力装备制造及其他相似场景的物流系统数字化建设提供了有价值的参考依据, 展示了数字化技术在现代制造业物流管理中的应用潜力和实际效益。

**关 键 词 :** 电力装备制造; 智慧物流; AGV; WMS 系统; 精益物流

### Research and Practice on Logistics Planning and Design of Electric Power Equipment Manufacturing Industry—A Case Study of a Company

Zhang Peng, Zhang Shangduo, Zhao Yiduo, Zhang Jinliang, Duan Yu  
Xi'an XD High Voltage Apparatus Co., Ltd. Xi'an, Shaanxi 710018

**Abstract :** This paper presents a case study of the digital warehouse and logistics management project within the power equipment manufacturing industry. By developing an automated vertical warehouse alongside an Automated Guided Vehicle (AGV) transportation logistics system, and by horizontally integrating data with automated production lines, this initiative has successfully achieved precise vertical operations for material handling in and out of the warehouse as well as effective inventory management. Furthermore, it has fully integrated digital management practices for both warehousing and logistics within the power equipment manufacturing enterprise. The outcomes of this project have led to significant enhancements in logistical operational efficiency, a reduction in non-value-added time, and an optimization of the value-added ratio across the value stream. The results of this paper provide a valuable reference for the digital construction of logistics system in power equipment manufacturing industry and other similar scenarios in the future, and show the application potential and practical benefits of digital technology in modern manufacturing logistics management.

**Keywords :** manufacturing of electrical equipment; smart logistics; AGV; WMS system; lean logistics

## 引言

智能制造是本世纪制造业改革的重要策略。随着全球经济的快速发展和技术的不断进步, 制造企业面临的国际竞争日益激烈。美国的“先进制造业国家战略计划”、德国的“工业4.0”战略<sup>[1]</sup>以及我国的“中国制造2025”战略计划<sup>[2]</sup>, 充分说明了智能化转型升级、打造数字化工厂已成为传统制造企业提升自身核心竞争力的必由之路。其中, 仓储物流作为贯穿整个生产制造的重要组成部分, 其高效运作直接影响到企业的生产效率和市场响应速度<sup>[3]</sup>。

对此, 某公司以两型(制造型、服务型)三智(智能化产品、智能化制造、智慧电气系统解决方案)为指引, 实施“绿色共享, 智慧制造”策略, 以仓储物流资源集约化、作业自动化、运营智能化、管理可视化为目标, 推进数字化仓储物流项目, 为企业仓储物流降本领先、服务最优和建设投资回报最优战略目标提供强有力支撑。

本项目针对电力装备制造业的仓储物流现状痛点, 以数智化、精益化、绿色低碳为导向, 构建智慧物流解决方案, 填补行业智慧仓储应用空白。通过将该方案融入电力装备制造业的“灯塔工厂”升级, 优化仓储配送流程, 提升配送准时率, 降低成本, 物流可视化, 快速响应决策, 实现仓储物流的数字化管理的全面贯通。



## 一、企业物流现状分析

电力装备制造业物料种类繁多，现行仓储模式面临三大挑战：低集约度的平库与低货架；物料入库、查找及配送依赖人工，效率低；入库信息更新滞后。这些问题严重制约物流效率和生产流畅性，亟需优化物流规划，提升整体管理水平。下文将从入库、存储、配送三方面展开分析。

### （一）物料检验入库现状

#### （1）物料库存积压

物料管理中，为降低运输成本，常出现超计划多送现象，导致库存积压，增加了仓储空间需求和管理难度，制约了资金流动性，影响运营效率。

#### （2）物料到货时效性差

物料采购中，部分物料未按计划到货，导致领料不齐套，引发半成品积压、生产进度受阻，甚至停工，严重影响生产效率和产能利用率，反映出供应链协调性不足，降低了整体响应速度。

#### （3）物料入库现场人员杂乱

现行仓储模式下，供应商现场翻包摆盘及资料提交导致外来人员频繁出入，增加秩序管理和安全管理难度，外来人员操作不当引起的返修频发降低了入库效率，且存在安全隐患。

#### （4）物料入库检验效率低

检测手段落后且效率低，来料检测耗时长，导致物料堆积、入库延迟，成为入库瓶颈，影响供应链响应速度并制约企业生产能力。

### （二）物料存储现状

#### （1）仓库管理系统（WMS）对接时效性欠佳

目前仓库由某物流公司管理，双方系统未完全对接，导致实物流与信息流不同步，库存数据不准，库存管理和决策效率及物流响应能力降低<sup>[3]</sup>。

#### （2）原材料存货载具不统一，标准化程度低

原材料载具缺乏统一标准，增加存储和搬运复杂性，且无格挡设计易致零件损坏，影响物料质量与生产效率，同时加大库存管理难度，降低调配效率。

#### （3）原材料存储不集中

仓库场地紧张，部分物料分散存储于车间或户外，提升库存管理难度，调配效率低下，同时户外存放易损害物料质量，增加存储安全风险。

#### （4）产成品仓库发货效率低

露天存储影响产品质量，找货与工程完整性依赖人工盘点，缺乏条码管理，发货确认周期长，效率低下。

### （三）生产物料清洗配送现状

#### （1）零件清洗标准不统一

大件物料清洗效率低、耗时长，人员冗杂成本高，部分装配件运达产线后需进行二次清洗，增加人力与时间成本；清洗标准不统一，影响生产质量和产品一致性。<sup>[4]</sup>

#### （2）载具周转利用率低

空载具返还不及时，周转率低，日均仅一次周转，无法满足

高效生产需求，延长配送周期，增加物流成本，降低运行效率<sup>[5]</sup>。

#### （3）超量配送，产线物料缓存过多

产线物料缓存过多源于大批量集中配料方式，导致线边堆积、灵活性下降、操作复杂性增加，降低生产效率，占用空间并增加损耗与运营成本。

## 二、总体物流规划

公司以准时化、精益化、一体化、数智化、绿色化和引入第三方物流六大战略为核心导向，致力于全面提升物流运营效率。为达成这一目标，公司采用自动化堆垛机立体库、扫码枪及 PDA 终端等智能设备，显著增强了出入库操作的效率，并有效降低了人力成本。通过整合仓库管理系统（WMS）、仓库监控与调度系统（WES）、物流执行系统（LES）及 AGV 调度系统，构建智慧物流运营平台，实现仓储与配送环节的高效集成<sup>[6]</sup>。

在物料配送及空载具回收方面，采用 AGV 自动化方式，提升配送效率，降低用工成本。同时，公司通过建设供应商管理系统（SRM）实时监控供应商物料的送货进度，以确保供应链运行顺畅。在仓库管理系统（WMS）中增设齐套预警功能，而制造执行系统（MES）则在开工前对物料齐套性进行检测，有效避免了生产中断的风险。

公司通过严控周转天数、滚动锁定日产计划、齐套与节拍配送等运行规则，优化物流作业，提升效率，助力可持续发展。

### （一）物流业务规划

如图 1，配送物流业务主要包含四个阶段：需求接收、取料、配送及空车回收，通过多系统协同加速物流信息传递，减少物流作业时间，节省人力成本，提高物流效率<sup>[7]</sup>。



图 1 配送物流业务

（1）传统配送需求接收方式依赖纸质单据，现引入 MES 系统与自动化产线集成，实现自动按预定节拍送料；非自动化产线则通过人工在 MES 系统发起下料请求，实现物料按需自动配送，有效节省了线下的人工传递，提高了配送的准确性和效率。

（2）在缓存区取料环节，传统方式需要人工寻料，效率低下且易出错。WMS 系统和 AGV 调度系统的集成实现了智能化取料，WMS 系统根据产线需求信息和物料存储位置信息，向 AGV 调度系统发送取料指令，AGV 根据指令完成自动寻料及取料，提升了取料的准确性和效率。

（3）传统配送方式由人工将料车送至产线并暂存，载具回收不及时且需要大量配送人员。现可通过 AGV 调度系统规划最优配送路线，实现自动配送。同时，自动化产线可识别物料，非自动化产线则通过人工扫码识别，实现了物料的自动配送和智能识别，节省了人员成本<sup>[8]</sup>。

（4）传统空车回收依赖人工完成，耗时且效率低下。本项目通过 MES 系统与 WMS 系统集成实现空载具的自动回收，MES 系统实时将载具状态通过 WMS 系统发送至 AGV 调度系统，AGV 自动将空载具运送回仓库暂存位，实现了空载具自动化回收。

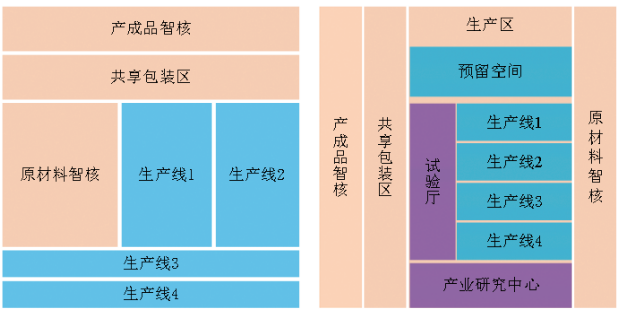


(二) 仓储布局规划

(1) 总体布局

本项目围绕“两核、两区”规划仓储布局，涵盖产成品智核、原材料智核、成品包装区及生产区，并设计两种方案，分析其在流转效率与空间利用上的差异，如图2所示。

原始布局中的各区域功能明确，共享包装区与产成品智核心相邻，简化了生产到成品交付的路径，但生产线1、2与其他区域的位置关系导致物料供应与成品流转存在动线交叉，易造成拥堵，降低物流效率，同时生产线3、4到共享包装区及产成品智核的转运路径不够流畅。为优化动线布局，可将原材料智核与生产区并列设置，减少物料运输路径，并将原材料智核与成品包装区及产成品智核分别调整至生产区的两侧，避免生产区的物料供应和成品流转发生冲突。此外，通过对原材料智核实施垂直立体存储设计，可有效提升空间利用率。



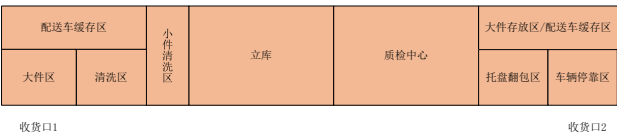
a) 原始布局

b) 优化布局

> 图2布局示意图

优化布局中，“两核、两区”呈并列设置，动线统一，有效避免了路径交叉。原材料智核位于车间东侧，提供各类零部件的入库、检测、清洗、存储、拣选及缓存服务。该区域布局充分考虑生产线的实际需求，通过智能拣选系统实现零部件快速、准确地供应，有效减少了生产线的等待时间及中断风险。

生产区与原材料智核心紧邻，确保能够快速获取生产所需零部件。该布局保证了生产的连续和稳定，还有助于优化生产流程、提高生产效率；产成品包装区紧邻生产区与产成品智核，便于完成产品的必要包装和标记工作，有效减少了产品在车间内的移动距离，提高了整体运营效率；产成品智核位于车间西侧，专注于产成品的存储与发货准备，避免了露天存储对产品质量的影响，保证了产品的安全性。



> 图3原材料智核功能布局示意图

图3为原材料智核的平面布局图，其核心为立库系统，包含四向穿梭车立体库、托盘堆垛机立体库、料箱缓存区、大件地堆系统及控制系统。其中，小于2kg的小件物料进入四向穿梭车立体仓库存储；大于2kg的中件物料进入托盘堆垛机立体仓库存储；大件物料则使用专用工装在大件地堆平库区存储<sup>[9]</sup>。

(2) 料盒和托盘立库规划

标准料盒立库区占地约350m<sup>2</sup>，设置两组高速堆垛机，单个料盒承重35公斤，双向入口和拣选口，北侧直接通过提升井入

库，布局为6排\*9列\*4货位\*23层及6排\*1列\*2货位\*23层，共计5244个货位<sup>[10]</sup>。

标准托盘立库区分两期建设，占地约1200m<sup>2</sup>，现一期建设设置三组单深双工位堆垛机，每个货位由单个铁托盘承重1000公斤，含消防喷淋预留空间，布局为6排\*28列\*2货位\*12层，共计4032个货位，二期拟增加单深双工位堆垛机1台及货架2排\*28列\*2货位\*12层，以提升进出货效率及仓储容量。

在实际生产过程中，每日提前齐套次日的料盒、托盘配送物料，并上架架存储待配送，配送物料每日按生产队列计划自动下架，通过AGV配送到生产线工位并带回空料盒、托盘，实现配送准确、物料齐全、载具利用率高。

(三) 智慧物流规划

本项目实施精益物流策略，结合智能设备和数字化技术，构建集WMS、WES、LES于一体的智慧物流平台，实现供应商到货预警、库存监控、物料齐套检查及高效配送，全面优化流程，提升运营效率。

三、结语

如今，数字化物流方案作为智能制造的重要组成部分，已成为未来物流系统发展的核心方向。优化运输方式、提升物流效率，减少了非增值时间，优化了价值流的增值比是实现制造业高质量发展必由之路。物流系统的持续优化将助力企业在激烈的市场竞争中保持领先地位，持续提升核心竞争力和经济效益。该项目成功实施不仅为电力装备制造企业的仓储物流数字化管理提供了有效的解决方案和参考依据，也为其他制造业企业在物流系统数字化建设方面提供了宝贵的经验和借鉴。

未来，随着技术的不断进步和企业需求的进一步提升，智慧物流系统将继续向更高的智能化和自动化方向发展。企业应持续优化物流流程，进一步整合先进技术，如人工智能和大数据分析，提升物流系统的智能决策能力和自适应能力，以应对日益复杂的市场环境和生产需求。

参考文献

[1] 胡成飞, 姜勇, 张旋. 智能制造体系构造: 面向中国2025的实践路线[M]. 机械工业出版社, 2017, 5: 2-5.

[2] 宋云晴, 吴秀玲. 从工业4.0发展看“中国制2025”[J]. 通信企业管理, 2016(03): 53-55.

[3] 张宁恩, 侯振, 万莹. 智能仓储物流管理系统分析[J]. 信息系统工程, 2023, (07): 24-27.

[4] 陈晓莺, 许胜飞. 智能仓储物流管理系统的设计与应用研究[J]. 物流研究, 2023, (02): 64-69.

[5] 史乐蒙. 中国大宗商品仓储管理进入标准化时代[N]. 期货日报, 2022-08-26(007).

[6] 刘建举. A公司仓储物流精益管理提升策略研究[D]. 北方工业大学, 2022.

[7] 孙三元. 数字经济背景下TW集团物流链优化研究[D]. 河北工业大学, 2021.

[8] 许广胜. 智能工厂建设下的L公司内部物流优化研究[D]. 苏州大学, 2021.

[9] 项道东. 射频技术下数字化仓储物流管理系统的设计研究[J]. 中国商论, 2017, (05): 46-47.

[10] 朱海洋, 毕秀霞, 葛明明, 等. 轨道交通车辆制造企业的数字化车间物流管理系统建设[J]. 电脑知识与技术, 2016, 12(23): 185-187.

# 抽水蓄能水电站档案规范化管理与利用效率研究

段雯蝶

中电建（富民）抽水蓄能开发有限公司，云南 昆明 650000

**摘 要：** 本文综合论述了抽水蓄能水电站档案管理的重要性，并针对规范化管理体系、利用效率提升及信息化建设进行了探讨。文章首先明确了抽水蓄能水电站档案管理的定义和关键性，分析了当前管理状况与挑战。随后，构建了一个基于原则、流程、内容与保障措施的规范化管理体系。进一步，提出了档案利用效率提升策略，包括现状评估、评价指标构建和具体实施策略。文章最终阐述了档案信息化建设的必要性、目标、内容、技术路线与保障措施，为档案管理现代化提供了理论依据和实践路径。

**关 键 词：** 抽水蓄能水电站；档案规范化管理；管理效率；档案利用；信息化建设

## Research on Standardized Management and Utilization Efficiency of Archives in Pumped Storage Hydropower Stations

Duan Wendie

Power Construction Corporation of China (Fumin) Pumped Storage Development Co., Ltd. Kunming, Yunnan 650000

**Abstract：** This paper comprehensively discusses the importance of archive management in pumped storage hydropower stations and explores standardized management systems, utilization efficiency improvement, and informatization construction. The article first clarifies the definition and criticality of archive management in pumped storage hydropower stations, analyzing current management conditions and challenges. Subsequently, a standardized management system based on principles, processes, content, and safeguard measures is constructed. Further, strategies for improving archive utilization efficiency are proposed, including current situation assessment, evaluation index construction, and specific implementation strategies. The article concludes by elucidating the necessity, goals, content, technical routes, and safeguard measures of archive informatization construction, providing a theoretical basis and practical pathway for the modernization of archive management.

**Keywords：** pumped storage hydropower station; standardized archive management; management efficiency; archive utilization; informatization construction

## 引言

随着全球能源需求的不断增长和新能源的快速发展，抽水蓄能水电站作为一种重要的调节和储备能源手段，在我国能源结构调整和电力系统中发挥着越来越重要的作用。抽水蓄能水电站的建设与运行涉及大量的技术数据、管理文件和工程档案，这些档案资料不仅是电站建设与运营的历史记录，更是电站安全、高效运行的重要依据。然而，目前抽水蓄能水电站档案管理尚存在不规范、利用效率不高的问题，严重影响了电站的运行效率和管理水平。因此，本研究旨在探讨抽水蓄能水电站档案规范化管理与利用效率的提升，以期为我国抽水蓄能水电站的可持续发展提供理论支持和实践指导。

## 一、抽水蓄能水电站档案管理概述

抽水蓄能水电站，作为一种重要的可再生能源发电方式，其档案管理的重要性不言而喻。以下是对抽水蓄能水电站档案管理的专业概述：

### （一）抽水蓄能水电站基本概念

当前，大力发展可再生能源已成为全球共识，抽水蓄能工程在保障能源安全和促进能源转型方面作用凸显，是“实现双碳目标、构建以新能源为主体的新型电力系统”的关键支撑，是目前

技术成熟可靠、最具大规模开发、经济高效的绿色储能手段。抽水蓄能电站具有调峰、填谷、调频、调相、储能、事故备用等多种功能，这些功能可以保障电力系统安全、可靠、稳定、经济运行<sup>[1]</sup>。抽水蓄能电站通过在电力需求低时使用过剩电力将水从低处泵至高处储存，然后在高峰时段释放这些储存的水来发电，从而平衡电力系统的供需。这种电站的特点在于其灵活性和高效性，能够在短时间内提供大量的电力。

### （二）档案规范化管理的重要性

档案管理不仅记录了电站的建设过程、技术参数和运营数

据，而且是电站长期稳定运行和维护的重要依据。根据《中华人民共和国档案法》<sup>[2]</sup>的规定，抽水蓄能电站的档案管理期限为永久和长期，这要求档案管理必须满足长期保存、大量存储和频繁借阅的需求。

### （三）抽水蓄能水电站档案管理现状分析

当前，抽水蓄能电站的档案管理正面临着一系列挑战。随着信息技术的快速发展，档案信息化建设成为必然趋势。这要求档案管理不仅要有系统的存储和检索机制，还要实现档案的数字化，以提高管理效率和档案的可用性<sup>[3]</sup>。同时，如何确保档案的完整性和准确性，以及如何有效地进行档案的分类和利用，也是当前档案管理的关键问题。

## 二、抽水蓄能水电站档案规范化管理体系构建

在构建抽水蓄能水电站档案规范化管理体系的过程中，以下四个方面是关键：档案规范化管理原则、流程、内容以及保障措施。

### （一）档案规范化管理原则

抽水蓄能水电站档案管理应遵循的原则包括确保档案的完整性、准确性、可追溯性和安全性。这些原则是档案管理工作的基石，确保了档案在长期和永久保存过程中的可靠性和有效性。

### （二）档案规范化管理流程

档案管理流程涉及从档案的生成、收集、整理、归档到存储和利用的全过程。在这一流程中，特别需要注意的是档案的标准化和数字化<sup>[4]</sup>。例如，针对归档文件不规范的问题，应从源头加强管控，提升归档文件的质量，如严格跟踪检查监理单位和设计单位提供的文件质量。

### （三）档案规范化管理内容

管理内容主要包括项目前期文件、施工文件、竣工文件、运行维护文件等。这些文件不仅详细记录了项目建设全过程，还为电站的使用、管理、改（扩）建提供了重要依据，是反映项目建设和管理水平的重要标志。

### （四）档案规范化管理保障措施

有效的保障措施是确保档案管理规范化的关键。这包括建立健全的档案管理制度、提高档案管理人员的专业素质、加强档案管理意识，以及采用现代化的档案管理技术，如数字化管理系统，以提高档案管理的效率和安全性<sup>[5]</sup>。

在档案管理实践过程中，需特别注意以下方面：确保归档文件的完整性与准确性，防止文件编号错误；提升档案人员的专业知识和对工程建设流程的熟悉度，以优化归档整理的品质；同时，加强档案收集归档意识，保障档案资料的及时性和完整性，防止因档案不全面造成的潜在损失和问题。

## 三、抽水蓄能水电站档案利用效率提升策略

在探讨抽水蓄能水电站档案利用效率提升策略时，以下四个方面是核心：档案利用现状分析、档案利用效率评价指标体系构

建、提高档案利用效率的关键因素以及档案利用效率提升策略。

### （一）档案利用现状分析

当前，抽水蓄能水电站档案利用的现状主要面临的问题包括档案信息化程度不高、档案检索效率低下、档案利用意识不足等<sup>[6]</sup>。这些问题导致档案资源未能充分发挥其在电站运行、维护和改建中的支持作用。

### （二）档案利用效率评价指标体系构建

在现代电力系统中，抽水蓄能电站以其运行灵活性、节能环保特性，满足了电网调峰填谷、调频、事故备用等多重需求，其重要性不容忽视。在构建档案利用效率评价指标体系时，必须充分考虑这些特性，确保评价体系全面反映抽水蓄能电站的综合效益<sup>[7]</sup>。评价指标体系应包括技术、经济、社会 and 可持续发展四个维度，技术层面涵盖运行效率、设备可靠性、技术创新能力，经济层面关注投资回报率、运营成本、市场竞争力，社会层面考虑对周边社区的影响、就业贡献、公共安全，可持续发展层面则着眼于环境保护、资源利用效率、长期发展潜力。为提升评价指标体系的实用性与科学性，应采用定量评估方法，如G1法确定权重，结合模糊综合评判法进行综合评价，将定性分析与定量计算相结合，以准确评估档案利用效率。

### （三）提高档案利用效率的关键因素

在抽水蓄能水电站的建设与运营过程中，产生了涵盖地勘、环保、水保、移民安置、职业卫生等多方面的海量档案资料<sup>[8]</sup>。鉴于建设周期长、参建单位众多、地质条件复杂及施工难度大，档案管理显得尤为关键。管理内容不仅包括文书、项目、合同、科研等档案，还需面对生产运行期间员工数量有限、机组多工况频繁切换、主机设备维护检修难度增大的挑战。档案数字化是提升档案利用效率的核心，它不仅是档案管理模式信息化转型的支撑，也是实现数据资源共享和实质利用的关键。数字化将纸质及实物档案转化为易于存储、检索和共享的数字文件，不仅提升了档案利用效率，还促进了电站的安全稳定高效运行。此外，档案信息化建设的体系框架对于提升档案利用效率同样至关重要。一个完善的框架确保了档案资源的高效管理和利用，包括馆藏资源的数字化、服务网络化以及利用互联网技术提供的远程服务，从而减少查找资料所需时间，实现档案资源的多场合利用。

### （四）档案利用效率提升策略

加强档案信息化建设是提升抽水蓄能水电站档案利用效率的核心策略，涉及构建一个全面的信息化体系框架，该框架旨在促进档案资源的高效管理和广泛利用。该体系包括馆藏资源的数字化、服务网络化，以及利用互联网技术提供的远程服务功能，从而使得电站员工和档案管理人员能够更加高效地访问和利用档案资源，显著减少资料检索时间，并实现档案资源在多种场合下的应用<sup>[9]</sup>。同时，档案管理的优化也是关键，通过对档案管理流程的改进、档案内容的规范化处理以及档案存储和检索系统的升级，确保档案的完整性和易访问性，进一步提高档案利用效率。此外，档案数字化工作的推进同样重要，它不仅包括将纸质和实物档案转化为数字文件，还涉及对这些数字档案的有效管理与应用。数字化档案的易存储、检索和共享特性，不仅提升了档案利



用效率，同时也促进了电站的安全稳定和高效运行。

## 四、抽水蓄能水电站档案管理信息化建设

在探讨抽水蓄能水电站档案管理信息化建设时，以下四个方面是核心：信息化建设的必要性、信息化建设目标与内容、信息化建设技术路线以及信息化建设保障措施。

### （一）信息化建设的必要性

抽水蓄能电站档案管理的信息化建设是响应现代社会信息化发展趋势的必然选择。以宜兴抽水蓄能电站为例，其档案工作涉及从建设到生产运营的全过程，包括文书档案、项目档案、合同档案、科研档案等。这些档案的数字化不仅有助于提高管理效率，而且是电站安全稳定高效运行的重要保障。档案数字化通过采用现代技术手段，如拍摄、扫描等，将纸质档案和实物档案转化为数字文件，从而实现档案资源的有效管理和利用。

### （二）信息化建设目标与内容

信息化建设的核心在于提升档案管理的效率和效用，确保档案资源有效服务于电站的运营与发展。该建设涉及现有档案资源的全面数字化，以及构建高效稳定的信息化管理平台。如宜兴抽水蓄能电站的实践，档案工作与工程建设同步，形成了大量纸质档案、竣工图、照片档案等，其数字化处理不仅包括纸质档案，还涉及实物档案，实现档案资源的全面数字化存储与管理。同时，信息化建设内容覆盖档案的收集、整理、存储到利用的全过程，要求建立完善的档案信息化体系框架，以支持档案资源的有效管理和利用，如广东蓄能发电有限公司探索的项目文件与档案管理一体化的新思路和方法，提升了管理效率并促进了档案资源的多场景利用<sup>[10]</sup>。此外，档案信息化建设着重于档案的安全性和保密性，通过定期维护和技术更新档案管理系统，并制定信息安全措施，确保档案信息在数字化和网络化环境中的有效保护。

### （三）信息化建设技术路线

信息化建设的核心在于实现档案资源的全面数字化，标志着档案管理模式向信息化转型的关键步骤。在宜兴抽水蓄能电站的建设过程中，产生了大量纸质档案、竣工图、照片档案等，其数字化工作不仅涵盖纸质档案的转化，还包括实物档案的数字化处理，通过拍摄、扫描等设备将档案加工成数字文件，并建立目录数据与数字文件的处理关联。这种方式显著提升了档案资源的管

理效率和利用水平，减少了电站员工和档案人员查找资料的时间消耗。同时，信息化建设推动了档案管理模式的转变，通过网络化信息检索、调取、浏览、传输等功能，提供远程查档、借阅一站式服务，实现了档案资源的多场合利用，提升了档案管理的效率。在数字化和网络化的背景下，档案管理的安全性和保密性同样至关重要，涉及档案管理系统的定期维护、技术更新以及信息安全措施的制定，确保档案信息在数字化过程中的完整性和可靠性。

### （四）信息化建设保障措施

在推进抽水蓄能水电站档案管理信息化建设的过程中，确保其顺利实施和长期稳定运行，需采取一系列关键保障措施。建立和完善档案管理信息化标准体系是基础，涉及统一档案分类编码、数据格式、存储规范及信息安全标准，以保障档案数据的一致性和兼容性，同时提升档案管理的规范性和效率。加强档案管理人员的专业培训和能力提升同样关键，要求档案管理人员不仅精通传统档案管理知识，还需熟练掌握数字档案的采集、处理、存储和检索技术，以适应信息化管理的需求。此外，投入必要的资金和资源支持信息化基础设施建设，包括高性能硬件设备、专业档案管理软件及稳定可靠的网络安全环境，是信息化建设顺利进行的前提。建立健全的监督和评估机制，通过定期系统性能评估、安全审计和用户反馈收集，及时发现问题并解决，确保档案管理系统的持续改进和优化，为信息化建设的持续优化提供保障。

## 五、结束语

总之，本文对抽水蓄能水电站档案管理的重要性、规范化管理体系构建、档案利用效率提升策略以及档案管理信息化建设进行了全面而深入的探讨。通过分析现状、构建体系、提出策略和保障措施，为抽水蓄能水电站档案管理的科学化、规范化、高效化提供了理论依据和实践指导。

展望未来，随着信息技术的不断发展和档案管理理念的创新，抽水蓄能水电站档案管理工作将更加注重信息化、智能化和人性化，为电站的长期稳定运行和可持续发展提供更加坚实的信息支持。同时，本研究也为其他可再生能源电站的档案管理工作提供了有益的借鉴和启示。

## 参考文献

- [1] 周轩漾. 浅谈我国抽水蓄能电站建设典型技术创新[J]. 电力勘测设计, 2023,(S2):217-222.DOI:10.13500/j.dlkcsj.issn1671-9913.2023.S2.036.
- [2] 唐磊, 胡尧涛, 黄明, 等. 抽水蓄能电站工程中的土壤流失预测[J]. 水利科学与寒区工程, 2023,6(12):80-83.
- [3] 赵家欣. 抽水蓄能电站大坝填筑工艺[J]. 人民黄河, 2023,45(S2):183-184.
- [4] 童达. “双碳”背景下抽水蓄能电站监理特性及控制要点[J]. 水利水电快报, 2023,44(S2):50-53.DOI:10.15974/j.cnki.slsdkb.2023.S2.014.
- [5] 徐晓东. 抽水蓄能电站地下厂房栈道施工技术[J]. 人民珠江, 2023,44(S2):281-285.
- [6] 荣奎胤. 论抽水蓄能式水电站在未来水电站发展中的趋势[J]. 水上安全, 2023,(16):85-87.
- [7] 高志民. 抽水蓄能科技创新的探路先锋[N]. 人民政协报, 2023-12-28(011).DOI:10.28660/n.cnki.nrmzx.2023.007504.
- [8] 曹阳阳. 抽水蓄能电站定子机座拼装和焊接技术研究[J]. 人民珠江, 2023,44(S2):286-290.
- [9] 刘晔, 王晓夫. 新型电力系统建设下湖南抽水蓄能电站的发展[J]. 大众用电, 2023,38(12):50-51.
- [10] 李明. 大型抽水蓄能电站定子安装技术创新及应用[J]. 人民珠江, 2023,44(S2):265-269.