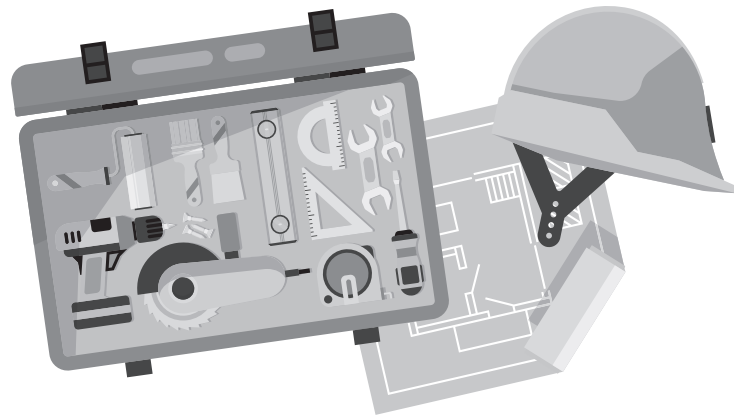


# 工程技术 与质量管理

Engineering Technology and Quality Management



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



## Editors-in-Chief

Yulei Chao

Heze Dehe Construction Engineering Group Co. LTD.

Haizhong Gao

Zhejiang Zhongnan Construction Group Co. LTD.

## Associate Editor

Pengyue Yu

Shandong Construction Engineering (Group) Co., LTD.

## Editorial board member

Sanath Alahakoon

School of Engineering and Technology Centre for Railway Engineering

Salahuddin Azad

School of Engineering and Technology Institute for Future Farming Systems,  
Centre for Regional Economies and Supply Chains

Yungang Wang

Ordos Sports Development Center

Qigui Chi

Expert Committee of China Construction Supervision Association

Danhui Chi

Fujian Provincial Institute of Engineering Supervision and Project Management  
Association

Yahui Chi

Fujian Provincial Civil Engineering and Construction Industry Association

Chunxiu Liu

Fujian Provincial Association of Engineering Construction Quality and Safety

# 工程技术与质量管理

Engineering Technology and Quality Management

第2卷 第11期 2024年11月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《工程技术与质量管理》编辑部

ISSN(O): 2992-9806

ISSN(P): 2995-3170

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。



## 工程技术 | ENGINEERING TECHNOLOGY

- 005 浅析活性炭吸附-催化氧化装置设计及  
安全风险控制 寇耀天<sup>1</sup>, 王荣辉<sup>2</sup>, 李泮林<sup>3</sup>, 李俊波<sup>4</sup>  
Design and Safety Risk Control of Activated Carbon Adsorption-Catalytic  
Oxidation Device Kou Yaotian, Wang Ronghui, Li Fenglin, Li Junbo
- 008 5G消防应急通信建设的创新思考 余德麒  
Innovative Thinking of 5G Fire Emergency Communication Construction Yu Deqi
- 011 全球视野下的海外本地传输网络建设研究 李巍  
The Research on the Construction of Overseas Local Transmission Networks  
from a Global Perspective Investment Project Management Li Wei
- 014 锡矿采集筛分包装多功能船的  
研究与应用 王泽生, 王永生, 高文明, 张进, 张中  
Research and Application of Multi-Functional Ship  
for Tin Ore Collection, Screening and  
Packaging Wang Zesheng, Wang Yongsheng, Gao Wenming, Zhang Jin, Zhang Zhong
- 019 环境地质监测在重大工程建设中的应用 杨思奕  
The Application of Environmental Geological Monitoring  
in Major Engineering Construction Yang Siyi
- 022 矿热炉机械装备及其自动化应用的研究 张全强  
Research on Mechanical Equipment and Automation Application  
of Ore-Smelting Electric Furnace Zhang Quanqiang
- 025 昆明市北市区某冲洪积及湖积地层中盆式  
开挖基坑支护工程设计要点浅析 余再西<sup>1</sup>, 李荣玉<sup>2</sup>, 何小远<sup>3</sup>  
Analysis of Design Considerations for Pothole Excavation and Shore Protection  
in a Fluvial-Alluvial and Lacustrine Sedimentary Area  
in Beijiao District, Kunming City Yu Zaixi<sup>1</sup>, Li Rongyu<sup>2</sup>, He Xiaoyuan<sup>3</sup>
- 030 建筑工程深基坑开挖中土钉支护技术的应用与实践 徐小芳  
Application and Practice of Soil Nail Support Technology in Deep  
Foundation Pit Excavation in Construction Engineering Xu Xiaofang
- 033 人工智能在政务自助服务中的应用: 机器人技术的创新与推广 高兴兴  
Application of Artificial Intelligence in Government Self-service:  
Innovation and Promotion of Robotics Technology Gao Xingxing
- 036 智能化维修工具在机械维护中的应用与发展趋势 胡强, 曹友泽, 罗建鹏  
Application and Development Trend of Intelligent Maintenance Tools  
in Mechanical Maintenance Hu Qiang, Cao Youze, Luo Jianpeng
- 039 智能网联新能源汽车的自动驾驶技术与挑战 王喆  
Autonomous Driving Technology and Challenges of Intelligent and  
Connected New Energy Vehicles Wang Zhe
- 042 中国民航老龄飞机浅谈 佟栋梁  
A Brief Discussion on Chinese Civil Aviation's Aging Aircraft Tong Dongliang
- 045 传感器技术与组态控制技术在自动化生产线  
柔性化改造中的应用研究 杨敏跃  
Research on the Application of Sensor Technology and Configuration  
Control Technology in the Flexible Transformation  
of Automated Production Lines Yang Minyue
- 048 可控性低强度材料及其工程应用 黄楠, 许添耀, 张之骋  
Controllable Low-Strength Materials and Their  
Engineering Applications Huang Nan, Xu Tianyao, Zhang Zhicheng

051	风浪流不共线对半潜式风机平台水动力性能的影响研究 Effects of Wind-Wave-Current misalignment on the Hydrodynamic Performance of Semi-submersible Platform for Wind Turbine	贺金龙, 焦波 He Jinlong, Jiao Bo
055	PW1100G 发动机 LP35 滑油管接头失效分析 Failure Analysis of LP35 Oil Tube Adapter in PW1100G Engine	师多应 <sup>1</sup> , 崔珂 <sup>2</sup> , 武汉英 <sup>3</sup> Shi Duoying <sup>1</sup> , Cui Ke <sup>2</sup> , Wu Hanying <sup>3</sup>
058	天然气输气管道的防腐技术与长期可靠性研究 Research on Anti-corrosion Technology and Long-term Reliability of Natural Gas Transmission Pipelines	崔永生 Cui Yongsheng
061	化工设计中高压管道的应力分析与布置优化 Stress Analysis and Layout Optimization of High-pressure Pipelines in Chemical Engineering Design	潘源, 朱红 Pan Yuan, Zhu Hong
064	油田地面建设场站工程中全自动焊接技术的应用与质量控制研究 Research on the Application and Quality Control of Fully Automatic Welding Technology in Oilfield Ground Construction Station Engineering	舒福明 Shu Fuming
067	地铁车辆检修模式与修程划分的分析与研究 Analysis and Research on the Maintenance Mode and Maintenance Procedure Division of Metro Vehicles	杨珂 Yang Ke
070	单通道通信信号盲分离方法的研究 Research on Blind Separation Methods For Single Channel Communication Signals	马瑞林 <sup>*</sup> , 刘桂杓, 吕克菲 Ma Ruilin <sup>*</sup> , Liu Guibiao, Lv Kefei
073	镇北油田某侏罗系油藏水驱规律及合理注水政策研究 Study on Water Flooding Law and Reasonable Water Injection Policy in a Jurassic Reservoir in Zhenbei oilfield	张鹏飞 <sup>1</sup> , 张燕 <sup>1</sup> , 何传健 <sup>1</sup> , 何丽红 <sup>2</sup> , 袁涛 <sup>1</sup> Zhang Pengfei <sup>1</sup> , Zhang Yan <sup>1</sup> , He Chuanjian <sup>1</sup> , He Lihong <sup>2</sup> , Yuan Tao <sup>1</sup>
076	铝合金阳极氧化封孔灰生成原因及预防措施探究 Research on the Causes and Preventive Measures of Aluminum Alloy Anodized Sealing Ash	王清华 <sup>1</sup> , 黄飞 <sup>2</sup> Wang Qinghua <sup>1</sup> , Huang Fei <sup>2</sup>
079	双创背景下老旧厂房改造利用研究 Research on the Transformation and Utilization of Old Factory Buildings under the Background of Double Innovation	李庆 Li Qing
082	建设项目前期工程咨询工作的难点及对策分析 Analysis of the Difficulties and Countermeasures of the Preliminary Engineering Consulting Work of the Construction Project	尹云美 Yin Yunmei

## 水电工程 | HYDROPOWER ENGINEERING

085	水利工程中的泥沙问题与治理技术研究 Research on Sediment Problems and Control Techniques in Water Conservancy Projects	孙思 <sup>1</sup> , 顾浩然 <sup>2</sup> , 李毅 <sup>3</sup> , 孙新 <sup>4</sup> , 朱营 <sup>5</sup> Sun Si <sup>1</sup> , Gu Haoran <sup>2</sup> , Li Yi <sup>3</sup> , Sun Xin <sup>4</sup> , Zhu Ying <sup>5</sup>
088	电力系统电气工程中继电保护装置的可靠性研究 Research on the Reliability of Relay Protection Devices in Electrical Engineering of Power Systems	曾宁 Zeng Ning
091	水工环勘察中的水文地质条件影响及分析 Influence and Analysis of Hydrogeological Conditions in Hydraulic Engineering and Environmental Exploration	于海波 Yu Haibo
094	火力发电厂化学水处理技术与环保策略研究 Research on Chemical Water Treatment Technology and Environmental Protection Strategies in Thermal Power Plants	谢祥贵 Xie Xianggui
097	电气工程中分布式发电系统的并网技术研究 Research on Grid-Connected Technology of Distributed Generation Systems in Electrical Engineering	陆新 Lu Xin
100	创新技术在矿山水资源节约与复用中的应用研究 Application Research of Innovative Technology in Mine Water Resources Conservation and Reuse	吴嘉艺, 曹子钊 Wu Jiayi, Cao Zizhao
103	电力系统电气工程中变压器状态监测与故障预警 Transformer Condition Monitoring and Fault Warning in Electrical Engineering of Power Systems	李高善 Li Gaoshan
106	核电站重要厂用水泵停运时出口压力异常下降的分析 Analysis of the Abnormal Decrease of Outlet Pressure When the Water Pump of Important Nuclear Power Plant is Suspended	丁斌 Ding Bin
109	高效节能供水技术在城市管网中的优化策略 Optimization Strategy of High Efficiency and Energy Saving Water Supply Technology in Urban Pipe Network	任祎, 赵丹阳 Ren Yi, Zhao Danyang
112	电力工程设计与施工管理中常见问题分析 Analysis of Common Problems in Electric Power Engineering Design and Construction Management	王岳华 Wang Yuehua
115	火电厂环保排放标准提升对节能减排的影响 The Impact of Improving the Environmental Protection Emission Standards of Thermal Power Plants on Energy Conservation and Emission Reduction	刘国斌 Liu Guobin

## 路桥工程 | ROAD AND BRIDGE ENGINEERING

118	市政道路透水沥青混凝土路面工程施工技术 Construction Technology of Pervious Asphalt Concrete Pavement Engineering for Municipal Roads	韩梅 Han Mei
121	公路排水降噪薄层罩面养护技术 Highway Drainage Noise Reduction Thin Layer Overlay Maintenance Technology	张之革 Zhang Zhige



# 浅析活性炭吸附-催化氧化装置设计及安全风险控制

寇耀天<sup>1</sup>, 王荣辉<sup>2</sup>, 李泮林<sup>3</sup>, 李俊波<sup>4</sup>

四川源之蓝环保科技有限公司, 四川 绵阳 621000

**摘 要 :** 在有机废气<sup>[1]</sup>治理工艺中, 活性炭吸附<sup>[2]</sup> + 催化氧化脱附治理工艺是把两者的优点有效地结合起来, 即先利用活性炭进行吸附浓缩, 当活性炭吸附接近饱和时, 再通过催化氧化设备并利用其热空气加热活性炭吸附床进行脱附的工程。然而, 在现实工程中, 因温度控制不当、温度过高、加热速度过快或含大量杂质时, 活性炭中的 VOCS 可能迅速分解产生大量的高浓度气体, 一旦温度达到着火点, 便会引发燃, 造成事故或火灾。本文主要针对挥发性有机物污染控制工程<sup>[3]</sup>中低浓度大风量 VOCS 治理: 活性炭吸附 + 催化氧化脱附工艺进行优化方案介绍与安全相关设计进行论述, 减小或避免运行的安全风险。

**关 键 词 :** 活性炭; 吸附; 催化; 氧化; 安全

## Design and Safety Risk Control of Activated Carbon Adsorption-Catalytic Oxidation Device

Kou Yaotian, Wang Ronghui, Li Fenglin, Li Junbo

Sichuan Yuanzhan Environmental Protection Technology Co., LTD. Mianyang, Sichuan 621000

**Abstract :** In the VOCS<sup>[1]</sup> treatment process, activated carbon adsorption<sup>[2]</sup> + catalytic oxidation desorption treatment process is to effectively combine the advantages of the two, that is, the activated carbon is first used for adsorption and concentration, when the activated carbon adsorption is close to saturation, and then through the catalytic oxidation equipment and the use of its hot air to heat the activated carbon adsorption bed for desorption engineering. However, in real engineering, due to improper temperature control, too high temperature, too fast heating speed or containing a large number of impurities, the VOCS in activated carbon may rapidly decompose and produce a large number of high concentration of gas, once the temperature reaches the ignition point, it will cause combustion, resulting in accidents or fires. This paper mainly focuses on VOCS treatment in volatile organic matter pollution control project<sup>[3]</sup> with low concentration and high air volume: activated carbon adsorption + catalytic oxidation desorption process optimization scheme introduction and safety-related design were discussed to reduce or avoid the safety risk of operation.

**Keywords :** activated carbon; adsorption; catalysis; oxidation; secure

## 引言

近年来, 随着环境污染形式的日益严峻, 国家加快了大气污染防治措施及一系列相关的行业、地方治理标准的出台, 同时国家在环境改善方面的激励政策措施也推动了行业的发展。各地区纷纷出台包括“全面淘汰低效治理设施”, 全面淘汰低温等离子、光催化和光氧化或单一的活性炭等低效治理设施, 推进设施升级改造”<sup>[4]</sup>, 传统的有机废气治理技术已经无法满足当今高标准、低排放的环保要求。其有机废气有效治理工艺, 如: 活性炭吸附 + 催化氧化<sup>[5]</sup>脱附; 沸石转轮 + 催化氧化 (CO) 脱附; 沸石转轮 + 蓄热催化氧化 (RCO) 脱附; 沸石转轮 + 蓄热热力氧化 (RTO) 等已成为 VOCS 治理工艺的主流。具体选择哪种治理工艺, 取决于废气的主要成分、浓度、风量以及废气的温度等主要参数。

活性炭吸附 + 催化氧化脱附工艺的特点就是将一定风量、较低浓度 (一般入口浓度 < 200mg/m<sup>3</sup>) 有机废气通入活性炭吸附床, 与蜂窝状活性炭充分接触净化, 再通过催化炉出来的 100° C 以上温度脱附活性炭, 再生后转换成小风量、较高浓度的有机废气被送往催化床进行催化氧化反应。在 300°C 以上时有机物通过催化剂作用被氧化分解成二氧化碳、水等无害气体。

但是市场上部分活性炭吸附 + 催化氧化脱附装置, 存在处理效率不达标且活性炭再生时, 活性炭箱温度升不到位、活性炭燃烧的事

作者简介:

寇耀天 (1995.10-), 男, 汉族, 四川绵阳, 本科, 研究方向: 环境工程项目管理及大气污染治理工艺研究;

王荣辉 (1973.08-), 女, 汉族, 四川三台, 中职/大专; 研究方向: 环境规划与管理、咨询及大气污染防治污染方向的研究;

李泮林 (1994-), 男, 汉族, 四川绵阳, 本科, 二级建造师/工程师, 主要从事大气污染与处理技术研究与工程应用;

李俊波 (1972-), 男, 汉族, 四川绵阳, 本科, 环境工程高级工程师, 研究方向: 大气污染控制研究与治理工程技术应用。

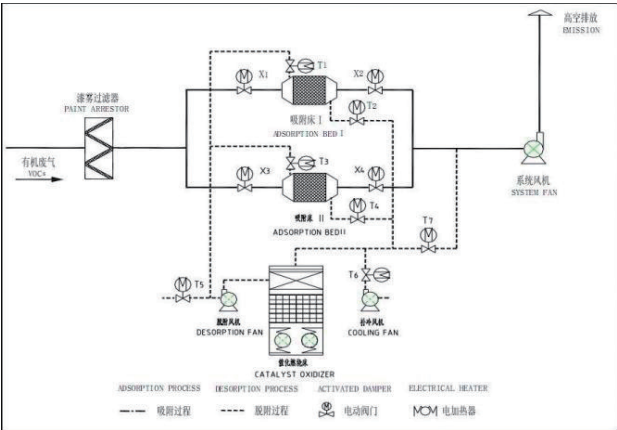
故，给企业造成了很大的困惑及一定的经济损失。事实证明，只要前期对工况进行有效的分析，合理地选择相关的治理工艺和标准设计方案，其活性炭吸附+催化氧化脱附工艺也是在低浓度、易脱附成分工况下一种有效的处理方式，相对投资成本较低。

文章通过实际工程案例介绍了活性炭吸附+催化氧化脱附工艺的工艺路径、结构设计及安全设计。通过应用对比，优化后设计使整个系统完全达标、节能、延长了活性炭的使用寿命，减少了活性炭的更换周期频率，设备安全可靠。

一、活性炭吸附+催化氧化脱附工艺原理

常见有机废气成分，如二甲苯、乙酸乙酯、异丙醇等 VOCs，属于挥发性有机废气<sup>[6]</sup>。活性炭吸附+催化氧化脱附是把两者的优点有效地结合起来。先利用活性炭固定床进行吸附，当活性炭吸附到一定程度时，利用催化炉内的热空气置换至 100° C 左右，加热活性炭吸附床，均匀升温 100 ~ 110℃时，脱附出来的高浓度废气就可在催化反应床中进行氧化分解。反应后的高温气体经高效换热器<sup>[7]</sup>再预热进入的低温高浓废气，另一部分达标废气直接排放。催化 CO 设备关键部件选用国际知名品牌，以确保设备的安全性、可靠性。

以两箱（1+1）活性炭吸附+催化氧化装置为例，其工作过程可分为二个阶段，即活性炭吸附阶段和活性炭脱附再生阶段，两个阶段的工作原理如下：



>（图一）

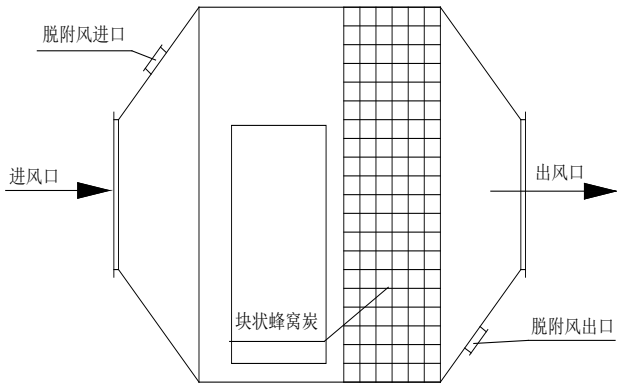
两箱（1+1）循环流程：废气送入活性炭箱 A 箱，当活性炭箱 A 接近饱和时，将处理气体自动切换到活性炭箱 B（活性炭箱 A 停止吸附操作，然后用热气流对活性炭箱 A 进行解吸脱附，将有机物从活性炭上脱附下来）。在脱附过程中，有机废气已被浓缩，浓度较原来提高几至十几倍，浓缩废气送到催化氧化装置分解，最后被成为 CO<sub>2</sub> 与 H<sub>2</sub>O 排出。完成解吸脱附以后活性炭箱 A 进入待用状态，待活性炭箱 B 接近饱和时，系统再自动切换回来，同时对活性炭箱 B 进行解吸脱附，如此循环工作。（图一）

二、活性炭吸附固定床设计

（一）活性炭吸附单元

表 2-1 蜂窝活性炭的主要技术<sup>[6]</sup>参数

规格	体密度	碘值	吸二甲苯	脱附温度
100×100×100mm	(380-450)kg/m <sup>3</sup>	800mg/g	≥ 26%	<120℃



> 图 2-1 活性炭吸附器结构图

根据《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》<sup>[2]</sup>（HJ/2026-2013），蜂窝活性炭过滤风速应 ≤ 1.25m/s，此次活性炭设计过滤风速为 1.2m/s，对应过滤截面积为 2.2\*2.2m。同时，蜂窝活性炭装填厚度为 500mm，考虑进出口大小头及检修空间，炭箱高度为 2.3m，则单个活性炭箱外形尺寸为：L2.4\*W2.4\*H2.3m。以（4+1 为例）其设计及参数见下表

80000NCMH 吸附床尺寸计算			
吸附床总数量	个	5	
吸附数量	个	4	
脱附数量	个	1	
蜂窝活性炭空速	m/s	1.5	
单个吸附床迎风面积计算值	m <sup>2</sup>	4.07	
吸附床规格计算值	长	2.02	
	宽	2.02	
吸附床规格实际取值	长	2.20	
	宽	2.20	
	高	0.60	
单个吸附床迎风面积实际值	m <sup>2</sup>	4.84	
吸附床空塔速度实际值	m/s	1.26	

80000NCMH 蜂窝活性炭用量计算			
活性炭密度	kg/m <sup>3</sup>	450	
活性炭规格	长	mm	100
	宽	mm	100
	厚	mm	100
活性炭吸附容量		8%	
净化准效率		85%	
单个吸附床活性炭体积	m <sup>3</sup>	2.42	
单个吸附床活性炭质量	kg	1089	
活性炭总体积	m <sup>3</sup>	12.10	
活性炭总质量	kg	5445	
单个吸附床吸附量	kg	87.12	
吸附时间计算值	h	58.24	
脱附时间计算值	h	14.56	
吸附时间实际取值	h	15	
脱附时间实际取值	h	3	

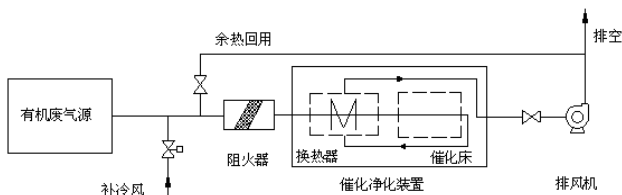
### 三、催化炉设计

催化氧化是典型的气-固相催化反应，其本质是活性氧参与的深度氧化作用。在催化氧化过程中，催化剂<sup>[9]</sup>的作用是提高了VOCS的反应速率，加快了反应的进行。借助催化剂可使有机废气在较低的起燃温度条件下，发生无焰燃烧，并氧化分解为CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O，同时放出大量热能，其反应过程为：



催化作用机理：在一个化学反应过程中，催化剂的加入并不能改变原有的化学平衡，所改变的仅是化学反应的速率，而在反应前后，催化剂本身的性质并不发生变化。实际上，正是由于催化剂参与了反应，使反应改变了原有的途径，使反应的活化能降低，从而加速了反应速度。

通过加热装置，使气体达到氧化反应温度，再通过催化床催化剂的作用，使有机气体分解成二氧化碳和水，再进入换热器与低温气体进行热交换，使进入的气体温度升高达到反应温度。如达不到反应温度，这样加热系统就可以通过自控系统实现补偿加热，使它完全氧化，这样节省能源（图3-1）。



> (图3-1)

当催化床温度达到 280 ~ 350 °C 时，催化氧化床开始反应，

利用废气氧化产生的热空气循环使用，浓度达到时电加热停止，不需要外加热，单床脱附，一般蜂窝活性炭脱附时间为 2-4 小时，设定时间活性炭吸附箱定时自动切换脱附，内部装填的贵金属催化剂使用寿命 > 10000 小时<sup>[9]</sup>。整个脱附系统采用多点温度控制，保证脱附效果的稳定。

### 四、氮气保护系统

为了保证净化系统的运行安全，杜绝活性炭内部由于有机物蓄积同时温度的升高引起的起火隐患，采用氮气作为安全气体对活性炭箱进行保护。

当温度传感器检测到活性炭吸附床层内部温度超过临界点，则往活性炭吸附器内部注入氮气，杜绝活性炭与空气接触，当不具备燃烧三要素时，活性炭不会起火，保证运行系统的安全性。

### 五、结论

总之，固定床活性炭吸附<sup>[10]</sup>+催化氧化脱附工艺在 VOCS 低浓度 VOCS 治理领域具有应用领域广等优点，对系统设计的关键还是在于前期工况（成分、浓度、温度条件）分析、预处理效果、结构设计、材料的选择等方面。系统除了要考虑其吸附与脱附效率、常规安全性外，还应考虑脱附易燃的低沸点物质、高沸点物质及聚合物、催化炉的安全爆炸下限的控制以及催化炉温度等因素，避免造成系统的不正常运行，甚至出现系统的燃爆风险。

### 参考文献

- [1] 有机废气的净化技术，作者陆震雄，化学工业出版社，2011 年 5 月
- [2] 吸附法工业有机废气治理工程技术规范（HJ2026-2013）.
- [3] 挥发性有机物污染控制工程，作者李守信、苏建华、马德刚，化学工业出版社出版，2017 年 8 月.
- [4] 《低效失效大气污染治理设施排查整治工作方案（征求意见稿）》环办便函〔2023〕400 号，2023 年 11 月.
- [5] 环境保护产品技术要求-工业有机废气催化净化装置（HJ-T-389-2007）.
- [6] 挥发性有机物治理实用手册（第二版），生态环境部编，中国环境出版集团出版，2021 年 10 月.
- [7] 换热器原理与设计（第 2 版），作者余建祖、谢永奇、高红霞，北京航空航天大学出版社出版，2019 年 10 月.
- [8] 工业有机废气治理用活性炭质量标准，2021 年 12 月.
- [9] 催化燃烧法工业有机废气治理工程技术规范（HJ 2027-2013）.
- [10] 固定床蜂窝状活性炭吸附浓缩装置技术要求，中国环境保护产业协会组织 / 团标 T.ACEPI34-2021.

# 5G 消防应急通信建设的创新思考

余德麒

重庆市九龙坡区消防救援支队, 重庆 400041

**摘 要：** 随着5G技术的快速发展，其在消防应急通信领域的应用成为提升救援效率和保障公共安全的重要手段。5G网络的高速率和低延迟特性为消防应急通信提供了更为可靠和实时的数据传输能力。在灾害现场，高清视频监控、无人机侦察、远程医疗救援等应用对网络的要求极高，5G技术能够满足这些需求，从而提高救援行动的准确性和效率。本文首先分析了5G消防应急通信建设的研究现状，阐述了5G消防应急通信建设创新的重要性，并针对实际创新建设中遇到的问题，提出了相应的优化策略，期望能为消防事业做出贡献。

**关 键 词：** 5G；消防应急通信；创新建设

## Innovative Thinking of 5G Fire Emergency Communication Construction

Yu Deqi

Jiulongpo Fire and Rescue Division of Chongqing, Chongqing 400041

**Abstract：** With the rapid development of 5G technology, its application in the field of fire emergency communication has become an important means to improve rescue efficiency and ensure public safety. The high rate and low latency characteristics of 5G network provide more reliable and real-time data transmission capability for fire emergency communication. In disaster sites, high-definition video surveillance, drone surveillance, telemedicine rescue and other applications have extremely high requirements on the network, and 5G technology can meet these requirements, thus improving the accuracy and efficiency of rescue operations. This paper first analyzes the research status of 5G fire emergency communication construction, expounds the importance of 5G fire emergency communication construction innovation, and puts forward the corresponding optimization strategy according to the problems encountered in the actual innovation construction, expecting to make contributions to the fire cause.

**Keywords：** 5G; fire fighting and emergency communication; innovation and construction

## 引言

消防救援部门是在应对突发事件、开展灭火和应急抢险救援时发挥着重要作用的专业机构。随着我国经济的快速发展以及城市建设的快速推进，火灾和自然灾害等事故时有发生，给人民生命财产安全带来严重威胁，因此做好消防应急通信工作对提升灭火救援效率具有十分重要的意义。近年来，5G技术在消防领域的应用得到了广泛关注和深入研究。

## 一、5G消防应急通信建设的研究现状

### （一）5G消防应急通信概述

随着无线通信技术的快速发展，5G网络因其高速率、低延迟、大连接数等特点，为消防应急通信提供了新的技术支撑。5G消防应急通信是指利用5G网络技术，构建一个高效、稳定、可靠的通信系统，以满足消防救援过程中对信息传输的高要求。该系统能够确保在灾害现场，消防人员之间、消防人员与指挥中心之间，以及与公众之间的信息实时、准确地传递，从而提高应急响应

应速度和救援效率。

### （二）5G消防应急通信研究现状

随着5G技术的快速发展，消防应急通信研究也取得了显著进展。5G网络的高速率、低延迟和大连接数特性为消防应急通信提供了新的可能性。目前，研究者们正致力于开发基于5G的智能消防系统，这些系统能够实时传输高清视频和大量数据，为消防员提供现场的详细信息，从而提高救援效率和安全性。在5G消防应急通信研究中，一个重要的方向是无人机（UAV）的应用。无人机搭载高清摄像头和传感器，可以快速到达火灾现场，通过5G网

作者简介：余德麒（1985.08-），男，湖北黄冈人，硕士研究生，高级工程师，汉族，从事消防救援应急通信保障及消防信息化建设工作。



络实时回传现场图像和数据，辅助指挥中心做出更准确的决策。此外，5G网络还可以支持远程控制消防机器人，这些机器人能够在危险环境中执行救援任务，减少消防员的直接风险。尽管5G消防应急通信研究取得了一定的成果，但仍然面临一些挑战，如网络覆盖、设备兼容性、数据安全等问题。未来的研究需要解决这些问题，以实现5G技术在消防应急通信中的全面应用，进一步提升消防救援的智能化和精准化水平<sup>[1]</sup>。

### （三）5G消防通信系统的未来发展趋势与展望

随着5G技术的不断成熟和普及，5G消防通信系统在未来的发展将更加注重智能化、网络化和集成化。首先，智能化将体现在消防通信系统能够通过大数据分析和人工智能算法，实现对火情的快速识别和预测，从而提供更加精准的决策支持。例如，通过分析历史火情数据和实时监控信息，系统可以预测火势蔓延趋势，为消防人员提供最优的救援路线和方法。其次，网络化将使得消防通信系统能够实现更广泛的互联互通。5G网络的高速率和低延迟特性将使得消防部门能够实时接收和处理来自无人机、消防机器人等设备的高清视频和数据，进一步提高应急响应速度和效率。最后，集成化是未来消防通信系统发展的另一个重要方向。未来的系统将整合多种传感器和监测设备，实现对火场环境的全面感知。总之，未来5G消防通信系统将朝着智能化、网络化和集成化的方向发展。随着技术的不断进步，我们有理由相信，未来的消防通信系统将能够更好地保护人民生命财产安全，减少火灾带来的损失。

## 二、5G消防应急通信建设创新的重要性

### （一）提升灾害响应速度与效率

对于消防部门而言，如果要对突发事件进行有效处理的话，首先就需要保证通讯的畅通，通过5G网络技术能够在很短的时间内，快速完成人员和物资调配工作，进而最大程度上缩短救援响应的时间，提高应急处置效率。例如，在2022年5月14日，浙江省温州市一民房发生火灾，由于该建筑四周都是木质结构的老房子，导致火势十分凶猛，现场浓烟滚滚，情况十分危急。当地消防支队在接到报警电话后，立刻派出了3个消防站，共15辆消防车，130名消防指战员赶赴现场进行救援。然而，由于当时的网络信号比较差，很多消防队员无法及时与指挥中心取得联系，造成了一定程度的延误。最终，在使用了5G网络之后，才将所有受灾群众安全转移出来<sup>[2]</sup>。

### （二）实现现场信息的实时共享与处理

通过5G网络，现场可以实时接收来自上级的指挥指令。当发生火灾时，现场作战人员可借助5G网络实现与后方指挥部的实时沟通和协调，以便及时调整作战部署，提高灭火救援效率。同时，现场指挥员还可以利用5G网络实现与现场队员的实时视频通话，掌握现场情况，有效指挥调动。此外，在5G网络环境下，现场队员也可以将火场信息传送到后方指挥部，供后方专家进行远程研判分析，为决策提供数据支撑，有利于灭火救援方案的优化与完善。

### （三）强化跨部门协作与资源整合能力

中国移动通信与消防救援部门在2019年2月签订《关于加强消防信息化建设的战略合作框架协议》。在这份协议中，双方将在资源共享、技术交换等领域进行广泛、深入的合作，以充分利用自己的优势，构建完善的消防救援应急信息共享与联盟商机制。并在此基础上，建立起一个覆盖全国的、统一高效的消防应急通讯网络。可见，5G应急通信建设并不是仅靠通信企业一己之力就可以实现的，而是需要各相关部门的积极配合。由于当前消防行业正处于新旧产业变革时期，火灾形态变化快、风险隐患复杂多变，如何做到科学应对各种“大震巨灾”，这就要求各级消防救援机构在做好内部建设的同时，还要注重外部协作<sup>[3]</sup>。

### （四）保障关键通信在极端环境下的稳定性

消防救援是在灾情最为严重、抢险最艰难的时候，一旦通信中断或不畅，将会影响灭火救灾的顺利进行，甚至危及救援人员的生命安全。应急救援通信系统应该具备抗高温、高湿、高寒、强电磁干扰等极端环境能力。5G网络具有低时延、高可靠、广覆盖和大带宽等技术特点，可大幅提升应急通信的服务质量。同时，结合VR/AR技术应用，可以让现场情况更直观地呈现给指挥人员，为现场救援决策提供依据。此外，5G网络还支持海量设备接入，通过网络切片技术保障业务的专网专用，能够有效避免业务干扰问题。因此，5G网络完全能够满足应急救援中关键通信的稳定性要求。

## 三、5G消防应急通信创新建设中的难点

### （一）5G网络覆盖与稳定性问题

应急救援中，由于受灾地区的地理环境、气候条件等因素影响，5G网络在不同场景下的覆盖范围和网络稳定性存在差异。同时，消防救援队伍在执行任务时需要快速响应和处理突发事件，因此对5G网络的性能要求较高，需要确保网络的稳定性和可靠性。这对于消防救援部门来说是一个挑战，因为他们需要在多种复杂环境中进行通信保障，以确保信息的准确传输和及时响应。此外，由于5G技术尚处于发展阶段，其应用普及程度和设备成熟度等方面还有待提高，这也给消防救援工作带来了一定的难度<sup>[4]</sup>。

### （二）消防设备与5G技术的兼容性挑战

消防装备及设备的升级需要与网络技术进行配合，如何保证两者之间的兼容性是一个问题。目前很多消防设备并不具备5G通信模块，这就会导致在实际应用中存在一定的局限性。比如，现阶段采用的固定灭火系统、独立式烟雾检测报警装置等没有5G接口，不能在5G网络上进行信息的传送，从而降低了通讯的效率。此外，某些新型消防装备也没有配备5G通信模块，如果想要充分发挥出5G网络的优势，就必须对这些设备进行改造，这就需要投入较高成本<sup>[5]</sup>。

### （三）应急通信系统的安全性和隐私保护

5G网络的大带宽和低延时为用户提供了更加优质的体验，同时也带来了更多信息安全问题。通过物联网感知设备收集到的信

息可能被用于分析挖掘，在面对海量、动态多变的网络环境时，如何保护敏感数据的安全性是一个重要挑战。然而，5 G时代，以云计算、大数据为基础的“智慧城市”将产生海量的个人数据，若被泄露，将给用户带来极大的隐私风险。因此，未来要充分考虑应急通信体系中的安全性和隐私保护问题，并采取相应的措施加以应对<sup>[6]</sup>。

## 四、5G消防应急通信创新建设的优化策略

### （一）利用5G网络切片技术，保证通信的稳定性

在5G网络的发展过程中，出现了网络切片技术，这种技术可以将网络根据不同业务划分为多个虚拟专网，通过各个专用网络进行隔离，从而提高通信的稳定性和安全性。如果火灾发生时，需要同时保证多个消防部门之间以及消防救援人员与指挥中心之间的通信稳定，那么就可以利用5G网络切片技术来实现。具体操作方法是：首先确定一个火灾现场，然后利用无线中继、微波等方式建立一个临时的通信基站，并利用4G/5G移动通信网络来作为备份，这样就可以让三方同时保持通信。其次，当通信稳定后，再部署一个传统的3G网络，作为备用的通信手段，以此来确保通信系统的稳定性<sup>[7]</sup>。

### （二）开发标准化的接口和协议，确保网络兼容

为了增强消防应急设备的网络兼容性，要积极推动制定和完善5G行业标准、消防通信行业标准，并且在此基础上开发符合这些标准的接口协议。除此之外，还需要针对目前的设备情况进行统一规

划，并设计出一套基于接口的标准化方案，实现互联互通和资源共享。最后，还要考虑到网络融合的问题，确保多种网络能够兼容使用，不会出现网络资源浪费等现象，降低系统运行成本<sup>[8]</sup>。

### （三）实施端到端加密技术，确保数据传输安全

传统消防应急通信系统中往往存在着大量的关键信息，一旦出现泄露或篡改，可能会带来不可估量的损失<sup>[9]</sup>。因此，必须提高对数据信息安全的重视程度，采取有效措施来保证数据信息安全，防止发生各种事故。具体而言，可以通过对网络通信传输的关键信息进行加密处理，避免非法人员获取、窃取相关信息。在消防应急通信系统建设中，必须采用端到端加密技术，将数据内容进行加密，保证数据传输过程的安全性和可靠性。此外还可以结合防火墙技术，进一步提升5G应急通信的安全性<sup>[10]</sup>。

## 五、结语

综上所述，5G消防应急通信系统在提升救援效率、保障通信稳定性和安全性方面具有显著优势，但同时也面临着技术挑战和成本压力。为了充分发挥5G技术在消防应急通信中的潜力，必须采取创新的建设策略，包括利用网络切片技术、开发标准化接口和协议、实施端到端加密技术以及加强与制造商的合作。通过这些措施，可以确保消防应急通信系统的高效运行，同时降低建设和维护成本，保障数据安全和隐私保护。未来，随着5G技术的不断成熟和应用的深入，消防应急通信系统将更加智能化、网络化，为保障人民生命财产安全提供更加有力的技术支撑。

## 参考文献

- [1] 付飞. 5G通信技术在消防通信指挥中的应用[J]. 数字技术与应用, 2021, 39(10): 85-87.
- [2] 梁云杰, 邢翱, 袁明明. 基于5G技术的消防 Mesh 专网基站设计[J]. 消防科学与技术, 2024, 43(08): 1116-1121.
- [3] 亢佳. 智慧城市背景下消防安全实时监测关键技术探析[J]. 消防界(电子版), 2024, 10(06): 60-62.
- [4] 谭永仓, 王世利, 胡金牧, 等. 森林消防信息化建设中5G技术应用研究[J]. 消防界(电子版), 2024, 10(01): 43-45.
- [5] 刘珂含. 消防指挥中心通信技术在火灾应急响应中的作用分析[J]. 消防界(电子版), 2023, 9(23): 55-57.
- [6] 王梦. 5G时代下推进消防应急通信建设的几点思考[J]. 大众标准化, 2023, (17): 142-144.
- [7] 张思敏, 王善鹏. 消防救援队伍应急通信保障体系存在的问题及完善措施[J]. 今日消防, 2022, 7(09): 136-138.
- [8] 王昌鑫. 5G时代下推进消防应急通信建设研究[J]. 中国新通信, 2022, 24(09): 16-18.
- [9] 付飞. 5G通信技术在消防通信指挥中的应用[J]. 数字技术与应用, 2021, 39(10): 85-87.
- [10] 王宇. 新形势下消防应急通信保障的几点思考[J]. 长江信息通信, 2022, 35(09): 235-237.

# 全球视野下的海外本地传输网络建设研究

李巍

中国联合网络通信有限公司国际公司，中国 香港 999077

**摘要：** 随着全球化进程的加速和国际业务的迅猛发展，构建高效、稳定的海外本地传输网络变得尤为重要。本文结合当前国际化网络的发展现状，分析了海外本地网建设的背景、需求和解决方案，探讨了具体建设区域的选择和成本预估，并提出了在境外本地网工程中的注意事项、合作方式、建设方式和规划方法论，为未来网络布局提供了详细的指导和参考。

**关键词：** 本地网络；网络开发；项目管理

## The Research on the Construction of Overseas Local Transmission Networks from a Global Perspective Investment Project Management

Li Wei

China Unicom Global Limited, Hong Kong, China 999077

**Abstract：** With the acceleration of globalization and the rapid development of international business, building an efficient and stable overseas local transmission network has become particularly important. This paper combines the current development status of internationalized networks, analyzes the background, needs, and solutions of overseas local network construction, discusses the selection of specific construction areas and cost estimates, and proposes precautions, cooperation methods, construction methods, and planning methodologies in overseas local network projects, providing detailed guidance and reference for future network layouts.

**Keywords：** local network; network development; project management

### 一、引言

#### （一）研究背景

中国联通国际有限公司，为原有各海外运营公司基础上整合而成，既要做好境内骨干网络在海外的有序延伸，也要负责各海外主要区域的本地能力建设，担负着中国联通迈向国际化的重要任务。

从全球视野来看，随着经济全球化的深入发展，跨国企业和国际交流日益频繁。建设海外本地网能更好地满足跨国企业客户的通信需求，为其提供稳定、高效、低延迟的通信服务。这不仅有助于提升中国联通在国际市场的竞争力，还能为国家的“一带一路”倡议提供有力的通信保障。

在技术层面，本地网可以更好地整合当地的网络资源，实现资源的优化配置。通过与当地运营商的合作或独立建设，可以根据不同地区的特点和需求，定制化地设计网络架构，提高网络的适应性和可靠性。同时，本地网的建设也有利于引入先进的技术和管理经验，推动自身的技术创新和服务升级。

从用户需求角度，海外用户对通信服务的质量和多样性要求不断提高。建设本地网可以提供更贴近用户的服务，如更快的网速、更丰富的增值业务等。此外，本地网还能更好地应对突发事件和自然灾害，保障通信的连续性和稳定性。

在市场拓展方面，建设海外本地网有助于拓展国际市场份

额。通过提供优质的本地通信服务，吸引更多的用户和企业客户，提升品牌知名度和美誉度。同时，本地网的建设也为中国企业与当地企业的合作提供了更多的机会，促进业务的多元化发展。

综上所述，建设本地网是中国运营商适应全球通信发展趋势、满足用户需求、提升自身竞争力和拓展国际市场的必然选择。在全球互联网流量持续高速增长的背景下，跨国企业和 OTT（Over-The-Top）服务提供商对高质量低延迟传输网络的需求愈发迫切。通过结合骨干海陆缆资源，在价值城市或区域自建本地传输网，可以实现业务接入点（PoP）之间的高效连接，提升国际业务价值和网络运营能力。

#### （二）目的

本文旨在探讨海外本地网工程的建设背景、现状、需求及解决方案，并针对具体区域提出建设和成本预估策略，形成方法论，为未来网络布局提供参考。

### 二、中国联通典型境外本地网网络现状剖析

#### （一）香港本地网络现状和问题

中国联通国际公司已在香港具备光纤建设和运营牌照。现有光缆资源均立足于自用需求导向建设，分布于香港多地，数量少且不集中，基本形不成产品力，市场化经营难度较大，市场化程

作者简介：李巍（1984年—）男，2008年7月毕业于长春理工大学，计算机科学技术专业，学士学位，现就职于中国联合网络通信有限公司国际公司网络部。



度低。光纤数量少，且港珠澳大桥光缆和落马洲－火炭光缆均未终端在我方自有机房资源，缺乏有效的管控手段。

从发展上来看，香港网络主要服务于国际业务，通过穗港 WDM 系统实现广深跨境链接，通过 AAE-1、APG 等参建海缆和外购资源实现全球连接。香港是中国联通境外业务接入点最集中的城市，也是国际公司本部驻地，立足香港实现包括 MVNO、IPLC/IEPL、MV、SDWAN 等各项国际业务。互联网络主要用于引接海缆资源以及根据客户需求交付电路。

## （二）欧洲本地网络现状与问题

欧洲区域已建成多个实体 PoP 和虚拟 PoP，覆盖多个国家和城市，但由于市场开拓不力和成本问题，部分节点利用率较低。未来需要跟随自建数据中心和海缆投产计划，择机启动本地环网建设，进一步寻找业务增长极。

## （三）美洲本地网络现状与问题

由于受美国政策影响，中资运营商在北美网络发展受限，均处于收缩态势，但中资企业在墨西哥、南美地区的曲线投资布局给国际业务的发展带来新的商机；联通在拉美地区网络覆盖相对处于优势，应充分发挥先发优势，积极布局和开拓市场。目前南美的业务需求以小带宽为主，且南美地区地域广阔，光缆租用成本高，当前的带宽流量不足以支撑自建传输系统。

通过解剖以上三只“麻雀”，我们可以看出，对于运营商在海外部署本地网，要结合市场需求分析、参考建设合规性、投资及成本、资源有效利用等关键因素，按照一定的方法论进行方案制定。

# 三、海外本地网建设方案模型设定

首先，在建设区域的选择上，根据全球国际流量增长趋势和区域内跨国流量的分布情况，亚太、欧洲和美洲成为重点发展区域。这些地区不仅是国际流量的主要出口地，同时也是光纤资源丰富、管理规范的商业机会区域。

在经济发达、通讯行业开放、光纤资源可获得的国家优先发展本地网建设。笔者通过数据研究给出以下参照，具体包括：

欧洲：德国、英国、法国、荷兰、比利时、意大利、西班牙、瑞典、芬兰、俄罗斯。

东亚：中国香港、日本、韩国。

东南亚：新加坡、马来西亚、印度尼西亚、菲律宾、越南、泰国、缅甸。

非洲：南非、埃及、肯尼亚、尼日利亚、吉布提、加纳。

拉美：巴西、墨西哥、智利、阿根廷、哥伦比亚。

中东 & 中亚：土耳其、沙特、阿联酋、哈萨克斯坦、巴基斯坦。

其次，要结合公司自身资源禀赋，进行合理的网络架构设计，特别是本地网和国际海陆缆的协同，在价值城市或区域自建本地传输网，可以有效利用现有的骨干海陆缆资源，延伸网络到业务中心，实现一站式服务，降低国际业务带宽成本，提升端到端 OAM（Operation, Administration and Maintenance）能

力<sup>[1]</sup>。此外，这种自建网络还能够更好地满足区域内 IDC（互联网数据中心）流量需求，占据本地市场。基于这点考虑，还可充分利用现有的海陆缆资源和数据中心，避免重复投资。例如，利用现有的海底光缆网络连接不同区域的 PoP 点，减少新建光缆的需求。同时，与当地的运营商和基础设施提供商合作，共享光纤资源和基础设施。通过签署互惠互利的合作协议，共同分担建设和运营成本。

另外，对于中国运营商在海外进行网络建设，共建共享是需要持续推动的，国际上多样化的合作模式为本地化运营提供了多种可选择方式。

（1）合资方式，与当地企业合资建立传输网，共享投资和收益，分担风险。

（2）租赁和托管，租赁当地运营商的光纤资源或托管数据中心，降低前期投资成本。

（3）战略合作，与全球主要技术提供商和运营商建立战略合作关系，共同推动网络建设。

除以上几点关键因素外，可按照以下步骤进行逐项分析。

## （一）需求分析

在做本地网建设规划之前，要明确行业机会、制定精准的市场策略、形成资源配置方案，从而在风险可控的情况下，进行业务拓展和提升客户满意度。

在需求分析阶段，可先行做市场调研，通过市场调研和用户访谈，了解目标市场的用户需求和痛点，确定网络建设可提供的产品能力。其次，要做好竞品分析，分析目标市场的行业现状，包括主要竞争对手的网络覆盖、服务质量和市场份额，评估自身的竞争优势和劣势，制定差异化的网络建设和服务策略。最后，也是很关键的一步，是要做好当地政策和法律法规评估，了解目标市场的电信政策和监管环境，争取政策支持和资源配置，确保网络建设和运营符合当地的法律法规，避免法律风险。

## （二）本地网网络规划

（1）总体架构设计：设计分层架构，包括核心层、汇聚层和接入层，确保网络的可扩展性和可靠性<sup>[2]</sup>。在核心网络和重要节点进行冗余设计，确保网络的高可用性和容灾能力。根据市场需求和业务预测，进行带宽需求分析，确定各层网络的容量规划。另外，要考虑设计可扩展的网络架构，确保网络能够应对未来的业务增长和技术升级。选择合适的接入方式，如光纤接入、无线接入等，满足不同区域和用户的需求<sup>[3]</sup>。

（2）资源配置：在方案明确的情况下，首先要确保设备、材料等物资的及时供应，避免施工延误和成本增加。其次，要协同人力资源部，配置专业的项目管理和技术团队，确保项目的高效实施和管理。

（3）实施策略：这里我们采用分步实施，将网络建设分为多个阶段，逐步实施，降低一次性投资压力和项目风险。根据市场需求和业务策略，确定各阶段的优先级，优先建设高需求和高收益的区域和节点。

其中，施工计划方面，制定详细的施工计划和时间表，明确各阶段的任务和目标，确保施工按期完成。合理配置施工资源，



包括人力、设备、材料等，确保施工的高效进行。加强现场管理和监督，确保施工质量和安全，按计划推进施工进度。在施工过程中，进行严格的质量检测和控制，确保施工质量符合设计要求和标准。施工完成后，进行全面的验收评估，确保网络建设达到预期效果。

施工结束后，对网络各项功能进行全面测试，确保网络设备和系统正常运行。包括带宽、延迟、抖动、丢包率等，确保网络满足设计要求<sup>[4]</sup>。

在实施方面，也可按“交钥匙”工程方式进行管理。通过建设及维护外包，提高效率、节省成本，减少风险。网络建设外包：将网络建设工程外包给专业的工程公司，以利用其专业技术和经验，提高建设效率和质量。运营维护外包：将日常的网络运营和维护工作外包给专业的服务提供商，降低运营成本，提高服务响应速度<sup>[5]</sup>。

（4）投资效益分析：成本方面，根据网络规划，进行详细的成本估算，包括设备采购、施工建设、运营维护等各项成本。编制投资预算，明确各阶段的投资计划和资金需求，确保资金的合理配置和使用。在投资回报分析中，根据市场需求和业务预测，进行收益预测，评估项目的经济效益。其中，投资回报率（ROI）、净现值（NPV）等指标，用来评估项目的投资价值。

（5）风险评估：识别项目可能面临的各种风险，包括市场风险、技术风险、政策风险等。制定风险管理策略和应急预案，降低风险对项目的影响，确保项目的顺利实施。

（6）监控和持续改进：首先在进度上，建立项目进度监控机制，定期评估项目进展，及时发现和解决问题。在各阶段完成后，进行效果评估，验证网络建设的实际效果和收益，调整后续的实施策略。

### （三）技术创新和优化改进

通过先进技术的引进和应用，可令网络提质增效。如采用最新的光纤传输技术，如 DWDM（密集波分复用）和 SDH（同步数字体系）<sup>[6]</sup>，提升网络传输效率和容量。推广 SDN（软件定义网络）和 NFV（网络功能虚拟化）技术，实现网络资源的灵活调度和管理，降低硬件投资和维护成本<sup>[7]</sup>。

另外，在进行资源配置时，通过集中采购，大规模采购传输设备和光缆，获得供应商的批量折扣，降低单位成本。后续通过扩大网络覆盖范围，提升网络利用率和业务量，发挥规模效应，降低单位带宽成本。

## 四、案例应用

中国联通前期建设本地光缆网，集中于跨境互联方向和将军澳园区内，服务跨境网络互联和园区内 DC 互联，资源数量少且不成体系，基本无法应用于本地传输网系统中。香港本地网建设初期将依赖于合作方为我方提供核心环、汇聚环之间的光纤以及接入段光缆，待业务量成长起来后根据网络需求、建设条件等分阶段部署香港本地网络。

根据业务发展情况，优先考虑建设核心段光缆，即将军澳－

柴湾－湾仔－尖沙咀－将军澳段光缆。光缆建设中同时考虑对北角、铜锣湾、观塘、九龙湾、红磡等汇聚节点的沿线覆盖。其中将军澳至九龙湾段可用国际跨境段复用。本地光缆建设中，结合当地合作伙伴的共建共享机会以及管道资源情况，可适当调整建设顺序，但原则上应以核心段和一级汇聚段光缆为主。

基础设施方面，接入段光纤和二级汇聚环段光纤供应与局房供应商进行解耦，因此城域网基础设施将优先选择中立供应商，至少保证其不限制其他供应商光纤入局并提供公平竞争，同时对机房的通达性提出要求，机房内光纤资源至少覆盖周边区域内所有商务楼宇。

城域网基础设施早期将依赖供应商提供，对于核心节点和一级汇聚节点局房，在具备条件的情况下亦可通过长租机房改造或长租机笼方式获得稳定资源，二级汇聚节点原则上依赖于供应商提供<sup>[8]</sup>。

通过以上方案概要，利用较少投资和成本优先完成基本网络架构搭建以及维港两岸重点区域覆盖，锻炼团队运营能力并积极培育市场，根据市场发展有序推进网络拓展，本地接入段则在形成一定模式后敏捷交付，满足市场开拓要求。

## 五、展望和总结

在全球通信网络快速发展的背景下，海外本地网的建设既面临挑战，也充满机遇。通过深入的需求分析、科学的网络规划、有效的投资管理和灵活的实施策略，企业可以在激烈的市场竞争中占据优势<sup>[9]</sup>。同时，关注最新的技术趋势和市场变化，特别是如 5G、网络切片、边缘计算、人工智能等的应用<sup>[10]</sup>，积极应对政策法规的要求，将有助于企业在全全球通信网络领域实现可持续发展。

总之，海外本地网建设是一项系统性工程，需要综合考虑技术、市场、政策等多方面因素。企业应采取综合的规划方法论，灵活应对市场变化和技术发展，确保网络建设和运营的成功。

## 参考文献

- [1] 黄韬，刘江，霍如. 软件定义网络核心原理与应用实践 [J]. [通信学报]，2015.
- [2] 樊昌信，曹丽娜. 通信原理（第 7 版）[M]. [北京]：国防工业出版社，2012.
- [3] 赵阳，王磊. 移动通信网络优化方法及实践 [J]. [电信工程技术与标准化]，2018.
- [4] 国际电信联盟. 传输网建设标准与规范 [R]. 2020.
- [5] 李明. 未来通信网络架构的发展趋势探讨 [C]. [全国通信技术学术会议]，2022.
- [6] 刘建伟，王育民. 网络安全——技术与实践（第 3 版）[J]. [清华大学学报（自然科学版）]，2016.
- [7] 张宇. 面向 5G 的传输网规划设计研究 [D]. [北京邮电大学]，2021.
- [8] 王映民，孙韶辉. 5G 无线传输技术发展及挑战 [J]. [电信科学]，2019.
- [9] 谢希仁. 计算机网络（第 7 版）[M]. [北京]：电子工业出版社，2017.
- [10] 李勇，赵继军. 光传输网中关键技术的研究与应用 [J]. [光通信技术]，2020.

# 锡矿采集筛分包装多功能船的研究与应用

王泽生, 王永生, 高文明, 张进, 张中  
山东浩海疏浚装备有限公司, 山东 潍坊 262500

**摘 要 :** 锡矿采集筛分包装多功能船的研发与应用, 主要针对印度尼西亚 50 米以内锡矿开采而设计制造。集成了采集、筛分、选矿、包装及生活设施于一体, 显著提升了锡矿开采效率, 解决了现有采矿船存在的挖深太小、动力浪费大、抗风浪能力差、功能单一、需多船联合作业、没有船员生活设施等问题。通过详细的技术研究与客户现场应用分析, 该船具有技术先进性, 作业效率高、效率与经济性。展现了该船在特定市场、特殊使用环境下具有良好的发展前景, 必将在促进当地经济发展与环境保护方面做出应有的贡献。

**关 键 词 :** 锡矿开采; 圆筒结构船体; 双层甲板; 桥架缓冲; 自行船

## Research and Application of Multi-Functional Ship for Tin Ore Collection, Screening and Packaging

Wang Zesheng, Wang Yongsheng, Gao Wenming, Zhang Jin, Zhang Zhong  
Shandong Haohai Dredging Equipment Co., Ltd. Weifang, Shandong 262500

**Abstract :** The research and development and application of tin ore collection, screening and packaging multi-functional ship are mainly designed and manufactured for tin ore mining within 50 meters in Indonesia. It integrates the collection, screening, beneficiation, packaging and living facilities, which significantly improves the efficiency of tin mining and solves the problems of too small digging depth, large power waste, poor wind and wave resistance, single function, multi-ship joint operation, and no crew living facilities in the existing mining ships. Through detailed technical research and customer on-site application analysis, the ship has advanced technology, operational efficiency, efficiency and economy. It shows that the ship has good development prospects in specific markets and special use environments, and will make due contributions to promoting local economic development and environmental protection.

**Keywords :** tin mining; cylindrical hull; double deck; bridge buffer; self-propelled boat

## 引言

印度尼西亚, 作为全球锡矿资源最为丰富的国家之一, 其邦加岛和比里坦岛附近海域蕴藏着大量的海底锡矿。然而, 长期以来, 印尼锡矿开采业面临诸多困境, 包括采矿设备效率低下、作业深度有限、故障率高等问题, 严重制约了锡矿资源的有效开发与利用。为此, 本文设计并研发了一种集多功能于一体的锡矿采集筛分包装船, 以期印尼乃至全球的锡矿开采行业提供新的解决方案。

## 一、研究背景与现状分析

### 1. 研究背景

印度尼西亚的锡矿资源在全球市场上占据重要地位, 每年为全球市场供应约 10% 的锡矿。所用采矿设备大多源自泰国等国的二手设备拼装而成, 受技术条件限制, 泰国锡矿船效率低下, 最大作业 25 米, 无法进行深水富矿区开采。印尼市场急需一种开挖深度到 50 米的锡矿开采船。近几年, 锡矿等有色金属价格飙升, 今年国内进口精锡矿价格已超过 12000 美元, 印尼国内精锡矿收购价格超过 7000 美元, 为锡矿资源的开发提供了强劲动力。

### 2. 国内外研究现状

当前印尼市场上的采矿设备普遍功能单一, 完成锡矿全过程作业需要配备多种船只和设备联合作业, 这不仅增加了作业成本和人员需求, 还导致了动力资源的极大浪费。此外, 小型拼装船的抗风浪能力较差, 难以适应复杂的海洋环境。在国内市场, 水下锡矿资源贫乏, 基本没有开采市场, 造船企业针对锡矿船研究较少。期间有个别企业尝试针对印尼市场研发类似产品, 但因技术不成熟、设计不合理等原因, 难以满足实际需求。因此, 设计一种集多功能于一体、高效稳定的新型锡矿船显得尤为重要<sup>[1]</sup>。

## 二、技术研究与设计

### 1. 总体设计原则

市场定位明确：就是针对印尼锡矿开采的实际需求。模块化设计：采用模块化设计思路，便于工厂化生产及现场组装，提高建造效率。高效动力系统：选用高性能柴油机作为动力源，确保船舶的强劲动力及稳定性。集成化作业平台：将采集、筛分、选矿、包装等功能模块高度集成于同一平台上，减少动力损耗及操作复杂性。

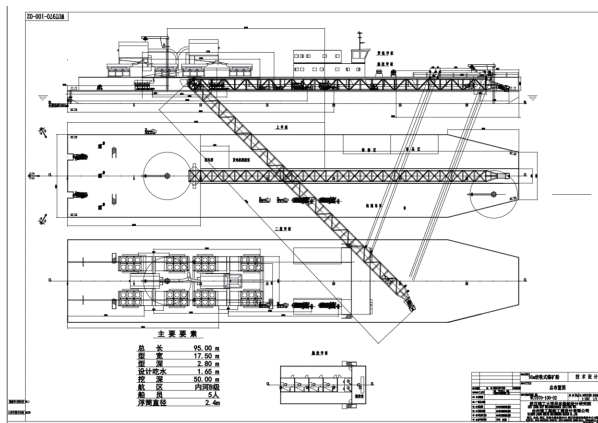
锡矿采集筛分包装多功能船，其设计理念，在于将锡矿的采集、筛分、选矿、包装与日常生活设施巧妙融合，构建了一个集高度集成化、紧凑化作业平台于一体的系统。此设计不仅优化了作业流程，提升了工作效率，还显著节约了空间资源，使得整体作业更为高效、顺畅<sup>[2]</sup>。

### 2. 船体构造与布局

根据现场调研及多方论证，该船机构布局如下：

该船绞吸头按装仍采用传统的清淤船桥架结构形式，技术成熟，桥架可以承受较大的切削扭矩；桥架采用绞车控制升降，桥架上的起吊滑轮为两组配备，保证桥架受力均衡；为配合转场作业的需要，尾部配备有360度全回转高效螺旋桨推进系统；船体从方便工厂制作，转运到船坞装配考虑，采用独特的圆筒浮体，法兰拼接设计，保证浮力前提下，抗侧风能力强，行进阻力小；甲板采用双层甲板结构形式，根据整船工作流程，充分利用流体自重来完成锡矿浆体的工序转移，节省成本；为减少桥架作业时对船体冲击，桥架与船体连接处设计了减震缓冲装置；对水下作业铰刀头、马达、水下电机等部件，充分考虑深水高压工作环境，进行密封件型式的特殊设计。

该船整体布局图如下：



主要性能参数为：

总长：95米。

型宽：17.5米。

型深：2.8米。

工作重量：1300吨。

设计挖深：50米。

总装机功率：3184kw。

选矿处理能力：设计处理能力为360t/h，锡矿产量1—2吨/h。

浮体数量：五组圆筒浮体，圆筒直径：2.4米，厚度12mm，选用CCS船用材料。

本船的整体布局及船体结构，在2018年1月16日，获得实用新型专利，证书号ZL201720823856.8。2022年12月5号锡矿船获评贝尔德海事世界最佳采矿挖泥船称号。

### 3. 创新型设计点

#### (1) 创新的圆筒拼接船体设计

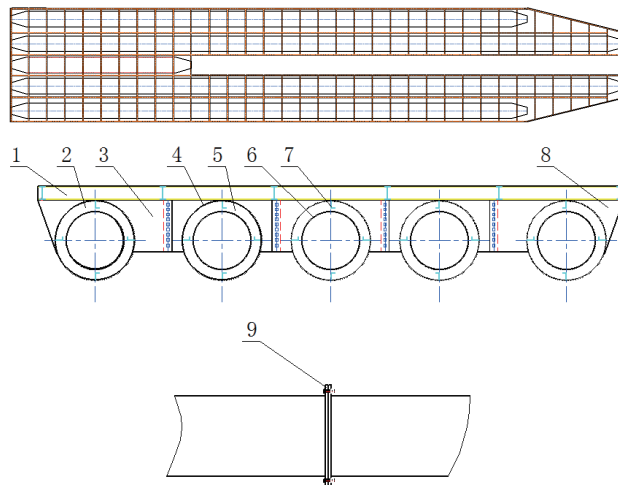
根据施工要求，船体工厂制作模块，运输到船坞进行整体组装，船体结构在保证足够浮力的前提下，还要考虑运行中抗侧风、减小水的阻力，提高行进速度，传统的箱式结构不适合本船舶制造使用；圆筒拼接形式的船体浮体，其设计不仅极大地方便了拆装运输与工厂化作业流程，更显著提高了船体抗侧风能力，降低了水阻力，从而实现了行进速度的有效提升。

圆筒拼接形式的大型船体浮体，正是一种创新的设计方案<sup>[3]</sup>。该方案由框架、浮筒、侧连接法兰、边法兰及浮筒连接法兰等关键部件组成。浮筒则通过外筒、内加强环、内圆筒及纵加强筋的精密焊接而成，确保了结构的稳固与耐用。在组装过程中，各个浮筒首先通过浮筒连接法兰紧密相连，形成超长的大浮筒单元；随后，这些大浮筒单元再利用侧连接法兰进行拼接，最终构成完整的船体浮体。

此圆筒拼接形式的大型船体浮体，具备以下显著特点：

其组合方式极为灵活，可根据船体实际需求，任意调整浮筒的数量与组合方式；该设计极大地简化了拆装运输与工厂化作业流程，使得船坞内的组装工作更加高效便捷；得益于圆形船体的独特结构形式，其抗侧风能力得到了显著提升，从而进一步增强了船舶的安全性。每组圆筒的最前面都采用锥形设计型式，大大减小运行阻力。

在2018年4月20日，圆筒拼接形式的船体浮体，获得实用新型专利，证书号ZL 201721317758.3。



图中：框架-1、浮筒-2、侧连接法兰-3、外筒-4、内加强环-5、内圆筒-6、纵加强筋-7  
边法兰-8、浮筒连接法兰-9

#### (2) 高效的桥架减震机构：

鉴于HID-XK300B船舶依旧采用挖泥船传统桥架的结构形式，通过升降绞车控制桥架的挖掘深度，从而实现高效、精准的锡矿采集。传统的桥架与船体刚性连接方式，随着挖深的增加，



桥架长度亦需相应延长,因此,桥架在水下工作时,各种动作产生的冲击力,最终作用在桥架与船体连接处,就对船体产生很大的冲击,这点是我们设计时必须考虑的一个关键技术点<sup>[4]</sup>。

为有效缓解此类冲击,在桥架与船体的连接部位增设缓冲减震装置。该装置旨在赋予桥架减震缓冲的功能,以最大限度地降低桥架对船体的冲击,确保作业过程的安全与稳定。

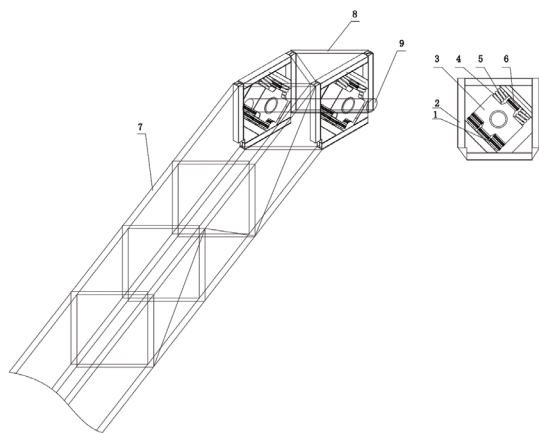
该船用桥架减震机构主要由副减震胶垫、框架、滑动块、主减震弹簧、定位销轴及主减震胶垫等关键部件组成。这些部件相互协作,共同构成一个高效、稳定的减震系统。

当桥架受到来自不同方向的冲击力时,滑动块会在框架内沿特定方向滑动。这一滑动过程会冲击到主减震弹簧和主减震胶垫等减震元件上,使它们发生弹性变形和阻尼作用。通过这些减震元件的协同作用,冲击力被有效缓冲和分散,从而降低了对船体和工作装置的影响。同时,副减震胶垫也起到了辅助减震的作用,进一步提高了整个减震机构的减震效果。

船用桥架减震机构作为桥架与船体之间的关键减震缓冲装置,其特点如下:

结构简单,制作方便:该减震机构采用模块化设计,各部件易于采购和组装,降低了生产成本和制造难度。安装便捷:减震机构在安装时无需对船体进行过多改动,提高了安装效率和灵活性。双向减震:机构具有上下两个方向的减震缓冲作用,能够全面应对来自不同方向的冲击力。灵活配置:根据船体所受冲击力的不同,可灵活调整主副减震的安装方向和方位,以达到最佳的减震效果。

在2018年4月20日,船用桥架减震机构,获得实用新型专利,证书号 ZL201721317759.8。



图中:副减震胶垫-1、框架-2、滑动块-3、主减震弹簧-4、定位销轴-5、主减震胶垫-6、桥架-7、连接件-8、转轴-9

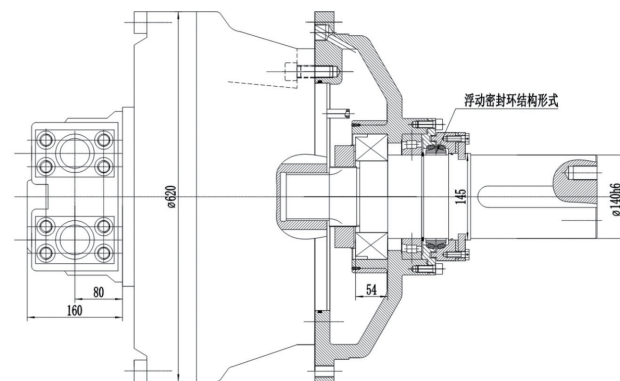
#### 4. 先进的深水密封技术

针对深水作业中的高压工况,我们采用了特殊密封设计,以确保设备的正常运作并有效防止外部水的侵入<sup>[5]</sup>。对于浅水作业环境,由于水下部件所受外部压力较小,因此无需特别关注其对外部水的密封性。然而本船需要到达水下挖深50m的情况,在深水作业场景下,相关水下部件需承受高达5Kg/cm<sup>2</sup>的外部压力。针对深水作业的高压工况,水下作业部件的密封设计需全面考虑,既要确保机构内部润滑油不外泄,又要严格防止外部深水渗

入机构内部。此外,驱动刀头所使用的液压马达、驱动泥泵的水下电机必须充分考虑深水作业的实际条件,以杜绝在高压环境下外部水渗入动力件内部,进而引发故障。

由于本船铰刀头采用液压马达驱动,所以对液压泵我们采用了特殊设计,在输出端增设了浮动密封环密封形式,浮动密封具有耐高压、密封稳定、磨损小、维护容易等优点,浮动密封环耐压强度可达5mpa,因此在水下挖深50m作业时可以有效确保外部水无法进入泵体内部,从而保障铰刀头的稳定运行。水下电机直接选配国内专业的深水电机制造厂家天津普友配套,保证使用效果。

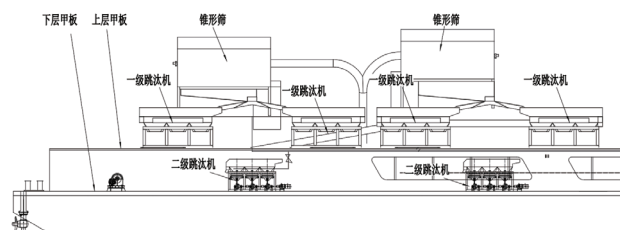
液压马达输出端密封型式结构图:



#### 5. 双层甲板高效设计

在船舶的设计构思中,我们着重于工作流程的细致规划与动力损耗的严格控制,力求通过流体自重的巧妙利用,实现物料在各加工阶段的无缝转换。依据详尽的工艺设计,从水下抽取的矿砂首先需被提升至整个作业流程的最高点,经历严格的逆向筛分程序。随后,这些矿砂将借助流体自重的力量,自然下落至一级选矿、二级选矿及矿粉回收等后续工序。

为了支撑这一高效运转的生产流程,船舶被精心构造成为双层甲板结构<sup>[6]</sup>。上层甲板专注于原料的初步处理,配置了高效的锥形筛与一级跳汰机,确保原料的快速筛选与初步提纯。而下层甲板则承担着更为精细的加工任务,包括二级跳汰机的深度处理以及矿粉的收集与包装设备,从而确保整个生产流程的高效、有序进行。



### 三、工作性能

锡矿船每天10小时工作,锡矿产量可达15吨左右,适用于近海深层矿砂作业,最大挖深可达50米,具备较高的作业效率和生产能力。

#### 1. 自动化与智能化

船舶采用 PLC 编程控制,实现液电操控,自动化程度高,减

少人工操作，提高工作效率和安全性。监控系统完善，可实时监控船舶位置、设备工作状态及各项参数，50米水下摄像头，满足水下观测需求。同时配备集成 DGPS 系统，实时显示船体摆动的高精度位置信息。GPS-RTK 技术建立实时数据通讯链路，实现厘米级精度动态定位。AIS 应答机响应询问信号，发送船舶动态信息，增强船舶自动识别与信息交流。海图机平面电脑实时显示海洋航行信息，支持电子海图查看与航线规划。磁罗经确定航向和观测物标方位，同样至关重要。



#### 2. 适应性及舒适性

锡矿采集筛分包装多功能船的生活设施设计全面，旨在满足船员长期海上作业的基本生活需求。船上设有舒适的船员舱室，配备必要的生活设施如床铺、储物柜和通风设备。同时，船上还设有海水淡化系统、污水处理系统、油污分离系统、厨房和餐厅，为船员提供营养均衡的餐食和餐厅还成为船员用餐交流的重要场所，促进了团队之间的沟通与协作<sup>[7]</sup>。

### 四、工作装置与筛分系统

#### 1. 动力系统

锡矿船总共配备 7 台柴油机，2 台发电机组。

两台后驱动柴油机型号为 X6170ZC-1，单台功率达到 382kw，其主要功能是通过分动箱带动液压泵，液压马达驱动齿轮箱，进而驱动尾部螺旋桨。这两台柴油机采用与分动箱直连方式，效率高；液压马达驱动螺旋桨，便于远程操控转速及摆角。

三台 X6170ZC620-4 型主柴油机，每台功率达到 456kw，分别带动三套 400kw 的发电机组，三台发电机采用双机并联方式进行作业，提供 800KW 的动力，供水下泥泵驱动电机使用，其中另一台发电机作为备用，“两用一备”的配置模式，保证设备正常工作。

一台 X6170ZC620-4 型柴油机，功率为 456kw。该柴油机通过分动箱驱动液压泵工作，其特点该齿轮箱采用三输出设计，分别连接至一个 190+190 双联柱塞泵和两个 130+130 双联柱塞泵。这些柱塞泵的额定工作压力可达到 20Mpa。该设备提供液压动力，用于驱动铰刀头、升降绞车、横移绞车、三揽定位绞车等关键液压驱动部件。

两台潍柴产发电机组，型号为 CCFJ90J-W，每台功率为 90kw，用于满足各个水泵、锥形筛驱动电机、吊车、传送带、

打包机、日常电力需求。根据负荷大小，可以单机作业（不工作时），也可双机作业（工作时）。

一台型号为 X6170zc620-4 的柴油机，其功率达到 456kw，带动 400KW 发电机，发电机提供动力专供给跳汰机的电动机使用。

在水下泵的设计上，本船采用了国内著名品牌品牌的水下泵，其清水流量高达 2000 立方米 / 小时，扬程能力可达 40 米。该水下泵由潜水电机驱动，潜水电机采用国内著名品牌，潜水电机的工作电压为 690V，总功率为 560Kw，确保了水下泵的稳定运行和高效作业。

绞吸式挖泥船的关键组成部分，其挖掘能力直接受制于绞刀功率的影响。为实现绞刀作业效率的最大化利用，专门设计的锡矿开采绞吸头，对刀片型式、刀齿选配、轴承室密封、密封件水封进行了改进设计，大大提高作业效率及工作可靠性<sup>[8]</sup>。

#### 2. 采集筛分包装流程

锡矿采集流程始于利用桥架安装的绞吸头深入海底执行采集作业，所采矿砂随后通过管道系统直接输送至最高点安装的锥形筛进行初步筛分，同时完成对锡矿混合物的水洗，以去除大块杂质及不需要的土质；筛分后的矿砂通过溜槽进入一级跳汰机进行初步选矿，一级跳汰机选出的锡矿，杂质含量较高，需进行二级跳汰机精选，二级跳汰机出来精矿粉，锡矿含量可达 50% ~ 80%。最终，经过严格筛选的锡矿捞取后通过传送带，进入进包装设备进行自动化包装，并存储在船上的专门储物室。

#### 3. 生活设施与辅助系统

该船舶已全面配置了先进的生活设施及辅助系统，具体涵盖海水淡化系统，每小时产 0.25 吨淡水，满足 12 人日需。污水处理系统，高效处理生活污水及油污水，处理后的水质达标或可再利用，减轻海洋环境潜在影响。舒适的住宿房间、便捷的办公场所、设备齐全的伙房以及整洁的卫生间等。这一系列设施的完善，旨在充分满足船员在船舶上长期工作的生活需求，从而有效提升船员的工作积极性及整体生活质量。



### 五、应用效果与经济效益分析

#### 1. 应用效果显著

锡矿采集筛分包装多功能船自投入使用以来表现优异<sup>[9]</sup>。其

最大挖深可达52米远超传统采矿船的25米限制；日产量稳定在15吨左右，客户反馈表明该船性能稳定可靠操作简便且维护成本较低。

2. 经济效益突出

从经济效益角度看该船为客户带来了显著的经济效益增长。根据现场施工反馈每日可平均生产15吨精锡矿，按照现实售出情况每吨可达7000美元，折合人民币可达5万元人民左右，可产生直接销售产值约75万元人民币，燃油消耗、人工费用及维修保养等成本，总计约5.38万元人民币，扣除成本后每日毛利润可达69.62万元人民币。

六、社会效益分析

锡矿采集筛分包装多功能船的成功研发和应用不仅促进了印尼锡矿开采业的发展还带来了广泛的社会效益<sup>[10]</sup>。首先该船提高

了锡矿开采效率增加了锡矿供应量有助于满足全球市场对锡矿的需求推动相关产业链的发展；其次该船减少了动力损耗和碳排放降低了对环境的污染符合可持续发展的理念；最后该船为当地创造了大量的就业机会促进了当地经济的发展和民生的改善。

七、结束语

综上所述锡矿采集筛分包装多功能船的研发和应用是解决印尼锡矿开采业面临困境的有效途径之一。该船凭借其独特的多功能集成设计、高效的作业性能和显著的经济社会效益，展现出了广阔的发展前景和应用潜力。未来随着技术的不断进步和市场需求的不增长，我们有理由相信该船将在全球锡矿开采领域发挥更加重要的作用，为推动锡矿资源的有效开发和利用做出更大的贡献。同时我们也将继续关注和研究该领域的最新动态不断优化和完善产品设计以满足市场的不断变化和需求。

参考文献

[1] 邵召斌, 林森, 刘俸麟. 大型绞吸式挖泥船挖岩铰刀切削数值模拟 [J]. 水运工程, 2017(8):40-44.  
[2] 冯永军, 陈城, 陈新权等. 绞吸式挖泥船三揽定位系统设计 [J]. 水运工程, 2022(9):203-209.  
[3] 李晓磊, 柴桂军, 张润喜等. 大型绞吸挖泥船性能提升研究 [J]. 水运工程, 2023(S2):32-37.  
[4] 李攀. 不同水深工况下绞吸挖泥船阻力性能对比 [J]. 内江科技, 2020(12):18-19.  
[5] 胡京招, 祝志远, 曹蕾, 等. 基于中粗砂土质输送工况的泥泵轴系疲劳寿命研究 [J]. 水泵技术, 2023,(01):1-5.  
[6] 王健, 孔凡震. “天鲲号”自航绞吸船核心技术应用研究 [J]. 中国港湾建设, 2017(1):58-67.  
[7] 何炎平, 冯长华, 顾敏童. “天鲸”号大型自航绞吸式挖泥船 [J]. 船舶工程, 2009(5):1-5.  
[8] 张有卿. 船用液压系统调速原理分析 [J]. 船舶工程, 2020,42(S2):36-39.  
[9] 周国平. 深远海大型多功能综合救助船工程开发研究 [J]. 船舶, 2022,33(06):1-9.  
[10] 岳文飞. 基于疏浚土资源化利用技术的入库航道清淤工艺 [J]. 水运工程, 2023(S2):81-85.



# 环境地质监测在重大工程建设中的应用

杨思奕

新疆地质工程有限公司，新疆 乌鲁木齐 830091

**摘 要：** 在世界各国大规模的基础设施建设中，环境问题越来越突出。作为一种有效的预防、识别和评估工程施工过程中可能出现的环境风险，对保证项目的进度、质量、造价和长期安全运营至关重要。文章从环境地质监测的概念、方法和技术入手，对重大工程建设过程中的主要环境地质问题及对环境的影响进行了分析，并对其在规划、设计、施工和运营等各个阶段的具体运用进行了较为详尽的论述。在此基础上，提出了强化监测技术研究、提高数据处理能力、完善标准体系和加强跨部门合作的建议。

**关 键 词：** 地质灾害；水文地质；土壤污染；生态破坏；监测技术

## The Application of Environmental Geological Monitoring in Major Engineering Construction

Yang Siyi

Xinjiang Geological Engineering Co., LTD. Urumqi, Xinjiang 830091

**Abstract：** In the large-scale infrastructure construction in the world, environmental problems are becoming more and more prominent. As an effective way to prevent, identify and evaluate the possible environmental risks during the construction process of the project, it is crucial to ensure the progress, quality, cost and long-term safe operation of the project. Starting from the concept, method and technology of environmental geological monitoring, this paper analyzes the main environmental geological problems in the process of major engineering construction and their impact on the environment, and discusses its specific application in planning, design, construction and operation. On this basis, some suggestions on strengthening monitoring technology research, improving data processing capacity, improving the standard system and strengthening cross-departmental cooperation are put forward.

**Keywords：** geological disaster; hydrogeology; soil pollution; ecological destruction; monitoring technology

## 引言

伴随着我国经济的高速发展以及城镇化的不断推进，世界各地大规模的大型工程建设项目不断涌现，并对生态环境造成了深刻的影响。随着我国国民经济和社会发展的步伐不断加快，国家综合实力显著增强。在这一背景下，提升环境地质监测的效能显得尤为重要。通过精准的监测系统，能够及时识别和应对潜在的环境风险，确保项目的顺利进行，保障我国社会经济的健康发展和可持续性。因此，强化环境地质监测，不仅是对资源环境负责的表现，更是推动经济社会全面进步的关键因素。只有这样，才能更好地适应新时代发展的要求，为实现中华民族的伟大复兴贡献力量。

## 一、环境问题对重大工程建设的影响日益凸显

在世界各地，大型建筑工程的数量越来越多，其规模也越来越大。这类项目通常需要大量的土地征用，需要进行环境影响评价和对策研究，同时也会对生态环境产生深远的影响。这就导致了严重的环境问题，其中就有生态破坏导致的土地退化，水源减少，地质灾害频发等。这对项目的可持续发展提出了新的要求。在这种情况下，开展环境地质监测具有十分重要的意义，有助于深入认识气候变暖对自然、经济、社会等多方面的影响，并为气

候变暖的治理提供理论基础。因此，加强对环境地质调查工作的研究，不但是十分必要的，也是十分紧迫的。利用实时、精确的监测资料，可以及早发现隐患，并采取相应的对策，保证项目的长期可持续发展<sup>[1]</sup>。

## 二、环境地质监测概述

### （一）环境地质监测的概念与内涵

要对这个概念进行更深层次的讨论，首先要对它的定义进行

作者简介：杨思奕（1993.05-），男，汉族，河南省许昌市鄢陵县，本科，工程师，工程地质与环境地质。

界定。环境地质监测是一项高科技技术，主要研究地表和地下环境的综合观测、测量和分析。其核心目标是通过先进的设备与手段，对岩体结构变化、岩石物性变化、地下水流等进行系统的监测。在此基础上，通过连续监测，揭示地质环境与人类活动的复杂互动，以及二者如何相互影响、相互依存，并最终形成特殊的现象与规律。<sup>[2]</sup>

这种监测活动不仅能够为科学家们提供宝贵的数据资源，帮助他们理解和预测地质灾害的风险，而且对于环境保护工作也具有重要意义。通过对污染源的识别，评估污染物在土壤中的运移途径，以及对生态系统健康的监控，可以为制定相应的防治对策提供理论依据。同时，本课题的研究结果也将有助于指导我国建筑工程的设计、施工等方面的决策，保证施工方案的科学性、合理性、经济性。总而言之，从日常的地质勘查到国家的环保政策，都涉及了人类社会的方方面面，都离不开这一专业领域所提供的深入见解和指导<sup>[3]</sup>。

## （二）环境地质监测的方法与技术

近年来，随着科技的发展，环境地质监测工作取得了长足的发展。其中包括但不限于使用人造卫星和航拍图片观测表面状况的遥测技术；利用电磁波探测地下构造的地质雷达，可对地质构造如断裂、岩溶等进行细致的分析；地球物理勘探方法主要包括探测声波、放射性核素和电磁波等多种物理信号；而地下水监控井是指对地下水位及水质进行监测、监控地下水的变化及对水质的污染程度进行评价。

环境地质监测技术的用途很广，从城市的基建到资源的保护，都可以起到很大的作用。比如，遥感可以用来评价土地利用变化对地面稳定的影响，而地质雷达在可能发生的滑坡和找矿方面有优势。另外，地球物理方法特别是地质剖面法在认识地层构造、矿床分布等方面有着其他方法所不能代替的优势。而地下水观测井对研究地下水补排机理、了解地下水的动力学变化具有重要意义<sup>[4]</sup>。

## 三、重大工程建设中的环境地质问题

### （一）常见环境地质问题类型

#### 1. 地质灾害

滑坡、泥石流、地表坍塌等地质灾害，以及强震等自然灾害对在建工程构成了严峻的安全威胁。这些可能的灾害不但会影响工程的正常运行，而且会造成巨大的经济损失。为此，必须建立一套行之有效的防范与应对机制。

#### 2. 水文地质问题

地下水资源的动态变化，特别是地下水的非稳态波动，地下水的污染程度，以及地下水的渗透能力，都会对基坑工程的稳定产生影响。基坑沉降，开裂，坍塌等都会引起地基的沉降，破坏地基的正常使用寿命。如何准确地评价这一问题并进行高效的管理显得尤为重要<sup>[5]</sup>。

#### 3. 土壤污染与生态破坏

在施工过程中，必然会对周围的水土环境产生一定的影响。

在生产过程中，化工产品、机械设备、重载交通工具的使用，都会向土壤中排放有害物质，造成土壤的污染。另外，在建筑工地进行工程建设时，还会对植物造成一定程度的损害。生物多样性的降低将引起生态系统的退化，从而对全球的生态循环产生重大的影响，并可能引发全球气候变化、物种灭绝和人体健康等方面的负面效应。所以，在项目实施之前，必须做好详细的环保工作计划，并按照计划对其进行有效的环境管理。

### （二）环境地质问题对重大工程建设的影响

通过对上述几个问题的详细分析，可以看出这些问题对项目的进度有很大的影响。若不能对复杂的地质情况加以足够的重视，则会造成施工进度的拖延。从质量角度看，恶劣的地质环境会引起材料性能劣化、结构失稳、不均匀沉降，严重影响结构的安全与耐久性。此外，由于地质原因而进行的附加工程或更改将会使工程的总体费用增加。<sup>[6]</sup>特别是对于地下资源开采项目，岩溶塌陷、滑坡、地下水污染等地质灾害的发生，会对工作人员及周围环境造成极大威胁。所以，在项目实施过程中，做好防范工作及相应的应急预案，是保证项目顺利实施的关键。唯有如此，才能在应对地质灾害时，保持弹性和效率，将不良影响降到最低，保证项目的顺利完成。

## 四、环境地质监测在重大工程建设各阶段的应用

### （一）工程规划阶段

在项目实施之初，要做详尽的地质调查，并对选择的工程场地进行连续的监测。在此阶段，通过地质环境监测，可为项目选址提供决策依据，以降低或消除施工对周边环境的负面影响，保证项目的安全性。首先，在设计阶段，可以获取现有的地质信息，以此来判断工程选址的合理性；其次，采用工程地质勘察、环境监测等方法，对该地区的地质环境状况进行了解分析；再次，通过对项目选址的环境影响评价，识别选址的环境风险，并将选址的适宜性与选址方案相结合；最后，通过对该工程的环境影响进行分析、预测与评价，对工程场地进行优选，并提出合理的工程实施方案。通过调查与监测成果，对建设用地区域合理性进行全面评价，并识别可能存在的环境风险，以保证该项目的顺利实施<sup>[7]</sup>。

### （二）工程设计阶段

依据监测数据，通过对结构进行优化，保证了结构的安全性和经济性，降低了对环境的不利影响。首先，在设计阶段，要对设计方案进行合理的监控，以求最大限度地规避工程建设中可能出现的环境地质灾害，比如，通过对基坑开挖过程中的岩土应力状态、地应力和地下水的动态变化进行监测，进而对其进行安全评价。其次，对施工期间所处的地质环境进行监控，以指导工程建设，从而保证工程的安全和经济，比如，在基坑施工时，可以通过对基坑周围的地应力和地下水的动态变化等参数进行监测，来判定基坑是否可能发生塌方。最后，在支护过程中，根据支护结构的应力、变形、位移等参数的变化，对支护方案进行相应的调整，在浇筑混凝土时，可以对周围环境的影响进行监测<sup>[8]</sup>。



（三）工程施工阶段

通过对施工过程中地质情况的监测，及时调整施工计划，预防地质灾害。首先，在建设过程中应对地质环境进行实时监控，以预防和控制地质灾害。例如，在基坑工程中，根据地应力和地下水的动态变化情况，对基坑工程进行安全性评估；其次，通过对混凝土强度和变形等参数的检测，对混凝土的安全进行判定；再次，在深基坑施工过程中，通过对周边地应力、地下水的动态变化进行监测，以判定基坑是否安全；最后，在工程建设期间，应加强对周围环境的监控，并根据实际情况对施工方案进行相应的调整。例如，在地下连续墙的基础上，对其周围的地应力和地下水进行动态监测，以判定其是否具有足够的安全性。<sup>[9]</sup>

五、环境地质监测应用的对策

（一）加强监测技术研发与创新：促进环境地质监测新技术新方法的推广，提高监测的效率与准确性。主要内容有：①利用物联网、云计算等先进技术，建立以地质灾害预警为中心的监测网络体系，实现快速监测、智能化分析和实时预警；②利用手机网络，研发地质环境监测、应急救援、防灾减灾等功能的手机终端软件，建立多源、多尺度、多分辨率的地质环境监测系统，提升地质环境监测的工作效率。③构建基于大数据的环境地质监测数据分析和应急救援决策支撑平台，为相关部门决策提供技术支撑。在此基础上，应加强对环境地质监测的仪器、设备以及自动处理系统的研制，提高监测工作的自动化水平<sup>[10]</sup>。

（二）提高数据处理与分析水平：运用大数据、人工智能等先进技术，提高监控数据的处理速度与分析能力，并从数据中发

掘更深层次的信息。主要内容有：①利用大数据、云计算等技术，收集不同区域、不同时段的环境地质资料，并对其进行集成与分析，达到数据的共享与共享。②利用人工智能技术，实现对大量数据的有效分析和处理，为各种不同的决策提供技术支撑；③利用卫星遥感手段，对区域环境地质条件进行监测，并对其进行快速、精确的分析，并对其变化机理进行分析。同时，通过空间插值、图像分割、模式识别等方法对监测资料进行处理和分析，并从中提取出环境地质条件的演变规律及变化趋势。

（三）完善监测标准与规范体系：加强对环境地质调查工作的规范，使其具有科学性、可比性。具体包括：①制定环境地质调查资料收集标准，制订统一的取样工艺规范，规范取样工作；②健全环境地质监测数据采集、传输、存储、处理及应用等方面的标准体系，保证数据的完整与一致；③建立健全环境地质调查的质量管理和质量保障系统，建立相应的专业技术标准，建立相应的质控体系，保证监测结果的准确、可靠；④建立评价指标体系，明确评价对象、评价内容、评价方法，对不同类型的环境地质问题进行分级评价；⑤建立环境地质信息共享标准体系，规范各部门间的信息沟通机制。

六、结语

在重大项目施工过程中，环境地质监测工作是保证项目安全、有效实施和可持续发展的关键环节。在今后的工作中，要不断加大对环境地质监测的研究和应用力度，不断健全和完善我国的环境监测系统，提升我国的环保水平，为我国重大工程的建设和发展奠定坚实的基础。

参考文献

[1]张海滨, 卢迪, 熊剑智, 等. 海洋 CO<sub>2</sub>封存的国内外进展与启示 [J]. 中国资源综合利用, 2023, 41(12): 166-169+215.  
[2]湖南省水文地质环境地质调查监测所 [J]. 国土资源导刊, 2023, 20(04): 158-160.  
[3]游昆鹏, 胡高峰, 罗才严. 矿山地质环境监测数据库管理系统设计与实现 [J]. 现代矿业, 2023, 39(10): 215-218.  
[4]赵海亮. 泾县陈园山“边采边治”矿山地质环境整治分析 [J]. 西部资源, 2023, (04): 162-165.  
[5]崔娜, 卢小红, 王妍, 等. 基于 Faster R-CNN 改进算法的遥感技术及其在地质灾害监测中的应用研究 [J]. 地质与资源, 2023, 32(06): 772-778.  
[6]刘鹤. 地理信息系统在矿产地质工程中的应用 [J]. 有色金属工程, 2023, 13(12): 179-180.  
[7]马冰, 巴黎, 陈胜, 等. 基于水文地质的化工园区地下水环境调查评估研究 [J]. 地下水, 2023, 45(06): 58-61.  
[8]游昆鹏, 胡高峰, 罗才严. 矿山地质环境监测数据库管理系统设计与实现 [J]. 现代矿业, 2023, 39(10): 215-218.  
[9]刘宇潇. 高分辨率遥感技术在矿山地质环境监测中的应用 [J]. 安徽地质, 2023, 33(03): 270-273.  
[10]赵海亮. 泾县陈园山“边采边治”矿山地质环境整治分析 [J]. 西部资源, 2023, (04): 162-165.

# 矿热炉机械设备及其自动化应用的研究

张全强

宁夏中卫市志远安装服务有限公司, 宁夏 中卫 755000

**摘 要：** 本文对矿热炉机械设备及其自动化应用进行了论述。对矿热炉的主体结构进行了概括，包括炉体结构、电极系统、加料系统和烟气回收和利用系统等，并对它们的工作原理和工作模式进行了分析；针对目前矿热炉机械设备存在的设备落后、对人工作业的依赖性高等问题，围绕自动控制系统的构建、传感器技术、控制器和执行器技术展开研究，并研究其在温度控制、配料、电极调整等方面的具体运用，以提高生产精度、降低劳动强度、提高安全性；针对能耗高，环保问题突出的问题，提出了节能和环保的理念。

**关 键 词：** 矿热炉；机械设备；自动化控制；温度控制；电极调节；节能环保

## Research on Mechanical Equipment and Automation Application of Ore-Smelting Electric Furnace

Zhang Quanghai

Ningxia Zhongwei Zhiyuan Installation Service Co., Ltd. Zhongwei, Ningxia 755000

**Abstract：** This paper discusses the mechanical equipment and automation application of thermal furnace. The main structure of the furnace is summarized, including furnace structure, electrode system, feeding system and smoke exhaust system, and their working principle and working mode are analyzed. In view of the current furnace mechanical equipment backward, high dependence of manual operation, around the construction of automatic control system, sensor technology, controller and actuator technology research, and study the temperature control, ingredients, electrode adjustment, in order to improve the production accuracy, reduce workers labor intensity, improve safety.

**Keywords：** thermal furnace; mechanical equipment; automatic control; temperature control; electrode regulation; energy saving and environmental protection

### 引言

矿热炉作为冶金行业的关键设备，其工作效率和稳定性对产品质量有着决定性的作用。在生产过程中，矿热炉需要持续稳定地提供高温高压的反应环境，确保原材料能够在合适的温度和压力条件下进行冶炼。因此，其设计、制造和维护都需严格按照高标准执行，以满足工业生产的严苛要求。随着科学技术的不断发展与自动化水平的不断提高，传统矿热炉机械设备正面临着转型升级的迫切需要。通过对矿热炉机械现状和面临的问题进行剖析，探索自动控制技术在矿热炉生产中的应用，为提高生产效率，降低运行成本，保证安全生产，具有重要的理论和实际意义。

### 一、矿热炉机械设备概述

#### （一）矿热炉的主要结构

炉体结构：炉壳作为矿热炉的核心部件，不仅承载着熔融物料的高温，同时也是多种化学反应发生的场所。炉衬进一步加固炉壁，防止热应力或腐蚀。采用水冷却系统，保证了矿热炉内部环境的稳定性和安全性。

##### 1. 电极系统

电极系统是冶炼设备中不可或缺的核心组件，经过精心设

计，可以在恶劣的环境中工作。电极把持器可以保证电极能够被稳定和精确的定位；电极升降装置可随需升降，以满足不同的冶炼要求与高度。整个系统协同工作，将电能高效地输送到矿热炉中产生电弧用来冶炼<sup>[1]</sup>，确保冶炼工艺的连续、安全，极大地提高生产效率。

##### 2. 加料系统

加料系统的主要任务是将所需的原料不间断地送入矿热炉中，通过对进料量及频次的精准控制，保证冶炼过程中物料的平稳连续供应，确保冶炼过程的高效率和安全性，为高质量产

作者简介：张全强（1966.01—），男，宁夏中卫市沙坡头区人，本科学历，机械工程师，长期从事矿热炉机械设备及铁合金冶炼工作。

品冶炼奠定良好的原料基础，确保全流程物料供应的精度与稳定性<sup>[2]</sup>。

### 3. 烟气回收和利用系统

烟气回收和利用系统是一种高效、经济、环保且能保障人身健康的新技术，采用先进的烟气回收技术，将各个系统的烟气高效地收集并输送到相应的烟气回收入口进行处理<sup>[3]</sup>，以保证生产现场的空气质量，消除对周边生态环境及人体健康造成的危害。烟气回收利用系统的有效运行，既是企业履行社会责任的表现，也是对可持续发展的一种承诺。

#### （二）矿热炉机械设备的工作原理

炉体是冶炼过程的中心，它的作用是保持熔池温度，保证冶炼过程的稳定与高效，同时对加热速度进行调控；电极系统作为电化学反应过程中的核心环节，它的选型对能量转化效率和产品质量有着重要的影响<sup>[4]</sup>；加料设备可按要求向炉内输送所需的物料；烟气回收和利用系统可以保证烟气的回收和利用，防止有害气体的聚集，对人及周围的环境起到保护作用。各环节协同工作，构建高效、稳定、环保的冶炼平台，保证冶炼工作的顺利进行。

## 二、矿热炉在冶金行业的重要地位

矿热炉是冶金、化工和有色金属工业中一种重要的加热装置，其工作原理是将电能转换成热能，在高温高压环境下，使物料间进行化学反应，达到产品冶炼的目的<sup>[5]</sup>。矿热炉是一种高耗能的加热装置，其节能降耗的效果对节能减排具有重要意义。走可持续发展之路、提高国际竞争能力的关键，就是掌握和运用先进的矿热炉技术。矿热炉在促进冶金工业迈上新台阶、促进资源高效利用、促进产业升级等方面发挥着举足轻重的作用。

## 三、矿热炉机械设备存在的问题与发展方向

#### （一）解决设备落后与维修难题

矿热炉作为一种特殊的装置，运行周期长，设备老化快，需要考虑其使用寿命。矿热炉在运行时存在电化学腐蚀和磨损，严重影响设备的使用寿命。长时间运行在电磁场中，机械设备容易出现电化学腐蚀<sup>[6]</sup>；矿热炉冶炼时需定时加料，会造成设备的磨损。由于矿热炉存在工作环境差、温度高、压力大、磨损快等问题，进行维修保养难度极大，且易出现安全事故。目前，有些企业仍使用落后的生产技术，生产效率低、能耗高、安全事故多。为此，矿热炉由传统的人工操作时代迅速过渡到自动化、智能化的新时刻刻不容缓。

#### （二）重视节能和环保

在可持续发展战略的要求下，发展我国经济的同时，必须兼顾环境和资源，做到经济、环境、资源的同步发展。冶金工业在冶炼过程中消耗大量的能源，对环境造成巨大的破坏。矿热炉机械设备及其自动化应用技术作为冶金工业发展的后盾，必须坚决贯彻落实绿色环保的理念，完全应用节能环保技术，节能降耗，

杜绝污染，实现冶金工业的可持续发展。

我国工业发展过程中，环保问题一直是困扰工业发展的一个棘手问题。我国的传统工业能源消耗高，重视生产过程，轻视环保节能问题。长期以来，高耗能与高污染所带来的问题逐渐突出，要想推进我国工业的可持续发展，绿色理念的贯彻执行是唯一出路。绿色设计应用于冶金机械是由冶金机械自身的特点决定的。在矿热炉机械设备工作过程中，会产生热辐射、噪声、泄漏、废弃物等，对周边环境造成不同程度的破坏，为解决这一环保问题，绿色设计的应用必须坚决执行。

总而言之，在保证绿色、清洁、环保的前提下，提高生产效率，降低生产成本，是当今冶金工业发展的唯一方向。随着经济的不断发展，可持续发展的理念已经深入人心，全社会对绿色环保的重视程度不断提高，作为高耗能的冶金机械行业来说，始终不渝的坚持绿色理念，完全应用绿色、清洁、环保的设计技术，服务于我国的经济建设。

## 四、自动化应用技术在矿热炉中的应用

随着科学技术的进步，自动化控制技术在矿热炉中得到更广泛的应用。采用自动化控制技术对原矿热炉进行优化，可以消除安全隐患，提高生产效率，实现对矿热炉工艺流程的智能化改造。采用先进的计算机控制技术、传感技术、信息网络技术等对矿热炉的生产过程进行智能控制<sup>[7]</sup>，可以达到自动监测与调整的目的，实现矿热炉工艺的智能化分析和优化调控，实现高效节能的生产目标。

#### （一）自动化控制系统的组成

##### 1. 传感器技术

将温度传感器、电流传感器等设备连接在一起，该系统可实现温度、压力和电流等多个参数的自动监控<sup>[8]</sup>。传感器技术能将检测到的数据实时传送给测控中心进行分析、处理，达到自动控制的目的。通过对现场装置的实时监测，自动调整温度、压力和电流等参数，从而保证系统的平稳运行。此外，传感器技术还能与外部通讯装置相连，进行远程监控，对矿热炉的加料速率、电极升降速度、电极压力等进行控制。

##### 2. 控制器与执行机构

控制系统中的控制器是由 PLC 构成，它既能对现场设备进行在线监测，又能对远程通信装置发送过来的数据进行接收。用 PLC 将控制器与执行器相连，并在控制器内编写程序，从而达到自动控制的目的。执行器的控制装置由直流电机和液压装置等组成，可根据工作环境及特殊需求，实现对执行器的自动调节。采用自动控制技术后，矿热炉可与外部通讯装置相连，进行远程监测。同时，将变频技术应用于矿热炉，使其具有了遥调控节能，通过远程通讯装置，把现场的实时数据传送给调度中心，经过调度中心的分析、处理，可以实现对现场设备的控制。

#### （二）自动化应用的具体领域

##### 1. 温度控制

温度控制系统可以精确地控制炉温<sup>[9]</sup>，保证冶炼过程的高效

率。这种控制方式，可以使冶炼过程得到最大优化，对降低生产成本，增强企业市场竞争力具有重要意义。所以，在冶炼过程中，温度的控制是关键，它对保持冶炼过程的稳定性与可靠性具有重要意义。

2. 配料自动化

采用自动化配料技术，对冶金行业影响巨大。自动化配料系统能按照冶炼产品的特定需要，对原材料的配比进行自动调整，从而达到精确的控制效果。配料自动化大大降低了由于人为因素造成的不稳定，使配料准确度得到提升，保证冶炼过程的连续性与产品质量的稳定。自动配料系统利用先进的算法及感应装置，对物料流动及反应速率进行实时监测，以达到对物料比例进行精确调节的目的，适应各工序的需要。

3. 电极调节自动化

电极调节自动控制系统通过对炉内温度及电极状况进行实时监测，实现对电极位置的自动调节，满足不同的生产要求<sup>[10]</sup>。通过对该系统的精确控制，可以有效地防止由于温度变化引起的电弧失稳，大幅度地减少能量的消耗。电极调节自动化控制系统通过对炉内各种参数的分析，对调整策略进行优化，以保证在高效率的前提下达到最佳的能源利用效率的目的，进而提升整个生产线的运行效率和经济效益。

（三）自动化带来的优势

1. 提高生产精度

提高生产精度的关键是准确监测与调节各环节，通过对物料用量、反应速度和设备操作等因素的严格控制，确保产品的均匀性和一致性。提高生产精度既可以提高生产效率，降低废品率，又可以提升顾客对产品的信任度，是矿热炉机械设备及其自动化应用中一个可持续发展战略。

2. 降低劳动强度

降低劳动强度的重点是优化作业程序，减少不必要的人工作业，提高工作效率和生产效率，节约人力资源。只有这样，才能更好地满足员工的需求，吸引和留住优秀的人才，为企业的可持续发展打下坚实的基础。

五、结束语

综上所述，我国的矿热炉机械设备及其自动化应用水平虽然有了长足的发展，但与发达国家相比仍然存在差距，缩小差距，迎头赶上，任重而道远。矿热炉机械设备及其自动化应用技术的发展前景美好，我国必须加大研发力度，力争使我国矿热炉机械设备及其自动化应用技术在国际市场上占有举足轻重的地位。

参考文献

[1]赵世锦. 矿热炉电极控制系统设计研究 [D]. 沈阳理工大学, 2022.  
[2]何俊平, 段望春, 张琨等. 一种新型矿热炉全自动加料装置开发与试验 [J]. 机床与液压, 2022.  
[3]刘伟, 刘鹏, 马梓舰等. 矿热炉烟道气固两相流冲刷机理研究 [J]. 辽宁化工, 2022.  
[4]郑甜莹. 矿热炉电极测长系统集中器设计 [D]. 西安石油大学, 2023.  
[5]白霞. 矿热炉电极测长系统主控制器软件设计 [D]. 西安石油大学, 2023.  
[6]张新杰, 刘鹏, 孙昊等. 矿热炉炉衬内应力场的数值模拟 [J]. 山东化工, 2022.  
[7]“工业矿热炉恒功率智能炉控系统”研发成功 [J]. 化工自动化及仪表, 2022.  
[8]李密. 基于超声导波的矿热炉电极插深检测方法研究 [D]. 中南大学, 2023.  
[9]康源. 矿热炉电极测长装置定位方法研究 [D]. 西安石油大学, 2023.  
[10]孙昊, 刘鹏, 张新杰等. 电极插入深度对矿热炉加热影响的 CFD 分析 [J]. 辽宁化工, 2022.



# 昆明市北市区某冲洪积及湖积地层中盆式开挖基坑支护工程设计要点浅析

余再西<sup>1</sup>, 李荣玉<sup>2</sup>, 何小远<sup>3</sup>

1. 云南建安昆宁工程设计咨询有限公司, 云南 昆明 650000

2. 云南邦众岩土工程有限公司, 云南 昆明 650000

3. 建研地基基础工程有限责任公司, 云南 昆明 650000

**摘 要 :** 由于锚索超红线受到限制, 内支撑支护结构工期长、造价高, 盆式开挖基坑支护体系在昆明地区得到推广和应用, 但是昆明地区地质条件复杂, 这种支护方式在昆明应用过程中有成功的经验也有很多失败的案例。本文借助昆明市北市区某冲洪积及湖积地层中盆式开挖基坑支护工程为实例, 通过数值模拟和类似项目的经验总结, 给出了昆明地区盆式开挖基坑支护体系的一些设计和施工要点, 以提升工程技术人员对此类支护结构的认知, 减少工程事故的发生, 促进这种支护体系在昆明地区的推广应用。

**关 键 词 :** 盆式开挖; 基坑支护; 冲洪积地层

## Analysis of Design Considerations for Pothole Excavation and Shore Protection in a Fluvial-Alluvial and Lacustrine Sedimentary Area in Beijiao District, Kunming City

Yu Zaixi<sup>1</sup>, Li Rongyu<sup>2</sup>, He Xiaoyuan<sup>3</sup>

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

2. Yunnan Bangzhong Geotechnical Engineering Co., LTD. Kunming, Yunnan 650000

3. CABR Foundation Engineering CO.,LTD. Kunming, Yunnan 650000

**Abstract :** Due to the limitation of anchor cable exceeding the red line, the internal support structure has a long construction period and high cost. The basin excavation foundation pit support system has been promoted and applied in Kunming area. However, the geological conditions in Kunming area are complex, and this support method has successful experience and many failed cases in the application process in Kunming. This article takes the basin excavation foundation pit support project in a certain alluvial and lacustrine formation in Beishi District, Kunming City as an example. Through numerical simulation and experience summary of similar projects, some design and construction points of the basin excavation foundation pit support system in Kunming area are given to enhance the understanding of engineering technicians on such support structures, reduce the occurrence of engineering accidents, and promote the promotion and application of this support system in Kunming area.

**Keywords :** basin excavation; foundation pit support; alluvial and alluvial strata

## 引言

由于锚索超红线受到限制, 内支撑支护结构工期长、造价高, 盆式开挖基坑支护体系在昆明地区得到推广和应用, 但是昆明地区地质条件复杂, 这种支护方式在昆明应用过程中有成功的经验也有很多失败的案例。近年来盆式开挖基坑支护体系的研究不少<sup>[1-4]</sup>, 但针对昆明地区的冲洪积及湖积地层的盆式开挖研究较少。昆明因地质条件复杂, 既有湖沼积的泥炭、泥炭质土、淤泥、淤泥质土等软土, 也有冲洪积的卵石、圆砾、粉质粘土、黏土等地层, 其岩土工程有地域性和特殊性, 盆式开挖基坑支护体系在昆明出现了很多因使用不当而造成的工程事故, 故有必要针对昆明地区的地层特点对此支护体系做系统的研究。本文借助昆明市北市区某冲洪积及湖积地层中盆式开挖基坑支护工程为依托, 通过数值模拟和类似项目的经验总结, 给出了昆明地区盆式开挖基坑支护体系的一些设计和施工要点, 以提升工程技术人员对此类支护结构的认知, 减少工程事故的发生, 促进这种支护体系在昆明地区的推广应用。

## 一、项目概况

### （一）基坑周边环境条件

拟建设项目位于昆明市北市区，地下设置1~2层地下室，基坑的周长约为920，坑深约3.75~18.95m。基础底板主要置于第四系冲洪积和湖积相第②层粘土及第③层圆砾，局部置于第②<sub>-1</sub>层含砾粉质粘土、第②<sub>-2</sub>层粘土（软塑）及第③<sub>-1</sub>层粘土。

本基坑周边建、构筑物多而复杂、道路下放管线密集，且距基坑较近，整个基坑周围环境条件总体复杂。如图1所示，基坑各侧环境条件如下：（1）基坑西侧深度在8.15m~12.97m之间，距沔源路约50m，沔源路与基坑之间为地铁2号线的龙头街地铁站（已建成，投入使用），地铁车站为桩基础，桩长约15m，基坑开挖边线距离地铁车站最近距离为14.0m。地铁2号线轨道高架桥与龙头街地铁站二者为嵌套关系并非整体，即二者结构相互分离，高架桥为桩基础，高架桥距离基坑最小距离为26m，地铁高架线路一般保护区控制线为30米，本基坑已部分进入地铁控制保护区范围。（2）基坑西北侧深度在9.65m~10.55m，外侧为3层的龙泉古镇售楼中心，一层地下室，基础形式为桩基础，目前正在使用，售楼部主体结构距离基坑开挖线最小距离为9.5m。（3）基坑北侧深度在3.75m~10.15m，外侧为2~5层民房，部分为浅基础，部分为人工挖孔桩，基坑开挖线距离民房的最小距离为4m。（4）基坑东侧深度在11.25m~18.90m，外侧多为空地或城中村道路，其中东南角为冯友兰故居，距基坑开挖线最近距离为22.5m。（5）基坑南侧为二期开发用地，基坑深度在4.95m~13.95m之间，其东南侧为空地，西南侧为甲方待修复古建筑。（6）基坑西北侧管线多而复杂，存在雨水管、污水管、燃气管、电力管线等各类管线，应引起高度重视。（7）基坑北侧200m左右为金汁河，河底标高约1907.0m，金汁河目前为干涸状态，金汁河与本场地的圆砾层中的空隙水存在相互补给和排泄关系。

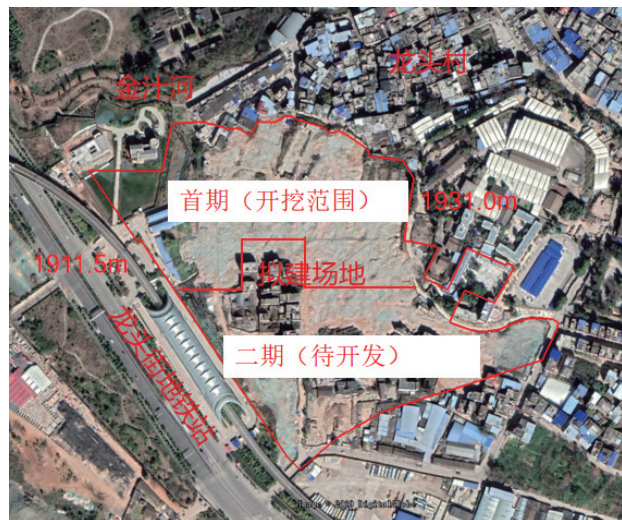


图1 基坑周边环境条件

### （二）工程地质和水文地质概况

拟建场地由上至下为：场地地基土表部为厚度不均的杂填土，中部为冲、洪积相形成的碎石类土及粘性土层等，下部冲积相及湖积相的碎石类土及粘性土互层。

第①层杂填土 ( $Q_4^{ml}$ )：褐色、褐黄色、褐灰色、杂色，松散，稍湿至很湿。以粘性土为主，局部地段表层为建筑垃圾、碎砖、砼（老建筑毛石基础）、生活垃圾及少量植物根茎，成分杂乱，土质不均，成分杂乱。

第②层粘土 ( $Q_4^{el+dl}$ )：褐灰色、褐黄色，可塑状为主，局部硬塑状，饱和。标准贯入修正后平均锤击数7.4击，分布于整个场地，厚度变化大，处于基坑开挖范围内。

第②<sub>1</sub>层含砾粉质粘土 ( $Q_4^{al+pl}$ )：褐灰色，可塑状为主，局部硬塑状，饱和。

第②<sub>2</sub>层粘土 ( $Q_4^{el+pl}$ )：褐灰色、褐黄色，软塑状为主，局部可塑状，饱和。天然孔隙比  $e$  平均1.344，液性指数  $I$  平均0.78，标准贯入修正后平均锤击数2.9击。

第③层圆砾 ( $Q_4^{al+pl}$ )：褐灰色，稍密，很湿。砾石成分为玄武岩、砂岩、石英及少量灰岩，中等风化，粒径1.0cm~3.0cm，少量4.0~5.0cm，圆~亚圆状，砾石含量50~55%左右，粉细砂填充。重型动力触探平均为9.3击。

第③<sub>1</sub>层粘土 ( $Q_4^{al+pl}$ )：灰色、兰灰色，可塑状，饱和。土质细腻，切面光滑，局部夹薄层状粉土。标准贯入修正后平均锤击数6.7击。

第④层圆砾 ( $Q_4^{al+pl}$ )：褐灰色，稍密~中密，很湿。砾石成分为玄武岩、砂岩、石英及少量灰岩，中等风化，粉砂及少量粘性土填充。重型动力触探测试杆长修正击数为10.3击。典型地质剖面图如图2所示。

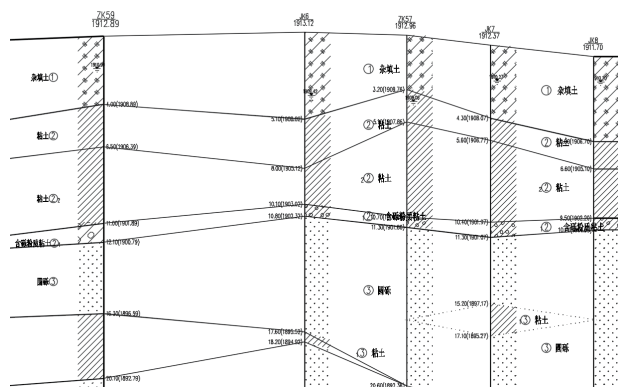


图2 典型地质剖面图

水文地质条件：（1）地表水：区内河流发源于北部基岩山地，大多源近流短。场地西北侧约百米的盘龙江为区内最大河流，从松花坝水库以下，自北向南横贯整个市区，在海埂附近汇入滇池。场地北侧发育一条金汁河，属于盘龙江支流，宽约7.8m，离拟建场地红线边缘约30米。松花坝水库位于场地北方约3公里。场地西侧发育以无名沟渠，现状为干涸，宽约5米。深约4米，离拟建场地红线边缘约140m，如遇丰水季节，需适当考虑对工程施工的影响。（2）地下水：本次勘察深度范围内，场地地下水类型上部主要为孔隙性潜水，微具承压性，孔隙潜水主要靠大气降雨及地表径流（盘龙江、金汁河）补给，通过蒸发排泄。孔隙潜水主要赋存于圆砾层中，圆砾层厚度大，分布范围广，水量较大，富水性强，与场地附近的地表径流盘龙江、金汁河水力联系紧密。

（三）基坑支护要点和支护方案

本基坑支护结构设计时需要考虑以下几方面的问题：（1）基于昆明市的相关规定，锚索出红线限制使用，锚索施工对地基土存在扰动，锚索施工打穿止水帷幕地下水不易控制（特别是建筑物附近）和甲方要求，本项目不使用锚索特别是建筑附近；（2）地铁车站、民房和古建筑一侧对变形控制要求高，应选用控制变形较好的支护体系；（3）圆砾层中地下水丰富应做好地下水控制措施；（4）本项目为坡地建筑地面高差大（基坑外侧最大高差达20m），基底标高变化大（最大高差达13.7m），基底从上到下分5台设置地下室，基坑周长长，形状不规则，基于这些客观因素，整体性强、变形控制较好的全内支撑支护结构在本项目无法实现。综上所述，根据本基坑周边保护对象、基坑深度、工程地质、水文条件和各方面的限制条件，本基坑整体选用对周边环境扰动较小、控制变形较好的排桩+盆式开挖+内支撑的支护形式，局部采用放坡+土钉墙的支护形式，根据边界条件、基坑深度和周边环境的不同，支撑为混凝土支撑或钢支撑，钢支撑有水平支撑和斜支撑，其中留土反压工况为本基坑支护设计的重点控制工况。具体支护方案如图3所示。

二、设计过程中存在的问题

目前基坑支护设计常用的商业软件为理正深基坑和同济启明星软件，其中理正深基坑无法计算盆式开挖预留土台工况的结构内力和变形，同济启明星软件虽然可以考虑预留土台工况，但其计算结果与实际施工后的结果差异太大，难以指导施工。从昆明多个项目盆式开挖设计和施工的情况来看，土层性质较差的地层中盆式开挖工况支护结构变形较大且软土地区常常出现不收敛的



> 图3 基坑支护平面布置图

情况。本项目因诸多剖面采用了盆式开挖基坑支护体系，为了弄清楚预留土台工况支护结构的变形，采用数值模拟方法对各剖面预留土台工况支护结构的变形进行了计算分析。

三、数值模拟过程和结果

采用 Plaxis 软件进行数值模拟，各地层物理力学参数根据勘察报告中数值直接取值或根据相关经验公式推算而得，具体地层和参数详见表1。其中：对②层采用固结快剪试验结果作为土体强度参数，对②<sub>2</sub>层采用静三轴剪切作为土体强度参数；⑤层采用的粘聚力和内摩擦角同④层；圆砾层压缩模量统一采用22MPa；填土层各应力段压缩模量统一假设为4MPa；各层泊松比根据静止土压力系数估算： $\nu=\zeta/(1+\zeta)$ ；各层弹性模量取值为压缩模量的4倍。

表1 数值模拟参数取值表

地层编号	地层名	重度 $\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	压缩模量 $E_s$			泊松比 $\nu$	弹性模量 $E$			粘聚力 $c$ kPa	内摩擦角 $\phi$ °
			100-200	200-300	300-400		100-200	200-300	300-400		
			MPa	MPa	MPa		MPa	MPa	MPa		
①	杂填土	18.0	4.00	4.00	4.00	0.35	16.00	16.00	16.00	12.0	6.0
②	粘土	18.5	5.08	6.48	7.86	0.30	20.32	25.92	31.44	45.3	9.9
② <sub>1</sub>	含砾粉质粘土	18.9	5.44	6.62	7.75	0.30	21.76	26.48	31.00	40.8	10.4
② <sub>2</sub>	粘土	16.8	3.40	4.40	5.40	0.40	13.60	17.60	21.60	27.4	3.0
③	圆砾	22.0	25.00	25.00	25.00	0.28	100.00	100.00	100.00	4.0	27.0
③ <sub>1</sub>	粘土	18.3	4.68	5.86	7.10	0.30	18.72	23.44	28.40	37.5	6.3
④	圆砾	22.0	25.00	25.00	25.00	0.28	100.00	100.00	100.00	4.0	28.0
④ <sub>1</sub>	粘土	18.5	5.33	6.66	8.05	0.30	21.32	26.64	32.20	40.6	7.2
⑤	圆砾	22.0	25.00	25.00	25.00	0.28	100.00	100.00	100.00	4.0	28.0
⑤ <sub>1</sub>	粘土	18.6	7.29	9.39	11.65	0.30	29.16	37.56	46.60	44.4	10.4

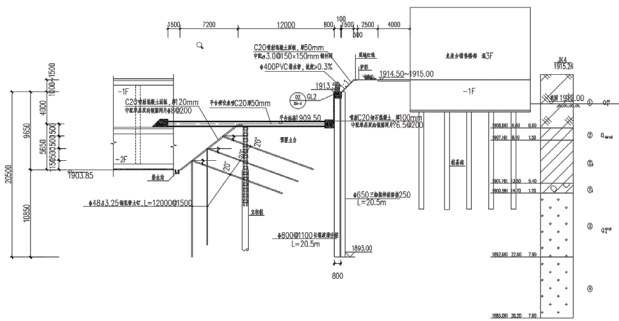
模型说明：支护桩和喷射混凝土面层采用板单元；土钉采用土工格栅单元；坑边建筑采用大刚度的弹性实体，荷载按照每层15kPa估算。

下面选取一个典型剖面将理正计算结果与 Plaxis 数值计算结果进行对比。本支护剖面如图3所示，基坑深度9.65m，采用排桩

+三轴搅拌桩止水帷幕+坑内预留土台+水平钢管支撑的支护方式，支护桩直径为800mm，间距1100mm，桩长20.5m，预留土台高5.65m，总宽19.2m，平台宽12m，放坡坡比为1:1.27，坑边3层建筑距离支护桩边约8.5m，桩基础。基坑开挖范围内土层主要为①层杂填土、冲洪积的②<sub>2</sub>层软塑状黏土、③、④层冲洪积的



圆砾层。



> 图3 典型剖面支护结构图

理正深基坑软件无法考虑预留土台开挖工况，仅能考虑开挖到预留土台标高工况。理正深基坑软件计算模型如图4a所示，开挖到预留土台标高工况计算结果如图4b所示，桩顶最大水平位移为24.49mm。

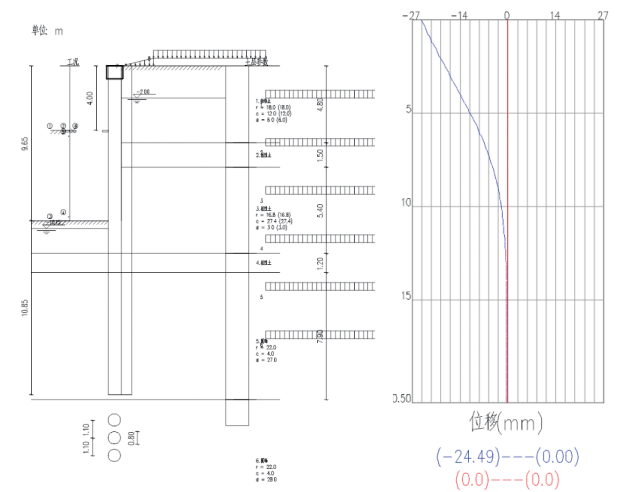
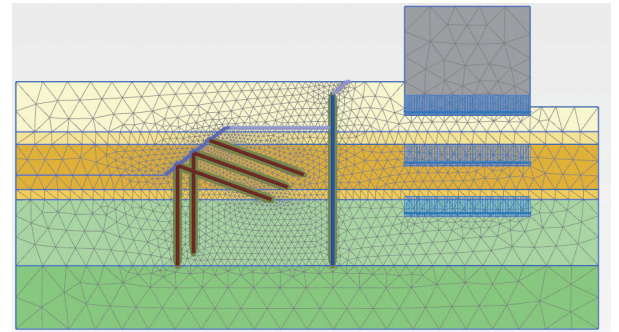


图4a 理正计算模型

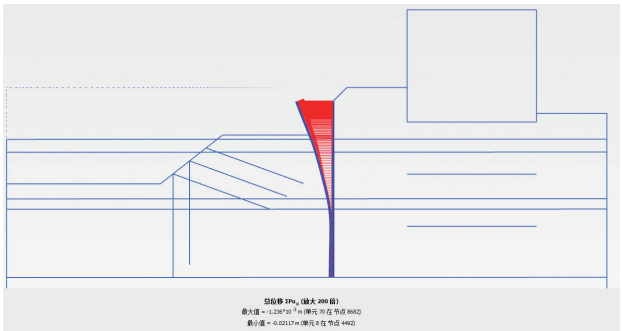
图4b 开挖到预留土台标高工况桩身变形情况

> 图4 典型剖面理正计算模型和计算结果

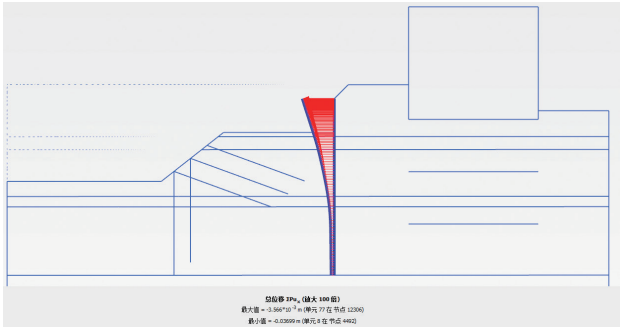
Plaxis 数值计算模型和计算结果如图5~图9所示，由图可以看出：（1）数值模拟计算分析结果中开挖至预留土台标高工况桩身最大变形为21.17mm，此计算结果与理正计算结果24.49mm基本吻合；（2）保留预留土台其余部分土体开挖至坑底工况，桩身最大位移增加至36.99mm，变形绝对值增加了15.82mm，变形相对值增加了75%；（3）数值模拟除了给出桩身变形外还给出了开挖各工况基坑内外土体的变形，这样能更有针对性的采取支护措施。



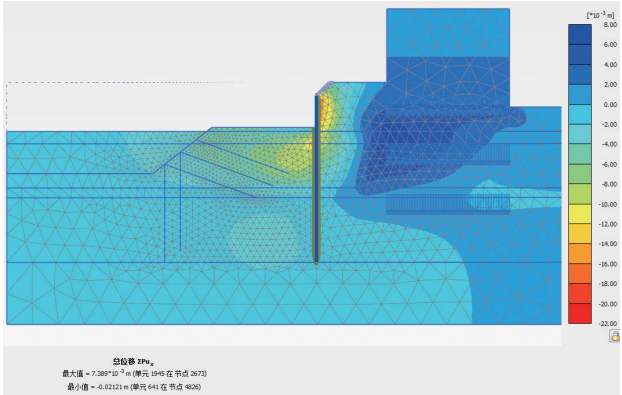
> 图5 典型剖面 Plaxis 数值模型



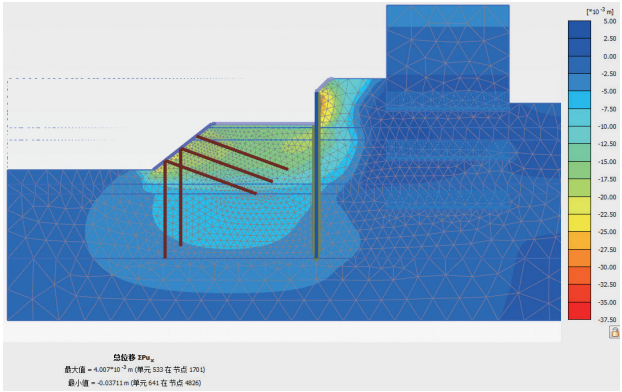
> 图6 开挖至预留土台标高工程桩位移



> 图7 预留土台后开挖至坑底工程桩位移



> 图8 开挖至预留土台标高土体位移分布情况



> 图9 预留土台后开挖至坑底土体位移分布情况

从理正深基坑商业设计软件和 Plaxis 数量模拟软件的计算过程和结果可以得出：（1）理正深基坑商业设计软件，不能按现场实际任意工况模拟施工过程，但数值模拟软件能按实际工况模拟整个施工过程；（2）盆式开挖支护体系，开挖到预留土台标高工况理正软件计算结果与数值模拟结果基本吻合，但预留土台外围土体开挖至坑底的过程中支护结构仍然会产生很大变形，甚至会



超过开挖至预留土台标高工况变形的50%；（3）数值模拟除了给出桩身变形外还给出了各工况基坑内外土体的变形，这样能更有针对性的采取支护措施。

#### 四、设计和施工的常见问题和要点

盆式开挖基坑支护体系设计需要考虑主要问题：预留土台工况的稳定性问题和变形问题。稳定性问题：盆式开挖基坑支护体系预留土台工况主要靠坑内土体和支护桩的作用来保证基坑的安全，若坑内土体不稳定或其存在较大变形，此支护体系将不成立，故坑内预留土体稳定是此支护体系成立的前置条件。坑内预留土体的稳定性不仅要考虑自重作用，还有还要考虑支护桩传递给预留土体的作用力，不能简单的按坑内预留土体建模分析稳定性。可以采用下面两种方法建模，方法一：近似计算，不考虑桩的作用（剔除桩），从基坑顶到基坑底完全按纯放坡模型来计算整个边坡稳定性，如果这种情况下整个边坡稳定，则支护体系成立；方法二：精确计算，先算出桩作用在预留土台上的作用力，再把作用力施加在预留土体上，建模计算预留土台的稳定性。变形问题：此支护体系的变形主要发生在开挖至预留土台标高工况，预留土台工况，支撑后开挖预留土台工况和拆撑工况，其中不确定性最高风险最大的是预留土台工况。目前的商业软件都因无法模拟预留土台工况或因计算理论不成熟导致此工况的变形计算结果难以指导现场施工，数值模拟能有效解决此问题。

盆式开挖支护体系施工要点：预留土台作用和常规的堆土反压存在较大差异，堆土反压主要靠土体的重量来保证坡体的稳

定，盆式开挖预留土台不仅起到反压作用，更需要支护桩提供被动抗力，即嵌固作用，故土体结构性和强度显得极其尤为重要。施工过程中除了常规土方开挖的标高、尺寸等几何形状控制外，避免扰动土体和地表水冲刷坡面造成预留土台局部垮塌也是施工控制要点。除此之外减少预留土台无支撑状态暴露时间也是设计和施工的关键点，特别是软土地区。

#### 五、结论和建议

（1）盆式开挖基坑支护体系预留土台工况是设计和施工控制的重点和难点，施工过程中应避免扰动预留土且应尽量缩短预留土台无支撑状态暴露时间。

（2）盆式开挖支护体系预留土台外围土体开挖至坑底过程中支护结构仍然会有产生很大的变形，甚至会超过前期变形的50%。

（3）目前常规商业软件难以完全模拟盆式开挖的各个工况，对周边环境复杂破坏后果严重的项目，应采用数值模拟分析盆式开挖基坑支护体系各工况的变形和内力。

（4）盆式开挖支护体系设计重点和难点是预留土台工况的稳定性分析和变形控制。稳定性可以采用下面两种方式计算，方法一：近似计算，不考虑桩的作用（剔除桩），从基坑顶到基坑底完全按纯放坡模型来计算整个边坡稳定性；方法二：精确计算，先算出桩作用在预留土台上的作用力，再把作用力施加在预留土体上，建模计算预留土台的稳定性。变形可以采用数值模型计算得到。

#### 参考文献

- [1] 同玲，等. 不同施工阶段斜抛撑基坑变形及其对邻近建筑物的影响分析 [J]. 建筑结构, 2017, 47 (增刊): 1108~1111.
- [2] 周同和，等. 盆式开挖预留土墩支护结构稳定性与变形分析 [J]. 建筑科学, 2018, 34 (11): 14~21.
- [3] 斜抛撑在深基坑支护中的应用研究 [J]. 施工技术, 2018, 47 (增刊): 11~15.
- [4] 盆式开挖法在软土地区超大深基坑应用案例分析 [J]. 建筑科技, 2022, 第4期: 66~68.

# 建筑工程深基坑开挖中土钉支护技术的应用与实践

徐小芳

汉江水利水电（集团）有限责任公司水电公司，湖北 丹江口 442700

**摘 要：**在现代建筑工程中，深基坑开挖是一项技术要求高、风险较大的施工活动。随着城市化进程的加快，地下空间的开发利用日益频繁，深基坑工程在建筑、地铁、隧道等项目中变得越来越普遍。为了确保施工安全和工程质量，基坑支护技术的选择至关重要。在众多支护技术中，土钉支护技术因其独特的优势，在深基坑开挖中得到了广泛的应用。本文通过探讨建筑工程深基坑开挖中土钉支护技术的应用与实践，旨在有效提高基坑的稳定性和安全性，为建筑工程的顺利进行提供有力保障。

**关 键 词：** 建筑工程；深基坑；土钉支护技术

## Application and Practice of Soil Nail Support Technology in Deep Foundation Pit Excavation in Construction Engineering

Xu Xiaofang

Hanjiang Water Conservancy and Hydropower (Group) Co., LTD. Hydropower Company, Danjiangkou, Hubei 442700

**Abstract：** In modern construction engineering, deep foundation pit excavation is a construction activity with high technical requirements and greater risk. With the acceleration of urbanization process, the development and utilization of underground space is increasingly frequent, and deep foundation pit engineering has become more and more common in construction, subway, tunnel and other projects. In order to ensure the construction safety and engineering quality, the selection of foundation pit support technology is very important. Among the many support technologies, the soil nail support technology has been widely used in the deep foundation pit excavation because of its unique advantages. By discussing the application and practice of soil nail support technology in the excavation of deep foundation pit in the construction engineering, this paper aims to effectively improve the stability and safety of the foundation pit and provide a strong guarantee for the smooth progress of the construction engineering.

**Keywords：** construction engineering; deep foundation pit; soil nail support technology

## 引言

土钉支护技术是一种通过在土体中置入钢筋或其他加筋材料，形成一种复合土体结构，以提高边坡或基坑边壁稳定性的技术。它通过在坡面喷射混凝土，形成一种连续的挡土结构，从而有效地控制土体的位移和变形。土钉墙技术的核心在于土体与加筋材料之间的相互作用，这种作用力能够将土体的潜在滑移面转化为稳定的复合体，从而达到加固边坡的目的。在深基坑开挖中，土钉支护技术的应用与实践，不仅需要考虑土体的物理力学特性，还要综合考虑地下水情况、周边环境、施工条件等多种因素。通过精心设计和施工，土钉支护技术能够为深基坑工程提供安全、经济、高效的支护解决方案，确保工程的顺利进行和周边环境的安全稳定。随着技术的不断进步和工程实践的积累，土钉支护技术在深基坑开挖中的应用将更加广泛和成熟。

## 一、土钉支护技术的适用性和特点

### 1. 土钉支护技术的适用性

土钉支护技术是一种有效的边坡稳定方法，尤其适用于地下水位较低或经过降水处理的土坡开挖工程。在实际应用中，土钉支护通常采用分阶段开挖的方式，每阶段高度控制在1—2米，以

确保在无支撑状态下开挖段的土层能够自立稳定。这种技术特别适合于具有粘结性的土层，如杂填土、粘性土、粉土、黄土以及弱胶结的砂土边坡。然而，对于标准贯入击数低于10击的岩土边坡，使用土钉可能不经济；对于不均匀系数小于2的砂土、含水丰富的粉细砂层、砂卵石层和淤泥质土，土钉支护同样不适宜。此外，对于塑性指数大于20的粘性土，必须评估其蠕变特性后，

作者简介：徐小芳（1980.01—）女，汉，籍贯：湖北孝感，职称：中级，研究方向：工程项目管理及概预算。

才能考虑将土钉作为永久性挡土结构。土钉支护技术不适用于软土边坡，因为软土提供的界面摩阻力较低，技术经济效益不佳。在腐蚀性土层（如煤渣、矿渣、炉渣酸性矿物废料等）中，土钉也不适合作为永久性支挡结构。此外，土钉一般不适用于挡水结构，也不适合用于对变形要求严格的深基坑支护工程<sup>[1]</sup>。

### 2. 土钉支护技术的特点

土钉支护技术的主要特点包括施工的快速性、对周围环境影响小、施工设备简便以及经济效益显著。土钉墙施工过程迅速且及时，它通过小台阶逐段开挖的方式进行，开挖后立即安装土钉和面层结构，这样可以最小化对坡体的扰动。由于施工与基坑开挖同步进行，不需要额外的工期，因此可以快速稳定土坡。实测数据表明，土钉支护的土坡即使只有微小的变形也能有效发挥土钉的加固作用，从而使得坡面位移和坡顶变形保持在较低水平，对邻近建筑物的影响微乎其微。土钉支护技术使用的施工机具简单，操作灵活，占用的施工场地小。钻进和混凝土喷射等设备都是小型的，机动性强，即使在空间有限的区域也能进行施工。此外，施工过程中产生的振动和噪音较低，这使得土钉支护技术在城市环境中具有明显的优势。与排桩法和钢板桩相比，土钉墙支护可以节省25% ~ 40%的投资；对于开挖深度在10米以内的基坑，土钉支护比锚杆支护节省10% ~ 30%的投资。因此，采用土钉墙支护不仅技术上可行，而且在经济上具有较高的吸引力<sup>[2]</sup>。

## 二、建筑工程深基坑开挖中土钉支护技术的加固机理

### 1. 提升土体整体刚度与稳定性

土钉支护技术通过将土钉植入土体中，与周围土体产生相互作用，形成一种复合体结构。这种结构的形成显著提升了土体的整体刚度和稳定性。

具体来说，土钉在土体中起到类似钢筋在混凝土中的作用，通过与土体的摩擦力和粘结力，增强了土体的抗剪强度。这种增强作用使得原本可能因为自重或外部荷载而产生变形或破坏的土体能够维持其结构的完整性。土钉的加入，不仅提高了土体的内聚力，还增加了土体的摩擦角，从而进一步提升了土体的抗剪强度。这意味着土体在面对外部荷载时，能够以更小的变形量来维持其稳定性，有效避免了土体的突然破坏。

在深基坑开挖过程中，土体的侧向位移是导致不稳定的主要因素之一。土钉通过其加固作用，能够有效地抵抗这种侧向位移，从而保持土体的稳定性。这种加固效果不仅减少了基坑开挖对周围环境的影响，还提高了施工的安全性。

### 2. 提高土体抗剪强度

土钉作为一种细长的金属杆件，被插入土体中，通过与周围土体的机械咬合和摩擦作用，形成一种复合体结构。当土体受到外部荷载作用时，土钉能够有效地将应力传递到更深层的稳定土层中，从而分散应力集中，减少土体的剪切变形。

土钉与土体之间的相互作用，类似于在土体中植入了无数的“锚杆”，这些锚杆在土体发生位移时，能够提供反向的抵抗力，限制土体的进一步移动。这种作用机制类似于土体中的“箍筋效

应”，能够有效地约束土体的变形，提高土体的整体稳定性。土钉的设置密度越大，其与土体之间的相互作用就越强，从而能够更有效地提高土体的抗剪强度。

土钉支护技术还能够通过其与土体的相互作用，提高土体的内摩擦角和凝聚力，从而增强土体的抗剪强度。这种加固效果不仅能够提高基坑边坡的稳定性，还能有效控制基坑开挖过程中土体的位移，确保施工安全。

### 3. 增强土体与土钉间黏结和整体作用

在土钉安装后，通常会执行压力注浆工艺，这一过程涉及将浆液注入土体的裂隙和空隙中。随着浆液的扩散和固化，它会形成坚硬的浆脉，这些浆脉不仅将土钉与周围的土体紧密结合，而且在结构上形成一个加固的网络。这种黏结作用显著提升了土钉与土体之间的相互作用力，确保了它们作为一个整体来共同承担外部载荷。

注浆工艺的实施不仅限于增强黏结力，它还对土体本身的物理力学特性产生了积极影响。通过注浆，土体的密实度得到提升，其抗渗性能也得到显著改善。这意味着土体的稳定性得到了增强，其抵抗剪切破坏的能力也随之提高。因此，土钉支护结构通过注浆工艺不仅增强了土体的局部抗剪强度，而且通过改善土体的整体性能，实现了更为有效的加固效果<sup>[3]</sup>。

## 三、土钉支护技术在应用与实践方面存在的问题

### 1. 土钉支护与岩土介质相互作用机理研究不足

目前，对土钉支护与岩土介质相互作用的某些机理认识还停留在定性描述阶段，缺乏深入的定量分析。这导致在设计理论方面，很多情况下不得不依赖于工程类比法，而非基于充分科学依据的计算模型。这种依赖经验而非理论的现状，限制了土钉支护技术在复杂或特殊地质条件下的应用，也增加了工程风险。由于缺乏对土钉支护与岩土介质相互作用机理的深入理解，设计时往往无法准确预测土钉的承载力、变形特性以及与周围岩土介质的相互作用效果，从而影响了工程的安全性和经济性。

### 2. 土钉支护深度与临空面稳定性问题

对于一般岩土介质，土钉支护的深度可以达到20.5米左右，而对于软土介质，深度则限制在10米左右。尽管如此，准确回答土钉支护临空面特别是直立临空面的深度上限问题，目前仍然存在困难。临空面的稳定性不仅取决于变形的大小，更重要的是变形速率的控制。不同介质构成的临空面具有不同的临界变形速率，但目前我们只能对少数几种岩土介质提出相应的判断准则，对于大多数岩土介质的临界变形速率尚不明确。这限制了土钉支护技术在更深层次岩土介质中的应用，也增加了工程设计的不确定性。

### 3. 缺乏对土钉支护参数与临空面变形速率关系的精确描述

在土钉支护条件下，临空面的变形速率与土钉支护参数的强弱密切相关。然而，这种关系的定量描述目前仍在研究之中。缺乏对土钉支护参数与临空面变形速率关系的精确描述，使得在实际工程中难以准确预测和控制土钉支护结构的变形行为，进而影

响到工程的安全性和稳定性。由于无法准确评估土钉支护参数对变形速率的影响，设计时往往需要采用保守的设计方法，这可能导致材料的浪费和成本的增加<sup>[4]</sup>。

4. 土钉支护施工技术与队伍素质问题

土钉支护施工的机械设备目前还相对落后，很多情况下仍处于半机械半人工的状态。在砾石层中钻孔、软土中锚管的有效注浆以及垂直锚管的施工效率等方面都存在技术难题。这些问题不仅影响了施工效率，也增加了施工成本。此外，土钉支护施工队伍的素质普遍不高，部分施工队伍甚至素质较差。施工队伍素质低下直接导致工程质量无法得到保证，使用土钉支护方法的工程失败案例时有发生，很多情况下是由于施工质量问题造成的。

四、建筑工程深基坑开挖中土钉支护技术的发展趋势

1. 土钉支护技术的智能化发展

随着人工智能和机器学习技术的飞速发展，土钉支护技术在建筑工程深基坑开挖中的应用正逐步向智能化方向迈进。智能化技术的应用使得土钉支护的设计和施工过程更加精确和高效，显著提升了工程的安全性和可靠性。

通过智能化技术，工程师能够更准确地预测土钉支护结构在施工和使用过程中的变形和潜在破坏模式。这不仅有助于优化设计方案，还能在施工过程中实时监控土钉支护的性能，及时发现并解决可能出现的问题。智能化技术的应用减少了对人工经验的依赖，提高了设计和施工的自动化水平，从而提升了整体效率。

未来，土钉支护技术与智能化技术的融合将更加深入，智能化将成为推动土钉支护技术发展的重要力量。通过不断的技术创新和应用实践，智能化土钉支护技术有望在建筑工程领域发挥更大的作用，为深基坑开挖提供更加安全、高效和经济的解决方案。

2. 土钉支护技术的绿色环保发展

随着全球环保意识的日益增强，建筑工程领域中的土钉支护技术也在逐步向绿色环保方向发展。这种趋势不仅体现了对环境的尊重和保护，也符合可持续发展的长远目标。在未来的土钉支

护技术应用中，将更加重视使用可再生材料和资源，以减少对自然资源的消耗和对环境的破坏。例如，采用环保型的土钉材料，以及在施工过程中采取措施减少噪声、尘土和废弃物的产生，从而降低对周围环境的影响。

土钉支护技术的发展将与绿色建筑和绿色城市建设的理念相结合，推动整个建筑行业向更加环保和可持续发展的方向发展。这意味着在设计 and 施工过程中，将更加注重节能减排、减少污染、保护生态平衡，并且在工程完成后，能够实现与自然环境的和谐共存。通过这种方式，土钉支护技术不仅能够确保建筑工程的安全和稳定，还能为建设绿色、环保、可持续发展的城市环境做出贡献<sup>[5]</sup>。

3. 土钉支护技术的标准化和规范化发展

随着建筑工程深基坑开挖技术的不断进步，土钉支护技术作为其中一种重要的支护方式，其标准化和规范化发展显得尤为重要。标准化和规范化不仅能够提升施工过程中的质量和安全性，还能确保施工的高效性和经济性。未来，土钉支护技术的发展趋势将更加注重新建立和完善一套全面的标准和规范体系，这将有助于统一施工方法、材料选择、设计计算以及施工监测等方面的要求，从而提高整个行业的施工水平。

随着全球化的不断深入，土钉支护技术的标准化和规范化也将与国际标准接轨，以适应全球建筑市场的需求和发展趋势。这不仅有助于提升国内企业在国际市场中的竞争力，还能促进国际的交流与合作，共同推动土钉支护技术的创新和发展。通过标准化和规范化的努力，土钉支护技术将在未来的建筑工程中占据更加重要的地位，成为深基坑开挖中不可或缺的支护手段。

五、结语

随着技术的不断进步和工程实践的积累，土钉支护技术在建筑工程中的应用越来越广泛，其在确保工程安全、提高施工效率、节约成本等方面发挥着重要作用。未来，随着更多创新技术的融入，土钉支护技术有望在岩土工程领域发挥更大的作用，为城市建设提供更加坚实的技术支撑。

参考文献

[1] 魏敏. 高层建筑深基坑开挖复合土钉墙支护施工技术研究 [J]. 江西建材, 2024(2):262-264.  
[2] 杨晓诚, 李辉. 土钉墙技术在深基坑支护中的应用 [C] //2022年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(上册).2022.  
[3] 魏巍. 土钉支护技术在深基坑支护中的应用 [J]. 科学技术创新, 2024(18).  
[4] 万长发. 建筑基坑土钉墙支护技术应用研究与分析 [J]. 2023(22):34-36.  
[5] 王侃. 土钉墙支护施工技术的应用及其质量控制 [J]. 四川建材, 2024(7).



# 人工智能在政务自助服务中的应用： 机器人技术的创新与推广

高兴兴

青岛通产智能科技股份有限公司，山东 青岛 266114

**摘 要：** 本文深入探讨了人工智能在政务自助服务中的应用，特别是机器人技术的创新与推广。文章分析了机器人技术在政务自助服务中的主要应用领域及其优势，并通过具体案例展示了机器人技术的实际应用效果。同时，提出了机器人技术推广的策略，探讨了人工智能在政务服务中面临的挑战及对策，最后展望了人工智能在政务自助服务中的未来发展趋势。

**关 键 词：** 人工智能；政务自助服务；机器人技术；技术推广；挑战与对策；发展趋势

## Application of Artificial Intelligence in Government Self-service: Innovation and Promotion of Robotics Technology

Gao Xingxing

Qingdao Tongchan Intelligent Technology Co., Ltd. Qingdao, Shandong 266114

**Abstract：** This paper deeply explores the application of artificial intelligence in government self-service, especially the innovation and promotion of robotics technology. The article analyzes the main application areas and advantages of robotics technology in government self-service, and demonstrates the practical application effects of robotics technology through specific cases. At the same time, it proposes strategies for the promotion of robotics technology, explores the challenges and countermeasures faced by artificial intelligence in government services, and finally looks forward to the future development trends of artificial intelligence in government self-service.

**Keywords：** artificial intelligence; government self-service; robotics technology; technology promotion; challenges and countermeasures; development trend

### 引言

在当今时代，科技创新已成为推动社会发展的核心动力。其中，人工智能技术的飞速发展，正深刻改变着我们的生活方式和工作模式。特别是在政务领域，人工智能的应用正逐步成为提升政府服务效能、优化民众办事体验的关键。本章旨在探讨机器人技术在政务自助服务中的应用及其发展趋势，分析其在政务服务中的优势，并针对面临的挑战提出对策，以期为人工智能在政务服务领域的广泛应用和健康发展提供参考。通过深入了解机器人技术的创新与推广，将构建一个更加智能化、个性化的政务服务体系，为构建高效、便捷的政务服务新格局贡献力量。

### 一、机器人技术在政务自助服务中的应用

随着科技的飞速发展，人工智能已逐渐渗透到社会生活的各个领域。政务自助服务作为政府数字化转型的重要一环，正借助机器人技术的创新与应用，实现服务效能的提升。

#### （一）人工智能概述

人工智能，简称 AI，是指模拟人类智能行为的技术与学科。它通过机器学习、深度学习、自然语言处理等手段，使计算机具备自我学习、推理和判断的能力<sup>[1]</sup>。在政务领域，人工智能的应用为传统公共服务带来了革命性的变革，使得政务服务更加高效、便捷。

#### （二）机器人技术在政务自助服务中的主要应用领域

在政务服务中心，智能问答机器人提供24小时不间断的政策咨询和业务引导服务，有效缓解了窗口压力，而机器人技术的应用还进一步扩展到政务业务办理的自动化，包括自动填写表格和智能审核材料，大幅提升了办理效率。同时，利用机器人技术实现的智能审批流程，对行政审批流程进行智能化管理，降低了人为干预，确保了审批的公正和透明。此外，机器人技术通过对大量政务数据的分析，为政府部门提供了决策依据，从而在智能监管和决策支持方面发挥了重要作用，助力政府实现科学决策。

#### （三）机器人技术在政务自助服务中的优势

机器人技术的引入，通过处理大量重复性、标准化工作，显

著减轻了政务工作人员的负担，从而提高了工作效率，并且在处理数据时展现出比人工操作更高的准确性，有效降低了错误率。同时，机器人技术能够根据用户需求提供个性化服务，大幅提升了民众在政务自助服务过程中的满意度。此外，机器人的运用还帮助政府部门节省了人力成本，通过减少人力投入，实现了运营成本降低。

## 二、机器人技术创新在政务自助服务中的应用案例

创新是推动社会进步的永恒动力。在政务自助服务领域，机器人技术的创新应用正逐步成为提升政府服务效能的关键。

### （一）智能问答机器人

问答机器人是信息检索系统的一种高级形式，它能用准确、简洁的自然语言回答用户提出的问题，问答系统广泛应用于搜索引擎、智能设备、智能客服等产品中。在智慧政务业务中，通过政务问答机器人提供的支持，能够 24 小时响应群众、企业关于日常事务办理、民生政策、企业经营法规等咨询，大幅提升群众信息获取的便利性，并提高政府工作人员的工作效率<sup>[2]</sup>。例如，在上海市推出的“一网通办”平台上，智能问答机器人“小申”能够解答市民关于社保、税务、户籍等问题的咨询，日均接待咨询量达数千人次，有效提升了政务服务的响应速度和满意度。

### （二）业务办理机器人

业务办理机器人在政务服务中心扮演着“业务员”的角色。它们能够协助民众完成诸如证件办理、资料提交等复杂流程。以深圳市的“i深圳”平台为例，业务办理机器人能够引导市民在线填写表格、上传材料，并自动进行初步审核，大幅缩短了业务办理的时间，提高了政务服务的效率。

### （三）审批流程自动化机器人

在行政审批领域，自动化机器人正在改变传统的审批模式。这些机器人能够根据预设的规则和流程，自动处理行政审批申请，实现对审批流程的智能化管理<sup>[3]</sup>。例如，浙江省的“最多跑一次”改革中，审批流程自动化机器人使得企业注册、项目审批等流程的平均办理时间缩短了50%以上，极大提升了政府的工作效能。

### （四）智能客服机器人

智能客服机器人在政务自助服务中的应用，为民众提供了一个全天候、多渠道的沟通平台。它们能够处理大量的咨询和投诉，并提供个性化服务。如北京市的12345市民服务热线，智能客服机器人能够解答市民的各类问题，并在无法解答时及时转接人工服务，确保了政务服务的连续性和高效性。

通过这些应用，可以看到机器人技术不仅在提升政务服务效率方面发挥了重要作用，而且在改善民众服务体验、推动政府职能转变等方面也展现出巨大潜力。

## 三、机器人技术推广策略

机器人技术的推广与应用，是推动现代社会向智能化、自动

化迈进的重要力量。然而，其推广之路并非坦途，需要多方面的策略支持。

### （一）政策支持与引导

政策犹如技术革新的航标，指引着科技创新的航向。为了推动机器人技术的蓬勃发展，政府需制定并实施一系列具有前瞻性的激励政策。这些政策应包括但不限于税收优惠、财政补助、市场准入放宽等多角度，旨在打造一个促进机器人技术广泛传播和应用的良好政策环境。同时，政府应扮演引导者的角色，促使社会资源向机器人产业倾斜<sup>[4]</sup>。通过设立专门的研发基金、鼓励金融机构提供优惠贷款和信贷支持等手段，政府可以确保机器人技术的研发和创新活动获得持续且稳定的资金保障。此外，政府还可以通过搭建合作平台，促进产学研各界的深度融合，加快机器人技术从研发到应用的转化速度，从而为我国机器人产业的长期健康发展奠定坚实的基础。

### （二）技术研发与创新

技术革新是机器人技术广泛应用的驱动力。企业和研究机构应当不断加大对机器人技术研发的投入，特别是在人工智能、机器视觉、自然语言处理等关键技术领域的创新工作。这些技术的突破，将极大地提升机器人的智能化水平和服务的精准度，使其能够更加精准地满足政务自助服务的复杂性和多样性。通过不懈的技术探索和创新，能够推动机器人技术向前发展，使其在处理信息、交互沟通、自主决策等方面达到新的高度，进而更好地服务于公众，提升政务服务的效率和质量，为构建智慧型政府和服务型社会贡献力量<sup>[5]</sup>。

### （三）产业链整合与协同

机器人技术的广泛应用并非单打独斗，而是需要整个产业链的齐心协力。政府和企业家们应当联合起来，共同推动产业链上下游的深度整合，打造一个涵盖核心技术研发、关键零部件制造、系统集成以及应用服务等多个环节的完整产业链条。这样的产业链整合，不仅能够实现资源的最大化利用和成本的有效降低，还能够全面提升机器人技术在激烈市场竞争中的综合实力。通过上下游企业的紧密合作，可以促进技术创新的快速转化，加快产品更新迭代，满足市场多变的需求，从而在全球化竞争中占据有利地位，推动机器人产业的持续健康发展。

### （四）人才培养与引进

人才是推动机器人技术普及的核心动力。一方面，需通过教育体系和职业培训机制，培育一批具备机器人技术专业素养的高水平人才，涵盖技术研发、操作维护等多个领域<sup>[6]</sup>。另一方面，借助吸引力强的人才政策，吸引国内外顶尖人才投身于这一领域，为机器人技术的广泛应用提供强大的智力支持。同时，构建产学研相结合的人才培养模式，强化理论与实践的深度融合，为机器人技术的发展壮大提供坚实的人才基础。

## 四、人工智能在政务自助服务中的挑战与对策

人工智能的融入，为政务自助服务带来了前所未有的便捷与高效。然而，技术的应用并非一帆风顺，它同样面临着诸多

挑战。

### （一）技术难题

尽管人工智能技术在政务自助服务中展现出巨大潜力，但仍面临一些技术挑战。例如，算法的精细化优化和模型准确度的提升是亟待解决的问题，这对于处理政务服务中复杂多变的场景至关重要<sup>[7]</sup>。同时，确保系统的稳定运行和良好的兼容性，尤其是在与现有政务系统融合的过程中，也是一个不容忽视的挑战。为了克服这些难题，必须坚持不懈地进行技术创新，加强跨学科间的协作，并定期对系统进行升级与维护，以保障技术的持续进步和服务的顺畅运行。

### （二）数据安全与隐私保护

随着人工智能技术在政务自助服务中的应用不断深化，涉及的个人和政务数据量急剧增加，其收集与分析工作也日益频繁。在这样的背景下，确保这些数据的保护、防止泄漏和滥用，已经上升为一个迫切需要解决的问题。为了应对这一挑战，我们必须采取一系列措施：制定和完善数据安全相关的法律法规，运用尖端加密技术和严格的访问控制手段，以及强化对数据处理活动的监管和审计，从而确保个人信息和政务数据的安全可靠<sup>[8]</sup>。

### （三）用户接受度与普及率

虽然人工智能技术为我们的生活带来了极大的便利，但其用户接受度和普及率并不总是同步增长。部分公众可能由于对新兴技术的不信任或受限于使用习惯，对此持有一定的保留态度。为了提升用户的接受度，可以采取以下策略：加强宣传攻势，增进公众对人工智能优势的了解；优化操作界面，增强用户的互动体验；实施线上线下相结合的服务模式，以适应不同用户群体的多样化需求。

### （四）对策建议

面对政务服务中人工智能的挑战，精心构思了一系列策略：深化技术研发，以增强人工智能在政务服务中的灵活性和精确度；打造健全的数据安全防护体系，确保政府信息的安全性和公民隐私的保护；通过用户培训与产品创新，提升人工智能自助服务的广泛应用；制定激励政策，鼓励政府部门融入人工智能，推动服务智能化进程；建立健全的反馈循环，倾听用户声音，不断改进和提升服务品质。

## 五、展望未来：人工智能在政务自助服务中的发展趋势

未来的政务服务，将是一个以人工智能为引擎的智能化、个性化新时代。在这个时代，技术的进步不仅将重塑政务服务的面貌，还将深刻影响政府与民众的互动方式。

### （一）技术发展趋势

人工智能技术的发展趋势预示着一个更加高效、智能和自适应的未来，其中技术进步将主要聚焦于几个关键领域：机器学习算法的持续优化将赋予机器人处理更复杂任务和决策过程的能力；自然语言处理技术的提升将使人机交互变得更加自然和流畅，从而显著提高用户体验<sup>[9]</sup>；大数据分析 with 云计算的紧密结合

将实现更精准的服务预测和个性化推荐；而人工智能与物联网、区块链等新兴技术的融合，将开辟政务服务创新的新天地。

### （二）政务自助服务模式创新

伴随着人工智能技术的持续发展，政务自助服务模式正经历一场深刻的创新变革：服务模式将实现从“被动响应”到“主动服务”的跃迁，赋予政务服务更强的预见性和预防性；与此同时，“一窗受理、集成服务”的理念将得到进一步的深化，助推政务服务流程全面走向自动化；此外，“移动政务”将成为服务的新潮流，使得民众能够借助智能手机等移动终端，随时随地进行政务互动，大幅提升服务的便捷度和效率。

### （三）智能化、个性化政务服务

展望未来，政务服务将迎来一个充满创新的高度智能化与个性化时代。在这个时代，智能助手将以其精准的数据分析和深度的学习能力，细致洞察每一位民众的个人资料和独特需求，从而提供如同私人定制般的贴心服务方案<sup>[10]</sup>。个性化服务推送将不再是奢侈，而将成为政务服务的日常，确保每一位民众都能接收到与其生活和工作息息相关的政务信息，实现信息的精准投放。

## 六、结束语

在这个快速变化的时代，人工智能正以前所未有的速度推动政务服务的创新与变革。我们相信，随着技术的不断进步，未来的政务自助服务将更加智能、便捷、个性化，真正实现“让数据多跑路，让群众少跑腿”的目标。让我们携手共进，迎接智能化政务服务的美好未来，共同书写服务型政府建设的新篇章。在此，我们期待每一位公民都能享受到更加高效、贴心的政务服务，共同见证人工智能为社会发展带来的深刻变革。

## 参考文献

- [1] 冉龙亚, 陈涛, 孙宁华. 技术特性对政务智能聊天机器人初始信任的影响[J]. 情报杂志, 2022, 41(07): 138-144.
- [2] 程序, 谭太龙, 王苗苗. PKS体系下基于知识图谱的政务问答机器人研究[J]. 电子技术应用, 2023, 49(04): 128-132.DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.223038.
- [3] 邓绘梅. DSC-SSD在政务服务机器人场景理解中的应用[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2021, 39(05): 144-147.
- [4] 赵树理, 王建峰. 智慧政务机器人的应用浅析[J]. 中国新通信, 2020, 22(10): 90.
- [5] 张鹤, 王博, 万晶, 等. 基于人工智能的智能服务机器人在政务服务领域的设计与应用[J]. 网络安全技术与应用, 2020, (03): 122-124.
- [6] 王友奎, 张楠, 赵雪娇. 政务服务中的智能问答机器人: 现状、机理和关键支撑[J]. 电子政务, 2020, (02): 34-45.DOI:10.16582/j.cnki.dzzw.2020.02.004.
- [7] 徐杨岚. “技术—环境”视角下算法风险评估指标体系的理论建构[D]. 电子科技大学, 2023.DOI:10.27005/d.cnki.gdzku.2023.003495.
- [8] 吴余龙, 郑雅飞. 下好政务服务“先手棋”[J]. 武汉文史资料, 2022, (03): 31-34.
- [9] 王张华. 基于人工智能的政府治理模式变革研究[D]. 湘潭大学, 2020. DOI:10.27426/d.cnki.gxtd.2020.001951.
- [10] 王友奎, 赵雪娇, 张楠. 政务服务中智能问答机器人创新扩散的影响因素研究——基于事件史分析[J]. 电子政务, 2019, (12): 75-85.DOI:10.16582/j.cnki.dzzw.2019.12.008.

# 智能化维修工具在机械维护中的应用与发展趋势

胡强，曹友泽，罗建鹏

国核示范电站有限责任公司，山东 威海 264312

**摘 要：** 本文探讨了智能化维修工具在机械维护中的应用、面临的挑战、优化策略及发展趋势。智能化维修工具通过集成传感器技术、大数据分析及人工智能等关键技术，实现了对机械设备的实时监测、故障预测与精准维护。应用上，这些工具提高了维护效率、降低了成本并增强了设备可靠性。然而，数据安全、技术投入与培训、标准及法规滞后等挑战仍需克服。针对挑战，提出了优化策略，并展望了智能化维修工具向更高自动化、智能化发展的未来趋势。

**关 键 词：** 智能化维修工具；机械维护；应用；挑战；优化策略；发展趋势

## Application and Development Trend of Intelligent Maintenance Tools in Mechanical Maintenance

Hu Qiang, Cao Youze, Luo Jianpeng

State Nuclear Demonstration Power Station Co., LTD. Weihai, Shandong 264312

**Abstract：** This paper discusses the application, challenges, optimization strategy and development trend of intelligent maintenance tools in mechanical maintenance. By integrating sensor technology, big data analysis and artificial intelligence, intelligent maintenance tools realize real-time monitoring, fault prediction and accurate maintenance of mechanical equipment. Applications, these tools improve maintenance efficiency, reduce costs, and enhance equipment reliability. However, challenges such as data security, technology investment and training, and lagging standards and regulations still need to be overcome. In view of the challenges, the optimization strategy is put forward, and the future trend of intelligent maintenance tools to higher automation and intelligence is discussed.

**Keywords：** intelligent maintenance tools; mechanical maintenance; application; challenge; optimization strategy; development trend

随着科技的进步，智能化维修工具在机械维护中发挥着越来越重要的作用。这些工具通过集成先进技术，显著提升了维护效率和质量，成为现代工业生产中不可或缺的一部分。本文旨在全面分析智能化维修工具的关键技术、应用、面临的挑战、优化策略及发展趋势。

### 一、智能化维修工具的关键技术

#### （一）传感器技术

传感器技术作为智能化维修工具的核心，扮演着不可或缺的角色。它如同设备的“神经末梢”，能够敏锐感知并转换机械设备的各类物理参数，如温度波动、压力变化、振动模式等，为维修决策提供实时、精确的数据支持。随着技术的进步，现代传感器不仅具有高灵敏度、高稳定性，还具备了抗干扰能力强、集成度高的特点，实现了对设备运行状态的全面、细致监测。这些高精度的数据输入，为后续的故障诊断、性能评估及优化维护策略奠定了坚实的基础，推动了维修工作向智能化、预防性方向发展<sup>[1]</sup>。

#### （二）大数据分析 with 人工智能

在智能化维修工具的关键技术中，大数据分析 with 人工智能的结合为设备维护带来了革命性变化。大数据分析技术深入挖掘设备运行的海量数据，通过预处理、统计分析和模式识别等手段，揭示出隐藏的故障先兆和性能趋势。这不仅提升了故障预测的精准度，还使得维护策略更加科学、高效。而人工智能，特别是机器学习和深度学习技术，更是为这一过程插上了翅膀<sup>[2]</sup>。它们能够自动学习数据特征，不断优化预测模型，实现故障预测的智能化和自动化。这一技术组合的应用，极大地提高了智能化维修工具的决策能力和响应速度，为设备维护带来了前所未有的智能支持。

#### （三）物联网技术

物联网技术作为智能化维修工具的关键一环，构建起设备间

作者简介：胡强（1997.06-），男，蒙古族，籍贯：河南邓州市，本科，现就职于：国核示范电站有限责任公司，工程师，研究方向：换热器，压力容器，机械维修。



无缝连接的桥梁。它实现了设备的远程监控与实时通信，让维护人员能够跨越时空界限，即时掌握设备状态。物联网技术的应用，让机械设备仿佛拥有了“神经网络”，能够自主报告健康状况，上传运行数据。一旦设备出现异常，物联网系统立即响应，通过智能报警机制迅速通知维护团队，确保问题被及时发现并解决。这种高效的信息交互方式，不仅提高了维护的响应速度，还优化了资源配置，为机械维护带来了前所未有的便捷与高效。

## 二、智能化维修工具在机械维护中的应用

### （一）预测性维护

智能化维修工具在机械维护中的预测性维护应用，开启了维护模式的新纪元。它利用先进的数据采集与分析技术，实现对设备健康状态的实时监控与深度洞察。通过大数据分析 with 人工智能算法，工具能精准预测设备故障，将传统的事后维修转变为前置预警。一旦发现潜在风险，立即触发预警机制，为维护团队提供详尽的故障预测报告与维修策略。这不仅极大减少了意外停机时间，还显著降低了维修成本与生产损失，让设备维护更加精准高效，确保了生产线的连续稳定运行。

### （二）远程监控与诊断

智能化维修工具在机械维护中的远程监控与诊断应用，极大地拓宽了维护的边界。依托物联网、云计算与互联网技术，实现对设备的远程实时监控，无论距离多远，设备状态尽在掌握。这一功能不仅提升了维护的及时性，还降低了现场巡检的成本。而当设备遇障，远程诊断技术则成为解决难题的钥匙。通过远程连接与智能分析，专家系统与机器学习模型协同工作，迅速定位故障源头，提供精准维修建议。这一应用不仅简化了维修流程，还提高了诊断的准确性与效率，真正实现了跨越时空的高效维护<sup>[3]</sup>。

### （三）智能机器人

智能机器人在机械维护中的应用，引领了自动化与智能化维护的新潮流。这些机器人集成了尖端传感器、高效执行机构与智能控制算法，能够精准感知环境、自主规划并执行复杂维护任务。在危险或恶劣环境下，它们成为人类工人的得力助手，大幅降低作业风险。同时，智能机器人以高效、精准著称，尤其在执行重复性高、劳动强度大的维护任务时，展现出远超人工的优势。它们连续作业、精度稳定，为提升维护效率与质量、降低成本与风险，开辟了新的路径。

## 三、智能化维修工具面临的挑战

### （一）数据安全与隐私保护

随着智能化维修工具的广泛应用，数据安全与隐私保护问题日益凸显。这些工具所处理的数据，涵盖设备运行关键信息及用户隐私，其重要性不言而喻。一旦数据遭遇泄露、非法访问或滥用，不仅将危及企业的运营安全，还可能对用户造成不可估量的损失<sup>[4]</sup>。因此，数据安全与隐私保护已成为智能化维修工具领域

必须直面的重大挑战。企业需要深刻认识到这一问题的紧迫性，时刻警惕潜在的数据风险，确保在享受智能化带来的便利的同时，也能为数据筑起坚实的保护屏障。

### （二）技术投入与人员培训

能化维修工具的广泛应用，为中小企业带来了提升维护效率与质量的契机，但同时也伴随着显著的技术与人力挑战。技术升级方面，中小企业需承担高昂的初期投资，包括先进设备购置、系统集成及定制化改造等，这对于资金流紧张的中小企业而言，无疑构成了沉重的经济压力。此外，人员培训亦成为不可忽视的难题。智能化维修工具要求操作人员具备较高的技术素养与操作能力，而中小企业往往面临技术人才匮乏的困境。这意味着，企业不仅需要寻找并培养适合的技术人才，还需承担由此产生的培训成本，包括课程费用、专家指导费及时间成本等，这些都对中小企业的运营构成了额外的负担。

### （三）标准与法规滞后

智能化维修工具的迅猛发展，遭遇了标准与法规滞后的严峻挑战。作为融合了物联网、大数据、人工智能等前沿技术的产物，其技术复杂性和创新性使得现有标准和法规难以全面覆盖和有效监管。市场上产品多样但标准不一，用户面临选择困境；同时，法规的滞后导致数据处理、存储、传输等环节的法律风险与合规难题频发，增加了企业运营成本。此外，随着技术持续迭代，新应用场景不断涌现，而标准和法规的更新速度未能跟上，形成监管空白与灰色地带，不仅威胁用户权益，也阻碍了行业的健康有序发展<sup>[5]</sup>。

## 四、智能化维修工具在机械维护中的优化策略

### （一）加强数据安全与隐私保护

在智能化维修工具日益深入机械维护领域的背景下，加强数据安全与隐私保护成为优化策略的重中之重。企业需构建一套全方位、多层次的数据安全防护体系，以应对日益复杂的安全威胁。一方面，采用先进的加密技术是基石，通过 AES、RSA 等高强度加密算法，确保敏感数据在存储和传输过程中的安全性，即使数据被截获，也无法轻易解密。另一方面，实施精细化的数据访问控制策略，依据用户角色和职责分配不同的数据访问权限，遵循最小权限原则，防止数据被未经授权的人员访问或滥用。此外，定期进行数据安全审计和漏洞扫描，如同为系统进行定期体检，能够及时发现并修复潜在的安全漏洞，确保防护体系的持续有效性<sup>[6]</sup>。同时，加强员工的数据安全意识培训，确保每位员工都能成为数据安全的第一道防线。

### （二）推动技术创新与人才培养

为了克服智能化维修工具在机械维护中遇到的技术瓶颈和人才短缺问题，应积极推动技术创新与人才培养。企业应加大对研发部门的投入，鼓励技术人员进行技术创新，不断探索新的技术路径和应用场景，以提升智能化维修工具的智能化水平和实用性。同时，加强与高校、研究机构等的合作，共同开展技术攻关和人才培养项目，培养具备跨学科知识背景和创新能力强的人

才<sup>[7]</sup>。此外，企业还应建立完善的人才激励机制，吸引更多优秀人才加入，为智能化维修工具的发展提供有力的人才支撑，推动行业整体技术水平的提升。

（三）完善标准与法规体系

针对智能化维修工具在机械维护中面临的标准与法规滞后问题，优化策略之一在于加快制定和完善相关标准和法规体系。政府、行业协会及企业应携手合作，共同研究制定适用于智能化维修工具的技术标准、安全规范及数据保护法规，明确产品的技术要求、性能指标、安全标准以及数据收集、处理、存储和传输的规范。这不仅有助于规范市场秩序，提升产品质量，还能为用户提供明确的法律依据，保障其合法权益。同时，随着技术的不断进步，标准和法规也需保持动态更新，以适应智能化维修工具发展的新趋势和新要求。

五、智能化维修工具的发展趋势

（一）深度集成与融合

随着技术的不断进步，智能化维修工具将呈现出深度集成与融合的发展趋势。未来的智能化维修工具将不仅仅是独立运行的设备或系统，而是更加紧密地与机械设备集成在一起，实现高度的协同工作。通过物联网、云计算等技术的应用，智能化维修工具能够实时获取机械设备的运行数据，进行精准的分析和预测，为设备的维护提供科学依据。同时，智能化维修工具还将与机械设备的控制系统、监测系统等深度融合，实现故障的自动诊断、预警和修复，进一步提高设备的可靠性和运行效率。这种深度集成与融合将极大地推动机械设备向智能化、自主化方向发展<sup>[8]</sup>。

（二）边缘计算与实时性提升

在智能化维修工具的未来发展中，边缘计算技术将扮演越来越

重要的角色。边缘计算通过将数据处理和分析的能力推向网络边缘，即直接在设备或接近设备的节点上进行，极大地缩短了数据传输的延迟，从而提升了数据分析的实时性。对于机械维护而言，这意味着智能化维修工具能够更快速地响应设备的运行状态变化，实时进行故障检测和预警<sup>[9]</sup>。边缘计算技术的应用，不仅降低了对云计算中心的依赖，还增强了系统的可靠性和安全性，为机械维护的智能化转型提供了强大的技术支持。随着技术的不断成熟和普及，边缘计算将成为智能化维修工具提升实时性能的关键驱动力。

（三）定制化与智能化发展

随着智能化维修工具的广泛应用，定制化与智能化发展将成为其重要趋势。不同行业、不同设备在维护需求上存在着显著差异，因此，未来的智能化维修工具将更加注重提供定制化的解决方案，以满足用户的个性化需求。通过深入了解用户的具体应用场景和痛点问题，智能化维修工具将集成更多针对性的功能模块，提供更为精准、高效的维护服务。同时，随着人工智能技术的不断进步，智能化维修工具将具备更强的自主学习和决策能力，能够根据设备的实时运行数据，自动调整维护策略，实现更加智能化的维护管理。这种定制化与智能化的发展趋势，将推动智能化维修工具在更广泛的领域中得到应用，为机械维护带来革命性的变革<sup>[10]</sup>。

六、结论

智能化维修工具在机械维护中的应用展现了其巨大的潜力和价值。通过不断克服挑战、优化策略并顺应发展趋势，智能化维修工具将在未来发挥更加重要的作用，推动机械维护行业向更高水平的自动化、智能化发展。

参考文献

[1]王译雪. 智能化维修管理系统在热电厂热工仪表检修中的实践与效果评估 [J]. 中国战略新兴产业, 2024, (03):89-91.

[2]胡小利, 孙苗苗, 徐宁骏. 舰炮武器装备智能化维修保障研究 [J]. 兵器装备工程学报, 2023, 44(07):135-141.

[3]赵贵强, 王少博. 航空维修企业智能化维修管理平台构建探究 [J]. 电子测试, 2022, 36(18):66-68.DOI:10.16520/j.cnki.1000-8519.2022.18.017.

[4]杜时杰, 裴军红. 全军电子装备智能化维修保障的改进建议 [J]. 中国军转民, 2022, (15):33-36.

[5]丁敏. 城市轨道交通智能化维修策略分析及研究 [J]. 中国设备工程, 2021, (24):62-63.

[6]谭经松, 陈霁恒, 刘星. 基于信息物理系统的智能化维修方法研究 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2021, 33(18):122-124.

[7]罗远. 地铁车辆故障管理与智能化维修研究 [J]. 中国设备工程, 2021, (14):66-68.

[8]孙洲. 地铁车辆智能化维修策略的分析与研究 [J]. 电子制作, 2020, (23):98-100.DOI:10.16589/j.cnki.cn11-3571/tn.2020.23.033.

[9]王迪. 航空维修企业智能化维修管理平台研究 [J]. 内燃机与配件, 2019, (24):165-166.DOI:10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2019.24.086.

[10]衡慧娟. 航空维修企业智能化维修管理平台研究 [D]. 中国民航大学, 2018.

# 智能网联新能源汽车的自动驾驶技术与挑战

王喆

北京汽车研究总院有限公司，北京 100000

**摘要：** 智能网联新能源汽车的自动驾驶技术面临着多重挑战和机遇。随着科技的进步，自动驾驶技术在新能源汽车领域展现出巨大潜力，智能汽车工业迈向智能化和可持续发展的重要进程，能够提升驾驶安全性、舒适性和能效。然而，实现完全自动驾驶仍然面临着技术、法律法规、安全性和成本等多方面的挑战。本文旨在探讨当前智能网联新能源汽车自动驾驶技术的发展现状，分析其面临的主要技术挑战，并展望未来可能的解决途径，以推动这一领域的进一步发展和应用。

**关键词：** 新能源；自动驾驶；技术

## Autonomous Driving Technology and Challenges of Intelligent and Connected New Energy Vehicles

Wang Zhe

Beijing Automotive Research Institute Co., Ltd. Beijing 100000

**Abstract：** The autonomous driving technology of intelligent and connected new energy vehicles is facing multiple challenges and opportunities. With the progress of science and technology, autonomous driving technology has shown great potential in the field of new energy vehicles. It is an important process towards intelligent and sustainable development, which can improve driving safety, comfort and energy efficiency. However, the realization of fully autonomous driving still faces many challenges in technology, laws and regulations, safety and cost. This paper aims to explore the current situation of the development of intelligent and connected new energy vehicle autonomous driving technology, analyze the main technical challenges it faces, and look forward to the possible solutions in the future, so as to promote the further development and application of this field.

**Keywords：** new energy; autonomous driving; technology

### 一、新能源汽车的自动驾驶技术现状

新能源汽车的自动驾驶技术目前正处于快速发展的阶段，尽管在实现完全自动驾驶方面仍面临挑战。当前，自动驾驶技术在新能源汽车中的应用主要集中在辅助驾驶功能上，如自适应巡航控制、车道保持辅助和交通拥堵跟随等。这些技术通过传感器、摄像头、雷达和激光雷达等设备收集环境信息，并利用先进的算法实现车辆的智能决策和操作。

尽管自动驾驶技术已经取得了显著进展，但要实现高度自主的驾驶功能仍需解决诸多挑战。其中包括但不限于：

**环境感知与识别：** 确保系统能够准确识别和理解复杂的交通环境和道路条件。

**实时决策与路径规划：** 提高系统对多样化交通情境的响应速度和决策准确性。

**安全保障与法律法规：** 确保自动驾驶系统的安全性和可靠性，同时需要适应不断演进的法规和标准。

在技术进步的推动下，新能源汽车的自动驾驶技术有望逐步迈向更高级别的自动驾驶，从而为未来的智能交通系统和可持续出行做出贡献。

### 二、新能源汽车的自动驾驶的技术性问题

新能源汽车驾驶的技术性问题和挑战是一个深受关注的话题。随着环保意识的提升和汽车科技的快速进步，新能源汽车（如电动车）作为传统燃油车的替代品，正逐渐成为未来出行的主流选择。然而，尽管新能源汽车在环保和能源利用效率方面表现出色，其技术性问题和挑战仍然不可忽视，特别是涉及自动驾驶技术的发展和應用。

#### 1. 环境感知与识别技术的挑战

新能源汽车的自动驾驶技术依赖于高度精确的环境感知和识别能力。这包括通过多种传感器（如摄像头、雷达、激光雷达等）实时获取周围环境的信息，并能够准确识别道路标志、行人、车辆和其他障碍物。

在新能源汽车自动驾驶技术中，环境感知与识别技术扮演着至关重要的角色。这项技术通过各类传感器和高级算法，使车辆能够实时感知和理解其周围的环境，从而实现智能化的驾驶决策和行为规划。环境感知技术的发展不仅推动了新能源汽车的智能化水平，还为未来城市交通系统的安全性和效率提供了重要支持。首先，环境感知技术依赖于多种传感器的协同作用，包括摄



像头、雷达、激光雷达、超声波传感器等。这些传感器能够实时获取车辆周围的数据，例如道路状态、车辆位置和速度、行人和障碍物的位置等。通过多传感器数据融合和处理，系统能够提高环境感知的准确性和鲁棒性，有效应对复杂的交通情况和道路条件。其次，环境识别技术是环境感知的核心组成部分，主要包括物体检测、语义分割和实时定位等功能。物体检测能够识别并分类道路上的各种目标，如行人、车辆、自行车等，以及识别交通标志和信号。语义分割技术则能够将摄像头捕获的视觉信息分割成不同的区域，从而更精确地理解车辆周围的环境情况。实时定位技术则确保车辆能够准确知晓自身在道路上的位置和方向，为导航和路径规划提供基础数据。

在技术应用方面，环境感知与识别技术的进步使得新能源汽车可以实现更高级别的自动驾驶功能。从基础的辅助驾驶（如自适应巡航控制）到完全自动驾驶，这些技术不断优化驾驶体验，提升行车安全性和舒适性。例如，在复杂的城市道路环境中，系统能够准确识别并预测其他车辆和行人的行为，及时调整车辆的速度和路线，避免潜在的交通事故。然而，环境感知与识别技术仍面临一些挑战和改进空间。例如，在极端天气条件下（如大雾或暴雨），传感器的性能可能会受到影响，从而降低系统的可靠性和精确性。此外，如何通过机器学习和人工智能算法进一步提升环境感知的智能化水平，以适应未来复杂城市交通的需求，也是技术研究和开发的重要方向之一。

总体而言，环境感知与识别技术作为新能源汽车自动驾驶技术的核心组成部分，不断推动着整个行业的发展。随着技术的不断进步和应用场景的拓展，相信这些技术将为未来智慧交通系统的建设和可持续发展贡献更多可能性与机会。

## 2. 传感器集成和数据融合

这些传感器通过数据融合技术相互补充和增强，以提供更为全面和准确的环境感知能力。数据融合的过程包括数据预处理、特征提取和多传感器数据整合，通过算法和模型将来自不同传感器的信息整合在一起，形成更精确的环境模型和状态估计。例如，通过将摄像头和雷达数据进行融合，系统可以在视觉信息的基础上加入物体的空间位置和运动轨迹，提供更为完整的环境理解和预测能力。在自动驾驶系统中，传感器集成和数据融合的进步不仅提升了系统的感知能力和可靠性，还为车辆的智能决策和行为规划提供了关键支持。随着技术的不断发展和应用场景的扩展，预计这些技术将继续演进，为未来智能交通系统的安全性、效率和舒适性带来显著的提升。<sup>[1]</sup>

## 3. 复杂环境下的识别

在各种天气条件和道路状态下，如何保证识别精度和稳定性，特别是在恶劣天气或光照不足的情况下。

实时决策与路径规划的复杂性：自动驾驶系统需要能够在极短时间内做出复杂的驾驶决策和路径规划，以应对不同的交通情景和突发状况。

这涉及：高效的算法和模型：如何设计和优化实时决策算法，以保证安全性和效率。设计和优化新能源自动驾驶的实时决策算法是确保车辆安全性和效率的关键。首先，算法需要综合分

析来自多个传感器的大量数据，包括高精度地图、视觉感知、雷达和激光雷达扫描等信息。这些数据源可以帮助系统精确感知周围环境，包括道路标志、车辆、行人及障碍物等。<sup>[2]</sup>

在决策过程中，算法必须能够实时评估车辆当前状态和预测未来可能的动态环境变化。这包括识别并响应各种潜在风险，如前方突然出现的障碍物、行人的行动意图及其他车辆的交互行为。为了保证安全性，决策算法会通过复杂的路径规划策略来选择最佳行驶路线，考虑到最小化风险和遵守交通规则。效率则是另一个关键因素，特别是对于新能源车辆。算法需要优化能源消耗，通过智能速度控制和动态加速策略来最大程度地延长电池续航里程。例如，利用先进的预测模型和实时数据来优化加速和制动操作，减少能源浪费并提升整体效率。为了确保系统的鲁棒性和可靠性，实时决策算法通常会集成自适应控制和机器学习技术。这些技术使系统能够从经验中学习，并根据实际环境条件动态调整决策策略，以适应不同的驾驶情景和路况变化。

通过综合利用先进的传感技术、高效的数据处理和智能化的决策算法，新能源自动驾驶系统可以实现高度安全性和能效，并为未来智慧交通系统的发展奠定坚实基础。<sup>[3]</sup>

## 4. 交通预测和行为预测

如何通过数据分析和机器学习技术，准确预测其他交通参与者的行为，从而调整驾驶策略。自动驾驶技术的普及面临的最大挑战之一是如何确保其安全性和可靠性。

系统故障与应对策略：故障可能涉及电动机、电池组、控制系统及相关传感器等多个方面。实施有效的预防措施至关重要。新能源汽车的驾驶系统应当定期进行全面检查和维护，包括电池状态监测、电机系统的检测与校准、控制系统的软件更新等。定期的维护可以有效减少潜在故障的发生率，提升车辆的整体可靠性。

其次，建立完善的故障诊断与监控系统。通过在车辆中集成高精度的传感器和实时数据采集设备，可以实现对驾驶系统各部件状态的实时监测和诊断。一旦系统检测到异常，应立即发出警报并记录故障信息，以便后续分析和修复。<sup>[4]</sup>

第三，实施快速响应和紧急处理策略。一旦发生故障，驾驶系统应当能够迅速切换至安全模式或者自动转换至备用系统，以最大程度地减少驾驶风险。同时，驾驶员也应接受相关的紧急处理培训，能够在发生故障时采取正确的应对措施。

第四，建立有效的应急救援机制。在一些较为复杂的故障情况下，车辆可能需要专业的维修和救援服务。因此，建议在需要时与专业的救援服务提供商建立合作关系，以便能够及时获取专业的技术支持和维修服务，确保车辆能够尽快恢复正常运行。<sup>[5]</sup>

在不断优化和更新技术下，随着新能源汽车技术的不断进步，驾驶系统的稳定性和可靠性也在不断提升。因此，车辆制造商和技术提供商应当密切关注市场反馈和用户需求，及时进行技术更新和改进，以提高系统抗干扰能力和故障容忍度。通过有效的预防、监控、响应和维修策略，可以有效应对新能源汽车驾驶系统可能出现的故障，保障驾驶安全和车辆的长期可靠性。这些策略不仅有助于提升用户体验，也是推动新能源汽车行业可持续



发展的重要保障。<sup>[6]</sup>

### 三、安全评估和认证

新能源汽车的安全评估和认证是确保其在使用过程中安全可靠的重要环节。随着电动汽车技术的迅猛发展和市场需求的增加，安全评估和认证不仅关乎用户的驾驶安全，也直接影响整个行业的发展和公众对新能源汽车的信任度。<sup>[7]</sup>

首先，安全评估通常涵盖多个方面，包括车辆的结构安全、动力系统安全、电池安全、电子系统安全以及车辆的整体性能等。这些评估不仅考虑正常使用情况下的安全性，还需充分考虑到可能的事故情况和突发事件，如碰撞安全、电池过热过充安全控制等。认证过程包括对车辆进行严格的测试和验证。例如，碰撞测试通过模拟不同角度和速度的碰撞来评估车辆的车身结构和安全气囊系统的有效性。电池安全测试则涉及对电池的过充、过放、高温和外部损伤等条件下进行严格测试，以确保其在各种极端条件下的安全性能。在全球范围内，各国和地区通常有自己的安全评估和认证标准。例如，欧洲采用的 CE 标志和美国的 NHTSA 认证，都是严格的安全标准，要求车辆制造商必须符合一系列安全测试和监管要求，才能在市场上销售其产品。安全评

估和认证还需要考虑到新能源汽车特有的安全风险和挑战。电池技术的不断进步虽然提高了能源密度和续航能力，但也带来了新的安全隐患，如电池热失控、火灾风险等。因此，针对电动汽车的安全评估和认证需要更加严格和全面，确保其在各种使用场景下都能够安全可靠地运行。最后，随着技术的不断演进和用户需求的变化，安全评估和认证标准也在不断更新和完善。制定和执行全面的安全评估和认证程序，不仅有助于保障用户的安全和权益，也有利于新能源汽车行业的可持续发展和竞争力提升。<sup>[8]</sup>

综上所述，安全评估和认证在新能源汽车领域具有重要意义，是确保其安全性能和市场竞争力的关键环节。只有通过严格的测试和验证，新能源汽车才能获得广泛认可和用户信任，推动行业的健康发展和持续创新<sup>[9]</sup>

### 四、总结

随着技术的进步和各方面条件的逐步完善，新能源汽车的自动驾驶技术有望在提升驾驶安全性、舒适性和能效的同时，为全球可持续发展目标作出重要贡献。然而，实现这一愿景仍需要持续的技术创新、跨界合作和政策支持，以克服当前和未来面临的各种挑战。<sup>[10]</sup>

### 参考文献

- [1] 蒋梓君. 自动驾驶系统故障对公众反应和用户体验的影响研究 [D]. 长安大学, 2021.
- [2] 徐筱秦. 自动驾驶时不同场景下驾驶人风险感知能力量化方法研究 [D]. 合肥工业大学, 2020.
- [3] 潘春阳. 自动驾驶技术信任态度与驾驶风格之间关系研究 [D]. 辽宁师范大学, 2020.
- [4] 黄位. 基于计划行为理论与技术接受模型的自动驾驶汽车接受度研究 [D]. 江苏大学, 2019.
- [5] 杨润. 高度自动与完全自动驾驶汽车的公众接受度研究 [D]. 天津大学, 2018.
- [6] 刘娜; 张峻菡; 张生太; 王旭辉. 基于元分析的自动驾驶技术用户采纳研究 [J]. 北京邮电大学学报 (社会科学版), 2021(02).
- [7] 李伟; 华梦莲. 论自动驾驶汽车伦理难题与道德原则自我选择 [J]. 科学学研究, 2020(04).
- [8] 杨洁; 沈梦洁. 中国自动驾驶汽车消费市场接受度调查 [J]. 长安大学学报 (社会科学版), 2017(06).
- [9] 赵小华; 郑毓煌. 自我控制就一定幸福吗——自我控制对幸福感的影响研究 [J]. 营销科学学报, 2017(01).
- [10] 田雪毅. 分布式驱动电动车纵向控制策略研究 [D]. 西安电子科技大学, 2021(02).

# 中国民航老龄飞机浅谈

佟栋梁

北京航空有限责任公司, 北京 100621

**摘 要 :** 随着国内民航发展, 航空公司机型更新加快, 飞机产品的迭代更新, 老龄飞机的管理和处置问题成为民航全行业和各航空公司亟待解决的重大问题。本文通过对国内老龄飞机现状分析, 实现我国老龄飞机的管理和剩余价值的再利用, 达到安全运行和效益最大化, 对老龄飞机的现状和发展前景进行了展望, 从而推动老龄飞机在国内健康、有序的发展。旨在为国内民航老龄飞机的现状思考和见解, 也为航空公司进一步挖掘新的老龄飞机的管理模式和盈利空间, 提供一定的参考。

**关 键 词 :** 老龄; 航司; 评估; 价值

## A Brief Discussion on Chinese Civil Aviation's Aging Aircraft

Tong Dongliang

Beijing Airlines Co., Ltd. Beijing 100621

**Abstract :** With the development of domestic civil aviation, the acceleration of aircraft model updates by airlines, the iterative updating of aircraft products, and the management and disposal of aging aircraft have become major issues that urgently need to be addressed by the entire civil aviation industry and various airlines. This article analyzes the current situation of aging aircraft in China, aiming to achieve the management of aging aircraft and the reuse of surplus value, achieve safe operation and maximize efficiency. It also looks forward to the current situation and development prospects of aging aircraft, thus promoting the healthy and orderly development of aging aircraft in China. Intended to provide insights and reflections on the current situation of aging aircraft in domestic civil aviation, as well as to offer reference for airlines to further explore new management models and profit margins for aging aircraft.

**Keywords :** aging; airlines; assessment; value

## 引言

基于党和国家对民航的指示和要求, 同时为适应社会主义市场经济对中国民航的需求, 中国民航几十年日新月异的发展, 包括近几年货运航空市场的异军突起, 中国民航的老龄飞机使用总量正在增加, 作为中国民航的一份子, 不禁深有感触。

## 一、老龄飞机的定义与现状

### (一) 老龄飞机的定义

在民用航空领域, 民航飞机的使用年限为25 ~ 30年, 国内行业普遍采用和认可的工时是服役时间超过14年的飞机就是老龄飞机。

### (二) 老龄飞机的现状

权威统计数据显示, 截止2022年底, 国内运输类飞机平均机龄是8.65年, 货运飞机中机龄超过20年的有160多架, 占运输类飞机总数的4%。机龄最长的货运飞机是一架即将退役的33年的757, 机龄最长的客运飞机是一架机龄不到30年的宽体客机。

国内单通道飞机的航段时间, 即每个循环的飞行时间通常在1.2到1.5 小时左右, 对平均机龄不到9年的运输类飞机的机队, 不论从飞行循环还是飞行小时哪个方面计算, 绝大部分飞机才刚

进入技术状况成熟阶段, 或在成熟阶段的范围内运行。当前运行老龄飞机的货运公司都已按要求依据飞行循环数控制和安排维修工作。货运旺季期间, 国内单 / 双通道货运机队混合平均年度累计循环次数也只在500到700的水平。和运输类客运飞机不同, 单通道货运飞机平均每年累计循环次数超过1000的很少。照此计算即使货运飞机的机龄达到30年, 其累计总循环数超过40000 (客机阶段和改货机后的累计循环) 的飞机也是凤毛麟角<sup>[1-2]</sup>。

## 二、老龄飞机的经济效益

(一) 老龄飞机的运营成本。老龄飞机的运营成本包括燃油效率、机组人员成本、维护成本以及运营过程中的其他费用。飞机的燃油效率会因为机型老龄、技术落后而降低, 这会导致更高

作者简介: 佟栋梁 (1984.10-), 男, 北京人, 汉族, 大学本科, 中级工程师, 从事飞机维修计划研究。

的燃油成本。同时，老龄飞机的维护成本也会随时间增加，因为零部件老化需要更频繁的检查 and 更换，从而增加维护成本。

在运营成本方面，老龄飞机还可能面临更高的机组人员成本。由于老龄飞机的操作系统与现代飞机存在差异，可能需要更有经验的机组人员，而这部分人员的工资往往更高。同时，老龄飞机在运营过程中可能会产生更多的噪声和排放，这可能导致更高的环境合规成本。

（二）老龄飞机的维修成本。维修成本是老龄飞机面临的一大挑战。随着时间的推移，飞机的各个部件都会出现磨损和老化，需要定期维修和更换。此外，由于老龄飞机的安全标准可能低于现代飞机，其维修和检查可能需要更多的资源和工作量。在维修成本方面，老龄飞机还可能面临更严格的监管要求。

（三）老龄飞机的残值分析。老龄飞机的残值是指在退役时，飞机可以出售或报废的价值。由于飞机是一种高价值、高使用年限的资产，其残值对航空公司的财务状况有重要影响。然而，对于老龄飞机来说，其残值往往较低。

总体而言，老龄飞机的经济效益需要综合考虑运营成本、维修成本和残值等因素。航空公司需要对这些因素进行细致的分析和评估，以制定合理的机队更新和维护策略，确保经济效益的最大化。同时，政府和监管机构也需要对老龄飞机的运营和退役制定合理的政策和规定，以保障航空安全和环境保护<sup>[2-5]</sup>。

### 三、运行和维修老龄飞机的突出难点和挑战

（一）故障频发，特别是系统故障率非常高。统计数据显示系统失效 / 故障主要来自导航系统，自动飞行，通讯系统，液力系统、空调系统和起落架系统；

（二）缺乏器材支援和保障的有效措施，航司没有充裕的资金购买全新周转件，也难将失效的周转件送原设备制造厂高价修理。多数情况下可供选择的送修机构就只能是修理费用相对低廉的零部件修理机构；

（三）系统线路老化严重，除定检维修外，日常维修中也经常发现，像导线绝缘层龟裂，磨损等现象。另外管路间的跑、冒、漏、滴情况出现比较普遍。小规模航司的在维修资源本身就不充足的情况下排除和修复这类线路老化故障比排除零部件失效导致的系统故障更难<sup>[6]</sup>；

（四）原设备制造厂家和补充型号合格证持有人的技术支持力度不够，停产和淘汰产品厂家不愿意再投入太多资源提供和新产品同等力度的支持；

（五）运营老龄飞机总会出现一些棘手的问题需要厂家或者STC持有人提供合法的工程方案，但面临此类问题，对航司的工程人员、飞机制造厂和STC持有人也是考验。同时航司可能会支付高额工程费用，增加了航司的资金使用负担，提高了运营成本。

### 四、老龄飞机安全性问题

截至2022底的过去三年的统计数据表明，全国运输类飞机

不安全事件千时率为0.18，而主要以老龄飞机为主的货运公司机队的数据是0.42；使用困难报告 / SDR 平均千时率为0.23，货运公司老龄机队平均千时率是0.58。以上数据也进一步佐证了老龄飞机不安全事件和使用困难报告平均千时率基本上保持在全国运输类飞机两倍或以上的水平。统计分析还显示，运营仍在生产，机龄较短，维修保障资源充裕，器材供应有保障的货运公司机队的不安全事件和使用困难报告千时率甚至都低于全国运输类飞机的平均水平。以下表格列出的几个具有代表性的波音机型过去三年的可靠性统计数据对比可进一步佐证老龄飞机故障率高的事实<sup>[7]</sup>。

机型	737NG	737CL	757	767
签派可靠度 (百架次不正常率)	99.82 (0.18)	98.91 (1.09)	99.23 (0.77)	99.37 (0.63)
返航备降 (百架次率)	0.005	0.043	0.042	0.025

### 五、老龄飞机面临的挑战

现在货运航司运行老龄飞机较多运行的老龄飞机 / 货机多为已停产机型（2000年停产的737CL/2004年停产的757和2007年停产的传统型747）。虽然制造厂家仍保持停产机型的客服支持，但支持力度和在产飞机对比相差甚远。停产飞机供应链和与之配套的产品将逐渐停产，这些机型的航材供应基本上只能依赖市场存货和从退役飞机拆解后获得批准进入市场流通的器材<sup>[8]</sup>。

### 六、老龄飞机应对策略

（一）为保证老龄飞机安全和正常运行，飞机制造厂（例如波音和空客等）都已按主管局方规章要求将针对老龄飞机的补充维修要求加入维修方案 / 维修计划文件，航司应按照主管局方的规章要求及时修订或更新相关维修方案，将针对老龄飞机的补充维修要求加入其中<sup>[9]</sup>。

（二）面对日常运行中飞机系统故障多，修复周期长，获取零部件困难，维修和工程管理工作量大，程序烦琐，积极与飞机制造厂和当地局方沟通，适时获取必要的修正方案，并严格按照规章的要求和公司管理程序的规定维修飞机，确保安全运行的目标并非一个不能实现的目标。

（三）呼吁和动员包括局方在内整个行业各利益相关方的积极参与，协同努力虽然很难短时间内不一定能解决所有问题，但也不失为一条可探讨和追求途径。

### 七、老龄飞机的升级与改造

（一）老龄飞机升级改造的技术路径。旧飞机的升级与改造是延长其使用寿命、提升其性能和效率的重要手段。技术路径的选择直接关系到升级改造的效果和经济效益。老龄飞机的升级改造可以包括结构加强、航电系统升级、发动机更换、内饰更新等多个方面。在结构加强方面，可以通过增加或加固飞机的关键部位来提升其承受载荷的能力和抗疲劳寿命。航电系统升级则涉

及将老龄飞机的模拟仪表盘替换为现代的玻璃驾驶舱，增加飞行管理与导航系统等。发动机更换通常是指将原始设备制造商（OEM）的发动机或经过翻新的发动机安装到飞机上，以提升燃油效率和降低维护成本。内饰更新则更多关注乘客的舒适度和安全性，包括重新设计座椅、内饰材料和娱乐系统等。

（二）老龄飞机升级改造的成本效益。旧飞机升级改造的成本效益分析是决定是否进行改造的关键因素。升级改造的成本包括直接成本（如材料、人工和设备成本）和间接成本（如飞机停飞时间导致的运营损失）。升级改造的效益则体现在提升飞机的运营效率、降低维护成本和增加残值等方面。

（三）老龄飞机升级改造的案例分析。旧飞机升级改造的案例可以提供实际操作的参考。例如，某航空公司对一批老龄飞机进行了发动机更换，通过使用更高效的发动机，不仅降低了燃油成本，还延长了飞机的使用寿命。又如，另一家航空公司对老龄飞机的航电系统进行了升级，通过引入先进的飞行管理系统，提高了飞行效率和安全性，同时减少了飞行员培训成本。在这些案例中，老龄飞机的升级改造不仅提升了飞机的性能，还带来了可观的经济效益。然而，这些案例也表明，老龄飞机的升级改造需要仔细规划和执行，以确保改造工作能够按照预期进行，并达到预期的效果。

总之，老龄飞机的升级改造是一个复杂的过程，需要综合考虑技术、成本和效益等多个因素。通过合理的规划和执行，老龄飞机的升级改造可以延长其使用寿命，提升其性能和效率，从而为航空公司带来经济效益<sup>[10]</sup>。

## 八、老龄飞机的未来发展趋势

（一）新技术对老龄飞机的影响。随着航空技术的不断进步，新技术对老龄飞机的影响日益显著。首先，新技术的引入可以提升老龄飞机的性能和效率。其次，新技术可以降低老龄飞机的运营成本。然而，新技术的引入也可能带来一定的挑战。首先，老龄飞机可能需要进行较大的改造或升级，以适应新技术的要求。这可能导致改造成本的增加。其次，新技术的引入可能需要对飞机的维护和运营人员进行额外的培训。此外，新技术的引入也可能需要考虑到与现有系统的兼容性问题。

（二）老龄飞机的市场需求变化。老龄飞机的市场需求受到多种因素的影响，包括航空业的增长、旅客需求的变化以及新飞机的引入等。随着航空业的增长，对于老龄飞机的需求可能会增加。然而，随着新飞机的引入，老龄飞机的市场需求可能会受到一定的冲击。因此，航空公司需要密切关注市场需求的变化，并根据市场需求调整老龄飞机的运营策略。

（三）老龄飞机的未来发展趋势预测。老龄飞机的未来发展趋势受到多种因素的影响，包括技术进步、市场需求、政策法规等。随着技术的不断进步，预计老龄飞机将越来越多地采用新技术进行升级改造，以提升其性能和效率。同时，随着环保意识的提高，老龄飞机的环保性能也可能成为未来发展的一个重要方向。

## 九、老龄飞机的个人观点和建议

（一）老龄飞机问题的综合评估。在本文的探讨中，我们综合评估了老龄飞机在经济效益、运营成本、维修成本、市场需求、技术影响以及未来发展趋势等多个方面的因素。通过这些评估，我们得出了老龄飞机在航空业中的地位和作用，以及面临的挑战和问题。老龄飞机虽然在成本效益上具有一定的优势，但在技术、安全和环保方面存在一定的风险和限制。老龄飞机的运营成本和维修成本可能随着飞机年龄的增长而上升。同时，市场需求的变化和技术进步的影响也可能对老龄飞机的未来发展造成一定的冲击。

（二）针对老龄飞机问题的政策建议。针对老龄飞机的问题，我们提出以下政策建议。首先，政府和监管机构应加强对老龄飞机的监管，确保航空安全和环境保护。这包括对老龄飞机的维修、检查和退役提出更严格的要求。其次，政府应鼓励航空公司对老龄飞机进行升级改造，以提升其性能和效率。这可以通过提供税收优惠、补贴等激励措施来实现。此外，政府还应积极推动航空业的创新和技术进步，以促进老龄飞机的更新换代。

（三）促进老龄飞机合理处理的措施。为了促进老龄飞机的合理处理，我们提出以下措施。首先，航空公司应合理安排老龄飞机的退役和更新计划，确保机队的现代化和高效运营。其次，航空公司应积极寻找老龄飞机的潜在市场，例如二手市场或者转为特殊用途飞机。此外，航空公司还应与维修供应商、零件制造商等合作，共同探索老龄飞机的维修和再利用机会。

## 十、结语

老龄飞机问题是航空业面临的重要议题。通过综合评估老龄飞机的问题，提出针对性的政策建议和促进措施，我们可以推动老龄飞机的合理处理，提升航空业的经济效益和可持续发展能力。

## 参考文献

- [1] 龙江, 刘峰, 张中波. 现代飞机结构与系统 [M]. 西北工业大学出版社. 2016.
- [2] 朱新宇, 彭卫东, 何建, 编. 民航飞机电气系统 [M]. 西南交通大学出版社. 2010.
- [3] 胡问鸣, 主编. 通用飞机 [M]. 航空工业出版社. 2008.
- [4] 姜国权, 编. 航空维修与工程 [M]. 中航出版传媒有限责任公司. 2023年06期.
- [5] 王毅强, 郭涛, 卢翔, 编. 航空维修与工程 [M]. 中航出版传媒有限责任公司. 2017年07期.
- [6] 周毅. 我国民航飞机维修故障分析和改进措施 [J]. 智库时代, 2018(26): 216+223.
- [7] 刘涛, 孙经纬. 民航飞机维修故障分析和改进的研究 [J]. 科技与创新, 2017(11): 43+45.
- [8] 李少华. 民航飞机维修的风险管理工作研究 [J]. 科技创新与应用, 2016, 000(026): 266.
- [9] 周淑海. 基于风险管理理论的民航飞机维修差错管理研究 [J]. 军民两用技术与产品, 2016, 000(008): 31-32.
- [10] 强炜. 飞机维修计划和机务维修中的人为因素探讨 [J]. 中国新通信, 2019(20): 240-241.



# 传感器技术与组态控制技术在自动化生产线 柔性化改造中的应用研究

杨敏跃

天津石油职业技术学院, 天津 301600

**摘 要：** 随着工业4.0时代的到来，自动化柔性生产线将逐渐取代传统自动化生产线，就让自动化生产线柔性化的改造显得极为重要。其中，传感器作为自动化生产线中的基础核心元件，它实时感知和监测生产环境中的各种物理量，并将它们转换为电信号或数字信号，供控制系统进行后续处理。这些信号是控制系统进行决策和调整的重要依据，为自动化柔性生产线的精确控制提供了可靠的数据支持。而作为监控层级的组态控制技术，它可以实现对自动化柔性生产线中各种设备的配置和监控，还可以显示设备的运行状态。本文全面探讨了这两种技术在自动化生产线柔性化改造中的理论与实践。进一步构建了传感器技术与组态控制技术的集成框架，分析了技术挑战，并提出了创新性的解决方案，为自动化生产线的柔性化改造提供了理论依据和技术支持。

**关 键 词：** 自动化生产线；柔性化改造；传感器技术；组态控制技术；集成应用

## Research on the Application of Sensor Technology and Configuration Control Technology in the Flexible Transformation of Automated Production Lines

Yang Minyue

Tianjin Petroleum Vocational and Technical College, Tianjin 301600

**Abstract：** With the advent of the Industrial 4.0 era, automated flexible production lines will gradually replace traditional automated production lines, making the flexible transformation of automated production lines extremely important. Among them, sensors, as the basic core components in automated production lines, perceive and monitor various physical quantities in the production environment in real time, and convert them into electrical or digital signals for subsequent processing by the control system. These signals are important bases for the control system to make decisions and adjustments, providing reliable data support for the precise control of automated flexible production lines. As a configuration control technology at the monitoring level, it can realize the configuration and monitoring of various equipment in the automated flexible production line, and can also display the operating status of the equipment. This article comprehensively explores the theory and practice of these two technologies in the flexible transformation of automated production lines. Furthermore, an integrated framework of sensor technology and configuration control technology is constructed, technical challenges are analyzed, and innovative solutions are proposed, providing theoretical basis and technical support for the flexible transformation of automated production lines.

**Keywords：** automated production line; flexible transformation; sensor technology; configuration control technology; integrated application

### 引言

随着我国经济的快速发展，企业对生产效率和质量的要求越来越高。自动化生产线作为提高生产效率、降低生产成本的重要手段，在制造业中得到了广泛应用。然而，传统的自动化生产线往往存在一定的刚性，难以适应产品多样化、小批量生产的需求。因此，对自动化生产线进行柔性化改造已成为当前制造业发展的关键任务。本文针对传感器技术与组态控制技术在自动化生产线柔性化改造中的应用进行研究，旨在为我国制造业转型升级提供理论支持和实践指导。

### 一、自动化生产线柔性化改造理论基础

在当今制造业快速发展的背景下，自动化生产线的柔性化改

造成为企业提升竞争力、适应市场变化的核心策略。以下内容将深入探讨自动化生产线柔性化改造的理论基础，为实践应用提供坚实的理论支撑。

### （一）柔性化生产的概念与特征

随着市场需求的多变性和个性化趋势，柔性化生产的概念应运而生，它代表了生产系统对未来不可预测变化的适应能力。柔性化生产的概念与特征主要表现在其能够快速调整生产策略，以最小的成本和时间满足市场对产品种类、数量和质量的要求。柔性化生产作为应对市场需求变化的一种生产模式，正在得到广泛地应用。通过对柔性化生产的研究，可以使制造企业能够更加灵活地应对市场不确定性的变化<sup>[1]</sup>。这种生产模式强调系统的可重构性、可扩展性和可适应性，使得生产线能够在不同产品之间灵活切换，从而显著提高生产效率。

### （二）自动化生产线柔性化改造的关键技术分析

在自动化生产线柔性化改造的过程中，关键技术的精细分析与精准应用至关重要<sup>[2]</sup>。这些技术，包括模块化设计、智能控制、机器人技术和信息化管理，共同构成了一个复杂的技术体系，旨在提升生产线的灵活性和适应性。模块化设计确保了生产线的可调整性，智能控制提升了效率与品质，机器人技术增强了精准度，信息化管理优化了资源配置。这一改造是对生产理念和管理模式的深度变革，标志着制造业向智能化、高效化的重要迈进。

### （三）传感器技术与组态控制在柔性化改造中的作用机理

传感器技术与组态控制技术作为自动化生产线柔性化改造中的重要组成部分，其作用机理不可忽视。传感器技术负责实时监测生产过程中的各种参数，为控制系统提供准确的数据支持；而组态控制技术则通过对这些数据的处理和分析，实现对生产过程的智能调控。这两者的协同工作，使得生产线能够根据实际需求自动调整生产策略，从而实现真正的柔性化生产。在这一过程中，传感器技术与组态控制技术的技术创新和应用优化，是提升自动化生产线柔性化水平的关键所在。

## 二、传感器技术在自动化生产线柔性化改造中的应用探讨

在自动化生产线的柔性化改造中，传感器技术扮演着至关重要的角色。它不仅是实现数据采集和过程监控的基础，也是提升生产线智能化水平的核心。以下将详细探讨传感器技术在自动化生产线柔性化改造中的应用。

### （一）传感器技术概述

传感器技术作为一种感知外部世界并转化为可利用信息的技术，其发展日新月异，应用范围日益广泛。在自动化生产线中，传感器技术的应用涵盖了从简单的温度、压力检测到复杂的视觉识别、激光扫描等多个层面<sup>[3]</sup>。这些传感器技术不仅能够精确地捕捉到生产过程中的各种参数，还能够对异常情况进行实时反馈，为自动化生产线的稳定运行和智能调控提供了强有力的技术保障。

### （二）传感器技术在自动化生产线中的关键应用领域

在自动化生产线中，传感器技术的关键应用领域包括但不限于

于物料检测、位置定位、状态监控、质量控制和安全保护等。物料检测传感器技术能够确保原材料和零部件的准确投放，位置定位传感器技术则保障了机械臂和输送带的高精度操作，而状态监控传感器技术则实时跟踪生产设备的运行状况，预防故障发生<sup>[4]</sup>。质量控制传感器技术通过对产品特性的实时检测，保证了产品质量的稳定性，而安全保护传感器技术则为操作人员提供了安全保障，降低了事故风险。

### （三）传感器技术选型与配置策略研究

传感器技术选型与配置策略的研究是自动化生产线柔性化改造中的关键环节。正确的选型策略能够确保传感器技术在特定环境下稳定工作，满足生产线的性能要求。这涉及对传感器技术类型、量程、精度、响应时间、环境适应性等多方面因素的综合考虑。配置策略则需要根据生产线的实际布局和工作流程，合理布置传感器技术，以实现最优的数据采集和网络通信<sup>[5]</sup>。此外，还需考虑传感器技术网络的冗余设计，以提升系统的可靠性和容错能力。通过深入研究传感器技术选型与配置策略，可以有效提升自动化生产线的柔性化水平和智能化程度。

## 三、组态控制在自动化生产线柔性化改造中的应用探讨

在自动化生产线的柔性化改造中，组态控制技术作为一种强大的系统集成工具，其重要性不言而喻。它通过提供直观的图形界面和灵活的配置能力，使得生产线的监控与控制变得更为高效和便捷。以下内容将深入探讨组态控制在自动化生产线柔性化改造中的应用。

### （一）组态控制技术概述

组态控制技术是指利用专业的组态软件，根据实际生产需求，对自动化控制系统的硬件和软件资源进行配置和管理的先进技术<sup>[6]</sup>。它集成了数据采集、处理、显示、报警、控制等功能，为用户提供了一个开放、可扩展的平台。组态控制技术的应用，极大地简化了自动化系统的开发和维护过程，提高了生产线的智能化和灵活性。

### （二）组态控制在自动化生产线中的核心功能分析

在现代化的自动化生产线中，组态控制技术扮演着至关重要的角色，其核心功能贯穿于整个生产流程，确保了生产的高效、稳定与智能。作为数据采集与监控的枢纽，组态控制技术以其卓越的性能，实时捕捉生产线上的各类数据信息，并通过精心设计的图形化界面，将这些数据转化为直观的图表和图像，使得操作人员能够一目了然地掌握生产动态，从而实现对生产状态的精准监控<sup>[7]</sup>。

同时，组态控制技术拥有强大的逻辑控制能力，它依据预设的逻辑或复杂算法，对生产过程进行精确调控，确保各个环节按照既定程序自动运行，大幅提升了生产自动化水平。在这一过程中，组态控制技术的智能调控不仅优化了生产流程，还为企业节约了人力成本，提高了生产效率。

更为重要的是，组态控制技术具备高效的故障诊断和报警系

统。在生产线出现异常时，它能迅速识别问题所在，及时发出警报，并提供相应的故障处理建议，为操作人员快速应对提供有力支持，确保生产线的连续稳定运行，最大限度地降低了生产中断带来的损失。

### （三）组态控制技术系统设计与实施策略

组态控制技术系统的设计与实施是一项涉及多学科、多领域知识的复杂系统工程，它要求设计者具备深厚的专业素养和全局视野<sup>[9]</sup>。在这一过程中，必须全面考虑生产线的工艺流程复杂性、设备的独特性以及控制需求的多样性，以确保系统的设计既符合生产实际，又能满足未来的发展需求。

在设计阶段，设计师需精心规划系统架构，选择与生产线特性相匹配的硬件平台和功能强大的组态软件，以保障系统的稳定运行和良好的可扩展性。这一阶段的工作，不仅是对技术参数的精确匹配，更是对整个生产系统智能化升级的前瞻性布局。

在实施过程中，模块化设计理念被贯穿始终，这不仅有助于系统的功能扩展和日后的维护升级，也体现了系统设计的灵活性和前瞻性。同时，制定一套详尽的实施计划至关重要，它涵盖了硬件的精准安装、软件的精细配置、系统的无缝集成以及严密的测试验证等关键环节，确保组态控制技术系统能够高效、稳定地服务于自动化生产线的柔性化改造。

## 四、传感器技术与组态控制技术的集成应用

在自动化生产线柔性化改造的过程中，传感器技术与组态控制技术的集成是提升整体系统性能的关键所在。这种集成不仅仅是技术层面的融合，更是生产效率和管理水平的全面提升。以下将详细探讨传感器技术与组态控制技术的集成框架设计，以及集成过程中面临的技术难点与相应的解决方案。

### （一）传感器技术与组态控制技术集成框架设计

传感器技术与组态控制技术的集成框架设计是构建自动化生产线柔性化体系的核心。该框架设计需充分考虑数据流、控制流和信息流的交互，确保传感器技术采集的数据能够实时、准确地传输至组态控制技术系统，并通过对数据的处理和分析，实现对生产过程的智能监控与优化控制<sup>[10]</sup>。集成框架通常包括数据采集层、通信网络层、数据处理与分析层以及人机交互层，每一层都有其特定的功能和作用，共同构成了一个高度协同的工作体系。在数据采集和分析中，传感器技术负责采集生产过程中的各种数据，而组态控制技术则负责对这些数据进行处理和分析。通过对数据的深入挖掘和分析，可以揭示生产过程中的潜在问题和改进点；在控制策略优化中，基于实时采集的数据和分析结果，组态控制技术可以自动调整控制策略和参数，以适应生产线的柔性化需求。这有助于提高生产线的灵活性和适应性；在故障诊断与预测中，传感器技术与组态控制技术相结合，还可以实现设备的故障诊断和预测。通过对设备状态的实时监测和数据分析，可以及时发现潜在的故障点并采取预防措施，避免生产中断和设备损坏。

### （二）集成过程中的技术难点与解决方案

在传感器技术与组态控制技术的集成过程中，不可避免地会

遇到一系列技术难点。在自动化生产线中，数据同步问题首当其冲，鉴于传感器技术数量庞大，确保数据的同步采集和无遗漏成为一项关键挑战。常用的解决方案包括采用高精度时钟同步技术以及优化的数据传输协议。紧接着，通信网络的稳定性成为另一个焦点，它直接影响到数据传输的效率以及系统的整体可靠性。为此，需要设计冗余的通信网络结构，并采用先进的网络管理技术以保障通信的稳定性。此外，数据处理与分析的实时性和准确性也是集成过程中的关键难点，这要求组态控制技术系统具备高效的数据处理能力和智能算法支持。通过采用分布式计算、云计算等技术，可以有效地提高数据处理能力，而机器学习和人工智能算法的应用则能进一步提升数据分析的智能化水平。总之，通过不断技术创新和方案优化，传感器技术与组态控制技术的集成将为自动化生产线的柔性化改造提供强有力的技术支撑。

## 五、结束语

本文通过对传感器技术与组态控制技术在自动化生产线柔性化改造中的应用研究，深入分析了两者在提高生产线柔性、实现生产过程优化等方面的重要作用。研究发现，传感器技术与组态控制技术的合理应用不仅有助于提升生产线的适应能力，还能为企业带来显著的经济效益。

尽管如此，传感器技术与组态控制技术在自动化生产线柔性化改造中的应用仍存在一定的局限性，如传感器技术精度、稳定性及组态控制技术数据处理能力等方面有待进一步提高。展望未来，随着智能制造、工业互联网等技术的不断发展，传感器技术与组态控制技术在自动化生产线柔性化改造中的应用将更加广泛，有望为我国制造业实现高质量发展提供有力支持。

## 参考文献

- [1]孙麟. 华宜风电公司柔性化生产模式转型的研究[D]. 上海交通大学, 2019. DOI:10.27307/d.cnki.gsitu.2019.000671.
- [2]刘英会, 岳伟利, 张宗彩. 传感器技术在制造业自动化中的应用[J]. 机械工程与自动化, 2023,(04):162-164.
- [3]曾一新, 李有兵, 林勇. 基于 PLC 的自动化生产线实训设备设计[J]. 机电工程技术, 2022,51(12):139-144.
- [4]孟祥海. 无线传感器技术在自动化生产线网络系统中的标准化应用[J]. 品牌与标准化, 2022,(05):41-43.
- [5]曹福强, 赵辉, 马永东. 电解铜箔工艺自动化集成及优化[J]. 中国新技术新产品, 2021,(16):69-71. DOI:10.13612/j.cnki.cntp.2021.16.023.
- [6]范迪. 自动化生产线中关键设备的预维护策略研究[J]. 中国设备工程, 2023,(24):70-72.
- [7]毛浓曦, 杨宏智. 自动化生产线上的工人专家[N]. 工人日报, 2023-12-18(005). DOI:10.28277/n.nki.ngrrb.2023.006125.
- [8]黄争艳, 李佳宁, 王顺帆. 工业机器人在冲压自动化生产线中的应用探究[C]//广东省国科电力科学研究院. 第四届电力工程与技术学术交流会议论文集. 广东工贸职业技术学院; 广州黑格智造信息科技有限公司; ,2023:2. DOI:10.26914/c.cnkihy.2023.72069.
- [9]单建勇, 陈峰, 洪哲成. 光伏组件自动化生产线机械设计研究[J]. 黑龙江科学, 2023,14(22):91-93.
- [10]刘园园. 国内首条连续流钻具自动化生产线投产[N]. 科技日报, 2023-11-22(002). DOI:10.28502/n.cnki.nkjrb.2023.006666.



# 可控性低强度材料及其工程应用

黄楠, 许添耀, 张之骋  
台州学院, 浙江 台州 317700

**摘 要 :** 本文通过探讨可控性低强度材料及其工程应用, 旨在推动材料科学的发展。文章首先分析了可控性低强度材料的定义、特性及分类, 再分析了可控性低强度材料的制备技术, 最后探究了可控性低强度材料的工程应用。分析发现, 可控性低强度材料的出现, 不仅是对传统材料性能的一次重要拓展, 更是对未来工程材料发展趋势的一种深刻预见。它们的应用, 不仅能够显著提升产品的安全性、舒适性和耐用性, 还能够促进资源的高效利用和环境的可持续发展。

**关 键 词 :** 可控性低强度材料; 应用; 制备

## Controllable Low-Strength Materials and Their Engineering Applications

Huang Nan, Xu Tianyao, Zhang Zhicheng  
Taizhou University, Taizhou, Zhejiang 317700

**Abstract :** This article explores controllable low-strength materials and their engineering applications to advance the development of materials science. The paper first analyzes the definition, characteristics, and classification of controllable low-strength materials. Then, it examines the preparation techniques of these materials. Finally, it explores the engineering applications of controllable low-strength materials. The analysis reveals that the emergence of controllable low-strength materials not only represents a significant expansion of traditional material properties but also provides a profound foresight into the development trend of future engineering materials. Their applications can not only significantly improve product safety, comfort, and durability but also promote efficient resource utilization and sustainable environmental development.

**Keywords :** controllable low-strength materials; applications; preparation

## 引言

随着科技的飞速发展, 材料科学作为支撑现代工业与科技进步的基石, 正不断涌现出新型、高性能的材料以满足日益复杂多变的工程需求。其中, 可控性低强度材料作为一类新兴的功能性材料, 凭借其独特的性能调控能力与广泛的应用潜力, 正逐渐成为材料科学领域的研究热点。这类材料不仅能够在特定条件下展现出预设的低强度特性, 还能通过科学的配方设计、先进的制备工艺及外部条件调控, 实现强度的精细调节, 从而满足不同领域对材料性能的多样化要求。可控性低强度材料的研究与应用, 不仅丰富了材料科学的内涵, 也为众多工程领域的技术创新提供了强有力的支撑。从航空航天到汽车制造, 从建筑家居到医疗器械, 可控性低强度材料凭借其卓越的减震缓冲、能量吸收、形状记忆等功能特性, 正逐步改变着我们的生活与工作方式。因此, 深入探讨可控性低强度材料的制备技术、性能特点及其工程应用, 对于推动材料科学的发展、促进相关产业的技术进步具有重要意义。

## 一、可控性低强度材料概述

### (一) 定义与特性

可控性低强度材料是指一类在特定条件下, 通过精细调控其成分、结构或制备工艺, 使其展现出预设的低强度特性, 并且这一强度水平在较大范围内可灵活调整的材料<sup>[1,2]</sup>。这类材料不仅具有独特的力学性能, 还融合了多种优越特性(表1)。

表1 可控性低强度材料的特性

特性	具体特性
低强度	相较于传统高强度材料, 可控性低强度材料在预设条件下展现出较低的抗压、抗拉或抗剪等力学性能, 这一特性使其在某些需要柔性、缓冲或吸能的应用中表现卓越。

特性	具体特性
可控性强	其核心特性在于其强度水平的高度可调节性。通过改变材料的配方、制备工艺或环境条件, 能够精确控制材料的强度范围, 实现从极低强度到中等强度的广泛覆盖, 满足不同工程设计的精确需求 <sup>[3]</sup> 。
环保	可控性低强度材料在生产、使用及废弃处理全生命周期中, 均表现出较低的环境影响。这得益于其原材料的可再生性、制备过程的低能耗低排放, 以及废弃后易于回收再利用或自然降解的特性 <sup>[4]</sup> 。
耐久性好	尽管具有较低的初始强度, 但可控性低强度材料往往通过优化结构设计、增强界面结合力或引入特定添加剂等手段, 显著提升其长期使用下的稳定性与耐久性, 确保在复杂多变的环境中保持稳定的性能表现。



## （二）分类

可控性低强度材料可根据不同的分类标准进行划分。从基体材料的角度来看，它们可分为聚合物基可控性低强度材料（如热塑性弹性体、形状记忆聚合物等）、金属基可控性低强度材料（如低屈服点钢、多孔金属材料等）以及陶瓷基可控性低强度材料（如多孔陶瓷、纤维增强陶瓷复合材料等）。此外，还可以根据材料的应用领域进行分类，如航空航天用可控性低强度材料、汽车制造用可控性低强度材料、建筑用可控性低强度材料等。这些分类方式有助于更清晰地理解可控性低强度材料的特性与应用范围。

## 二、可控性低强度材料的制备技术

### （一）制备原理与方法

制备过程首先基于材料性能与应用需求的深入分析，精心挑选原材料，确保每种成分都能对最终材料的低强度与可控性产生积极影响。随后，通过科学计算与实验验证，确定各成分的最优配比，以达到调节材料力学性能、优化微观结构的目的。这一过程需要综合考虑材料的物理性质、化学反应活性及相容性等因素，以实现材料强度的精确调控。

化学反应控制在制备过程中扮演着至关重要的角色。通过精确控制反应温度、压力、时间以及反应物浓度等参数，可以引导化学反应向有利于形成低强度且可控性强的材料结构方向发展。例如，采用溶胶-凝胶法、共沉淀法或化学聚合反应等技术，可以实现分子级别的均匀混合与组装，从而构建出具有特定强度特性的材料结构。此外，化学反应过程中的相分离、成核与生长等动力学过程也需要被精确控制，以确保材料性能的均一性与稳定性。

物理与化学改性方法则是进一步提升材料性能的重要手段。物理改性方法如拉伸、压缩、热处理等，可以改变材料的晶体结构、致密度及缺陷分布，从而影响其强度特性。而化学改性方法则通过引入特定的官能团、进行表面改性或与其他物质发生化学反应，来改变材料的化学组成与表面性质，进而提升其可控性与耐久性。例如，利用交联反应或接枝共聚技术，可以在材料分子链间形成稳定的化学键合，提高其结构稳定性与强度可控性；而表面涂覆或包覆技术则可以有效隔绝外部环境对材料性能的侵蚀作用，延长其使用寿命。

### （二）原材料选择与配比

可控性低强度材料的原材料种类繁多，主要可分为基体材料、改性剂、增韧剂、填充剂等几大类。基体材料作为材料的主体部分，直接决定了材料的基本性质，常见的基体材料包括高分子聚合物、弹性体、合金等。这些材料的选择需根据具体应用场景对强度、韧性、耐候性等方面的要求来确定。改性剂则用于调整材料的微观结构和性能，如提高材料的耐老化性、耐磨性等；增韧剂则能增加材料的柔韧性和抗冲击性；填充剂则可用于降低成本、改善加工性能或赋予材料某些特殊功能。在原材料选择时，还需考虑原材料的纯度、粒径分布、形状等因素，这些因素

都会影响材料的均匀性、力学性能及加工性能。同时，原材料之间的相容性也是选择过程中需要考虑的重要因素，以避免在制备过程中出现分层、剥离等不良现象。

配比设计是指根据材料的性能要求和使用条件，通过科学的计算和实验验证，确定各原材料之间的最佳比例。配比设计需要考虑多个因素，包括基体材料与改性剂、增韧剂、填充剂之间的相互作用关系，以及各成分对材料最终性能的影响程度和权重。在具体操作过程中，首先需要确定基体材料的种类和用量，作为制备过程的基础。然后，根据材料的性能要求，逐步添加改性剂、增韧剂和填充剂，并通过预实验来评估不同配比下材料的性能表现。通过反复调整和优化配比方案，直至获得满足性能要求的可控性低强度材料。配比设计不仅需要理论知识的支撑，还需要大量的实验验证和数据分析<sup>[9]</sup>。在实际操作中，可以利用先进的计算机模拟技术和实验设计方法来加速配比优化过程，提高制备效率和产品质量。

### （三）制备工艺流程

可控性低强度材料的制备工艺流程是一个精细且系统的过程，旨在通过一系列精确控制的步骤，将选定的原材料转化为具有特定性能要求的成品材料。首先，制备过程始于原材料的预处理阶段。这一步骤对于确保后续工艺的稳定性 and 材料的最终性能至关重要。原材料如高分子聚合物、弹性体、合金等，需根据其性质进行清洗、干燥、粉碎或造粒等预处理操作，以去除杂质、调整粒径分布，并增强原料间的混合均匀性。同时，对于某些需改性的原材料，还需进行活化、表面处理等预处理工艺，以提高其与改性剂或其他添加剂的结合能力。接下来是混合与均化阶段。在此阶段，经过预处理的原材料与改性剂、增韧剂、填充剂等添加剂按照预先设计好的配比进行混合。混合过程可采用干法混合或湿法混合，具体取决于材料的特性和工艺要求。为确保混合均匀性，通常会采用高速混合机、捏合机或双螺杆挤出机等高效混合设备，并在混合过程中严格控制温度、时间等工艺参数。通过这一步骤，原材料与添加剂之间实现充分混合，为后续的成型工艺打下基础。随后是成型与固化阶段。在这一阶段，混合均匀的物料被送入成型设备中，通过挤压、注塑、模压或浇注等成型工艺，使物料在模具中定型。成型过程中需严格控制温度、压力、时间等工艺参数，以确保成品的尺寸精度和表面质量<sup>[10]</sup>。对于需要固化的材料，如某些热固性树脂基体材料，还需在成型后进行加热固化处理，使材料分子链间发生交联反应，从而提高材料的力学性能和耐热性。最后，经过成型与固化处理的半成品需进行后处理与检验。后处理包括修边、打磨、抛光等表面处理工艺，以及热处理、老化试验等性能优化工艺。这些处理旨在进一步改善材料的外观质量和性能稳定性。同时，对成品进行全面的质量检验也是不可或缺的环节，包括尺寸测量、力学性能测试、耐候性测试等，以确保产品符合预定的性能指标和使用要求。

### （四）性能测试与评估

性能测试与评估是验证可控性低强度材料性能是否符合预期的重要环节。在实验室制备完成后，需对样品进行全面的性能测试，包括强度测试、韧性测试、耐久性测试、环保性能测试等多

个方面<sup>[7]</sup>。强度测试用于评估材料的抗压、抗拉或抗剪等力学性能；韧性测试则关注材料在受到冲击或变形时的能量吸收能力；耐久性测试则模拟材料在长期使用过程中的性能变化；环保性能测试则评估材料在生产、使用及废弃处理过程中的环境影响。通过这些测试，可以全面了解材料的性能特点与潜在问题，并为后续的配方优化与制备工艺改进提供数据支持。同时，还需将测试结果与预期目标进行对比分析，以评估材料的可控性是否达到设计要求。

三、可控性低强度材料的工程应用

（一）航空航天领域

在航空航天领域，可控性低强度材料的应用极大地提升了飞行器的安全性、舒适性和能效性。例如，作为飞机座椅的缓冲材料，可控性低强度材料能够有效吸收乘客在飞行中遇到的冲击和振动，提升乘坐舒适度；同时，在紧急情况下，这些材料还能在预设条件下降低强度，确保乘客安全疏散。此外，在航天器的着陆系统、隔热层以及太阳能帆板等部件中，可控性低强度材料也发挥着重要作用，通过调节其强度特性以适应极端环境条件，保障航天任务的成功执行。

（二）汽车制造领域

汽车制造是可控性低强度材料应用的另一重要领域。在车身结构设计中，采用可控性低强度材料可以减轻车辆重量，降低燃油消耗，提升车辆的经济性和环保性。同时，这些材料还能在碰撞时有效吸收和分散能量，保护乘客安全。例如，在车门、保险杠等关键部位采用可控性低强度材料制成的吸能结构，可以在发生碰撞时迅速变形并吸收冲击能量，减少乘客受到的伤害。此外，在车内装饰件、隔音材料等方面，可控性低强度材料也因其良好的加工性能和环保特性而受到青睐。

（三）建筑与家居领域

在建筑与家居领域，可控性低强度材料的应用则更加注重其舒适性和环保性。在建筑领域，这些材料可以用于制作隔音隔热材料、抗震减震装置等，提升建筑物的居住舒适度和安全性。例如，在高层建筑的外墙保温系统中采用可控性低强度材料，可以在保证保温效果的同时减轻建筑自重，提高结构稳定性<sup>[9]</sup>。在家居领域，可控性低强度材料则可用于制作床垫、沙发垫等软体家具，提供舒适的坐卧体验；同时，这些材料还具有良好的透气性和防潮性，有助于保持家居环境的干爽和卫生。

（四）其他领域应用

除了上述领域外，可控性低强度材料还在医疗器械、体育用品、电子设备等多个领域得到了广泛应用。在医疗器械方面，这些材料可以用于制作手术缝合线、人工关节等医疗植入物，通过调节其强度特性以适应不同的医疗需求<sup>[10]</sup>。在体育用品方面，可控性低强度材料可用于制作运动鞋底、护具等产品，提升运动员的运动表现和安全性。在电子设备方面，这些材料则可用于制作柔性电路板、可穿戴设备等新兴产品，推动电子产业的创新与发展。

四、结语

综上所述，可控性低强度材料作为一种新型的功能性材料，其独特的性能调控能力与广泛的应用前景，为现代工业与科技的发展注入了新的活力。随着研究的不断深入和技术的持续创新，相信可控性低强度材料将在更多领域展现出其独特的魅力与价值。未来，期待通过跨学科的合作与交流，进一步挖掘可控性低强度材料的潜力，推动其在工程应用中的广泛普及与深入发展。同时，也期待相关政策的支持与引导，为可控性低强度材料的研发与应用营造良好的外部环境，共同推动材料科学的繁荣与进步，为人类社会的可持续发展贡献力量。

参考文献

[1]于薇,于凯丽,赵秀云.可控性低强度材料(CLSM)研究现状[J].居舍,2020,(02):34.  
[2]Ling T C, Kaliyavaradhan S K, Poon C S. Global perspective on application of controlled low-strength material (CLSM) for trench backfilling - An overview [J]. Construction & Building Materials, 2018, 158:535-548.  
[3]Gassman S L, Pierce C E, Schroeder A J. Effects of Prolonged Mixing and Retempering on Properties of Controlled Low-Strength Material (CLSM) [J]. Aci Materials Journal, 2001, 98(2):194-199.  
[4]于凯丽,于薇,赵秀云.浅析 CLSM—可控性低强度材料[J].门窗,2019,(15):231.  
[5]田甜.减水剂对可控性低强度材料流动性的影响研究[J].建材与装饰,2020,(08):53-54.  
[6]张骏,兰思杰,李阳,等.用电石渣、钢渣和煤矸石制备可控性低强度材料[J].环境工程学报,2016,10(04):1967-1972.  
[7]崔旻昊.材料配比与施工环境对可控低强度材料的影响[J].交通科技,2023,(01):98-101.  
[8]郭曙光,张宏,王智远.可控性低强度回填材料性能研究[J].内蒙古公路与运输,2012,(04):10-13.  
[9]柯睦濠,张耀中,赵秀云.可控性低强度材料的研究进展[J].地产,2019,(16):26.  
[10]胡莹,刘笑涵,王靖宇,等.低强度脉冲超声波辐照与泡沫 TiC/Ti对犬节段性骨缺损修复的促进作用[J].中国比较医学杂志,2013,23(04):44-47+56.

# 风浪流不共线对半潜式风机平台水动力性能的影响研究

贺金龙, 焦波

山东交通学院 船舶与港口工程学院, 山东 威海 264209

**摘 要 :** 海上浮式风机是在风、浪、流的共同影响下运行的, 这些载荷往往作用于不同的方向。现有研究通常只考虑风浪流共线情况, 为此本文旨在研究风浪流不共线对浮式风机平台动态响应的影响。以 OC4-DeepCwind 半潜式平台为研究对象, 首先将模拟结果与 FAST 结果进行了对比分析, 验证了数值模型的正确性; 然后讨论了风浪流单个环境载荷与另外两个载荷呈  $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $60^\circ$  和  $90^\circ$  夹角时浮式风机平台的动态响应的变化。结果表明: 风浪流共线时的纵荡运动响应最大; 风浪流不共线对平台纵荡运动响应的影响较大, 对垂荡运动响应的影响很小; 风向角变化对平台运动的影响大于浪向角和流向角。

**关 键 词 :** 风浪流不共线; 海上浮式风机; 半潜式平台; 动态响应

## Effects of Wind-Wave-Current misalignment on the Hydrodynamic Performance of Semi-submersible Platform for Wind Turbine

He Jinlong, Jiao Bo

Naval Architecture And Port Engineering College, Shandong Jiaotong University, Weihai, Shandong 264209

**Abstract :** Floating offshore wind turbines (FOWTs) operate under the combined influence of wind, wave, and current, which often act from different directions on FOWTs. However, the existing studies typically consider wind-wave-current alignment conditions. This paper aims to investigate the effects of wind-wave-current misalignment on the dynamic response of floating wind turbine platforms. For the OC4-DeepCwind semi-submersible platform, the simulation results were first compared with those from FAST to validate the accuracy of the numerical model. Then, the the dynamic response were studied under various scenarios where the single load of wind, wave, and current form angles of  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ , and  $90^\circ$  with two other loads. The results indicate that the surge response is the largest when the wind, wave, and current are misalignment; the misalignment condition has a significant impact on the surge response but a minimal impact on the heave response; and the wind direction angle has a greater influence on platform motion than the wave and current direction angles.

**Keywords :** wind-wave-current misalignment; floating offshore wind turbines; semi-submersible platform; dynamic response

## 引言

随着全球对可再生能源需求的不断增长以及对碳排放的关注日益加深, 改善能源结构是有效应对能源和环境挑战的重要途径。海上风电作为一种清洁、可再生的能源形式, 受到了越来越多国家和地区的重视和广泛应用。海上风能资源比陆上丰富得多, 因为海上风更强劲、更稳定。此外, 还可以减少视觉和噪声的干扰<sup>[1]</sup>。因此各国的研究人员和工程师都在关注能够在深远海运行的漂浮式海上风机的研究<sup>[2]</sup>。

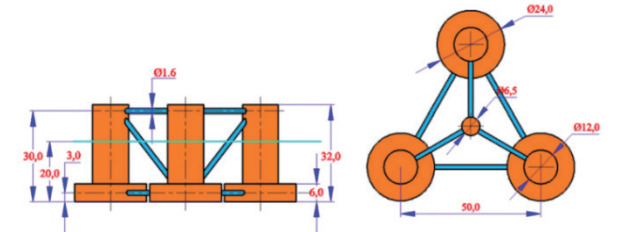
浮式风机系统在真实海洋环境中, 会受到风浪流等载荷的共同作用。值得注意的是, 这些载荷通常是从不同方向作用的<sup>[3]</sup>。风浪的不共线会对浮式支撑平台的运动响应和风机的输出功率产生重大影响。许多学者对此进行了广泛研究。Le 等<sup>[4]</sup>分析了极端条件下风浪不共线的影响, 随着风浪夹角的增大, 最大纵荡值减少 61.8%, 最大横荡值增加 215.4%。Lyu 等<sup>[5]</sup>发现 OC-3 Hywind 平台不同自由度的最大位移取决于来风和波浪方向。在时域分析中, 各自由度下的最大位移 (或转角) 依赖于入射风和波浪的角度: 当入射风浪共线时, 最大位移出现在纵摇方向; 当风浪垂直时, 最大位移 (或转角) 则出现在其他五种自由度运动中。李修赫等<sup>[6]</sup>研究发现风浪不共线对平台的纵荡和横荡运动平衡位置有显著影响。Jia 等<sup>[7]</sup>研究表明风浪出现夹角情况下, 两根系泊缆失效会导致浮式风机平台大幅漂移, 并增加相邻系泊缆的张力。Fitzgerald 等<sup>[8]</sup>的研究表明风浪不共线对浮式风机横向运动响应的幅度有显著影响。在相同的风浪载荷条件下, 当风浪不共线时, 风机位移可增加 400% 以上。Cao 等<sup>[9]</sup>提出了一种新的立柱支撑海上风力机有限元模型, 进一步研究了风浪不共线对平台运动响应的影响, 得出  $90^\circ$  的风浪夹角是最不利的情况。

风浪的不共线对浮式风机系统的疲劳载荷和发电功率等也有重大影响。Barj等<sup>[10]</sup>的研究表明,仅考虑风浪共线的情况会低估立柱式风机塔底的侧向疲劳损伤,因此建议在设计立柱式风机塔架时,需要考虑风浪不共线的情况。Yoshida等<sup>[11]</sup>研究了风浪不共线作用下平台疲劳载荷的变化,发现纵向弯矩是疲劳载荷的主要影响因素。Niranjan等<sup>[12]</sup>研究极端环境条件下的风浪夹角,表明当风浪0°入射时,浮式风机出现最大载荷。Li等<sup>[13]</sup>研究发现风浪错位对发电功率影响较小,但对风机的运动和结构载荷影响较大。Van等<sup>[14]</sup>采用了非线性不规则波浪,研究发现垂直于风向的波浪增加了疲劳损伤积累。基于以上研究可知风浪不共线会显著减少浮式风机的疲劳寿命,因此在设计阶段需要考虑此项因素。

然而现有的研究主要集中在风浪载荷不共线引起的平台运动响应和载荷,没有考虑流的影响。作者在公开发表的文献中,尚未发现有研究来分析风浪流载荷不共线共同作用下平台运动响应特性的影响。因此,本文以OC4-DeepCwind半潜式浮式风机平台为研究对象,利用ANSYS-AQWA软件,研究风浪流载荷不共线工况下的平台运动响应,从而为平台设计和运营提供可靠的技术支持。

## 一、浮式风机主要参数

OC4-5MW海上浮式风机系统由上部的风机、塔架、浮式支撑平台和系泊系统组成。由美国国家可再生能源实验室(National Renewable Energy Laboratory)开发的5WM风机搭载在OC4-DeepCwind半潜式平台<sup>[15]</sup>上,整个系统通过系泊系统定位在海床上。OC4-DeepCwind半潜式平台由三个主偏移舱、一个中间立柱和支撑杆件组成,如图1所示。整个浮式风机系统布置在水深200m的海上。系泊系统由三条悬链线组成,各悬链线之间的角度为120°,系泊线连接在浮动平台上的导缆孔和位于海底的锚点之间。系泊系统增加了浮式平台的刚度,减少了平台的运动。平台及系泊系统参数分别如表1,表2所示。



> 图1 OC4-DeepCwind半潜式平台<sup>[15]</sup>

表1 OC4平台主要参数<sup>[15]</sup>

参数	数值
吃水深度 /m	20
水面上高度 /m	10
浮筒直径 /m	12
浮筒间距 /m	50
浮筒高度 /m	26
压水筒高度 /m	6
压水筒直径 /m	24
中间立柱直径 /m	6.5
横撑和斜撑直径 /m	1.6
基础质量 /kg	$1.3473 \times 10^7$

表2 系泊系统主要特性<sup>[15]</sup>

参数	数值
锚固点水深 /m	200
导缆孔水深 /m	14

参数	数值
中心线至锚固点距离 /m	837.6
中心点至导缆孔距离 /m	40.87
锚链长度 /m	835.5
锚链直径 /m	0.0776
锚链湿重 /(kg/m)	108.6
等效张拉刚度 /N	$7.536 \times 10^8$
拖曳力系数	1.0

## 二、环境载荷

浮式风机系统在复杂的海洋环境中会受到多种载荷的共同作用,这些载荷主要来源于风、浪、流等因素。为了更有效地进行数值分析和计算,我们在此研究中主要聚焦于风、浪、流这三种主要载荷的影响。

### (一) 风载荷

风载荷是浮式风机面临的关键载荷之一,它直接影响风机的旋转载矩和整个结构的稳定性。根据中国船级社海上移动平台入级规范2023,作用在构件上的风力 $F$ 应按照下式计算:

$$F = C_h \cdot C_s \cdot S \cdot P \quad (1)$$

式中: $C_h$ 为受风杆件的高度系数; $C_s$ 为受风杆件形状系数; $S$ 为受风杆件正投影面积; $P$ 为风压。风压 $P$ 应按照下式计算:

$$P = 0.613v^2 \quad (2)$$

式中: $v$ 为风速。

### (二) 波浪载荷

浪载荷对浮式风机也具有显著影响,海浪的冲击和振动对结构的动态响应至关重要。本文研究的浮式风机平台属于大尺度构件,其直径 $D$ 与波长 $L$ 的比值大于0.2,用势流理论和三维辐射/绕射理论确定了作用在平台上的水动力。速度势函数由拉普拉斯方程解得到。考虑速度势,流体流场总的速度势可以写成如下形式:

$$\phi(x, y, z, t) = \phi_I(x, y, z, t) + \phi_D(x, y, z, t) + \phi_R(x, y, z, t) \quad (3)$$

式中: $f_I$ 为入射波速度势; $f_D$ 为绕射波速度势; $f_R$ 为辐射波速度势。



各速度势满足拉普拉斯方程和边界条件。其中流场的速度势 $f(x,y,z,t)$ 满足：

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \tag{4}$$

### （三）流载荷

海水的流动会对浮式风机产生拖曳和侧向力，进而影响其位置稳定性。本文水深为200m，作用在平台水下部分的流载荷 $f$ 为：

$$f = \frac{1}{2} \rho_w C_D A v^2 \tag{5}$$

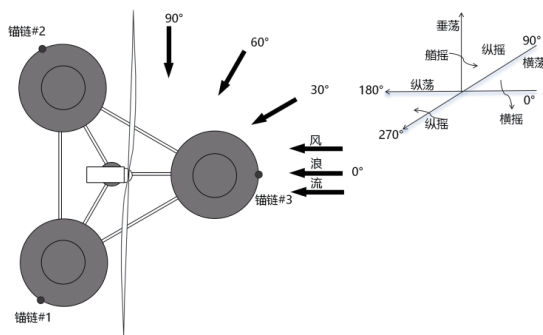
式中： $\rho_w$ 为海水密度； $C_D$ 拖曳力系数； $v$ 为海流流速； $A$ 为构件与流速垂直平面上的投影面积。

### （四）工况设置

本文选取我国南海一年一遇的极端海况，具体参数见表3，采用 NPD 风谱模拟风速变化，选取 JONSWAP 波谱模拟波浪变化。本文设置了四种不同入射夹角，分别为0°、30°、60°和90°。风浪流入射夹角的变化示意图如图2，表4为具体工况设置。

表3 环境条件

参数	数值
风速 /(m/s)	36.3
有义波高 /m	7.3
波浪周期 /s	11.3
流速 /(m/s)	1.13
谱峰因子	3.3



> 图2 风浪流夹角示意图

通过这种设置，使风浪流载荷之间呈现不同的夹角，从而研究这些夹角变化对浮式风机的影响。其中，工况1为风浪流共线，均设置为0°入射，这种设置模拟了最简单的共线情况；工况2、3、4为浪流同向，风向改变；工况5、6、7位风流同向，浪向改变；工况8、9、10为风浪同向，流向改变。

表4 工况设置

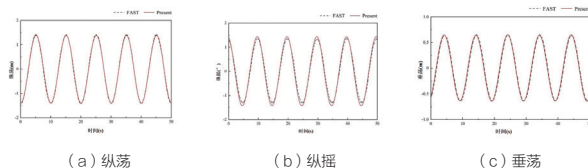
工况编号	风角度 / (°)	浪角度 / (°)	流角度 / (°)
1	0	0	0
2/3/4	30/60/90	0	0
5/6/7	0	30/60/90	0
8/9/10	0	0	30/60/90

## 三、平台运动响应分析

本文基于势流理论，利用 ANSYS-AQWA 软件对半潜式浮式风机平台在不同风浪流角度下进行水动力分析。仿真的总运行时间为2000s，时间步长设定为0.1s。平台的运动从纵荡、纵摇和垂荡响应进行分析。

### （一）模拟方法验证

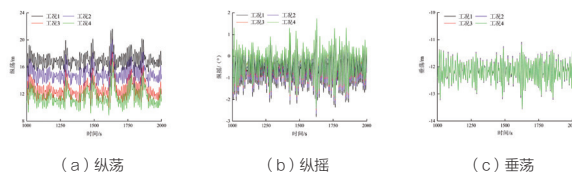
为了验证数值模型的准确性，将模拟计算结果与 FAST 的结果<sup>[16]</sup>进行对比分析，结果如图3所示。从图中可以看出平台纵荡和垂荡运动的数值模拟结果与 FAST 结果十分吻合。纵摇运动的振幅略高于 FAST 结果，误差范围约为 5%。总体而言，平台的时域运动响应分布与 FAST 结果较为吻合。



> 图3 数值模拟结果和 FAST 结果比较分析图

### （二）风和浪流夹角对平台运动响应特性的影响

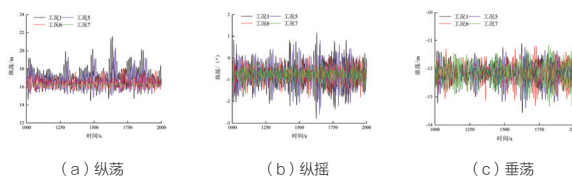
由图4可知，工况1、2、3、4风向角增大对平台的纵荡运动响应影响较明显，对纵摇运动影响较小，垂荡运动基本没有受到风与浪流夹角的影响。风浪流共线时的纵荡运动位置达最大，振荡范围变化达7.15m。风向角从0°到90°平台纵荡运动变化明显，纵荡最大值分别减小了1.55m、3.38m、4.27m。随风向角增大，纵荡、纵摇运动响应位置逐渐减小。



> 图4 风变工况下平台运动响应分析图

### （三）浪和风流夹角对平台运动响应特性的影响

本节研究了风流同向，不同角度的浪作用下平台的运动响应。由图5可知，工况1、5、6、7浪向角增大对平台的纵荡运动响应相比于风向角变化的影响较小，对纵摇运动有一定的影响，对垂荡运动的影响不是很明显。随浪向角度的增大，纵荡、纵摇运动响应位置减小，垂荡运动响应位置变化不明显。浪向角从0°到90°纵荡最大值分别减小了1.26m、3.51m和5.18m，振荡范围变化达6.76m。浪向角从0°到90°纵摇运动最大值分别减小了0.32°、1.03°和1.15°。



> 图5 浪变工况下平台运动响应分析图

### （四）流和风浪角对风机平台运动响应特性的影响

本节研究了风浪同向，不同角度的流作用下平台的运动响

应。风浪共线且沿 x 轴正方向  $0^\circ$  入射。由图6可知, 工况 1、8、9、10 流与风浪夹角增大对平台的纵荡运动影响较大, 对纵摇和垂荡影响不明显。流与风浪夹角从  $0^\circ$  到  $90^\circ$  纵荡运动位置变化明显, 最大值分别减小了 1.01m、3.56m 和 4.32m。

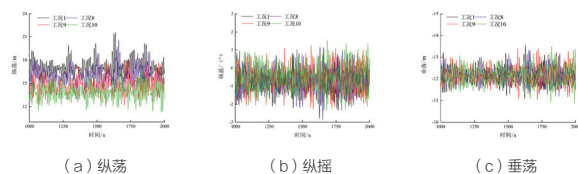


图6 流变工况下平台运动响应分析图

## 四、结论

本文以 OC4-DeepCwind 半潜式浮式风机平台为研究对象,

利用 ANSYS-AQWA 软件建立浮式风机系统模型。选取我国南海极端海况进行时域分析, 首先将计算结果与 FAST 进行了比较, 验证了数值模型的准确性; 其次研究了在风浪流联合作用下, 单个环境载荷变化  $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $60^\circ$  和  $90^\circ$  对浮式风机平台的运动响应的影响, 得出的结论如下:

(1) 风向角增大对平台的纵荡运动响应影响较明显, 对纵摇运动影响较小, 垂荡运动基本没有受到风与浪流夹角的影响。

(2) 浪向角增大对平台的纵荡运动响应相比于风向角变化的影响较小, 对纵摇运动有一定的影响, 对垂荡运动的影响不是很明显。

(3) 流与风浪夹角增大对平台的纵荡运动影响较大, 对纵摇和垂荡影响不明显。风浪流共线时的纵荡运动位置最大。

## 参考文献

- [1] XU S, XUE Y J, ZHAO W W, et al. A Review of High-Fidelity Computational Fluid Dynamics for Floating Offshore Wind Turbines [J]. Journal of Marine Science and Engineering, 2022, 10(10): 1357.
- [2] EDWARDS E C, HOLCOMBE A, BROWN S, et al. Trends in floating offshore wind platforms: A review of early-stage devices [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2024, 193: 114271.
- [3] FISCHER T, RAINEY P, BOSSANYI E, et al. Study on control concepts suitable for mitigation of loads from misaligned wind and waves on offshore wind turbines supported on monopiles [J]. 2011, 35(5): 561-573.
- [4] LE C H, ZHANG J, DING H Y, et al. Preliminary Design of a Submerged Support Structure for Floating Wind Turbines [J]. Journal of Ocean University of China, 2020, 19(6): 1265-1282.
- [5] LYU G, ZHANG H, LI J. Effects of incident wind/wave directions on dynamic response of a SPAR-type floating offshore wind turbine system [J]. Acta Mechanica Sinica, 2019, 35: 954-963.
- [6] 李修赫, 朱才朝, 谭建军, 等. 风浪不共线对浮式风机基础动态特性影响研究 [J]. 振动与冲击, 2020, 39(13): 230-237.
- [7] JIA W Z, YUE M N, MIAO W P, et al. Dynamic analysis of a 5 MW Barge-type FOWT with two-mooring failure of wind-wave misalignment scenarios [J]. Ocean Engineering, 2023, 285: 115456.
- [8] FITZGERALD B, MCAULIFFE J, BAISTHAKUR S, et al. Enhancing the reliability of floating offshore wind turbine towers subjected to misaligned wind-wave loading using tuned mass damper inerters (TMDIs) [J]. Renewable Energy, 2023, 211: 522-538.
- [9] CAO G W, CHEN Z X, WANG C L, et al. Dynamic responses of offshore wind turbine considering soil nonlinearity and wind-wave load combinations [J]. Ocean Engineering, 2020, 217: 108155.
- [10] BARJ L, JONKMAN J M, ROBERTSON A, et al. Wind/wave misalignment in the loads analysis of a floating offshore wind turbine [C] // Proceedings of 32nd ASME wind energy symposium. USA, 2014.
- [11] YOSHIDA S, UTSUNOMIA T. Effects of Wave- Wind Directional Misalignment on Dynamic Characteristics and Fatigue Loads of Spar- type Floating Offshore Downwind Turbine [C] // Proceedings of Japan society of Mechanical Engineering (JSME) Fluids Engineering Conference. Japan, 2010.
- [12] NIRANJAN R, RAMISETTI S B. Insights from detailed numerical investigation of 15 MW offshore semi-submersible wind turbine using aero-hydro-servo-elastic code [J]. Ocean Engineering, 2022, 251: 111024.
- [13] LI X, ZHU C, FAN Z, et al. Effects of the yaw error and the wind-wave misalignment on the dynamic characteristics of the floating offshore wind turbine [J]. Ocean Engineering, 2020, 199: 106960.
- [14] VAN DER MEULEN M B, ASHURI T, VAN BUSSEL G J, et al. Influence of nonlinear irregular waves on the fatigue loads of an offshore wind turbine [C] // Proceedings of The science of making torque from wind. Germany, 2012.
- [15] ROBERTSON A, JONKMAN J, MASCIOLA M, et al. Definition of the semisubmersible floating system for phase II of OC4 [R]: National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2014.
- [16] ROBERTSON A, JONKMAN J, Vorpahl F, et al. Offshore code comparison collaboration continuation within IEA wind task 30: Phase II results regarding a floating semisubmersible wind system [C] // Proceedings of The International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. USA, 2014.

# PW1100G 发动机 LP35 滑油管接头失效分析

师多应<sup>1</sup>, 崔珂<sup>2</sup>, 武汉英<sup>3</sup>

1. 北京航空有限责任公司, 北京 100621

2. 中国国际货运航空股份有限公司机务维修工程部, 北京 101318

3. 北京飞机维修工程有限公司工程部, 北京 100621

**摘 要 :** PW1100G 发动机 LP35 管管接头漏油在世界机队造成多起发动机空中停车事件, 本文通过对案例进行失效分析, 并根据失效原因介绍了厂家管路设计改进方向。

**关 键 词 :** PW1100G; LP35 管接头; 失效分析

## Failure Analysis of LP35 Oil Tube Adapter in PW1100G Engine

Shi Duoying<sup>1</sup>, Cui Ke<sup>2</sup>, Wu Hanying<sup>3</sup>

1. Beijing Airlines Co., Ltd. Beijing 100621

2. Air China Cargo Co., Ltd. Maintenance Engineering Department, Beijing 101318

3. Engineering Department of Beijing Aircraft Maintenance Engineering Co., Ltd. Beijing 100621

**Abstract :** The oil leakage of the PW1100G engine's LP35 oil tube adapter fitting has caused multiple in-flight shutdown events in the global fleet. This paper analyzes the failure cases and introduces the improvement directions for the manufacturer's oil tube design based on the causes of failure.

**Keywords :** PW1100G; LP35 adapter fitting; failure analyzes

## 引言

PW1100G-JM 发动机, 通常简称 PW1100G 或 PW1100, 是由普惠公司研发的新一代发动机, 也称为齿轮传动风扇发动机 (Geared Turbofan Engine, 简称 GTF)。这款发动机是空中客车 A320neo 系列飞机的选装动力, 该系列飞机是 120 到 200 座位级别的最新型飞机, 在民航客机市场中需求最大。在约 3, 800 架 A320neo 系列飞机的已确认订单中, 约一半的飞机选择了 PW1100G-JM 发动机。

PW1100G 发动机的推力范围在 24,000 到 33,000 磅 (107 千牛顿到 147 千牛顿) 之间, 是一款轴流、双转子涡扇发动机, 拥有超高的涵道比和低速齿轮驱动风扇。这种独特的设计使得 PW1100 发动机在提供强大动力的同时, 保持了高效、环保的性能。

PW1100 发动机采用了先进的涡扇技术, 其风扇直径增至 4.4 米, 比传统的涡扇发动机增大了近 30%。它运用了创新的齿轮传动风扇技术, 通过低压转子轴上的齿轮系统, 有效地传递发动机旋转力至风扇, 从而显著提升燃油效率和降噪效果。与传统的涡扇发动机相比, PW1100 在燃油效率上提升了 16%, 噪音降低了 60%, 并且显著减少了二氧化碳与氮氧化物的排放。其紧凑的设计和轻量化特性, 使该发动机成为航空领域的优选动力方案之一。

截止 2023 年底, 中国民航有 11 家航空公司运行了约 200 架空中客车 A320neo 系列飞机。

## 一、背景介绍

2023 年, PW1100G 发动机世界机队频繁出现 LP35 滑油管路接头松动导致滑油突发泄露问题, 造成发动机空中停车事件, 严重影响飞行安全。

2023 年 7 月 4 日, 国内某航空公司执行北京至贵阳航班, 飞机下降阶段机组发现二号发动机滑油量下降到零, 驾驶舱出现

“LOP ECAM”警告。机组执行空中关停发动机, 飞机备降重庆。飞机落地后, 地面检查发现二号发动机角齿轮箱上连接的 LP35 滑油压力管发生滑油泄漏, 二号发动机拆下送修。

为预防空中停车事件的重复发生, 航空公司工程技术部门要求对公司机队 LP35 滑油压力管接头和角齿轮箱 / 主齿轮箱端壳体螺纹进行普查; 其次, 按照普惠公司新颁发的 SB 79-0034 要求, 每 1000 飞行循环重复执行 LP35 滑油压力管接头力矩检查<sup>[1]</sup>; 另

外,中国民航局要求每750飞行小时对LP35滑油压力管接头是否存在间隙进行详细目视检查<sup>[2]</sup>。

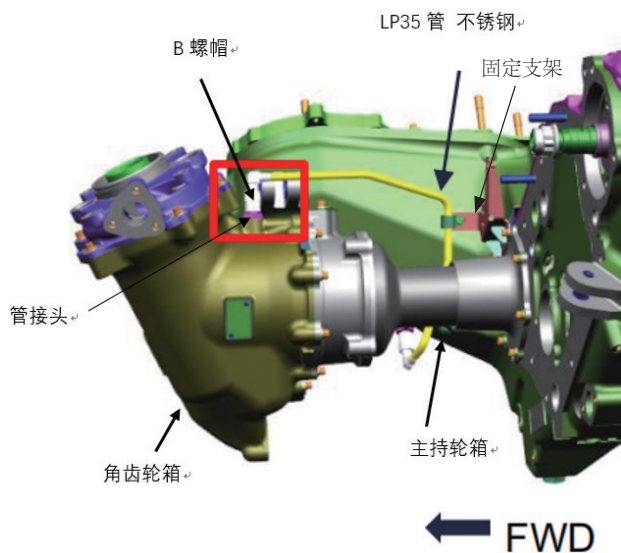
由于LP35滑油压力管滑油泄漏突然且滑油泄漏速度快,目前尚无有效的监控手段,只能依赖机组在空中关注发动机滑油量,当发动机滑油量出现异常下降情况时,建议机组油门收到慢车位以减缓滑油泄漏速度,同时考虑就近机场着陆。

基于以上案例处置,本文通过对PW1100G发动机空中停车事件的调查和分析,并根据LP35滑油压力管路接头失效原因介绍厂家管路设计改进方向。

## 二、LP35滑油压力管路接头失效原因分析

### (一) LP35管和管路接头介绍

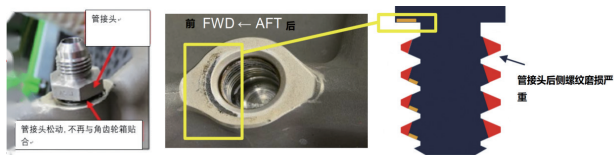
LP35管是PW1100G发动机上连接在主齿轮箱(Main Gear Box)和角齿轮箱(Angle Gear Box)之间,由主齿轮箱向角齿轮箱提供滑油的压力油管<sup>[3]</sup>。在主齿轮箱和角齿轮箱两端,LP35滑油压力管通过B螺帽和管接头,分别连接到主齿轮箱和角齿轮箱的壳体上<sup>[4-5]</sup>。此外,为了增加滑油管路的稳定性,在靠近主齿轮箱端安装了一个支架对LP35滑油压力管进行固定,如图1所示:



> 图1: LP35滑油压力管连接方式

### (二) LP滑油压力管管路接头失效原因分析

LP35滑油压力管管路接头漏油案例集中在靠近角齿轮箱端,空中停车调查发现:滑油漏油管路接头与角齿轮箱壳体接口存在间隙,分解壳体接口后发现角齿轮箱壳体螺纹和管接头螺纹上均有非对称损伤,且管接头后侧螺纹磨损更严重<sup>[6]</sup>,如图2所示。

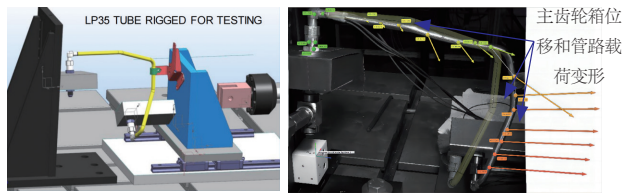


> 图2: LP35滑油压力管AGB端壳体和管接头螺纹损伤示意图

考虑飞机运行中PW1100发动机的工况:发动机运转时的机械振动、发动机工作温度、LP35滑油管安装位置等原因将使得主

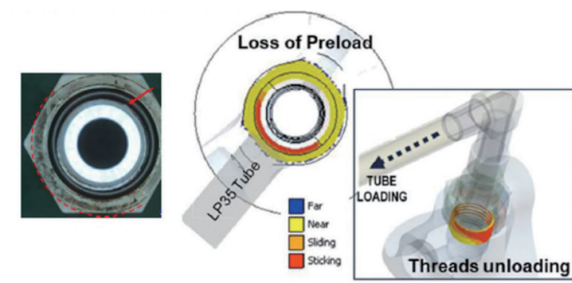
齿轮箱与角齿轮箱存在相对位移,导致LP35滑油压力管和管接头承受沿管路方向的拉应力,相关位移与管路变形见厂家模拟实验图<sup>[7]</sup>,如图3所示。

由于LP35滑油压力管固定支架安装在主齿轮箱(MGB)一端,因此,LP35滑油压力管主齿轮箱端管接头受力要远小于角齿轮箱端,这也是漏油主要发生角齿轮箱端的一个重要原因。



> 图3: 发动机运行期间主齿轮箱位移和LP35管载荷变形示意图

LP35滑油压力管角齿轮箱端管路接头与壳体之间采用O型密封圈进行密封,管路接头与壳体之间的预紧力能确保密封圈按要求固定。但是,在发动机运转过程中会出现LP35管拉应力大于预紧力,这时管路接头螺纹就会与角齿轮箱壳体螺纹之间出现前后位移,发动机长期工作后会造成前后螺纹损伤,螺纹损伤达到一定程度会出现管路接头预紧力突然丢失,进而导致管路接头密封失效,LP35滑油压力管滑油泄漏,如图4所示。



> 图4: 角齿轮箱端LP35滑油压力管路接头前后螺纹受力示意图

## 三、LP滑油压力管管路接头失效改进措施

根据PW1100发动机LP35滑油压力管路接头失效原因分析,我们可以从增大角齿轮箱端管路接头预紧力和减少LP35滑油压力管所承受的拉应力两个方向去解决该问题,具体如下:

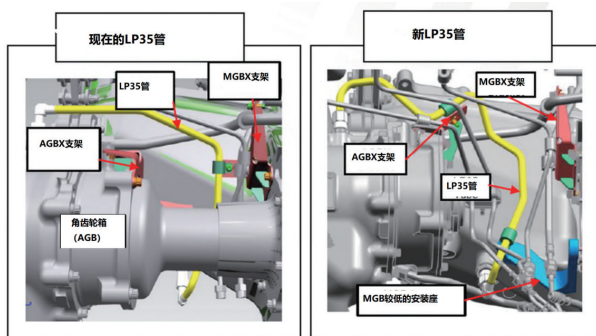
(一) 增大角齿轮箱端管路接头预紧力,该措施能够抵抗发动机运转时LP35滑油压力管拉应力造成的接头螺纹相对运动,减少管路接头螺纹损伤<sup>[8-9]</sup>。

在工程实践中,由于该角齿轮箱管接头接近困难,空中客车给出了在不断开LP35管路接头的情况下,使用特殊工具对与管路接头相连的B螺帽力进行力矩检查,并增大其磅紧力矩,用于实现增加管路接头与角齿轮箱壳体间预紧力目的。

(二) 改变LP35滑油压力管路布局,减少发动机运转时LP35管路载荷对角齿轮箱端管路接头的拉应力<sup>[10]</sup>。

目前,空中客车正在考虑从两个方向来减少发动机运转过程中LP35管对角齿轮箱端管路接头的拉应力:其一,增加LP35滑油压力管弯度,降低LP35滑油压力管刚性;其二,在调整主齿轮箱(MGB)端固定支架位置,增加角齿轮箱(AGB)端管路支架。如图5所示。





> 图5 新的 LP35 滑油压力管路设计图

## 四、结语

发动机滑油系统直接影响到发动机正常运转和飞机安全运行。发动机滑油管路设计必须充分考虑发动机在工作状态下管路连接部件之间可能出现位移的影响，本文通过对 LP35 滑油压力管路接头漏油案例进行失效分析，并根据失效原因介绍了厂家对于管路设计的改进方向，厂家给出的改进方案能否彻底解决 LP35 滑油压力管路接头漏油问题，后期还需通过实施改装后的运行数据进一步验证。

## 参考文献

- [1]PW1000G-79-00-0034 Rev.3, Issue Date 2024-07-16, 普惠服务通告 PW1000G-79-00-0034 Rev.3, 2024 年 7 月 16 日颁发.
- [2]《PW1100G 发动机 LP35 管接头漏油》维修警示信息 (编号: MAI-2023-007), 中国民用航空局飞行标准司 2023 年 7 月 11 日颁发.
- [3]PW1100G-JM Series Engine Manual (EM), Part No.5316992, 普惠 PW1100G-JM 系列发动机手册.
- [4]PW1100G-JM Series Engine Illustrated Parts Data (EIPD), PN 5316995, 普惠 PW1100G-JM 系列发动机零部件手册.
- [5]PW1100G-JM Series Power Plant Illustrated Parts Data (PIPD), Part No.5323695, 普惠 PW1100G-JM 系列动力装置零部件手册.
- [6]PW100G Customer Council Call, 空中客车客户委员会电话会议纪要 2021 年出版.
- [7]PW1100G Conference, 空中客车会议纪要 2022 年出版.
- [8]PW100G Customer Council Call, 空中客车客户委员会电话会议纪要 2023 年出版.
- [9]PW1000G-79-00-0033 Rev.003 Issue Date:2023-12-13, 普惠服务通告 PW1000G-79-00-0033 Rev.003, 2023 年 12 月 13 日颁发.
- [10]PW1100G-72-00-0236 Rev.002 Issue Date:2024-10-09, 普惠服务通告 PW1100G-72-00-0236 Rev.002 2024 年 10 月 9 日颁发.

# 天然气输气管道的防腐技术与长期可靠性研究

崔永生

中石化江汉油建工程有限公司, 湖北 潜江 433123

**摘 要：** 天然气输气管道的长期安全运行与防腐技术密切相关，腐蚀问题是影响管道寿命与可靠性的主要因素。本文针对天然气输气管道的防腐技术现状进行了分析，探讨了管道在长期运行中存在的腐蚀问题，并阐述了防腐技术在提升管道长期可靠性中的不足与挑战。结合创新防腐材料及工艺的发展，提出了具体的改进措施及优化途径。文章对未来防腐技术的发展前景进行了展望，强调了智能化、环保化和高效化防腐技术的潜力和应用方向。

**关 键 词：** 天然气管道；防腐技术；腐蚀问题；阴极保护；可靠性

## Research on Anti-corrosion Technology and Long-term Reliability of Natural Gas Transmission Pipelines

Cui Yongsheng

Sinopec Jiangnan Oilfield Construction Engineering Co., Ltd. Qianjiang, Hubei 433123

**Abstract：** The long-term safe operation of natural gas transmission pipelines is closely related to anti-corrosion technology, and corrosion issues are the main factors affecting pipeline lifetime and reliability. This article analyzes the current status of anti-corrosion technology for natural gas transmission pipelines, explores the corrosion problems that exist during long-term operation, and elucidates the deficiencies and challenges of anti-corrosion technology in improving the long-term reliability of pipelines. Combining the development of innovative anti-corrosion materials and processes, specific improvement measures and optimization approaches are proposed. The article provides an outlook on the development prospects of future anti-corrosion technology, emphasizing the potential and application directions of intelligent, environmentally friendly, and efficient anti-corrosion technology.

**Keywords：** natural gas pipeline; anti-corrosion technology; corrosion problem; cathodic protection; reliability

### 引言

天然气输气管道是能源输送的关键设施，其腐蚀问题直接影响管道的运行安全和寿命。随着天然气需求的增加，长距离管道的铺设和使用对防腐技术提出了更高要求。目前，传统防腐涂层和阴极保护技术虽取得一定成效，但在复杂环境中仍存在不足。本文通过分析天然气输气管道腐蚀问题，探讨防腐技术的发展现状、应用挑战及改进措施，旨在为提高管道的长期可靠性提供参考，同时展望未来防腐技术的创新方向。

### 一、天然气输气管道防腐技术的发展与应用现状

天然气输气管道作为能源运输的重要基础设施，其安全与稳定运行对国民经济发展至关重要。在管道的长期运营过程中，腐蚀问题是影响其安全性和寿命的主要威胁，因此防腐技术的研究与应用显得尤为重要。近年来，随着天然气需求量的增长以及长输管道的不断铺设，防腐技术得到了快速发展并在实际工程中广泛应用。目前，管道防腐主要包括内外防腐涂层和阴极保护两大类技术。外防腐涂层是最为常用的措施之一，通过在管道外壁形成一层致密的防护膜，阻止外界腐蚀介质与管壁直接接触，以此达到防腐的目的<sup>[1]</sup>。其中，三层聚乙烯（3PE）涂层、熔结环氧粉末涂层和聚氨酯涂层等高性能涂料因其优异的耐蚀性能和粘附性

被广泛采用。同时，管道内防腐也逐渐受到重视，内壁涂层能够有效减少流体与管壁的摩擦，防止介质中的水分和酸碱物质对管道的侵蚀。

与此同时，阴极保护作为一种电化学防腐技术，也在长输管道中得到广泛应用。该技术通过外加电流或牺牲阳极将管道金属表面的电位降低至钝化区域，从而抑制管道的电化学腐蚀行为。外加电流阴极保护系统由于能够实现电流的可控性，常用于长距离输气管道的保护。而在一些短距离或难以接通外加电流的区域，牺牲阳极阴极保护因其结构简单、安装方便的优势被广泛应用<sup>[2]</sup>。此外，防腐材料性能的不断提升和防腐工艺的优化，为防腐技术的推广应用提供了更大的空间。在实际工程中，通常采用多种防腐措施的组合，以充分发挥各自的优势，达到最佳的防腐效果。

## 二、天然气输气管道长期运行中的腐蚀问题探析

天然气输气管道在长期运行中，受到各种内外因素的影响，腐蚀问题难以避免。管道腐蚀主要源于其所处的复杂环境，既包括外部土壤、水分、温度和氧化剂等侵蚀作用，也涉及管道内部介质对金属的腐蚀。外部腐蚀主要发生在管道与土壤或大气环境的接触面，由于土壤中的水分、酸碱性、电解质以及微生物的存在，腐蚀速度和形态各异。土壤的导电性也会影响管道的电化学腐蚀速率，使得一些区域的管道更容易发生局部腐蚀，形成点蚀、坑蚀等问题，严重时可导致管道穿孔，危及输气安全。

内部腐蚀则与输送的天然气介质密切相关，天然气中可能含有的水分、硫化氢、二氧化碳和氯离子等成分在特定条件下会与管道内壁发生化学反应，产生腐蚀<sup>[9]</sup>。含水量较高的天然气在输送过程中容易形成水膜，水膜中的溶解氧及酸性气体成分与金属发生反应，促使腐蚀加速。而当硫化氢浓度较高时，酸性腐蚀会导致管道内壁迅速受损。二氧化碳腐蚀则会在管道表面形成碳酸盐沉积物，使腐蚀形态呈现出均匀或局部坑蚀。在长输管道中，温度和压力的波动也加剧了腐蚀问题。温度升高会加速腐蚀反应速率，同时压力变化可能导致管道表面局部的微裂纹或应力集中，使腐蚀更易在这些部位发生，形成应力腐蚀开裂。应力腐蚀不仅削弱了管道的强度，也增加了其在恶劣环境下运行的风险。此外，管道焊接处由于焊缝的金属组织与管道母材存在差异，也成为腐蚀的高发区域<sup>[4]</sup>。焊缝的电化学特性不同于母材，容易在焊缝与母材之间形成电偶腐蚀，加之焊接过程中可能产生的应力集中，使得焊缝区域更易受到腐蚀损伤。

天然气输气管道的长期运行暴露了腐蚀问题的复杂性和多样性，这些问题直接关系到管道的安全性、可靠性以及使用寿命。随着管道的运行时间增加，腐蚀问题积累，防腐措施的效果可能减弱，因此对管道腐蚀机理的深入研究以及防腐技术的改进与完善，显得尤为重要。有效识别和监测腐蚀问题，合理选择防腐材料与技术，是确保管道长期稳定运行的关键。

## 三、防腐技术在管道长期可靠性中的不足与挑战

防腐技术在天然气输气管道中虽然已取得显著成效，但在确保管道长期可靠性方面仍面临诸多不足与挑战。管道外防腐涂层是目前最常见的保护手段之一，但由于涂层材料的老化、机械损伤和施工缺陷，往往会导致防护效果减弱。随着时间推移，涂层可能出现开裂、剥离等问题，使管道直接暴露在腐蚀环境中<sup>[6]</sup>。同时，在施工过程中，如果涂层未能均匀覆盖，或者存在附着力不足等缺陷，则容易在管道局部形成涂层空洞、鼓泡，导致局部腐蚀加剧。此外，土壤中的微生物也可能侵蚀涂层，影响其防护性能。

阴极保护技术作为防腐的主要手段之一，虽然在减缓电化学腐蚀方面效果显著，但也存在着适用范围和性能稳定性的限制。在一些高电阻土壤环境中，阴极保护的电流传递效果较差，导致保护作用不充分。同时，阴极保护系统的设计和维护要求较高，牺牲阳极的消耗速度、外加电流的调节等都直接影响系统的有效

性和寿命。如果维护不当，可能出现电位过保护或欠保护的情况，造成金属表面氢脆或腐蚀点的形成。此外，管道沿线地形复杂，可能存在干扰源，如高压电线、交叉输油管等，均会影响阴极保护系统的工作效率。

在实际应用中，管道的复杂环境也对防腐技术提出了更高要求。长距离输气管道穿越不同地质和气候条件，管道埋深、沿线水文环境、地质活动等多重因素，都会影响防腐措施的有效性。例如，在寒冷地区，地下水的冻融循环可能加速涂层老化；在强酸性土壤中，腐蚀速度更快，现有的防腐材料难以长期承受腐蚀压力<sup>[10]</sup>。此外，管道在运营中还可能受到机械应力、地质应力的影响，这些应力与腐蚀作用叠加，使应力腐蚀开裂成为难以解决的问题。

面对上述挑战，防腐技术在提升长期可靠性方面需不断创新与改进，包括选择更高性能的防腐材料，优化涂层的施工工艺，完善阴极保护系统的设计与维护，并采用更为先进的腐蚀监测手段，实现对管道腐蚀状态的实时监测和早期预警。只有通过多措并举，系统化地解决现有防腐技术的不足，才能确保天然气输气管道在长期运行中的安全性和可靠性。

## 四、创新防腐技术的实践与优化途径

在天然气输气管道的长期运行中，为解决传统防腐技术的不足，创新防腐技术的研发和实践成为保障管道安全的重要途径。近年来，防腐材料和工艺的不断革新为管道的防腐性能提升提供了有力支持。高性能涂层材料的应用是当前技术创新的重点之一。例如，基于纳米技术的改性涂层因其在耐磨损、抗渗透和自修复方面的优异性能，逐渐被应用于管道外防腐层。同时，聚脲涂层、环氧陶瓷涂层等新型材料的开发，使得防腐涂层在强度、耐候性和附着力上都有显著改善，进一步提高了管道的防腐能力和使用寿命。

工艺方面，涂层施工的优化也对防腐效果起到关键作用。为确保涂层均匀性和附着力，喷涂技术的不断升级，包括高压无气喷涂和热喷涂等技术的发展，使涂层能够更有效地覆盖管道表面，减少空隙和缺陷<sup>[6]</sup>。此外，一些自修复涂层技术也在防腐领域崭露头角。这种涂层在受到外界损伤时，能够通过内部微胶囊或纤维的化学反应，实现自动愈合，阻断腐蚀介质对管道金属的侵蚀，延长管道的使用寿命。在阴极保护技术方面，针对传统阴极保护系统的不足，智能化阴极保护系统逐渐应用于长输管道。该系统通过对管道表面电位的实时监测，实现阴极保护电流的自动调节，使其始终处于最佳保护状态。通过物联网技术的引入，阴极保护系统可以远程监控并及时发现潜在问题，极大提高了维护效率和保护效果。同时，牺牲阳极材料的改良和外加电流源的优化，使阴极保护的作用范围更广、效果更稳定。

为了全面提升防腐技术的效果，先进的防腐监测和诊断技术也被广泛引入。通过对管道的腐蚀速率、涂层状态以及阴极保护效果的在线监测，可以及时获取管道的腐蚀信息，为防腐措施的调整提供数据支持。如声发射技术、脉冲电流检测技术以及管道外检测机器人等，均可实现对管道腐蚀状态的高效监测和诊断。这些新技

术的综合应用，为管道的防腐保护提供了更科学、更可靠的保障手段<sup>[7]</sup>。创新防腐技术的实践与优化途径主要体现在新材料的研发、涂层施工工艺的优化、智能化阴极保护系统的应用以及先进监测技术的引入。这些技术的综合应用，不仅显著提高了天然气输气管道的防腐效果，也为管道的长期运行安全提供了更加稳固的保障。通过持续的技术创新与优化，天然气输气管道的防腐性能必将得到进一步提升，实现更高水平的安全性与可靠性。

## 五、防腐技术的改进措施在管道寿命延长中的成效

防腐技术的改进在天然气输气管道寿命的延长中发挥了显著作用。近年来，通过对防腐涂层材料和工艺的升级，以及阴极保护系统的优化，管道的防腐性能得到了明显提升。新型防腐涂层材料，如环氧树脂、聚脲和纳米复合涂层等，在耐腐蚀性、抗磨损性和附着力方面表现出卓越性能。这些材料在实际应用中，显著减少了管道外壁的腐蚀程度。高分子聚合物涂层的高致密性阻止了水分和氧化剂的渗透，从而有效防止了外部腐蚀介质对管道金属的侵蚀<sup>[8]</sup>。经过改进的涂层工艺，如热喷涂和高压无气喷涂技术，使得涂层更加均匀和致密，进一步提升了防护效果。

阴极保护技术的改进也为管道寿命延长提供了重要保障。智能化阴极保护系统通过实时监测管道表面的电位变化，能够自动调节保护电流，使管道金属始终处于最佳防护状态。这种动态调节机制有效避免了过保护和欠保护现象，减少了管道表面产生氢脆或局部腐蚀的风险。阴极保护系统的合理配置与优化，不仅提升了防腐效果，还显著降低了维护成本，延长了管道的使用周期。牺牲阳极材料的改进，如使用镁合金和锌合金等新型材料，进一步增强了阴极保护的稳定性和持久性，使得管道在恶劣环境下的耐腐蚀能力大幅提升。

为了确保防腐措施的长期有效性，腐蚀监测技术也得到了加强。声发射、超声波检测、涂层厚度测量等多种监测手段在管道运营中得以应用，实现了对腐蚀状态的精准把控。这种实时监测为管道防腐措施的调整和维护提供了科学依据，确保在腐蚀风险发生前及时采取应对措施，避免管道遭受不可逆的损害<sup>[9]</sup>。此外，针对不同环境的腐蚀特点，个性化的防腐策略也得到了推广。例如，在湿度较高或酸性土壤中，采取多层复合涂层和加强阴极保护的组合措施，取得了良好的防护效果。这种因地制宜的防腐措施有效减缓了管道的腐蚀速率，延长了管道的使用寿命。改进后的防腐技术在实际工程中表现出明显成效。多项应用实例显示，改进后的防腐措施能够使管道的腐蚀速率显著降低，管道的整体完好率和运行可靠性大幅提高。

## 六、未来天然气输气管道防腐技术的发展前景

未来天然气输气管道防腐技术的发展将朝着智能化、高效化和环保化方向迈进。随着科学技术的进步，防腐材料的性能将不断提升，纳米技术和复合材料在防腐领域的应用前景广阔。纳米涂层材料由于其独特的微观结构，能够显著提高涂层的致密性、

耐蚀性和自修复能力，为管道提供更长效的保护。同时，复合材料的开发和应用将实现涂层材料的多功能化，不仅具备传统的防腐功能，还可增加耐磨、耐高温、抗冲击等特性，满足不同工况下管道的防护需求。

在阴极保护方面，智能化技术将进一步提升其效能。通过物联网、大数据和人工智能的结合，可以对管道的阴极保护系统进行在线监测和智能化控制，实现对管道电位的精准调节，确保防腐系统的稳定运行<sup>[10]</sup>。同时，牺牲阳极的材料改进和外加电流保护系统的优化，将为阴极保护提供更持久、更稳定的防护效果。未来的阴极保护系统将趋向于自动化、远程化和实时化，大幅提升管道的防腐能力和维护效率。

绿色环保型防腐材料的研发也是未来的发展方向。传统防腐涂层中含有的有机溶剂、重金属等成分对环境存在潜在危害，因此，新型环保涂层材料的开发将逐渐成为主流。水性涂层、无溶剂涂层和生物基涂层等绿色环保材料，不仅能够满足防腐性能要求，还具有低挥发性、低毒性等优势，符合可持续发展的要求。与此同时，防腐技术与环境友好型材料的结合将进一步降低管道运营对环境的影响，实现安全、长效与环保的有机统一。

## 七、结语

天然气输气管道的防腐技术在保障管道长期安全运行中发挥着关键作用。通过对现有防腐技术的分析与探讨，明确了管道在长期运行中面临的腐蚀问题，并提出了有效的改进措施。随着新材料、新工艺以及智能化监测手段的不断发展，管道防腐技术在可靠性与持久性上得以显著提升。展望未来，智能化、高效化、环保化将是防腐技术发展的重要方向。进一步的创新与优化将有助于实现天然气输气管道的更高安全标准和更长使用寿命，为天然气输送提供可靠保障。

## 参考文献

- [1] 刘鹏飞. 输气管道防腐技术的发展现状及改进措施探讨[J]. 石油管道技术, 2018, 37(3): 45-50.
- [2] 陈晓东. 长输天然气管道的腐蚀问题与防护策略分析[J]. 天然气工业, 2019, 39(2): 33-38.
- [3] 朱丽华. 管道防腐技术在天然气管道中的应用及效果评价[J]. 油气储运, 2020, 39(1): 58-63.
- [4] 王志成. 天然气输气管道防腐层的选择与应用探讨[J]. 管道技术, 2017, 25(4): 12-16.
- [5] 李晓明. 输气管道阴极保护技术的应用与发展[J]. 防腐技术, 2019, 28(3): 67-73.
- [6] 邓伟强. 长输管道腐蚀防护现状与新技术展望[J]. 石油装备, 2020, 42(2): 29-35.
- [7] 张丽霞. 输气管道防腐层施工工艺与质量控制分析[J]. 化工设备与管道, 2018, 29(5): 40-46.
- [8] 高建华. 天然气输气管道外防腐层的性能评价与优化[J]. 石油与天然气, 2021, 33(4): 15-20.
- [9] 马晓伟. 长输管道防腐技术的发展趋势与展望[J]. 管道科学与工程, 2019, 26(6): 22-27.
- [10] 林子豪. 输气管道腐蚀控制及阴极保护技术研究进展[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2020, 31(7): 77-82.



# 化工设计中高压管道的应力分析与布置优化

潘源, 朱红

上海河图工程股份有限公司, 湖北 武汉 430000

**摘要：** 在化工设计中，高压管道的安全性和可靠性直接影响系统的整体性能。本文围绕高压管道的应力分析与布置优化展开，首先探讨了高压管道常见的应力问题及其对系统稳定性的影响。接着，介绍了多种应力分析方法，包括有限元分析和传统的应力计算方法，评估了其在实际工程中的应用效果。为了优化管道布置，本文分析了不同布置方案对应力分布的影响，并提出了基于优化算法的布置策略。这些研究不仅有助于提高高压管道系统的安全性，还能有效降低工程成本。通过对应力分析与布置优化的综合研究，为化工设计提供了有价值的参考。

**关键词：** 高压管道；应力分析；布置优化；有限元分析；工程安全

## Stress Analysis and Layout Optimization of High-pressure Pipelines in Chemical Engineering Design

Pan Yuan, Zhu Hong

Shanghai Hetu Engineering Corporation, Wuhan, Hubei 430000

**Abstract：** In chemical engineering design, the safety and reliability of high-pressure pipelines directly affect the overall performance of the system. This article focuses on the stress analysis and layout optimization of high-pressure pipelines. Firstly, it explores common stress problems in high-pressure pipelines and their impact on system stability. Then, it introduces various stress analysis methods, including finite element analysis and traditional stress calculation methods, and evaluates their application effects in practical engineering. To optimize the pipeline layout, this article analyzes the influence of different layout schemes on stress distribution and proposes a layout strategy based on optimization algorithms. These studies not only help improve the safety of high-pressure pipeline systems but also effectively reduce engineering costs. Through comprehensive research on stress analysis and layout optimization, valuable references are provided for chemical engineering design.

**Keywords：** high-pressure pipeline; stress analysis; layout optimization; finite element analysis; engineering safety

## 引言

在化工工程中，高压管道作为重要的输送和反应介质通道，其设计和布置的科学性直接影响整个系统的运行效率和安全性。高压环境下，管道经常面临较大的机械应力，可能导致材料疲劳、变形或失效。因此，准确的应力分析和合理的布置优化显得尤为重要。现有的应力分析方法和布置优化策略各具优缺点，如何在实际工程中有效结合这些方法以降低风险并提升系统稳定性，是当前研究的热点。通过对不同应力分析技术的深入探讨和布置方案的优化设计，可以为化工设计提供系统化的解决方案，确保管道系统在高压环境下的长期可靠运行。这一研究不仅为工程实践提供了理论支持，也为相关领域的技术进步做出了贡献。

## 一、高压管道的应力问题与挑战

高压管道在化工设计中面临着复杂的应力问题，这些问题直接关系到管道系统的安全性和稳定性。高压环境下，管道不仅要承受内部介质产生的压力，还要抵御外部环境的影响，如温度变化、地震或机械碰撞。高压管道常见的应力问题包括但不限于内部压力应力、热应力和振动应力。内部压力应力随着管道内介质

压力的升高而增加，可能导致管道壁厚不足、材料疲劳等问题。热应力则源于温度变化引起的热膨胀或收缩，容易导致管道变形或连接处的损坏<sup>[1]</sup>。此外，管道在运行过程中可能经历周期性的振动，这种振动会引发动态应力，进一步加剧管道的疲劳损伤。

这些应力问题的存在使得管道的设计和维护变得尤为复杂。特别是在长周期、高温高压环境下，管道的材料选择和结构设计必须经过精确的应力分析，以避免潜在的安全隐患。材料的强

度、韧性及耐腐蚀性能，都是确保高压管道稳定运行的关键因素。同时，管道的布局设计也必须考虑到应力分布的均匀性，以防止局部应力集中导致的结构失效。全面了解并解决这些应力问题是确保高压管道系统安全和有效运行的基础，也是化工设计中不可忽视的重要环节。

## 二、应力分析方法的选择与应用

在高压管道的设计与优化过程中，选择适当的应力分析方法至关重要。应力分析方法的精确性直接影响到管道系统的安全性和经济性。现代工程中，常用的应力分析方法包括经典的理论计算、有限元分析（FEA）以及多种混合分析技术。每种方法都有其特定的适用范围和优缺点。经典的理论计算方法基于简化的假设，如假定管道为均匀材料、忽略复杂的几何形状和边界条件。这些方法通常使用应力公式和材料力学理论来估算应力状态<sup>[2]</sup>。尽管这种方法计算速度较快且易于实现，但其准确性受到许多假设条件的限制，不适用于复杂结构或极端工况下的精确分析。经典方法更多地应用于初步设计阶段，用于评估设计的合理性和安全性。

有限元分析作为一种现代化的数值计算方法，能够对复杂几何形状和加载条件下的应力状态进行详细的模拟。该方法通过将管道系统划分为多个小的单元体，利用数值求解技术来计算每个单元体的应力和变形。这种方法能够处理非线性材料行为、复杂边界条件及多种加载方式，使其在高压管道的设计中具有广泛的应用。通过建立精确的有限元模型，工程师可以获得详细的应力分布图，从而识别出可能的薄弱环节和潜在的失效点。多体动力学分析和动态应力分析也是应力分析中的重要方法。多体动力学分析特别适用于考虑管道系统在复杂动态加载下的表现，如地震荷载或振动影响。这些方法能够模拟实际运行条件下管道的动态响应，并评估其抗振能力。动态应力分析则用于研究在周期性载荷下的应力变化，评估管道的疲劳寿命。这些分析对于确保管道在极端操作条件下的可靠性非常重要。

应力分析方法的选择需考虑具体的工程要求和实际情况。在设计初期，经典理论计算可以提供快速的初步评估<sup>[3]</sup>。应力数据。对于涉及动态载荷或极端条件的管道，动态应力分析和多体动力学分析提供了更为深入的理解和评价。将这些分析方法相结合，可以为高压管道系统提供全方位的应力评估，帮助设计人员优化管道结构和布局，以实现更高的安全性和经济性。合理应用这些分析方法，能够有效地应对高压管道设计中的复杂挑战，确保系统的长期稳定运行。

## 三、管道布置的优化策略

管道布置的优化策略在化工设计中扮演着至关重要的角色，特别是在高压环境下，优化布置不仅能够提高系统的运行效率，还能显著提升安全性。布置策略的优化需综合考虑管道的应力分布、维护便利性，以及与其他设备的协调性。有效的管道布置策

略应基于对应力分析结果的深入理解。在实际布置过程中，需要尽量避免应力集中现象，这要求管道的布局能够分散应力，减少局部应力峰值。采用合理的支撑系统和柔性连接件可以有效降低由于热膨胀或振动引起的应力集中。此外，管道的走向和布置应尽量避免急转弯和锐角，这些设计缺陷往往会导致局部应力增加，从而提高故障风险<sup>[4]</sup>。在管道布置过程中，流体力学和热力学的考虑也是不可忽视的。管道的布置应确保流体在管道内的均匀流动，避免因流动不畅导致的压力损失或流体冲蚀现象。高温高压环境下，管道布置应确保足够的冷却和通风，以防止过热和热膨胀对管道结构的影响。管道的布置设计需综合考虑流体流动的优化和热管理。

维护便利性也是管道布置优化的重要考量。合理的布置应考虑到维护和检查的便捷性，例如，通过设置检修口和方便的操作通道，减少对生产操作的干扰。布置方案应确保能够在不影响系统运行的情况下进行维修和更换，避免由于维护难度增加而导致的生产停滞或安全隐患<sup>[5]</sup>。此外，管道布置还需与厂房结构和其他设备的布局协调。管道系统应避免与其他设备或结构物发生干涉，保证施工和操作的空間充裕。通过精确的布局规划，可以有效减少与其他设备的碰撞或干扰，优化整个系统的布局，提高工作效率。

在实际工程应用中，计算机辅助设计（CAD）和三维建模技术被广泛应用于管道布置优化。这些技术能够提供直观的可视化效果，帮助工程师更好地评估和调整管道布局，确保其满足设计要求并达到最佳优化效果。通过使用这些先进工具，工程师可以在虚拟环境中模拟管道的运行情况，发现潜在问题并进行调整，进一步提高布置方案的合理性和可靠性。管道布置的优化不仅涉及应力分布和流体力学问题，还包括维护便利性和与其他设备的协调性。通过综合考虑这些因素，采用先进的设计工具和技术，可以实现管道系统的高效、安全运行。

## 四、应力分析与布置优化的案例研究

在高压管道系统的设计中，通过实际案例研究可以深入理解应力分析与布置优化的实际应用及其成效。在某化工厂的高压管道系统改造项目中，项目团队面临着管道应力集中和布置不合理的问题，这些问题严重影响了系统的安全性和运行效率。

该项目涉及的管道系统原设计存在明显的应力集中现象，尤其是在管道急转弯和连接部位。这种设计导致了在高压操作条件下局部应力过大，增加了管道失效的风险<sup>[6]</sup>。为解决这一问题，首先进行了详细的有限元分析（FEA），建立了管道系统的三维模型，模拟了不同工况下的应力分布。分析结果明确指出了应力集中区域，并评估了各类载荷对管道的影响。根据应力分析的结果，优化设计方案的实施变得至关重要。在布置优化过程中，通过调整管道走向和布局，减少了急转弯和尖角的使用。这一调整不仅使应力分布更加均匀，还降低了局部应力的峰值。此外，添加了柔性连接件和适当的支撑系统，以吸收因热膨胀和振动引起的应力变化。优化后的设计方案经过再一次有限元分析验证，确

认其显著改善了管道系统的应力状态。

在布置优化方面，项目团队引入了计算机辅助设计（CAD）技术，利用三维建模软件重新规划了管道布局。新的布置方案避免了与其他设备的干涉，并提供了充足的维修空间。布置调整使得管道系统的维护和检修变得更加高效，减少了对生产操作的干扰<sup>[7]</sup>。通过这一案例的实施，不仅解决了应力集中和布局不合理的问题，还有效提升了管道系统的安全性和运行效率。实际的改造结果验证了应力分析和布置优化的有效性，为类似工程提供了宝贵的实践经验和技术参考。

## 五、综合评估与优化方案的效果分析

在高压管道系统设计中，综合评估与优化方案的效果分析是确保管道系统性能和安全性关键环节。通过对管道系统进行全面评估，可以验证优化方案的实际效果，并根据评估结果进一步调整设计方案以提高系统整体的稳定性和效率。优化方案的效果分析通常从多个方面进行，包括应力分布的改善、流体流动的优化以及维护便捷性的提升。在应力分布方面，通过实施优化方案后的有限元分析结果显示，管道系统的应力峰值显著降低。具体而言，优化后的管道走向减少了急转弯和尖角的使用，避免了局部应力集中现象<sup>[8]</sup>。这些改进措施使得管道在高压环境下的应力状态更加均匀，降低了潜在的失效风险。

在流体流动方面，优化方案对管道布置进行了调整，以确保流体在管道内的流动更为顺畅。通过重新设计管道走向和布置，减少了流动阻力，降低了流体的压力损失。这种改进不仅提升了系统的运行效率，还减少了由于流体冲蚀导致的管道磨损，从而延长了管道的使用寿命。维护便捷性也是优化方案评估中的重要内容。在优化方案中，设置了更多的检修口和操作通道，以提高对管道系统的检查和维护效率。这些措施使得维护人员可以更方便地进行常规检查和紧急维修，减少了对生产操作的干扰<sup>[9]</sup>。优化布置提高了管道系统的整体可达性，进一步减少了维护和修复的难度。

综合评估还涉及对优化方案实施后的系统性能的长期跟踪。实际运行数据表明，经过优化的管道系统在运行过程中表现出更高的稳定性和可靠性。管道系统的运行状态在高压和高温环境下保持稳定，没有出现明显的应力集中或流动不畅现象。此外，通过对维护记录的分析发现，优化后的设计减少了维护频率和成本，提高了系统的整体经济性。在评估过程中还需要关注实际应用中的反馈信息，通过监测和记录管道系统的运行数据，能够及时发现潜在的问题并进行调整。通过这种持续的反馈机制，能够不断优化设计，确保管道系统在不同工况下的安全和高效运行。

综合考虑上述各方面的效果分析，优化方案在多个关键领域取得了显著成效。具体而言，优化措施有效地降低了管道系统中的应力集中，确保了应力分布的均匀性，从而减少了故障风险<sup>[10]</sup>。流体流动的优化设计提高了系统的运行效率，降低了流动阻力和压力损失，进一步增强了系统的经济性。优化后的布置提高了维护的便利性，使得检修和操作更为高效，减少了对生产活动的干扰。这些改进不仅大幅提升了管道系统的安全性和运行效率，还为类似项目的设计和实施提供了有价值的实践经验和技术参考，有助于推动行业标准的提升和工程质量的改进。

## 六、结语

通过对化工设计中高压管道应力分析与布置优化的深入研究，明确了应力分析方法和布置优化策略在确保管道系统安全性和稳定性方面的关键作用。应力分析方法，如有限元分析和动态应力分析，提供了对管道系统应力状态的详细理解，帮助识别潜在的薄弱环节。而优化布置策略，通过合理的管道走向设计、流体流动优化和维护便捷性的提升，显著提高了系统的运行效率 and 安全性。实际案例研究进一步验证了这些优化措施的有效性，为类似工程提供了宝贵的实践经验。综合评估结果表明，优化方案在改善应力分布、流体流动以及维护便捷性方面均取得了显著成效，这为未来高压管道系统设计与改造提供了有力的支持和指导。

## 参考文献

- [1] 张伟. 高压管道的应力分析与优化设计 [J]. 化工设备与管道, 2021, 40(6): 45-50.
- [2] 李磊. 化工系统中高压管道的应力分析方法 [J]. 化学工程, 2020, 37(4): 55-60.
- [3] 王敏. 高压管道布置优化研究 [J]. 机械工程学报, 2019, 55(8): 72-78.
- [4] 陈峰. 管道系统应力分析与优化设计探讨 [J]. 工业工程与管理, 2022, 38(3): 89-95.
- [5] 刘刚. 高压管道的动态应力分析及其优化 [J]. 化工设计, 2018, 41(5): 112-119.
- [6] 张婷. 管道布置的优化策略及其应用 [J]. 结构工程, 2021, 39(7): 123-130.
- [7] 赵雷. 高压管道的应力集中问题与解决方案 [J]. 机械设计与研究, 2020, 45(2): 134-140.
- [8] 朱丽. 化工管道系统的流体力学优化分析 [J]. 化工机械, 2022, 43(1): 22-29.
- [9] 杨杰. 高压管道系统的维护与检修策略 [J]. 工程管理与技术, 2019, 36(9): 67-73.
- [10] 吴珊. 高压环境下管道的材料选择与应力分析 [J]. 材料工程, 2021, 42(4): 101-108.

# 油田地面建设场站工程中全自动焊接技术的应用与质量控制研究

舒福明

中石化江汉油建工程有限公司, 湖北 潜江 433123

**摘 要：** 全自动焊接技术在油田地面建设场站工程中得到了广泛应用，其高效、稳定和质量可靠等优势对提升工程施工效率和焊接质量发挥了积极作用。本文围绕全自动焊接技术在油田场站工程中的发展与应用现状、焊接质量面临的问题、工艺优化策略以及技术创新实践进行了系统分析，探讨了提升焊接质量的关键措施。通过对具体工程实例的分析，总结了全自动焊接技术的实际应用效果，并展望了未来发展趋势，以期为油田场站工程的质量提升与施工优化提供借鉴。

**关 键 词：** 油田地面建设；全自动焊接；焊接质量；施工效率；技术创新

## Research on the Application and Quality Control of Fully Automatic Welding Technology in Oilfield Ground Construction Station Engineering

Shu Fuming

Sinopec Jiangnan Oilfield Construction Engineering Co., Ltd. Qianjiang, Hubei 433123

**Abstract：** Fully automatic welding technology has been widely used in oilfield ground construction station projects. Its advantages of high efficiency, stability, and reliable quality have played a positive role in improving engineering construction efficiency and welding quality. This article systematically analyzes the development and application status of fully automatic welding technology in oilfield station engineering, the problems faced by welding quality, process optimization strategies, and technological innovation practices, and explores key measures to improve welding quality. Through the analysis of specific engineering examples, the practical application effects of fully automatic welding technology are summarized, and future development trends are prospected, aiming to provide reference for quality improvement and construction optimization of oilfield station projects.

**Keywords：** oilfield ground construction; fully automatic welding; welding quality; construction efficiency; technological innovation

### 引言

油田地面建设场站工程是油田开发的重要组成部分，其施工质量直接影响油田运行的安全性和经济效益。传统焊接工艺在施工过程中存在效率低、质量不稳定等问题，难以满足大型油田工程建设的高标准要求。随着自动化技术的快速发展，全自动焊接技术凭借其稳定的焊接质量和高效的施工效率，逐渐在油田地面工程中得到广泛应用。本文旨在探讨全自动焊接技术在油田场站工程中的应用情况、质量控制措施以及未来发展趋势，为工程实践提供理论支持和技术指导。

### 一、全自动焊接技术在油田地面建设中的发展与应用

随着油田建设规模的扩大以及工程自动化需求的增加，全自动焊接技术凭借其焊接质量稳定、效率高、劳动强度低等优势，越来越多地被应用于油田场站工程中。在施工过程中，传统手工焊接方式往往存在焊接质量难以保证、效率较低且受焊工技术水平影响较大等问题<sup>[1]</sup>。而全自动焊接技术能够精确控制焊接参数，实现焊缝成形的稳定性和一致性，从而显著提升焊接质量并降低焊接缺陷的发生概率。

在油田地面建设中，全自动焊接技术主要应用于油管、阀

门、储罐等关键设备的连接施工。该技术可以根据不同的焊接材料和工作环境进行适应性调整，确保焊接过程的精准性和焊缝的耐久性。与手工焊接相比，全自动焊接技术在焊接速度上有明显提升，减少了焊接过程中的停机时间，加快了工程进度。此外，自动化焊接设备可以通过程序化控制，实现焊接过程的标准化和一致化，从而避免了焊工操作不稳定所带来的质量隐患。

全自动焊接设备的逐步完善和智能化发展也为油田地面建设提供了更加广泛的选择。例如，管道自动焊接机、自动环缝焊接设备等专用焊接装置能够满足不同工程场景的需求，显著提高了施工效率和工程质量。与此同时，焊接参数的数字化控制技术和



监测系统的引入，使得焊接过程中的温度、速度、角度等关键参数可以实时监测和调整，确保焊接工艺的稳定性 and 焊缝质量的可靠性<sup>[2]</sup>。全自动焊接技术在油田地面建设中的广泛应用不仅降低了工人的劳动强度，减少了人力成本，还通过标准化、智能化的焊接过程，实现了油田场站工程的质量提升与进度优化，为油田工程建设提供了有力保障。

## 二、油田场站工程中焊接质量面临的主要问题及瓶颈

在油田场站工程的焊接施工过程中，焊接质量直接关系到工程的安全性和耐久性。由于焊接环境复杂、设备多样和施工技术要求高，焊接质量面临诸多问题和瓶颈。焊接材料的多样化是一个显著的问题，油田场站中的管线、储罐、钢结构等涉及多种材料的焊接，每种材料的焊接工艺和要求不尽相同，焊接过程中容易产生裂纹、气孔、夹渣等缺陷，影响焊缝的强度和密封性。另一个质量问题来源于焊接环境的复杂性。油田场站工程大多位于野外或海上，施工现场受到风、雨、温度等气候因素的影响较大，焊接环境恶劣，不易实现稳定的焊接过程。外界条件的变化可能导致焊接工艺参数的不稳定，造成焊缝质量的不一<sup>[3]</sup>。此外，场站工程的施工往往伴随着高空作业、狭小空间施工等特殊情况，增加了焊接的难度，焊工难以在这些不利条件下保持精准的操作，进一步加剧了焊接质量的不确定性。

焊接设备的选择和维护问题也对焊接质量产生较大影响。部分施工单位仍然依赖传统焊接设备，无法满足复杂工程条件下对焊接质量和效率的要求；同时，设备老化、维护不及时、操作人员技能不足等问题，导致焊接设备无法发挥其应有的性能，影响焊接效果。此外，油田场站工程中焊接接头较多，且部分接头位于高压、高温或腐蚀环境下，这对焊接材料的抗腐蚀性、耐高温性及焊缝的强度提出了更高的要求，实际施工中往往难以全面满足这些要求，导致焊缝的长期耐久性和安全性存在隐患。

焊接技术管理和质量控制水平的不足也是制约焊接质量的重要瓶颈。焊接质量控制涉及焊接工艺的制定、焊接过程的监督、焊后检验等多个环节<sup>[4]</sup>。部分施工单位在质量控制中存在标准不规范、过程监督不到位、检验措施不完善的问题，造成焊接质量难以保证。此外，由于油田场站工程规模庞大，施工队伍复杂，焊工技能水平参差不齐，焊接施工的规范性和一致性难以控制，焊接质量难以达到预期要求。

## 三、全自动焊接技术优势在场站工程中的发挥与优化策略

全自动焊接技术在油田场站工程中具有显著的优势，其发挥不仅能够有效解决传统焊接方式中的质量问题，还能优化施工效率和工程成本。在焊接质量方面，全自动焊接技术通过精确的参数控制和自动化操作，确保了焊缝成形的稳定性与一致性，有效降低了焊缝缺陷的发生率。同时，这种技术能够满足不同材料、厚度以及焊缝位置的焊接需求，在油田场站工程中各类复杂焊接任务中具备广泛适用性。

在提升焊接效率方面，全自动焊接技术可以通过预设的程序实

现连续焊接，大大缩短了施工周期，避免了手工焊接过程中频繁的焊接中断和工序转换。与手工焊接相比，自动化设备可以在同等时间内完成更大面积、更高精度的焊接工作，从而加速了整个油田场站工程的进度。同时，全自动焊接设备通常具备模块化设计，能够快速完成设备组装和调试，满足场站工程中多变的施工需求。为进一步发挥全自动焊接技术的优势，需要在实际施工中采取相应的优化策略<sup>[5]</sup>。合理选择焊接设备至关重要，应根据工程现场实际情况、焊接材料、焊缝要求等选择适配的自动化焊接设备。高效的焊接设备不仅能够保证焊接过程的稳定性，还能提升焊缝质量，降低焊接缺陷的概率。此外，应注重焊接工艺的优化，通过试焊和参数调试，确定最佳的焊接电流、电压、焊接速度等参数，以确保焊接质量符合工程要求。

在焊接过程中，应加强焊接质量的实时监控，利用自动化监测系统对焊接参数进行持续检测，确保焊接过程的稳定性。监控系统可以自动识别焊缝缺陷，如裂纹、气孔、夹渣等，并及时发出警报，方便操作人员迅速调整焊接参数，避免焊缝缺陷扩大，保证焊接质量的稳定和可靠。为进一步提升自动化焊接的效率和质量，应对焊接操作人员进行针对性培训，提高其对设备操作、参数调节和故障处理的能力，以充分发挥设备的性能。全自动焊接技术的优化不仅需要设备与工艺的配合，还要重视焊接后的检验与反馈，建立完善的质量检测机制，通过焊缝外观检查、无损检测等方式及时发现问题，确保焊接质量达到标准要求<sup>[6]</sup>。同时，根据施工反馈，持续改进焊接工艺和设备使用策略，逐步实现焊接过程的标准化、流程化和智能化，为油田场站工程提供更加优质高效的焊接服务。

## 四、提升焊接工艺质量的关键措施与创新实践

提升油田场站工程焊接工艺质量，需要一系列关键措施和创新实践来确保焊缝质量的稳定与安全。优化焊接材料和工艺流程是关键所在，焊材选择必须考虑耐腐蚀、抗高温、强度高高性能，确保焊接接头在各种工况下保持良好的稳定性。同时，焊材的存储与管理也需要严格把控，避免受潮、锈蚀等情况影响焊接质量。此外，科学制定焊接工艺规程，明确焊接参数、操作规范、焊接顺序等，确保焊工能够严格按照工艺规程执行，从而减少焊接缺陷的产生<sup>[7]</sup>。提高焊接工艺质量的另一关键措施在于焊接过程的实时监控和质量检测。引入先进的焊接过程监控系统，可以对焊接电流、电压、速度、温度等关键参数进行实时采集与分析，通过与预设参数的对比，及时发现焊接异常，确保焊接过程的稳定性。此外，应用无损检测技术，如超声波检测、射线检测、磁粉检测等，对焊缝进行全面的质量检查，及时发现内部缺陷，保证焊接工艺质量符合标准要求。

创新焊接工艺方法也是提升焊接质量的关键之一。对于不同的焊接材料和焊缝形式，可以采用多种创新工艺。例如，针对厚壁管道焊接，可以采用多层多道焊工艺，有效控制焊缝的变形和应力集中；对于大直径管道和大型储罐的焊接，则可使用全位置自动焊接工艺，提高焊接效率和焊缝质量。对于高温高压环境下的焊接，还可应用特殊焊接工艺，如焊接预热和后热处理，以改善焊缝组织结构，提升焊接质量的耐久性。

强化焊接人员的技术培训和能力提升是保证焊接工艺质量的

重要基础。焊工是焊接工艺质量的直接执行者，其技术水平和操作能力对焊接质量有着至关重要的影响。对焊工开展定期的理论与实操培训，提升其对焊接设备的使用、工艺参数的调整和焊接缺陷的处理能力，可以有效提高焊接质量的稳定性<sup>[8]</sup>。同时，通过建立焊接质量考核机制和激励制度，促使焊工在焊接过程中保持高水平的质量意识与操作水平。应用信息化管理手段，也是提升焊接工艺质量的一大创新实践。通过搭建焊接质量管理平台，实现焊接工艺参数、设备运行状态、焊接材料等信息的数字化管理，可以提高焊接质量的追溯性和管理效率。施工管理者可以通过信息平台实时查看焊接进度、质量检测结果等，及时做出决策与调整，保障焊接质量的稳定性与一致性。

## 五、油田场站工程全自动焊接技术应用效果及工程实例分析

全自动焊接技术在油田场站工程中的应用取得了显著的成效，展现出在质量、效率和成本控制等方面的明显优势。实际施工中，全自动焊接设备通过精确的参数控制和自动化操作，实现了焊接质量的高度一致性和稳定性。焊缝表面光滑、成形美观，内部结构致密，显著减少了裂纹、气孔等常见焊接缺陷的发生，满足了油田场站工程对高强度和耐腐蚀性的焊接要求。此外，全自动焊接技术通过自动化设备的连续工作模式，大幅提高了焊接速度，减少了施工周期，对工程整体进度起到了积极的促进作用。

在工程实例中，全自动焊接技术在长输管线的铺设和储罐建设中表现尤为突出。例如，在油田输送管线工程中，由于管道焊接接头多、焊缝长，传统手工焊接难以保证焊接质量和效率，而全自动焊接技术则通过精确的轨道式焊接系统和高效的焊接工艺，实现了管道的快速、高质量焊接，降低了焊缝的热影响区，提升了管道整体的耐压和密封性能<sup>[9]</sup>。在储罐施工中，全自动焊接设备凭借其精准的焊接控制和灵活的操作模式，实现了储罐壁板和顶板的高效焊接，有效减少了焊接变形，确保了储罐的稳定性和安全性。从成本控制的角度看，全自动焊接技术在油田场站工程中的应用降低了对高技能焊工的依赖，减少了人力成本投入。同时，自动化焊接设备的高效率使得施工工期显著缩短，减少了因工期延误带来的成本损失。

## 六、全自动焊接技术在油田场站工程中的未来发展趋势与展望

随着油田场站工程建设对焊接质量和施工效率要求的不断提升，全自动焊接技术的发展呈现出智能化、高效化、多功能化的趋势。未来，全自动焊接技术将进一步向智能控制和自动化管理方向发展，结合人工智能、机器人技术和物联网，实现焊接过程的智能感知和自动调节。通过实时数据分析和反馈，全自动焊接设备将能够根据现场条件和焊接需求进行自我调整，确保焊接参数的最优化，进一步提升焊缝质量和施工效率。

在设备优化方面，全自动焊接设备将朝着轻量化、模块化、多

功能化的方向发展，适应不同工程场景和焊接需求。针对油田场站工程中各种复杂的焊接环境，焊接设备将更具适应性，能够灵活应对高空、狭窄空间以及野外等特殊施工条件。同时，焊接机器人和自动化焊接系统将更加智能，具备复杂焊缝路径的自主识别和操作能力，进一步减轻焊工劳动强度，提高焊接效率<sup>[10]</sup>。全自动焊接技术与数字化管理系统的融合将成为未来发展的重点。通过将焊接过程的实时数据与施工管理系统连接，可以实现焊接参数、设备状态、焊缝质量等信息的数字化监控与管理，提升焊接过程的可视化和可控性。这种信息化管理方式将帮助施工管理者实时了解焊接进度和质量情况，及时作出调整，保障工程的顺利推进。随着新材料和新工艺的不断出现，全自动焊接技术的适应范围将进一步扩大。面对油田场站工程中高强度钢、耐腐蚀合金等新型材料的焊接需求，全自动焊接技术将通过新型焊接工艺和焊接材料的研发，提升对新材料的适应能力，保证焊接质量的持续提高。

## 七、结语

全自动焊接技术在油田地面建设场站工程中的应用，为提高焊接质量、施工效率和降低成本提供了有效的解决方案。通过对焊接工艺的持续优化、设备的智能化发展以及焊接质量的严格控制，全自动焊接技术在油田场站工程中展现出卓越的应用效果。其智能化、数字化的发展趋势不仅提升了焊接的可靠性与稳定性，也对复杂焊接环境中的质量保证提出了全新可能。同时，通过对实际工程的实例分析，明确了全自动焊接技术的优势和关键措施。未来，随着技术的进一步创新与发展，全自动焊接技术将在油田场站工程中发挥更重要的作用，推动工程建设向着高质量、高效益的方向发展，为油田工程的安全、经济运行提供坚实的保障。

## 参考文献

- [1] 陈晓峰. 全自动焊接技术在油田管道工程中的应用研究[J]. 石油工程, 2019, 34(3): 45-49.
- [2] 孙伟. 场站工程焊接工艺改进及质量控制分析[J]. 油气田技术, 2018, 32(4): 78-82.
- [3] 李建明. 石油管道焊接工艺及自动化焊接技术的发展[J]. 焊接工程, 2020, 40(5): 115-118.
- [4] 周海峰. 全自动焊接技术在油田场站设备安装中的应用[J]. 石油设备, 2017, 25(2): 92-95.
- [5] 王晓丽. 油田地面工程施工中自动焊接设备的选择及控制[J]. 工程管理学报, 2019, 17(6): 63-67.
- [6] 赵东华. 全自动焊接在油田管道施工中的质量管理探讨[J]. 石油工程技术, 2021, 39(3): 36-39.
- [7] 刘鹏. 油田建设中全自动焊接技术的研究与创新[J]. 石油工程与技术, 2020, 28(1): 50-54.
- [8] 高红军. 油田地面工程中焊接工艺的质量控制与施工管理[J]. 建筑工程, 2018, 24(5): 85-88.
- [9] 韩丽. 自动化焊接技术在油田地面设备安装中的实践与发展[J]. 石油设备工程, 2019, 15(3): 69-72.
- [10] 魏强. 全自动焊接技术在油田场站工程中的应用效果及前景分析[J]. 焊接技术, 2021, 37(2): 28-31.

# 地铁车辆检修模式与修程划分的分析与研究

杨珂

北京市地铁运营有限公司运营三分公司回龙观维修中心, 北京 100089

**摘 要：** 以往, 地铁车辆的维护与修理主要是基于既定的时间间隔和运行里程来进行的“计划性维修”。维修工作通常安排在车辆即将达到或超过其预计寿命之前, 以此作为预防性措施来避免可能发生的故障问题。而一旦地铁车辆发生了故障, 便会进入到“事后故障修”阶段。然而, 随着轨道交通系统的快速发展以及城市化进程的不断加速, 这不仅对传统的维修模式提出了新的挑战, 同时也要求必须重新审视和优化维修流程。为此, 本文将针对地铁车辆检修模式与修程划分展开深入研究分析, 以期对相关从业者提供借鉴和参考。

**关 键 词：** 地铁车辆; 维修; 修程优化

## Analysis and Research on the Maintenance Mode and Maintenance Procedure Division of Metro Vehicles

Yang Ke

Huilongguan Maintenance Center, Third Operating Branch, Beijing Subway Operation Co., Ltd. Beijing 100089

**Abstract：** Traditionally, the maintenance and repair of metro vehicles have been based on a "planned maintenance" approach, which is carried out at predetermined time intervals and mileage. Maintenance work is usually scheduled before the vehicle reaches or exceeds its expected lifespan, serving as a preventative measure to avoid potential failures. However, when a metro vehicle breaks down, it enters the "reactive maintenance" phase. With the rapid development of rail transit systems and accelerating urbanization, this not only poses new challenges to traditional maintenance modes but also demands a re-examination and optimization of maintenance processes. Therefore, this article conducts an in-depth study and analysis of the maintenance mode and maintenance procedure division of metro vehicles, aiming to provide relevant practitioners with reference and guidance.

**Keywords：** metro vehicles; maintenance; maintenance optimization

地铁作为城市人们的交通主要工具, 其运行可靠性直接关系到人民群众的生命财产安全。因此, 对车辆进行定期检修和维护是保障地铁高效、稳定运营的重要环节<sup>[1]</sup>。然而, 由于受到外界不同因素影响, 地铁运营过程中不可避免会出现各种机械磨损、电气故障等问题。一旦这些潜在的故障被忽视, 很可能会随着时间的推移而恶化, 进而引发更大规模的安全隐患。因此, 地铁运营单位必须制定并执行严格的维修计划, 确保每辆车都能得到专业的检查和必要的维修, 以有效降低故障发生率, 确保乘客安全出行。

### 一、车辆维修的基本方式

地铁车辆维修工作, 对地铁车辆的各个部分和零件进行了更为细致和科学的划分<sup>[2]</sup>。这种划分基于这些部件的具体使用寿命以及更换周期, 确保维修工作既高效又经济。具体而言, 地铁的维修可分为两种主要模式: 日常维修和定期维修。

在日常维修方面, 具体工作包括日检和列检。日检即每日例行的车辆检查, 而列检则是针对运行中的地铁列车进行全面的检查, 以发现潜在的问题并及时处理。至于定期维修, 则包含了一系列更加深入和全面的检查。月修是一种周期性的维修计划, 每月执行一次, 旨在彻底清洁、润滑和调整所有关键部件, 确保车辆能够在长时间的运行中保持最佳状态。修程则是一项综合性的大检修, 通常在几个月内进行一次, 涉及到对整个列车网络进行大规模的检查与

修复。然而, 地铁车辆经常面临临时故障的挑战, 这类故障也被称为临修。临修根据维修场景的不同, 可以进一步细分为在场临修和场内维修。在场临修发生在实际运行的地铁站内, 此时需要立即停止列车服务, 以便技术人员快速抵达现场进行维修。而场内维修则发生在列车停站不动的情况下, 技术人员可以直接进入车厢内部进行修理, 这样的灵活性和效率对于紧急情况来说至关重要。

### 二、地铁车辆检修模式

#### 1. 计划性检修

所谓计划性检修就是指基于一定的时间或者运行里程制定的固定检修计划。这种方式主要依据车辆的使用寿命和运行环境等来确定检修的频率和项目。计划性检修工作的重点在于对车辆进行定期



与定项的保养和修理，以确保其持续稳定地运行<sup>[3]</sup>。一般情况下地铁计划性检修主要包括日检、周检、月检、定修、架修和厂修几个方面。很多地铁运营单位根据日检、周检、月检的实际情况，积极探索出了均衡的修程方式，共计24修程，每半月进行一回。采用这种检修方式，使车辆效率明显提高。在此基础上，为进一步调节人与车辆比例，还积极探讨实施列检均衡修的整合检修，将列检与平衡修工作进行统筹安排，并在同一班组内实施，实现对人与车比例的有效调控，提高维修员工的技术能力。

### 2. 故障性检修

故障性检修大都是在车辆出现故障或者异常情况时进行的，一般不设定具体的时间规制，由实际情况决定。故障性检修的主要任务是确定故障的原因并进行相应的维修处理。在日常运行中，如果车辆出现故障，首先要进行的是故障诊断。技术人员要根据车辆的症状和故障代码，结合设备手册和经验，判断出故障的可能位置和原因。然后，进行具体的处理措施，进行故障修复。地铁运营单位根据具体情况，也会开展预防性的故障检修工作。

### 3. 状态性检修

状态性检修主要是基于车辆运行状态和设备性能参数等信息，实时对车辆进行健康监测和状况评估，从而确定是否需要维修<sup>[4]</sup>。一般情况下，状态性检修主要由四个步骤构成：数据采集、数据分析、健康评估和维修决策。第一，通过各种传感器和监测设备，对车辆运行中的关键参数进行实时采集，如温度、压力、震动、电流、电压等；第二，将收集到的数据进行深度分析，比如趋势分析、频谱分析、故障诊断等，对设备的性能变化和可能出现的故障进行预测；第三，根据数据分析结果，对设备的健康状况进行评估，判断其是否有故障发生的风险；第四，依据设备的健康状况和其他影响因素（如设备重要性、维修成本、手头备件情况等），做出是否进行维修的决策。状态性检修往往在车辆大修（例如每年一次）或者大规模升级改造（例如每5年一次）之前进行。通过详细的检查和评估，找出车辆可能存在的问题，提前进行修理或者更换，从而尽量避免故障的发生，保证地铁车辆的安全、可靠和高效运行。

## 三、地铁车辆架大修工作内容

### 1. 总体要求

地铁车辆架大修是一项关键的预防性维护措施，涉及一系列细致而复杂的工序。首先，专业技术人员要对地铁整车进行彻底拆解和详细检查，确保每一个部件都能在车辆运行中发挥其应有的作用。随后，对那些已经达到或即将到达设计使用寿命的零部件进行评估，这些被称为“必换件”。对于这些零件，要更换新的产品以保持车辆的安全与可靠。此外，当检测到某些零部件出现故障时，也要进行相应的维修或更换工作，这类维修工作称之为偶换件检修。这项工作是为了及时排除潜在的问题，避免可能导致更严重故障的风险。同时，针对那些高风险部位或者关键部件，则要执行更为细致的检修和保养工作。例如，探伤、绝缘处理、润滑等等，以此延长部件的使用寿命。最后，完成上述所有步骤后，车辆要重新

组装起来并经过严格的调试。这一过程不仅要恢复其的基本性能，同时还要确保车辆的各项指标符合最新的运营标准。确保车辆能够安全、稳定地运行至下一个架修或大修周期。

### 2. 整车拆解检查、测量

在进行维修过程中，维修人员应对车辆进行全面的状态检查。首先要下载牵引系统和制动系统等关键部件的详细数据。接着，维修人员要进行解编作业，即拆解车体和转向架，以便进一步观察和检查车钩、转向架内部的结构。此外，还要将空调系统、受电弓以及制动和牵引系统分解开来，每个部分都要单独进行检修和测试。并且，对于车轮、车钩、受电弓等易损件的磨损情况也要进行精确测量。这些数据不仅有助于确定是否需要更换零件，还能确保车辆的整体运行效率和安全性。

### 3. 必换件更换

在对铁路车辆进行维修时，必须更换的零件主要有受电弓系统中的软连线、气囊；空调系统中滤网、风机轴承；转向架系统中的轴箱弹簧、橡胶关节；至于具体哪些部件需要更换，通常情况下，维修人员要参考车辆维保手册来确定。手册中详细列出了每一类零部件的技术要求和推荐更换时间点，以确保维护工作的准确性和高效性。然而，考虑到每个车辆的具体情况不同，有些特殊部件可能需要根据实际状况进行判断。因此，维修人员还要根据车辆的实际状态，共同商议决定哪些部件需要进行更换，以及何时更换。这样做既能确保车辆达到最佳运行状态，又能避免不必要的资源浪费和经济损失。

### 4. 偶换件检修

在进行设备检修过程中，对于那些无法通过简单修理恢复到正常工作状态的部件，称之为偶换件。为了确保设备的正常运行和延长使用寿命，除了那些必须更换的关键部件外，其他零部件都应该接受定期的检查与测试。如果任何零部件的性能指标无法达到预期的使用需求，那么这类问题部件全部被视为偶换件，要按照相应的程序进行更换。这样做可保证所有部件都能够在其设计寿命内保持最佳状态，从而避免因部件损坏而导致的潜在风险和额外的维护成本。

### 5. 高风险、重要部位检修、保养

高风险、重要部位通常是指那些对于确保行车安全至关重要，或者在发生故障时需要大量人力、物力和财力来解决的关键部件。这些部位包括转向架中的旋转轮轴、坚固的构架、与列车挂钩相连的整体车钩以及用于接收电力的受电弓等。此外，还有一些线缆也属于这一范畴。对于此类部件，必须对其进行细致的检查、探伤以及校正，以确保没有任何潜在的损伤或缺陷存在。除了对结构本身的维护之外，对于车钩、转向架、受电弓和二系悬挂等经常承受磨损的部件也要定期进行重新润滑，以防止因缺少润滑油引起机械故障。

### 6. 整车组装、调试

在完成车辆检修之后，要按照出厂时的严格标准进行精心组装。组装完成后不可直接投入使用，而是要对车辆进行调试。调试过程中，要对车辆的状态进行全面的检查，确保所有数据准确无误，同时还要对各项功能进行详尽的验证和确认，以确保每一辆出厂的车辆都能安全、可靠的服务于乘客和运输任务。



## 四、影响地铁车辆维修修程的因素分析

地铁车辆的维修修程不仅是保证地铁系统正常运行的关键环节，也是确保乘客安全出行、提升运营效率的重要措施。在此过程中，维修能力的高低直接影响着维修作业的质量与速度。从宏观角度来分析，维修能力可以被细分为两个层次：一是有效能力，二是设计能力。有效能力是指在现有的维修技术条件、车辆维护水平和故障记录基础上所能进行的维修操作范围。这一能力通常会受到多种因素的影响，如设备老化程度、车辆质量问题、技术更新换代等，因此在实际操作中往往会有所下降。而设计能力，则是指在理想情况下，地铁车辆能够得到的维修服务数量。在实际维修作业中，由于各种限制，如技术类型的局限性、维修难度的不同等因素，有效能力往往低于其设计能力。这种情况下，维修资源的浪费将不可避免的增加，进而影响到整个维修周期的经济性和有效性。除了维修能力之外，地铁车辆的运营状况、维修流程的合理性、物料供应的稳定性、设施设备的完备程度、技术类型的适用性以及人力资源的充足与否，都会对地铁车辆的维修工作产生显著的影响。这些因素的综合作用，不仅决定了维修效率，而且还会间接影响到维修生产的速度和质量。为了提高维修质量，延长地铁车辆的维修间隔，同时减少维修次数，必须深入分析地铁车辆的实际情况，并据此对维修作业流程进行细致的规划和调整。

## 五、地铁车辆维修技术要点

在地铁维修过程中，应用故障诊断技术能够准确、迅速地定位问题，大幅缩短维修时间，提高地铁运营效率<sup>[1]</sup>。然而，故障诊断技术应用要遵循标准化流程，如明确设定诊断目标、清晰识别故障类别，以及提供详尽的危害分析结果。这样的步骤可确保对车辆系统各个组成部分的全面评估，进而提高诊断的准确性，增强系统的整体性能。以地铁车辆悬挂系统为例，悬挂系统的维修工作涉及到多个方面，其中最为重要的环节便是横向止挡的维修。在这一过程中，维修人员要通过监测车辆构架与车体之间的位移量（即构架—限制车体）来判断轮轨相互作用的影响程度。根据行业标准，位移量每增加2mm，则横向止挡施加的力道应该相应增加至4.7kN。如果位移量继续增加，那么对应增加的力道也会增大，例如从4mm上升到6mm时，施加的力道应达到6.8kN，而当位移量进一步增至6mm时，则需考虑9kN的力才能维持稳定。在进行此类故障诊断时，首先要确定悬挂系统中横向止挡的具体位置，作为诊断目标。然后，通过细致的监测数据分析，判断是否存在异常的刚度变化。一旦发现刚度有明显变化，就可以推断出这可能是由于某个部件出现故障导致的刚度异常，从而引发位移量超出正常范围的问题。这

### 参考文献

- [1]张波, 卿光毅, 黄德勇. 地铁车辆“精益检修”模式探讨[J]. 城市公共交通, 2020,(10):52-56.  
[2]蔺高, 蒋欣, 王大奎. 城市轨道交通车辆检修模式探讨[J]. 设备管理与维修, 2020,(15):55-58.  
[3]张振. 郑州地铁1号线车辆均衡修应用与探讨[J]. 设备管理与维修, 2020,(09):53-55.  
[4]黄涛. 某地铁车辆均衡修模式应用分析[J]. 中国设备工程, 2020,(08):38-40.  
[5]王丽红, 徐彦. 郑州地铁车辆拟用检修模式的分析与建议[J]. 铁道机车车辆, 2011,31(06):74-76.

种情况若不及时处理，将直接影响地铁车辆的运行安全，甚至可能造成严重事故。因此，准确地定位并修复这些故障，对于确保地铁系统的高效运作至关重要。

## 六、提升地铁车辆检修效率的策略

### 1. 构建完善的地铁车辆检修制度

为了确保地铁车辆检修工作的高效性与规范性，地铁运营单位应当深入研究《城市轨道交通运营管理办法》以及《轨道交通可靠性、可用性、维修性和安全性规范及示例》等一系列政策文件，基于政策文件进一步完善制度体系。实践中具体可从以下两方面进行入手，一是，建立健全规章制度和操作规程。明确维修人员的职责和权限，规定各种故障应对措施，以及维修设备、工具的使用和管理等内容。二是，优化补充作业流程。优化作业流程是提高检修效率的重要一环，其中包括要疏通和简化工作过程，进行专业分工，明确每个环节的操作要求，让整个流程更加流畅，减少因为流程困扰导致的等待时间。

### 2. 加大地铁车辆检修管理力度

目前，地铁车辆的检修与管理工作基本是由车辆管理部门和客运部门来共同承担。车辆管理部门是负责地铁运营车辆全生命周期管理工作的核心，因此，该部门要制定详细的车辆检修计划，包括车辆的定期检查、维修和保养等环节。这些计划不仅要涵盖常规的检查项目，还要根据地铁线路的实际运营情况进行相应的调整。同时，该部门应该建立有效的监督机制，对检修工作的执行情况进行跟踪和评估，确保各项措施得到切实执行。而客运部门虽然不直接参与车辆检修过程，但客运部门必须密切关注地铁车辆的使用状况，客运部门要及时将这些信息反馈给车辆管理部门，协助检修人员优化车辆的使用和维护。通过车辆管理部门和客运部门的紧密合作与协调，才能够实现对地铁车辆的全面而细致的检查，及时预防并处理可能出现的问题，从而最大限度减少故障发生的概率。

## 七、结束语

综上所述，地铁车辆检修模式和修程划分的精细化管理是地铁稳定运营的重要支撑。一方面，要通过日常维修、定期维修等多元化的维修策略，以及采用最新的技术手段进行故障诊断与修理，以有效提升地铁车辆的运行安全与效率。另一方面，还要将维修工作系统化与规范，以制定出科学合理的修程划分。只有这样才能在确保地铁车辆安全、稳定运行的同时，满足城市化进程中对地铁运营的日益增长的需求，更好的服务于社会，服务于人民。

# 单通道通信信号盲分离方法的研究

马瑞林\*, 刘桂杓, 吕克菲

新疆农业大学计算机与信息工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052

**摘 要 :** 盲信号分离 (BSS) 是一种进行复杂电磁环境中混叠信号综合处理的技术手段, BSS 技术可以实现在不知道传输信道参数的状态之下, 实现对期望信号较少的相关假设条件的处理, 进行混叠信号的有效分离。单通道盲信号分离 (SCBSS) 技术中融合深度学习等算法, 可以有效提高计算质效, 增强分离性能。在海量的信息数据中构建基于信号内部的特征关系则可以获得求解。基于数据驱动方式进行处理, 无需分析通信信号模型, 将深度神经网络 (DNN) 以及深度学习 (DL) 进行处理, 进行数据的拟合处理, 实现分离, 则可以弱化模型产生的影响。通过分析单通道通信信号盲分离方法, 了解其存在的问题以及发展趋势, 以供参考。

**关 键 词 :** 单通道通信信号盲分离方法; 智能化; 数据驱动

## Research on Blind Separation Methods For Single Channel Communication Signals

Ma Ruilin \*, Liu Guibiao, Lv Kefei

College of Computer and Information Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052

**Abstract :** Blind Signal Separation (BSS) is a technical means for comprehensive processing of mixed signals in complex electromagnetic environments. BSS technology can achieve effective separation of mixed signals by processing related assumptions with fewer expected signals without knowing the transmission channel parameters. The fusion of deep learning and other algorithms in Single Channel Blind Signal Separation (SCBSS) technology can effectively improve computational quality and enhance separation performance. Constructing feature relationships based on the internal characteristics of signals in massive information data can obtain solutions. Based on data-driven processing, without analyzing the communication signal model, deep neural networks (DNN) and deep learning (DL) are processed to fit the data and achieve separation, which can weaken the impact of the model. By analyzing blind separation methods for single channel communication signals, understand their existing problems and development trends for reference.

**Keywords :** blind separation method for single channel communication signals; intelligence; data driven

通过 SCBSS 技术进行处理, 对于信号的频谱没有要求, 信号可以同频也可以不同频, 在处理中效果显著。但是在 SCBSS 技术中要基于稳定的传感器数据支持之上进行综合分析, 而在实践中受到多种应用环境以及场景的影响, 导致部分通信信道系统无法有效满足实际的需求。因此单通道观测条件之下进行 BSS 技术的分析具有重要的价值。

### 一、基于应用逻辑 SCBSS 技术分类框架

在现代通信技术的支持下, 我国信息传输技术得到了充分的发展。在信息传输系统中为了有效提高信息传输的效率与质量, 通过多种方式进行综合处理, 充分提高系统运行的稳定性, 保障信息数据传输的科学优化。而受到高度密集型的信息数据传递影响, 频域重叠特征显著, 同时受到多空域交叉性、动态波动等多种问题的影响, 则会造成电磁信号混叠问题严重。这样则会提高

信号接收以及传递的效率与质量。SCBSS 输出的结构主要受到信号类型、分析、提取需求等多种因素的影响, 要根据具体的需求对其进行处理。而为了保障信息数据的完整性, 必须做好参数分析, 通过了解谱峰信息、探究关数字通信信号调制等基础信息方可有效满足应用需求。频谱管理、特定信号检测涉及到信号频率、宽带等多种信息数据, 为了保障信号获取符合需求, 必须对其进行时域波形分析, 但是在一些通信中的典型 SCBSS 中对于数字通信信号调制符号的相关信息更为关注<sup>[1]</sup>。基于应用逻辑

作者简介: 马瑞林 (2002.10-), 男 (汉族), 山东济南人, 新疆农业大学计算机与信息工程学院, 本科在读, 电子信息科学与技术专业。

SCBSS技术分类如图1所示。

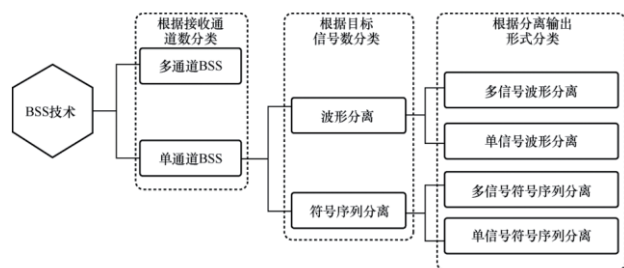


图1 应用逻辑 SCBSS技术分类

### (一) 信号模型

假设单通道宽带接收机获得了  $M$  个独立的辐射源信号构成的混合信号， $X_M$  则获得公式：

$$X_M = \sum_{i=1}^M a_i S_i(t) + \omega(t)$$

其中  $M$  通过表示信源数量，而  $S_i(t)$  通过表示独立源信号， $a_i$  表示加权系数， $\omega(t)$  通过表示加性噪声，而  $X_M$  则表示混合信号，各个独立的辐射源信号的时域可以实现完全的重叠，而其频域则存在一定的差异性。假设在实际中可以满足各项需求，信号的发出辐射源不同，因此信号具有独立性，符合基础条件的要求<sup>[2]</sup>。

### (二) 通信抗干扰问题

基于合作通信重点进行通信信息的传输以及处理，通过目标信号参数进行分析，在了解参数信息的基础上直接的通过混叠观测的方式进行分离。

#### 1. 公开样式信号侦查

在非合作通信中的公开样式信号侦察的问题，通过信号参数估计分析进行处理，是无法获得全面精准的信息数据的，主要就是因为多数状态之下都是基于现有的信号参数进行格式的调制以及解译处理，对此在 BSS 的分离处理中主要就是对目标信号的符号序列进行综合性的估计。

#### 2. 非合作通信特定信号控守侦查

对于此类问题主要就是要对目标信号进行持续的跟踪关注，通过参数估计等诸多的技术手段实现分析。对此，分离系统要根据具体的目标以及要求优化处理方案，降低分离难度。其中 BSS 技术是一种通过分离系统实现处理的技术手段，其中输出的形式与信号分析、提取目标等各个流程中信号层次次、内容匹配程度较高。同时，在目标信号属于通信信号的时候，基于 BSS 任务输出的类型可以实现通过波形、符号序列两种不同的方式进行分离处理<sup>[3]</sup>。

## 二、单通道通信信号盲分离方法

单通道通信信号盲分离方法主要包括多信号波形分离、单信号波形分离、多信号符号序列分离以及单信号符号序列分离几种类型，其具体如下：

### (一) 多信号波形分离

因为多信号波形分离处理可以在多数的应用环境中应用，基于 SCBSS 技术可以进行分离处理，可以划分为两种类型：

#### 1. 伪多通道观测构建

利用 BSS 算法进行多信号的波形分离，在应用中最为关键的就是如果基于多通道 BSS 算法分离结果获得相关目标信号的波形参数。在构建中，可以通过 SVD 等数学工具进行处理，但是这样则会导致构建的通道无法进行多通道观测的拟合处理，导致无法实现多信号的波形分离。

利用多通道 BSS 算法进行分离处理获得的信息具有冗余性，要通过人工以及后期处理才可以获得相关信号的波形，要多次应用多通道 BSS 算法，整体上来说效果不佳。

#### 2. 估计参数以及重构波形的算法

基于参数化模型构建一个目标信号，通过处理模型参数信息数据，对波形进行重构分析。通过多信号波形分析技术进行处理获得模型化的信息，利用数字表达的方式对获得的信号重构、分析等提供参考<sup>[4]</sup>。

### (二) 单信号波形分离

单信号波形分离的主要任务就是基于混叠观测，通过分离的方式获得特定的目标信号的时域波形等信息。在对通信抗干扰以及特定信号检测中通过单信号波形分离的方式可以提高分离质量。

#### 1. 广义谱维纳滤波算法

为了有效解决在传统时/频域滤波产生的混叠信号失效等问题，可以假设在某一个谱域中进行处理这样对各个信号的处理则不存在混叠的问题。

基于广义谱维纳滤波进行目标信号的分离处理。在处理中如果假设在循环频域中部出现信号混叠的问题，通过数字通信信号的方式进行处理，则可以构建一个信号循环平稳特性，通过线性共轭-线性频移滤波器进行处理，则可以进行多个时频中混叠数字通信信号的目标信号的分离处理，在应用中则可以有效降低干扰性的影响。

#### 2. 基于信号子空间投影算法

对现有的数学变换、基底学习构建子空间的基底集，通过混叠技术则可以有效满足波形分离的需求。为了解决抗同信道干扰等相关隐患，通过目标信号符号速率进行分析，可以确定小波基底，并且根据需求构建目标信号零空间，达到投影混叠信号的目的，最后通过函数验证信号对其进行估计。在基于结果抵消混叠观测的信息，实现目标信号波形分离。此种方式主要是基于目标信号作为基带信号，同时其产生的速率差异较小，适应性不强<sup>[5]</sup>。

对于雷达信号处理中存在的非平稳信号产生的分离等相关问题，可以通过压缩感知的单信号方式进行分离处理，通过短时傅里叶变换进行混叠观测投影，通过目标信号以及干扰信号进行分析则可以移除产生的抗干扰信号能量，基于压缩感知以及目标信号波形对其进行分离处理。在处理中因为目标信号以及干扰信号具有正交性的特征，因此无法在严重的时频混叠数字通信信号中应用。

总的来说，此种方式效果显著，但是在多种因素的影响之下还是存在的问题。在处理中现有的算法对于目标信号处理中对于先验信息具有一定的依赖性。在应用中如果无法满足先验信



息,则会限制算法的应用效果。同时现有算法基于字典学习构建处理复杂程度高,必须进行基底集构建方式的研究以及分析。现有算法无法充分凸显目标信号特性的价值与作用,在单信号波形分离中要基于实际需求对信号分离算法进行研究。

（三）SCBSS与人工智能技术的融合

通过离线训练的方式进行模型优化,可以有效替代传统的在线训练模式,在处理中主要就是通过网络的方式进行处理,网络输入数据可以获得波形数据信息,也可以通过处理之后获得相关信号的特征序列参数。基于数据驱动的BSS主要包括基于数据驱动以及基于模型以及数据驱动结合的BSS<sup>[9]</sup>。

1. 基于SCBSS融合数据驱动

数据驱动SCBSS的融合就是在特定的时域、频域中进行混叠信号处理,实现信号端到端的分离。在分离之后产生的信号可以为波形以及可以为解调之后的符号序列。通过此种方式可以实现自适应学习,达到提高分离效果的目的。基于数据驱动进行SCBSS处理,利用编码器分离架构进行处理,在处理中通过深层网络建模高位进行各信号的处理,实现高纬度空间分离处理,在利用解码器处理为时域,实现端到端的多波形结构分离<sup>[7]</sup>。

2. 模型驱动和数据驱动相结合的SCBSS

相对传统算法来说,可以基于模型驱动以及数据驱动结合进行SCBSS的处理,通过模型矩阵求逆以及参数优化等方式进行计算处理,在数据驱动层面中进行处理,在数据驱动的支持之下提高计算效率,则可以有效降低复杂程度,实现模型的简化处理。

基于BP神经网络PCMA实现分离模型的构建,可以通过预处理的方式进行优化,在神经网络的支持之下进行梯度算法训练,联合分离以及最优路径则可以进行信号分离,相对传统方式来说操作简单。

（四）方法优化

SCBSS与大数据、智能技术的融合可以有效提高计算效率,降低难度,增强了信号恢复性能,但是深度学习算法受到自身性能的影响导致其可解释性不高,充分发挥木材信号的特征,在应用中容易出现过度拟合等问题。对此要对其优化完善<sup>[8]</sup>。

深度学习基于传统模型SCBSS,通过深度学习进行数据处理,替代人工处理方式,则可以提高整体性能。通过浅层的网络结构进行数学技术,增强可解释性。深度学习与人工知识库的融合,通过专家系统进行冗余信息的处理,实现对信号的剥离,通过添加知识规则的方式进行约束管理,则可以进行信号的解析与

处理。深度学习联合信号特性,构建数学建模逻辑,将周期性、独立性等作为神经网络设计的参考,构建计算逻辑,则可以为网络学习提供支持。

三、单通道通信信号盲分离方法发展趋势

随着人工智能、大数据以及多种自动化技术手段的日益成熟,在单通道通信信号盲分离领域中也融合了多种现代化智能技术以及手段,其今后的发展趋势呈现数字化、智能化的特征。

（一）智能化SCBSS模型

智能学习与SCBSS的融合,可以有效优化处理流程,实现SCBSS模型的自动化以及智能化发展,增强分离方式的适应能力。通过多种方式进行建模处理,分析电磁信号的数字通信信号以及基础的特性信息,充分释放整体性能<sup>[9]</sup>。

（二）综合利用模型方式

对于SCBSS的不同模型,如果应用单一的方式在范围以及表征能力上还是受到一定的限制,而在不同的模型上其侧重点也是不同的。通过多种模型的联合应用则可以基于不同的角度进行相关目标信号特性的处理,提供的信息数据更加全面有效。基于SCBSS模型,进行目标信号的特性处理,可以避免冗余以及缺漏等问题的出现。

（三）模型适应性以及扩展性能

多数模型在应用中的信号类型有限,应用范围以及条件也不明确。在出现新的信号类型的时候,要通过专家知识进行筛选处理,而电磁环境复杂,为了有效的满足SCBSS的双休,则要增加模型的适应性能,在大数据以及智能化技术手段的支持之下进行模型的性能扩展以及优化。通过人工智能、专家知识库,基于数据驱动技术等多种方式进行学习拓展,构建精细化、智能化以及层次化的SCBSS模型,才可以切实满足实际的应用需求<sup>[10]</sup>。

四、结束语

在计算机技术、神经网络以及数据处理等技术手段的支持之下,通过深度学习等方式进行语音信号信息数据的处理,通过基于数据驱动的方式进行信号处理,通过信号、调制识别以及信号估计等方式进行综合分析,可以通过深度神经等方式进行数据非线性的模拟,达到优化结果的目的。

参考文献

[1] 胡泽峰. 单通道全双工光通信系统及关键器件研究 [D]. 南京邮电大学, 2023.  
[2] 赵文胜. 通信信号的单通道盲源分离技术研究 [D]. 西安电子科技大学, 2023.  
[3] 李红丽. 基于深度学习的通信信号盲源分离研究 [D]. 电子科技大学, 2023.  
[4] 雷存平. 单通道非对称混合通信信号分离与参数估计 [D]. 电子科技大学, 2023.  
[5] 袁佳. 基于循环神经网络波分复用光纤通信系统中 XPM 效应均衡 [D]. 北京邮电大学, 2022.  
[6] 李懿, 崔芳芳, 段振兴, 等. 电网通信工程单通道改造的分析与实践 [J]. 东北电力技术, 2022, 43(01): 28-33+40.  
[7] 何继爱, 陈兴. 通信信号参数估计技术及其发展 [J]. 测控技术, 2017, 36(03): 6-10.  
[8] 邓文, 黄知涛, 王翔. 单通道通信信号盲分离方法的研究进展综述 [J]. 通信学报, 2023, 44(08): 179-194.  
[9] 周雨菲. 通信信号单通道盲源分离算法的研究 [D]. 西安电子科技大学, 2022.  
[10] 蔡昕. 单通道时频混叠数字通信信号盲分离方法研究 [D]. 国防科技大学, 2021.



# 镇北油田某侏罗系油藏水驱规律及合理注水政策研究

张鹏飞<sup>1</sup>, 张燕<sup>1</sup>, 何传健<sup>1</sup>, 何丽红<sup>2</sup>, 袁涛<sup>1</sup>

1. 长庆油田公司第十一采油厂, 甘肃 庆阳 745000

2. 庆城县驿马中学, 甘肃 庆阳 745000

**摘 要 :** 镇北油田某侏罗系油藏自2019年投入开发, 主力开发层系延6、延7、延8, 具有平均有效厚度低、有效驱替系统建立快, 见水见效周期短等特点, 近两年井口年产油2.5万吨。随着近几年开发, 受有效厚度小、注水敏感等因素影响, 该区油井含水上升速度加快, 油藏出现较大递减, 并有进一步加大趋势, 开发形势不容乐观。本文从合理注水强度、注采比、采液强度、采油速度等方面剖析了该区侏罗系油藏递减加大的主控因素, 总结出该区合理的开发技术政策, 指导油藏开发调整。

**关 键 词 :** 层状油藏; 注采调控; 合理; 注水政策

## Study on Water Flooding Law and Reasonable Water Injection Policy in a Jurassic Reservoir in Zhenbei oilfield

Zhang Pengfei<sup>1</sup>, Zhang Yan<sup>1</sup>, He Chuanjian<sup>1</sup>, He Lihong<sup>2</sup>, Yuan Tao<sup>1</sup>

1. The 11th Oil Production Plant of Changqing Oilfield Company, Qingyang, Gansu 745000

2. Yima Middle School, Qingcheng County, Qingyang, Gansu 745000

**Abstract :** A Jurassic reservoir in Zhenbei Oilfield has been put into development since 2019, and the main development layer is extended 6, 7 and 8. It is characterized by low average effective thickness, fast establishment of the effective displacement system, and short water effect cycle. The annual output of the wellhead is 25,000 tons of oil in the past two years. With the development in recent years, due to the influence of small effective thickness and sensitive water injection, the water content of the oil well in this area has been accelerated, and the reservoir has decreased greatly, and there is a trend of further increase. The development situation is not optimistic. This paper analyzes the main control factors of increasing Jurassic reservoir from the aspects of reasonable water injection strength, injection-production ratio, liquid extraction strength and oil recovery speed, summarizes the reasonable development technology policy in this area, and guides the reservoir development and adjustment.

**Keywords :** layered reservoir; injection and production control; reasonable; water injection policy

### 一、背景现状

#### (一) 开发概况

##### 1. 地质概况

镇北某侏罗系油藏于2019年开始建立, 主要开发延6、延7、延8层, 属岩性-构造油藏, 以260m×260m正方形反九点井网注水开发<sup>[1]</sup>。平均有效厚度3.8m, 岩芯分析孔隙度14.9%, 岩芯分析渗透率15.3mD, 动用含油面积 $^{*} \times \text{km}^2$ , 动用地质储量 $^{*} \times 10^4 \text{t}$ , 动用可采储量 $^{*} \times 10^4 \text{t}$ , 标定采收率20.1%。

##### 2. 开发现状

2019年开始大规模建产, 整体低含水采油期维持了30个月左右, 目前综合含水37.3%, 采出程度18.37%, 处于中含水高采出稳产阶段。

从分层开采现状统计来看, 延6层日产油44t, 产量占比63.8%; 平均油层厚度3.5m, 延7、延8层日产油25t, 产量占比36.2%, 平均油层厚度4.3m。

#### (二) 稳产面临的形势

##### 1. 油层薄, 无明显边低水

从延6、延7油藏剖面连通图来看, 镇北油田某侏罗系油藏延6、延7油藏无规模边底水, 表明该区域侏罗系油藏天然能量不足, 开发初期为弹性能驱动, 注水后, 油藏由自然弹性驱动逐渐转变为人工水压驱动<sup>[2]</sup>。

##### 2. 注水见效快, 含水上升风险大

镇北油田某侏罗系油藏注水见效快, 统计该区侏罗系油藏注水与动液面关系曲线, 从曲线上可以看出, 延6油藏同步注水2个月后才开始见效, 延7油藏注水4个月后才开始见效, 含水上率呈上升趋势。目前综合含水37.3%, 含水上率2.2%, 呈上升趋势<sup>[3]</sup>。延6油藏注水敏感, 注水见效快, 局部见注入水, 2023年以来见注入水4口, 损失产能5.4t。

3. 镇北油田某侏罗系油藏侏罗系含水上升风险大, 需探索合理注采技术政策

经2021年以来的对注采对应进行完善, 水驱控制程度由74.1%

作者简介: 张鹏飞(1987-), 男, 汉族, 甘肃正宁人, 高级职称, 本科生, 研究方向: 油气藏增产与改造、提高采收率等。

提升至74.6%，水驱动用程度由84.0%提升至83.4%，水驱状况保持稳中有升，从吸水剖面测试来看，整体剖面吸水较为均匀，表明该区剖面矛盾并不突出<sup>[4]</sup>。延6油藏油层平均厚度5.1m，注水见效快，储层注水敏感加之局部采液强度较高，在相对完善的注水对应基础上，后期开发矛盾可能转为注水平面矛盾，有多方向含水上升风险。需持续优化并论证合理注采技术政策<sup>[5]</sup>。

### （三）开发指标及开发特征

#### 1. 水驱状况及变化特征

一是水驱控制程度由2022年同期的74.1%提升至目前的74.6%，提升了0.5%，水驱动用程度由2022年同期的84.0%下降至目前的83.4%，下降了0.6%，可见水驱状况保持平稳。二是2023年测试5口井，平均吸水厚度7.55m，水驱动用程度83.4%，其中可对比井2口，不可对比井2口，可对比井计算水驱动用程度由去年同期的87.2%下降至目前的82.2%，不可对比井计算水驱动用程度由去年同期的76.5%上升至目前的84.7%。通过测试的吸水剖面形态来看，剖面吸水整体较为均匀。

#### 2. 压力保持水平有所下降

2023年压力测试7口，其中6口为二流量测试；2022年压力测试5口，其中2口二流量测试，3口为井下关井测试。从测试结果计算来看，压力保持水平有所下降，该区侏罗系油藏原始地层压力14.44MPa，目前压力保持水平由去年同期的90.7%下降至目前的90.2%，压力保持水平趋于合理。

#### 3. 含水上升加快，含水上升率偏高

一是目前综合含水37.3%，含水上升率2.2%，呈上升趋势。二是延6油藏注水敏感，注水见效快，局部见注入水，2023年以来见注入水4口，损失产能5.4t。从6口见水井的见水特征曲线可以看出，见水类型均呈现空隙型见水特征。

#### 4. 两项递减减小

对比近两年递减指标变化，年自然递减由去年同期的16.1%下降至目前的9.6%，标定自然递减由去年同期的5.6%下降至目前的2.1%，2022年以来通过精细注水调整以及剖面治理，递减减小，油藏稳产形势趋于好转<sup>[6]</sup>。

## 二、合理技术政策研究

### （一）合理压力保持水平

共用三种方法进行论证计算该油藏合理压力保持水平。方法一为油藏特征法，即根据类似侏罗系油藏的注水开发经验，合理地层压力保持水平在85%~90%较为合理，计算合理压力保持水平为85.0%；方法二为原油粘度法，即合理的地层压力保持水平为 $0.9P_b + P_{\text{生产压差}}$ ，计算合理压力保持水平为86.7%；方法三为80%静水柱压力法，即80%静水柱压力法即80%的同等深度的静水柱压力，计算合理压力保持水平为92.5%<sup>[7]</sup>。对以上三种方法综合比较取平均值，综合以上3种方法综合确定镇北油田某侏罗系油藏合理的压力保持水平为88.1%。该区压力保持水平有所下降，该区侏罗系油藏原始地层压力14.44MPa，目前压力保持水平由去年同期的90.7%下降至目前的90.2%，对比合理压力保持水平，目前压力

保持水平仍然偏高。

### （二）合理注水强度

一是通过矿场实践统计求证。从含水上升幅度与注水强度关系图可以看出，当注水强度 $\leq 2.7\text{m}^3/\text{m.d}$ 时，含水上升幅度较小；从单井产能与注水强度关系图可以看出，当注水强度在 $\geq 2.1\text{m}^3/\text{m.d}$ 之间时，单井产能较高。综上，镇北油田某侏罗系油藏区合理注水强度保持在 $1.4\sim 1.7\text{m}^3/\text{m.d}$ 之间。

二是通过油藏工程法计算求证。根据注采平衡原理，采油井日产油量确定后，计算注水井的日注水量，通过将采油井单井日产油量、原油密度、注采比、注采井数比几个参数代入后计算延6油藏合理注水强度为 $1.7\text{m}^3/\text{m.d}$ ，计算延7油藏合理注水强度为 $1.5\text{m}^3/\text{m.d}$ 。目前延6、延7油藏注水强度基本合理，延8油藏因滞后注水目前处于加强注水阶段，后续根据油藏变化持续调整优化<sup>[8]</sup>。

三是矿场实践应用探索。桐53-34井前期频繁套返，大法兰和套管短节因为压力高刺漏，对应水井桐52-35井2022年6月延7层配注由 $12\downarrow$ 至 $4\text{m}^3/\text{d}$ ，注水强度由 $1.85\downarrow 0.77\text{m}^3/\text{m.d}$ 后，该井快速响应，配注调整5天后，套管压力下降，目前该井生产运行保持平稳。

### （三）合理注采比

#### 1. 油藏工程及矿场实践统计

一是通过矿场实践统计求证。从注采比与含水上升幅度关系图可以看出，当注采比 $\leq 1.3$ 含水上升幅度较小；从注采比与压力保持水平关系图可以看出，当注采比在 $\geq 1.2$ 之间时，单井产能较高。综上，镇北油田某侏罗系油藏区合理注水强度保持在 $1.2\sim 1.3\text{m}^3/\text{m.d}$ 之间。

二是通过油藏工程法计算求证。根据物质平衡原理，代入 $R$ —注采比； $C_t$ —综合压缩系数， $1/\text{MPa}$ ； $V$ —油层体积， $\text{km}^3$ ； $\Delta P$ —压差， $\text{MPa}$ ； $f_w$ —含水率，小数； $q_0$ —日产油， $\text{t/d}$ ； $q_w$ —日产水， $\text{m}^3$ ； $B_0$ —原油体积系数； $B_w$ —水体积系数等参数，计算延6油藏合理注采比1.17，延7油藏合理注采比1.05。根据水油比关系法，代入 $R$ —注采比； $f_w$ —含水率，小数； $q_0$ —日产油， $\text{t/d}$ ； $q_w$ —日产水， $\text{m}^3$ ； $B_0$ —原油体积系数； $M$ —注采井数比。计算延6油藏合理注采比1.24，延7油藏合理注采比1.12。结合两种评价方法，镇北油田某侏罗系油藏区侏罗系油藏合理注采比为1.1~1.3。

三是矿场实践应用探索。该区初期注采井网不完善，储层能量下降快，导致2021年产量递减快，其后开展剖面治理，加大注水强度至1.8，井组见效明显，但综合含水也随之上升，2022年为控制含水上升，多口井配注下调，控制注采比在1.1~1.3，目前含水趋于稳定<sup>[9]</sup>。

#### 2. 注水政策同其他指标矿场相关性研究

一是注水强度、注采比与压力保持水平相关性。根据注水强度与压力变化曲线可以看，经过历年的注水调整，目前注水强度在 $1.5\text{m}^3/\text{m.d}$ 左右时，压力保持水平趋于合理；从注采比与压力变化曲线可以看出，注采比在0.9左右时，压力保持水平趋于合理。

二是注水强度、注采比与含水上升幅度相关性。从注水强度与含水上升幅度关系图可以看出，注水强度小于 $1.6\text{m}^3/\text{m.d}$ 时，

含水上升幅度较慢；从注采比与含水上升幅度关系图可以看出，注采比小于1.0时，含水上升幅度较慢。

三是注水强度、注采比与递减相关性。从注水强度与标定递减关系曲线可以看出，通过近年的注水调整，目前注水强度在 $1.5\text{m}^3/\text{m.d}$ 左右，标定递减较小；注采比在1.0左右，标定递减较小。

#### （四）合理采液强度

从采液强度与含水上升幅度关系图可以看出，采液强度小于 $0.7\text{m}^3/\text{m.d}$ 时，含水上升幅度小；从采液强度与单井日产油关系图可以看出，采液强度为 $0.5\text{m}^3/\text{m.d}$ 时，单井日产油能力较为合理。结合采液强度与日产油关系图，采液强度控制在 $0.5\sim 0.7\text{m}^3/\text{m.d}$ 比较合理。目前仍有11口井油层厚度平均为4.9m，日产液平均 $7.1\text{m}^3$ ，11口井平均采液强度达 $1.4\text{m}^3/\text{m.d}$ ，仍需对11口井采液强度进行优化。

#### （五）合理采油速度

一是通过油藏工程法计算求证。根据流动系数、井网密度与采油速度的关系，代入N地质储量， $10^4\text{t}$ ； $v_0$ 合理采油速度； $\Delta P$ 油藏压降，MPa；A含油面积， $\text{km}^2$ ；Rot油井数/总井数；a计算系数；n井网密度，井/ $\text{km}^2$ ；k有效渗透率；h油层厚度； $\mu$ 地层原油粘度，mPa.s。回归计算出合理采油速度，镇北油田某侏罗系油藏区侏罗系油藏合理采油速度为1.2%。

二是通过经验公式法计算。代入 $V_0$ —采油速度，%；K—渗透率， $10^{-3}\mu\text{m}^2$ ；h—有效厚度，m； $\mu$ —原油粘度，mPa.s； $\eta$ —井网密度，well/ $\text{km}^2$ 。1.0301。结合油藏工程法、经验公式法综合确定镇北油田某侏罗系油藏油藏合理的采油速度范围 $1.0\sim 1.2\text{m}^3/\text{d/m}$ 。

### 三、现场应用

#### （一）精细注采调控

镇北油田某侏罗系油藏区建产以来配注调整55井次，持续以加强注采对应关系研究为重点，开展镇北油田某侏罗系油藏区注采继续政策的持续优化并跟踪评价。2023年坚持温和注水，其中加强注水7井次，控制注水18井次，注水强度 $2.21\downarrow 1.57\text{m}^3/\text{m.d}$ ，油藏年自然递减由15.9% $\downarrow 9.0\%$ ，标定自然递减由5.6%下降至目前的2.1%，2022年以来通过精细注水调整以及剖面治理，递减大幅减小，油藏稳产形势趋于好转<sup>[10]</sup>。

其中典型井桐 TF-37井2019年8月投注，注水介质清水。对应采油井6口，除桐 TF-38套破外，2022年来该井组综合含水由9.8 $\uparrow 21.2\%$ ，平均动液面由934 $\uparrow 531\text{m}$ ，桐 TF-37今年8月控制注水后井组含水上升趋于稳定，目前桐 TF-37日配注 $12\text{m}^3$ ，日注 $12\text{m}^3$ （延6层日注 $4\text{m}^3$ ），累计注水量17947 $\text{m}^3$ 。典型井桐 TF-37井于2019年7月投产，生产层位延6<sub>2</sub>，投产初期日产 $5.76\text{m}^3/4.47\text{t}/9.5\%$ ，动液面613m；2022年9月该井见水见效，液量由4.52 $\uparrow 5.64\text{m}^3$ ，含水由8.0 $\uparrow 16.2\%$ ，动液面由842 $\uparrow 173\text{m}$ ，其后及时调整该井对应水井配注，桐 TE-37延6<sub>2</sub>层配注由6 $\downarrow 4\text{m}^3/\text{d}$ ，目前该井日产 $5.22\text{m}^3/3.61\text{t}/17.7\%/27489\text{mg/L}$ ，动液面已从173m $\downarrow 369\text{m}$ ；累计产油4825t，累计产水543 $\text{m}^3$ 。

#### （二）持续优化注水采技术政策

一是以加强注采对应关系研究重点，该油藏自开发以来，历经多次调整，先是投产产能快速递减，加强了注水，并对5口注水井进行补孔，进一步完善注采对应。随后油井开始见效见水，个别井点含水上升过快，遂借鉴区域其他类型油藏的开发特征，对合理注水政策进行论证，进行了多轮次的注水调整，且以控制注水为主，经过多轮次的精细注水调整，目前油藏含水上升速度得以遏制，油藏递减见效，后续仍然需要开展镇北油田某侏罗系油藏区注采继续政策的持续优化并跟踪评价。后续优选两个井组开展水驱前缘或井间连通性测试，评价注水优势方向。二是完善注采层系补孔3口，实施重复压裂1口，实现措施引效，提高单井产量。三是开展补孔分注1口，单层增注1口，持续改善剖面水驱状况，提升水驱开发效果。

### 四、结论认识

一是镇北油田某侏罗系油藏侏罗系薄层层状油藏无明显边底水，自然能量不充足，需要注水开发；

二是该区注水敏感，见水见效快，延6油藏同步注水2个月后开始见效，延7油藏注水4个月后开始见效，含水上升风险大；

三是通过论述，镇北油田某侏罗系油藏区侏罗系油藏合理开发技术政策为：压力保持水平控制在91.3%，采油速度控制在1.2%，注采比控制在1.0— $1.3\text{m}^3/\text{m.d}$ ，注水强度控制在 $1.5\sim 1.7\text{m}^3/\text{m.d}$ ；

四是针对此类薄层层状油藏更应该精细注采调整，实现油藏高效管控，2021年该区实施剖面治理5井次，配注调整24井次。2022年配注调整10井次，2023年注水调整25井次；

五是该区目前延6、延7油藏注采技术政策基本合理，延8油藏因滞后注水目前处于加强注水阶段，后续根据油藏变化持续调整优化。

### 参考文献

- [1]胡天宝，毛建文，任晓明，等. 彭阳油田侏罗系油藏开发特征及稳产技术研究[C]//第十二届宁夏青年科学家论坛石化专题论坛. 2016:5.
- [2]陈德照，吴勤博，杨颀，等. TBC侏罗系油藏控水稳油对策研究[J]. 中国石油和化工标准与质量，2023.
- [3]吴娟丽. 华庆油田白153井区长6油藏储层特征研究[D]. 西安石油大学，2014.
- [4]陈德照，吴勤博，杨颀，等. TBC侏罗系油藏控水稳油对策研究[J]. 中国石油和化工标准与质量，2023.
- [5]陈磊，王皓立，邹焰，等. Y267延8侏罗系油藏控水稳油技术研究[J]. 内蒙古石油化工，2023,49(1):77-80.
- [6]赵辉，周美红，郭文娟，等. 侏罗系油藏储层连通性研究及应用[J]. 石油化工应用，2020,39(3):4.
- [7]安娜，杨学武，李金国，等. 靖安低渗透油藏气驱提高采收率研究[J]. 中国科技期刊数据库，工业A,2022(5):4.
- [8]汪刚，王学峰，赵杰，等. 白豹油田白111区块延10油层组开发存在的问题及政策调整[J]. 油气井测试，2020,29(2):6.
- [9]余杰. 陕北斜坡中部A区CH8油藏成藏控制因素研究[D]. 西安石油大学，2021.
- [10]杨金峰，李忠洋，彭瑞强，等. 侏罗系油藏黏弹自调控剂调控剂技术研究与应用[J]. 石油化工应用，2024,43(1):58-61.

# 铝合金阳极氧化封孔灰生成原因及预防措施探究

王清华<sup>1</sup>, 黄飞<sup>2</sup>

1. 武汉工程大学 材料科学与工程学院, 湖北 武汉 430205

2. 佛山澳本环保科技有限公司, 广东 佛山 528000

**摘 要 :** 通过对国内文献的分析, 了解并掌握铝合金封孔工艺原理和制程方法, 深入分析并归纳整个阳极氧化过程中可能产生起灰现象的工序以及起灰的大致原因。通过对起灰特征分析, 从中判断哪种类型灰渍属于封孔灰。针对封孔灰成因进行分析, 结合实际生产经验给出预防措施和事后解决方案, 以改善铝合金在阳极氧化封闭过程中的起灰问题, 提升铝合金制品表面处理的良率和生产效率。

**关 键 词 :** 铝合金; 阳极氧化; 封闭工艺; 起灰

## Research on the Causes and Preventive Measures of Aluminum Alloy Anodized Sealing Ash

Wang Qinghua<sup>1</sup>, Huang Fei<sup>2</sup>

1. Wuhan Engineering University School of materials science and engineering, Wuhan, Hubei 430205

2. Foshan Aoben Environmental Technology Co., LTD. Foshan, Guangdong 528000

**Abstract :** Through the analysis of domestic literature, understand and master the aluminum alloy sealing process principle and process method, in-depth analysis and induction of the process that may produce ash phenomenon in the whole anodizing process and the approximate cause of ash. By analyzing the characteristics of ash, we can judge which type of ash stain belongs to sealing ash. Based on the analysis of the causes of sealing ash, preventive measures and post-processing solutions are given based on the actual production experience, in order to improve the ash problem of aluminum alloy in the process of anodize oxidation sealing, and improve the yield and production efficiency of aluminum alloy products.

**Keywords :** aluminum alloy; anodize oxidation; sealing process; ashing

## 引言

铝合金材料具有相对密度小、比强度高、易于机械加工、导电导热性能优良、易于成形、价格便宜且外观可着色等一系列优点, 广泛应用于航空航天、船舶制造、兵器工业和轻工建材等多个领域, 是具有经济价值和商业应用意义的优异材料<sup>[1]</sup>。但是铝及铝合金因活性较高, 易在表面形成一层非晶态的  $Al_2O_3$ , 但由于自然形成的氧化膜厚度较薄且结构十分疏松, 很难满足实际应用需求。<sup>[2]</sup> 因此, 实际应用当中常常会采用一些表面处理方式来增加铝合金材料的抗氧化性和耐用性。

铝合金常用的表面处理方式包含涂装、电泳、电镀以及阳极氧化等<sup>[3, 4]</sup>。其中阳极氧化技术因设备简单、工艺稳定, 且制备的铝合金氧化膜具有高硬度、耐磨损性能好、耐腐蚀性能好等优异性能, 同时通过各种着色方法获得不错的装饰外观, 应用领域最为广泛<sup>[5]</sup>。

然而, 在铝合金阳极氧化生产过程中, 经常会遇到麻点<sup>[6]</sup>、色差<sup>[7]</sup>和起灰等各类表面缺陷, 这些缺陷对产品外观造成影响, 甚至导致产品报废。本文将对起灰问题进行研究和分析, 以便探索出可行性的解决方案。

## 一、概述及分析

### (一) 封孔工艺介绍

铝合金阳极氧化后会在表面生成多孔型的阳极氧化膜, 这类膜结构由紧贴金属基体的阻挡层与多孔层两部分所组成。这种多孔的特性虽然赋予氧化膜着色和其他功能, 但是耐腐蚀性、耐候性、耐污染性等都不可能达到使用的要求, 氧化膜的微孔必须进

行封闭。未封孔的氧化膜, 由于大量微孔孔内的面积, 使暴露在环境中的材料有效表面积增加几十倍到上百倍, 相应的腐蚀速度也大为增加, 同时也容易造成材料表面变色或褪色。

铝合金材料阳极氧化后常用的封闭方法有: 水合封闭、有机物封闭、溶胶封闭、金属盐封闭。

1. 水合封闭又细分为沸水封闭和高温蒸汽封闭, 两种封闭方式原理都是利用水合氧化铝凝胶在孔壁和膜表面沉积, 然后

作者简介: 王清华 (1985.04-), 男, 汉族, 籍贯: 湖南省长沙, 本科, 现就职于: 武汉工程大学 材料科学与工程学院, 研究方向: 新型材料和工艺。



浓集形成假勃姆体，进一步再结晶生成勃姆体。沸水封闭主要特点是工艺操作简单，但对水质要求非常高，微量污染也会导致水合封闭反应失效，另外也容易起霜。高温蒸汽封闭不受水质、pH值等影响、封闭质量好、不易起霜，但存在压力容器设备成本高，无法连续处理大型铝材。水合封闭方程式： $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{AlO}(\text{OH}) \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ （勃姆体）。

2. 有机物封闭，其原理是将硬脂酸，聚合物等有机物涂敷在氧化膜表面，经过长时间高温烘干。具有电绝缘性能好，耐腐蚀性能良好等特点，但是存在膜层机械强度不够以及因为工艺条件无法实现工业化等缺点。

3. 溶胶封闭，可细分为硅溶胶封闭和铝溶胶封闭两种。硅溶胶封闭是利用无机或有机硅作为前驱体与氧化膜表面的羟基反应。封闭成膜后有优良的耐腐蚀性能，但是存在机械强度不足等缺点；铝溶胶封闭是将勃姆体溶胶浸渍烘干后物理吸附后填充在氧化膜孔中，耐腐蚀效果相比沸水封闭好，但价格昂贵以及耐磨性和硬度不足等问题。

4. 金属盐封闭，可细分为重铬酸盐封闭、金属盐沉积封闭、金属成膜封闭。

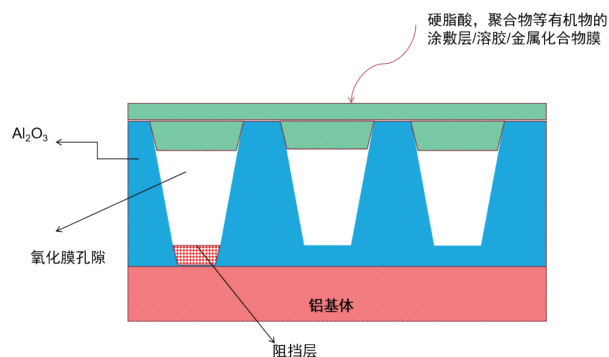
#### ①重铬酸盐封闭

反应式为： $2\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 5\text{H}_2\text{O} = 2\text{Al}(\text{OH})\text{CrO}_4 + 2\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{KOH}$

虽然有好的封孔效果，且稳定不易褪色，但成本较高，同时重金属铬污染环境，不适合大规模应用。

②金属盐沉积封闭，可细分常温镍盐封闭、中温镍盐封闭、碱土轻金属盐封闭等，整体来说封孔效果良好，能提高膜层致密性和耐蚀性。

③金属成膜封闭。是通过生成金属化合物膜，覆盖在氧化膜表面达到封闭效果，但一般膜层不够致密。



> 图1 有机物/溶胶/金属盐封闭示意图

现阶段生产过程中很少使用纯水或水蒸气封孔，而无镍封孔对染色兼容性稍差，使用范围也不是那么广。真正用于染色封孔主要还是以醋酸镍为代表的中高温型封孔剂，这类封孔剂的主体成分就是高纯度的醋酸镍，辅助成分包含一些表面活性剂、PH稳定剂和防霉剂等，对水质要求不高，并且对封孔工艺要求也不是很严格，在大中小型氧化线上得到广泛应用。

#### （二）如何判断封孔灰

铝合金在阳极氧化过程中，有几个不同的工艺阶段合金表面容易产生灰渍。这些灰渍要么影响到后工序的正常处理，要么直

接影响氧化成品的外观效果。如果想要针对性解决铝合金表面这些灰渍，需要按阳极氧化工艺顺序同时结合灰渍特征进行分析，不同灰渍成因不同，解决方案也不同，以下是不同灰渍进行的成因分类：

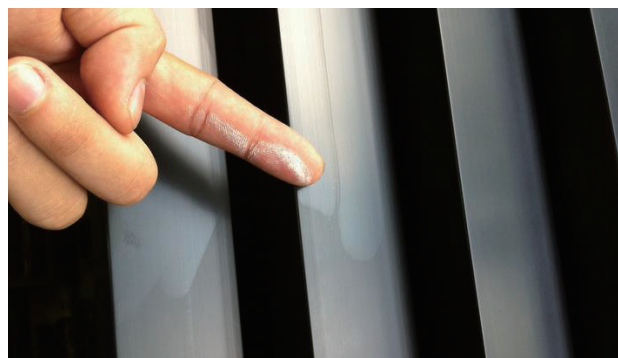
第一种类型为前处理灰，主要发生在化抛、碱蚀等前处理阶段。在化抛反应过程中，铝、铜、锌、硅等离子与酸的反应速度并不一致，铝合金与酸的界面间金属离子丰度不一致，溶解的非铝金属离子也容易被还原到铝合金的表面，从而造成黑灰。碱蚀过程与化抛类似，通过氢氧化钠对铝合金的腐蚀达到一定的表面处理效果，同时也同样会产生黑灰。这类前处理灰渍比较难去除，即使去除封孔质量也是不良的，最有效的解决方案是在中和除灰槽中处理，本文不做赘述。

第二种类型为阳极氧化灰，这类是由于不恰当的氧化电流密度和温度，或者是长时间氧化等因素导致氧化膜烧伤，造成氧化膜松软甚至粉化，表现出工件表面起灰现象。这类起灰情形通常只能褪氧返工，而无法通过其他补救措施改善。

第三种类型为封孔灰，顾名思义这类起灰缺陷是在封孔过程中产生。根据缺陷特征，可细分为“封闭白雾”“封闭粉霜”。封闭白雾是指在封闭不良的情况下，工件表面呈现的白雾状的灰，往往很难擦掉，甚至擦掉了又自动形成；封闭粉霜通常情况能轻松擦掉，封闭也是优良的。本文将深入探讨封孔灰的成因及其预防措施和解决方案。

#### （三）封孔灰成因分析

封孔过程中镍离子进入氧化膜孔内水解成氢氧化镍并且沉淀下来，在客观上也是往氧化膜孔内部填充物质。如果氧化膜孔已经在前道工序中在染色液中吸附了满满的色粉，那么经过封孔工艺的再次填充必然会导致色粉会被挤出一点点出来。有些染料及时的分散到封闭液中，而有些染料的分子结构与镍离子结合较为紧密形成新的络合物，并不容易从氧化膜表面脱离，较浅的颜色较少发生这种可能，而黑色则有较大概率发生类似情况。同时如果封孔液 PH 稍高，镍离子水解成氢氧化镍的倾向就会加大，在氧化膜表面沉积下来的概率也会增大。在以上种种因素的影响下，氧化膜表面残留了一些物质并随着铝材干燥后而显现出来，即所谓的封孔灰，这种封孔灰通常是淡淡的白色或者灰色（如图2）。有时候因为染色不同，也有可能呈现出别的颜色。黑色氧化膜由于颜色对比很明显而很容易发现，相反本色氧化对比度比较小，视觉差异也比较小，观感不是那么强烈。



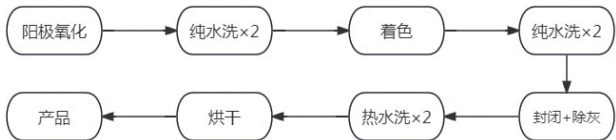
> 图2 阳极氧化封孔灰

## 二、预防及解决措施

### (一) 预防起灰措施

在实际生产中, 阳极氧化后的封闭过程是非常容易产生封闭灰的, 尤其是在封闭槽使用一段时间后, 封闭起灰越发严重。经过分析, 起灰的主要原因有: ①封闭液偏高的 pH 值; ②封闭液镍离子含量较高; ③封闭液中杂质离子的影响; ④电解着色本身产生的粉灰; ⑤封孔时间过长。

通过理论分析以及结合生产实验, 可采用图3工艺流程有效解决或降低封闭灰。封闭时直接采用包含抑灰剂的封孔剂, 主要成分包含有镍盐、缓冲剂、抑灰剂、表面活性剂、促进剂、润湿剂等复合配方, 封闭过程中可以在很大程度上抑制封闭灰的形成。这种方式最适合大型封闭槽, 其抑灰的原理是通过“吸附→络合→脱离”过程, 将产生的封闭灰直接从封闭液中络合带走, 从而维持封闭后铝合金工件表面干净无灰的状态。



> 图3 阳极氧化后封孔+除灰工艺流程图

技术参数:

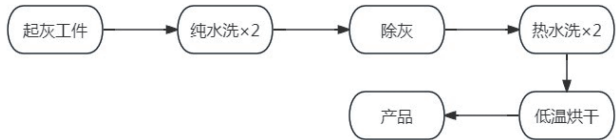
工艺参数	工作温度	槽液 pH 值	配比	处理时间
参数值	60~85℃	5.3~5.8	5 ~ 10g/L	5 ~ 40min

参数说明:

- 生产过程中, 如果 pH 值发生波动时, 可使用冰醋酸或者稀释的氢氧化钠溶液进行调整, 将 pH 值控制在上述工艺参数内;
- 处理时间需视氧化膜厚度决定, 通常情况按 1.0~1.3  $\mu\text{m}/\text{min}$  进行测算。

### (二) 起灰后补救措施

在实际生产过程中, 如果工件已产生难以擦拭清除的“白雾”或“粉霜”, 这时可以单独做除灰清洗以便进行补救。具体操作工艺: 首先对工件进行水洗清洁, 然后再除灰清洗, 除灰时候在除灰槽中按 50 ~ 100g/L 的比例加入除灰剂并搅拌均匀, 通过加热装置将槽液温度控制在 70~85℃ 之间, pH 值控制在 5.3~6.0 之间, 除灰时间控制在 10 ~ 20min 之间。除灰工艺处理后, 采用热水对工件进行清洗 2 遍, 水温控制在 40~45°, 清洗时间控制在 30 秒 ~ 1 分钟之间, 最后对工件低温烘干 (如图 4)。



> 图4 起灰工件除灰工艺流程图

技术参数:

工艺参数	除灰剂	除灰时间	除灰温度	pH 值
参数值	50 ~ 100g/L	10 ~ 20min	70~85℃	5.3~6.0

参数说明:

- 正常生产过程中应定时监控槽液浓度, 当检测除灰剂浓度

低于标准时, 需适当补加新的除灰剂, 如果槽液污染严重, 应当清槽并更换槽液。

- 尽可能控制除灰槽液温度在上述工艺参数范围, 除灰效果最佳。

- 生产过程中, 除灰槽液发生 pH 值波动, 需使用冰醋酸或者稀释的氢氧化钠溶液调整, 将 pH 值控制在上述工艺参数内。

按上述工艺方法, 通常情况下不仅能将铝合金氧化膜表面的粉灰去除, 而且不会造成氧化膜的损伤和降低封孔效果, 甚至可将沉淀在工件表面的氢氧化镍一并去除, 达到无伤除灰除镍的效果 (如图 5)。



> 图5 除灰清洗前后对比效果

## 三、结束语

铝合金产品在阳极氧化过程中出现起灰缺陷的原因有很多, 首先需要确定是哪个工序产生的, 其次分析成因再针对性进行解决。本文主要研究的封闭灰, 有效预防方案是在封闭过程中采用合理的工艺参数以控制封闭槽中槽液温度、浓度、pH 值以及封闭时间, 同时加入适当比例的抑灰剂辅助, 能很好地抑制封闭灰的产生。另外, 针对已产生“白雾”“粉霜”的封闭灰缺陷的产品, 可采用合理配比的除灰剂, 增加一道除灰工艺进行去除。通过实验和实际生产反馈, 以上措施可以很好预防封闭灰的产生或者有效清除已产生的封闭灰, 提升铝合金产品阳极氧化工艺的良率和生产效率。

## 参考文献

- [1] 高镜涵, 李菲晖, 巩运兰, 等. 铝合金阳极氧化技术研究进展 [J]. 电镀与精饰, 2018, 40(8): 18~23.
- [2] 张延品, 吴群英, 夏媛, 等. 浅谈铝合金阳极氧化工艺研究进展 [J]. 信息记录材料, 2022, 23(5): 79~81.
- [3] 钟跃房, 黄世富, 黄金成, 等. 6063 铝合金阳极氧化膜厚度对其耐腐蚀性能的影响 [J]. 装备制造技术, 2024(4): 48~50, 64.
- [4] 梁广, 朱胜, 王文宇, 等. 铝合金腐蚀防护技术研究现状及发展趋势 [J]. 材料导报, 2020, 34(z2): 429~436.
- [5] 尹晓琳, 孟渊. 国内铝合金阳极氧化工艺专利分析 [J]. 中国金属通报, 2023(7): 106~108.
- [6] 王雨顺, 丁毅, 马立群. 6063 铝合金阳极氧化过程中麻点问题分析 [J]. 腐蚀与防护, 2011, 32(4): 314~315, 318.
- [7] 谈婷, 宋全, 孙宏波, 等. 铝合金阳极氧化膜表面异常典型案例 [J]. 电镀与涂饰, 2021, 40(15): 1211~1214.

# 双创背景下老旧厂房改造利用研究

李庆

北京林业大学国家大学科技园，北京 100083

**摘 要：** 在当前的发展环境下，城市更新作为盘活老旧厂房存量资源、实现城市可持续发展的重要途径之一，受到广泛关注。本文通过分析当前老旧厂房改造现状，针对基于双创背景下的老旧厂房改造问题，提出了一些改造策略及建议，期望能为城市的发展做出贡献。

**关 键 词：** 双创；老旧厂房；改造利用

## Research on the Transformation and Utilization of Old Factory Buildings under the Background of Double Innovation

Li Qing

Beijing Forestry University National University Science and Technology Park, Beijing 100083

**Abstract：** In the current development environment, urban renewal has received widespread attention as one of the important ways to revitalize the existing resources of old factories and achieve sustainable urban development. This article analyzes the current situation of the renovation of old factory buildings and proposes some renovation strategies and suggestions for the renovation of old factory buildings based on the background of entrepreneurship and innovation, hoping to contribute to the development of cities.

**Keywords：** entrepreneurship and innovation; old factory buildings; transformation and utilization

### 引言

“双创”，即创新创业，自从2015年总理在年度政府工作报告中提出了“大众创业、万众创新”的理念以来，这一概念迅速在全国范围内得到推广和实施。总理的倡导不仅仅是对个体创业者精神的鼓励，更是将这一政策上升为了国家发展战略中不可或缺的一环。目前，我国工业用地的存量庞大，达到了惊人的4700万亩土地面积，而其中有超过一半的土地被那些年代久远的老旧厂房所占据。这些老旧厂房曾经见证过时代的辉煌，但随着时间的推移，它们逐渐成为城市发展的负担，许多厂房闲置不用，或者虽然继续使用但效率低下，无法满足现代工业生产的需求。

### 一、当前老旧厂房改造现状

#### （一）各界广泛关注

当前我国正处于经济转型期，老旧厂房的利用也受到了国家、社会各界的广泛关注。国务院总理李克强在政府工作报告中指出：“要充分挖掘老工业基地潜力，培育新产业、新动能、新增长极”。在中央大力倡导创新创业的大背景下，各地方政府积极响应号召，出台相关政策措施促进老旧厂房改造再利用，将其打造为新型文化创意产业园和众创空间，并通过引入创新创业企业，推动城市更新改造<sup>[1]</sup>。

#### （二）不同地区存在差异

目前，我国老旧厂房改造工作主要集中在北京、上海等大城市和一些经济发达的地区，这也是国家相关政策导向和资本市场



> 图一老旧厂房改造现状

作者简介：李庆（1978.10-），男，汉族，河南省沈丘县；研究生学历，高级工程师，工程管理。



影响的结果。相比之下，经济欠发达地区的老旧厂房空置现象更加严重，因此改造难度较大。另外，从地区分布来看，南方地区老旧厂房改造相对较为成功，而北方地区由于产权复杂等因素，其老旧厂房改造过程中面临着诸多问题，比如社会舆论压力大、产权不清晰、地理位置偏僻、改造资金不足、招商困难等。

### （三）进度缓慢

在当前的经济环境下，旧城改造项目面临着一系列挑战。首先，由于改造工程周期通常较长，涉及大量资金和人力投入，这对许多企业来说是一笔不小的负担。其次，国内经济增速放缓，市场需求萎缩，加之传统行业竞争加剧，许多传统企业的经营状况每况愈下。这些因素共同作用，导致了不少旧城改造项目被迫停工或停滞不前。这样的局面不仅影响到了城市发展的步伐，也延缓了老旧厂房等资源的再利用进程。这种困境反映出在经济下行周期内，政府、企业乃至整个社会都需要寻找新的增长点，并采取更加有效的措施来促进经济的稳定增长和可持续发展<sup>[2]</sup>。

### （四）政府给予补助

政府对老旧厂房改造的支持是出于两方面考虑：一方面，由于土地资源日益紧缺，部分地方政府急需通过盘活存量土地来增加建设用地指标。另一方面，许多老旧厂房的改造项目都与城市更新、产业升级紧密相关，可有效促进当地经济发展和产业转型。因此，对于这类老旧厂房改造项目，各地政府在资金支持上通常采取“以奖代补”或直接投资等方式进行扶持，以引导社会资本参与。例如，深圳市出台了《关于加强工业用地及配套用房转让管理工作的意见》，鼓励工业企业利用自用土地和厂房兴办创业孵化基地和众创空间；上海市徐汇区财政安排专项资金用于鼓励老旧厂房改造为孵化器（众创）园区，并按照改造规模给予最高50万元/亩的奖励<sup>[3]</sup>。

## 二、双创背景下老旧房区改造的困难

### （一）法律法规存在问题

在国内，老旧厂房的改造活动并未受到国家层面的直接法律或法规的明确支持与指导。具体来说，这一改造工作主要依赖于地方政府和相关部门根据实际情况制定的政策框架。土地的使用权和产权归属问题便是其中之一，它触及国家宏观经济战略、产业升级以及城市规划等多个层面的复杂议题。这些内容需要地方政府结合自身发展需求和资源状况来审慎考量，以确保改造项目能够符合国家的整体布局和长远利益。因此，对于改造计划的可行性评估和审批程序，往往需要地方政府部门提供详尽的报告，并经过严格的法律审核，方能获得官方的批准。在这个过程中，地方政府扮演着至关重要的角色，他们不仅要考虑经济效益，还要兼顾社会影响和环境保护等因素，从而在政策允许的范围内推动老旧厂房的转型升级，使其成为新的经济增长点或者是文化遗产的守护者<sup>[4]</sup>。

### （二）文化遗产保护问题

对老旧厂房进行改造，一方面要保留工业文化，另一方面也要融入现代设计元素。对于老厂区的改造来说，在保证原有建筑

结构、色彩等要素不变的情况下，还要根据时代发展和社会需求对建筑内部空间进行重新划分，以满足当前生产经营和商业活动的需要。这就意味着，在对厂房进行改造的过程中，必须保持对其文化遗产的完整性和真实性，让人们在体验历史沧桑感的同时感受到新技术带来的革新与变化。目前，我国对老旧厂房改造的相关政策还处于探索阶段，许多工作尚待完善，其中最为重要的一点就是如何确保老旧厂房的文化遗产能够得到完整的保护。这不仅关系到老旧厂房未来的可持续发展，更关系着城市形象的提升和地区经济的发展。因此，有关部门应当尽快出台相应的法律法规，通过行政手段来保障老旧厂房文化遗产的安全，防止出现“拆真建假”的现象<sup>[5]</sup>。

### （三）设计规划问题

在进行老旧房区改造时，不仅要考虑到建筑结构、设备设施的使用年限等因素，还需要考虑到空间规划以及可持续发展的问题。而这也是当前国内许多老旧房区存在的共性问题，往往忽略了对其的整体设计与规划，导致改造之后的房屋布局杂乱，基础设施不完善，影响居住环境和企业的正常运行。比如：老旧房区中常见的“大拆大建”式的改造方式，只注重开发建设，忽视原有居民的安置，导致“贫民窟化”现象严重；或是以政府主导的形式进行统一规划，却没有充分结合当地经济、人文特色，最终导致项目同质化现象严重，缺乏竞争力<sup>[6]</sup>。

### （四）环境保护问题

在双创空间改造过程中，对于建筑的整体风貌以及结构体系要进行全面考量，通过对老旧城区原有特色元素的保护与挖掘，结合现代化发展需求，使其焕发新的生机与活力。在建筑外观设计上，为了最大程度的保留老旧建筑物原有风貌特征，尽量减少装饰和造型，突出功能性。在外立面材料选择上，应避免使用过多颜色和过度装饰，而采用简单、淡雅的色彩来展现工业遗址的历史感。与此同时，还可以引入现代科技手段，运用声光电等技术手段，实现历史与现代的完美融合。此外，还要做好节能减排工作，尽可能地降低建筑能耗，并将环境因素纳入设计方案之中。

## 三、双创背景下老旧房区改造的策略

### （一）加大环境保护力度，采用绿色建筑材料

老旧厂房的改造需要有良好的环境，这就要求在设计时必须考虑到周围环境，同时也要重视与周边建筑风格的协调。随着科技的进步和经济水平的提高，人们对周边环境的要求也越来越高，因此，在进行改造时，必须将环境保护纳入其中。为了确保开发项目符合绿色环保的标准，应采取一定的措施，如：屋顶绿化、节水器具等，从根本上保护当地生态环境。在进行改造的过程中，还应该注意城市风貌的统一，结合当前发展情况，不断改善改造的方法，使其更加贴近生活。此外，还要充分利用当地自然资源，在建设中，可以采用周边人文与自然生态环境作为设计依据，这样既能满足定位人群的日常需求，又能促进生态平衡，进一步推进改造的进程<sup>[7]</sup>。



## （二）完善相应法律法规

由于我国在改造方面的相关法律法规相对来说还不是十分健全，很多地方政府在进行改造的过程中缺乏依据。因此，要想更好地促进双创背景下的老旧厂房改造，就需要从政策上给予支持，对改造实施细则等相关法律法规进一步完善。例如：《中华人民共和国城乡规划法》中规定了棚户区改造的基本原则和步骤，但其并没有针对具体问题提出切实可行的解决方法；另外，还要建立相应的监督机制，通过公众参与模式来实现政府与群众之间的信息交流，及时了解各类主体诉求，为制定合理的改造方案提供依据。除此之外，政府还要加强宏观调控，引导企业积极投身于老旧厂房改造工程之中，促使人们能够逐步认识到改造的重要性，从而使目标人群的环境得到改善<sup>[9]</sup>。

## （三）给予老旧厂房腾退人群关怀

在进行老旧厂房改造时，要充分考虑到人民群众的利益和感受。例如，政府可以对旧厂房进行补贴，并且改善周边的环境，为人们提供更多便利；也可以完善交通网络，解决各类出行不便等问题。此外，还应该重视对职工的安置工作，特别是要为老职工以及残疾人提供相应的帮助。这些措施都能够使职工获得较好的体验，从而提高他们对双创产业发展的支持力度<sup>[9]</sup>。

## （四）加强人才引进，完善专业团队

为了适应双创经济发展，政府应该在人才方面做好准备。要充分利用社会上的各种资源，吸引更多具有创新意识和创业精神的高端人才加入调整与改造工作中来，为老旧厂房改造提供技术支持，这样才能更好地实现企业的转型升级。同时还要加强对专业管理人员的培养，不断提高其综合素质，使之能够胜任管理岗位的要求。另外，可以通过建立激励机制，让参与改造的各方都能获得一定的利益，从而调动他们的积极性和创造性，加快老旧厂房改造的步伐<sup>[10]</sup>。

## 四、结语

综上所述，老旧厂房的改造利用已经成为当下一种趋势，将对城市空间结构、产业结构产生重大影响。而创新创业是城市发展的动力，两者结合是必然趋势。但就目前来看，我国的老旧厂房改造还处于初级阶段，如何促进改造后的“双创”经济与原有城市功能融合共生，是政府和产权方亟待解决的问题。通过合理的规划设计、高效的运营管理和完善的人才体系等手段，使其成为新型的“双创”平台，从而为社会提供更多优质的产品和服务。

## 参考文献

- [1] 汕头市旧城镇、旧厂房、旧村庄改造若干管理规定 [N]. 汕头日报, 2024-05-27(006).DOI:10.28744/n.cnki.nstrb.2024.000989.
- [2] 施丁平. 城市更新背景下老旧厂房转型升级改造设计实践 [J]. 上海建设科技, 2024, (02): 17-19+26.
- [3] 唐培峰. 不得采取暴力威胁等非法方式迫使搬迁 [N]. 广东建设报, 2024-04-19(003).DOI:10.28251/n.cnki.ngdjs.2024.000269.
- [4] 孙雪苹. 24项工程让郑州“更”进一步向“新”而行 [N]. 郑州日报, 2024-03-12(002).DOI:10.38344/n.cnki.nzzrb.2024.000732.
- [5] 韩子英, 马琳, 张全林, 等. 粤港澳大湾区某开敞式老旧厂房保护性封闭改造及加固设计 [J]. 广州建筑, 2024, 52(01): 25-30.
- [6] 谢德萍, 吴从晓, 刘少坤, 等. 从“旧”厂房改造活化到“新”科研高精工艺实验室 [J]. 建筑与文化, 2024, (01): 150-153.DOI: 10.19875/j.cnki.jzywh.2024.01.048.
- [7] 林卓钦. 单层钢结构旧厂房改造的结构设计 [J]. 建筑技术开发, 2023, 50(12): 21-23.
- [8] 刘淼鑫, 李兰吉, 戴怀玉, 等. 大型工业旧厂房加固改造的结构分析与研究 [J]. 广州建筑, 2023, 51(05): 37-40.
- [9] 周超. 工业旧厂房改造闯出“共富”路 [N]. 中国自然资源报, 2023-08-29(006).
- [10] 黄志基, 宋澜, 戴晓冕. “三旧改造”背景下广东省旧厂房改造效益提升的影响因素与路径研究——基于定性比较法的分析 [J]. 城市发展研究, 2023, 30(07): 12-16.

# 建设项目前期工程咨询工作的难点及对策分析

尹云美

重庆龙源机构，重庆 402500

**摘 要：** 建设项目前期咨询是项目投资决策的重要依据，直接关系到工程建设的质量和项目投用后的实用性、持续性、有效性。建设项目前期工程咨询工作在项目整体规划中具有引领、纲领与推动作用。基于此，本文着重分析了前期工程咨询工作在实操中的核心难点，并提出了规范工作程序、加强专业性人才引进、建立评估体系及充分利用信息技术等方案，旨在优化各环节的流程管理，确保项目的高效运作。

**关 键 词：** 建设项目；咨询工作；难点；对策

## Analysis of the Difficulties and Countermeasures of the Preliminary Engineering Consulting Work of the Construction Project

Yin Yunmei

Chongqing Longyuan Construction Engineering Cost Co., Ltd. Chongqing 402500

**Abstract：** The preliminary consultation of construction project is an important basis for project investment decision, which is directly related to the quality of project construction and the practicability, sustainability and effectiveness of the project after being put into operation. The engineering consulting work in the early stage of the construction project has a leading, program and promoting role in the overall planning of the project. Based on this, this paper focuses on the analysis of the core difficulties in the preliminary engineering consulting work in practice, and puts forward the scheme of standardizing the working procedures, strengthening the introduction of professional talents, establishing the evaluation system and making full use of information technology, aiming to optimize the process management of each link and ensure the efficient operation of the project.

**Keywords：** construction project; consulting work; difficult point; countermeasures

### 引言

随着高质量项目建设的推进，项目前期工程咨询工作愈发重要。当前，建设项目前期工程咨询行业内咨询体系尚不完善、复合性工程咨询人才匮乏等问题。因此，工程咨询行业亟需解决工作难点，优化工作流程，推动咨询工作向更加系统化、精细化方向发展，提升整体项目的管理效能。

### 一、建设项目前期工程咨询工作的必要性

#### 1. 具有引领作用

在项目建设前期，凭借“以终为始”的理念开展咨询工作，可以有效地实现对项目的精准定位，从而明确整个项目在全生命周期中的方向。前期咨询工作在建设目标设定上具有引领作用，能够全面评估运营方案的可行性，使项目的每个阶段有条不紊地推进。这种前期咨询还能对项目后期建设和运营阶段产生影响，提前规划能够为项目后期的实际操作提供重要依据，避免资源的浪费，减少项目管理中的不确定性。工程咨询凭借其前瞻性分析，能够在项目整体框架中起到导航作用，在多个维度上促使项目的各项计划实现高

效运作。全生命周期管理理念与前期咨询紧密结合，可以使项目在不同阶段都能保持协调发展，推动目标的逐步达成。

#### 2. 具有纲领作用

建设工程前期咨询工作的开展并非盲目、无秩序，而是应遵循科学的规程、履行正规的规范、制度等。在咨询工作中，对项目的市场、技术、经济、资源和安全等要素的综合考量，能够对项目建起到宏观指导作用。前期的咨询工作立足于项目建设的整体布局，能为后续的项目管理、招投标以及造价咨询等环节提供理论支撑。凭借对市场变化的敏锐洞察以及技术可行性的深度评估，前期工程咨询能够为项目制定具有前瞻性的建设方案，确保项目在实际操作中能够紧跟行业发展趋势。经济要素、资源要素

作者简介：尹云美（1981.08—），女，汉族，重庆市铜梁区人，本科，工程师，重庆龙源机构，邮编：402500。

的有效配置同样是工程咨询的核心内容，可以为项目提供成本与效益之间平衡的决策依据，使得项目管理更加科学。在项目涉及的安全性方面，前期的咨询工作可以借助多层次、多角度的分析，规避潜在风险，确保项目的顺利实施。工程咨询的纲领性作用能够对项目准备阶段进行指导，还能贯穿于项目全周期的各个环节，成为项目从构想到落地的关键推动力量。

### 3. 具有推动作用

项目建设的前期工程咨询工作能够运用新的发展理念，提供先进的数字化技术，展现强大的推动作用。前期咨询是在项目规划阶段的理论指导，借助技术手段和数据驱动，促使项目建设更加高效。随着数字化技术的引入，前期咨询能够更加精确地分析项目各环节的潜在问题，并为后续工作提供依据。工程咨询的推动作用还能体现在对创新活力的激发上，在整个咨询过程中，能够不断渗透新的发展理念，推动项目各阶段的优化，凭借对前沿技术的合理利用，前期咨询工作能够确保项目建设保持创新性。

## 二、建设项目前期工程咨询工作现状分析

### 1. 行业咨询体系不完善

行业咨询体系的不完善成为制约项目高效推进的关键因素之一，当前相关制度尚处于不断发展之中，行业标准、规范的不全面性和不断更替导致咨询工作的系统性不足。具体来说，咨询流程的完成时间往往缺乏统一的标准，各阶段的咨询工作在时间安排上容易出现较大浮动，进而影响项目的整体进度，增加协调管理的难度。除此之外，由于监管机制的欠缺，使得咨询工作的质量得不到有效保障。部分项目在咨询过程中，因流程不够规范，容易出现环节衔接不顺畅的现象，进而影响后续工作。行业内的咨询体系发展尚未完全成熟，各类咨询机构在执行标准、服务质量和能力上存在较大差异，会带来项目方选择上的困惑。体系的不完善在很大程度上制约前期工程咨询工作的效率，从而影响项目建设的全局推进。

### 2. 复合性工程咨询人才匮乏

随着行业对高水平技术人才和高素质项目管理人才的需求日益增长，现有的工程咨询人员往往在知识结构上较为单一，难以适应现代项目复杂多样的需求。工程咨询的复杂性要求工程咨询人员熟练掌握全面的专业知识，具备良好的沟通协调能力，并具备一定的外语与计算机技能等方面跨学科的知识储备。部分项目涉及的国际合作日益频繁，工程咨询中对外语能力的要求大大提高，而现有人员的语言能力未能全面满足项目的需求。随着数字化技术的迅速发展，咨询工作对计算机应用技能的依赖性逐步增强。因此，复合型人才的缺乏在一定程度上限制了咨询团队的整体协作能力，可能会对项目的全面评估造成阻碍。

## 三、建设项目前期工程咨询工作的对策

### 1. 规范项目前期工程咨询工作程序

在项目前期工程咨询工作中，规范工作程序有助于确保咨询

流程的有序性，避免出现因程序混乱导致的时间延误。严格按照行业政策，依据管理制度开展工作，能够使每个环节紧密衔接，保证前期工作的系统性，为项目的后续发展奠定基础。程序的规范化能够增强各个部门之间的协调，还能提升咨询团队的工作效率，确保项目的顺利推进。

在规范咨询工作程序时，需要进行项目目标的确定以及客户需求分析。工作人员先需要全面了解项目背景，明确项目的基本需求。借助市场分析报告，结合实际情况，对项目的核心需求进行细化，并以书面形式确认。目标确定后，进入工作计划的制定阶段。根据项目需求，细致规划前期咨询工作的时间安排、资源分配与人员配置，明确每个阶段的任务。工作人员需要充分考虑项目的技术复杂性、市场风险以及政策变化，确保计划的制定具有足够的灵活性。项目可行性研究主要包括技术、经济、资源等多方面的评估。工作人员需详细研究项目在实际操作中的可行性，评估各种技术方案的优缺点，并对潜在风险进行预判。在此阶段，技术资料的收集分析尤为关键。工作人员需要借助现场调研、文献查阅等方式，获取数据并加以分析，从而为后续工作的实施提供有力支持。在研究过程中，工作人员需将成本控制、工期安排等因素纳入评估范围，确保可行性研究的全面性。

除此之外，工作人员要根据前期的可行性研究结果，设计出具体项目实施路线图。在这一环节中，工作人员要考虑技术上的操作性，还需要充分预估资源配置，预测市场环境的变化情况。工作人员明确施工顺序、设备选型等，并结合工程规模合理安排时间进度。制定方案时，各个小组需密切沟通，确保方案的各个环节在技术上相互配合，避免出现流程断裂的情况。最后，编制前期咨询报告是整个工作的总结环节。工作人员将前期所获得的数据、分析结果、实施方案进行系统整理，编写成详细的报告。报告的撰写要求严谨、逻辑清晰，每个数据都需要有充足的依据。报告中应详细阐述项目的需求、研究结果等内容，确保每一项决策都有足够的支持。报告编写完成后，还需进行多次审核，确保内容的准确性。

### 2. 加强工程咨询专业性人才引进

工程咨询工作涉及复杂的技术经济分析、项目管理等多领域知识，只有具备广泛知识面的专业人才，才能胜任这些综合性的任务。因此，引进具备技术与管理双重能力的高水平人才，能够为项目的高效运作提供坚实的人力基础，并提升团队的综合实力，为项目的成功实施提供保障。

在筛选人才时，需要针对项目需求设定严格的选拔标准。工作人员可以根据具体岗位要求，制定关于技术、经济、管理等方面的技能评估标准，从多维度筛选专业人才，确保具备工程建设相关能力。在技术评估中，工作人员需要对候选人的技术水平进行严格考核，确保候选人能够胜任复杂项目中的核心技术工作。与此同时，工作人员还需要评估候选人沟通协调等综合素质，确保能够在项目团队中发挥有效的领导作用。在引进人才的过程中，工作团队可以与学校、机构保持密切联系，寻求优秀的工程技术人员。设立人才引进渠道时，工作人员应优先考虑拥有相关技术资质和行业经验的专业人才，确保他们能够迅速适应工作要

求。在培训人才方面,工作人员需要制定系统的培训计划,以提升新引入的人才的综合能力。凭借定期技术讲座、实践操作培训,帮助新引入的人才不断更新专业知识,确保人才始终保持技术的先进性。工程项目的技术要求与市场环境常常发生变化,因此,培训的内容需要涵盖技术层面,还应涉及经济、金融、管理等方面的知识。在培训过程中,工作人员可以安排团队合作任务,借助项目模拟操作,培养新进人才的团队协作能力,还可以在实践引入具体项目案例,要求新进人才参与从数据分析到方案设计的每一个环节,确保新进人才能够从整体上掌握项目的各个关键节点。

### 3. 建立健全工程咨询工作评估体系

建立科学的评估体系能够有效提高咨询工作的质量。通过制定明确的评估流程,可以系统性地监控各个环节的执行情况,确保项目目标得以准确实现。评估体系可以帮助工作人员发现问题,还可以优化咨询工作流程,提升整体工作效果。评估体系的建立,能够为前期工程咨询工作提供全面的指导,确保每个环节都能有序地进行。

在评估指标体系的设计中,需要明确项目目标和需求分析的准确性,工作人员根据项目的具体要求,设定目标的可操作性评估标准,确保计划中的各个步骤都能与项目需求相匹配,避免在执行过程中出现偏差。在前期咨询报告的完整性评估中,工作人员需检查报告内容是否涵盖项目需求分析、可行性研究、实施方案等关键要素。评估指标不仅要包括技术内容的准确性,还需涵盖数据支持的全面性、分析结果的逻辑性。评估流程的制定是确保整个评估体系有效运行的核心部分。工作人员明确评估指标后,开始进行数据收集工作,对项目相关数据进行系统化整理存档。数据收集结束后,紧接着进行评估结果的分析。分析过程,工作人员需要依托先进的分析工具,结合工程实际情况,逐一对比项目需求与实际执行情况之间的差异。根据分析结果,调整前期咨询工作的重点,确保后续工作能够更加准确地满足项目需求。质量管理体系中的关键步骤是对工作成果的审查,工作人员对前期咨询报告进行严格审查,确保每一项数据的准确性。

### 4. 充分利用信息技术开展咨询工作

在项目前期工程咨询工作中,充分利用信息技术能够极大提升工作的效率,保障工作的精确度。建立完善的信息平台,可以

实时采集项目相关数据,为项目负责人提供精准的信息支持。建设项目大多存在建设周期长、规模大等特点,因此,科学的信息采集系统,有助于工作人员以及项目负责人对项目的整体把控,确保项目顺利推进。信息技术的运用能够使得咨询工作更具系统性,为项目的成功实施提供有力保障。

信息采集过程中,工作人员先需根据项目需求明确信息采集的范围,确定数据对项目的可行性研究、规划设计以及实施过程具有关键作用。工作人员制定有关数据的来源、采集方式、时间节点等采集方案。信息采集过程中,工作人员需要根据项目规模,灵活调整数据采集的方式。面对建设周期长、信息动态变化频繁的大型项目,采用实时数据采集技术,确保项目各阶段的信息随时更新。信息采集不仅需要项目的基础数据,还需与项目管理团队、技术团队等多方进行信息交流,收集相关的技术建议与项目反馈,以完善信息库。在数据收集完成后,信息存储成为关键步骤。工作人员可以利用信息管理平台,将各类数据信息分类整理,并根据项目的实际需要,制定不同权限的访问机制。此过程中,工作人员需要注意信息的存储格式需统一,以确保后期数据的使用。管理平台中的数据信息应包含咨询工作的主要内容,同时工作人员应及时更新平台数据,确保信息库中的数据始终保持最新状态。通过集成化的存储管理方式,能够为后期的项目规划提供有力支持。在信息加工阶段,工作人员可以使用大数据分析工具对收集的信息进行处理。凭借数据分析模型,工作人员能够对项目中的潜在问题进行预测,并结合实际情况提出优化建议。信息利用阶段,工作人员可以根据加工处理后的数据,制定出项目的详细实施方案,并借助信息管理平台将这些信息分发给各个执行部门。在信息共享的最后阶段,工作人员应根据项目的需求,将项目中关键数据供管理层、工程师以及其他相关方查询。信息共享过程,需要严格遵守内部的信息管理制度,还需确保数据的安全性,避免信息泄露。

结束语:在建设项目的前期工程咨询工作中,针对行业面临的各类复杂挑战,创新策略显得尤为关键。凭借深入分析工作现状,精细化工作流程,可有效提升工程咨询工作的整体效率。在今后的工作中,工作人员应不断完善评估与管理体系,借助先进的手段,推动行业向高效、创新、可持续的目标迈进。

## 参考文献

- [1] 常尚锋. 建设项目前期工程咨询工作的重要性、难点及对策研究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2023, (09): 119-121.
- [2] 胡全晔. 前期工程咨询对建筑工程项目的重要性探讨 [J]. 中国招标, 2022, (06): 97-99.
- [3] 谢竹君. 前期工程咨询对建设项目的重要性分析 [J]. 居舍, 2020, (22): 187-188.
- [4] 何茹波. 探讨前期工程咨询对建筑工程项目的作用 [J]. 建材与装饰, 2019, (32): 166-167.



# 水利工程中的泥沙问题与治理技术研究

孙思<sup>1</sup>, 顾浩然<sup>2</sup>, 李毅<sup>3</sup>, 孙新<sup>4</sup>, 朱营<sup>5</sup>

1. 江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223000

2. 淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223000

3. 淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223000

4. 江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223000

5. 山东元鸿勘测规划设计有限公司, 山东 济南 250014

**摘要：** 水利工程中的泥沙问题对工程安全和水资源利用具有重要影响。泥沙的沉积会导致水体阻塞、坝体冲刷及设备损坏，进而影响水利工程的正常运行与长期稳定。针对泥沙问题，需采用有效的治理技术，包括泥沙捕捉与排放、疏浚作业、流域管理以及水土保持措施。这些技术旨在减少泥沙对工程的负面影响，保障水利工程的功能与安全。泥沙问题的治理不仅依赖于单一技术的应用，还需综合考虑地质条件、水文特征以及工程设计等因素，以实现最佳的治理效果和经济效益。

**关键词：** 泥沙问题；水利工程；治理技术；泥沙捕捉；水土保持

## Research on Sediment Problems and Control Techniques in Water Conservancy Projects

Sun Si<sup>1</sup>, Gu Haoran<sup>2</sup>, Li Yi<sup>3</sup>, Sun Xin<sup>4</sup>, Zhu Ying<sup>5</sup>

1. Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000

2. Huaian Water Conservancy Survey and Design Research Institute Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000

3. Huaian Water Conservancy Survey and Design Research Institute Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000

4. Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000

5. Shandong Yuanhong Surveying and Planning Design Co., Ltd. Jinan, Shandong 250014

**Abstract：** Sediment problems in water conservancy projects have significant impacts on project safety and water resource utilization. Sediment deposition can lead to water body blockage, dam scouring, and equipment damage, further affecting the normal operation and long-term stability of water conservancy projects. To address sediment issues, effective management techniques are needed, including sediment capture and discharge, dredging operations, watershed management, and soil and water conservation measures. These techniques aim to reduce the negative impact of sediment on the project and ensure the functionality and safety of water conservancy projects. The management of sediment problems not only relies on the application of a single technology but also requires comprehensive consideration of geological conditions, hydrological characteristics, and engineering design factors to achieve optimal management effectiveness and economic benefits.

**Keywords：** sediment problems; water conservancy projects; management techniques; sediment capture; soil and water conservation

## 引言

水利工程作为国家基础设施的重要组成部分，其安全性和运行效率直接影响水资源利用和生态环境保护。然而，泥沙问题长期困扰工程师与管理者，泥沙沉积不仅威胁坝体稳定，还可能导致水流阻塞和设备故障。随着水利工程规模和复杂性增加，泥沙治理技术的研究变得尤为重要。有效应对泥沙挑战、优化处理方案是提高水利工程综合效益的关键。因此，深入探讨泥沙问题及其治理技术对确保水利工程的稳定运行至关重要。

## 一、泥沙问题对水利工程的影响分析

### 1. 泥沙对水利工程结构的影响

泥沙问题在水利工程中首先表现为对工程结构的直接影响。泥沙的沉积会导致坝体、渠道和其他关键结构的积垢，进而引发结构稳定性问题。例如，泥沙在坝体基础或坝体内部的积累可能导致坝体失

稳，增加了坝体滑坡和渗漏的风险。泥沙沉积还会加剧坝体的冲刷作用，尤其是在水流冲刷区域，长时间的泥沙侵蚀可能削弱坝体的抗压强度，从而威胁到工程的整体安全性<sup>[1]</sup>。此外，泥沙沉积还会影响水库的容量，减少有效容积，影响水资源调配与洪水控制能力。

### 2. 泥沙对水流与水质的影响

泥沙对水流特性和水质的影响也不可忽视。泥沙的沉积会改

变河流的流动状态，影响水流的速度和方向。这种变化不仅可能导致水流的阻塞，增加水流的阻力，还可能引发河床的变形，从而影响水流的稳定性和均匀性<sup>[2]</sup>。泥沙对水质的影响则更加显著。泥沙中的悬浮颗粒会增加水体的浑浊度，减少光透过率，从而影响水生生物的生长和生态平衡。

3. 泥沙对工程运营与维护的挑战

泥沙问题还对水利工程的运营和维护带来挑战。泥沙的积累需要定期进行清理和疏浚作业，这不仅增加了工程的运营成本，还可能导致工程运行的中断。清理和疏浚作业不仅费时费力，还要求专业技术和设备的支持。频繁的维护和修复工作可能对工程的长期稳定性造成影响<sup>[3]</sup>。为了应对这些挑战，必须制定有效的泥沙治理方案，包括定期监测泥沙情况、采用先进的治理技术以及优化工程设计，以降低泥沙对工程运营的负面影响。

二、泥沙形成与沉积机制研究

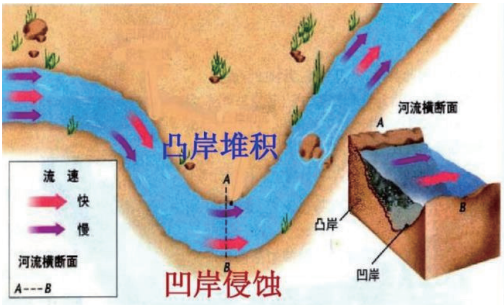
1. 泥沙的形成机制

泥沙的形成机制与土壤侵蚀、河流动力学以及地质环境密切相关。土壤侵蚀是泥沙形成的主要过程之一，雨水冲刷和地表径流会将土壤颗粒从原始位置带离，形成泥沙。这一过程在降雨量大、土壤结构松散的地区尤为明显。河流动力学中，水流速度、流量和流动状态对泥沙的形成起到关键作用。水流在河床上冲刷和搬运泥沙，使得原本沉积的泥沙颗粒悬浮在水中，从而形成悬浮泥沙。地质环境也对泥沙的形成起着重要作用，不同类型的岩石和土壤在物理化学风化过程中会产生不同性质的泥沙。例如，粘土矿物的风化产物易于形成细粒泥沙，而砂岩的风化则会产生粗粒泥沙<sup>[4][5]</sup>。

2. 泥沙的沉积机制

泥沙的沉积机制涉及到泥沙在水流中的沉降过程及其与河床的相互作用。泥沙沉积通常发生在水流速度降低的区域，例如河流的弯道、沉积区或水库的静水区。水流速度降低会导致泥沙颗粒的沉降，沉降速率与泥沙颗粒的大小、密度及水流的特性有关。细小的泥沙颗粒在水流中悬浮时间较长，沉降速率较慢，而较大的泥沙颗粒则较快沉降。沉积过程中，泥沙颗粒会在河床上形成沉积层，这些沉积层随着时间的推移逐渐增厚，可能影响河床的地形和水流的分布。此外，泥沙的沉积受到河床形变化、洪水事件以及人工干预（如水利工程建设）的影响，这些因素共同决定了泥沙沉积的分布特征和厚度。如图1所示。

> 图1 泥沙沉积的分布图



3. 泥沙形成与沉积的影响因素

泥沙的形成与沉积受到多种因素的综合影响，包括气候条件、

地形地貌、土地利用以及人类活动等。气候条件中的降水量、降雨强度和风速等对泥沙的形成具有直接影响。降水量大和降雨强度高的地区，土壤侵蚀加剧，泥沙形成量增加。地形地貌对泥沙的沉积有重要影响，高山和丘陵地带的陡坡区域更容易发生土壤侵蚀，而平坦的区域则更容易发生泥沙沉积<sup>[6]</sup>。土地利用的变化，如农业开发和城市化，会改变地表的植被覆盖和土壤结构，进一步影响泥沙的形成和沉积过程。人类活动，特别是水利工程建设、采矿和建设活动，也会改变水流的流态和泥沙的输送特征，影响泥沙的形成与沉积。

三、主要泥沙治理技术及其应用效果

1. 泥沙捕捉与排放技术

泥沙捕捉与排放技术是应对泥沙问题的主要手段之一。这些技术旨在捕捉和排除水体中的泥沙，防止其沉积在水利工程结构中。常见的泥沙捕捉技术包括沉砂池、过滤网和分离器。沉砂池利用水流速度的降低，使泥沙颗粒在池底沉降，从而实现泥沙的去除。过滤网则通过物理筛选来捕捉悬浮在水中的泥沙颗粒，适用于较小规模的泥沙治理任务。分离器则结合了多种分离技术，如离心分离和气浮分离，以提高泥沙去除的效率。这些技术在实际应用中需要根据具体的泥沙颗粒特性、水流条件和工程规模进行选择 and 调整。

2. 疏浚作业技术

疏浚作业是治理泥沙沉积的传统方法之一，主要用于清理水体中已经沉积的泥沙。疏浚作业包括机械疏浚和水力疏浚两种主要方式。机械疏浚利用挖泥船、抓斗等设备直接从水底挖掘泥沙，将其运送到指定的排放区域。这种方法适用于大规模的沉积区，能够有效清除大量泥沙。然而，机械疏浚作业对环境的扰动较大，需要精确控制作业区域，以避免对水生态系统造成负面影响。水力疏浚则利用高压水流将泥沙悬浮并输送到疏浚船或管道中，这种方法对环境的扰动较小，适用于细粒泥沙的清除<sup>[7]</sup>。

3. 流域管理与水土保持措施

流域管理和水土保持措施是长远解决泥沙问题的策略，旨在从源头减少泥沙的产生和输送。流域管理包括土地利用规划、植被恢复和水土流失控制。通过合理规划土地使用，减少对土地的扰动，降低土壤侵蚀。植被恢复通过种植和修复植被增强土壤固定性，减少降雨引起的土壤冲刷。水土保持措施如梯田、护坡和排水沟，能够有效防止水土流失和泥沙产生。这些措施从根本上减缓泥沙的形成和输送，对水利工程长期保护具有重要意义。尽管实施需要时间和高投入，但其环境和经济效益显著。如表1所示。

表1 泥沙治理技术及其应用效果

序号	技术类型	主要工具 / 方法	应用场景和效果描述
1	泥沙捕捉与排放技术	沉砂池、过滤网、分离器	根据泥沙特性和水流条件选择，适用于防止水体沉积，效果受泥沙特性和维护限制
2	疏浚作业技术	机械疏浚（挖泥船、抓斗）、水力疏浚	适用于大规模沉积区，机械疏浚可能对环境扰动大，水力疏浚环境扰动小
3	流域管理与水土保持措施	土地利用规划、植被恢复、梯田、护坡、排水沟	从源头减少泥沙产生，通过减少土壤侵蚀和水土流失来保护水利工程

## 四、泥沙治理技术的实施案例与经验总结

### 1. 沉砂池技术的应用案例

沉砂池技术在国内外多个水利工程中得到广泛应用，尤其是在大型水库和河道治理中具有显著效果。例如，在中国的某大型水库工程中，通过设置沉砂池来处理进入水库的泥沙。该沉砂池采用了多级沉降设计，以提高泥沙的沉降效率。在实际运行过程中，沉砂池有效地减少了水库中泥沙的沉积量，保持了水库的有效容积。此外，沉砂池的设计与运行管理也经过不断优化，通过调整水流速度和沉砂池的尺寸，提高了泥沙处理的效率<sup>[8]</sup>。然而，该技术的实施也暴露出一些问题，如沉砂池的维护需求高，需要定期清理沉积的泥沙，以保持系统的正常运作。

### 2. 疏浚作业的成功经验

疏浚作业作为传统的泥沙治理手段，已经在多个水利工程中积累了丰富的经验。例如，在某大型港口的疏浚项目中，采用了机械疏浚和水力疏浚相结合的方式，以高效清除港口沉积的泥沙。机械疏浚通过挖泥船将泥沙直接挖出并转移到远离港口的排放区域，而水力疏浚则用于清除难以到达的区域和细粒泥沙。这种组合方式显著提高了疏浚效率，缩短了工程周期。值得注意的是，疏浚作业中还加强了环境保护措施，如设置沉砂池以处理疏浚过程中产生的泥浆，减少对水生态系统的影响。尽管疏浚作业效果显著，但其高成本和对环境的潜在影响仍然是需要关注的问题<sup>[9]</sup>。

### 3. 流域管理与水土保持的综合实践

流域管理和水土保持措施在防治泥沙问题上取得显著成效。例如，在某山地流域项目中，实施了全面的流域管理方案，包括植被恢复、梯田建设和水土流失控制工程。植被恢复和草坪种植有效减少了土壤侵蚀，降低了泥沙产生。梯田建设在坡地上形成了水土保持屏障，减少了雨水冲刷对土壤的影响。水土流失控制工程通过修建排水沟和护坡结构进一步减少泥沙流失。这些措施不仅改善了水土保持状况，还提高了农田生产能力和生态环境质量。尽管效果显著，但实施过程中需要协调多个部门和长期投入，以实现持续治理。

## 五、未来水利工程泥沙治理技术的发展趋势与挑战

### 1. 智能化泥沙治理技术的应用前景

未来水利工程的泥沙治理将趋向智能化发展，引入智能监测系统和数据分析技术实现精确管理。先进传感器和无人机监测将高效采集泥沙实时数据，数据分析和模型预测将帮助制定科学治理方案。人工智能算法可优化泥沙捕捉设备的运行，调整沉砂池排放策略，从而提升治理效果。智能化技术不仅能提高泥沙治理的效率和准确性，还能减少人为误差，降低成本。然而，这些技术的普及面临技术复杂性高、设备投资大和数据安全等挑战，需要在技术创新与成本控制之间寻求平衡<sup>[10]</sup>。

### 2. 生态友好的泥沙治理技术发展

未来泥沙治理技术将更加注重生态友好性，旨在减少对环境的负面影响并恢复生态系统。生态工程技术，如植物修复和湿地

建设，将成为治理泥沙问题的重要手段。植物修复通过种植本地植物，利用植物的根系稳定土壤，减少水土流失，并为泥沙提供自然沉积的条件。湿地建设则通过构建人工湿地，利用植物和微生物的过滤作用，去除水中的泥沙和污染物。这些生态友好的治理措施不仅能有效控制泥沙，还能改善水质，恢复生态平衡。然而，这些技术的实施需要较长的时间来显现效果，并且涉及到生态系统的复杂性和多样性，需要在设计和维护中充分考虑生态环境的适应性和可持续性。

### 3. 多学科协同与综合治理的挑战

泥沙治理的复杂性要求未来的发展中更多地依赖于多学科协同与综合治理。泥沙治理不仅涉及水利工程，还涉及地质学、生态学、环境工程等多个领域。多学科的协同能够提供更全面的治理方案，综合考虑泥沙的形成机制、输送特性及环境影响。例如，结合地质勘察数据和水文模型，可以更准确地预测泥沙的行为，并制定针对性的治理措施。同时，综合治理需要协调各方面的资源和政策，包括政府部门、科研机构和地方社区的合作。然而，多学科协同和综合治理面临协调难度大、利益冲突和资源整合等挑战，需要通过建立有效的沟通机制和合作平台来解决。

## 六、结语

未来水利工程中的泥沙治理技术将朝着智能化、生态友好和多学科协同的方向发展。智能化技术将提高治理的精准度和效率，生态友好的措施将促进环境恢复与水质改善，而多学科协同将提供综合治理的全新视角。然而，这些发展趋势也面临着技术复杂性高、环境适应性差和协调难度大的挑战。应对这些挑战需要持续的技术创新、有效的资源整合和科学的政策支持。通过不断优化和调整治理策略，未来泥沙治理技术将能够更好地保护水利工程的安全和生态环境，实现可持续发展的目标。

## 参考文献

- [1] 韩悦. 张瑞瑾治理长江泥沙和培育水利英才 [D]. 福建师范大学, 2018.
- [2] 卫筱筱. 林秉南与长江治理理论探 [D]. 福建师范大学, 2018.
- [3] 唐日长. 长江水利工程中的泥沙问题 [J]. 人民长江, 1956(11):1-2.D01:10.16232/j.cnki.1001-4179.1956.11.001.
- [4] 刘新华. 多泥沙河流水利工程固定资产及折旧年限问题的探讨 [J]. 水利经济, 1993(04):49-52.
- [5] 泥沙运动引起的环境问题及环境泥沙学 [J]. 水科学进展, 1998(04):2-7.
- [6] 何根寿, 陈五一, 朱鉴远. 水电水利工程泥沙设计研究的几个问题 [A]. 中国水力发电工程学会水文泥沙专业委员会. 中国水力发电工程学会水文泥沙专业委员会第六届学术讨论会论文集 [C]. 中国水力发电工程学会水文泥沙专业委员会: 中国水力发电工程学会, 2005:8.
- [7] 张艳婷. 无人机航测技术在水利工程河道泥沙沉积量监测中的应用 [J]. 水利技术监督, 2023(08):31-35+99.
- [8] 庄杨, 杨超, 张兴, 李一如. 基于泥沙动力学分析水利工程调度对改善河道淤积的影响 [J]. 江苏水利, 2021(10):56-58.D01:10.16310/j.cnki.jssl.2021.10.017.
- [9] 温馨, 苗广霖. 水利工程泥沙的危害及应对措施 [J]. 河南科技, 2013(09):35.
- [10] S-阿拉姆, 黄苗. 水利工程的泥沙影响及其对策 [J]. 水利水电快报, 2000(01):20-23.D01:10.15974/j.cnki.slsdkb.2000.01.006.



# 电力系统电气工程中继电保护装置的可靠性研究

曾宁

广西兆泰送变电工程集团有限公司, 广西 柳州 545000

**摘 要：** 本文全面阐述了继电保护装置在电力系统中的重要性，对其定义、分类、作用进行了详细描述，并分析了继电保护装置的可靠性指标体系、评估方法及影响因素。在此基础上，提出了在设计、制造和运行维护阶段的可靠性提升策略，并针对我国继电保护装置可靠性的现状和存在的问题，提出了未来发展的方向和建议，旨在为电力系统的安全稳定运行提供理论支持和实践指导。

**关 键 词：** 继电保护装置；电力系统；可靠性；设计优化；制造质量

## Research on the Reliability of Relay Protection Devices in Electrical Engineering of Power Systems

Zeng Ning

Guangxi Zhaotai Transmission and Transformation Engineering Group Co., Ltd., Liuzhou, Guangxi 545000

**Abstract：** This paper comprehensively expounds on the importance of relay protection devices in power systems, providing a detailed description of their definition, classification, and function. It also analyzes the reliability index system, evaluation methods, and influencing factors of relay protection devices. Based on this, the paper proposes reliability improvement strategies during the design, manufacturing, and operation and maintenance stages. Furthermore, aiming at the current status and existing problems of relay protection device reliability in China, it presents directions and suggestions for future development. The goal is to provide theoretical support and practical guidance for the safe and stable operation of power systems.

**Keywords：** relay protection device; power system; reliability; design optimization; manufacturing quality

## 引言

电力系统是现代社会的基础设施，其稳定运行对经济和民生至关重要。继电保护装置作为系统的核心部分，负责监测状态、快速排除故障，确保安全。随着电网扩大和技术进步，继电保护装置的可靠性成为关键。我国电力系统的变革，特别是特高压、智能电网和新能源的融入，对继电保护装置提出了更高要求。现实中，继电保护装置故障可能导致连锁反应，引发大面积停电，严重影响社会生产和日常生活。

## 一、继电保护装置概述

在电网中，继电保护是保障电网安全稳定运行的关键环节。当系统内部发生故障时，继电器能够联系故障原因，对其进行有效的预防与处置，从而避免故障大规模蔓延。随着电网的不断发展，人们对电网的安全性提出了更高的需求，电网的复杂性使电力系统故障的发生概率及其对电力系统的冲击越来越大。在电力系统发生故障时，继电保护可以在事故发生前对电网进行早期预警，从而缩小了对电网的冲击范围，并对其进行有效的隔离与反应<sup>[1]</sup>。

### （一）继电保护装置的定义及分类

继电保护装置是一种专用于电力系统中的自动装置，其主要

功能是在系统发生故障或不正常运行状态时，迅速检测故障并发出信号，通过触发断路器来切断故障电路，从而保护电力系统不受损害。继电保护装置按照保护对象的不同，可以分为输电线路保护、变压器保护、发电机保护、母线保护等；按照工作原理的不同，可以分为过电流保护、距离保护、差动保护、方向保护等。

### （二）继电保护装置在电力系统中的作用

继电保护装置在电力系统中扮演着至关重要的角色，它如同系统的守护者，发挥着多重关键功能：一是凭借其高效性能，能够迅速且精确地识别并隔离系统中的故障点，有效遏制事故的扩散，从而显著减少由此带来的经济损失和社会影响；二是持续监测电力系统的正常运行状态，一旦发现任何异常迹象，立即采取



相应措施，确保系统的持续稳定和可靠；三是与各类自动化设备紧密协作，共同推动电力系统向自动化控制和调度的高级阶段发展，提升整体运营效率；四是作为故障分析和事故处理的重要信息来源，它为技术人员提供了宝贵的数据支持，助力于事故原因的准确判断和有效对策的制定<sup>[2]</sup>。

### （三）继电保护装置的发展现状及趋势

当前，继电保护装置的发展呈现出以下几个特点：一是保护装置的数字化、网络化程度不断提高，微机保护已成为主流；二是保护装置的智能化水平不断提升，基于人工智能技术的保护装置正在逐步推广应用；三是保护装置的可靠性、灵敏性和选择性得到了显著增强。未来，继电保护装置的发展趋势将集中在以下几个方面：一是继续提高保护装置的智能化水平，实现故障自诊断和自愈；二是推动保护装置与通信、控制、监测等系统的深度融合，形成更加高效的综合自动化系统；三是注重环境保护和装置的小型化、轻量化，以适应更加多样化的应用场景。

## 二、继电保护装置可靠性分析

可靠性是评估继电保护装置性能的核心标准之一，它直接关系到装置在关键时刻能否稳定发挥作用。作为电力系统安全运行的重要保障，继电保护装置的可靠性不仅体现了其设计、制造和维护的高标准，也是确保电力供应连续性和防止重大事故发生的关键因素。

### （一）可靠性指标体系

继电保护装置的可靠性指标体系是其性能评估的关键工具，涵盖了故障率、平均无故障时间（MTBF）、平均修复时间（MTTR）和可用度等多个维度。故障率反映了单位时间内保护装置发生故障的频率，作为衡量可靠性的基础指标；而 MTBF 则表示保护装置在连续正常运行中两次故障之间的平均时间，其值越高，表明装置的可靠性越强<sup>[3]</sup>。MTTR 则衡量了保护装置发生故障后恢复正常工作所需的平均时间，MTTR 的缩短直接提升了可靠性。可用度指标综合反映了保护装置在任何时刻执行预定功能的概率，它是可靠性和维修性的综合体现，对于评估继电保护装置的整体性能至关重要。

### （二）可靠性评估方法

为了精确评估继电保护装置的可靠性，研究者们开发了多种评估方法，这些方法各有侧重点，共同构成了一个全面的评估体系。统计分析法通过收集历史故障数据，运用统计学方法对故障率、平均无故障时间（MTBF）等关键指标进行计算和分析，为装置的可靠性提供定量分析。故障树分析法（FTA）通过构建故障树模型，分析导致保护装置失效的各种原因及其逻辑关系，从而评估系统的整体可靠性。Petri 网分析法利用 Petri 网理论对保护装置的运行状态进行建模，通过模拟运行来评估系统的可靠性，这种方法有助于深入理解系统运行过程中的各种状态和转换<sup>[4]</sup>。蒙特卡洛模拟法通过随机模拟保护装置的运行过程，进行大量重复试验，以估计可靠性指标，这种方法能够考虑到各种不确定性和随机因素对系统可靠性的影响。这些评估方法的综合运用，为

继电保护装置的可靠性分析提供了科学、全面的依据，有助于指导实践中的可靠性提升和优化。

### （三）影响继电保护装置可靠性的因素

继电保护装置的可靠性受多方面因素影响，共同决定了其在实际运行中的表现。设计上的合理性，包括原理、电路和软件算法，对可靠性起决定性作用。材料选择、制造工艺和质量控制同样关键。环境因素，如温度、湿度、电磁干扰和灰尘，以及运行维护的质量和备品备件的供应，也对装置的可靠性产生影响。此外，不可预见的外部事件，如自然灾害和人为破坏，也可能影响装置的可靠性。因此，综合考虑这些因素并采取相应措施，是提高继电保护装置可靠性，确保电力系统安全稳定运行的关键。

## 三、继电保护装置可靠性提升策略

提升继电保护装置的可靠性，无疑是确保电力系统安全稳定运行的核心所在。作为电力系统的守护者，继电保护装置在检测异常、隔离故障、恢复供电等方面扮演着至关重要的角色<sup>[5]</sup>。其可靠性的提升，不仅能够有效防止电力事故的发生，保障电网的连续供电，还能显著提高电力系统的运行效率，降低维护成本。

### （一）设计阶段可靠性提升措施

为了显著提升继电保护装置的可靠性，确保其在电力系统中发挥关键作用，设计阶段必须采取一系列细致且周密的措施。一是设计团队应优先考虑采纳那些经过市场反复验证的成熟设计方案，这样可以源头上降低设计阶段的不确定性，减少潜在的风险。二是设计过程中需注重电路的优化，这包括精心挑选高品质的电子元件以及合理规划电路布局，这些措施能够有效降低电路的故障率，提升整体的可靠性。三是在软件层面，加强软件可靠性是不可或缺的。通过采用先进的软件工程方法，可以显著提升软件代码的质量，减少软件运行中的缺陷和故障，从而保障系统的稳定运行。此外，设计中的冗余系统同样至关重要，特别是对那些关键部件的冗余配置，它能够在部分系统组件失效的情况下，保证整体系统的连续运作，大幅提升了系统的可靠性。

同时，设计者还需充分考虑装置的环境适应性，确保继电保护装置在各种复杂多变的自然环境和工作条件下都能保持稳定性能，这一环节对于提升装置的整体可靠性同样具有决定性意义。

### （二）制造阶段可靠性提升措施

在继电保护装置的制造阶段，确保其高可靠性的核心在于对原材料品质的严格把控。必须确保每一颗元器件都符合国家规定的标准，从源头上保障装置的质量<sup>[6]</sup>。同时，对生产工艺进行精细优化，引入尖端技术和先进设备，以提高生产自动化程度，从而显著降低因人为操作不当导致的错误。

不仅如此，加强生产全过程的实时监控也至关重要，这样能够及时捕捉到任何潜在的问题，并迅速采取措施予以解决。对于成品，必须进行全面的性能测试和质量检验，确保每一台出厂的继电保护装置都能满足严苛的质量标准。为了进一步增强产品质量的可控性和可追溯性，建立一套完善的追溯体系是必不可少的。这一体系将详细记录生产过程中的每一个环节，一旦产品出

现任何问题，都能迅速追溯到具体的生产步骤和相关责任，从而实现问题的快速定位和有效解决。

总之，这些综合措施的有效实施，不仅提升了继电保护装置的制造质量，也极大地增强了其可靠性，为电力系统的稳定运行提供了坚实的技术支撑。

### （三）运行维护阶段可靠性提升措施

在继电保护装置的运行维护阶段，保持并提升其可靠性是确保电力系统稳定运行的关键所在。这要求我们定期对装置进行彻底地检查和维护，以保障其始终处于最优的工作状态。同时，利用先进的在线监测系统对装置的运行状况进行实时监控，这样能够迅速识别并处理任何异常，防止潜在问题的扩大。

除了技术监控，提升操作与维护人员的专业技能也是不可或缺的一环。通过系统的培训，确保他们能够熟练且精确地操作和维护继电保护装置，这对于减少人为失误、提升装置的整体性能至关重要<sup>[7]</sup>。同时，针对可能出现的各种故障，制定一套详尽的应急预案，能够在故障发生时迅速采取行动，最大限度地缩短处理时间，降低故障对电力系统的影响。

最终，通过对运行中收集的故障信息进行深入地分析和总结，将这些宝贵的反馈信息传递至设计和制造环节，可以促进产品设计的优化和制造工艺的改进。

## 四、我国继电保护装置可靠性研究与发展方向

在我国电力系统迅猛发展的时代背景下，继电保护装置的可靠性研究显得尤为关键和紧迫。随着电网规模的不断扩大，结构的日益复杂，以及新能源并网的快速推进，继电保护装置作为电力系统安全稳定运行的重要防线，其可靠性直接关系到整个电力系统的安全性能和运行效率<sup>[8]</sup>。因此，深入研究继电保护装置的可靠性，不仅是技术进步的必然要求，也是保障电力系统安全、促进能源可持续发展的关键举措。

### （一）现状分析

当前，我国继电保护装置的可靠性研究与发展表现出显著特点：技术水平持续提升，得益于微电子、通信和计算机技术的进步，装置的智能化和网络化程度大幅提高；市场竞争日益激烈，众多国内外企业的参与推动了技术的快速迭代和创新；国家标准

逐步完善，为继电保护装置的质量提供了坚实保障；同时，学术界和产业界在可靠性研究方面成果丰硕，部分技术已达到国际先进水平。这些特点共同推动了我国继电保护装置可靠性的整体提升<sup>[9]</sup>。

### （二）存在问题

尽管我国继电保护装置的可靠性研究与发展已取得一定成就，但仍面临若干挑战：自主创新能力不足，尤其在高端技术和核心元器件方面对进口的依赖性较强，亟待提升自主研发能力；可靠性评估体系尚不完善，现有的评估方法在实际应用中受限，缺乏统一的标准和体系；运行维护水平在不同地区和企业间存在较大差异，这影响了继电保护装置的整体可靠性；市场监管尚有不足，市场上仍有质量不达标的产品流通，需要进一步加大监管力度。这些问题亟待解决，以促进继电保护装置可靠性研究的深入发展。

### （三）发展方向与建议

为解决我国继电保护装置可靠性研究与发展中存在的问题，建议采取以下策略：加大高端继电保护装置的研发投入，集中力量突破关键技术和核心元器件的制约，增强自主创新能力；构建完善的可靠性评估体系，优化评估方法，确立统一的标准和流程，确保评估的科学性和精确性<sup>[10]</sup>；通过加强培训，推广标准化运维流程，全面提升运行维护人员的水平；强化市场监管，严格产品质量标准，有效打击假冒伪劣产品；推动产学研深度合作，促进科研成果的转化和应用，共同促进继电保护技术的持续发展。

## 五、结束语

随着电力系统的复杂性和重要性的不断提升，继电保护装置的可靠性研究已成为保障电网安全运行的关键课题。尽管在继电保护装置的可靠性研究方面已取得了一定的成果，但仍然存在许多挑战和机遇。我们期待广大学者和工程技术人员继续深化理论研究，创新技术手段，加强实践应用，共同推动继电保护装置可靠性研究向更高水平发展。同时，也希望相关政策制定者和监管机构能够关注继电保护装置的可靠性问题，出台更多有力措施，促进电力系统的安全、高效和可持续发展。

## 参考文献

- [1] 庞岑茂, 夏统照, 詹子民. 电力系统继电保护及其自动化装置可靠性研究 [J]. 光源与照明, 2023, (10): 231-233.
- [2] 姜涵, 吴倩雯. 继电保护二次回路缺陷及故障处理对策 [J]. 光源与照明, 2023, (10): 237-239.
- [3] 徐婷婷. 电力系统继电保护隐藏故障诊断方法与系统重构研究 [J]. 电气技术与经济, 2023, (08): 32-34.
- [4] 康吉. 探析电力系统继电保护常见故障及预防措施 [J]. 电气技术与经济, 2023, (08): 287-288+301.
- [5] 余佐佐, 黄海. 高压配电继电保护状态检修系统研究 [J]. 电子测试, 2023, (05): 88-92.DOI:10.16520/j.cnki.1000-8519.2023.05.019.
- [6] 赵鹏飞. 地铁供电系统继电保护方案探究 [J]. 冶金管理, 2023, (19): 90-92.
- [7] 朱毅, 王婵媛. 光纤技术与电力继电保护的融合研究 [J]. 光源与照明, 2023, (09): 86-88.
- [8] 葛梦昕, 汪雪. 基于 GO 法的智能变电站继电保护可靠性评估研究 [J]. 光源与照明, 2023, (09): 204-206.
- [9] 吕梦妮, 朱树云. 电力系统继电保护运行维护方案研究 [J]. 光源与照明, 2023, (09): 228-230.
- [10] 王车正. 电力系统中继电保护与自动化装置的可靠性分析 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(09): 335-337.DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2023.09.154.

# 水工环勘察中的水文地质条件影响及分析

于海波

新疆维吾尔自治区地质局水文环境地质调查中心, 新疆 乌鲁木齐 830091

**摘要：** 本文着重论述了水文地质条件在水利勘测中的作用, 并从水工环调查的角度论述了水文地质条件对工程建设、环境保护、资源利用等方面的影响。同时对水工环勘探中的水文地质条件进行了精确评价并提出了相应的对策。

**关键词：** 水工环勘察; 水文地质条件; 影响分析

## Influence and Analysis of Hydrogeological Conditions in Hydraulic Engineering and Environmental Exploration

Yu Haibo

Xinjiang Uygur Autonomous Region Geological Bureau Hydrogeological and Environmental Geological Survey Center, Urumqi, Xinjiang 830091

**Abstract：** This paper focuses on the role of hydrogeological conditions in water conservancy survey, and discusses the influence of hydrogeological conditions on engineering construction, environmental protection and resource utilization from the perspective of hydraulic engineering and environmental survey. At the same time, the hydrogeological conditions in hydraulic exploration are evaluated and the corresponding countermeasures are put forward.

**Keywords：** hydraulic environment exploration; hydrogeological conditions; impact analysis

### 引言

随着我国经济和社会的迅速发展, 水利水电工程建设、环境保护及资源开发利用等方面的需要越来越多, 而水力学环境调查是水利水电工程勘察的重要内容, 其关系到工程的安全、环境的可持续发展以及资源的合理使用。通过水力学环境调查能够准确的了解和评估水文地质条件, 不仅可以为工程建设提供可靠的基础数据, 还能有效地保护生态环境以实现资源的可持续开发。

### 一、水文地质条件概述

#### (一) 水文地质条件的概念与组成

水文地质条件是指地下水的分布、埋藏、补给、径流和排泄等条件以及地下水的物理和化学性质, 主要包括地下水的类型, 含水层的岩性与厚度, 地下水的水位与流量, 地下水的化学成分等。

#### (二) 水文地质条件的影响因素

水文地质条件受地形、气候、地层岩性和地质结构等多方面的影响, 其中地形特征对地下水补排起着决定性作用, 而气象因素对地下水补给及蒸发有重要影响, 同时岩层的岩性和地质结构对地下水的赋存与运移起着重要的作用。

### 二、水工环勘察中水文地质条件的重要性

#### (一) 对工程建设的影响

##### 1. 影响地基稳定性

地下水位的变化对工程施工具有重要意义, 地下水位升高会

引起土体的软化从而降低土体的承载力。特别是在某些软土地区, 由于地下水位过高就会引起基础产生差异沉降, 从而危及建筑结构的安全<sup>[1]</sup>。另外地下水具有较强的腐蚀性, 若地下水中富含硫酸盐、氯离子等化学成分则会对混凝土及钢筋造成冲蚀从而影响结构的完整性, 导致建筑的服役年限大大降低。所以在施工之前要对不同的水文地质条件进行综合分析并提出相应的防治对策。

##### 2. 影响边坡稳定性

边坡内地下水的渗透对边坡稳定有重要的影响, 地下水位的存在可能会使土壤自重增大、剪切强度下降, 而随着地下水压力的增加致使边坡失稳将会导致滑坡和崩塌等地质灾害的发生。因此在进行水工环调查时必须对斜坡的水文地质情况有较全面的认识, 如地下水的分布情况、水位的变化规律和渗漏途径等。通过分析这些因素可以评估边坡的稳定性并采取有效的防治措施, 如排水、支护进而确保工程的安全进行。

##### 3. 影响地下工程施工

在地下工程建设过程中所遇到的水文地质情况比较复杂, 由于地下水的影响工程建设难度及其危险性均较大, 其可能对工

作者简介: 于海波 (1980.12-) 女, 籍贯: 黑龙江省大兴安岭地区加格达奇市人, 本科, 工程师, 汉族, 研究方向: 水文地质、工程地质、环境地质方向。



程建设及人身安全会产生不利影响,如在隧道建设过程中若遇地下水位较高则易发生涌水导致工程停摆。另外地下水也会对地下工程的衬砌结构造成冲刷从而影响其耐久性,为此在进行地下工程建设之前,应对其进行详尽的水文地质调查并做好相应的排水及防水措施,以保证工程的顺利实施。

## （二）对环境保护的作用

### 1. 地下水污染防治

水文地质条件是控制地下水污染的关键,通过掌握地下水的流动方向、速度及地下水的性质,有助于判断地下水中污染物的迁移和扩散并据此制定相应的防治对策;还可以通过设置隔离墙和抽水回灌等措施有效地抑制污染物的扩散。与此同时应积极对城市用地、产业布局进行合理的规划以降低地下水对环境的危害。另外通过加强对地下水的监控与管理,及时发现并治理地下水中存在的污染物对于保障地下水资源也具有十分重要的意义。

### 2. 生态环境保护

水文地质状况是影响生态环境的重要因素,地下水在湿地、河流和湖泊等诸多生态系统中占有非常重要的地位,通过对地下水的合理开发能够有利于维护流域内的生态平衡和生物多样性的保护。比如在干旱区的地下水对植物生长起着至关重要的作用,但如若过量开发就会造成地下水位降低、植物枯死、生态环境恶化等问题。为此在开展水利水电工程勘察时应充分考虑水文地质条件对其生态环境的影响,并提出一套科学、合理的水资源开发计划进而达到保护生态和经济发展的目的<sup>[2]</sup>。

## （三）对资源开发的意义

### 1. 水资源开发利用

对不同地区的水文地质情况进行精确的评价是合理开发和利用水资源的前提,通过对地下水储量、水质及分布的调查可明确该区的可开发水资源,从而为水资源的合理开发利用与分配提供科学依据。如在某些水资源短缺的地方可通过对地下水的开采来解决其生产、生活用水的需要。与此同时,通过对水库的水文地质情况进行研究有助于合理地选取水源及水处理工艺从而达到提高水资源利用率的目的。另外值得一提的是在开采水源时也要重视对地下水资源的保护,防止对地下水的过度开发与污染以达到可持续发展的目的。

### 2. 矿产资源开发

水文地质条件对矿产资源的开采也有一定的指导作用,在实际矿产资源开发时很多矿床都是与地下水有很大关系,通过对开车地区水文地质情况的认识能够有助于查明矿床的成因及空间展布,对找矿具有重要的指导意义。另外在矿山开发的同时由于地下水的存在也会给矿山带来水淹从而影响矿山的安全生产,为此必须对矿区进行详尽的水文地质调查并制定相应的防治对策以保证矿产资源的安全开发。

## 三、水工环勘察中水文地质条件的勘察方法

### （一）水文地质测绘

在水利水电工程勘察中水文地质调查是一种非常重要的手

段,在做水文地质工作时要认真观察、分析勘测地区的地形特征,通过对山区走向、河流分布、地形起伏等地质条件的分析从而合理推断地下水的补给和排泄路径。与此同时对岩层岩性的研究也是必不可少的,因为不同的岩层对地下水的赋存、运移起着不同的作用,比如高孔隙率的砂岩可以成为一个很好的蓄水体,而高密度的泥页岩可以作为一个隔水体。另外断裂和褶皱等地质结构对地下水的分布也有一定的影响,在项目实施过程中通过绘制详细的水文地质图将这些信息直观地呈现出来,能够为后续的勘察工作提供基础依据。

## （二）水文地质钻探

水文地质勘探是最直观,也是最直接的方法,在进行水文地质钻孔时应先在已有的勘测成果基础上确定钻孔位置,在钻井作业中通过对钻孔取样可以了解深部地层的构造及岩性特征。同时可以借助专用计量仪器精确确定地下水埋深情况。另外也可以通过对地下水进行采样并对其进行水质分析,测定化学组成及污染物水平以便为工程建设、水资源开发等工作提供准确的地质资料,更为科学决策提供重要的技术支撑<sup>[3]</sup>。

## （三）水文地质试验

水文地质测试是水工环勘探工作的重要组成部分,其中抽水实验是一种常用的水文地质实验,它是指通过对地下水进行抽取,通过观测地下水位的变化进而求出含水介质的渗透系数和其他相关参数。除此之外还有水驱实验和水压试验,水驱实验是将一定数量的水注入井内通过测定水的压力、流量等参数来测定储层的渗透率;而水压试验是测量岩石渗透特性的一种常用方法,它对水利水电工程的设计与建设具有重要意义。通过上述实验可以对地下水的充水性及可采性进行量化评价,有助于勘探工作者认识各种地质情况下地下水的迁移规律,进而为该地区水资源的合理开发及工程建设中地下水的治理提供科学依据。

## （四）地下水动态监测

地下水的动态监测具有长期性和持续性,通过在不同地点设置监测井并且安装专业的监测设备,实时记录地下水位、水质、水温等参数的变化能够很好地反映地下水的补、排状况,也能反映出人为因素对地下水的影响以便提出相应的预防和控制措施。长时间序列的地下水动态监测资料不仅能为相关主管部门制定合理的开发计划,而且对研究地下水-生态系统之间的相互联系、维护生态平衡具有重要意义<sup>[4]</sup>。

## 四、水工环勘察中不良水文地质条件的应对措施

### （一）完善勘察工作

为了解决不利的水文地质情况,加强水利勘测工作是十分必要的。首先要增加勘探开发的人力、物力、财力等方面的投资,建立起一支具有较强综合素质的勘察队伍并对其进行系统的训练,以提高其业务素质与技术能力从而达到对不良水文地质情况进行正确辨识与分析的能力。其次在物质上通过引入高精度探测仪器、三维地质建模软件等先进的勘探仪器与技术,以提高勘探的准确性与可靠性。最后还应制定一套严密的质量管理制度,对



勘探资料进行多次复核以保证资料的准确和完整，为以后的工程建设、环境保护和资源利用奠定良好的基础<sup>[5]</sup>。

### （二）强化水文地质调查

为了克服不利的水文地质情况必须加强水文地质调查工作，因此应组建专门的勘察队伍对可能有不利水文地质情况的地区开展深入细致的勘察工作，详细了解可能有不利水文地质情况区域的地形地貌、地层构造、地下水流动特点等，针对可能发生的地下水水质污染追溯污染源并对污染路径及扩散范围进行分析<sup>[6]</sup>。另外，对地表塌陷、地裂缝等问题应从地质结构和人为活动等方面进行综合研究并提出相应的防治对策。除此之外还应加强与有关部门的协作，实现普查资料、资料的共享以提高普查工作的效率与质量<sup>[7]</sup>。

### （三）重视地下水动态观测

为了及时了解不利的水文地质情况，建立和完善地下水位监测网是十分必要的，应在重点地区布设多个观测站点对地下水水位、水质和水温等参数进行实时监测。与此同时采用先进的仪器与技术，使资料的收集与传送自动化以提高资料的收集与传送效率与准确度；并且定期对观测资料进行分析、评价以便及时发现异常现象，比如在发生地下水水位骤降或上升或水质恶化时，应立即启动应急预案，及时采取应对措施。此外还要加强对观测数据的管理和利用，为水资源管理、环境保护和工程建设提供科学依据，有效地预防和应对不良水文地质条件带来的风险<sup>[8]</sup>。

### （四）加强地下水污染防治

为了有效地保护地下水资源，必须对地下水进行严格的控制，一方面要加大对污染源的监督力度和对工业废水、生活污水

及农业非点源污染的控制并严格控制其标准。另一方面应加大对地下水的污染防治力度，对已受污染地区，应采取物理、化学、生物等多种修复手段以达到消除污染、恢复地下水水质的目的。在此基础上还应加大对环境保护的宣传力度以达到加深群众对环境保护认识的目的，使群众积极主动地投入治理地下水的工作中来进而实现全社会的通力合作<sup>[9]</sup>。

### （五）提高勘查技术水平

加强水文地质勘探技术的研究与开发投资是增强水文地质灾害防治能力的重要手段，因此要鼓励科研院所、企业进行科技创新，研究开发更先进的勘探技术与方法，比如在大范围水文地质调查中可以运用无人机、卫星遥感等先进设备以提高勘探效率；还可以开发智能化的勘查设备，实现数据的自动采集和分析，提高勘查精度。除此之外也应加强国际的合作与交流，积极吸收国外先进的勘探技术与经验，努力为我国的水工环勘查工作提供借鉴；在此基础上还要加大勘探技术人才培养力度，加强科技人员的技术运用与创新意识从而保证新技术的高效运用<sup>[10]</sup>。

## 五、结语

水工环勘探中水文地质情况对勘察工作起着很大的作用，正确认识和评价不同地区的水文地质状况，对该地区的工程建设、环境保护及资源开发等均有十分重要的意义。在实施过程中水工环勘探应采取科学的勘探手段，强化对不利的水文地质情况的处理，提升勘探质量与水平以促进区域经济的可持续发展。

## 参考文献

- [1] 彭亮. 矿山水工环地质勘查工作中的问题与防治分析 [J]. 中国金属通报, 2024,(07):139-141.
- [2] 刘玉波. 矿山水工环地质勘查中的防治措施优化探微 [J]. 中国金属通报, 2024,(07):163-165.
- [3] 殷国晶. 水工环地质环境勘查中的技术应用及关键点分析 [J]. 世界有色金属, 2024,(13):154-156.
- [4] 周延强, 牟庆伟, 纪长营, 等. 水工环地质勘探在矿山勘查中的应用价值研究 [J]. 世界有色金属, 2024,(09):169-171.
- [5] 罗文栋. 探究水工环地质条件对矿山开采的影响 [J]. 世界有色金属, 2024,(03):86-88.
- [6] 蔡源铭. 水工环地质勘查中的技术及应用分析 [J]. 世界有色金属, 2023,(20):110-112.
- [7] 吕吉鹏. 水工环地质勘探在矿山勘查中的运用价值探究 [J]. 冶金与材料, 2023,43(08):175-177.
- [8] 李珍, 江林波, 江林林. 水工环地质在矿产勘查中的应用策略分析 [J]. 世界有色金属, 2023,(15):199-201.
- [9] 王首东. 当前水工环地质勘查中的技术及应用范围 [J]. 西部探矿工程, 2023,35(07):1-3.
- [10] 潘先见. 水工环地质勘探在矿山勘查中的应用价值 [J]. 世界有色金属, 2023,(01):154-156.

# 火力发电厂化学水处理技术与环保策略研究

谢祥贵

织金清洁能源公司, 贵州 织金 552111

**摘 要：** 本文针对火力发电厂化学水处理技术与环保策略进行了深入研究。本部分内容先对化学水处理技术在火力发电厂中的应用、基本原理及分类进行了全面阐述，奠定了后续研究的基础。接着，深入探讨了化学水处理的核心技术，涵盖了预处理技术（如混凝沉淀、过滤、消毒）和深度处理技术（如超滤、反渗透、离子交换），并对这些技术的特性及其适用场景进行了详细分析。最终，本文分析了火力发电厂化学水处理的环保策略，涵盖了节能减排措施（如优化工艺流程、提升设备运行效率、减少药剂使用）、污水处理与回用（涉及污水处理技术和污水资源化利用）以及固废处理与资源化（包括固废处理技术和固废资源化利用）等方面的内容。研究成果旨在为火力发电厂化学水处理提供一套科学、环保的技术方案，以实现绿色、可持续发展，为我国电力行业的环保事业和产业技术升级贡献力量。

**关 键 词：** 火力发电厂；化学水处理；预处理技术；深度处理；环保策略

## Research on Chemical Water Treatment Technology and Environmental Protection Strategies in Thermal Power Plants

Xie Xianggui

Zhijin Clean Energy Company, Zhijin, Guizhou 552111

**Abstract：** This article conducts an in-depth study on chemical water treatment technology and environmental protection strategies in thermal power plants. Firstly, it comprehensively elaborates on the application, basic principles, and classification of chemical water treatment technology in thermal power plants, laying the foundation for subsequent research. Then, it delves into the core technologies of chemical water treatment, covering pretreatment techniques (such as coagulation and sedimentation, filtration, and disinfection) and advanced treatment techniques (including ultrafiltration, reverse osmosis, and ion exchange). Detailed analyses of the characteristics and applicable scenarios of these technologies are also provided. Finally, the article explores environmental protection strategies for chemical water treatment in thermal power plants, encompassing energy conservation and emission reduction measures (such as optimizing process flows, improving equipment efficiency, and reducing chemical usage), wastewater treatment and reuse (involving wastewater treatment technologies and resource recovery), and solid waste treatment and resource utilization (including solid waste treatment techniques and resource recovery). The research aims to provide a scientific and environmentally friendly technical solution for chemical water treatment in thermal power plants, achieving green and sustainable development and contributing to the environmental protection and technological upgrading of China's power industry.

**Keywords：** thermal power plant; chemical water treatment; pretreatment technology; advanced treatment; environmental protection strategy

## 引言

伴随着我国经济的迅猛增长，电力需求持续攀升，火力发电作为国家电力供应的主要支柱，其重要性日益凸显。然而，火力发电过程中化学水处理问题逐渐成为行业关注的焦点，这些问题不仅威胁到电厂的安全稳定运行，还可能对环境造成严重污染。鉴于此，深入研究和探讨火力发电厂化学水处理技术及其环保策略，具有极其重要的现实意义。

本文聚焦于火力发电厂化学水处理的关键技术环节，并对其环保策略进行深入分析，旨在为我国火力发电厂的化学水处理提供科学的理论支持和实践借鉴。通过研究，旨在优化火力发电厂的水处理工艺，提升水资源利用效率，降低环境污染，推动电力行业的绿色可持续发展。

## 一、火力发电厂化学水处理技术概述

在火力发电厂的生产过程中，化学水处理技术发挥着至关重要的作用。它不仅关系到发电设备的稳定运行，还直接影响到环境保护和资源利用效率。以下是对火力发电厂化学水处理技术的全面概述。

### （一）化学水处理技术在火力发电厂中的应用

近年来，随着我国社会持续发展，电厂的规模不断扩大，对电厂化学水处理工作提出了更加严格的要求，必须采用先进的技术手段来提升电厂化学水处理的技术水平，使其能够充分满足电厂发展的需要<sup>[1]</sup>。

该技术的核心应用领域包括以下三个方面：一是确保锅炉给水的品质标准，以防止锅炉内部出现结垢和腐蚀现象。通过精细化的水质管理，化学水处理技术有效维护了锅炉的稳定运行，大大降低了设备故障的风险，延长了锅炉的使用寿命，从而保障了火力发电厂的连续供电能力。二是针对工业废水进行处理，使得废水在排放前能够满足国家环保标准。化学水处理技术通过高效去除废水中的有害物质，不仅减轻了对环境的污染负担，而且促进了水资源的循环利用，体现了电厂在环境保护方面的责任与担当。三是针对循环水系统进行优化处理，显著提升了循环水的使用效率<sup>[2]</sup>。通过化学水处理，循环水系统得以保持良好的运行状态，减少了能源消耗，增强了系统的抗垢和防腐蚀能力，为火力发电厂实现节能减排目标提供了技术支撑。

综合来看，化学水处理技术的广泛应用，不仅为火力发电厂的安全生产构筑了坚固防线，同时也为推动电厂向环境友好型、资源节约型转变提供了重要保障。在行业持续发展的进程中，化学水处理技术的作用愈发重要，成为提升电厂整体运行水平的关键因素。

### （二）化学水处理技术的基本原理

化学水处理技术的核心在于综合运用物理、化学及生物等多种技术手段，实现对水中各类杂质的精准去除、高效转化及彻底分解，从而显著提高水质，确保水资源的有效利用和安全。在这一过程中，物理方法扮演着基础且关键的角色，主要包括沉淀、过滤、离心等操作。这些技术手段通过改变水的物理状态或借助物理力量，有效地将水中的悬浮物、颗粒物等杂质分离出来，为后续的处理步骤打下坚实基础。

与此同时，化学方法在水质净化中发挥着重要作用，涉及混凝、沉淀、氧化还原等复杂的化学反应。通过精心选择和使用的化学药剂，与水中的污染物发生特定的化学反应，形成易于分离的沉淀物或气体，从而实现水质净化的目的。例如，混凝剂的作用在于促使水中细小悬浮颗粒聚集成较大的絮体，这些絮体在后续的沉淀或过滤过程中更容易被去除；而氧化还原反应则能有效地转化水中的有害物质，降低其毒性或直接转化为无害物质，大幅提升了水处理的效率和安全性<sup>[3]</sup>。

此外，生物方法在化学水处理技术中的应用，巧妙地利用了微生物的代谢能力，针对水中的有机污染物进行高效的生物降解。这一过程不仅将复杂的有机污染物转化为简单的二氧化碳、水和其他无害物质，而且在一定程度上恢复了水体的生态平衡，实现了污染物的资源化利用。生物处理方法以其环境友好、成本

效益高的特点，在化学水处理领域占据了重要地位。

### （三）化学水处理技术的分类

化学水处理技术的分类基于处理对象和目的的不同，可分为四个主要类别，每一类技术均针对特定的水质问题，提供专业的解决方案。

预处理技术，主要包括澄清、过滤、除油等步骤，其主要功能是去除水中的悬浮物、胶体和油脂等杂质。这一阶段是水质净化的初步阶段，对于保护后续处理设备，防止堵塞和降低处理难度至关重要。

深度处理技术，如反渗透、离子交换、电渗析等，这些技术主要针对水中的盐和重金属离子进行高效去除<sup>[4]</sup>。通过这些高级处理手段，可以显著提高水的纯度，满足电厂锅炉给水等高水质要求。

废水处理技术，涉及生化处理、膜分离等方法，其目的是对电厂产生的废水进行有效处理，以达到国家或地方的排放标准。这些技术不仅有助于减少环境污染，还能实现废水的资源化利用。

循环水处理技术，通过加药、水质稳定等手段，优化循环水系统的运行效率。这一技术的应用，有助于防止循环水系统内部结垢、腐蚀和微生物滋生，确保系统的长期稳定运行。

## 二、火力发电厂化学水处理关键技术研究

在火力发电厂的生产过程中，化学水处理关键技术与应用对于确保发电效率和设备寿命具有重要意义。以下是对火力发电厂化学水处理关键技术的具体探讨。

### （一）预处理技术

在化学水处理的初始阶段，预处理技术的应用至关重要，它为后续的深度处理奠定了基础。其中，混凝沉淀技术通过向水中加入混凝剂，使悬浮物和胶体颗粒聚集成絮体，便于后续的沉淀和过滤<sup>[5]</sup>。这一技术不仅能够有效降低水中的浊度，还能去除部分有机物和重金属离子，为后续处理创造良好条件。

过滤技术是预处理过程中的另一个重要环节，它通过不同类型的过滤器，如砂滤池、活性炭滤池等，进一步去除水中的悬浮物、胶体和部分溶解性污染物。过滤技术的关键在于选择合适的过滤材料和操作参数，以确保高效去除杂质，同时保持过滤系统的稳定运行。

消毒技术则是在预处理阶段对水进行杀菌消毒，以消除水中的病原微生物，保障水质安全。常用的消毒方法包括氯消毒、臭氧消毒和紫外线消毒等。这些消毒技术能够有效灭活水中的细菌、病毒和其他微生物，防止其在电厂系统中繁殖和传播<sup>[6]</sup>。

### （二）深度处理技术

深度处理技术是化学水处理过程中的关键环节，它能够进一步净化水质，满足更高的水质要求。超滤技术利用超滤膜对水中的悬浮物、胶体和部分大分子有机物进行截留，其操作简便，出水水质稳定，是火力发电厂常用的深度处理手段。

反渗透技术则通过半透膜在压力作用下实现水与溶解盐类和有机物的分离，其脱盐率高达95%以上，能够有效提供高品质的锅炉给水<sup>[7]</sup>。反渗透技术的关键在于膜材料的选择和维护，以及



操作条件的优化,以延长膜的使用寿命并保持高效的产水率。

离子交换技术通过离子交换树脂去除水中的离子污染物,尤其是硬度离子和重金属离子。这一技术能够根据需要选择不同的树脂类型和操作方式,实现特定离子的选择性去除,从而提高水的纯度,保障火力发电厂设备的长期稳定运行。通过对这些深度处理技术的研究和应用,火力发电厂能够实现水资源的循环利用,降低运行成本,同时减少对环境的影响<sup>[8]</sup>。

### 三、火力发电厂化学水处理环保策略研究

在当今社会,环保已成为火力发电厂发展的重要议题。化学水处理作为电厂生产的重要组成部分,其环保策略的研究与实践对于实现绿色发电、可持续发展具有深远意义。以下是对火力发电厂化学水处理环保策略的深入探讨。

#### (一) 节能减排措施

在贯彻我国节能减排政策的大背景下,火力发电厂在化学水处理环节实施了多项高效措施,以提升能源利用效率,减少对环境的影响。通过不断的技术创新和流程优化,电厂对化学水处理系统进行了深度改造,摒弃了冗余的处理环节,显著降低了能源和物料的消耗。具体而言,电厂精确控制混凝剂的投加量,这一策略不仅提高了混凝沉淀的效率,同时也减轻了后续处理阶段的负担,提升了整体处理流程的效能。

此外,电厂引入了先进的高效节能设备,并构建了一套完善的设备维护与管理体系,确保了设备在最优状态下运行,从而有效减少了能源消耗<sup>[9]</sup>。在药剂使用方面,电厂进行了精细化管理和优化,通过精心调整药剂配方和精确控制用药量,在保障水处理效果的同时,减少了化学药剂的用量,这不仅降低了运营成本,也减少了对环境的潜在影响。

#### (二) 污水处理与回用

在当今水资源日益紧张的背景下,火力发电厂在污水处理与回用领域不断创新技术,推进污水深度处理与资源循环利用。通过物理、化学和生物处理方法的有机结合,火力发电厂实现了对污水中各类污染物的有效去除。物理处理环节,通过高效的沉淀和过滤技术,实现了污水中固液的有效分离;化学处理环节,借助先进的混凝和氧化还原反应,深度净化水质,去除顽固杂质;生物处理环节,充分发挥微生物的代谢作用,分解污水中的有机污染物,全面提升水质。

在此基础上,火力发电厂积极探索污水资源化利用途径,将经过深度处理的水资源回用于电厂的冷却、冲灰、绿化等非饮用领域。这一举措不仅大幅降低了新鲜水资源的消耗,提高了水资源利用效率,而且有效减轻了环境负担,为水资源的可持续管理提供了有力支持<sup>[10]</sup>。火力发电厂在污水处理与回用方面的积极探索与实践,充分展现了其在环保和资源节约方面的责任担当和技术创新。在此基础上,电厂将继续深化技术研究,优化处理工艺,为实现水资源的高效利用和环境保护贡献更大力量。

#### (三) 固废处理与资源化

在推进污水处理与回用策略的过程中,火力发电厂采纳了全

面的技术措施,综合运用物理、化学和生物处理方法,包括混凝沉淀、活性污泥法、膜生物反应器等先进技术,旨在高效去除污水中的各类污染物,保障排放水质满足环保要求。物理处理手段通过沉淀和过滤等操作,有效分离污水中的悬浮物和颗粒物;化学处理手段借助混凝、氧化还原等反应,针对性清除溶解性污染物;生物处理手段则依托微生物的代谢作用,分解污水中的有机成分,实现水质净化。在污水资源化利用方面,电厂将达标处理水回用至冷却、冲灰、绿化等非饮用环节,显著减少了对新鲜水资源的需求,提高了水资源的综合利用效率。采用此种策略,火力发电厂不仅减轻了对环境的负担,而且优化了水资源的管理配置,推动了水资源的可持续利用,体现了企业对环境保护和资源高效利用的承诺。

### 四、结束语

本文通过对火力发电厂化学水处理技术与环保策略的深入研究,分析了现有技术的优缺点,提出了针对性地改进措施和环保策略。然而,必须认识到,火力发电厂化学水处理技术及其环保策略尚存一定的局限性,因此,持续的技术优化和完善工作显得尤为重要。

在未来的工作部署中,一方面,应当持续探索高效率、低成本的化学水处理技术,以提升火力发电厂的整体运行效能;另一方面,需全面考量环境保护的严格要求,将节能减排、污染控制与资源循环利用等环节融入化学水处理的整个流程,旨在实现火力发电厂与生态环境的和谐共存。此外,政府部门、企业和社会各界应共同努力,加大对火力发电厂化学水处理技术与环保策略研究的支持力度,推动产业技术升级,为我国电力行业的绿色发展贡献力量。总的来说,希望通过本文的研究,能够为广大同行在火力发电厂化学水处理领域提供有益的参考和启示,共同为我国环保事业和电力产业的繁荣发展作出新的更大贡献。

### 参考文献

- [1] 王世忠. 电厂化学水处理技术探讨[J]. 造纸装备及材料, 2023, 52(06): 179-181.
- [2] 陈岩林. 电厂化学水处理技术的特点和应用研究[J]. 造纸装备及材料, 2023, 52(05): 188-190.
- [3] 张印志. 浅谈电厂化学水处理技术发展与应用[J]. 中国战略新兴产业, 2022, (20): 30-32.
- [4] 王德凯. 浅析电厂化学水处理技术的发展与应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(12): 178-180.
- [5] 李前, 张冬花. 电厂化学水处理技术探析[J]. 科技资讯, 2022, 20(13): 29-31. DOI: 10.16661/j.cnki.1672-3791.2201-5042-3510.
- [6] 刘冬. 燃气电厂化学水处理技术探讨[J]. 当代化工研究, 2021, (20): 111-112.
- [7] 陈建花. 关于电厂化学水处理中反渗透膜技术的应用探讨[J]. 当代化工研究, 2021, (14): 119-120.
- [8] 王晓林. 电厂化学水处理中全膜分离技术的应用探讨[J]. 价值工程, 2020, 39(30): 225-226. DOI: 10.14018/j.cnki.cn13-1085/n.2020.30.095.
- [9] 马小原. 简述电厂化学水处理技术的创新应用[J]. 机电信息, 2020, (18): 83-84. DOI: 10.19514/j.cnki.cn32-1628/tm.2020.18.040.
- [10] 朱琳麒. 电厂化学水处理技术的具体应用研究[J]. 资源节约与环保, 2020, (03): 39+41. DOI: 10.16317/j.cnki.12-1377/x.2020.03.035.



# 电气工程中分布式发电系统的并网技术研究

陆新

广西兆泰送变电工程集团有限公司, 广西 柳州 545000

**摘 要：** 本文针对分布式发电系统及其并网技术进行了深入研究。本研究起始阶段，综合阐述了分布式发电系统的基本概念、分类、优势与局限性以及关键技术，为后续深入探讨打下了坚实的理论基础。继而，本文详尽地阐述了分布式发电系统的并网技术，涵盖了技术概览、工作原理、关键参数解析以及控制策略，为可再生能源的电网接入提供了理论依据。最终，本研究对分布式发电系统并网运行的稳定性进行了深入分析，考察了影响系统稳定性的因素、分析手段、改善措施以及其与并网技术的相互作用，为电力系统稳定性的维护提供了宝贵的参考依据。本文的研究成果对于推动分布式发电系统在我国电力系统中的应用和发展具有重要意义。

**关 键 词：** 分布式发电系统；并网技术；稳定性分析；保护技术；控制策略

## Research on Grid-Connected Technology of Distributed Generation Systems in Electrical Engineering

Lu Xin

Guangxi Zhaotai Transmission and Distribution Engineering Group Co., Ltd. Liuzhou, Guangxi 545000

**Abstract：** This paper conducts an in-depth study on distributed generation systems and their grid-connected technologies. In the initial stage of the research, the basic concepts, classifications, advantages, limitations, and key technologies of distributed generation systems are comprehensively elaborated, laying a solid theoretical foundation for further exploration. Subsequently, this paper detailedly expounds on the grid-connected technology of distributed generation systems, covering technology overview, working principles, key parameter analysis, and control strategies, providing a theoretical basis for the grid integration of renewable energy. Finally, this study conducts an in-depth analysis of the stability of distributed generation systems during grid-connected operation, examining the factors that affect system stability, analysis methods, improvement measures, and their interaction with grid-connected technologies, providing valuable reference for maintaining the stability of power systems. The research results of this paper are of great significance for promoting the application and development of distributed generation systems in China's power system.

**Keywords：** distributed generation systems; grid-connected technology; stability analysis; protection technology; control strategies

## 引言

随着全球能源需求的不断增长和环境问题的日益严重，分布式发电系统作为一种清洁、高效的能源利用方式，受到了广泛关注。分布式发电系统是指分布在用户端的中小型电源，主要包括太阳能、风能、燃料电池等可再生能源和微型燃气轮机等传统电源。并网技术作为分布式发电系统的重要组成部分，使其能够顺利接入电网，实现能量的有效利用。本文针对电气工程中分布式发电系统的并网技术进行研究，探讨并网技术原理、运行稳定性及保护措施，以期为我国分布式发电系统的发展提供理论支持。

## 一、分布式发电系统概述

随着能源需求的多样化以及对环境保护的日益重视，分布式发电系统作为一种新型的电力供应模式，逐渐成为电力行业的重要组成部分。本章节旨在为读者提供一个关于分布式发电系统的全面了解，包括其定义、分类、优缺点以及关键技术。

### （一）分布式发电系统的定义与分类

分布式发电区别于常规发电系统中所使用的依赖互联网网络所进行远距离电能传输的集中发电模式，在分布式发电新模式下，电能可以以模块化的方式进行负荷分布与输送，且输送通路内的单位功率数值表现可以实现由数十兆瓦到数十千瓦范围内的跨度，无疑是一种更适用于现代电力发展稳定性与快节奏要求的

发电形式，兼具环保效益与经济成效<sup>[1]</sup>。这种系统不同于传统的集中式发电，它更加灵活、高效，能够满足不断变化的电力需求，提高能源利用效率，降低能源损耗。分布式发电系统的分类涵盖了多种能源形式和技术路线，包括可再生能源发电和不可再生能源发电，以及光伏、风力、燃料电池、微型燃气轮机等多种发电技术。

### （二）分布式发电系统的优缺点

在深入分析分布式发电系统的优势与局限之际，显而易见，该系统的优势颇为突出。分布式发电系统具备高度灵活性和可靠性，能够敏捷地对电力需求变动做出反应，从而显著提升电网的稳定性和抗干扰能力<sup>[2]</sup>。同时，该系统能够实现能源的本地化利用，大幅降低长距离电力传输的损耗，有效提升能源利用的整体效率。再次，它有助于减少温室气体排放，促进绿色低碳发展，符合全球能源转型和环境保护的要求。然而，分布式发电系统也存在一些缺点，如初期投资成本较高、对电网运行和管理带来一定挑战、发电效率受天气和环境因素影响等。

### （三）分布式发电系统的关键技术

分布式发电系统的关键技术包括多种类型，如光伏发电技术、风力发电技术、燃料电池技术、微型燃气轮机技术以及储能技术等。这些技术的研究和突破，对于推动分布式发电系统的发展具有重要意义。光伏发电技术依赖于太阳能电池板的效率提升和成本的降低；风力发电技术则需要不断提高风力发电机的性能和可靠性；燃料电池技术关键在于提高燃料电池的寿命和降低成本；微型燃气轮机技术追求更高的热效率和更低的排放；储能技术则致力于提高储能密度、降低成本和延长使用寿命<sup>[3]</sup>。这些关键技术的创新和发展，将为分布式发电系统在未来的广泛应用奠定坚实基础。

## 二、分布式发电系统并网技术

分布式发电系统的并网技术是实现其与电网无缝连接的核心，对于提高能源利用效率和电力系统稳定性具有重要意义。以下内容将深入探讨分布式发电系统的并网技术，包括其概述、原理、主要参数分析以及控制策略，以期为分布式发电系统的广泛应用提供技术支撑。

### （一）并网技术概述

并网技术构成了分布式发电系统的核心要素，其涉及的概述、工作原理、关键参数解析以及控制策略构成了对该技术深入理解和有效应用的基础。该技术详尽地描述了分布式发电系统与电网接口的复杂操作流程及具体技术方法，确保了可再生能源发电装置能够以高效率 and 稳定性向电网注入电能，从而保障了电网运行的安全性和可靠性<sup>[4]</sup>。此外，并网技术的设计和应用，不仅促进了能源的高效利用，还强化了电网结构的灵活性和抗扰动能力，为构建可持续发展的现代能源体系提供了坚实的技术支撑。

### （二）并网技术原理

并网技术的理论基础跨越了电力电子学、自动控制学以及通信技术等多个专业领域。其核心在于利用电力电子转换器件，尤

其是逆变器，实现分布式发电系统所生产的直流电或交流电向与电网同频同相的交流电的转换。这一过程涵盖了电压幅值、频率、相位角以及电流波形等关键参数的精确控制，旨在确保并网电能的品质满足电网的严格规范<sup>[5]</sup>。此外，并网技术的运作原理还包括对电网状态的连续实时监测，这样，当电网的运行参数发生任何变动时，分布式发电系统都能即时响应，调整其电力输出，从而维持与电网的同步运行状态。这种技术的应用，不仅要求高度的技术集成和创新，而且对于提升电网的动态稳定性和电能质量具有重要意义。

### （三）并网技术主要参数分析

在深入探讨并网技术的主要参数时，一系列关键指标成为评价标准，包括电压稳定性、频率一致性、相位同步性、功率因数以及谐波含量等核心要素。电压和频率的稳定性构成了并网操作的基本前提，任何对标准参数的偏差都有可能对电网的稳定性和安全性造成不利影响。相位的精确同步是实现电能高效传输的关键，它确保了电能从生成端到消费端的顺畅流动。功率因数则直接体现了电能利用的效率，其高低直接关联到能源的浪费与否<sup>[6]</sup>。此外，谐波含量作为评估并网电能质量的重要参数，其水平的高低直接关系到电网的清洁程度，谐波含量过高不仅会导致电网污染，还可能对电网中的其他用电设备造成功能性干扰或损害，从而影响整个电力系统的正常运行。因此，对这些参数的精确控制和优化是确保并网技术高效、安全运作的关键所在。

### （四）并网技术控制策略

并网技术控制策略的研究和应用，是实现分布式发电系统高效、稳定并网的关键。这些策略包括电网同步控制、最大功率点跟踪（MPPT）、孤岛检测、故障穿越以及电网支持服务等。电网同步控制策略确保了分布式发电系统在并网时的电压、频率和相位与电网保持一致；MPPT策略则最大化了可再生能源的利用效率，提高了发电量；孤岛检测策略是为了防止电网断电时，分布式发电系统继续供电而造成安全隐患；故障穿越策略使得分布式发电系统在电网发生故障时能够保持稳定运行，减少对电网的冲击；电网支持服务则是在电网需要时，分布式发电系统能够提供必要的辅助服务，如电压和频率支持。

## 三、分布式发电系统并网运行稳定性分析

分布式发电系统的并网运行稳定性是保障电网安全、可靠运行的关键因素。本章将深入探讨影响系统稳定性的各种因素，分析稳定性评价的方法，提出提升系统稳定性的措施，并探讨稳定性与并网技术之间的内在联系。

### （一）系统稳定性影响因素

系统稳定性是电力系统运行的首要考量，其重要性体现在保障电网的安全性、可靠性和运行效率上<sup>[7]</sup>。在分布式发电系统中，稳定性受制于一系列复杂且多元的因素，这些因素遍及电力系统的各个层面和环节。具体而言，在发电侧，分布式电源的输出特性、控制策略及其对系统故障的响应能力是影响稳定性的关键要素。这些电源的动态行为和调节能力直接决定了系统在面对

负荷变动或电网扰动时的稳定程度。

在负载侧，负荷的波动性、非线性负载的特性以及负荷率的变化对系统稳定性构成了显著影响。负荷的不稳定性和非线性特征可能导致电网电压和频率的波动，进而影响电力系统的正常运行。此外，输电线路的电气参数、电网的拓扑结构、保护装置的性能同样在系统稳定性中扮演着重要角色。这些技术参数和配置的优化对于维持电力系统的稳定运行至关重要。

除此之外，外部环境因素也不容忽视，包括温度、湿度、自然灾害等，它们可能对发电设备、输电线路和电网基础设施造成影响，从而间接影响系统的稳定性<sup>[9]</sup>。综合来看，确保分布式发电系统稳定性需要一个全方位、多层次的分析和控制策略，以应对这些错综复杂的因素，确保电力系统的持续、稳定和高效运行。

（二）稳定性分析方法

稳定性分析方法为深入探究和准确评估电力系统的稳定性提供了坚实的理论基础和技术支持。这些方法涵盖了不同的技术路线，旨在全面揭示系统在不同工况下的稳定性能。其中，三种主要的分析手段包括时域仿真法、频域分析法和 小信号分析法。

时域仿真法通过精确模拟电力系统在时间域内的动态行为，为研究者提供了一种直观且全面的视角来观察系统的稳定性变化。这种方法能够详细捕捉系统在遭受各种扰动时的瞬时响应和长期趋势，从而有效地识别可能导致系统失稳的关键因素。

频域分析法则侧重于对电力系统的频率特性进行深入分析。通过运用伯德图、奈奎斯特图等经典工具，该方法能够定量评估系统在特定频率范围内的稳定度，揭示系统对于不同频率扰动的敏感程度，进而为系统设计和优化提供重要参考<sup>[9]</sup>。

小信号分析法则通过将电力系统模型线性化，专注于研究系统在微小扰动下的动态响应。这种方法能够精确地确定系统的稳定边界，即系统保持稳定的最大扰动范围，为系统稳定性的分析和控制提供关键的理论依据。

（三）稳定性提升措施

为了显著增强电力系统的稳定性，实施了一系列综合性的措施。在技术层面上，通过精细化调整系统参数、提升关键设备的

性能指标以及增强控制策略的鲁棒性，实现了系统稳定性的提升。具体而言，采纳高性能电力电子器件和尖端的控制算法，能够确保系统对各类扰动做出迅速而有效地响应，从而保障系统的平稳运行<sup>[10]</sup>。在管理层面上，加强电网的实时监控、实施有效的负荷管理策略以及制定详尽的应急预案，均为提高系统稳定性提供了坚实的支撑。此外，通过改善电网的物理结构，包括增设输电线路、优化网络布局以及采用灵活交流输电技术等手段，进一步增强了电力系统的稳定性和抗干扰能力。这些措施的综合运用，不仅提高了电力系统的运行效率，还确保了供电的连续性和可靠性，为构建更加坚强、智能的电力网络奠定了基础。

（四）稳定性与并网技术的关系

稳定性与并网技术的关系密切，并网技术的优劣直接影响到系统的稳定性。一方面，并网技术需要确保分布式发电系统在并网时不会对电网造成冲击，这要求并网设备具有很好的同步能力和故障穿越能力。另一方面，并网技术应能够根据电网状态调整分布式发电系统的输出，以支持电网的稳定运行。例如，在电网负荷高峰期，分布式发电系统可以提供额外的电力支持；在电网故障时，通过适当的控制策略，分布式发电系统可以帮助电网恢复正常运行。因此，并网技术的发展和运用是提升分布式发电系统稳定性，进而保障整个电网稳定性的关键。

四、结束语

本研究揭示，分布式发电系统的并网技术是实现可再生能源高效转换的核心，对于增强电力系统的运行稳定性及确保电力供应的安全可靠具有深远影响。然而，分布式发电系统并网技术仍面临诸多挑战，如稳定性、保护技术及控制策略等方面。未来，我国应继续加大对分布式发电系统并网技术的研究力度，推动政策制定和完善，以促进分布式发电系统在电力系统中的广泛应用，为我国能源结构优化和可持续发展贡献力量。总之，本文的研究成果为分布式发电系统并网技术的发展提供了理论支持，具有一定的参考价值。

参考文献

[1] 匡超, 陈悦. 分布式发电与配电网保护协调性研究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13(03):241-242+245.DOI: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2023.03.090.

[2] 陈思宇, 张兴, 巫宇航, 等. 基于 CCIs/VSGs 混合的分布式发电系统研究 [J]. 电力电子技术, 2023, 57(02):73-76.

[3] 韩志华, 刘秦. 分布式光伏发电系统电气设计分析 [J]. 光源与照明, 2023, (01):133-135.

[4] 李卓言, 段丽平, 李少华, 等. 基于 AspenPlus 的兆瓦级燃料电池分布式发电系统建模及仿真分析 [J]. 南方能源建设, 2022, 9(04):78-86.DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2022.04.010.

[5] 葛晓东. 分布式发电对配电网继电保护的影响分析 [J]. 集成电路应用, 2022, 39(12):246-247.DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2022.12.112.

[6] 许戴林. 分布式发电对配电网继电保护自动化系统的影响 [J]. 集成电路应用, 2022, 39(10):222-223.DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2022.10.100.

[7] 李安乐, 易志刚, 彭星. 基于模型预测控制的厨余垃圾处理厂分布式发电系统优化调度 [J]. 湖南电力, 2022, 42(04):75-80.

[8] 董顺超. 分布式发电系统中多元混合储能优化配置研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2022.DOI: 10.27061/d.cnki.ghgdu.2022.004083.

[9] 陈家浩. 基于区块链的分布式发电微电网系统数据安全存储机制研究 [D]. 福建工程学院, 2022.DOI: 10.27865/d.cnki.gfgxy.2022.000072.

[10] 张珍奇, 王文革. 分布式光伏发电系统在微电网中的应用 [J]. 光源与照明, 2022, (05):113-115.

# 创新技术在矿山水资源节约与复用中的应用研究

吴嘉艺, 曹子钊

中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110015

**摘 要 :** 为加速构建绿色化、循环化、高效化的矿山水资源利用效能, 解决水资源复用率低、运行维护成本高、污废水治理难度大等问题。文章运用系统理论, 从多个维度出发, 通过工艺迭代和技术创新, 构建矿山水资源利用新模式, 推动水资源节约与复用体系的完善。

**关 键 词 :** 水资源复用; 矿山节水; 创新技术; 节能高效

## Application Research of Innovative Technology in Mine Water Resources Conservation and Reuse

Wu Jiayi, Cao Zizhao

China Coal Science and Research Group Shenyang Design and Research Institute Co., LTD. Shenyang, Liaoning 110015

**Abstract :** In order to accelerate the construction of green, recycling and efficient mine water resources utilization efficiency, to solve the problems such as low water resources reuse rate, high operation and maintenance cost, and great difficulty in sewage and wastewater treatment. This paper uses the system theory, starting from multiple dimensions, constructs a new mode of mine water resources utilization through process iteration and technological innovation, and promotes the improvement of water resources conservation and reuse system.

**Keywords :** water resources reuse; mine water saving; innovative technology; energy saving and high efficiency

### 前言

着眼矿山开发的目标定位, 技术团队和研发人员投入大量资源, 进行技术创新和工艺升级, 实现水资源节约和复用, 达到控制成本投入规模, 缓解水资源短缺, 减少生产过程中污废水排放, 保护周围水体生态环境的总体目标。通过技术思路的调整、技术方案的优化和技术体系的搭建, 整合优势技术, 围绕矿产资源开发, 形成完备的工艺体系。

### 一、矿山水资源节约与复用的必要性与重要性分析

总结矿山水资源节约与复用的必要性、重要性, 实现既有认知的扭转, 运用新思路、新观念, 调整水资源利用方法, 优化污水处理复用路径, 推动创新技术的应用。

#### (一) 矿山水资源节约与复用必要性

矿产资源开采过程中, 在钻孔、爆破、浮选、降尘等环节, 对水资源的需求量较大。为保证水资源的持续稳定供给, 矿山企业投入大量资源, 引入污水处理系统、用水监控系统等工艺方案, 旨在提高水资源利用效率, 减少水资源损耗, 同时在水循环系统、回收技术辅助下, 实现污水、废水复用, 实现水体环境保护, 降低矿产资源开采对区域生态的影响<sup>[1]</sup>。

受管理思维、成本投入等因素影响, 国内矿山水资源节约与

复用过程中, 暴露出技术装备不完善、保护利用不充分、非常规水资源利用不高效、生态修复保护不全面等问题, 上述问题如果没有得到妥善解决, 势必妨碍矿山水资源开发和利用, 无形中, 推高了矿产资源开发的经济成本、生态成本。具体来看, 部分矿山企业片面追求经济效益, 忽视了水资源节约与复用的重要性, 没有能够从资源开发、环境保护等层面出发, 引进先进性、实用性的水资源处理技术与回收设备, 使得水资源节约效果不佳, 复用水平得不到预期。部分工作人员对矿山水资源节约与复用工作的系统性、整体性、科学性认知不充分, 在技术参数调试、设备工艺选择等方面, 出现技术方案盲目, 主要设备低效系列问题, 从长远来看, 无助于矿山开采活动正常开展。为应对上述局面, 解决技术缺陷和设备短板, 矿山企业要发挥主观能动性, 做好经验总结, 坚持问题导向, 不断创新技术, 形成完备的

作者简介: 吴嘉艺 (1998.12-), 女, 汉族, 籍贯: 辽宁省沈阳市, 现就职于: 中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司, 大学本科, 助理工程师, 研究方向: 矿山水资源保护与利用。



水资源节约与复用方案。

### （二）矿山水资源节约与复用重要性

2024年，国家发展改革委发布《关于加强矿井水保护和利用的指导意见》等文件，明确提出要不断增强技术支撑能力，提高矿山水资源利用效能和复用水平。水资源节约与复用作为矿山开发体系的重要组成，采取最优化的工艺方案，合理利用水资源，保证矿山长期运营，减少停产风险，为资源勘探、开采、运输提供有力支撑<sup>[9]</sup>。矿产资源开发对水资源的需求量较大，依托工艺方案和技术设备，实现矿坑水处理、生产系统建筑物内地面冲洗水回收、生活区污水处理回收，在矿区内部形成循环体系，形成自给自足式的供水模式，逐步降低对周边地区水资源的压力，缓解生产、生活用水冲突，保证矿产资源开发活动的连续性。

矿山水资源节约与复用能够减轻生态破坏，促进生态修复，在污水处理系统、废水循环技术支持下，最大程度地控制污水、废水排放量，减少了对土壤、水体环境的污染和破坏，加速矿山区域生态修复进程，防范水土流失、地面沉降等问题。水资源节约与复用能够节约矿山企业的运营成本，尤其在复用过程中，企业能够就地、就近用水，节约了水资源采购与运输成本，提高了企业利润空间，在激烈行业竞争中积累优势。

## 二、矿山水资源节约与复用创新技术应用基本思路

着眼矿山水资源节约与复用现状，技术团队和研发人员坚持技术导向，通过理顺创新技术应用的基本思路，把握水资源回用参数指标基本要求，明确水处理回用过程中关键阶段，推动创新技术的科学化和高效化应用。

### （一）做好创新技术评估

矿山水资源节约与复用环节，为保证技术应用效果，工作人员遵循因地制宜、因时制宜基本原则，利用物探技术，对矿山区域水资源现状开展深度调查，详细记录水源、水质、水量以及废水排放等情况，综合评估水资源总体储量和开采量，形成矿山水资源档案。同时，使用大数据技术评估档案信息，筛选错误数据，确保水资源底数的准确性<sup>[9]</sup>。矿山生产过程中，钻探、浮选等过程中，会产生大量废水、污水，废水和污水的出现，造成区域环境污染，妨碍水资源正常循环和复用，基于这种实际，工作人员从技术维度出发，深入分析不同工艺、不同环节的用水特点，测算矿山开采、运输中产生的废水量以及污染物种类，围绕废水量和污染物种类，结合矿山水资源节约与复用现状，确定创新技术应用需求以及应用方向，避免创新技术选型的盲目性和随意性。以洗煤活动为例，传统技术模式下，每吨煤用水量在0.5立方米到1.5立方米之间，技术团队在综合评估煤矿区域水资源分布等基础情况后，针对性选择浮选设备和闭路循环水系统，在创新技术介入下，每吨煤用水量达到0.2立方米到0.8立方米，水资源利用率提升极为明显。

### （二）做好创新技术筛选

着眼矿山水资源节约与复用定位，工作人员要做好技术筛选、引进、集成以及整合系列工作，旨在形成最优技术方案。具

体来看，结合矿山用水规律、水资源分布、废水处置基本情况，收集已有的节水工艺和复用技术，从成本规模、使用效果、运行效率等维度出发，有序做好矿山水资源节约与复用创新技术选型，保证技术设备的指向性<sup>[10]</sup>。例如，工作人员将节水设备、污水处理工艺、智能化水资源管理系统作为重点，进行技术设备定向更新，通过创新技术的合理应用，高质量完成水资源节约和复用任务。考虑到矿山用水场景的多样性，工作人员结合矿产资源开发现状，综合评估各类要素，引进合适技术，开展适应性改造和全面性优化。为压缩矿山水资源节约与复用流程，对不同的节水技术、回用工艺开展集成，形成综合性、平台性水资源管理方案，通过技术流程整合，保证水资源配置效能，实现水资源高质量利用。例如，部分工作人员着眼矿山水资源节约与复用目标，将雨水收集系统、矿井水回收工艺结合起来，串联水资源回收利用渠道，形成多水源的整合。这些回收的矿井水被广泛应用于煤矿的选煤、降尘等环节，大大降低了对外部新鲜水资源的依赖，每年节约了大量的用水成本。山西某煤矿经过多年探索，形成了一套先进的矿井水回收系统，该矿井回收系统在井下相关区域，使用物理处理法，将矿坑水引入沉淀池，在池中停留一定时间，使颗粒沉淀到池底。定期清理沉淀池底部的污泥设置功能强大的排水泵，铺设了体系完备的管道网络，在排水泵以及管道网络的共同配合下，将矿井水有效地抽到地面，实现水体从特定区域的剥离，为后续水资源复用提供便利条件。在地面区域，工作人员设置特定模块，将沉淀、过滤、消毒技术流程进行组合，形成运行高效的净水体系，逐步将矿井水净化到符合工业用水标准的水资源。

### （三）做好创新技术反馈

矿山水资源节约与复用，能够改善区域生态，修复水土，为资源开发提供便利条件。着眼水资源节约与复用目标，工作人员运用系统理论，延伸技术流程，搭建技术框架，采取监督、反馈等举措，形成闭环机制，帮助工作人员掌握技术设备实际表现，及时调试技术参数，选择设备类型，保证矿山水资源节约与复用的实用属性。工作人员借鉴过往经验，尝试建立起水资源监测体系，运用智能水表、水质监测设备，实时监测用水量、水质等关键指标，评估关键指标，灵活调整技术方案，保证矿山水资源节约与复用质效。在这一过程中，工作人员选择用水量监测技术、水质监测技术、水资源复用效果监测技术以及自动控制技术，快速准确获取pH值、电导率、溶解氧、重金属含量等水质信息，运用回用水质跟踪检测，分析复用水资源情况，对达到回收标准的，进行回收利用，对达不到回收标准的，不进行回收利用，组织二次处置。矿山水资源节约与复用周期长，难度大，潜在风险较高，不确定因素较多，为应对这种复杂情况，工作人员要充分利用自动控制系统以及可视化监控平台，将水质、水量等数据以图形、地图等方式展现出来，工作人员读取信息后，了解水资源使用和复用情况，并作出相应举措，主动调整节水、用水设备核心参数，实现矿山水资源优化配置以及节约使用。以某矿山为例，工作人员引入完善水资源监测和反馈系统，及时修正水资源节约和复用技术方案，依托技术介入，将矿山用水量压缩了

20%，废水回收率提高到80%。

### 三、矿山水资源节约与复用创新技术应用策略与方法

完善矿山水资源节约与复用创新技术应用策略，弥补技术漏洞，补齐工艺短板，提升水资源节约效能和复用效率，切合新时期矿山开发基本要求，实现工艺升级和模式转型。

#### （一）智能化水管理系统的应用

智能化水管理系统在矿山水资源节约与复用中的应用，提升了水资源利用的集约化水平。对于智能化水管理系统的使用，按照数据采集、数据监测、数据分析，利用传感器和计量设备，获取各个生产环节的实时水量、水质、水压等数据，在物联网辅助下，将采集到的数据传输到控制系统，在大数据分析和机器学习算法支持下，掌握历史用水量，预测未来用水量，为用水计划的制定提供支撑，灵活调整开采和生产规模，达到降低用水量的目的。矿山开采对水资源的消耗量较大，为实现水资源的集约化使用，工作人员要建立起水资源优化调度系统，综合比较各类因素，确定不同区域、不同环节的供水优先级，合理分配水资源，在满足生产用水要求的前提下，最大限度地节约水资源，减少不必要的资源浪费。

#### （二）生活区污水处理回收技术的应用

生活区污水处理回收技术在应用过程中，工作人员应当应用好物理处理技术、化学处理技术、生物处理技术、深度处理技术，通过技术方案的灵活选择，保证污水处置能力，实现循环化使用。例如，物理处理技术主要通过沉淀、过滤等环节，逐步清除大颗粒悬浮物、细小颗粒以及杂质，达到净水目的；化学处理技术采取混凝和中和的方式，在污水中加入硫酸亚铁、聚合氯化铝等混凝剂，将小颗粒物质进行凝聚，通过物理沉降和过滤等方

式进行净化，初步净化后，调节酸碱度，使其pH值达到正常范围；生物处理技术，借助好氧生物处理、厌氧生物处理，通过活性污泥法、生物膜法、厌氧微生物等方式，在不同条件下，对污水内的有机物杂质进行净化和转换，将有机物分解为二氧化碳、甲烷、水等物质。工作人员依据技术原理和技术规范，结合矿山水资源分布以及使用情况，优化技术参数，调整设备工艺，顺利完成矿区污水处置工作<sup>[5]</sup>。

#### （三）雨水收集利用系统的应用

矿山雨水收集利用系统在申请过程中，工作人员做好收集设施的布设，在矿山道路、露天采场周边、工业场地等区域设置的雨水口和雨水沟，实现雨水有效收集。根据矿山规模和雨水收集量建设地下蓄水池、地上混凝土蓄水池等，提升雨水储备能力。对储备雨水进行过滤，工作人员借助如砂滤、滤网等过滤设备，去除雨水中杂质，同时，根据使用要求，增设消毒设备，雨水用于特定环节还需消毒设备。例如，使用化学消毒法、物理消毒法等方式，清除有害物质，降低使用风险，现阶段，多数矿山企业普遍选择氯消毒法，向雨水中加入氯气、次氯酸钠或二氧化氯等含氯消毒剂。含氯消毒剂具有较强的氧化性，能够有效杀灭细菌、病毒和寄生虫卵等病原体。例如，可以使用次氯酸钠溶液，按照一定的剂量投入到雨水中进行消毒。

### 四、结语

矿山开发对水资源的需求量高、使用量大，为保证水资源供给能力，文章从多个维度出发，在分析矿山水资源节约与复用必要性、重要性的基础上，着眼水资源节约与复用现状，廓清技术应用思路，掌握技术应用要点，完善技术应用路径，达到节约成本投入，培植竞争优势的目的，推动矿山企业健康全面发展。

### 参考文献

- [1]王旭东，唐佳伟，张锁等. 酸性矿山排水的源头预防技术研究进展[J]. 中国矿业，2023（6）：85-95.
- [2]杜金龙，潘树仁，刘长友等. 面向绿色矿山的注浆关键技术与工程示范[J]. 矿业科学学报，2023（3）：293-307.
- [3]陈涛. 矿山给排水施工质量控制的有效方法研究[J]. 世界有色金属，2022（16）：199-201.
- [4]金凌霄，高文美，武亚婷等. 矿区水资源综合利用思路研究——以甘肃某建筑石料矿整改项目为例[J]. 工程技术研究，2022（18）：77-79.
- [5]卢誉之，陈银萍，曹渤. 矿山生态修复技术体系构建[J]. 环境保护科学，2023（5）：40-51.

# 电力系统电气工程中变压器状态监测与故障预警

李高善

广西兆泰送变电工程集团有限公司, 广西 柳州 545000

**摘要：** 本文深入探讨了电力系统中变压器的基本原理、主要类型及其在电力系统中的重要作用。同时，详细介绍了变压器状态监测技术，包括油中溶解气体分析、局部放电检测、温度监测等，并分析了变压器常见的电气、油气、机械和热故障类型及其成因。此外，文章还讨论了变压器故障预警方法，包括人工智能技术、机器学习算法、支持向量机和神经网络的应用。文章强调了对变压器状态监测与故障预警技术的研究对于电力系统可靠性和智能电网发展的重要性，并指出未来需要进一步探索提高预警准确性、实时性和鲁棒性的方法。

**关键词：** 变压器；状态监测；故障预警；电力系统；人工智能；机器学习；深度学习

## Transformer Condition Monitoring and Fault Warning in Electrical Engineering of Power Systems

Li Gaoshan

Guangxi Zhaotai Power Transmission and Transformation Engineering Group Co., Ltd. Liuzhou, Guangxi 545000

**Abstract：** This paper delves into the fundamental principles, main types, and critical roles of transformers in power systems. It also provides a detailed introduction to transformer condition monitoring techniques, including dissolved gas analysis in oil, partial discharge detection, and temperature monitoring. Additionally, the article analyzes common electrical, oil-gas, mechanical, and thermal fault types in transformers and their causes. Furthermore, it discusses transformer fault warning methods, incorporating the application of artificial intelligence technology, machine learning algorithms, support vector machines, and neural networks. The paper underscores the significance of research on transformer condition monitoring and fault warning technology for power system reliability and the advancement of smart grids. It also highlights the need for further exploration in enhancing the accuracy, real-time performance, and robustness of warning methods in the future.

**Keywords：** transformer; condition monitoring; fault warning; power system; artificial intelligence; machine learning; deep learning

## 引言

随着社会的快速发展，电力系统作为现代社会的重要基础设施，其稳定性和可靠性直接关系到国家的经济发展和人民的生活质量。在电力系统中，变压器作为能量转换和电压调节的核心设备，其运行状态的好坏直接影响到整个电网的安全与效率。因此，对变压器进行有效的状态监测和故障预警，以预防和减少潜在故障的发生，显得尤为重要。

## 一、电力系统变压器概述

电力系统中的变压器，作为能量转换的核心设备，其基本原理是电磁感应。本章将深入探讨变压器的工作机制，以揭示其如何在电网中实现电压和电流的调节。

### （一）变压器的基本原理

变压器的工作原理基于法拉第电磁感应定律，通过两个或多个相互绝缘的线圈（绕组）实现电压和电流的转换。当一个交流电压施加到初级绕组时，会在铁芯中产生变化的磁通量，进而在

次级绕组中感应出电动势。根据变压器的匝数比，可以实现电压的升高（升压变压器）或降低（降压变压器）。此外，变压器还能隔离电路，确保系统的安全运行<sup>[1]</sup>。

### （二）变压器的主要类型

在电力系统中，根据不同的应用需求和运行环境，变压器的种类繁多。干式变压器采用空气或非磁性材料作为冷却介质，特别适用于对防火要求较高的场所，如数据中心和商业建筑。相对而言，油浸式变压器则以绝缘油作为冷却和绝缘介质，因其良好的散热性能和较高的可靠性，在电力系统中得到了广泛应用。此



外，组合变压器将变压器、开关设备、保护装置等集成于一体，适合于紧凑型变电站，以节省空间和提高集成度。而特种变压器，如整流变压器、隔离变压器、脉冲变压器等，则针对特定场合和特殊用途而设计，满足了电力系统的多样化需求。

### （三）变压器在电力系统中的重要作用

在电力系统中，根据不同的应用需求和运行环境，变压器的种类繁多。干式变压器采用空气或非磁性材料作为冷却介质，特别适用于对防火要求较高的场所，如数据中心和商业建筑。相对而言，油浸式变压器则以绝缘油作为冷却和绝缘介质，因其良好的散热性能和较高的可靠性，在电力系统中得到了广泛应用。此外，组合变压器将变压器、开关设备、保护装置等集成于一体，适合于紧凑型变电站，以节省空间和提高集成度。而特种变压器，如整流变压器、隔离变压器、脉冲变压器等，则针对特定场合和特殊用途而设计，满足了电力系统的多样化需求<sup>[2]</sup>。

## 二、变压器状态监测技术

在电力系统中，变压器的可靠运行对电网稳定性至关重要。为了确保变压器的健康状态，状态监测技术成为一种有效的预防性维护手段。

### （一）状态监测参数概述

状态监测参数构成了评估变压器运行状况的核心体系，它们是维护电力系统稳定性的重要工具。这些参数的范围广泛，涵盖了油中溶解气体分析、局部放电检测、温度监控、铁心接地电流测量、超声波探测以及红外热成像技术等多个方面。通过对这些关键指标的连续或定期监测，我们能够及时发现变压器内部的微小变化，从而揭示出潜在的故障迹象。在精密的监测手段支持下，能够更有效地维护变压器，延长其使用寿命，保障电力供应的稳定性。

### （二）油中溶解气体分析（DGA）

油中溶解气体分析（DGA）是一种精确的技术手段，它通过细致检测变压器油中溶解的气体种类及其浓度，来深入评估变压器的绝缘状况。在变压器内部，诸如局部放电、过热等潜在故障，会引发特定的化学反应，产生一系列气体，包括氢气、甲烷、乙炔等<sup>[3]</sup>。DGA技术如同一位细心的侦探，能够识别这些气体的蛛丝马迹，从而揭示故障的类型和严重程度。通过DGA的分析结果，维护人员可以更有针对性地进行维修或更换，确保变压器的可靠运行，防止由绝缘故障引起的更大规模事故，保障电力系统的整体稳定。

### （三）局部放电检测

局部放电监测技术作为一种有效的变压器状态监测方法，通过对放电信号的感知、模式识别、严重程度评估、过电压和过电流检测、数据存储和分析、放电位置定位、绝缘状态评估、预警与控制、系统的自我检测与维护、试验和标定、数据传输与通信等多方面的技术环节进行全面考虑和设计，可以构建一个高效、可靠的变压器局部放电监测系统，持续跟踪变压器的各项运行参数，防患于未然，为变压器的安全稳定运行提供保障<sup>[4]</sup>。目前，

常用的局部放电检测方法包括超声波检测法、电气检测法（例如脉冲电流法），以及化学分析法等。

### （四）温度监测

变压器的温度变化，作为一个关键的运行指标，直观地反映了其内部的工况健康。轻微的温度波动可能预示着正常的能量转换过程，然而，过度的温升则是潜在的危机信号。过热现象不仅会加速绝缘材料的老化，还可能大幅缩短变压器的预期寿命，甚至引发突发故障。因此，对变压器温度的精准监测显得至关重要。

## 三、变压器故障类型及原因分析

变压器在长期运行过程中，不可避免地会遇到各种故障。了解这些故障的类型及其成因，对于预防和处理变压器问题至关重要。

### （一）电气故障

电气故障，作为变压器中最常见的问题之一，往往与绕组系统紧密相关。这些问题涵盖了绕组短路、绕组断路、绝缘老化直至绝缘击穿等多个方面。这些故障的成因复杂，可能是由过电压事件、操作失误、材料本身的缺陷，或是外界环境因素所诱发。例如，雷电的冲击和系统的短路故障均可能导致电压急剧升高，这种过电压现象极有可能引发绝缘材料的击穿，从而造成变压器的电气故障。

绕组短路故障，通常是由于绕组间的绝缘介质受损，导致电流直接通过不应导通的路径流动，这种情况会迅速升温，加剧绝缘的损坏。绕组断路则可能是由机械损伤或焊接不良造成的，它会直接导致变压器的局部或整体失效。绝缘老化则是一个缓慢的过程，长期的高温、潮湿环境或是电应力的影响，都会加速绝缘材料的老化，最终可能导致绝缘性能下降<sup>[5]</sup>。而绝缘击穿则是绝缘材料在电应力作用下突然失效，这通常伴随着剧烈的放电现象，对变压器的损害极为严重。

### （二）油气故障

油气故障，作为变压器内部特有的问题，直接关联到其油和气体的状态。这些问题包括油质劣化、油位异常、气泡的产生，以及气体继电器的动作等。油质劣化，可能是由于变压器运行过程中温度过高，导致油中溶解气体数量增加，或是油品受到外界污染物的侵入。这种劣化不仅会降低油的绝缘性能，还可能影响其散热能力，进而对变压器的整体性能造成负面影响。

油位异常，可能是由于变压器密封不良导致的泄漏，或是由于温度变化引起的油体积膨胀和收缩。油位的异常波动，不仅会直接影响变压器的正常运行，还可能暴露出潜在的内部故障。气泡的产生，通常是由于油中气体溶解度降低而释放出来，这些气泡在变压器内部积聚，可能导致绝缘性能下降，甚至引发放电现象。

### （三）机械故障

机械故障，触及变压器的实体结构部件，涵盖了紧固件的松动、异常振动，以及冷却系统的故障等多个方面。这些问题可能源自制造过程中的缺陷、运输途中的损伤，或是长期运行所累积



的磨损，抑或是维护操作的不当。冷却系统的风扇或油泵一旦发生故障，不仅会削弱变压器的散热效率，还可能导致其内部温度急剧上升，进而引发过热现象<sup>[6]</sup>。

紧固件松动，可能是由于振动导致的螺丝松弛，或是安装时力矩控制不当。这种松动不仅会影响变压器的结构稳定性，还可能导致局部放电和噪声的增加。异常振动，可能是由于绕组或铁芯的平衡失调，这些振动若不及时处理，可能会加剧部件的磨损，甚至引发结构性损坏。冷却系统的故障，则可能是由于冷却装置的设计缺陷、部件老化或维护不足。冷却系统是维持变压器正常运行温度的关键，其故障不仅会导致变压器过热，还可能加速绝缘材料的老化，缩短变压器的使用寿命。

#### （四）热故障

热故障，作为一种常见的变压器故障类型，往往源于变压器内部或外部的温度管理失误。这些问题可能表现为热点形成、局部过热，或是冷却系统效率的降低。热点形成，可能是由于负载不平衡、绕组接触不良、油流不畅等因素引起的，这些热点成为变压器内部的温度异常区域。

局部过热，可能是由于变压器的某些部分承受了过度的电热应力，或是由于冷却系统的缺陷导致的热量无法有效散发。这种过热现象，若长期得不到妥善处理，将会加速绝缘材料的老化，进而缩短变压器的预期使用寿命。冷却系统效率下降，可能是由于冷却装置的部件磨损、堵塞或是设计不足。冷却系统的失效，会导致变压器内部温度持续升高，这不仅会影响变压器的正常运行，还可能引发一系列连锁反应，包括绝缘性能的下降和电气性能的恶化<sup>[7]</sup>。

#### （五）典型故障案例分析

1. 案例一：某220kV变压器在运行中出现局部放电现象，经过油中溶解气体分析（DGA）发现乙炔含量异常。这表明变压器内部存在绝缘纸板缺陷，导致了局部放电现象。通过更换绝缘材料，故障得到有效解决，避免了进一步的损害和可能的更大范围故障。

2. 案例二：某110kV变压器油中气体含量持续上升，红外热成像检测发现一处明显热点。经诊断，确定是冷却系统故障导致的局部过热。对冷却系统进行维修后，变压器恢复正常运行，确保了电力系统的稳定性和安全性。

3. 案例三：某35kV变压器在雷雨季节后出现绝缘击穿，分析认为是雷电过电压引发的电气故障。加强防雷措施后，类似的故障未再发生，有效提高了变压器的抗雷击能力，保障了电力系统的稳定运行。

### 四、变压器故障预警方法

预防胜于治疗，在变压器维护领域，故障预警方法的研发与应用正日益成为保障电力系统可靠性的关键。

#### （一）人工智能技术在故障预警中的应用

人工智能技术在变压器故障预警中的应用，主要体现在数据处理、特征提取和模式识别等方面。通过分析大量的监测数据，

人工智能能够识别出故障的早期迹象，从而提前发出预警，为维护决策提供科学依据。

#### （二）机器学习算法概述

机器学习算法是人工智能的核心，它使计算机能够从数据中学习规律和模式。在变压器故障预警中，常用的机器学习算法包括监督学习、非监督学习、半监督学习和强化学习等。这些算法能够从历史故障数据和正常运行数据中学习，建立故障预警模型<sup>[8]</sup>。

#### （三）支持向量机（SVM）故障预警

支持向量机是一种有效的监督学习算法，适用于分类和回归问题。在变压器故障预警中，SVM通过找到最优的超平面，将正常状态和故障状态的数据分开。SVM具有较强的泛化能力，能够在小样本情况下表现出良好的预测性能<sup>[9]</sup>。

#### （四）神经网络故障预警

神经网络是一种模仿人脑神经元连接方式的计算模型，具有强大的自适应和学习能力。在变压器故障预警中，神经网络可以通过训练学习到复杂的非线性关系，从而对变压器的运行状态进行准确预测。常见的神经网络结构包括前馈神经网络、递归神经网络等<sup>[10]</sup>。

### 五、结束语

在电力系统这个庞大而复杂的体系中，变压器的稳定运行无疑扮演着至关重要的角色。通过对变压器状态监测与故障预警技术的深入研究，不仅为电力系统的可靠性和安全性提供了有力保障，也为智能电网的发展奠定了坚实基础。然而，也应认识到，尽管技术在进步，但变压器故障预警仍然面临诸多挑战。如何进一步提高预警的准确性、实时性和鲁棒性，如何将理论成果更好地转化为实际应用，这些都是我们需要继续探索和努力的方向。

### 参考文献

- [1] 马寅兴. 发电机励磁变压器状态监测系统研究 [D]. 西安理工大学, 2023. DOI: 10.27398/d.cnki.gxalu.2023.000999.
- [2] 赵伟杰. 基于多源信息融合的变压器状态评估方法研究 [D]. 沈阳工业大学, 2023. DOI: 10.27322/d.cnki.gsgyu.2023.001382.
- [3] 马颖. 针对多源数据的变压器状态评估方法研究 [D]. 山东大学, 2023. DOI: 10.27272/d.cnki.gshdu.2023.003341.
- [4] 时春林. 变电站变压器状态监测与故障诊断技术研究 [J]. 光源与照明, 2023, (10): 165-167.
- [5] 王毛, 李雨轩, 郑城市, 等. 电力变压器的在线状态监测技术分析 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(05): 206-207. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2023.05.092.
- [6] 朱俊敏. 基于信息融合的车载牵引变压器智能故障诊断方法研究 [D]. 兰州交通大学, 2023. DOI: 10.27205/d.cnki.gltcc.2023.000002.
- [7] 胡洋. 基于数字孪生技术的变压器状态监测研究与探索 [J]. 电气化铁道, 2023, 34(01): 38-43. DOI: 10.19587/j.cnki.1007-936x.2023.01.007.
- [8] 周健. 基于神经网络和支持向量机的变压器故障诊断和状态评估 [D]. 昆明理工大学, 2022. DOI: 10.27200/d.cnki.gkmlu.2022.002258.
- [9] 刘正阳, 石悠旖, 王文瑞, 等. 基于边缘计算的变压器光声光谱故障诊断系统研究 [J]. 电子器件, 2022, 45(04): 872-877.
- [10] 陈城, 闫永昶. 变电站变压器异常状态监测数据可视化方法 [J]. 制造业自动化, 2022, 44(06): 204-207.

# 核电站重要厂用水泵停运时出口压力异常下降的分析

丁斌

大亚湾核电运行管理有限责任公司, 广东 深圳 518000

**摘 要 :** 核电站重要厂用水泵停运时出口压力约在0.4bar.g, 保证泵出口逆止阀下游管道处于充满水状态, 值班期间发现重要厂用水泵停运时出口压力下降到0, 可能影响核电站重要厂用水泵的可用性, 作者对泵出口压力下降进行了充分的分析。

**关 键 词 :** 重要厂用水泵; 逆止阀; 虹吸原理

## Analysis of the Abnormal Decrease of Outlet Pressure When the Water Pump of Important Nuclear Power Plant is Suspended

Ding Bin

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., LTD. Shenzhen, Guangdong 518000

**Abstract :** important plant pump shutdown outlet pressure about 0.4bar.g, ensure the pump outlet check valve downstream pipeline in the state of full water, found during duty important plant pump shutdown outlet pressure dropped to 0, may affect the availability of nuclear power plant pump, the author of the pump outlet pressure drop is fully analyzed.

**Keywords :** important factory water pump; check valve; siphon principle

## 引言

核电站的冷源是常规岛凝汽器和辅助冷却水、核岛设备冷却水系统的冷却用水源, 滨海核电厂一般用海水作为冷源。建立安全可靠的核电站冷却设施, 是确保核电站安全、稳定运行的重要保障。近年来, 随着越来越多的核电机组投入运行, 加之由于海洋环境变化, 核电厂频频发生由于海洋生物或者异物入侵造成的冷源取水口滤网堵塞, 影响核电厂正常运行的安全事件, 导致核电机组降功率、跳机跳堆, 造成巨大的经济损失和安全隐患。重要厂用水系统 (SEC) 作为最终热阱的一部分, 其设备状态对核电站整体安全有较大影响, SEC 泵出口压力下降可能导致正常或事故情况下需要自动启动时无法建立流量, 文章对 SEC 泵出口压力下降的原因进行了深入分析, 并简单介绍了检修结果。

## 一、重要厂用水系统介绍

重要厂用水系统 (SEC) 把设备冷却水系统 (RRI) 收集的热负荷传输至最终热阱——海水。重要厂用水系统是由两条与安全相关的冗余系列组成 (A/B 列), 通过海水冷却 RRI 系统的 RRI/SEC

热交换器完成热传输。SEC 泵经由取水构筑物和循环水过滤系统过滤装置从最终热阱 (海水) 吸取海水。每个系列的两台泵 (A 列: SEC001/003PO; B 列: SEC002/004PO) 通过一根埋置于混凝土中的母管取水, 并将其接在循环水泵的弯道吸入腔上。泵进、出口段设有隔离阀, 出口段上设止回阀。在故障情况下, 为了保持额定流量通过热交换器, 止回阀可自动把有故障的泵从系统中隔离开来<sup>[1]</sup>。

## 二、事件背景

2018年06月12日, L1SEC A列正常停运约10分钟后, 发现A列出口压力表L1SEC001MP开始缓慢下降至0bar (初始0.69bar左右), 咨询专业答复该类仪表故障可能性不高, 现场检查管线无外漏。重新启动L1SEC003PO后L1SEC001PO自动启动, SEC A列压力正常; 停运L1SEC001PO保持003PO运行后, A列流量计L1SEC001MD显示无流量, 但L1SEC003PO电流正

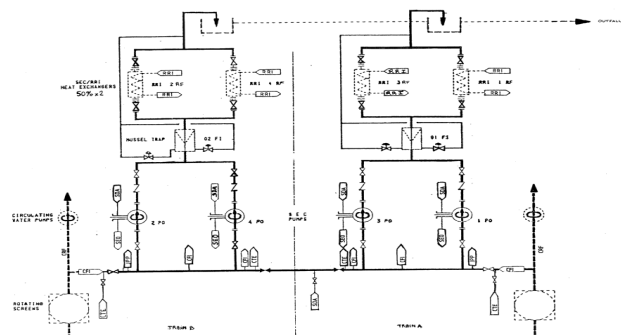


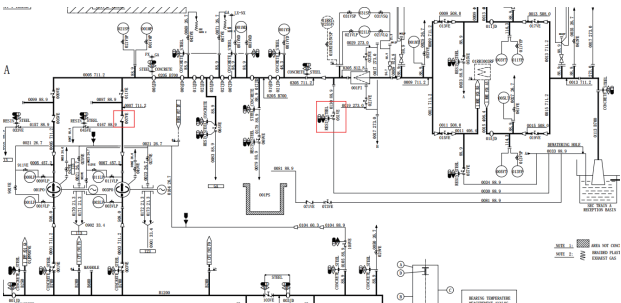
图1 重要厂用水系统总体流程图<sup>[2]</sup>

作者简介: 丁斌 (1989.07—), 男, 汉族, 浙江省诸暨市, 大亚湾核电运行管理有限责任公司, 工程师, 本科, 核反应堆运行。

常,随后停运 L1SEC003PO。

分析原因为 L1SEC003PO 出口逆止阀 L1SEC007VE 偶发卡涩或杂质等原因导致回座不严,再叠加 L1SEC A 列过滤器入口海水疏水阀 L1SEC051VE 关闭不严,待泵停运后系统虹吸作用破坏,导致局部排空。重新启泵初期,因管道内有气体,导致压力低备用泵自动启动,且系统流量产生波动,待管道内充水完成后流量稳定。2018 年 06 月 15 日 OMM 检查确认 L1SEC051VE 阀瓣损坏,更换了内衬和阀瓣,打压合格已回装完毕。

以上事件处理完毕后,在后续跟踪过程中,发现虽然 L1SEC051VE 内漏已处理,L1SEC A 列停运且无任何相关操作情况下 L1SEC001MP 仍然出现了三次下降。



> 图2 L1SEC A列系统流程图<sup>[3]</sup>

### 三、原因分析



> 图3 L1SEC A列管道布置图<sup>[4]</sup>

根据之前 L1SEC051VE 内漏处理经验,L1SEC001MP 下降时通过就地厂房和相关管线廊道检查,并未发现系统外漏痕迹,所以初步定位为系统内漏。

根据经验蝶阀因杂质或阀瓣密封缺陷等因素很容易导致关闭不严<sup>[5]</sup>,并且系统内为海水,也容易因海生物等杂质影响,此外根据系统管道布置特点,判断逆止阀关闭不严可能性较高。咨询专业部门后,泵出口逆止阀关闭不严故障在其他电站也有发生过,目前岭澳二期四号机组上便存在此故障,所以机组也有可能出现类似共模故障。

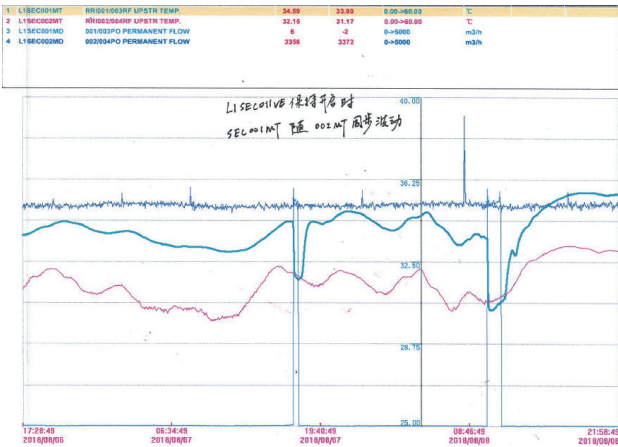
岭澳二期四号机组相关的故障信息如下:主控出现 L4SEC708KA(SEC B 列 L4SEC002/004PO 出口压力低报警)<sup>[6]</sup>,检查出口压力表 L4SEC002MP 逐渐下降到 0.3bar.g。现场检查 L4SEC B 列相关管线未见泄漏。初步分析泵组出口逆止阀 L4SEC006VE 或 L4SEC008VE 存在内漏。该问题历史上多次出现:2016 年 L3/4SEC

B 列曾长期存在该问题,检查确认 L3/4SEC006VE 内漏并进行了更换。2018 年 5 月 22 日,L4SEC A 列出现出口压力下降现象,分析出口逆止阀 L4SEC005VE 或 L4SEC007VE 内漏可能性较大。

另外对本机组 SEC A 列停运后出口压力下降进行进一步分析,2018 年 8 月 8 日,由于需要检修实施了隔离,关闭 L1SEC003PO 出口隔离阀 L1SEC011VE 后,L1SEC001MD (A 列流量)和 L1SEC001MT (A 列热交换器上游母管温度)与之前趋势略有不同:

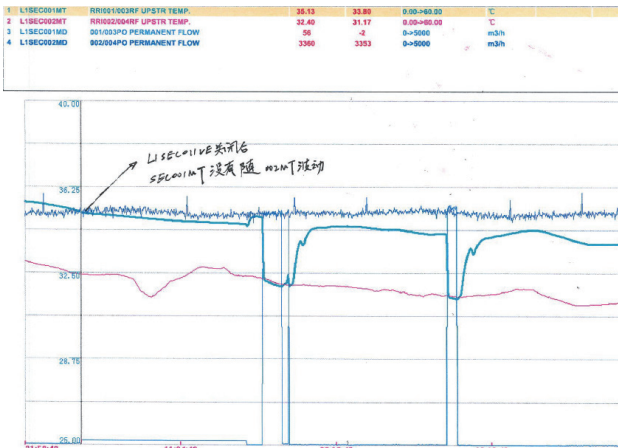
L1SEC001MT 为 L1SEC A 列热交换器上游海水温度,正常 SEC 停运时管道内没有海水流动,L1SEC001MT 应该基本稳定,但 L1SEC001MT 在记录仪 EN 和计算机 KIT 上有波动,对比 L2SEC002MT 在 B 列停运时保持稳定,说明 L1SEC A 列停运时 L1SEC 管道中存在流动,L1SEC001MT 随海水温度波动。

具体曲线如下图:



> 图4 L1SEC001MT 随 002MT 波动

L1SEC003PO 出口隔离阀 L1SEC011VE 关闭后反向流动被切断 L1SEC001MT 波动明显减小,如下图:



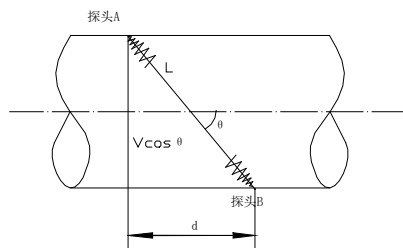
> 图5 L1SEC001MT 波动减小

L1SEC001MD 为超声波探头正常按 LMCIXSEC006 程序进行校验,根据程序零点调整是在没有流量的情况下进行的<sup>[7]</sup>。在 2018 年 8 月 9 日实施 L1SEC003PO 隔离期间(关闭 L1SEC011VE),L1SEC A 列管道内海水没有流动,L1SEC001MD 阶跃上涨至 60m³/h 左右(L1SEC A 列停运),在解除隔离开启 L1SEC011VE 后 L1SEC001MD 重新显示 0,L1SEC001MD 变化与 L1SEC011VE



阀门关闭时间基本重合,说明 L1SEC001MD 标定期间存在反向流动,导致零点下漂,当 L1SEC011VE 关闭 SEC A 列反向流被阻断后,实际流量为 0,但由于标定时有反向流动,因此当实际流量为 0 时, L1SEC001MD 显示有正向流量 60m<sup>3</sup>/h 左右。

L1SEC001MD 测量原理探头 A 和探头 B 交替发送和接收超声波信号,以其传播时间之差来确定流量。



> 图6 流量计原理图

$$T_{AB} = \frac{L}{C + V \cos \theta} \quad T_{BA} = \frac{L}{C - V \cos \theta}$$

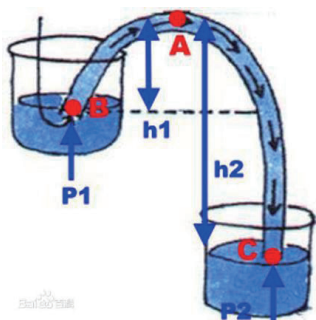
在此: V=流体的平均速度

C=声波在液体中的传播速度

$$\text{设 } \Delta T = T_{AB} - T_{BA}, \text{ 由上二式可推得: } V = \frac{L^2}{2d} \left[ \frac{\Delta T}{T_{AB} T_{BA}} \right]$$

$$\text{由于流量 } Q = SV, \text{ 故 } Q = \frac{\pi \phi^2}{4} \times \frac{1}{K_h} \times \frac{L^2}{2d} \left[ \frac{\Delta T}{T_{AB} T_{BA}} \right]$$

由于 L1SEC A 列停运时,由于 L1SEC A/B 列出水口由连接管相连, L1SEC A 列管道通过虹吸原理从 B 列取水,当 SEC B 列出水口水位变化时, L1SEC A 列出水口露出水面,虹吸被破坏,导致 L1SEC001MP 缓慢下降。虹吸的实质是因为液体压强和大气压强而产生。因为  $h_1 < h_2$ , 所以根据帕斯卡定律  $p = \rho gh$ , 装置中左管中的液体压强小于右管的液体压强,另外,在 B 点跟 C 点分别有大气压的作用,大气压表现为上低下高,但在此处 B 点与 C 间高度相对地球的大气压计算高度来说,可以忽略两者间的大气压强差值。所以,  $p_1 - \rho gh_1 > p_2 - \rho gh_2$ , 那么在 A 左端的压强就大于 A 右端的压强,在大气压和液体压强的共同作用下,水朝一个方向移动<sup>[8]</sup>。



> 图7 虹吸原理<sup>[9]</sup>

## 四、结论

SEC 系统停运后出口母管持续压力下降引起 SEC-B 列出口排空,影响设备可用性;排空后重新启动时,下游管线形成水锤设

备损坏,影响电站冷源安全;如压力下降频繁,需频繁启停 SEC 泵充压,会影响设备寿命<sup>[10]</sup>。

泵出口逆止阀 L1SEC007VE 偶发卡涩或杂质等原因导致回座不严,待泵停运后 L1SEC A 列从 L1SEC B 列出水口取水,通过 L1SEC007VE 内漏反向回流到大海,当 L1SEC B 列出水口水位或者反流流量变化时, L1SEC A 列出水口露出水面虹吸被破坏,导致 L1SEC001MP 缓慢下降。

后维修部门对出口逆止阀 L1SEC007VE 内漏进行了处理,拆卸管道法兰连接螺栓,清洗检查发现阀座橡胶密封垫圈脱落,更换新阀门,新阀备件验收合格,投运后检查无内外漏。解除隔离恢复系统正常运行后,跟踪 L1SEC A 列停运时 L1SEC001MP 不再下降, L1SEC001MT 没有随 002MT 波动, A 列流量计 L1SEC001MD 显示流量 61m<sup>3</sup>/h,以上现象说明出口逆止阀 L1SEC007VE 内漏已消除, L1SEC A 列停运时管道中不再存在反向流动。



> 图8 检修完成后 L1SEC001MT 波动减小

## 五、结语

泵出口逆止阀 L1SEC007VE 偶发卡涩或杂质等原因导致回座不严,待泵停运后 L1SEC A 列从 L1SEC B 列出水口取水,通过 L1SEC007VE 内漏反向回流到大海, SEC 系统停运后出口母管持续压力下降引起 SEC-B 列出口排空,影响设备可用性。如果主控室监测到停运列泵出口压力下降,应该及时手动启泵,重新将下游管道充满,避免故障或事故工况泵接收到自动启动信号启动时,无法及时建立流量影响冷却。

## 参考文献

- [1] 岭澳核电厂 1、2 号机组最终安全分析报告第 9 章——辅助系统。
- [2] 900MW 压水堆核电站系统与设备。[M]。原子能出版社, 2007。
- [3] 大亚湾核电站运行教材。
- [4] 岭澳核电站 1、2 号机 SEC 系统设计手册。
- [5] 工业专用阀门选用手册。机械工业出版社, 1998。
- [6] KOPA4SEC999 重要厂用水系统报警手册 (BUP)。
- [7] SEC001/002MD 超声波流量计通道检查及定值校验。LMCIXSEC006。
- [8] 力学。高等教育出版社, 2002。
- [9] 物理。上海教育出版社, 2007。
- [10] 大亚湾核电操纵人员取照必读。中国电力出版社, 2013。



# 高效节能供水技术在城市管网中的优化策略

任伟, 赵丹阳

广东粤港供水有限公司, 广东 深圳 518001

**摘 要 :** 随着城市化进程的加速, 城市供水系统面临着供水效率低、能源消耗高等问题。高效节能供水技术的应用不仅能提高供水系统的运行效率, 还能有效减少能源的消耗, 促进城市可持续发展。本文从城市管网供水系统的现状出发, 分析了其存在的主要问题, 并详细探讨了高效节能供水技术的应用前景及优化策略。文章从智能化调度、管网漏损控制、新型节能设备应用等方面, 提出了优化城市供水系统的具体措施。同时, 结合实例分析了这些技术对供水效率提升和节能减排的积极影响, 最后为未来供水技术的创新与发展提供了参考依据。

**关 键 词 :** 节能供水; 城市管网; 优化

## Optimization Strategy of High Efficiency and Energy Saving Water Supply Technology in Urban Pipe Network

Ren Yi, Zhao Danyang

Guangdong Guangdong-Hong Kong Water Supply Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong 518001

**Abstract :** With the acceleration of urbanization, urban water supply systems are facing problems such as low water supply efficiency and high energy consumption. The application of high-efficiency and energy-saving water supply technologies can not only improve the operating efficiency of the water supply system but also effectively reduce energy consumption and promote sustainable urban development. Starting from the current situation of urban pipe network water supply systems, this paper analyzes the main problems existing in them and discusses in detail the application prospects and optimization strategies of high-efficiency and energy-saving water supply technologies. The article proposes specific measures to optimize urban water supply systems from aspects such as intelligent scheduling, pipe network leakage control, and the application of new energy-saving equipment. At the same time, combined with examples, it analyzes the positive impacts of these technologies on improving water supply efficiency and energy conservation and emission reduction. Finally, it provides a reference basis for the innovation and development of future water supply technologies.

**Keywords :** energy saving water supply; urban pipe network; optimize

## 引言

随着城市化进程的加快和人口的持续增长, 城市供水系统面临着日益严峻的挑战。传统的供水管网由于设计陈旧、设备老化和管理工作不完善, 常常面临高能耗、漏损严重、水质难以保障等问题, 严重影响了供水的效率和稳定性。为应对这些挑战, 提升供水系统的节能效率成为关键目标。高效节能供水技术在此背景下应运而生, 通过引入智能化调度、管网监测、漏损控制及新型节能设备等手段, 能够有效优化供水系统的运行效率<sup>[1]</sup>。本研究旨在探讨这些技术的应用原理和优化策略, 为城市供水系统的可持续发展提供理论支持和实践依据。

## 一、城市管网供水系统现状与问题

城市管网供水系统作为城市基础设施的重要组成部分, 承担着为居民、商业、工业等领域提供清洁水资源的关键任务。然而, 随着城市规模的不断扩大, 人口的增加以及用水需求的日益

增长, 城市供水管网面临着多重挑战。现状表明, 许多城市的供水系统仍依赖于较为陈旧的设施和技术, 这在供水安全、能源消耗和运行效率等方面暴露出诸多问题<sup>[2]</sup>。

一是供水管网的老化问题十分突出。许多城市的供水管道建设年代久远, 管道材质老化、腐蚀严重, 容易出现漏损或破裂。

项目基金: 供水管网漏损智能监测与管控关键技术研究及示范应用 (ZDYF2023GXJS159)。

作者简介: 任伟 (1979.12-), 男, 汉族, 湖北襄樊, 硕士研究生, 水工建筑中级工程师, 水利技术管理、智慧水利技术。

据统计，部分城市的管网漏损率高达20% ~ 30%，不仅造成了大量的水资源浪费，还导致供水公司的运行成本增加。管道漏损还会导致水压不足，影响居民和企业的正常用水，严重时还可能引发公共安全问题，如管道破裂造成的城市道路塌陷等<sup>[3]</sup>。

二是供水系统的能耗高、效率低问题也日益凸显。传统的供水系统设计多以保证供水充足为主，常常采用超标准水压输送水资源，导致能源浪费。水泵作为供水系统的核心设备，其能耗占整个供水系统的主要部分，但由于许多水泵的技术陈旧、效率低下，供水系统中的能耗问题一直得不到有效解决。此外，供水管网调度系统缺乏智能化，往往依赖人工监控和调节，这进一步降低了系统的运行效率。面对日益增长的用水需求和环保要求，传统供水系统的高能耗问题亟须改进<sup>[4]</sup>。

三是供水系统的管理和监控手段滞后，难以有效应对复杂多变的供水环境。虽然部分城市已经引入了现代化的监控设备和信息化管理系统，但大多数城市仍停留在以人工管理为主的阶段，难以做到实时监控与快速应对。特别是在用水高峰期和突发事件中，供水调度和管理的滞后会造成供水短缺、管网压力不稳定等问题，影响供水系统的稳定运行<sup>[5]</sup>。

## 二、高效节能供水技术的原理与应用

### （一）节能泵与高效水泵技术的应用

节能泵与高效水泵技术是城市供水系统中实现节能的核心技术之一。传统水泵因设计老旧、效率低下，常常在运转过程中造成大量的能耗。节能泵通过优化的水力设计与高效电机技术，显著降低水流阻力，从而减少能量消耗。此外，节能泵采用了先进的变频控制技术，可以根据实时的供水需求调整水泵的运转频率，实现按需供水，避免了传统水泵在低负荷情况下依然满负荷运转的浪费现象。高效水泵则通过精确设计，提高泵体效率，使其在不同工况下均能保持高效运行，从而有效减少能源消耗。这些技术的结合应用，能够大幅度提升供水系统的整体能效，为城市供水的节能改造提供重要支撑<sup>[6]</sup>。

### （二）管网压力优化与智能控制技术

管网压力优化与智能控制技术主要通过实时监控和调节供水管网中的压力，确保在满足用户需求的前提下，减少多余的能耗。传统供水系统中，压力往往被设定在较高水平，以保证所有用户能够获得足够的水压。然而这种方式往往导致在低需求时段，管网中多余的压力消耗大量能源。智能控制技术通过传感器和智能控制算法，能够实时监测管网各节点的压力情况，并动态调整水泵的运转频率，确保供水压力与实际需求匹配，从而减少不必要的能源消耗。同时，压力优化技术可以有效延长管网及设备的使用寿命，减少漏损风险，提高供水的安全性和稳定性。通过这些技术手段，管网的运行效率得到了显著提升<sup>[7]</sup>。

### （三）管网监测与漏损控制技术

管网监测与漏损控制技术在现代城市供水系统中具有重要作用。漏损是供水系统中水资源浪费的主要问题，漏损不仅增加了水处理的能耗，还浪费了大量的水资源。管网监测技术通过在管

网中安装传感器，实时监控水流量、压力和水质等参数，能够及时发现管道中的漏损点。借助漏损控制技术，如非开挖修复技术、智能声波探测等，供水公司可以在不影响正常供水的情况下，快速修复漏损部分，减少水资源的浪费<sup>[8]</sup>。此外，漏损预测技术通过对历史数据的分析，能够提前预测漏损高发区域，并进行预防性维护。综合应用这些技术，漏损率大幅降低，供水系统的节能效果得到显著提高。

### （四）其他新型节能设备及技术

随着技术的发展，越来越多的新型节能设备与技术被引入到城市供水系统中。太阳能供水技术是其中的一项创新应用，它通过将太阳能作为供水设备的能源来源，减少了对传统电力的依赖，特别适用于偏远地区的供水系统。此外，蓄能供水技术也开始广泛应用，它利用夜间低谷电价时段储存水资源，在白天用水高峰期释放，从而减少供水高峰时段的能耗。除此之外，还有新型水质处理技术如膜处理技术和高效杀菌技术，它们不仅能保证水质安全，还能降低能耗。通过这些新技术的应用，供水系统实现了更高的能源利用率，并推动了城市供水向更为绿色、可持续发展的方向发展。

## 三、城市管网中高效节能供水技术的优化策略

### （一）基于智能化调度系统的优化策略

智能化调度系统是现代供水网络优化管理的核心技术之一。它通过实时采集和分析管网运行数据，实现对供水系统的自动化调度与优化控制。传统供水系统存在的主要问题是调度不够精确，导致供水过量或压力不稳定，进而增加了能耗。智能化调度系统可以根据实时需求变化，调整供水设备的运行状态，降低能源消耗并提高供水效率。

智能化调度系统能够精确控制供水压力。在传统系统中，供水压力通常被设定在较高水平，以应对峰值需求。但在非高峰时段，这种设定会导致能耗增加<sup>[9]</sup>。智能调度系统能够实时监控管网各节点的压力情况，并根据用户的用水需求动态调整供水设备的运行状态，保证在满足需求的前提下降低不必要的能量浪费。

智能调度系统可以实现供水资源的优化配置。在城市管网中，水源分布不均衡可能导致部分区域供水不足，而其他区域供水过剩。通过大数据分析和模拟技术，智能化调度系统可以预测未来的用水需求变化，合理分配水资源，确保各区域的供水平衡。这不仅能避免供水短缺，还能减少不必要的水泵运转，达到节能的目的<sup>[10]</sup>。

智能调度系统还可以提高供水的安全性和稳定性。通过对供水管网的实时监测，系统能够迅速检测到异常情况，如管网漏水、压力异常等，并进行及时的调整或报警，确保供水的稳定和高效。在应急情况下，智能调度系统可以自动启动备用水源或设备，保证供水不中断，并减少事故带来的经济损失。

### （二）管网监测与漏损控制的综合应用

管网漏损是城市供水系统中能源浪费的主要问题之一，不仅会导致大量的水资源损失，还会增加供水系统的运行成本。通过综合应用管网监测与漏损控制技术，可以显著降低漏损率，提高

供水系统的节能效率。管网监测技术借助传感器和数据分析平台，实时跟踪管网中的流量、压力等参数，而漏损控制技术则通过优化管网维护和修复手段减少漏损。

建立全面的管网监测系统是实施漏损控制的基础。通过在管网各关键节点安装智能传感器，能够实时监控水流、压力和温度等参数。监测系统可以对管网的运行状况进行连续监控，并在数据出现异常时发出报警，提示供水管理人员及时处理可能出现的漏损问题。特别是在地下管网的监测中，智能监测设备可以通过声波、温差等手段探测到难以察觉的渗漏点，确保漏损早发现、早修复。

漏损控制的核心在于优化管网的维护和修复措施。漏损的产生与管网的老化、设备的磨损密切相关。通过定期的管网检修和及时的设备更换，可以有效预防漏损的发生。同时，结合现代化的漏损修复技术，如非开挖修复技术，可以在不影响城市正常供水的情况下，迅速修复地下管道的破损部分，减少因施工带来的供水中断和能源消耗。

### （三）节能设备与技术的优化配置

在城市供水系统中，设备的能效直接关系到供水的能源消耗。传统的供水设备往往效率较低，导致系统运行中的能源浪费。而通过采用高效节能设备，并进行合理的技术配置，可以大幅提升供水系统的节能效果。节能设备的优化配置主要包括节能泵、高效水泵、变频器等技术的应用，以及新型设备的引入。

节能泵和高效水泵是实现节能的关键设备。传统水泵的工作效率较低，特别是在部分负荷条件下，能源浪费严重。高效水泵通过优化设计，使其在不同负荷条件下都能保持较高的运行效率。同时，节能泵采用了先进的流体力学设计，能够大幅降低水流阻力，减少能源消耗。此外，节能泵的自动化控制系统可以根据实际供水需求，动态调整水泵的运行状态，进一步降低能源浪费。

变频器的应用可以有效提高供水系统的节能效果。变频器能够根据用水需求的变化，调节水泵的转速，从而实现精确供水。传统供水系统往往在低需求时也维持高转速运转，导致能源浪费。而变频器通过调节电机转速，可以根据实际需求优化水泵的运行状态，显著降低能耗。在一些供水高峰时段，变频器还可以提高设备的工作效率，确保系统平稳运行。

太阳能供水、蓄能供水等新型节能技术也正在逐步应用于城市供水系统。太阳能供水系统利用太阳能作为供水设备的能源来源，大大降低了对传统电力能源的依赖；蓄能供水技术则通过在夜间低谷电价时段进行蓄水，在高峰时段使用储存的水资源，减少供水过程中的电力消耗。这些新技术的应用为供水系统提供了更为环保、高效的解决方案。

### （四）管网扩容与更新的节能规划

随着城市人口的增长和用水需求的增加，城市供水管网面临着扩容和更新的需求。老化的管网不仅漏损率高，供水效率低，还存在较大的安全隐患。通过科学规划管网的扩容与更新，可以显著提升供水系统的节能效果，同时提高供水的稳定性和安全性。

管网的扩容需要综合考虑城市发展的长远规划。传统的管网设计往往不能适应城市快速发展的需要，容易出现供水能力不足的问题。通过前瞻性的扩容规划，可以为未来的供水需求留出足够的冗余空间，减少因供水不足而导致的频繁管网改造。此外，扩容过程中应充分应用高效节能技术，如低阻力管道材料、优化的水泵站布局等，确保新建管网具备良好的节能效果。

老化管网的更新是节能改造的重要一环。城市中许多供水管网因年代久远，材料老化，漏损严重。对老旧管网的全面更新不仅能减少漏水率，还能降低管网的能量损耗。在更新过程中，应采用先进的管道材料，如耐腐蚀、低摩擦的材料，以提高管网的使用寿命和传输效率。同时，更新后的管网应配备智能化监测系统，便于实时检测管网运行状态，防止新问题的产生。

管网扩容与更新的节能规划还需要与城市整体节能目标相结合。在实施过程中，可以引入节能建筑设计理念，与其他市政基础设施协同进行节能改造。例如，在规划新建供水管网时，可以与城市雨水收集系统结合，形成循环供水系统，减少自来水的用量。这种综合规划方式能够最大限度地提高城市供水系统的节能效果，推动城市整体的绿色发展。

## 四、结束语

综上所述，高效节能供水技术在城市管网中的应用，不仅能够有效降低供水系统的能耗，还能提升管网的运行效率与稳定性。通过智能化调度、管网监测与漏损控制、节能设备优化配置等多方面的策略，城市供水系统的整体性能得到了显著改善。这些技术的持续发展和推广将为城市的可持续发展提供强有力的支持，减少水资源浪费，降低能源消耗，实现绿色环保的目标。未来，随着技术的不断进步和管理方式的革新，城市供水系统有望进一步迈向智能化、高效化，为居民生活和城市运行提供更为可靠的水资源保障。

## 参考文献

- [1]丁晓欣, 苏旭蓓, 高静思, 等. BIM技术在城市供排水管网中的应用研究[J]. 海河水利, 2023(2): 63-66.
- [2]刘升升. 城市供水管网改扩建智能优化技术研究与实践[D]. 青岛理工大学, 2023.
- [3]隋毅, 张佳正. 城市供水管网分区供水技术分析[J]. 中国高新科技, 2023(13): 74-75.
- [4]马彪. 城市供水管网分区供水技术研究[J]. 石油石化物资采购, 2022(35).
- [5]郭佳静, 郭佳进. 关于城市供水安全保障及应急体系构建探讨[C]//2023(第二届)城市水利与洪涝防治学术研讨会论文集. 2023.
- [6]陈财会, 张天, 黄健康, 等. 基于DQN算法的泵站供水系统节能控制优化[J]. 净水技术, 2024, 43(04): 60-67+127.DOI:10.15890/j.cnki.jsjs.2024.04.008.
- [7]齐俊祥, 齐元山, 李大应. 冷却循环水系统节能技术对比分析[J]. 氮肥技术, 2023, 44(04): 12-14+20.
- [8]晏毅. 基于用水量预测的供水泵站优化运行及控制[D]. 西华大学, 2023.DOI: 10.27411/d.cnki.gscgc.2023.000934.
- [9]韩猛. 变频恒压供水装置在溧阳城市防洪工程中的应用研究[J]. 水利建设与管理, 2021, 41(08): 27-30.DOI:10.16616/j.cnki.11-4446/TV.2021.08.06.
- [10]董静, 李先磊, 杨瑶. 江宁区国家级县城节水型社会达标建设实践与思考[J]. 水利发展研究, 2020, 20(03): 21-23.DOI:10.13928/j.cnki.wrd.2020.03.006.



# 电力工程设计与施工管理中常见问题分析

王岳华

中国电力工程顾问集团中南电力设计院有限公司, 湖北 武汉 430071

**摘 要：** 电力服务在公民的日常生活和生产中的影响不可小觑。为了进一步促进中国的社会经济发展，为人民创造更好的生活条件，必须确保能源供应的质量。且电力维护技术可以更好地保证输电网络的安全稳定，使日常用电更加安全。但从目前的实际情况来看，电力工程设计与施工仍存在问题，不仅会对输电网络的安全稳定产生非常负面的影响，还会引发严重的安全事故。为了解决这种情况，本文旨在分析电力工程设计与施工管理中常见问题，并针对存在的问题进行相关分析，希望能够给相关人员一定的参考建议。

**关 键 词：** 电力工程；设计施工；存在问题；解决对策

## Analysis of Common Problems in Electric Power Engineering Design and Construction Management

Wang Yuehua

China Electric Power Engineering Consulting Group Zhongnan Electric Power Design Institute Co., LTD. Wuhan, Hubei 430071

**Abstract：** The impact of electric power service in citizens' daily life and production cannot be underestimated. In order to further promote China's social and economic development and create better living conditions for the people, we must ensure the quality of energy supply. And the power maintenance technology can better ensure the security and stability of the transmission network, and make the daily electricity consumption more safe. However, from the current actual situation, there are still some problems in the design and construction of power engineering, which will not only have a very negative impact on the security and stability of the transmission network, but also lead to serious safety accidents. In order to solve this situation, this paper aims to analyze the common problems in the power engineering design and construction management, and carry out relevant analysis for the existing problems, hoping to give some suggestions to relevant personnel.

**Keywords：** power engineering; design and construction; existing problems; countermeasures

### 引言

目前，中国的供配电系统相当发达。在这方面，电气工程设计施工管理是中国电力行业最常见但也是非常重要的问题之一。在电气工程设计和施工的优化管理中，应规范项目管理流程，确保项目顺利进行。并且为了确保项目设计和施工的安全和生产效率，需要进行专门的优化和调整。需确保紧急情况发生后，各部门能够及时沟通，尽快解决和分析问题。同时，必须制定详细的施工规则，以确保施工人员严格遵守施工规则，消除安全风险，提高工程质量，确保稳定的电力供应。

### 一、电力工程设计与管理的意义

首先，电力工程设计与管理的整个电力工程施工过程必不可少的重要环节，其能够保障工程在设计和施工过程中具备科学性和合理性，有效的降低安全风险，提高设计和施工效率和施工质量。其次，电力工程设计与施工管理能够密切施工中各个部门的协作配合，确保各个部门的工作能够有序开展，提高效率。其次，在电力工程施工中，其工程的复杂性需要工程管理来进行合理规划、成本控制和材料管理等，保障进场材料的安全性，立足

于相关的施工标准下对施工质量和施工阶段进行合理的监督，推动电力工程平稳进行。最后，合理的设计是工程顺利开展的前提条件，做好电力工程设计能够为工程管理提供依据，为工程的开展提供科学性的参考。

### 二、电力工程设计现存问题

1. 通风机设计不符合行业标准

依照现行国家标准要求，对于安装在电力工程蓄电池室中的

作者简介：王岳华（1967-），男，汉族，籍贯：湖南省新邵县，职称：高级工程师，学历：大学本科，研究方向：电力工程设计与管理等。



通风电机，不得设置穿管暗敷。但在实际的工程施工中，很多设计人员都会违背这一要求进行设计，部分人员甚至会在蓄电池室内设置开关插座，导致电力工程存在安全隐患。

#### 2. 避雷器接地连接不符合行业标准

依照行业规范的要求，变电所、发电厂设有的电气装置，必须敷设有专业的接地线，同时电气装置的机座、中性点、外壳都必须为金属材质，对于 > 110kV 的零构件，其安装的外壳必须是由金属材料制造而成。但在实际设计中，很多设计人员都会违背上述要求，同时很多施工人员在施工阶段，也不能够正确解读设计意图，如很多人员会将避雷器接地简单地连接在构架上，如此便会为工程带来一定的安全隐患<sup>[1]</sup>。

#### 3. 金属遮拦与栅栏门接地不符合国家要求

行业标准要求，电气装置安装过程中，施工人员必须针对金属部位做好连接处理，对于处于屋内、屋外的配电装置，还应使用铜线做好处理，但在实际的工程施工中，很多设计人员都忽略了这部分的内容，这多是由于设计人员对电力设施标准缺乏了解所致。

#### 4. 设计专业水平有待提升

电力工程设计与普通设计之间存在较大的差异，比如电力工程设计需要考虑到后期电力运行、维护检修等相关问题，如果没有综合考虑那么后期的问题将非常的棘手，因此在电力工程设计阶段对于设计人员的专业技能和水平需要有较高的要求。在这样的前提下，需加强电力企业对于相关人员技术水平的重视，加强技能培训，满足现代电力建设的需要。

### 三、各设计问题处理方法

#### 1. 蓄电池室内灯具、通风电机问题的解决方法

应急照明系统设计中，并不是每一处的应急照明，都需要选择蓄电池来设计。在具体的设计过程中，设计人员必须遵循经济适用原则，科学合理地设置灯具组合，尽可能使应急照明系统的功能效果达到最优化在勘察施工现场状况的基础上，编制最为合理的灯具设置方案，为后续的施工环节打好铺垫。

#### 2. 避雷器接地问题解决方式

首先要做到熟悉避雷器接地的要求，工程施工人员和监理人员都需要认清工程施工各环节的监理重要。对于不符合施工规范的施工技艺和流程要随时更换，严格约束施工人员。其次是对工程的验收和检查过程，工程部门需要结合国家有关标准来验收工程零部件。最后要求每一个电气装置安装的设计人员都要系统的学习和了解国家相关标准和规范，一线设计人员应当掌握更多的施工工艺，了解各种避雷器接地方案。

#### 3. 电气设备金属遮拦、栅栏门接地问题解决方式

首先，工程监理单位在整个工作期间，必须仔细阅读金属遮拦、栅栏门的接地要求，并针对各项施工操作做好监理，在遇到问题时，第一时间采取合理的手段进行调节，力求实现施工效果最优化；其次，施工单位应结合工程及国家规范的要求，针对人员做好培训；最后，工程验收检查阶段，相关单位必须依照行业

规范的要求，将各项验收工作落到实处<sup>[2]</sup>。

#### 4. 设计专业水平改善

首先电力企业应当重视设计专业水平提升，掌握现阶段电力工程设计对专业水平的要求，之后再设计人员的选择。其次，需要重视设计人员的职业素养，这方面需要通过对设计人员工作经验以及工作成果来进行判断。此外对于已经在体制内的设计人员需要通过定期培训不断强化自身的能力，制定相关考核制度提升设计人员的整体素质。

#### 5. 节能设计措施

电力工程项目的节能设计是能源产业发展的必然内容，解决低成本工程设计中的节能问题十分重要。电力工程的节能设计主要从以下几个方面入手：

（1）要注重节能技术的运用，提高电力工程设计的节能知识，重视电气设备主要部件的研究，注意热影响。另外，在电力工程设计过程中，需要根据电力工程项目建设的设计要求，综合考虑设计要求、到电源的距离、电气等级，而电力等级的设计必须考虑因素。同时作为电气设备的容量，应尽量减少输电系统中远距离输电造成的损害。

（2）由于电力工程设计中经常出现缺电问题，通过充分利用能源资源配置，可以有效解决缺电问题。例如，要科学配置能源资源。在当前的电力工程市场中，大部分能源负荷没有控制参数，因此需要对较大的能源负荷进行适当的控制。此外，由于电价设定不可持续，节能项目尚未完成。因此，为了最大限度地发挥电力工程设计的节能功能，有必要设计一种具有成本效益的方法。例如，两相电价体系、峰谷分时电价体系等<sup>[3]</sup>。

### 四、电力工程施工管理中常见问题

#### 1. 监理重视度不高

监理认识程度不高是当前电力工程施工中普遍存在的现象，施工单位在施工中必须考虑的东西特别多，相应地在监理方面资金投入不足，在选定监理机构时不能对机构的素质进行充分考虑，以至于选定的机构缺乏相应的力量对施工实施全方位监理，监理意识不达标，施工质量也进一步受阻。

#### 2. 施工过程缺少成本控制

成本控制能够帮助电力工程施工过程中对工程整体成本效果和质量进行控制。但就目前情况来看，电力工程施工过程中：

（1）对施工材料、设备等缺少管理控制。（2）在工程的分包管理方面，存在着施工不规范、分包价款统计滞后的问题。且施工单位过于追求利益最大化和成本最小化，从而忽视了市场调研、低价中标，质量、口碑等。（3）在支付分包价款时对工程进度审核工作不重视，出现实际工程量和既定工程量不相符的情况。这些问题都对电力工程施工质量和进度造成严重影响，不仅加剧了成本支出还会对工程质量产生威胁<sup>[4-6]</sup>。

#### 3. 进度失去控制

第一，由于多种原因，如施工现场的地理条件、气候、人类活动、机器设备、原材料、管理和技术方面的限制，使得电力工

程的实际开展时间超出了预期,从而导致了严重的进度滞后。第二,由于指导工期的编制存在错误,以及计划和实际的工程量存在明显的偏离,使得最终的施工进度超出预期,此外,由于缺乏必需的资源,影响整个项目的顺利开展;第三,由于突发意外,以及没有预先考虑的因素,也使得最终的施工进度受阻。具体包括如下:①施工过程中存在的严重的质量缺陷;②甲方的新要求、新的技术标准导致的设计变动,以及参与各方的沟通和协作缺乏,以及施工人员缺乏正确的时机把握,都可能导致建筑物的完成时限受阻<sup>[4]</sup>。

#### 4. 安全管理问题

电力工程具有施工位置高、重量大等特点,施工过程中常常处于相对危险的环境中,比如进行高空作业。通常高空作业安全隐患有高空跌落、坠落两种安全隐患,面对这两种安全隐患时,在理论上需要对施工人员做好保护。但是在实际的施工中因为电力工程的安全管理制度不够完善,导致大部分施工人员自我保护意识不高,导致电力工程安全系数较大<sup>[7]</sup>。

## 五、电力工程施工管理中常见问题解决措施

#### 1. 明确监理部门的责任

监理部门必须要清楚自己的责任,由于供电工程施工的重要性确定监控施工是一个长期、高标准的任务,同时监控施工还要随着施工的实际需要而实施动态监督,因此传统的施工监理工作较为粗放,对许多的细部顾及不足,这也使得质量无法达到最好。所以要求监管部门在施工时就对全部工程项目编制监理规划,确定不同阶段的监管职能,在工程施工中按照需要对监理规划作出相应调整<sup>[8]</sup>。

#### 2. 提高施工成本

为提高电力工程设计成本,需要按照相关规范和程序对电力工程设计过程成本进行有效管理,可以从以下两个方面入手:一方面,提高相关人员的成本管理知识,将成本管理理念充分融入电力工程设计,加强设计人员的设计能力。在电力工程中管理、选派合适的人员需要注意的是,设计不仅是提高艺术质量所必需

的,更重要的是有效地管理成本,另一方面,要充分理解价值原则在设计工作簿中减少电力工程设计,以最小化设计的方式预算电力工程设计成本,为电力工程施工提供指导,理解科学合理的能源设计成本管理。此外,一旦设计完成,应对设计方案进行审查和研究,并不断评估校准,以提高电力工程控制的成本。

#### 3. 加强对项目工程施工安全问题的重视

首先,在电力工程进行过程中,会有大量的高危工作,比如带电工作,需要施工者做好自身防护工作,防止触电。高空作业,需要施工者注意高位安全。所以,在工作过程中为了能够确保施工者的安全,必须备好全套的高空作业劳保用具。其次,需要在施工之前先勘察地形,分析地理形式,确保施工人员的安全。同时施工过程会遇到自动化设备的施工,所以需要掌握设备的施工进度,避免因操作失误出现事故<sup>[9]</sup>。

#### 4. 进度控制的精细化管理

在许多电力工程早期项目中,实际施工周期往往受到许多客观因素的直接影。以输电线路的主要工程施工为例,主要包括输电线路基础、杆塔、架线三个主要工程。同时对于这类大型电力工程施工项目,要认真研究分析影响实际工期的主要因素,如气候条件特征、地质环境水文条件、土建协调条件等,综合分析考虑这些相应因素后,制定计划工期。另外,实际施工过程中,根据现场实际进度,及时纠偏、调整,确保实际工期和施工进度满足要求。最后,要考虑当前建材的实际供应和时间,做好适当的市场规划和价格调整,以免耽误工期<sup>[10]</sup>。

## 六、结束语

完善的电力工程设计和施工,是保障中国国民经济发展顺利进行的重要基础设施,为了促进中国经济社会的进一步发展,国家需要逐步健全的电力工程体系,并应针对以往存在的问题作出进一步的研究,以便于从根本上解决。同时要进一步提有关人员的业务素质,避免安全事故的出现,以便确保全国的电力工程顺利工作,使全国电力系统得以稳定的工作。

## 参考文献

- [1] 林海涛. 浅谈电力工程设计与施工管理中常见问题及对策 [J]. 电气技术与经济, 2023(7): 239-240, 243.
- [2] 刘洋. 电力工程设计与施工管理中常见问题分析 [J]. 电气技术与经济, 2021(1): 54-55, 58.
- [3] 冷雪. 电力工程设计与施工管理中的不足及优化措施 [J]. 电力工程技术创新, 2022, 4(3): 1-3.
- [4] 韩吉新. 电力工程设计与施工管理中常见问题及解决措施 [J]. 环球市场, 2021(16): 191.
- [5] 林广. 电力工程设计中电力系统规划设计的应用 [J]. 科技视界, 2017(33): 83, 88. DOI: 10.3969/j.issn.2095-2457.2017.33.054.
- [6] 胡龙江. 优化医院电力工程设计措施分析 [J]. 电子元器件与信息技术, 2023, 7(11): 219-222. DOI: 10.19772/j.cnki.2096-4455.2023.11.056.
- [7] 曹芳魁, 吴子宜. 数字化技术在电力工程设计中的应用 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(12): 208-209. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2023.12.093.
- [8] 杨朝辉. 我国配电网电力工程技术中存在的问题及对策 [J]. 大众用电, 2021, 36(07): 72-73.
- [9] 石凯. 计算机在电力工程设计中的应用 [J]. 信息与电脑(理论版), 2023, 35(04): 41-43.
- [10] 高梅鹏, 吴佳明, 高健. 数字化技术在电力工程设计中的应用 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(04): 338-339. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2023.04.148.

# 火电厂环保排放标准提升对节能减排的影响

刘国斌

山西华兴铝业有限公司, 山西 吕梁 033603

**摘要：** 随着全球环保意识的普遍增强，火电厂环保排放标准的提升已成为当前社会发展的必然趋势。这一趋势的背后，不仅体现了国际社会对环境保护的高度重视，也反映了电力行业对节能减排的迫切需求。本文深入探讨了环保排放标准提升的背景，详细分析了其对节能减排工作的积极推动作用。同时，我们也指出了在提升环保排放标准过程中所面临的诸多挑战，如技术难度、成本投入以及政策执行等。针对这些挑战，文章提出了相应的应对策略，旨在帮助火电厂攻坚克难，实现更加环保、可持续的发展。通过实施更严格的排放标准，火电厂能够显著降低污染物排放，为节能减排工作取得实效贡献力量，共同推动全球可持续发展进程。

**关键词：** 火电厂；环保排放标准；节能减排；可持续发展；挑战与应对

## The Impact of Improving the Environmental Protection Emission Standards of Thermal Power Plants on Energy Conservation and Emission Reduction

Liu Guobin

Shanxi Huaxing Aluminum Industry Co., LTD. Lvliang, Shanxi 033603

**Abstract：** With the general enhancement of global environmental awareness, the improvement of environmental emission standards of thermal power plants has become an inevitable trend of current social development. Behind this trend, not only reflects the international community's great importance to environmental protection, but also reflects the urgent need of the power industry for energy conservation and emission reduction. This paper discusses the background of the improvement of environmental emission standards, and analyzes its positive role in promoting energy conservation and emission reduction. At the same time, we also point out many challenges in raising environmental emission standards, such as technical difficulty, cost input and policy implementation. In view of these challenges, the paper puts forward the corresponding coping strategies, aiming at help the thermal power plant to overcome the difficulties, to achieve more environmentally friendly and sustainable development. Through the implementation of stricter emission standards, thermal power plants can significantly reduce pollutant emissions, contribute to the effective energy conservation and emission reduction work, and jointly promote the global sustainable development process.

**Keywords：** thermal power plant; environmental protection emission standards; energy saving and emission reduction; sustainable development; challenges and response

火电厂作为能源转换和供应的重要场所，同时也是能源消耗和污染排放的主要源头。随着能源消耗和环境问题的日益严重，火电厂的环保排放标准提升已成为全球范围内的关注焦点。

### 一、环保排放标准提升的背景

一方面，随着全球气候变化的日益严峻，环境保护已成为国际社会普遍关注的焦点。全球变暖导致的冰川融化、海平面上升，以及极端天气事件的频发，如洪水、干旱、热浪等，正以前所未有的速度改变着地球的生态系统。同时，空气和水体污染的加剧，对人类健康构成了严重威胁，呼吸道疾病、水源污染等问题频发，使得公众对环境保护的呼声日益高涨。为了应对这些挑

战，各国政府纷纷加大了对环境保护的力度。他们认识到，只有通过制定更为严格的环保排放标准，才能有效限制工业排放，减少污染物对环境的破坏。这一趋势不仅体现在发达国家，他们早已在环保领域取得了显著成效，而且发展中国家也逐渐认识到环保的重要性，开始逐步提升本国的环保排放标准，力求在经济发展与环境保护之间找到平衡点。

另一方面，公众环保意识的觉醒正成为推动环保排放标准提升不可或缺的力量。随着教育普及程度的不断提高，以及信息传

作者简介：刘国斌（1982.06-），男，汉族，山西省河津市，本科，工程师，热电运行。



播技术的飞速发展，环境问题日益成为公众热议的话题。人们开始密切关注身边的空气质量、水质等环境指标，对环保的重视程度显著提升。这一变化促使政府和企业不得不更加重视环境保护工作，以满足公众对清洁、健康环境的迫切需求。公众环保意识的提升还带来了监督作用的增强。对于违反环保规定的企业，公众不再保持沉默，而是积极通过网络、媒体等渠道进行曝光，形成强大的社会舆论压力。这种压力迫使政府和企业不得不加大环保投入，积极改善环境质量，以回应公众的关切和期待。

## 二、环保排放标准提升对节能减排的推动作用

### （一）促进清洁能源发展

环保排放标准的提升，无疑为火电厂的能源结构变革注入了强大的动力。这股变革之风，不仅吹动了火电厂的帆，更引领了整个能源行业的绿色转型。面对日益严格的排放限制，火电厂不得不摒弃传统的高污染、高能耗的能源利用方式，积极向清洁能源转型。这一转变不仅是对环保政策的积极响应，更是火电厂实现可持续发展的必然选择。清洁能源的发展，为火电厂带来了诸多益处。一方面，清洁能源的使用显著减少了污染物排放，有效改善了空气质量，为公众提供了更加宜居的生活环境。另一方面，清洁能源的高效利用降低了能耗，提高了能源利用效率，为火电厂带来了可观的经济效益。在这一背景下，火电厂纷纷加大清洁能源比重，尝试使用风能、太阳能等可再生能源，或者通过生物质发电、余热发电等创新方式，提高清洁能源的利用率。这些举措不仅推动了火电厂的节能减排工作，更为整个社会的可持续发展注入了新的活力<sup>[1]</sup>。

### （二）优化机组结构

环保排放标准的提升也如同一只无形的手，推动着火电厂机组结构的优化升级。面对日益严格的排放限制，高污染、高能耗的小机组成为改革的重点对象。这些小机组不仅排放量大，而且能源利用效率低下，严重制约了火电厂的绿色发展。为了应对这一挑战，火电厂纷纷采取行动，关停了一批高污染、高能耗的小机组，同时积极推广大容量、高效率的机组。这些大容量机组不仅排放更低，而且能源利用效率更高，单位煤耗显著降低。这一转变不仅有助于减少污染物的排放，改善空气质量，还能有效节约煤炭资源，提高能源利用效率。此外，优化机组结构还促进了火电厂的技术升级和产业升级。在推广大容量机组的过程中，火电厂不断引进先进技术，提高设备的自动化和智能化水平，为节能减排工作提供了有力支撑。这一变化不仅提升了火电厂的竞争力，更为整个能源行业的绿色发展树立了典范。

### （三）提高燃煤效率

环保排放标准的不断提升同时还对火电厂的燃煤效率提出了更高的要求。为了满足这些标准，火电厂不得不加大对燃煤技术的研发和改进力度，力求在保持发电量的同时，减少燃料消耗和污染物排放。在这一过程中，火电厂通过优化锅炉运行，实现了燃煤效率的大幅提升。他们采用先进的燃烧控制技术，精确控制煤粉的供给和燃烧过程，确保燃煤的充分燃烧，减少了未燃尽碳

的损失。同时，火电厂还加强了锅炉的维护和保养，确保锅炉设备的稳定运行，进一步提高了燃煤效率。此外，火电厂还积极探索新的燃煤技术和设备，如超临界、超超临界等技术，以及高效除尘、脱硫、脱硝等环保设备的应用，这些技术和设备的应用不仅有助于减少污染物的排放，还能在一定程度上提高燃煤效率，降低能耗。这些努力不仅有助于火电厂实现节能减排的目标，更为整个能源行业的绿色发展做出了积极贡献。

## 三、环保排放标准提升带来的挑战

### （一）技术改造成本高昂企业运营压力增大

环保排放标准的提升，无疑给火电厂带来了前所未有的技术挑战和经济压力。为了满足更为严格的排放要求，火电厂必须对现有的设备进行大规模的更新和技术改造。这包括更换高效除尘设备、脱硫脱硝装置以及升级锅炉燃烧系统等，每一项都需要巨额的资金投入。这些技术改造成本不仅直接增加了企业的运营成本，还对企业的财务状况和盈利能力构成了严峻考验。特别是对于一些老旧火电厂而言，由于其设备陈旧、技术落后，改造难度和成本更是成倍增加。这使得企业在面对环保排放标准提升时，往往感到力不从心，甚至陷入经营困境。此外，技术改造成本的增加还可能导致火电厂在电力市场中的竞争力下降。在电力供过于求、价格竞争激烈的市场环境下，高昂的运营成本将使得火电厂在电价上失去优势，进而影响其市场份额和盈利能力。因此，环保排放标准提升带来的技术改造成本问题，是火电厂必须面对和解决的重大挑战<sup>[2]</sup>。

### （二）技术难度大幅提升改造面临重重困难

与此同时，环保排放标准的提升，对于技术落后、设备老化的火电厂而言，无疑是一道难以逾越的鸿沟。这些火电厂在长期运营过程中，由于技术更新缓慢、设备维护不善，导致现有的环保设施和技术难以满足新的排放标准。在面临技术难度大的问题时，火电厂需要引进先进的技术和设备进行改造。然而，这并非易事。一方面，先进技术的引进和应用需要专业的人才和团队，而火电厂现有的技术人员可能难以胜任这一任务。另一方面，新技术的引入还需要与现有的设备和系统进行深度融合，这需要解决一系列的技术难题，如设备兼容性、系统稳定性等。此外，技术难度的提升还可能导致改造周期延长，影响火电厂的正常运营。在改造过程中，如果遇到技术瓶颈或设备故障，将严重影响改造进度，甚至可能导致火电厂停产整顿。这不仅会增加企业的经济损失，还可能影响电力供应的稳定性和安全性。因此，技术难度大的问题是火电厂在环保排放标准提升过程中必须面对和克服的重要挑战。

### （三）政策执行面临多重阻力确保落实任重道远

除此之外，环保排放标准的提升，其成功实施与落地同样离不开政府相关部门的政策支持和有效监管，同时也需要社会各界的广泛理解和积极配合。然而，在实际操作中，政策执行却面临着诸多困难和挑战。一方面，政策的制定与执行之间存在一定的时差和滞后性。新的排放标准出台后，相关部门需要一定的时



间来制定具体的实施方案和监管措施，而这一过程往往伴随着各种不确定性和复杂性。另一方面，政策执行过程中还可能遭遇利益冲突和阻力。部分火电厂为了追求经济效益，可能会采取各种手段规避环保监管，导致政策执行效果不佳。此外，社会各界对于环保排放标准提升的理解和支持程度也参差不齐。一些公众和利益相关者可能对新标准持怀疑态度，认为其会对经济发展产生负面影响，从而缺乏配合意愿。这种认知差异和分歧，无疑增加了政策执行的难度和复杂性。因此，如何确保环保排放标准的有效执行，成为一个亟待解决的问题<sup>[3]</sup>。

## 四、环保排放标准提升挑战的应对策略

### （一）加大研发投入

面对环保排放标准提升所带来的挑战，火电厂必须采取积极有效的措施加以应对。其中，加大研发投入，引进和研发先进的环保技术，是提高污染物去除效率、满足新排放标准的关键。火电厂应充分认识到环保技术的重要性，将其视为企业转型升级、实现绿色发展的核心驱动力。在研发投入上，火电厂应舍得投入，设立专项研发基金，鼓励和支持技术人员进行技术创新和研发。在具体的环保技术研发方向上，火电厂应重点关注脱硫、脱硝、除尘等关键技术。通过引进国外先进技术，并结合国内实际情况进行消化吸收和再创新，开发出适合自身特点的高效环保技术。同时，火电厂还应加强与其他科研机构、高校和企业的合作与交流，共同推动环保技术的研发和应用。通过加大研发投入，引进和研发先进的环保技术，火电厂不仅可以提高污染物去除效率，满足新排放标准的要求，还可以提升企业的核心竞争力，为企业的可持续发展奠定坚实基础。

### （二）优化能源结构

当然，火电厂还需在能源结构上做出重大调整，以优化能源使用，减少污染物排放。发展清洁能源和可再生能源是实现这一目标的关键。火电厂应积极探索和利用风能、太阳能、水能等可再生能源，通过技术创新和模式创新，推动可再生能源的规模化、产业化应用。这不仅有助于减少对化石燃料的依赖，降低温室气体排放，还能为企业带来新的经济增长点。同时，火电厂还应加强与政府、科研机构、高校等各方的合作，共同推动清洁能源技术的研发和应用。通过引进和消化吸收国际先进技术，结合

国内实际情况进行再创新，开发出更加高效、环保的清洁能源利用技术。此外，火电厂还应加强能源管理，提高能源利用效率。通过采用先进的节能技术和设备，优化能源配置和调度，实现能源的高效利用和污染物的最低排放。总之，优化能源结构是火电厂应对环保排放标准提升挑战的重要策略之一。通过发展清洁能源和可再生能源，加强技术创新和合作，以及加强能源管理，火电厂可以实现绿色转型和可持续发展<sup>[4]</sup>。

### （三）加强政策引导和支持

另外，政府的作用至关重要。为了推动火电厂的环保改造进程，政府应加强政策引导和支持，为火电厂提供必要的资金和技术援助。府可以出台一系列优惠政策，如税收减免、财政补贴等，鼓励火电厂积极投入环保改造。这些政策不仅可以降低火电厂的改造成本，还能激发其环保改造的积极性。同时，政府还可以设立专项基金，用于支持火电厂引进和研发先进的环保技术，推动其技术创新和产业升级。除了资金支持外，政府还应加大监管力度，确保环保政策的落实。政府应建立健全的环保监管体系，对火电厂的排放情况进行实时监测和评估。对于排放超标的火电厂，政府应依法进行处罚，并督促其尽快完成环保改造。同时，政府还应加强与社会各界的沟通和协作，共同推动环保事业的发展。综上所述，政府加强政策引导和支持是应对环保排放标准提升挑战的重要举措。通过出台优惠政策、提供资金和技术支持以及加大监管力度，政府可以推动火电厂的环保改造进程，实现节能减排和绿色发展的目标<sup>[5]</sup>。

## 五、结论

火电厂环保排放标准的提升无疑对节能减排产生了显著的推动作用。这一举措不仅响应了全球环境保护的迫切需求，也体现了电力行业对可持续发展的深刻认识。尽管在实施过程中，火电厂面临着技术改造成本高、技术难度大以及政策执行难度大等多重挑战，但通过加大研发投入、引进先进环保技术、优化能源结构以及加强政策引导和支持等有效策略，火电厂正逐步克服这些难题，稳步向节能减排的目标迈进。展望未来，随着环保政策的持续加强和技术的不断进步，火电厂将更加注重环保和可持续发展，致力于减少污染物排放，为人类创造一个更加清洁、宜居的生活环境。

## 参考文献

- [1] 刘敏, 周然, 汤栋. 基于环保税和环保电价机制的火电厂环保系统运行优化 [J]. 环境科学导刊, 2023, 42(04): 24-29. DOI: 10.13623/j.cnki.hkdk.2023.04.008.
- [2] 李恒阳. 云南火电厂烟气污染物排放现状及控制对策研究 [D]. 华北电力大学, 2015.
- [3] 对火电新排放标准的解析与建议 [J]. 中国电力企业管理, 2011, (17): 14-17.
- [4] 崔宏薇. 最严排放标准火电厂难以完成的任务 [N]. 机电商报, 2011-04-04(A06).
- [5] 林永明, 谢海峰. 新的火电厂大气污染物排放标准实施后的电力环保技术与市场分析 [J]. 广西电力, 2005, (01): 43-45+53. DOI: 10.16427/j.cnki.issn1671-8380.2005.01.015.

# 市政道路透水沥青混凝土路面工程施工技术

韩梅

武汉市汉阳市政建设集团有限公司，湖北 武汉 430050

**摘 要：** 本文全面阐述了透水沥青混凝土路面工程，包括其基本概念、施工技术、质量控制及案例分析。文章重点介绍了透水性基层和沥青混凝土层的施工技术，以及排水系统的关键施工环节，并强调了材料选择和施工工艺的重要性。此外，对透水沥青混凝土路面工程的质量控制与管理进行了深入讨论，包括材料质量检测、施工工艺控制、竣工验收标准与方法以及路面维护与保养。通过具体案例分析，验证了施工技术的有效性和路面性能。

**关 键 词：** 透水沥青；混凝土路面工程；施工技术；质量控制

## Construction Technology of Pervious Asphalt Concrete Pavement Engineering for Municipal Roads

Han Mei

Wuhan Hanyang Municipal Construction Group Co., Ltd. Wuhan, Hubei 430050

**Abstract：** This paper comprehensively describes pervious asphalt concrete pavement engineering, including its basic concepts, construction technology, quality control, and case studies. The article focuses on the construction technology of pervious base layers and asphalt concrete layers, as well as key construction aspects of drainage systems. It emphasizes the importance of material selection and construction techniques. Furthermore, the quality control and management of pervious asphalt concrete pavement engineering are discussed in depth, including material quality testing, construction process control, completion acceptance criteria and methods, and pavement maintenance and repair. The effectiveness of the construction technology and pavement performance are verified through specific case studies.

**Keywords：** pervious asphalt; concrete pavement engineering; construction technology; quality control

### 引言

随着城市化进程的加快，市政道路的建设和改造成为推动城市发展的重要环节。传统的路面结构由于不透水，容易导致雨水积聚，增加城市内涝的风险，同时对地下水的补给也造成不利影响。为了解决这些问题，透水沥青混凝土路面应运而生。透水沥青混凝土路面工程通过采用特殊设计的沥青混合料和排水系统，不仅能够提高路面的透水性，还能够增强路面的耐久性和舒适性。

### 一、透水沥青混凝土路面工程概述

传统不透水路面加剧了雨水积聚和城市内涝，对环境和居民生活产生负面影响。透水沥青混凝土路面工程因此成为解决这些问题的创新途径，通过增强路面的透水性，它不仅减轻了排水系统的负担，还促进了地下水的补给，恢复了城市水循环的平衡。本节将深入探讨透水沥青混凝土的定义、特性、优势及其在市政道路中的应用，为后续施工技术和质量控制的研究打下基础。这些讨论将为市政道路的可持续建设提供新的方向和策略。

#### （一）透水沥青混凝土的定义与特点

透水沥青混凝土，其名称本身就揭示了它的特性——一种具有高度透水性的特殊沥青混合材料。大量调查和研究表明透水沥

青混凝土具有良好的抗滑性能，其主要特点是：在路面上采用透水沥青混凝土材料，可以减少水膜的生成，增加车辆与道路的摩擦，减少交通事故。而在沥青混凝土中，有一条骨缝，既能降低汽车的噪声，又能有效防止轮胎磨损，使用透水性沥青混凝土，可以提高路面的承载量，减少因温度升高带来的问题，降低对路面结构的不利影响，取得良好的使用结果<sup>[1]</sup>。

#### （二）透水沥青混凝土路面的优势

透水沥青混凝土路面，与传统不透水路面相比，展现出显著的优势。其出色的透水性有效地解决了城市排水难题，大幅降低了雨水积聚和城市内涝的风险。此外，这种路面提高了道路的舒适性和安全性，减少了路面水滑和溅水，为行车安全提供了更好的保障。更进一步，透水沥青混凝土路面有助于减轻城市热岛效

应，从而改善了城市的整体环境质量，为市民营造一个更加宜居的城市空间。

### （三）透水沥青混凝土路面的应用范围

透水沥青混凝土路面，凭借其独特的优势，已经成为市政道路工程中备受青睐的选择。它的应用范围广泛，不仅限于城市的主干道、次干道和支路等多个级别的道路，还涵盖了广场、公园、停车场等公共空间<sup>[2]</sup>。此外，它还特别适用于老旧道路的改造工程，有效提升道路的透水性和耐久性。这种路面材料的使用不仅有助于解决城市排水问题，减少雨水积聚和城市内涝的风险，还能够提高道路的舒适性和安全性，减少路面水滑和溅水现象，为市民创造更加宜居的城市环境。

透水沥青混凝土路面工程，作为一种创新的路面铺设技术，不仅展现出巨大的应用潜力，而且其优势显著。为了确保这些优势得到充分利用，对施工技术和质量控制措施的深入研究和熟练掌握显得至关重要<sup>[3]</sup>。接下来的章节将重点探讨透水沥青混凝土路面工程的施工技术和质量控制，旨在为实践中的应用提供全面的理论支持和实践指导。

## 二、透水沥青混凝土路面工程施工技术

确保透水沥青混凝土路面工程的性能和质量，关键在于掌握精湛的施工技术。

### （一）透水性基层施工技术

透水性基层是透水沥青混凝土路面工程的基础，其施工质量直接影响到整个路面的性能。因此，基层材料的选择与施工要求成为至关重要的环节。

#### 1. 基层材料选择与施工要求

常用的基层材料包括透水性混凝土、透水性沥青混合料等。在选择材料时，需要根据工程需求和地质条件进行综合考虑。选择基层材料时，需分析工程需求，考察地质条件，对比材料性能，进行成本分析，并检查合规性，以确保材料满足功能要求、适应地质、经济合理且符合标准。

同时，在市政道路施工中，采用透水沥青混凝土施工技术，需要根据施工技术标准 and 施工流程，选择高质量的施工材料进行施工，在提升道路施工质量的同时，保证路面具备足够的强度，延长道路使用寿命。高质量材料则是指那些具有优良性能、稳定性和耐久性，能够满足国家和行业性能标准，具有良好的施工性，耐久且环保的材料<sup>[4]</sup>。

#### 2. 基层施工工艺与设备

透水性基层的施工工艺和设备选择是透水沥青混凝土路面工程成功的关键因素。施工工艺涵盖了基层的铺设、压实以及接缝处理等多个环节，每个步骤都对最终的工程质量有着直接影响。设备的选用应根据工程的具体规模和施工条件进行合理配置，以确保施工过程的高效性和基层结构的稳定性。

### （二）透水性沥青混凝土施工技术

透水性沥青混凝土是透水沥青混凝土路面工程的核心部分，其施工技术直接关系到路面的透水性能和使用寿命。

#### 1. 沥青混凝土配合比设计

透水性沥青混凝土的配合比设计是确保其透水性和耐久性的核心。这一设计需根据具体工程需求和材料特性进行精细优化，涉及骨料、沥青和添加剂的精准选择与配比。一个合理的配合比设计能够确保沥青混凝土的孔隙率和透水性达到最佳状态，从而实现路面的高效透水性能和长期使用寿命<sup>[5]</sup>。而优化透水性沥青混凝土配合比以达到最佳状态，需进行材料选择、试验、数据分析、现场验证和质量控制。通过调整骨料级配、沥青含量和添加剂比例，结合实验室和现场试验结果，精确控制施工工艺，确保配合比满足透水性和耐久性要求。这一过程不仅要求对材料性能有深入理解，还需要对施工工艺有充分地掌握，以确保配合设计的精确性和施工过程中的质量控制。

#### 2. 沥青混凝土施工工艺与设备

施工工艺涵盖了混合料的制备、运输、铺设和压实等多个关键环节，每个环节都对最终的工程质量有着直接影响。设备的选用应根据工程的具体规模和施工条件进行合理配置，以确保施工过程的高效性和沥青混凝土的施工质量。以及选用及配置施工设备时，需根据工程规模和施工条件，选择匹配性、技术性能、经济性和环保安全标准合适的设备，确保设备类型和数量能满足施工需求，实现高效和质量保障。

### （三）排水系统施工技术

排水系统是透水沥青混凝土路面工程的重要组成部分，其施工质量直接影响到路面的透水性能和使用寿命。

#### 1. 排水系统的设计与施工要求

排水系统的设计是透水沥青混凝土路面工程中的一个关键环节，其设计需综合考虑路面透水量、地形地貌等多方面因素，以实现合理有效的排水布局<sup>[6]</sup>。透水沥青混凝土路面工程的排水布局需考虑透水路面结构、排水层设计、排水出口位置、横向和纵向排水坡度、防堵措施及地形利用。施工要求包括精确安装排水系统、可靠连接、密封处理、控制坡度、质量检查和制定维护计划，以确保排水系统的高效运行和长期稳定性，这些要求共同确保排水系统的顺畅运作和长期稳定性。只有精心设计和严格执行施工要求，才能确保排水系统的高效运行，为路面工程的整体性能提供坚实保障。

#### 2. 排水系统施工工艺与设备

排水系统的施工工艺和设备选择对于透水沥青混凝土路面工程的成功实施同样至关重要。施工工艺涵盖了管道铺设、连接和检查等多个关键步骤，每个步骤都对排水系统的性能和效率有着直接影响。设备的选用应根据工程的具体规模和施工条件进行合理配置，以确保施工过程的高效性和排水系统的质量。正确选择和使用施工设备，能够显著提升施工效率，保证排水系统的顺畅运作和长期稳定性，从而为透水沥青混凝土路面的整体性能打下坚实的基础<sup>[7]</sup>。

## 三、透水沥青混凝土路面工程质量控制与管理

透水沥青混凝土路面工程的质量控制与管理是确保路面性能



和使用寿命的关键环节。

### （一）原材料控制

1. 沥青：应选用高黏度、高耐磨、抗老化性能好的沥青材料，确保沥青混合料的性能。如 SBS 改性沥青，以确保沥青混合料的性能。

2. 骨料：选用粒径适中、质地坚硬、耐磨性好的骨料，且要求清洁、无杂质。如，采购了经过筛选的河砂和破碎的玄武岩，它们的粒径分布和质地都符合设计要求。

3. 添加剂：根据需要添加抗老化剂、抗车辙剂等，以提高混合料的性能。例如铁盐类抗老化剂，以提高混合料的耐久性。

### （二）混合料设计

1. 根据工程要求和当地气候条件，进行沥青混合料的设计，确保混合料的耐久性、抗车辙性、抗滑性等性能。例如：通过实验室试验，确定了一种适合当地气候和交通条件的沥青混合料配比，该配比经过马歇尔稳定性试验、车辙试验和冻融循环试验验证，以确保混合料的耐久性、抗车辙性、抗滑性等性能。

2. 确定合理的沥青用量、骨料比例和添加剂用量，以保证混合料的性能。

### （三）施工工艺控制

1. 运用高精度的自动找平摊铺机进行路面摊铺作业，确保摊铺层的厚度和平整度达到高度一致。不仅可以提升施工效率，还大幅度提高路面的质量，为打造出优质道路奠定了坚实的基础。

2. 采用振动压路机和轮胎压路机进行压实，按照预定的压实顺序和压实遍数进行，以确保路面密实。

3. 在接缝处理方面，采用先进的预热和冷接缝技术，以保障接缝区域的强度和平整度达到优化水平<sup>[8]</sup>。

4. 在施工过程中，采取措施保证沥青混合料的透水性，如使用透水性好的骨料、添加透水性剂等。

### （四）施工质量检测

1. 施工过程中，定期从摊铺的混合料中取样，进行马歇尔稳定性、流值、空隙率等指标的检测，以确保混合料的性能。

2. 路面完成后，使用核子密度湿度仪测量压实度，使用平整度仪测量平整度，使用透水性测试仪测量透水系数，以保证工程质量符合要求。

### （五）施工安全管理

1. 为了进一步保障施工人员的人身安全，在施工现场显著位置设置必要的安全警示标志及防护设施，包括醒目的安全警戒线、闪烁的警示灯和警示锥等。

2. 重视施工人员的安全教育，通过系统的培训，确保每一位员工都深刻理解并严格遵守安全操作规程。这一举措旨在营造一个安全的工作环境，降低事故发生风险，并保护施工人员的人身安全<sup>[9]</sup>。

### （六）施工进度管理

1. 编制了一份详尽的施工进度计划，该计划明确了每个施工阶段的起始与结束日期，并设立了相应的缓冲时间，以应对可能出现的不可预知情况。

2. 为确保施工进度与计划相符，项目团队采取了定期的日常

会议和现场巡查制度。通过这些机制，管理人员能够密切关注工程进度，及时调整施工策略，解决现场问题，并确保所有活动按照既定时间表顺利进行<sup>[10]</sup>。

在实际工程中，必须严格控制每一个环节，以确保路面工程的整体质量和性能。例如：在透水沥青混凝土路面施工中，压实作业分为三个阶段：初压、复压和终压。初压阶段采用振动压路机以静压方式稳定混合料，奠定基础密实度，此阶段通常缓慢进行 1-2 遍。随后进入复压阶段，仍使用振动压路机，这是压实过程的核心，通过 4-6 遍的振动压实提高混合料的密实度，具体遍数依据混合料特性和试验结果调整。最后，终压阶段采用轮胎压路机或双轮压路机，以静压方式消除表面裂缝，提升路面平整度，此阶段通常以较复压稍快的速度进行 2-3 遍，确保路面光滑平整。在确定压实作业的具体顺序与遍数时，必须综合考虑混合料的种类、环境状况、使用的机械设备以及现场试验的反馈，以适应各种条件，确保沥青混合料能够实现预期的压实质量。定期的维护与保养工作对于延长路面的使用寿命、减少潜在的维护成本、提高投资效益至关重要。

## 四、结束语

通过对透水沥青混凝土路面工程的全面分析，我们不仅验证了其科学性和实用性，也看到了它在实际工程中的显著效果。这项技术不仅增强了路面的透水性，有效减少城市内涝，还提升了道路的舒适性和安全性，减轻了城市热岛效应，对于构建绿色、可持续的城市环境具有重大意义。本研究旨在为市政道路透水沥青混凝土路面工程的建设提供理论支持和实践指导，并期待更多研究实践能够进一步推动这一领域的发展，为建设更加宜居、环保的城市贡献力量。

## 参考文献

- [1] 聂君. 透水沥青混凝土路面工程技术的应用分析 [J]. 运输经理世界, 2022, (35): 47-49.
- [2] 何平. 公路工程建设中透水沥青混凝土路面施工技术 [J]. 四川建材, 2022, 48(05): 107-108+116.
- [3] 孙荣. 市政道路透水沥青混凝土路面工程施工技术 [J]. 中国高科技, 2021, (24): 71+79. DOI:10.13535/j.cnki.10-1507/n.2021.24.31.
- [4] 林海, 周炽杰. 市政道路透水沥青混凝土施工技术研究 [J]. 江西建材, 2023, (01): 281-282+287.
- [5] 于瑞华. 市政道路透水沥青混凝土路面工程施工技术的应用与管理 [J]. 科技创新与应用, 2020, (35): 195-196.
- [6] 蒋建忠. 海绵城市建设中透水路面在市政道路中的应用 [J]. 四川水泥, 2021, (12): 121-122.
- [7] 黄文锋. 论述市政道路透水沥青混凝土路面工程施工技术的应用与管理 [J]. 砖瓦, 2020, (12): 192-193. DOI:10.16001/j.cnki.1001-6945.2020.12.081.
- [8] 余雪奎. 市政道路透水沥青混凝土路面工程施工技术的应用分析 [J]. 居舍, 2020, (20): 41-42.
- [9] 李春蕾. 市政道路透水沥青混凝土路面工程施工技术的应用与管理 [J]. 建材与装饰, 2020, (10): 283-284.
- [10] 孙雪燕, 徐恭祥. 市政道路透水沥青混凝土施工技术分析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2020, (09): 44. DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202009040.



# 公路排水降噪薄层罩面养护技术

张之革

德州市公路事业发展中心，山东 德州 253000

**摘 要：** 公路排水降噪薄层罩面养护技术手段可以有效分析排水降噪沥青混合料的设计配比，优化公路工程设计方案，改善旧路排水性能，提高降噪性能，达到提高行车舒适度的目的。基于此，综合项目实例，探究公路排水降噪薄层罩面养护技术的具体应用，了解分类以及主要工艺手段，以供参考。

**关 键 词：** 公路；排水降噪；薄层罩面养护技术

## Highway Drainage Noise Reduction Thin Layer Overlay Maintenance Technology

Zhang Zhige

Dezhou Highway Development Center, Dezhou, Shandong 253000

**Abstract：** The technical means of thin-layer overlay maintenance of highway drainage noise reduction can effectively analyze the design ratio of drainage noise reduction asphalt mixture, optimize the highway engineering design scheme, improve the drainage performance of old roads, improve noise reduction performance, and achieve the purpose of improving driving comfort. Based on this, this paper comprehensively explores the specific application of thin-layer overlay maintenance technology for highway drainage noise reduction, and understands the classification and main process means for reference.

**Keywords：** highways; drainage noise reduction; thin layer overlay maintenance technology

随着我国公路建设高速发展，公路总里程数量也在快速增长，路网规模在不断的提高。但是现有建成的公路承载压力在不断的增加，公路行业必须重视道路养护工作。为了避免道路裂缝等问题，避免病害拓展，通过预防性的养护处理，可以有效的提高公路综合质量。薄层罩面技术是一种在公路工程中常见的预防性养护技术手段，可以有效提高公路工程的综合性能，对于沥青路面的维护养护具有重要的价值与意义。

### 一、公路排水降噪薄层罩面养护技术

综合公路沥青路面薄层罩面养护技术类型，基于道路实际情况，可以应用冷薄层、热薄层以及温拌沥青混合料等不同的罩面技术手段，因此要综合实际状况确定具体的工艺类型。

#### （一）冷薄层罩面技术

公路沥青路面薄层罩面养护技术主要就是通过软上沥青以及改性的乳化沥青、砂石材料等构建一种混合材料，混合材料施工可以有效提高施工质量。通过规范化的施工处理可以有效增强材料的综合性能，保障道路行车的安全性。在施工中最为关键的就是冷拌沥青材料性能不足的问题，综合施工流程以及工序，可以在低等级公路罩面施工中合理应此类技术手段<sup>[1]</sup>。

#### （二）热薄层罩面技术

热薄层罩面技术是一种常见、传统的预防性养护技术手段，在施工中可以有效满足不同应用环境的需求，充分满足了公路建

设以及运营的需求。在施工中可以综合实际状况对沥青路面进行修补以及处理，充分的增加了公路表面的综合性能，同时在公路的表面可以构建一层性能更到的抗滑磨损层，切实增强了整体施工质量。热薄层罩面是工技术应用的年限相对较长，同时可以有效承载交通的诸多作用以及外部的荷载。热薄层罩面技术的路面表面性能相对较高，其具有较强的抗滑性能。在施工中可以基于区域的实际状况，参数要求确定摊铺的厚度。

#### （三）温拌沥青混合料罩面技术

在公路沥青路面薄层罩面养护施工中应用温拌沥青技术，可以有效降低加热处理中的温度过高、环境污染等诸多问题。而冷拌沥青混合材料的环保性能虽然较高，但是其施工效果不佳。因此在高等级的公路项目中不会应用。温拌沥青混合材料施工技术则可以在整个施工管理中做好材料的温度控制，保障温度始终处于10~40℃的区间范围中，综合公路沥青薄层罩面养护技术要求对其进行规范化施工。通过试验以及公路实践可以发现，温拌沥

作者简介：张之革（1994.02-），男，汉族，山东省德州市，科员，学位：硕士，从事公路养护管理。

青材料施工相对于热拌类型其性能较高，产生的能耗相对较小，可以有效节约30%的耗费，也降低了污染物的排放，充分延长了道路的应用寿命，可以在大范围内广泛推广应用。

## 二、项目概述

某城市道路全线长度为5.2 km，其中共有双向4车道，受到道路荷载等诸多因素的影响，导致部分的路段出现了一定的后裂缝、车辙等病害隐患问题。通过专业人员检测之后，道路的路面损害程度相对较轻，病害还处于初期的发展阶段，为了有效避免损害程度日益加深，通过排水降噪热薄层罩面养护技术对其进行预防性养护处理。

## 三、原材料

### （一）沥青

随着交通流量的增加，原有路面材质受到重载车辆等诸多因素的影响，出现了不同程度的早期性损坏性问题。其常见问题主要为轻型车辙、裂缝等诸多病害问题。为了提高路面的综合性能，在施工中可以应用SBS改性沥青作为薄层罩面的质控材料。

### （二）集料

薄层罩面在路面表层中进行作业，直接受到行车荷载的影响。因此在施工中要应用高性能的集料。重点分析集料的颗粒度，合理控制拼装颗粒度的含量比例，如果颗粒度的数量过多，则会增加空隙率，降低整体的强度。综合项目实际状况主要应用玄武岩碎石作为主要的施工集料。

### （三）排水降噪薄层罩面配合比设计

基于《排水沥青路面设计与施工指导规范（JTG / T3350-03-2020）》要求，排水降噪薄层罩面要应用PA-10的细粒式升级配，目标空隙率参数为20%，根据规范要求保障级配为2.36mm筛孔的通过率中值与中值要控制到3%的范围中<sup>[2]</sup>，则可以获得初级级配。

综合项目中存在的飞散、坑槽等病害问题，在将飞散损失作为排水沥青路面的关键性能指标，分析主要应用需求、气候环境等诸多因素，确定排水降噪罩面级配组成。其中如果长期应用在高温重载环境，则可以适当提高粗骨料含量比例；而如果在寒冷环境，则可以改变实际状况提高细集料的含量以及比例。通过增强2.36mm通过率的方式合理预防诸多病害问题。

## 四、公路排水降噪薄层罩面养护技术应用流程

在施工前要做好技术性处理，做好施工准备。根据旧路病害的实际状况，做好试验路段，确定施工工艺以及具体的技术手段。

### （一）铣刨

薄层罩面技术应用前，要做好各个类型病害的针对性处理，方可有效消除存在的诸多质量隐患问题。沿着要修复道路的标线外侧划线，明确纵向接缝的位置。根据技术要求进行车辙的填补作业，

要保障行车道中标线内侧距离的两边要向内部收15cm，然后沿着行车道划线施工，确定铣刨的具体范围。根据1‰的坡度对其设置一个25m长的纵向调坡，确定薄层罩面施工起点位置<sup>[3]</sup>。

对于路面结构的隆起位置，利用横向的拉线对其进行铣刨作业，然后根据实际状况合理控制铣刨的数量，便于控制摊铺厚度。在施工中铣刨深度为2.5cm，铣刨范围保障符合划线的技术要求。铣刨之后要应用钢丝刷等对路段以及坑槽等相关区域进行处理。原路面则要及时通过清扫车对其进行处理，如果存在路床污染等问题，必须及时清除。清理或者清除之后，方可开展后续作业<sup>[4]</sup>。

### （二）黏层油洒布

在混合材撒布之前，确定具体的范围以及用量比例，在边界等位置做好标记分析，便于后续的施工处理。撒布工程车在施工中要保障运行速度平稳性，便于沥青混合料可以均匀的路面上撒布。避免出现遗漏等问题，如果出遗漏必须通过人工方式对其进行调控。对于高处撒布边界范围的混合料，要根据实际状况及时处理，方可有效降低对环境产生的污染以及影响。

洒布黏层油就是通过彩条布遮挡超车道位置的路缘石，这样则可以有效避免受到污染。黏层油的洒布速度要根据实际状况合理控制，一般都在0.2~0.4 kg/m<sup>2</sup>，其主要洒布的范围要延伸到划线范围周边个1cm左右，方可确保边缘位置也可以充分洒布。完成之后，通过人工对其进行清扫，保障波谷位置的黏层油分布均匀。施工作业中，要对裂缝位置设置聚酯纤维布，将其全面覆盖到裂缝，避免出现褶皱或者破碎等时机问题。在裂缝间距为4m的时候，必须连续铺设聚酯纤维布，保障横向与纵向的搭接宽度高于15cm，保障连接紧密性<sup>[5]</sup>。

### （三）沥青混合材摊铺作业

混合料摊铺作业之前，要根据实际状况对其进行设备的调试以及预测。在摊铺作业中，保障摊铺速度适宜，控制在12~15m/min范围内，保障速度均匀。完成铺装作业之后，必须合理测量摊铺的后续，保障符合设计要求，如果存在不符合的问题，必须对其进行技术性的调整。

在摊铺前0.5~1h，保障熨平板温度不得小于100℃。综合运行状态，及时进行震动频率以及振幅的调控，初始振幅要保障路面压实符合要求<sup>[6]</sup>。摊铺机要通过4~6 m/min的速度，保障平稳的运行，方可有效避免间断等问题，这样则可以有效避免混凝土离析等诸多问题，充分保障了路面结构的平整性。

在摊铺作业中强化检查，对于出现的利息以及裂缝等诸多问题，必须及时暂停作业，了解具体成因之后则可以根据实际状况对其进行处理，对施工环境、摊铺工艺等进行重新评估，保障施工方案符合实际需求。机械摊铺沥青混合料作业前后，必须做好线程管理，禁止施工人员进入现场进行踩踏，如果机械设备摊铺状态处于正常的状态，则无需对其进行踩踏施工，如果在摊铺之后存在不平衡以及凸出等诸多问题，必须根据实际状况对其进行处理，通过补料或者更换混合料的方式进行处理，对于存在严重问题的局部区域，可以将其铲除，并且要做好混合料的更换处理。保障摊铺机在适宜的工作环境中，合理控制转速处理，保障链板送料器的速度以及料门开度互相匹配。螺旋布料器两端要合

理设置，保障整体的平稳性。

在混合料要为容积的2/3左右，保障供应充足，便于摊铺作业的联系开展。综合试验确定松浦厚度，在摊铺作业中及时调控以及调整，保障整体的平整性，避免出现缝隙等诸多问题。在进行车辙填补的时候，则要做好分层处理，将每层厚度控制到2.5cm，保障摊铺聊高于划线位置1.2cm，充分保障边缘位置混合料充足<sup>[7]</sup>。在摊铺作业中通过人工的方式进行综合性检查，及时补料，保障整体均匀平衡。

（四）沥青混合材碾压

沥青混合摊铺之后，压路机要做好压实性处理，方可有效降低难度，提高压实之后沥青路面的平整度，增强压实度。在碾压作业中，主要是通过高频低幅的方式进行处理，而在桥面则可以低频低幅的方式进行处理。压路机要基于初压、复压以及终压等不同的流程对其进行压实性处理，在最终碾压作业中要保障温度不得小于80℃。碾压重叠量则要控制为200 ~ 300mm<sup>[8]</sup>。薄层罩面的厚度相对较小，在施工中要应用轻型吨位的设备，避免对下部面层结构产生破坏性的影响。

五、性能测试

（一）压实段检测

压实度是对道路应用质量以及寿命产生影响的直接原因，如果压实度不足，则会导致道路在车辆的反复荷载作用之下 出现不同程度裂缝、剥落以及松散等问题，严重的降低了综合性能<sup>[9]</sup>。在此项目中压实度检验的数据如表1所示。

表1. 压实度检验数据

检测桩号	检测结果	规范要求 /%
K1+140	99.1	≥ 98.0
K1+340	98.6	
K1+540	98.4	
K1+740	98.2	

综合压实度检测结果确定通过薄层罩面技术施工作业，在施工中试验路段的压实度高于98%，符合技术要求。

（二）抗滑性能

道路表面层抗滑性能是影响车辆荷载的基础保障。薄层罩面是一种表面层，在道路工程的应用中会直接与车轮进行接触，如果抗滑性能不足，则会导致出现安全事故等诸多隐患<sup>[10]</sup>。

遇到雨水、坡度等相关问题，则会产生严重的安全隐患问题。对此，为了对路段的抗滑性能进行综合评估，在试验中随机选择测点了解路面的构造深度、抗滑性能，其结果如表2所示。

表2. 抗滑性能

路面状态	测点	构造深度			抗滑值		
		1	2	3	1	2	3
施工前	K1+140	0.82	0.72	0.82	59	54	53
	K1+540	0.76	0.80	0.81	59	51	56
	K1+840	0.81	0.82	0.76	55	57	61
施工后	K1+140	0.98	1.02	0.98	72	76	69
	K1+540	1.05	1.06	0.96	70	75	62
	K1+840	1.02	1.02	0.96	66	72	70

通过分析可以发现薄层罩面技术养护之后的路面抗滑性能显著。

六、结束语

薄层罩面技术是一种预防性的养护技术手段，其具有养护快速，成本低廉等优势，在沥青路面养护以及一些小型的道路修补中应用，可以有效提高项目质量。在施工中综合项目实际状况，了解施工工艺要点，明确试验路段的性能，可以有效提高路面的抗滑性能，提高压实度。

参考文献

[1]陈谦. 高速公路沥青路面薄层罩面养护技术与施工方法 [J]. 运输经理世界, 2024,(11):139-141.  
[2]李其斌. 公路排水降噪薄层罩面养护技术研究 [J]. 西部交通科技, 2024,(03):90-92+117.  
[3]翟瑞鹏. 论运营高速公路沥青路面薄层罩面养护施工技术 [J]. 四川建材, 2023,49(12):97-98+112.  
[4]朱晓东. 公路沥青路面薄层罩面养护技术与施工方法研究 [J]. 产业科技创新, 2023,5(04):74-76.  
[5]高媛. 公路养护薄层罩面施工中硬质沥青的应用 [J]. 交通世界, 2023,(22):95-97.  
[6]雷荣军. 温拌薄层罩面技术在高等级公路沥青路面养护施工中的应用 [J]. 交通科技与管理, 2023,4(14):159-161.  
[7]宋立军. 薄层罩面养护技术在公路工程中的应用 [J]. 工程建设与设计, 2023,(09):196-198.D  
[8]冯志刚. 公路预防性养护中同步薄层罩面技术的应用研究 [J]. 交通世界, 2023,(12):50-52.  
[9]吴建强. PAC排水沥青薄层罩面技术在高速公路养护中的应用 [J]. 交通世界, 2023,(Z2):86-88.  
[10]郑君. 高速公路沥青路面薄层罩面养护技术应用 [J]. 交通世界, 2022,(20):101-103.

