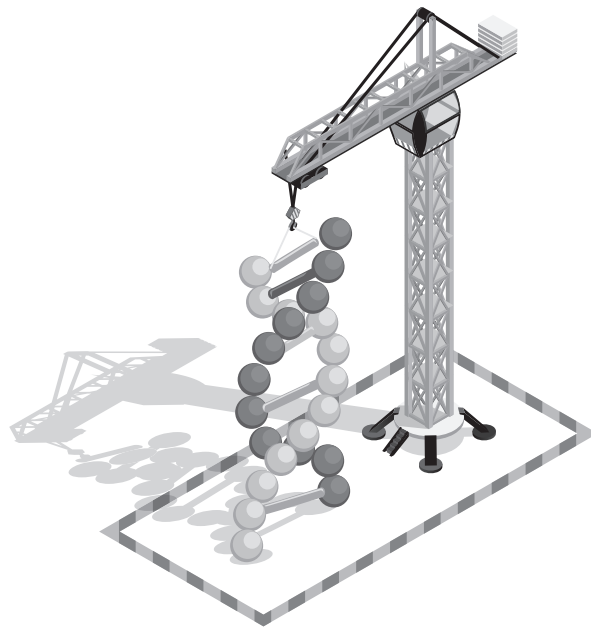


工程 研究与应用

Engineering Research and Application



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

119 S Atlantic Blvd, Suite 300D

Monterey Park, CA 91754

Copyright © 2024 by ART AND DESIGN PRESS INC.

Complimentary Copy



Editorial Board

Editors-in-Chief

Xiaolei Ju

China Architectural Design and Research Institute, China

Meilian Chao

Heze Dehe Construction Engineering Group Co., LTD

Editorial Board Member

Xianbo Tu

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

Neda Abbasi

School of Engineering and Technology

Tanvir Ahamed

School of Engineering and Technology

Zhen Xu

Zhongtong Bus Holding Co., Ltd

工程研究与应用

Engineering Research and Application

第2卷 第10期 2024年10月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《工程研究与应用》编辑部

ISSN(O): 2993-2742

ISSN(P): 2995-3154

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

网址: <https://www.artdesignp.com>

本刊说明:

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

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



工程科学 | ENGINEERING SCIENCE

- 005 深孔泄压技术研究与应用 秦鑫, 苗路凡
Research and Application of Deep Hole Pressure Relief Technology Qin Xin, Miao Lufan
- 008 低压电机电磁噪声抑制策略与效果分析 汪明波
Analysis of the Electromagnetic Noise Suppression
Strategy and Effect of Low-Voltage Motor Wang Mingbo
- 011 一体化压铸对模具钢和热处理的
挑战及发展趋势研究 孙建祥¹, 颜敏娟², 肖培钦¹
The Development Research for Tool Steel and its Heat Treatment Challenged from
the Integrated High Pressure Die Casting Sun Jianxiang¹, Yan Minjuan², Xiao Peiqin¹
- 015 设计引领下的 EPC 项目安全风险识别与控制 洪波, 许闯
Risk Identification and Control of EPC Projects Led by Design Hong Bo, Xu Chuang
- 018 化工工艺流程中的管道材料选择与防腐技术研究 朱红, 潘源
Research on Pipeline Material Selection and Anticorrosion
Technology in Chemical Engineering Process Zhu Hong, Pan Yuan
- 021 地下采矿中的顶板管理技术与安全保障措施分析 翟国祥, 郝卫东
Analysis of Roof Management Techniques and Safety Measures
in Underground Mining Zhai Guoxiang, Hao Weidong
- 024 天然气管道施工中的安全风险识别与防范策略 崔永生
Safety Risk Identification and Prevention Strategies
in Natural Gas Pipeline Construction Cui Yongsheng
- 027 油气管道外防腐层施工中的环境因素影响及对策分析 舒福明
Analysis of Environmental Factors and Countermeasures in the Construction
of External Anti-corrosion Coatings for Oil and Gas Pipelines Shu Fuming
- 030 基于风险的开车前安全审查 (PSSR) 的探索与实践 刘波, 杨昌宜, 孔德印
Exploration and practice of Risk-Based Pre-Vehicle
Safety Review (PSSR) Liu Bo, Yang Changyi, Kong Deyin
- 032 土工试验在高速公路路基处理中的应用研究 张晓东
Application Research of Geotechnical Test in Soft Foundation
Treatment of Expressway Zhang Xiaodong
- 035 软土地基临近地铁车站深基坑开挖支护技术研究 王艳华¹, 张明义²
Research on Support Technology for Deep Foundation Pit Excavation Adjacent
to Subway Station in Soft Soil Foundation Wang Yanhua¹, Zhang Mingyi²
- 038 市政道路桥梁施工对环境的影响及解决措施 韩梅
Environmental Impact of Municipal Road and Bridge
Construction and Its Solutions Han Mei
- 041 热工仪表校验过程中安全防护措施探讨 赵芳澜
Discussion on safety protection measures during thermal
instrument calibration Zhao Fanglan
- 044 水工环在我国海绵城市建设中的作用与前景 高吉
The Role and Prospects of Hydrological Engineering
in the Construction of Sponge Cities in China Gao Ji
- 047 基于 CRT 技术的石油钻井工程效率提升应用效果分析研究 杨小军
Analysis and Research on the Application Effect of CRT Technology
in Improving the Efficiency of Petroleum Drilling Engineering Yang Xiaojun
- 050 大数据驱动的网络综合监测系统 于琪嘉, 武传胜
Big Data-Driven Comprehensive Network Monitoring System Yu Qijia, Wu Chuansheng

054	工业移动 App 在智能制造中的应用与挑战 Application and Challenges of Industrial Mobile Apps in Smart Manufacturing	吴利雪 Wu Lixue
057	V2500 发动机 HPC 第 5 级转叶缘板磨损检查流程 The Inspection Process for V2500 Engine HPC Stage 5 Blade Platform Worn	庞俊杰 Pang Junjie
060	油气储运设备的寿命预测与维护策略优化 Life Prediction and Maintenance Strategy Optimization of Oil And Gas Storage and Transportation Equipment	李乐 Li Le
063	B737NG 发动机引气系统工作原理及故障分析 B737NG Eng Bleed System Principle And Fault Analysis	刘立军, 李豪 Liu Lijun, Li Hao
066	A320S 飞机 ADS-B OUT 改装的工程管理 Engineering Management of ADS-B OUT Modification for A320S Aircraft	李亮 Li Liang
069	基于光纤光栅应变传感器的海洋水下钢结构冲击振动监测研究 Research on Impact Vibration Monitoring of Marine Underwater Steel Structures Based on Fiber Bragg Grating Strain Sensors	沙吉乐 ¹ , 孟凡然 ² , 张力昂 ³ Sha Jile ¹ , Meng Fanran ² , Zhang Li'ang ³
072	PRV 关车情况下显示琥珀色关闭位故障小结 Summary of Amber Close Position Fault Displayed When PRV is Off	练成幸 Lian Chengxing
075	B737NG 飞机自动驾驶失效排查浅析 Analysis of Autopilot Failure Troubleshooting for B737NG Aircraft	陈国芳 Chen Guofang
078	家居环境下的创新智能手臂关节训练器械外观设计与场景布局优化 Innovative Smart Arm Joint Training Device Design and Scene Layout Optimization in Home Environment	陈鹏 ¹ , 徐文俊 ^{1*} , 杨宇飞 ² , 叶佳琦 ¹ , 杨洋 ¹ , 张鑫 ¹ , 程源 ¹ , 王若兰 ¹ Chen Peng ¹ , Xu Wenjun ^{1*} , Yang Yufei ² , Ye Jiaqi ¹ , Yang Yang ¹ , Zhang Xin ¹ , Cheng Yuan ¹ , Wang Ruolan ¹

建筑科学 | BUILDING SCIENCE

081	工程造价概算准确性影响因素及改进措施 Factors Influencing the Accuracy of Construction Cost Estimation and Improvement Measures	乔芃霖 Qiao Penglin
084	钢渣沥青混凝土在近海环境下的生态评价体系构建 Construction of an Ecological Evaluation System for Steel Slag Asphalt Concrete in Offshore Environments	张之骋, 许添耀, 黄楠 Zhang Zhicheng, Xu Tianyao, Huang Nan
087	印刷厂厂房钢结构夹层改造施工质量控制措施研究 Study on Quality Control Measures for Steel Structure Sandwich Reconstruction in Printing Plant	李庆 Li Qing
090	人工智能在智慧工厂建设研究 Research on Artificial Intelligence in the Construction of Smart Factories	况翀 Kuang Chong

能源科学 | ENERGY SCIENCE

093	电力系统短路电流限制技术研究与应用 Research and Application of Short-Circuit Current Limiting Technology in Power Systems	李高善 Li Gaoshan
096	浅析电气监理在电力系统改造工程施工中的工作重点 Analysis on the Key Points of Electrical Supervision in the Construction of Power System Transformation Project	邢瑞斌 Xing Ruibin
099	风电与光伏发电施工建设中的工程管理策略研究 Research on Engineering Management Strategies in the Construction of Wind Power and Photovoltaic Power Generation Projects	张国新 Zhang Guoxin
102	电力工程中的电力检修及电力施工技术 Power Maintenance and Construction Technology in Power Engineering	王延睿 Wang Yanrui

水利与港口工程 | WATER CONSERVANCY AND PORT ENGINEERING

105	水利工程中的合同管理与法律问题探讨 Exploration of Contract Management and Legal Issues in Water Conservancy Projects	李毅 ¹ , 顾浩然 ² , 孙新 ³ , 孙思 ⁴ , 梁骏宇 ⁵ Li Yi ¹ , Gu Haoran ² , Sun Xin ³ , Sun Si ⁴ , Liang Junyu ⁵
108	地铁车站防水技术问题与解决方案 Waterproof Technology Issues and Solutions in Subway Station Construction	杨浪 Yang Lang
111	闭式循环水装置冬季开车若干问题经验总结 Experience Summary of Several Problems in Winter Operation of Closed Loop Water System	张彩涛, 张威, 高磊, 商中俊 Zhang Caitao, Zhang Wei, Gao Lei, Shang Zhongjun
114	河流生态系统修复与水道治理工程研究 Research on River Ecosystem Restoration and Waterway Management Engineering	廖建兵 Liao Jianbing
117	水平~竖直联合排渗体在赤泥坝加固中的应用 Application of Horizontal~Vertical Combined Seepage Drainage Body in Red Mud Dam Reinforcement	张尤慧 Zhang Youhui
120	水利工程中新型防渗排水技术的应用分析 Application Analysis of New Anti-Seepage and Drainage Technology in Water Conservancy Project	任祎, 赵丹阳 Ren Yi, Zhao Danyang
123	基于信息化技术的水利工程智能化管理系统研究 Research on Intelligent Management System of Water Conservancy Projects Based on Information Technology	赵佳, 朱天久 Zhao Jia, Zhu Tianjiu

深孔泄压技术研究与应用

秦鑫，苗路凡

河南能源焦煤公司赵固一矿，河南 焦作 454000

摘 要： 采煤工作面采空区上覆岩层垮落分为主动垮落和被动垮落，针对赵固一矿西六盘区采煤工作面初次来压和见方来压剧烈为研究背景，通过使用深孔预裂切缝技术，使工作面采空区基本顶被动垮落，减小了基本顶的悬顶面积，降低了工作面初次来压和见方来压强度，促进了工作面安全、高效生产。

关 键 词： 初次来压；见方；预裂切缝

Research and Application of Deep Hole Pressure Relief Technology

Qin Xin, Miao Lufan

Henan Energy Coking Coal Company, Jiaozuo, Henan 454000

Abstract： The collapse of overlying rock strata in the goaf of the coal mining face can be divided into active collapse and passive collapse. Based on the research background of severe initial and square pressure of the coal mining face in the West Liupan area of Zhaoguyi Mine, deep hole pre splitting and cutting technology is used to make the basic roof of the goaf of the working face passively collapse, reduce the hanging area of the basic roof, lower the initial and square pressure intensity of the working face, and promote safe and efficient production of the working face.

Keywords： first time pressing; square pre cracking; cutting seam

引言

初次来压是采煤工作面采空区范围内直接顶随回采推进而垮落，基本顶的支撑点作用于两帮煤体上，随工作面推进采空区基本顶悬顶面积不断增大，当基本顶承载能力达到极限时断裂垮落，此时采空区基本顶及上覆承载的岩层迅速下沉垮落，使工作面压力增大。依据赵固一矿西六盘区以往经验，采煤工作面回采推进至40–50m时，工作面初次来压，回采至160–170m段，工作面见方来压。根据工作面煤层覆存情况，在来压明显段实施预裂切缝后，经现场实际观测，极大的降低了工作面初次来压和见方来压强度，为今后工作面初采初放提供了可资借鉴经验。

一、工作面概况

16151工作面属矿井-525m水平，位于矿井北翼，所属盘区为西六盘区，开采煤层为二₁煤层，煤层顶板标高为-433.0 ~ -482.5m，对应地面位置标高为+84.2 ~ +86.2m，煤层埋深519.2 ~ 567.7m，该工作面设计长度1356.2m，切眼长度175m，安装支架99架（91架ZF18000/21/38D型液压支架及8架ZFG18000/27/40HD型过渡支架）。同时安装1部MG400/930-WD3型采煤机、1部SGZ800/800型刮板输送机、1部SZZ800/250型转载机（含PCM160型破碎机两部）、1部DSJ120/2×315型可伸缩带式输送机。

上顺槽沿煤层顶板掘进，矩形断面，规格为净宽5500mm，净高3800mm，采用锚网索支护。上顺槽主要担负工作面主运输、辅助运输、回风及行人任务。下顺槽为沿空留巷返修巷道，矩形断面，巷道返修后规格为净宽3000mm，净高3500mm，顶板及回采侧帮部采用锚网索支护，非回采侧帮部采用“金属菱形网（柔性网）+钢丝绳+U钢柱”方式防护。下顺槽主要担负工作面辅助运输、进风及行人任务。

（一）煤层顶底板情况

根据16151工作面附近实际揭露地质资料及三维地震勘探资料显示，16151工作面断裂构造主要发育方向为NE，且顶板裂隙较发育。二₁煤层顶底板岩性、厚度等情况见表1。

表1 二₁煤层顶底板情况表

煤层顶底板情况	顶底板名称	岩石名称	厚度（m）	岩性特征
	\	松散粘土层	471.7 ~ 501.00	棕黄色，含细沙，部分区域含砾石，粒径5-20mm，以长石、泥岩、砂岩为主。
			486.35	
	\	砂质泥岩	0 ~ 12.80	深灰色，泥质结构，中夹泥岩薄层，含大量白云母碎片，局部裂隙发育，裂隙充填氧化铁薄膜。
			5.15	
	\	中粒砂岩	1.50 ~ 2.40	灰白色，矿物成分以石英、长石为主，暗色矿物次之，钙质胶结，分选性差，次棱角状。
			1.80	
	\	砂质泥岩	3.40 ~ 6.50	深灰色，层里面含云母及炭质。
			5.00	
	\	细粒砂岩	2.20 ~ 2.40	灰白色，细粒砂状结构，矿物成分以石英、长石为主，暗色矿物次之，硅质胶结，含大量白云母碎片，裂隙发育，裂隙充填氧化铁薄膜，具滑面，坚硬。
			2.30	
	\	泥岩	12.10 ~ 14.10	黄灰色，泥质结构，中夹砂质泥岩和细粒砂岩薄层，含大量植物茎、叶部化石和少量白云母碎片，局部具滑面。
			13.10	
	\	砂质泥岩	4.10 ~ 9.10	深灰色，泥质结构，含大量植物化石，含少量白云母碎片和菱铁质鲕粒，局部具滑面和炭屑，松软。
			6.60	
煤层顶底板情况	老顶	中粒砂岩	4.77 ~ 19.11	灰色，成分以石英为主，次为长石，钙质胶结，夹泥质条带，裂隙发育，充填方解石脉。
			13.64	
	直接顶	砂质泥岩	0.39 ~ 7.40	灰黑色，富含植物化石，局部夹细粒砂岩条带及煤线，具滑面。
			3.63	
	伪顶	泥岩	0 ~ 0.93	灰黑色，含炭质，富含植物颈部分化石。
			0.23	
	直接底	泥岩、砂质泥岩	9.36 ~ 15.71	泥岩：黑色，致密、块状，含少量植物化石碎片，含黄铁矿晶体。 砂质泥岩：深灰色，富含植物根部化石，具水平层理，夹砂岩条带，含云母片。
			13.33	
煤层顶底板情况	老底	L ₉ 灰岩	1.14 ~ 1.36	灰色，隐晶质，遇稀酸起泡，含动物化石，含黄铁矿晶体，具不规则方解石脉。
			1.26	

二、爆破孔深度

顶板预裂爆破切顶深度是确保预裂切缝的关键，孔深应大于冒落带高度，根据煤层上覆岩层的碎胀系数，切顶高度应满足下式：

$$h = \frac{h_0}{K - 1}$$

式中： h 为爆破孔深度，m； h_0 为采高，m； K 为顶板岩层碎胀系数。

16151工作面上覆基岩岩石碎胀系数较小，平均1.24。高3.5m，理论爆破孔深度 $h=3.5/（1.24-1）m \approx 15.0m$ 。在16151切眼及16151上顺槽布置预裂孔孔深均为15m。

根据钻探取芯探得工作面回采通尺40m处顶板砂岩约7.5m（煤层顶板向上9-16.5m段），工作面回采通尺160m处顶板砂岩约4m（煤层顶板向上14-18m段），在上顺槽向工作面布置扇形钻孔时，预裂原则上切断相应砂岩。

三、预裂孔布置

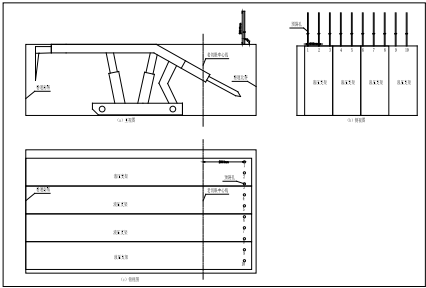
（一）工作面切眼预裂孔布置

爆破孔位置：16151工作面切眼老塘侧（北侧）顶板肩窝处，北偏老巷中1500mm。

爆破孔角度：爆破孔与切眼中线垂直，与水平面垂直；

孔径、孔间距及孔深：孔径50mm，孔间距800mm，孔深15m。

装药结构：上切眼口以西130m以内：正向连续装药15m孔（从上向下按照5-5-3-3结构进行装药）。



> 图1切眼切顶孔布置示意图

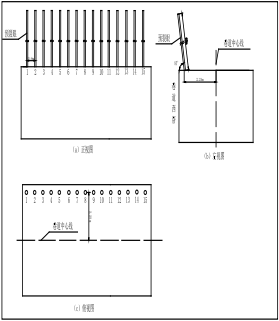
（二）上顺槽预裂孔布置

开孔位置：回采侧巷帮（西帮）顶板布置爆破孔，西偏中线2.25m；

开孔角度：爆破孔与巷道中线垂直，偏向工作面5°如图2；

孔径、孔间距及孔深：爆破孔孔径50mm、孔间距0.6m，孔深15m；

装药结构：正向连续装药（从上向下按照4-4-3-3-2结构进行装药）；



> 图2上顺槽顶板预裂爆破炮眼布置图

(三) 上顺槽 (切眼煤壁以外40m、160处) 预裂孔布置

1. 爆破孔位置: 16151上顺槽 (切眼煤壁以外40m处)

开孔位置: 顶板: 距巷道西帮800mm (2#孔)、1600mm (1#孔); 帮部: 回采侧巷帮 (巷道西帮) 顶板以下500mm、1000mm、1500mm (由上至下分别为3#孔、4#孔、5#孔)。

如图4。

开孔角度: 1#孔仰角 57° 、2#孔仰角 44° 、3#孔仰角 36° 、4#孔仰角 30° 、5#孔仰角 25° 。

设计孔深: 1#孔19.39m、2#孔23.19m、3#孔27.9m、4#孔33.3m、5#孔40.21m。

设计孔径: 94mm。

2. 爆破孔位置: 16151上顺槽 (切眼煤壁以外160m处)

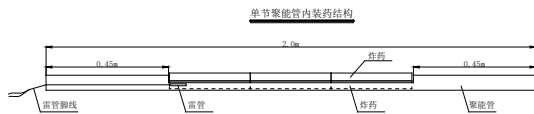
开孔位置: 顶板: 距巷道西帮800mm (2#孔)、1600mm (1#孔); 帮部: 回采侧巷帮 (巷道西帮) 顶板以下500mm、1000mm、1500mm (由上至下分别为3#孔、4#孔、5#孔), 如图5。

开孔角度: 1#孔仰角 55° 、2#孔仰角 45° 、3#孔仰角 38° 、4#孔仰角 32° 、5#孔仰角 27° 。

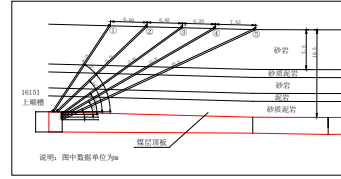
设计孔深: 1#孔21.47m、2#孔24.83m、3#孔29.11m、4#孔34.48m、5#孔40.04m。

设计孔径: 94mm。

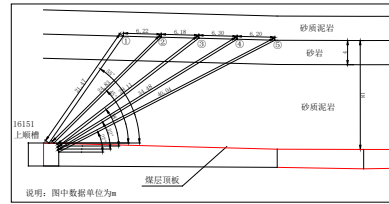
3. 装药结构: 1#~2#孔使用3节2m长聚能管; 3#孔使用4节2m长聚能管; 4#孔使用4节2m长聚能管; 5#孔使用6节2m长聚能管。均正向连续装药, 每节聚能管除去头尾0.45m, 将中间1.1m长的管壁切开一半, 然后将药卷每2卷使用胶带捆绑在一起放入聚能管中, 每节聚能管放3大卷 (6卷炸药), 如图3然后按照根据上述每个孔装入聚能管的数量将其逐一装入孔内。具体见装药结构图。



> 图3单节聚能管内装药结构



> 图4上顺槽 (切眼煤壁以外40m处) 顶板深孔预裂炮眼布置图



> 图5上顺槽 (切眼煤壁以外160m处) 顶板深孔预裂炮眼布置图

(四) 装药方法: 使用聚能管 (内径35mm、外径40mm) 辅助装药, 聚能管管壁聚能孔方向与巷道中线方向平行;

封孔: 使用矿用封孔器 (囊袋)、FKL-1型封孔注浆料配合ZBQ-30/1.0煤矿用气动注浆泵进行注浆封孔, 封孔长度不小于1/3m。

爆破器材: 选用三级煤矿许用乳化炸药, 直径32mm, 长335mm, 重量300g。雷管采用煤矿专用数码电子雷管, 一次爆破总时间差不超过100毫秒。

起爆方式: 采用FBH-200-B型数码电子雷管起爆控制器。联线方式并联。

四、结论

通过工作面使用预裂切缝技术, 减小了工作面初次来压和见方来压的垮落面积, 避免了工作面初次来压和见方来压期间出现悬臂梁结构, 降低工作面的来压强度。工作面回采至45m前后, 支架安全阀开启, 成雾状, 对工作面回采影响较小, 见方来压不明显。相较于相邻工作面, 实现了预期以预裂切缝技术降低初次来压和见方来压强度的目标, 为综采工作面降低矿压对工作面影响提供了参考和借鉴。

参考文献

- [1] 刘锡哲. 煤矿井下多源震波信号特征实验模拟研究 [D]. 中国矿业大学, 2023.DOI:10.27623/d.cnki.gzkyu.2023.000234.
- [2] 王建鹏. 神角煤矿“2209工作面沿空留巷方法的选择” [J]. 能源技术与管理, 2023,48(03):72-74.
- [3] 马守龙. 煤矿厚硬砂岩顶板爆破预损伤劣化与破断机理研究 [D]. 安徽理工大学, 2023.DOI:10.26918/d.cnki.ghngc.2023.000020.
- [4] 董凯. 综采工作面沿空掘巷小煤柱巷帮注浆加固技术实践 [J]. 晋控科学技术, 2024,(01):46-48+54.DOI:10.19413/j.cnki.14-1117.2024.01.012.
- [5] 刘增辉, 高谦, 华心祝, 等. 沿空掘巷围岩控制的时效特征 [J]. 采矿与安全工程学报, 2009, 26(4): 465-469
- [6] 张春华, 刘泽功, 徐涛, 等. 石门对掘揭开急倾斜煤层突出与爆破增透消突技术 [J]. 煤炭学报, 2010, 35(1): 85-88
- [7] 张杰. 浅埋煤层顶板深孔预爆强制初放研究 [J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(3): 339-343.
- [8] 郝福坤, 周同学, 姜玉超. 人工强制放顶沿空留巷技术及其应用 [J]. 煤炭科学技术, 2006, 34(2): 16-24.
- [9] 杨相海, 张杰, 余学义. 强制放顶爆破参数研究 [J]. 西安科技大学学报, 2010, 30(3): 287-290.
- [10] 闫志忠. 薄煤层综采工作面坚硬顶板强制放顶技术实践 [J]. 北京工业职业技术学院学报, 2012, 11(1): 25-28.
- [11] 刘波. 综采工作面开切眼深孔预裂爆破技术分析 [J]. 当代化工研究, 2024,(13):99-101.DOI:10.20087/j.cnki.1672-8114.2024.13.031.

低压电机电磁噪声抑制策略与效果分析

汪明波

贵州西电电力股份有限公司鸭溪发电运营分公司, 贵州 遵义 563000

摘要： 本文全面而深入地探讨了低压电机电磁噪声的抑制策略及其实际应用效果。针对电磁噪声这一关键问题，从电机设计的源头出发，提出了包括优化电机设计、调整气隙均匀性、采用斜槽设计、使用正弦绕组在内的多项策略。通过四个方面，并围绕这四个方面，分别给出了具体且可行的实施措施。结果充分证明，这些策略不仅有效降低了电机的电磁噪声水平，还显著提升了设备的整体运行效率和稳定性。本文的研究成果为低压电机的噪声控制提供了坚实的理论依据和实践指导，具有重要的实践应用价值。

关键词： 低压电机；电磁噪声；抑制策略；电机设计；气隙均匀性

Analysis of the Electromagnetic Noise Suppression Strategy and Effect of Low-Voltage Motor

Wang Mingbo

Guizhou Xidian Power Co., LTD. Yaxi Power Generation Operation Branch, Zunyi, Guizhou 563000

Abstract： This paper discusses the suppression strategy of electromagnetic noise of low voltage motor and its practical application effect. Aiming at the key problem of electromagnetic noise, starting from the source of motor design, a number of strategies are proposed, including optimizing motor design, adjusting air gap uniformity, using oblique groove design and using sinusoidal winding. Through four aspects, and around these four aspects, respectively given specific and feasible implementation measures. The results fully prove that these strategies not only effectively reduce the electromagnetic noise level of the motor, but also significantly improve the overall operating efficiency and stability of the equipment. The research results of this paper provide a solid theoretical basis and practical guidance for the noise control of low-voltage motor, and have important practical application value.

Keywords： low-voltage motor; electromagnetic noise; suppression strategy; motor design; uniformity of air gap

低压电机作为工业领域的重要设备，其电磁噪声问题日益受到关注。电磁噪声不仅影响设备的正常运行，还可能对工作环境和人员健康造成不利影响。因此，探索有效的电磁噪声抑制策略具有重要意义。本文将从优化电机设计、调整气隙均匀性、采用斜槽设计、使用正弦绕组及提升制造工艺五个方面展开研究，以为低压电机电磁噪声的抑制提供科学指导。

一、优化电机设计策略

(一) 改进绕组布局

在低压电机的设计过程中，绕组布局的优化是降低电磁噪声的关键步骤之一。传统的绕组布局可能会因为磁场分布不均，导致电磁力波的产生和传播，进而引发显著的电磁噪声。为了有效改善这一状况，现代电机设计趋向于采用更为科学合理的绕组布局方案。具体而言，通过精确计算绕组的匝数、线径以及绕制方式，可以确保电磁场在电机内部均匀分布，减少因磁场不均而产生的电磁力波。同时，合理的绕组布局还能有效降低谐波含量，减少因谐波作用而产生的额外振动和噪声^[1]。在实际操作中，设计者可以运用先进的电磁仿真软件，对不同的绕组布局方案进行模拟分析，以预测并评估其对电磁噪声的影响。通过多次迭代和优化

化，可以筛选出最佳的绕组布局方案，从而在实现电机高效运行的同时，也显著降低了电磁噪声水平。

(二) 优化气隙结构

在低压电机的精细化设计中，气隙结构的优化扮演着至关重要的角色。气隙不仅是电机内部电磁能量转换的媒介，其均匀性和尺寸还直接关联到电机的运行平稳性与噪声水平。为了实现这一目标，设计团队需借助先进的计算软件与仿真技术，对气隙的每一处细节进行精准模拟与评估^[2]。通过细致入微的计算，确保气隙在圆周方向上的均匀性，避免局部过大或过小的气隙间隙导致电磁场分布不均，进而引发不必要的电磁振动。同时，对于气隙大小的设定，依据电机的具体运行需求与性能参数，力求找到一个平衡点，既保证电机的高效运行，又有效抑制电磁噪声的产生。此外，在气隙结构的优化过程中，还特别关注其形状与表面

作者简介：汪明波（1992.03-），男，汉族，贵州省贵阳市，大专，助理工程师。

质量。通过优化气隙的几何形状，减少因形状不规则而产生的涡流损耗与电磁噪声；同时，严格控制气隙表面的粗糙度与平整度，确保磁场在气隙中的顺畅传播，进一步降低电磁振动与噪声^[3]。

（三）选用低噪声材料

在低压电机的设计与制造过程中，材料的选择对于控制电磁噪声具有不可忽视的作用。为了从源头上降低噪声的产生，特别注重选用低噪声材料。对于轴承这一关键部件，优先选用具有低振动特性的高精度轴承。这些轴承不仅具有更小的摩擦系数和更高的旋转精度，还能在电机运行过程中有效减少因振动而产生的噪声。通过采用低振动轴承，能够在不牺牲电机性能的前提下，显著降低电机的运行噪声。同时，在定子铁心的材料选择上，也进行了精心的考量。选用了具有高磁导率、低磁滞损耗和低涡流损耗的优质硅钢片作为定子铁心的材料。这种材料不仅能够有效提升电机的电磁性能，还能在电机运行过程中减少因磁滞和涡流而产生的热量和噪声。通过选用低噪声材料，为电机的静音运行提供了有力的保障。

二、调整气隙均匀性策略

（一）精确测量气隙

在低压电机的制造与调试阶段，气隙的均匀性对于电机的性能与噪声水平具有至关重要的影响。为了确保气隙的精确无误，采用了先进的高精度测量仪器，对气隙进行了全面而细致的测量。这些高精度仪器，如激光测距仪或精密气隙测量仪，具备极高的测量精度与稳定性，能够捕捉到气隙中微小的变化。在测量过程中，严格按照既定的操作流程进行，确保测量数据的准确可靠。通过对电机圆周上多个点的气隙值进行测量，可以绘制出气隙的分布曲线，直观地评估气隙的均匀性。一旦发现气隙存在不均匀的情况，会立即进行记录并分析其原因。可能是加工过程中的误差、装配不当或是材料变形等因素导致的。针对这些问题，会制定相应的调整方案，如调整转子位置、更换磨损的部件或进行局部修复等，以确保气隙恢复到理想的均匀状态^[4]。

（二）补偿气隙不均匀

在电机制造与运行中，气隙的不均匀性可能源于多种因素，如加工精度限制、材料热变形或装配误差等。为了消除这种不均匀性对电机性能的不良影响，采取了积极的补偿措施。针对转子与定子间气隙的不均匀问题，首先会利用高精度测量工具定位气隙的具体不均匀区域。随后，根据不均匀程度及分布情况，设计并实施精确的补偿方案。若不均匀性较轻微，可能会选择微调转子的轴向或径向位置，以重新平衡气隙的均匀性^[5]。这种微调需要极高的操作精度，以确保在调整过程中不引入新的不平衡因素。若气隙不均匀问题较为严重，或无法通过简单调整转子位置来解决，则会考虑加装专用的补偿垫片。这些补偿垫片通常具有精确的厚度和形状，能够精准地填补气隙中的不均匀部分，恢复气隙的均匀性。在选择和安装补偿垫片时，会仔细考虑其材料、尺寸和安装位置，以确保补偿效果达到最佳，同时避免对电机其他性

能产生负面影响。

（三）定期检查与维护

为了确保低压电机能够持续保持高效、稳定的运行状态，并有效预防气隙不均匀等潜在问题，建立了严格的定期检查与维护制度。这一制度不仅涵盖了电机的整体性能评估，还特别强调了对气隙均匀性的监测与维护。在定期检查过程中，专业技术人员会使用先进的测量工具对电机的气隙进行细致测量，并与历史数据进行对比分析，以判断气隙是否发生变化或存在不均匀现象。一旦发现气隙不均匀的苗头，会立即进行深入调查，查明原因并制定相应的处理方案。除了定期检查外，还注重电机的日常维护。这包括定期清理电机内部的灰尘和杂质，保持电机清洁；检查并紧固各部件的连接螺栓，防止因松动而导致的气隙变化；以及润滑轴承等关键部件，减少因摩擦而产生的振动和噪声。通过这些定期检查与维护措施的实施，能够及时发现并处理气隙不均匀等潜在问题，有效防止其对电机性能造成的不良影响。

三、采用斜槽设计策略

（一）设计斜槽结构

为了进一步优化电机的声学性能，创新性地引入了斜槽设计策略。这一策略的核心在于对电机定子槽进行非传统的直线排列改造，转而采用斜向布置，即斜槽结构。斜槽设计巧妙地利用了电磁场在电机内部的传播特性，通过改变槽的排列方向，使得原本可能集中在某一轴向位置的径向力波发生相位移。这种相位移不仅分散了力波的作用点，还使得力波在电机轴向上的分布更加均匀，从而有效降低了因力波集中而产生的振动和噪声。在斜槽结构的具体设计中，需要综合考虑电机的整体尺寸、绕组布局、电磁性能以及散热需求等多个因素。通过精确计算与仿真分析，确定最佳的斜槽角度、槽深以及槽宽等参数，以确保斜槽设计既能有效降低噪声，又能保持电机的其他性能不受影响^[6]。

（二）选择合适的斜槽角度

在采用斜槽设计策略时，斜槽角度的选择是至关重要的一环。这一角度的确定需基于电机的具体结构特点、运行工况以及预期的降噪效果进行综合考虑。第一点，需深入分析电机的电磁场分布特性，了解径向力波在电机内部的传播规律。通过仿真模拟和实验验证，可以初步确定一个斜槽角度的范围，该范围应能有效引导径向力波在轴向上发生相位移，从而分散其能量，降低噪声。第二点，结合电机的实际工况，如负载变化、转速波动等因素，对斜槽角度进行进一步优化。需确保所选角度能在各种工况下均能保持稳定的降噪效果，避免因工况变化而导致的噪声反弹^[7]。此外，还需考虑斜槽角度对电机其他性能的影响，如电磁性能、散热性能等。通过综合权衡各方面因素，可以确定一个既满足降噪需求，又不影响电机整体性能的斜槽角度。

（三）考虑斜槽对电机性能的影响

斜槽设计作为一种有效的降噪手段，在引入电机设计的同时，也必须审慎考虑其对电机整体性能可能产生的多方面影响。这包括电磁性能、机械强度、热管理以及制造工艺等方面的综合

考量。在电磁性能方面，斜槽设计会改变电机内部的磁场分布，进而影响电机的感应电动势、磁通密度及功率因数等关键参数。因此，设计过程中需通过精确的计算与仿真，确保斜槽结构在降低噪声的同时，不损害电机的电磁转换效率和功率输出。机械强度方面，斜槽设计可能改变电机结构的力学特性，对定子和转子的支撑结构提出更高要求。需通过强化结构设计、优化材料选择等措施，确保电机在高速旋转和复杂工况下的稳定运行。热管理方面，斜槽设计可能改变电机内部的热流路径，影响散热效果。需合理配置冷却系统，优化风道设计，确保电机在长时间运行中的温度控制在安全范围内。

四、使用正弦绕组策略

（一）优先采用正弦绕组

在追求电机高效、低噪运行的道路上，正弦绕组的应用成为不可或缺的一环。正弦绕组以其独特的电流波形特性，在电机设计中占据了举足轻重的地位。通过优先采用正弦绕组，能够显著降低磁势中的谐波成分，这是降低电磁噪声、提升电机性能的关键所在。正弦绕组的设计原理在于其电流波形接近完美的正弦波，这意味着在电机运行过程中，电流的变化更加平滑、连续，减少了因电流突变而产生的电磁力波动。这种平滑的电流波形不仅有助于降低电磁噪声，还能提高电机的运行效率，减少能量损耗^[8]。此外，正弦绕组还能有效改善电机的转矩特性，使电机在启动、加速及稳定运行阶段都能保持平稳的转矩输出。这对于提高电机的动态响应能力、降低振动和噪声具有重要意义。

（二）优化绕组参数

在采用正弦绕组策略的基础上，为了更进一步地降低磁势谐波的含量，需要对绕组的各项参数进行精细化的优化。这一过程不仅涉及绕组匝数的合理选择，还包括对线径、并绕根数、槽满率等关键参数的细致调整。匝数的优化直接关系到绕组电感的大

小，进而影响电流的波形特性。通过增加或减少匝数，可以调节绕组对谐波电流的抑制作用，力求达到最佳的谐波抑制效果。同时，线径的选择也至关重要，它决定了绕组的电阻和电流密度，对电磁场的分布和噪声的产生有着直接的影响。此外，并绕根数的安排和槽满率的控制也是优化绕组参数的重要环节。合理的并绕根数可以平衡电流分布，减少局部过热现象；而适当的槽满率则能确保绕组紧密填充槽内空间，提高空间利用率，同时也有利于电磁场的均匀分布^[9]。

（三）严格控制绕组制造质量

在正弦绕组策略的实施过程中，绕组制造质量的严格控制是确保降噪效果得以实现的重要保障。绕组作为电机中承载电流并产生电磁场的关键部件，其制造质量的优劣直接关系到电机的整体性能和噪声水平。为了加强绕组制造过程中的质量控制，需从原材料选择、工艺控制、检测手段等多个方面入手。一方面，应选用高质量的电磁线材，确保其导电性能、耐热性能及机械强度均能满足设计要求。另一方面，在绕制过程中，应严格控制绕组的匝数、线径、并绕根数等关键参数，确保每一道工序都符合工艺标准。此外，加强制造过程中的在线检测与监控也是必不可少的环节。通过采用先进的检测设备和技术手段，对绕组的电阻、电感、绝缘电阻等关键指标进行实时检测，及时发现并纠正制造过程中的偏差和缺陷^[10]。

五、结论

本文通过对低压电机电磁噪声抑制策略的深入研究，提出了优化电机设计、调整气隙均匀性、采用斜槽设计，以及使用正弦绕组四个方面的具体策略。实验结果表明，这些策略在降低电磁噪声、提升电机性能和稳定性方面取得了显著成效。未来，将继续探索更加高效、环保的电磁噪声抑制方法，为电机行业的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1] 陈川礼, 卓祖德, 李庆. 电磁仿真与结构谐响应仿真耦合运算方法在电磁噪声分析中的应用 [J]. 日用电器, 2021, (08): 37-43.
- [2] 司扣华, 徐大业, 许文兰, 等. 交流异步电动机电磁噪声的分析及控制 [J]. 日用电器, 2020, (11): 66-70.
- [3] 郑妍, 易远程, 刘鸣洲. 基于汽车低转速区间发电机电磁噪声优化 [J]. 汽车电器, 2019, (04): 56-58+60.DOI: 10.13273/j.cnki.qcdq.2019.04.019.
- [4] 卢志勇. 空调电机振动噪声产生的原因及解决对策 [J]. 电子世界, 2018, (09): 101.DOI: 10.19353/j.cnki.dzsj.2018.09.057.
- [5] 孟智, 梁涛. 空调扫风电机噪声研究 [J]. 日用电器, 2015, (08): 270-273.
- [6] 黎巧, 邹志明. 单绕组变极双速电机电磁噪声的改善 [J]. 宜春学院学报, 2013, 35(06): 53-54+78.
- [7] 夏惠珍. 水轮发电机电磁噪声超标处理 [J]. 电机技术, 2012, (05): 46-48.
- [8] 李翠兰. 泵用直流电机噪声的分析及预防 [J]. 微电机, 2012, 45(06): 78-79.DOI: 10.15934/j.cnki.micromotors.2012.06.020.
- [9] 张婷婷, 鲁学良. 电机噪声的分析与降低技术 [J]. 科技资讯, 2012, (06): 114+116.DOI: 10.16661/j.cnki.1672-3791.2012.06.085.
- [10] 张婷婷. 电机噪声的分析与降低技术 [J]. 工业设计, 2012, (02): 79.

一体化压铸对模具钢和热处理的挑战及发展趋势研究

孙建祥¹, 颜敏娟², 肖培钦¹

1. 上海凌力特殊钢发展有限公司, 上海 200003

2. 杭州萧山技师学院, 浙江 杭州 311203

摘要：一体化压铸近来越来越受到广泛关注, 更大尺寸的压铸产品对模具钢及热处理提出了严峻的挑战。本文对比和分析了传统压铸模具钢与一体化压铸模具钢在合金成分设计和优化, 选择与应用, 纯净度, 淬透性, 韧性方面的变化, 并对大尺寸模块的真空热处理工艺和新近推出的高导热钢进行了探讨。

关键词：一体化压铸; 模具钢; 高导热钢; 真空热处理; 淬透性

The Development Research for Tool Steel and its Heat Treatment Challenged from the Integrated High Pressure Die Casting

Sun Jianxiang¹, Yan Minjuan², Xiao Peiqin¹

1. Shanghai Lingli Special Tool development CO., Ltd. Shanghai 200003

2. Hangzhou Xiaoshan Technician College, Hangzhou, Zhejiang 311203

Abstract： More and more on integrated high pressure die casting is concerned, the bigger castings challenged the tool steel and heat treatment. The alloy element design and improvement, how to select and apply the tool steel grade, purity, hardenability and toughness are compared and analyzed between the traditional and the integrated high pressure die casting tool steel in this thesis, and big size tool steel heat treatment and newly developed high thermal conductivity tool steel are also discussed.

Keywords： integrated high pressure die casting; tool steel; high thermal conductivity tool steel; vacuum heat treatment; hardenability

引言

自从新能源汽车巨头特斯拉成功开发出一体化大型后地板压铸件以来, 因其较低的综合成本, 市场上众多的主机厂和压铸厂都纷纷投入到研发和生产的热潮中^[1]。一体化压铸件的生产包含多项核心技术, 其中包含有免热处理铝合金产业化应用, 轻量化结构设计, 高真空压铸工艺, 大型模具开发技术, 连接技术, 大型装备制造等关键技术; 对大型模具钢及其热处理也提出了严峻的挑战^[2]。

众所周知, 传统的压铸模具钢已经广泛地应用于汽车发动机壳体, 变速箱壳体, 支架类及轮罩类等模具, 这些产品的压铸机合模力通常小于4000吨, 模具钢厚度通常在400mm到500mm左右以下, 而一体化压铸机在6000吨以上, 模具钢厚度达到600mm-800mm, 一付一体化压铸模具总重量达到近200吨, 模芯材料重量最大可达50-70吨左右^[3]。模具钢的产品质量, 例如均匀性, 淬透性, 韧性等指标, 也应当符合新形势发展的需求。本文对一体化压铸模具中的模具钢性能及其真空热处理工艺进行分析和探讨。

一、模具钢成分设计

市场上常见的模具钢种类及其成分如表1所示。C含量的增加, 也增加钢材的强度, 淬硬性, 耐磨性, 淬透性和抗回火性能, 但同时降低钢材的塑性, 对于压铸模具钢来说, 0.4%左右的模具钢具有较好的综合性能。德国葛利兹公司的GPM58, 一胜百公司的UNIMAX和Bohler公司的W360, 其中C含量达到0.5%, 热处理后硬度可达到58HRC以上, 极大地提高了强度和耐磨性能^[4-6]。

Cr元素能够提高钢材的淬透性能, 以固溶态存在于基体中

时能够增强抗氧化能力和抗腐蚀能力并提高强度, 但其形成的碳化物, 如Cr₇C₃、Fe₄Cr₃C₃或Fe₂Cr₅C₃的稳定性较差, 它和Fe₃C类碳化物一样很易溶解和析出, 具有较大的聚集长大速度, 一般不能作为高温强化相^[7]。通常压铸模具钢的Cr含量控制在4.5%-5.5%之间, 以获得较好的平衡。

Si元素是铁素体强化元素, 能够提高模具钢的抗回火能力和强度, 但也引起塑性的下降, 且Si含量的提高更容易出现带状组织, 导致纵向和横向性能出现差别, 故而在一体化压铸模具中, 由于模具尺寸大, 常常选择韧性更好的低Si种类。目前市场上大部分的压铸模具钢都是低Si的, 远多于H13和H11类型的1%Si

的钢种（如德国 Kind&Co 公司的 TQ1，Bohler 公司的 W350 等）^[8,9]。

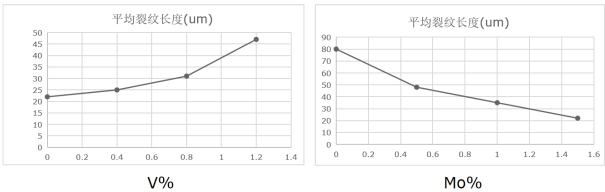
Mn 元素能够增加钢的淬透性能，强化奥氏体和铁素体相，但 Mn 元素易使钢热处理时产生过热而晶粒长大，故压铸模具钢中常常把 Mn 含量限制在 0.6% 左右以下。有较少的钢种 Mn 含量达到 0.8% 左右以下（如一胜百公司的 QRO90）^[10]。

表 1 常见模具钢种类、成分

Table 1 common tool steels grades, analysis

钢种			C	Si	Mn	Cr	Mo	V
4Cr5MoSiV1	H13	2344	0.40	1.00	0.35	5.25	1.48	1.00
4Cr5MoSiV	H11	2343	0.38	1.00	0.40	5.25	1.35	0.45
4Cr5Mo1V		W350	0.37	0.32	0.40	5.20	1.55	0.55
4Cr5Mo2V		8418	0.36	0.30	0.35	5.00	2.30	0.55
4Cr5Mo3V		2367	0.36	0.30	0.35	5.00	3.00	0.55

在模具钢组成的常用合金元素中，Mo 和 V 是最重要的组成部分之一，其对模具最终寿命具有决定性的影响。如图 1 所示，在一定范围内，Mo 含量的增加和 V 含量的减少对裂纹长度起到积极的影响作用。



> 图 1 钼钒含量对平均裂纹长度的影响

> Fig.1 the influence of Mo、V content to average crack length

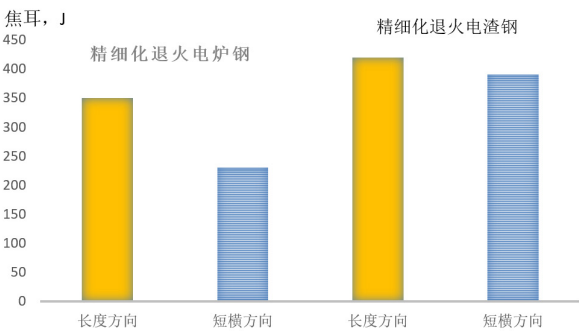
Mo 元素是强碳化物形成元素，能提高淬透性，并显著增加钢材的二次硬化效应和抗回火性能。2367 钢种具有 3% 含量的 Mo，一般认为这是 Mo 二次硬化效应的极限，过多的 Mo 加入反而引起淬火温度的上升，易引起晶粒长大，2367 的奥氏体化温度达到 1050–1080℃。最佳经济性的 Mo 含量是在 2.0%–2.5% 之间^[11, 12]。

V 元素也是强碳化物形成元素，能提高钢的耐磨性，细化晶粒，与 Mo 一起增加二次硬化效应，提高抗回火性能，但当 V 的含量过高时，形成的碳化物熔点很高，反而造成淬透性的降低，并且易形成初生碳化物而降低韧性。日本日立公司的 DAC55 和 DAC10 提高 V 含量至 0.8% 和 0.9%，提高了高温强度和抗回火性能^[13]。

二、冲击韧性

热龟裂、冲蚀和粘铝是一体化压铸模具常见的失效形式，其中模具钢的韧性是抵抗其失效的重要性能。分别对 2343 电炉钢和 2343 电渣钢做冲击韧性测试，采用 7*10*55mm 的试样，热处理硬度至 44–46HRC，用冲击试验机做无缺口冲击韧性测试，其冲击韧性结果见下图 2 所示。由图可知，电渣重熔后的钢比电炉钢具有更高的冲击韧性值，而且短横方向和长度方向冲击韧性更加接近，而电炉钢在短横方向和长度方向上相差较大。考虑到模具型

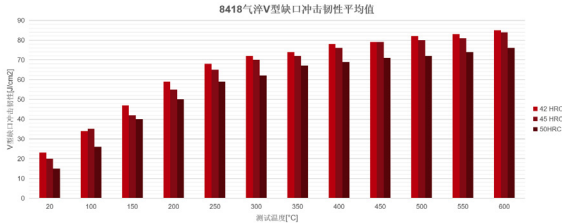
腔受到三向应力的作用，模具钢通常会使用电渣重熔工艺，使其不仅能够提高冲击韧性，还能够获得更好的等向性能。



> 图 2 电炉钢与电渣钢的冲击韧性比较

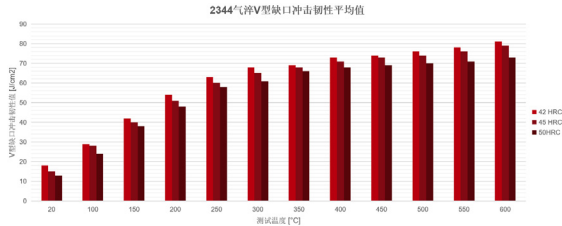
> Fig.2 EAF and ESR tool steel impact toughness comparison

模具钢材的冲击不仅与生产冶炼工艺相关，而且还与应用温度以及热处理选择的硬度密切相关。图 3 和图 4 所示为 8418 和 2344 电渣重熔的两种钢材在不同硬度和不同温度下的 V 型缺口冲击韧性比较。由图可知，随着硬度的升高，冲击韧性值降低，而随着温度的升高，在 600℃ 范围以内，冲击韧性值呈上升趋势。



> 图 3 8418ESR 冲击韧性测试

> Fig.3 8418ESR impact toughness test

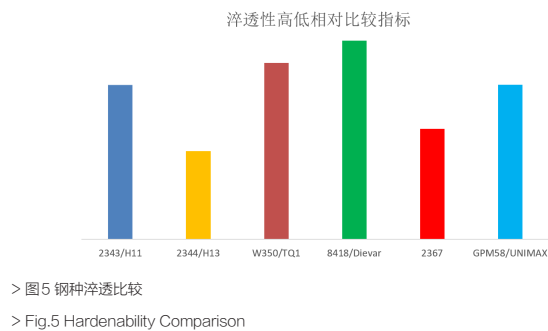


> 图 4 2344ESR 冲击韧性测试

> Fig.4 2344ESR impact toughness test

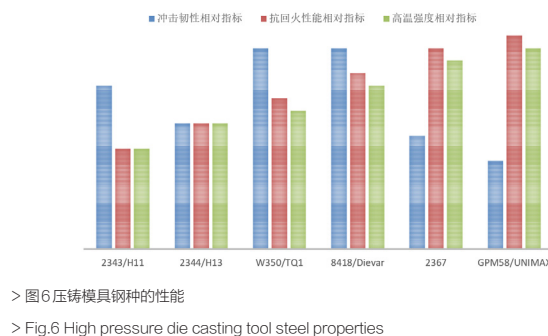
三、淬透性

一体化压铸模具厚度大，必须保障其模具钢材热处理后心部位置的组织性能，以免产生宏观开裂，尤其是有一些大型模具采用框架和镶块组装的结构，只有心部组织性能保证了才能为压铸生产提供整体上的有效支撑。表 1 中各钢种的淬透性能相对比较如下图所示。由图可知，8418/Dievar 具有最好的淬透性能，而 2344/H13 相对较逊，故而 2344/H13 适用于厚度小于 300–400mm 以下的模具，而 8418/Dievar 厚度可达 800mm 左右，这可以较好地满足一体化压铸对于不同部位镶块厚度不同的需求。淬透性是前面论述中各元素综合作用的结果，既要考虑各元素积极的促进作用和交互作用，也要考虑元素过多造成的副作用，这是一种平衡后的综合指标。



四、模具钢应用与选择

压铸模具常见的失效形式有热龟裂，整体开裂，冲蚀，R 角开裂等，正确理解模具钢的性能用以抵抗模具的失效非常重要。上表 1 中的常见压铸模具钢种的性能相对指标如下图 6 所示。



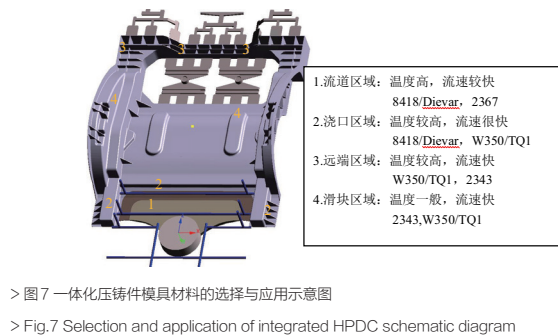
冲击韧性有益于抵抗模具的整体开裂和热龟裂、R 角开裂，抗回火性能有益于抵抗热龟裂，R 角开裂，而高温强度有益于抵抗热龟裂，整体开裂，冲蚀，R 角开裂。针对不同的失效形式，往往考虑的是模具钢材的综合性能指标。

一体化压铸模具因其尺寸巨大，常采用镶拼结构的方式来设计和组装成整体模具，一些滑块的尺寸会比较大约如 600mm-700 厚，欧洲市场和北美市场及国内市场对模具钢有不同的选择与应用，详细介绍如表 2 所示。

表2 常见模具钢应用	
Table2 Common Tool steel's application	
钢种	性能特点及应用
2343/H11	欧洲常用钢种，低偏析率，高韧性，高热传导系数，适用于大型模具。
2344/H13	北美及亚洲常用钢种，适用于耐高温负荷要求、高耐磨性要求、易产生热龟裂模具，适用于中小型模具。
W350/TQ1	2343 的改良钢种，具有比 2343 更好的韧性、抗龟裂性及耐磨性，纯净度极高，适用于中大型模具。
8418/Dievar	高性能热作模具钢，具有优异的抵抗热龟裂、整体开裂、热磨损和塑性变形的性能，适用于大型模具。
2367	适用于耐超高温负荷要求、极高耐磨性要求、易产生热龟裂的模具，适用于中小型模具。
GPM58/UNIMAX	适用于耐高温负荷要求、极高耐磨性要求的小型模具及镶件。

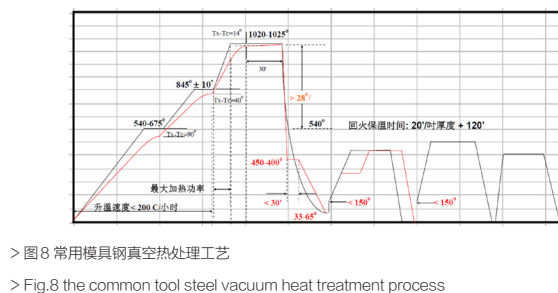
针对模具不同的部位，模具需承受不同的温度和铝液高速冲击，据此，应选择具有相应产品性能特点的模具钢种类，图 7 所示

为一体化后地板零件不同部位对应的模具钢选择示意图。



五、热处理工艺

一体化压铸模具钢材因其尺寸大和形状复杂的特征，通常选用真空热处理工艺。目前市场上已经出现可达 9 吨载重量的大型真空炉，其装载尺寸可达 1.5 米宽，1.5 米厚，2.5 米长，配备有远红外控温装置实现全程任意监控工件表面温度变化，改进了冷却系统的导流装置，实现对炉内任一工件的冷速控制。图 8 所示为常用模具钢真空热处理工艺。



一体化压铸模具通常采用分级淬火工艺，其关键在于：在高温冷却阶段，即在 1020℃ -1025℃至 540℃冷却阶段，控制其表面冷却速度在 28℃ /min 以上，心部冷却速度在一个合理的水平；然后在 400℃ -450℃之间采用等温工艺，控制表面和心部温差，有利于控制模具开裂的风险和降低变形，等温工艺的时间应控制在 30 分钟左右时间以内；再采用较快的冷却速度冷却到模具表面温度 33-65℃，在 400℃至 200℃之间的心部冷却速度应达到 5℃ / min 以上，以避免出现上贝氏体组织而降低韧性；随后应立即进行首次回火，通常回火次数不应低于 4 次，以确保彻底去除热应力。

六、新模具钢种

现今不少模具厂都受到来自于下游厂家要求降本增效的压力，日本日立公司新近推出的 DAC-i 未经过 ESR 电渣重熔工艺，降低了成本的同时，还具有比 DAC(2344/H13) 更好的韧性、抗热龟裂性能和抗开裂性能^[14]。对其进行化学成分检测，结果如下表所示。

表3 DAC-i 化学成分测试结果

Table3 DAC-i chemical composition testing results

日立钢种	对比钢种		C	Si	Mn	Cr	Mo	V
DAC-i	DAC	2344/H13	0.36	0.37	0.65	5.35	1.35	0.75

对样品油淬后调质至 44-46HRC 的硬度，随后进行冲击韧性

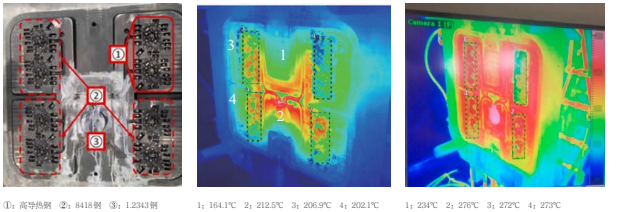
检测，其7*10*55mm 无缺口冲击韧性平均值达到350J 以上。

德国 Buderus 布德鲁斯也新近推出一款 CONQUEROR™ SUPER CLEAN ISO-B 材料，化学成分含有0.3% 的 Si 和0.3% 的 Mn，也是未经过 ESR 电渣重熔工艺，其产品资料介绍纯净度如下表4 所示。纯净度的提升，对于冲击韧性的提高有很好的功效，该款新材料可以保证310J 的无缺口冲击韧性值^[15]。

表4 CONQUEROR™ SUPER CLEAN ISO-B 纯净度测试结果
Table 4 CONQUEROR™ SUPER CLEAN ISO-B cleanness testing results

纯净度	A		B		C		D	
	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系
CONQUEROR™ SUPER CLEAN ISO-B	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.5	0.5

对于厚壁铸件以及一些销子类需要高导热的模具部位，SIJ 钢厂新近推出了一款 S140R 高导热钢^[16]，化学成分为极低的 Si 含量，添加了 Mo、Ni、Co 等稀有元素，其导热系数在100℃ - 600℃ 的范围内，均在50W/m.K 左右，在高压压铸应用中类比其他传统的模具钢更能够抵抗热龟裂和热粘蚀，生产效率更高，维护成本更低。其中一个应用的案例是在4 个模具镶块上测试该导热钢，下图9 中②所示为8418 钢制作其余3 个镶块，流道及嵌框③为2343 钢，①为高导热钢，用红外相机测量模具镶块在正常压铸生产时的温度分布情况。与传统的8418 及2343 模芯料相比，采用高导热钢的镶块部分要比其余部位低40℃ -50℃，如图10 所示。



> 图9 模具组成 > 图10-a 通冷却水温度分布 > 图10-b 未通冷却水温度分布
> Fig.9 Tool assembly > Fig.10-a Die surface temperature Fig. 10-b Die surface temperature

参考文献

[1]HYPERLINK "javascript:void(0)"但昭学，林韵，万里，闫锋. 一体化压铸成形技术的现状及发展 [J] 特种铸造及有色合金. 2024，44(8): 1023~1031.
[2] 查敏，顾璇，马品奎等. 轻合金大型一体化结构部件压铸成形技术研究进展 [J] 特种铸造及有色合金. 2024，44(8): 1009~1022.
[3] HYPERLINK "https://x.cnki.net/kns8/Detail?sdb=CPFD&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e4%b9%90%e8%99%8e&scode=000025185370&acode=000025185370" 乐虎，HYPERLINK "https://x.cnki.net/kns8/Detail?sdb=CPFD&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e5%90%91%e5%8b%87&scode=000029171593&acode=000029171593" 向勇，HYPERLINK "https://x.cnki.net/kns8/Detail?sdb=CPFD&sfield=%e4%bd%9c%e8%80%85&skey=%e6%9d%8e%e6%96%87%e4%bb%b2&scode=000005118805&acode=000005118805" 李文仲等. 一种用于一体化压铸大型模桥变形量检测的方法 [J] 2024 重庆市铸造年会论文集. 2024:542~544.
[4] 德国葛利兹公司 GPM58 产品介绍资料.
[5] 一胜百公司 UNIMAX 产品介绍资料.
[6]Bohler 公司 W360 产品介绍资料.
[7] 潘晓华，朱祖昌. H13 热作模具钢的化学成分及其改进和发展的研究 [J] 模具材料及热处理技术. 2006，4:78~85.
[8]Kind&Co 公司产品 TQ1 介绍资料.
[9]Bohler 公司 W350 产品介绍资料.
[10] 一胜百公司 QRO90 产品介绍资料.
[11] 俞德刚. 钢的强化理论与设计 [M]. 上海: 上海交通大学出版社，1990.
[12] 赵振业. 合金钢设计 [M]，北京，国防工业出版社，1999.
[13] 日立公司 DAC5、DAC10 产品介绍资料.
[14] 日立公司 DAC-i 产品介绍资料.
[15]Buderus 布德鲁斯产品介绍资料.
[16]SIJ 钢厂 S140R 产品介绍资料.
[17]ROLVAMA 公司 FAST Cool 50 产品介绍资料.

西班牙 ROLVAMA 公司也推出了一款可应用于压铸模具的高导热钢，名称为 FASTCOOL®-50，该钢材的导热性能在温度300K 下导热系数为50W/m.K，具有高硬化性能、高耐磨损性能^[17]。

七、结论和展望

一体化压铸模具尺寸大，熔液流程长，模具钢材需承受更高速度更高压力的载荷，因此控制模具不发生热龟裂、冲蚀和整体开裂等失效形式，对于生产出合格低成本的压铸件，具有重大的意义。传统模具钢材发展至今，正面临一体化压铸带来的新挑战，在原有2344/H13、2343/H11 的基础上，利用钢的强韧性理论和金属学原理，不少钢厂发展出了高 Mo 低 Si 的新钢种，并将 V 含量控制在合适的水平。淬透性对于大型模具是一个重要的考量因素；需采取合理而有效的热处理工艺保证模具的合理变形而不发生开裂，并用高冷却速度充分挖掘出模具钢材的潜能。

国外一些模具钢生产厂家已经开发出采用非 ESR 电渣重熔工艺生产的压铸模具钢，不仅降低了模具钢生产成本，还能保证高纯净度和良好的冲击韧性；同时，高导热钢也越来越广泛地应用于模具实际生产中，较好地降低了模具表面的温度，提高了生产效率，并且起到了积极地抵抗热龟裂和冲蚀、粘铝的作用。

未来进一步添加和平衡微量合金元素，使模具钢的综合性能得到进一步的提升，例如 Ni、Co、W 合金元素，稀土元素的添加和优化，尤其是在改善模具钢的高温红硬性、高温强度和淬透性将显得更加重要。研究高导热钢的导热机理，并且开发出更好淬透性和更高韧性的模具材料，对于大型模具也是一项颇为紧要的课题。大型真空热处理设备及其热处理工艺和表面处理工艺的成熟应用，对于保证和延长模具寿命具有很重要的意义。

设计引领下的 EPC 项目安全风险识别与控制

洪波, 许闯

中国联合工程有限公司, 浙江 杭州 310000

摘 要 : 本研究围绕设计引领下的 EPC 项目安全风险识别与控制展开, 先概述了 EPC 项目的特点, 并分析了设计引领下的 EPC 项目特征。在此基础上, 探讨了安全风险识别的相关理论, 包括风险识别方法、流程和原则。研究重点在于设计阶段和施工阶段的安全风险识别, 通过风险源分析和风险因素识别, 提出了具体的风险识别方法。进一步, 构建了安全风险控制体系, 并阐述了预防性控制策略和应急性控制策略, 以及针对设计阶段和施工阶段的安全风险控制措施。本文的研究为 EPC 项目安全管理提供了理论依据和实践指导, 有助于提高项目安全风险管理的科学性和有效性。

关 键 词 : 设计引领; EPC 项目; 安全风险; 风险识别; 风险控制

Risk Identification and Control of EPC Projects Led by Design

Hong Bo, Xu Chuang

China United Engineering Corporation, Hangzhou, Zhejiang 310000

Abstract : This study focuses on the safety risk identification and control of EPC projects led by design. It begins with an overview of the characteristics of EPC projects and analyzes the features of EPC projects under the guidance of design. Based on this, the relevant theories of safety risk identification are explored, including risk identification methods, processes, and principles. The research emphasizes safety risk identification during the design and construction phases. Specific risk identification methods are proposed through risk source analysis and risk factor identification. Furthermore, a safety risk control system is established, and preventive and emergency control strategies are elaborated, along with safety risk control measures targeting the design and construction phases. The study provides a theoretical basis and practical guidance for EPC project safety management, contributing to improving the scientificity and effectiveness of project safety risk management.

Keywords : design leadership; EPC projects; safety risks; risk identification; risk control

引言

在当今的建筑行业领域, EPC (工程、采购、建设) 项目模式因其整合性强、效率高等显著优势而逐渐成为行业内的主流选择。设计阶段, 作为 EPC 项目全生命周期管理的起点, 对于项目的安全风险识别与控制起着至关重要的作用。本研究的目的在于深入探讨在设计主导下的 EPC 项目如何进行有效的安全风险识别与控制, 以进一步提升项目安全管理的专业水平, 确保项目能够顺利实施。本文首先对设计引领的 EPC 项目特性进行了详细分析, 随后探讨了安全风险识别与控制的理论框架。在此基础上, 本文对设计阶段和施工阶段的安全风险进行了系统识别, 并提出了针对性地控制措施。通过这项研究, 旨在为我国 EPC 项目安全管理领域贡献宝贵的理论参考和实践指导, 以促进建筑行业的健康发展和项目安全的持续提升。

一、设计引领下的 EPC 项目安全风险识别理论基础

在探讨设计引领下的 EPC 项目安全风险识别之前, 我们必须对 EPC 项目本身及其在设计主导下的特殊性质有一个清晰的认识, 同时, 深入理解安全风险识别的理论框架对于构建有效的风险管理策略至关重要。

(一) EPC 项目概述

EPC 总承包 (Engineering Procurement Construction) 是指承包方受业主委托, 按照合同约定对工程建设项目的设计、采购、施工等实行全过程或若干阶段的总承包, 并对其所承包工程的质量、安全、费用和进度进行负责。随着近些年的发展及相关

政策对 EPC 项目的鼓励实施, 许多大型企业开始成为总承包公司, 精细化管理成为 EPC 项目发展的未来主要方向^[1]。

EPC 项目, 即设计、采购、施工一体化项目, 是在基础设施建设领域广泛采纳的一种高效项目管理模式。该模式通过将项目的工程设计、材料设备采购、施工建设以及试运行等多个关键环节紧密整合, 构建了一个连贯而统一的操作流程。在此基础上, 依托于合同关系的确立, 实现了项目业主、设计单位、施工单位以及其他相关利益相关方之间的紧密协同与高效合作。EPC 模式以其高度的一体化集成、责任划分的明确性、效率优先的显著特点, 已经成为推动建筑行业创新与进步的核心力量^[2]。这种模式不仅显著提升了项目管理的效率与成果质量, 同时也为项目成本的

合理控制和安全风险的系统性管理提供了坚实的支撑，确保了项目从策划到交付的每一步都能够稳健前行。

（二）设计引领下的 EPC 项目特点

在设计引领下，EPC 项目的特点表现为项目全生命周期的集成管理，设计的先导作用贯穿于项目的每一个阶段，确保了项目从概念到竣工的连贯性和高效性。这种模式强调设计的前瞻性和创新性，通过精心规划的功能布局和技术方案，为项目的后续发展奠定了坚实的基础。同时，设计引领的 EPC 项目凸显了跨部门、跨专业的协同工作，要求设计、采购、施工等各方紧密合作，共同推动项目的进展^[9]。此外，该模式还体现了对项目成本、质量和进度的高度控制，通过设计阶段的精细化管理，实现对项目整体风险的早期识别和有效控制，从而确保了项目在执行过程中的稳定性和安全性。总的来说，设计引领的 EPC 项目以其系统性的思考、一体化的操作和综合性的管理，展现了其在基础设施建设领域中的独特优势和强大的实践应用价值。

（三）安全风险识别相关理论

安全风险识别是风险管理过程中的关键环节，其理论基础涉及广泛的学科领域，主要包括但不限于风险管理理论、系统安全理论、事故致因理论以及决策科学理论。这些理论共同构成了安全风险识别的学术框架，为识别和评估潜在的安全风险提供了科学的方法论。在风险管理理论中，安全风险识别强调对各类不确定性因素的全面扫描和深入分析，通过对工作环境、作业行为、设备状态等关键要素的细致考察，揭示可能导致事故的潜在风险点。

系统安全理论则从系统的角度出发，认为安全风险是系统内部各组成部分相互作用的结果，强调通过系统的整体性和层次性来识别风险，确保在识别过程中不遗漏任何可能导致系统失效的环节^[4]。事故致因理论进一步深化了这一概念，提出了多米诺效应、轨迹交叉理论等，认为事故是由一系列因素连锁反应的结果，因此在风险识别时必须追溯至事故的根本原因。

决策科学理论则为安全风险识别提供了决策支持，通过对风险概率和后果的量化分析，帮助决策者在对安全风险进行识别时，能够更加科学地权衡风险与收益，从而制定出合理的安全风险管理策略^[9]。总而言之，安全风险识别的相关理论体系，不仅为实践中识别和防范安全风险提供了坚实的理论基础，也推动了安全管理向更加科学、系统、全面的方向发展。

二、设计引领下的 EPC 项目安全风险识别

在确立了安全风险识别的理论基础后，本文将进一步深入探讨设计引领下的 EPC 项目在设计 and 施工阶段的安全风险识别。这两个阶段的风险识别不仅关乎项目本身的安全性能，更是项目能否顺利推进的关键所在。

（一）设计阶段安全风险识别

在设计阶段，作为 EPC 项目的发端与核心，安全风险识别的作用尤为突出。在此关键时期，风险源分析显得至关重要，它涉及对可能导致安全风险的众多设计要素进行全面的系统性审查^[9]。

具体到设计阶段的安全风险因素识别，其核心在于对设计图纸各项参数的精确度、适用技术规范严谨性、材料与工艺选择的适宜性等关键环节进行深度剖析和精细梳理，以识别潜在的安全隐患。

在这一过程中，安全风险识别方法的选择与应用显得尤为关键。它要求我们在深入分析项目特性、充分考量环境因素以及合理评估资源条件的基础上，巧妙地运用专业知识和精湛的技术手段，对潜在的安全风险进行精准识别和前瞻性预判^[7]。这一工作不仅涉及对传统风险识别方法的熟练掌握，还包括对新兴风险识别技术的探索与应用，确保能够全方位、多角度地揭示设计阶段可能存在的安全风险，从而为后续的建设阶段提供坚实的安全保障。

（二）施工阶段安全风险识别

随着项目的推进，从设计阶段步入施工阶段，安全风险的性质和特征经历了显著转变。在施工阶段，安全风险识别的核心在于对施工现场的具体环境和作业条件及适用工艺条件的深入分析。此阶段的安全风险因素识别，侧重于对施工工艺的复杂性、人员操作的规范性、设备性能的可靠性、材料质量的稳定性等关键要素进行详尽分析考察，以揭露可能导致安全事故的种种潜在因素。

在施工阶段的安全风险识别方法上，我们强调将现场实际情况与理论分析紧密融合^[8]。通过一系列专业手段，如引入智慧化管理，通过云平台管理与现场巡查相结合的方式以实时监控项目情况，制定工作程序，例如定期召开安全会议以交流反馈安全风险管控及隐患排查治理情况、开展事故案例分析以吸取经验教训等，使我们能够及时捕捉并准确识别潜在的安全风险。这种方法论的运用，不仅确保了风险识别的全面性和有效性，而且为施工现场的安全管理提供了科学的决策依据，从而保障了工程施工的安全性和稳定性。

三、设计引领下的 EPC 项目安全风险控制策略

在精准识别 EPC 项目各阶段安全风险的基础上，构建有效的风险控制策略是确保项目安全、顺利实施的关键。以下将围绕安全风险控制体系的构建、控制方法的选择以及具体控制措施的制定进行深入探讨。

（一）安全风险控制体系构建

构建一个全面而严谨的安全风险控制体系，构成了 EPC 项目风险管理的基础和核心。该体系的框架设计需体现出系统性、层次性和动态性三大特征，以确保风险控制活动的连贯性、针对性和适应性。在风险识别环节，控制体系的要素主要包括以下几个方面：

组织结构方面，应建立一个专门的风险识别小组，该小组由具有专业知识和丰富经验的人员组成，负责系统地识别和评估项目中的安全风险。职责分配上，明确各层级、各部门在风险识别中的责任和任务，确保每个环节都有专人负责，形成有效的责任链。流程设计方面，制定一套标准化的风险识别流程，包括风险

识别的启动、实施、记录、反馈和更新等步骤，确保风险识别的连贯性和标准化。

信息沟通方面，建立畅通的信息交流渠道，确保风险信息的及时收集、传递和处理，以便快速识别潜在的安全风险^[9]。资源保障上，提供必要的人力、物力和财力支持，确保风险识别活动的顺利进行，包括专业培训、技术工具和数据分析等资源的充分配备。

这些要素共同构成了安全风险控制体系的风险识别网络骨架，为 EPC 项目的风险管理提供了坚实的结构支撑，确保了项目在各个阶段能够有效地识别和应对潜在的安全风险。

（二）安全风险控制方法

在设计引领的 EPC 项目框架下，安全风险控制方法体现了对项目全生命周期的综合考量和系统管理。该方法的核心在于将安全风险控制前置至设计阶段，通过一系列科学、严谨的策略和措施，确保项目从源头到实施各阶段的安全性。首先，设计优化成为风险控制的首要环节，通过对设计方案的安全性、可靠性和经济性进行深入分析，提前规避潜在的安全隐患^[10]。其次，标准化操作流程的建立为安全风险控制提供了明确的指导，确保了项目在采购、施工等后续环节中的安全执行。此外，系统性的教育培训被纳入风险控制体系，以提升项目参与人员的安全意识和操作技能，从而降低人为错误导致的安全风险。同时，定性与定量相结合的风险评估技术被广泛应用，通过对风险的概率、严重性和可控性进行量化分析，为制定针对性的风险控制措施提供了数据支持。最后，应急预案的制定和演练成为设计引领下 EPC 项目安全风险控制不可或缺的部分，确保在不可预见的风险事件发生时，能够迅速有效地进行响应和处置。综上所述，设计引领下的 EPC 项目安全风险控制方法，以其全面性、前瞻性和动态性，为项目的顺利推进和人员财产安全提供了坚实保障。

（三）安全风险控制措施

在 EPC 项目的实施过程中，设计阶段与施工阶段的安全风险控制措施扮演着至关重要的角色。在设计阶段，为确保设计成果的安全性和可行性，我们专注于提升风险评估的准确性，同时对设计方案进行优化。这一目标的实现依赖于一系列严格的审查和评估流程，通过这些流程，我们能够细致入微地识别和评估潜在的安全风险，从而在设计早期阶段就采取措施予以规避或降低。转入施工阶段后，安全风险控制的重心转向现场管理的强化，通过执行标准化作业程序和定期开展安全检查，我们能够及时发现并迅速纠正安全隐患，确保施工活动的安全性。同时，建立健全的事故报告和反馈机制，不仅保障了风险控制措施的有效执行，还促进了风险控制策略的持续优化和改进。正是通过这些全面而深入的措施，EPC 项目的安全风险得以有效控制，从而确保了项目的顺利实施和人员财产的安全。

四、结束语

经过对设计引领下的 EPC 项目安全风险识别与控制的深入研究，本文揭示了设计阶段在项目安全管理中的关键作用，并提出了一系列针对性的风险识别与控制措施。未来，我们还需在以下方面继续深化研究：一是进一步完善安全风险识别与控制体系，提高其实际应用价值；二是结合不同行业、不同类型的 EPC 项目特点，探讨更具针对性的安全管理策略；三是关注新技术、新理念在 EPC 项目安全风险识别与控制中的应用，以期为我国建筑行业的持续健康发展提供有力支持。总之，本文的研究成果为 EPC 项目安全管理提供了有益的参考，有助于推动我国 EPC 项目安全管理水平的不断提升。

参考文献

- [1] 赵亮, 张佳诚. EPC 项目建设过程中的精细化管理 [J]. 建筑与预算, 2023, (11): 31-33. DOI: 10.13993/j.cnki.jzyys.2023.11.011.
- [2] 张良. 基于 EPC 总承包模式下的工程项目管理应用研究 [J]. 建筑与预算, 2023, (11): 1-3. DOI: 10.13993/j.cnki.jzyys.2023.11.001.
- [3] 张颖. EPC 模式下 ZY 公司装饰工程项目全过程成本控制研究 [D]. 北京化工大学, 2023. DOI: 10.26939/d.cnki.gbhgu.2023.002060.
- [4] 王奇妙, 邱雪冰. EPC 模式下装配式建筑工程质量管理研究——以河北省四季云顶住宅小区项目为例 [J]. 房地产世界, 2023, (22): 84-86.
- [5] 卢亮, 张梦林. 基于 BIM 技术的 EPC 项目智能建造场景化应用实践 [C] // 中国图学会建筑信息模型 (BIM) 专业委员会. 第九届全国 BIM 学术会议论文集. 正太集团有限公司, 2023: 5. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.047991.
- [6] 李梦乔. Z 公司海外 EPC 项目风险管理优化研究 [D]. 黑龙江大学, 2023. DOI: 10.27123/d.cnki.ghlju.2023.002436.
- [7] 苏腾飞. 繁花“轻”舞南沙国际金融论坛 (IFF) 永久会址项目 EPC 全过程设计 [J]. 时代建筑, 2023, (06): 120-125. DOI: 10.13717/j.cnki.ta.2023.06.120.
- [8] 王慧. EPC 项目财务风险及防范研究——以 A 公司项目为例 [J]. 中国乡镇企业会计, 2023, (11): 46-48.
- [9] 许超, 王志文. EPC 总承包模式下医院业主方高效管理对策探究——以 Y 市妇幼保健综合楼新建项目为例 [J]. 建筑设计管理, 2023, 40(10): 45-50.
- [10] 陈晶. 设计牵头 EPC 项目全过程风险形式分析 [J]. 中国勘察设计, 2023, (11): 29-33.

化工工艺流程中的管道材料选择与防腐技术研究

朱红, 潘源

上海河图工程股份有限公司, 湖北 武汉 430000

摘要： 化工工艺流程中的管道系统对材料选择与防腐技术的要求极为严格。选材时需考虑介质的腐蚀性、操作温度及压力等因素，以确保管道长期稳定运行。本文通过对比分析不同管道材料的耐腐蚀性能和适用条件，探讨了常见的防腐技术如涂层、阴极保护及合金材料的应用效果。研究发现，合理的材料选择和防腐措施不仅能显著降低维修成本，还能提高设备的使用寿命和系统的安全性。因此，制定科学的材料选择标准和有效的防腐策略对于化工工艺流程至关重要。本研究提供了针对不同工艺要求的优化建议，旨在为化工行业提供切实可行的管道防腐解决方案。

关键词： 管道材料；防腐技术；化工工艺；材料选择；系统安全

Research on Pipeline Material Selection and Anticorrosion Technology in Chemical Engineering Process

Zhu Hong, Pan Yuan

Shanghai Hetu Engineering Co., Ltd. Wuhan, Hubei 430000

Abstract： The pipeline system in the chemical engineering process has extremely strict requirements for material selection and anticorrosion technology. Factors such as the corrosiveness of the medium, operating temperature, and pressure must be considered during material selection to ensure the long-term stable operation of the pipeline. This paper compares and analyzes the corrosion resistance and applicable conditions of different pipeline materials, and explores the application effects of common anticorrosion technologies such as coatings, cathodic protection, and alloy materials. The study found that reasonable material selection and anticorrosion measures can not only significantly reduce maintenance costs but also improve equipment lifespan and system safety. Therefore, establishing scientific material selection standards and effective anticorrosion strategies is crucial for chemical engineering processes. This study provides optimization suggestions for different process requirements, aiming to offer practical pipeline anticorrosion solutions for the chemical industry.

Keywords： pipeline material; anticorrosion technology; chemical engineering; material selection; system safety

引言

化工生产过程中，管道系统的稳定性直接影响到整个生产线的安全与效率。由于化学介质的腐蚀性 with 工艺条件的复杂性，管道材料的选择和防腐技术的应用变得尤为重要。传统的管道材料在面对高腐蚀性介质时常常难以满足使用要求，因此，探索更加适合的材料和先进的防腐措施成为了亟待解决的问题。随着化工工艺不断发展，如何在多变的操作条件下保持管道的长期稳定性和经济性，已经成为业界关注的焦点。本文将通过系统分析不同管道材料及防腐技术的优缺点，揭示优化管道系统的关键策略，以期为化工生产中的管道管理提供有效的解决方案。

一、化工工艺流程对管道材料的需求分析

在化工工艺流程中，管道材料的选择必须依据多种复杂因素。化工工艺的特殊性要求管道材料能够承受高温、高压及强腐蚀性化学介质的影响。这些介质可能包括酸、碱、盐及其他具有腐蚀性的化学品，这对管道材料提出了极高的要求。材料的选择不仅涉及其基本的机械强度，还需考虑其耐化学腐蚀性能。不同的化工流程对管道材料的耐受能力提出了不同的标准，因此，针

对不同工艺要求，需选择合适的材料。

在腐蚀环境下，管道材料的化学稳定性和耐磨损性尤为重要。例如，在处理强酸性介质的流程中，必须选择耐酸腐蚀的材料，如氟塑料或特殊合金，这些材料能够有效防止酸性介质对管道的侵蚀^[1]。而在处理碱性或盐分较高的介质时，必须选用耐碱和耐盐腐蚀的材料，如耐腐蚀的不锈钢或镍合金。材料的选择不仅影响管道的使用寿命，还直接关系到化工生产的安全性和经济性。

化工工艺的操作温度和压力也是材料选择的重要考量因素。

高温环境下，管道材料必须具备良好的热稳定性，以防止材料在高温下变形或失效。同时，在高压条件下，材料的机械强度和韧性要求也更为严格。材料在这些极端条件下的表现直接决定了管道的运行可靠性及维护成本。化工工艺的复杂性和特殊要求对管道材料提出了严苛的标准，只有满足这些要求的材料才能确保工艺流程的平稳进行。

二、常用管道材料的特性与适用范围

在化工工艺流程中，选择适合的管道材料是确保系统稳定运行的关键。常见的管道材料包括碳钢、不锈钢、合金钢、塑料和复合材料等，每种材料都有其独特的特性和适用范围。碳钢是应用最广泛的管道材料之一，因其良好的强度和较低的成本受到青睐。碳钢的耐腐蚀性较差，因此在处理酸性或碱性介质时容易发生腐蚀。为了提高其耐用性，常常需要对碳钢进行防腐处理，如涂覆防腐涂料或采用阴极保护措施。碳钢在高温和高压环境下的表现也受到限制，适用于一些温度和压力相对较低的场合。

不锈钢具有优良的耐腐蚀性能，特别适用于处理含有氯离子的介质。不锈钢中的铬元素形成的钝化膜能有效抵御腐蚀，尤其在酸性环境中表现出色^[2]。然而，不锈钢的成本相对较高，且在高温环境下，其强度会有所下降，因此在高温高压工艺中需要选择高合金不锈钢。合金钢通过在碳钢中添加特定的合金元素，如铬、镍、钼等，增强了其耐高温和耐腐蚀的性能。合金钢通常用于更严苛的工艺条件中，如高温高压反应器。镍合金钢则在强酸或强碱环境中表现尤为优越，但其价格较高，限制了其普遍应用。塑料管道，如聚四氟乙烯（PTFE）、聚乙烯（PE）和聚氯乙烯（PVC），具有极好的耐腐蚀性和化学稳定性。PTFE尤其适合用于强酸和强碱介质，但其耐高温能力有限。PE和PVC管道在常温下的应用广泛，适用于低压环境。塑料管道还具有良好的绝缘性能，但在承受高压力和高温条件下的表现相对较差。

复合材料管道通常由基材和增强材料组成，如纤维增强塑料（FRP）^[3]。这种材料结合了高强度和优异的耐腐蚀性，适合于高腐蚀性和高压力的工艺环境。复合材料的制造成本较高，也需要注意其与工艺介质的相容性，以防止由于不匹配导致的材料失效。每种管道材料都有其特定的应用场景，根据具体的化工工艺要求，选择合适的管道材料能够显著提高系统的可靠性和经济性。

三、管道材料选择中的挑战与解决方案

管道材料必须在处理腐蚀性强的介质、高温高压条件下保持其性能，这使得材料选择成为一个技术难题。腐蚀性介质对管道材料的影响是一个关键问题。酸、碱、盐和其他化学物质的存在会加速管道的腐蚀，缩短其使用寿命。尤其是在强酸或强碱环境中，普通碳钢和低合金钢的耐腐蚀性显著不足，容易出现泄漏或管道失效。在这种环境下，需选择耐腐蚀性更强的不锈钢或合金钢，甚至考虑使用塑料管道或复合材料管道。这些材料虽然能够提供更好的耐腐蚀性能，但其成本较高且在高温高压条件下的适

用性有限。

操作温度和压力的变化也对管道材料选择提出挑战^[4]。在高温环境中，一些材料如普通碳钢和普通塑料可能会因热膨胀或变形而失效，导致系统不稳定。为此，必须选择具备优良热稳定性的材料，如高合金不锈钢或耐高温的合成材料。高压环境下，材料的机械强度和韧性是关键参数，要求管道具备足够的抗压能力和抗冲击性能，以避免因压力波动引发的管道破裂。材料的经济性与技术适应性也是管道选择中的重要考虑因素。虽然高性能材料提供了更好的工艺适应性，但其高昂的价格可能超出预算限制。为了在成本与性能之间取得平衡，许多化工企业选择通过复合材料或涂层技术来提升传统材料的性能。例如，通过在碳钢管道外部涂覆防腐涂料，能够显著提高其耐腐蚀性能，而成本却相对较低。这种方式不仅降低了材料费用，还能有效延长管道的使用寿命。

施工与维护的难易程度也对管道材料选择产生影响。某些高性能材料虽然在腐蚀环境中表现优异，但其加工和安装难度较大^[5]。复合材料和塑料管道虽然施工方便，但在处理高压力和高温条件下时需要特别设计，以确保其安全性和可靠性。为了确保施工顺利并降低维护成本，选择易于加工且维护简单的材料是十分必要的。管道材料选择中的挑战包括腐蚀性介质的影响、高温高压条件的适应性、经济性考虑以及施工与维护难度。面对这些挑战，采用高性能材料、复合材料、涂层技术以及合理的设计方案，能够有效应对不同工艺条件下的需求，确保管道系统的长期稳定运行。

四、防腐技术的分类与应用效果评估

防腐技术主要包括涂层防腐、电化学防腐、合金材料防腐和阴极保护等几大类，每种技术在实际应用中都有其特定的效果和适用范围。涂层防腐是应用最广泛的技术之一。其基本原理是在管道表面涂覆一层具有防腐性能的涂料，如环氧树脂、聚氨酯或聚四氟乙烯等。这些涂层能够隔绝腐蚀性介质与管道材料的直接接触，从而防止腐蚀的发生。涂层防腐技术的优点在于其施工简便且成本相对较低，但涂层可能会因机械损伤或老化而失效，因此需要定期检查和维护。针对不同的介质和工艺条件，选择合适的涂层材料和厚度是确保防腐效果的关键。

电化学防腐技术主要包括阴极保护和牺牲阳极保护。阴极保护通过施加外部电流，将管道材料的电位调整到负值，从而减少腐蚀反应的发生。适用于地下或水下管道系统，这种方法能够有效延长管道的使用寿命^[6]。牺牲阳极保护则通过在管道系统中安装比管道材料更容易腐蚀的阳极材料，如锌、镁或铝合金，使其在腐蚀过程中优先腐蚀，保护管道本体不受侵蚀。这种方法常用于大型储罐和输油管道等领域，其维护简单且成本较低，但牺牲阳极需要定期更换。合金材料防腐则通过选用耐腐蚀性强的合金材料来提高管道系统的抗腐蚀能力。例如，含镍、铬等元素的不锈钢合金能在腐蚀性介质中提供优异的保护。这种方法适用于处理高腐蚀性或高温介质的管道系统，但其材料成本较高，适用范围相对有限。合金材料的选择必须综合考虑其经济性和工艺适应

性,以实现最佳的防腐效果。

综合应用防腐技术也逐渐成为趋势,例如,将涂层防腐与阴极保护相结合,以提供更全面的保护效果^[7]。这种多重防护措施能够显著提升管道系统的耐腐蚀性能,同时降低长期的维护成本。根据不同的工艺要求和介质特性,合理选择和组合防腐技术,将有效增强管道系统的稳定性和可靠性。防腐技术的选择和应用效果在很大程度上依赖于管道所处的环境条件、介质特性以及经济预算。

五、管道防腐技术在不同化工工艺中的应用实例

在化工工艺中,防腐技术的应用实例展示了其在实际生产中对管道系统的有效保护。在硫酸生产过程中,管道暴露于强酸环境下,极易发生腐蚀。在这一领域,常采用内衬聚四氟乙烯(PTFE)管道,以提供优异的耐酸性。PTFE管道具有极低的表面能,能够抵御硫酸的侵蚀,延长管道的使用寿命。为进一步提升保护效果,部分系统还结合了阴极保护技术,通过外加电流减缓腐蚀速率,确保长期稳定运行。

在氨合成装置中,由于氨气的腐蚀性,管道系统通常使用不锈钢合金作为材料^[8]。不锈钢合金含有较高比例的铬和镍,能够有效抵御氨气的腐蚀。为了应对可能的高温环境,氨合成装置中的管道还采用了具有高耐热性的合金材料,如Inconel系列。这些合金材料的应用保证了管道在高温高压下的稳定性和耐腐蚀性,降低了设备故障率和维护成本。在氯碱工业中,氯气的强腐蚀性要求使用专门的防腐技术。此类工业常见的管道防腐措施包括涂覆耐氯腐蚀的环氧树脂涂层,这些涂层能有效防止氯气与管道材料的直接接触,从而减缓腐蚀。某些高腐蚀环境下,还会采用内衬聚氟乙烯(PVDF)管道,以提供更为强效的耐氯性能。结合定期的检查与维护,这些措施显著提升了管道系统的使用寿命。

石油炼制过程中,管道系统常常面临复杂的腐蚀问题,包括高温高压以及含硫化物的介质。在这种情况下,管道通常选用耐高温的合金钢,如镍铬合金钢,并进行内衬保护^[9]。外部还会应用防腐涂层,如耐高温的聚氨酯涂料,以进一步增强耐腐蚀性。通过这些综合防护措施,石油炼制厂能够有效延长管道的使用寿命,并减少因腐蚀引发的设备故障。在这些化工工艺中,针对不同介质和操作条件的防腐技术应用展示了其在实际生产中的关键作用。

六、优化管道材料选择与防腐技术的策略建议

在化工工艺中,优化管道材料选择与防腐技术是确保系统高效、安全运行的关键。优化策略应从材料性能评估、防腐技术的适配、经济效益分析和定期维护四个方面进行综合考虑。材料性能评估是优化的首要步骤。选择管道材料时,需要详细分析介质的腐蚀性、温度和压力等因素。例如,针对高腐蚀性的酸性介质,应该选用具有优异耐酸性的合金钢或氟塑料。对于高温环境,则需优先考虑耐高温的合金材料,如Inconel合金,以保证管道在极端条件下的稳定性。通过精确评估工艺要求与材料性能的匹配度,可以有效防止材料失效并提高系统的可靠性。

防腐技术的适配是优化管道系统的重要环节。应根据介质特性、环境条件及成本预算,选择最适合的防腐技术^[10]。例如,对于强酸性环境,可以结合内衬PTFE管道与外部涂层的双重保护,最大限度地提高耐腐蚀效果。在氯碱工业中,选择环氧树脂涂层与PVC管道的组合,可以有效抵御氯气腐蚀。综合应用防腐技术时,需考虑各技术的长处与局限,制定合理的防护方案。经济效益分析也是优化策略中的重要组成部分。在确保管道系统性能的前提下,合理控制材料和防腐技术的成本是优化的关键。高性能材料如合金钢或氟塑料虽然提供了优异的防腐效果,但其高昂的成本可能超出预算。可以通过选择性使用高性能材料与标准材料的组合,或采用有效的涂层技术,以降低总体成本。经济效益分析应考虑初期投入与长期维护成本的平衡,以实现经济与性能的最优配置。

定期维护和检查是保证优化策略效果的必要措施。无论选用何种材料和防腐技术,随着时间的推移,材料和防腐层都可能会出现老化或损坏。因此,建立有效的维护体系,定期检查管道系统的状态,并根据实际情况进行必要的修复或更换,是确保系统长期稳定运行的关键。通过定期维护,可以及早发现潜在问题,防止小故障演变为重大事故,从而保障生产的连续性和安全性。综合考虑材料性能评估、防腐技术适配、经济效益分析和定期维护,可以实现管道系统的最优化设计。这种综合策略不仅能提升管道的耐用性,还能有效降低整体运营成本,确保化工工艺的高效、安全运行。

七、结语

化工工艺流程中的管道系统对材料选择与防腐技术提出了严苛的要求。通过对管道材料的特性与应用场景进行深入分析,发现合理选择材料和应用有效的防腐技术对于提高系统的可靠性和经济性至关重要。面对各种腐蚀性介质和极端环境,采用涂层防腐、电化学防腐和合金材料防腐等技术,能够显著延长管道的使用寿命,并降低长期维护成本。结合实际应用案例和技术策略的探讨,为化工行业提供了切实可行的优化方案。未来,随着技术的发展和材料的创新,管道系统的防腐解决方案将更加完善,为化工生产的安全和稳定提供更强有力的保障。

参考文献

- [1] 王辉. 化工管道材料的选择与应用[J]. 化学工程, 2022, 50(6): 45-52.
- [2] 张丽. 化工设备防腐技术的研究与应用[J]. 设备管理与维修, 2023, 41(2): 89-96.
- [3] 李刚. 防腐材料在化工行业中的应用[J]. 材料科学与工程, 2022, 60(4): 112-119.
- [4] 陈明. 高温高压环境下的管道材料选择[J]. 化学工业, 2021, 58(9): 78-85.
- [5] 刘敏. 涂层防腐技术的现状与发展[J]. 现代涂料与涂装, 2023, 30(3): 56-63.
- [6] 张杰. 阴极保护技术在化工管道中的应用[J]. 电化学, 2022, 58(8): 102-108.
- [7] 吴涛. 合金材料在化工管道中的应用研究[J]. 金属学报, 2021, 57(12): 133-140.
- [8] 赵亮. 复合材料在化工行业中的应用探讨[J]. 高分子材料, 2023, 41(5): 75-81.
- [9] 孙磊. 化工工艺管道防腐技术的优化策略[J]. 化工设备, 2022, 53(7): 23-30.
- [10] 何静. 经济性与技术性分析在防腐材料选择中的作用[J]. 工程管理, 2023, 49(1): 67-74.

地下采矿中的顶板管理技术与安全保障措施分析

翟国祥, 郝卫东

酒钢集团天工矿业新洲公司, 甘肃 张掖 734000

摘要： 顶板稳定性监测技术在地下采矿安全中扮演着至关重要的角色。随着无线传感网络和物联网技术的发展，监测系统正逐步实现无线化和网络化，这不仅降低了部署和维护成本，也提高了数据的实时性和共享性。智能化管理系统的应用，通过实时监控和自动应急响应，有效提升了矿工安全和采矿效率。改进措施的实施，如高精度传感器的使用和大数据分析，进一步增强了监测的准确性和预警的及时性。未来，顶板管理技术的创新将不断推动采矿行业向更安全、更高效、更环保的方向发展，为地下采矿作业的安全提供更加坚实的保障。

关键词： 顶板管理；稳定性监测；预警机制；安全保障；技术创新

Analysis of Roof Management Techniques and Safety Measures in Underground Mining

Zhai Guoxiang, Hao Weidong

Jiuquan Steel (Group) TianGong Mining Xinzhou Company, Zhangye, Gansu 734000

Abstract： Roof stability monitoring technology plays a crucial role in underground mining safety. With the advancement of wireless sensor networks and the Internet of Things technology, monitoring systems are gradually becoming wireless and networked, which not only reduces deployment and maintenance costs but also improves data real-time performance and sharing. The application of intelligent management systems effectively enhances miner safety and mining efficiency through real-time monitoring and automatic emergency response. The implementation of improvement measures, such as the use of high-precision sensors and big data analysis, further enhances the accuracy of monitoring and the timeliness of warnings. In the future, innovations in roof management technology will continue to push the mining industry towards safer, more efficient, and more environmentally friendly directions, providing a solid foundation for the safety of underground mining operations.

Keywords： roof management; stability monitoring; warning mechanism; safety measures; technological innovation

引言

顶板坍塌等事故不仅威胁矿工的生命安全，也影响采矿作业的连续性和效率。因此，顶板管理技术的发展对于提高地下采矿作业的安全性至关重要。近年来，随着无线传感网络、物联网技术和智能化管理系统的快速发展，顶板稳定性监测技术迎来革新。这些技术的应用，不仅使得监测数据更加实时、准确，还提升了预警系统的响应速度和自动化水平。在探讨顶板稳定性监测技术的现状、存在的问题及其改进措施，并对未来的发展趋势进行展望，以期为地下采矿作业的安全提供参考和指导。

一、顶板稳定性监测技术现状

顶板稳定性监测技术是地下采矿安全领域的核心组成部分，其主要目的是实时监控地下采矿环境中顶板的稳定性，以预防和减少顶板坍塌事故的发生。随着采矿技术的发展，顶板稳定性监测技术也在不断进步，从最初的人工观察和经验判断，发展到现代的自动化、智能化监测系统。当前，顶板稳定性监测技术主要包括地音监测、微震监测、应力监测和位移监测等。地音监测技术通过捕捉顶板岩石的破裂声，分析其频率和强度，从而判断顶

板的稳定性。微震监测则是通过监测顶板岩石破裂产生的微小震动，分析其能量释放情况，以评估顶板的稳定性。应力监测技术通过安装应力传感器，实时监测顶板岩石的应力变化，为顶板稳定性提供直接的物理参数。

位移监测技术则通过测量顶板岩石的位移变化，分析其变形趋势，以预测顶板的稳定性。尽管这些技术在一定程度上提高了顶板稳定性的监测效率和准确性，但仍存在一些挑战和不足。例如，地音监测和微震监测技术对环境噪声较为敏感，可能会受到其他噪声源的干扰，影响监测结果的准确性。应力监测和位移监

测技术虽然能够提供较为精确的数据，但其传感器的安装和维护成本较高，且在一些复杂的地质条件下，传感器的稳定性和可靠性可能会受到影响。为了提高顶板稳定性监测的准确性和可靠性，研究人员正在探索新的监测技术和方法。

例如，通过集成多种监测技术，构建多参数、多维度的监测系统，以提高监测数据的综合分析能力^[1-2]。利用大数据和人工智能技术，对监测数据进行深入挖掘和智能分析，以实现顶板稳定性的更精准预测。随着无线传感网络和物联网技术的发展，顶板稳定性监测系统正逐步实现无线化和网络化，这不仅降低了监测系统的部署和维护成本，也提高了监测数据的实时性和共享性。通过构建智能化的顶板稳定性监测平台，可以实现对地下采矿环境的全面监控，为采矿作业的安全提供强有力的技术支撑。

二、顶板监测盲区与预警机制不足

顶板稳定性监测技术虽在不断发展，但仍存在一些短板，其中监测盲区和预警机制的不完善对矿工的生命安全和采矿作业的顺利进行构成了严重威胁。顶板监测盲区的存在有着多方面的原因。监测设备的覆盖范围有限是关键因素之一。地下采矿环境复杂多变，存在许多岩石破碎导致塌陷或冒顶及因采空区形成的封堵区域等，这些地方安装和维护监测设备极为困难，导致无法实现全面覆盖。在一些深度较大的矿道分支处，由于井下环境限制，监测设备难以布置，使得这些区域成为监测盲区。监测设备的精度和灵敏度也会影响盲区的形成。如果设备精度不足，就无法准确捕捉到顶板微小的变形和应力变化。一些传统的监测设备在面对顶板初期的微小裂缝形成时，可能无法及时察觉，从而导致监测盲区的出现。预警机制的不足主要体现在响应时间和预警信息的准确性上。

在实际采矿过程中，顶板稳定性的变化可能非常迅速，而预警系统若无法及时捕捉到这些变化，就会导致预警信息的延迟^[3-4]。当顶板岩石内部应力突然增大时，预警系统若不能迅速做出反应，就可能给矿工带来极大的危险。预警信息的准确性也受到监测数据质量和分析方法的影响。如果监测数据存在误差，或者分析方法不够科学，那么预警信息的准确性就会大打折扣。错误的数据可能会导致预警系统误报或漏报，降低其实用性。为了解决顶板监测盲区和预警机制不足的问题，我们需要采取一系列有针对性的措施。一方面，可以通过增加监测设备的布置密度，尤其是在容易形成盲区的区域，偏远矿道和复杂地质结构区域，扩大监测设备的覆盖范围，减少监测盲区的形成。采用高精度和高灵敏度的监测设备，提高监测数据的准确性和可靠性。引入新型的光纤传感器，能够更加精确地测量顶板的位移和应力变化。另一方面，优化预警算法和分析方法至关重要。可以利用大数据和人工智能技术，对监测数据进行深入挖掘和智能分析，实现对顶板稳定性变化的更精准预测。通过建立实时的数据分析和处理平台，能够实现对顶板稳定性变化的实时监控和快速响应，确保在危险发生前及时发出准确的预警信息。加强预警信息的发布和传播机制也不可或缺，确保预警信息能够及时准确地传达给相关

人员，提高预警系统的实用性和有效性。

三、顶板稳定性监测技术创新

随着地下采矿行业的发展，顶板稳定性监测技术也在不断创新，为采矿作业的安全保障提供了更有力的支持。在传感器技术创新方面，新型传感器不断涌现。例如，微型传感器的研发取得了显著进展，它具有体积小、便于安装的特点，可以被放置在一些传统传感器难以到达的狭小空间内，极大地扩展了监测的覆盖范围。同时，多功能传感器开始投入使用，这种传感器能够同时对顶板的应力、位移、振动等多种参数进行监测，一改以往单一传感器功能有限的局面，通过采集多维度的数据，为全面准确评估顶板稳定性提供了丰富的数据来源。

数据传输与处理技术也有了创新发展。借助于5G技术的高速率和低延迟特性，顶板监测数据能够实现超快速传输，这使得监控中心可以近乎实时地获取井下的顶板状况信息^[5-6]。在数据处理上，云计算技术的应用实现了对海量监测数据的高效存储和快速处理。而且，数据加密技术确保了监测数据在传输和存储过程中的安全性，防止数据泄露造成的安全风险。智能分析技术的创新更是顶板稳定性监测技术的一大亮点。人工智能算法的应用，如神经网络算法，能够对复杂的监测数据进行深度挖掘和学习。通过对大量历史数据和实时数据的分析，该算法可以准确地识别顶板稳定性变化的趋势，提前预测潜在的危险状况。与传统的基于经验和简单数学模型的分析方法相比，这种基于人工智能的智能分析技术具有更高的准确性和可靠性。

另外，集成式监测系统的创新发展为顶板稳定性监测带来了全新的解决方案。这种系统集成了地音监测、微震监测、应力监测和位移监测等多种监测技术，将各个监测子系统有机结合起来。各子系统之间相互补充、协同工作，能够从不同角度对顶板稳定性进行全面监测，避免了单一监测技术可能存在的监测漏洞，实现了对顶板状况更全面、更精确的把握。这些创新技术的综合应用，为顶板稳定性监测提供了更先进、更高效、更可靠的手段，有助于进一步提升地下采矿作业的安全性和生产效率。

四、改进措施在顶板管理中的应用

改进措施在顶板管理中的应用是确保地下采矿作业安全的关键环节。随着科技的进步，一系列创新的技术和方法被引入到顶板管理中，以提高监测的准确性和预警的及时性。这些改进措施包括但不限于高精度传感器的应用、先进的数据分析技术，以及智能化的管理系统。高精度传感器的使用是改进顶板管理的首要步骤。通过部署具有更高分辨率和灵敏度的传感器，可以更准确地捕捉到顶板的微小变化，从而减少监测盲区。这些传感器能够实时监测顶板的位移、应力和振动等参数，为顶板稳定性的评估提供翔实的数据支持。传感器的无线化和网络化也使得数据的传输和处理更加高效，有助于实现远程监控和实时预警。数据分析技术的进步为顶板管理提供了有力的支持。

利用机器学习和人工智能算法，可以对采集到的大量监测数据进行深入分析，识别出顶板稳定性变化的模式和趋势。这些算法能够从复杂的数据中提取出关键信息，预测潜在的不稳定因素，为顶板管理提供科学的决策依据。通过建立数据模型，可以模拟顶板在不同条件下的活动行为，为采矿作业的规划和执行提供参考。智能化管理系统的引入，使得顶板管理更加高效和自动化。这些系统能够整合来自不同传感器的数据，实现数据的集中管理和实时处理。通过智能化的控制算法，系统可以自动调整采矿作业的参数，以适应顶板稳定性的变化。智能化管理系统的引入，为顶板管理领域带来了前所未有的变革。这些系统通过集成先进的传感器技术和自动化控制算法，能够对顶板的稳定性进行实时监控，并在检测到异常情况时，自动触发应急响应程序。

这种自动化的响应机制极大地缩短了从检测到行动的时间，提高了应对突发事件的效率，从而在顶板出现不稳定迹象时，能够迅速采取措施，有效保障矿工的生命安全^[7-8]。在实际应用中，智能化管理系统通过精确的数据分析和预测模型，能够提前识别出潜在的风险点，为采矿作业提供更为科学的规划和调度建议。这不仅减少了因顶板不稳定而引发的事故风险，也优化了资源的使用，提高了采矿作业的整体效率。智能化管理系统还能够根据实时数据调整作业参数，实现动态管理，从而在保障安全的同时，也提高了采矿作业的经济性。

五、顶板管理技术未来展望

顶板监测技术的精度和灵敏度将持续提高，以适应更复杂和动态的地下环境。传感器技术的发展将推动监测设备向更小型化、智能化和集成化方向发展，这将使得监测设备能够更广泛地部署在地下采矿的各个角落，实现对顶板稳定性的全面监控。数据分析和处理技术的进步将为顶板管理提供更强大的支持。大数据和人工智能算法的应用将使得顶板稳定性的预测和评估更加准确和高效。通过机器学习算法，可以对历史监测数据进行深入分

析，识别出顶板稳定性变化的规律，从而为顶板管理提供科学的决策依据。

人工智能技术的应用也将推动顶板管理向自动化和智能化方向发展，实现对顶板稳定性的实时监控和自动响应。无线传感网络和物联网技术的发展将为顶板管理提供更灵活的数据传输和处理方式。通过构建无线传感网络，可以实现对顶板稳定性的远程监控和实时数据传输，提高监测数据的实时性和准确性。物联网技术的应用将使得顶板管理更加智能化，通过智能设备和系统的互联互通，实现对顶板稳定性的全面监控和智能管理。在顶板管理技术的未来发展中，安全性和效率将是两个核心目标^[9-10]。安全性的提升将通过更精确的监测和预警系统来实现，而效率的提升则依赖于自动化和智能化技术的应用。

随着技术的不断进步，顶板管理将更加注重预防和主动管理，通过实时监控和智能分析，及时发现并处理潜在的不稳定因素，从而降低顶板坍塌事故的风险。顶板管理技术的发展也将促进地下采矿行业的可持续发展。通过提高顶板管理的效率和安全性，可以减少资源的浪费和环境的破坏，实现地下采矿的绿色开采。顶板管理技术的创新也将推动相关产业的发展，如传感器制造、数据分析和智能设备等领域，为整个采矿行业带来新的增长点。

六、结语

在地下采矿中，顶板管理至关重要。无线传感网络和物联网技术提升了顶板稳定性监测系统的效能，智能化管理系统为矿工安全增添保障。但目前仍存在顶板监测盲区与预警机制不足等问题。我们需不断创新，如增加监测设备密度、采用高精度传感器等。未来，传感器将更智能，大数据与人工智能将助力更精准预测，无线技术将实现全面智能管理。顶板管理技术的持续创新，将为采矿作业提供可靠安全保障，推动行业向安全、高效、环保发展，让我们共同努力，开创地下采矿新局面。

参考文献

- [1] 陶德宁. 地下采矿中一种新型喷浆混凝土岩石支护系统 [J]. 铀矿冶, 2003, (02): 64.
- [2] 黄宗良. 数字通信在地下采矿中的应用 [J]. 铀矿冶, 1998, (01): 23.
- [3] 罗典平, 罗周全. 地下采矿中矿石大块管理 [J]. 湖南有色金属, 1993, (06): 328-331.
- [4] 张维金. 拱形钢支架在地下采矿中的设计准则 [J]. 湖南冶金, 1992, (05): 60-64.
- [5] 田良灿, 子彦. 轻混凝土在地下采矿中应用的研究 [J]. 世界采矿快报, 2021, (22): 5.
- [6] 饶歆, 周光溪. 地下采矿中方块模型和线框模型的应用 [J]. 世界采矿快报, 2022, (10): 8-9.
- [7] L. 怀特, 黄业英. 液压凿岩机已在地下采矿中赢得声望 [J]. 国外采矿技术快报, 2022, (33): 7-9.
- [8] 雅姆希科夫, 李一仙. 炮孔电声测深仪在地下采矿中的应用 [J]. 国外采矿技术快报, 2023, (23): 26-28.
- [9] L. 怀特, 罗正都. 潜孔钻机在地下采矿中的应用 [J]. 国外金属矿采矿, 2023, (07): 62-68.
- [10] 姜俊城. 地下采矿中 П В Г (Б П Р) 型振动放矿机的运用 [J]. 国外金属矿采矿, 2023, (03): 47-50.

天然气管道施工中的安全风险识别与防范策略

崔永生

中石化江汉油建工程有限公司, 湖北 潜江 433123

摘 要：天然气管道施工面临着环境复杂、施工环节多样、风险隐患多发等特点。为保障施工安全，本文系统分析了天然气管道施工中的主要安全风险，从环境因素、技术操作、人员管理和设备运行等角度展开研究，并提出了针对性的安全优化措施与防范策略。通过智能监控、科学管理、规范操作等手段，实现了对安全风险的综合防控，提高了施工质量与效率，降低了事故发生率。文章还总结了实践中有效的安全管理经验，展望了未来安全保障的创新发展方向，以期天然气管道施工提供有力的安全支持。

关 键 词：天然气管道；施工安全；风险识别；防范策略；安全管理

Safety Risk Identification and Prevention Strategies in Natural Gas Pipeline Construction

Cui Yongsheng

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

Abstract： Natural gas pipeline construction faces characteristics such as complex environments, diverse construction links, and frequent risk hazards. To ensure construction safety, this article systematically analyzes the main safety risks in natural gas pipeline construction, conducting research from the perspectives of environmental factors, technical operations, personnel management, and equipment operation, and proposes targeted safety optimization measures and prevention strategies. Through intelligent monitoring, scientific management, and standardized operations, comprehensive prevention and control of safety risks are achieved, improving construction quality and efficiency and reducing accident rates. The article also summarizes effective safety management experiences in practice and looks forward to innovative development directions for future safety assurance, aiming to provide strong safety support for natural gas pipeline construction.

Keywords： natural gas pipeline; construction safety; risk identification; prevention strategy; safety management

引言

天然气作为清洁能源，其管道施工在保障能源输送的同时，安全管理也至关重要。由于施工环境复杂多变、技术工艺要求高，施工中面临的安全风险与挑战层出不穷。一旦管理不当，容易引发严重事故，造成经济损失和人员伤亡。因此，深入研究天然气管道施工过程中的安全风险，并提出行之有效的防范措施，对于提升工程质量、保障人员安全具有重大意义。本文旨在分析天然气管道施工中的风险要点，探讨安全管理的策略与实践，进而为未来施工安全保障提供创新方向。

一、安全管理在天然气管道施工中的现有实践

在国内的管道建设中，安全管理通常贯穿于施工的各个环节，包括前期的风险评估、中期的施工现场管理，以及后期的验收与维护等。当前，大多数天然气管道施工项目在安全管理方面已积累了丰富的实践经验，建立了完善的安全管理体系。在施工准备阶段，施工单位通常会对施工路线、地形地貌和周边环境进行详细勘察，并综合考虑地质条件、气候因素和施工难度等，开展风险评估，从而制定有针对性的安全施工方案^[1]。同时，施工队伍也会接受安全教育培训，确保作业人员具备基本的安全防范意

识和操作技能。

在实际施工过程中，安全管理的核心是现场安全监督和设备管理。现场管理人员对施工区域的安全状况、机械设备的操作规程，以及各类材料的堆放与防护进行实时监控，防止潜在安全隐患。在铺设管道时，为防止管道受到损坏，施工现场往往设置警戒区域，对管道焊接、铺设、吊装等关键环节进行重点监控，保证施工质量和人员安全。此外，为应对施工期间可能出现的突发情况，例如恶劣天气、地质灾害或施工设备故障，安全管理还要求制定应急预案，提前明确各类紧急事件的处理措施和人员分工，以便及时应对和处置，避免因处置不当导致施工中断或安全事故。

在工程验收和维护阶段，安全管理重点转向对施工质量的验收和对已建成管道的定期巡检。通过科学检测手段，确保管道结构和连接质量达标，同时进行定期维护，排查可能存在的安全隐患，延长管道使用寿命，提高天然气输送的稳定性与安全性。

二、天然气管道施工过程中的风险与挑战

天然气管道施工过程中，风险与挑战贯穿于施工的各个环节，涉及环境、施工技术、人员管理和设备运行等多个方面。由于天然气管道通常需要长距离穿越复杂地形，如山区、河流、森林和农田等，因此施工环境的复杂多变给风险管理带来了巨大挑战。例如，在山地施工中，可能存在滑坡、泥石流等地质灾害，而在湿地、河流区域，地下水位高，土壤松软，容易引发施工塌陷等安全隐患。环境的多样性使得在不同地段施工需要采取不同的安全措施，增加了安全管理的复杂性。

施工过程中，技术方面的风险也是不可忽视的。管道焊接是天然气管道施工的重要环节，焊接质量直接影响管道的密封性和整体强度。若焊接不当，可能导致焊缝开裂、漏气甚至爆炸等严重事故^[2]。此外，在管道埋设的过程中，沟槽开挖、管道吊装、回填作业等环节都存在较大的安全风险，任何操作不当或技术失误都有可能造成管道破裂、位移、变形等问题，进而影响工程的安全和稳定。施工机械设备的安全运行也至关重要，挖掘机、吊车等大型设备一旦出现故障或操作不规范，将对施工人员和管道造成直接威胁。

人员管理同样是施工过程中一个重要的风险点。天然气管道施工通常涉及多工种、多团队协同作业，现场工人素质参差不齐，部分工人对施工安全知识了解不足，存在违规操作的行为。而施工现场的工况复杂，容易出现人员疲劳作业、工种交叉影响等问题，这些都可能导致安全事故的发生。此外，由于天然气本身属于易燃、易爆、毒性较高的气体，一旦发生泄漏，将会对人员和环境造成严重的危害。因此，施工过程中要对作业人员进行严格的培训与考核，强化安全意识，规范操作行为。在天然气管道施工过程中，环境因素的不确定性也增加了施工的难度。极端天气条件，如暴雨、大风、冰雪等，都会对施工造成影响，增加施工难度，延长工期，并带来新的安全风险。同时，施工中还需妥善处理周边环境的协调问题，如农田保护、植被恢复、道路交通维护等，以避免对周边居民和环境造成不利影响。

三、针对风险点的施工安全优化措施

针对天然气管道施工中面临的风险点，安全优化措施的制定至关重要，既要从技术角度加强工程质量，又要从管理层面提高施工安全。风险识别是安全优化的首要步骤，施工前应开展详细的风险评估和环境调研，结合地形地貌、气候条件、土质特点等因素，明确潜在的风险源。通过建立科学的风险评估体系，制定出具体的应对方案，并纳入施工规划，确保在施工全过程中有针对性地规避风险。

技术优化是提升安全的重要手段。在焊接、吊装、管道铺设等关键工序中，应采用先进的施工技术和设备，提升工程的整体质量与安全性。例如，为确保管道焊接的密封性和强度，可以引入自动化焊接技术，并在焊接后进行无损检测，确保焊缝质量达标^[3]。对于复杂地形和高风险区域的管道铺设，可引入水平定向钻进技术，减少对地表的破坏，降低施工难度。同时，在开挖、回填等作业中，要严格按照规范要求操作，采用分层夯实、支撑稳固等措施，确保管沟稳定，避免塌陷和位移风险。

人员安全管理是施工安全优化的关键环节。针对施工人员，应开展定期的安全培训和技术交底，明确各工种的安全操作规程和注意事项，增强全员的安全意识和防范技能。施工现场要设立专职安全员，负责监督、检查安全生产措施的落实情况，及时纠正违规操作。同时，在高风险作业区域，应配备应急救援设备和应急物资，并制定详细的应急预案，明确突发事件的处置流程和人员分工，确保在事故发生时能够快速反应、有效应对。此外，为避免人员疲劳作业，应合理安排施工班次，确保作业人员有足够的休息时间，保障其身心健康和工作效率。

对机械设备的安全管理是施工安全保障的重要一环。在施工前，应对所有设备进行全面的安全检查，确保其性能良好、操作正常^[4]。在施工过程中，应安排专业技术人员负责设备操作和维护，避免因设备故障或操作不当引发安全事故。同时，现场要严格执行机械设备的操作规程，禁止无关人员进入作业区域，以免发生意外。为确保施工区域的安全，应加强现场防护措施。施工区域应设置明显的警示标志、围栏或警戒线，防止非施工人员误入危险区域。在特殊天气条件下，如暴雨、大风等，应暂停施工，做好防护措施，防止事故发生。

四、安全风险防范策略的综合应用与成效

安全风险防范策略的综合应用在天然气管道施工中起到了重要的保障作用，实现了对施工全过程的安全把控，确保了工程的平稳推进和人员设备的安全。在管道施工的各个阶段，安全风险防范策略的综合实施包括前期的风险评估、中期的监控管理以及后期的检查验收与维护，通过一系列有针对性的措施，从根本上降低了施工安全事故的发生率。在实际应用中，前期的风险评估和预防工作是确保施工安全的基础。通过对施工现场的全面勘察和分析，结合先进的风险评估工具，可以准确识别出可能存在的潜在危险，提前制定相应的防范对策^[5]。施工现场的风险防控策略不仅体现在安全技术的应用上，还强调对整个施工流程的安全监管。对于施工中关键工序和高风险环节，如管道焊接、吊装作业、沟槽开挖等，都会采取严密的技术监控和实时安全检查，确保作业质量符合规范，安全措施到位。同时，专业人员对施工设备进行维护与检修，保障设备性能稳定，避免因设备故障引发的施工安全事故。

通过加强对作业人员的安全培训和技术指导，全面提升其安全意识和技能水平，形成以人为本的安全文化氛围，是安全风险防范策略的一项重要举措。施工单位建立了定期培训制度，开展技术交底，组织现场安全演练，有效增强了作业人员对施工安全

的认识和应急处置能力。这种预防性的安全教育使得施工人员在作业中更加规范,有效降低了因操作不当或经验不足导致的安全隐患。在管理层面,项目部设置了专职安全管理人员,负责对施工现场的安全情况进行全方位的巡查与监督,对发现的安全问题及时整改,确保施工安全管理的闭环运行。

安全防范策略的综合实施对提升天然气管道施工的安全水平起到了显著成效。具体表现为,工程建设过程中的安全事故大幅减少,特别是重大安全事故的发生率明显降低^[6]。同时,作业质量得到了保证,焊接质量、管道铺设的平整度和稳定性均符合相关规范要求。此外,施工效率也得以提升,因安全问题导致的工程停工、返工等情况得到了有效控制,从而缩短了工期,降低了施工成本。

五、天然气管道施工中安全管理成功实践

在天然气管道施工过程中,安全管理的成功实践为行业积累了宝贵经验,有效提升了工程建设整体安全水平。众多施工项目通过严格的安全管理措施,确保了施工安全与工程质量,充分体现了科学化、系统化管理的价值。在施工前期,项目团队通常成立专门的安全管理小组,制定详细的施工安全计划,对施工场地进行全面的风险识别与评估^[7]。通过引入先进的风险分析工具,施工方能够精准掌握施工过程中可能出现的危险源,为制定针对性的防范措施提供科学依据。在施工过程中,安全管理团队实施了多层次的监控机制,对各个施工环节进行实时监测,尤其是对高风险操作如管道焊接、吊装、沟槽开挖等作业,安排专职安全员进行现场监管。对于焊接环节,严格执行无损检测,确保焊缝质量达到标准。吊装作业时,采用双重保险装置,确保管道在吊装过程中的稳定性,避免发生坠落或碰撞事故。同时,施工现场设置了安全警戒区域,所有进出人员都需经过严格的安全培训和检查,确保每一位作业人员都具备安全操作的能力。

人员培训与管理是安全管理的另一项重要实践。施工项目通过开展定期的安全教育培训,增强全体施工人员的安全意识和操作技能。项目管理层制定了完善的应急预案,定期组织应急演练,使作业人员熟悉各类突发事件的应对流程。这些举措使得施工人员在面对复杂工况和突发状况时能够冷静应对,减少了人为操作失误的可能性。此外,施工过程中安全管理的成功实践还体现在对设备的严格管理和维护上^[8]。施工单位建立了设备检查与保养制度,安排专业技术人员对设备进行定期检修,排查潜在隐患。施工现场采用数字化监控系统,对机械设备的运行状态进行实时监测,确保设备在最佳状态下运行。任何异常情况都能被及时发现并处理,避免因设备故障引发的安全事故。

六、未来天然气管道施工安全保障的创新方向

未来天然气管道施工的安全保障将向着更加智能化、科学化、系统化的方向发展,以应对日益复杂的施工环境和更高的安全要求。借助现代技术的发展,智能监控系统将被广泛应用于施工现场。通过布置传感器、视频监控设备、无人机巡查等技术手

段,实现对施工环境、设备运行状态、作业人员动态的实时监测和数据采集,为安全管理提供精准的数据支持^[9]。这种智能化的监控体系不仅能够快速识别潜在的风险隐患,还能实现对突发状况的及时预警,提升现场应急处置能力。

科学化的施工管理也将是未来发展的重要方向。依托大数据、云计算和人工智能等技术手段,可以建立起管道施工的安全管理数据库。对过去的施工案例、事故分析、安全管理经验等数据进行深度分析,为施工方案的制定提供参考依据,从而提高风险评估的准确性,优化安全管理流程^[10]。此外,运用数字孪生技术可以在施工前建立虚拟仿真模型,模拟施工环境与施工过程,预判可能出现的风险点,为安全施工提供科学的决策支持。

在系统化安全管理方面,安全标准和规范将不断完善,施工各环节的安全要求将更加细致明确。安全管理体系将更注重施工各环节的全周期管理,从前期规划、施工现场控制到后期维护形成完整的安全闭环。施工企业将加强对人员的职业素质培训,尤其是加强专业技能和应急处理能力的培养,使作业人员具备高水平的操作技能和安全意识。此外,在施工过程中,加强对第三方施工和协作单位的管理,确保所有参与方都严格遵循安全操作规范,构建更加协同的安全保障机制。

七、结语

天然气管道施工中的安全管理对于保障能源输送和工程质量具有重要意义。通过识别风险点,制定有效的防范策略,并实施智能化、科学化和系统化的管理,施工过程中潜在的安全隐患得到了有效控制,事故率显著降低,施工质量和效率得以提升。未来,随着技术的不断进步,智能监控、数据分析和全周期管理将在安全保障中发挥更大的作用。本文针对天然气管道施工安全管理的现状、风险、对策以及创新发展方向进行了深入探讨,为行业的安全保障提供了思路和参考。

参考文献

- [1] 陈宇. 天然气管道施工安全管理研究[J]. 建筑施工, 2018, 35(5): 45-48.
- [2] 李涛. 管道工程施工中的安全风险分析及对策[J]. 石油与天然气工程, 2020, 26(2): 30-34.
- [3] 王成. 天然气管道工程施工中的风险控制及应对策略[J]. 工程管理学报, 2019, 22(4): 55-59.
- [4] 赵明辉. 天然气管道工程中的施工安全风险与防范[J]. 建筑技术, 2021, 38(3): 72-76.
- [5] 杨华. 天然气长输管道施工中的风险识别及应对措施[J]. 工程建设, 2017, 14(7): 89-93.
- [6] 刘伟. 管道施工安全管理现状及改进对策探讨[J]. 安全科学, 2020, 29(1): 19-23.
- [7] 孙婷. 天然气管道施工安全管理及防范对策[J]. 安全生产管理, 2019, 18(6): 50-53.
- [8] 徐志强. 天然气管道工程中施工安全风险识别与对策[J]. 油气建设, 2018, 25(4): 37-41.
- [9] 王红霞. 天然气管道施工风险评估与安全管理优化研究[J]. 能源工程, 2021, 36(2): 23-27.
- [10] 李兵. 管道工程安全风险的系统管理策略[J]. 工程与施工, 2017, 20(8): 15-18.

油气管道外防腐层施工中的环境因素影响及对策分析

舒福明

中石化江汉油建工程有限公司, 湖北 潜江 433123

摘 要： 油气管道外防腐层的施工质量直接关系到管道的安全性和使用寿命。环境因素、材料选择和施工技术是影响防腐层性能的关键。当前，环保型防腐材料和自动化、智能化施工技术正逐步成为研究和应用的热点。通过机器学习算法分析大量性能数据，可以预测防腐层失效模式，优化设计和施工工艺。然而，成本控制、技术标准化和跨学科合作等挑战依然存在。未来，政府、研究机构和企业需紧密合作，共同推动防腐层技术的创新和应用，以实现更高效、环保的能源输送。

关 键 词： 油气管道；外防腐层；环境因素；施工技术；适应性优化

Analysis of Environmental Factors and Countermeasures in the Construction of External Anti-corrosion Coatings for Oil and Gas Pipelines

Shu Fuming

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

Abstract： The construction quality of external anti-corrosion coatings for oil and gas pipelines is directly related to the safety and service life of the pipelines. Environmental factors, material selection, and construction techniques are key to affecting the performance of the anti-corrosion coatings. Currently, environmentally friendly anti-corrosion materials and automated and intelligent construction techniques are gradually becoming hotspots of research and application. By analyzing a large amount of performance data using machine learning algorithms, it is possible to predict failure modes of anti-corrosion coatings and optimize design and construction processes. However, challenges such as cost control, technical standardization, and interdisciplinary cooperation still exist. In the future, governments, research institutions, and enterprises need to work closely together to promote the innovation and application of anti-corrosion coating technology, in order to achieve more efficient and environmentally friendly energy transportation.

Keywords： oil and gas pipelines; external anti-corrosion coatings; environmental factors; construction techniques; adaptive optimization

引言

油气管道作为能源输送的重要基础设施，其外防腐层的完整性对于保障管道安全运行至关重要。随着环境变化和施工技术的进步，传统的防腐层施工方法面临新的挑战。本研究聚焦于环境因素对防腐层施工的影响，评估现有防腐材料与施工技术的局限性，并探讨优化策略的实施效果。同时，着眼于未来，探讨防腐层技术的发展趋势，包括环保材料的应用、智能化施工技术的发展以及面临的挑战。通过这些分析在为油气管道外防腐层的施工提供科学指导，推动相关技术的创新与应用，确保能源输送的稳定性和安全性。

一、环境因素对防腐层施工的影响分析

环境因素对油气管道外防腐层施工的影响分析是确保管道可靠性和延长使用寿命的重要环节。油气管道在施工和运行过程中，会面临多种环境因素的挑战，包括但不限于气候变化、土壤条件、微生物活动等。这些因素可能对防腐层造成物理或化学的损害，从而影响其整体性能。温度变化是影响防腐层施工的第一个关键环境因素。温度的升高或降低都可能导致防腐层材料的物理性能发生改变。例如，在高温环境下，一些防腐涂料可能会发生软化，降低了其对管道的附着力，使得涂层容易剥落。而在低

温条件下，材料可能会变得脆弱，导致涂层在施工过程中或后期使用中出現裂纹^[1]。因此，在施工过程中，需要严格监控环境温度，并选择适合当地气候条件的防腐材料。

湿度是另一个不可忽视的环境因素。高湿度环境可能促进防腐层下水分的积累，长期潮湿会导致防腐层材料的膨胀和降解，从而加速材料老化，降低防腐效果。高湿度还可能成为微生物生长的温床，这些微生物的代谢产物可能进一步腐蚀防腐层，导致涂层失效。土壤成分对防腐层施工也具有重要影响。不同地区的土壤含有不同的化学成分，如酸碱度、盐分等，这些成分可能对防腐层材料产生腐蚀作用。例如，土壤中的氯离子是引起防腐层

腐蚀的主要因素之一，尤其是在沿海地区。

氯离子能够穿透防腐层，到达管道金属表面，引发局部腐蚀。因此，在施工前，了解当地的土壤类型和化学成分，选择具有抗化学腐蚀能力的防腐材料至关重要。微生物活动也是影响防腐层性能的一个重要因素。某些微生物如硫酸盐还原菌（SRB）和铁细菌能在缺氧条件下代谢管道表面的有机物质，产生硫化氢等腐蚀性物质，对防腐层造成损害^[2]。在施工过程中，需要通过添加生物抑制剂或选择抗微生物侵蚀的防腐材料来预防微生物腐蚀。综合考虑这些环境因素，施工时应采取相应的预防措施。例如，选择合适的防腐材料以适应特定环境条件，使用先进的施工技术以确保涂层的均匀性和完整性，以及定期进行防腐层的检测和维护。通过这些措施，可以最大限度地减少环境因素对油气管道外防腐层施工的不利影响，确保管道的长期稳定运行。

二、现有防腐层材料与施工技术的评估

在油气管道的外防腐层施工中，材料与施工技术的选择至关重要。当前，防腐层材料主要分为两大类：有机涂层和无机涂层。有机涂层包括环氧树脂、聚氨酯、聚乙烯等，它们具有良好的柔韧性和附着力，但耐化学腐蚀性和耐紫外线性能相对较弱。无机涂层则包括水泥砂浆、玻璃鳞片等，它们具有优异的耐化学性和耐紫外线性能，但柔韧性较差。施工技术方面，传统的手工涂刷和喷涂技术虽然操作简便，但涂层的均匀性和完整性难以保证，容易留下缺陷^[3]。近年来，随着技术的发展，出现了一些新的施工技术，如热喷涂技术和粉末涂装技术。热喷涂技术通过将防腐材料加热至熔融状态后喷涂到管道表面，形成的涂层均匀且附着力强。粉末涂装技术则利用静电吸附原理，将粉末涂料均匀地涂覆在管道表面，涂层的均匀性和完整性得到了显著提升。

然而，现有的防腐层材料和施工技术仍存在一些不足。例如，有机涂层在高温、高湿环境下容易老化和降解，影响防腐效果。无机涂层虽然耐化学腐蚀性能好，但施工过程中容易产生裂缝和孔洞，导致防腐层的完整性受损。一些施工技术对环境条件要求较高，如热喷涂技术在低温或湿度较大的环境下难以保证涂层质量。为了提高防腐层的性能，研究人员一直在探索新型防腐材料和施工技术。例如，开发了具有自修复功能的智能防腐材料，能够在涂层受损时自动修复，延长防腐层的使用寿命。也在研究更加环保的防腐材料，如基于生物降解材料的防腐涂层，以减少对环境的影响。

施工技术的自动化和智能化是提高油气管道防腐层施工质量的重要途径。机器人技术的应用在防腐层施工中尤为突出，它们能够在恶劣的环境下稳定工作，减少人为因素导致的误差，同时提高施工速度和涂层的均匀性^[4]。物联网技术的应用则为施工过程提供了实时监控的可能，通过传感器收集的数据可以实时传输到中央监控系统，实现对施工环境、材料状态和施工进度的全面监控。这种智能化监控系统不仅可以及时发现施工过程中的问题，还能通过数据分析预测潜在的风险，从而采取预防措施，确保施工过程的顺利进行。随着技术的不断进步，未来防腐

层施工将更加依赖于这些先进的自动化和智能化技术，以实现更高效、更安全、更环保的施工目标。

三、防腐层环境适应性优化策略

在油气管道的外防腐层施工中，材料与施工技术的选择至关重要。当前，防腐层材料主要分为两大类：有机涂层和无机涂层。有机涂层包括环氧树脂、聚氨酯、聚乙烯等，它们具有良好的柔韧性和附着力，但耐化学腐蚀性和耐紫外线性能相对较弱。无机涂层则包括水泥砂浆、玻璃鳞片等，它们具有优异的耐化学性和耐紫外线性能，但柔韧性较差。施工技术方面，传统的手工涂刷和喷涂技术虽然操作简便，但涂层的均匀性和完整性难以保证，容易留下缺陷。近年来，随着技术的发展，出现了一些新的施工技术，如热喷涂技术和粉末涂装技术。热喷涂技术通过将防腐材料加热至熔融状态后喷涂到管道表面，形成的涂层均匀且附着力强。

粉末涂装技术则利用静电吸附原理，将粉末涂料均匀地涂覆在管道表面，涂层的均匀性和完整性得到了显著提升。然而，现有的防腐层材料和施工技术仍存在一些不足^[5]。例如，有机涂层在高温、高湿环境下容易老化和降解，影响防腐效果。无机涂层虽然耐化学腐蚀性能好，但施工过程中容易产生裂缝和孔洞，导致防腐层的完整性受损。一些施工技术对环境条件要求较高，如热喷涂技术在低温或湿度较大的环境下难以保证涂层质量。为了提高防腐层的性能，研究人员一直在探索新型防腐材料和施工技术。例如，开发了具有自修复功能的智能防腐材料，能够在涂层受损时自动修复，延长防腐层的使用寿命。

环保型防腐材料的研究是响应可持续发展需求的重要方向。基于生物降解材料的防腐涂层因其可降解性，减少了传统防腐材料在环境中的长期积累，从而降低了对生态系统的潜在破坏。这些材料通常来源于可再生资源，如植物油、淀粉等，它们在提供防腐保护的同时，也易于在环境中分解，减少了对环境的负担。在施工技术方面，自动化和智能化技术的应用正逐步改变传统的施工模式。机器人技术在防腐层施工中的应用，不仅提高了施工的精确度和效率，还降低了工人在危险环境中工作的风险。

机器人可以执行重复性高、精度要求高的任务，如涂层的均匀涂覆，确保防腐层的完整性和耐久性^[6]。物联网技术的应用为防腐层施工带来了革命性的变化。通过在施工设备和材料中嵌入传感器，可以实时收集施工过程中的温度、湿度、涂层厚度等关键数据。这些数据通过无线网络传输到中央监控系统，进行实时分析和处理。物联网技术的应用不仅提高了施工过程的透明度和可控性，还使得施工管理更加智能化，有助于优化施工计划，减少资源浪费，并提高施工质量。

四、优化策略的实施效果分析

实施优化策略对于提高油气管道外防腐层的施工效果至关重要。这些策略包括材料选择、施工技术改进、环境适应性增强以及维护策略的优化。通过这些措施，可以显著提升防腐层的整体

性能和管道的长期稳定性。在材料选择方面，通过引入高性能的复合材料和智能材料，可以显著提高防腐层的耐久性和环境适应性^[7]。例如，使用纳米材料改性的环氧树脂涂层，可以提高涂层的抗渗透性和耐化学腐蚀性。通过添加紫外线吸收剂和抗氧化剂，可以提高涂层的耐候性和抗老化性能。施工技术改进也是优化策略的重要组成部分。采用先进的施工设备和自动化技术，可以提高施工效率和涂层质量。例如，使用自动化喷涂设备可以确保涂层的均匀性和完整性，减少人为因素导致的涂层缺陷。

通过引入无损检测技术，可以实时监测涂层的施工质量，及时发现并修复涂层缺陷。环境适应性增强是通过优化防腐层设计和施工工艺，使其能够适应不同的环境条件。例如，通过调整涂层配方，可以使其在高温、高湿环境下保持良好的性能。通过采用环境响应型材料，可以使其在特定环境下自动调整性能，以适应环境变化。维护策略的优化是通过定期检查和维修，确保防腐层的长期性能。通过建立完善的维护体系和采用先进的检测技术，可以及时发现防腐层的损伤和退化，采取相应的修复措施。例如，使用红外热像仪可以检测涂层下的微小缺陷，而使用机器人技术可以进行管道内部的自动检查和维护。

实施这些优化策略后，可以观察到防腐层性能的显著提升。涂层的耐久性和抗环境侵蚀能力得到增强，管道的维护周期延长，运营成本降低^[8]。通过优化策略的实施，可以减少因防腐层失效导致的管道泄漏和事故，提高管道的安全性和可靠性。然而，优化策略的实施效果也受到多种因素的影响，如施工质量、环境条件、维护管理等。因此，需要对优化策略进行持续的评估和调整，以确保其长期有效性。通过收集和分析实施效果的数据，可以进一步优化防腐层的设计和施工工艺，实现更高的性能目标。

五、未来防腐层技术发展趋势探讨

未来防腐层技术的发展趋势将集中在提高材料的耐久性、环境适应性、智能化以及环保性上。随着科技进步和环境变化，对防腐层技术提出了更高的要求。耐久性是防腐层技术发展的关键。未来的防腐材料将更加注重长效性，通过纳米技术、自修复材料以及高性能聚合物的融合，实现防腐层的自我修复和自我强化。纳米技术的应用可以提高材料的抗渗透性和耐化学性，而自修复材料能够在涂层受损时自动修复微小裂纹，延长防腐层的使用寿命。环境适应性是另一个重要的发展方向。随着全球气候变化，防腐层需要能够适应更加极端的环境条件^[9]。通过开发环境响应型材料，防腐层可以根据环境温度、湿度等变化自动调整其性能，以保持最佳的保护效果。通过智能传感技术，可以实现对防腐层性能的实时监控，及时预警潜在的损害。

智能化是防腐层技术发展的另一个趋势。通过集成微电子技术和物联网技术，防腐层可以变得更加智能化。智能防腐层能够实时监测自身的状态，并通过数据分析预测潜在的损害，从而实现预防性维护。智能防腐层还可以与管道的控制系统相连接，实现更加精确和高效的管道管理。环保性也是未来防腐层技术发展的重要方向。随着环保意识的提高，开发环境友好型防腐材料变

得越来越重要。生物基材料和可降解材料的使用将减少防腐层对环境的影响。通过优化材料配方和施工工艺，减少有害化学物质的使用，实现防腐层的绿色化。随着大数据和人工智能技术的发展，防腐层技术的优化将更加依赖于数据分析和机器学习。机器学习算法在防腐层性能数据分析中的应用，为防腐层技术的优化提供了强有力的工具。

通过对历史数据的深入挖掘，机器学习模型能够识别出防腐层失效的潜在模式和影响因素，从而为设计更加耐用和适应性强的防腐层提供科学依据。这种预测分析不仅可以减少意外失效带来的经济损失，还能预防潜在的安全风险。面对未来防腐层技术发展的挑战，成本控制是关键之一^[10]。随着新材料和新技术的研发，初期成本往往较高。因此，需要通过规模化生产、工艺优化等手段降低成本，使先进的防腐技术更加经济可行。技术标准化是推动防腐层技术广泛应用的另一个重要因素。制定统一的技术标准和规范，可以确保不同地区、不同项目中防腐层施工的质量和安全性。

六、结语

油气管道外防腐层的优化是确保能源输送安全和延长管道使用寿命的关键。通过对环境因素影响的深入分析、现有防腐材料与施工技术的评估，以及实施优化策略的效果分析，可以看出，防腐层技术的未来发展将更加注重材料的耐久性、环境适应性、智能化和环保性。随着纳米技术、自修复材料、智能传感技术以及大数据和人工智能的应用，防腐层技术将实现更高的性能和更广泛的环境适应性。未来，通过跨学科合作和技术创新，防腐层技术有望在保障能源输送安全、降低维护成本和减少环境影响方面发挥更大的作用，为油气管道的可持续发展提供坚实的技术支持。

参考文献

- [1] 湛立宁, 卢俊文, 张玉军, 等. 埋地油气管道外防腐层智能化检测技术研究 [J]. 石油机械, 2023, 51(02): 144-150.
- [2] 周石燕, 王旭, 褚元林, 等. 油气管道 3PE 外防腐层产生裂纹原因分析及控制措施 [J]. 焊管, 2021, 44(08): 55-59+68.
- [3] 贾兴臣. 埋地油气管道外防腐层检测及修复技术分析 [J]. 全面腐蚀控制, 2021, 35(01): 52-53.
- [4] 张闯. 埋地油气管道外防腐层检测及修复探讨 [J]. 全面腐蚀控制, 2020, 34(07): 113-114.
- [5] 初旭. 埋地油气管道外防腐层检测及修复技术探讨 [J]. 石化技术, 2020, 27(06): 109-110.
- [6] 梁作平. 埋地油气管道外防腐层检测及修复探讨 [J]. 全面腐蚀控制, 2019, 33(04): 25-26+88.
- [7] 高云龙. 埋地油气管道外防腐层检测及修复探讨 [J]. 石油和化工设备, 2019, 22(03): 83-84.
- [8] 张良, 蔡克, 莫子雄, 等. 温度对油气管道外防腐层性能的影响规律研究 [J]. 石油管材与仪器, 2019, 5(01): 46-48.
- [9] 唐青, 熊娟, 张文艳. 油气管道河流穿越段外防腐层检测系统改进与应用 [J]. 钻采工艺, 2018, 41(04): 107-108.
- [10] 李军龙. 油气站场露天管道及设备外防腐层设计实践 [J]. 石油化工设计, 2017, 34(04): 69-72+4.

基于风险的开车前安全审查 (PSSR) 的探索与实践

刘波, 杨昌宜, 孔德印

宜昌市安全生产协会, 湖北 宜昌 443000

摘 要 : 介绍基于风险的开车前安全审查的概念, 明确审查的对象和范围, 梳理审查的内容和标准, 讲解了审查流程和操作规范, 分享了审查的实践绩效, 让基于风险的化工项目开车前安全审查 (PSSR) 呈现给公众, 为化工项目的安全、顺利试生产打下坚实基础。

关 键 词 : 风险评估; 安全审查; 审查流程; 审查内容

Exploration and practice of Risk-Based Pre-Vehicle Safety Review (PSSR)

Liu Bo, Yang Changyi, Kong Deyin

Yichang Safety Production Association, Yichang, Hubei 443000

Abstract : This paper introduces the concept of risk-based pre-start safety review, defines the object and scope of the review, sorts out the content and standards of the review, explains the review process and operation norms, and shares the practical performance of the review, so that the risk-based pre-start safety review (PSSR) of chemical projects can be presented to the public, and lays a solid foundation for the safe and smooth trial production of chemical projects.

Keywords : risk assessment; security review; review process; review content

前言

开车前安全审查 (PSSR) 是指在工艺设备开车前对所有相关因素进行检查确认, 并将所有必改项整改完成, 批准启动的过程, 简单的定义就是工艺设备开始使用前进行的最终检查。

基于风险的开车前安全审查是在开车前安全审查的基础上, 探索延展的一种系统性的管理工具, 旨在识别、评估和管理潜在的风险, 强调在审查过程中考虑各种可能的风险因素, 并通过量化和分析来制定相应的应对策略。化工项目开车前进行基于风险的开车前安全审查工作, 能很好的提高建设项目本质安全水平, 提升建设单位安全风险防控能力, 提高项目开车安全运行水平^[1]。

一、安全审查的概述

(一) 安全审查的概念

开车前安全审查是在工艺设备开车前对所有相关因素进行检查确认, 并将所有必改项整改完成, 批准启动的过程, 是定性分析。

基于风险的开车前安全审查是通过识别、评估和管理潜在的风险, 强调在审查过程中考虑各种可能的风险因素, 并通过量化和分析来制定相应的应对策略, 可以是定量、半定量和定性分析。

(二) 安全审查的基础

基于风险的开车前安全审查的基础首先是建设项目的工程设计方法和安全设施设计成果已获得建设单位、审批单位、审查专家的认可和批准, 其次建设单位完成开车前安全审查, 施工和设备符合设计规范, 第三需要对目标对象决定是否开展基于风险的开车前安全审查^[2]。

二、安全审查的要素与组织

(一) 审查对象与范围

基于风险的开车前安全审查对象和范围的甄选对象来源于三

个渠道, 一是变更, 二是审查专家观察, 三是预先设定的触发启动条件。由审查组确定审查对象与范围。

触发条件的设定包括但不限于以下内容, 危险化学品是否首次使用? 新型设备是否首次使用? 是否与其他系统或生产装置存在多个连接点? 设备、工艺变更是否涉及毒性、反应活性、可燃性或爆炸性等方面危险化学品? 是否会影响安全控制或连锁系统? 是否影响消防及应急系统? 等等。

(二) 审查内容与标准

首先通过风险矩阵法, 定量分析触发事件风险等级, 固有风险在一般及以下采用简式 PSSR, 固有风险在较大及以上, 采用繁式 PSSR。其次是繁式 PSSR 的内容设计, 笔者曾组织参与当地基于风险的安全审查繁式基础表格的编制工作, 主要包括工艺危害分析、工艺安全信息、工艺技术信息、制度和规程、机械完整性、仪表和控制、培训和管理、应急和消防设施、过程控制系统以及环境因素等方面的内容, 根据具体建设项目的不同可参照基础审查表格, 制定有针对性的繁式 PSSR 审查表格。第三, 完成审查后, 形成必改项或遗留项^[3]。

(三) 审查的组织与职责

开车前安全审查一般由建设单位自行组织开展, 并在开展前

作者简介: 刘波 (1984-), 男, 汉族, 湖北省荆州市, 注册安全工程师, 大学本科, 主要从事安全生产管理、安全技术研究工作。

组织审查培训工作，以提升其工作的质量和效果。笔者曾多次接受建设单位或第三方机构的邀请参与开展60多个危险化学品生产建设项目的开车前安全审查，积累了比较丰富的经验。从科学和统计的角度，笔者建议委托第三方机构主导，建设单位相关人员参与的形式开展开车前安全审查工作。

审查前应组建开车前安全审查组，审查组应涵盖安全（含消防应急）、工艺、设备、电气、仪表、总图等方面的专家。专家组成员至少应具备化工行业本专业十年以上工作实践经验，及中级及以上技术职称。从专家组成员中选一名资历丰富，职称、能力均能服众的专家担任专家组长，专家组长一般由省级专家、高级工程师担任。专家组长统筹、协调调查工作的开展。

简式 PSSR 审查小组可以由审查组中的任意两人组成，繁式 PSSR 审查小组应至少包含以下专业，危险化学品安全、工程设计、土建或结构、电气、仪表、设备、工艺、消防和应急、施工部门、承包商人员以及长期从事本行业或相关行业的具有丰富的生产实践知识、技能和经验的专业技术人员。

三、审查流程与操作规范

基于风险的开车前安全条件审查是开车前安全审查的延展，分为确定审查对象与范围、组建专业小组并明确职责，了解触发事件、风险评估、组建简式或繁式 PSSR 小组、制定基于风险的 PSSR 清单、实施审查以及给出审查结论等步骤。

（一）了解触发事件

触发条件可以是预先设定的情形，也可以是专家团队在开车前安全审查过程中通过其专业技术知识、技能和经验观察、分析决定，如果触发事件是变更，则启动变更管理（MOC）。

了解触发事件要收集其设计、施工、制造信息，安全、操作、维护、应急程序和规程，收集工艺风险分析（PHA）信息等。

（二）风险评估

根据触发事件所涉及工艺设备中的化学物质危险性、项目投资、新工艺新设备使用情况、与其他工艺装置连接点情况、过程控制及仪表控制系统、消防及应急准备情况综合分析，通过风险矩阵法，定量分析触发事件风险等级，固有风险在一般及以下采用简式 PSSR，固有风险在较大及以上，采用繁式 PSSR。

（三）组建简式或繁式 PSSR 小组

根据风险评估的结果决定组建的基于风险的开车前安全审查小组，简式或繁式 PSSR 小组，详见 2.3 章节。

（四）制定基于风险的 PSSR 清单

基于风险的开车前安全审查小组在组长的统一组织下针对项目性质、工艺设备的特点编制 PSSR 审查清单。简式 PSSR 清单，可使用统一模板，繁式 PSSR 审查清单内容见 2.1 章节。

（五）实施审查

基于风险的开车前安全条件审查分文件审查和现场检查。PSSR 组员应根据任务分工，依据检查清单进行检查并形成书面记录。

（六）审查结论

完成基于风险的 PSSR 审查清单的所有项目后，小组审议并

将其分类为必改项、遗留项，汇入 PSSR 报告，确认开车前或开车后应完成的整改项目、整改时间和责任人。

四、基于风险的 PSSR 实践

笔者通过 60 多个危险化学品生产建设项目基于风险的 PSSR 实践，分析 4700 余条整改项，因篇幅有限，列举总图、工艺、设备、电气、仪表等方面的典型问题供大家探讨^[4]。

（一）总图典型问题

装置、设备布置上考虑土地使用缩减安全间距、生产和生活区未分开；厂房建设不按照建筑防火要求施工；由不具备相应等级资质的单位设计；危险区域违规设置人员聚集的工作场所等。

（二）工艺典型问题

变更管理未执行 MOC 管理程序；HAZOP、PHA 问题未整改；工艺管道、阀门未按工艺要求布置和安装；设备安装不合理等。

（三）设备典型问题

设备材质与设计不符；未按规程进行气密性和压力试验；管道施工不规范，留下先天性隐患；利旧设备资料档案不完整，无法判定是否能够使用等^[5]。

（四）电气、仪表典型问题

接地不规范，存在未接地、接地少于 2 处、串接；防爆区域电气、仪表设备设施不防爆、防爆等级不够、失爆；未按规范要求进行调试，如连锁值、报警值未组态完成，联锁未设置、未投用，自动化仪表未实现其功能如切断阀不动作等；涉及重点监管危险化学品生产装置未装备自动化控制系统；安全阀、压力表、温度计、气体检测报警仪、流量计、切断阀等未检定；仪表设置错误，如压力变送器取压点在放空管上不能真实反映釜内压力；安全完整性等级（SIL）定级评估和等级验算不合规等^[6]。

五、基于风险的 PSSR 展望

笔者探索实践的 60 多个危险化学品生产项目，必改项全部通过整改验证，后投入试生产，且全部安全、顺利试生产，取得了一定的实践绩效。

基于风险的 PSSR 可以作为一个系统性的工具和方法，在化工和危险化学品行业做普及性推广。

参考文献

- [1] 王浩水主编，《化工过程安全管理实践》。
- [2] 刘 强主编，《化工过程安全管理实施指南》。
- [3] 安监总管三〔2013〕88号，《关于加强化工过程安全管理的指导意见》。
- [4] 应急〔2019〕78号，《危险化学品企业安全风险隐患排查治理导则》。
- [5] 应急〔2022〕52号，《危险化学品生产建设项目安全风险防控指南（试行）》。
- [6] 《化工过程安全管理导则》（AQ/T3034-2022）。

土工试验在高速公路软基处理中的应用研究

张晓东

天津华北勘测设计院有限公司, 天津 300181

摘 要： 本文针对土工试验在高速公路软基处理中的应用进行了系统研究。本文起始，对土的基本性质进行了详细阐述，并概览了土工试验方法，涉及物理性质试验、力学性质试验以及渗透性质试验，深入讨论了土工试验在软基处理中的重要作用。随后，文章转向高速公路软基处理技术的综合介绍，分类阐释了不同的软基处理方法，并对土工试验在此过程中的应用需求进行了深入分析。在此基础上，本文重点研究了土工试验在软基处理方案设计中的应用，详细分析了土体物理、力学和渗透性质试验在方案设计中的作用。同时，本文还探讨了土工试验在软基处理效果评价中的应用，包括土体物理、力学和渗透性质试验在效果评价中的作用。本研究旨在为高速公路软基处理提供理论支持和实践指导，提高土工试验在软基处理中的应用水平，为我国高速公路建设事业贡献力量。

关 键 词： 土工试验；高速公路；软基处理；物理性质；力学性质

Application Research of Geotechnical Test in Soft Foundation Treatment of Expressway

Zhang Xiaodong

Tianjin Huabei Engineering Survey and Design Institute Co., Ltd. Tianjin 300181

Abstract： This paper systematically studies the application of geotechnical tests in the soft foundation treatment of expressways. At the beginning of this paper, the basic properties of soil are elaborated, and an overview of geotechnical test methods is provided, including physical property tests, mechanical property tests, and permeability tests. The important role of geotechnical tests in soft foundation treatment is discussed in depth. Subsequently, the article turns to a comprehensive introduction to expressway soft foundation treatment technology, classifying and explaining different soft foundation treatment methods, and conducting an in-depth analysis of the application requirements of geotechnical tests in this process. On this basis, this paper focuses on the application of geotechnical tests in the design of soft foundation treatment schemes, and analyzes the role of soil physical, mechanical, and permeability tests in scheme design. At the same time, this paper also explores the application of geotechnical tests in the evaluation of soft foundation treatment effects, including the role of soil physical, mechanical, and permeability tests in evaluating the effects. This study aims to provide theoretical support and practical guidance for soft foundation treatment of expressways, improve the application level of geotechnical tests in soft foundation treatment, and contribute to China's expressway construction industry.

Keywords： geotechnical test; expressway; soft foundation treatment; physical properties; mechanical properties

引言

随着我国高速公路建设的快速发展，软土地基处理问题日益凸显，成为影响工程质量和安全的重大问题。软土地基由于其低强度、高压缩性和渗透性差等特点，给高速公路建设带来了诸多挑战。土工试验作为地基处理的重要手段，对于了解软土特性、优化设计方案以及评价处理效果具有重要意义。本研究旨在深入探讨土工试验在高速公路软基处理中的应用，以期提高软基处理技术水平，为我国高速公路建设提供理论支持和实践指导。

长期以来，国内外学者对土工试验在软基处理中的应用进行了大量研究，取得了一定的成果。然而，在实际工程中，土工试验的应用仍存在诸多问题，如试验参数选取、试验方法优化、数据解析等。针对这些问题，本文从土工试验的基本理论出发，系统分析了土工试验在高速公路软基处理中的应用现状，并针对关键问题进行了深入探讨。

一、土工试验基本理论及方法

在高速公路软基处理的科学实践中，土工试验扮演着至关重要

的角色。为了深刻洞察高速公路软基的性质与行为，掌握土的基本性质是首要之务，它构成了进行土工试验和地基处理设计的前提和基础。以下将详细探讨土的基本性质，并进一步概述土工

试验方法，以及其在软基处理中的不可或缺的重要性。

（一）土的基本性质

近年来，高土石坝、深大基坑、大型地下工程、海岸及深海基础工程等岩土工程发展迅猛。“土”这种材料已经不仅是指传统意义的砂土和黏性土了。高土石坝、边坡工程中更大粒径的堆石料、土石混合体，多种多样的区域性特殊土，能源开采中物理化学反应复杂的含天然气水合物土，伴随着太空探索的月壤等外星球土等，都已经被纳入土的基本特性的研究范畴^[1]。土，作为一种由固体颗粒、水分和空气组成的复杂多相介质，其性质多变且受多种因素影响。土的基本性质包括物理性质、力学性质和渗透性质，这些性质决定了土体的工程行为和地基处理的复杂性。物理性质涉及土的粒度、密度、含水率等，而力学性质则包括土的强度、变形和固结特性。这些性质不仅是土工试验的直接研究对象，也是评估软土地基处理效果的关键指标。

（二）土工试验方法概述

土工试验方法，作为土木工程领域的一项基础技术，是一套旨在精确量化土体性质的标准程序集合。这套方法通过一系列精细且科学的试验，全面揭示了土体的物理、力学及渗透特性，为工程实践提供了坚实的数据支撑。在物理性质试验阶段，通过进行密度试验、含水率试验以及粒度分析等手段，深入探究土体的基本物理特征^[2]。这些试验成果不仅为土的分类提供了可靠依据，而且为初步的工程评价奠定了坚实的数据基础。

进一步地，力学性质试验如直剪试验、三轴剪切试验和压缩试验，对这些土体的强度和变形特性进行了深入探讨。这些试验结果对于地基设计、边坡稳定性分析等关键工程领域，具有不可替代的指导意义。它们为工程师们提供了衡量土体承载能力和变形模量的关键参数，确保了工程结构的安全与稳定。

最后，渗透性质试验，包括常水头和变水头渗透试验，专注于土体的水理特性研究^[3]。这对于软土地基处理、排水设计以及抗渗要求等方面，具有至关重要的意义。这些试验的开展，使得对土体在水作用下的渗透规律有了更深入地理解，进而为工程措施的制定提供了科学的依据。总的来说，土工试验方法以其严谨的科学态度和丰富的内涵，为土木工程领域的发展奠定了坚实基础。

（三）土工试验在软基处理中的重要性

在高速公路建设中，软基处理是一项极具挑战性的工程任务，而土工试验在这一过程中的重要性不容小觑。它不仅是一种评估软土工程性质的有效手段，更是优化设计方案、保障施工质量以及评价处理效果的关键所在^[4]。通过对软土的细致分析与深入研究，土工试验为工程师们提供了全面而精确的信息，这些信息对于筛选恰当的处理技术、确定施工参数以及预测长期结构性能具有决定性的作用。

在软基处理的复杂工作中，土工试验的应用不仅体现了科学研究的那份严谨与细致，更彰显了工程技术在确保基础设施建设安全、可靠与耐久性方面的核心价值。它如同一把精准的尺，量出了土体的各项性能指标，为工程设计的科学性和施工的精确性提供了坚实的理论基础^[5]。因此，土工试验在高速公路软基处理中

的角色，既是技术探索的先锋，也是工程质量守护的卫士，其深远的意义和价值在每一寸坚实的路基下得以体现。

二、高速公路软基处理技术概述

高速公路的建设与发展，不可避免地会遇到软土地基的挑战。软基处理技术的合理应用，是确保高速公路结构安全和行车舒适性的关键。本节将概述高速公路软基处理技术，分类探讨不同的处理方法，并针对技术关键问题进行深入分析，接着阐述土工试验在软基处理中的应用需求，以期在高速公路软基处理提供理论指导和实践参考。

（一）软基处理方法分类

在高速公路软基处理领域，方法的多样性是其显著特点，不同的处理技术根据其作用机理和施工工艺的差异，可分为排水固结法、换填法、加固法、预压法以及组合处理法等。排水固结法，以其独特的加速土体水分排出机制，促进土体固结，从而显著提升地基的承载力；换填法则是一种直接的土体替换策略，通过将软弱的土层挖除，以更加稳定、性能优越的材料进行填充，以达到加固地基的目的^[6]。

加固法，涵盖了注浆、搅拌桩等先进技术，其核心在于从根本上改善土体的物理力学性质，增强其稳定性和承荷能力。预压法，则巧妙地利用预压荷载，使土体在施工前期便完成大部分沉降，从而减少了未来潜在的沉降风险。而组合处理法，则是一种综合性的策略，它将上述各种方法的优点相互结合，针对不同的工程特点和需求，进行量身定制的综合应用。

（二）软基处理技术关键问题

软基处理技术的核心挑战在于如何巧妙地改善软土的本质属性，精确控制沉降幅度，并显著提升地基的整体稳定性。这一过程深度融合了对软土复杂特性的精确理解，处理方案的精心优化，以及在施工全过程中的严格质量控制^[7]。软土所特有的流动性、显著的高压缩性以及薄弱的抗力强度，都要求处理技术必须具备针对性，能够逐一克服这些固有的难题。

在技术应用过程中，需综合考虑环境保护、施工成本和工程周期等关键因素，以确保所选用的处理技术不仅科学高效，同时具备经济合理性，且在实际操作中可行。这要求工程师们不仅要具备深厚的专业知识，还要有前瞻性的思维和全局性的考量，将技术创新与工程实践相结合，以实现软基处理的最优化。在这个过程中，每一项决策都体现了对工程细节的精准把握，对技术路径的深思熟虑，以及对建设可持续、安全基础设施的不懈追求。

（三）土工试验在软基处理中的应用需求

在高速公路软基处理这一复杂而关键的工程环节中，土工试验的应用显得尤为迫切和重要。它为工程师们提供了一整套关于软土特性的定量数据，这些数据构成了评估地基处理效果、优化设计方案以及指导施工过程的基础和支柱。土工试验的应用，不仅能够精确地揭示软土的物理属性、力学行为和渗透特性，更为处理方法的科学选取提供了坚实的依据。

在施工的每一个阶段，土工试验的监测作用显得尤为关键，

它能够及时地发现并解决潜在的问题，确保工程的质量与安全，其地位无可替代^[8]。土工试验在软基处理中的应用，不仅体现了工程技术的前沿进步，更是工程实践对科学性和严谨性的不懈追求与深刻体现。它要求工程师们在面对复杂的地质条件时，能够以精准的数据分析和严谨的技术判断，确保每一项工程决策都建立在科学的基础之上，从而为高速公路的长期稳定与安全运行提供有力保障。

三、土工试验在高速公路软基处理中的应用研究

高速公路软基处理的科学性和有效性，在很大程度上依赖于土工试验的深入应用。本节将深入研究土工试验在软基处理方案设计中的应用，以及其在处理效果评价中的关键作用，旨在揭示土工试验如何为高速公路软基处理提供技术支撑和决策依据。

（一）土工试验在软基处理方案设计中的应用

在高速公路软基处理方案的设计过程中，土体物理性质试验扮演着至关重要的角色。它通过对土的密度、含水率、粒度分布等基本物理特性的精确测定，为评估土体固结潜力和制定预处理措施提供了不可或缺的基础数据^[9]。工程师通过对这些物理性质的综合分析与解读，能够更为准确地预测地基的沉降行为，进而设计出更加科学、合理的处理方案，确保地基的长期稳定。

与此同时，土体力学性质试验在方案设计中的影响同样显著。它通过对土的抗剪强度、压缩模量等关键力学指标的测定，直接关联到地基的稳定性和承载能力，成为选择加固技术和确定加固深度的重要参考。力学性质试验的成果，为设计师提供了评估软基处理效果和优化设计方案的关键数据，使得工程加固措施更加精准有效。

此外，土体渗透性质试验在方案设计中的作用亦不容忽视。它涉及土体的渗透系数和毛细性质，这些参数对于排水系统的设计和固结时间的预测具有决定性意义。渗透性质试验的结果，能够有效地指导设计师选择适宜的排水措施，加速土体固结过程，从而显著提高软基处理的效率和工程进度。综上所述，土体的物理、力学和渗透性质试验，三者相辅相成，共同构成了软基处理方案设计的科

学基础，体现了工程实践中对土体性质深入理解的重要性。

（二）土工试验在软基处理效果评价中的应用

在高速公路软基处理效果的评价体系中，土体物理性质试验的作用至关重要，它旨在验证处理后的土体是否达到了预定的物理状态。试验结果，如密度和含水率等参数，是否满足设计规范的要求，为评价处理效果提供了直接的证据。这些数据不仅有助于确认所采取的处理措施是否有效，而且对于后续工程决策的调整提供了科学依据。

土体力学性质试验在效果评价中的重要性同样不容忽视。它通过评估处理后的土体是否具备了所需的抗剪强度和承载能力，从而揭示了软基处理对土体力学性能的改善程度^[10]。通过对比处理前后的力学指标，工程师能够直观地掌握土体强度和稳定性的变化，为工程验收提供了坚实的科学支撑。

而土体渗透性质试验在效果评价中的作用，则体现在对处理后的土体渗透特性的重新评估上。通过细致的渗透试验，可以判断排水措施的实际效果，以及土体的固结状态是否达到了设计预期。这对于评价软基处理的长期效果和工程耐久性具有深远的意义，确保了高速公路在长期运营中的安全与稳定。总体而言，这三类土工试验的综合应用，不仅体现了对土体性质全面认识的重要性，也彰显了工程实践中科学评价和精细管理的专业精神。

四、结束语

在今后的研究中，还需在以下几个方面继续深入探讨：一是完善土工试验方法，提高试验数据的准确性和可靠性；二是结合不同地区软土特性，优化土工试验参数选取；三是将土工试验与数值模拟、现场监测等技术相结合，实现多源数据融合，为软基处理提供更为全面的技术支持。

总之，随着我国高速公路建设的持续发展，软基处理问题将愈发突出。土工试验作为软基处理的重要手段，其应用研究具有重要的现实意义和广阔的发展前景。坚信在广大科研人员和工程技术人员持续不懈的共同努力下，土工试验在高速公路软基处理领域的应用将日趋成熟，为我国高速公路建设事业的发展贡献力量。

参考文献

- [1] 张嘎, 王刚, 尹振宇, 等. 土的基本特性及本构关系 [J]. 土木工程学报, 2020, 53(02): 105-118. DOI: 10.15951/j.tmgcxb.2020.02.009.
- [2] 尧强. 土工格栅复合碎石垫层在高速公路软基处理中的应用 [J]. 工程建设和设计, 2023, (21): 128-130. DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2023.11.038.
- [3] 郝建伟, 王瑞. 土工合成材料在公路软基处理中的应用与设计 [J]. 工程建设和设计, 2023, (01): 124-126. DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2023.01.036.
- [4] 余鹏, 谷健. 面向道路软基加固处理设计分析 [J]. 四川水泥, 2020, (04): 334.
- [5] 刘欢. 土工格室在公路工程软基处理中的应用 [J]. 交通世界, 2022, (Z2): 207-208. DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2022.z2.090.
- [6] 陈津生, 刁钰, 孙万里, 等. 软基处理新工艺地固件法施工技术 [J]. 天津建设科技, 2021, 31(05): 69-72.
- [7] 李秀荣. 高速公路施工中的软基处理技术分析 [J]. 交通世界, 2020, (18): 48-49. DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2020.18.023.
- [8] 黄志杰. 临海公路软基处理施工技术探讨 [J]. 四川水泥, 2020, (03): 60-61.
- [9] 丁宇虹. 高速公路建设过程中的软基处理技术 [J]. 四川建材, 2019, 45(11): 178-179.
- [10] 朱万君. 浅谈涵洞软基处理设计 [J]. 四川水泥, 2019, (12): 74.

软土地基临近地铁车站深基坑开挖支护技术研究

王艳华¹, 张明义²

1. 武汉建工富强置业有限公司, 湖北 武汉 430100

2. 武汉市勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 433022

摘要： 本文通过探讨软土地基条件下，临近地铁车站的深基坑开挖与支护技术，旨在为类似工程提供技术参考和借鉴。文章以新建居住、商业、公园绿地项目（崇仁路023号地块项目）B、C地块建设项目为例，详细介绍了软土地基临近地铁车站深基坑开挖支护技术施工流程。分析发现，通过精确的地质勘察、科学合理的支护结构设计、严格的施工过程控制以及细致的验收与交付管理，可以有效应对软土地基带来的挑战，确保深基坑开挖与支护工程的安全、高效、顺利进行。

关键词： 软土地基；地铁车站；深基坑开挖支护技术

Research on Support Technology for Deep Foundation Pit Excavation Adjacent to Subway Station in Soft Soil Foundation

Wang Yanhua¹, Zhang Mingyi²

1. Wuhan JianGong Fuqiang Real Estate Co., Ltd. Wuhan, Hubei 430100

2. Wuhan Surveying and Designing Consultants Co., Ltd. Wuhan, Hubei 433022

Abstract： This paper explores the excavation and support technology for deep foundation pits adjacent to subway stations in soft soil foundations, aiming to provide technical reference and guidance for similar projects. Taking the construction project of Blocks B and C of the newly built residential, commercial, and park greenbelt project (Chongren Road 023 plot project) as an example, the paper introduces the construction process of the support technology for deep foundation pit excavation adjacent to the subway station in detail. Through precise geological surveys, scientific and reasonable support structure design, strict construction process control, and meticulous acceptance and delivery management, it is found that the challenges brought by soft soil foundations can be effectively addressed, ensuring the safety, efficiency, and smooth progress of deep foundation pit excavation and support projects.

Keywords： soft soil foundation; subway station; deep foundation pit excavation and support technology

引言

随着城市化进程的加速，地铁作为缓解城市交通压力、提升城市运行效率的重要基础设施，其建设需求日益增长。然而，在地铁车站建设过程中，常常面临软土地基这一复杂地质条件，尤其是在临近既有地铁线路或建筑物的区域，深基坑开挖与支护技术成为施工中的关键技术难题。软土地基具有压缩性高、承载力低、透水性差等特点，给深基坑开挖带来了较大的技术挑战和安全风险。因此，深入研究软土地基临近地铁车站深基坑开挖支护技术，对于确保地铁车站施工安全、控制周边环境的影响、提高工程质量和效率具有重要意义。

一、工程概况

新建居住、商业、公园绿地项目（崇仁路023号地块项目）B、C地块建设项目位于硚口区崇仁路西侧，京汉大道轨道交通1号线南侧。拟建场地基本为拆迁后空地，整体地形较为平坦，场地表层填土有一定厚度。场地地貌单元属长江冲积一级阶地。总建筑面积约269753.96m²，其中地上建筑面积约211097.08m²，地下建筑面积约58656.88m²，地上最高为40层，建筑高度为124.35m，地下整体设置2层地下室。决定基坑面积约

为35000m²，周长约860m，整体近似矩形。基坑整体两层地下室。场地平整标高为23.40—24.20m，两层地下室开挖深度8.90—10.55m。

二、软土地基临近地铁车站深基坑开挖支护技术施工流程

（一）施工准备

施工准备阶段，进行了深入的地质勘察，探明了地基土层的

物理力学性质，地层自上而下划分为3个单元层：第（1）单元层为填土层（Qml）；第（2）单元层为第四系全新统冲积（Q4al）一般黏性土、粉砂夹粉土、粉质黏土层及砂土层；第（3）单元层为志留系（S）粉砂质泥岩。各单元层因物理力学性质的差异又可分为不同的亚层。基于勘察结果，设计团队制定了详细的施工图纸，明确了基坑开挖面积35000m²。同时，施工团队进行了全面的技术交底，准备好施工设备与材料。现场布置方面，合理规划了施工道路、临时排水系统、施工用电与用水线路，并设置了必要的施工标识与警示标志^[1]。

（二）基坑开挖

进入基坑开挖阶段，严格按照施工图纸与施工方案进行作业。首先，采用分层开挖的方式，每层开挖深度控制在2m左右，以确保基坑边坡的稳定性。开挖过程中，配备足够的挖掘机进行协同作业，每层土方开挖完成后，立即进行支护结构的安装。在开挖过程中，加强基坑变形监测与预警机制。通过布置监测点，实时监测支护结构位移、周边建筑沉降及地下管线变形等情况，一旦发现异常立即采取措施处理^[2]。此外，注重施工安全与环保管理，严格遵守操作规程，采取有效措施减少施工对周边环境的影响。

基坑开挖至设计底标高后，首要任务是进行基坑底部的精细化处理，为后续主体结构施工奠定坚实基础。要采用挖掘机与人工相结合的方式，彻底清除基坑底部的积土、碎石、杂物及积水，确保基底干净无杂物。随后，使用平板振动器或人工方式进行整平，使基底平整度达到 ±20mm 以内^[3]。再根据地质勘察报告，对基坑底部进行地质复核，确认土层分布、地下水位及岩土物理力学性质与设计相符。如有异常，需及时上报并调整施工方案。针对软土地基，可能需要进行地基加固处理，如换填、深层搅拌桩、注浆加固等^[4]。加固措施的选择需根据地质条件、周边环境及设计要求综合确定，确保加固效果满足承载力和稳定性要求。

（三）基坑支护方案选型

在软土地基上临近地铁车站进行深基坑开挖时，支护方案的选型是确保施工安全与稳定的关键步骤。目前，基坑可选用的支护类型有如下两种^[5]（表1）。

表1 基坑支护方案选型

支护方式或结构	支挡构件或护坡方法	适用条件
内支撑式（单层或多层）	排桩加型钢或钢筋混凝土支撑，包括各种水平撑（对顶撑、角撑、桁架式支撑），竖向斜撑；能承受支撑点集中力的冠梁或围檩；能限制水平撑变位的立柱。	适用于深度较深；支护变形较小，开挖及出土不便，总工期较长。
双排钻孔灌注桩	两排排桩结合桩间土加固，适用于支护空间宽松，满足桩顶放坡距离。	可用于多层地下室的超深基坑，单独使用时造价较高，宜配合逆作法施工使用

在软土地基条件下，为确保临近地铁车站的深基坑开挖安全与稳定，选择了双排钻孔灌注桩+1道钢筋混凝土支撑的支护方式，桩后采用三轴搅拌桩为止水止淤措施。首先，通过详尽的地质勘察，明确地基土层的物理力学性质及地下水位，为支护设计

提供基础数据。设计团队据此制定了详细的施工图纸。正式施工时，遵循“先支护后开挖”的原则，钻孔机按照设计图纸的布孔位置进行精确钻孔，钻孔过程中严格控制孔深、孔径及垂直度，确保符合设计要求。钻孔完成后，进行清孔处理，确保孔内无残渣。随后，下放钢筋笼并进行固定，钢筋笼的加工与安装需严格按照设计图纸与施工规范进行，确保钢筋的规格、数量、间距及焊接质量等满足要求。最后，进行混凝土的灌注作业，采用商品混凝土或现场搅拌混凝土，严格控制混凝土配合比、坍落度等性能指标。浇筑过程中，采用分层浇筑、振捣密实的方法，确保混凝土内部无空洞、裂缝等缺陷^[6]。浇筑完成后，及时进行养护，确保混凝土强度达到设计要求^[7]。

（四）围护结构设计

1. 支护桩设计

支护桩作为围护结构的主要承载部分，其设计需充分考虑软土地基的特性和基坑开挖的深度。本工程采用钻孔灌注桩作为支护桩。桩身混凝土强度等级采用 C30，主筋 HRB400，并加入适量的抗渗剂以提高抗渗性能。桩长根据地质勘察结果确定，需穿透软土层进入稳定岩层，一般深度约为开挖深度的1.2倍（即约30m）。施工时，采用旋挖钻机进行成孔作业，严格控制孔深、孔径及垂直度，确保成孔质量。成孔后，及时下放钢筋笼并安装注浆管，随后进行混凝土灌注，采用导管法自下而上连续灌注，确保混凝土振捣密实、无气泡^[8]。

2. 冠梁设计

冠梁作为连接支护桩的重要构件，能够有效增强支护结构的整体性和稳定性。冠梁宽度为支护桩直径向外扩0.1m：区段 AB 段冠梁（GL-1）尺寸为1000×800mm，AB1-1、BC、CC1、C3D、C3D3-3、DD1、EF、EF4-4、FG、GH、KA（GL-2）段冠梁尺寸为1100×800mm，BC2-2、C1C2、C2C3、D1E、GH5-5、HI、IJ、JK、JK6-6（GL-3）段冠梁尺寸为1200×800mm，支护桩桩顶伸入冠梁100mm，主筋锚入冠梁不小于30d。冠梁施工时，需先对支护桩顶进行凿毛处理，露出新拌混凝土面，并清理桩顶浮浆及杂物。随后，按照设计要求绑扎冠梁钢筋，安装模板并浇筑混凝土。浇筑过程中，应加强振捣，确保混凝土与支护桩顶紧密结合。

3. 浅部边坡支护设计

针对软土地基的特殊性，浅部边坡的支护尤为重要。本工程中，结合场地地层和周边环境条件，浅部边坡高度1.0—1.8m，采用网喷支护。混凝土模板厚度80mm，钢筋网采用 HPB300 φ6.5 @250×250，喷射混凝土强度等级为 C20；采用 P.O.42.5 级普通硅酸盐水泥，水灰比0.45 ~ 0.5，施工配合比为水泥：砂：石子=1:2:2。

4. 桩侧保护设计

为防止基坑开挖过程中支护桩侧土压力过大导致桩身受损，需对桩侧进行有效保护。本工程支护桩侧壁采用挂钢板网喷射混凝土保护桩间土，钢板网采用膨胀螺栓固定于支护桩上，钢筋网采用 HPB300 φ6.5 @250×250，喷射混凝土强度为 C20；厚度80mm，采用 P.O.42.5 级水泥。

（五）支撑系统设计

1. 支撑设计

支撑设计需根据基坑开挖深度、地质条件、周边环境及地铁车站保护要求综合确定。本工程采用排桩+1道混凝土支撑体系（表2），以有效控制基坑变形。支撑系统设计时，利用专业的结构分析软件进行模拟计算，确保支撑体系的刚度和强度满足要求。同时，考虑施工过程中的动态调整，预留足够的调节空间。

表2 支撑设计

支撑类型	对撑	角撑	次梁
支撑编号	ZC-1	ZC-2	ZC-3
截面（宽×高）mm	1100×800	900×800	600×600
轴力标准值 kN	7146	5621	1664
弯矩标准值 kN·m	150	143	16
剪力标准值 kN	17	29	16

2. 竖向支撑体系

竖向支撑体系是支撑系统的关键组成部分，负责将水平支撑传递的荷载分散至深层土体。本工程采用临时钢立柱及柱下钻孔灌注桩作为水平支撑系统的竖向支承构件。普通钢立柱采用4L160×16角钢格构柱，其截面为460×460，立柱桩长19m，桩径 ϕ 900，钢材牌号Q355B。钢立柱插入作为立柱桩的钻孔灌注桩中不少于3m，且穿越底板的范围内需设置止水片。

3. 换撑设计

随着地下主体结构施工的逐步推进，需对原有支撑体系进行换撑，以确保主体结构施工安全。换撑设计需结合主体结构施工进度和基坑变形监测数据，采用逐步替换的方式进行。本工程BC地块采用肥槽同底板砼标号的素砼回填至底板板高处，对底板后浇带采用H400×400×13×21，间距4.0m，牌号Q355B的H型钢换撑。

4. 坑中坑设计

对于基坑内的电梯井、集水井等“坑中坑”区域，需进行专门的支护设计。本工程采用“坑中坑”内增设水平支撑和竖向支撑的方式，形成独立的支护体系。水平支撑采用与主基坑相同的钢支撑形式，但支撑间距适当加密至2m。竖向支撑则根据“坑中坑”深度另行设计钻孔灌注桩或型钢支撑。同时，为防止“坑中坑”开挖过程中的涌水与坍塌问题，采用压力注浆法加固坑底土体，注浆压力0.2MPa-1.0MPa，水灰比0.8:1-1:1。注浆时需严格按照施工顺序进行，先施工边缘帷幕孔再施工加固孔，确保注浆效果。

（六）基坑监测与调整

在软土地基环境下，进行地铁车站深基坑开挖与支护施工时，基坑监测与应急措施是确保施工安全、预防地质灾害的重要环节^[9]。要在支护结构上每2—3m设置一组监测点，基坑周边土体根据地形和地质条件每10—15米设置一个监测点，地下水位监测井间隔20—30m设置，周边建筑物每栋至少设置4个沉降观测点。开挖初期每日监测1次，随着开挖深度增加或监测数据出现异常时，加密至每4小时监测1次，直至基坑回填完毕。进行监测时，要使用高精度全站仪、水准仪、测斜仪、水位计等设备，按照监测方案进行连续监测，记录监测数据。再对监测数据进行及

时处理和分析，绘制监测结果曲线图，评估基坑及支护结构的稳定性。

（七）竣工验收

主体结构施工完成后，需经过严格的验收程序，确保工程质量符合设计要求及相关规范标准，方可进行交付使用^[10]。要按照施工顺序和工程特点，对基坑开挖、支护结构、主体结构等各部分分项工程进行验收。验收内容包括工程实体质量、施工资料及安全文明施工等方面。验收合格后，方可进行下一道工序施工。再在所有分部分项工程验收合格的基础上，组织单位工程验收。验收工作由建设单位、监理单位、设计单位及施工单位共同参与，对工程质量进行全面评估。验收合格后，形成单位工程验收报告并签字盖章确认。单位工程验收通过后，最后进行项目竣工验收。竣工验收由建设单位组织相关部门和专家进行，对项目的整体质量、功能及安全性进行全面检查。验收合格后，办理竣工结算手续并进行项目交付使用。同时，做好项目档案资料的整理和归档工作，为后续运营管理提供依据。

三、结语

通过对软土地基临近地铁车站深基坑开挖支护技术的全面研究，本文揭示了该技术在复杂地质条件下的施工难点与解决方案，提出了科学合理的施工流程和技术措施。展望未来，随着科技的进步和工程实践的不断积累，软土地基深基坑开挖与支护技术将不断创新与发展。通过引入新材料、新工艺、新技术，如高性能混凝土、智能化监测系统等，将进一步提升施工效率、降低施工成本、减少环境影响，为地铁车站等大型基础设施建设提供更加坚实的技术支撑。同时，加强行业交流与合作，共同推动技术标准的制定与完善，也是提升行业整体水平的重要途径。

参考文献

[1] 文志成，张开民. 建筑工程深基坑开挖与支护技术分析[J]. 中华建设, 2023,(03):134-136.

[2] 杨沛基，张军，严鹏. 淤泥质基坑开挖支护方案设计及施工监测研究[J]. 华北科技学院学报, 2023,20(01):47-55.

[3] 曾彩云. 高层建筑深基坑密排桩+内支砼剪刀撑支护技术研究[J]. 江西建材, 2022,(10):211-213.

[4] 于景志，刘燕，宋享桦，等. 地铁基坑开挖对紧邻桥桩及支护结构变形的影响[J]. 济南大学学报（自然科学版）, 2023,37(06):734-738+745.

[5] 杨波，肖凯成，王长健. 近接高铁桥桩的深基坑不同开挖方案对比[J]. 南昌大学学报（理科版）, 2023,47(02):199-204.

[6] 张立军. 桩锚式深基坑支护技术在建筑工程中的应用[J]. 江西建材, 2023,(01):181-183.

[7] 陈俊杰，白少华. 超深基坑桩锚支护结构技术创新与工程实践[J]. 施工技术, 2020,49(13):84-87.

[8] 姚金亚. 地铁明挖车站深基坑开挖及支护技术研究[J]. 科技资讯, 2023,21(02):46-49.

[9] 李锦，陆善佳，陈祥侨. 软土地区深基坑开挖对邻近既有铁路的影响分析[J]. 土工基础, 2022,36(05):683-687.

[10] 田子能. 房建工程中深基坑开挖与支护施工技术的应用[J]. 大众标准化, 2022,(18):155-156+159

市政道路桥梁施工对环境的影响及解决措施

韩梅

武汉市汉阳市政建设集团有限公司，湖北 武汉 430050

摘 要： 本文全面探讨了市政道路桥梁施工对环境的潜在影响，如噪声、空气、水质、土壤和生态问题，并强调了这些影响对居民生活质量及生态环境的潜在威胁。为应对这些挑战，本文提出了一系列解决方案，包括合理安排施工时间、实施噪声和空气污染控制、采取水质和土壤保护措施，以及实施生态保护。这些措施旨在减少施工过程中的环境污染，保护空气质量、水质、土壤和生态平衡，提升居民生活质量，促进城市建设的可持续发展。通过实施这些环保措施，不仅有助于提升企业的社会责任形象，也推动了施工活动的绿色、环保和可持续发展。

关 键 词： 市政道路桥梁施工；环境影响；生态影响；解决措施；环境保护

Environmental Impact of Municipal Road and Bridge Construction and Its Solutions

Han Mei

Wuhan Hanyang Municipal Construction Group Co., Ltd. Wuhan, Hubei 430050

Abstract： This paper comprehensively explores the potential environmental impacts of municipal road and bridge construction, including noise, air, water quality, soil, and ecological issues. It emphasizes the potential threats these impacts pose to residents' quality of life and the ecological environment. To address these challenges, this paper proposes a series of solutions, including reasonable arrangement of construction time, implementation of noise and air pollution control, adoption of water quality and soil protection measures, and implementation of ecological protection. These measures aim to reduce environmental pollution during the construction process, protect air quality, water quality, soil, and ecological balance, improve residents' quality of life, and promote sustainable development in urban construction. By implementing these environmental protection measures, it not only helps to enhance the corporate social responsibility image but also promotes green, environmentally friendly, and sustainable development of construction activities.

Keywords： municipal road and bridge construction; environmental impact; ecological impact; solutions; environmental protection

引言

随着城市化进程的加快，市政道路桥梁工程在城市基础设施建设中的重要性日益凸显，但其施工过程中对环境的影响也不容忽视。施工活动可能产生噪声、空气、水质、土壤和生态方面的污染，对周边居民的居住环境构成威胁。为减少这些负面影响，施工单位应采取多项措施，以实现绿色、环保和可持续的施工方式，保护空气质量、水质、土壤和生态平衡，提升居民生活质量，促进城市建设的可持续发展。

一、市政道路桥梁施工对环境的影响

在我国社会经济快速发展的过程中，城市化的建设进程逐渐加剧，人们的生活质量也有了明显的提升，环境保护方面的意识也逐渐增强，在具体开展各项工程项目建设工作的过程中，更加重视绿色节能减排的发展理念，因此，对于市政道路桥梁工程项目的建设提出了更高的要求。^[1] 市政道路桥梁施工是一个涉及多个方面的复杂工程，其对环境的影响不容忽视。在施工过程中，噪声污染、空气污染、水质污染、土壤破坏以及生态影响是主要的环境问题。

（一）噪声污染

噪声污染是市政道路桥梁施工中最为明显的环境问题之一。施工过程中产生的噪声主要包括机械设备的轰鸣声、挖掘机和起

重机的噪声以及施工现场的人声喧哗等。这些噪声对周边居民的生活造成了极大的影响，可能会导致居民出现睡眠障碍、心理压力增大等问题。^[2] 此外，长期暴露在高分贝的噪声环境中还可能对施工人员的听力造成损害。

（二）空气污染

在市政道路桥梁施工过程中，空气污染是一个关键的环境问题，主要来源于施工活动产生的扬尘、施工废气和车辆尾气。扬尘中的 PM2.5 和 PM10 颗粒物悬浮在空气中，对呼吸系统造成损害，增加患呼吸道疾病的风险。施工废气含有苯、甲苯、二甲苯等 VOCs 和一氧化碳、二氧化硫等有害气体，降低空气质量并威胁人体健康。施工现场附近的运输车辆尾气排放中含有的氮氧化物和碳氢化合物等有害物质，长期暴露可能会增加患心脏病、肺

病等疾病的风险。

（三）水质污染

市政道路桥梁施工中的水质污染是一个需要高度重视的环境问题，因为施工活动可能会产生大量的废水、废油以及其他有害物质，若未经有效处理和控制，这些污染物可能会直接或间接污染周边水体，破坏生态平衡，危害水生生物和人类健康。^[3] 因此，施工单位必须采取严格的措施，如建立有效的排水系统、对含油废水进行隔油处理、对含有有害物质的废水进行专门处理，以及对固体废物进行妥善管理，同时定期监测水质，以保护水资源和生态环境，确保施工活动对水环境的影响最小化，从而保护人类和生态环境的健康。

（四）土壤破坏

市政道路桥梁施工中，土壤破坏是一个重要的环境问题，主要源于大规模的挖掘、填埋和压实作业，这些活动会破坏土壤结构，导致土壤流失和肥力下降，影响农作物生长和土地可持续利用。同时，这些操作可能会改变土壤性质，影响植物生长和微生物活动，甚至引入外来土壤，影响原有土壤的肥力和生态功能。为减轻这些影响，施工单位应采取合理规划、适当技术、防止侵蚀和土壤修复等措施，以实现施工的绿色、环保和可持续发展。

（五）生态影响

市政道路桥梁施工对生态环境的影响广泛，包括植被破坏、土壤结构受损、动物迁徙路线改变等。为了减轻这些影响，施工单位应进行生态调查、采取生态保护措施、进行生态恢复以及进行环保教育。这些措施有助于保护生物栖息地，维护生物多样性和生态平衡，促进施工活动的绿色、环保和可持续发展。

总之，市政道路桥梁施工对环境的影响主要包括噪声污染、空气污染、水质污染、土壤破坏和对生态的影响。为减少这些环境问题，施工方需要采取相应的措施，如加强噪声和空气污染控制、妥善处理废水废油、保护土壤结构和植被、采取生态保护措施等。^[4]

二、解决措施

（一）噪声污染控制措施

噪声污染控制是市政道路桥梁施工过程中一个至关重要的环节，它直接关系到周边环境的安宁和居民的健康。以下是几种有效的噪声污染控制措施：

1. 优化施工方案

在市政道路桥梁施工前，规划合理的施工方案对于减少噪声污染至关重要。施工方需全面评估可能产生的噪声污染源，选择低噪声施工设备，合理安排施工顺序，避免夜间和节假日高噪声作业，并对施工人员进行噪音控制培训，增强环保意识。此外，设置噪声隔离设施，对施工设备进行降噪处理，以最大限度减少施工对周边环境和居民的影响，实现绿色施工。

2. 噪声隔离和降噪处理

在市政道路桥梁施工中，通过设置噪声隔离设施如噪声屏障和隔音墙，以及实施对施工设备的降噪处理，如安装噪声减振器和使用低噪声施工材料，可以显著减少噪声污染的扩散和强度，

从而降低对周边环境和居民的影响。^[5] 这些措施共同作用，创造了一个更安静、舒适的施工环境，同时保护了周边环境和居民的健康，实现了绿色施工的目标。

3. 施工时间管理

为了减轻市政道路桥梁施工对周边居民的噪声干扰，合理安排施工时间，避免在夜间和节假日进行高噪声作业，是必要的措施。同时，通过对施工人员进行噪音控制培训，增强他们的环保意识，可以有效地降低施工过程中的噪声污染。^[6] 这些策略不仅有助于改善居民的生活质量，还展现了施工单位的社会责任，促进了绿色施工和可持续发展。

（二）空气污染控制措施

在市政道路桥梁施工过程中，空气污染的管控是一个核心环节，其重要性体现在对周边环境质量和居民健康的影响上。因此制定了以下一系列空气污染控制措施，以期在施工过程中最大程度地减少对周边环境和居民健康的影响。

1. 扬尘控制

为了减少市政道路桥梁施工中的扬尘问题，施工单位应采取一系列环保措施，包括在施工现场周围设置围挡以阻挡扬尘扩散，安装防尘网捕捉细小尘埃，定期洒水增加空气湿度，清扫和覆盖裸露土壤和材料以防止扬尘，以及清洗运输车辆减少尘埃带出。^[7] 这些措施不仅能有效控制扬尘，提升环境卫生，还能减少对周边居民的影响。

2. 废气处理

为了减轻市政道路桥梁施工中设备排放的废气对环境的影响，施工单位应安装废气收集和处理系统，使用符合排放标准的低排放设备，选择低 VOCs 含量的材料，以及优化施工工艺和进度安排。这些措施不仅能减少施工现场的废气排放，还能提升环境质量，推动施工活动的绿色和可持续发展。

3. 绿化措施

为了保护市政道路桥梁施工中的空气质量，施工单位应采取种植树木和草坪来吸收有害物质、净化空气，合理处理和利用施工废弃物以减少排放，以及实施多种措施控制扬尘和废气排放。^[8] 这些环保措施不仅能改善施工现场的空气质量，还能增强企业的社会责任感。

（三）水质污染控制措施

市政道路桥梁施工对水质的影响同样不容忽视，尤其是在施工过程中可能产生的油污泄漏、废水的排放以及雨水冲刷对土壤和水质的潜在污染。因此，采取有效的控制措施至关重要。

1. 防止油污泄漏

为防止油料泄漏造成的水质污染，必须实施严格的管理措施。确保储油设施密封良好是防止油料在存储和使用过程中泄漏的关键措施。同时，定期对施工车辆和设备进行详细检查，尤其是油管、油箱等关键部位，以确认没有泄漏现象。一旦发现油污泄漏，必须立即采取紧急措施进行清理，以防止油污进一步扩散并进入水体，从而保护水质不受污染。

2. 废水处理

为控制废水对水质的污染，需要采取一系列废水处理措施。

施工现场应配备污水处理设施，对废水进行沉淀、过滤等处理，以确保其达到国家规定的排放标准。同时，应定期对污水处理设施进行检查和维护，确保设施的正常运行和处理效果。此外，对施工人员进行废水处理培训，增强他们的环保意识，使其能够正确使用和维护污水处理设施。

3. 防止雨水冲刷

为防止雨水对土壤和水质的冲刷造成污染，需要采取一系列的预防措施。施工现场应设置排水系统，以引导雨水流向远离水体的区域，从而减少对土壤和水质的潜在影响。^[9]同时，应在施工现场周围种植绿化带，利用植物吸收雨水中的污染物，进一步净化水质。此外，对施工现场进行硬化处理，以减少雨水对土壤的冲刷，保护土壤结构不被破坏。

（四）土壤保护措施

1. 施工过程中的土壤保护

为保护土壤不受破坏，需要采取一系列的土壤保护措施。合理规划施工布局，尽量减少对土壤的挖掘和填埋，以降低对土壤的扰动。对挖掘和填埋区域进行临时覆盖，防止土壤在施工过程中流失。同时，在施工现场设置临时排水系统，以避免雨水冲刷导致土壤流失。合理利用土壤，如将挖掘出的土壤用于填埋区域，减少外运，从而保护土壤的肥力和结构。

2. 施工后的土壤恢复

为恢复土壤的肥力和结构，需要采取一系列的土壤恢复措施。对施工区域进行土壤修复，包括施肥、压实和压实等，以改善土壤的肥力和结构。恢复植被，种植适宜的植物，以增加土壤的有机质含量，改善土壤生态环境。此外，建立土壤监测和评估机制，定期对土壤进行监测和评估，确保土壤质量达到标准，为后续的植被生长和生态恢复提供良好的土壤环境。

（五）生态保护措施

1. 施工期间的生态保护

施工时，应采纳绿色建筑理念，选择环境友好的材料和施工技术，如低 VOC 涂料和粘合剂，以减轻对空气质量的负面影响。施工前应对工地上的树木和植被进行细致评估，尽量保留这些自然元素，对必须移除的植物考虑移植。施工过程中，实施有效的噪声和扬尘控制措施，如安装隔声屏障和定期喷水抑制尘土飞扬，减少对邻近居民和商业活动的干扰。同时，施工时应注意保护城市中的野生动物，通过设置警示标志等手段提醒施工人员。项目完工后，致力于恢复和重建适宜城市野生动物生存的环境，如安装鸟巢箱和种植本地植物。合理安排施工时间，尽量避免夜间噪声较大的工作，并对施工垃圾进行细致规划，通过垃圾分类和回收利用，最大限度地减少对环境的负担。

2. 施工后的生态恢复

施工完成后，应对受影响的区域进行细致的绿化恢复，选择适应当地气候和土壤条件的植物种类，以恢复植被覆盖，美化城市环境。同时，在可行的情况下，恢复或重建城市中的小生态系统，如城市公园、绿地、屋顶花园等，以增加城市生物多样性，改善城市生态环境。^[10]此外，建立适用于城市环境的生态监测和评估机制，定期对恢复区域的生态状况进行监测，确保生态恢复

工作的有效性和持续性。通过社区参与和教育活动的开展，提升公众对城市生态环境保护的认知，鼓励居民积极参与城市生态恢复和环境保护。在施工设计中，融入绿色基础设施的理念，如雨水花园、渗透性铺装等，这些创新措施有助于改善城市的水文循环，减轻城市热岛效应。

三、结束语

本文全面分析了市政道路桥梁施工对环境的多重影响，涉及噪声、空气、水质、土壤和生态等多个方面，指出这些影响不仅影响居民生活质量，还威胁生态环境的平衡和可持续性。为此，本文提出了五大应对措施：噪声污染控制、空气污染控制、水质污染控制、土壤保护和生态保护。这些措施包括合理安排施工时间、对施工人员进行培训、设置围挡和防尘网、使用低排放设备和材料、对废弃物进行合理处理、种植植被以及进行环保教育。

然而，实际施工中，这些措施的实施仍面临挑战，如噪声和空气污染控制需要大量资金和人力资源，水质污染控制需要先进技术和设备，土壤和生态保护则需要长时间的恢复和修复。尽管如此，这些措施的实施对于减少施工对环境的影响、实现绿色施工至关重要。

尽管存在这些挑战，实施这些环保措施仍然具有重要意义。通过实施这些措施，可以有效减少市政道路桥梁施工过程中的噪声、空气、水质污染，保护土壤和生态环境，实现绿色施工。同时，这些措施也有助于提升企业的社会责任形象，促进施工活动的绿色、环保和可持续发展。

总的来说，市政道路桥梁施工对环境的影响及解决措施具有重要的现实意义。通过采取科学合理的措施，可以最大限度地减少施工对环境的影响，实现可持续发展。同时，需要加强施工过程中的管理和监管，增强施工方的环保意识，确保各项措施得到有效实施。只有这样，才能实现市政道路桥梁施工与环境保护的和谐统一，为城市的发展和居民的福祉做出贡献。

参考文献

- [1] 江云关. 市政道路桥梁施工对环境的影响及解决措施[J]. 建材与装饰, 2020, (07):266-267.
- [2] 田辉明. 市政道路桥梁工程中的常见问题与防治策略[J]. 建材与装饰, 2018 (36): 269-270.
- [3] 梁金龙. 市政道路桥梁施工的管理[J]. 居舍, 2018 (23): 171.
- [4] 王浩. 道路桥梁施工管理中存在的问题及解决措施研究[J]. 居舍, 2018 (14): 152.
- [5] 代红凤. 公路建设对环境的影响及对策分析[J]. 工程建设与设计, 2018 (17): 151-153.
- [6] 柳晓娟. 论市政道路桥梁施工对环境的影响及解决措施[J]. 资源节约与环保, 2018 (08): 31.
- [7] 栗宗军. 公路工程施工对环境的影响及管理措施[J]. 居舍, 2018 (23): 161.
- [8] 冯军龙. 公路施工对环境的影响及对策[J]. 交通节能环保, 2018, 14 (03): 29-30.
- [9] 苏亚鹏. 道路桥梁临时钢栈桥架设及拆除施工技术研究——以珠海横琴新区市政基础设施项目某道路桥梁施工为例[J]. 工程技术研究, 2019, 4(13):80-81.
- [10] 周京昊. 从管理角度研究道路桥梁施工中存在的问题及优化措施[J]. 工程建设与设计, 2019(12):200-201.

热工仪表校验过程中安全防护措施探讨

赵芳澜

贵州鸭溪发电有限公司, 贵州 遵义 563100

摘要：热工仪表作为热力系统中的重要设施，其准确性和可靠性直接关系到热力系统的安全与稳定运行。然而，在热工仪表校验过程中，由于操作不当、设备故障等多种原因，可能引发一系列安全隐患。本文旨在探讨热工仪表校验过程中的安全防护措施，通过对校验过程中可能遇到的安全风险进行分析，提出相应的防护策略。这些措施包括加强校验人员的培训、完善校验设备的安全防护、制定应急预案等，旨在保障校验工作的顺利进行，确保热力系统的安全与稳定运行。本文的研究对于提高热工仪表校验工作的安全性，具有重要的理论意义和实践价值。

关键词：热工仪表；校验过程；安全防护

Discussion on safety protection measures during thermal instrument calibration

Zhao Fanglan

Guizhou Yaxi Power Generation Co., LTD. Zunyi, Guizhou 563100

Abstract：As an important facility in the thermal system, the accuracy and reliability of the thermal instrument are directly related to the safety and stable operation of the thermal system. However, in the process of thermal instrument calibration, due to improper operation, equipment failure and other reasons. This paper aims to discuss the safety protection measures in the process of thermal instrument verification, and put forward the corresponding protection strategies by analyzing the possible safety risks encountered in the verification process. These measures include strengthening the training of the verification personnel, improving the safety protection of the verification equipment, making emergency plans, etc., aiming to ensure the smooth progress of the verification work and ensure the safe and stable operation of the thermal system. The study in this paper has important theoretical significance and practical value for improving the safety of thermal instrument calibration.

Keywords：thermal instrument; calibration process; safety protection

热工仪表是热力系统中的关键设备，其准确性和可靠性对于热力系统的安全与稳定运行至关重要。然而，在热工仪表校验过程中，由于操作不当、设备故障等多种原因，可能引发一系列安全隐患，严重威胁校验人员的生命安全和热力系统的稳定运行。因此，探讨热工仪表校验过程中的安全防护措施，具有重要的现实意义。

一、热工仪表校验过程中的安全风险分析

（一）校验人员操作不当引发的风险

校验人员在热工仪表校验工作中扮演着至关重要的角色，但操作不当却可能带来重大安全风险。部分校验人员可能因缺乏严格的培训或对规程理解不足，未能遵循既定的校验步骤，如跳过必要的校验环节或未按要求调整设备参数，这直接影响校验结果的准确性。同时，忽视个人防护也是一大隐患，如未佩戴防护眼镜、手套等，可能因设备故障或意外喷射受到伤害。此外，校验前的设备安全检查同样不容忽视，未对设备进行预检可能导致潜在故障在校验过程中突发，造成设备损坏甚至人员伤害。因此，提升校验人员的操作技能，加强职业素养教育，确保每位校验人员都能严格遵守规程，正确佩戴防护装备，做好设备安全检查，

是降低校验工作安全风险、保障校验准确性和人员安全的关键。

（二）校验设备故障引发的风险

校验设备在热工仪表校验中扮演着核心角色，但其故障却可能成为校验工作的重大风险源。长期运行和缺乏妥善维护可能导致设备性能下降，如传感器因磨损而失灵，测量精度因老化而降低，甚至控制系统可能因内部故障而失效。这些故障不仅直接削弱校验结果的准确性和可靠性，更重要的是，它们可能触发安全事故。例如，控制系统失效可能导致校验过程中的设备异常运行，进而造成校验人员受伤或热力系统不稳定，引发更大的安全事故。因此，定期维护校验设备，确保其处于良好状态，及时发现并修复潜在故障，是保障校验工作安全、准确进行的关键措施。

（三）环境因素引发的风险

热工仪表校验工作常面临复杂多变的环境挑战，如高温、高

作者简介：姓名：赵芳澜（1995.02-），女，汉族，贵州省遵义市，学历：本科，助理工程师，研究方向：热工专业（热工仪表）。

压及强磁场等极端条件。高温环境不仅威胁校验人员的健康安全,还可能导致校验设备过热,影响其正常运行和测量精度。在高压环境下,设备可能因承受过大压力而出现损坏或性能下降。此外,强磁场环境对校验设备构成干扰,可能导致测量结果不准确,进而影响校验工作的可靠性。因此,在进行热工仪表校验时,必须充分考虑环境因素,采取必要的防护措施,确保校验工作安全、准确地进行。

二、热工仪表校验过程中的安全防护措施

(一) 加强校验人员的培训

校验人员作为热工仪表校验工作的核心执行者,其专业素养和操作技能的高低,直接决定了校验工作的安全性与准确性。为了有效提升校验工作的整体安全水平,加强对校验人员的培训显得尤为重要^[1]。在专业技能提升方面,企业应定期组织专业技能培训,邀请具有丰富经验和专业知识的讲师,为校验人员深入讲解热工仪表的基本原理、校验规程以及安全操作规程。通过系统的学习,校验人员能够熟练掌握各类热工仪表的校验技能,并在实际工作中灵活应用。例如,在一次针对压力表的校验培训中,讲师详细讲解了压力表的测量原理、校验步骤以及常见故障处理方法,校验人员通过实践操作,不仅掌握了校验技能,还学会了如何正确应对校验过程中可能出现的各种问题^[2]。在安全知识教育方面,企业应加强对校验人员的安全知识培训,增强他们的安全意识和自我保护能力。培训内容应包括校验过程中的常见安全隐患、预防措施以及应急预案等。通过生动的案例分析,校验人员能够深刻认识到校验工作的重要性,并在实际工作中时刻保持警惕,严格遵守安全操作规程。例如,在一次安全知识培训中,讲师通过模拟校验过程中的触电事故,让校验人员了解了触电的危害以及预防措施,有效提升了他们的安全意识和自我保护能力。此外,企业还应定期组织应急演练,提升校验人员的应急反应能力和自救互救能力。演练内容应包括模拟校验过程中的各种突发情况,如设备故障、人员受伤等^[3]。通过实战演练,校验人员能够在紧急情况下迅速做出正确反应,有效减少安全事故的发生。例如,在一次模拟设备故障的应急演练中,校验人员迅速切断电源、启动应急预案,并在短时间内排除了故障,确保了校验工作的顺利进行。

(二) 完善校验设备的安全防护

校验设备在热工仪表校验工作中扮演着至关重要的角色,其安全防护措施的完善与否,直接关系到校验工作的安全性和可靠性。为了确保校验设备能够稳定、准确地完成校验任务,同时保障校验人员的生命安全,完善校验设备的安全防护显得尤为重要^[4]。在实际操作中,加强设备的维护保养是基础且不可或缺的一环。企业应制定详细的维护保养计划,并严格按照计划执行。这包括对校验设备进行定期的清洁,以去除表面积累的灰尘和污垢,防止其对设备性能产生影响;对设备进行润滑,以减少摩擦和磨损,延长设备的使用寿命;以及对设备进行调试,确保其在运行过程中能够保持良好的工作状态。例如,在对一台精密温度

计进行维护保养时,工作人员会先对温度计进行彻底的清洁,然后检查其传感器是否灵敏,最后进行校准,确保温度计的测量精度符合校验要求。除了维护保养,设置安全防护装置也是完善校验设备安全防护的重要措施。在校验设备上安装防护罩、安全阀、紧急停机按钮等安全防护装置,可以有效防止设备在出现故障或异常情况时,对校验人员造成伤害^[5]。例如,在对一台高压蒸汽流量计进行校验时,工作人员会在其周围安装防护罩,以防止蒸汽泄漏对人员造成伤害。同时,他们还会在设备上设置安全阀,当蒸汽压力超过设定值时,安全阀会自动打开,释放多余的压力,保护设备免受损坏。此外,紧急停机按钮的设置,使得校验人员在遇到紧急情况时,能够迅速切断电源,停止设备运行,避免事故的发生。此外,定期对校验设备进行检查和测试也是完善安全防护的必要环节。企业应建立设备检查和测试制度,定期对设备的各项性能指标进行检查和测试,确保其符合校验要求。检查和测试内容包括设备的测量精度、稳定性、可靠性等。例如,在对一台压力传感器进行校验前,工作人员会先对其进行精度测试,确保其测量误差在允许范围内。同时,他们还会对设备的稳定性进行测试,观察其在长时间运行过程中的性能变化,确保设备在校验过程中能够准确、可靠地工作。

(三) 制定应急预案

制定应急预案是提升热工仪表校验工作安全性的关键环节,它要求基于校验工作的实际情境和潜在安全风险进行全面考量,以确保在突发安全事故时能够迅速且有效地采取应对措施^[6]。这一预案的制定首先需明确其适用范围和目的,覆盖校验工作的各个环节,从仪表的安装调试到日常校验,再到设备的维护保养,乃至可能遭遇的各类安全风险,如设备故障、人员误操作、环境突变等,都应纳入预案的考虑范畴。其目的在于,一旦发生安全事故,能够立即启动预案,迅速定位问题,明确责任分工,实施相应的应急措施,最大限度地减少损失,保障人员和设备的安全。在制定详细的应急措施时,需紧密结合校验工作的特性和可能遇到的具体风险。例如,当校验工作中使用的高压气体源发生泄漏时,应急预案中应明确立即停止校验作业,关闭泄漏源,启动紧急通风系统,迅速疏散现场人员至安全区域,并通知专业救援队伍进行现场处置。又如,若校验设备发生短路引发火灾,预案中应规定立即切断电源,使用合适的灭火器材进行初期灭火,同时拨打火警电话,并按照火灾逃生路线迅速撤离。这些应急措施需经过细致规划,确保在紧急情况下能够迅速且准确地执行。此外,加强应急预案的培训和演练也是提升其有效性的重要手段。通过定期举办应急预案培训,校验人员可以深入了解预案的基本内容、应急响应流程以及各自的职责分工。培训内容还包括应急措施的具体操作步骤,如如何使用消防器材、如何正确穿戴个人防护装备、如何在紧急情况下进行自救和互救等^[7]。培训结束后,应组织模拟演练,让校验人员在接近真实的场景中体验应急响应的全过程,从而加深理解,提高实际操作能力。例如,在一次模拟设备故障导致的火灾应急演练中,校验人员迅速响应,按照预案要求切断电源,使用灭火器扑灭初期火势,并在确保自身安全的前提下,协助疏散其他人员,整个演练过程紧张有序,达到了

预期效果。

（四）改善校验工作环境

校验工作环境对于确保校验工作的安全性和准确性至关重要，因此，改善校验工作环境成为提升校验工作安全性的关键措施。在实际操作中，优化校验工作区域的布局是首要任务^[8]。这要求对工作区域进行合理规划，确保校验设备、工具、材料等的摆放既符合工作流程，又避免造成安全隐患。例如，在一次热工仪表校验项目中，工作人员根据校验流程，将校验设备按照使用顺序依次摆放在工作台上，同时，在设备周围留出足够的操作空间，确保校验人员进行仪表调试、校准等操作时能够顺畅、安全地进行。此外，他们还根据校验工作的实际需要，合理划分了工作区域和通道，避免了校验过程中的交叉作业和人员拥堵，进一步提升了校验工作的安全性和效率。除了布局优化，加强校验工作区域的通风和照明也是改善工作环境的重要方面。良好的通风和照明条件不仅能够提升校验人员的工作舒适度，还能有效减少因环境不佳导致的操作失误和安全隐患^[9]。在一次校验工作中，工作人员发现工作区域的通风效果不佳，导致校验过程中产生的有害气体无法及时排出，影响了校验人员的健康。为此，他们立即采取措施，增加了通风设备，并调整了通风口的布局，确保了工作区域的空气流通。同时，他们还加强了照明设施的设置，根据校验工作的实际需要，合理安装了照明灯具，确保了校验人员在工作过程中能够保持良好的视力条件，减少了因光线不足导

致的操作失误。此外，减少校验工作区域的噪声和振动也是改善工作环境的重要措施。噪声和振动不仅会影响校验人员的身心健康，还会干扰校验工作的准确性和安全性。在一次校验工作中，工作人员发现校验设备产生的噪声和振动较大，导致校验人员在工作过程中感到疲劳和不适。为此，他们采取了噪声和振动控制措施，如采用隔音材料对设备进行包裹，减少噪声的传播；在设备底部安装减震装置，降低振动对周围环境的影响^[10]。这些措施的实施，有效降低了校验工作区域的噪声和振动水平，提升了校验人员的工作舒适度和安全性。

三、结论

热工仪表校验过程中的安全防护措施是保障校验工作顺利进展、确保热力系统安全与稳定运行的重要环节。本文通过分析校验过程中可能遇到的安全风险，提出了加强校验人员培训、完善校验设备安全防护、制定应急预案和改善校验工作环境等安全防护措施。这些措施的实施将有效提升校验工作的安全性，降低安全事故的发生概率，为热力系统的安全与稳定运行提供有力保障。未来，随着热力系统的不断发展和热工仪表技术的不断进步，热工仪表校验过程中的安全防护措施也将不断完善和优化，以适应新的安全需求和挑战。

参考文献

- [1] 张静晗. 关于热工仪表的校验工作要点分析 [J]. 中国设备工程, 2018, (02): 230-231.
- [2] 赵磊. 热工仪表校验工作质量管理浅析 [J]. 通讯世界, 2017, (21): 111-112.
- [3] 于晶. 热工仪表校验仪测量标准不确定度的测量方法及计算的综合分析 [J]. 电工文摘, 2016, (01): 32-34.
- [4] 鲁丽媛. 热工仪表校验工作质量管理浅析 [J]. 低碳世界, 2013, (20): 90-91.
- [5] 庞自强, 戈风清. 浅析热工仪表检修方法 [J]. 中国新技术新产品, 2013, (18): 111.
- [6] 朱晓琳, 刘苇苇. 热工仪表校验工作质量管理分析 [J]. 机电信息, 2013, (15): 77-79.
- [7] 张树群. 热工仪表校验仪的校准方法 [J]. 科技传播, 2013, 5 (10): 183-180.
- [8] 郭慧, 陈国刚. 热工仪表校验仪校准方法的探讨 [J]. 科技传播, 2013, 5 (09): 100-88.
- [9] 周海燕. 关于热工仪表校验工作质量管理的分析 [J]. 中国外资, 2012, (23): 43.
- [10] 肖振江. 热工仪表校验工作质量管理分析 [J]. 科技传播, 2012, 4 (20): 78-72.

水工环在我国海绵城市建设中的作用与前景

高吉

江苏省环境地质调查大队, 江苏 南京 210012

摘 要 : 本文探讨了海绵城市的建设现状及发展趋势, 分析了水工环在海绵城市建设中的具体作用, 回顾了海绵城市研究的进展, 从水文过程到生态恢复, 并讨论了海绵城市建设的策略与措施。此外, 还强调了水利在海绵城市建设中的重要角色, 从水资源管理到水生态保护, 再到水安全的保障。文章旨在提供对海绵城市建设的全面理解, 并指出未来发展的关键方向。

关 键 词 : 海绵城市; 水工环; 水文过程; 生态恢复; 水利

The Role and Prospects of Hydrological Engineering in the Construction of Sponge Cities in China

Gao Ji

Environmental Geology Survey Team of Jiangsu Province, Nanjing, Jiangsu 210012

Abstract : This article explores the current status and development trends of sponge city construction, analyzing the specific role of hydrological engineering in this process. It reviews the progress of sponge city research, from hydrological processes to ecological restoration, and discusses strategies and measures for sponge city construction. Furthermore, it emphasizes the critical role of water conservancy in sponge city development, ranging from water resource management to aquatic ecological protection and water safety guarantees. The article aims to provide a comprehensive understanding of sponge city construction and highlight key directions for future development.

Keywords : sponge city; hydrological engineering; hydrological process; ecological restoration; water conservancy

引言

随着城市化进程的加快, 城市内涝、水资源短缺和水环境污染等问题日益严重, 对城市居民的生活质量和城市的可持续发展构成了严峻挑战。为应对这些挑战, 海绵城市的理念应运而生, 成为我国城市建设和管理的全新方向。海绵城市, 顾名思义, 就像海绵一样, 具有在适应环境变化和应对自然灾害等方面具有良好的“弹性”。它强调通过生态化措施, 提高城市对雨水的吸纳、蓄渗和缓释能力, 实现城市水资源的可持续利用。近年来, 我国在海绵城市建设方面取得了显著成果, 但同时也面临着资金、技术和体制机制等方面的挑战。

一、海绵城市的建设现状及发展趋势

海绵城市建设注重系统性地解决城市内涝和水体黑臭问题, 由此带来市政排水的建设理念由单一排水系统转变为“源头减排—排水管网—排涝除险”三段式雨水系统和以水环境目标为导向、厂网一体、兼顾径流污染控制的污水系统的构建。以排水管网系统作为基础, 发挥建筑与小区、道路、绿地、广场和自然水体对雨水的下渗、滞留、净化作用; 提升排水管网和污水处理厂对污染物质的输送和处理效能^[1]。近年来, 我国在海绵城市建设方面取得了显著成果, 但同时也面临着诸多挑战。

(一) 海绵城市的提出与发展历程

海绵城市的概念源于对城市生态环境的深刻反思, 其发展历程在我国可谓波澜壮阔。自21世纪初, 面对日益严重的城市内涝问题, 我国开始探索海绵城市的理念。2012年, 海绵城市概念首

次被提出并纳入国家发展战略, 2015年国务院办公厅发布的《关于推进海绵城市建设的指导意见》则标志着全国范围内的海绵城市建设正式启动。经过多年的实践, 我国在海绵城市建设上取得了显著成果: 政策体系逐步完善, 各地政策相继出台, 推动了海绵城市建设的进程; 试点城市如杭州、厦门、深圳等地通过海绵城市建设有效缓解了内涝问题, 成效显著; 技术创新方面也不断取得突破, 新型材料、绿色基础设施等在海绵城市建设中得到了广泛应用^[2]。这些成果不仅体现了海绵城市理念的生命力, 也为我国城市可持续发展提供了重要支撑。

(二) 当前海绵城市建设的挑战与机遇

在推进海绵城市建设的征程中, 资金投入不足、技术瓶颈和体制机制不完善等挑战成为一道道需要逾越的障碍, 这些问题的解决考验着智慧和决心。挑战与机遇如影随形, 政策支持加强、市场需求的旺盛和技术创新的广阔前景, 为海绵城市建设带

来了无限可能。正视挑战，把握机遇，是海绵城市建设的必然选择。国家层面的政策扶持为建设提供了有力保障，市场的快速发展推动了行业的持续增长，技术创新的潜力为解决技术难题和提升建设效果开启了新的窗口。在这一过程中，不断探索和进步，将确保海绵城市理念在国内得到有效实施和发展。

二、水工环在海绵城市建设中的具体作用

水工环，即城市水环境工程，是海绵城市建设的重要组成部分。它通过科学规划和工程设计，确保城市水系统的和谐运行，并针对不同地区的矛盾需求提供定制化的解决方案。

（一）城市水系统的和谐性保证

城市水系统的和谐性是海绵城市建设的核心目标之一，而水工环作为城市的“水脉”，在这一过程中扮演着至关重要的角色，维系着水循环的平衡。通过构建雨水收集、储存和利用系统，水工环实现了对城市水资源的合理调配，确保了城市供水、排水和再生水利用的平衡^[3]；同时，它通过生态修复和污染源控制，提升了城市水体自净能力，保护了水环境质量，为居民提供了清洁的水源。此外，水工环在洪涝风险管理方面也发挥着重要作用，通过建设调蓄池、湿地公园等设施，提高了城市对极端天气事件的适应能力，减少了洪涝灾害的影响。具体而言，水工环设施在雨季能够有效收集和储存雨水，防止城市内涝，同时通过污水处理设施减少污染物排放，并通过生态修复提升了城市环境的整体质量。

（二）针对不同地区矛盾需求的解决方案

我国地域广阔，不同地区的自然条件、经济发展水平和文化背景差异显著，导致海绵城市建设面临的需求和矛盾各异。水工环通过因地制宜的解决方案，有效应对这些挑战。在干旱与半干旱地区，水工环侧重于雨水的收集和利用，通过建设雨水花园、渗井等设施，提高雨水资源的利用率；而在洪涝多发地区，则强调排水和调蓄功能，通过建设雨水塘、地下水库等设施，减轻洪涝风险。同时，在快速城市化进程中，水工环通过生态廊道、绿色屋顶等设计，实现了城市扩张与生态保护的平衡。具体措施包括根据不同地区特点制定差异化的分区规划，确保方案的科学性和可行性；研发适用于不同地区的水工环技术和材料，提高解决方案的适应性和效率^[4]；以及鼓励社区居民参与水工环的建设和维护，增强公众对海绵城市建设的认知和支持。这些措施共同促进了海绵城市建设的多元化和本土化。

三、海绵城市研究进展：从水文过程到生态恢复

海绵城市建设不仅是推动城市可持续发展的必然要求，更是深化生态文明建设的关键环节。它体现了对自然资源的尊重和对生态环境的保护，将绿色发展理念融入城市建设之中。

（一）海绵城市与城市水文过程的关系

城市水文过程，作为海绵城市研究的基石与核心内容，揭示了降水在城市环境中的流动路径、循环机制及其动态变化规律。

深入探究城市水文过程与海绵城市建设之间的互动关系，对于精细化城市设计、提升建设成效具有至关重要的意义。海绵城市的构建理念，旨在模仿并恢复自然水文循环，通过实施透水性铺装、绿色屋顶、植被渗沟等生态工程措施，重建雨水自然渗透、滞留、储存及净化流程，进而显著提高城市对降水的吸纳、利用及调节功能^[5]。

在此过程中，研究者运用先进的水文模拟技术，对比分析海绵城市建设前后的水文响应，精确量化各项措施对城市水文循环的改善作用，为规划设计与政策制定提供了科学依据。水文过程的优化，不仅重塑了城市水资源的分配模式，而且对城市生态环境产生了深远的影响。它不仅有效减轻了城市内涝灾害，提升了水资源的循环利用效率，而且改善了城市居民的生活环境，提升了居住品质。

进一步地，水文过程的改良对城市生态系统产生了正向反馈。它促进了生物多样性的恢复，为野生动植物提供了栖息与繁衍的空间，增强了城市生态系统的稳定性和抗逆能力。在这种互惠共生的关系中，海绵城市与自然环境形成了紧密的依存与促进关系，共同构筑了一个持续发展的城市生态网络。

（二）水环境、水资源、水安全和水生态的研究进展

在海绵城市的研究领域内，水环境、水资源、水安全和水生态构成了一个相互依赖、相互作用的复杂系统。近年来，对这些领域的研究取得了显著成就，为海绵城市的实际应用提供了坚实的理论依据和技术支持。研究者通过对雨水径流中污染物迁移规律的分析，为污染控制策略的制定提供了科学参考，并研发了一系列生态修复技术，包括人工湿地、生物浮床等，这些技术有效提升了水环境的质量^[6]。

此外，雨水资源化利用和水资源管理的优化策略，为城市水资源的持续利用探索了新的途径。在防洪减灾和水质安全保障方面，研究者通过模拟海绵城市设施的效能，提出了高效的应对策略，从而降低了洪涝灾害的风险。同时，通过多级过滤和净化系统的应用，确保了城市供水的安全性。进一步地，对生态系统服务的评估揭示了海绵城市设施在气候调节、提供生物栖息地等方面的重要作用，这进一步增强了城市生态系统的服务功能。

总的来说，海绵城市研究的多维度进展，不仅促进了城市水文循环的改善，也为城市可持续发展提供了综合性的解决方案，从而在学术和实践层面推动了城市生态建设和环境管理的创新。

四、海绵城市建设的策略与措施

海绵城市建设作为推动城市可持续发展的关键举措，经过十年的探索与实践，已在我国多个城市落地生根。然而，随着建设的深入，我们也面临着新的挑战和问题。

（一）十年来的发展历程与成效

过去十年，海绵城市建设在中国经历了从理念提出到实践推广的过程，取得了显著成效，积累了宝贵经验。自2012年海绵城市概念提出以来，国家和地方政府相继出台了一系列政策文件，建立了完善的政策框架，为海绵城市建设提供了坚实的政策支持

和制度保障^[7]。在实践中,我国不断探索和完善技术规范,制定了一系列建设标准,为工程实施提供了科学指导。随着项目的不断推进,从最初的试点城市到全国范围内的广泛推广,积累了透水铺装、雨水花园、湿地公园等大量成功案例,有效提升了城市的雨水管理能力。同时,通过宣传教育和实践成果的展示,社会公众对海绵城市的认知度显著提高,公众参与度也在不断增强,共同推动了海绵城市建设的深入发展。

(二) 面临的挑战与未来发展方向

尽管海绵城市建设取得了阶段性成果,但在推进过程中也暴露出了一些问题和挑战,这指明了未来发展的方向^[8]。初期投资大、后期维护成本高,资金的有效投入和项目长效运营成为首要挑战;现有技术尚不足以满足多样性的城市需求,技术创新和适应性研究亟需加强;城市规划与海绵城市理念的融合、规划与实施的衔接也亟待改善。展望未来,需要进一步完善政策法规,建立长效激励机制,探索多元化的投融资模式,确保资金保障;加强技术研发,推动科技成果转化,提升建设的科学性和实用性;同时,鼓励公众参与,提高社会对海绵城市价值的认识,形成共建共治共享的良好局面,共同推动海绵城市建设的深入发展。

五、水利在海绵城市建设中的重要角色

水利作为国家基础设施的重要组成部分,其在海绵城市建设中的作用不可小觑^[9]。从水资源管理到水生态保护,再到水安全的保障,水利工作为海绵城市的可持续发展提供了坚实的基础。

(一) 水利工作的指导意见与海绵城市建设

水利工作的指导意见为海绵城市建设提供了明确的方向和行动纲领,确保了水利设施与海绵城市理念的有机结合。国家和地方水利部门根据海绵城市建设的总体要求,出台了一系列指导意见,强调在水利规划和建设中深入融入海绵城市理念。这些指导

意见鼓励采用新技术、新材料,创新水利设施设计,使其在雨水收集、净化和利用方面更好地服务于海绵城市建设。同时,水利工作注重与城市规划、生态保护的协同,通过综合规划的推进,实现了水利设施与城市建设的和谐共生,为构建可持续发展的城市水系统奠定了坚实基础。

(二) 水资源管理、水生态保护与水安全

水资源管理、水生态保护与水安全是海绵城市建设中的三大关键领域,水利工作在其中扮演着至关重要的角色。在水资源管理方面,通过建设和改造水库、湖泊等水利设施,提高了城市水资源的调配能力,同时推广节水技术和设备,提升了水资源利用效率,有效减少了水资源的浪费。在水生态保护方面,实施河流生态修复工程,恢复河流的自然状态,提升水体自净能力,并保护和恢复城市湿地系统,构建绿色基础设施,从而改善了城市生态环境^[10]。而在水安全方面,加强防洪设施建设,提高城市的防洪排涝能力,减少洪涝灾害风险,并通过水源地保护、水处理设施升级等措施,确保了城市供水的安全。

六、结束语

通过对海绵城市建设现状、发展趋势、水工环的具体作用、研究进展以及水利的重要角色的深入探讨,我们不仅全面了解了海绵城市在我国的发展脉络和所取得的成就,也清晰认识到其面临的挑战与机遇。海绵城市建设是一项系统工程,它涉及生态、技术、经济、社会等多个方面,需要我们以科学的态度、创新的精神和务实的作风,持续推进。让我们携手共进,为构建更加和谐、可持续的城市环境,实现人与自然、发展与保护的共生共赢,贡献我们的智慧和力量。未来,海绵城市将成为我国城市发展的亮丽名片,展现出生态文明建设的美好图景。

参考文献

- [1] 李春鞠. 海绵城市建设标准体系研究 [J]. 工程建设标准化, 2023, (S2): 60-63. DOI: 10.13924/j.cnki.cecs.2023.s2.017.
- [2] 焦作市海绵城市建设管理办法 [J]. 焦作市人民政府公报, 2023, (06): 3-4.
- [3] 冯陈盛, 谭锋. 海绵城市建设对土壤污染物的削减效应研究 [J]. 建设科技, 2023, (24): 52-54+58. DOI: 10.16116/j.cnki.jskj.2023.24.014.
- [4] 朱卓. 城市给排水建设中海绵城市理念的运用研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023, (36): 40-42. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202336014.
- [5] 唐雨语, 陈勇. 基于生态河道需求的海绵城市规划策略探讨 [J]. 水利技术监督, 2023, (12): 103-105+148.
- [6] 李书焕. “海绵城市”建设理念在园林工程垂直绿化中的应用 [J]. 现代园艺, 2023, 46(24): 162-164. DOI: 10.14051/j.cnki.xdy.2023.24.059.
- [7] 刘扬. 山地丘陵城市海绵城市建设实践 [J]. 福建建材, 2023, (12): 103-105.
- [8] 徐涛, 王芳鹏, 牛佳薇. 海绵城市理念在城市道路排水施工中的应用 [J]. 建筑技术开发, 2021, 48(23): 53-54.
- [9] 颜凡新, 耿军, 章宵. 海绵城市道路侧分带下凹式绿地施工技术 [J]. 云南水力发电, 2021, 37(10): 84-87.
- [10] 郭竹玲. 北方市政道路海绵城市建设技术 [J]. 山西建筑, 2021, 47(09): 106-108. DOI: 10.13719/j.cnki.1009-6825.2021.09.039.

基于 CRT 技术的石油钻井工程效率提升 应用效果分析研究

杨小军

中石化西南石油工程有限公司重庆钻井分公司，四川 德阳 618000

摘 要： 本研究深入探讨了 CRT 在石油钻井工程中的应用，包括技术原理、设备组成及其优势。通过优化钻井工艺、提升设备性能、提高人员素质与操作技能以及加强管理水平与信息化建设，有效提升了钻井工程效率。此外，本研究还提出了 CRT 的推广策略，包括技术研发与创新、人才培养与培训、政策支持与资金投入以及企业合作与交流等方面。通过这些策略，CRT 有望在石油钻井工程中得到更广泛地应用，从而推动整个行业的技术进步和效率提升。

关 键 词： CRT；石油钻井工程；效率提升；钻井工艺优化；设备性能提升

Analysis and Research on the Application Effect of CRT Technology in Improving the Efficiency of Petroleum Drilling Engineering

Yang Xiaojun

Chongqing Drilling Branch of Sinopec Southwest Petroleum Engineering Co., Ltd. Deyang, Sichuan 618000

Abstract： This study deeply explores the application of CRT in petroleum drilling engineering, including technical principles, equipment composition, and its advantages. By optimizing drilling processes, improving equipment performance, enhancing personnel quality and operational skills, and strengthening management level and informatization construction, the efficiency of drilling engineering has been effectively improved. Furthermore, this study proposes promotion strategies for CRT, including technology research and innovation, talent cultivation and training, policy support and capital investment, and enterprise cooperation and exchange. Through these strategies, CRT is expected to be more widely used in petroleum drilling engineering, thus promoting technological progress and efficiency improvement in the entire industry.

Keywords： CRT; petroleum drilling engineering; efficiency improvement; drilling process optimization; equipment performance improvement

引言

随着石油资源的日益减少，石油钻井技术的创新和发展成为全球能源行业的重要课题。CRT 作为一种高效、可靠的钻井辅助技术，在石油钻井领域得到了广泛的应用。在石油钻井过程中，提高钻井效率是降低成本、提高产量的重要途径。然而，传统的钻井方法存在诸多问题，如钻杆连接和下入套管的时间长、劳动强度大等。CRT 的出现，为解决这些问题提供了新的思路和方法。通过顶部驱动系统（Top Drive System）的运用，CRT 实现了套管的快速、平稳下入，大大简化了传统钻井中繁琐的套管操作流程。此外，CRT 还具有提高作业效率、降低劳动强度、提升作业质量、增强适应性以及节约成本等显著优势。

一、CRT 技术概述

在石油钻井领域，顶驱下套管循环冲洗技术（CRT）凭借其高效、可靠的性能，已逐步成为行业内的主流选择。CRT 技术的应用，使得钻井作业过程中的套管下入更加顺畅，有效降低了作业难度。在钻井过程中，该技术能够实现循环冲洗，确保井壁清洁，防止井壁塌陷，从而大大减少了钻井事故的发生。

（一）CRT 技术原理

CRT 利用顶部驱动系统（Top Drive System）来实现套管

的下入作业。顶驱下套管系统是安装在顶驱系统上的装置，其集成了机械和液压控制系统，动力系统通过其驱动机构用于松开或夹紧套管。在顶驱转动和提升载荷的作用下，系统完成套管的上扣、卸扣、提升、下降、旋转等操作。由于该系统具有自密封机构，自密封机构可与夹紧的套管实现内部密封^[1]。

（二）CRT 技术设备组成

顶驱下套管设备是石油钻井作业中不可或缺的重要组成部分，其设计精良、功能齐全，确保了钻井作业的高效和安全。该设备由顶部驱动装置、钻杆升降装置、套管钳和控制系统这四个

核心部分构成。顶部驱动装置作为整个系统的动力源，安装在钻机顶部，它直接驱动钻杆和套管的旋转，为钻井作业提供连续的旋转动力。钻杆升降装置则用于控制钻杆的上下移动，以便于套管的连接和下入，这一功能极大地简化了钻井作业中的操作流程^[2]。套管钳则用于夹持和旋转套管，确保套管能够准确对接，提高了作业的精确性和安全性。控制系统包括电气控制和液压控制系统，实现了对整个顶驱下套管过程的精确控制，确保了钻井作业的顺利进行。这四个核心部分相互协作，共同构成了顶驱下套管设备，为石油钻井作业提供了强大的支持。

（三）CRT 技术优势与发展现状

在石油钻井领域，CRT 凭借其高效性和安全性，为钻井作业带来了显著的变革。这项技术的核心在于顶部驱动系统（Top Drive System），它不仅大幅缩短了钻井周期，还通过自动化操作流程降低了劳动强度，提高了作业安全性。精确控制套管的旋转和下入速度，有效避免了套管损坏和井壁磨损，从而提升了钻井质量。此外，CRT 的多功能性使其能够适应多种复杂地质条件，增强了钻井作业的适应性和灵活性。虽然初期投资较高，但长期来看，它通过提高作业效率和降低维护成本，实现了整体成本的节约。

国外 CRT 已经发展有十多年，从最初的机械式 CRT，发展到现在的液压式 CRT，典型的 CRT 有 Top-Tek。沙特市场目前普遍采用液压式 CRT 下套管。尽管 CRT 在中国的普及率相对较低，但这种技术正逐渐得到应用和发展。例如，四川中曼石油设备制造有限公司，一家专注于石油装备制造的企业，已经通过了国家级专精特新“小巨人”企业认定，表明该公司在专业技术水平、创新能力、制造能力等方面获得了社会的认可^[3]。该公司自主研发设计的顶驱设备在钻井参数、套管准确性等方面具有优势，并且已经在工业性测试中取得了良好的效果。

二、石油钻井工程效率提升关键因素分析

石油钻井工程是一项涉及众多领域的复杂系统工程，其作业效率的高低受到一系列相互交织的因素的共同影响。因此，为了确保钻井工程的高效运行，必须综合考虑这些因素，采取科学合理的措施，不断提升钻井技术和管理的整体水平。

（一）钻井设备性能提升

设备性能的提升是提高钻井效率的直接途径。这涉及对钻机、钻具、顶部驱动系统等关键设备的升级改造。高性能的钻机可以提供更稳定的钻井平台，减少非作业时间。先进的钻具能够适应更复杂的地质条件，减少钻具故障和更换时间。而顶部驱动系统的应用，则大大提高了套管下入的速度和安全性，从而提升了整体钻井效率。

（二）钻井工艺优化

钻井工艺的优化是提升工程效率的基石。这包括对钻井液体系、钻头选型、钻井参数以及钻井轨迹的持续改进。通过采用高效的钻井液体系，可以减少井下复杂情况的发生，提高机械钻速。同时，根据地层特性选择合适的钻头，可以显著提高破岩效

率^[4]。此外，对钻井参数的实时监测和优化调整，以及精确控制钻井轨迹，都能有效缩短钻井周期，提高效率。

（三）人员素质和操作技能

人员素质和操作技能是影响钻井效率不可忽视的因素。专业化的钻井队伍能够更好地应对井下复杂情况，快速做出正确决策。定期的技能培训和技術交流，可以提高操作人员的熟练度，减少操作失误。此外，建立激励机制，鼓励员工技术创新和经验分享，也是提升人员素质和操作技能的有效手段。

三、基于 CRT 的石油钻井工程效率提升应用

CRT 作为一种革命性的钻井辅助技术，已经在实践中证明了对提升石油钻井工程效率的显著效果。

（一）CRT 在石油钻井工程中的应用

在石油钻井工程中，CRT 发挥着至关重要的作用。它通过顶部驱动装置的精确控制，实现了套管的快速、平稳下入，从而显著减少了传统下入方法中的反复起吊和调整。这一技术使得钻杆连接更加便捷，进一步减少了连接时间，提升了钻井作业的连续性。特别是在面对复杂地质条件，如井壁不稳定、高压层等挑战时，CRT 能够提供更加可靠的解决方案，有效保障钻井作业的安全^[5]。

（二）CRT 对钻井工程效率的提升作用

在石油钻井领域，CRT 正日益显现其重要性。这一技术的核心优势在于其自动化和连续化的操作方式，这不仅大幅减少了钻井过程中的非生产时间，还显著缩短了钻井的整体周期。此外，顶驱技术的精确控制显著降低了人为操作失误的风险，从而有效减少了井下事故的可能性。在套管下入方面，顶驱技术通过提高精准度，不仅有助于形成更加稳定的井壁，还显著提升了钻井的整体质量。

（三）CRT 在实际应用中的问题与对策

尽管 CRT 在石油钻井工程中展现出诸多优势，实际应用中也面临着挑战。第一，作为精密设备，顶驱装置的维护成本较高。通过优化维护计划和提高维修技术，可以有效降低维护成本。第二，CRT 对操作人员技能要求较高。为此，建立完善的培训体系，提高操作人员的专业水平，是解决这一问题的有效对策^[6]。第三，顶驱技术在不同地质条件下的适应性存在差异。持续技术创新，开发适应多种地质条件的顶驱设备，是提高技术适应性的关键。

四、CRT 在石油钻井工程中成功应用案例

（一）项目背景

四川门西 001-H3 气井位于地质结构复杂、地层压力异常并含有酸性气体的四川盆地，这些特殊条件对钻井技术提出了极高的要求。面对传统套管下入技术在此类复杂地质条件下效率低下、安全风险高的挑战，北京石油机械厂自主研发了顶驱下套管装置，旨在通过引入这一先进技术来显著提升套管作业的效率 and 安全性，从而有效应对复杂井况带来的各种难题。

（二）应用过程

在四川盆地复杂地质环境下开展门西 001-H3 气井的钻井作业前，北京石油机械厂的技术团队进行了周密的井况分析，并根据地质特性和套管下入的具体需求，对顶驱下套管装置进行了专项配置与优化。设备抵达现场后，技术人员对其进行了全面调试，特别是旋扣和扭矩控制系统的精确性，确保了装置的平稳运行。在作业实施过程中，顶驱下套管装置的旋扣系统稳定高效，避免了套管扭曲或损坏的风险，同时，上扣扭矩控制系统的精确调节保证了套管螺纹的紧固质量，防止了过扭矩损伤。整个作业过程中，技术人员对设备状态进行了实时监控，及时调整作业参数，保障了钻井作业的连续性和高效率。

（三）成效

采用顶驱下套管装置的门西 001-H3 气井钻井作业，相较于传统套管下入方法，实现了效率的显著提升，有效缩短了钻井周期。同时，装置的精确控制和稳定运行大大降低了作业风险，特别是在复杂地质条件下，增强了作业的安全性。此次技术的成功应用不仅填补了中国石油在装备制造领域的技术空白，也推动了套管作业技术的机械化和自动化发展。此外，它为中国石油处理复杂井况、提升钻井效率提供了关键的技术支持，并为类似地质条件的钻井作业积累了宝贵的经验。

（四）国外应用

目前国外常用的 CRT 为液压式 CRT，对于 9-5/8” 和 5-1/2” 套管，下套管平均速度能达到 23 根 / 小时，比国内平均速度 15 根 / 小时提高 53%。

五、CRT 在石油钻井工程中的推广策略

技术的推广与应用是推动行业发展的重要动力。CRT 作为一种高效、可靠的钻井技术，其推广对于提升整个石油钻井工程行业的发展水平具有重要意义。

（一）技术研发与创新

技术研发与创新是推进 CRT 不断进步的关键。为了促进技术的发展，推广策略应重点关注以下几个方面：一是深化基础研究，不懈探索顶驱技术的理论支撑，为技术革新奠定坚实的科学基础。二是紧贴市场需求，持续提升顶驱设备的性能，增强其稳定性和适应性，以应对多变的作业环境和技术挑战^[7]。三是融合物联网、大数据等先进信息技术，提高 CRT 的智能化程度，通过数据分析与远程监控，有效提升作业效率和安全性能。

（二）人才培养与培训

人才培养与培训是 CRT 广泛应用的根本。全面提升从业人员技术能力，关键在于以下策略的实施。一是构建一套全面的培训体系，至关重要。这包括精心设计的专业培训课程，覆盖 CRT 的理论知识、操作技巧以及安全规范，确保从业人员能够全面掌握技术和操作要点。二是推行具有远见的人才引进策略。主动吸引国内外顶尖技术专家和行业领军人物，他们的参与将激发技术研发的新活力，并带来前沿的技术视角和实践经验。三是加强校企合作，拓展人才培养路径^[8]。与高等教育机构和科研院所紧密联

手，打造一个融合理论与实践的人才培养平台，培养出既具有扎实理论知识，又能够应对实际工作挑战的高素质人才，为技术的不断创新和发展提供持续的动力源。

（三）政策支持与资金投入

政策扶持与资金投入是 CRT 广泛推广的重要保障。为了确保这一技术的市场接受度和应用范围，以下策略应当得到重点关注和实施：一是政府应当制定并实施一系列优惠措施，以激发企业采纳 CRT 的积极性。通过提供税收减免、财政补贴等激励政策，可以有效降低企业的运营成本，从而推动技术的广泛普及和运用。二是政府和企业的资金支持必须加大力度，特别是在顶驱技术的研发领域。三是必须构建一个完善的激励机制，对于那些在 CRT 研发和应用方面取得显著成就的个人和团队，给予物质和精神上的双重奖励^[9]。

（四）企业合作与交流

企业间的合作与交流是 CRT 广泛传播的关键途径。为了高效实现技术普及，以下策略应予以采纳：一是倡议建立行业联盟，鼓励业内企业携手成立技术联盟。二是重视国际交流与合作，主动与国际上先进的企业和技术团队建立联系。三是定期举办行业交流论坛，为技术人员搭建一个互动交流的平台^[10]。

六、结束语

在抵达这一研究旅程的里程碑时，我们不禁审视 CRT 在油气钻井领域的广泛部署，及其对钻井作业综合效率的显著提升。从对底层理论的深入挖掘到现场实操的反复调校，每一步的进展都汇聚了科研人员不懈的专业智慧和辛勤汗水。我们期待，本研究不仅能成为业内专家和技术人员的权威参阅文献，更能在钻井工程领域激发深刻的行业思考，成为推动技术革新的催化剂。我们深知，技术发展的征程是一条不断延伸的产业链，每一项技术突破都是开启高效能、低成本钻井新纪元的新起点。

参考文献

- [1] 孙乾坤. CRT 在东海的运用效果研究 [J]. 化工管理, 2024,(09):69-71+81. DOI:10.19900/j.cnki.ISSN1008-4800.2024.09.018.
- [2] 陈清正. CRT 及在渤海油田的应用 [J]. 化学工程与装备, 2023,(12):101-103. DOI:10.19566/j.cnki.cn35-1285/tq.2023.12.065.
- [3] 孟令峰, 石坚, 樊金永, 等. 机械式顶驱旋转下套管装置的研制 [J]. 石油和化工设备, 2023,26(04):20-23.
- [4] 徐慧斌, 赵义鹏, 邓冲, 等. 新型顶驱下套管工具的设计及研究 [J]. 机电工程技术, 2022,51(01):65-68+79.
- [5] 徐新乐, 涂增文, 吴乐平, 等. 顶驱旋转下套管技术及在长宁 H8 平台的应用 [J]. 化工管理, 2020,(33):197-198.
- [6] 李骥然, 赵博, 米凯夫, 等. 旋转下套管技术在川渝页岩气开发中的应用 [J]. 石化技术, 2020,27(07):90-92+145.
- [7] 王峰, 崔波, 贾军, 等. 浅析顶驱旋转下套管技术 [J]. 中国设备工程, 2019,(14):115-117.
- [8] 柳海啸, 刘芳, 代文星, 等. 基于大数据分析技术的钻井提效实践 [J]. 石油钻采工艺, 2021,43(04):436-441.DOI:10.13639/j.odpt.2021.04.004.
- [9] 郭永峰. 中东天然气田使用美国自动钻机提高钻井效率 [J]. 中国石油企业, 2021,(06):82-83.
- [10] 郭栋. 如何提高煤层气井钻井效率的工艺技术 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023,43(21):151-153.

大数据驱动的网络综合监测系统

于祺嘉, 武传胜

辽宁科技大学计算机与软件工程学院, 辽宁 鞍山 114044

摘 要 : 随着网络技术的飞速发展, 网络监测分析平台面临着前所未有的挑战。传统的安全监测方法依赖于已知规则库, 难以应对新型攻击手段。本文提出了一种基于大数据分析 & 预测技术的网络综合监测系统, 该系统能够采集 DPI、DFI、NetFlow、主动测量和扫描、SNMP、SLA 等多元化数据, 处理和存储流量、性能、安全等结构化及非结构化数据。系统以态势感知、流量透视、回溯分析、性能监控、安全检测、资产管理为核心功能, 融合了设备与拓扑管理、专题分析、攻击反制、异常文件识别和还原、主动测量等手段, 具备不依赖规则而检测网络威胁的能力, 旨在打造一体化网络综合、智能化监测分析解决方案。

关 键 词 : 网络流量分析; 安全监测; 深度数据包检测; 大数据

Big Data-Driven Comprehensive Network Monitoring System

Yu Qijia, Wu Chuansheng

School of Computer Science and Software Engineering, University of Science and Technology Liaoning, Anshan, Liaoning 114044

Abstract : With the rapid development of network technology, network monitoring and analysis platforms are facing unprecedented challenges. Traditional security monitoring methods rely on known rule bases and are difficult to deal with new attack methods. This paper proposes a comprehensive network monitoring system based on big data analysis and prediction technology. This system can collect diversified data such as DPI, DFI, NetFlow, active measurement and scanning, SNMP, SLA, and can process and store structured and unstructured data such as traffic, performance, and security. The core functions of the system are situational awareness, traffic perspective, retrospective analysis, performance monitoring, security detection, and asset management. It integrates equipment and topology management, thematic analysis, attack countermeasures, abnormal file identification and restoration, active measurement, and other means. It has the ability to detect network threats without relying on rules, aiming to create an integrated and intelligent network monitoring and analysis solution.

Keywords : network traffic analysis; safety monitoring; deep packet inspection; big data

引言

在数字化时代, 互联网已成为现代社会的基础设施, 支撑着经济、文化、教育、医疗等各个领域的运行。随着信息技术的快速发展, 网络的规模和复杂性不断增加, 网络安全问题也随之日益突出。网络攻击、数据泄露、服务中断等安全事件频发, 给个人隐私、企业运营乃至国家安全带来了严重威胁^[1]。

传统的网络监测系统主要依赖于单一的数据来源, 如防火墙日志、入侵检测系统警报等, 这些系统通常基于已知的攻击模式和规则库进行监测和响应。然而, 随着攻击手段的不断演变和新型攻击技术的层出不穷, 如高级持续性威胁 (APT)、零日漏洞攻击等, 传统方法在检测未知威胁和复杂攻击链方面显得力不从心。此外, 网络环境的复杂性也使得单一数据源难以全面反映网络的真实状态, 导致监测结果的片面性和局限性^[2]。

大数据技术的兴起为网络监测领域带来了新的机遇。大数据分析能够处理和分析海量、多样化的数据集, 从中提取有价值的信息, 发现潜在的模式和趋势。通过整合来自不同来源的数据, 如深度数据包检测 (DPI)、深度流分析 (DFI)、NetFlow、主动测量和扫描、简单网络管理协议 (SNMP)、服务水平协议 (SLA) 等, 可以构建一个全面的网络视图, 从而更准确地监测和分析网络流量和行为。

本文旨在探讨如何利用大数据技术构建一个综合性的网络监测系统。该系统将采集和分析多元化的数据, 支持结构化及非结构化数据的处理和存储, 实现对网络流量、性能、安全的全面监测。系统将融合多种监测手段, 如设备与拓扑管理、专题分析、攻击反制、异常文件识别和还原、主动测量等, 以实现不依赖规则的网络威胁检测能力。通过构建这样一个系统, 我们希望能够提高网络的安全性和稳定性, 为网络管理员提供更有效的工具来应对日益复杂的网络环境和不断演变的攻击手段^[3]。

一、系统设计

在本节中，我们将详细介绍网络综合监测系统的架构设计和设计原则。系统设计的目标是创建一个高效、可靠、易于维护和扩展的监测平台，以应对不断变化的网络威胁和数据量。

（一）系统架构

网络综合监测系统的架构设计遵循模块化原则，以确保各个组件之间的低耦合性和高内聚性。系统主要由以下几个核心模块组成：

数据采集模块：该模块负责从各种网络设备和传感器中收集数据。它支持多种数据源，包括但不限于 DPI、DFI、NetFlow、SNMP、SLA 等。数据采集模块需要能够处理高速数据流，并确保数据的完整性和准确性。

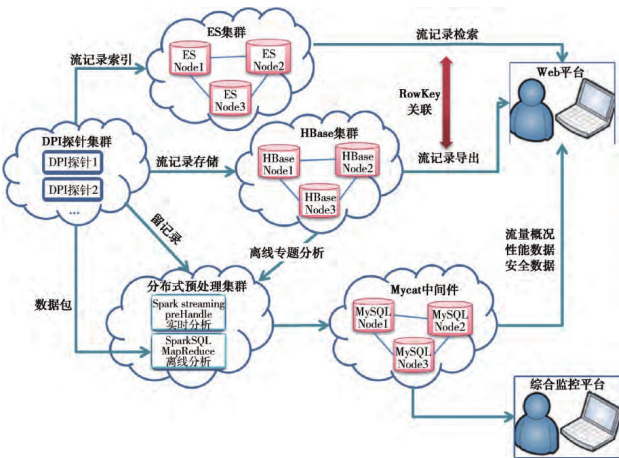
数据处理模块：一旦数据被采集，数据处理模块将对数据进行预处理，包括数据清洗、格式化、归一化等操作。此外，该模块还负责数据的存储，可能涉及到数据的分区、索引和压缩，以提高查询效率^[4-5]。

数据分析模块：数据分析模块是系统的核心，它利用大数据分析和机器学习技术对处理后的数据进行深入分析。该模块能够识别网络流量中的异常模式、潜在的安全威胁和性能瓶颈。

用户界面模块：用户界面模块提供了一个直观的界面，使网络管理员能够轻松地访问监测数据、分析结果和系统配置。它应该支持多种视图和定制报告，以满足不同用户的需求。

安全策略模块：安全策略模块负责定义和更新监测策略，包括安全规则、异常检测阈值和响应机制。该模块还负责与外部安全信息源集成，以获取最新的威胁情报^[6]。

系统架构图如下所示：



> 图 1 大数据采集调度设计系统架构图

在架构图中，数据流向清晰地展示了从数据采集到用户界面的数据流和控制流。每个模块都通过定义良好的接口与其他模块交互，确保了系统的灵活性和可扩展性。

（二）设计原则

在设计网络综合监测系统时，我们遵循以下原则：

可扩展性：系统设计需要考虑到未来可能的扩展，包括支持更多的数据源、分析算法和用户需求。这通常涉及到使用可扩展

的数据库、分布式计算框架和微服务架构。

可维护性：系统的每个模块都应该易于维护和升级。这意味着代码应该清晰、文档齐全，并且模块之间的依赖关系应该尽可能简单。

安全性：由于系统处理的是敏感的网络数据，因此安全性是设计中的首要考虑因素。这包括确保数据传输和存储的安全，以及防止未授权访问和数据泄露。

用户友好性：系统应该提供一个直观的用户界面，使得非技术用户也能轻松地使用。这包括提供清晰的指示、错误处理和帮助文档。

性能：系统需要能够处理大规模的数据集，同时保持快速的响应时间。这可能涉及到优化算法、使用高性能的硬件和数据库调优^[7]。

可靠性：系统应该具有高可用性和容错能力，以确保在面对网络攻击或硬件故障时仍能正常运行。

通过遵循这些设计原则，我们的目标是创建一个强大、灵活且用户友好的网络综合监测系统，以满足现代网络环境的需求。

二、关键技术

网络综合监测系统的实现依赖于一系列关键技术，这些技术共同支撑起系统的数据处理和分析能力，确保系统能够有效地监测和响应网络安全事件。

（一）数据采集技术

数据采集是网络监测系统的首要步骤，它涉及到从多种网络设备和协议中收集数据。以下是实现高效、准确数据采集的关键技术：

多源数据集成

系统需要能够集成来自不同网络设备的数据，如路由器、交换机、防火墙、入侵检测系统等。这要求系统支持多种数据采集协议，如 SNMP、NetFlow、sFlow 等^[8]。

高性能数据流处理

网络数据通常以高速数据流的形式出现，因此数据采集模块需要能够处理高吞吐量的数据流，同时保证数据的完整性和准确性。

实时数据采集

为了实时监测网络状态，数据采集技术必须支持实时数据流的捕获，这通常涉及到使用专门的硬件和软件工具。

数据预处理：在数据被存储之前，可能需要进行预处理，如去除无关数据、格式转换、时间戳同步等，以确保数据的一致性和可用性。

（二）数据处理技术

数据处理技术负责将原始数据转换成可用于分析的格式，并确保数据的质量和可用性。以下是数据处理的关键技术：

数据清洗：数据清洗技术用于识别和纠正数据中的错误和不一致性，如去除重复记录、填补缺失值、格式标准化等。

数据转换：数据转换技术用于将数据转换成适合分析的格

式，如将日志数据转换成结构化表格数据。

数据索引：为了提高数据查询的效率，数据索引技术被用来创建数据的索引，这可以显著加快查询速度，尤其是在处理大规模数据集时。

数据存储：数据存储技术涉及到选择合适的存储解决方案，如关系数据库、NoSQL 数据库或数据仓库，以支持数据的持久化和高效访问^[9]。

（三）数据分析技术

数据分析技术是网络监测系统的核心，它利用机器学习和数据挖掘技术从大量数据中发现模式和趋势。以下是数据分析的关键技术：

机器学习：机器学习算法被用来自动识别数据中的模式和异常，如使用分类算法来识别恶意流量，或使用聚类算法来发现网络中的异常行为。

数据挖掘：数据挖掘技术用于探索数据中的隐藏模式，如关联规则挖掘可以用来发现网络事件之间的潜在联系。

预测分析：预测分析技术用于基于历史数据预测未来的网络行为，如流量预测、攻击趋势预测等。

可视化：数据可视化技术用于将分析结果转换成图形和图表，使网络管理员能够直观地理解复杂的数据分析结果。

（四）安全检测技术

安全检测技术是网络监测系统的重要组成部分，它负责识别和响应潜在的安全威胁。以下是安全检测的关键技术：

行为分析：行为分析技术用于监测网络实体的行为模式，通过比较实际行为与正常行为的偏差来识别潜在的攻击。

异常检测：异常检测技术用于识别数据中的异常点，这些异常点可能表明安全事件的发生，如流量突增、未知设备接入等。

签名匹配：签名匹配技术用于检测已知的攻击模式，通过将网络流量与已知攻击签名进行比对来识别威胁。

威胁情报集成：威胁情报集成技术用于将外部威胁情报源的数据集成到监测系统中，以提高对新型威胁的检测能力。

通过这些关键技术的综合应用，网络综合监测系统能够实现对网络流量的全面监测和分析，及时发现和响应安全事件，从而提高网络的整体安全性^[10]。

三、系统实现

系统实现是将设计转化为实际可运行软件的过程。本节将详细介绍网络综合监测系统的开发过程，包括技术栈的选择、开发流程以及测试和验证方法。

（一）技术栈

网络综合监测系统的开发涉及多种技术和工具，以下是主要使用的技术栈：

编程语言

C/C++：用于系统底层和性能敏感部分的开发，如数据采集和处理模块。

Python：用于数据分析和机器学习模块，因其丰富的库支持

和简洁的语法。

JavaScript：用于前端界面的开发，与 HTML/CSS 结合，提供动态的用户界面。

数据库

MySQL/PostgreSQL：用于存储结构化数据，如用户信息、配置数据等。

Elasticsearch：用于存储和检索非结构化数据，如日志文件、网络流量数据等。

Redis：用作缓存层，提高数据访问速度。

大数据技术

ApacheKafka：用于处理高吞吐量的数据流，作为数据采集和处理模块的中间件。

ApacheSpark：用于大数据处理和分析，支持实时数据处理。

Hadoop：用于数据存储和批量处理。

机器学习库

scikitlearn：Python 中的机器学习库，用于实现分类、聚类等算法。

TensorFlow/Keras：用于构建和训练深度学习模型。

开发工具

Git：版本控制系统，用于代码的版本控制和团队协作。

Docker：容器化平台，用于应用的部署和环境管理。

Jenkins：持续集成 / 持续部署 (CI/CD) 工具，自动化构建和部署流程。

（二）开发过程

系统开发遵循标准的软件开发生命周期，包括需求分析、设计、编码、测试和部署等阶段。

需求分析：在需求分析阶段，开发团队与客户沟通，明确系统的目标和功能需求。此阶段的输出是需求规格说明书，详细描述了系统的功能和性能要求。

设计：在设计阶段，系统架构师设计系统的架构和组件。设计文档详细说明了系统的模块划分、数据流和接口定义。

编码：编码阶段是将设计转化为实际代码的过程。开发团队根据设计文档实现各个模块的功能。以下是使用 C 语言实现数据采集模块的一个关键算法示例：

```
C 语言：
#include<pcap.h>
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
// 回调函数，处理每个数据包
void packet_handler(u_char*user, const struct pcap_pkthdr*pkthdr, const u_char*packet){
    // 处理数据包
    printf("Packet captured\n");
}
int main(){
    char errbuf[PCAP_ERRBUF_SIZE];
```



```
pcap_t*handle;
// 打开设备, 准备捕获数据包
handle=pcap_open_live( "eth0",BUFSIZ,1,1000,errbuf);
if(handle==NULL){
    fprintf(stderr," Couldn't open device %s: %s\n", "eth0",errbuf);
    exit(1);
}
// 设置过滤器, 只捕获 IP 数据包
struct bpf_program filter;
char filter_app[]=" ip" ;
pcap_compile(handle,&filter,filter_app,0,PCAP_NETMASK_UNKNOWN);
pcap_setfilter(handle,&filter);
// 循环捕获数据包
pcap_loop(handle,0,packet_handler,NULL);
// 清理资源
pcap_freecode(&filter);
pcap_close(handle);
return 0;
}
...
```

这段代码使用 libpcap 库来捕获网络数据包,并在回调函数中处理每个数据包。

测试: 测试阶段包括单元测试、集成测试和系统测试。开发团队使用自动化测试框架来验证每个模块的功能和性能。

部署: 部署阶段是将开发完成的系统部署到生产环境中。使用 Docker 和 Kubernetes 等容器化技术可以简化部署过程。

(三) 测试和验证

测试和验证是确保系统稳定性和准确性的关键步骤。以下是主要的测试方法:

单元测试: 每个模块的开发者负责编写和运行单元测试,确保模块的每个功能点都能正常工作。

集成测试: 集成测试验证不同模块之间的接口和数据流是否正确。使用自动化测试工具可以模拟数据流和交互。

系统测试: 系统测试模拟实际运行环境,测试整个系统的稳定性和性能。这包括压力测试和负载测试,以确保系统在高负载下仍能稳定运行。

性能测试: 性能测试评估系统的关键性能指标,如响应时间和吞吐量。使用性能测试工具可以模拟高并发请求。

通过这些测试和验证方法,开发团队可以确保网络综合监测系统在实际运行中的稳定性和准确性,满足用户的需求。

四、结论

本文主要探讨了大数据驱动的网络综合监测系统的设计与实现,旨在通过集成多种数据源和应用先进的数据分析技术,提高网络监测的全面性和准确性。通过对系统设计、关键技术、实现过程、应用场景以及性能评估的详细分析和讨论,我们得出以下结论:

1. 系统设计的有效性: 本研究提出的网络综合监测系统设计有效地解决了传统网络监测系统在数据源单一、数据整合能力弱等方面的不足。通过模块化设计,系统实现了数据采集、处理、分析和展示的高效集成,提高了系统的可维护性和可扩展性。

2. 关键技术的创新性: 系统在数据采集、处理、分析和安全检测等方面采用了多项关键技术,如全流量采集、实时数据处理、机器学习等,这些技术的集成应用显著提升了系统的监测能力和准确性。

3. 实现过程的可行性: 通过实际的开发过程,包括需求分析、设计、编码、测试和部署,系统成功实现了预期的功能。开发过程中采用的敏捷开发方法和持续集成策略确保了项目的顺利进行。

总之,网络综合监测系统的研究和开发是一个持续的过程,需要不断地技术创新和实践验证。通过本文的研究,我们相信该系统将为网络安全领域带来重要的价值和贡献。

参考文献

- [1] 于金科, 赵长林. 安全运营中心: 数据驱动“预见”威胁 [J]. 网络安全和信息化, 2023, (02): 111-112.
- [2] 王明娣, 陈小涵. 数据驱动的循证学习设计生态建构 [J]. 当代教育科学, 2024, (07): 64-72.
- [3] 方文跃, 王旭东. 浙江温州: 以数据驱动教育教学改进的区域行动 [J]. 中国基础教育, 2024, (07): 39-43.
- [4] 高大伟. 大数据驱动下的智能农机自主作业路径规划与优化 [J]. 农业工程技术, 2024, 44(20): 27-28. DOI: 10.16815/j.cnki.11-5436/s.2024.20.007.
- [5] 王璟璟. 互联网时代下数据驱动市场营销决策研究 [J]. 商场现代化, 2024, (22): 59-61. DOI: 10.14013/j.cnki.scxdh.2024.22.032.
- [6] 陈平. 大数据驱动的旅游业智能化转型与实践研究 [J]. 数字通信世界, 2023, (12): 183-186+190.
- [7] 李新欣. 数据驱动的期刊宣传策略: 如何利用大数据提高影响力 [J]. 传媒论坛, 2024, 7(01): 57-60.
- [8] 张瑜, 朱春辉. 依托数据驱动的信息科技线上精准教学 [J]. 基础教育参考, 2022, (10): 47-49.
- [9] 张景东. 大数据驱动的农业种植智能化管理与优化策略 [J]. 农业工程技术, 2024, 44(02): 84-85. DOI: 10.16815/j.cnki.11-5436/s.2024.02.037.
- [10] 李锋. 数据驱动的食品安全监管机制研究 [J]. 食品安全导刊, 2024, (02): 1-3. DOI: 10.16043/j.cnki.cfs.2024.02.022.

工业移动 App 在智能制造中的应用与挑战

吴利雪

鸿富锦精密电子（郑州）有限公司，河南 郑州 451100

摘 要： 本文深入探讨了工业移动 App 在智能制造中的应用，包括生产过程管理、仓储物流、质量管理、设备维护以及企业协同与决策支持等方面，并分析了其在实际应用中面临的挑战，如网络环境、数据安全、设备兼容性、用户体验和技术更新等。针对这些挑战，提出了加强网络基础设施建设、提高数据安全防护能力、推进设备兼容性与互联互通、优化用户体验与操作便捷性、深化产学研合作培养专业人才等应对策略和建议。

关 键 词： 工业移动 App；智能制造；生产管理；数据安全

Application and Challenges of Industrial Mobile Apps in Smart Manufacturing

Wu Lixue

Hongfujin Precision Electronics (Zhengzhou) Co., Ltd. Zhengzhou, Henan 451100

Abstract： This article delves into the applications of industrial mobile apps in smart manufacturing, including production process management, warehousing and logistics, quality control, equipment maintenance, as well as enterprise collaboration and decision support. It also analyzes the challenges faced in practical applications, such as network environment, data security, device compatibility, user experience, and technological updates. In response to these challenges, the article proposes countermeasures and suggestions such as strengthening network infrastructure construction, improving data security protection capabilities, promoting device compatibility and interconnection, optimizing user experience and operational convenience, and deepening industry-university-research cooperation to cultivate professionals.

Keywords： industrial mobile App; smart manufacturing; production management; data security

引言

随着信息技术的飞速发展，智能制造已成为我国制造业转型升级的重要方向。在智能制造的大背景下，工业移动 App 作为一种新兴的智能化工具，正逐渐渗透到工厂车间的各个领域。其具有操作便捷、实时性强、数据分析能力强等特点，为制造业带来了前所未有的变革。然而，在工业移动 App 的应用过程中，也面临着诸多挑战。本文旨在探讨工业移动 App 在智能制造中的应用及其挑战，并提出相应的应对策略和建议，以期为我国智能制造的发展提供有益参考。

一、工业移动 App 在智能制造中的应用

在数字化和智能化的浪潮下，智能制造促进制造业正迈向转型升级的新阶段——数据驱动阶段，繁荣的工业软件和工业 App 生态体系蓬勃发展。工业 App 是特定工业技术知识的载体，可以认为是工业的特定领域特定问题的专家，集成了该问题的知识、经验和解决方法。工业 App 可以依托于平台生态，通过重构 / 重用和集群化应用来解决复杂的工业问题。工业 App 赋能智能制造全领域，从产品 / 设备，到车间、企业以至产业的多层级工业应用，完成产品的研发设计、生产制造、运维服务与经营管理^[1]。

（一）生产过程管理

在智能制造的核心环节——生产过程管理中，工业移动 App 的应用极大地提升了智能化和精准化水平。通过实时数据同步，

工业移动 App 帮助企业迅速适应市场动态，实现生产计划的灵活调整，操作人员能够直接在 App 上接收任务并监控生产进度，确保生产调度的有效执行。同时，App 的设备状态监控功能使得企业能够实时掌握设备运行状况，及时发现并处理异常情况，维护提醒功能则帮助维护团队提前规划保养，有效降低设备故障率。此外，工业移动 App 作为数据采集的重要工具，能够实时收集生产数据，并通过后台分析系统为企业决策提供支持，这种数据驱动的管理方式显著提高了生产效率和产品质量控制水平。

（二）仓储物流管理

仓储物流作为智能制造的重要组成部分，通过工业移动 App 的应用，显著提升了物料管理的智能化水平。库存管理人员利用 App 能够迅速完成库存盘点、入库、出库等操作，同时，App 的库存预警功能有效帮助企业防范物料短缺或过剩的风险。在此基

础上，App 还能根据生产需求自动生成物料配送清单，指导配送人员高效完成配送任务，减少等待时间和物料损耗^[2]。此外，App 提供的货物追踪功能使得企业能够实时监控物料的位置和状态，确保了供应链的透明度和响应速度，从而整体优化了仓储物流的管理效率。

（三）质量管理

在智能制造中，质量作为企业的生命线，其重要性不言而喻。工业移动 App 在质量管理中的应用，为提升产品质量提供了坚实的支撑。检验人员通过 App 接收检验任务，现场记录检验结果，App 自动生成的报告便于后续的追溯和管理。当生产过程中遇到质量异常，App 能够迅速通知相关人员并及时处理，同时记录异常处理过程，有效防止同类问题的再次发生。此外，通过对 App 收集的质量数据进行深入分析，企业能够精准定位问题根源，据此制定有效的改进措施，从而持续推动产品质量的提升。

（四）设备维护与故障诊断

设备的稳定运行对于智能制造至关重要，而工业移动 App 在设备维护与故障诊断方面的应用，显著提升了企业的运维效率。App 通过实时监测设备参数，利用数据分析预见潜在问题，从而将维护模式从被动响应转变为主动预防。同时，它依据设备运行数据和维护计划，自动提示维护人员进行预防性维护，有效减少设备故障的发生^[3]。一旦设备出现故障，App 能够迅速定位问题所在，并提供专业的诊断建议，大幅缩短故障处理时间，显著降低因停机造成的损失。

（五）企业协同与决策支持

在智能制造的大背景下，企业内部与外部的协同变得尤为关键。工业移动 App 的应用为企业提供了强大的决策支持，它作为沟通平台，消除了部门间的信息壁垒，提升了团队协作效率，并促进了内部资源的优化配置。此外，App 收集的大量数据经过专业分析，为管理层提供了科学的决策依据，使得管理层能够通过 App 直观掌握企业运营状况，进而作出更精准的决策^[4]。

二、工业移动 App 在智能制造中的挑战

尽管工业移动 App 在智能制造中展现出巨大潜力，但在实际应用过程中，仍面临诸多挑战。

（一）网络环境与数据安全

网络环境和数据安全是工业移动 App 有效运作的根本，然而这些关键领域的挑战却常常被忽略。在工业现场，复杂的环境和不稳定的网络信号限制了移动 App 的使用，解决这一问题亟须优化网络布局，采用更可靠的通信技术，并针对工业特殊环境制定网络覆盖方案。同时，数据传输与存储的安全性在智能制造过程中显得尤为关键，确保数据在传输过程中不被截获或篡改，以及在存储过程中抵御非法访问，成为工业移动 App 必须解决的技术难题。

（二）设备兼容性与互联互通

智能制造系统中设备的多样性和系统的复杂性，对工业移动 App 的兼容性和互联互通能力提出了更高的要求。App 需具备与

各种工业设备交互的能力，这意味着它必须能够适配多种通信协议和设备接口，要求开发团队持续更新和优化以适应不断变化的设备环境^[5]。同时，App 还需与 MES 等系统集成，实现数据的无缝交换，打破系统间的壁垒，以实现高效的数据流通和共享，这是当前面临的重要挑战。

（三）用户体验与操作便捷性

用户体验是衡量工业移动 App 成功与否的关键因素，提升操作的便捷性对于提高工作效率至关重要。为了实现这一点，App 的界面设计和操作逻辑必须紧密契合用户的工作流程和习惯，设计团队需深入洞察用户需求，打造直观且易用的操作界面。此外，鉴于智能制造环境的多变性和用户需求的多样性，工业移动 App 需要具备足够的灵活性，能够根据不同的工作场景和用户需求进行适应性调整，以确保在复杂多变的工业环境中仍能提供优质的使用体验。

（四）技术更新与人才培养

在工业移动 App 的发展中，技术的快速迭代和人才短缺是两个不可忽视的问题，有效应对这些挑战是推动智能制造向前发展的关键。为此，开发团队需要持续跟踪新技术的发展趋势，不断融入人工智能、物联网等新兴技术，以保持 App 的先进性和市场竞争力。同时，人才培养成为工业移动 App 长期发展的基石，企业和教育机构需携手合作，共同培养既理解工业流程又精通移动应用开发技术的复合型人才，以填补智能制造领域对专业人才的迫切需求^[6]。

三、应对策略与建议

面对工业移动 App 在智能制造中的应用挑战，需要制定切实可行的策略和建议，以促进技术的深度融合和产业的持续发展。以下是从网络基础设施、数据安全、设备兼容性、用户体验和人才培养等方面的具体应对措施。

（一）加强网络基础设施建设

为了保障工业移动 App 在复杂生产环境中的稳定运作，企业必须重视并投入资源于网络基础设施的升级与优化工作。这不仅涉及扩大无线网络的覆盖范围，确保在工厂的每一个角落都能享受到稳定的网络信号，还包括提升网络的整体带宽，以满足日益增长的数据传输需求。此外，企业应当积极引入最前沿的通信技术，例如 5G 和 Wi-Fi 6 等，这些技术能够提供更高的数据传输速度和更低的网络延迟，完美契合智能制造对网络性能的严格要求。

在智能制造的大背景下，高速、低延迟的网络是提高生产效率、实现设备互联和实时数据监控的关键。通过升级至 5G 网络，企业可以充分利用其大带宽、低时延和高连接数的特点，为工业 App 提供强有力的网络支持。同时，Wi-Fi 6 的引入将极大增强无线网络的承载能力，使得大量设备能够同时在线，且互不干扰，从而为工厂自动化和智能化的推进奠定坚实的基础^[7]。

（二）提高数据安全防护能力

数据安全，犹如智能制造的守护神，是保障企业核心资产不

受侵害的生命线。在数字化转型的浪潮中，企业必须构建起一套多层次、全方位的安全防护体系。应实施严格的访问控制措施，确保只有经过授权的人员才能访问敏感数据和关键系统，从而在源头上遏制数据泄露的风险。对于数据的传输和存储过程，企业应当采用先进的加密技术，保障信息在流动中的安全性，防止数据在传输过程中被截获或篡改。

此外，建立健全的数据备份和恢复机制同样至关重要。通过定期备份企业数据，一旦发生数据丢失或损坏，企业能够迅速恢复至正常状态，最大限度地减少损失和影响。同时，企业还应定期开展安全审计，对现有的安全策略和措施进行评估，及时发现潜在的安全隐患。

（三）推进设备兼容性与互联互通

为解决工业手机、平板等移动终端与设备、PC 电脑之间的数据同步与互联挑战，企业应当积极推动统一通信标准和接口规范的建立。此举将促成一套标准化的数据交换机制，保障不同品牌移动终端与电脑之间实现无缝对接和数据的流畅传输。此外，通过采用高效的移动中间件或开发专用的同步适配器，可以跨越不同系统和平台实现数据同步^[9]；统一的通信标准简化了数据同步的过程，减少了成本，并提高了操作的效率。移动中间件扮演着数据同步的缓冲角色，确保了数据同步的精确性和实时性；而同步适配器则作为量身定制的数据转换器，实现了移动终端与电脑系统之间的相互兼容和协作，保障了数据同步的无缝进行。

（四）优化用户体验与操作便捷性

为了显著提高工业移动 App 在智能制造环境下的用户体验，我们强烈建议对 App 的界面设计和操作流程进行不断的优化和升级。在界面设计方面，应当追求极致的用户友好性，确保用户界面不仅直观易懂，而且操作简便。这意味着功能键的布局需要经过精心设计，以便逻辑清晰、易于访问，同时减少不必要的操

作步骤，以提升工作效率。此外，App 应当提供个性化的配置选项，允许用户根据个人偏好调整界面和功能，从而更好地适应不同用户的操作习惯^[9]。这种个性化的体验能够增强用户对 App 的粘性，提高其在日常工作中使用的频率。

除了上述设计改进，定期收集和分析用户反馈也是提升 App 体验的关键。企业应当建立一个系统性的反馈机制，鼓励用户提出意见和建议。这些反馈是宝贵的资源，可以帮助开发团队精准定位 App 的不足之处，并及时进行功能优化和错误修复。

（五）深化产学研合作，培养专业人才

为培养适应智能制造需求的工业移动 App 领域专家，建议实施以下策略，以深化产学研之间的合作。企业应与高等教育机构和科研院所紧密合作，共同开发涵盖多学科的先进课程，旨在培养具有广泛知识结构的复合型人才。通过设立实习实训基地，学生将有机会亲身体验实际工作环境，从而增强他们的实操能力^[10]。同时，通过携手开展的在职员工培训计划，我们旨在提高企业员工的技术熟练度及创新思维。更进一步，我们致力于构建一个人才交流网络，目的是促进专业知识的交流与技术互动，从而加速专业人才的成长与发展。这个交流平台的建立，将有助于不同专业背景的专家之间的深入合作，激发智能制造领域的技术革新，并推动相关技术的广泛应用。

四、结束语

总而言之，工业移动 App 在智能制造中的应用前景广阔，但同时也面临着诸多挑战。通过加强网络基础设施建设、提高数据安全防护能力、推进设备兼容性与互联互通、优化用户体验与操作便捷性以及深化产学研合作培养专业人才，我们相信能够有效应对这些挑战，推动智能制造向更高水平发展。

参考文献

[1] 董赢, 张艾森, 平力, 等. 工业 APP 赋能智能制造 [J]. 工业控制计算机, 2024, 37(09): 137-138.

[2] 张云翔. 工业 APP 生态建设与优化 [J]. 中国工业和信息化, 2023, (12): 14-19. DOI: 10.19609/j.cnki.cn10-1299/f.2023.12.003.

[3] 谢克强. 建设工业 APP 生态的思考 [J]. 中国工业和信息化, 2023, (12): 20-24. DOI: 10.19609/j.cnki.cn10-1299/f.2023.12.009.

[4] 郭朝晖. 工业 APP: 承载复用工业知识优化赋能工业过程 [J]. 中国工业和信息化, 2023, (12): 26-29. DOI: 10.19609/j.cnki.cn10-1299/f.2023.12.002.

[5] 曾纯. 不一样的 APP [J]. 中国工业和信息化, 2023, (12): 4. DOI: 10.19609/j.cnki.cn10-1299/f.2023.12.013.

[6] 汪贵明, 刘晓景, 张小平. 基于 supOS+ 工业 APP 模式的智慧工厂建设 [J]. 甘肃科技纵横, 2023, 52(11): 1-4+11.

[7] 张学辉. 工业 App 快速开发工具应用研究 [J]. 中国仪器仪表, 2023, (10): 48-50+54.

[8] 丁峻宏, 段建国, 林佳文. 面向电力装备的工业互联网平台架构及应用 [J]. 工业控制计算机, 2023, 36(10): 126-128+132.

[9] 杨光. 工业 APP: 以“小”博“大” [N]. 中国信息化周报, 2023-02-06(004). DOI: 10.28189/n.cnki.ndnjy.2023.000016.

[10] 张连进. 基于微服务的工业 APP 研究与实践 [J]. 现代信息科技, 2022, 6(20): 173-179. DOI: 10.19850/j.cnki.2096-4706.2022.20.041.

V2500 发动机 HPC 第 5 级转叶缘板磨损检查流程

庞俊杰

北京飞机维修工程有限公司，北京 100621

摘要： V2500 航空发动机常见高压压气机第 5 级转叶后缘缘板磨损。而为排除此故障，往往需要明确缘板磨损发生原因，制定相应的零件检查方案，因此有必要针对此故障进行分析研究。本文根据发动机维护手册，结合大量实际生产实例，深入分析了 V2500 航空发动机高压压气机第 5 级转叶后缘缘板磨损的原因，并分析了第 5 级转叶以及相关配合零件的检查措施。

关键词： 航空发动机；V2500 发动机；高压压气机第 5 级转叶；检查流程

The Inspection Process for V2500 Engine HPC Stage 5 Blade Platform Worn

Pang Junjie

Beijing Aircraft Maintenance Engineering Co., Ltd. Beijing 100621

Abstract： Wear of the trailing edge plate of the 5th stage rotor blade in the common high-pressure compressor of V2500 aircraft engine. To eliminate this fault, it is often necessary to clarify the cause of edge plate wear and develop corresponding part inspection plans. Therefore, it is necessary to analyze and study this fault. Based on the engine maintenance manual and a large number of practical production examples, this article deeply analyzes the causes of wear on the trailing edge plate of the 5th stage rotor blade of the V2500 aircraft engine high-pressure compressor, and analyzes the inspection measures for the 5th stage rotor blade and related matching parts.

Keywords： aero-engine; V2500 engine; HPC Stage 5 blade; inspection process

引言

V2500 发动机在孔探检查高压压气机第 5 级转子叶片后缘时，发现叶片后缘缘板处有接触磨损（Contact Wear），部分磨损情况起始自叶片后缘缘板，已扩展至叶片后缘倒角处。并且，这种磨损情况一般会影响到整级高压压气机第 5 级转叶。

从 V2500 发动机的 OEM 厂家 IAE 的统计的各大修厂家和各运营航线发现的此种故障的总体数量来看，高压压气机第 5 级转子叶片缘板后缘的磨损情况目前正呈现上升的趋势。虽然此发现项未造成过严重影响（空停、中断起飞、发动机喘振等），但对该区域的孔探检查会导致非计划性下发情况的增加^[1]。

因此，应尽快找到并了解该损伤原因，在发动机维修期间对损伤的叶片执行正确的检查、隔离故障，进行相应的修理和更换。

一、V2500 发动机高压压气机转子和静子排布情况

V2500 发动机高压压气机组件为 10 级轴流式压气机组件，由 10 级转子构成，其中，第 3-5 级转叶安装在转子鼓组件上的轴向榫槽内，通过保持板和锁板固定轴向位置。第 6-12 级转叶周向安装在转子鼓上，每级由两对锁定叶片（Locking Blade），配合锁帽和螺杆来锁定整级转叶的位置。

高压压气机静子机匣分为前机匣和后机匣。高压压气机前机匣为分半机匣，包括进口可调静叶 VIGVs（Variable Inlet Guide Vanes）和第 3 至第 5 级的可调静叶 VSVs（Variable Stator Vanes）、第 6 级静叶也安装在前分半机匣上。高压压气机后机匣包括后外机匣和第 5 级内环形机匣，第 5 级环形机匣通过螺栓连接在一起，第 11 级环形机匣螺栓连接在后外机匣上。前机匣和后外

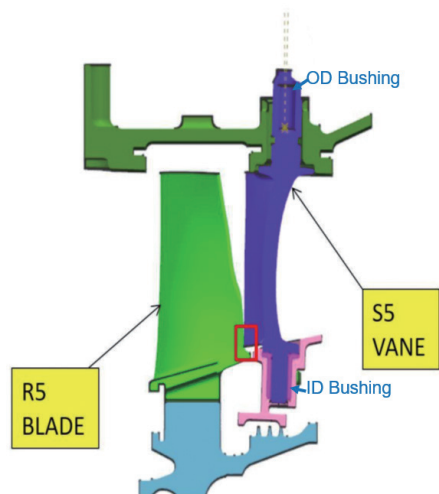
机匣、后外机匣和发动机的扩散机匣通过螺栓连接^[2]。

二、高压压气机第 5 级转叶后缘缘板损伤原因分析

第 5 级可调静叶的外心轴穿过高压压气机前分半机匣，心轴顶部与可调静叶摇臂通过螺纹连接，机匣外部的可调静叶同步环又将每个摇臂连接组合成为同步运作的可调静叶系统，当 VSV 作动器运转时，会带动同步环运转，同步环会同时带动所有的摇臂和摇臂连接的可调静叶同时运转，用来控制可调静叶的方向，达到发动机防喘的功能。可调静叶心轴和高压压气机机匣之间，安装有石墨制成的衬套（Bushing），避免心轴运转时，对机匣和其本身造成磨损。可调静叶的内心轴穿过 VSV 内罩环，VSV 的内罩环处有磨损涂层，是和 HPC 转子鼓上的刀边封严配合，用来减少

HPC 气路上的气流损失,同外心轴和机匣的结构一样,内心轴和内罩环之间也同样安装有衬套。

随着发动机使用时间的不断累积,当上述衬套出现磨损情况,尤其是 VSV 外心轴与 HPC 机匣之间安装的外径衬套(OD Bushing)的磨损,导致第5级静叶在发动机工作时整体向前发生位移(见图1)^[1]。这样的位移可能会导致静叶及内罩环前缘与转叶缘板后缘接触,转子在转动过程中,造成第5级转叶缘板后缘的损伤。



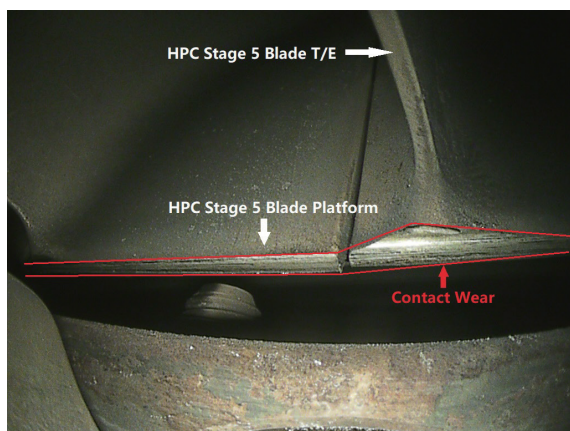
> 图1 高压压气机5级转叶与静叶接触

三、发动机手册 (Engine Manual) 对损伤区域的检查要求

(一) 孔探检查 (Borescope Inspection) 要求

实际上, V2500 发动机的 EM 和 AMM 手册相关孔探检查章节对该区域无明确的检查要求和损失标准^[3,4]。

如果为了更好的发现相关区域的损伤情况,在执行该区域孔探检查时,要使用合适视角的孔探探头,可以明显看出,第5级高压压气机转叶后缘缘板(Platform)处有明显的接触磨损(Contact Wear),部分磨损情况从缘板后缘延伸扩展至第5级高压压气机转叶的叶片后缘倒角处(见图2)。并且,这种磨损情况一般会影响发动机的整级第5级转叶,共64片^[5]。



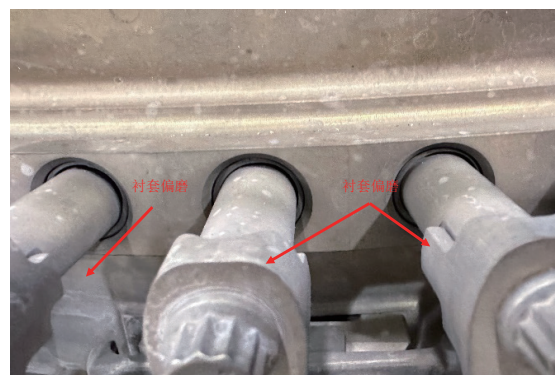
> 图2 孔探检查发现高压压气机5级转叶缘板后缘磨损

从发动机 OEM 厂家发布的来自航线和大修厂的统计情况看,此种损伤情况目前呈现上升的趋势。

对于发动机大修厂家,发动机进场执行进厂孔探检查时,如果发现该区域有磨损情况,需结合该台发动机高压压气机单元体的工作范围,判定高压压气机单元体的工作范围是否需要升级^[6],并关注之后零件暴露后的检查过程中的损伤定位和后续零件处理的情况。

(二) 界面 / 组件检查 (Interface/Assembly Inspection) 要求

在 HPC 前机匣及静子组件检查阶段,要重点检查第5级 VSV 内罩环前缘的磨损状况,为更好的观察和发现损伤,可将拆下的机匣及静子组件放置水平;并且,需重点关注机匣外侧衬套可见区域的磨损情况,如衬套明显偏磨(见图3)、破碎导致材料缺失等。



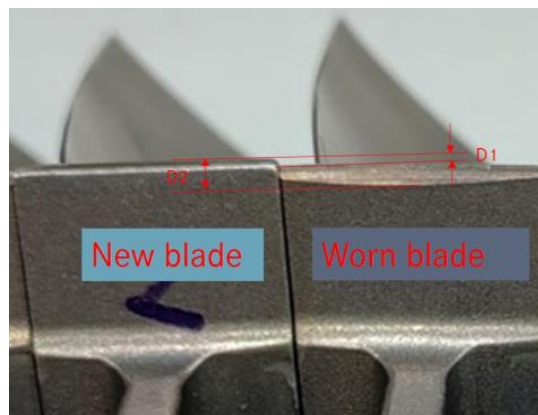
> 图3 第5级 VSV 衬套偏磨

在高压压气机转子组件检查阶段,根据发动机 eMMP (electronic Maintenance Management Plan, 电子化维修管理计划),当高压压气机工作范围 Level 2 及以上时^[6],高压压气机第5级转叶就会暴露出相关区域,在执行界面检查或者组件检查时,需重点关注检查5级转叶后缘缘板是否存在磨损情况。

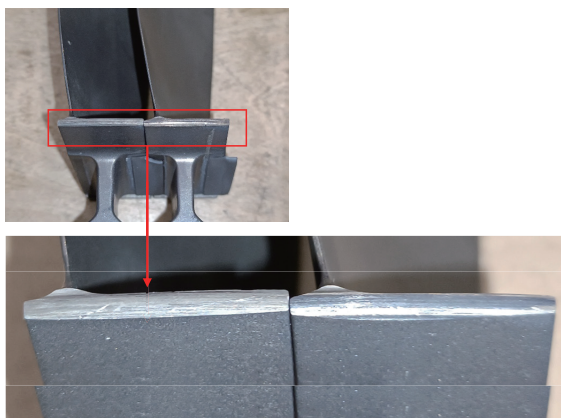
(三) 单件检查 (Piece Part Inspection) 要求

当零件被从发动机单元体或组件上拆下后,就要对拆下的零件清洗完成后,按照工作范围的不同,执行对应工作级别的检查,如目视检查、荧光无损探伤、尺寸测量等。

对于 HPC 第5级转叶,手册对上述第5级转叶后缘缘板的检查要求为使用 0.50mm 的划针检查该区域,来确认该区域是否存在磨损情况。实际上,根据新转叶与磨损后转叶的对比图(见图4),此类型损伤一般目视可见。损伤类型和特征较为明显(见图5)。



> 图4 新转叶与磨损后转叶对比



> 图5 转叶磨损状态

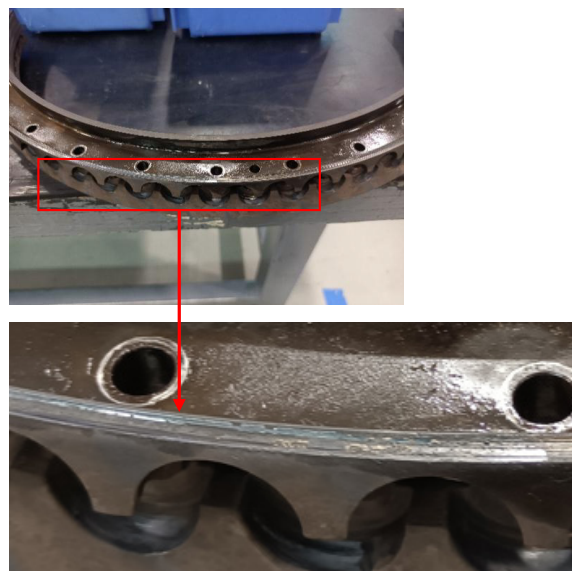
按照之前的手册检查标准，如果发现磨损，该转叶需判定为不可用状态，且手册中没有对应的修理方案，只能更换损伤的叶片。由于厂家转叶供应量不足，很多在厂维修的发动机因为缺少第5级转叶而导致发动机修理暂停，无法按期完成修理而返回客户手中。为解决产能和供应量不足，发动机厂家在技术研判后，对高压压气机第5级转叶该区域的检查标准进行了放宽，并在23年年底通过EA下发了针对该区域损伤的修理方案^[7,8]，该修理方案于24年8月，正式引入到发动机手册中，并发布了正式的修理方案。

该叶片的修理方案为：通过加工方式去除磨损，手册中对修理中的材料去除量进行了明确的限定；对修后的区域需要进行荧光检查、尺寸检查以及加工后的型面强化^[9]。

与高压压气机第5级转叶后缘缘板发生接触磨损的高压压气机第5级内罩环也常见磨损，同样，此损伤一般目视可见（见图6）。按照发动机手册相关检查章节描述，磨损深度不可以超过0.05mm^[4]。按照目前对此故障的统计情况，内罩环报废（Reject）概率较高。

四、结语

目前，V2500发动机高压压气机第5级转叶后缘缘板发生磨损的情况频率依然处于高位，航线运行需结合航线保障、孔探检查



> 图6 VSV 内罩环前缘磨损状态

间隔要求，视情关注该区域损伤情况^[9, 10]。

对于在厂修理的发动机，尤其涉及可以暴露出高压压气机的工作范围的发动机，进厂孔探检查确认第5级转叶缘板后缘是否有磨损情况，根据孔探检查结果，决定HPC单元体的工作范围是否需要升级，并关注检查（Table Inspection）过程中损伤定位和后续零件处理的情况。

界面/组件检查关注第5级可调静叶内罩环处是否有磨损状况，如出现磨损状况，需同时关注第5级转叶缘板状态；如果前机匣未分解，则需要拆下第5级可调静叶更换相应的衬套。高压压气机第5级转叶零件检查时如果发现缘板磨损，需确认高压压气机前机匣工作范围，如果前机匣未分解，拆下第5级可调静叶更换相应的衬套；或按需通报发动机厂家，扩大前机匣分解深度。

第5级可调静叶内罩环单件检查过程中若发现前缘磨损，第5级转叶缘板后缘磨损概率大，需同时关注检查第5级转叶缘板后缘；此外，也要关注第5级可调静叶叶型处可能与第5级转叶缘板后缘接触到的区域是否有磨损或卷曲的情况发生。

参考文献

- [1] IAE 2023 V2500 REGIONAL REVIEW [Z].
- [2] OPERATING INSTRUCTIONS for the V2500-A1/A5 SERIES COMMERCIAL TURBOFAN ENGINES [Z].
- [3] Airbus A320 Aircraft Maintenance Manual [Z].
- [4] V2500-A1/A5 Series Engine Manual [Z].
- [5] V2500-A5 Series Illustrated Parts Catalog [Z].
- [6] V2500-A5 electronic Maintenance Management Plan [Z].
- [7] Authorization Document 23VG174 [Z].
- [8] Authorization Document 23VG338 [Z].
- [9] A318/A319/A320/A321 MAINTENANCE PLANNING DOCUMENT [Z].
- [10] V2500-A1/A5 Series Time Limits Manual [Z].

油气储运设备的寿命预测与维护策略优化

李乐

国家管网集团甘肃公司天水输油气分公司, 甘肃 天水 741020

摘要： 油气储运设备在油气行业中起着至关重要的作用，其稳定运行直接关系到生产效率和安全性，对油气储运设备进行准确的寿命预测和有效的维护策略优化显得尤为重要。本文深入探讨了无损检测、腐蚀评估和疲劳评估等多种寿命预测方法，为预测设备寿命提供了科学依据，同时，根据油气储运设备的特点，本文还提出了相应的维护策略优化建议，旨在通过科学的维护管理，延长设备的使用寿命，减少停机时间，从而提高整体生产效率和安全性。

关键词： 油气储运设备；特点；寿命预测；维护策略

Life Prediction and Maintenance Strategy Optimization of Oil And Gas Storage and Transportation Equipment

Li Le

Tianshui Oil and Gas Transportation Branch of National Pipeline Network Group Gansu Company, Tianshui, Gansu 741020

Abstract： Oil and gas storage and transportation equipment plays a crucial role in the oil and gas industry, and its stable operation directly affects production efficiency and safety. Accurate life prediction and effective maintenance strategy optimization of oil and gas storage and transportation equipment are particularly important. This article deeply explores various life prediction methods such as non-destructive testing, corrosion assessment, and fatigue assessment, providing scientific basis for predicting equipment life. At the same time, based on the characteristics of oil and gas storage and transportation equipment, this article also proposes corresponding maintenance strategy optimization suggestions, aiming to extend the service life of equipment, reduce downtime, and improve overall production efficiency and safety through scientific maintenance management.

Keywords： oil and gas storage and transportation equipment; characteristic; life prediction; maintenance strategy

引言

随着全球石油需求的不断增加，油气储运设备的安全性和可靠性变得尤为重要，油气储运设备一旦发生故障，不仅会导致生产中断，还会造成严重事故和环境污染。因此，油气储运设备的寿命预测和维护策略优化成为保证油气储运系统稳定运行的关键。

一、油气储运设备的特点

（一）复杂性和多样性

油气储运设备的设计、制造和运行都体现了其高度的复杂性和多样性，从设备类型来看，油气储运系统涵盖储罐、管道、泵站、压气站、阀门、仪表和各种安全装置，每类设备都有其独特的工作原理、结构特点和运行环境要求，这种复杂性不仅体现在设备本身，还体现在设备之间的关联和配合上，任何一个环节出现故障，都可能对整个系统造成严重影响。^[1]此外，油气储运设备的多样性也极为显著，不同地区的油气资源特点、气候条件、地质条件、运输距离等都会直接影响设备的设计和选型。比如在寒冷地区，要特别考虑设备的防冻措施；在沙漠或海洋等极端环境

下，对设备的耐腐蚀性和耐高温性提出了更高的要求，这种多样性要求我们在制定设备寿命预测和维护策略时，充分考虑具体的环境条件，采取有针对性的措施。^[2]

（二）高风险和安全性

油气储运设备在运行时，往往伴随着易燃、易爆、高压高温、有毒有害等高危因素，对设备的安全性提出了很高的要求，一方面，设备本身必须具有良好的密封性能、防爆性能和耐腐蚀性能，以保证在极端工况下稳定运行，防止泄漏、爆炸等安全事故的发生；另一方面，设备安装、调试、运行、维护各环节必须严格遵守相关安全规范和技术标准，确保人员安全和生产安全。^[3]此外，油气储运设备的安全性还体现在对潜在风险的防范和应对能力上，通过安装监控设备、建立预警系统、制定应急预案等措

施，及时发现和处理设备运行中的异常情况，有效预防事故或减轻事故后果，这种高风险与安全性的并存，要求我们在预测设备使用寿命和优化维护策略时，充分考虑安全因素，以确保设备在整个生命周期内都能保持最佳的安全状态。

（三）长期性和持续性

油气储运设备通常有较长的使用寿命和连续运行的要求，一旦投入使用，往往需要连续运行几年甚至几十年，这就要求设备在设计、制造和维护上具有很高的可靠性和耐久性。从设计上看，设备必须能够承受长期运行带来的磨损、腐蚀、疲劳等负面影响；从制造角度看，必须采用优质材料和先进制造技术，保证设备的性能和质量；从维护的角度来说，要建立完善的维护管理制度，定期对设备进行检查、维护和维护，及时发现和处理潜在的问题。^[4] 油气储运设备的长期性和可持续性还体现在其对社会经济的重要性上，作为能源供应链的关键环节，油气储运设备的稳定运行直接关系到国家能源安全 and 经济发展，在设备寿命预测和维护策略优化过程中，必须充分考虑设备的社会经济价值和长期影响，确保设备在整个生命周期内保持高效、稳定、安全的运行状态。

二、油气储运设备存在的问题

（一）环境适应性挑战

当油气储运设备面临复杂多变的自然环境时，其适应性成为一个重要问题，气候条件的差异对设备的运行维护提出了严峻的挑战，例如：在极冷或极热的地区，设备可能会因温度突然变化而退化或损坏，此外，湿度、沙尘暴、雨雪等自然因素也可能对设备的电气系统、机械部件和密封性能产生不利影响。^[5] 从更广阔的角度来看，油气储运设备也需要适应不同地质条件的变化，例如，在地震多发地区，设备必须能够承受地震引起的强烈振动和位移，否则可能导致泄漏或损坏。在软土地基或沼泽地区，设备基础的稳定性和沉降也需要特别注意，这些环境适应性挑战要求在设计和维护设备时，充分考虑当地的气候和地质条件，有针对性地采取措施，提高设备的适应性和耐久性。

（二）技术更新和兼容性问题

随着科学技术的不断发展，油气储运设备的技术水平也在不断提高，然而，这一技术更新也带来了一系列的兼容性问题。一方面，新设备往往采用更先进的技术和材料，比旧设备具有更高的性能和效率。但是，新设备和旧设备之间的接口和通信协议可能不兼容，这将导致无法顺利接入现有系统；另一方面，技术更新也可能带来运维方面的挑战。新设备可能采用更复杂的控制系统和自动化技术，这就要求操作人员具有更高的技术水平和专业知识，新设备的维护方法和工具可能与旧设备不同，因此需要建立新的维护流程和培训体系，这些兼容性问题不仅增加了设备更新的难度和成本，还可能对生产效率和安全产生负面影响。^[6]

（三）能效和环保压力

在能源效率和环保要求日益提高的背景下，油气储运设备面临着巨大的压力，一方面，设备在运行过程中会消耗大量能源，

不仅增加了运行成本，还可能对环境产生不利影响，比如泵站、压气站在运行过程中会产生大量的热量和噪声，干扰周围环境和居民生活；另一方面，随着全球对温室气体排放的日益关注，油气储运设备也需要承担更多的环保责任，例如，在设备设计和维护过程中，需要采取一系列措施来减少泄漏和排放，减少对环境的影响。^[7] 同时，要积极探索和应用节能新技术、新材料，提高设备能效，这些环境压力要求我们在预测设备使用寿命和优化维护策略时，充分考虑能效和环保因素，以确保设备既能满足生产要求，又符合环保标准。

（四）信息安全和数据保护问题

油气储运设备越来越依赖于计算机系统和网络技术，但是，这也使得设备面临着信息安全和数据保护的问题，设备中的控制系统和数据采集系统可能受到黑客或病毒的攻击，导致设备故障或数据丢失，这不仅会影响设备的正常运行，还会对生产安全造成威胁。设备会产生大量的敏感数据，如生产数据和设备状态数据，一旦这些数据被泄露或滥用，可能会损害企业的商业利益和声誉，在设计和维护设备时，我们必须充分考虑信息安全和数据保护问题，并采取一系列措施来确保数据的安全性和完整性，例如，建立严格的数据访问控制机制，加强数据加密和备份等措施，这些信息安全和数据保护问题要求我们在预测设备使用寿命和优化维护策略时，充分考虑数字化和智能化带来的新挑战和新要求。^[8]

三、油气储运设备的寿命预测方法

（一）无损检测方法

无损检测技术在油气储运设备寿命预测领域的应用，不仅体现了科技进步对工业安全的贡献，也凸显了绿色、可持续发展的理念，超声波检测作为无损检测领域的佼佼者，它基于超声波在固体材料中的传播特性，能够准确识别材料内部缺陷，如裂纹、夹杂物等。随着技术的不断迭代和三维超声成像技术的出现，检测精度提高到了一个新的高度，使得复杂结构设备的检测成为可能。X射线检测利用X射线或 γ 射线的穿透性，通过捕捉透射强度的变化来揭示材料内部的缺陷结构，特别适用于检测焊缝质量。^[9] 值得注意的是，随着数字技术的发展，射线检测逐渐实现了自动化和智能化，大大提高了检测效率和精度，红外热像检测是利用物体表面温度分布的差异，通过红外热像仪进行捕捉和显示，在检测设备热损伤和绝缘损伤，特别是在监测设备运行状态和预防火灾风险方面具有独特的优势。

（二）腐蚀评估方法

腐蚀作为缩短油气储运设备寿命的“头号杀手”，其评价方法的改进和创新直接关系到设备的安全运行和长期效益，失重法作为最传统的腐蚀评价方法，通过测量腐蚀前后样品的质量变化，可以直接计算出腐蚀速率。该方法虽然简单，但能直接反映腐蚀过程的严重性，为制定防腐策略提供基础数据。电化学法，通过测量腐蚀电位、极化电阻等电化学参数，深入探索材料的腐蚀机理，评价材料的耐腐蚀性能，为材料选择和防腐设计提供科

学依据。随着电化学阻抗谱技术的引入,电化学方法在腐蚀监测和预测中的应用更加广泛,可以实现对腐蚀过程的实时跟踪和动态评价。超声波法利用超声波在材料中的传播速度和衰减特性,间接反映材料的腐蚀程度,特别适用于检测厚壁设备的内部腐蚀,为设备维护和更换提供及时的信息支持。

(三) 疲劳评估方法

油气储运设备在运行过程中,在长时间交变载荷的作用下,容易产生疲劳损伤,从而导致安全事故,疲劳评估方法的准确性和可靠性直接关系到设备的安全运行和人民的生命财产安全。应变测量法,通过在设备关键部位安装应变片,实时监测应力应变关系,结合材料的力学性能评估设备的疲劳损伤程度。随着光纤传感技术的兴起和光纤应变测量系统的应用,对设备疲劳状态的监测更加准确和高效,疲劳寿命试验方法是通过模拟设备的实际工作条件,进行加速疲劳试验,直接测量设备的疲劳寿命。随着计算机技术的发展,有限元分析方法在疲劳寿命预测中的应用日益广泛,通过对设备结构的精细建模和疲劳累积损伤理论,实现了对设备疲劳寿命的准确预测,这不仅为设备的维护和更换提供了科学依据,也为设备的优化设计提供了技术支持。

四、油气储运设备的维护优化策略

(一) 引进绿色和可持续维护的理念

在油气储运设备的维护和优化中,绿色、可持续维护的理念正逐渐成为共识,传统的维护方式往往忽略了维护过程中的环境影响和资源消耗,导致资源浪费和环境污染,绿色可持续维护理念强调在维护过程中减少资源消耗和环境污染,同时提高设备的能效和环保性能。为了实现绿色可持续维护,企业需要采取一系列措施,应优先选用环保节能的维护材料和工具,减少维护过程中的废物产生和能源消耗,其次,要优化维护流程,减少不必要的维护工作和资源浪费。同时,也要加强设备能效管理,通过提高设备能效水平,降低能耗和碳排放,此外,企业应积极推广绿色维护技术和方法,如绿色清洗、绿色润滑、绿色包装等,以减少维护过程中的环境污染,还应加强对员工的环保教育和培训,

增强员工的环保意识和技能水平,促进绿色维护理念在企业内部的深入实施。^[10]绿色和可持续维护的理念不仅有助于降低企业的运营成本和环境风险,还有助于提升企业的社会责任感和品牌形象,这一理念的实施要求企业加强技术创新和管理创新,构建完善的绿色维护体系,实现绿色、可持续、高效的设备维护。

(二) 构建合作共享的维护模式

协同共享维护模式正逐渐成为一种趋势,传统的维护模式往往基于单个企业,缺乏跨企业、跨行业的协作与配合,协同共享维护模式强调通过跨企业、跨行业的协作与合作,实现资源的优化配置和共享,提高维护效率和质量。企业需要加强与其他企业和行业的合作与交流,可以建立跨企业的维护联盟或合作平台,共享维护经验和技术资源,提高维护水平。可以促进设备的标准化和模块化设计,实现设备的互换性和通用性,降低维护成本和难度,还可以利用云计算、物联网等信息技术手段,搭建设备维护云平台或大数据中心,实现设备维护信息的共享和协同处理。此外,企业还可以积极探索设备维护的外包服务或第三方维护服务,将部分或全部维护任务交给专业的维护机构或团队来完成,这种模式不仅可以降低企业的维护成本和管理风险,还可以提高维护效率和质量。协同共享维护模式有助于实现资源的优化配置和共享,提高设备维护的效率和质量,该模式的实施需要企业加强合作与沟通,构建完善的协同维护体系,实现协同、共享、高效的设备维护,也需要政府和相关机构的支持和引导,促进跨企业、跨行业的合作交流,共同推动油气储运设备维护的优化和发展。

五、结语

油气储运设备管理与维护影响油气储运的整个过程,如何延长设备的使用寿命、降低维护成本、提升安全性需要相关人员重视整个储运过程的实施,确保油气储运的安全、稳定和高效才能提升油气储运的经济效益,挣钱管理与维护的有效性,应用科学的措施是根本。

参考文献

- [1] 杨盟. 油气储运设备的管理,维护举措分析[J]. 科技风, 2021(2):2.
- [2] 胥伟. 关于油气储运工程中应用的技术的分析与研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(11):2.
- [3] 张洪奇, 赵世朋. 油气储运设备的维护分析[J]. 工业, 2020(23):00118-00118.
- [4] 刘兵, 王立鹏, 陈磊. 浅谈如何做好油气储运设备管理与维护工作[J]. 科技创新与应用, 2015(12).
- [5] 李乐, 易大卫, 姜维庆. 浅谈油气储运安全问题以及设备维护保养[J]. 化工设计通讯, 2016(02).
- [6] 杨洪钦, 覃家春, 黎兢. 油气储运设备的管理与维护[J]. 大众科技, 2013(04).
- [7] 鲁杰, 李菊生. 探析油气储运工程中安全环保管理工作[J]. 甘肃科技纵横, 2019, 48(02):37-39.
- [8] 李明, 王志文. 石油储运设备故障分析及维护策略优化[J]. 石油机械, 2018, 46(10): 89-93.
- [9] 张伟, 刘强. 基于数据驱动的故障预测技术研究进展[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(6): 1333-1345.
- [10] 王晓红, 陈华. 石油储运设备维护策略优化研究[J]. 石油化工设备技术, 2020, 41(2): 52-56.

B737NG 发动机引气系统工作原理及故障分析

刘立军, 李豪

深圳航空有限责任公司广州分公司, 广东 广州 510805

摘 要 : 鉴于发动机引气系统故障频发、复杂度高以及排除故障所需时间较长的特点, 它一直是对机务维护工作构成挑战的主要问题之一。本文旨在探讨波音 737NG 型飞机上该系统的构造及其工作原理, 并基于对该机型的理论学习、实际操作培训及现有工作经验, 深入分析了这一系统中常见的故障类型及其解决策略。希望通过本研究为航线上的故障排查提供有价值的参考意见, 进而有效提升处理此类故障的工作效率。

关 键 词 : 737NG; 发动机引气系统; 高压级活门; 压力调节关断活门; 引气调节器

B737NG Eng Bleed System Principle And Fault Analysis

Liu Lijun, Li Hao

Shenzhen Airlines Co., Ltd. Guangzhou Branch, Guangzhou, Guangdong 510805

Abstract : In the domain of maintenance, ENG bleed system always be a difficult problem for its high rate of failure, repeatability, complexity and long period of maintenance. According to the problem we mention above. We need to elaborate B737NG ENG bleed system framework and principle. Connecting theory and practice. Discussing some common failure and processing method. Providing some suggestion to line maintenance to improve the trouble shooting of ENG bleed system.

Keywords : 737NG; Eng bleed; high stage valve; PRSOV; bleed air regulator

引言

随着航空器数量的不断增加, 气源系统的故障频率也随之上升, 这往往会导致航班长时间延误。为深入了解此类系统并加速识别故障原因, 维修工程部门一直致力于研究这一课题。本文通过对波音 737NG 型飞机发动机引气系统的工作机制及其故障排除思路进行深入探讨与总结, 旨在为实际操作提供有价值的指导建议。

本文旨在对波音 737NG 飞机发动机引气系统各组件进行详尽分析, 以揭示其潜在问题的根本原因。同时, 文中简要介绍了几种较为科学合理的故障诊断方法及其相应的解决策略, 旨在帮助技术人员能够更加快速、准确且高效地完成维修任务。此外, 通过一种直观易懂的方式描述了具体的测试步骤, 这不仅有助于精确定位故障位置, 还能指导工作人员采取有效的措施排除故障, 极大地提高了维护工作的便捷性^[1-2]。

一、发动机引气系统的组成及工作过程

在探讨发动机引气系统之前, 我们先简要介绍一下飞机的引气系统。该系统的主要功能是为飞机上的多个子系统提供高压且温度较高的空气。这些子系统的运行依赖于来自不同来源的压缩气体, 主要包括发动机引气系统、辅助动力装置提供的气体以及地面供气设施。引气系统的服务对象广泛, 涵盖了从发动机启动到环境控制(如空调与增压)、防冰措施(例如发动机进气口及机翼表面加热)乃至液体储存容器的压力调节等多个方面。值得注意的是, 构成发动机引气系统的组件通常被安装于发动机本体上, 并位于发动机吊舱内部^[3]。

(一) 发动机引气系统的组成

飞机配备有两个独立的发动机引气系统, 分别对应于第一台

和第二台发动机。每个系统的引气源来自发动机高压压气机的不同阶段, 具体来说分别是第9级与第5级。当发动机处于低速运转状态时, 由于来自第5级的引气压力不足以满足气源系统的需求, 此时将采用第9级作为供气来源。相反地, 在发动机高速运行条件下, 则优先利用第5级提供的压缩空气。整个引气过程主要由三大关键组件进行调控。

在发动机处于较低转速状态下, 高压级调节器与高压级活门共同作用以调控来自第九级引气气流的压力水平。与此同时, 在较低运行速度条件下, 安装于第五级的一个单向阀门能够有效阻止气体逆向流入第五级压缩机内部。

在高速旋转状态下, 高压级阀门会关闭, 而第五级的单向阀则开启, 以确保气体能够被导向压力调节与切断阀(PRSOV)。引气控制器(BAR)和PRSOV共同调控流向总管路的发动机引气

量。为了防止过压情况发生,在引气控制器上安装了超压开关,一旦触发,它不仅能够阻止进一步的压力增加,还会激活空调供气控制面板上的断开指示灯。当温度上升至 $450^{\circ}\text{F}/232^{\circ}\text{C}$ 时,相应的温控装置(即 $450^{\circ}\text{F}/232^{\circ}\text{C}$ 恒温器)将促使PRSOV朝向前方移动(即进入关闭状态),以此来实现对温度的有效管理。空调辅助组件(ACAU)充当了空调供气控制系统与压力调节及切断阀之间的桥梁作用。如果系统检测到超出正常范围的高温状况(例如达到 $490^{\circ}\text{F}/245^{\circ}\text{C}$),那么设置于ACAU内部的过热保护继电器会被激活,进而导致BAR中的电磁阀闭合,使得PRSOV依靠弹簧力自动关闭,并同时点亮断开指示灯,从而有效地避免了因过热而导致的管道或用户设备损坏风险^[4]。

发动机引气预冷器系统负责调控进入气压系统前的引气温度。此过程中,预冷器控制活门调节通过预冷器的风扇空气量,其操作受预冷器控制活门传感器及机翼热防冰电磁活门的影响。预冷器系统的核心功能在于,在引气流入气源总管之前,通过调整预冷器控制活门来管理通向预冷器的冷却空气流量,进而实现对引气温度的有效控制。整个过程为自动化运行。

(二) 发动机引气系统的工作过程

在发动机启动至怠速状态后,高压压机第九级引气口的压力促使高压调节器开启高压阀门。该阀门内置了一个平衡作动器,确保压力不会超过33 psi。此时,高压空气开始填充各级管道,并有一部分到达BAR电磁阀位置待命。一旦驾驶舱P5面板上的引气开关被激活,信号将通过ACAU传递至BAR电磁阀,进而开启电磁阀以及后续的PRSOV(压力调节和关断阀)。此时,系统内的气源压力由高压阀门调控。随着油门进一步推进,当第五级引气压力超过了高压阀门的最大调节值(即33 psi)时,第五级单向阀因受力而开启,导致高压阀门关闭。在此情况下,PRSOV负责调节气源压力,并将其上限控制在45 psi以内。此外,预冷器控制系统通过调整通往预冷器的冷却风扇气体流量来降低发动机引气温度,从而有效管理引气温度并将处理后的空气输送至气压总管^[5]。

二、发动机引气系统主要部件的工作原理

(一) 引气调节部分

1. PRSOV 打开: 当引气电门置于ON位置时,BAR将从发动机压机抽取的气体调节至大约24PSI的标准压力水平,随后将其作为控制气流供应给PRSOV。该控制气流进入A腔后,促使控制作动器克服弹簧阻力,从而开启至全开状态。

2. PRSOV 保持: PRSOV 调节机制: 通过响应上下游压力的变化,阀门能够依据调节作动器B腔内压力的变动自动调整开度,以此确保下游的压力维持在一个36至52PSI之间的稳定范围内。

3. PRSOV 关闭: 当引气电门被置于OFF位置,或是ACAU检测到气体温度或压力超出安全范围时,BAR将促使PRSOV的A腔内压力释放。由于此时A腔的压力低于B腔,导致PRSOV向关闭方向移动。

(二) 高压级调节部分

1. HSV 开启机制: 高级活门默认处于关闭状态,由弹簧保持,并通过气压控制其开关。该活门配备了一个机械结构,其中包含一个专门用于平衡作用的打开作动器。当系统运行时,高级调节器依据设定的压力标准向打开作动器提供16.5PSI的压力信号,此力足以克服活门内部弹簧预设的力量及B腔内的反向压力,促使高级活门开启。这样一来,可以确保活门下游的压力稳定在34PSI。

2. HSV 关闭: 随着发动机转速的提升,当九级压缩机的压力超过110PSI时,高级活门将被关闭,此时发动机切换至使用五级引气模式。

(三) 引气预冷部分

1. 预冷器的作用

预冷器控制活门调节从风扇到预冷器的冷却空气流量,以此来管理引气温度。这一过程是由系统自动完成的。预冷器控制活门的开度受到 390°F 温度传感器以及大翼热防冰(WTAI)电磁活门信号的影响。通过这种方式,预冷器控制活门能够有效地调整进入预冷器中的冷却空气量。

2. 预冷器的工作原理

预冷器控制活门负责将来自压气机的引气引导至A腔、喷嘴及B腔,同时也连接着作动筒基准压力调节器、伺服基准压力调节器、预冷器控制活门传感器以及大翼防冰电磁阀。此阀门默认处于开启状态,依靠弹簧力保持。随着A腔内压力的增加,阀门会相应地打开;反之,若A腔的压力降低,则会导致阀门关闭。当B腔的压力下降时,通过连杆机制促使喷嘴开启,进而导致A腔内的压力减小,从而使得预冷器控制活门得以打开^[6-7]。

三、发动机引气系统的常见故障分析

(一) 常见的引气系统故障

1. 当遇到地面引气无法接通或在飞行过程中引气突然中断,并且没有相应的警告信号显示,同时观察到引气压力降为“零”时,潜在的原因可能是压力调节和关断活门(PRSOV)未能开启,或者引气活门(BAR)的电磁控制部分出现故障。上述情况的发生可能归因于BAR电磁活门的失效、PRSOV发生卡滞现象,或是空调组件控制器(ACAU)出现问题。此外,也有可能是由于控制面板或相关电路存在缺陷,导致控制信号未能正确传输所致。

2. 在低速运行状态下,遇到引气压力偏低的情况时,首要步骤是确认是否存在指示异常。为此,需要对压力表及压力传感器进行检查。若开启隔离活门后发现两侧的读数存在差异,则可以断定问题出在压力表或压力传感器上。排除了上述可能性之后,接下来应转向系统组件层面的问题排查。在此之前,建议优先检验高压活门或是高压调节装置,以确定这些部件是否出现了卡滞现象。此外,如果PRSOV发生卡阻且开口度极小,也会导致引气压力下降。

3. 在高功率运行条件下,观察到引气压力偏低的现象。首先

应检查是否存在指示系统的问题，随后再考虑部件本身是否出现故障。鉴于高功率状态下引气压力是由 PRSOV 进行调控的，这意味着如果 PRSOV 开启程度不足，则可能导致引气压力下降。控制 PRSOV 运作的是 BAR 及 45° F 温度开关，因此，BAR 或 45° F 温度开关发生故障可能是首要原因；此外，PRSOV 自身存在缺陷也会导致引气压力降低^[8-9]。

（二）引气系统故障的分析方法

引气系统的故障通常出现在三个特定区域：预冷器控制区、高压级控制区以及 PRSOV（压力调节和关断活门）控制区。当面对此类问题时，可以遵循以下思路来进行故障排查。

首先，应当对压力表及压力传感器进行检查，以判断是否存在指示问题。如果开启隔离活门后发现两侧的读数存在差异，则可以断定故障出在压力表或压力传感器上。特别是当引气总管的压力传感器发生故障时，即便实际引气压力处于正常范围内，也可能出现错误的指示。在这种情况下，正确的处理方式是更换引气总管的压力传感器。

接下来进行故障区域的初步识别。需要向飞行机组询问，在故障出现时飞机是否正处于爬升、平飞或是下降阶段，并迅速收集包括引气压力、引擎转速和飞行高度在内的关键数据。这样做有助于确定引气系统问题是在发动机何种工作条件下发生的，并据此推测出潜在的问题部位。如果仅在低功率状态下观察到异常，则可能是高压级引气组件存在问题；若问题仅出现在高功率运行时，则预冷器控制阀或其相关传感器可能存在故障；而当所有功率水平下均有故障表现时，最有可能的原因指向了压力调节关断活门（PRSOV）及其控制系统。

最终，在确定潜在故障部件的过程中，需要考虑到引气系统可能出现多种故障原因。然而，最为常见的问题通常集中在活门、控制器以及传感器上。当进行故障分析时，应当参考“引气压力/转速系统图”，以此来识别故障发生的特定区域，并在已界定的范围内执行相应的检测与测试，从而定位并排除故障部件。对于活门相关的故障，重点应放在预冷器控制活门、PRSOV

（压力调节和关断阀）及高压级活门上；针对控制器故障，则需特别注意检查高压级调节器（HPC）、BAR、450° F 恒温器以及 490° F 超温电门等组件；而关于传感器的问题，往往涉及到管道压力传感器或其指示装置的功能异常。此外，发动机引气控制系统中的软管泄露也是一个相对常见但容易被忽略的问题点，同样需要给予足够的重视来进行排查。

鉴于引气系统构成复杂，为提高故障诊断效率，在遵循既定排故策略的基础上，还应当按照从简至繁的原则进行排查。首先，应检查线路或传感器是否存在问题，这是因为这些组件不仅易于拆卸安装，而且相对容易出现故障。接着，需确认控制管路是否存在泄漏情况，因为如果控制管路发生泄漏，则可能导致控制活门工作异常；若未及时发现此问题，可能会误判为活门本身故障而更换之，从而延长了维修周期，并造成不必要的航空材料浪费^[10]。

四、结论

飞机的引气系统对于确保乘客在高空中享受到安全且舒适的环境至关重要。然而，由于其内在构造复杂性，一旦出现故障，则修复工作往往变得极具挑战性。传统上，维修人员倾向于通过同时替换多个组件的方式来解决此类问题。本文旨在详尽地探讨发动机引气系统的架构及其运作机制，并针对常见故障现象提出诊断思路、归纳总结，从而指导技术人员采用更为系统化的方法来定位并解决问题，以期提升工作效率同时减少开支。值得注意的是，引气系统中的缺陷通常是由于各个部件性能逐渐下降累积所致，表现为一种渐进式的退化过程。如果能够提前识别出这种衰退趋势，便可以在故障完全显现之前采取相应措施予以纠正。因此，建议相关维护机构主动收集有关引气系统的运行数据，及时发现异常情况，预先规划应对策略，并持续监控状态变化，以此有效增强整个系统的稳定性和可靠性。

参考文献

- [1] 宋静波：波音 737 飞机动力装置，中山大学出版社，2008.
- [2] 刘长福：航空发动机构造，国防工业出版社，2007.
- [3] 许春生：燃气涡轮发动机，兵器工业出版社，2006.
- [4] 朱军. 波音 737NG 系列飞机发动机引气系统介绍及其常见故障分析 [J]. 江苏航空, 2011(2):26-29.
- [5] 罗春田：BOEING737 飞机维修经验交流论文汇编，中国民航出版社，1997.
- [6] 胡增林：航空维修与工程，航空工业信息中心，2013.
- [7] Boeing Company: 737-600/700/800/900 System Schematic Manual, 2017.
- [8] Boeing Company: 737-600/700/800/900 Fault Isolation Manual, 2018.
- [9] Boeing Company: 737-600/700/800/900 Aircraft Maintenance Manual, Part II, 2018.
- [10] Boeing Company: 737-600/700/800/900 TRAINING MANUAL, 2015.

A320S 飞机 ADS-B OUT 改装的工程管理

李亮

北京航空有限责任公司, 北京 100621

摘 要： 广播式自动相关监视（ADS-B）是国际民航组织确定的未来主要监视技术。本文按照 ADS-B OUT 改装工程的推进顺序，梳理出十大工程管理关键环节，包括：明确规划，调查构型，签署合同，执行先决 SB，改装 MMR，改装线路，改装 S 模式应答机，激活功能，报告结果，提交申请。

关 键 词： 广播式自动相关监视；改装；S 模式应答机；多模式接收机；选择可用性识别；DO-260B

Engineering Management of ADS-B OUT Modification for A320S Aircraft

Li Liang

Beijing Airlines Co., Ltd. Beijing 100621

Abstract： Broadcast Automatic Dependent Surveillance (ADS-B) is the primary surveillance technology identified by ICAO for the future. According to the advance sequence of ADS-B modification project, this paper sort out ten key nodes of project management, including: clear planning, investigation of configuration, signing of contract, implementation of prerequisite SB, modification of MMRs, modification of wires, modification of mode S transponders, activation of functions, reporting of results, and submission of applications.

Keywords： ADS-B; modification; Mode S transponder; MMR; SA aware; DO-260B

引言

广播式自动相关监视（ADS-B）是国际民航组织确定的未来主要监视技术。ADS-B 技术将卫星导航、通信技术、机载设备以及地面设备等先进技术相结合，提供了更加安全、高效的空中交通监视手段，能有效提高管制员和飞行员的运行态势感知能力，提升航空公司运行控制能力，扩大监视覆盖范围，提高空中交通安全水平、空域容量与运行效率。^[1]机载 ADS-B 应用功能可以分为发送（ADS-B OUT）和接收（ADS-B IN）两类，ADS-B OUT 是 ADS-B 的基本功能。

ADS-B OUT 运行涉及的两个核心机载设备分别是用于测定 GPS 位置的多模式接收机（MMR）和用于对外广播 1090 MHz 扩展电文的 S 模式应答机（XPDR），对此两大核心机载设备及相关飞机线路进行改装是 ADS-B OUT 运行的基本条件。本文从项目管理的角度，按照 ADS-B OUT 改装工程的推进顺序，梳理出十大关键环节并结合航司自身的经验，对每一环节的工程管理工作展开分析和讨论。

一、领会局方对 ADS-B 运行的总体规划

中国民航局于 2015 年 12 月出版了《中国民用航空 ADS-B 实施规划（2015 年第一次修订）》，对 ADS-B 运行制定了十年规划，到 2025 年的目标是完善全空域 ADS-B OUT 的运行网络，实现 ADS-B IN 初始运行。^[1]

2017 年 12 月 26 日民航局又下发了明传电报《关于 ADS-B 机载设备加改装相关工作要求的通知》，工程师在研读文件的基础上将局方要求梳理为如下的表格形式：^[2]

阶段 / 机载设备要求	ATC/S 模式应答机	GPS 接收机（MMR）
第 1 阶段 （在 2019-09-01 前）	RTCA DO-260 标准或 RTCA DO-260A 标准或 RTCA DO-260B 标准	1. 具备选择可用性打开（SA ON）或 2. 具备选择可用性识别（SA AWARE）功能，或 3. 可通过星基增强系统（SBAS）增强 GNSS 信号
第 2 阶段 （在 2022-12-31 前）	RTCA DO-260B 标准	1. 具备 SA AWARE 功能，或 2. 可通过 SBAS 增强 GNSS 信号

作者简介：李亮（1972.10-），男，四川汉源人，汉族，本科，工程师，从事民航维修工程和适航工程研究。

二、调查 A320 飞机 ADS-B OUT 机载设备的现有构型

某航司在 2018 年对 A320 机队的 ADS-B OUT 机载设备进行
了调查，调查结果如下：

设备名称	数量	厂家	件号	型号	符合标准
ATC 应答机	2	THALES/ACSS	7517800-10100	XS950	DO-260
MMR	2	ROCKWELL COLLINS	822-1152-122	GLU 920	可用性打开 (SA ON)

另外根据维修记录，该航司的 A320 机队在 2013 年 10 月执行
过空客 SB A320-34-1418，完成了通过使用 1090 MHZ 扩展电文
验证 ADS-B OUT 功能的工作。从以上调查可知，该机队已经满
足局方第 1 阶段改装的要求，需要实施第 2 阶段的改装。应将调查
结论和改装计划及时报告给民航局和空客公司。

三、与空客公司签署客户化改装合同

空客公司在收到调查结论后，根据航司的改装需求制定出客户
化的改装合同供双方签署。改装合同中除了对改装费用，订金，发
票和付款方式等商务条款进行约定外，还包括改装服务通告（SB）
的概述，SB 的预计出版日期，改装器材包的交付日期，卖方供货
设备（SFE）和买方供货设备（BFE）的说明和交付日期等重要条
款。某航空公司在 2019 年初与空客签订的改装合同要求空客公司应
在合同生效后 6 个月向客户提供 ADS-B OUT 改装所需的 4 份 SB。
工程师从合同的 SB 概述中发现在 ADS-B OUT 改装之前还需要
对某些关联设备进行改装。另外对于 SFE 设备（即 ATC 应答机和
MMR）的周转期（TAT））合同里没有约定，需要航司与设备厂
家（VENDOR）进行协商后确定。为了推进改装工程进度，工程师
决定在收到空客正式的 SB 之前提前执行关联设备的先决 SB，并提
前与 ATC 应答机和 MMR 的设备厂家联系周转件事宜。

四、对关联设备执行先决 SB 改装

某一改装的先决 SB（prerequisite SB）是指在此改装之前
必须完成的 SB，只有完成了先决 SB 的飞机才符合实施改装的构
型要求。与 ADS-B OUT 改装相关联的设备有飞机指示系统的飞
行警告计算机（FWC）和系统数据采集集中计算机（SDAC）。
这两个关联设备分别对应了一份先决 SB，其中一份是 SB A320-
31-1414 将 FWC 升级到型号 H2-F7，另一份是 SB A320-31-
1450 将 SDAC 升级到型号 H2-E4。经调查发现某航司的飞机已
经于 2014 年完成了 SB A320-31-1414，但是 SB A320-31-1450
未完成。此 SB 是空客公开出版的常规 SB，有三种升级方式：
更换 SDAC，更换 SDAC 中的机载可更换插件卡（OBRM），拆
下 OBRM 在车间重新编程后再装回飞机。工程评估后采用改装周
期最短的第三种升级方式，将拆下的 OBRM 在车间升级到型号

H2-E4 后再装回飞机。

五、改装多模式接收机（MMR）

合同中共提到了 4 份 SB 与 ADS-B OUT 直接相关，其中 SB
A320-34-1709 是通过在车间升级软件的方式将 MMR 从选择可
用性打开（SA ON）构型升级为选择可用性识别（SA AWARE）
构型。所谓选择可用性（SA）是美国政府为防止非特许用户使用
GPS 的能力，采用的一种人为降低 GPS 定位精度的干扰措施。
由于 GPS 的民用需求日益扩大和迫于国际竞争压力美国政府宣布
从 2000 年 5 月 1 日起关闭选择可用性（SA）干扰措施。改装前的
MMR 是按照选择可用性（SA）打开（ON）来设计算法的，而选择
可用性识别（SA AWARE）构型的 MMR 可以根据 SA 的状态（打
开与否）来调整算法。在 2000 年美国关闭选择可用性（SA）
干扰后，SA AWARE 构型的 MMR 与 SA ON 构型的 MMR 相比具
有更好的精度。工程师从合同的 SB 概述中发现 SB A320-34-1709
的改装工作与其他 3 份 SB 相对独立并且不涉及飞机线路改装。另
外飞机图解零部件清单（IPC）中的互换性描述表明 SA AWARE
构型的 MMR 可与 SA ON 构型的 MMR 进行互换。基于这些工程
评估和判断，工程师在没有收到改装文件 SB A320-34-1709 正式
版的情况下联系设备厂家 ROCKWELL COLLINS 公司让他们尽快
发送 MMR 改装周转件，收到周转件后依据 IPC 文件用它替换飞机
的原装 MMR，将拆下的原装 MMR 送厂家车间进行升级改装，最
后我们用改装后的 MMR 替换周转件，并将拆下的周转件归还设备
厂家。后来收到的 SB A320-34-1709 正式版也验证了之前方案的
正确性，这样就在合规的前提下统筹优化了整个项目进程。

六、改装 S 模式应答机与飞机其他系统交联线路

为了能在飞机上安装满足 RTCA DO-260B 标准的应答机，
首先要执行 SB A320-34-1744，改装 S 模式应答机（XPDR）
与集中故障显示接口组件（CFDIU）之间的 ARINC 429 线路预
连接，改装 S 模式应答机（XPDR）与系统数据采集集中计算机
（SDAC）之间的 ARINC 429 线路预连接。

线路改装涉及常规单根导线、双绞线、屏蔽线和标准插头的
制作，常规布线和送退钉等工作，技术难度属中等，但由于需要
改装的线路数量较大，并且要在断电条件下施工造成光照环境不
好，施工空间狭小等因素影响容易造成接线错误。一旦改装完成
通电后发现错误再回头查找位置难度就相当大了。为确保改装顺
利完成应在改装之前熟悉改装线路图等技术文件，保证线路标准
施工工具齐全和测试设备校验完好，提前做好预案等技术准备。
改装过程中建议使用较多的照明设备、对图纸实施标记、多进行
互检，从而有效地预防差错。^[3]

七、安装符合 DO-260B 标准的 ATC/S 模式应答机

航空无线电技术委员会（RTCA）颁发的 DO-260B 标准全称

叫《1090MHz 扩展电文 ADS-B 和 TIS-B 最低运行性能标准》。与 DO-260 标准相比 DO-260B 标准对 1090MHz 扩展电文 ADS-B 和 TIS-B 运行的位置数据质量指标, 水平速度准确性描述, 导航完整性类别, 监视完好性类别, 航向数据, ADS-B IN 安装情况, ADS-B 版本符合性情况, GPS 天线补偿, 飞机长度和宽度数据, 尾流数据广播, Mode A 二次代码上传等性能指标都有更加明确和完整的规定, 另外对某些技术参数的精度要求更高。

根据改装合同, 应答机的生产厂家 THALES/ACSS 公司应免费租借给航空公司 2 个符合 DO-260B 标准的应答机作为周转件, 航空公司应根据厂家的发货计划安排飞机执行改装的停场时间。周转件到货后, 按照空客 SB A320-34-1712 执行如下主要施工步骤:

- (1) 拆下并保存 SDAC 和 ATC/S 模式应答机。
- (2) 改装 ATC1/2 与 1831VT/1840VT, 1853VT, 1862VT 之间的线路, 改装 SDAC1/2 与 1813VT, 1822VT, 1862VT 之间的线路。
- (3) 改变 ATC1/2 的程序销钉, 改变 SDAC1/2 的程序销钉及奇偶设置。
- (4) 对新增和修改的电气线路进行连通性测试。
- (5) 安装符合 DO-260B 标准的 S 模式应答机和保存的 SDAC。
- (6) 执行 SDAC 和 S 模式应答机的安装后测试。

将拆下的 S 模式应答机送厂家车间进行升级, 再用升级后的 S 模式应答机替换周转件, 最后将拆下的周转件归还厂家 THALES/ACSS 公司。

八、激活 ATC 应答机的 ADS-B OUT DO-260B 功能

为了激活 ATC 应答机的 ADS-B OUT DO-260B 功能最后还需按照空客 SB A320-34-1595, 执行以下改装和测试工作:

- (1) 拆下并保存符合 DO-260B 标准的 S 模式应答机。
- (2) 改变 S 模式应答机的部分程序销钉。
- (3) 对改装电气线路执行连通性测试。
- (4) 安装符合 DO-260B 标准的 S 模式应答机。
- (5) 执行 S 模式应答机的安装后测试。
- (6) 执行功能测试, 验证改装后 Mode S 模式应答机已具备 ADS-B OUT DO-260B 能力。

为了使上述 ADS-B OUT DO-260B 功能测试的效果最佳, 在天线主瓣区域内 (大约 10 米内) 不应有建筑物、车辆和其它飞机。另外为了不影空中交通, 必须迅速地完成任务, 否则要向机场当局通报。测试过程中应将每一步的结果都准确清晰地记录在工作单上, 运行申请时需要向局方提交此测试报告。

九、向公司飞行部门和空客公司报告改装结果

由于 ADS-B OUT 改装是对机组操作有影响的改装, 共有

3 份受改装影响的操作文件 (MOI) 与此改装有关, 它们是 MOI 151451, MOI 155999, MOI 156083。工程师应在改装之前 1 个月向公司飞行部门和空客公司报告改装计划并从空客网站下载相关的 MOI 文件供飞行部门参考。当飞机完成改装并测试成功后, 工程师应立即向飞行部门和空客公司报告改装结果, 空客公司会按流程改版相关的机组操作手册 (FCOM), 飞行手册 (AFM), 主最低设备清单 (MMEL) 等飞行类手册。从改装完成到收到空客公司正式版飞行类手册期间, 飞行部门应将相关的受改装影响的操作文件 (MOI) 作为现有飞行手册的补充文件。

十、向局方提交申请 ADS-B 运行申请

ADS-B OUT 改装完成后, 航空公司还应按照民航局咨询通告 AC-91-FS/AA-2010-14 的要求向局方提交航空器适航符合性文件、最低设备清单、运行手册、训练大纲、维修方案等申请文件, 只有获得局方的批复后才能正式实施 ADS-B OUT 运行。^[4] 工程师主要负责改版维修方案和最低设备清单并提交航空器适航符合性文件, 航空器适航符合性文件主要包括以下声明:

- (1) 航空器资格符合性声明
- (2) 航空器机载设备符合性声明
- (3) 最低设备清单 (MEL) 符合性声明
- (4) 维修方案 (CAMP) 符合性声明

在机载设备符合性声明中一定要列出机载设备完成 ADS-B OUT 改装后的件号, 型号, 符合标准等基本信息, 如下表所示:

设备名称	数量	厂家	件号	型号	符合标准
ATC 应答机	2	THALES/ACSS	7517800-12402	XS950	DO-260B
MMR	2	ROCKWELL COLLINS	822-1152-123	GLU 920	可用性识别 (SA AWARE)

十一、结束语

从以上 ADS-B OUT 改装的整个进程可以看出: 该项目从收到局方的规划后开始启动, 通过对飞机机载设备和飞机线路的改装和测试, 最终经局方批准后正式投入运行, 形成一个管理闭环。虽然公司机队早已完成 ADS-B OUT 改装, 但从工程管理的角度对其回顾和总结是非常必要的, 正所谓“前事不忘, 后事之师”。我们将不断探索, 尽快制定出 ADS-B IN 的改装方案, 使公司机队真正实现全套的 ADS-B 运行。

参考文献

- [1] 中国民航局. 民用航空 ADS-B 实施规划 (2015 年第一次修订) [Z]. 2016-1-11.
- [2] 中国民用航空局. 关于 ADS-B 机载设备加改装相关工作要求的通知. 局发明电 (2017) 3685 号. 2017-12-26.
- [3] 陈潞, 李墨. A320S 和 A330 机型 ADS-B Out DO-260B 改装常见问题分析 [J]. 成都航空职业技术学院学报, 2020, 124: 64-66.
- [4] 中国民航局. 在无雷达区使用 1090 兆赫扩展电文广播式自动相关监视的适航和运行批准指南 AC-91-FS/AA-2010-14 [Z]. 2010-5-10.

基于光纤光栅应变传感器的海洋水下钢结构冲击振动监测研究

沙吉乐¹, 孟凡然², 张力昂³

1. 中海油能源发展股份有限公司采油服务分公司, 天津 300000

2. 中国海洋石油有限公司天津分公司, 天津 300000

3. 中海油研究总院有限责任公司工程研究设计院, 北京 100028

摘 要： 针对海洋水下钢结构安全监测需求, 本研究设计并测试了一款基于光纤光栅的动态应变检测传感器, 模拟并分析了水下结构受冲击的响应特征, 验证了其在健康监测中的可行性。通过探究光纤光栅技术原理和关键应变监测技术, 结合冲击振动理论, 本研究揭示了海洋环境下结构冲击特性及响应模型。实验数据采集和信号分析显示, 该监测系统能有效捕捉水下钢结构冲击振动的动态响应, 证实了其在结构健康监测中的重要价值。

关 键 词： 光纤光栅应变传感器; 冲击振动监测; 海洋水下钢结构; 应变监测; 信号分析; 结构健康监测

Research on Impact Vibration Monitoring of Marine Underwater Steel Structures Based on Fiber Bragg Grating Strain Sensors

Sha Jile¹, Meng Fanran², Zhang Li'ang³

1. Offshore Oil Production Services Branch, CNOOC Energy Development Co., Ltd. Tianjin 300000

2. Tianjin Branch, CNOOC Limited, Tianjin 300000

3. Engineering Research and Design Institute, CNOOC Research Institute Co., Ltd. Beijing 100028

Abstract： In response to the safety monitoring requirements of marine underwater steel structures, this study designed and tested a dynamic strain detection sensor based on fiber Bragg gratings. The response characteristics of underwater structures subjected to impact were simulated and analyzed, verifying the feasibility of the sensor in health monitoring. By exploring the principles of fiber Bragg grating technology and key strain monitoring techniques, combined with impact vibration theory, this study revealed the impact characteristics and response models of structures in the marine environment. Experimental data collection and signal analysis showed that the monitoring system can effectively capture the dynamic response of underwater steel structures to impact vibrations, confirming its significant value in structural health monitoring.

Keywords： fiber Bragg grating strain sensor; impact vibration monitoring; marine underwater steel structure; strain monitoring; signal analysis; structural health monitoring

引言

随着海洋油气资源开发, 水下结构物增多, 面临安全风险, 特别是航道上的锚击问题, 对环境和财产安全构成威胁。因此, 水下钢结构健康监测需求迫切。恶劣海洋环境对监测技术提出挑战, 常规电子传感器难以满足需求。

光纤光栅传感器因其无源、高灵敏度、抗干扰等优势, 在建筑物健康监测中得到广泛应用。

其不仅能进行连续监测、抗电磁干扰能力强、无火花、耐酸碱腐蚀等优点, 而且可以进行应变、温度、转速等多参数测量, 相比其他材料敏感性更好、稳定性更好。其所采用的原材料光纤光栅的各种优良属性使得光纤光栅材料能够在复杂环境下长期工作^[1]。针对航道下钢圆筒保护需求, 本文设计了一款量程 $\pm 2000 \mu \varepsilon$ 、精度 $\pm 2 \mu \varepsilon$ 的动应变监测传感器, 结合 2000Hz 解调仪, 实现钢圆筒顶盖静态和动态应变的实时监测, 为评估运行状态提供数据支持, 确保结构安全和稳定性。

一、光纤光栅传感原理及传感器设计

光纤光栅 (Fiber Bragg Grating, FBG) 是在光纤上通过紫外或飞秒激光刻写的纤芯折射率沿轴向周期变化的一种无源光纤

器件, 当宽带光源入射到 FBG 上时, 大部分光透射出去, 只有满足布拉格常数的特定波长的光能够沿着原光路返回, 反射波长 λ 满足式

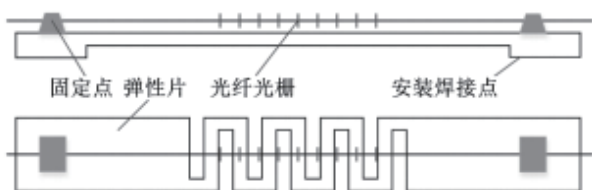
$$\lambda = 2n \Lambda, (1)$$

其中 n 为光纤光栅的有效折射率, Λ 为光纤光栅折射率变化周期。反射波长会随光纤光栅所处温度和所受外力的变化而变化。在恒温条件下, 光纤光栅波长变化 $\Delta\lambda$ 与所受向应变 ε 的关系为:

$$\Delta\lambda = (1 - P_e) \lambda \varepsilon, (2)$$

其中 P_e 为有效弹光常数。利用光纤光栅的反射波长对应变敏感的原理可以设计温度、应变、加速度等多种参数的传感器。并可根据波长的不同实现多个多种传感器的波分复用及空分复用, 实现多点多参量同时监测。

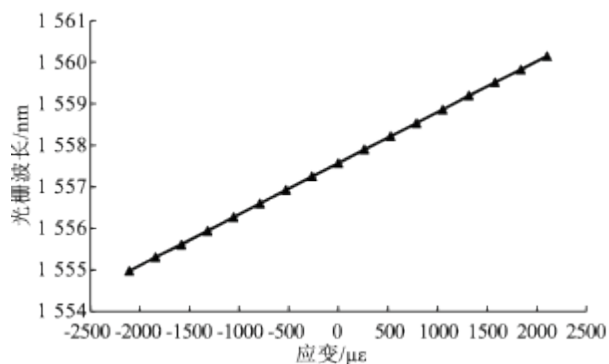
本研究在海洋平台支撑柱和连接件等关键部位布置了高密度光纤光栅传感器 (如图1), 以监测其在外部冲击下的动态响应。传感器以每米一个的密度交叉叠加布置, 确保全面覆盖 (如图2)。在模拟300米水深、2 m/s 流速的海洋环境中, 通过动态加载实验施加冲击力, 记录应变数据。数据采集周期为1秒, 利用小波变换和傅里叶变换分析应变信号 (如图3), 识别结构健康状况。监测发现结构在冲击后应变快速衰减, 无永久变形, 为钢结构设计和安全评估提供重要依据。研究还优化了 FBG 传感器, 通过实验验证了其在水下环境中的可靠性, 并探讨了其在海洋结构监测中的应用潜力, 为智能监测系统的发展奠定基础^[2]。(如图4)。



> 图1 光纤光栅传感器在海洋平台结构中的应用示意图



> 图2 传感器与数据采集系统的连接方式



> 图3 传感器响应的应变数据图表



> 图4 光纤光栅传感器图

二、光纤光栅技术概述

（一）光纤光栅原理及分类

光纤光栅 (FBG) 是一种利用布拉格衍射原理, 在光纤内部通过周期性调制折射率来反射特定波长光的传感器。其反射波长由光纤折射率和光栅周期决定, 适用于应变和温度传感。FBG 分为常规、长周期和高反射等类型, 各自适用于不同的监测需求。常规 FBG 主要用于应变和温度监测, 而长周期 FBG 和高反射 FBG 分别适用于光谱分析、生物传感和高精度传感应用^[3]。

FBG 的传感原理基于外部应力或温度变化引起的折射率变化, 导致反射波长的移位。其应变灵敏度和温度灵敏度分别为 $1.2 \text{ pm}/\mu\varepsilon$ 和 $10 \text{ pm}/^\circ\text{C}$, 通过光谱分析可进行高精度测量。FBG 传感器在土木工程、航空航天、石油勘探等领域有广泛应用, 特别是在海洋水下钢结构监测中, 能够实时提供应变变化数据, 支持结构健康监测^[4]。

由于水下环境的特殊性, FBG 传感器需具备良好的抗干扰性和环境适应性。近年来, 研究者们发展了多点传感技术, 通过分布式传感系统实现对大范围区域的监测, 提升了监测的灵活性和有效性。面向未来, 集成化、多功能的 FBG 传感器在智能材料、可穿戴设备等前沿领域展现出巨大的应用潜力。

（二）应变监测关键技术

应变监测技术在海洋水下钢结构中的应用极为关键, 尤其是在动态载荷环境下。光纤光栅传感器 (FBG) 因其高灵敏度和抗电磁干扰能力, 成为该领域的重要技术。FBG 能精确测量微小应变, 其波长灵敏度高达 $0.01 \text{ nm}/\mu\varepsilon$, 适用于复杂海洋环境。监测系统由多个 FBG 传感器组成, 通过光纤网络连接, 传感器间隔可调整, 实时数据传输速率在 10 Hz 至 100 Hz , 确保及时响应动态现象。监测精度可达 $\pm 10 \mu\varepsilon$, 且在深海4000米环境下性能稳定。温度补偿技术结合 FBG 与热电偶, 提高精度约30%, 减少温度对应变数据的影响。数据分析算法如小波变换和时频分析, 有助于提取结构在复杂载荷下的频率响应特性。未来研究将聚焦于增加传感器分布密度和监测范围, 结合新型复合材料、结构优化和机器学习算法, 实现更高效的智能监测和预测。

三、冲击振动理论分析

（一）海洋环境下冲击特性

海洋环境中的冲击特性研究关注水深、波浪、流速等因素对海洋结构物的影响, 特别是钢结构平台和海底管道在冲击载荷下的动态响应。冲击载荷分为瞬时和持续性, 分别影响结构的瞬态和频率响应。水下冲击源包括海洋生物、底质运动和人为活动, 这些载荷在传播中受海水衰减与扩散效应影响^[5]。设计时需考虑加速度衰减系数, 取值通常在0.1至0.5之间。监测方面, 光纤光栅应变传感器 (FBG) 技术能够实时捕捉结构的应变和冲击响应, 其采样频率为 100 Hz , 时延响应在毫秒级。

动态分析结合时域和频域方法, 关键参数包括冲击载荷的频率、幅度和作用时间。海洋结构物的承载能力与材料属性、结构

形状和应变分布紧密相关，钢材的屈服强度和疲劳极限等在分析中至关重要。结构的动刚度、质量和阻尼比也是评估承载能力的重要因素^[6]。通过数值模拟冲击实验，建立冲击响应模型，为设计提供理论依据。安全系数模型用于评估不同冲击载荷下的结构承载力和使用寿命，安全系数通常在1.2至3.0之间^[7]。

（二）钢结构冲击响应模型

本研究利用有限元分析法（FEM）建立了钢结构在冲击荷载下的动态响应模型，使用 ANSYS 软件进行数值模拟，考虑了材料非线性与几何非线性。模型以 Q345 钢为材质，分析水下爆炸或重物落下等典型冲击荷载，采用指数衰减模型，峰值荷载 200 kN，作用时间 0.05 s^[8]。模态分析显示结构前 15 阶固有频率，第一、二阶分别为 5.2 Hz 和 12.6 Hz，揭示了结构的动态荷载敏感性。为验证模型准确性，采用 FBG 传感器监测实际冲击试验，传感器精度 $\pm 0.1 \mu\epsilon$ ，测量范围 $\pm 2000 \mu\epsilon$ ，结果显示最大应变 $850 \mu\epsilon$ 。时域和频域分析相结合，取样频率 1 kHz，时长 2 s，傅里叶变换提取频谱特征，与模态分析结果一致，证实了模型的有效性。比较不同冲击参数下的响应，发现冲击高度增加 10% 时，最大应变约增加 15%，自然频率略有下降，表明冲击强度与结构响应呈线性关系^[9]。该模型适用于复杂环境下的安全评估，有助于优化海洋工程结构设计和安全性分析。

四、实验与数据处理

（一）实验设计及装置布置

本研究利用光纤光栅应变传感器监测海洋水下钢结构在冲击振动下的响应。实验在 50 米深的水域进行，采用 3 m×3 m×0.5 m 的高强度钢模型，通过浮动平台固定，模拟波浪、潮汐和人为干扰下的受力情况，预计冲击载荷为 80 N 至 150 N。传感器阵列由 8 个反射型光纤光栅传感器组成，灵敏度为 1.2 pm/ $\mu\epsilon$ ，以 40 cm 间距矩阵布置，实时监测应变。数据采集系统每秒读取 1000 次数据，通过 LabView 软件和傅里叶变换分析，提取主频信息，分析应变与频率关系。实验控制水温为 25℃、水流速度为 0.5 m/s，预设应变阈值为 4000 $\mu\epsilon$ ，超出则触发报警，保障结构

安全。监测持续 72 小时，定时数据回收确保信息完整。实验结束后，使用 SPSS 等统计分析工具对比应变数据，为性能评估提供定量依据，旨在构建考虑外部环境变化的海洋水下结构抗冲击能力评估模型。

（二）数据采集与信号分析

在海洋水下钢结构冲击振动监测研究中，关键在于数据采集和信号分析。实验采用 JDSU 公司的 FBG 传感器和多通道传感系统，传感器以 50 cm 间隔线性排列，确保均匀监测。数据采集使用 1 kHz 采样频率的光谱分析仪，配合改进的信号滤波算法（0.01–300 Hz）消除高频噪声^[10]。小波变换法利用 Daubechies 小波进行信号特征提取，多尺度分解突出冲击信号的瞬态特性。时域分析显示最大应变 1200 $\mu\epsilon$ ，RMS 值 300 $\mu\epsilon$ ；频域分析通过 FFT 发现主要振动响应在 20–50 Hz 频段。特征参数提取，如谱峰频率 30 Hz 和强度 3.2 dB，与工程实际相符，验证监测精度。为提高数据稳健性和实时性，应用 Kalman 滤波器优化动态信号处理。Matlab 图形界面实现数据可视化，便于观察应变变化，提升数据分析效率。监测期间记录 1450 组有效数据，为后续分析奠定基础。这些数据采集与信号分析方法为海洋水下结构冲击监测提供了精确手段，确保研究的科学性和有效性，为后续研究提供重要参考和数据支撑。

五、结论

基于光纤光栅应变传感器的高精度监测技术在海洋水下钢结构冲击振动研究中显示出其优越性。利用布里渊散射效应，传感器在 0.5 m 间隔的多点布置下，实时捕获了静态和动态载荷下的应变变化，峰值达 2500 $\mu\epsilon$ ，动态载荷下最大瞬时应变 3200 $\mu\epsilon$ 。数据采集频率 1000 Hz，通过 FFT 和小波变换分析，精确识别出主要频率分量，误差范围 $\pm 2\%$ ，确保了数据可靠性。这项研究不仅展示了光纤光栅传感器在监测中的应用潜力，还为海洋结构健康监测提供了技术支持和理论基础，有助于预警损伤，延长使用寿命，降低维护成本，适合长期稳定监测水下钢结构。

参考文献

[1] 赵杰, 江洪波, 王桂萱. 基于环形光纤光栅应变传感器的管道泄漏监测研究 [J]. 自然灾害学报, 2019.

[2] YI Liu, Z Liu, JXC Huang. Theoretical modeling and simulation of fiber Bragg grating sensor interrogator based on linear variable filter [D]. Optics Express, 2023.

[3] 王义玮. 基于光纤传感器的船舶典型结构健康监测研究 [D]. 大连理工大学, 2022. DOI: 10.26991/d.cnki.gdllu.2022.002724.

[4] H Yoon, K Lee, Hanho Shin, Seongeun Jeong, Yi Jae Lee, Sungwook Yang, Soo Hyun Lee. In Situ Co-transformation of Reduced Graphene Oxide Embedded in Laser-Induced Graphene and Full-Range On-Body Strain Sensor [D]. Advanced Functional Materials, 2023.

[5] 张永芳, 王霞, 邢志国, 等. 面向机械装备健康监测的振动传感器研究现状 [J]. 材料导报, 2020.

[6] 武俊超. 基于光纤光栅传感器的管道泄漏监测研究 [D]. 中国民航大学, 2019. DOI: 10.27627/d.cnki.gzmhy.2019.000329.

[7] Z Tian, W Qin, Y Wang, et al. Ultra-stable strain/humidity dual-functional flexible wearable sensor based on brush-like AgNPs@CNTs@TPU heterogeneous structure [D]. Colloids & Surfaces A Physicochemical & Engineering Aspects, 2023.

[8] 谭滔. 基于光纤栅的压气机振动监测研究 [D]. 哈尔滨工程大学, 2019.

[9] 高立冬. 基于光电振荡器的应变传感技术研究 [D]. 大连理工大学, 2019. DOI: 10.26991/d.cnki.gdllu.2019.003459.

[10] 高亮, 周陈一, 张东风, 等. 光纤光栅在轮轨作用力监测中的应用研究 [J]. 北京交通大学学报, 2019.

PRV 关车情况下显示琥珀色关闭位故障小结

练成幸

深圳航空有限责任公司, 广东 深圳 518128

摘 要： 本文主要讲述了关车状态下 PRV 指示在琥珀色关闭位，检查活门本体机械指示在关闭，试车验证 PRV 开关正常，判断为 PRV 指示问题。通过查阅系统原理，量取系统线路导通性，期间为判断出具体故障，更换了疑似部件，最终确定为计算机问题。故作出总结，为以后遇到类似故障提供便利。

关 键 词： PRV；琥珀色关闭位；故障总结

Summary of Amber Close Position Fault Displayed When PRV is Off

Lian Chengxing

Shenzhen Airlines Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518128

Abstract： This article mainly describes the PRV indication in the amber closed position when the vehicle is turned off. The mechanical indication of the valve body is checked to be closed, and the PRV switch is verified to be normal during the test drive. It is determined that there is a PRV indication problem. By consulting the system principle and measuring the conductivity of the system circuit, suspected components were replaced to determine the specific fault, and it was ultimately determined to be a computer problem. Make a conclusion to provide convenience for similar malfunctions in the future.

Keywords： PRV; amber closed position; fault summary

引言

在飞机航线维护中，经常会遇到各种各样的故障，本文主要讲述的是遇到关车状态下 PRV 指示在琥珀色关闭位故障时，它的系统原理，以及处理故障遇到的各种问题，作出总结方便后续再次遇到时能更灵活处理。

一、故障概述

3月23日，B-6565航前检查发现右发 PRV 指示在琥珀色关闭位，检查活门本体机械指示在关闭，试车验证 PRV 开关正常，判断为 PRV 指示问题。故障措施过程如图1所示。

类型：

DE

故障

Defect#:1302202 状态：

CLOSED

CLOSED

故障描述：

航前检查发现右发PRV指示在琥珀色关闭位，检查活门本体机械指示在关闭，试车验证PRV开关正常，判断为PRV指示问题，由于时间原因，依据MEL36-07-02A保留右发PRV指示，C类，无M项，无O项。PF CHECKED THE ENG2 PRV INDICATED AT OPEN AMBER POSITION, CHECK THE MECHANICAL INDICATION WAS CLOSED POSITION, WHEN ENGINE2 RUNNING, TESTED THE FUNCTION OF PRV WAS

计划措施：/保留期间措施

航后参考ASH36-11-02测量PRV本体的#1和#5对#3的导通性（人工操控PRV开关核实阻值转换）或APU引气反串看SD页面PRV位置转换，核实PRV本体插头插钉（特别是插头后部线束多晃动测量线路的导通性绝缘性是否随着线的晃动变化）按需跟换PRV，同时译码发现7HA2（ZRA380-00）传感器可能存在故障，请直接跟换（PRV测试如果未发现 问题不用换）---沛磊 0321广州过站请会试处理---YUX0321

Action:

航后检查右发PRV指示时好时坏，译码判断7HA2故障，根据AMM36-11-15更换右发7HA2传感器，检查正常。但PRV指示故障依旧，测量PRV本体的#1和#5对#3的导通性均正常，为判断故障，根据AMM36-11-52更换右发PRV，故障依旧，本机对串BMC1与BMC2后，故障转移，判断为BMC故障。根据AMM36-11-08更换BMC2，检查测试正常，右发PRV指示正常，撤保留DE1302202,无M项恢复。AF CHECK ENG2 PRV INDICATION FAULT

发现：

> 图1 故障保留、措施及排故过程

二、排故经过

TMC 措施：航后参考 ASM36-11-02测量 PRV 本体的钉

1# 和 5# 对 3# 的导通性（人工操控 PRV 开关核实阻值转换）或 APU 引气反串看 SD 页面 PRV 位置转换，核实 PRV 本体插头插钉（特别是插头后部线束多晃动测量线路的导通 性绝缘性是否随着线的晃动变化）按需跟换 PRV，同时译码发现 7HA2（ZRA380-00）传感器可能存在故障，请直接跟换（PRV 测试如果未发现 问题不用换）。

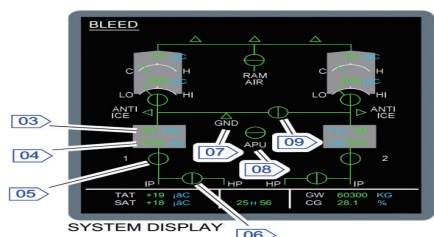
航后参考 TMC 措施及 TSM，检查 SD 右发 PRV 指示时好时坏，PFR 代码为：PRESS REG-V 4001HA2 OR SOL 10HA2 OR SENSE LINE，直接根据 AMM36-11-15 更换右发 7HA2 传感器，检查正常，但 PRV 指示故障依旧，测量 PRV 本体的 #1 钉和 #5 钉对 #3 钉的导通性均正常，为判断故障，根据 AMM36-11-52 更换右发 PRV，通电检查指示后 3 分钟左右正常，后续指示变得不稳定，故障依旧，本机对串 BMC1 与 BMC2 后，故障转移，判断为 BMC 故障。更换 BMC 后，故障排除，后续未再现。

三、原理分析

本次故障是显示故障，则分析思路是了解 ECAM 的 BLEED 页面的发动机引气相关指示含义，而后了解其是由哪些部件提供信号，最后从这些原理出发，分析总结此次排故所得。

作者简介：练成幸（1993.09-），男，广东鹤山人，汉族，本科，工程师，从事航线维护研究。

1. 页面指示含义^[1]



> 图2 ECAM BLEED 页面

高压级活门 HPV（图标06）：

圆圈内中心线与线路交叉成十字（如图2所示）：

绿色表示活门全关；

琥珀色表示活门全关且其位置与活门指令不一致。

圆圈内中心线与线路重合成直线：

绿色表示活门未全关；

琥珀色表示活门未全关且其位置与活门指令不一致。

琥珀色 XX 图案：活门不可用状态。

引气压力调节活门 PRV（图标05）：与 HPV 类似

圆圈内中心线与线路交叉成十字（如图2所示）：

绿色表示活门全关；

琥珀色表示活门全关且其位置与活门指令不一致。

圆圈内中心线与线路重合成直线：

绿色表示活门未全关；

琥珀色表示活门未全关且其位置与活门指令不一致。

琥珀色 XX 图案：活门不可用状态。

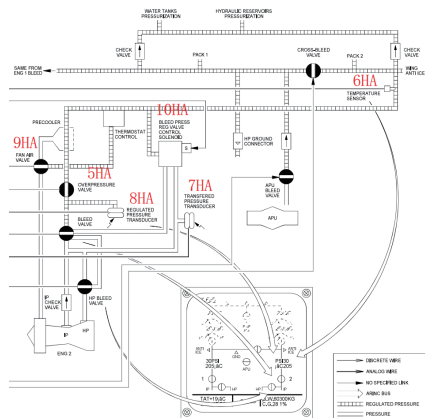
压力、温度指示（图标03/04）：

绿色正常；

琥珀色表示压力（温度）过高或过低。

2. 部件功能

根据此次故障现象对应的 TSM，故障原因主要可能是 PRV、压力传感器7HA、PRV 控制电磁线圈10HA、传感线路或者电气线路。则下文会简单介绍 ECAM BLEED 页面的信号来源，及侧重描述上述部件的功能。



> 图3 ECAM 显示原理

如图3所示原理，HPV 和 PRV 的活门信号都是由其活门提供信号到 BMC，而后 BMC 提供信号到驾驶舱显示。关于 PRV 的信号，BMC 接收 PRV 出口引气压力，转换（级间）压力传感器

7HA 信号，发动机引气控制电门位置信号，以及 PRV 位置传感器信号，生成 PRV 活门在 SD-BLEED 页面位置指示。然后 BLEED 页面上的压力及温度是由调节压力传感器8HA 和下游温度传感器6HA 提供信号。^[2]

PRV 是发动机中间级供气时，调节发动机引气压力的部件，由 BMC 监控，并通过 BMC 提供位置信号到驾驶舱。

PRV 的开关可以由一个外部的电磁线圈10HA 进行气动控制。10HA 有两种模式，一种是由于反流保护的气动模式；另一种则是在引气电门或火警电门松出时的电动模式。并且，在下列情况中，10HA 会由 BMC 自动激活：

1. 预冷器下游超温—预冷器下游的热交换器出口温度传感器6HA 提供一个超温信号257° C (527° F)；
2. PRV 下游超压—压力调节传感器8HA 提供了一个超压信号57PSI；
3. 管路渗漏—吊架、大翼和机身的管路及其附近区域检测到泄露信号；
4. APU 引气活门未关闭；
5. 相应发动机的启动活门未关闭。

四、故障分析

当晚的故障现象，除了 PRV 在 ECAM 关车情况下显示琥珀色关闭位的现象外，还有 PFR 上的 PRESS REG-V 4001HA2 OR SOL 10HA2 OR SENSE LINE 代码，该代码所指故障原因如图4，结合两个故障，以及当天 TMC 译码发现7HA2（ZRA380-00）传感器可能存在故障，关车状态下由于发动机没有引气，PRV 没有伺服作动气，已验证过 PRV 是处于机械关闭位，在这种状态下，显示错误的可能原因只可能是转换压力传感器7HA 故障、PRV 位置传感器故障或者 BMC 内部逻辑故障。根据措施，则第一时间考虑的是右发的转换压力传感器故障，传感器提供到 BMC 的信号出现故障，而造成这两故障出现。

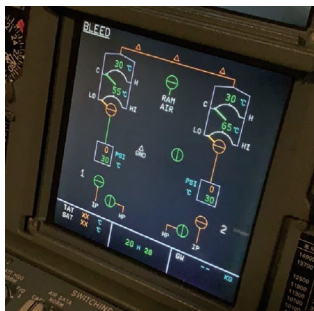
TASK 36-11-00-810-810-A
Bleed Pressure-Regulator Valve of the Engine 2 Blocked in the Closed Position or Regulation Too Low

1. Possible Causes
 - BMC-2 (1HA2)
 - VALVE-BLEED PRESS REG (4001HA)
 - sense line between the bleed-pressure regulator valve (4001HA) and the solenoid (10HA2)
 - O-RING
 - SOLENOID-BLEED PRESS REG V CTL, ENG 2 (10HA2)
 - XDCR-BLEED REGULATED PRESS, ENG 2 (8HA2)
 - XDCR-BLEED TRANSFER PRESS, ENG 2 (7HA2)
 - VALVE-HP BLEED (4000HA)
 - P/BSW-ENG 2 BLEED (4HA2)
 - sense line

> 图4 PRESS REG-V 4001HA2 OR SOL 10HA2 OR SENSE LINE 代码指向

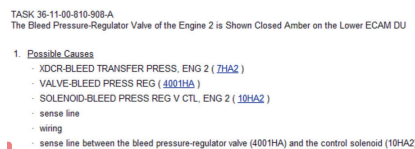
但是更换后故障依旧，则下一步考虑的是 PRV 本体位置传感器故障，但更换后依然未能排除。由于当时的 ECAM 活门显示一直处于时好时坏的状态，而测试是能正常通过的，没有代码。而后考虑是清洁 PRV 的插头和摇晃相关的线束，故障也是时好时坏。

直至后面 ECAM BLEED 页面的 PRV 上下的线路突然都显示为琥珀色，且 PRV 活门指示稳定在琥珀色关闭位，显示不再变动。此时才考虑是 BMC 的原因，具体现象如图5所示，对串 BMC1&2 后明确判断出是 BMC2 的故障，更换新件后故障未再重现。



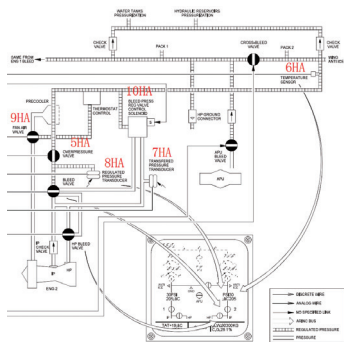
> 图5 故障现象

从结果推导，此次是 BMC 内部的压力解析部件故障而导致的显示故障及相关的 PRESS REG-V 4001HA2 OR SOL 10HA2 OR SENSE LINE 代码。而我们当天的排故过程从航前检查发现办理保留，到排故现场分析这一过程中，精力都集中在显示故障上，如下图6^[3]，TSM 针对指示故障的源头也未曾涉及到 BMC。综合起来，导致了当晚未能第一时间发现故障源的结果。



> 图6 PRV 显示琥珀色可能原因

回到故障本身，最能体现出 BMC 故障的现象是最后才出现的，BLEED 页面上的 PRV 到组件 FCV 这一段线路变为琥珀色。在后续查阅相关 TSM、AMM 和飞行操作手册等资料后，都未曾找到关于这段线路相关描述，结合实际的气路，PRV 下游是有 8HA 传感器、OPV、预冷器、FAV 恒温器、PRV 电磁线圈以及出口温度传感器 6HA，而后就是组件的 FCV。其中只有管路压力和出口温度是显示到 ECAM 上的，其余的与显示无关。并且，假如是 8HA 或 6HA 故障的话，会有更明确的现象指示，而不会导致该段线路变为琥珀色。综上所述，笔者认为，导致 BLEED 页面上的 PRV 到组件 FCV 线路变为琥珀色的主要原因是 BMC 的故障或者显示系统的故障。



> 图7 ECAM 显示原理

总结而言，结合图7显示原理，由于 BMC 接收 PRV 出口引气压力（8HA 信号），转换（级间）压力传感器 7HA 信号，发动

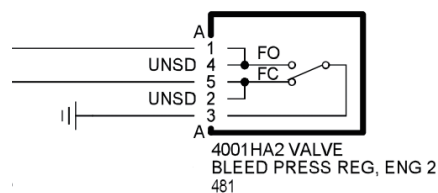
参考文献

- [1] 陈晨. 民航中先进的航线维修管理策略和实施要点[J]. 科技风, 2017, 03:134.
- [2] 陈俊宏. 飞机航线维修新员工带教优化探讨[J]. 经营管理者, 2017, 05:198.
- [3] 李素东. 基于民航飞机维修技术和方法的探讨[J]. 企业技术开发, 2014, 33:7-8.

机引气控制电门位置信号，以及 PRV 位置传感器信号，生成 PRV 活门在 SD-BLEED 页面位置指示。在关车情况下，发动机没有引气，PRV 没有伺服作动气，而 PRV 已在航前办单及航后验证过本体完好性，在这种状态下，显示错误的原因可能是转换压力传感器 7HA 故障、8HA 故障、PRV 位置传感器故障或者 BMC 内部逻辑故障。其中 8HA 若故障的话，ECAM BLEED 页面的压力指示应该会显示琥珀色，并且测试有相应代码，所以排除是 8HA 故障的可能。而后续工作相继排除 7HA、PRV 位置指示故障之后，只剩 BMC 或线路原因。

五、总结

对于 PRV 位置指示故障，若怀疑是 PRV 位置指示电门失效导致的，可以首先对位置电门进行量线检查（测量 PRV 本体的 #1 钉和 #5 钉对 #3 钉的导通性），进行初步核实，如图8。



> 图8 PRV 量线原理

也可以将新件装上插头后进行初步确认，可以提高排故的效率和准确性，避免误换件。但是，由于发动机内部空间有限，不拆下原 PRV 的情况下很难有空间给新件插上插头判断，建议结合排故现场的实际情况，且在不明确故障源的情况下，先行对 7HA 传感器和 BMC 进行判断。

对于本次故障，TSM 没有列出 BMC 的可能性，但根据系统原理以及排故结果，BMC 是可能部件，处理类似故障需考虑 BMC 故障的可能性。

重点是，再遇到此类故障时，先看懂原理，再分析可能的原因，以手册为依据，但是不能迷信手册。

具体操作如下：

第一：打印航后报告并执行 BMC 自检测试，核实故障代码。

第二：检查 SD 页面预冷器进口压力指示 8HA 指示是否正常，可以通过接通 APU 引气对比左右发压力指示。

第三：关闭 APU 引气，打开反推包皮，检查 PRV 本体是否指示在关闭位置，航后关车 PRV 正常应由弹簧保持在关闭位。

第四：人工超控 PRV 并核实 PRV 本体位置打开、关闭位置与页面指示一致。

第五：如果步骤 2、3、4 均检查正常，本机对串 BMC 核实故障是否转移，如果故障未转移，则清洁并检查 7HA 插头，无异常则判断故障更换 7HA。

B737NG 飞机自动驾驶失效排故浅析

陈国芳

深圳航空有限责任公司, 广东 深圳 518128

摘 要： 本文重点介绍了 B737NG 飞机自动驾驶失效的故障隔离思路和具体操作方法。数字飞行控制系统的核心计算机 FCC 有五大功能，分别是自动驾驶、飞行指引、高度警戒、速度配平和马赫配平。当自动驾驶无法工作，不一定要保留整个 FCC，有可能只是自动驾驶单一功能失效了，其他四大功能并不受影响，只需对自动驾驶这一功能保留即可。

关 键 词： B737NG 飞机；FCC 功能；自动驾驶失效；排故

Analysis of Autopilot Failure Troubleshooting for B737NG Aircraft

Chen Guofang

Shenzhen Airlines Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong 518128

Abstract： This paper focuses on the fault isolation idea and operation method of B737NG aircraft autopilot failure. The FCC computer who is the core function of the digital flight control system has five functions, include autopilot, flight guidance, high alert, speed trim and mach trim. When autopilot does not work, it is not necessary to defer the entire FCC, it is possible that only the single function of autopilot fails, and the other four functions are not affected, only the function of autopilot can be deferred.

Keywords： B737NG aircraft; FCC functions; autopilot fails; troubleshooting

引言

波音 737NG 飞机，当机组反映在飞行时自动驾驶无法工作，作为放行人员该如何处理？自动驾驶是 FCC 计算机的一个功能，当自动驾驶失效了，是否要把相关的 FCC 计算机整个都办保留呢？首先来回顾下 FCC 计算机的五大功能。

一、FCC 五大功能简介

FCC 计算机有五大功能，分别是自动驾驶、飞行指引、高度警戒、速度配平和马赫配平。有的构型 FCCA 计算机还能够提供自动油门的功能。自动驾驶控制的舵面是副翼和升降舵。副翼是控制飞机沿纵轴做横滚运动，升降舵是控制飞机沿横轴做俯仰运动。主飞控三大舵面分别是副翼、升降舵和方向舵。自动驾驶控制的对象为什么没有方向舵呢？我们来思考一个问题，当飞机在做转弯的时候，如果没有方向舵，飞机还能不能转弯呢？方向舵的作用有两个，协调转弯和偏航阻尼。协调转弯就是协助副翼滚转，飞机在做转弯的时候，如果没有方向舵，飞机也能够转弯，靠副翼慢慢的转，所以自动驾驶控制的对象没有方向舵。

1. 自动驾驶功能简介

自动驾驶，核心计算机是 FCC，一共有两部，FCCA 和 FCCB，在主电子舱。执行机构是自动驾驶作动筒，它的作用就是把 FCC 的指令电信号变成液压的机械输出。自动驾驶作动筒一共有 4 个，2 个副翼自动驾驶作动筒，2 个升降舵自动驾驶作动筒。自动驾驶作动筒的输出杆连着 PCU 的输入杆，所以自动驾驶作动筒的输出就是 PCU 的输入。FCC 从飞机各个系统传感器收

集信息，计算自动驾驶的指令，把它送给自动驾驶作动筒，自动驾驶作动筒的输出就是 PCU 的输入，通过 PCU 控制相应的舵面运动。所有的控制是闭环的，副翼位置传感器和升降舵位置传感器，将实际的舵面位置信息反馈给 FCC 计算机，FCC 将指令的位置信息和实际的位置信息进行比较，如果不一致，再次计算自动驾驶的指令控制舵面到相应的位置。以上就是自动驾驶的工作原理。关于自动驾驶的衔接，是否在所有飞行阶段都能够衔接呢？答案是否定的，在起飞阶段是不能够衔接自动驾驶的，当飞机起飞离地 400 英尺以后，我们才能够衔接自动驾驶。在进近阶段可以接通两套自动驾驶，在爬升、巡航、下降这三个飞行阶段只能够衔接一套自动驾驶。

2. 飞行指引功能简介

飞行指引，FCC 计算机计算飞行指引的指令，通过 DEU 在 PFD 上显示。标示符号有十字杆，也有八字杆。在 MCP 面板上有飞行指引的衔接电门，如果把这个电门打到 ON 位，同侧的 PFD 上会显示飞行指引的符号。

3. 高度警戒功能简介

高度警戒，当飞机飞离或者飞进 MCP 板上所选的高度时，在驾驶舱能够提供一视觉和听觉的提示，提醒飞行员飞离或者

作者简介：陈国芳（1983.11-），女，山西大同人，汉族，本科，工程师，从事飞机维修航电研究。

是飞近目标高度。假设飞机在 MCP 上设置的目标高度是5000英尺，当飞机飞近目标高度的时候，距离目标高度900英尺时，高度警戒开始工作，继续飞近，当距离目标高度300英尺时，高度警戒就停止工作。同时在 PFD 右边的高度带上高度读数周围有一个白色的方框，通过 REU 在驾驶舱能听到一个谐音信号。当飞机飞离目标高度，距离目标高度300英尺的时候高度警戒开始工作，继续飞离，当飞机距离目标高度900英尺的时候，高度警戒就停止工作了。同时在 PFD 右边高度带实际的高度读数周围有一个琥珀色的方框包围着并闪烁，同时通过 REU 在驾驶舱能够听到一个谐音信号。高度警戒的工作原理很简单，FCC 计算机接收来自 MCP 板上选择的目标高度信号，同时它也接收来自无线电高度收发机的无线电高度信号和来自 ADIRU 的气压高度信号。FCC 计算机将实际的高度和 MCP 上的目标高度进行比较，如果在门槛值范围之内，就会计算高度警戒的指令。

4. 速度配平和马赫配平功能简介

速度配平和马赫配平，速度配平和马赫配平都是控制飞机的俯仰运动的，速度配平的控制对象是水平安定面，马赫配平的控制对象是升降舵。速度配平工作的条件是起飞时候大推力、低空速、自动驾驶没有衔接的时候才工作的。速度配平的目的是保证飞机低空飞行时速度的稳定性。飞机在起飞的时候是抬头的，这样才会产生一个升力。当飞机的空速减小了，小于正常值，速度配平通过控制水平安定面给到飞机一个低头力矩。当飞机的空速变大了，大于正常值，速度配平通过控制水平安定面给到飞机一个抬头力矩。马赫配平是空速在 0.615 - 0.84 或 0.86 马赫之间开始工作。当飞机的空速比较大的时候，它的升力中心就会后移，飞机会向下俯冲运动，马赫配平通过控制升降舵给到飞机一个抬头力矩，保证飞机在高速飞行时姿态的稳定性。速度配平的工作条件是自动驾驶没有衔接，当自动驾驶衔接以后，FCC 计算机还会不会对水平安定面进行配平呢？当然会配平，这个时候就不叫速度配平了，叫自动驾驶安定面配平。为什么两个名称不一样呢？因为它们俩配平的参考标准不一样。速度配平的目标是保证飞机在低空飞行时速度的稳定性，而自动驾驶安定面配平是为了让安定面和升降舵的位置相匹配，共同控制飞机的俯仰运动。所以虽然都是 FCC 给出的配平信号，但是是两个不同的功能。速度配平的控制对象是水平安定面，马赫配平的控制对象是升降舵，他们都是控制飞机的俯仰运动的。速度配平和马赫配平的控制对象换一下可以吗？答案是否定的，升降舵和水平安定面，最大的区别就是面积不一样，水平安定面的面积大，升降舵的面积小，移动相同的角度，它们产生的位移不一样。相同的位移，当飞机的速度比较大的时候，产生的力矩就比较大，当飞机的速度比较小的时候，产生的力矩就比较小。速度配平工作的条件是飞机起飞的时候低空速、大推力、自动驾驶没有衔接，这个时候如果通过面积比较小的升降舵来控制飞机的俯仰运动，效果是微乎其微的。马赫配平的工作条件是空速大于0.615马赫，飞机的速度比较大，通过控制面积比较大的水平安定面来控制飞机的俯仰姿态，很容易就会调节过度，产生过调。所以速度配平的控制对象是水平安定面，马赫配平的控制对象是升降舵，他们俩是不能互

换的^[1]。

二、自动驾驶失效故障隔离思路

以上就是 FCC 计算机的五大功能，分别是自动驾驶、飞行指引、高度警戒、速度配平和马赫配平。当自动驾驶不工作的时候，是否要把整个 FCC 计算机都保留呢？显然不是的，自动驾驶不工作，不仅和 FCC 计算机本身有关，还和很多外部条件有关。比如 P10 板的自动驾驶安定面配平切断电门，将电门打到 CUT OUT 位，自动驾驶断开；再比如当 FCC 收到来自 SMYD 计算机的抖杆信号时，自动驾驶断开；FCC 收不到气压高度信号时，自动驾驶也会断开。我们知道 FCC 计算机是有五大功能的，自动驾驶失效不一定会导致 FCC 计算机的其他功能也失效。所以一定要进行故障隔离，分两步走，首先要判断是外部故障还是内部故障，如果是外部接口的故障，比如说没有办法接收到无线电高度信号，这时 FCC 计算机本身没有问题，只需把受影响的自动驾驶这个功能保留就可以了，其他的功能是不用保留的。如果是内部故障，还要判断是单一的自动驾驶这个功能失效了，还是 FCC 计算机整个都失效了。如果只是自动驾驶这一功能失效了，没有必要保留其他四个功能。如果是 FCC 计算机整个都失效了，还要排除一下是不是由于人为的拔了 FCC 电源跳开关，导致 FCC 整体失效。有时工作人员需要执行 MEL 的 M 项，拔出 FCC 电源跳开关，导致 FCC 整体失效。如果是 FCC 计算机 LRU 件失效了，就要对 FCC 计算机整个办保留^[2]。

三、DFCS 的三种测试

排故思路有了，通过做测试来实现故障隔离。自动飞行控制系统故障隔离测试有三种，当前状态测试、历史故障驾驶舱效应测试和库测试。当前状态测试可以对 FCC 内部和接口进行快速的扫略测试。测试结果显示有故障的 LRU 和接口。紧接着分别对 FCC 计算机的五大功能进行测试，自动驾驶、飞行指引、马赫配平、速度配平和高度警戒。历史故障驾驶舱效应测试，可以记录最后40个航段的故障和驾驶舱效应。第三种测试就是传说中的库测试了。自动飞行控制系统有一个强大的测试库，包含了所有子系统功能测试的测试项目，一共有70多个测试项目。库测试包括五个功能：接口、舵面、MCP、通告器和 FCC（内部）。接口是指 FCC 和 LRU 接口的测试，比如第一项 ADIRU 接口测试、第5项 DME 接口测试、第7项 LRRR 接口测试等等。舵面是指对相应的飞控舵面和位置传感器进行测试，比如第30项升降舵的测试，31项副翼的测试、34项襟翼的测试等等。MCP 是指对 MCP 上的电门旋钮以及接口进行测试，比如第51项飞行指引电门的测试，55项高度设置旋钮的测试等等。通告器是指对灯和警告进行测试，比如第62项自动驾驶断开的警告测试。FCC（内部）是指对 FCC 计算机内部进行自测试，比如第71项 FCC SELF TEST。自动飞行控制系统的各个功能测试，就是从这70多个基本测试项目中抽取若干个项目组成的。比如 AUTOPILOT

TEST--GROUP NUMBER 11, 自动驾驶测试一共抽取了20多个基本测试项目, AUTOPILOT TEST 就是组名, 11是组号。所有的功能测试都有一个组名和组号。所有的测试有三种类型, 分别是自动测试、交互测试和舵面测试。自动测试是快速的扫略测试, 它不需要任何输入, 也不需要液压。交互测试, 是需要我们操作者进行相应输入的, 做一些特定的工作, 比如拔相应的跳开关, 设置相应的电门等等, CDU 上有操作说明, 交互测试也不需要液压。舵面测试是需要液压的, 有一些也需要做特定的工作。自动测试最先进行, 然后是交互测试, 最后才是舵面测试。

四、故障隔离操作方法

1. 内外部故障隔离方法

下面我们来看 FCC 各功能的验证操作。首先需要做历史故障和历史驾驶舱效应测试, 通过这两个测试排查一下故障原因是 FCC 内部还是 FCC 外部, 是俯仰通道还是横滚通道? 比如通过历史故障测试发现故障描述是无线电高度 INVALID, 有可能的 LRU 是1号无线电高度收发机, 这时我们可以判定是 FCC 外部的故障, 无线电高度接口失效了。

2. 马赫配平功能验证

自动驾驶和马赫配平都会控制飞机的升降舵, 当两个同时工作时, 升降舵该听谁的呢? 自动驾驶没有衔接的时候, FCC 计算马赫配平的指令, 送给马赫配平作动筒。通过升降舵感觉定中组件来控制升降舵 PCU, 再通过 PCU 控制升降舵运动。当自动驾驶衔接以后, 自动驾驶作动筒锁住升降舵 PCU 的输入杆, 马赫配平作动筒控制升降舵感觉定中组件, 但是升降舵感觉定中组件的输出杆不能做动升降舵 PCU 的输入杆, 因为升降舵 PCU 的输入杆被自动驾驶作动筒锁住了, 这时该如何操作呢? 在马赫配平作动筒和升降舵感觉定中组件之间有一个中位偏移传感器, 它会测量升降舵感觉定中组件的输出, 把这个信号送给 FCC, 同时升降舵位置传感器把升降舵的实际位置信号也送给 FCC。FCC 知道升降舵感觉定中组件有输出了, 但是升降舵的实际位置没有变化, 它根据两者的偏差来计算指令送给自动驾驶作动筒, 自动驾驶作动筒通过升降舵 PCU 控制升降舵按照马赫配平的指令来运动, 曲线救国。其实无论自动驾驶是否衔接马赫配平都能够正常工作。

验证马赫配平功能有两个方法, 一个是 DFCS BITE 组测试13马赫配平测试, 第二个是通过 P5 飞控面板上的马赫配平失效灯。如果是两部 FCC 马赫配平功能全部都失效了, 这个灯会主动的点亮, 并且不能够复位。如果仅仅是一部 FCC 马赫配平功能失效了, 这个灯不会主动点亮, 我们需要按压系统方式告示牌, 把这个灯 RECALL 出来, 按压 MASTER CAUTION 灯电门可以把马赫配平失效灯复位掉。

3. 速度配平功能验证

不管是速度配平还是自动驾驶安定面配平都是由 FCC 计算的, 它们的配平信号都要经过驾驶杆电门组件、自动驾驶安定面配平切断电门、限制电门这三道关卡才能够送到安定面配平电作动筒。速度配平的功能验证有两个方法, 可以通过 DFCS BITE 组测试14, 对速度 / 安定面配平测试进行验证, 也可以通过速度配平失效灯进行验证, 当双通道速度配平同时失效了, 速度配平失效灯会主动点亮。当单通道速度配平失效了, 速度配平失效灯不会主动点亮, 可以通过按压系统方式告示牌把这个灯 RECALL 出来, 通过按压 MASTER CAUTION 灯电门把这个灯复位掉。

4. 飞行指引功能验证

飞行指引与自动驾驶衔接是没有关系的, 它的验证也是有两种方法。第一个是飞行指引故障旗, 当飞行指引故障了, FCC 通过 DEU 在 PFD 上会显示飞行指引的故障旗。第二个是通过 DFCS BITE 组测试12飞行指引功能测试来进行验证。

5. 高度警戒功能验证

高度警戒功能验证可以通过 DFCS BITE 组测试15高度警戒来进行验证^[3]。

五、结语

综上所述, 波音737NG 飞机, 当机组反应在飞行时自动驾驶无法工作, 一定要先进行故障隔离, 判断是 FCC 内部故障还是 FCC 外部故障。如果是 FCC 内部故障, 还需要进一步隔离, 是单一的某一功能失效了, 还是 FCC 整体失效了。很多时候只是自动驾驶这个单一功能失效了, 我们就没必要把整个 FCC 办保留, 只需要保留自动驾驶这个功能就可以了。郑重声明, 本论文仅供参考, 不作为实际操作依据。

参考文献

- [1] 李晓光. 民航维修企业如何获得核心维修技术能力 [J]. 中国民用航空, 2005(08).
- [2] 范学斌. 对现代民航维修技术和方法分析 [J]. 科技展望, 2014, (15): 111.
- [3] 李素东. 基于民航飞机维修技术和方法的探讨 [J]. 企业技术开发, 2014, 55: 7—8.

家居环境下的创新智能手臂关节训练器械外观设计与场景布局优化

陈鹏¹, 徐文俊^{1*}, 杨宇飞², 叶佳琦¹, 杨洋¹, 张鑫¹, 程源¹, 王若兰¹

1. 衢州职业技术学院 机电工程学院, 浙江 衢州 324000

2. 长春理工大学 机电工程学院, 吉林 长春 130022

摘 要 : 随着中国老龄化趋势的加剧, 老年人居家锻炼需求日益增长。本文针对老年人的生理特点和家庭环境, 分析了家居环境下老年人手臂关节训练的需求, 并提出了一款创新智能手臂关节训练器械的设计方案。通过外观设计与场景布局优化, 旨在为老年人提供安全、有效、便捷的锻炼体验。同时, 探讨了器械的技术创新方向、市场前景及产业发展建议, 为未来智能训练器械的发展提供了参考。

关 键 词 : 老龄化; 家居环境; 手臂关节训练; 智能器械; 外观设计; 场景布局

Innovative Smart Arm Joint Training Device Design and Scene Layout Optimization in Home Environment

Chen Peng¹, Xu Wenjun^{1*}, Yang Yufei², Ye Jiaqi¹, Yang Yang¹, Zhang Xin¹, Cheng Yuan¹, Wang Ruolan¹

1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Quzhou College of Technology, Quzhou, Zhejiang 324000

2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022

Abstract : With the intensifying trend of aging in China, the demand for home exercise among the elderly is growing. Based on the physiological characteristics of the elderly and the home environment, this paper analyzes the needs of arm joint training for the elderly in the home environment and proposes a design plan for an innovative smart arm joint training device. Through the optimization of exterior design and scene layout, it aims to provide a safe, effective, and convenient exercise experience for the elderly. At the same time, it explores the direction of technological innovation, market prospects, and industrial development suggestions for the device, providing a reference for the future development of smart training devices.

Keywords : aging; home environment; arm joint training; smart device; exterior design; scene layout

引言

在人口老龄化日益严重的当下, 如何有效提升老年人的生活质量, 已成为社会关注的焦点。家庭作为老年人日常活动的主要场所, 其环境下的锻炼设施显得尤为重要。本文围绕老年人手臂关节训练的需求, 展开了对家居环境下智能手臂关节训练器械的设计与优化研究, 旨在为老年人提供更加舒适、便捷的居家锻炼解决方案。

一、家居环境下老年人手臂关节训练需求分析

随着中国老龄化趋势的加剧, 老年人群体的健康问题日益凸显。在这一背景下, 针对老年人的生理特点和生活环境, 分析他们在家庭室内对手臂关节训练的需求, 对于设计出符合实际需要的智能训练器械具有重要意义。

(一) 老年人生理特点与锻炼需求

随着年龄的增长, 老年人的生理功能逐渐退化, 尤其是肌肉力量、关节灵活性和平衡能力的下降, 使得肩、肘、腕等关节部位容易出现酸痛和僵硬等问题。针对这些变化, 老年人对手臂关

节的锻炼需求显得尤为重要。他们需要通过锻炼来增强关节的活动范围, 预防关节僵硬, 提高肌肉力量以维持日常生活的自理能力, 改善血液循环以缓解关节疼痛, 并通过适度的锻炼来增强身体的整体协调性和平衡性。这些锻炼需求共同构成了老年人对手臂关节训练的核心目标, 即通过有效的锻炼方法, 改善和维持关节健康, 提升生活质量。

(二) 家庭室内锻炼环境分析

根据走访参观社区养老环境发现, 在健身器材建设时都采用自上而下进行建设, 这就带来了实际健身器材与老年人实际需求之间的供需错位, 缺少综合性老年公共活动设施。全民健身的推

基金项目: 2023年浙江省大学生科技创新项目(2023R479001), 2023年浙江省高职教育“十四五”第一批教学改革项目(jg20230250), 2023年衢州市科技计划指导性项目(2023ZD127)。

通讯作者: 徐文俊(1981—), 男, 教授, 研究方向: 机械设计CAD/CAE、工业外观设计。E-mail: 2668876648@qq.com。

广，老年人对于社区内配备的专业健身器材使用方式非常陌生，锻炼强度也是参差不齐，锻炼类别更是较为单一。所以，从老年人运动健身的角度分析，针对老年人需求与养老健身器材服务设施配置之间存在的问题，探寻适宜老年人的室内健身方式和器材，为老年人群提供科学健康的运动方式研究成为重点^[1]。

而家庭室内环境作为老年人日常锻炼的主要场所，具有其独特的特点。空间上的限制要求锻炼器械设计小巧，以便于在有限的空间内存放和使用；同时，安全性是老年人锻炼时的首要考虑因素，需要器械具备防滑、防碰撞等安全特性。此外，器械的操作便捷性对于老年人来说至关重要，以确保他们能够独立且轻松地使用。当然，锻炼环境的舒适性也是不可忽视的，一个舒适的环境能够提高老年人锻炼的愉悦感和持续性，从而更好地促进他们的健康。

（三）市场现有产品存在的问题

市场上现有的手臂关节训练器械在实际应用中面临着一些挑战，如适应性不佳，未能充分考虑到老年人的生理特点和需求，操作复杂使得老年人难以轻松使用，安全性不足导致使用过程中存在风险，以及设计上缺乏人性化，忽略了老年人的使用习惯和心理需求^[2]。这些问题表明，家居环境下的老年人手臂关节训练器械设计需要更加注重用户体验，深入考虑老年人的实际需求，家庭环境的限制，以及市场的具体要求，以确保器械的安全、有效和便捷，从而更好地服务于老年人的健康锻炼。

二、创新智能手臂关节训练器械外观设计

在老龄化社会的背景下，为了满足老年人居家锻炼的需求，我们致力于设计一款创新智能手臂关节训练器械。本章节将详细介绍设计理念与原则，器械的结构组成与功能，以及外观造型的创新之处，旨在打造一款既实用又符合老年人审美的训练器械。

（一）设计理念与原则

以用户为中心的设计理念，将老年人的使用体验置于核心位置，确保了器械操作的简便性和使用舒适度^[3]。设计中追求功能与美观的和谐统一，在确保器械实用性的同时，外观设计也成为家居环境的一抹亮色。智能化与个性化的融入，通过先进技术实现器械的定制化设置，满足不同用户的特定锻炼需求。在设计原则方面，安全性是首要考虑，确保器械在使用中的稳定与可靠，预防潜在的安全隐患。舒适性同样重要，产品设计充分考虑到老年人的生理特征，遵循人体工程学原则^[4]。易用性也是设计的关键，操作流程的简化使得老年人能够轻松上手，极大提升了产品的设计水准和用户体验。

（二）器械结构组成与功能

本智能手臂关节训练器械是一款集成了先进机械结构与智能控制系统的创新产品。它由稳定的底座、无急回四杆机构、导轨滑块机构、精密伺服电机、电气控制系统和触摸屏组成。底座采用坚固的三角形结构，并配备防滑垫，确保了器械在使用过程中的稳定性和安全性。

无急回四杆机构是器械的核心部分，它能够在导轨滑块机构的辅助下自由上下移动，实现高度的无级调节，满足不同身高用户的需求。机构的蓝色杆和白色杆上端设有多个孔洞，通过插销连接，可以调节杆长尺寸，提供三种不同的角度参数，以适应患

者对多样化训练角度的需求。

在无急回四杆机构的白色杆下端，设有两个手柄，用户可通过握持不同的手柄进行圆弧曲线和近似椭圆曲线的训练。而蓝色杆上端的手柄则用于圆周曲线训练，丰富了训练方式，满足患者对多样化运动路径的需求。

电气控制系统采用 Siemens 触摸屏作为上位机，与 PLC 下位机相结合，实现了器械的智能控制。触摸屏上设有启动、复位、停止等按键，并配备红、绿、黄三色指示灯，清晰显示机器的工作状态。此外，触摸屏还具备计数功能，能够动态显示训练次数，既可累加也可清零，为用户提供便捷的数据追踪^[5]。

整体而言，这款智能手臂关节训练器械不仅设计精良，功能全面，而且通过精密伺服电机的精准控制和智能系统的优化，为用户提供了一个安全、有效、个性化的锻炼解决方案。



（三）外观造型创新

器械主体选用高品质铝合金材质，确保了轻便与耐用性，色彩上则选用温馨的米白色和淡蓝色，既迎合了老年人的审美偏好，也能和谐融入家居环境。外观设计方面，深入应用人机工程学原理，握把的形状、大小和位置均针对老年人的手形进行优化，减少使用时的不适，同时，触摸屏的角度和高度也经过精心设计，方便老年人查看和操作。整体设计旨在创建一款既满足老年人实际需求又具有现代家居美感的智能手臂关节训练器械，以提升老年人的生活质量，享受健康生活。

三、智能手臂关节训练器械场景布局优化

随着智能家居理念的深入人心，如何将智能手臂关节训练器械和谐地融入家庭环境，成为一个重要的设计考量。本章节将探讨场景布局的原则，家庭室内空间的有效利用，器械摆放与使用场景的适配，以及智能交互与场景的融合，旨在为老年人提供一个舒适、便捷的锻炼环境。

（一）场景布局原则

在设计布局时，先确保器械的功能性，使其能够安全高效地服务于锻炼目标。同时，亦注重美观性，确保器械的摆放与家居风格相得益彰，以保持环境的整体美观与和谐。舒适性是设计的另一个重点，细致考虑使用者的体验，力求在使用过程中不造成任何不便^[6]。安全性始终是关注的焦点，器械的摆放不仅要求稳固可靠，还要预防家中其他成员，尤其是儿童的意外触碰或误用，确保家庭环境的安全性。

（二）家庭室内空间利用

在规划家庭训练器械的布局过程中，深入分析各个区域的功能与活动特征，以寻找最适合的放置地点。通过精心设计的家具布局

和室内装饰,训练器械得以无缝融入家居环境,无论是在客厅的温馨角落还是卧室的开放空间,都能和谐存在。同时,注重空间的充分利用,确保在使用器械时,周围环境宽敞,不会造成使用上的不便或安全隐患,从而提升整体的锻炼体验和居住安全性。

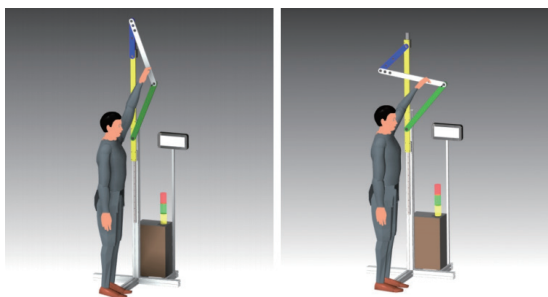
(三) 器械摆放与使用场景适配

在构思家居环境中的智能手臂关节训练器械布局时,选择合适的放置位置显得尤为关键^[7]。理想的位置应该是那些易于到达、光线充足的区域,这样不仅能够为老年人提供便利,还能确保他们在使用过程中拥有良好的视野和充足的光线。将器械安置在靠近窗户或电视的地方,可以使得老年人在锻炼时享受到户外的自然景观或室内的娱乐节目,这样的设计不仅增加了锻炼的乐趣,也提高了他们持续锻炼的动力。

此外,器械的摆放方向也应考虑到使用者的个人习惯和具体需求,确保操作界面朝向最有利于用户的方向。为了进一步提升使用体验,辅助设施的配置同样重要。在训练器械周围安装扶手、配置舒适的座椅,以及考虑到放置水杯和小物品的托盘,这些细节都能为老年人在锻炼前后提供必要的便利和支撑。

(四) 智能交互与场景融合

通过智能家居系统的整合,训练器械与家中其他智能设备如电视、音响等实现互联,创造出更加丰富和互动的锻炼体验。智能系统的应用还允许器械根据使用者的习惯和身体状况自动调整设置,实现定制化的锻炼方案^[8]。此外,通过设计多种锻炼情景模式,如早晨唤醒和晚间放松,锻炼过程变得更有趣味和多样性。这些场景布局的优化不仅为老年人打造了一个高效的锻炼环境,同时也提升了家居的舒适度和智能化水平,将锻炼转化为日常生活中的一种享受。



四、家居环境下智能手臂关节训练器械发展趋势

随着科技的不断进步和人口老龄化问题的加剧,智能手臂关节训练器械在家庭健康领域扮演着越来越重要的角色。本章节将探讨家居环境下智能手臂关节训练器械的技术创新方向,市场前景展望,以及产业发展建议,为未来的产品研发和市场布局提供参考。

(一) 技术创新方向

集成先进的传感器和人工智能技术,训练器械实现了智能监测、实时反馈和自适应调整,从而为用户提供了量身定制的锻炼方案。人机交互方面,通过开发直观易操作的用户界面,包括语音控制和手势识别,进一步提升了用户的操作体验。在材料与工艺上,采用新型轻质、高强度材料以及精密加工技术,增强了器械的耐用性和外观美感。同时,利用大数据和云计算技术,对用户的锻炼数据进行深入分析,为健康管理提供数据支持,形成了一套完善的数据分析与健康管理系统。

一套完善的数据分析与健康管理系统。

(二) 市场前景展望

随着我国老年人口比例的不断攀升,以及社会对健康老龄化生活方式的日益重视,市场对于能够辅助老年人进行日常锻炼的智能手臂关节训练器械的需求正在稳步增长^[9]。消费者群体对于这类产品的期待不再仅仅局限于其基础功能,而是更加注重产品的设计感、智能化程度以及使用体验,这一趋势使得高端智能训练器械逐渐成为市场的焦点。与此同时,智能手臂关节训练器械与医疗健康、智能家居等领域的深度融合,为产品的创新性发展开辟了新的路径。这种跨界合作不仅推动了产品功能的丰富和性能的提升,还促进了产品形态的多样化,满足了不同用户群体的个性化需求,为整个行业的发展注入了新的活力和可能性。

(三) 产业发展建议

在市场动态不断演变的大背景下,企业需持续增强研发力度,致力于技术创新,紧跟市场需求和技术进步的节奏。通过创新驱动,企业能够确保其智能手臂关节训练器械领先于行业,不断满足消费者的高标准期待^[10]。同时,企业应积极参与行业标准的制定,以提升产品品质和安全性,推动整个行业的健康成长。

对于消费者教育和市场推广,企业应采取多元化策略,通过不同渠道和方式提升智能训练器械的公众形象和认可度。向消费者普及产品的优势和正确使用方法,有助于开拓市场并扩大用户群体。

五、结束语

本文通过对家居环境下老年人手臂关节训练需求的分析,提出了一款创新智能手臂关节训练器械的设计方案,并对场景布局进行了优化。展望未来,随着科技的不断进步和市场需求的日益增长,智能手臂关节训练器械将朝着更加智能化、个性化、舒适化的方向发展。希望本文的研究能为相关领域的产品研发和市场布局提供有益的借鉴,为老年人的健康生活贡献一份力量。

参考文献

- [1] 张世玉. 老年人室内健身器材设计研究 [D]. 河北科技大学, 2021.DOI:10.27107/d.cnki.ghbku.2021.000011.
- [2] 窦汝桐. 腱驱动机器人手臂模块化关节及运动学逆解研究 [D]. 沈阳工业大学, 2023.DOI:10.27322/d.cnki.gsgyu.2023.000011.
- [3] 沈达. 面向智能终端的手臂运动实时监测关键技术研究 [D]. 武汉大学, 2022.DOI:10.27379/d.cnki.gwhdu.2022.000115.
- [4] 宋世奇. 绳驱关节置换机器人变导纳控制方法研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2021.DOI:10.27061/d.cnki.ghgdu.2021.003937.
- [5] 徐雪峰, 黄余. 基于机器视觉的机器人智能采摘实验平台开发 [J]. 中国农机化学报, 2019, 40(12):177-183.DOI:10.13733/j.jcam.issn.2095-5553.2019.12.31.
- [6] 张雷乐. 基于机器视觉的机械臂手势控制方法研究 [D]. 西安工业大学, 2021.DOI:10.27391/d.cnki.gxagu.2021.000376.
- [7] 卢桂萍, 钟宇涛, 陈晓文, 等. 智能手指关节功能康复训练器创新结构设计 [J]. 机电工程技术, 2024, 53(04):227-230.
- [8] 褚天月, 王景炎, 潘黎明, 等. 一种可供踝关节康复训练的智能轮椅设计 [J]. 中国医疗设备, 2024, 39(03):38-45+62.
- [9] 高志强. 肘腕关节术后康复机器人设计与分析 [D]. 燕山大学, 2023.DOI:10.27440/d.cnki.gysdu.2023.001171.
- [10] 胡恒通. 基于肌力预测的肘关节机器人虚拟现实康复训练研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2023.DOI:10.27061/d.cnki.ghgdu.2023.001175.

工程造价概算准确性影响因素及改进措施

乔凡霖

广州开发区财政投资评审中心，广州市黄埔区财政投资评审中心，广东 广州 510000

摘要： 本文深入分析了影响建筑工程造价概算准确性的多个因素，包括政策法规、市场环境、项目特点、人员素质、技术水平、信息不对称和管理水平等。在此基础上，提出了相应的改进措施，并从企业、行业和政府三个层面探讨了具体实践方法。通过案例分析，本文进一步验证了改进措施的有效性，并强调了各环节协同配合和持续改进的重要性。研究结果旨在为建筑行业提供参考，以提升工程造价概算的准确性，确保项目成本的有效控制。

关键词： 工程造价概算；准确性；影响因素；改进措施；案例分析

Factors Influencing the Accuracy of Construction Cost Estimation and Improvement Measures

Qiao Penglin

Guangzhou Development Zone Financial Investment Review Center, Huangpu District Financial Investment Review Center, Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This paper provides an in-depth analysis of multiple factors that affect the accuracy of construction cost estimation, including policies and regulations, market environment, project characteristics, personnel quality, technical level, information asymmetry, and management level. Based on this analysis, corresponding improvement measures are proposed, and specific practical methods are explored from three levels: enterprise, industry, and government. Through case studies, the paper further verifies the effectiveness of the improvement measures and emphasizes the importance of coordination among various stages and continuous improvement. The research results aim to provide a reference for the construction industry to improve the accuracy of engineering cost estimates and ensure effective project cost control.

Keywords： engineering cost estimation; accuracy; influencing factors; improvement measures; case analysis

引言

在当今建筑行业快速发展的背景下，工程造价概算作为项目决策和资金分配的重要依据，其准确性直接关系到项目的成功与否和企业经济效益的实现。然而，实际操作中，工程造价概算往往受到诸多因素的影响，导致概算结果与实际成本存在较大偏差。这种偏差不仅影响了项目的顺利实施，还可能给企业带来不必要的经济损失。因此，深入分析工程造价概算准确性的影响因素，并探讨相应的改进措施，对于提升建筑行业整体管理水平具有重要意义。

一、工程造价概算准确性影响因素分析

工程概算是指建筑工程项目在规划设计到建设工程中，依据工程不同阶段的进展、规模、费用等条件变化以及各种费用标准，对工程的建设所需要的资金进行估算，编制工程概算方案。工程概算反映了不同阶段的资金投资情况，预先估算工程造价的投资费用，为工程建设投资及成本控制提供重要依据^[1]。

（一）政策法规因素

政策法规因素，涵盖了税收政策、建筑法规、招投标法规等多个方面。这些政策法规的调整与变动，对工程造价的构成具有直接影响，具体体现在材料成本、人工费用、税费等关键环节。

例如，税率的变化会直接作用于工程总成本的增减；招投标法规的更新，则可能对工程承包模式及价格产生显著影响。由此可见，政策法规的不确定性，是影响工程造价概算准确性的关键因素之一。因此，在工程造价管理过程中，必须密切关注政策法规的动态，以确保概算的精确性和可靠性。

（二）市场环境因素

市场环境因素，涉及材料价格的波动、劳动力市场的供需状况、利率的变动等多个层面。建筑材料的价格波动，常常受到国际市场动态、季节性因素、供需关系等多重不确定性的影响。同时，劳动力市场的波动直接关系到人工成本的变化，而利率的调整则对项目的融资成本产生重要影响。这些市场环境要素的变

动,无疑会对工程造价概算的精确度带来显著影响。因此,在进行工程造价概算时,必须充分考虑市场环境的不确定性,以适应这些变化,确保概算的准确性和项目经济评价的可靠性。

(三) 项目特点因素

项目特点因素涵盖了项目的规模、复杂度、地理位置、施工技术要求等多个维度。大型项目和复杂项目因其涉及众多变量和不确定性,使得概算工作更具挑战性^[2]。地理位置的差异直接影响到运输成本和施工环境的差异,而特定的施工技术要求可能会引入额外的成本因素。在工程造价概算过程中,这些项目特有的因素必须得到细致的分析和周到的考量,以确保概算结果的精确性和项目执行的可行性。

(四) 人员素质因素

人员素质因素主要涉及工程造价人员的专业知识水平、经验积累以及职业道德素养。具备专业知识和丰富经验的工程造价人员能够更为精准地预测项目成本,而经验不足或专业能力有限的人员可能会忽略某些关键要素,从而导致概算的偏差。此外,职业道德同样是一个不可忽视的重要方面,它关乎概算的公正性,防止因个人意图而造成的人为高估或低估现象。因此,在工程造价概算过程中,人员素质的高低直接关系到概算结果的准确性和可靠性。

(五) 技术水平因素

技术水平因素涵盖工程造价软件的应用熟练度、新技术与新材料的广泛运用等方面。运用尖端软件和工艺技术,能大幅提升工程造价概算的效率和精确性。然而,技术的误用或对新技术的理解不足,可能导致概算结果出现偏差^[3]。因此,在推进技术进步和提升技术能力的同时,必须重视技术的正确操作和深入掌握,以保障工程造价概算的准确性与可信度。

(六) 信息不对称因素

信息不对称问题主要表现为项目参与各方在信息获取上的不平衡。例如,承包商可能拥有更为详尽的施工成本信息,而业主对市场动态的掌握可能较为有限。这种信息的不平等可能导致工程造价概算的误差。因此,建立一个高效的信息共享与交流机制,对于提高概算的准确性具有极其重要的意义。

(七) 管理水平因素

管理水平因素涵盖了项目管理体系的完善程度、决策层的支持力度以及项目控制的多维能力。一个高效且具备专业素养的管理团队,能够更有效地控制项目成本,确保工程造价概算的精准度。而项目管理若缺乏秩序、流程不清晰,往往会引发概算的误差^[4]。因此,提升管理水平是确保工程造价概算准确性的关键策略。

二、工程造价概算准确性改进措施

在识别了影响工程造价概算准确性的诸多因素之后,如何采取措施以提高概算的准确性成为一个亟待解决的问题。

(一) 完善政策法规体系

为了提高工程造价概算的精确度,国家层面有必要对相关政

策法规进行细化和完善。这包括但不限于制定一套详尽且科学的工程造价管理规定,明确概算编制的标准、流程和要求,以及加强对违规行为的监管和惩处力度。政府应当保持政策的动态更新,以适应不断变化的市场环境,保障工程造价概算的合法性和权威性。此外,国家还应推动行业标准的统一,促进信息共享,提高概算数据的透明度^[5]。通过建立和完善工程造价信息数据库,为概算编制提供准确、实时的数据支持。同时,政府应当鼓励和引导行业内的技术创新,推广先进的管理方法和工具,提升工程造价专业人员的技术水平和职业素养。

(二) 加强市场环境监测与预测

企业应当构建并持续优化一套高效的市场监测体系,致力于搜集和深入分析市场数据,以便准确预测材料价格、人工成本等关键成本要素的未来走势。通过这一体系,企业能够及时捕捉市场动态,为工程造价概算提供可靠的前瞻性信息。此外,企业还可以充分利用第三方专业机构的专业分析能力,对这些市场数据进行深入挖掘,以获得更为精准的市场趋势预测。通过与专业机构的合作,企业能够更全面、更深入地理解市场状况,从而为工程造价概算提供更为坚实的数据基础。

(三) 提高项目前期策划与设计质量

为了提升项目前期策划与设计的质量,关键在于深化项目可行性研究的深度与广度,确保所选项目方案既合理又具备经济效益。在项目策划阶段,应当全面评估项目的市场需求、技术路线、财务状况以及潜在风险,从而为项目的顺利推进奠定坚实基础。在设计阶段,设计师和规划者需充分考虑施工的实际可行性以及成本的有效控制,力求设计方案的实用性和技术经济性^[6]。细致入微的设计管理能够有效减少后续施工阶段的设计变更,从而避免由此产生的额外费用和工期延误。

通过精细化策划和设计优化,不仅可以提升项目前期的决策质量,还能显著提高工程造价概算的精确度。这要求设计团队在方案构思之初就紧密结合成本概算,采用价值工程等方法,对设计方案进行多轮评审和优化。此外,跨专业协同工作也是提高设计质量的关键,确保各专业意见得到充分交流和整合,以形成最佳设计方案。

(四) 提升人员素质与专业技能

企业致力于提升工程造价管理能力,需加强对从业人员的培训工作,具体措施如下:强化专业培养,定期举办知识更新与技能提升研讨会,确保从业人员掌握最新的行业动态和技术。培训内容应全面覆盖工程造价的各个环节,如成本控制和风险评估,以提升专业技能。鼓励从业人员获取专业资质认证,这不仅是对个人能力的肯定,也是提升团队整体专业水平的关键。资质认证有助于确保团队成员具备行业认可的知识和技能,增强市场竞争力。重视职业道德教育,通过培训提高从业人员的职业素养,确保在工作中坚持公正和诚信,这对于保护企业声誉和客户信任至关重要。

(五) 推广先进技术与方法

企业在工程造价管理方面,应当主动拥抱技术进步,积极引入和应用尖端的工程造价管理软件。这些软件能够大幅提升概算

编制的速度和精确度，使得概算工作更加高效。通过这些软件，从业人员可以快速处理大量数据，减少人为错误，确保概算的准确性^[7]。此外，企业应当推广使用大数据分析技术，这些技术能够对历史数据进行深入挖掘和分析，为工程造价提供科学的预测和决策支持。在此基础上，BIM（建筑信息模型）技术的应用显得尤为重要。BIM 技术通过创建三维模型，可以在项目设计阶段就对建筑的结构、材料、成本等进行仿真分析。

（六）建立信息共享平台

为提高工程造价的精准性与效率，企业需构建一个信息共享平台，旨在促进项目各方信息流通，减轻信息不对称带来的概算误差。该平台实时更新市场价格，如材料、人力和设备成本，确保造价人员获得最新数据，并及时发布法规变动，助力概算策略调整。平台还提供法规解读，帮助理解政策对成本的影响，并通过典型案例分析，提升概算的准确性^[8]。同时，提供市场动态和技术趋势等综合信息，设立交流区促进合作，解决实际问题。这一平台的建立将有效提升信息利用效率，降低概算误差，增强工程造价管理的专业性和效能。

（七）提高工程造价管理水平

为在工程造价领域保持竞争力，企业必须构建一个全面的工程造价管理体系，该体系应包括标准化流程的制定，确保从项目启动到竣工结算的每个阶段都有明确的操作指南和标准；完善内部控制机制，以有效监督和审核工程造价的各个环节；加强项目成本监控，通过实时跟踪和分析成本数据，及时纠正偏差；以及采纳 ISO9001 等国际质量管理标准，将质量管理融入工程造价管理的全过程。这些措施将确保工程造价概算的精细化管理，提高概算准确性，减少成本浪费，提升项目经济效益，并在遵循国际标准的同时，提升企业形象，增强客户信任度和满意度。

三、工程造价概算准确性改进实践探讨

理论的分析与案例的启示为我们提供了改进工程造价概算准确性的方向，但真正的挑战在于将这些理论应用于实践。以下章节将从企业、行业和政府三个层面，探讨具体的实践措施，以期在实践中不断提升工程造价概算的准确性。

（一）企业层面实践措施

在企业层面，为了提升工程造价概算的准确性，实践措施涵

盖了建立和完善内部培训体系以提升员工的专业知识和技能，确保概算工作的专业性和准确性；采用先进的工程造价管理软件，提高数据处理和分析能力，减少人为误差^[9]；强化项目成本控制意识，通过制定严格的成本管理制度，确保概算与实际成本的匹配度；以及增强与供应商和合作伙伴的沟通，建立稳定的合作关系，共同应对市场变化。这些措施共同作用，旨在通过提升员工能力、优化工具使用、加强成本控制和增进外部协作，全面提升工程造价概算的精确度和企业项目管理水平。

（二）行业层面实践措施

在行业层面，为了提升工程造价概算的准确性，实践措施涉及制定行业标准和规范，为工程造价概算提供统一的指导和参考；促进业内信息交流，通过研讨会、论坛等平台分享成功的概算管理经验和做法；推动行业内的技术革新，鼓励企业采纳新技术、新方法以提高概算的精确度；以及建立行业自律机制，规范市场竞争秩序，减少不正当竞争对概算准确性的负面影响^[10]。这些措施共同推动了整个行业概算准确性的提升，促进了工程造价行业的健康发展。

（三）政府层面实践措施

在政府层面，提升工程造价概算准确性的实践措施主要涵盖完善相关法律法规，确保工程造价概算有明确的法律依据和保障；加强对建筑市场的监管，打击价格垄断、虚假报价等违法行为，以维护市场秩序；推动公共数据开放，建立工程造价数据库，为概算提供准确的数据支持；以及鼓励和支持企业进行技术创新和管理创新，提高整个行业的技术和管理水平。

四、结束语

总之，工程造价概算准确性的提升是一个系统工程，需要企业、行业和政府三个层面的共同努力和协同推进。通过完善政策法规、加强市场监测、提高人员素质、推广先进技术、建立信息共享平台和提高管理水平等措施，我们有望不断优化工程造价概算的准确性，为建筑行业的持续健康发展提供有力支撑。在此，我们期待各方能够积极响应，共同为提高工程造价概算的准确性贡献力量，共创建筑行业美好的未来。

参考文献

- [1] 徐超玲. 工程投资概算对工程造价的影响 [J]. 四川建材, 2023, 49(11): 220-221+224.
- [2] 崔东. 市政工程造价超概算原因分析与控制策略 [J]. 建设监理, 2023, (12): 47-49.DOI: 10.15968/j.cnki.jsjl.2023.12.001.
- [3] 叶辉森. 建筑工程造价超概算的原因与控制措施浅析 [J]. 四川水泥, 2023, (10): 41-43.
- [4] 高菲菲. 公路工程造价超概算的原因与控制分析 [J]. 工程建设与设计, 2023, (17): 242-244.DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2023.09.073.
- [5] 郭亮, 刘毅博. 准确编制工程概算及有效控制工程造价的方法探究 [J]. 建筑与预算, 2023, (06): 10-12.DOI: 10.13993/j.cnki.jzyys.2023.06.004.
- [6] 骆然, 乔曙, 王禹超, 等. 浅谈硬梁包水电工程概算执行情况分析与造价管控 [J]. 四川水力发电, 2023, 42(01): 52-56+88.
- [7] 李艳宁. 水利工程造价超概算的原因与对策探究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2022, (36): 160-162.
- [8] 刘建. 影响铁路工程造价超概算的因素及有效管控措施 [J]. 四川建材, 2022, 48(08): 195-196+198.
- [9] 钟元玲. 公路工程造价超概算的原因与控制分析 [J]. 工程机械与维修, 2022, (03): 108-109.
- [10] 孙晓东. 建筑工程概算编制及工程造价管理的对策 [J]. 投资与合作, 2022, (03): 134-136.

钢渣沥青混凝土在近海环境下的生态评价体系构建

张之骋, 许添耀, 黄楠
台州学院, 浙江 台州 317700

摘 要 : 本文针对近海环境下沥青混凝土路面病害频发、寿命短的问题, 研究了钢渣沥青混凝土的生态化设计及其在近海公路中的应用。先分析了钢渣表面特征及钙基矿物的自转变行为, 揭示了钢渣表面孔隙对沥青的吸收以及活性矿物潜在的体积膨胀问题。随后, 基于钙基矿物的自转变行为, 提出了钢渣表面钙基矿物的定向修饰与性能缺陷调控方法, 有效解决了钢渣集料表面孔隙对沥青的吸收以及活性矿物潜在的体积膨胀问题。制备了改性钢渣沥青混凝土, 并对其在近海环境下的服役性能进行了研究, 结果表明, 改性钢渣沥青混凝土具有良好的耐久性, 适用于近海公路建设。最后, 构建了适用于钢渣沥青混凝土的生态评价体系, 并分析了其在近海环境下的综合生态表现, 结果表明, 改性钢渣沥青混凝土具有良好的生态效益, 是一种具有潜力的生态建筑材料。

关 键 词 : 钢渣沥青混凝土; 近海环境; 生态评价体系; 生命周期评价; 层次分析法

Construction of an Ecological Evaluation System for Steel Slag Asphalt Concrete in Offshore Environments

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

Abstract : This paper addresses the frequent occurrence of diseases and short lifespan of asphalt concrete pavement in offshore environments by studying the ecological design of steel slag asphalt concrete and its application in offshore highways. Firstly, the surface characteristics of steel slag and the self-transformation behavior of calcium-based minerals were analyzed, revealing the absorption of asphalt by steel slag surface pores and the potential volume expansion of reactive minerals. Subsequently, based on the self-transformation behavior of calcium-based minerals, a method for targeted modification and performance defect regulation of calcium-based minerals on the steel slag surface was proposed, effectively solving the problems of asphalt absorption by steel slag aggregate surface pores and potential volume expansion of reactive minerals. Modified steel slag asphalt concrete was prepared, and its service performance in the offshore environment was studied. The results showed that the modified steel slag asphalt concrete has good durability and is suitable for offshore highway construction. Finally, an ecological evaluation system suitable for steel slag asphalt concrete was constructed, and its comprehensive ecological performance in the offshore environment was analyzed. The results indicated that the modified steel slag asphalt concrete has good ecological benefits and is a potential ecological building material.

Keywords : steel slag asphalt concrete; offshore environment; ecological evaluation system; life cycle assessment; analytic hierarchy process

引言

钢铁工业的快速发展带来了巨大的经济效益, 但也伴随着钢渣排放量的大幅增加。如何有效处理和利用钢渣, 实现资源化再利用, 成为亟待解决的问题。沥青混凝土作为重要的道路建筑材料, 在近海公路建设中发挥着重要作用。然而, 近海环境的特殊性, 如海水侵蚀、盐雾腐蚀等, 会对沥青混凝土的性能产生不利影响, 导致路面病害频发, 影响道路使用寿命和行车安全。

钢渣集料由于其独特的颗粒表面特征和优异的粘结性能, 被认为是一种具有潜力的替代传统集料的材料。然而, 钢渣集料表面孔隙对沥青的吸收以及活性矿物潜在的体积膨胀问题, 限制了其在近海公路中的应用。近年来, 随着可持续发展和生态文明建设的不断推进, 生态建筑材料和生态道路建设逐渐成为研究热点。生态评价体系作为一种综合评估材料或工程项目对环境、资源、社会等方面影响的工具, 在建筑材料领域得到了广泛应用。构建适用于钢渣沥青混凝土的生态评价体系, 量化其在近海环境下的综合生态表现, 为钢渣沥青混凝土在近海公路中的应用提供科学依据, 具有重要的理论和现实意义。

一、钢渣表面特征及钙基矿物的自转变行为

（一）钢渣表面特征分析

利用扫描电镜、能谱分析等技术手段，对钢渣表面的元素组成进行定量分析，揭示不同元素在钢渣表面的分布规律，并建立叠加区域与矿物相种类的对对应关系。

通过 X 射线衍射、电子探针等手段，分析钢渣表面的矿物组成，确定硅酸盐矿物、体积活性矿物、孔隙的位置分布，以及彼此可能存在的内在关联性。

利用氮气吸附-脱附等实验方法，分析钢渣表面孔隙的形态、大小和分布，并提出全孔（微孔、介孔、大孔）孔径分布的表征方法。

研究发现，钢渣是一种密度大、吸水率大、压碎值小、黏附性良好的集料；钢渣表面存在较多的粉体颗粒，孔隙分布丰富，大于 $1\mu\text{m}$ 的孔隙占比达到 65.24%；钢渣的棱角性高于石灰岩和玄武岩集料，表面纹理指标介于石灰岩和玄武岩之间，球度指标优于石灰岩和玄武岩集料^[1]。

（二）钙基矿物自转变行为研究

钢渣集料表面富含硅酸盐矿物，如硅酸三钙和硅酸二钙，这些矿物在自然环境中会自发地与水分和空气反应，最终转变为碳酸钙 (CaCO_3)。这一动态过程受温度、湿度和空气流速等反应条件的影响，决定了 CaCO_3 的产物数量和尺寸。生成的 CaCO_3 能够有效地填充钢渣表面的孔隙，改善其微观形貌和物理性能，进而降低其对沥青的吸收，提高沥青混凝土的耐久性^[2]。此外， CaCO_3 形成的致密产物层可以阻止水分进入钢渣内部，抑制低活性 f-MgO 等体积活性矿物进一步水化，消除其对钢渣体积稳定性的负面影响。通过精确控制反应条件，可以实现对钢渣集料表面性能缺陷的定向修饰，为制备高性能的钢渣沥青混凝土提供理论基础和技术支持。

二、钢渣表面钙基矿物的定向修饰与性能缺陷调控

（一）碳化反应条件对钢渣表面特征的影响

在碳化过程中，钢渣表面的孔隙特性经历显著变化。随着碳化时间的延长，孔隙率逐渐降低，这是由于 CaCO_3 晶体的形成与生长逐渐填充了孔隙，从而减少了孔隙体积。同时，孔隙形态也由原本的不规则形状向近似球形转变，这一变化是 CaCO_3 晶体生长对孔隙空间重塑的结果^[3]。此外，碳化时间的增加导致 CaCO_3 产物层的厚度增加，这不仅影响了钢渣与沥青的粘结性能，还可能对钢渣的体积稳定性产生重要影响。

在钢渣碳化过程中，温度是影响碳化速率的关键因素，温度越高，碳化速率越快，这是因为高温条件下可以加速 CaCO_3 晶体的生长。然而，温度同样会影响 CaCO_3 晶体的形貌，进而影响其填充孔隙的效果；例如，高温环境下可能导致 CaCO_3 晶体变得粗大，不利于微孔的填充。此外，温度对钢渣的体积稳定性也有显著影响，过高的温度可能导致 f-CaO、f-MgO 的快速水化反应，引起体积膨胀，从而影响钢渣的整体稳定性。

在钢渣的碳化反应中，湿度也是影响碳化速率的一个重要因素。湿度水平对碳化过程有着直接的影响，过高的湿度可能导致水分饱和，进而影响 CaCO_3 晶体的生长^[4]。同时，湿度也会作用于 CaCO_3 晶体的形貌，影响其填充孔隙的效果；例如，过湿的条件可能导致形成的 CaCO_3 晶体过于细小，不利于形成致密的保护层。此外，湿度对钢渣的体积稳定性也有显著作用，过湿的环境可能导致水分渗入钢渣内部，促进 f-CaO、f-MgO 的水化反应，从而影响钢渣的体积稳定性。

空气流速同样也会影响反应速率和产物的特性。较高的空气流速能够提供充足的氧气，从而加速碳化反应的进程。然而，空气流速也会对 CaCO_3 晶体的形貌产生影响，进而影响其填充孔隙的效果；例如，过高的空气流速可能导致形成的 CaCO_3 晶体过于细小，不利于形成致密的保护层。此外，空气流速对钢渣的体积稳定性也有一定的影响，因为过高的空气流速可能导致水分蒸发速度加快，进而影响钢渣内部的水化反应，最终影响其体积稳定性。

（二）钢渣表面孔隙的定向修饰机制

在钢渣碳化过程中， CaCO_3 晶体对孔隙的填充作用至关重要。晶体的生长速度必须适中，以确保能够有效填充不同尺度的孔隙；过快的生长速度会导致晶体变得粗大，不利于微孔的填充，而生长速度过慢则可能无法实现孔隙的有效填充^[5]。此外， CaCO_3 晶体的形貌对其填充孔隙的效果也有显著影响，细小晶体适合填充微孔，而较大晶体则更适合填充大孔。同时，晶体的堆积方式也是决定填充效果的关键因素，紧密堆积的晶体能够形成致密的填充层，从而有效封堵孔隙，而松散堆积的晶体则可能无法达到理想的封堵效果。

在钢渣碳化过程中，形成的 CaCO_3 产物层对于孔隙的封堵作用至关重要。产物层的厚度必须足够，以确保能够有效封堵孔隙，防止水分渗透进入钢渣内部。同时，产物层的致密性也是关键，只有形成了具有一定致密性的 CaCO_3 层，才能有效地阻隔水分。此外，产物层与钢渣的结合方式同样影响着封堵效果，通过化学键结合的产物层相较于仅通过物理堆积的产物层，能够提供更优越的封堵性能。

（三）钢渣性能缺陷调控方法

为提高钢渣碳化反应的效率，需精确调控反应时间、温度、湿度和空气流速等关键参数，以优化 CaCO_3 晶体的生长速度及其形貌，进而实现钢渣表面孔隙的有效填充与封堵^[6]。同时，通过调整 CaCO_3 产物层的厚度和致密性，可以有效阻隔水分渗透，减少 f-CaO、f-MgO 水化引起的体积膨胀。此外，选择适宜规格的钢渣集料可以减少表面孔隙数量，进而降低沥青吸收量。结合使用改性沥青，可以进一步提高沥青与钢渣的粘结性能，有效降低沥青的吸收量，从而全面提升钢渣在沥青混凝土中的应用性能。

三、改性钢渣沥青混凝土在近海环境下的服役性能

（一）改性钢渣沥青混凝土的制备

在钢渣集料的预处理过程中，首先通过筛选与清洗步骤，去

除集料中的杂质和不合格颗粒，同时清洗掉表面附着的粉尘，确保集料的洁净度。随后，根据前期研究所确定的优化碳化反应条件，对钢渣集料进行碳化改性，以引导钙基矿物定向生长，有效填充表面孔隙，并形成致密的碳化产物层。最后，对经过碳化处理的钢渣集料进行干燥，并采取适当的存储措施，以防止二次污染和确保碳化层的完整性不受破坏。

在改性钢渣沥青混凝土的配合比设计过程中，首先根据钢渣集料的粒径分布和性能特点进行集料级配设计，以确定粗细集料的比例，保障混合料骨架结构的稳定性^[7]。接着，考虑钢渣集料对沥青的吸收性，进行沥青用量的精确设计，以确保混合料在施工和实际路用中的性能。此外，根据具体性能需求选择适宜的外加剂，如抗剥落剂、抗车辙剂等，以进一步提升混合料的整体性能。

（二）改性钢渣沥青混凝土的耐久性研究

为综合评估改性钢渣沥青混凝土的性能表现，开展了系列试验研究。初始阶段，通过冻融循环试验和浸水马歇尔试验，对混合料在不同水分环境下的抗水损害能力及稳定性进行了评价，并分析了冻融作用次数与水浸泡条件对混合料性能的具体影响。随后，采用四点弯曲疲劳试验和动态模量试验，对混合料的抗疲劳特性及动态力学行为进行了深入探讨，考察了荷载循环次数、温度及荷载频率对疲劳寿命和力学性能的作用。进一步，通过低温弯曲试验和低温收缩试验，对混合料的低温抗裂性能及体积稳定性进行了评价。最终，借助浸泡试验和盐雾试验，对改性钢渣沥青混凝土在海水及盐雾环境中的耐侵蚀和抗腐蚀性能进行了评估，以探究这些环境因素对混合料长期性能的影响。

（三）改性钢渣沥青混凝土的生态效益分析

为全面评价改性钢渣沥青混凝土的环境影响及资源效率，实施了一系列系统化的分析和评估。首先，计算了其在生产及施工阶段的资源与能源消耗，以确定资源利用效率^[8]。接着，通过环境输出分析，对改性钢渣沥青混凝土在各个生命周期阶段的环境影响进行了评价，涵盖了废气、废水和固体废弃物的排放情况。最终，运用全生命周期评价方法，构建了针对钢渣沥青路面的生态评价体系，量化了经过调控的钢渣集料沥青路面在近海环境中的生态特性，以此作为工程决策的科学支撑。

四、钢渣沥青混凝土在近海环境下的生态评价体系构建

（一）生态评价体系指标选取

构建一个全面的生态评价体系对于钢渣沥青混凝土而言，需涵盖其整个生命周期，包括原材料的采集、生产、使用直至废弃阶段^[9]。该体系应综合考虑多个维度的指标，包括资源消耗指标（如原材料开采量、运输距离、水资源消耗等），能源消耗指标（如生产过程和运输过程中的能源消耗），环境影响指标（如温室气体排放、固体废弃物排放、水污染和土壤污染等），以及社会效益指标（如经济成本、社会成本和环境影响等），以实现对钢

渣沥青混凝土综合性能的全面评估。

（二）生态评价模型构建

在针对钢渣沥青混凝土进行生态评价时，可以采用层次分析法（AHP）和生命周期评价法（LCA）两种模型。层次分析法通过对评价指标进行层次化处理，并利用专家打分来确定各指标的权重，从而计算出综合生态效益得分；而生命周期评价法则全面考量钢渣沥青混凝土从原材料采集到废弃处理的整个生命周期，分析各阶段的资源消耗、能源消耗和环境影响，并对其进行量化，以评估其生态效益^[10]。这两种方法的结合使用，能够为钢渣沥青混凝土的生态评价提供科学、全面的分析和决策支持。

（三）生态评价体系应用

构建完成的生态评价体系可广泛应用于多个领域：为政府部门提供科学依据，以制定环保政策；为企业选择环保型建筑材料提供决策参考；指导企业改进产品设计和生产工艺，提升产品环保性能；同时，通过社会宣传，提高公众对钢渣沥青混凝土等环保型建筑材料的认识和接受度。

五、结束语

本研究为钢渣沥青混凝土在近海公路中的应用提供了坚实的理论依据，为推动钢渣资源化再利用和生态道路建设提供了参考和指导。然而，本研究在生态评价体系构建方面仍存在一些局限性，例如评价指标的选取和权重分配需要进一步细化和完善，生态评价模型的精度和适用性也需要进一步提升。

未来研究可以进一步完善生态评价体系，并将其应用于其他类型的生态建筑材料。为生态道路建设提供更加全面和系统的指导，推动我国道路工程向更加绿色、可持续发展的方向发展。

参考文献

- [1] 张保卫, 郑新, 朱富万, 等. 钢渣集料微观与宏观形貌特征试验分析 [J]. 现代交通技术, 2022, 19(06): 6-11.
- [2] 蒋方听, 代莉芳. 钢渣沥青混凝土路用性能研究及工程应用试验 [J]. 四川水泥, 2024, (09): 248-250. DOI: 10.20198/j.cnki.scsn.2024.09.081.
- [3] 韩健, 张亚军, 梁新春, 等. 钢渣陈化处理与钢渣沥青混凝土浸水稳定性研究 [J]. 新型建筑材料, 2024, 51(07): 127-132+143.
- [4] 赛奎雨. 钢渣沥青混凝土配合比设计与施工 [J]. 建筑机械, 2024, (05): 178-180. DOI: 10.14189/j.cnki.cm1981.2024.05.026.
- [5] 马爱佳, 李鄂豪, 胡健坤. 钢渣沥青混凝土在道路工程中的应用现状研究 [J]. 交通节能与环保, 2024, 20(02): 136-138.
- [6] 杨武, 宣强, 贾羽. 钢渣橡胶沥青混凝土在宁夏公路养护工程中的应用 [J]. 运输经理世界, 2024, (07): 107-109.
- [7] 天津公路持续开展钢渣沥青混凝土应用 [J]. 天津建设科技, 2023, 33(04): 30.
- [8] 李军. 沥青钢渣混凝土面层现场碾压工艺与路用性能分析——以 AC-25 型与 AC-16 型为例 [J]. 交通世界, 2023, (24): 72-74. DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2023.24.025.
- [9] 李晓刚, 郭永奇, 周洪军, 等. 钢渣沥青混凝土耐久性室内试验研究 [J]. 科学技术与工程, 2023, 23(12): 5267-5277.
- [10] 赵英. 钢渣在沥青混凝土中的应用研究 [J]. 四川水泥, 2023, (03): 1-3.

印刷厂厂房钢结构夹层改造施工质量控制措施研究

李庆

北京林业大学国家大学科技园, 北京 100083

摘 要： 随着我国社会经济的不断发展，对于建筑使用功能和定位也在不断调整。目前而言，部分印刷厂厂房由于城市发展需要和业态调整等，需要对其进行钢结构夹层改造，以满足更高的安全要求和使用需求。但是，由于厂房改造过程中涉及大量的安全技术控制内容，且改造工程实施过程中受到多种因素的影响，会使得施工质量产生波动，甚至出现安全隐患。鉴于此，本文首先阐述了印刷厂厂房钢结构夹层改造施工质量控制的重要性，并针对其控制管理中存在的一些问题，提出一些针对性的优化策略，期望能为未来的印刷厂厂房钢结构夹层的质量管控提供帮助。

关 键 词： 印刷厂；钢结构；夹层改造；质量控制

Study on Quality Control Measures for Steel Structure Sandwich Reconstruction in Printing Plant

Li Qing

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

Abstract： With the continuous development of China's social economy, the use function and positioning of buildings are also constantly adjusted. At present, due to the needs of urban development and business form adjustment, some printing plants need to transform the steel structure interlayer to meet higher safety requirements and use needs. However, due to the large number of safety technical control content involved in the process of plant renovation, and the implementation of the renovation project by the influence of various factors, the construction quality will fluctuate, and even safety risks. In view of this, this paper first expounds the importance of quality control of steel structure sandwich reconstruction in printing plant, and puts forward some problems in its control management, hoping to help the quality control of steel structure sandwich in the future.

Keywords： printing plant; steel structure; sandwich transformation; quality control

引言

在我国现代化工业的快速发展下，印刷厂厂房在各地都有比较大的建筑空间。随着城市发展需要和业态调整，老旧印刷厂厂房夹层改造工程越来越多地被运用到实际中来。钢结构作为一种新型建筑结构形式，以其本身特有的优势被广泛采用于厂房夹层改造项目当中。但由于受诸多因素影响，钢结构厂房夹层改造施工过程中仍存在着质量问题。

一、印刷厂厂房钢结构夹层改造施工质量控制的重要性

（一）加强作业安全性

随着我国经济的发展，对老旧厂房改造的要求也越来越高，为了能够适应当前厂房建设的新需求和新标准，就必须进行印刷厂厂房的加层或者是夹层改造。因为涉及老旧厂房作业，所以在施工过程当中对安全方面的控制尤为重要。这就需要加强工作人员的安全教育培训力度，同时制定完善的的安全管理制度，只有这样才能避免出现意外事故的发生。除此之外，还可以利用一些先进技术对施工现场的危险因素进行分析并采取相应措施进行规

避，从而确保施工作业的安全性。

（二）提升企业经济性

在实际的厂房改造过程中，如果遇到了恶劣天气或者是厂房出现了一些问题，会对改造工作造成很大的影响。因此，在进行印刷厂厂房夹层改造的时候，需要对夹层施工技术和施工质量进行有效控制，保证改造后的结构能够满足相关标准要求，这样才能让企业获得更好地经济效益。其次，很多企业都希望能够节约成本支出，但如果忽略了对印刷厂厂房钢结构夹层施工质量控制工作的重视，就可能导致企业浪费大量的资金。因此，为了提升经济效益，应该加强对印刷厂厂房钢结构夹层施工质量控制工作的重视^[1]。

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。

（三）符合法律要求

在我国,《中华人民共和国建筑法》与《建设工程质量管理条例》均对建筑工程的施工质量提出了明确要求。这两部法律法规都强调,在建筑施工过程中必须严格把控工程标准,确保每一个环节、每一道工序都能达到规定的质量水平,以此来为社会大众的生产和生活安全提供坚实保障。特别是对于印刷厂这样的易燃物品生产场所进行的钢结构夹层改造,更应采取更为严谨的措施。在进行此类改造工程时,施工方应当依据国家相关法律法规和行业标准来制定施工计划和操作流程。这不仅涉及结构设计的科学性和合理性,还包括对材料选择、施工工艺、安全防护等方面的严格把关。为了保障施工期间的安全性,需要投入充足的人力物力,以预防任何可能出现的风险因素^[2]。

（四）可持续发展性

由于在不断发展的过程中,我国经济得到了迅速的增长,城市功能区或者核心区内的印刷行业也势必需要调整和再利用,这就要求印刷厂企业要重视厂房建筑的安全性和实用性。作为现代厂房建筑来说,为了能够满足生产经营需要,就必须对其进行适当地改造和维修,而在此过程当中,钢结构技术的应用可以充分发挥出优势作用,通过使用这种方法来有效改善厂房结构的质量,不仅能够节省施工成本,同时还能提高工程建设效率,因此是非常值得推广和应用的一种新型结构体系^[3]。

二、印刷厂厂房钢结构夹层改造施工质量控制阻碍

（一）设计存在误差

由于印刷厂厂房原有的结构是在20世纪60年代所建造的,对于现在的使用场景而言,已经不能满足当前需求。因此,在进行夹层改造时,并不能完全按照设计图纸来施工。例如,原设计图纸中的桁架间距比较大、预制板荷载质量等情况,这些都会造成实际施工过程中与设计图纸不符,给施工质量带来影响。其次,由于在进行设计时,没有将建筑物原有结构进行全面考虑,导致设计人员在对厂房结构进行计算时存在误差,进而影响到整个建筑的安全性和稳定性。

（二）施工技术水平要求高

施工单位技术人员必须在设计图纸的基础上,结合现场实际情况进行施工图深化设计。对一些隐蔽工程要做好详图和细图,如基础、柱、梁、板等构件的结构布置、配筋计算书等。对于不同结构类型的房屋改造工程,采用不同的施工技术,如框架结构建筑夹层加柱与原有结构连接时,由于地基承载力有所提高,因此不能采用传统的施工工艺,否则会造成房屋改造后存在安全隐患。施工单位技术人员应熟悉钢结构相关规范标准,并了解国家有关建筑节能新政策,掌握国内外先进的施工工艺,做到科学合理施工^[4]。

（三）协调与沟通问题

由于钢结构夹层改造的工程项目需要协调很多部门,如设计单位、监理单位、施工单位以及业主等,在各个参与方之间要进行良好的沟通与协调。如果参与方之间不能达成一致意见,就会

导致各方面工作无法顺利开展,影响整个项目的进度,最终可能会造成工期延误。因此,在进行印刷厂厂房钢结构夹层改造施工时,应该将协调与沟通工作作为重点内容加以重视,加大管理力度,及时发现问题并解决问题,为项目的顺利实施奠定坚实基础^[5]。

（四）安全风险问题

钢结构工程施工中存在很多潜在的安全问题,比如不规范操作、未严格执行相关操作规程、对危险性较大的作业环节和部位重视不够等。此外,由于目前我国缺少完善的监管体系和相应的法律法规来进行有效的监督与管理,使得安全事故时有发生。因此,在实际施工过程中,需要通过建立健全相应的安全管理制度和采取必要措施,确保每一位参与工程施工的人员都能够严格按照施工要求进行操作,从而降低安全风险的发生概率^[6]。

三、印刷厂厂房钢结构夹层改造施工质量控制优化措施



> 图一: 钢结构夹层改造施工

（一）完善安全保护设施

在钢结构夹层改造施工中,要积极完善安全保护设施,从而保证施工安全。比如:采用专门的吊装设备来进行施工材料的运输工作,并且在车辆上安装有效的防滑链,这样可以避免出现意外情况;在对厂房进行夹层改造时,如果遇到了下雨天气,就需要做好防雨措施,防止雨水进入到结构内部,从而影响到施工质量;另外,还要配备一定数量的消防器材和相关的急救药品等。此外,还应该制定完善的安全管理制度,并将其落实到实际施工当中,这样才能有效地提高印刷厂厂房改造的质量^[7]。

（二）加强施工人员专业素养

为了保证印刷厂厂房钢结构夹层改造工程的质量,需要加强对施工人员的专业素养培训。首先,施工企业应对施工人员进行岗前培训,并安排老员工带领新员工,在其实际操作过程中给予指导和帮助,确保其能掌握各项施工技术要领。其次,要强化施工人员的安全教育意识,将安全生产理念深入每一个施工人员心中,从思想上增强施工人员的安全防护意识,促使其自觉遵守施工现场安全操作规范,从而降低安全事故发生率。最后,要加大

施工过程的管理监督力度，建立完善的奖惩制度，对于一些表现突出的施工人员给予适当奖励，反之则实施严厉处罚措施，从而激发施工人员工作热情^[8]。

（三）进行充分的施工规划与准备

在印刷厂厂房钢结构夹层改造施工过程中，施工单位应该对整体的施工方案进行科学的规划。在细致深入地研究项目的实际情况后，我们依据厂房的具体结构特征和施工技术规范等多重因素，精心策划了一套详尽的施工规划。这份规划不仅仅是对未来施工的蓝图描绘，它更是一份责任和承诺，为即将到来的施工工作提供坚实而全面的基础。为了确保施工规划的顺利实施，施工现场必须得到严格的管理。这意味着要有一支高效的团队来负责现场的监督与管理，他们需要对施工过程中的每一个环节都了如指掌，并能迅速做出响应，确保施工进度合理性和连续性^[9]。

（四）加大材料质量把控力度

印刷厂厂房钢结构夹层改造施工过程中，对材料质量进行控制非常重要。施工人员应从材料采购、验收、使用等环节严格把控，确保工程顺利开展。具体来说：首先，要做好原材料的进场检验工作，查看原材料合格证、产品合格证书等是否符合国家相关标准要求；其次，要在施工现场设立专职材料验收员，对每批

材料都要认真核验，保证材料使用合格；最后，针对焊接材料，还要制定合理的焊接工艺标准，并督促焊工按照标准操作，提高焊接质量。总之，只有严把材料质量关卡，才能确保印刷厂厂房钢结构夹层改造施工质量得到保障^[10]。

四、结语

在当前的施工质量控制当中，我们强调了与设计单位及业主之间的紧密沟通与协作的重要性，确保各方对工程目标和要求有共同理解，从而避免后续可能出现的误解和冲突。同时，我们指出了严格遵守工程建设强制性标准的必要性，这是保证工程质量和安全的基础。此外，建立健全的质量保证体系是确保项目成功的关键，而重视工序管理则是提高效率 and 降低成本的重要手段。在钢结构厂房夹层的特殊情况下，虽然我们已经采取了一系列措施来应对挑战，但仍然存在一些特殊问题，如结构稳定性、材料性能等，需要通过进一步的研究和实践来逐一解决。因此，我们将持续跟踪这些问题的进展，并及时调整和优化策略，以确保整个工程能够顺利进行，达到预期目标。

参考文献

[1] 刘晶. 浅谈建筑工程施工技术质量控制措施 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024, (17): 52-54.

[2] 李文君. 建筑工程管理及施工质量控制措施探讨 [J]. 广东建材, 2024, 40(06): 141-144.

[3] 王传德. 金刚砂地坪一体成型施工监理质量控制措施研究 [J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(05): 181-183.

[4] 王保山, 涂云. 基于风力发电施工过程中的质量控制重难点及控制措施浅析 [J]. 农业与技术, 2024, 44(10): 177-180.

[5] 曾亭翼. 探究土木工程管理施工过程质量控制措施 [J]. 产品可靠性报告, 2024, (05): 46-47.

[6] 张楠, 龚倩. 铸铁闸门更换施工方法及控制措施 [J]. 治淮, 2024, (05): 54-55.

[7] 张茅, 秦成龙, 廖威, 等. 钢结构厂房施工与安装质量控制措施分析 [C] // 《施工技术 (中英文)》杂志社, 亚太建设科技信息研究院有限公司. 2023年全国工程建设行业施工技术交流会论文集 (下册). 中国建筑第二工程局有限公司; 中建二局 (四川) 建设发展有限公司, 2023: 3.

[8] 林波阳. 厂房工程电气施工质量控制措施 [J]. 江苏建材, 2022, (04): 156-158.

[9] 郭乐. 钢结构厂房施工技术及其质量控制措施 [C] // 上海筱虞文化传播有限公司, 中国智慧工程研究会智能学习与创新研究工作委员会. Proceedings of 2022 Shanghai Forum on Engineering Technology and New Materials (ETM2022) (VOL.2). 陕西建工第八建设集团有限公司, 2022: 2.

[10] 林毅. 钢结构厂房施工技术及其质量控制要点研究 [J]. 居舍, 2022, (10): 79-80+165.

人工智能在智慧工厂建设研究

况翀

深圳市威富视界有限公司, 广东 深圳 518000

摘 要 : 随着5G技术、大数据技术、云计算等技术不断进步,促使人工智能应用效果和范围也在不断提升,尤其是以深度神经网络为基础的智能化技术应用,突破了以往科学与应用的限制,大幅度提升了语音识别、图像分类等领域应用效果。基于此,本文从人工智能技术入手,分析了人工智能应用下智慧工厂建设的原则与优势,并对人工智能在智慧工厂应用场景进行探究,以期提升智慧工厂建设人工智能技术应用成效。

关 键 词 : 人工智能; 智慧工厂; 应用场景

Research on Artificial Intelligence in the Construction of Smart Factories

Kuang Chong

Shenzhen Weifu Vision Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract : With the continuous advancement of 5G technology, big data technology, cloud computing and other technologies, the application effect and scope of artificial intelligence are also constantly improving, especially the intelligent technology application based on deep neural networks, which breaks through the limitations of science and application in the past and greatly improves the application effect in fields such as speech recognition and image classification. Based on this, this article starts with artificial intelligence technology, analyzes the principles and advantages of smart factory construction under the application of artificial intelligence, and explores the application scenarios of artificial intelligence in smart factories, in order to improve the effectiveness of artificial intelligence technology application in smart factory construction.

Keywords : artificial intelligence; smart factory; application scenarios

引言

在人工智能技术不断进步的背景下,推进了智慧工厂发展进度。《“十四五”智能制造发展规划》对此提出了明确指标,基于5G技术为制造业实现智能化和绿色制造发展指明方向,促进制造业不断更新自身生产模式,朝着高端化、智能化方向发展。现阶段,我国石化、钢铁、制造业等积极落实和执行国家指导构建智慧化生产工厂,加大人工智能技术应用效果,为制造业工厂转型升级提供技术支持,为推进企业可持续发展奠定基础。

一、人工智能技术简述

人工智能作为一项综合技术,涉及统计学、控制论、数学理论、信息论等多个方面,在此理论上,利用软件系统、计算机等硬件设备来模拟人类行为,实现自动化、智能化控制目标,具有感知、理解、行动等自动化控制行为。人工智能技术实现在于集中多项关键技术,比如计算机视觉、自然语言处理、机器学习、语音识别等核心技术,其中机器学习至关重要,是在数据训练技术的基础上形成模型,基于此,实现智能化模型预测,为机器提供学习能力,以便于实现机械行为的目的。人工智能技术具有强大的处理功能,利用中心云人工智能+边缘云人工智能相结

合的方法来实现,中心云AI的实现是借助网络对数据进行采集,并且上传至云端处理,实现海量数据采集和存储的目的,为优化和升级模型训练提供基础保障。对于边缘云AI技术应用,是将人工智能功能下沉到用户边缘云平台中,根据预先设定的方式进行处理,以此提升边缘云AI数据采集的实时性,并加强数据处理效果,比如,图片及视频转码、数据压缩等,在增强数据传输效果的同时,节省传输带宽流量。另外,人工智能技术可以将多个边缘云AI采集数据同时上传控制中心,并对各自模型进行训练,实现迭代优化应用功能,同时也有利于关联不同的场景数据,利用人工智能技术和大数据技术将其转化成可利用的数据,为工厂生产提供基础支持,推进智慧工厂建设进程。

作者简介:况翀(1971.09—),男,汉族,四川省达州市,工程师,硕士研究生,研究方向:弱电智能化。

二、智慧工厂建设的原则与优势

（一）智慧工厂建设的原则

智慧工厂对于生产企业发展起到至关重要的作用，以利于提升工厂生产质量和效率，实际建设中还需要遵循以下几方面原则。^[1]（1）数字化原则。对工厂资产管理而言，智慧工厂应围绕“智慧”积极引进数字化转型，以便于提升对资源管理的全面性，这也是智慧工厂建设的基石，数字化建设有利于企业把握资产的使用周期，利用数字化技术对产品开发、测试、验证、维护等工作进行识别、管控，以便于更好地应对外部供应链变化、客户需求改变等影响因素。^[1]（2）网络化应用原则。基于数字化建设，还需要一定的网络技术提供支持，立足于5G网络系统设置数控设备网络、计算机网络、生产物联网、物流网络等，在为数字化技术运行提供网络支持的基础上，促进资产数据流动，促使实际生产与网络世界有效融合。^[2]（3）智能化的原则。智慧工厂最为重要的是智能化技术，在生产中应用人工智能技术有利于提升企业感知外部影响因素，包括整个制造系统各个阶段的设备监测体系，在人工智能技术帮助下，可以实现自动化监控、智能化管理的目标，同时，有利于企业对生产数据进行分析和计算，通过相关技术进行比较、判断，提升决策控制和执行的效果。

（二）智慧工厂建设的优势

智慧工厂建设对于企业生产质量和效率和资产、成本管理以及发展具有较大的优势，首先，有助于提升资产管理效率。工厂实际发展中，各个阶段都会产生一定数据，在智慧工厂建设的背景下，可以利用人工智能技术实现数据持续分析目标，通过分析纠正资产应用的偏差。^[3]自动化生产技术在没有人员干预下，能够实现持续工作，在人工智能技术的应用下，可以根据实际情况调整机械设备工作时间和生产流程，保证机械设备处于最佳状态。

其次，确保生产质量。智慧工厂具有一定的自我优化功能，能够对生产情况进行预测，针对生产质量缺陷进行事前评估、事中控制，并且可以针对性地识别人为、机器、周围环境的影响因素，以便于进行针对性控制，提升生产质量。同时，智慧工厂设置电子看板，能够对生产环境进行动态监管，针对操作人员进行远程指导，提升安全生产效果。

再者，有利于降低成本。从理论角度分析，智慧工厂多利于科技控制智能设备进行生产，在降低人力资源成本投入的基础上，也可以对机械设备进行动态监控，减少设备出现故障的概率，这样也可以降低维修和采购新设备的成本。通过更好预测库存需求、调配人力资源方式实现生产流程优化，以更高质量生产流程降低生产成本。

最后，有利于提升生产安全性，促进企业可持续。智慧工厂建设可以促使生产流程自动化进行，降低人为失误概率，包括机械生产伤害、人为错误操作等问题。^[4]充分利用物联网技术能够促使各类生产设备的信息互通，工作人员可以及时获取生产设备、物料等数据，实现全过程、多角度、动态化监控。在庞大数据库支撑下，智慧工厂能够更好地实现数据分析功能，挖掘出更多有价值的信息，基于此实现节能降耗的生产目标。

三、人工智能在智慧工厂应用场景

智慧工厂是当下工厂转型和升级的必然发展趋势，引进人工智能有利于工厂转变成数字化工业方向，作为智慧工厂的基础应用技术，在与传统制造技术融合的背景下，正在逐渐改变传统生产模式，致力于智慧工厂改进和发展，为推动产业升级提供技术支持。人工智能技术可以应用到多个场所中，比如，智慧门岗、车间管理、流水线管理等。

（一）智慧门岗场景中的应用

传统安检通道存在着诸多不利的影响，比如，通行人员多及其个人物品种类较多、安检效率低；安保人员需要监管投、抛、递、尾随等违规行为，其工作量大，安保人员多，易出现遗漏问题。现阶段，对于门岗工作而言，实现了智慧门岗理念，充分引进人工智能技术，汇集了人脸身份识别、测温、AI视觉识别、金属探测、物品称重、设备二维码识别等功能，有效解决上述问题。其功能实现主要利用人工智能技术进行测试，当人靠近闸机A时，进行人脸识别、体温监测，之后通过手机/Token二维码识别以及物品称重等，利用AI视觉检测无尾随、无违规等行为，验证无误以后闸机A方可放行，反之，则不能通过闸机A。而闸机B主要是配合A闸机、二维码识别、电子门、重量监测等工作，结合设备反馈工作设计通行条件，进而决定是否通过。对于电子门来说，应具备金属物品检查功能以及报警功能，并通知B闸机限制通行，利用AI视觉识别的方式，检测投掷、传递、举手、攀越、尾随、逗留等方式加以检测，以便于提高门岗安全性，提高了通行效率，并且可以很好地对违规行为为监测，在减少安保人员的基础上，降低人力成本。^[5]

（二）流水线生产管理场景中的应用

在流水线生产中，人工智能技术应用通常应用在物体分拣以及物件分拣方面，不仅可以减少人力工作量以及人力成本投入，也有利于提升流水线生产效率。在实际生产中，人工智能技术在产品缺陷检测工作中应用原理是利用深度学习技术，对产品的规格、内部质量等进行检测，实现更小、更复杂的产品检测手段。^[6]充分利用3D显微镜等技术实现缺陷毫秒级检测的目标，以便于更好地实现质量检测工作效率，弥补以往检测方式的弊端，提高缺陷检测的定位精准度。另外，人工智能深度学习技术在不规则物体排序的应用下，可以实现复杂物体模型构建，能够提升智能化自主学习、提升排序效果，以便于更好地进行自主学习模式，大幅度提升物体排序效率，利用3D视觉相机以及智能化机器人完成材料、形状等自动识别工作，明确产品检测的重点。另外，在人工智能技术AGV小车的支持下，可以实现3D环境感知检测功能，通过AGV小车技术，可以在夜间、室外场景进行检测，以此实现仓储和生产线的自动物料输送效果，进而提升工厂运行效果。

（三）生产车间管理场景的应用

在工厂生产管理中，还需要对生产车间生产状态进行管理，以此起到规范工作流程以及工人行为的作用，有利于识别安全隐患。工厂生产车间管理工作可以利用人工智能技术，通过摄像头

捕捉形式对生产人员线上操作行为进行监督,借助人工智能技术对此进行深入分析,进而更好地判断工人生产达标效果,进而保证工厂产品质量。^[7]生产车间管理工作中,人工智能和摄像头结合的方式来判断工人的行为,对于一些不确定性因素及时给予提醒,比如,蒙牛乳业包头有限公司智能视频 AI 系统,通过智能视频 AI 安全识别系统建设,可以实时检测重点管控区域和重大危险源场所的人员和车辆的违规情况,实现智能识别和自动预警,助力于工作人员解决实际问题,降低安全事故发生概率,保证生产产品的安全性。^[8]

另外,人工智能的应用对于企业而言,有利于优化生产流程,人工智能能够及时对生产工艺参数以及生产设备运行数据进行分析、整合,实现自动化对比,进而筛选出最佳的生产参数,以便于更好地提升生产工作效率,在提升生产质量的同时减少能源消耗。^[9]在生产资源调度和管理工作中,人工智能技术应用可以利用专家系统设置调度指令,对于资源进行动态化管理,实现自动化调度、管控目的,以便于高效地完成库存管理、生产制造等任务。

(四) 管理决策工作人工智能的应用

人工智能在智慧工厂应用中,对于供应链风险管理工作来说,企业还需要收集整个供应链各个环节的数据,结合市场发展趋势收集外部数据,比如产品销售数据,产品数据、物流数据等,通过人工智能技术对其进行统计,结合知识图谱技术将这些数据形成供应链图谱,进一步提升供应链风险的管理和预测效果。在资产风险管理工作中,人工智能技术可以对供应商以及合伙人的业务关系、竞争实力进行分析,并形成融资风险识别图谱,根据图谱判断各种复杂关系信息,以便于提升金融风险预测和控制效果,最大限度避免出现经济损失。比如,贵州花溪银行智慧感知 AI 识别安全管理系统,利用智慧感知平台基于神经网络的深度学习和生物识别技术(人脸识别、行为识别),利用机

器替代人分析视频中的人、物、事,实现“机器看监控,人看报表”,统筹管理数据,构建主动安防系统,做到“事前预警、事中报警、事后追踪”另外,利用知识图谱技术根据实际情况结合其他数据对工厂资金加以管理,为企业内部发展决策提供有效的数据支持。

(五) 人工智能在资产预测方面的应用

在智慧工厂应用中,人工智能技术有利于企业进行对生产设备进行预测性维护,针对智能化设备的运行状态进行监控,借助传感器技术采集设备数据,比如,设备运行压力、数据、振动、温度等运行数据,利用智能化分析数据对设备故障点进行预测,以此为维修工作提供便捷以及针对性建议,促使技术人员更好地对数据进行处理,以便于实现风险预防的目的。预测性维护技术应用下,能够有效提升计划外故障检测效果,保证设备运行状态,进而保证生产连续性,以便于提高生产量。^[10]并且,可以降低设备维护频率,减少成本。对此,也有利于减少设备零件更换质量,提升设备使用年限,为企业提高经济效益提供技术保障。部分生产工厂在使用传感器设备的同时,引进了机器学习算法,针对机械设备以外的数据设计了数据分析模型,对设备维护日志、天气数据等数据进行分析,切实提升生产设备的运行质量,降低故障发生概率。

四、结论

综上所述,人工智能技术已经在多个领域中得到广泛的应用,为企业建立智慧门岗、优化流水线生产管理、提升管理决策的准确性提供智能化助力,并为企业转型和升级提供支持,实现智慧工厂建设目的。智慧工厂建设有助于提升资产管理效率,确保生产质量,降低成本,提升生产安全性,在改进工厂生产功能的同时,助力于企业创造更多价值,进而促进企业可持续。

参考文献

- [1] 王磊. 基于智慧工厂信息化平台的数据分析方法探讨[J]. 工程技术研究, 2024, 6(18): 172-174.
- [2] 杜文. 智慧电厂的智能寻优系统与工况判别技术分析[J]. 智能物联技术, 2024, 56(4): 36-39.
- [3] 张俊哲, 王骏哲, 许亮, 等. 5G 时代下智慧实训工厂建设的创新探究[J]. 电脑知识与技术, 2023, 19(9): 112-114.
- [4] 丁悦晨, 肖博文. 用于智慧电厂建设的大数据一体化平台[J]. 消费电子, 2021(11): 71, 81.
- [5] 陈海燕. 智慧工厂中基于5G 物联网技术的智能监控与维护系统研究[J]. 数字化用户, 2023(41): 113-114.
- [6] 尚文静. 智慧电厂建设管理平台的设计与思考[J]. 中国新通信, 2022, 24(13): 28-30.
- [7] 莫异周, 陈双权, 邓大亮. 基于工业互联网的智慧能源监控平台[J]. 水电站机电技术, 2023, 46(6): 96-99.
- [8] 石彦鹏, 潘作为. 基于人工智能和 UWB 定位的反违章综合安全管控[J]. 黑龙江电力, 2022, 44(5): 388-394.
- [9] 刘岳. 试论现代媒介融合背景下的新闻传播[J]. 记者观察, 2023, (08): 145-147.
- [10] 汪大千. 基于智慧工厂的语音交互设计研究[J]. 艺术与设计(理论), 2021, 2(10): 83-85.

电力系统短路电流限制技术研究与应用

李高善

广西北泰送变电工程集团有限公司, 广西 柳州 545000

摘 要： 本文针对电力系统短路电流限制技术进行了系统研究。本文先分析了短路电流对电力系统的危害，阐述了短路电流限制的基本原则。在此基础上，对短路电流限制技术进行了分类，包括一次设备限制措施、二次设备限制措施以及运行方式调整措施。同时，对短路电流限制技术的关键参数进行了深入分析，包括短路电流计算方法、限制设备参数优化以及短路电流限制效果的评估。进一步地，本文探讨了短路电流限制技术在电网规划与运行中的应用。在电网规划方面，提出了基于短路电流限制的电网规划原则及实施步骤。在电网运行方面，研究了电网运行方式的优化、短路电流限制设备的配置与调整以及短路电流监测与预警系统的构建。

关 键 词： 电力系统；短路电流；限制技术；理论研究；应用研究

Research and Application of Short-Circuit Current Limiting Technology in Power Systems

Li Gaoshan

Guangxi Zhaotai Power Transmission and Transformation Engineering Group Co., Ltd. Liuzhou, Guangxi 545000

Abstract： This paper systematically studies the short-circuit current limiting technology in power systems. Firstly, it analyzes the hazards of short-circuit current to the power system and elaborates on the basic principles of short-circuit current limitation. On this basis, the short-circuit current limiting technology is classified, including primary equipment limiting measures, secondary equipment limiting measures, and operational mode adjustment measures. Simultaneously, an in-depth analysis of the key parameters of the short-circuit current limiting technology is conducted, including short-circuit current calculation methods, optimization of limiting equipment parameters, and evaluation of the effectiveness of short-circuit current limitation. Furthermore, this paper explores the application of short-circuit current limiting technology in power grid planning and operation. In terms of power grid planning, it proposes principles and implementation steps based on short-circuit current limitation. Regarding power grid operation, it investigates the optimization of power grid operation modes, the configuration and adjustment of short-circuit current limiting equipment, and the construction of a short-circuit current monitoring and warning system.

Keywords： power system; short-circuit current; limiting technology; theoretical research; applied research

引言

随着我国经济的快速发展，电力系统规模不断扩大，电网结构日益复杂。在此背景下，短路电流问题日益严重，对电力系统的安全稳定运行造成了极大威胁。短路电流限制技术作为保障电力系统安全运行的重要手段，已成为业内研究的热点。本文针对电力系统短路电流限制技术进行研究，分析其理论基础，探讨在电网规划与运行中的应用，以期为我国电力系统安全稳定运行提供理论支持和技术指导。

一、电力系统短路电流限制技术理论研究

在电力系统的运行与发展中，短路电流的限制技术扮演着至关重要的角色。为了深入理解这一技术的重要性，本章先探讨了短路电流的危害及其限制原则，随后对短路电流限制技术进行了详细的分类，并分析了关键参数，以期为后续的应用研究提供坚

实的理论基础。

（一）短路电流的危害及限制原则

在电力系统中发生短路故障时，短路电流要比额定电流大几倍至几十倍，通常可达数千安，在大容量系统中可达几万甚至几十万安，这将会对电力系统的正常运行造成严重影响及后果^[1]。短路电流的危害主要体现在两方面：一是引发电网设备过热，进而

损害绝缘材料并缩短设备的使用寿命。在短路发生时，电流可急剧上升至正常工作电流的数倍至数十倍，释放出大量热量，导致设备承受极高的热应力，最终造成设备损坏。二是短路电流产生的强大磁力矩对电网设备造成机械性损伤。短路时，电流在导体中产生巨大的电磁力，可能导致导体变形、断裂，甚至引发火灾等安全事故。再次，短路电流会引起系统电压降低，影响其他用户的正常供电。短路故障点附近的电压会大幅度下降，导致周边用户供电质量下降，甚至造成大面积停电^[3]。此外，短路电流还可能引发继电保护装置的误动作或失效，这将对电网的稳定运行造成不利影响。继电保护装置在短路故障时可能因电流过大而损坏，无法及时切除故障，进一步扩大事故范围。

为减轻短路电流带来的危害，必须实施相应的限制措施以降低其影响。短路电流限制原则主要包括以下几点：一是合理规划电网结构，提高电网的可靠性。通过优化电网接线方式、采用限流设备等措施，降低短路电流水平。二是选用合适的设备，提高设备的短路电流承受能力。在设计和选型时，应充分考虑设备在短路条件下的热稳定性和动稳定性，确保设备在短路故障时能够承受一定的电流冲击。三是加强电网运行管理，严格执行调度规程。通过实时监控电网运行状态，发现异常情况及时处理，防止短路故障的发生。四是采用先进的继电保护装置，提高短路故障切除速度^[3]。继电保护装置应具备快速、准确切除短路故障的能力，以减小短路电流对电网的影响。五是加强短路电流计算和分析，为电网运行和改造提供依据。通过对短路电流的计算和分析，制定合理的限制措施，确保电网安全稳定运行。

（二）短路电流限制技术分类

一次设备限制措施，作为直接作用于电网核心部件的策略，旨在通过调整电气参数或采用专门设计的设备来有效降低短路电流。此类措施的实施包括但不限于以下几种方式：在短路电流限制技术中，高阻抗变压器的应用及其较高的漏抗特性，能够在短路事件中有效限制电流的幅值。此外，通过部署分立电抗器或电抗器组，这些设备在电网中引入额外的阻抗，显著减少了短路电流的规模^[4]。此外，限流熔断器或断路器的使用，能够在短路发生时迅速切断电路，从而限制短路电流的持续时间。另外，通过改变电网的接线方式，例如实施部分接地或中性点经电阻接地，也是降低短路电流的有效手段。

二次设备限制措施，则侧重于通过继电保护装置和自动控制设备来管控短路电流。这些措施包括优化继电保护配置，采用快速动作的继电保护装置，确保在短路发生时能够迅速切断故障电流。同时，方向性保护和差动保护的运用，提高了保护的灵敏度和选择性，有效减少了误动作的发生。此外，自动重合闸装置和故障检测系统的利用，能够在短路故障切除后迅速恢复供电，从而减轻短路电流对电力系统的影响。

运行方式调整措施，作为一种灵活且经济的短路电流限制手段，涉及对电网运行模式的优化。具体措施包括电网解列运行，将大型电网分割为若干独立的小型系统，以降低短路电流的幅值^[5]。此外，优化电网的运行结构，如实施开环运行、负荷转移等策略，改变电网潮流分布，进而达到减少短路电流的目的。同

时，合理安排设备的维修和检修，确保在电网高峰负荷期间，所有设备均保持最佳运行状态，从而降低短路故障的发生概率。这些措施共同构成了一个多层次、全方位的短路电流限制体系，为电力系统的安全稳定运行提供了坚实保障。

（三）短路电流限制技术的关键参数分析

短路电流计算方法构成了短路电流限制技术的理论基石，为制定有效的限制措施提供了不可或缺的理论支持。短路电流的计算通常采用多种方法，包括对称分量法、短路电流周期分量法以及短路电流非周期分量法等。对称分量法通过对短路故障时不对称系统的分解，将其转化为正序、负序和零序三个对称系统，分别计算各自的短路电流，并最终合成得到实际短路电流值^[6]。周期分量法主要聚焦于短路电流的稳态值，而非周期分量法则用于深入分析短路电流的暂态过程。在实际计算过程中，必须综合考虑电网的拓扑结构、线路参数、变压器参数、负载状况以及故障类型等多种复杂因素，借助仿真软件或手工计算，以精确获取短路电流值。

在短路电流限制技术中，限制设备参数的优化是核心环节，涉及如何精心选择和配置限制设备以实现最佳的限制效果。优化参数的范围包括但不限于变压器的短路阻抗、电抗器的电抗值、限流熔断器的额定电流和断开时间等。参数优化的过程需要全面考虑电网的实际运行状况、设备的技术性能以及经济成本。通过精心调整这些参数，可以在确保电网安全运行的同时，最大限度地减少对电网性能的影响，并有效降低建设和运行成本。

短路电流限制效果的评估是对所实施限制措施效果的综合评价，它是对短路电流限制技术实用性的最终验证。评估内容涵盖短路电流是否有效控制在预定范围内、限制措施对电网运行的影响、设备的运行效率和可靠性等多个方面。评估方法通常包括现场试验、仿真模拟和实际运行数据分析^[7]。通过对限制前后短路电流的对比分析，以及对电网运行数据的深入挖掘，可以准确评估限制措施的实际效果，识别存在的问题，并为进一步优化限制方案提供科学依据。

二、电力系统短路电流限制技术应用研究

理论研究的深入为短路电流限制技术的实际应用奠定了基础。本部分将着重探讨短路电流限制技术在电网规划和运行中的应用，旨在通过实际操作层面的分析，为电力系统的安全稳定运行提供具体的技术路径和策略。

（一）短路电流限制技术在电网规划中的应用

在电网规划的宏伟蓝图绘制过程中，恪守一系列核心原则是确保电力系统长期稳定运行的关键。在电网规划的核心原则中，安全性居于首位，要求电网在各种运行模式下都能保持安全稳定的供电状态，有效预防大规模停电事故的发生。同时，可靠性原则同样不可或缺，它要求通过周密的规划不断提升电网的抗干扰能力，确保供电的可靠性得到显著增强^[8]。紧接着，经济性原则要求在确保安全可靠的基础上，尽可能地降低电网的建设和运营成本，以实现经济效益的最大化。此外，前瞻性原则也必须得到充

分考虑，即规划时需着眼于未来电网的发展需求，预留充足的扩展空间，以适应不断变化的市场和技术环境。

与此同时，环保性原则亦不可忽视，其核心在于最大限度地减少电力系统对环境的负面影响，推动电力系统的绿色可持续发展。在这一系列原则的指导下，短路电流限制技术在电网规划中的融入显得尤为关键。在规划的初始阶段，深入开展调研与分析是必不可少的步骤，这包括对现有电网结构的全面评估、对未来负荷增长的精确预测，以及对电网发展趋势的深入分析。在这一阶段，短路电流限制技术的核心应用聚焦于预测未来电网可能面临的短路电流水平，并评估现有电网结构对短路电流的制约能力。

随着规划流程的推进，进入设计阶段，短路电流限制技术的实施变得尤为关键。设计师需基于预测的短路电流水平和电网规划的基本原则，精心挑选和配置适宜的短路电流限制措施，如采用高阻抗变压器、设计合理的电网接线模式，以及电抗器的优化布置等。在此过程中，通过精确地计算与分析，确定限制设备的关键参数，如变压器的短路阻抗和电抗器的电抗值，是实现短路电流有效限制的关键。

在规划的评估阶段，利用专业的电力系统分析软件对设计的电网结构和短路电流限制方案进行仿真模拟和效果评估，是检验所采取措施有效性的重要手段。若评估结果显示短路电流仍超出安全限值，则需返回设计阶段对方案进行进一步的优化。最终，在电网规划的决策阶段，短路电流限制技术的应用体现在对规划方案的最终审定上，此时需全面考虑技术可行性、经济合理性、环境影响等多方面因素，确保规划方案在满足短路电流限制要求的同时，也能兼顾电网未来发展的长远需求^[9]。通过这样的综合考量，我们可以为电力系统的安全、稳定、经济和环保运行奠定坚实的基础。

（二）短路电流限制技术在电网运行中的应用

在电网运行中，优化运行方式是短路电流限制技术的重要应用之一。这涉及根据电网的实际负荷情况、设备状态和短路电流水平，动态调整电网的运行结构。例如，通过开环运行、转移负荷、调整发电机出力等方式，可以改变电网的潮流分布，从而降

低特定区域的短路电流。此外，合理规划电网的解列和并列操作，可以在电网发生故障时快速隔离问题区域，减少短路电流的传播范围。

短路电流限制设备的配置与调整是电网运行中的另一项重要任务。这要求根据电网的发展变化，适时地安装和调整限流设备，如高阻抗变压器、电抗器、限流熔断器等。在设备配置时，需要综合考虑电网的短路电流水平、设备的技术性能以及经济成本^[10]。在电网运行过程中，根据短路电流的实际监测数据，对限流设备的参数进行优化调整，以实现最佳的限制效果。同时，定期对限流设备进行维护和检修，确保其在关键时刻能够可靠动作。

短路电流监测与预警系统的建立为电网运行提供了实时的数据支持和技术保障。该系统通过安装在关键节点上的电流互感器、电压互感器等传感器，实时监测电网的电流和电压数据。利用先进的信号处理技术和数据分析方法，系统能够准确判断电网的运行状态，及时发现短路电流异常情况。当监测到短路电流接近或超过预设阈值时，预警系统会立即发出警报，通知运行人员采取相应的措施，如调整运行方式、隔离故障区域等，以防止短路故障的发生或扩大。

三、结束语

本文针对电力系统短路电流限制技术进行了深入研究，分析了短路电流的危害、限制原则及现有技术分类，探讨了短路电流限制技术在电网规划与运行中的应用。通过对关键参数的优化分析，为我国电力系统短路电流限制提供了理论依据和技术支持。但是本文仍存在一些不足之处，有待进一步研究和完善。在未来的工作进程中，将持续深入研究短路电流限制技术的新方法与新设备，旨在为我国电力系统的安全稳定运行提供更为显著的支持和保障。总之，短路电流限制技术的研究与应用对保障电力系统安全具有重要意义，希望本文的研究成果能为相关领域的技术人员提供参考和启示。

参考文献

- [1] 张相林，陈巧玲. 浅析电力系统中短路电流的危害及限流措施 [J]. 技术与市场, 2017, 24(06): 130-131.
- [2] 徐晨璐. 短路电流约束的新能源电力系统拓扑优化与运行调度 [D]. 湖南大学, 2023.DOI: 10.27135/d.cnki.ghudu.2023.000716.
- [3] 王海鸿. 零磁通补偿式短路电流限制器研究 [J]. 科技视界, 2022, (22): 57-59.DOI: 10.19694/j.cnki.issn2095-2457.2022.22.15.
- [4] 吴昊. 基于短路电流限制的北京电网分区方案制定及评估决策 [D]. 太原理工大学, 2021.DOI: 10.27352/d.cnki.gylgu.2021.001901.
- [5] 武海燕，张爱军，刘石川，等. 内蒙古电网短路电流水平分析及限制措施研究 [J]. 内蒙古电力技术, 2021, 39(01): 14-20.DOI: 10.19929/j.cnki.nmgdljs.2021.0004.
- [6] 程浩忠，张程铭，柳璐，等. 可再生能源接入下考虑短路电流限制的输电鲁棒规划方法 [J]. 电力系统自动化, 2021, 45(10): 68-76.
- [7] 傅旭，田旭，李富春，等. 基于综合等效灵敏度的短路电流抑制措施确定方法 [J]. 电力工程技术, 2019, 38(05): 98-106.
- [8] 刘娟，王志敏. 云南电网短路电流升高原因及对策 [J]. 云南电力技术, 2017, 45(04): 108-110.
- [9] 刘宝英. 电网短路电流限制技术的应用研究 [J]. 智能电网, 2016, 4(08): 772-775.DOI: 10.14171/j.2095-5944.sg.2016.08.008.
- [10] 张玉红，张彦涛，李付强，等. 故障电流限制器参数选择的解析法研究 [J]. 电工电能新技术, 2016, 35(02): 31-37.

浅析电气监理在电力系统改造工程施工中的工作重点

邢瑞斌

河北沧海石化工程有限公司, 河北 沧州 061000

摘 要 : 本论文探讨了电气监理在电力系统改造工程施工中的重要角色, 特别关注微机继电保护装置及五防系统的优势与应用。微机继电保护装置因其高可靠性、程序控制能力和卓越的通信性能, 广泛应用于电力系统中, 显著提高了系统的安全性。文章分析了微机继电保护装置的功能特征及常见故障的处理措施, 提出了电气监理在安装调试过程中的工作重心。此外, 论文还阐述了 110kV 变电站在电力传输和配电中的关键组成部分, 强调了各组件之间的协调与配合在整体系统中的重要性。通过对电气监理工作流程的深入分析, 本文旨在为电力系统的安全与稳定运行提供实践指导。

关 键 词 : 电气监理; 微机继电保护装置; 五防系统; 110kV 变电站; 安全性

Analysis on the Key Points of Electrical Supervision in the Construction of Power System Transformation Project

Xing Ruibin

Hebei Canghai Petrochemical Engineering Co., Ltd. Cangzhou, Hebei 061000

Abstract : This paper discusses the important role of electrical supervision in the construction of power system renovation, especially the advantages and applications of pc-relay protection and five prevention systems. Because of its high reliability, program control ability and excellent communication performance, microcomputer relay protection device is widely used in power system, which significantly improves the security of the system. This paper analyzes the function characteristics of the microcomputer relay protection device and the measures to deal with the common faults, and puts forward the work focus of electrical supervision in the process of installation and debugging. In addition, the paper also describes the key components of 110kV substation in power transmission and distribution, and emphasizes the importance of coordination and cooperation between components in the overall system. Through the in-depth analysis of the work flow of electrical supervision, this paper aims to provide practical guidance for the safe and stable operation of power system.

Keywords : electrical supervision; pc-relay protection; five prevention system; 110kv substation; security

引言

在电力系统改造过程中, 电气监理的工作重心主要体现在以下几个方面: 首先是现场施工方案和专项方案的审核与实施, 施工中, 严格执行方案要求, 确保施工人员遵守安全规程、佩戴必要的安全防护工具, 如戴手套使用角磨机应佩戴专用手套, 以防止安全事故的发生; 其次是设计文件的审核与变更管理, 确保设计图纸与设计变更文件符合国家标准和行业规范, 满足运行需求, 如桥架安装路径与工艺管线冲突, 对电气桥架路径进行变更, 需对新路径进行现场勘查, 进行可行性分析, 考虑桥架材料和防护等级; 再次, 施工质量控制包括严格把关进场材料及施工工艺的监督, 以确保施工符合设计和技术标准; 此外, 监理涉及对各类设备的安装质量及接地系统的监测, 确保其符合安全技术标准; 最后, 调试与验收环节则通过对设备的调试和整改项目的竣工验收, 确保所有整改内容符合设计与规范, 并形成完整的验收报告。

一、微机继电保护装置的功能特性与故障分析

微机继电保护装置是一种广泛应用于电力系统中的设备, 主要用于监测和保护电气设备的安全运行^[1]。其功能特征、常见故障处理措施以及提升装置使用水平的建议可以从以下几个方面进行探讨:

微机继电保护装置通常集成多种保护功能, 如过电流、过电

压、欠电压、接地故障、差动保护等, 能够适应不同的电力系统需求。与传统继电保护装置相比, 微机继电保护装置在性能上更加稳定, 具有较高的可靠性和便于调试与维护的特点。如 CSD-248 防孤岛保护装置, 具备自我判断、分析和诊断的能力, 可以自动识别并排除外部干扰, 同时监测自身硬件的异常状态, 从而保持系统的可靠运行^[2]。

作者简介: 邢瑞斌 (2001.03-) 男, 汉族, 河北邢台平乡县人, 本科学历, 从事研究电气监理相关专业领域。

微机继电保护装置辅助调试功能，也显著减少了调试工作量，这一功能依赖于其软件逻辑设计。在通信能力上，支持各种通信协议（如 IEC61850），配备串行通讯功能的微机继电保护装置能够与变电站的微机监控中心进行实时通信，实现信息的集中管理和共享，同时通过计算机远程传输数据，可以对继电保护装置参数进行设置。

微机继电保护装置支持单机操作，也可以通过双电脑操作，基于 Windows 平台进行校验工作^[3]。在继电器保护实验过程中，测试数据可以实时存储，能够展示故障情况，并支持联机打印报表。由于继电器保护装置可以模拟多种电气条件，支持多种组合输出，因此可以有效地进行各类保护功能的测试，以验证设备的保护特性和性能。现代微机继电保护装置一般配备组态界面，更便于操作人员进行设置、监控和故障分析^[4]。

微机继电保护装置通过对由模数转换器（ADC）提供的输入电气量进行采样，进而对所获取的数据进行运算、分析与判断，根据对应的保护逻辑，从而实现多种继电保护功能。这些算法通常包括信号采样、特征提取、故障判别以及动作决策等步骤，确保在电力系统中对各种故障能及时准确地响应。

为了进一步提高安全性，继电保护装置的电源电压应进行良好的接地处理。同时，装置应配备避雷器，以增强其抗雷击能力。通过上述措施，可以有效提高微机继电保护装置在电力系统中的可靠性与安全性。

微机继电保护装置可能发生以下故障：设备无法启动或无响应、误动作或拒动、数据异常或丢失。设备无法启动或无响应，应检查电源和接线，确保供电正常，若仍无响应，进行设备重启或联系厂家技术支持。当发生误动作或拒动，检查定值设置，若定值无误，检查外部干扰，做抗干扰实验，最后检查继电器内部故障情况，如有必要，更换故障继电器。当发生数据异常或丢失，可进行数据备份和恢复，必要时重装软件或更换存储模块。

提升装置使用水平的建议：定期维护与检查，建立定期检查和维护制度，确保设备处于良好工作状态，及时发现并解决潜在问题；定期对操作人员进行培训，提高其对微机继电保护装置的认识和操作技能，确保能够正确设置和使用装置；对参数完善处理，在设备投入运行前，充分进行参数设置，结合实际运行情况进行调整，以提高保护的灵敏度和准确性；对数据和故障分析后，定期进行故障数据分析和演练，提高对故障的处理能力和应急响应能力，确保在出现故障时能够快速、有效地处理^[5]。通过以上措施，可以有效提升微机继电保护装置的使用水平，增强电力系统的安全性和可靠性。

通过这些优势和功能特征，微机继电保护装置在电力系统中扮演着至关重要的角色，为电力行业的安全稳定运行提供了强有力的保障。

二、电气监理在继电器保护装置安装调试中的作用

在微机继电保护装置的安装调试过程中，监理工作至关重要，以确保设备的可靠性和安全性。监理的重点主要包括以下几

个方面：

安装前的准备工作，应进行技术文件审核，审核设计文件、设备规格书、施工方案和技术参数，确保符合工程要求。施工前对人员资格审查，检查施工和调试人员的资质，高级技工和相应实验工程师人员配备应满足实验要求。设备及材料检查，对到场的微机继电保护装置进行验收，检查设备是否完好无损、型号规格是否符合要求。对材料质量检查，确保所用材料（如接线材料）符合标准，避免因材料问题导致设备故障。

安装接线过程中，应有规范性要求，确保继电保护装置的安装符合相关标准和规范，检查接线的正确性、可靠性及整洁性。做好防护措施，检测现场安装环境（温湿度监测），确认设备在安装过程中的防护措施到位，避免静电、潮湿和机械损伤等影响设备性能，并通过巡检对所用材料进行确认^[6]。

调试过程中，审核调试方案，确保调试步骤、方法和工具符合要求。调试过程中包括继电器的动作时间、整定值的校验、各项逻辑功能测试的实施。误动作测试时，检查设备在不同条件下（如过电流、过电压等）是否能正确报警动作，确认保护动作的准确性和可靠性。监测信号传输的稳定性，确保电缆连接符合规定，避免因接触不良导致的数据传输延迟或丢失。进行电气对点实验和联调实验，确保通信正常和设备能够有效协同工作。输入的基础数据在安装与调试阶段应保持高度准确，以确保系统整体的可靠性。在新安装的继电保护装置上，应通过一定比例额定电压进行校验测试。此外，所有装置必须进行整机模拟、传动试验及二次回路绝缘电阻测定，以确保安全可靠运行。确认继电保护装置与监控系统、上位机的通信正常，数据传输及时可靠^[7]。检查系统各部分的配合情况，包括继电保护装置与其他设备（如断路器、信号采集装置等）的配合。

在系统试运行期间，监理要对设备的运行状态进行监测，确保系统稳定运行，画面正常。对调试完成后的设备进行验收，确认设备达到设计要求，形成验收报告。记录安装调试过程中的各项数据、测试结果及可能的变更，确保可追溯性。确保相关操作人员接受必要的培训，熟悉设备的操作和维护。检查设备交接时的文档完整性，包括设备使用说明书、调试记录等。

通过上述各项电气监理工作，可以有效确保微机继电保护装置的可靠性和安全性，确保系统的顺利运行。

三、110kV 变电站的组成部分和分析

110kV 变电站作为中压变电设施，负责将高电压电能 110kV 转化为适用于配电网（如 6kV 或 35kV）的电压，是电力系统中关键的传输与配电节点。随着工业设备的加快发展，电力需求不断上升，110kV 变电站作为电力供应的核心设施，能够平衡电网负荷，降低电流和电压波动，并在高峰期灵活调配电源，以增强电网的供电能力。

110kV 供电系统是电力系统中重要的组成部分，主要负责将高压电能输送至配电网或大型用电设备。其主要组成部分包括进线设备、变压器、高压开关设备、自动化系统及保护与控制系统

等。以下是对 110kV 供电系统主要组成部分的简单介绍：

进线设备为 GIS（气体绝缘开关设备），GIS 用于高压电能的接入、断开和保护，其主要特点是占地面积小、绝缘性能好，适用于城市和高密度地区。GIS 包括断路器、隔离开关、负荷开关、接地开关、金属氧化物避雷器、快速接地开关、测量仪表等。GIS 的绝缘介质为 SF₆ 气体，具有优良的电绝缘和灭弧性能。SF₆ 气体在电弧作用下的分解物有剧毒，接触后会严重影响身体健康。防范措施如下：GIS 设备打开时人员要站在上风口，并通风 0.5h，接触人员应穿防护服、戴口罩^[8]。回收、充入 SF₆ 气体，安排专人监视设备仪表，必须确认 SF₆ 气体已回收压力符合方案要求，才能松开盖板或法兰的螺栓连接。变压器为三相油浸式变压器用于将 110kV 电压转换为 35kV 或 6kV 电压，以便于下游配电和使用，下游变压器通常采用油浸式变压器或干式变压器，并根据负荷特性、运行环境和安全要求选择不同的变压器。高压开关柜用于控制和保护电气设备，具备断路、接通、隔离等功能。高压开关柜可以是 GIS 或传统的空气绝缘开关柜。保护与控制系统为继电器保护装置、过载保护、短路保护等，用于实时监测系统状态，检测异常情况并及时切断故障线路，防止事故扩大。自控系统由监控系统、数据采集系统和远程控制系统等组成，其中监控系统负责监测电流、电压、功率、频率、压力等关键参数。不间断电源（UPS）和蓄电池组为监控和保护设备提供了所需的电力支持。通信系统实现对电力设备状态的实时监控及数据传输，支持远程监控与故障报警功能，常见的光纤通信，确保信息的大量传递。接地系统包括接地网、接地线等，设备良好接地，可有效保护设备和人员。

110kV 供电系统的设计是确保电力系统安全、稳定、高效的重要保障。在实际应用中，各部分之间的协调与配合至关重要，通过合理配置以上组成部分，可以实现对电力的有效传输与分配，满足用户的用电需求。

四、结论

记录施工过程中的重要信息，包括施工进度、质量问题及整改措施，形成完整的监理档案。通过对施工记录、技术资料的管理以及与各方的协调沟通，电气监理不仅能够及时处理施工过程中出现的问题，还能够进行隐患排查并提出整改意见。每周开展安全隐患排查，针对发现的隐患提出整改意见，并跟踪整改落实情况，确保安全隐患及时消除，从而为电力系统的安全与稳定运行提供有效保障。电力系统的供电系统规范，为确保施工质量的重要约束性文件，是系统施工中必须严格遵循的^[9]。

电气监理在电力系统改造过程中，主要工作集中在现场施工方案审核、设计文件的审核与变更管理、施工质量控制、设备安装质量监测，以及调试与验收等环节。电气监理的作用在于确保施工安全、质量与进度，为电力系统的能源计量相关项进行把控。电力工程不仅涉及建筑物的正常运行，更关乎人民群众的生命财产安全^[10]。

微机继电保护装置集成多种保护功能，具备高可靠性、智能化、程序控制灵活及强大的通信能力，能够有效提高电力系统的保护水平与运行效率。在微机继电保护装置的安装调试过程中，电气监理需要对技术文件进行审核，检查相关人员的资质，验收设备和材料，并确保接线以及调试方案符合规范。监理还要对设备的运行状态进行监测，确保系统的稳定性。

随着经济的快速发展与电力需求的持续增长，电力系统的改造与升级已成为需要解决的任务，如推广使用新材料、新技术，提高设备的环保和节能。在此背景下，电气监理作为电力工程中不可或缺的一环，其作用愈加重要。电气监理的工作不仅涉及到工程施工的质量控制、进度管理和安全监督，还需要在技术层面进行深度参与，以确保新技术和新设备的有效实施。

参考文献

- [1] 巨文伟, 崔自辉. 微机继电保护故障分类及处理方法 [C]//中国机电一体化技术应用协会. 第六届全国石油和化工电气设计与应用论文大赛论文集. 中国石油兰州石化分公司; , 2023:4.DOI:10.26914/c.cnkihy.2023.003624.
- [2] 徐艳华. 防孤岛保护在光伏电站中的应用 [J]. 石河子科技, 2021, (04): 43-44.
- [3] 郭旻商. 微机继电保护在石化企业电力系统中的应用 [J]. 化学工程与装备, 2020, (11): 190-191+179.DOI:10.19566/j.cnki.cn35-1285/tq.2020.11.087.
- [4] 钱容琛. 110 kV 微机继电保护及其故障处理 [J]. 智能城市, 2021, 7(02): 23-24.DOI:10.19301/j.cnki.znsc.2021.02.009.
- [5] 苏泉. 基于电力系统中微机继电保护装置运用分析 [J]. 电子技术与软件工程, 2020, (23): 210-211.
- [6] 崔文军. 影响电力工程施工质量的因素及监理工作探讨 [J]. 百科论坛电子杂志, 2023(9): 58-60. DOI:10.12253/j.issn.2096-3661.2023.09.020.
- [7] 李祖森. 通信工程中通信线路施工技术的运用探析 [J]. 中国设备工程, 2024, (22): 217-219.
- [8] 马希才. 封闭式组合电气高压开关 GIS 设备安装流程和控制要点 [J]. 科技与创新, 2024, (18): 182-184+187.DOI:10.15913/j.cnki.kjycx.2024.18.054.
- [9] 王卫. 电气工程中供电系统的施工管理要点研究 [J]. 企业技术开发, 2016, 35(25): 128-129+132.DOI:10.14165/j.cnki.hunansci.2016.31.040.
- [10] 陈一平. 电气监理在电力工程中的作用及质量控制 [J]. 电子元器件与信息技术, 2024, 8(07): 166-168.DOI:10.19772/j.cnki.2096-4455.2024.7.051.

风电与光伏发电施工建设中的工程管理策略研究

张国新

华电山西能源有限公司, 山西 太原 030006

摘 要： 本文针对风电与光伏发电施工建设中的工程管理策略进行了深入研究。在探讨风电与光伏发电项目的管理策略之前，本文先概述了这两种新能源技术的原理、施工建设的独特性以及行业的现状与发展趋势，为后续管理策略的分析提供了必要的技术背景和市场环境。接着，依据工程管理理论基础，深入剖析了工程项目管理体系、风险管理、质量管理等核心议题，并就设计、采购、施工、调试与验收等关键环节提出了针对性的管理措施。进一步地，本文着重研究了进度管理策略和成本管理策略，涵盖了进度计划的编制与优化、监控与调整以及风险分析与应对，同时也包括了成本预算与控制、分析与优化、风险防范与处理等关键领域。最终，为了保障工程管理策略的高效执行，本文提出了构建完善的组织管理体系、提升项目管理团队的专业素质、强化信息化建设与应用、完善相关法律法规及政策支持等一系列保障措施。这些措施共同构成了确保风电与光伏发电项目成功管理的坚实基础。

关 键 词： 风电发电；光伏发电；施工建设；工程管理；管理策略

Research on Engineering Management Strategies in the Construction of Wind Power and Photovoltaic Power Generation Projects

Zhang Guoxin

Huadian Shanxi Energy Co., Ltd. Taiyuan, Shanxi 030006

Abstract： This paper conducts an in-depth study on engineering management strategies in the construction of wind power and photovoltaic power generation projects. Before exploring the management strategies for these projects, the paper first provides an overview of the principles of these two new energy technologies, the uniqueness of their construction, and the current status and development trends of the industry. This provides the necessary technical background and market environment for the analysis of subsequent management strategies. Then, based on the theoretical foundation of engineering management, the paper deeply analyzes core topics such as engineering project management systems, risk management, and quality management. It also proposes targeted management measures for key links such as design, procurement, construction, debugging, and acceptance. Furthermore, this paper focuses on studying schedule management strategies and cost management strategies. It covers the preparation and optimization of schedule plans, monitoring and adjustment, risk analysis and response, as well as key areas such as cost budgeting and control, analysis and optimization, risk prevention and handling. Finally, to ensure the efficient implementation of engineering management strategies, this paper proposes a series of supporting measures, including building a sound organizational management system, improving the professional quality of the project management team, strengthening information technology construction and application, and improving relevant laws, regulations, and policy support. These measures together form a solid foundation for ensuring the successful management of wind power and photovoltaic power generation projects.

Keywords： wind power generation; photovoltaic power generation; construction; engineering management; management strategies

引言

随着全球能源结构的转型和环境保护的日益重视，可再生能源的开发与利用成为各国能源战略的重要组成部分。风电与光伏发电作为可再生能源的重要形式，其施工建设项目的数量和规模不断扩大。然而，风电与光伏发电项目的施工建设具有技术复杂、投资大、建设周期长、不确定因素多等特点，这对工程管理提出了更高的要求。本研究旨在探讨风电与光伏发电施工建设中的工程管理策略，以期提高项目管理的效率和质量，为风电与光伏发电行业的健康发展提供理论支持和实践指导。

一、风电与光伏发电施工建设概述

在探讨风电与光伏发电施工建设的工程管理策略之前，需要对风电与光伏发电的技术原理、施工建设的特点以及行业的发展现状和趋势有一个清晰的认识。这不仅有助于深入理解施工建设的复杂性，而且对于制定高效的管理策略具有至关重要的意义。

（一）风电与光伏发电技术原理

风电与光伏发电技术原理是基于自然界的可再生能源转换机制。对于风力形成来说，其与地表的空气压力差密切相关，高低压之间的移动，产生了动能，该动能经由太阳辐射转化为我们所需要的风能。凭借风能进行发电，在我国已经得到了相对成熟的发展，这样做不仅减少了一次性能源的消耗，还降低了温室气体（如二氧化碳等）的排放，大大有利于我国环境的改善^[1]。而光伏发电技术则利用光生伏特效应，将太阳光直接转换为电能。这两种技术的核心在于高效能量转换和系统稳定性，其发展依赖于材料科学、机械工程和电子工程等多学科的融合。

（二）风电与光伏发电施工建设特点

风电与光伏发电施工建设的特点主要体现在以下几个方面：项目地理分布广泛，多位于偏远地带，这导致在施工过程中面临交通、物流及人员配置的多重挑战^[2]。同时，尽管施工活动对环境的影响相对较低，然而对施工技术和材料的质量要求却极为严格，以保障项目的长期稳定运作。此外，风电与光伏发电项目的投资规模大，建设周期长，且受气候条件影响显著，这些因素都增加了施工建设的难度。

（三）风电与光伏发电施工建设现状及发展趋势

当前，风电与光伏发电施工建设正处于快速发展阶段。随着技术的成熟和成本的降低，风电与光伏发电在全球范围内得到了广泛应用。然而，与此同时，施工建设也面临着如市场波动、政策调整、技术更新等挑战。未来发展趋势将更加注重技术创新、成本控制和产业链的整合，以实现可持续发展和环境保护的双重目标。

二、风电与光伏发电施工建设中的工程管理策略

在深入剖析风电与光伏发电施工建设的本质特征之后，本文继而探讨工程管理策略的关键性。工程管理不仅是确保项目按期、按质、按量完成的关键，也是实现项目投资效益最大化的必要手段。以下将从理论基础、关键环节管理以及两个重点管理策略三个方面，详细阐述风电与光伏发电施工建设中的工程管理策略。

（一）工程管理理论基础

工程项目管理体系是工程管理理论的基础框架，它通过系统化的方法，对项目策划、设计、施工、验收等全过程进行有效组织、协调和控制^[3]。该体系以项目目标为导向，以项目经理为核心，依托项目管理组织结构，运用先进的管理理念和技术手段，确保项目按照既定的时间、成本和质量要求顺利完成。在这一体系中，项目策划阶段的重要性不言而喻，它涉及项目的可行性研究、投资估算、融资方案等关键因素；而在项目实施阶段，如何合理配置资源、优化施工方案、提高劳动生产率，成为项目成功

的关键所在。

工程项目风险管理是指在工程项目全过程中，识别、评估、应对和监控可能影响项目目标实现的风险因素。风险管理强调前瞻性和动态性，要求项目管理者具备敏锐的洞察力，能够及时发现潜在风险，并通过定性或定量分析，制定合理的风险应对策略^[4]。在工程项目风险管理中，风险识别是基础，风险评价是核心，风险应对是手段，风险监控是保障。通过构建完善的风险管理体系，工程项目能够有效降低不确定性因素对项目的影响，确保项目稳步推进。

工程项目质量管理是工程管理理论的重要组成部分，它以顾客需求为导向，关注项目实体质量、功能质量和服务质量的全面提升。工程项目质量管理遵循 PDCA（计划、实施、检查、处理）循环原则，通过质量策划、质量控制、质量保证和质量改进等活动，实现项目质量目标^[5]。在这一过程中，项目管理者需密切关注质量管理体系的建设与运行，加强质量意识教育，提高全员质量素质，确保项目在设计、施工、验收等环节均达到预定标准，从而为业主提供满意的产品和服务。

（二）风电与光伏发电施工建设中的关键环节管理

设计管理在风电与光伏发电项目中起着龙头作用，它要求管理者具备跨学科的知识体系和技术创新能力。在设计管理过程中，先要确保设计方案的科学合理性，充分考虑地形地貌、气候条件、电网接入等因素，对风电场的微观选址和光伏阵列的布局进行优化设计^[6]。同时，管理者需协调设计团队与业主、施工方等多方利益相关者，确保设计成果符合国家法规、行业标准及业主需求。此外，设计管理还需关注设计变更的及时性和有效性，以应对项目实施过程中可能出现的各种问题。

采购管理是风电与光伏发电项目成本控制和质量保障的重要环节。在这一过程中，管理者需建立完善的采购管理体系，包括供应商评估与选择、采购计划编制、合同管理、质量控制等^[7]。采购管理要注重原材料、设备的质量和性能，确保采购的组件、逆变器、塔筒等关键设备满足项目设计和运行要求。同时，管理者还需关注采购成本和进度，通过合理的采购策略，降低项目成本，确保设备按时到场，为施工创造有利条件。

施工管理是风电与光伏发电项目从蓝图到现实的关键步骤，它要求管理者具备丰富的现场经验和高效的协调能力。在施工管理过程中，管理者需对施工方案、施工进度、施工质量、安全管理等方面进行全面把控^[8]。针对风电与光伏发电项目的特点，施工管理要特别关注风机基础施工、设备安装、线路敷设等关键工序，确保施工质量符合设计要求。同时，管理者还需应对施工现场的各种突发情况，通过有效地沟通与协调，保障施工顺利进行。

调试与验收管理是风电与光伏发电项目投入运营前的最后冲刺阶段，它对项目的长期稳定运行具有重要意义。在这一环节，管理者需组织专业团队对发电系统进行全面调试，确保设备各项性能指标达到设计要求。调试管理要注重细节，对发现的问题及时进行整改。验收管理则要严格按照国家和行业的相关标准进行，对项目的质量、安全、环保等方面进行全面审查，确保项目

顺利通过验收，为业主交付一个优质、高效、可靠的发电工程。

（三）风电与光伏发电施工建设的两个重点管理策略

进度管理策略是确保风电与光伏发电项目按时完成的核心，它涵盖了进度计划编制与优化、进度监控与调整、进度风险分析与应对等多个层面。在进度计划编制与优化阶段，管理者需结合项目特点，运用先进的项目管理软件，制定科学、合理、可行的进度计划。该计划不仅要充分考虑施工顺序、资源分配、季节性因素等，还要对关键路径进行识别和优化，确保项目进度可控。进度监控与调整则要求管理者建立实时、动态的进度跟踪体系，通过定期的进度报告和现场巡查，及时发现偏差，采取有效措施进行调整，以保障项目按计划推进。

进度风险分析与应对是进度管理策略中的重要环节，它要求管理者具备前瞻性和预见性，能够识别可能导致进度延误的各种风险因素，如天气变化、材料供应、设计变更等^[9]。通过对这些风险进行定量和定性分析，制定相应的风险应对措施，如备用资源的准备、进度计划的弹性设计等，以减少风险对项目进度的影响。

成本管理策略则是风电与光伏发电项目经济效益的直接体现，它包括成本预算与控制、成本分析与优化、成本风险防范与处理等方面。在成本预算与控制阶段，管理者需依据项目规模、设计方案和施工计划，编制详细的成本预算，并通过严格的成本控制措施，确保项目成本在预算范围内。成本分析与优化则要求管理者定期对成本执行情况进行深入分析，识别成本超支的原因，通过价值工程、设计优化等手段，实现成本的有效降低。

成本风险防范与处理是成本管理策略中的关键环节，管理者需对可能引起成本增加的风险因素进行识别和评估，如物价波动、政策变动、施工效率等。通过建立风险预警机制和应急预案，采取合同管理、保险、多元化采购等策略，有效防范和降低成本风险，确保项目成本控制的稳定性和可靠性。

三、风电与光伏发电施工建设中的工程管理策略实施保障

工程管理策略的制定仅是第一步，其有效实施才是确保风电与光伏发电施工建设成功的关键。为了保障管理策略的落地，必须建立健全一系列的保障措施。以下将从组织管理体系的完善、项目管理团队素质的提升、信息化建设的加强以及法律法规及政策支持的完善四个方面，探讨如何为工程管理策略的实施提供坚实保障。

（一）建立健全组织管理体系

建立健全组织管理体系是工程管理策略实施的基础。一个高效、灵活的组织体系能够确保项目各参与方的协同工作，明确职责权限，优化决策流程，从而提高管理效率^[10]。这不仅要求组织结构设计的合理性，还要求有完善的规章制度作为支撑，以及持续的组织效能评估和优化。

（二）提高项目管理团队素质

提高项目管理团队素质是工程管理策略实施的核心。项目管理团队作为施工建设的直接执行者，其专业能力、经验水平和管

理理念直接影响到项目的成败。因此，通过定期的培训、交流和学习，提升团队成员的专业技能和管理能力，培养其创新思维和解决问题的能力，是确保工程管理策略有效执行的关键。

（三）加强信息化建设与应用

加强信息化建设与应用是工程管理策略实施的现代化手段。在信息技术迅猛发展的今天，利用 BIM、ERP 等先进的信息化管理工具，可以实现对项目全过程的实时监控、数据分析和决策支持，大幅提升工程管理的精准度和效率。此外，信息化还能促进信息的透明化和共享，减少沟通成本，提高决策质量。

（四）完善相关法律法规及政策支持

完善相关法律法规及政策支持是工程管理策略实施的法治保障。法律法规和政策为风电与光伏发电施工建设提供了外部环境支持和行为规范。通过不断完善相关法律法规体系，明确市场准入、质量标准、安全规范等要求，可以为工程管理提供有力的法律依据和政策指导，确保项目在合规的框架内顺利推进。

四、结束语

本文深入探讨了风电与光伏发电施工建设中的工程管理策略，从理论分析到实践应用，提炼出了一系列具有针对性的管理措施与方法。通过研究发现，有效的工程管理对于确保风电与光伏发电项目的高效、高质量完成具有至关重要的作用。虽然本研究在理论分析和实践探讨方面取得了一定的成果，但仍存在一定的局限性。未来，风电与光伏发电技术的发展、市场环境的变迁以及政策法规的调整，都将对工程管理策略提出新的挑战。

本研究旨在为风电与光伏发电施工建设领域的工程管理人员提供宝贵的参考与启示，助力行业管理水平的持续提高。同时，期待更多研究同仁投身于此领域，共同深入研究并解决风电与光伏发电施工过程中遭遇的种种挑战，为我国能源结构的优化升级及可持续发展目标的实现贡献力量。最终，携手共进，促进风电与光伏发电行业的繁荣昌盛，共创辉煌未来。

参考文献

- [1] 柳根. 风力和太阳能光伏发电现状及发展趋势 [J]. 科学家, 2017, 5(17): 170-171.
- [2] 黄传水. 风力和太阳能光伏发电现状及发展趋势 [J]. 江西建材, 2016, (15): 207+210.
- [3] 李伟. 太阳能光伏发电技术应用现状及未来发展趋势研究 [J]. 江苏科技信息, 2018, 35(24): 54-56.
- [4] 房庆圆. 浅谈太阳能光伏发电材料的研究进展及发展前景 [J]. 当代化工研究, 2020, (17): 12-13.
- [5] 张宝林. 风电 / 光伏发电接入电网的电压稳定及控制方法 [C] // 香港新世纪文化出版社有限公司. 2023 年第七届国际科技创新与教育发展学术会议论文集 (第二卷). 国电河南新能源有限公司; , 2023: 3. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.095061.
- [6] 雷建国. 风电和光伏发电中的关键技术分析 [J]. 集成电路应用, 2022, 39(11): 324-325. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2022.11.146.
- [7] 国家能源局: 加大力度推进大型风电光伏发电基地建设 [J]. 中国设备工程, 2023, (05): 1.
- [8] 苏伟. 风电光伏成新增装机主力 [N]. 中国电力报, 2022-08-25(002). DOI: 10.28061/n.cnki.ncdlb.2022.001172.
- [9] 邓宾宾, 孙本鹤. 风电与光伏的储能电站运维管理 [J]. 电子技术, 2021, 50(11): 208-209.
- [10] 光伏发电成本将低于煤炭 [J]. 中外能源, 2020, 25(08): 102.

电力工程中的电力检修及电力施工技术

王延睿

陕西送变电工程有限公司, 陕西 西安 710000

摘 要： 电力检修及施工技术经历了从传统人工作业到机械化作业，再到智能化作业的发展历程。当前，以数字化、智能化为特征的新一代电力检修施工技术正在深刻改变电力工程建设模式。通过将人工智能、物联网、大数据等新技术与传统检修施工工艺深度融合，形成了更加科学高效的技术体系。这不仅提升了电力设备运行可靠性，也为电网建设质量提供了有力保障。本文将重点探讨电力检修及施工技术在电力工程中的应用，分析其技术特点和实施效果，为推进电力工程建设高质量发展提供参考。

关 键 词： 电力工程；电力检修；施工技术；质量控制

Power Maintenance and Construction Technology in Power Engineering

Wang Yanrui

Shaanxi Power Transmission and Transformation Engineering Co., Ltd. Xi'an, Shaanxi 710000

Abstract： Power maintenance and construction technology has gone through a development process from traditional manual operation to mechanized operation, and then to intelligent operation. Currently, the new generation of power maintenance and construction technology characterized by digitization and intelligence is profoundly changing the construction mode of power engineering. By deeply integrating new technologies such as artificial intelligence, the Internet of Things, and big data with traditional maintenance and construction processes, a more scientific and efficient technological system has been formed. This not only improves the reliability of power equipment operation, but also provides strong guarantees for the quality of power grid construction. This article will focus on the application of power maintenance and construction technology in power engineering, analyze its technical characteristics and implementation effects, and provide reference for promoting the high-quality development of power engineering construction.

Keywords： power engineering; power maintenance; construction technology; quality control

引言

电力系统是国民经济和社会发展的重要基础设施，其安全稳定运行直接关系到经济社会的平稳发展。随着电力需求的不断增长和电网规模的持续扩大，电力工程建设对检修施工技术提出了更高要求^[1]。特别是在特高压电网快速发展、新能源并网规模不断扩大的背景下，传统的检修施工技术已难以满足现代电力系统的运维需求。

一、电力工程中的电力检修及电力施工技术分析

（一）电力检修技术分析

电力检修技术是保障电力系统安全稳定运行的重要手段。当前，电力检修技术主要包括预防性检修、状态检修和智能化检修等方式^[2]。预防性检修通过定期对电力设备进行全面检查和维护，及时发现和消除潜在故障隐患。例如，对变压器进行绝缘油检测、套管检查和渗漏测试等，确保设备运行可靠性。状态检修则是根据设备运行状态和性能参数，采用在线监测、红外测温 and 局部放电检测等先进技术，实时掌握设备运行状况，制定科学的检修策略。智能化检修技术利用大数据分析、人工智能和物联网等

新技术，实现设备故障预警、智能诊断和检修决策支持，显著提高了检修效率和准确性。通过科学合理的检修技术应用，可有效延长设备使用寿命，降低故障发生率，确保电力系统的安全经济运行。

（二）电力施工技术分析

电力施工技术是电力工程建设的核心环节，主要涵盖变电站施工、输电线路施工和配电网施工等领域。在变电站施工中，采用先进的设备吊装技术、高精度安装工艺和科学的调试方法，确保主变压器、开关设备和二次设备等关键设备的安装质量。输电线路施工则重点关注基础施工、杆塔组立和导线架设等环节，运用激光测量、张力放线和压接技术等现代施工工艺，提高施工精

作者简介：王延睿（1990.12-），女，汉族，陕西汉中，中级工程师，研究方向：电气工程、电力技术。

度和效率^[3]。配电网施工技术着重于配电变压器安装、电缆敷设和开关柜安装等方面，采用标准化施工流程和机械化作业方式，保证施工质量和进度。随着技术发展，新型施工技术如带电作业、无人机巡检和智能机器人施工等得到广泛应用，显著提高了施工安全性和作业效率，推动了电力工程施工技术的创新发展。

（三）质量控制技术分析

质量控制技术是确保电力检修和施工工程质量的重要保障。在电力检修质量控制方面，建立了完善的检修质量管理体系，包括检修前的质量策划、检修中的过程控制和检修后的质量验收^[4]。通过制定详细的检修工艺标准，明确关键质量控制点，采用精密检测仪器进行数据采集和分析，确保检修质量达标。在电力施工质量控制中，实施全过程质量管理，从施工准备、材料验收到具体施工环节均设置质量控制措施。例如，在变电站施工中，采用三维扫描技术进行设备基础测量，运用数字化工具进行施工偏差分析，确保安装精度。同时，建立施工质量责任制，落实质量控制责任，定期开展质量检查和考核，及时发现和处理质量问题，有效提升了工程整体质量水平。

二、电力工程中电力检修及电力施工技术的应用

（一）构建电力设备全周期数字化管控体系

电力检修及施工技术的创新应用正加速推动电力系统向数字化转型升级。这一转变突破了传统依靠经验判断的管理模式，建立起贯穿设备全生命周期的科学管控体系^[5]。通过数字化管控平台的部署，实现了设备采购、安装、运行、维护等各环节的数据联动，提升了资产管理效能。在工程建设过程中，数字化管控体系优化了施工组织模式，降低了人为因素影响，项目管理效率显著提升。同时，基于大数据分析的智能决策支持系统为设备检修维护提供精准指导，避免了过度检修和漏检少修现象，既节约了运维成本，又延长了设备使用寿命。这种全方位的数字化转型提升了电力企业的运营效率，更为电力系统的现代化建设注入新动能。

（二）赋能智能电网运维现代化升级

电力检修及施工技术的创新应用正推动智能电网运维迈向新阶段。借助5G网络和工业互联网构建的智能运维平台，打破了传统运维模式的时空限制，实现了电网设备状态的实时监控与远程诊断^[6]。特高压线路带电检修机器人的研发应用使高空作业更趋安全高效，配合毫米波成像等新型检测手段，极大提升了输电线路隐患排查能力。在变电站运维领域，智能巡检机器人配备多维感知系统，通过温度、振动、声音等多源数据融合分析，准确识别设备异常。配网自动化技术与检修施工深度融合，形成了配电网运维新模式，配电线路故障研判与抢修效率显著提升。这种现代化运维体系既保障了电网安全稳定运行，又推动了电力行业向智能化方向加速迈进。

（三）推进电力工程精益化质量管理

电力检修及施工技术的革新推动电力工程质量管理步入精益化时代。基于BIM技术构建的工程数字模型为施工质量管控提供

了全方位技术支撑，特别在变电站主设备安装精度控制方面取得显著成效^[7]。激光扫描定位系统的引入使得复杂结构施工偏差控制精度达到毫米级，电气设备基础安装质量大幅提升。智能预制技术改变了传统施工工艺，标准化作业流程有效降低了人为因素带来的质量波动。质量管理信息系统实现了工程建设全过程的数据追溯，从材料验收到设备调试形成完整的质量链条。施工工艺创新与检修质量标准的协同升级，推动了电力工程建设向精细化、规范化方向发展，为电网可靠运行奠定坚实基础。

三、电力工程中电力检修及电力施工技术的应用

（一）关键电力设备检修施工应用实践

在电力工程建设中，关键电力设备的检修施工是保障电网安全稳定运行的核心环节。现代检修施工技术深度融合智能传感、数据分析和精密检测工艺，形成了设备全寿命周期的系统化管理体系。通过建立基于状态检修的技术标准和评价指标，实现检修模式从传统定期维护向预测性维护转变。这种以设备状态评估为基础、以故障预警为导向的检修决策机制，为电力设备管理提供了科学依据，有效提升了检修质量和施工效率。

例如，在500kV变电站主变压器检修施工实践中，需依据《电力设备预防性试验规程》，采用在线色谱分析系统监测油中溶解气体（H₂、CH₄、C₂H₆、C₂H₄、C₂H₂），油中气体含量应符合GB/T 7252标准要求。局部放电检测应按照DL/T 849标准执行，采用特高频法（UHF）对绕组、套管、引线等关键部位进行检测。设备安装过程须遵循GB 50150《电气装置安装工程施工及验收规范》，采用激光测距仪进行基础测量，数字水准仪控制水平度，与基础预埋件的允许偏差应符合规范。设备吊装按照GB 50231标准执行，采用吊装监测系统确保吊装安全。连接部位应按照制造厂规定的力矩值进行紧固，并用红外测温仪复检，确保接头温度符合DL/T 664标准要求。

通过规范化的检修施工技术应用，提高了设备运行可靠性，预测性检修模式为设备安全运行提供了有力保障，推动了电力检修施工技术的规范化和标准化发展。

（二）输电线路检修施工技术现场实施

现代输电线路检修施工技术体系着重解决高空作业难度大、环境条件复杂、检修效率低等难点问题。通过将数字化检测手段、机械化作业装备与传统工艺相结合，建立起系统完整的技术应用框架。在线路本体检修中，运用声学、光学等多元检测技术，实现导线、绝缘子、金具等关键部件的状态评估。施工过程中采用机械化、标准化作业方式，提升施工质量和效率，确保线路检修施工安全可控。这种技术应用模式为输电线路检修施工提供了科学的方法论支撑。

在特高压交流输电线路带电检修施工中，应按照《高压线路带电检修导则》进行作业。检修前需采用超声波局部放电检测仪对绝缘子串进行检测，测量电晕放电水平，确定绝缘子串缺陷位置。导线检修应使用等电位作业平台，作业人员须穿着屏蔽服，防护电位差应控制在安全范围内^[8]。更换绝缘子串时，需采用专

用吊装悬臂进行作业，使用力矩扳手按规定扭力值紧固螺栓。施工中可采用带电检测仪器监测邻近相导线电位，确保作业安全。对于跨越段导线更换，应采用张力放线工艺，设置临时锚线塔，使用导线张力仪实时监控牵引力，防止导线过牵。绝缘子清扫作业可采用高压水冲洗设备，水压应控制在2.5-3MPa，清扫角度45°-60°，确保清扫效果。接地线连接应符合防雷接地标准，接地电阻不大于0.5Ω。

科学规范的输电线路检修施工技术应用，保障了输电线路安全稳定运行，提升了检修作业效率和质量，为电网可靠运行提供了技术支撑，推动了输电线路检修施工领域的技术进步。

（三）智能配电设施检修施工技术落地

智能配电设施检修施工是现代配电网建设的重要支撑。面对城市配电网设备分布广、负荷类型复杂、运维难度大等特点，通过智能化检修施工技术的应用实现配电网运维模式转型升级。基于物联网和边缘计算技术构建配电设施状态监测体系，实现设备运行状态的实时感知与分析^[9]。配电自动化系统与检修施工深度融合，为设备运维决策提供数据支撑。采用标准化、模块化的施工工艺，结合智能检测设备和远程监控手段，建立起覆盖配电设施全生命周期的智能化运维体系，推动配电网向智能化方向发展。

在10kV 配电线路检修施工中，应按照《配电网运行检修规程》开展工作。环网柜检修需采用局部放电特性分析仪对开关设备进行检测，测量放电量应符合 DL/T 593标准要求。电缆分支箱安装施工应采用激光测距仪进行定位，基础预埋钢板的水平偏差控制在2mm 以内。箱变检修过程中，使用电气综合测试仪对变压

器进行绝缘电阻测试，测试电压为2500V，吸收比不小于1.3。电缆敷设施工采用三相一体电缆铺设，弯曲半径不小于电缆外径的15倍，每隔50米测试电缆外皮绝缘电阻^[10]。接地装置施工按照 GB 50169标准执行，接地极采用热镀锌角钢，焊接长度不小于双倍角钢宽度，接地电阻应小于4Ω。开展红外测温时，应在额定负载70% 以上工况下进行，确保测试数据有效性。

通过智能配电设施检修施工技术的规范应用，提升了配电网设备运行可靠性，降低了设备故障率，实现了配电网运维检修的精细化管理，为城市配电网安全稳定运行提供了有力保障。

四、结束语

电力检修及施工技术作为电力工程的重要组成部分，其发展水平直接关系到电力系统的安全稳定运行。通过对电力工程中电力检修及施工技术的深入研究，可以清晰地认识到，科学的检修技术和规范的施工工艺正在推动电力工程建设迈向更高水平。特别在关键电力设备检修、输电线路施工和智能配电设施运维等领域，新技术的应用取得了显著成效。数字化检测手段和智能化施工装备的推广应用，极大提升了电力检修施工的质量和效率。同时，标准化作业流程的建立和完善，为电力工程建设提供了有力的技术支撑。随着技术的不断创新和实践经验的积累，电力检修及施工技术必将继续推动电力工程建设的高质量发展，为电力系统的安全稳定运行提供更加可靠的保障。

参考文献

[1] 季伟, 何军. 关于电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用探索 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2023.
[2] 付乐阳. 电力系统中电气自动化技术的应用分析 [J]. 工程与管理科学, 2022, 4(3):47-49.
[3] 李娜. 电气工程及其自动化技术下的电力系统自动化发展分析 [J]. 工程技术 (文摘版), 2022(18).
[4] 邱文强. 电力系统中电气自动化技术的探索 [J]. 冶金与材料, 2022, 42(3):90-92.
[5] 张诚浩, 张宇, 王丽. 电气自动化技术在电力系统中的具体应用 [J]. 东方文化周刊, 2023:157-159.
[6] 田苗苗. 基于电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用研究 [J]. 中国科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2024(002):000.
[7] 莫钜程. 电力系统中电气自动化技术的应用探究 [J]. 前卫, 2024(3):0176-0178.
[8] 连建超. 电力系统中电气自动化技术的应用探讨 [J]. 中国设备工程, 2023(22):221-223.
[9] 郭元双, 孙国涛. 电力系统中电气自动化技术的应用分析 [J]. 车时代, 2023(3):85-87.
[10] 徐志坤. 电气自动化技术在电力系统中的应用 [J]. 中国金属通报, 2023(23):52-54.

水利工程中的合同管理与法律问题探讨

李毅¹, 顾浩然², 孙新³, 孙思⁴, 梁骏宇⁵

1. 淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 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. 江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223000

4. 江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223000

5. 江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223000

摘要： 水利工程的合同管理涉及项目实施的各个阶段，确保合同条款的合规性和项目目标的实现至关重要。有效的合同管理有助于降低法律风险，维护各方权益，优化资源配置。法律问题包括合同履行、变更与终止、违约责任等，涉及法律法规的复杂性与实践操作的挑战。研究通过分析实际案例，探讨水利工程项目中合同管理的关键环节与法律问题，旨在提供改进建议，提升合同管理效能和法律风险控制水平。

关键词： 水利工程；合同管理；法律风险；合同履行；违约责任

Exploration of Contract Management and Legal Issues in Water Conservancy Projects

Li Yi¹, Gu Haoran², Sun Xin³, Sun Si⁴, Liang Junyu⁵

1. Huai'an Water Conservancy Survey and Design Research Institute Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000

2. Huai'an Water Conservancy Survey and Design Research Institute Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000

3. Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000

4. Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000

5. Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000

Abstract： Contract management in water conservancy projects involves various stages of project implementation, and ensuring the compliance of contract terms and the achievement of project objectives is crucial. Effective contract management helps reduce legal risks, protect the rights and interests of all parties, and optimize resource allocation. Legal issues include contract performance, modification and termination, breach of contract responsibilities, etc., involving the complexity of laws and regulations and the challenges of practical operations. Through analyzing actual cases, this study explores the key links and legal issues of contract management in water conservancy projects, aiming to provide improvement suggestions and enhance the effectiveness of contract management and the level of legal risk control.

Keywords： water conservancy engineering; contract management; legal risk; contract performance; breach of contract

引言

水利工程作为基础设施建设的重要组成部分，其合同管理和法律问题对项目的顺利实施至关重要。在复杂的项目环境中，合同管理不仅涉及法律合规，还直接影响到工程的质量和进度。法律问题如合同履行、变更、终止及违约责任等，往往成为项目管理中的难点和焦点。有效的合同管理能够有效降低法律风险，保障各方利益，并优化资源配置。通过深入探讨水利工程中的合同管理与法律挑战，可以为行业实践提供宝贵的经验和改进策略，从而提升项目管理水平和法律风险控制能力^[1]。

一、水利工程合同管理的现状与挑战

1. 当前合同管理的基本现状

水利工程合同管理作为工程管理的核心环节之一，承担着项目实施过程中的重要职责。当前，水利工程项目的合同管理逐渐受到重视，相关制度和流程不断完善。合同管理主要包括合同签

订、履行、变更和终止等阶段。在合同签订阶段，标准化合同文本和明确的合同条款有助于规避潜在的法律风险，并确保各方的权利和义务得以明确。然而，由于项目规模大、涉及面广，合同管理的实际操作仍面临诸多挑战。

2. 面临的主要法律问题

水利工程项目中的法律问题复杂多样，主要包括合同履行中

的争议、合同变更与终止、违约责任等。合同履行过程中，常见问题包括工程进度延迟、质量不符合要求以及合同义务的履行不完全。这些问题可能导致项目进度受阻、成本增加，并影响最终成果的质量。合同变更和终止是合同管理中的另一大难点。在实际操作中，由于项目条件的变化或不可抗力因素，合同变更几乎是不可避免的。然而，如何合法合规地进行合同变更，确保变更后的合同条款合理且双方认可，仍然是一个重要的问题。合同终止则涉及到如何妥善处理合同解除后的权利和义务问题，避免法律纠纷和财务损失。违约责任的界定也是一个复杂的问题，涉及到违约的认定、赔偿标准的制定以及违约方的责任承担等方面^[2]。

3. 未来的管理优化方向

面对水利工程合同管理中的各种挑战，优化合同管理的方向主要包括提升合同管理的规范性和系统性。首先，应加强合同条款的明确性和完整性，确保合同内容清晰、具体，以减少后续的争议。其次，建议引入先进的合同管理信息系统，利用数字化工具提高合同管理的效率和透明度。通过建立合同管理数据库和自动化流程，可以实时跟踪合同履行情况，及时发现和解决问题。

二、合同履行中的法律问题及解决方案

1. 合同履行中的主要法律问题

在水利工程项目中，合同履行阶段是合同管理的关键时期，这一阶段常常暴露出诸多法律问题。首先，工程进度延迟是一个普遍的问题。由于水利工程涉及多个环节和复杂的施工条件，工程进度可能受到天气、材料供应、劳动力等多种因素的影响。当工程进度未按合同约定完成时，可能会引发合同履行的争议。其次，工程质量问题也是合同履行中的法律难点^[3]。水利工程项目通常具有较高的技术要求和复杂的施工标准，如果工程质量未达到合同规定的标准，则可能导致严重的法律后果，如合同违约、赔偿损失等。此外，合同义务履行的不完全也是一个常见问题。例如，施工单位可能未能按时完成施工任务或未能提供合同约定的技术服务，这种情况会影响项目的整体质量和进度，进而引发法律纠纷^[4]。

2. 解决工程进度和质量问题的法律途径

针对工程进度延迟的问题，解决方案包括合同中应明确进度管理条款，规定明确的工期和进度计划。此外，合同应包含延误处理条款，如因不可抗力因素导致的延期应有合理的免责条款，并明确补救措施。及时的工期调整和双方沟通也是避免纠纷的有效手段。如果因工程进度延迟导致损失，合同应明确违约责任和赔偿标准，以便在出现问题时能够有据可依^[5]。

对于工程质量问题，建议在合同中详细规定质量标准和验收标准，并明确验收程序。项目在施工过程中应进行定期质量检查，确保工程质量符合合同要求。一旦发现质量问题，及时修正，并由专业机构进行质量鉴定。

3. 合同义务履行的不完全问题及对策

合同义务履行的不完全问题常常会引发合同争议和法律纠纷。为避免此类问题，合同中应明确各方的权利和义务，并规定详细的履行标准和验收程序。在合同履行过程中，应建立有效的

沟通机制，定期进行履行情况检查，确保合同义务的完整履行。对履行过程中出现的问题，应及时解决，并记录问题处理情况，以备后续追溯和审计。如果发现一方未能履行合同义务，应按照合同约定采取法律措施，如发出正式的违约通知，要求对方进行整改或赔偿损失^[6]。如表1所示。

表1 水利工程项目中合同履行阶段的主要法律问题及其解决方案

法律问题类别	问题描述	可能的法律后果	解决方案
工程进度延迟	施工受到天气、材料供应、劳动力等因素影响而延迟	合同争议、赔偿损失	明确进度管理条款、设定延误处理条款、及时沟通与调整工期
工程质量问题	工程质量未达到合同规定标准	合同违约、赔偿损失	规定详细的质量和验收标准、进行定期质量检查、设定质量保证期和保修条款
合同义务履行不完全	施工单位未按时完成施工任务或未能提供合同约定的技术服务	合同争议、法律纠纷	明确权利和义务、建立有效沟通机制、及时解决履行过程中的问题

通过这个表格，可以直观地展示合同履行中可能遇到的法律问题和针对这些问题的具体解决策略，有助于相关方在项目实施过程中更好地管理风险和避免法律纠纷。

三、合同变更与终止的法律规范与实践

1. 合同变更的法律规范

在水利工程项目中，合同变更是常见的现象，主要是由于项目条件、设计变更或不可抗力因素等导致的。根据法律规定，合同变更应遵循合法、公平和诚信的原则。首先，合同变更必须有明确的依据和合理的理由，双方应达成一致意见，并签订书面协议。法律规定，合同变更的内容应详细说明，包括变更的范围、金额、工期等，以确保变更后的合同条款明确且具备可操作性。此外，合同变更过程中的所有变更应及时记录，并在合同管理系统中更新，以便后续追溯和审计。若因变更导致的项目费用或工期调整，合同应明确变更后的调整方案和赔偿标准，以避免争议和纠纷^[7]。

2. 合同终止的法律规定

合同终止是合同管理中的另一个重要方面，通常发生在合同履行出现重大问题或不可抗力事件时。根据法律规定，合同终止应遵循合同约定和法律法规。合同中应明确规定终止的条件和程序，包括终止的原因、通知期限和终止后的权利义务。若合同一方违约，另一方有权依据合同约定或法律规定终止合同，并要求违约方承担相应的违约责任。不可抗力事件导致的合同终止应符合相关法律的规定，并根据具体情况合理处理。

3. 合同变更与终止的实践挑战

在实际操作中，合同变更与终止往往面临不少挑战。合同变更过程中，各方可能对变更内容的理解和实施产生分歧，导致争议。因此，建议在合同中设立明确的变更流程和审批机制，以确保变更过程的规范性。合同终止时，各方可能对违约责任的承担和终止条件的解释存在争议，尤其是在复杂的项目环境中。

四、违约责任的界定与法律救济途径

1. 违约责任的界定

在水利工程项目中，违约责任的界定涉及对合同违约行为的认定及其法律后果的明确。违约责任通常包括合同履行不完全、质量不符合标准、进度延迟等情况。根据法律规定，违约责任的界定应依据合同条款及相关法律法规进行。具体来说，违约行为的认定需要明确违约方的责任范围、违约行为的性质及其对合同履行的影响。合同中应设立明确的违约条款，规定违约的具体情形、责任承担及赔偿标准^[8]。

2. 违约责任的法律救济途径

违约责任的法律救济途径主要包括赔偿损失、继续履行合同和解除合同等方式。首先，受害方可以要求违约方赔偿因违约行为造成的直接和间接损失。赔偿金额应根据实际损失和合同约定进行计算，确保赔偿的公平性和合理性。其次，在某些情况下，受害方可以要求违约方继续履行合同，即要求其按照合同条款履行剩余的义务。这种方式适用于违约行为尚未严重到合同解除的地步时。最后，合同解除是另一种法律救济途径，适用于违约行为严重影响合同履行的情况。

3. 实践中的违约责任救济挑战

在实践中，违约责任的救济常面临一些挑战，如损失评估困难和违约责任界定模糊。损失评估过程中，受害方可能难以准确计算实际损失，特别是间接损失的量化问题。为应对这些挑战，建议在合同中设立明确的损失计算方法和赔偿标准，以提高救济的可操作性和透明度。此外，违约责任的界定可能因合同条款的模糊或法律解释的不同而产生争议^[9]。因此，合同条款应尽可能详尽，明确各方的权利和义务，并在合同管理中加强沟通，确保合同履行的各个方面都得到有效监管。如表2所示。

表2 水利工程项目中违约责任的界定与法律救济途径

违约责任类型	法律救济途径	实践中的挑战	解决对策
履行不完全	赔偿损失、继续履行合同	损失评估困难、计算实际损失的复杂性	在合同中设立明确的损失计算方法和赔偿标准
质量不符合标准	赔偿损失、要求整改或重新履行	质量标准的模糊性导致责任界定争议	规定详细的质量标准和验收标准，明确赔偿责任
进度延迟	赔偿损失、延期的免责条款	进度控制和监管不足、不可抗力因素评估复杂	明确进度管理条款，设定合理的延期处理措施，加强进度监管
严重违约	合同解除、赔偿损失	违约行为界定难、解除合同后权利义务处理复杂	在合同中明确严重违约的条件，规定终止后的权利和义务处理方式

五、优化水利工程合同管理的策略与建议

1. 完善合同条款的明确性和详细性

为了优化水利工程合同管理，首先需要确保合同条款的明确性和详细性。合同应详细规定各方的权利和义务，包括工程进度、质量标准、付款条件和违约责任等。明确的条款有助于减少

合同履行过程中的争议和不确定性。建议在合同中加入详细的履行标准、验收程序以及变更和终止的条件。通过对合同条款的充分细化，能够确保在项目实施过程中，各方对合同内容有清晰的理解和预期，从而降低法律风险。

2. 引入先进的合同管理工具和技术

引入先进的合同管理工具和技术是提升合同管理效率的重要策略。通过使用合同管理系统，可以实现合同文件的电子化管理，实时跟踪合同履行情况，自动化处理合同变更和通知。这些工具不仅提高了合同管理的效率，还增强了合同数据的准确性和透明度^[10]。建议在合同管理中引入信息化手段，如电子合同签署、自动化合同审核和进度监控系统，以提高合同管理的规范性和操作便利性。同时，定期对合同管理系统进行评估和升级，以适应不断变化的项目需求和法律环境。

3. 加强合同管理人员的专业培训

合同管理人员的专业素质直接影响合同管理的效果。为了提升合同管理水平，应加强对合同管理人员的培训，提升其法律知识和合同管理技能。培训内容包括合同法律法规、合同条款设计、风险识别与控制、争议解决等方面。通过系统的培训，合同管理人员能够更好地理解和应用合同条款，及时识别和处理合同履行中的问题。

六、结语

优化水利工程合同管理对确保项目顺利实施至关重要。通过完善合同条款的明确性和详细性，可以有效减少履行过程中的争议和法律风险。引入先进的合同管理工具和技术，则能提升管理效率和透明度，确保合同执行的准确性。此外，加强合同管理人员的专业培训，有助于提升其法律知识和管理技能，从而更好地应对合同履行中的各种挑战。综合以上策略，有助于建立一个更加高效、规范的合同管理体系，为水利工程项目的成功实施奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 李沅伦. 水利工程造价咨询中合同管理的关键问题与对策[J]. 水上安全, 2024(11): 31-33.
- [2] 朱军, 张旭晓. 水利工程施工合同管理的过程分析[J]. 四川水利, 2020(S1): 77-79.
- [3] 徐晓东, 宋双喜, 辛明芳. 水利工程合同管理中的缺陷及改进对策[J]. 建筑与预算, 2019(05): 33-35.DOI: 10.13993/j.cnki.jzyys.2019.05.008.
- [4] 王晓灵. 水利工程合同管理存在的问题和改进措施[J]. 民营科技, 2017(11): 148-149.
- [5] 付晓. 浅谈水利工程合同管理中存在的问题和解决措施的分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2017(05): 181.DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.201705157.
- [6] 刘素玲, 李付新, 张西德, 张举林. 浅谈水利工程合同管理的作用和方法[J]. 河南水利与南水北调, 2014(20): 71-72.
- [7] 李欣欣. 浅谈水利工程合同管理中存在的主要问题[J]. 资源节约与环保, 2013(06): 37+46.DOI: 10.16317/j.cnki.12-1377/x.2013.06.110.
- [8] 徐清灵, 刘艳艳. 浅谈如何做好水利工程施工合同管理[J]. 科技信息, 2011(25): 656+709.
- [9] 刘艳艳, 张华云, 徐清灵. 浅议水利工程施工合同管理[J]. 科技信息, 2012(09): 320.
- [10] 付鑫, 李宁, 王先成. 水利工程施工监理中的合同管理[J]. 水利技术监督, 2008(06): 30-31.

地铁车站防水技术问题与解决方案

杨浪

绍兴市轨道交通集团有限公司, 浙江 绍兴 312000

摘 要： 本文针对地铁车站施工中的防水技术问题进行了系统研究，并提出了相应的解决方案。本文先概述了地铁车站防水技术的等级标准、分类以及当前状况与发展动向，奠定了后续问题分析的理论基础。接着，深入探讨了地铁车站施工过程中面临的防水技术难题，涵盖了防水材料选择和防水结构设计两大领域。在防水材料选择方面，审视了材料性能、耐久性以及施工工艺的相关问题；而在结构设计方面，则对自防水设计、接缝处理以及变形缝防水设计的缺陷进行了讨论。最终，提出了一系列针对性地改进措施，涉及防水材料选择的优化和防水结构设计的提升。通过对材料性能的对比分析、耐久性提升措施的提出和施工工艺的改进，以及自防水设计的优化、接缝处理技术的提升和变形缝防水设计的优化，旨在提高地铁车站施工防水工程的质量和效果。

关 键 词： 地铁车站施工；防水技术；材料选择；结构设计；优化方案

Waterproof Technology Issues and Solutions in Subway Station Construction

Yang Lang

Shaoxing Rail Transit Group Co., Ltd. Shaoxing, Zhejiang 312000

Abstract： This paper systematically studies the waterproof technology issues in subway station construction and proposes corresponding solutions. Firstly, it summarizes the grade standards, classifications, current status, and development trends of waterproof technology in subway stations, laying a theoretical foundation for subsequent problem analysis. Then, it delves into the waterproof technology challenges faced during subway station construction, covering two major areas: waterproof material selection and waterproof structure design. In terms of waterproof material selection, relevant issues such as material performance, durability, and construction techniques are examined. Meanwhile, in structural design, defects in self-waterproofing design, joint treatment, and deformation joint waterproofing design are discussed. Finally, a series of targeted improvement measures are proposed, involving the optimization of waterproof material selection and the enhancement of waterproof structure design. Through comparative analysis of material performance, proposals for durability improvement measures, and enhancements in construction techniques, as well as optimizations in self-waterproofing design, joint treatment technology, and deformation joint waterproofing design, the aim is to improve the quality and effectiveness of waterproofing engineering in subway station construction.

Keywords： subway station construction; waterproof technology; material selection; structural design; optimization scheme

引言

随着城市化进程的加快，地铁作为城市公共交通的重要组成部分，其建设规模和速度不断加快。地铁车站作为地铁系统的关键节点，其施工质量直接关系到地铁运营的安全性和乘客的舒适度。在地铁车站施工过程中，防水技术问题一直是困扰工程技术人员的重要难题。由于地铁车站通常位于地下水位以下，一旦发生渗漏水现象，不仅会影响车站的使用功能，还可能导致结构安全隐患，增加维护成本。因此，针对地铁车站施工中的防水技术问题，探讨有效地解决方案具有重要的现实意义和应用价值。本文旨在分析地铁车站施工中常见的防水技术问题，并提出相应的解决方案，以期为地铁车站防水工程的实施提供理论指导和实践参考。通过对防水材料选择、结构设计以及施工工艺等方面的深入研究，本文旨在提高地铁车站防水工程的质量和耐久性，为我国地铁建设事业的发展贡献力量。

一、地铁车站施工防水技术概述

在现代城市交通网络中，地铁车站作为地下交通枢纽，其施

工质量直接关系到地铁系统的安全与效能。防水工程作为地铁车站施工的关键环节，其重要性不言而喻。以下部分将详细介绍地铁车站施工防水技术的相关内容。

（一）地铁车站防水等级及要求

在地铁车站施工中，一般将防渗水分成两个等级：一级、二级。其中，一级防渗水主要在地铁车站的主体框架、机电设施、车站出入口3个部位。二级防渗水主要在风道、风井2个部位。采用全包形式的防水手段，能够在一定程度上实现一级防渗水目标，其中在主体框架防渗水施工时，需要做到表面无印湿。在实施地铁车站防渗水技术的时候，首先，要按相关的标准及原则，因地制宜、综合考虑，并做到以防为主；其次，依据实际情况对地铁站的防水材料按规范和设计的要求进行选择^[1]。通过设定这些具体而详尽的技术指标，可以确保地铁车站复杂多变的水文地质环境中，依旧能够展现出高效且持久的防水能力，从而为乘客营造一个安全、舒适的地下交通空间。这些措施不仅体现了对工程质量的高度负责，也展现了对公共安全与乘客福祉的深切关怀。

（二）地铁车站防水技术分类

地铁车站防水技术的分类极为丰富，其依据不同的作用机制和施工手段，涵盖了结构自防水、附加防水层防水、注浆防水、接缝密封防水等多个技术领域。这些技术各有所长，针对不同的工程条件和特定需求发挥着各自的优势，并且每一项技术都有其特定的施工要求和操作规程。结构自防水技术，其核心在于提高混凝土结构自身的防水性能，这通过优化混凝土的配比和改进施工工艺来实现，以此达到结构本体防水的目的^[2]。附加防水层技术则是在结构的表面增加一层防水层，形成一道物理屏障，从而提升整体的防水效果。注浆防水技术，通过向结构体的缝隙或空洞中注入特制的浆液，构建起一道防水帷幕，有效地阻隔水分的渗透。而接缝密封防水技术，则专注于对接缝部位进行处理，确保这些关键部位的密封性能，防止水分的渗入。通过这些技术的综合运用，可以构建起一个多层次、全方位的地铁车站防水体系，确保其在复杂多变的环境中的防水性能和结构安全。

（三）地铁车站防水技术现状及发展趋势

在建筑行业的快速演进中，材料科学的创新与施工技术的不断进步，正共同推动地铁车站防水技术的飞速发展。目前，这一领域的技术变革正展现出多样化、系统化以及智能化的鲜明特征^[3]。新型防水材料的广泛应用，不仅显著提升了防水层的整体性能，还大幅增强了工程对不同环境条件的适应能力；同时，防水施工技术的创新，为现场施工带来了更为精细、高效的作业模式。此外，信息化管理手段的融入，为地铁车站防水工程的质量监控和工程管理提供了强有力的科学支撑。展望未来，地铁车站防水技术的发展将继续遵循绿色环保的原则，致力于实现长效耐久的目标，并逐步向智能化监控的高级阶段迈进。这将进一步促进防水效果的精准化、环保化和可持续化，为地铁车站的长期稳定运行和乘客的安全舒适出行提供坚实保障。

二、地铁车站施工中的防水技术问题

尽管地铁车站防水技术已取得显著进步，但在实际施工过程中，仍存在诸多技术问题亟待解决。这些问题不仅影响了防水工

程的效果，也对地铁车站的长期安全运营构成了潜在威胁。以下将详细探讨地铁车站施工中常见的防水技术问题。

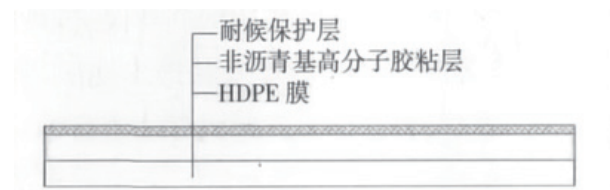
（一）防水材料选择问题

格雷斯 PV100 预铺式高分子自粘胶膜防水卷材，是一种针对地下结构、隧道、水池等对防水性能有着极高要求的工程而精心设计的高性能防水材料。它采用了业界领先的高分子自粘技术，其主要成分是经过特殊改性的聚乙烯，这种材料不仅拥有卓越的抗拉强度，还具备良好的延伸率，从而确保了格雷斯 PV100 在施工和应用过程中展现出卓越的稳定性和耐久性^[4]。该卷材的自粘特性使得它能够在施工过程中与基层实现紧密粘结，形成完整无缝的防水层，有效阻隔水分渗透，确保建筑结构的干燥与安全。

在施工便利性方面，格雷斯 PV100 卷材的表面覆盖了一层特殊的保护膜，这意味着在施工过程中无需使用额外的粘结剂或进行热熔焊接，极大地简化了施工流程，降低了施工难度，并且在一定程度上减少了施工过程中可能对环境造成的影响。其预铺施工方法允许在混凝土底板浇筑之前先行铺设，这一特点使得即使在条件恶劣的施工环境中，也能有效避免施工过程中的机械损伤或人为破坏，确保防水层的完整性。

格雷斯 PV100 卷材的卓越性能还包括了其优异的耐化学腐蚀性和耐根系穿透性，这使得它能够适应多种复杂的地质条件，并且适用于各类植物种植区域。在长期的服役过程中，该材料能够保持稳定的防水性能，不受外部环境变化的影响。其出色的物理性能和化学稳定性，使得格雷斯 PV100 成为建筑工程中不可或缺的防水解决方案，为建筑物的长期稳定和安全运行提供了强有力的保障^[5]。如图1所示，PV100 自粘胶膜防水卷材的构成示意图清晰地展示了其结构特点，进一步印证了其在防水工程中的专业性和可靠性。

图1 PV100 自粘胶膜防水卷材构成示意图



（二）防水结构设计问题

在地铁车站防水工程的综合构建过程中，防水结构设计的合理性无疑是决定工程成败的关键所在。结构设计的核心地位体现在多个层面，尤其是结构自防水设计的重要性尤为显著。该设计理念强调地铁车站的结构本体必须具备一定的防水能力，这构成了防水工程的基本准则^[6]。然而，在保证结构足够强度的同时，如何巧妙地提升其自防水性能，成为设计过程中必须面对的挑战。这要求设计师在材料选择、结构布局以及施工技术等方面进行周密的考量，以实现强度与防水性能的精妙平衡。

进一步来看，结构接缝的处理在防水设计中尤为复杂。地铁车站的结构复杂性导致了众多接缝的存在，这些接缝成为潜在的漏水通道。因此，如何通过精确的设计和精细的施工，确保这些接缝的密封性和长期耐久性，成为防水设计中的关键环节。这不仅涉及接缝材料的选择，还包括接缝构造的优化以及施工工艺的

精细化。

此外，结构变形缝的防水设计同样是对设计师专业素养和实践经验的严峻考验^[7]。地铁车站结构在长期使用中不可避免地会遇到变形问题，如何巧妙地设计变形缝，以有效应对结构变形可能导致的缝隙，防止水分渗透，是防水结构设计中的高级挑战。这要求设计师不仅要拥有扎实的理论知识，还需具备丰富的现场经验和创新能力，以确保防水结构设计在理论和实践中均能达到预期的效果，从而保障地铁车站的长期稳定与安全运行。通过这样的综合设计和精心施工，地铁车站的防水体系才能在严峻的环境考验中保持其坚固和可靠。

三、地铁车站施工防水技术解决方案

针对地铁车站施工中存在的防水技术问题，本文提出了系列解决方案，旨在通过优化防水材料的选择和改进防水结构设计，提升地铁车站防水工程的整体质量和效能。

（一）防水材料优化选择

为确保地铁车站防水工程能够持久且有效地实现其防水目标，至关重要的一步是对防水材料进行细致且全面的优化筛选^[8]。这一过程涵盖了多个维度的综合评估：初始阶段，进行材料性能的对比分析，此乃优化选择过程的关键起点。通过对市场上众多防水材料性能的深入比较，全面评估其抗渗性、拉伸强度、耐腐蚀性等核心性能指标，以甄别出最契合地铁车站特定环境及应用要求的材料。随后，对所选材料的长期耐久性进行深入研究，并实施相应的增强措施，如引入高效改性剂、提升材料纯度等，以此来提高材料在复杂及恶劣环境中的稳定性和持久性。

此外，对材料施工工艺的改进同样至关重要。此情形下，需集中精力于通过优化施工流程、增强施工人员的专业技术与操作水平，以确保所选防水材料在施工现场得到精准且标准化地应用，进而充分展现其优异的防水性能^[9]。这一过程不仅包括对现有施工技术的改良，还涉及对新技术的探索与实践，旨在在保证防水工程质量的同时，提升施工效率并降低整体成本。通过这种全面性的优化选择和精益求精的施工管理，地铁车站防水工程的长效性和可靠性方能得到根本的保障，从而确保地铁车站的安全运营和乘客的舒适体验。

（二）防水结构设计改进

在地铁车站防水工程领域，结构设计的优化起着决定性作用，它是提升整体防水效能的核心。为实现结构自防水设计的最优化，目标在于显著增强地铁车站结构本体的防水性能，这一目标通过采纳先进的新型防水混凝土技术、对结构布局进行科学合理的调整，以及增设高性能防水层等多重策略协同达成。这些综合措施协同作用，有效地增强了结构自身的防水功能，为地铁车站的长期稳定运营提供了可靠的保障。

同时，结构接缝处理技术的提升也是增强防水效果的关键一环。专注于研究和应用更高性能的接缝密封材料与技术，以保障接缝区域的防水性能得到显著提升，从而极大地降低了因接缝缺陷造成的水分渗透风险^[10]。这一技术的进步，对于增强地铁车站防水结构的一体性和安全性具有深远的影响。

此外，结构变形缝的防水设计优化同样是一个不可忽视的环节。这涉及对变形缝构造和材料进行创新性的设计，以适应地铁车站结构可能出现的位移和变形，同时保持优异的防水效果不受干扰。采用这些创新和改进措施，能够有效地应对结构变形带来的挑战，保障防水系统的长期稳定性和有效性。总的来说，这些结构设计的优化策略共同构成了地铁车站防水工程坚固的防线，保障了地铁系统在复杂环境中的安全运行。

四、结束语

总而言之，地铁车站施工中的防水技术问题关系到工程的安全、耐久与运营效率，是地铁建设不可忽视的重要环节。本文通过对地铁车站施工防水技术问题的深入剖析，提出了材料选择、结构设计及施工工艺等方面的优化解决方案。这些方案旨在提高防水工程质量，确保地铁车站的安全与稳定运行。然而，地铁车站防水技术仍需不断探索与创新，以适应不断变化的环境和工程需求。未来研究可进一步关注新型防水材料研发、防水结构设计方法优化以及施工工艺的智能化发展，为我国地铁建设提供更为坚实的技术支撑。希望本文的研究成果能为地铁车站防水技术的发展提供参考，为相关领域的工程技术人员提供启示，共同推动地铁建设事业迈向更高水平。

参考文献

- [1] 吴天林. 地铁施工中地下车站防水施工技术研究 [J]. 路基工程, 2018, (01): 206-208.DOI: 10.13379/j.issn.1003-8825.2018.01.43.
- [2] 周泓. 地铁车站施工缝处防水施工技术 [C] // 《施工技术 (中英文)》杂志社, 亚太建设科技信息研究院有限公司. 2023年全国工程建设行业施工技术交流会论文集 (上册). 中铁十九局集团有限公司 ;2023:3.DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.032733.
- [3] 李岩岩, 姜杨. 地铁施工中地下车站防水施工技术研究 [J]. 建筑与预算, 2023, (03): 49-51.DOI: 10.13993/j.cnki.jzyys.2023.03.017.
- [4] 侯峰. 地铁施工中地下车站防水施工技术浅析 [J]. 中国设备工程, 2023, (04): 224-226.
- [5] 方有峰. 浅谈地铁车站施工缝处防水施工技术控制 [J]. 科学技术创新, 2022, (35): 144-148.
- [6] 闫晓. 地铁施工中地下车站防水施工技术研究 [J]. 运输经理世界, 2021, (33): 1-3.
- [7] 谢祥东. 地铁施工中地下车站防水施工技术 [J]. 科技创新与应用, 2021, 11(30): 129-132.DOI: 10.19981/j.CN23-1581/G3.2021.30.030.
- [8] 郭涛. 地铁施工中地下车站防水施工技术分析 [J]. 中华建设, 2021, (08): 142-143.
- [9] 高帅. 地铁施工中地下车站防水施工技术研究 [J]. 清洗世界, 2021, 37(02): 91-92.
- [10] 刘成亮. 地铁施工中地下车站防水施工技术探究 [J]. 建材发展导向, 2021, 19(04): 83-84.DOI: 10.16673/j.cnki.jcfzdx.2021.0039.

闭式循环水装置冬季开车若干问题经验总结

张彩涛, 张威, 高磊, 商中俊

新疆氯合万物化工有限公司, 新疆 昌吉 831100

摘 要 : 探讨冬季闭式循环水开车的重难点, 开车前需要确认所有准备工作完毕包括但不限于: 系统三查四定工作完成; DCS 自控系统编制完成具备使用条件; 系统内机泵单体试车完成, 所有机泵全部送电备用, 动力、信号电源已通; 各类仪表校验无误, 具备通水条件; 循环水地管敷设、打压完毕, 具备水力冲洗条件; 界外补水供应正常, 系统内进水; 厂房内、外场地清洁, 照明系统充足, 道路畅通; 全厂循环水换热器均具备通水条件, 整个循环水管网畅通无阻; 设备、管道、阀门、仪表等部件施工完毕, 复位验收合格; 管辖范围内的设备具备投运条件, 动力、信号电源已全部接通等。循环水开车需进行管道预膜, 是为了保护金属表面免遭腐蚀, 而利用化学药剂在金属表面上形成一层非常薄的保护膜, 牢固地黏附在金属表面上, 从而抑制冷却水对金属的腐蚀。冬季循环水开车最大的问题是无热源供应, 开式系统还可以将循环水池内通入蒸汽进行热源供应, 闭式系统无热源供应只能采取增加保温及电伴热, 将风机上部用棉被包裹起来, 将管束下方用三防布包裹起来。尽量避免进行冬季开车, 尤其是闭式循环水系统。

关 键 词 : 闭式循环水; 冬季开车; 防冻; 预膜

Experience Summary of Several Problems in Winter Operation of Closed Loop Water System

Zhang Caitao, Zhang Wei, Gao Lei, Shang Zhongjun

Xinjiang Chloride Union Chemical Co., Ltd. Changji, Xinjiang 831100

Abstract : This article discusses the key and difficult points of winter closed-loop water driving. Before driving, it is necessary to confirm that all preparation work is completed, including but not limited to: completing the system's three checks and four confirmations; The DCS automatic control system has been developed and is ready for use; The individual test run of the pumps in the system has been completed, and all pumps have been powered on for backup. The power and signal power sources have been connected; All types of instruments are calibrated correctly and have water supply conditions; The laying and pressurization of the circulating water ground pipe have been completed, and the conditions for hydraulic flushing are met; The water supply outside the boundary is normal, and there is water entering the system; The interior and exterior of the factory are clean, the lighting system is sufficient, and the roads are unobstructed; All the circulating water heat exchangers in the factory have water supply conditions, and the entire circulating water pipe network is unobstructed; The construction of equipment, pipelines, valves, instruments and other components has been completed, and the reset acceptance is qualified; The equipment within the jurisdiction is ready for operation, and all power and signal sources have been connected. Pipeline pre coating is required for the operation of circulating water to protect the metal surface from corrosion. Chemical agents are used to form a very thin protective film on the metal surface, which firmly adheres to the metal surface and inhibits the corrosion of the metal by the cooling water. The biggest problem with driving with circulating water in winter is the lack of heat source supply. Open systems can also introduce steam into the circulating water tank for heat source supply, while closed systems without heat source supply can only increase insulation and electric tracing. The upper part of the fan is wrapped with cotton quilts, and the lower part of the pipe bundle is wrapped with three proof cloth. Try to avoid driving in winter, especially with a closed-loop water system.

Keywords : closed cycle water; winter driving; antifreeze; pre film

前言

循环冷却水种类目前分为闭式和开式^[1]。闭式循环冷却水系统又称为密闭式循环冷却水系统。在此系统中, 不需要大量排污, 循环水消耗很少。现我国应用最广、类型最多的一种冷却水系统则是开式循环水系统。它也是以水冷却移走工艺介质或换热设备所散发的热

量，然后利用热水和空气直接接触时将一部分热水蒸发出去，而使大部分热水得到冷却后，再循环使用。因此，这样的系统也称敞开循环冷却水系统^[2]。

开式循环水该技术具有投资较低、占地面积小、技术要求低系统的设备和管道要求相对更简单等优点，同时也具有耗水量大、水质差易结垢、换热设备腐蚀快、易影响周围环境等缺点^[3]。

闭式循环水具有补水量小、系统密闭不影响周边环境、水质优不易影响后端换热器等优点；同时也具有热负荷大、传热温差小、传热效率比开式系统低、受到风机风压的局限、考虑冬季防冻问题等缺点。

在我国目前东部等水资源丰富的地区主要采取的是开式循环水冷却塔，在西北缺水地带已经逐渐采取闭式循环水水系统取代开始循环水。

一、项目简介

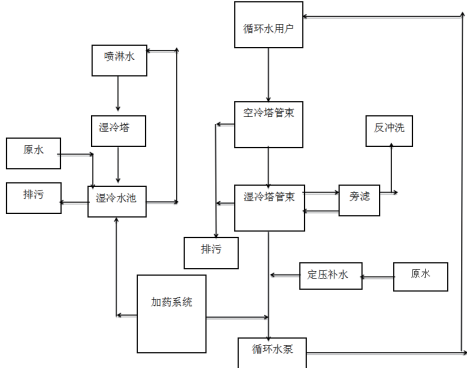
在新疆某公司建造的10万吨/年氢氧化钾项目，其中包含两套闭式循环水装置，循环水量分别为3000m³/h和1600m³/h。其中3000m³/h循环水站供应范围包括：电解车间、一次盐水车间、二次盐水车间、氯气处理车间、氯化氢合成车间、氯化氢压缩车间、冷冻站车间等。1600m³/h循环水站供应蒸发固碱装置。各装置耗水量见下表。

循环水供水条件表							
序号	车间名称	用水量(m ³ /h)		水温(℃)		水压(MPa)	
		正常	最大	进	出	进	出
1	二次盐水及电解	500	510	31	41	0.5	0.3
2	氯气和废气处理	300	350	31	41	0.5	0.3
3	氯处理和氯化氢合成	320	708	31	41	0.5	0.3
4	氯化氢压缩	90	100	31	41	0.5	0.3
5	冷冻站A	869	869	31	41	0.5	0.3
6	冷冻站B	400	500	31	41	0.5	0.3
7	一次盐水	65	70	31	41	0.5	0.3
8	合计						
9	固碱	1500	1600	31	41	0.5	0.3
10	合计	1500	1600				

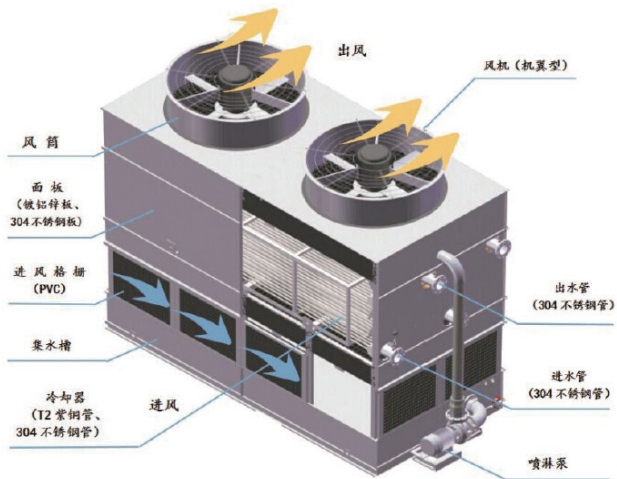
表1. 各装置水量耗用表

二、装置简介

闭式循环水装置主要分为内、外循环两部分，由空冷换热器、喷淋水泵、循环水泵、旁滤装置、风机、定压补水装置、加药装置（可选）组成；其中定压补水装置主要用于稳定闭式系统的运行压力，加药装置主要用于控制内部循环水的水质及外部防止喷淋水侧腐蚀、结垢和微生物的滋生。工艺流程图如下图1，空冷器设备结构原理图如下图2。



> 图1. 工艺流程图



> 图2. 空冷器设备结构原理图

三、原始开车

开车前需要确认所有准备工作完毕包括但不限于：系统三查四定工作完成；DCS 自控系统编制完成具备使用条件；系统内机泵单体试车完成，所有机泵全部送电备用，动力、信号电源已通；各类仪表校验无误，具备通水条件；循环水地管敷设、打压完毕，具备水力冲洗条件；界外补水供应正常，系统内进水；厂房内、外场地清洁，照明系统充足，道路畅通；全厂循环水换热器均具备通水条件，整个循环水管网畅通无阻；设备、管道、阀门、仪表等部件施工完毕，复验验收合格；管轄范围内的设备具备投运条件，动力、信号电源已全部接通；检查系统各阀门均在规定的开位或关位，灵活好用；开车所用各类化学药剂已按规定型号、数量运到现场；空冷器下方已经彻底清理，闭式冷却塔喷淋水池清理；用手转动风叶，确保风叶转动正常无阻碍，目测通风机叶片，从叶尖到通风机风筒内壁之间的剪刀间隙应近似 10-30mm，且间隙均匀；叶片应被安全的紧固在风机轮毂上；循环水泵与配用电机地脚螺栓应紧固，联轴器应连接好，并有防护罩；检查电器及电机绝缘情况、接地良好；检查循环水泵、电机润滑油油质、油位符合要求。

准备工作全部检查完毕且合格后可以联系调度，要求各用户及仪表、电气等有关部门进行现场配合，进行开车。

（1）系统充水排气：将脱盐水通过补水管直接注入系统内

部，注水时保证高点排气阀投入使用并能正常工作，确保系统填充完整；

(2) 补水稳压罐补气阀门打开，压力调节至系统设计要求的数值；

(3) 冷却塔区域隔断阀关闭，旁路阀门开启；打开Ⅰ号回水电动阀，关闭Ⅱ号回水电动阀，打开空冷上下塔DN400所有阀门，关闭湿冷上下塔DN400所有阀门，打开进水电动阀，继续充水，直到空冷器顶部排气阀溢流，确保管线形成闭合回路无憋压处。(初次开车3000方循环水进水800m³水，1600方循环水进水200m³水)；

(4) 调节喷淋水池水位使喷淋水池水位至正常水位，且补水系统正常(冬季不开)；

(5) 确保管路系统排气结束冲水完成，主循环泵准备就绪，无故障信号，可以启动循环水泵；

(6) 带负荷启动时要先根据出口介质温度，手动控制风机的运行台数，以实现控制出口介质温度在工艺要求的范围内。在手动控制方式将出口介质温度控制稳定后，并将风机程控投用。

四、冬季开车所遇到问题及解决方案

1. 冬季无热源提供

开车时间为23年11月10日，气温为9℃。当时由于其他装置未具备开车条件无法给循环水提供热源，由于是开式循环水外部热源难以提供，我们采取的方法是循环水不进入空冷器的换热管束只在主管线进行循环使用使循环水与管道摩擦生热提供热源可

以保持温度在27℃。同时在运行一个月后大气气温到达-20℃左右我们又采取了给循环水主管线进行保温及加装电伴热，此时水温可以维持在10-15℃左右。

2. 管束冻裂

在24年1月左右，由于冷冻站装置需要调试，循环水需要进入管束进行降温满足其工况要求。在综合考虑下进入一组管束满足其要求，在冷冻站调试完毕后，由于其他装置不具备开车条件，导致冷冻站停车，循环水无热源供应，导致进入管束水温急剧下降，将管束冻裂，后续及时将冻裂管束切除出去，只在主管线内进行循环。在后续2月循环水又进入一组管束满足后续后面工段调试，后续工段调试完毕后，我们采取将进入管束对应的风机上部用棉被包裹起来，将管束下方用三防布包裹起来，取得很好的效果，在-30℃的气温下管束依旧正常运行。

五、总结

1. 循环水开车需进行管道预膜^[4]，是为了保护金属表面免遭腐蚀，而利用化学药剂在金属表面上形成一层非常薄的防护膜，牢固地黏附在金属表面上，从而抑制冷却水对金属的腐蚀^[5]。

2. 冬季循环水开车最大的问题是无热源供应，开式系统还可以将循环水池内通入蒸汽进行热源供应，闭式系统无热源供应只能采取增加保温及电伴热，将风机上部用棉被包裹起来，将管束下方用三防布包裹起来。

3. 尽量避免进行冬季开车，尤其是闭式循环水系统。

参考文献

- [1] 王厚亮. 循环水开车的几点体会 [J]. 工业水处理杂志, 1982, (4):46-48.
- [2] 昂朝庆. 中安煤化工装置开车初期循环水系统运行管理 [J]. 大科技, 2019, (11):187-188.
- [3] 王冰, 刘志成. 循环水装置冬季开工实例及分析总结 [J]. 河南化工, 2017, 第34卷 (1):49-51.
- [4] 黎素平, 鲁进彦. 化学清洗预膜在循环水处理中的应用 [J]. 甘肃科技纵横, 2010, (1):37.
- [5] 袁秋礼, 刘政, 任大奎. 循环水的系统化学清洗与预膜 [J]. 洗净技术, 2003, (0):39-41.

河流生态系统修复与水道治理工程研究

廖建兵

鄂州市河道堤防保护中心, 湖北 鄂州 436000

摘 要： 本研究围绕河流生态系统修复与水道治理工程两大核心内容展开，旨在探讨理论基础与关键技术，以及理论与实践的整合研究。本研究伊始，详尽剖析了河流生态系统的结构功能复合体，并深入探讨了生态系统修复的根本原理。在此基础上，提出了针对河流生态系统修复的核心技术措施。继而，本文概述了水道治理工程的核心要素，解析了其与生态系统修复之间的紧密联系，并提出了治理工程的设计原则及操作策略，同时对技术革新与未来趋势进行了展望。最终，本研究深入探讨了河流生态系统修复与水道治理工程之间的协同作用机制，提出了以生态系统健康为导向的治理工程优化方案，并就修复与治理工程的持续管理与维护策略进行了深入讨论。

关 键 词： 河流生态系统；生态修复；水道治理；工程研究；生态系统稳定性

Research on River Ecosystem Restoration and Waterway Management Engineering

Liao Jianbing

Ezhou River and Embankment Protection Center, Ezhou, Hubei 436000

Abstract： This study focuses on the two core areas of river ecosystem restoration and waterway management engineering, aiming to explore the theoretical foundation, key technologies, and the integration of theory and practice. At the beginning of this study, a detailed analysis of the structural and functional complex of the river ecosystem was conducted, and the fundamental principles of ecosystem restoration were thoroughly explored. Based on this, core technical measures for river ecosystem restoration were proposed. Then, this paper summarizes the core elements of waterway management engineering, analyzes its close connection with ecosystem restoration, and proposes design principles and operational strategies for management engineering. Additionally, it provides an outlook on technological innovations and future trends. Finally, this study deeply explores the synergistic mechanism between river ecosystem restoration and waterway management engineering, proposes an ecosystem health-oriented optimization plan for management engineering, and conducts an in-depth discussion on the continuous management and maintenance strategies of restoration and treatment projects.

Keywords： river ecosystem; ecological restoration; waterway management; engineering research; ecosystem stability

引言

随着社会经济的快速发展，人类活动对河流生态系统的影响日益加剧，导致河流生态环境问题日益突出。河流生态系统的退化不仅影响了水资源的合理利用，还对生物多样性、水质安全及区域生态环境造成了严重威胁。因此，河流生态系统修复与水道治理工程研究成为当今水资源保护与生态文明建设的重要课题。本研究旨在探讨河流生态系统修复的理论基础与实践方法，以及水道治理工程的关键技术，以期为实现河流生态系统的健康、可持续发展提供科学依据。

一、河流生态系统修复理论基础与关键技术

在深入探讨河流生态系统修复之前，须深刻把握河流生态系统的本质属性及其所发挥的生态功能。以下章节将系统阐述河流生态系统的结构与功能，并在此基础上，揭示生态系统修复的基本原理，探讨河流生态系统修复的关键技术，以及构建科学的评价体系。

（一）河流生态系统结构与功能

河流生态系统的结构与功能是研究河流生态系统的核心问题其本质是研究河流生命系统与生命支持系统的相互关系。近 20 多年来各国学者提出了不少概念和模型试图从这个复杂、开放、动态、非平衡和非线性的河流生态系统中抽象、概括出一些主要特征增进对系统的理解^[1]。河流生态系统的结构与功能构成了一个错综复杂、相互依存的生态网络，从宏观的地理形态和水文条件到

微观的生物群落组成，每一层面都深刻影响着系统的整体健康和动态平衡。这一系统以其独特的地理形态和水文特征，塑造了多样的河床材料和水质环境，为生物多样性的维持和生态功能的发挥提供了基础。生物群落的相互作用和能量流动，不仅体现了河流生态系统的生产、消费和分解功能，而且揭示了其在物质循环和生态系统服务提供方面的重要角色^[2]。河流生态系统的调节功能，如气候调节、洪水缓冲和水质维持，进一步彰显了其在维持区域乃至全球环境平衡中的不可或缺性。结构的复杂性与功能的多样性相互交织，赋予了河流生态系统独特的韧性和适应性，使其在面对环境挑战时能够保持生态过程的连续性和生态服务的稳定性，体现了自然生态系统的深邃内涵和科学研究的深远意义。

（二）生态系统修复的基本原理

生态系统修复的核心理念植根于生态系统的自我恢复力，依托于对生态系统复杂内部关系的深刻洞察，如物种间的互动、生态位分化和功能耦合的生态过程。修复实践遵循自然法则，倡导最小干预，旨在通过激发生态系统的自组织潜能，以最经济的手段实现生态功能的恢复与提升。在此过程中，针对生态退化的根本原因，包括污染、栖息地破坏和外来物种入侵，依据物种多样性、生态位原理和生物适应性，采取物种重新引入、生境重建和生态过程恢复的措施，旨在重构生态系统的结构和功能^[3]。同时，充分考虑生态系统的时空尺度特性，确保修复措施在适当的时空范围内得以执行，以维护修复工作的成效及其持续性。更重要的是，生态系统修复强调了人与自然的和谐共融，融合自然属性与社会经济考量，追求生态、社会与经济的协同发展。此举需求采纳跨学科、跨领域的系统性方法论，拟定科学的修复策略，旨在促进生态系统的持久健康与稳定，进而实现人与自然的和谐共生。

（三）河流生态系统修复的关键技术

河流生态系统修复的关键技术聚焦于重塑河流的自然水文特征，通过科学规划水资源分配和生态水工学方法，如生态堰坝建设和河岸植被修复，模拟自然水循环，保障生态流量，为水生生物创造适宜的生境。同时，修复工作着重于生物群落的重建，通过本土物种重引入和栖息地恢复，促进生态过程的完整性和功能群落的稳定性。污染控制和水质改善技术则通过综合措施削减污染物，运用生态工程手段提升河流自净能力，恢复水体生态功能。此外，对河流地貌和沉积过程的调控，如模拟自然河流地貌多样性，调控泥沙运动，旨在恢复生境多样性，为不同生物提供生存空间^[4]。

二、水道治理工程理论与实践

水道治理工程作为水资源管理的重要组成部分，对于维护河流健康、保障水资源安全至关重要。以下章节将全面概述水道治理工程的基本内容，探讨其与生态系统修复的紧密关联，阐述设计原则与实施策略，并展望技术创新与未来发展的方向。

（一）水道治理工程概述

水道治理工程是一项集科学性、系统性、综合性和可持续性

于一体的复杂工程实践，其核心目标是通过一系列工程措施和管理策略，恢复和提升水道的自然功能，保障水资源的合理利用与水生态环境的持续健康发展。该工程概述涉及水文学、水力学、生态学、环境工程等多个学科领域，旨在深刻揭示水道治理的内涵和价值^[5]。

水道治理工程涵盖了水道的规划、设计、施工、维护和管理全过程。工程以流域为单位，综合考虑水循环、水资源配置、水质保护、生态系统服务、防洪减灾等多个方面。通过对水道的疏浚、拓宽、截弯取直、生态修复、景观重塑等手段，旨在实现水流畅通、水质改善、生物多样性恢复、景观美学提升等多重目标。

（二）水道治理工程与生态系统修复的关联性

水道治理工程与生态系统修复之间的关联性，深刻揭示了二者之间相互依存、相互促进的紧密联系。这种关联性体现在，水道治理工程的核心目标在于恢复和强化水道的自然属性和功能，而生态系统修复则专注于重建生态系统的生物多样性和生态服务功能^[6]。这种工程与生态相结合的策略，不仅体现了对水环境综合治理的深刻洞察，也体现了对生态系统完整性和自然规律的尊重。

在实施水道治理工程的过程中，通过精心规划的水文条件改善、水质优化、栖息地恢复等综合措施，不仅为生态系统的自然修复和恢复提供了坚实的基础，同时也确保了水资源的长期可持续利用。这种做法充分展现了现代治水理念中追求工程与生态和谐共生的先进思想。在此过程中，每一项工程措施都被赋予了更深层次的专业内涵，不仅着眼于短期的治理效果，更注重长远的生态效益，从而在专业性和内涵上达到了一个新的高度，体现了人类对自然环境的深刻理解和负责任的态度。

（三）水道治理工程的设计原则与实施策略

水道治理工程的设计原则与实施策略，是确保工程科学性、合理性和有效性的关键所在，其核心在于遵循自然法则和生态规律，以生态优先、安全为前提，综合运用现代工程技术和生态修复理念，精心规划和执行每一项治理措施。在设计原则方面，始终坚持流域综合治理、生态保护与恢复并重，以及适应性管理三项基本原则，确保工程既能满足防洪、供水、发电等基本需求，又能保护和恢复水生生态系统^[7]。在实施策略上，则采取分期分步、动态调整的方法，结合地理信息系统、水文模拟等先进技术，精准识别治理重点区域，合理配置资源，同时强化监测和评估，以实现水道治理工程的长期稳定和生态系统的持续改善，体现了对水道治理工程深刻的专业理解和丰富的实践内涵。

（四）水道治理工程的技术创新与未来发展

水道治理工程的技术创新与未来发展，紧密依托现代科技的发展趋势，不断探索和突破传统工程技术的局限，以智能化、绿色化、综合化为核心导向，推动着水道治理领域的深刻变革。技术创新方面，依托大数据分析、云计算、物联网等信息技术，实现了对水道系统动态监测与智能管理，同时，生态材料、生态护坡、水生植物修复等新技术的研究与应用，有效提升了水道生态功能的恢复与增强^[8]。未来发展则聚焦于构建智慧水网体系，通过

集成创新的水资源管理模型、水文预报模型和灾害预警系统，实现水道治理工程的精准决策和高效响应，旨在推动水道治理向更加智能化、精准化、可持续化的方向发展，这不仅体现了对水道治理工程科学发展的深刻洞察，也彰显了对于构建和谐人水关系的不懈追求和深远内涵。

三、河流生态系统修复与水道治理工程的整合研究

在河流生态系统的修复与水道治理工程中，两者的整合研究是实现河流健康和可持续管理的关键。以下章节将深入探讨修复与治理工程的协同作用机制，阐述以生态系统修复为导向的水道治理工程优化策略，并讨论修复与治理工程的长效管理与维护措施。

（一）修复与治理工程的协同作用机制

修复与治理工程的协同作用机制，是一种将生态系统修复的目标与水道治理工程实践紧密结合的运作模式，它强调在尊重自然生态过程的基础上，通过工程措施与生态措施的有机融合，实现二者之间的相互促进和共同提升。这种机制深入挖掘了生态学原理在工程实践中的应用价值，通过构建生态工程与水道治理的协同平台，不仅确保了工程效益的最大化，而且促进了生态系统的自我修复和长期稳定，展现了高度的专业性和深刻的生态智慧^[9]。在这一机制下，修复与治理工程不再是孤立的单元，而是形成了一个相互依存、相互作用的整体，为水环境综合治理提供了科学有效的路径，体现了对生态文明建设内涵的深刻理解和实践探索。

（二）生态系统修复导向的水道治理工程优化

生态系统修复导向的水道治理工程优化，是一种以生态系统健康为核心，以恢复和提升生态功能为目标，对传统水道治理工程进行创新和改进的策略。它强调在工程设计和实施过程中，充分考虑生态系统的需求，通过优化工程布局、调整施工技术、采用生态友好材料等措施，最大限度地减少对生态环境的负面影响，同时促进生态系统的自然修复和增强^[10]。这种优化策略体现

了对水道治理工程与生态环境关系深刻理解的专业素养，以及对生态系统完整性和可持续性高度重视的内涵。通过这种优化，水道治理工程不仅能够实现其传统功能，更能在保护和恢复生态环境方面发挥积极作用，为构建和谐人水关系和实现生态文明建设提供有力支撑。

（三）修复与治理工程的长效管理与维护

修复与治理工程的长效管理与维护，是确保河流生态系统修复成果和水道治理工程效益得以持久发挥的关键环节，它要求建立一套科学、系统、动态的管理体系，以实现工程全生命周期内的持续监督、定期评估和及时调整。这一过程涉及对工程结构稳定性、生态功能恢复状况、水质水量变化等关键指标的长期监测，以及对可能出现的问题和风险的预见性管理。长效管理与维护不仅体现了对工程质量和生态效果的高度负责，更彰显了对自然资源可持续利用和生态环境持续改善的深远考量，它要求管理者具备前瞻性的视野和专业的素养，以确保修复与治理工程能够适应环境变化，满足社会需求，持续地为维护河流健康和保障区域水安全作出贡献。

四、结束语

展望未来，河流生态系统修复与水道治理工程研究需在以下几个方面继续深化：一是加强跨学科研究，融合生态学、水利工程、环境科学等多领域知识，提高修复与治理技术的针对性和实用性；二是关注新技术、新材料在河流生态修复与水道治理中的应用，提高工程效果和可持续性；三是充分考虑气候变化、区域差异等因素，制定具有针对性的修复与治理策略；四是强化政策法规支持，建立健全河流生态环境保护与治理的长效机制。

总之，河流生态系统修复与水道治理工程的研究任务艰巨且道路漫长，然而坚信在全社会的共同协作与努力下，我国河流生态环境必将迎来显著的改善，进而实现人与自然和谐共生的理想图景。本研究希望能为相关领域的专家学者提供有益的启示，为推动我国河流生态环境保护与治理事业的发展贡献一份力量。

参考文献

- [1] 董哲仁. 河流生态系统结构功能模型研究[J]. 水生态学杂志, 2008, 29(05): 1-7.
- [2] 董哲仁, 孙东亚, 赵进勇, 等. 河流生态系统结构功能整体性概念模型[J]. 水科学进展, 2010, 21(04): 550-559. DOI: 10.14042/j.cnki.32.1309.2010.04.016.
- [3] 王瑞霖, 邹晶, 狄剑英, 等. 河流旁路生态系统构建及应用实践[J]. 环境生态学, 2023, 5(10): 103-108.
- [4] 蔡晨茵, 赵立科, 徐慧, 等. 基于功能价值法的河流生态系统服务价值优化综合评估[J]. 水电源科学, 2023, 41(09): 44-47+35. DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20222401.
- [5] 徐宗学, 马欣洋. 河流生态系统健康评价——以银川市典农河为例[J]. 水利发展研究, 2023, 23(09): 1-7. DOI: 10.13928/j.cnki.wrrdr.2023.09.001.
- [6] 张展, 张瑜, 张岩, 等. 河流生态系统中磷的运移与循环[J]. 河南水利与南水北调, 2023, 52(07): 14-15+20.
- [7] 刘倩, 白钰. 山区乡村段河流生态系统修复策略研究[J]. 河南水利与南水北调, 2023, 52(07): 9-11.
- [8] 曾思琦, 范舒欣, 董丽, 等. 浅谈河流生态系统修复中的植物景观营建[J]. 景观设计, 2023, (03): 86-90.
- [9] 陈默. 水电开发对河流生态系统生产总值影响研究[D]. 重庆交通大学, 2023. DOI: 10.27671/d.cnki.gcjtc.2023.000902.
- [10] 张瑞阳. 太子河河流生态系统健康状况评价[J]. 地下水, 2023, 45(03): 105-106+126. DOI: 10.19807/j.cnki.DXS.2023-03-035.

水平~竖直联合排渗体在赤泥坝加固中的应用

张尤慧

中冶武勘工程技术有限公司, 湖北 武汉 430080

摘 要 : 水平孔~竖直井联合自流排渗工艺是国内领先的矿山尾矿坝坝体降低浸润线的方法, 它采用了竖直井与水平排渗管双重同步自流排渗的原理, 具有排渗量大、浸润线降幅大、排渗加固效果显著、不需动力维护、施工简单快捷等优点, 适用于各种尾砂类矿山尾矿坝坝体排渗加固。由于尾矿砂渗透性能好, 地层均匀, 坝坡较缓, 竖井浅, 容易实现竖井与水平孔的对接。而在尾矿赤泥堆积坝中, 由于坝体由胶结、半胶结及未胶结的赤泥组成, 坝坡陡, 竖直高度大, 传统的竖井施工工艺及其与水平孔的对接技术难以实现, 笔者及团队根据某赤泥坝坝体实际情况, 首次在赤泥坝中引进应用“水平孔~竖直井联合自流排渗技术”并取得了成功, 解决了该工艺在中深微型竖井管与水平孔的精准对接难题。开创了在赤泥坝中采用“水平孔~微型竖井管联合自流排渗工艺”进行排渗加固治理的先例^[1]。

关 键 词 : 浸润线; 微型竖井; 水平孔; 水平孔~微型竖井联合自流排渗体; 赤泥坝

Application of Horizontal~Vertical Combined Seepage Drainage Body in Red Mud Dam Reinforcement

Zhang Youhui

WSGRI Engineering& Surveying Incorporation Limited. Wuhan, Hubei 430080

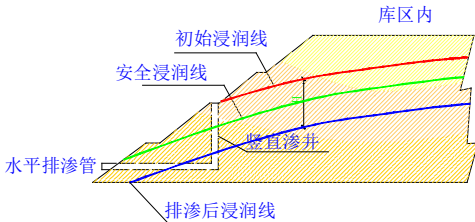
Abstract : The horizontal hole~vertical shaft combined artesian infiltration drainage process is the leading method for reducing the infiltration line of the mine tailings dam body in China, which adopts the principle of dual synchronous self-flowing infiltration drainage of the vertical shaft and the horizontal drainage pipe, and has the advantages of large drainage volume, large reduction of infiltration line, remarkable drainage reinforcement effect, no dynamic maintenance, simple and fast construction, etc. It is suitable for the drainage and reinforcement of tailings dams of various tailings mines. Due to the good permeability of tailings sand, uniform formation, slow dam slope and shallow shaft, it is easy to realize the docking of vertical shaft and horizontal hole. In the tailings red mud accumulation dam, because the dam body is composed of cemented, semi-cemented and uncemented red mud, the dam slope is steep, the vertical height is large, the traditional shaft construction technology and its docking technology with the horizontal hole is difficult to realize, the author and his team according to the actual situation of a red mud dam dam, the first time to introduce the application of "horizontal hole~vertical shaft combined self-flow seepage drainage technology" in the red mud dam and achieved success, to solve the process in the medium and deep micro vertical tube well and horizontal hole accurate docking problem. It has created a precedent for the use of "horizontal hole~micro vertical tube well combined with artesian seepage drainage process" for infiltration reinforcement treatment in red mud dams.

Keywords : infiltration line; micro vertical shaft; horizontal hole; horizontal hole~micro vertical shaft combined with artesian seepage body; red mud dam

一、水平孔~竖直井联合自流排渗体降低地下水浸润线加固坝体的原理

水平孔~竖直井联合自流排渗体结构参见图1, 它是由竖井和水平排渗管组成, 二者必须准确地对接形成一个有机的完整体才能有效地发挥其排渗作用。

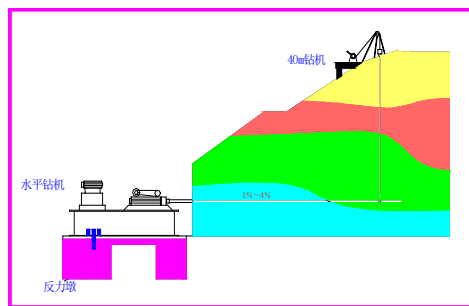
水平排渗管是排渗体的主体, 它与水平方向向上呈一定夹角, 其坡度为1%~4%。它具有集水和导排水双重功能。竖井是在位于水平排渗管终点的坝体表面沿垂直方向施工一组竖直孔, 然后向内充填入透水性能较好的滤料或安装透水滤管而成^[4],



> 图1 水平~竖直联合自流排渗体加固原理示意图

它主要是将各层透水性不同的尾矿体在竖直方向上联系起来而增加垂直渗透效果, 让上部被透水性较弱的尾矿泥所阻隔的水能顺利沿竖井下渗到水平排渗管而排出坝外。

作者简介: 张尤慧(1978.09-), 苗族, 本科, 中共党员, 现就职于中冶武勘工程技术有限公司, 工程师, 研究方向: 岩土工程勘察设计咨询等。



> 图2 水平-竖直联合自流排渗体加固施工示意图

二、不同性能尾矿坝排渗体参数的选取

（一）排渗体间距的确定

（1）铁矿尾矿粉的颗粒度较粗，其透水性一般较好，其渗透系数一般在 10^{-3}cm/sec ，其间夹渗透系数小于 10^{-5}cm/sec 的尾矿泥夹层，需在现场进行抽水注水试验等水文地质勘查求取其参数^{[5][6]}。对于这类透水性好的地层，根据施工经验排渗体间距一般取值为16~20米。

（2）对于铬及铅锌矿、钼矿、铜矿，其尾矿颗粒度稍细，渗透性在 10^{-4}cm/sec 左右，一般排渗体间距取值在12~16米区间。

（3）对于硫铁矿、金矿等采用^[7]化选工艺的矿，其尾矿极细，渗透系数在 10^{-5}cm/sec 左右，一般排渗体间距取10~14米为宜。

（4）对于铝厂赤泥坝，其母矿为粘土矿，排放的尾矿颗粒在尾矿库内随着时间的推移而具有逐渐胶结的性能，由于其胶结程度的不同导致其排渗加固体间距的设置较为复杂，其排渗设计需接合其采选工艺和尾矿的松散程度、颗粒大小等的不同而采用不同的排体间距。

（二）排渗体水平排渗管长度的确定

从理论上讲，排渗体水平排渗管长度越长，其排渗效果将越好，但长度过长，其施工难度也成倍数关系增加，造价也相应呈倍数上升，因此需寻求一个性价比比较高的排水管管长值。可根据为维持坝体稳定所需干滩面长度估算，若一坝体需坝前50米干滩面才能保证坝体稳定，则水平管长以大于 $1.2 \times 50\text{m} = 60\text{m}$ 为宜，设计一般取值60~70m。目前已施工工程中单管最长已达到142米（中州铝厂赤泥坝加高治理工程）。根据多年施工经验，建议尾矿渗透系数大于 10^{-4}cm/sec 的坝体取值70~80米为宜。

（三）水平排渗管开孔率的选择

水平排渗管除本身具备集水和自流排渗的功能外，还对具有集水功能的竖井起导流排水作用，以形成另一个更大范围的降落漏斗，从而达到更有效的排渗效果。因此，水平排渗管就应有一个经济合理的开孔率。

理论上开孔率愈大排水条件愈好，但实验结果表明，开孔率从7%增加到15%时，其综合渗透系数几乎不变，水平管对被保护的尾矿砂无阻水作用。因此，从既满足水平排渗管有良好的排渗能力，又保证其具有足够的承受送管荷载（20~30MPa）和拉压强度（最大顶推力36kN，最大拉管力100MPa）的作用下，最后选择开孔率8%左右较合适。水平排渗管的下游端部5~10米为无孔管，便于管外封孔堵渗。

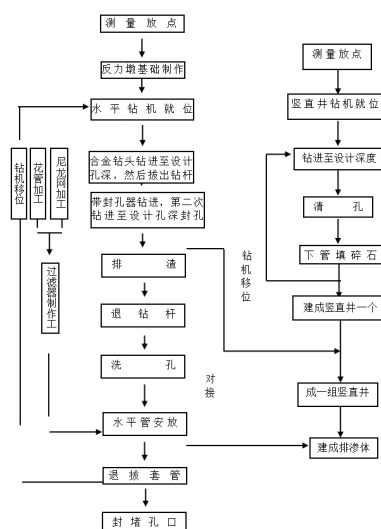
（四）竖直井参数的选择

因竖井起着将各向异性的尾矿体内的水体上下联系起来的作用，为将尾矿体内的上层水导入水平排渗管内，竖井必需与水平管相切并进入水平管底标高之下，其底部标高要求必须小于相切时水平排渗管所处位置的标高，由于竖井施工及长期运行时不可避免地会在管底部产生一部分沉淀堆积物，故竖井施工时底标高还要考虑竖井的沉淀管作用^[8]。故竖井井底标高位于离水平排渗管终端底标高约3~5米范围内。

三、排渗体施工工艺及技术要求

（一）排渗体施工工艺

排渗体施工工艺流程图



（二）施工技术要求

（1）排渗体是以排水、降低坝体浸润线为目的，因此在钻探施工过程中严禁采用泥浆护壁，需完全清水或干孔作业，其钻探具体要求要满足相关钻探技术标准^[9]。

（2）竖井与水平排渗管必需严格对接，对接是该工程的关键技术之一；一般可采用测量放线加经验估算法找准竖井点位或先采用高精度数字水平测斜仪对水平孔进行精确测量，然后结合测量放线进行施工竖井定位。

（3）水平孔施工时应严格控制施工设备扬角，控制水平孔向上仰角在1%~4%之间，严禁水平管向下倾斜。

（4）施工过程中下入孔、井内的充填材料必需洁净：土工布无污染且不得有破损（若有破损需及时修复），充填滤料需清水冲洗干净，以确保建成后的排渗体的排渗效果，并控制排渗的含砂量。

（5）施工前在坝体布置一定量的观测孔^[10]，观测孔尽量设置在排渗体之间，排渗体终点处也需设置相应的观测孔。及时观测水位，判断浸润线的变化情况，掌握地下水浸润线的动态变化规律，形成系统的地下水位观测资料以进一步指导、优化设计。

（6）单组排渗体施工完毕后应定时测量单孔排水量并做好记录，观测排渗量变化情况，必要时应对排出水进行含砂量分析，以确定排渗体对坝体的影响。

（7）整个排渗工程完工后，应及时对坝面进行恢复。

四、河南中州铝厂某赤泥堆场排渗加固案例

（一）工程概况

河南中州铝厂某赤泥堆场为沟口筑坝，沟内堆积，呈“V”字型，坝体由初期坝和逐渐堆高的各级子坝组成。其中初级坝的坝高18.00m，标高为168.00m，坝顶宽4.00m，坝底宽87.13m，坝外坡坡比1:2.25，坝内坡坡比1:2.25，坝外坡坡脚设置一道堆石排水棱体，坝前设置一条截水沟。坝顶最终设计标高为220m（设计坝高为70m）。在堆坝标高约190.00m（坝高49m）时，坝体顶部平台出现两条平行裂缝。裂缝在坝体外侧呈倒“八”字形，延伸至坝底，裂缝宽度约2—3cm。东侧裂缝出现泄水现象（一度呈现浑浊），坝体外侧二级初期坝坝底出现几十处鼓起现象。块石鼓起出现潮湿现象。两侧裂缝与下部的初期坝鼓起部分的连线基本上呈“U”形。坝体浸润线偏高，坝体安全受到威胁，必须进行排渗加固治理。为此，项目团队开展技术攻关研究，对水平~竖直井联合自流排渗工艺技术在弱渗透性能赤泥坝中进行排渗加固的技术可行性进行了试验研究，并首次在赤泥坝中采用“水平孔~微型竖直管井联合自流排渗技术”对其坝体进行排渗加固治理。

（二）场区工程地质、水文地质条件简述

1. 场区地层堆积方式

尾矿赤泥的堆积方式主要为水力填充法，将赤泥和水的混合物通过输送管道向堆场内排放，赤泥通过沉淀、沉积，澄清的尾水经回水塔、回水管线再泵送回氧化铝车间再利用。

2. 堆积地层

据筑坝工艺及勘探揭露，库区两侧主要由粗颗粒赤泥组成，呈胶结及半胶结状态，库区中轴线部位主要由细颗粒及部分粗颗粒赤泥组成，细颗粒赤泥大部分为未胶结或半胶结状态，粗颗粒赤泥基本处于半胶结状态；子坝体内赤泥由粗颗粒赤泥组成，呈胶结状态；未胶结泥状或砂状赤泥以橙黄、灰绿色为主，水平层理发育，夹砂状赤泥薄层，震动析水，具触变现象，很湿~饱和，软塑~流塑。半胶结泥状或砂状赤泥以橙黄、灰绿色为主，水平层理发育，层间夹砂状赤泥薄层，岩芯较破碎，一般呈短柱状，湿~很湿，可塑~硬塑。胶结状赤泥以橙黄、灰绿、兰灰等颜色，水平层理发育，夹薄层半胶结泥状赤泥薄层，岩芯一般呈长柱状。

3. 库区水文地质条件

堆场地下水总体上呈中部高，两侧低，库内高，坝前低的趋势。该地下水属赋存于未胶结及半胶结状赤泥中的地下潜水，受赤泥龟裂裂隙的影响，局部亦可形成小范围的上层滞水，其补给源为生产排放赤泥水及少量的大气降水。据工勘报告中现场注水试验结果可知，半胶结赤泥渗透性较好，未胶结及胶结赤泥渗透性较差，初期坝代料为不透水介质，故堆场赤泥均为弱透水介质。

（三）竖直管井与水平孔对接难题及关键技术

在传统的尾矿砂堆积坝中，竖直井孔深度较浅，约12—15m左右，尾矿砂较松散，渗透性能好，其竖直井采用“套管相切法+管内高压射水排砂”成井，各竖直井外径相切相连，从而很容易实现竖直井与水平孔的对接。但在渗透性能弱且局部胶结的赤泥坝地层中，坝体为各地层呈胶结、半胶结状态，各层土软、硬不均呈互层状分布，且竖直井孔深达到28—30m左右。孔径为 $\phi 150\text{mm}$ ，过去传

统的竖井施工设备和施工工艺完全不能满足要求，须采用专制回转钻进工艺成孔，然后下入 $\phi 75 - 90\text{mm}$ 塑料管；由于回转钻进时钻孔垂直度很难满足1‰，竖直井管中心距须大于300mm才能保证各竖直孔不穿档从而保证不损坏竖直井管；在施工第一组排渗体时，施工人员在现场曾采用多种导正措施进行垂直回转钻进都未能实现竖直井与水平孔的对接；为此，在现场进行了二十余组钻进工艺对接实验，并对水平~竖直对接工艺进行了改进，最后确定大角度的斜向定向钻探代替垂直钻探，以垂直于水平孔轴线方向的主偏移方向来约束控制其他方向的偏位，成功地实现了竖直井与水平孔的对接，从而解决了其对接技术难题，为项目的顺利实施打下来坚实的基础。

（四）项目排渗加固工作量

本工程共设计7组水平孔~微型竖直管井联合自流排渗体，由于是首次在赤泥坝中引进应用该排渗工艺，业主建议先施工3组，待工艺成熟且效果明显后再施工剩余的4组。该联合排渗体的竖直孔孔径为 $\phi 150\text{mm}$ ，孔深28m，孔内下入 $\phi 75$ 塑料滤水管，滤水管外包双层60目尼龙网，管外围填 $\phi 1 \sim 3$ 级配的砾石。水平排渗管采用外径 $\phi 90\text{mm}$ ，壁厚7mm的高强聚氯乙烯管，开孔率8%—10%，孔径8mm，管外包双层60目尼龙网。水平孔孔深约75，每组排渗体由1根水平排渗管和8个竖直排渗管井组成。

（五）现场监测情况

第一组排渗体位于漏水裂缝的斜下方，待第一组排渗体建成后，裂缝中的漏水出现了断流现象，其漏水经周围的微裂缝进入该竖直渗水管井并由水平孔排出坝外。前3组排渗体建成后，坝体浸润线有明显降低，故业主通知我方继续施工剩余的4组排渗体。所有排渗体建成后，坝体浸润线降低约2m左右。竣工后，对所有排渗体的对接质量再次进行了检验，当往竖直管井内增加排水时，其对应的水平排渗管流量明显增加，说明所有的排渗体对接质量良好。

五、结语与体会

本文在介绍传统水平~竖直联合自流排渗体施工工艺及其应用情况的基础上，创新在弱渗透强胶结的尾矿赤泥堆积坝中引进采用“水平孔~竖直井联合自流排渗工艺”进行坝体加固，在国内尚属首次。它的成功应用，得到了业主的充分肯定，可广泛用于赤泥坝老尾矿库闭库及坝体加高增容综合加固治理中使用，具有广阔的市场前景。

参考文献

- [1] 王光进等编著《尾矿库溃坝事故案例分析》（北京：冶金工业出版社，2022）。
- [2] 《尾矿库安全技术规程》（AQ2006—2005）。
- [3] 林宗元等主编的《岩土工程治理手册》（沈阳：辽宁科技出版社，1993年第一版）。
- [4] 陈幼雄主编的《井点降水设计与施工》（上海：上海科学普及出版社，2004年第一版）。
- [5] 彭易华、丁洪元等主编的《冶金工业建设水文地质勘察规范》（GB）。
- [6] 丁洪元等主编的《供水水文地质勘察标准》（GB/T 50027—2024）。
- [7] 王运敏等主编的《中国黑色金属矿选矿实践》（北京：科学出版社，2008）。
- [8] 彭易华、丁洪元等主编的《管井技术规范》（GB50296—2014）。
- [9] 王哲英等主编的《冶金业建设钻探技术规范》（GB50734—2012）。
- [10] 林祚顶等主编的《地下水监测规范》（SL183—2005）。

水利工程中新型防渗排水技术的应用分析

任伟, 赵丹阳

广东粤港供水有限公司, 广东 深圳 518001

摘要：水利工程是国家基础设施建设的重要组成部分，对于调节水资源、防止洪涝灾害、保障农业生产及城市供水等方面具有不可替代的作用。然而，在水利工程建设和运营过程中，渗漏问题一直是一个普遍存在的难题。渗漏不仅会导致水资源的浪费，还可能对工程结构造成损害，甚至威胁到下游地区的生活生产安全。因此，如何有效地解决渗漏问题，提高水利工程的安全性和耐久性，成为了业界关注的重点。

关键词：水利工程；新型防渗排水技术；应用

Application Analysis of New Anti-Seepage and Drainage Technology in Water Conservancy Project

Ren Yi, Zhao Danyang

Guangdong Guangdong-Hong Kong Water Supply Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong 518001

Abstract： Water conservancy engineering is an important component of national infrastructure construction, playing an irreplaceable role in regulating water resources, preventing floods, ensuring agricultural production, and urban water supply. However, leakage has always been a common problem in the construction and operation of water conservancy projects. Leakage not only leads to the waste of water resources, but may also cause damage to engineering structures and even threaten the safety of downstream areas' lives and production. Therefore, how to effectively solve the problem of leakage and improve the safety and durability of water conservancy projects has become a focus of attention in the industry.

Keywords： water conservancy project; new anti-seepage drainage technology; apply

引言

水利工程在我国的基础设施建设中占据着重要地位，其主要功能包括水资源的调蓄、洪水的防控及灌溉等。随着经济的快速发展和气候变化的影响，水资源的有效管理与利用变得愈发重要。在这一背景下，防渗排水技术作为水利工程中的关键环节，其有效性直接关系到工程的安全性和经济性。本研究旨在分析新型防渗排水技术在水利工程中的应用，探讨其在不同类型水利工程项目中的具体应用，评估其对提高工程安全性、延长使用寿命及降低维护成本的贡献。

一、水利工程中出现渗水现象原因分析

水利工程中出现渗水现象的原因是多方面的，涉及设计、施工、材料以及环境等多个环节，这些因素相互交织，共同作用于工程结构，导致了不同程度的渗漏问题。深入分析这些原因有助于采取针对性措施，提高水利工程的安全性和耐久性。在水利工程的设计过程中，如果未能充分考虑地质条件、水文特征以及潜在的风险因素，可能会导致设计方案存在缺陷。例如，在坝体设计时如果没有准确评估地基承载力和渗透系数，或者忽略了对地下水位变化的预测，就可能使坝体在建成后面临不均匀沉降或渗透破坏的风险，排水系统的设计不合理也可能造成积水无法及时

排出，从而增加了渗水的可能性。即使设计方案再完美，若在实际施工中执行不到位也会引发渗漏隐患^[1]。常见的施工问题包括混凝土浇筑不密实、接缝处理不当、止水带安装位置偏差等，这些问题往往由于施工队伍技术水平参差不齐、现场管理松懈或是工期紧张而导致。

传统上使用的防水材料如沥青、聚氨酯等虽然具有一定的防渗性能，但在长期浸泡于水中后容易老化、开裂，尤其是在极端气候条件下更是如此^[2]。近年来，虽然出现了许多新型高性能防水材料，但如果选用不当或施工工艺不符合要求，则仍难以达到预期的防渗效果。对于一些特殊部位如伸缩缝、穿墙管道等，需要采用专门的密封材料进行处理，否则也容易成为渗水通道。自然

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，广东粤港供水有限公司，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。

界的侵蚀作用、地震活动以及气候变化等因素都可能导致原有结构受到损害，进而诱发渗水现象。例如，河流冲刷会使堤坝基础裸露，增加了土壤流失的风险；频繁的冻融循环会加剧混凝土裂缝的发展；而强烈的地震则可能直接破坏建筑物的完整性。

二、水利工程中的防渗排水技术应用价值

水利工程中的防渗排水技术应用优势显著，不仅能够提高工程的安全性和耐久性，还能带来经济效益和环境保护等多方面的益处，这些技术通过综合运用新材料、新工艺以及智能化管理系统，为水利工程的建设和运营提供了强有力的支持。从结构安全性的角度来看，高效的防渗排水技术能够显著减少渗透破坏的风险。传统的水利工程中，由于地基条件复杂或施工质量不一，常常会出现渗漏问题，导致水资源浪费甚至引发结构性损坏^[4]。而采用高性能防水材料如高分子防水卷材、聚合物改性沥青防水涂料等，可以提供持久且可靠的防水屏障。此外，垂直防渗墙技术通过高压喷射注浆法或连续墙施工法在深层地层中形成坚固的防渗屏障，有效阻断地下水的横向流动，从而保护坝体和其他水利设施免受侵蚀。在延长工程使用寿命方面，新型防渗排水技术发挥了重要作用。例如，水泥基渗透结晶型防水材料能够在混凝土内部形成不溶于水的结晶体，堵塞微小孔隙，达到深层防水的效果。这种材料具有优异的耐久性和自愈合能力，即使在长期使用过程中出现细微裂缝也能自行修复，从而保持良好的防水性能。同时，合理的排水系统设计，如设置减压井和水平排水廊道，有助于控制地下水位，减轻土体中的孔隙水压力，进一步提高了工程的耐久性^[5]。

在经济效益上，防渗排水技术的应用也带来了明显的好处。一方面，通过有效防止渗漏，可以最大限度地节约宝贵的水资源，这对于水资源短缺的地区尤为重要。另一方面，高效的防渗排水措施减少了因渗漏引起的结构损坏，避免了高昂的修复费用，降低了整体运营成本。此外，一些新技术简化了施工过程，缩短了工期，减少了人力和物力的投入，从而提高了项目的投资回报率。先进的防渗排水技术不仅能够防止有害物质通过渗漏进入周围环境，保护水质和生态系统的健康，还促进了绿色建设的理念。例如，可降解生物基土工合成材料的研究和应用，旨在减少对环境的影响，符合可持续发展的要求，智能监测与预警系统的引入使得水利工程的管理更加科学化和精细化，通过实时数据采集和分析，管理人员可以及时发现并处理潜在问题，确保工程的环保性能^[6]。

三、水利工程中新型防渗排水技术的应用

（一）聚合物土工膜的应用

透水混凝土技术是一种创新的建筑材料应用，它在水利工程中发挥着越来越重要的作用，尤其是在防渗排水方面，这种材料的独特之处在于其内部结构中含有大量连通孔隙，使得雨水能够迅速通过表面渗透到地下，有效减少地表径流，缓解城市内涝问

题，同时还能补充地下水位，提高水资源的循环利用效率。透水混凝土由水泥、骨料、水以及必要时加入的添加剂混合而成，通过控制配比与施工工艺来确保最终产品既具有足够的强度以支撑车辆和行人通行，又能保持良好的渗透性能。与传统不透水面层相比，透水混凝土不仅有助于解决雨洪管理难题，还对改善城市微气候条件、降低热岛效应等方面有着积极作用^[7]。

在水利工程项目中采用透水混凝土作为防渗排水措施之一，可以实现多重目标。对于水库、渠道等蓄水设施而言，在周边铺设一定厚度的透水混凝土层能够有效防止外部水源向库区渗透，保证了储水量的同时也减少了因土壤水分饱和而引发滑坡等地质灾害的风险；在堤坝加固工程中使用透水混凝土，则可以通过调节坝体内外水压差达到稳定结构的目的，延长使用寿命^[8]；此外，结合植被覆盖等方式构建生态护岸系统也是透水混凝土的一大应用场景，这样既能增强河岸抗冲刷能力，又能促进自然景观恢复，提升生态环境质量。尽管透水混凝土具备诸多优点，但在实际应用过程中还需考虑当地地质条件、气候变化等因素，并采取相应措施以确保长期稳定性和有效性。例如，在寒冷地区应加强冻融循环下的耐久性测试；而在盐碱地或酸性环境中则需选用适合特殊环境要求的原材料及配方，合理的维护保养也是保证透水混凝土功能正常发挥的关键因素之一。

（二）透水混凝土技术

聚合物土工膜，也称为防渗土工膜或防水土工布，是一种广泛应用于水利工程中的高性能防渗材料，主要由高分子聚合物通过吹塑或压延工艺制成，具有优异的防渗性能、耐腐蚀性以及良好的物理机械强度。在水利工程中，聚合物土工膜被用作一种有效的屏障来阻止水分通过土壤或其他结构渗透，从而保护水体免受污染，并确保水资源的有效管理和利用。在水库和蓄水池建设过程中，铺设聚合物土工膜可以显著提高其防渗效果。传统上采用的粘土衬垫虽然也能达到一定的防渗目的，但施工复杂度高且容易受到自然因素的影响而失效。相比之下，聚合物土工膜不仅施工简便快捷，而且能够形成连续无缝的防渗层，大大减少了因裂缝或孔洞造成的渗漏风险^[9]。此外，对于老旧水库改造项目来说，使用这种新材料进行加固处理也是提升安全性和延长使用寿命的有效手段之一。传统的土渠由于渗漏严重导致大量宝贵水资源白白流失，严重影响了农业生产的效率与成本控制。通过在渠道底部及两侧铺设一定厚度的聚合物土工膜，则可大幅度降低渗水量，提高输水效率的同时也有利于节约用水。特别是在干旱缺水地区推广该技术更具现实意义，有助于缓解水资源短缺压力。

聚合物土工膜还广泛用于垃圾填埋场、污水处理厂等环境工程领域，这些场所往往需要建立严密的隔离系统以防止污染物扩散至周围环境中去。具备优良化学稳定性和抗老化特性的聚合物土工膜便成为理想选择。它可以有效阻挡有害物质渗透进入地下水系或者河流湖泊之中，保护生态环境免遭破坏。在实际操作过程中合理设计并严格控制施工质量是保证聚合物土工膜效能的关键所在。比如要根据具体应用场景选取合适类型的材料；同时注意做好基面处理工作，确保铺设前地面平整干燥；另外还需加强对连接部位的处理，通常采用热熔焊接等方式来实现无缝对接，

避免形成薄弱环节造成漏水隐患^[10]。

（三）智能监测系统的集成

智能监测系统在水利工程中的集成应用，标志着防渗排水技术正向着更加高效、精准和可持续的方向发展。这种系统通过利用先进的传感器技术、物联网、大数据分析以及人工智能等手段，实现了对水利设施运行状态的实时监控与管理，对于提升工程的安全性、延长使用寿命以及优化水资源配置具有重要意义。在大坝安全监测方面，智能监测系统能够24小时不间断地收集包括水位、压力、位移、温度等在内的多种关键参数信息。这些数据经过处理后，可以用来评估大坝结构的整体稳定性及其潜在风险点。例如，当发现某个区域存在异常渗漏时，系统会立即发出警报，并自动启动相应的应急响应措施，从而有效防止事故的发生或减小损失程度，长期积累的历史资料还为后续维护提供了宝贵参考依据，有助于制定更为科学合理的修缮计划。

对于城市地下管网而言，智能监测同样发挥着不可或缺的作用。随着城市化进程加快，老旧管道老化破损问题日益凸显，不仅影响正常供水排水功能，还可能引发地面塌陷等地质灾害。借助于安装在管道内部及周围的各类传感设备，如流量计、水质分析仪等，管理人员可以随时掌握整个网络的工作状况。一旦出现泄漏或者其他故障迹象，智能平台将迅速定位问题源头并指导维修队伍进行针对性处置，大大缩短了恢复时间，减少了资源浪费。智能监测技术也广泛应用于农田灌溉系统中，特别是在采用滴灌、喷灌等节水型灌溉方式时。通过部署土壤湿度传感器、气象站等装置，结合云计算平台强大的数据分析能力，可以根据作物生长周期不同阶段的需求精确调节灌溉量，既保证了农作物健康发育又避免了过量用水造成的浪费，该系统还能预测未来天气变化趋势，提前做好应对准备，比如在干旱季节来临前增加蓄水量以备不时之需。

（四）高强度防渗浆液技术

高强度防渗浆液技术是一种在水利工程中广泛应用的新型防

渗排水技术，它通过将特制的浆液注入地层或结构缝隙中来形成坚固而连续的防水屏障。这种技术能够有效解决传统方法难以处理的问题，如深层土壤渗漏、裂缝漏水等，并且适用于多种复杂地质条件下的防渗加固工程。高强度防渗浆液通常由水泥基材料、化学添加剂以及细骨料组成，根据具体应用场景和需求还可以添加膨胀剂、促凝剂等成分以调节其性能。这些浆液具有良好的流动性和渗透性，在压力作用下能够深入到细微裂隙甚至微孔隙内固化后形成密实的整体结构，从而达到极高的抗渗效果。

在实际应用过程中，高强度防渗浆液技术首先需要对目标区域进行详细勘查，包括地质构造分析、水源分布情况调查等内容，以便制定出科学合理的施工方案。然后通过钻孔等方式将浆液均匀注入预定位置，借助高压泵送设备确保其充分填充所有空隙并达到预期深度。最后经过一定时间自然硬化或是采取措施加速固化过程后即可完成整个作业流程。值得注意的是，在操作过程中还需密切监测各项参数变化情况，及时调整工艺参数以保证工程质量。该技术广泛应用于水库大坝、地下车库、隧道等基础设施建设项目中。对于新建工程而言，在基础施工阶段采用高强度防渗浆液处理可以有效防止未来可能出现的各种渗水问题；而对于老旧建筑修复改造项目来说，则是解决现有渗漏隐患的理想选择之一。

四、结束语

综上所述，水利工程中新型防渗排水技术的应用为提升工程的安全性、耐久性和环境友好性提供了强有力的支撑。从透水混凝土到聚合物土工膜，再到高强度防渗浆液和智能监测系统的集成，这些创新技术不仅有效解决了传统方法难以克服的难题，还促进了水资源管理向更加精细化、智能化方向发展。

参考文献

- [1] 王雄. 水利水电工程施工中帷幕灌浆施工技术的应用[J]. 山西水利, 2023, (12): 48-49+53.
- [2] 王险峰. 水利工程渗漏勘察与防治治理的对策建议[J]. 珠江水运, 2023, (24): 79-81.DOI: 10.14125/j.cnki.zjsy.2023.24.011.
- [3] 刘东. 水利工程电站防排水布置与施工技术[J]. 云南水力发电, 2022, 38(08): 206-209.
- [4] 朱姗姗. 节水灌溉与控制排水在农业水利工程中的应用研究——以临潼区为例[J]. 现代农机, 2022, (02): 49-50.
- [5] 刘博成. 浅埋深条件下渠道防排水施工技术分析[J]. 农业科技与信息, 2019, (19): 109-110+112.DOI: 10.15979/j.cnki.cn62-1057/s.2019.19.044.
- [6] 张之成. 节水灌溉技术在农田水利工程中的应用[J]. 世界热带农业信息, 2023, (09): 38-39.
- [7] 郭万红. 河床下伏煤矿运输巷道渗漏机理及防渗处治关键技术研究[D]. 北京科技大学, 2023.DOI: 10.26945/d.cnki.gbjku.2023.000564.
- [8] 孟昕, 孙乙庭, 李永林, 等. 单组分聚氨酯防水涂料在抽水蓄能电站中的应用试验研究初探[J]. 吉林水利, 2023, (08): 62-65.DOI: 10.15920/j.cnki.22-1179/tv.2023.08.009.
- [9] 丁倩, 黄耀英, 费大伟, 等. 复合土工膜防渗土石坝测压管水位二级监控指标拟定[J]. 水电能源科学, 2022, 40(11): 94-97+102.DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2022.20212746.
- [10] 王羊子. 水利工程施工中堤坝防渗漏加固技术的运用[J]. 中华建设, 2022, (07): 153-154.

基于信息化技术的水利工程智能化管理系统研究

赵佳, 朱天久

江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223001

摘要： 信息化技术的快速发展为水利工程的智能化管理提供了新的机遇。通过构建基于信息化技术的水利工程智能化管理系统，能够实现对水利设施的实时监测、数据采集与分析、故障预警和决策支持。系统集成物联网、云计算和大数据分析等技术，提升了水利管理的科学性和效率。研究表明，智能化管理系统不仅优化了资源配置，还增强了水利工程的安全性和可持续性，为未来水利管理模式的转变提供了参考。

关键词： 水利工程；智能化管理；信息化技术；物联网；大数据分析

Research on Intelligent Management System of Water Conservancy Projects Based on Information Technology

Zhao Jia, Zhu Tianjiu

Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223001

Abstract： The rapid development of information technology provides new opportunities for the intelligent management of water conservancy projects. By constructing an intelligent management system for water conservancy projects based on information technology, real-time monitoring, data collection and analysis, fault warning, and decision support for water conservancy facilities can be achieved. The system integrates technologies such as the Internet of Things, cloud computing, and big data analytics, enhancing the scientific nature and efficiency of water conservancy management. Research shows that the intelligent management system not only optimizes resource allocation but also enhances the safety and sustainability of water conservancy projects, providing a reference for the transformation of future water conservancy management models.

Keywords： water conservancy projects; intelligent management; information technology; Internet of Things; big data analytics

引言

在全球气候变化和城市化进程加速的背景下，水利工程面临着前所未有的挑战。传统的管理模式已难以满足高效、安全和可持续发展的需求。信息化技术的应用为水利工程的智能化管理提供了强有力的支持，通过实时监测和数据分析，能够显著提升管理效率和决策科学性。构建一个智能化管理系统，不仅是应对当前水利问题的关键，更是推动水利工程现代化的重要步骤，具有深远的社会和经济意义。

一、信息化技术在水利工程管理中的应用现状

随着全球气候变化及城市化进程的加速，水资源的管理与保护已成为亟待解决的重要问题。传统的水利工程管理方式往往依赖人工监测和经验判断，难以满足现代水利工程对高效性和精准性的要求。信息化技术的迅猛发展为水利工程管理带来了新的机遇，尤其是在数据采集、分析及应用等方面，极大地提升了管理效率与决策科学性。当前，信息化技术在水利工程管理中的应用主要体现在实时监测、信息共享及智能决策支持等多个层面，为水利资源的可持续利用奠定了基础。

在实际应用中，物联网（IoT）技术的引入成为水利工程管理

的一大亮点。通过传感器和智能设备，水利设施的运行状态可以被实时监测，并将数据上传至云平台，实现数据的集中管理与分析。这种实时监测不仅可以及时发现水利设施的故障和隐患，避免因设备老化或人为因素导致的事故，还能对水资源的使用进行动态调整，优化资源配置。例如，许多水利工程已通过建立智能水务系统，实现对水库、泵站及管网的全面监控，提高了水利管理的科学性与智能化水平^[1]。此外，信息化技术还促使了水利工程管理的信息共享，相关部门和单位可以通过统一的信息平台进行协同工作，提升了管理效率与服务水平。

在大数据时代，数据分析与挖掘技术的应用也为水利工程管理提供了强大的支持。通过对海量水文气象数据、用水数据及设

备运行数据的综合分析，可以揭示水利系统的运行规律，为决策提供科学依据。这一过程中，机器学习与人工智能技术的引入，使得预测模型的准确性得以提升，能够提前预警水利设施的故障及水资源的短缺问题，帮助管理者做出及时有效的决策。例如，某些地区已经通过建立水资源管理信息系统，实现了对水资源的预测与调控，有效应对了水资源短缺的挑战。此外，数据的可视化技术也使得水利管理的相关信息更加直观易懂，促进了公众对水资源保护的认识与参与，形成全社会共同关注水利工程可持续发展的良好氛围。

综上所述，信息化技术在水利工程管理中的应用正不断深化，其潜力与优势逐渐显现。未来，随着技术的不断进步和应用范围的扩大，信息化技术必将在水利工程的智能化管理中发挥更为重要的作用，为实现水资源的可持续利用和水利事业的现代化提供更有力的支持。通过构建智能化管理系统，能够有效应对当前水利工程面临的各種挑战，推动水利工程的高效、安全与可持续发展。

二、智能化管理系统的设计与架构

智能化管理系统的设计与架构是实现水利工程高效管理的关键因素，涉及到系统的整体架构、功能模块的划分以及数据处理流程的优化。首先，智能化管理系统的核心架构应基于云计算与物联网技术相结合，形成一个分布式的、可扩展的管理平台。该平台由多个层次构成，包括感知层、网络层和应用层。感知层通过传感器、监控设备及其他智能终端，实时收集水利设施的运行数据和环境信息，如水位、流量、气象等；网络层负责数据的传输和通信，确保各类信息的及时、准确上传；应用层则进行数据的处理和分析，提供可视化的管理界面，为决策支持提供科学依据。

在智能化管理系统中，各个功能模块的设计至关重要。首先是数据采集模块，通过传感器和数据记录仪器实时获取水利设施的各项运行指标，并将数据传输至云端平台。其次，数据处理模块负责对收集到的数据进行清洗、存储和分析，采用大数据处理技术，分析历史数据和实时数据，提取有价值的信息，进行趋势预测与故障预警。接下来，决策支持模块基于数据分析结果，结合先进的算法模型，提供水资源调配、设施维护和风险管理等决策建议。此外，用户界面模块的设计也不容忽视，直观的可视化展示能够让管理人员迅速掌握水利设施的运行状态和管理动态，提高管理效率^[2]。

在实际应用中，智能化管理系统的成功实施还需考虑系统的可靠性和安全性。为了保证系统在复杂环境下的稳定运行，需要对各类设备和通信网络进行有效监控和维护^[3]。同时，数据安全与隐私保护也是系统设计的重要方面，必须采取强有力的加密和权限控制措施，防止数据泄露和未经授权的访问。此外，系统的可扩展性也需予以重视，以便于未来技术的更新与新功能的集成。通过合理的设计与架构，智能化管理系统不仅能够提高水利工程管理的效率和精准性，还能够为水资源的可持续利用提供强有力

的技术支持和保障。

三、物联网技术在水利设施监测中的作用

物联网技术在水利设施监测中的应用正日益成为提升水利工程管理效率的重要手段。通过将传感器、监测设备与网络相结合，物联网技术能够实现对水利设施的实时监测和数据采集。在水利设施的运行过程中，传感器可以实时获取水位、流量、温度、湿度等关键数据，并将这些数据通过无线网络传输到中央管理系统。这样的实时数据采集能够确保管理人员及时掌握水利设施的运行状态，快速响应可能出现的异常情况^[4]。例如，当水位过高时，系统可以自动发出警报，提示管理人员采取相应措施，避免潜在的洪涝灾害，从而有效保障水利设施的安全运行。

物联网技术还使得水利设施的远程监测和管理成为可能。传统的水利管理往往依赖人工巡查，这不仅耗时耗力，还存在信息滞后和响应速度慢的弊端。而通过物联网技术，管理人员可以在远程监控中心实时查看各个水利设施的状态，进行数据分析与对比。以水库管理为例，管理人员可以通过系统实时监控水库的进出水流量，及时调整水库的蓄水策略，以应对气候变化带来的不确定性。此外，物联网技术的应用还可以实现对多个水利设施的联动管理，形成一个统一的水利管理网络，提高整体管理效率。通过智能化的控制系统，管理人员能够一键控制多个设施，提升了资源的利用效率，降低了管理成本^[5]。

物联网技术在数据分析与决策支持中的作用同样不可忽视。通过对收集到的大量数据进行深入分析，管理系统能够挖掘出隐藏在数据背后的趋势与规律，帮助管理者做出更加科学合理的决策。采用大数据分析与机器学习技术，系统可以预测未来的水资源需求变化，制定相应的调度方案，确保水资源的合理配置。此外，物联网技术还支持数据的可视化展示，管理人员可以通过图表和仪表盘等方式直观了解水利设施的运行情况与管理效果，从而实现更为精准的决策。这种基于数据驱动的管理模式，不仅提升了水利工程的管理水平，也为水资源的可持续利用提供了有力保障^[6]。通过集成物联网技术，水利设施的监测变得更加智能化和系统化，为应对未来水利管理中的各种挑战奠定了坚实基础。

四、大数据分析推动水利工程决策优化

大数据分析在水利工程决策优化中的作用愈发重要，随着水利工程管理环境的复杂性增加，传统的决策方法已无法满足日益增长的需求。大数据分析通过处理和分析大量的水文气象数据、用水数据和设施运行数据，为管理者提供了全面的视角和科学的依据。通过对历史数据与实时数据的整合，决策者能够更好地识别潜在的问题与趋势，从而制定出更加科学合理的管理策略。例如，通过分析不同气候条件下的水资源变化规律，管理人员可以预测未来的水资源需求和供应，合理安排水库的蓄水和调度，最大程度地减少水资源的浪费与损失^[7]。

大数据分析不仅提升了决策的精准性，还增强了管理的灵活

性。在水利工程中，水资源的分配和使用往往受到多种因素的影响，如气象变化、用水需求的波动以及水环境的变化等。通过实时监测和数据分析，管理系统能够快速适应这些变化，并及时调整管理策略。举例来说，当某一地区出现干旱或降雨过多的情况时，系统可以根据实时数据迅速评估其对水资源的影响，并自动调整水库的放水和蓄水策略，以确保下游用水的安全与稳定。此外，通过对设备运行数据的分析，管理者可以及时发现设备故障的隐患，从而提前采取维护措施，降低事故发生的风险。这种基于数据驱动的决策机制，使水利工程管理变得更加动态、灵活，能够有效应对各种不确定性。

大数据分析还促进了水利工程的可持续发展，通过科学的数据管理与决策，能够更好地实现资源的优化配置。水资源作为一种有限的自然资源，其合理利用关系到生态环境的可持续性与社会经济的发展。通过大数据分析，管理者能够全面评估水资源的利用效率，发现并消除资源浪费和环境污染的问题。例如，通过对工业、农业和城市用水数据的分析，可以找出用水量大的领域，并针对性地实施节水措施，推动水资源的合理利用^[8]。同时，基于大数据分析的结果，水利工程管理可以与生态保护相结合，制定出既能满足人类用水需求，又能维护生态环境的综合管理方案。通过优化决策，不仅能够提高水利工程的管理水平，还能为实现可持续发展目标提供重要保障。在未来，随着大数据技术的不断进步，水利工程的决策优化将会迎来更多的机遇和挑战，推动水利行业朝着更智能化、更科学化的方向发展。

五、智能化管理系统的实践案例与成效评估

在国内，智能化管理系统在水利工程中的应用已经取得了一系列成功的实践案例。其中，浙江省的“智慧水务”项目尤为突出。该项目通过整合物联网、云计算和大数据分析等技术，建立了一个全面的水利设施智能化管理系统。系统通过在各大水库、泵站和水闸等关键节点安装传感器，实现了对水位、流量和水质等关键参数的实时监测。数据实时上传至云平台，管理人员能够

通过手机或电脑随时查看和分析水利设施的运行状态^[9]。这种智能化监测不仅提高了水利设施的安全性，还增强了对突发事件的响应能力，降低了人工巡检的成本和工作强度。

此外，江苏省的“水利工程智能调度系统”案例也值得关注。该系统基于大数据分析，对区域内的水资源进行动态监测与优化调度。通过整合气象、用水需求、流域水文等多种数据，系统能够实时评估水资源的供需状况，并生成最优调度方案。例如，系统在汛期来临前，通过数据分析预测降雨情况，并提前调整水库的蓄水策略，有效防止了因暴雨导致的洪涝灾害。在日常管理中，智能调度系统还帮助农田灌溉、水资源分配和工业用水管理等方面做出了科学决策，大大提升了水资源的利用效率。

通过对这些智能化管理系统的实践案例进行评估，结果显示其在提高管理效率、降低风险及提升服务水平等方面都取得了显著成效。在浙江省的“智慧水务”项目中，系统的应用使得水利设施的故障率降低了30%，且水资源的浪费现象大幅减少。江苏省的智能调度系统则有效提高了水资源的利用率，节约了超过15%的水资源，同时也增强了抗洪能力，确保了下游用水的安全与稳定。这些案例不仅展示了智能化管理系统在水利工程中的实际应用效果，也为未来其他地区的水利管理提供了可借鉴的经验，推动了水利工程的现代化进程^[10]。

六、结语

智能化管理系统在水利工程中的应用，不仅提升了管理效率和决策科学性，还为应对水资源短缺和环境变化提供了强有力的支持。通过实际案例的成功实践，如浙江省的“智慧水务”和江苏省的智能调度系统，证明了现代信息技术在水利管理中的重要性。这些系统有效降低了设备故障率、优化了水资源配置，并增强了对突发事件的应对能力。未来，随着技术的不断进步，智能化管理将进一步推动水利工程的可持续发展，为实现水资源的高效利用与生态环境的保护提供更为坚实的基础。

参考文献：

- [1] 李敬文. 精细化管理在现代水利工程管理上的应用分析[J]. 工程技术研究, 2019, 4(09): 148-149.DOI:10.19537/j.cnki.2096-2789.2019.09.082.
- [2] 刘志全. 精细化管理在现代水利工程管理中的应用探析[J]. 南方农业, 2019, 13(15): 144-145.DOI: 10.19415/j.cnki.1673-890x.2019.15.075.
- [3] 曹建邦, 石峰, 倪一品. 淮安市水利工程建设智能化管理系统研究及推广运用[J]. 江苏水利, 2022(02): 59-61.DOI:10.16310/j.cnki.jssl.2022.02.010.
- [4] 陈利. 对水利工程建设管理信息化、智能化的几点思考[J]. 农业科技与信息, 2022(21): 126-128.DOI:10.15979/j.cnki.cn62-1057/s.2022.21.024.
- [5] 刘瑾. 水利工程管理信息化技术应用分析[J]. 内蒙古水利, 2023(06): 60-61.
- [6] 李长波. 信息化产业技术助推水利技术发展[J]. 中国战略新兴产业, 2024(09): 188-190.
- [7] 王青青. 信息化技术在水利工程管理中的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(17): 202-204.DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202417068.
- [8] 孔祥涛. 水利工程管理中的信息化技术应用分析[J]. 水上安全, 2024(15): 82-84.
- [9] 李吉鹏, 张生宝. 信息化技术在水利工程施工中的应用[J]. 水上安全, 2024(16): 47-49.
- [10] 李文华. 信息化技术在农业水利工程中的应用现状与应对策略分析[J]. 农家参谋, 2024(28): 68-70.

