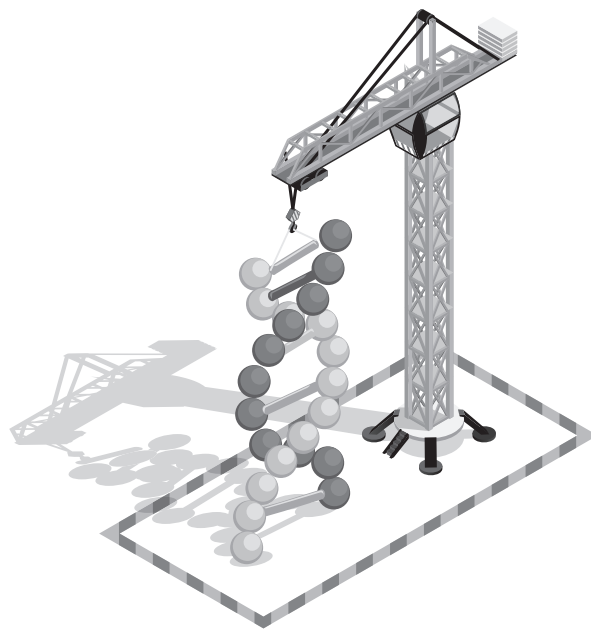


工程 研究与应用

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8期 2024年8月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《工程研究与应用》编辑部

ISSN(O): 2993-2742

ISSN(P): 2995-3154

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

网址: <https://www.artdesignp.com>

本刊说明:

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

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



材料科学 | MATERIAL SCIENCE

- 005 高分子注浆材料在煤矿井下应用中的性能优化研究 刘艺芳
Research on Performance Optimization of Polymer Grouting Materials in Underground Coal Mine Applications Liu Yifang
- 008 高效空气过滤器在中央空调系统中的应用与优化 孙勇伟
Application and Optimization of High Efficiency Air Filter in Central Air Conditioning System Sun Yongwei
- 011 高层建筑外墙保温材料的防火性能评估 赵延庆
Evaluation of Fire Prevention Performance of Exterior Wall Insulation Materials in High-Rise Buildings Zhao Yanqing
- 014 电线电缆制造企业节能降耗的实现途径分析 王名研
Analysis of Energy Saving and Consumption Reduction in Wire and Cable Manufacturing Enterprises Wang Mingyan

电子与通信工程 | ELECTRONIC AND COMMUNICATION ENGINEERING

- 017 无线通信工程中的智能天线技术研究与应 周益良, 陈展仁
Research and Application of Smart Antenna Technology in Wireless Communication Engineering Zhou Yiliang, Chen Zhanren
- 020 基于全景图平台无人机应急救援航拍技术的实践探讨 王佑玲¹, 黄海丽²
Practice and Discussion of UAV Emergency Rescue Aerial Photography Technology Based on Panorama Platform Wang Youling¹, Huang Haili²
- 023 服务机器人人机交互界面设计与评价 高兴兴
Design and Evaluation of Human-Robot Interaction Interface for Service Robots Gao Xingxing
- 026 机械电子设备中的电气自动化与物联网技术 薛祥蛟
Electrical Automation and Internet of Things Technology in Mechanical and Electronic Equipment Xue Xiangjiao

工程科学 | ENGINEERING SCIENCE

- 029 矿石中金属元素检测方法分析 陆全
Analysis of Detection Methods for Metallic Elements in Ores Lu Quan
- 032 浅析制药业腐蚀环境下 RTO 的工艺结构设计 蒋武, 李泮林, 李俊波
Analysis of RTO Process Structure Design in Corrosive Environment of Pharmaceutical Industry Jiang Wu, Li Fenshen, Li Junbo
- 035 土木工程的可持续发展 王普聪, 邢永霞
Sustainable Development of Civil Engineering Wang Pucong, Xing Yongxia
- 038 煤矿机电管理标准化建设与事故预防管理探讨 王海兴
Exploration on Standardization Construction and Accident Prevention Management of Coal Mine Mechanical and Electrical Management Wang Haixing
- 041 基于 GA-BP 的工程总承包项目成本预测研究 朱剑钦¹, 吴晓磊², 池商铃³, 巫庆明⁴, 柯建平⁵
Research on Cost Prediction of General Engineering Contracting Projects Based on GA-BP Zhu Jianqin¹, Wu Xiaolei², Chi Shangling³, Wu Qingming⁴, Ke Jianping⁵
- 045 CAD/CAE/CAM 及 CNC 等多软件协同下夹持机构的设计与仿真 管晓航, 陈凯旋, 马肆冲
Design and Simulation of Clamping Mechanism with CAD/CAE/CAM and CNC Guan Xiaohang, Chen Kaixuan, Ma Sichong

048	工程检测技术在道路桥梁工程中的应用与分析 Application and Analysis of Engineering Inspection Technology in Road and Bridge Engineering	兰彬 ¹ , 申丹辉 ² , 杨飞 ³ Lan Bin ¹ , Shen Danhui ² , Yang Fei ³
051	船舶舾装模块化设计与制造技术研究 Research on Modular Design and Manufacturing Technology of Ship Outfitting	王奔 Wang Ben
054	井下废石充填采空区技术优化与应用实践 Technical Optimization and Application Practice of Underground Waste Rock Filling Goaf	周杰 Zhou Jie
057	机械设计制造自动化技术应用分析 Analysis of the Application of Automation Technology in Mechanical Design and Manufacturing	席国英 Xi Guoying
060	电气主设备继电保护原理与应用 Principle and Application of The Relay Protection for the Electrical Main Equipment	刘朝霞 Liu Zhaoxia
063	储能技术在新能源发电技术中的应用研究 Application of Energy Storage Technology in New Energy Generation Technology	梁晓军 Liang Xiaojun
066	中国与印度尼西亚铁合金矿热炉生产安全对比研究 A Comparative Investigation into the Production Safety of Ferroalloy Submerged Arc Furnaces in China and Indonesia	邬骞, 沈星, 林飞, 牛子儒 [*] Wu Qian, Shen Xing, Lin Fei, Niu Ziru [*]
070	智能控制在矿山机电一体化系统中的应用 Application of Intelligent Control in Mine Mechatronics System	程建平 Cheng Jianping
073	煤炭行业招标采购模型研究及国产化替代分析 Research on Bidding and Purchasing Model in Coal Industry and Analysis of Localization Replacement	杨博 Yang Bo
076	某大桥船撞事故后应急评估与处治设计 Emergency Evaluation and Treatment Design after a Ship Collision Accident on a Bridge	武建中 ¹ , 杨子楠 ² Wu Jianzhong ¹ , Yang Zinan ²
081	医药厂房项目机电工程施工技术研究与应用 Research and Application of Mechanical and Electrical Engineering Construction Technology in Pharmaceutical Factory Project	管禄诗 Guan Lushi
084	锅炉压力容器压力管道检验中的裂纹分析 Crack Analysis in the Inspection of Boiler Pressure Vessel and Pressure Pipeline	李峰光 ¹ , 任志峰 ¹ , 孙晓靖 ¹ , 王宪 ² Li Fengguang ¹ , Ren Zhifeng ¹ , Sun Xiaojing ¹ , Wang Xian ²
087	GNSS 技术在大型土木工程施工测量中的应用 Application of GNSS Technology in Construction Survey of Large Civil Engineering	王兴晨 Wang Xingchen
090	探讨火力发电厂发电机组集控运行技术 Discuss the Centralized Control Operation Technology of Thermal Power Plant Generator Set	蔡明松 Cai Mingsong
093	供热工程预制直埋保温管接头保温施工工艺研究 Research on the Insulation Construction Technology of Prefabricated Buried Insulation Pipe Joints in Heating Engineering	刘俊杰, 秦建斌, 崔刚, 李清泽, 赵艳 Liu Junjie, Qin Jianbin, Cui Gang, Li Qingze, Zhao Yan
096	水文地质勘察在污染场地环境调查中的重要性 The Importance of Hydrogeological Survey in Environmental Investigation of Polluted Sites	杨倩 Yang Qian
099	矿山水文地质分析及防灾策略探讨 Hydrogeological Analysis of Mines and Exploration of Disaster Prevention Strategies	王章翔 Wang Zhangxiang
102	BIM 技术应用面临的困境及突破途径研究 Research on the Dilemmas and Breakthrough Paths of BIM Technology Application	何克见 He Kejian

建筑科学 | BUILDING SCIENCE

105	泵站墩墙及流道混凝土防裂措施 Crack Prevention Measures for Concrete of Pier Wall and Flow Channel in Pumping Station	万华 Wan Hua
109	试析光伏技术在建筑电气中的应用 Analysis on the Application of Photovoltaic Technology in Building Electrical System	刁承悦 Diao Chengyue
112	工程咨询服务对建筑项目效益提升的实证研究 Empirical Study on the Improvement of Construction Project Benefits by Engineering Consulting Services	赵蕊馨 Zhao Ruixin
115	建筑工程现场施工安全管理策略研究 Research on Safety Management Strategies for Construction Site Operations in Architectural Engineering	王冠懿 Wang Guanyi
118	农村城镇房建中装配式建筑的推广策略 Promotion Strategy of Prefabricated Buildings in Rural and Urban Housing Construction	何克见 He Kejian

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

121	市政给排水工程自动化控制技术研究与应用 Research and Application of Automatic Control Technology in Municipal Water Supply and Drainage Engineering	陈瑾宏 Chen Jinhong
124	水利工程中的堤防设计与施工技术研究 Research on Dike Design and Construction Technology in Hydraulic Engineering	顾浩然 ¹ , 孙新 ² , 孙思 ³ , 李毅 ⁴ , 梁骏宇 ⁵ Gu Haoran ¹ , Sun Xin ² , Sun Si ³ , Li Yi ⁴ , Liang Junyu ⁵
127	浅谈水利项目中软体排施工技术 A Brief Discussion on Soft Mat Construction Technology in Water Conservancy Projects	万华 Wan Hua

高分子注浆材料在煤矿井下应用中的性能优化研究

刘艺芳

煤科（北京）新材料科技有限公司，北京 100021

摘要： 本研究聚焦于高分子注浆材料在煤矿井下应用中的性能优化问题。通过分析当前高分子注浆材料在煤矿井下应用中面临的主要挑战，探讨了优化其性能的关键因素和技术路径。研究采用文献分析、实验研究和现场应用相结合的方法，系统考察了高分子注浆材料的力学性能、渗透性能、耐久性能等关键指标，并提出了相应的优化策略。结果表明，通过优化材料配方、改进注浆工艺、强化质量控制等措施，可显著提升高分子注浆材料在煤矿井下复杂环境中的应用效果。本研究为进一步提高高分子注浆材料在煤矿井下应用中的性能提供了理论依据和技术支持，对促进煤矿安全高效生产具有重要意义。

关键词： 高分子注浆材料；煤矿井下；性能优化；应用研究

Research on Performance Optimization of Polymer Grouting Materials in Underground Coal Mine Applications

Liu Yifang

Coal Technology (Beijing) New Materials Technology Co., Ltd., Beijing 100021

Abstract： This study focuses on the performance optimization of polymer grouting materials in underground coal mine applications. By analyzing the main challenges faced by polymer grouting materials in underground coal mine applications, the key factors and technical approaches for optimizing their performance were explored. The research employed a combination of literature analysis, experimental research, and field application methods to systematically examine key indicators such as the mechanical properties, permeability, and durability of polymer grouting materials, and proposed corresponding optimization strategies. Results show that through measures such as optimizing material formulations, improving grouting techniques, and strengthening quality control, the application effectiveness of polymer grouting materials in complex underground coal mine environments can be significantly enhanced. This study provides theoretical basis and technical support for further improving the performance of polymer grouting materials in underground coal mine applications, and has important implications for promoting safe and efficient coal mine production.

Keywords： polymer grouting materials; underground coal mine; performance optimization; application research

引言

随着我国煤炭开采向深部和复杂地质条件发展，煤矿井下地质灾害防治和工程加固的需求日益迫切。高分子注浆材料凭借其独特的物理化学性质和优异的工程性能，在煤矿井下加固、防渗、堵水等领域展现出广阔的应用前景^[1]。然而，煤矿井下环境复杂多变，对注浆材料的性能提出了严峻挑战。如何优化高分子注浆材料的性能，使其更好地适应煤矿井下的特殊需求，成为当前亟需解决的重要课题。

高分子注浆材料在煤矿井下应用中面临诸多挑战。首先，井下环境温度、湿度、压力等因素复杂多变，对材料的稳定性和耐久性提出了较高要求。其次，煤矿岩层结构复杂，裂隙发育，对注浆材料的流动性和渗透性能有特殊需求。再者，井下作业条件受限，对注浆材料的操作性和施工工艺也提出了特殊要求。此外，煤矿安全生产的要求也使得注浆材料必须具备良好的环保性和安全性^[2]。

本文的研究内容主要包括以下几个方面：首先，对高分子注浆材料在煤矿井下应用的现状进行全面分析，明确当前面临的主要问题和挑战。其次，深入探讨影响高分子注浆材料性能的关键因素，包括材料组成、环境条件、施工工艺等。再次，针对不同应用场景，提出高分子注浆材料性能优化的具体策略和技术路径。最后，通过实验研究和现场应用案例，验证所提出优化方案的可行性和有效性。

一、高分子注浆材料在煤矿井下应用的现状分析

（一）高分子注浆材料的类型及特性

高分子注浆材料是一类以高分子化合物为主要成分的注浆材

料，具有良好的流动性、渗透性和固化性能。在煤矿井下应用中，常用的高分子注浆材料主要包括聚氨酯类、环氧树脂类、水玻璃类和丙烯酸盐类等。这些材料各具特色，适用于不同的工程需求。

聚氨酯类注浆材料以异氰酸酯和多元醇为主要原料，通过添

加催化剂和发泡剂等形成具有一定强度的泡沫体。这类材料反应速度快、膨胀倍率高、粘结强度大，特别适用于裂隙充填和岩体加固。环氧树脂类注浆材料由环氧树脂和固化剂组成，具有良好的粘结性能和较高的力学强度，常用于精密灌浆和结构加固，但成本相对较高。水玻璃类注浆材料主要由水玻璃和各种有机或无机固化剂组成，具有良好的渗透性和较低的成本，适用于大面积防渗和堵水。丙烯酸盐类注浆材料以丙烯酸及其衍生物为主要成分，具有良好的流动性和渗透性，适用于细微裂隙的封堵^[3]。

（二）高分子注浆材料在煤矿井下的主要应用领域

高分子注浆材料在煤矿井下找到了广泛的应用领域，充分发挥了其独特的性能优势。在岩体加固方面，高分子注浆材料可有效增强岩体的整体性和稳定性，防止岩体破碎和冒落，这对于改善巷道围岩条件，提高煤矿安全性具有重要意义。例如，在某些地质条件复杂的矿区，使用聚氨酯类注浆材料对巷道围岩进行加固，显著提高了巷道的稳定性，降低了维护成本。

在防水堵漏方面，高分子注浆材料的作用同样突出。这类材料具有良好的渗透性和固化特性，可有效封堵岩层裂隙和孔隙，阻止地下水渗入。在处理井下涌水、透水等问题时，高分子注浆材料常常能够在传统水泥浆无法施工的情况下取得良好效果。例如，某煤矿在处理采空区积水问题时，采用改性聚氨酯注浆材料，成功封堵了多条地下水通道，有效控制了水害。

这些应用充分体现了高分子注浆材料在煤矿井下地质灾害防治和工程加固中的重要作用。然而，不同应用场景对材料性能的要求各不相同，这也为高分子注浆材料的性能优化研究提出了新的挑战。例如，在处理高压水害时，材料需要具备更好的耐久性和抗压性；而在处理瓦斯问题时，则需要材料具有良好的气密性和耐久性。因此，针对不同的应用场景开展有针对性的性能优化研究，成为推动高分子注浆材料在煤矿井下广泛应用的关键。

（三）高分子注浆材料应用中存在的主要问题

尽管高分子注浆材料在煤矿井下应用中展现出巨大潜力，但在实际应用过程中仍面临一些亟待解决的问题。首先是材料性能的不稳定性。煤矿井下环境复杂多变，温度、湿度、压力等因素的波动可能导致高分子注浆材料的性能发生变化，影响其固化效果和长期稳定性。例如，某些聚氨酯材料在高温高湿环境下可能发生副反应，导致泡沫结构不均匀，影响材料的力学性能^[4]。

这些问题的存在，既反映了当前高分子注浆材料在煤矿井下应用中面临的挑战，也为进一步的性能优化研究指明了方向。只有深入分析这些问题的根源，有针对性地开展优化研究，才能推动高分子注浆材料在煤矿井下应用中发挥更大作用。例如，通过开发新型环境响应材料，可以提高材料在复杂环境中的适应性；通过优化材料配方和注浆工艺，可以改善材料的渗透性能和操作性；通过开发绿色环保型材料，可以降低环境风险。这些优化方向将成为未来研究的重点领域。

（四）高分子注浆材料的相关研究

在高分子注浆材料的应用研究方面，近年来国内学者取得了一系列重要进展。张盛敏等人对煤矿用高分子灌浆材料进行了系统研究，指出了其在煤矿工程中的广泛应用前景^[5]。王国军等的研究进一步探讨了这类材料在不同煤矿地质条件下的适应性，为材料选择提供了重要参考^[6]。在安全性方面，钱四发的研究着重探讨了煤矿加固用

高分子材料的安全使用技术，为实际应用中的风险控制提供了理论基础和实践指导^[7]。郑和平等人在新型高分子注浆材料的研发方面取得了突破性进展，他们开发的材料在注浆加固应用中表现出优异的性能，为解决复杂地质条件下的加固问题提供了新的技术方案^[8]。在注浆工艺方面，杨仁凯等人提出的高分子材料分段注浆工艺在固沙应用中取得了显著效果，这一创新工艺为提高注浆效率和质量开辟了新的途径^[9]。陈城的研究则聚焦于富水砂卵石地层的注浆问题，通过材料性能测试和注浆模拟试验，为特殊地质条件下的注浆设计提供了科学依据^[10]。这些研究成果不仅丰富了高分子注浆材料在煤矿井下应用的理论基础，还为实际工程应用提供了多样化的技术选择和优化方向。综合这些研究，我们可以看到，高分子注浆材料在性能优化、安全应用、工艺创新等方面都取得了显著进展，这为进一步提升材料在复杂煤矿环境中的应用效果奠定了坚实基础。

二、高分子注浆材料性能优化的关键因素分析

（一）材料组成对性能的影响

高分子注浆材料的性能在很大程度上取决于其化学组成和配方设计。主体树脂的选择是影响材料性能的首要因素。不同类型的主体树脂，如聚氨酯、环氧树脂等，具有不同的特性。例如，聚氨酯类材料通常具有较好的弹性和膨胀性，适合处理变形较大的岩体；而环氧树脂类材料则具有较高的强度和耐化学性，适用于需要高强度固结的场合。

优化材料组成，可以在很大程度上改善高分子注浆材料的综合性能，使其更好地适应煤矿井下的特殊需求。然而，组分的调整往往是一个复杂的平衡过程，需要通过大量实验和现场验证来确定最佳配方。例如，提高材料强度可能会降低其弹性，增加渗透性可能会影响固化速度。因此，在进行材料组成优化时，需要综合考虑各项性能指标，找到最佳平衡点。

（二）环境因素对性能的影响

煤矿井下环境复杂多变，各种环境因素对高分子注浆材料的性能都有重要影响。深入理解这些影响是优化材料性能的重要前提。温度是影响高分子注浆材料性能的关键因素之一。井下温度的变化会影响材料的固化速度和最终强度。高温环境可能加速材料固化，导致操作时间缩短；而低温环境则可能延缓固化过程，影响早期强度发展。例如，某煤矿在冬季进行巷道加固时，发现常规聚氨酯材料固化速度显著降低，影响了工程进度。针对这一问题，研究人员通过调整固化剂配比和添加低温催化剂，成功开发出了适用于低温环境的注浆材料。

通过深入研究这些环境因素的影响机制，可以有针对性地优化材料配方和施工工艺，提高高分子注浆材料在复杂井下环境中的适应性和稳定性。例如，开发温度自适应型材料，可以解决材料在不同深度和季节变化下的适应性问题；研究压力响应型材料，可以提高深部高压环境下的注浆效果；开发耐酸碱性强材料，可以扩大材料的应用范围。这些研究方向将为高分子注浆材料在煤矿井下的广泛应用奠定基础。

（三）注浆工艺对性能的影响

注浆工艺的选择和优化对于充分发挥高分子注浆材料的性能

至关重要。合理的注浆工艺可以显著提高材料的利用效率和工程效果。注浆压力是影响注浆效果的关键因素之一。适当的注浆压力可以提高材料的渗透深度和填充效果。然而，过高的压力可能导致地层破裂或材料流失，而过低的压力则可能影响渗透效果。在实际工程中，往往需要根据地质条件和材料特性，不断调整注浆压力。例如，在处理一处复杂断层带时，工程人员采用了阶梯式增压注浆法，逐步提高注浆压力，成功实现了断层带的有效封堵。

通过优化注浆工艺，可以在很大程度上提高高分子注浆材料的应用效果，实现材料性能的最大化利用。然而，注浆工艺的优化是一个系统工程，需要综合考虑材料特性、地质条件、工程需求等多方面因素。未来的研究方向可能包括开发智能化注浆系统，实现注浆参数的实时监测和自动调节；探索新型注浆技术，如超声波辅助注浆、电场诱导注浆等，进一步提高材料的渗透性和分布均匀性。这些创新将为高分子注浆材料在煤矿井下的高效应用开辟新的途径。

三、高分子注浆材料性能优化策略

（一）材料配方优化

基于对影响因素的深入分析，材料配方优化成为提升高分子注浆材料性能的关键策略。改性主体树脂是一个重要的研究方向。通过引入新型单体或改性剂，可以显著提高树脂的耐热性、耐久性和力学性能。例如，在聚氨酯体系中引入硅氧烷结构，可以提高材料的耐热性和耐久性。研究表明，这种改性后的聚氨酯材料在80℃高温环境下仍能保持良好的力学性能，使用寿命延长了50%以上。

通过配方优化策略，可以显著提升高分子注浆材料的综合性能，使其更好地适应煤矿井下复杂环境的需求。然而，配方优化是一个复杂的系统工程，需要考虑多个性能指标之间的平衡。未来的研究可能会更多地关注多功能复合材料的开发，如自修复型注浆材料、导电型注浆材料等，以满足煤矿井下多样化的工程需求。

（二）注浆工艺改进

优化注浆工艺是提高高分子注浆材料应用效果的另一个重要途径。智能压力控制系统的开发是一个重要方向。通过开发基于实时反馈的智能压力控制系统，可以根据地层特性和材料性能自动调节注浆压力，以实现最佳的渗透效果。例如，某研究团队开发了一种智能注浆系统，该系统能够实时监测注浆压力、流量和地层反压，并根据预设算法自动调整注浆参数。在一项实际应用中，这一系统使注浆材料的有效扩散半径提高了20%，大大提升了注浆效果。

工艺改进措施可以与材料配方优化相结合，进一步提高高分子注浆材料在煤矿井下应用中的效果。例如，智能压力控制系统可以与环境响应型材料配合使用，实现注浆压力和材料性能的动态匹配；温度调控技术可以与温度敏感型材料结合，确保材料在最佳条件下固化。这种材料与工艺的协同优化将成为未来研究的重要方向。

（三）质量控制措施

为确保高分子注浆材料性能优化效果的可靠性和一致性，严格的质量控制措施不可或缺。原材料质量管理是确保注浆材料性能的基础。建立严格的原材料质量检测和管理制度，确保原材料的纯度和稳定性，是提高注浆材料性能一致性的关键。例如，某大型煤矿企业建立了专门的原材料检测实验室，对每批进场的注

浆材料原料进行全面检测，包括化学成分分析、物理性能测试等，有效保证了原材料的质量稳定性。

环境参数监测是确保注浆效果的重要保障。建立井下环境参数（温度、湿度、压力等）的实时监测系统，为材料性能优化和施工工艺调整提供依据。在一项深部煤矿注浆工程中，通过布设多点环境监测设备，实时掌握井下环境变化，及时调整材料配方和注浆参数，显著提高了注浆的成功率。

通过这些质量控制措施，可以确保高分子注浆材料性能优化的效果得到充分发挥，为煤矿井下工程的安全和效率提供可靠保障。未来，质量控制技术可能会向更加智能化和自动化的方向发展，如开发基于人工智能的质量预测系统，实现对注浆质量的前瞻性控制。

四、结论与展望

本研究系统探讨了高分子注浆材料在煤矿井下应用中的性能优化问题，得出以下主要结论：

材料组成、环境因素和注浆工艺是影响高分子注浆材料性能的关键因素。通过优化这些因素，可以显著提升材料在煤矿井下复杂环境中的应用效果。材料配方优化、注浆工艺改进和质量控制措施是实现高分子注浆材料性能优化的有效途径。实验研究和工程应用案例验证了性能优化措施的有效性，优化后的高分子注浆材料在固化速度、强度、耐久性和工程效果等方面均有显著提升。

展望未来，高分子注浆材料在煤矿井下应用中的性能优化研究仍有广阔空间：开发新型环境响应智能材料，实现材料性能的自适应调节。探索生物基和可降解高分子材料，提高环保性。结合人工智能和大数据技术，开发智能化注浆系统。深入研究材料-岩体相互作用机理，为材料性能优化提供理论基础。开发高性能多功能复合注浆材料，满足复杂工况需求。

通过持续的研究创新和工程实践，高分子注浆材料在煤矿井下应用中的性能将不断提升，为煤矿安全高效生产提供更加可靠的技术支持。

参考文献

- [1] 张连军. 煤矿高分子材料用注浆装置技术要求与性能特性研究[J]. 煤矿机械, 2021, 42(04): 41-42.
- [2] 王巍. 浅谈矿用高分子注浆材料应用现状及发展对策[J]. 广东化工, 2020, 47(07): 127-128.
- [3] 王凯, 柏广峰, 张豫, 等. 煤矿反应型高分子材料研究现状及发展趋势[J]. 煤炭与化工, 2022, 45(06): 129-135+157.
- [4] 赵永刚. 化学高分子材料在煤矿井巷淋水治理中的应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2019, (17): 174+209.
- [5] 张任勇. 新型注浆材料在煤矿工程中的应用[J]. 山西化工, 2018, 38(06): 153-154+164.
- [6] 王国军, 张盛敏. 煤矿用高分子灌浆材料[J]. 化工管理, 2017, (29): 64.
- [7] 钱四发. 煤矿加固用高分子材料安全使用技术研究[J]. 山东煤炭科技, 2016, (10): 34+42.
- [8] 郑和平, 李季, 邢宇龙. 矿用新型高分子注浆材料研发及注浆加固应用[J]. 陕西煤炭, 2023, 42(06): 206-210.
- [9] 杨仁凯, 张双, 陶文盼, 等. 高分子材料分段注浆工艺在固沙中的应用[J]. 市政技术, 2022, 40(05): 146-150.
- [10] 陈城. 富水砂卵石地层注浆材料性能及注浆模拟试验研究[D]. 北京建筑大学, 2019.

高效空气过滤器在中央空调系统中的应用与优化

孙勇伟

山西汇坤建筑工程有限公司, 山西 忻州 034000

摘要： 本文聚焦高效空气过滤器在中央空调系统的应用与优化。重点剖析其提升空气质量、降能耗及延寿命的作用，研究材料创新、结构设计与智能控制等路径以实现能耗最小化。案例分析验证优化效果，表明可提升中央空调系统整体性能，为空气过滤技术发展指方向。研究奠定理论基础与实践指导，助力高效空气过滤器在不同场景广泛应用。

关键词： 高效空气过滤器；中央空调系统；空气质量；能耗优化；技术路径

Application and Optimization of High Efficiency Air Filter in Central Air Conditioning System

Sun Yongwei

Shanxi Huikun Construction Engineering Co., LTD., Xinzhou, Shanxi 034000

Abstract： This paper focuses on the application and optimization of high-efficiency air filter in the central air-conditioning system. Focus on analyzing its role in improving air quality, reducing energy consumption and extending life, and studying material innovation, structural design and intelligent control to minimize energy consumption. The case analysis verifies the optimization effect, indicating that the overall performance of the central air conditioning system can be improved, which refers to the development direction of air filtration technology. Research lays the theoretical foundation and practical guidance, and helps the high-efficiency air filter to be widely used in different scenarios.

Keywords： high efficiency air filter; central air conditioning system; air quality; energy consumption optimization; technical path

引言

空气污染严峻，室内空气质量重要性凸显。中央空调系统过滤性能关乎室内空气洁净度与能耗水平。高效空气过滤器至关重要，保持高效过滤、降低能耗与延长寿命是待深入研究课题。本文探讨其优化技术路径及实际效果，旨在为未来中央空调系统设计和运行提供参考，助力提升室内空气质量，降低能耗，推动中央空调系统向更高效、环保方向发展^[1]。

一、高效空气过滤器在中央空调系统中的应用现状

近年来，随着人们对室内空气质量的重视程度持续攀升，高效空气过滤器在中央空调系统中的应用愈发广泛，此类过滤器凭借其高效的微粒捕捉能力，在阻挡空气中悬浮颗粒物、微生物以及其他有害物质方面发挥着举足轻重的作用。众多公共建筑和住宅的中央空调系统已然配备了高效空气过滤器，这一举措不仅显著提高了室内空气的洁净度，还极大地降低了由空气传播的疾病风险，高效空气过滤器在不同场合的应用呈现出多样化的态势^[2]。在医院、实验室和高档写字楼等场所，高效空气过滤器的应用极为普遍，这些环境对空气质量的要求极高，需要过滤器能够持续高效地过滤空气中的细菌、病毒和其他细微颗粒物，在一些普通的办公楼和居民住宅中，尽管空气过滤的要求相对较低，但随着

空气污染问题的日益严峻，高效空气过滤器的使用频率也在不断增加，这种趋势充分彰显了人们对健康生活环境的高度重视^[3]。

尽管高效空气过滤器在提升空气质量方面成效斐然，然而在实际应用中依旧面临诸多挑战，不同场所对空气过滤的要求相去甚远，中央空调系统的繁复性以及过滤器自身的设计与安装问题，皆会对其实际效果产生影响。某些场所因空气流量庞大或者使用频率颇高，故而对过滤器的维护与更换提出了更高要求，由于中央空调系统通常具备较长的运行周期，如何在漫长时间内维持过滤器的高效性能亦是一个关键问题，这些问题促使工程师与研究人员持续探索更为优化的设计方案以及维护策略，以提升过滤器的整体性能^[4]。

高效空气过滤器的应用亦受到经济因素的制约，在某些应用环境当中，虽然高效过滤器能够提供卓越的空气净化效果，然而

作者简介：孙勇伟（1985.10—），男，山西保德，汉，本科，中级职称，空气源热泵在低温环境下的能效提升方法研究。

其较高的初始成本以及维护费用，或许会给用户带来一定的经济压力。在选用高效空气过滤器之际，如何在性能与成本之间达成平衡，已然成为一个值得深入探究的课题，高效空气过滤器在中央空调系统中的应用已然取得了显著进展，并且在改善室内空气质量方面发挥了重要作用。

二、高效空气过滤器在过滤效率与能耗方面的挑战

高效空气过滤器在中央空调系统中的应用，虽极大地改善了室内空气质量，但在过滤效率与能耗之间进行权衡，仍是一个极为显著的挑战，高效过滤器通常具备更细密的过滤介质，此介质能够捕捉到更小的颗粒物与微生物。这种设计存在副作用，即增加了空气流动的阻力，进而致使中央空调系统的风机需要更大的功率，方能维持正常的气流量，这种功率需求的增加，直接导致了能源消耗的上升，特别是在大面积以及高频率使用的建筑环境中，能耗的增加更为显著。为确保过滤器在长时间使用过程中维持较高的过滤效率，定期的维护与更换必不可少，这种高频率的维护需求，不仅增加了运营成本，还可能致使系统运行中断，从而影响建筑物内的舒适性与工作效率，随着过滤器逐渐被污染物堵塞，其阻力也会随之增加，进一步加剧能耗问题，倘若维护不当或者更换不及时，过滤器的效率将显著下降，进而导致室内空气质量恶化，甚至会对健康构成隐患^[5]。

在实际应用当中，如何在高效过滤与低能耗之间寻得平衡点，已然成为工程师们亟待解决的问题，一些新型的过滤材料与技术正在被研发，以期在不显著增加能耗的情况下提升过滤效率。纳米纤维材料的应用以及过滤介质结构的优化，在一定程度上缓解了这一矛盾，这些技术的推广与应用还面临着成本、技术成熟度以及市场接受度等诸多方面的限制，不同的使用场景对过滤效率和能耗的要求亦有所差异。对于一些空气质量要求极高的场所，诸如医院与实验室，过滤效率通常被优先考量，即便这意味着更高的能耗^[6]。

而在一些普通办公楼和住宅中，节能往往被置于更高的优先级，然而这又可能致使空气过滤效果有所妥协，依据具体使用环境选择合适的过滤器，优化系统设计以降低风阻，成为应对这一挑战的重要举措。高效空气过滤器在过滤效率与能耗方面的挑战呈现出多面性，且相互影响，在未来的研究与应用中，开发出既能维持高过滤效率，又能最大限度降低能耗的新型过滤器，仍是空气过滤技术领域的重要发展方向。

三、高效空气过滤器性能优化的技术路径

高效空气过滤器的性能优化，于中央空调系统提升整体运行效率与空气质量而言，实属重要环节，在对优化技术路径予以探索之际，重点置于提升过滤效率、延长使用寿命以及削减系统能耗之上，同时务必确保过滤器在各种运行条件下的稳定性与可靠性^[7]。若干关键技术路径逐渐备受关注且得以应用。材料的创新乃是优化过滤器性能的核心途径之一，新型过滤材料的开发，例如

纳米纤维、复合材料以及高效静电纤维等，能够在保持较低气流阻力的前提下，提供更高的过滤效率。此类材料不但可以捕捉到更为细小的颗粒物，还拥有更高的耐久性与抗污染能力，延长了过滤器的更换周期，降低了维护成本，部分材料还具备抗菌和抗病毒的功能，可有效阻止微生物在过滤器中滋生，从而提升了过滤器的安全性与卫生性能。

过滤器的结构设计同样是优化性能的重要方向，经由优化过滤介质的排列方式以及层数，能够有效提高过滤效率并降低气流阻力，多层结构的过滤器逐层过滤不同大小的颗粒物，既提升了整体过滤效率，又减轻了单一层过滤介质的压力负担。过滤器的几何设计，诸如波纹状或折叠式结构，亦有助于增加过滤面积，减少空气流动的阻力，进而降低系统能耗，这样的设计在维持高效过滤的同时，也增强了过滤器的结构强度，延长了其使用寿命。除开材料与结构优化，智能化控制技术的应用为过滤器性能的优化提供了全新路径，传感器实时监测过滤器的运行状态以及空气质量数据，能够及时调整空调系统的运行参数，以保持最佳的过滤效率与能耗水平。基于物联网技术的智能过滤系统能够依据空气污染水平自动调节过滤器的工作模式，避免不必要的能耗，同时确保空气质量处于理想状态，这种智能化管理方式不仅提升了系统的整体效率，还减少了人工干预与维护工作。

定期的维护和清洗技术亦是性能优化中不可忽视的部分，采用成本低廉、效能卓越的清洗技术，能够有效延长过滤器的使用寿命，降低运行成本。自动化清洗设备与技术的发展，使得过滤器的维护更为方便快捷，极大地减少了系统停机时间，提高了整体运行的可靠性^[8]，高效空气过滤器性能优化的技术路径涵盖材料创新、结构设计、智能控制以及维护管理等多个方面。

四、高效空气过滤器优化应用的实际效果

高效空气过滤器在优化应用后的实际效果已然在多个领域得到了验证与认可，经由一系列优化措施，这些过滤器在提升空气质量、降低能耗以及延长设备使用寿命等方面展现出显著的优势。优化后的过滤器不但能够更为有效地去除空气中的颗粒物与微生物，还能在较低能耗的状况下维持系统的高效运行，在公共建筑中，经过优化的高效空气过滤器显著改善了室内空气的洁净度。监测数据表明，优化后的系统在去除空气中的PM2.5、细菌和病毒等微小污染物方面呈现出更高的效率。这不仅为日常使用提供了更为健康的环境，还有效降低了因空气污染导致的疾病传播风险，居民和工作人员的反馈亦显示，空气质量的改善直接提升了他们的舒适感与工作效率。

优化后的过滤器在能耗管理方面亦展示出其优势，材料创新与结构设计的改进，这些过滤器能够在降低空气流动阻力的同时，确保高效的颗粒捕捉能力，结果显示，经过优化的系统在运行过程中所需的风机功率显著降低，进而减少了整体能耗。这种节能效果在大面积以及高频率使用的建筑中尤为显著，降低了运营成本，亦符合当前节能减排的要求。优化应用的效果还体现在设备的维护和使用寿命方面，优化后的高效空气过滤器通常具备

更强的抗污染能力，能够延缓过滤介质的堵塞速度，从而减少了更换频率，这不仅降低了维护成本，还减少了因停机维护而导致的系统中断^[9]。

长期使用的数据表明，这些优化措施切实有效地延长了过滤器的使用寿命，进一步提升了系统的整体经济性与运行稳定性，在医疗和科研等对空气质量要求极高的场所，优化后的高效空气过滤器亦展示出其不可替代的作用。实验结果显示，这些经过优化的过滤器能够有效控制空气中的病原体浓度，显著提高了手术室、实验室等关键区域的安全性。

五、高效空气过滤器在中央空调系统中的未来发展方向

高效空气过滤器在中央空调系统中的未来发展方向将聚焦于提高过滤效率、降低能耗、实现智能化管理以及增强可持续性等多个方面，随着人们对室内空气质量要求的日益提升，未来的空气过滤器需要拥有更强的过滤能力，以应对日益复杂的空气污染物。如何在确保高效过滤的同时，最大限度地降低系统能耗，亦将成为技术发展的关键目标，在材料创新方面，未来的高效空气过滤器或许会采用更为先进的纳米材料和复合材料，这些新材料不但能够捕捉更细小的颗粒物，还能具备自洁功能，减少堵塞和污染物的积累。自洁功能的引入将显著延长过滤器的使用寿命，减少维护需求，进而降低运营成本，新材料的开发将有助于减少空气流动阻力，从而在保证过滤效果的前提下，进一步降低中央空调系统的能耗。

智能化是高效空气过滤器未来发展的另一个重要方向，随着物联网技术的发展，未来的空气过滤系统将更加智能化和自动

化，集成传感器和数据分析技术，过滤器可以实时监测空气质量、过滤器的使用状况以及系统的运行状态，并根据需要自动调整运行参数，这种智能管理系统不仅可以优化空气过滤效果，还能显著降低能耗，提高系统的运行效率。未来的智能空气过滤系统甚至可能具备自我诊断和预警功能，提前检测并提示可能出现的故障，避免系统停机，保障中央空调系统的持续高效运行，在可持续性方面，未来的高效空气过滤器将更加注重环保材料的使用以及产品的可回收性，这些环保材料不仅需要在生产过程中减少碳排放，还需要在使用寿命结束后能够有效回收再利用。设计可拆卸的结构和使用可再生材料，未来的过滤器将能够最大限度地减少对环境的负面影响，过滤器的制造过程也将趋向更加绿色化，以符合全球对环境保护日益严格的要求。

面对不断变化的空气污染问题以及日益严格的能源法规，高效空气过滤器的发展还需与时俱进，持续优化，未来的技术创新或许不仅仅局限于材料和智能化，还将涵盖更全面的系统集成以及跨学科的技术应用。与空调系统的深度融合，以及与其他建筑节能技术的协同作用，高效空气过滤器将在提升室内空气质量的同时，推动建筑能效的整体提升^[10]。

六、结语

本文深入探讨高效空气过滤器于中央空调系统的应用与优化。其在提升空气质量、降能耗及延寿命方面成效显著，既改善室内环境质量，又为能源节约与可持续发展助力。随技术进步，未来高效空气过滤器将更智能环保，为现代建筑空气管理提供全面解决方案，展现出广阔发展前景，成为中央空调系统不可或缺的重要组成部分，推动行业迈向新高度。

参考文献

- [1] 刘超，杜建兴，赵高昕，等. 高效空气 (HEPA) 过滤器在核电厂的应用 [J]. 暖通空调, 2024, 54(S1): 408-411.
- [2] 邓俭文，林子斌. 空气处理机过滤器高效除尘施工技术 [J]. 安装, 2023, (12): 17-19.
- [3] 郑仕建，金林. 核空气净化系统高效空气粒子过滤器旁通阀选型试验研究 [J]. 节能技术, 2022, 40(06): 563-565.
- [4] 王军民，彭永森，刘超，等. 高效空气过滤器滤速限值确定原则探究 [J]. 暖通空调, 2021, 51(03): 14-18+13.
- [5] 张鑫，林忠平. 褶式高效空气过滤器阻力数值模拟研究 [J]. 洁净与空调技术, 2020, (04): 4-9.
- [6] 付柏淋，吕阳. 中央空调系统过滤器表面真菌鉴定及温热控制 [J]. 中国环境科学, 2014, 34(11): 2917-2921.
- [7] 彭继. 静电除尘技术在中央空调系统净化改造中的应用 [J]. 建筑节能, 2013, 41(04): 1-5.
- [8] 郭式波. 中央空调系统中空气净化技术研究 [D]. 太原理工大学, 2012.
- [9] 虞霞. 民用空调系统中控制颗粒物浓度用纤维过滤器的测试及应用研究 [D]. 东华大学, 2005.
- [10] 田丽，张志刚，何伟，等. 高效自洁式空气过滤器在空分装置上的应用 [J]. 内蒙古石油化工, 2002, (04): 63-64.

高层建筑外墙保温材料的防火性能评估

赵延庆

山西汇坤建筑工程有限公司, 山西 忻州 034000

摘要： 高层建筑外墙保温材料防火性能乃建筑安全关键。深入探讨现状，分析易燃性、燃烧特性及火灾风险，提出材料配方优化、表面处理、智能化防火系统等提升措施。强调设计考量、施工质量控制及法规完善之重要性。未来，新材料、新技术及智能化系统发展，有望使保温材料防火性能实现质的飞跃，为建筑安全提供坚实保障。

关键词： 高层建筑；外墙保温；防火性能；材料评估；安全措施

Evaluation of Fire Prevention Performance of Exterior Wall Insulation Materials in High-Rise Buildings

Zhao Yanqing

Shanxi Huikun Construction Engineering Co., LTD., Xinzhou, Shanxi 034000

Abstract： The fire performance of exterior wall insulation materials of high-rise buildings is the key to building safety. Deeply discuss the current situation, analyze the flammability, combustion characteristics and fire risk, and put forward the material formula optimization, surface treatment, intelligent fire prevention system and other improvement measures. Emphasize the importance of design considerations, construction quality control, and regulatory improvement. In the future, the development of new materials, new technologies and intelligent systems is expected to make the fire prevention performance of thermal insulation materials to achieve a qualitative leap, providing a solid guarantee for the safety of buildings.

Keywords： high-rise building; external wall insulation; fire prevention performance; material assessment; safety measures

引言

高层建筑迅猛发展，对其外墙保温材料安全性能，尤其是防火性能提出更高要求。保温材料在实现隔热之际，防火性能与建筑整体安全性直接相关。伴随城市化进程加速，保温材料防火问题日益凸显，成为建筑安全焦点^[1]。深入分析其防火性能现状，探讨问题与风险，提出改善措施。综合考量材料科学、建筑技术与消防安全，为提升防火性能提供理论依据与实践指导，为建筑安全贡献力量。

一、外墙保温材料防火性能现状

高层建筑在现代城市结构中占据着举足轻重的地位，而外墙保温材料于其中所扮演的角色更是至关重要，保温材料能够切实有效地降低建筑能耗，大幅提高室内舒适度；其防火性能堪称保障建筑安全的关键要素。当下普遍应用的外墙保温材料，特别是有机类保温材料，不可避免地存在一定的火灾风险，在现代建筑工程当中，保温材料的选取往往是基于其具备导热系数低以及成本效益高的特点，但是此类材料在遭遇火源时，往往会以极快的速度燃烧，进而致使火势迅速蔓延。这种极为快速的燃烧过程，不但会对保温层的结构造成破坏，还有可能引发更为严重的建筑

整体结构损坏，保温材料的防火性能显得格外重要，外墙保温材料的防火性能主要是由材料材质、厚度、密度等因素所决定。传统的有机保温材料，例如聚苯乙烯泡沫板、聚氨酯泡沫等，尽管拥有良好的保温效果，然而其防火性能却相对较差，一旦发生火灾，这些材料便会成为火势迅速蔓延的媒介。

保温材料在施工过程中的固定方式以及保护层的设置，同样也是对其防火性能产生重要影响因素，倘若施工不当^[2]，那么保温材料原本应有的防火屏障作用便会大打折扣，针对保温材料的防火性能问题，建筑行业已然采取了一系列措施，诸如采用难燃或者不燃的保温材料、增加对材料的防火处理，以及在保温材料的外部额外增设防火隔离带等。这些措施在一定程度上确实能够

作者简介：赵延庆（1990.07-）男，山西五台，汉，本科，中级职称，高层建筑外墙保温材料的防火性能评估。

提高保温材料的防火性能，也带来了成本的增加以及施工难度的提升，建筑材料的防火性能评估标准，乃是确保建筑安全的重要基石，伴随建筑技术的不断发展以及对火灾案例的深入研究，这些标准持续得到更新与完善，从而能够更好地适应新的建筑需求以及安全挑战。

现行的评估标准不但要求保温材料具备优异的保温效果，而且更加强调其在火灾情况下的防火性能，这其中包括对材料的燃烧性能等级进行严格的评定，评估其在受火情况下的燃烧速度以及持续时间；对烟气产生量和热释放速率进行量化测试，以此来预测和控制火灾时可能产生的有毒烟雾以及热量。这些综合评估指标的设定，旨在提高材料在火灾中的稳定性和安全性，减少火灾对人员和财产所造成的损害，这些严格的评估标准，建筑行业能够筛选出既高效节能又安全可靠的保温材料，从而为建筑的防火安全提供坚实的保障，确保在紧急情况下能够有效控制火势，为人员疏散和火灾扑救争取到关键的时间。

二、防火性能问题与风险分析

在高层建筑的外墙保温系统当中，防火性能问题与风险乃是一个绝不容被忽视的议题，保温材料在为建筑提供隔热效果的同时，其燃烧特性以及防火性能直接关系到建筑的安全性能，保温材料防火性能的不足极有可能导致火灾发生之时的快速蔓延，进而大大增加了火灾的破坏性与危险性。保温材料的防火性能问题主要体现在材料的易燃性、燃烧时的热释放速率以及燃烧产物的毒性等诸多方面，易燃性高的保温材料在火灾发生之际，会迅速转变为火源，从而加速火势的扩散。热释放速率指的是材料在单位时间内所释放的热量，这一指标与火灾的控制难度以及灭火时间直接相关，而燃烧产物的毒性则关系到火灾发生之时人员的安全，有毒气体的释放会对人体造成极为严重的伤害，甚至有可能导致死亡。

在风险分析这一层面，必须要考虑保温材料的防火性能与建筑结构的兼容性，保温材料与建筑外墙的连接方式、保温层的厚度以及防火隔离带的设置等，这些因素都会对材料在火灾情况下的表现产生影响。施工过程中的质量控制同样也是防火性能的重要保障，不当的施工方法极有可能导致保温材料的防火性能降低，进而增加火灾风险，针对防火性能所存在的风险，建筑行业已然采取了一系列措施，其中包括使用难燃或者不燃的保温材料、增加防火隔离层、提高施工质量等。难燃或不燃材料的使用能够有效降低火灾发生的概率，而防火隔离层的设置则可以在一定程度上阻止火势的蔓延，施工过程中的质量控制也是确保保温材料防火性能的关键所在^[3]。

然而，这些措施的施行也不可避免地带来了成本的增加以及施工难度的提升，如何在确保防火性能的同时，对成本和施工难度加以控制，乃是当前建筑行业所面临的一个至关重要的问题。随着新材料与新技术的不断涌现，如何将这些创新成果应用于保温材料防火性能的提升，同样也是行业发展的一个重要方向，在防火性能问题与风险分析当中，还需要考虑保温材料在不同火灾

场景下的具体表现。保温材料在不同温度、不同燃烧条件下的防火性能或许会有所不同，对保温材料的防火性能进行全面的评估和测试，无疑是确保建筑安全的重要环节。

三、提升防火性能的策略与方法

在高层建筑的外墙保温系统之中，防火性能问题与风险无疑是一个绝不能被忽视的议题，保温材料在为建筑提供隔热效果之际，其燃烧特性与防火性能直接关系到建筑的安全性能，当前，保温材料防火性能的不足极有可能致使火灾发生之时快速蔓延，从而大大增加了火灾的破坏性与危险性^[4]。保温材料的防火性能问题主要呈现在材料的易燃性、燃烧时的热释放速率以及燃烧产物的毒性等方面，易燃性高的保温材料在火灾发生之际，会迅速转变为火源，进而加速火势的扩散。热释放速率指的是材料在单位时间内所释放的热量，这一指标与火灾的控制难度以及灭火时间直接相关，而燃烧产物的毒性则关系到火灾发生之时人员的安全，有毒气体的释放会对人体造成极为严重的伤害，甚至有可能导致死亡。

在风险分析的层面，必须要考虑保温材料的防火性能与建筑结构的兼容性，保温材料与建筑外墙的连接方式、保温层的厚度以及防火隔离带的设置等，这些因素都会对材料在火灾情况下的表现产生影响。施工过程中的质量控制同样也是防火性能的重要保障，不当的施工方法极有可能致使保温材料的防火性能降低，进而增加火灾风险，针对防火性能的风险，建筑行业已然采取了一系列措施，包括使用难燃或者不燃的保温材料、增加防火隔离层、提高施工质量等。难燃或不燃材料的使用能够有效降低火灾发生的概率，而防火隔离层的设置可以在一定程度上阻止火势的蔓延，施工过程中的质量控制也是确保保温材料防火性能的关键所在^[5]。

然而，这些措施的施行不可避免地带来了成本的增加以及施工难度的提升，如何在保证防火性能的同时，对成本和施工难度加以控制，乃是当前建筑行业所面临的一个重要问题，随着新材料和新技术的不断涌现，如何将这些创新应用于保温材料的防火性能提升，也成为了行业发展的一个重要方向^[6]。在防火性能问题与风险分析当中，还需要考虑保温材料在不同火灾场景下的表现，保温材料在不同温度、不同燃烧条件下的防火性能可能会有所不同，对保温材料的防火性能进行全面的评估和测试，无疑是确保建筑安全的重要环节。

四、防火性能改善的案例研究

在建筑领域当中，防火性能的改善乃是一个持续不断的过程，其涉及材料科学、建筑技术以及消防安全等多个方面，案例研究作为评估和展示防火性能改善效果的重要手段，能够为行业提供极为宝贵的经验与启示。对现有建筑外墙保温材料的防火性能进行深入分析，能够发现一些关键的改善点，对材料配方进行优化，可以降低保温材料的可燃性，进而提高其在火灾情况下的

稳定性，采用新型防火涂料或者阻燃剂对保温材料进行表面处理，能够有效减缓材料在火灾中的燃烧速度，降低热释放速率。

在案例研究之中，对保温材料的防火性能改善措施进行实地测试和评估，能够直观地展现出这些措施的效果，模拟火灾环境，对经过防火处理的保温材料在高温下的物理性能和燃烧特性进行测试，可以验证其防火性能的提升。对比分析改善前后的数据，能够更准确地评估防火性能改善措施的有效性，在实际应用当中，防火性能的改善还需要考虑与建筑整体设计的兼容性，在设计阶段就应当考虑保温材料的防火性能，确保其与建筑结构、外墙系统以及其他材料能够协同发挥作用。施工过程中的质量控制也是确保防火性能改善效果的关键所在，严格的施工标准和监督机制可以确保保温材料的防火性能在实际应用中得到充分发挥^[7]。

案例研究还应当关注防火性能改善措施的长期效果与可持续性，一些在短期内有效的防火措施或许会随着时间的推移而效果减弱，所以需要定期进行维护和更新，随着技术的不断发展以及新材料的出现，防火性能的改善措施也应当不断更新和优化，以适应不断变化的建筑需求和安全标准。在进行案例研究时，还应留意防火性能改善措施的经济性与可行性，虽然一些高性能的防火材料和先进技术能够显著提高保温材料的防火性能，但其成本可能较高，施工难度也可能有所增加，在实际应用中需要平衡防火性能、成本以及施工难度，选择最为合适的改善措施^[8]。

五、未来防火性能优化的趋势

材料科学的突破必将为防火性能的优化提供崭新的可能性，纳米技术的应用能够显著提高材料的热稳定性与阻燃性能，在保温材料中添加纳米级阻燃剂，可以有效地提高材料的防火等级，从而降低火灾发生的风险。生物基材料的开发亦是未来防火性能优化的一个重要方向，这类材料不但具有可再生以及环境友好的特点，而且在某些情况下，它们的防火性能甚至超越了传统的石油基材料，智能化技术的发展将会为防火性能的提升带来革命性的变化。集成传感器和智能控制系统，建筑外墙能够实时监测环

境温度、烟雾浓度等关键参数，及时发现火灾隐患并采取相应的防火措施。

这种智能化防火系统不但可以提高火灾应对的效率，还能够减少因人为因素导致的火灾风险，建筑设计理念的更新也将会对防火性能的优化产生深远影响，绿色建筑和可持续建筑理念的推广，将促使设计师在设计阶段就充分考虑保温材料的防火性能，从而实现建筑整体性能的最优化^[9]。模块化和预制化建筑技术的应用，也将提高施工过程中保温材料防火性能的可控性和一致性，法规和标准的完善对于推动防火性能的优化起着至关重要的作用，随着社会对建筑安全要求的持续提升，相关法规和标准也必须与时俱进，以确保能够适应不断发展的新技术和新材料。这些法规和标准不仅涵盖了保温材料的防火性能要求，确保材料在设计 and 生产阶段就符合安全标准，还对施工过程、后期维护管理等方面提出了更为严格的规范。

施工过程中的防火隔离、材料的固定方式以及施工后的检查和维护都被纳入了法规的监管范围，以确保从施工到使用的各个环节都能实现防火安全，公众意识的提高在防火性能优化中扮演着不可或缺的角色^[10]。随着社会对建筑安全的日益关注，公众对于防火性能的期望也在不断增长，这种需求推动着建筑行业在设计、选材、施工等各个环节中更加注重防火性能，建筑行业因此被激励着不断探索并采纳创新的防火技术和材料，以满足市场和用户的高标准需求。

六、结语

高层建筑外墙保温材料防火性能领域，见证材料科学、建筑技术与消防安全深度融合。科技进步与创新材料涌现，推动防火性能成行业发展重要方向。智能化技术集成，为监测预防火灾提供新解；绿色建筑理念普及，促保温材料防火与环保双重提升。法规完善、公众意识提高，推动防火性能优化实践。未来，跨学科合作与技术创新将全面优化防火性能，筑就安全可靠可持续建筑环境。

参考文献

- [1] 何强. 高层建筑外墙外保温系统防火性能研究 [J]. 建筑科学, 2020, 36(2): 58-62.
- [2] 李娜. 保温材料在高层建筑中的应用与防火策略 [J]. 建筑材料学报, 2019, 32(4): 123-128.
- [3] 杨波. 建筑外墙保温材料的防火性能评估方法 [J]. 建筑技术, 2021, 42(1): 30-35.
- [4] 刘洋. 高层建筑外墙保温材料防火性能的影响因素分析 [J]. 工程设计与设计, 2022, 44(3): 18-22.
- [5] 赵红. 保温材料防火性能提升的研究与应用 [J]. 建筑技术研究, 2020, 31(1): 45-49.
- [6] 周杰. 高层建筑外墙保温材料防火性能优化设计 [J]. 建筑与文化, 2019, 15(6): 65-67.
- [7] 陈晨. 高层建筑保温材料防火性能提升技术 [J]. 建筑知识, 2021, 29(2): 78-80.
- [8] 尹娟. 保温材料防火性能测试方法研究 [J]. 建筑材料与应用, 2020, 34(5): 33-37.
- [9] 孙强. 高层建筑外墙保温防火系统设计要点 [J]. 建筑技艺, 2021, 37(4): 90-93.
- [10] 韩梅. 高层建筑外墙保温材料防火性能评估与改进 [J]. 建筑节能, 2022, 40(1): 55-59.

电线电缆制造企业节能降耗的实现途径分析

王名研

辽宁丹顺特种电线有限公司, 辽宁 丹东 118000

摘 要： 随着社会经济的稳定发展, 对各行业发展提出更多的要求, 其中针对电线电缆制造企业, 提出节能减排要求。在这一背景下, 企业应结合实际, 不断加强节能降耗管理, 从而实现开源节流和内部控制的目的, 提高市场竞争能力, 从而获取更大的经济效益和社会效益。基于此, 文章分析了电线电缆制造企业进行节能降耗的必要性, 接着对如何实现节能降耗提出具体的对策, 以此不断提高企业管理能力和水平, 确保工作高效完成, 实现可持续发展目标, 满足新时代发展需求。

关 键 词： 电线电缆制造企业; 节能降耗; 措施

Analysis of Energy Saving and Consumption Reduction in Wire and Cable Manufacturing Enterprises

Wang Mingyan

Liaoning Danshun Special Wire Co., LTD, Dandong, Liaoning 118000

Abstract： With the stable development of social economy, more requirements are put forward for the development of various industries, including for wire and cable manufacturing enterprises, energy conservation and emission reduction requirements. In this context, enterprises should combine the reality, constantly strengthen the management of energy saving and consumption reduction, so as to realize the purpose of open source and reduce expenditure and internal control, improve the market competitiveness, so as to obtain greater economic and social benefits. Based on this, the paper analyzes the necessity of energy saving and consumption reduction in wire and cable manufacturing enterprises, and then puts forward specific countermeasures on how to achieve energy saving and consumption reduction, so as to continuously improve the management ability and level of enterprises, ensure the efficient completion of the work, achieve sustainable development goals, and meet the development needs of the new era.

Keywords： wire and cable manufacturing enterprises; energy saving and consumption reduction; measures

在当前电力传输与信号控制中, 电线电缆作为重要的基础材料, 在多领域中得到广泛应用, 如电力、通信、建筑、交通等。但其生产过程中的能源消耗和环境污染问题十分突出。伴随近几年全球能源危机的加剧, 对环保法规也愈发严格。作为电线电缆制造企业, 在节能降耗方面面临极大的压力。对此, 应不断探索并实施合理有效的节能降耗措施, 以此在提升企业经济效益的同时, 实现保护环境的目标。

一、电线电缆制造企业节能降耗的必要性

(一) 有利于控制电线电缆制造企业控制成本

作为电线电缆制造企业, 为进一步扩大自身生存空间, 首先要对自身发展理念进行改变, 同时还需对发展策略进行创新, 从而实现全面的成本控制目标。在这过程中, 企业可从能源资源发展方式进行调整, 将其转变为注重质量和效率的模式, 之后采用回收利用能源资源的方式, 不断降低企业能耗, 对成本进行合理把控^[1]。

(二) 实现可持续发展的需要

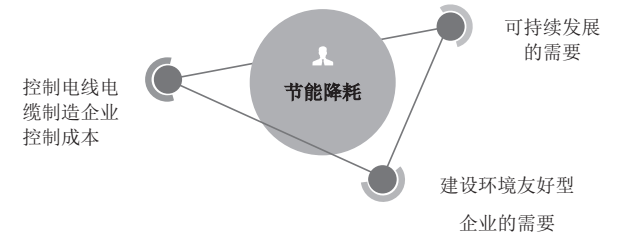
近几年我国电线电缆制造商在设备方面不断升级以及产能不断提升, 但在环保节能方面依然面临不小的挑战。对于这些挑战, 主要表现在以下几个方面: 一是, 企业在管理中存在明显不足, 具体而言采用的是高能耗生产方式, 致使生产期间经常出现能源浪费和污染问题。二是, 生产工艺在执行方面不够顺畅, 对新旧设备的使用没有对能源消耗进行有效控制以及减少废弃物排放。因企业技术创新环境不够完善, 加之缺乏自主创新能力。针对这些问题, 若不及时进行解决, 势必会影响企业持续发展。与

作者简介: 王名研 (1982.12-), 男, 汉族, 辽宁人, 本科, 研究方向: 电线电缆制造领域, 邮箱: danshunrj@163.com。

此同时，电线电缆制造企业在发展中面临极大的环保压力，随着地方污染防治政策的深入实施，都在不同程度上影响企业生产方式。对此，企业有必要实施精细化的节能降耗管理，为实现可持续发展目标创造良好条件^[2]。

（三）建设环境友好型企业的需要

结合电线电缆制造业发展情况，面临严峻的节能减排挑战。作为企业，要能够深刻认识到通过牺牲环境获取短期的经济效益是不可取的。为此，企业应结合实际情况，积极采取有效措施，做好对生产源头的环境管理，以此能够在最大程度上减少对污染物的排放。与此同时，企业还可通过不断提升整个产品的科技水平和附加值，达到降低对环境的影响的目的，进而促进低碳经济发展。由此说明，探索并实施绿色制造模式对行业发展十分重要。企业在发展期间，可注重对二次能源的利用，如回收废热和废料，以此提高生产过程的环保性。另外，建设环境友好型企业，既能够有效解决经济发展与环境保护之间存在的矛盾，切实增强企业市场竞争能力和社会责任意识^[3]。



> 图1

二、电线电缆制造企业节能降耗的管理措施

（一）建立健全管理体系

电线电缆制造企业应结合实际，建立专门的节能降耗管理团队。该团队主要负责对内部成员进行职业素质和节能意识的培养。为顺利实现这一目标，企业应对现有的管理体系进行完善，同时还要建立科学且合理的评价机制。团队成员需定期检查能源使用情况，这样做可在一定程度上增强员工节能意识，促使能源在使用中更加高效和合理^[4]。另外，企业还应结合垃圾分类方案，对回收和非回收垃圾桶进行合理设置，并将垃圾分类与检查工作纳入日常管理工作中。在这个环节中，企业通过实施奖惩制度，既能够有效提升员工资源节约意识，还大大促进企业资源利用的合理性，进而实现保护环境的目的。

为有效激发员工参与工作的积极性和主动性，企业应积极举办不同形式的节能竞赛和资源消耗演讲等活动。随着这些活动的开展，有助于企业深入了解节能降耗的重要性，进而提升节约资源的意识。这不仅能够帮助企业进一步提升经济效益，还可在员工中树立良好的环保意识。为在减少资源浪费方面，企业应做好材料采购工作。在这方面，主要是通过降低采购成本达到节约资源的目的。对此，企业应建立完善的管理体系，选择资质齐全的供应商，同时还要特别关注行业动态和原材料市场变化。这样做，主要是为了更好确定采购时机和数量。此外，相关管理人员还要特别注重经营风险，根据具体情况采取合理措施对风险进行

合理控制，促使企业在面对市场波动时能够保持稳定的状态。企业应加强对技术的研究，以此能够在源头上实现节能降耗这一目标。随着新工艺和新技术的应用，可帮助企业有效降低生产成本，切实提高生产效率，进而增强市场竞争优势^[5]。

（二）加强节能降耗实施管控

电线电缆企业会定期开展全员节能工作会议，之所以这样做，主要是对生产和采购等部门存在的不足，探索有效的节能整合措施。以此能够逐渐减少管理过程中能源消耗，并不断提升电线电缆产品质量和生产效率，帮助企业减少生产和运营成本以及面临的风险。结合实际，电线电缆制造业本身存在能源消耗过高的问题，尤其是某些车间是能源使用的重要部门。在供应环节中，是降低成本和提高效率的关键，因而企业应对此予以重视，选择高质量的供应商。同时，还要对期货市场进行密切关注，以此更好地把握采购时机。在这过程中，通过采用合理的材料管理体系和方法，有效降低采购成本和风险。另外，节能降耗中，技术研究作为关键，需要企业通过对新工艺、新技术和新材料的不断开发，达到降低成本的效果。作为营销部门，需对产品毛利做好精确估算，并对坏账问题做好处理，不断加快现金流的转换效率^[6]。另外，营销部门还要做好整个营销运营成本的计算，以此不断降低各项成本支出。采购人员则要对原材料的市场价格进行实时监控，如铜、铝等。这样有助于企业对市场变化规律进行更好地掌握，确保能够以合理价格采购高质量材料。采购部门需对整个经济成本进行严格把控，对出现的不合格材料要及时进行退回，从而确保材料符合相关标准。生产部门则要加强与财务部门之间的合作，通过对原材料和能源消耗的计算，制定制度配额，从而达到降低成本的目的。最后，企业还要立足实际，制定产品质量责任制度，以此不断提升电线电缆的制造效率。

（三）加强新技术的推广

作为电线电缆制造企业，要不断提升导体品质。在这个环节中，需对电解铜的使用量进行精确控制，以此能够在最大程度上保障导体的纯净度和导线性能。与此同时，企业还要逐渐减少原材料的采购成本。通过对供应链管理进行合理优化以及批量采购等，降低原材料的采购价格，进而提升企业经济效益。在实际生产期间，企业还要注重对电缆拉伸和断裂问题的改进。具体而言，就是通过对机型的预热温度和升温过程进行精确控制，保障整个电缆的拉伸均匀性和断裂强度，进而不断降低产品能耗，逐渐减少生产环节中的用水量，实现绿色生产目标^[7]。

在实际运营期间，企业应加大对新材料、新工艺应用的推广力度，同时还要加强部门的劳动责任制度。在这个环节中，企业应对各部门职责和任务进行明确划分，不断提高员工在工作中的效率，进而达到降低生产成本的目的。另外，企业还应针对人力资源进行合理配置，根据具体情况建立技术团队，以此能够对环保技术进行深入研究，确保问题得到有效解决，不断提高产品的环保性能。此外，企业还应加强与高校、科研机构的合作，共同开展节能和低碳经济的研究和技术开发，从而不断提升企业技术创新能力，促进其可持续发展。期间，需不断增加对节能减排生产的投资，合理优化生产技术，对高能耗设备要将其淘汰。此外，

企业还要对生产设备做好定期检查和维修，对旧设备及工艺进行及时更新和改造，不断推动新技术和新设备在生产环节中的应用，切实提高能源利用效率。随着这些措施的实施，帮助企业降低生产成本，有效减少对环境产生的影响，进而实现经济效益和环保效益双赢的目的^[8]。

（四）加强节能降耗的成本测算

对于成本效益分析，是企业实施方案中常用的方法之一，该方法主要是利用工程经济原理。在具体应用中，成本效益分析主要针对货币影响进行评估，而对于成本效果分析，关注的是非货币影响。企业在对节能减排成本进行评估时，要立足实际设定具体明确，同时还要确定基准线，以确保估算的准确性^[9]。

动态优化计量模型通常应用在需求与节能减排任务的组合，通过对能源和技术的合理应用，对节能降耗成本进行计算。但是，该模式在使用中没有考虑到行业之间的关联，因而难以模拟出节能降耗产生的全面影响。投入产出分析作为现代化计量模型，能够在各部门之间建立良好的平衡关系。投入产出模型主要应用于节能减排的实施的和对经济影响的研究。虽然投入产出分析需要做出一定的假设，且存在局限性，但在短期分析中十分常见。计算一般均衡模型多应用在能源与环境研究，对微观经济学原理十分注重。管理人员可结合跨期决策，在分析环节中应用静态模型和动态模型。动态模型主要应用短期研究，对特定时期的效果比较关注；动态模型充分结合了静态和动态具有的特点，有

效考虑变量的影响。在实际应用过程中，不仅能够对节能减排进行有效识别，还能够对节能措施的经济效果进行全面评估。企业应根据实际情况，选择适合的测量指标，并建立相应模式，从而为实施节能降耗提供重要支持。

（五）完善责任考核

为进一步降低企业能耗，确保其排污达到相关要求，则要充分发挥环保作用。企业管理人员需对环保监测情况进行深入了解，对电线电缆生产管理的职责分工做好划分。通过采取合理的分布指标，做好过程控制。与此同时，还要合理运用考核机制，将该机制落实到具体环节中。为确保企业能够对能源资源进行综合利用，则应在成本管理和考核中纳入生产能耗和环保。另外，企业还要合理调整现有的激励措施，适当增加节能奖金。对有重要贡献的员工进行表扬和奖励，以激发其参与的积极性^[10]。

三、结语

综上所述，在现如今社会发展环境中，对节能减排工作开展愈发重视。作为电线电缆制造企业，应深刻认识到节能减排的重要性，深入把握目前在节能降耗方面存在的问题，之后根据问题，实施具体的应对策略，以此减少能源资源的消耗，加强对环境保护，为实现可持续发展目标奠定良好基础。

参考文献

[1] 周岳. 电线电缆制造企业节能降耗管理措施 [J]. 数码 - 移动生活, 2022(8):25-27.
[2] 邢少阳. 国有供暖企业节能降耗策略与成本控制研究 [J]. 南北桥, 2023(9):154-156.
[3] 崔巍. 基于节能降耗的能源计量技术的应用分析 [J]. 当代化工研究, 2023(17):170-172.
[4] 刘凌飞, 毛伟东. 科学精准推动绿色企业高效发展 ——TK7226井区节能降耗统计研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022,42(1):98-101,104.
[5] 邢海梅. 能耗在线监测在企业节能管理中的应用 [J]. 品牌研究, 2022(8):44-45,166.
[6] 王巍, 朱佳鑫. 浅析智能疏干集控系统对露天矿“节能降耗”的影响 ——以伊敏露天矿为例 [J]. 呼伦贝尔学院学报, 2022,30(4):99-105.
[7] 袁景. 房屋建筑工程施工现场环境保护以及节能降耗控制策略探讨 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2023(12):115-117.
[8] 赛捷. 浅析油田节能降耗技术的实际应用对企业经济的影响 [J]. 中国化工贸易, 2022(26):46-48.
[9] 同晋, 张晨阳, 高玉杰. 房屋建筑工程施工现场环境保护以及节能降耗控制措施分析 [J]. 电脑爱好者 (普及版), 2023(4):4-6.
[10] 王辰阳. 房屋建筑工程施工现场环境保护以及节能降耗控制措施分析 [J]. 建筑设计与研究, 2022,3(7).

无线通信工程中的智能天线技术研究与应用

周益良, 陈展仁

中国铁塔股份有限公司温州市分公司, 浙江 温州 325000

摘要： 本文深入探讨了无线通信工程中的智能天线技术，详细阐述了其工作原理、关键技术及特点。通过对智能天线在移动通信、卫星通信等领域的应用案例分析，揭示了其在提高通信质量、增加系统容量、降低干扰等方面的显著优势。同时，也指出了智能天线技术在实际应用中面临的挑战，并对其未来发展趋势进行了展望。

关键词： 无线通信；智能天线；波束成形；多用户检测

Research and Application of Smart Antenna Technology in Wireless Communication Engineering

Zhou Yiliang, Chen Zhanren

Wenzhou Branch, China Tower Corporation, Wenzhou, Zhejiang 325000

Abstract： This paper delves into the smart antenna technology in wireless communication engineering, elaborating on its working principles, key technologies, and characteristics. Through case studies of smart antenna applications in mobile communication, satellite communication, and other fields, it reveals its significant advantages in improving communication quality, increasing system capacity, and reducing interference. At the same time, it also points out the challenges faced by smart antenna technology in practical applications and provides an outlook for its future development trends.

Keywords： wireless communication; smart antenna; beamforming; multi-user detection

引言

随着无线通信业务的快速增长，对通信质量和容量的要求不断提高，智能天线技术作为一种有效的解决方案，受到了广泛关注。智能天线能够通过自适应调整天线波束，实现信号的定向传输和接收，从而显著提高通信系统的性能^[1]。

一、智能天线技术的工作原理

（一）基本概念

智能天线是一种由多个天线单元组成的天线阵列系统。其核心原理在于通过对各天线单元接收到或发送出的信号进行加权合成，从而实现波束的动态调整。

在实际应用中，智能天线并非简单地将多个天线单元组合在一起，而是通过精心设计的结构和复杂的信号处理算法，使得天线系统能够根据通信环境和用户需求的变化，自适应地调整波束的形状、方向和强度。

例如，在移动通信场景中，当用户位置发生改变时，智能天线能够迅速感知这一变化，并相应地调整波束方向，始终保持对用户的最佳信号覆盖。

（二）波束成形原理

波束成形是智能天线的关键工作原理之一。它是根据接收信号的各种特征，如到达角度、时延、功率等，通过特定的算法计算出各天线单元的加权系数。

这些加权系数决定了每个天线单元信号在合成过程中的贡献大小，从而使得合成后的天线波束能够精准地指向期望信号的方向，同时有效地抑制来自其他方向的干扰信号。

具体来说，当期望信号来自特定方向时，算法会为朝向该方向的天线单元分配较大的加权系数，增强这部分信号的强度；而对于来自干扰方向的信号，相应天线单元的加权系数则较小，甚至为负，从而达到抑制干扰的效果。

例如，在一个存在多个信号源的环境中，智能天线可以准确地将波束聚焦在目标信号源上，同时削弱来自其他方向的干扰信号，显著提高接收信号的质量和信噪比^[2]。

（三）自适应算法

常见的自适应算法在智能天线系统中起着至关重要的作用，用于实时调整加权系数，以适应不断变化的通信环境。

其中，最小均方误差（LMS）算法是一种简单而有效的算法。它通过不断比较实际接收信号与期望信号之间的均方误差，并根据误差的大小和方向逐步调整加权系数，使得误差逐渐减小，最终实现最优的波束成形效果。

递归最小二乘（RLS）算法则是另一种常用的自适应算法。与LMS算法相比，RLS算法对信号的变化具有更快的响应速度和更好的收敛性能，但计算复杂度相对较高^[3]。

此外，还有诸如卡尔曼滤波算法、恒模算法等其他自适应算法，它们各自具有不同的特点和适用场景，为智能天线系统提供了多样化的选择。

例如，在高速移动的通信环境中，RLS 算法能够更快地跟踪信号的变化，确保波束始终准确指向目标；而在计算资源有限的情况下，LMS 算法则因其简单性而更具优势。

二、智能天线技术的关键技术

（一）阵列结构设计

阵列结构设计是智能天线技术中的重要环节，其中包括天线单元的数量、间距、排列方式等关键因素。这些因素对波束性能和系统复杂度有着重要影响。

天线单元的数量直接决定了波束的精细控制程度和方向图的可调节性。数量越多，波束的指向性和分辨率越高，但同时也会增加系统的复杂度和成本。

天线单元的间距则会影响到波束的旁瓣电平、增益以及对不同频率信号的响应特性。合理的间距设计能够有效地抑制旁瓣，提高增益，并保证在工作频段内的性能稳定。

排列方式的选择也至关重要，常见的有直线排列、圆形排列、平面排列等。不同的排列方式适用于不同的应用场景，例如直线排列适用于定向通信，而圆形排列则在全向覆盖方面具有优势^[4]。

以相控阵雷达为例，其采用的大规模天线阵列通过精心设计的单元数量、间距和排列方式，实现了对目标的高精度探测和跟踪。

（二）信号处理技术

信号处理技术在智能天线中占据核心地位，包括数字信号处理、波束控制算法等方面，它们直接决定了智能天线的性能和响应速度。

数字信号处理技术负责对接收和发送的信号进行采样、量化、滤波、变换等操作，以提取有用信息并去除噪声和干扰。高效的数字信号处理算法能够在保证信号质量的前提下，降低计算复杂度和处理时延。

波束控制算法则根据系统的需求和通信环境的变化，实时计算出各天线单元的加权系数，实现波束的动态调整和优化。先进的波束控制算法能够快速适应信号的变化，提高波束的跟踪精度和稳定性^[5]。

例如，在卫星通信中，采用高性能的数字信号处理技术和智能的波束控制算法，能够确保在复杂的空间环境中保持稳定的通信链路。

（三）多用户检测技术

多用户检测技术在智能天线系统中用于区分和处理多个用户的信号，对于提高系统容量和抗干扰能力具有关键作用。

在多用户通信环境中，不同用户的信号会相互叠加和干扰。多用户检测技术通过对接收信号进行联合处理，利用用户信号的特征（如码型、定时等），尽可能准确地分离出各个用户的信号。

这样不仅可以降低用户间的干扰，提高每个用户的信号质量，还能够增加系统同时容纳的用户数量，从而提高系统容量。

例如，在蜂窝移动通信系统中，多用户检测技术能够有效地解决小区内多用户并发通信时的干扰问题，提升系统的整体性能。

三、智能天线技术的特点

（一）提高信号质量

通过波束成形技术，智能天线能够将能量集中在期望信号的

方向上，显著增强期望信号的强度。同时，通过对干扰信号方向的抑制，有效地降低了噪声和干扰的影响。

这使得接收端能够获得更高质量的信号，减少误码率，提高通信的可靠性。例如，在无线电视接收中，采用智能天线可以减少信号的衰落和多径干扰，提供更清晰稳定的图像^[6]。

（二）增加系统容量

智能天线能够实现空间复用，即通过将波束指向不同的用户，在同一时间和频率资源上同时服务多个用户。这大大提高了频谱利用率，使得系统能够容纳更多的用户同时进行通信。

例如，在密集的城市移动通信环境中，智能天线可以有效地划分空间资源，增加系统的容量，满足大量用户的通信需求。

（三）降低电磁辐射

由于智能天线的定向传输特性，减少了向不需要的方向发射的功率，从而降低了电磁辐射的总量。这不仅有助于减少对周围环境的电磁污染，还能够降低通信设备自身的能耗^[7]。

例如，在室内无线通信场景中，智能天线可以将能量集中在用户所在的区域，减少对其他区域的不必要辐射。

（四）增强保密性

智能天线形成的窄波束具有较强的方向性，使得信号在特定方向上传输，减少了信号被其他方向上的非法接收设备截获的可能性，从而增加了信号的保密性。

例如，在军事通信和金融交易等对保密性要求极高的领域，智能天线的这一特点能够提供更可靠的通信安全保障。

四、智能天线技术在移动通信中的应用

（一）改善小区覆盖

在移动通信中，小区覆盖的质量直接影响用户的通信体验。传统天线的辐射模式往往导致小区边缘信号强度减弱，出现通话中断、数据传输缓慢等问题。智能天线通过优化波束方向，能够有效地解决这一难题。

智能天线可以根据小区内用户的分布和信号强度情况，动态调整波束的指向和形状。对于小区边缘用户，智能天线将波束聚焦在这些方向上，增强信号的发射和接收功率，从而显著改善小区边缘的信号覆盖。

例如，在一个大型住宅小区，由于建筑物的遮挡，小区边缘的用户经常遇到信号差的情况。引入智能天线后，通过精确调整波束方向，使得这些用户能够享受到稳定、强劲的信号，无论是语音通话还是数据业务都能顺畅进行。

（二）提高频谱效率

频谱资源是移动通信中最为宝贵的资源之一。智能天线通过空分复用技术，大大提高了频谱的利用效率。

空分复用是指智能天线能够在同一时间、同一频段上，为不同位置的多个用户提供服务。通过精确的波束成形，将不同用户的信号在空间上区分开来，避免了相互干扰^[8]。

这意味着在相同的频谱资源下，可以增加同时通信的用户数量，从而提高了系统的容量和频谱效率。例如，在一个繁忙的商业区，大量用户同时使用移动网络，智能天线能够实现多个用户

的并行通信，满足高并发的通信需求。

（三）降低切换频率

在移动用户的通信过程中，由于用户的移动性，经常会发生小区之间的切换。频繁的切换不仅会导致通信中断，还会增加系统的负担和能耗。

智能天线形成的稳定波束能够保持用户与基站之间的稳定连接，减少不必要的切换。当用户在小区边界移动时，智能天线可以通过微调波束，保持信号的强度和质量，从而降低切换的频率。

例如，在高速公路上，车辆快速移动，传统天线容易导致频繁的小区切换。而智能天线能够使车辆在较长的距离内保持与当前小区的稳定连接，减少切换次数，提高通信的连续性和稳定性。

（四）应用案例分析

以某移动通信运营商的网络升级为例，在引入智能天线技术之前，该运营商面临着小区覆盖不均、频谱资源紧张、切换频繁等问题。经过网络升级，大规模部署智能天线后，取得了显著的效果。

在小区覆盖方面，边缘用户的信号强度平均提升了 20% 以上，通话中断率大幅降低。频谱效率方面，通过空分复用，系统容量提升了 50%，能够支持更多用户同时进行高速数据传输。切换频率方面，平均每个用户的切换次数减少了 30%，通信的连续性和稳定性得到了极大的提高。

这些实际效果不仅提升了用户的满意度，还为运营商节省了大量的网络建设和维护成本，增强了市场竞争力。

五、智能天线技术在卫星通信中的应用

（一）跟踪移动卫星终端

在卫星通信中，终端的移动性是一个常见的挑战。智能天线能够实时调整波束，确保与移动卫星终端保持稳定的通信链路。

无论是飞机、船舶还是陆地移动车辆上的卫星终端，其位置和运动状态都在不断变化。智能天线通过快速感知终端的位置变化，并相应地调整波束的指向和形状，能够始终保持良好的信号接收和发送。

例如，在飞机的卫星通信中，智能天线能够实时跟踪飞机的飞行轨迹，确保在整个飞行过程中都能提供稳定、高速的数据通信服务，满足乘客的通信和娱乐需求。

（二）提高卫星资源利用率

卫星通信资源有限，因此高效利用资源至关重要。智能天线的精准波束控制能够实现高效的频谱分配^[9]。

通过精确地将波束指向需要服务的区域或终端，智能天线可以最大限度地减少频谱的浪费，提高卫星的通信容量和效率。

例如，对于卫星电视广播，智能天线可以将波束集中在特定的地理区域，避免信号的过度覆盖和浪费，从而能够在有限的频谱资源下传输更多的电视频道。

（三）抗干扰能力提升

卫星通信容易受到来自其他卫星、地面无线通信系统或自然干扰源的干扰。智能天线通过其波束的方向性和可调整性，能够有效地应对这些干扰。

当检测到干扰信号时，智能天线可以调整波束的方向和形状，避开干扰源，或者通过波束成形技术对干扰信号进行抑制，

从而保证通信的质量和可靠性。

例如，在军事卫星通信中，智能天线能够抵御敌方的电磁干扰，确保通信链路的安全和稳定。

六、智能天线技术在其他领域的应用

（一）无线局域网（WLAN）

在无线局域网中，热点区域往往存在大量用户同时接入的情况，导致信号拥堵和传输速率下降。智能天线可以增强热点区域的信号覆盖和传输速率。

通过波束成形，智能天线能够将信号集中在用户密集的区域，提高信号强度和质量。同时，利用空分复用技术，可以支持更多用户同时进行高速数据传输，缓解网络拥堵。

例如，在大型会议室、机场候机厅等热点区域，智能天线能够为众多用户提供稳定、高速的无线网络连接，满足用户对高清视频流、文件下载等高带宽业务的需求^[10]。

（二）雷达系统

在雷达系统中，目标的检测和跟踪精度是关键性能指标。智能天线技术的应用能够显著提高这一精度。

智能天线可以形成窄而精确的波束，对目标进行更精细的扫描和探测。通过实时调整波束的方向和形状，能够更准确地获取目标的位置、速度和形状等信息，提高雷达的分辨率和跟踪性能。

例如，在航空管制雷达中，智能天线能够更准确地跟踪飞机的飞行轨迹，为空中交通管理提供更可靠的支持。

七、结论

智能天线技术作为无线通信领域的重要创新，为提高通信质量和系统容量提供了有效手段。尽管面临诸多挑战，但通过持续的技术创新和优化，其在未来无线通信系统中的应用前景广阔，将为人们带来更加便捷、高效、优质的通信服务。

参考文献

- [1] 江晖. 浅析无线通信技术在水利工程监控系统中的应用[J]. 网络安全和信息化, 2024, (05): 20-22.
- [2] 邱平平. 物联网领域通信工程技术的应用研究[J]. 数字通信世界, 2024, (04): 131-133.
- [3] 杨宇, 陈兆强, 祁晗. 基于数字化背景的无线通信工程技术研究[J]. 数字通信世界, 2023, (12): 35-37.
- [4] 付鑫. 通信工程技术在物联网领域的应用阐述[J]. 江苏通信, 2023, 39 (04): 65-67.
- [5] 马萌萌. 无线通信工程的建设管理特点及策略分析[J]. 数字通信世界, 2023, (07): 175-178.
- [6] 谢联莲, 虞凯, 刘孜学, 等. 长大干线高速磁浮无线通信系统工程方案研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2023, 20 (06): 20-25+49.
- [7] 满文达. 无线通信信号盲接收机工程方案设计[D]. 北京交通大学, 2023. DOI:10.26944/d.cnki.gbfju.2023.001367.
- [8] 林莹锋. 无线通信技术的地铁工程岩溶水文地质勘察数据传输方法[J]. 北京测绘, 2023, 37 (04): 574-579. DOI:10.19580/j.cnki.1007-3000.2023.04.020.
- [9] 张笑涵. 基于物联网的5G通信工程技术应用[J]. 中国新通信, 2023, 25 (02): 7-9.
- [10] 毛鹏翀. 铁路通信工程的无线接入技术标准研究[J]. 大众标准化, 2023, (01): 58-60.

基于全景图平台无人机应急救援航拍技术的实践探讨

王佑玲¹, 黄海丽²

1. 广西安全工程职业技术学院, 广西 南宁 530100

2. 宁明县城第三小学, 广西 崇左 532500

摘 要 : 随着现代技术的迅猛发展, 无人机已广泛应用于紧急救援工作, 尤其是全景图平台无人机的应用。本研究围绕应急救援领域中无人机航拍技术的具体运用和实践效果进行探讨, 旨在提升无人机在复杂环境下的快速反应与高效救援能力。通过对搭载先进全景摄像头的无人机进行系统设计与优化, 实现了覆盖广阔救援区域的高质量图像采集。无人机全景航拍技术在救援定点精准性、图像处理和应急响应时间等方面表现出明显优势。研究表明, 无人机在应急救援中的应用可以显著缩短搜救时间, 精确画出受灾范围, 有力支持救援决策与行动指挥。根据实践应用结果, 文章最终提出了一系列提升无人机救援效能的技术改进建议。

关 键 词 : 全景图平台; 无人机; 应急救援; 航拍技术; 图像处理

Practice and Discussion of UAV Emergency Rescue Aerial Photography Technology Based on Panorama Platform

Wang Youling¹, Huang Haili²

1. Guangxi Vocational College of Safety Engineering, Nanning, Guangxi 530100

2. Ningming County Zhongzhen Town No.3 Primary School, Chongzuo, Guangxi 532500

Abstract : With the rapid development of modern technology, drones have been widely used in emergency rescue work, especially the application of panoramic platform drones. This study explores the specific application and practical effects of drone aerial photography technology in the field of emergency rescue, aiming to enhance the drone's rapid response and efficient rescue capabilities in complex environments. By designing and optimizing the drone equipped with advanced panoramic cameras, high-quality image collection covering a wide rescue area was achieved. The drone panoramic aerial photography technology has shown obvious advantages in terms of precision in locating the rescue site, image processing, and emergency response time. This study shows that the application of drones in emergency rescue can significantly shorten the search and rescue time, accurately outline the disaster area, and provide strong support for rescue decision-making and command. Based on the practical application results, the article finally proposes a series of technical improvement suggestions to enhance the effectiveness of drone rescue.

Keywords : panoramic imaging platform; unmanned aerial vehicle (UAV); emergency rescue; aerial photography techniques; image processing

引言

无人机航拍技术已成为应急救援领域的重要工具。基于全景图平台的无人机航拍系统, 可实现高效的灾情评估、救援指挥调度等功能。本文结合案例, 探讨无人机航拍技术在应急救援中的实践应用。

无人机搭载高清摄像机, 能在短时间内获取灾区360度全景影像, 并通过5G网络实时回传指挥中心。相比传统侦查方式, 无人机具有灵活机动、突破地形限制等优势。但目前无人机航拍还存在续航时间短、抗干扰能力弱等技术瓶颈, 需进一步研发突破。

2021年7月河南郑州特大暴雨的应急救援工作。灾情发生后, 救援队使用大疆M300 RTK无人机开展航拍侦查。无人机在100米高空盘旋5分钟, 获取受灾区域全景影像360张, 数据量5GB。通过对影像进行快速拼接、三维建模, 生成灾区数字孪生场景, 为指挥部署提供了可视化决策支持。

此次救援暴露出无人机航拍系统的不足: 恶劣天气下, 强风、电磁干扰等因素影响飞行控制和数据传输的稳定性; 狭窄空间内自主

项目来源: 广西安全工程职业技术学院2020年度科研项目《无人机航拍及视频制作研究》, 项目编号: GXAZY2020KYB008; 2021年度广西高校中青年教师科研基础能力提升项目《无人机航拍及视频制作在应急救援中的应用研究》, 项目编号: 2021KY1528。

作者简介: 王佑玲(1985.11-), 女, 壮族, 广西宁明县, 研究生, 广西安全工程职业技术学院, 高级工程师, 研究方向: 无人机安全应急应用技术。

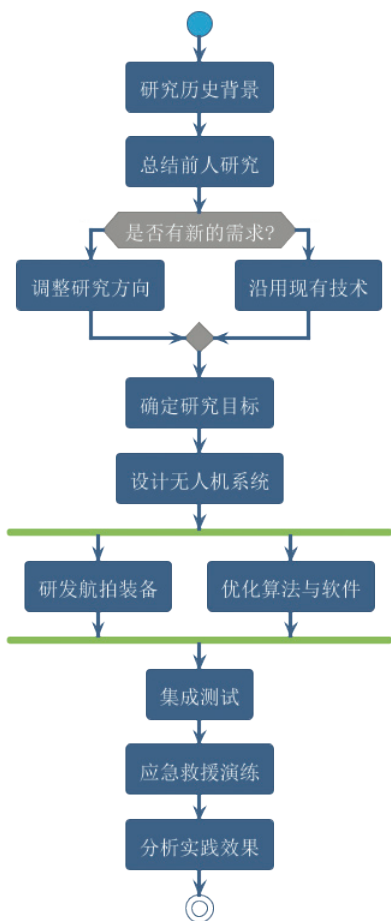
避障能力不足；电池只能支持25分钟续航，需频繁返航更换，延长了侦查时长。无人机航拍技术为应急救援带来新的模式和手段，但仍有诸多问题有待攻克。未来需围绕无人机平台优化、任务载荷研制、数据智能处理等方面持续创新，不断提升无人机在应急救援中的实践效能，更好地服务抢险救灾工作。

一、无人机航拍技术概述

（一）全景图平台特点

在全景图平台无人机应急救援航拍技术的具体应用中，可以构建一个特定的数据采集和处理流程。首先，无人机携带高分辨率相机完成对目标区域的航拍任务，确保图片覆盖率不少于98%，同时，保证相邻图片之间至少有60%的重叠区域以便于后续的图像拼接。其次，所有采集的图片数据以5Hz的频率传输至地面站，采集的数据量约为每分钟250MB。为有效管理和处理这些大规模数据，设计一套高效的图片数据处理流水线。在该流水线中，我们的主要任务是将获取的单幅图片通过特定算法快速拼接成高质量的全景图^[1]。

在实践中，我们对无人机航拍的全景图平台进行了持续的优化迭代，提升了数据处理效率。通过深化无人机航拍技术与应急救援需求的融合，极大地提高了应急响应的速度和准确性，从而确保在关键时刻能够为救援决策提供有力的信息支持^[2]。



> 图2-1 无人机应急救援技术发展流程图

（二）无人机应急救援发展

在探讨以全景图平台为基础的无人机紧急救援航拍技术时，通过应急救援演练，模拟多种救援场景，从城市高层建筑火灾到山林野外搜救，全方位检验无人机系统的反应速度、图像采集质量以及数据处理能力。演练完成后，详细分析系统在实际应急响应中的表现，包括响应时间、数据准确度、系统容错率等关键指标，并据此反馈调整系统配置与操作流程。围绕“无人机应急救援技术发展流程图”这一逻辑脉络展开。该流程图不仅提供了研究项目开展的序列步骤，还明确了在各个阶段可能出现的分支决策点，例如在确认新需求后调整研究方向的重要节点^[3]。这也证明，无人机应急救援技术不是孤立发展而是一个动态调整和持续优化的过程，每项技术进步都是站在先行者的基础上，通过系统分析和实践考验，以期不断推进该技术领域的发展态势。

二、实践探讨与案例分析

（一）实践探讨方法论

为了确保无人机应急救援航拍任务的及时性与有效性，在实践探讨的过程中，特别引入了救援任务优先级算法，这一算法的引入大大增强了任务调度的科学性和合理性。此算法根据任务紧急程度、距基地距离等关键因素，计算出一个反映任务紧迫性的优先级得分，该得分决定了无人机的调度顺序。通过对现场救援任务的模拟演练，该算法被集成到无人机控制系统中，为救援决策提供了数据支撑。

采用 Python 语言开发算法，以其庞大的标准库和优秀的数值计算库来实现救援数据的快速处理和优先级得分的计算。算法的设计考虑到了任务执行时的复杂性，例如救援资源的限制性、任务间的紧急程度不同，以及地理位置对救援效率的影响。在模拟救援过程中，通过不断调整算法中的权重设置，以期达到更加准确地反映各任务实际优先级的目标^[3]。经过数次救援模拟与参数调整，最终形成了一个较为稳定的优先级计算模型。在此基础上，对算法进行了详尽的测试，包括救援场景的多样性测试与救援资源限制下的应变测试。测试结果表明，经优化后的救援任务优先级算法能在各类条件下均给出快速而准确的任务排序指导。

（二）案例分析与经验总结

在进行无人机应急救援航拍技术的应用研究时，我们采取的是带有高度实际操作性的案例分析方法^[4]。通过对特定救援任务的全程记录和后续数据处理，准确地掌握无人机航拍在应急救援中的作用机理和效能表现^[5]。具体来说，在确定飞行区域和救援任务后，我们对无人机的飞行路线进行了详尽剖析和优化^[6]，确保无人机能够高效地覆盖关键救援区域。预飞行检查流程严格遵循规

定,确保设备的安全性和可靠性。

在起飞后,无人机不仅执行了全景图像拍摄任务,为后续分析提供基础视觉资料,同时还承担了实时监控的职能,其航拍视频实时回传至指挥中心,以便救援团队及时了解现场情况^[7]。对收集到的全景图像数据进行深入分析,利用先进的图像识别和处理技术,从中提取出有用信息,为制定科学有效的救援方案提供数据支持。基于无人机航拍救援流程图,我们系统性地回顾了整个救援过程,识别出救援行动中的关键环节,并强化了这些环节的操作准确度与效率^[8]。

在案例分析的过程中,我们结合无人机的性能参数与实际操作中的有效载荷以及续航时间,进一步优化设备选择。为最大化无人机在救援中的作用,实施救援行动根据图像分析结果进行了针对性调整,使过程更加科学和规范化^[9]。经过详尽的实践探讨和案例分析^[10],本研究有力证明了无人机在应急救援中的巨大潜力,同时,为救援领域提供了系统的操作流程和优化建议,提升了无人机航拍技术在实际应用中的实用性和有效性。此外,通过本研究的经验总结,相关救援部门和机构可以更加迅速和精准地部署救援资源,有望显著提高应对重大灾害事件的能力。

三、结论

综上所述,基于全景图平台的无人机应急救援航拍技术在实

践中表现出了巨大的优势。与传统救援方式相比,无人机航拍技术能够快速获取灾区的高清影像数据,为救援指挥部门提供第一手的现场信息,极大提高了应急救援的效率。通过对比案例分析可以看出,在山体滑坡、森林火灾等复杂地形环境下,无人机凭借其灵活性和机动性的优势,能够深入人力难以到达的区域执行侦察任务。

不过,目前无人机应急救援航拍技术在实际运用中仍面临一些挑战。一是恶劣天气条件下的飞行稳定性有待提升,强风、暴雨等极端天气会严重影响无人机的安全飞行;二是数据传输的实时性和可靠性还需加强,险情现场与指挥中心之间的无线通信易受地形遮挡而中断;三是专业飞手的培养和管理机制有待完善,既要重视技术培训,也要加强飞行纪律。针对以上问题,未来可从优化飞控系统韧性、提高图传设备抗干扰能力、建立飞手资质认证标准等方面着手改进。

尽管如此,无人机技术在应急救援领域的应用前景依然十分广阔。随着人工智能、大数据分析等前沿科技的发展,无人机有望实现更多功能,如自主避障、目标识别、集群编队等,其获取和处理信息的效率将进一步提升。未来,无人机或将成为应急管理部的标配装备,在防灾减灾、抢险救援的各个环节发挥不可替代的作用。我们相信,在政府、企业、科研机构等多方合作下,无人机应急救援航拍技术必将取得更大的突破,为保护人民生命财产安全,维护社会和谐稳定做出新的贡献。

参考文献

- [1] 屠浩毓. 基于无人机航拍的虚拟校园 720° 全景图像制作技术及应用 [J]. 信息与电脑, 2022.
- [2] 吴健. 无人机全景视频拍摄在 VR 直播中的应用探析 [J]. 科技视界, 2023.
- [3] WT Zhou,XY Chen,M Zhang,et al.Research and Implementation of Spherical Panorama Technology for Unmanned Aerial Vehicle Racket [D]. Journal of Jiangsu University of Technology,2019.
- [4] 陈静. 基于无人机的室外全景漫游地图设计与实现 [J]. 物联网技术, 2019.
- [5] 高晓林, 张辉. 基于倾斜摄影的实景三维建模技术研究与实践 [J]. 艺术科技, 2024.
- [6] 周文涛, 陈心雨, 张旻 (指导), 等. 无人机航拍球面全景图技术研究与实现 [J]. 江苏理工学院学报, 2019.
- [7] 倪枫. 高职院校校园突发事件的应急管理研究 [D]. 苏州大学, 2019.DOI:10.27351/d.cnki.gszhu.2019.002802.
- [8] Wenxi P .Research on the Reform and Innovation of the Training Model of Tourism Management Professionals in Higher Vocational Colleges——Take Tourism Management Professional in Hunan Network Engineering Vocational College as an example [J]. The Guide of Science & Education , 2019.
- [9] 刘德祥. BIM 技术在综合实验教学楼消防应急管理中的应用研究 [D]. 大连海洋大学, 2019.DOI:10.27821/d.cnki.gdlhy.2019.000130.
- [10] 乔瑞亭. 孙和利. 李欣, 摄影与空中摄影学 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2008.

服务机器人人机交互界面设计与评价

高兴兴

青岛通产智能科技股份有限公司, 山东 青岛 266114

摘 要： 本文围绕服务机器人人机交互界面设计与评价展开研究。本文首先阐述了人机交互界面设计的基本概念，探讨了服务机器人人机交互界面设计的相关理论，并提出了设计原则与规范。紧接着对服务机器人人机交互界面的设计要素进行了全面分析，涵盖了用户需求、功能性要素、视觉设计要素以及交互行为要素。在此基础上，探讨了服务机器人人机交互界面的设计方法，如用户中心设计方法、情感化设计方法以及交互界面原型设计方法。随后，构建了服务机器人人机交互界面评价的理论框架，明确了评价目的、原则，并建立了评价指标体系，介绍了评价方法与工具。最终，本研究制定了服务机器人人机交互界面评价的具体实施策略，该策略涉及评价流程的规划、评价数据的搜集与分析，以及评价结果的诠释与应用。本研究旨在为服务机器人人机交互界面设计提供理论依据和实践指导，以优化用户体验，推动服务机器人领域的持续发展。

关 键 词： 服务机器人；人机交互；界面设计；用户体验；交互原则

Design and Evaluation of Human-Robot Interaction Interface for Service Robots

Gao Xingxing

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

Abstract： This article focuses on the design and evaluation of human-robot interaction interfaces for service robots. Firstly, it elaborates on the basic concepts of human-robot interaction interface design, explores related theories, and proposes design principles and specifications. Then, it conducts a comprehensive analysis of the design elements of the human-robot interaction interface for service robots, covering user needs, functional elements, visual design elements, and interaction behavior elements. Based on this, it discusses design methods such as user-centered design, emotional design, and interactive interface prototype design. Afterwards, it constructs a theoretical framework for evaluating the human-robot interaction interface of service robots, clarifies the evaluation purpose and principles, establishes an evaluation index system, and introduces evaluation methods and tools. Finally, this study develops a specific implementation strategy for evaluating the human-robot interaction interface of service robots, which involves planning the evaluation process, collecting and analyzing evaluation data, and interpreting and applying evaluation results. This study aims to provide theoretical basis and practical guidance for the design of human-robot interaction interfaces for service robots, in order to optimize user experience and promote sustainable development in the field of service robots.

Keywords： service robots; human-robot interaction; interface design; user experience; interaction principles

引言

随着科技的飞速发展，服务机器人作为人工智能技术的重要应用之一，已逐渐渗透到人们生活的各个领域，如餐饮、医疗、教育、零售等。服务机器人通过人机交互界面与用户进行沟通和协作，其设计的优劣直接影响到用户的体验和机器人的服务效果。因此，服务机器人人机交互界面的设计与评价成为当前研究的热点。

近年来，虽然服务机器人的人机交互界面设计取得了一定的成果，但仍存在诸多问题。例如，部分交互界面操作复杂，不符合用户的使用习惯；界面视觉效果不佳，难以吸引用户注意力；交互功能不完善，无法满足用户多样化需求。这些问题严重制约了服务机器人在实际应用中的普及与发展。

一、服务机器人人机交互界面设计理论基础

随着科技进步的迅猛步伐，服务机器人正逐步融入社会各个

领域。为了让机器人更好地服务于人类，人机交互界面设计显得尤为重要。以下为服务机器人人机交互界面设计的理论基础，本文将进一步深入探讨其内涵。

（一）人机交互界面设计的基本概念

人机交互界面设计，以移动终端为载体的交互内容设计，是将数字媒介内涵与人机互动相融合的结果，其依托移动终端，需遵循移动终端平台数字媒介特性与互动设计思想，针对移动终端特性，分别从交互设计与数字媒体制作两个角度，对互动界面设计的需求展开研究^[1]。这包括界面布局、操作逻辑、视觉元素等方面，旨在提高用户体验，降低用户的学习成本。

（二）服务机器人人机交互界面设计的相关理论

服务机器人人机交互界面设计的相关理论框架，融合了认知心理学、设计美学、人机工程学等多学科知识。这些理论为设计师提供了全面的设计方法和深度的指导思想，助力设计师精准洞察用户需求，并设计出既符合人类使用习惯又兼具高效性的交互界面^[2]。例如，认知心理学通过揭示用户的认知机制和思维过程，为设计师指明了如何构建更直观、更易于用户理解的界面设计。设计美学则引导设计师在追求功能性的同时，注重界面的审美价值，以提升用户体验的愉悦感。人机工程学则确保了设计在人体工学上的合理性，使得交互界面既舒适又安全，进一步优化了人机交互的整体效果。

（三）服务机器人人机交互界面设计的原则与规范

服务机器人的人机交互界面设计，融合了设计师的实践智慧，遵循一系列核心原则以优化用户体验。设计力求简洁直观，确保用户能够迅速把握操作要领，轻松上手；同时，维护界面元素与操作逻辑的一致性，减轻用户的学习负担。交互过程中，机器人需即时响应，为用户提供清晰地反馈信息。此外，设计充分预见并妥善处理用户的错误操作，提供便捷地纠正路径。美观性也不容忽视，通过精心设计的界面，进一步升华用户的整体体验。这些原则共同铸就了专业而高效的界面设计规范。

二、服务机器人人机交互界面设计要素分析

在设计服务机器人的人机交互界面过程中，必须对各个设计要素进行详尽的分析与评估。以下是对服务机器人人机交互界面设计四大核心要素的深度解析，旨在为打造满足用户需求的优质界面提供理论指导。

（一）用户需求分析

用户需求分析是人机交互界面设计的出发点和落脚点。了解用户的需求、使用场景和操作习惯，有助于设计师精准定位设计方向^[3]。具体而言，应采集用户的基本资料、使用动机、操作频次等数据，运用问卷调查、访谈、观察等研究手段，深入挖掘用户的实际需求。在此基础上，设计师可以针对性地进行界面设计，确保界面能够满足用户的实际需求。

（二）功能性要素

功能性要素是服务机器人人机交互界面的核心，它决定了界面能否实现用户所需的功能。这包括但不限于菜单结构、操作逻辑、功能模块划分等。在设计过程中，设计师应确保每个功能都能快速、准确地被用户找到，并易于操作^[4]。同时，要关注功能的实用性和易用性，避免冗余功能的堆砌，使界面更加简洁高效。

（三）视觉设计要素

视觉设计要素直接影响用户对服务机器人界面的第一印象。这包括色彩搭配、图标设计、字体选择、布局排版等。良好的视觉设计能够提升用户体验，使界面更具吸引力。在设计时，应遵循一致性、对比性、层次性等原则，确保界面美观、清晰、易于识别。

（四）交互行为要素

交互行为要素关注的是用户与机器人之间的互动过程。这包括操作反馈、动效设计、语音交互等。设计师需要充分考虑用户的操作习惯和心理预期，为用户提供及时、准确地反馈，使交互过程更加自然、流畅^[5]。同时，适当的动效设计可以增强界面的趣味性和互动性，提升用户的操作体验。

三、服务机器人人机交互界面设计方法探讨

设计服务机器人的人机交互界面是一项复杂而充满挑战的任务。为了构建既实用又引人入胜的交互界面，设计师需掌握一系列科学的设计方法。以下是对服务机器人人机交互界面设计方法的探讨，旨在为设计师提供清晰的设计路径和创新思路。

（一）设计流程与方法论

设计流程与方法论构成了设计师在人机交互界面设计中的总体指导框架，涵盖了需求分析、概念构思、界面布局、原型搭建、用户测试至迭代优化的完整阶段。在此过程中，设计师遵循以用户为中心的设计（UCD）原则，始终将用户需求置于核心；运用设计思考（Design Thinking）方法，通过迭代和实验解决设计问题^[6]；同时，采纳敏捷开发模式，快速适应变化，确保持续交付高质量的产品。这一系列方法论协同作用，确保了设计流程的专业性和高效性。

（二）用户中心设计方法

用户中心设计（UCD）方法的核心在于将用户的需求和体验作为设计的出发点和归宿。该方法涉及深入的用户研究，通过访谈和观察等技术来洞察用户行为；构建用户画像，创造虚拟角色以代表目标用户群体；以及进行使用场景分析，模拟用户在实际使用环境中的互动过程。这一系列方法确保了设计工作紧密围绕用户的实际需求和体验展开。

（三）情感化设计方法

情感化设计方法通过精心设计的手段传递和唤起情感，从而在用户与服务机器人之间建立起一种深层次的情感联系。该方法深入探讨了色彩心理学的应用，巧妙地利用色彩搭配来潜意识地调节和引导用户的情绪反应。在视觉设计方面，该方法注重图标、布局等元素的精心构思，以精确传达特定的情感信息，增强用户对机器人情感状态的感知^[7]。此外，情感化设计还涉及将情感化元素融入交互反馈的各个环节，确保机器人的响应不仅准确高效，而且充满亲切感和同理心，从而在交互过程中营造出一种更加人性化的体验。

（四）交互界面原型设计方法

交互界面原型设计是将抽象的设计概念转化为可操作、可测试的具体实体的核心环节。该过程涉及创建线框图，以线条和形状描

绘界面的基础架构；构建高保真原型，精确模拟产品的最终视觉和交互效果；以及进行交互设计，明确用户与界面间的互动逻辑和反馈机制。这些方法共同确保了原型设计的高效性和实用性。

四、服务机器人人机交互界面评价理论框架

在服务机器人人机交互界面设计完成后，对其质量和效果进行评价是不可或缺的一环。以下是对服务机器人人机交互界面评价理论框架的探讨，旨在为界面评价提供一套系统的指导和实践方法。

（一）评价目的与原则

评价服务机器人的人机交互界面，旨在确认设计是否满足用户需求、增强用户体验，并揭示潜在问题以指导优化。评价应遵循客观性原则，基于客观数据和事实进行，以规避主观偏见；全面性原则要求评价覆盖界面的所有关键维度，如功能性、可用性、美观性等^[8]；可行性原则强调评价方法应简便易行，且结果具备可操作性；用户导向原则确保评价过程以用户的实际体验为核心，保障设计紧贴用户需求。

（二）评价指标体系构建

构建评价指标体系对于评价人机交互界面至关重要，需综合考虑多个维度。功能性指标涵盖功能的完整性、易用性和效率；可用性指标则包括易学性、操作效率、错误率和用户满意度；视觉设计指标关注视觉吸引力、一致性和清晰度；交互设计指标则涉及交互逻辑的合理性、反馈的及时性和交互的自然流畅性。这些指标共同构成了评价人机交互界面的全面框架。

（三）评价方法与工具

评价方法与工具的选择对评价结果的精确度和有效性具有决定性作用。常用的评价手段包括用户测试，它通过实时观察和记录用户在操作过程中的行为与反馈；专家评审，即邀请设计领域的专家依据既定指标对界面进行深入分析；以及问卷调查，旨在广泛搜集用户对界面的观点和建议。这些方法综合运用，有助于获得全面而深入的评估结果。

五、服务机器人人机交互界面评价实施策略

服务机器人人机交互界面的评价不仅是一项理论活动，更是一项需要精心策划和执行的实际操作。以下是对服务机器人人机交互界面评价实施策略的详细阐述，旨在确保评价活动的有效性和实用性。

（一）评价流程设计

确保评价活动高效进行的基石在于精心设计的评价流程。一个完备的评价流程通常由以下步骤构成：准备阶段，确立评价目标、原则和指标，挑选适宜的评价方法与工具，并制定详尽的评价计划；实施阶段，依据计划执行用户测试、专家评审或问卷调查等评价任务^[9]；数据收集阶段，系统化地搜集用户行为数据、专家反馈和问卷结果；分析阶段，对所获数据进行梳理与分析，以识别界面的优劣所在；反馈阶段，基于分析结果提出优化建议，并与设计团队进行有效沟通。

（二）评价数据收集与分析

在评价过程中，数据收集与分析扮演着至关重要的角色。此阶段需特别注意以下方面：在数据收集上，确保数据的真实性和完整性，采用视频记录、屏幕截图、日志文件等多种手段相结合；在数据分析上，运用统计分析、用户行为分析等技巧，深入挖掘数据，揭示界面设计的优势与缺陷；在整个过程中，严格控制数据质量，防止偏差和错误的发生，以保障评价结果的准确性。

（三）评价结果解读与应用

评价结果的解读与应用是评价活动的终极追求。在此环节中，需确保评价结果的清晰与准确解读，以便设计团队和利益相关者充分理解评价发现^[10]；基于评价结果，提出具体可行的改进建议，涉及界面布局、交互逻辑、视觉元素等方面的优化；并将这些建议转化为实际的设计改进，随后跟踪实施效果，实现评价活动的闭环管理。

六、结束语

本文针对服务机器人人机交互界面的设计与评价进行了深入探讨，从理论层面分析了设计原则、要素与方法，构建了评价体系，并提出了优化策略。虽然本文的研究在一定程度上为服务机器人人机交互界面设计提供了理论支持，但仍存在一定的局限性。未来研究可以从更多维度、更深层次探讨服务机器人人机交互界面的设计问题，以期为实际应用提供更为全面、有效的指导。希望通过本文的研究，能够推动服务机器人人机交互界面设计领域的不断发展，为用户提供更加便捷、舒适的服务体验。

参考文献

- [1] 李飞. 基于人机交互技术的数字媒体移动端界面设计[J]. 长江信息通信, 2023, 36(11): 127-129.
- [2] 徐小哲. 酒店服务机器人人机交互界面设计[D]. 哈尔滨商业大学, 2019.DOI: 10.27787/d.cnki.ghrbs.2019.000004.
- [3] 代欣. 儿童陪伴机器人人机交互界面可用性设计研究[D]. 天津工业大学, 2019.
- [4] 钱一铭, 宛小昂. 消费者自主选择情境中服务机器人拟人化对消费者社会评价的影响[C]//中国心理学会. 第二十五届全国心理学学术会议摘要集——分组展贴报告. 清华大学社会科学学院心理学系; , 2023: 2.DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.057559.
- [5] 李梦薇, 徐峰, 晏奇, 等. 服务机器人领域人工智能伦理风险评估方法的设计与实践[J]. 中国科技论坛, 2023, (10): 74-84.DOI: 10.13580/j.cnki.fstc.2023.10.005.
- [6] 陈烈. 交互设计在机场服务机器人产品中的应用[J]. 鞋类工艺与设计, 2023, 3(18): 110-112.
- [7] 胡生国, 赵哈汀, 李若逸, 等. 基于可编程超表面的人-机器人智能交互[C]//中国电子学会. 第十八届全国电波传播年会论文集. 北京大学电子学院; , 2023: 3.DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.050909.
- [8] 诸玲珍. 8月份我国太阳能电池和服务机器人产量同比均增长七成以上[N]. 中国电子报, 2023-09-19(002).DOI: 10.28065/n.cnki.ncdzb.2023.001237.
- [9] 李明明, 郭伏, 任增根, 等. 仿人服务机器人语音的用户情感偏好及其与声学参数的关系研究[J]. 工业工程与管理, 2023, 28(06): 145-153.DOI: 10.19495/j.cnki. 1007-5429.2023.06.013.
- [10] 宋潇潇, 李云鹏, 唐悦, 等. 服务机器人拟人化对酒店顾客情感和交易意向的影响研究[J]. 首都经济贸易大学学报, 2023, 25(05): 79-94.DOI: 10.13504/j.cnki. issn1008-2700.2023.05.006.

机械电子设备中的电气自动化与物联网技术

薛祥蛟

克拉玛依市弘智油田技术服务有限公司，新疆 克拉玛依 834000

摘 要： 本文综合介绍了电气自动化与物联网技术在机械电子设备中的应用基础。文章首先回顾了电气自动化的核心原理和系统结构，及其在机械电子设备中的主要应用。随后，文章解析了物联网技术的基础知识与其在相同领域的作用。进一步，本文探讨了两种技术的融合意义、关键技术和未来趋势，并识别了实施过程中的技术、安全和管理挑战，给出了应对策略。最终，文章提出了我国在该领域的发展策略，涉及政策、研发、人才和产业合作。

关 键 词： 电气自动化；物联网；机械电子；技术融合；发展战略

Electrical Automation and Internet of Things Technology in Mechanical and Electronic Equipment

Xue Xiangjiao

Karamay Hongzhi Oilfield Technology Service Co., Ltd., Karamay, Xinjiang 834000

Abstract： This article comprehensively introduces the application fundamentals of electrical automation and Internet of Things (IoT) technology in mechanical and electronic equipment. The article first reviews the core principles and system structures of electrical automation, as well as its primary applications in mechanical and electronic equipment. Subsequently, the article analyzes the basic knowledge of IoT technology and its role in the same field. Furthermore, this article explores the significance of the integration of the two technologies, key techniques, and future trends. It also identifies technical, security, and management challenges during implementation and provides corresponding strategies. Finally, the article proposes a development strategy for China in this field, involving policies, research and development, talent cultivation, and industrial cooperation.

Keywords： electrical automation; Internet of Things; mechanical electronics; technology integration; development strategy

引言

随着科技的飞速发展，机械电子设备正逐步向智能化、网络化方向演进。在这一过程中，电气自动化技术作为传统制造业的支柱，扮演着至关重要的角色。它不仅提高了生产效率和产品质量，还降低了能源消耗和人力成本。与此同时，物联网技术的兴起为机械电子设备的升级改造提供了新的契机，使得设备间的互联互通成为可能，进一步提升了生产系统的智能化水平。

一、电气自动化与物联网技术基础及其在机械电子设备中的应用

在当今工业4.0的大背景下，机械电子设备的发展正经历着一场深刻的变革。电气自动化技术作为这场变革的驱动力之一，已经深入到机械电子设备的各个层面。与此同时，物联网技术的融入，为设备的智能化和网络化提供了无限可能。

（一）电气自动化基本原理与系统组成

电气自动化技术基于电力电子、控制理论和计算机技术，通过自动控制装置实现对生产过程的监控和管理。其基本原理是通过传感器收集信息，经过处理器的分析判断，再由执行器执行相应的控制命令。电气自动化系统的组成包括传感器、控制器、执

行器、人机界面和通信网络等，这些组件协同工作，确保了机械电子设备的高效、稳定运行。

（二）电气自动化技术在机械电子设备中的应用领域

电气自动化技术在机械电子设备中的应用广泛，包括但不限于自动化生产线、智能仓储系统、机器人控制等^[1]。在自动化生产线上，PLC（可编程逻辑控制器）和工业机器人是实现自动化操作的核心；在智能仓储系统中，自动化技术提高了货物的存取效率和准确性；而在机器人控制领域，电气自动化技术使得机器人能够完成复杂、精确的动作，替代人工完成高风险作业。

（三）物联网技术基本概念与体系架构

物联网技术通过将物理世界中的物品连接到网络，实现信息的交换和通信。其体系架构通常分为三层：感知层、网络层和应

用层。感知层负责信息的采集，网络层负责信息的传输，而应用层则提供智能化的应用服务。物联网技术的核心在于实现设备之间的互联互通，为大数据分析和智能决策提供数据支持。

（四）物联网技术在机械电子设备中的应用价值

物联网和智能电网的快速发展推动了科学技术的广泛应用。为了全面监测和管理电力设备的状态，需要深入研究和创新电力设备在线监测方法。电力物联网技术的出现为这些方法的创新提供了更多可能性。通过综合应用，可实现对电力设备的智能定位和识别，并在智能化的监控和跟踪过程中准确判断电力设备在线监测数据的意义，可使电力设备的在线监测更智能化，为提升监控效率和管理能力提供了有效的解决方法^[2]。

物联网技术在机械电子设备中的应用价值体现在提高设备智能化水平、优化生产流程、实现远程监控和维护等方面。通过物联网技术，设备能够实时上报状态数据，便于进行预防性维护；同时，企业可以基于收集的数据进行深度分析，优化生产策略，提高资源利用率。

（五）电气自动化与物联网技术的互补性

电气自动化与物联网技术的结合，为机械电子设备带来了革命性的变化。电气自动化技术提供了强大的本地控制能力，而物联网技术则扩展了设备的信息感知和远程交互能力。两者的互补性体现在，物联网技术可以增强电气自动化系统的数据采集和处理能力，而电气自动化则为物联网提供了执行和控制的基础。这种融合不仅提升了设备的智能化水平，也为智能制造和工业互联网的发展奠定了坚实的基础。

二、电气自动化与物联网技术的融合

技术的融合往往能够激发出新的创新火花，为传统领域带来前所未有的变革。电气自动化与物联网技术的结合，正是这样一种跨时代的融合，它不仅推动了机械电子设备向更高效、更智能的方向发展，也为整个工业生态系统的重塑提供了可能^[3]。

（一）融合背景与意义

随着工业自动化水平的不断提升，企业对于设备的信息化、智能化需求日益增长。电气自动化与物联网技术的融合，正是在这样的背景下应运而生。这种融合的意义在于，它能够实现设备间的无缝连接，提升生产过程的透明度，增强系统的自主决策能力，从而为企业带来更高的生产效率、更低的运营成本和更优的客户体验。

（二）融合关键技术

传感器技术作为数据采集的关键，其高精度和多功能的特性为实现信息融合奠定了基础。这些传感器能够实时监测设备状态和环境参数，为数据处理和分析提供了可靠的信息源。在此基础上，通信技术，包括工业以太网、Wi-Fi、蓝牙、5G 等有线和无线方式，确保了数据的高速、稳定传输^[4]。与此同时，云计算与边缘计算的结合，既提供了强大的数据处理能力，又能在数据产生的源头进行即时处理，有效支撑了大规模设备的实时监控和分析。最终，通过对收集的大量数据进行分析，并运用人工智能算

法，我们能够预测设备状态并优化维护策略，从而实现设备的高效运行。

（三）融合发展趋势

电气自动化与物联网技术的融合正推动机械电子设备向智能化升级，设备将具备自我诊断、自主优化和自适应的能力。这一变革不仅使设备更加智能化，还促进了网络化的扩展，使得设备更加紧密地连接，形成一个庞大的网络化生产体系。同时，企业也在经历服务化转型，不再仅仅局限于销售硬件设备，而是提供基于数据的远程监控、故障预测和维护等服务。在这一过程中，安全性强化成为关键，随着技术的融合，数据安全和设备物理安全成为重点关注领域，确保整个系统的稳定运行和信息安全^[5]。

三、电气自动化与物联网技术在机械电子设备中的挑战与对策

每一种技术的进步都不是一帆风顺的，电气自动化与物联网技术在机械电子设备中的应用也不例外。虽然它们带来了前所未有的机遇，但同时也伴随着一系列挑战。

（一）技术挑战

在电气自动化系统与物联网技术的融合过程中，兼容性问题成为首要挑战，由于两者来自不同的技术体系，可能会遇到接口不匹配、协议不兼容等问题。此外，网络延迟也是一个不容忽视的难题，尤其在实时性要求高的场合，网络延迟可能导致控制系统反应不及时，进而影响设备的性能。与此同时，随着设备互联的增加，产生的数据量急剧增长，数据处理和分析能力面临巨大挑战，如何有效应对这些指数级增长的数据，成为确保系统高效运行的关键。

（二）安全挑战

在电气自动化与物联网技术融合的过程中，数据安全和设备安全成为重要的考量因素。物联网设备在传输数据时可能遭受黑客攻击，增加了数据泄露的风险，同时自动化设备在网络环境下也可能面临被恶意控制的风险，使得设备的安全性成了一个重要议题^[6]。此外，网络攻击或系统故障不仅威胁到数据与设备的安全，还可能导致整个生产流程的瘫痪，对企业正常运营构成严重威胁，因此确保系统的稳定性成为企业不可忽视的关键问题。

（三）管理挑战

电气自动化与物联网技术的融合要求具备跨学科的知识体系，这导致专业人才的培养成为企业面临的一大难题。同时，新技术的引入往往伴随着管理流程的变革，如何有效管理这一变革过程并确保平稳过渡，成为企业必须直面的挑战。此外，技术的融合与升级不可避免地需要相应的投资，企业管理者在追求技术先进性的同时，还需考虑如何合理控制成本，以实现企业资源的优化配置和经济效益的最大化^[7]。

（四）对策与建议

在推动电气自动化与物联网技术融合的过程中，技术层面需建立统一的技术标准和规范，以促进不同设备和服务之间的兼容性，同时采用边缘计算等技术来减少网络延迟，并投资于大数据

处理和分析技术，以提升数据处理能力。在安全层面，需加强网络安全防护措施，如采用加密通信和定期安全审计，建立设备安全认证体系以确保设备的安全性，并设计冗余系统以提高系统的容错能力。管理层面则需要与高校和科研机构合作，培养具有跨学科背景的人才，建立灵活的管理机制以适应技术变革，并通过成本效益分析合理规划技术投资，以控制总体成本。

四、我国电气自动化与物联网技术在机械电子设备领域的发展策略

在全球制造业竞争日益激烈的今天，我国机械电子设备领域正面临着转型升级的迫切需求。电气自动化与物联网技术的融合应用，无疑是推动这一过程的关键力量。

（一）政策支持与产业规划

政府应当出台一系列优惠政策，包括税收减免、资金补贴等，以鼓励企业研发和应用电气自动化与物联网技术。同时，政府还需制定产业发展规划，明确这些技术在机械电子设备领域的战略地位和发展目标^[9]。此外，加强基础设施建设，如完善工业互联网、5G网络等，也是政府工作的重点，这将为电气自动化与物联网技术的广泛应用提供良好的外部环境和支持。

（二）技术研发与创新

为促进电气自动化与物联网技术的发展，政府应激励企业加大研发投入，推动核心技术的研发，特别是在传感器、通信协议、数据处理等关键技术领域。同时，建立产学研用相结合的创新体系，以促进科研成果的转化和应用。此外，政府还应鼓励企业参与国际技术交流与合作，通过吸收国外的先进技术和管理经验，进一步提升企业的技术创新能力和市场竞争力。

（三）人才培养与引进

为应对电气自动化与物联网技术融合的需求，我国应加强高校和职业院校的相关专业建设，培养具备电气自动化和物联网知识的复合型人才^[9]。同时，实施人才引进计划，吸引海外高层次人才回国工作，为我国机械电子设备领域的发展注入新的活力。此外，还需建立健全人才培养和激励机制，以提高人才队伍的稳定性和创新能力，为技术进步和产业升级提供坚实的人力资源支撑。

（四）企业合作与产业链构建

为推动电气自动化与物联网技术的深度融合与应用，应促进企业间的合作与交流，形成优势互补、协同发展的产业格局。同时，支持产业链上下游企业加强合作，共同打造完整的产业链条，以提升产业链的整体竞争力^[10]。此外，鼓励企业积极参与国际市场竞争，拓展海外市场，从而提升我国机械电子设备在国际上的影响力和市场份额。

五、结束语

随着电气自动化与物联网技术的深度融合，我国机械电子设备领域正迎来前所未有的发展机遇。我们见证了技术的快速进步，也感受到了它们为生产效率和智能化水平带来的显著提升。然而，技术的融合发展之路并非坦途，它需要我们不断面对挑战，积极探索解决方案，以实现产业的持续进步。展望未来，我们有理由相信，在政策引导、技术创新、人才培养和市场驱动等多方面因素的共同作用下，我国电气自动化与物联网技术在机械电子设备领域的发展将更加迅猛，为推动我国制造业向智能化、绿色化、服务化方向发展提供强大动力。

参考文献

- [1] 陶睿, 孙菁. 基于物联网技术的电气自动化二次设备远程监测系统的设计 [J]. 自动化应用, 2023, 64(21): 197-199+202.
- [2] 芦小雨, 马全保. 电力电气自动化设备物联网在线监测技术研究 [J]. 中国新技术新产品, 2023, (22): 45-48.DOI: 10.13612/j.cnki.cntp.2023.22.044.
- [3] 王强. 物联网在自动化智能控制中的应用 [J]. 电子技术, 2022, 51(11): 160-161.
- [4] 王强. 物联网技术在工业自动化控制中的应用 [J]. 集成电路应用, 2022, 39(10): 94-95.DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2022.10.036.
- [5] 岳威. 物联网技术在工业电气自动化控制中的应用 [J]. 湖北农机化, 2020, (09): 73-74.
- [6] 陶丹丹. 探究 PLC 技术在机械电气自动化控制中的应用 [J]. 机械设计, 2021, 38(10): 160-161.DOI: 10.13841/j.cnki.jxsj.2021.10.035.
- [7] 徐秀秀. 基于 PLC 的机械设备电气自动化控制探究 [J]. 大众标准化, 2021, (24): 73-75.
- [8] 司开波. 基于物联网技术的机械设备运行状态监测系统 [J]. 制造业自动化, 2023, 45(03): 1-4.
- [9] 李钰, 李苗青, 张松岩. 机械电子信息一体化技术在制造业中的应用研究 [J]. 中国机械, 2023, (10): 52-55.
- [10] 于孟京. 浅谈物联网技术在农业机械化发展中的应用成效 [J]. 现代化农业, 2023, (01): 91-93.

矿石中金属元素检测方法分析

陆全

身份证号码: 640102196702150017

摘 要： 众所周知，矿产资源的应用涉及生活生产生活的各个方面，保证矿石安全尤为关键，能够更具针对性地实现资源的合理化运用。由于矿石的种类不同，其中的金属元素也存在一定的差异，必须做好相应的检测工作。下文就主要的矿石中金属元素的检测方法展开了分析讨论。

关 键 词： 矿石；金属元素；检测

Analysis of Detection Methods for Metallic Elements in Ores

Lu Quan

ID: 640102196702150017

Abstract： As we all know, the application of mineral resources involves various aspects of life and production, and ensuring the safety of ores is particularly critical to achieve more targeted and rational utilization of resources. Due to the differences in ore types, there are also certain variations in metallic elements, so it is essential to carry out corresponding detection work. The following text analyzes and discusses the main detection methods for metallic elements in ores.

Keywords： ore; metallic elements; detection

引言

目前，在社会发展进程日益加快，经济建设水平不断提升的过程中，对矿石资源的需求量显著增多，通过掌握矿石中金属元素的含量情况，能够提升矿石资源的利用率，实现科学的应用。现阶段，在科学技术不断发展的过程中，主要涉及以下矿石金属元素的检测方式。

一、EDTA 滴定检测

作为一种较为常见的矿石金属元素检测方法，EDTA 滴定检测技术的应用较为广泛，同时还具有检测成本低、操作简单、精准性高的优势，得到了众多矿石企业的青睐和认可^[1]。随着社会的发展和科学技术的水平的进步，相关专家学者也需要在综合考虑检测要求的同时，完成 EDTA 滴定检测技术的优化和调整处理。EDTA 滴定检测（如图1）所示。



> 图1 EDTA 滴定检测

具体检测的过程中，为了保障检测结果的准确性，同时控制溶液的碱性，工作人员就需要在碱性溶液中进行适量氯化铵等化学试剂的添加处理。为了满足具体金属元素的检测要求，必须视情况对该检测技术进行不断地优化与调整。比如说，工作人员在开展铅元素检测的过程中，为了能够弥补传统检测结果偏低的情况，就需要借助氢氟酸和高硅铅的双重作用，完成二氧化硅的溶解处理，提升检测结果的准确性与有效性，金属检测过程中外界的不良影响降到最低。对于锌元素的检测来讲，为了实现锌元素与其他离子的分离，避免干扰，就需要将大量的氧化添加到检测样品当中。在进行铁元素检测的过程中，传统的重铬酸钾法操作复杂，检测结果准确性较低，现阶段工作人员需要进行检测流程和方法的重新调节，不仅能够提高检测工作的精准度，同时还具有重要的生态环保效益，避免了检测过程中的环境污染问题^[2]。丰富的工作经验和先进的技术方式，是保证矿石金属元素检测工作顺利进行的的关键所在，对于相关工作人员来讲，必须要严格按照检测要求，针对性地优化和改进检测技术，保证了检测结果的准确性，更满足了我国的矿石金属元素检测要求。

作者简介：陆全（1967.02—），男，汉族，本科学历，高级工程师，主要从事地质实验和地下水水质检测工作。

二、稳健统计法

全面详尽的化学数据是确保稳健统计法应用的重要支撑，处理工作的规范化水平，直接决定了测量工作的准确性。在开展稳健统计的过程中，能够获得相对全面准确的化学数据平均值。化学数据中极端值的存在，会在某种程度上对分析结果的准确性产生影响，因此就需要结合实际，控制极端值权限，保证结果的精准度。通过利用稳健统计法，能够提升数据结构处理的规范化和标准化水平，弥补了传统计算方法中的缺陷和不足，技术可靠性更高，在优化数据结果的同时，降低了极端值的负面影响^[3]。

工作人员在应用稳健统计方法的过程中，必须要掌握具体的参数情况，提前完成数据信息的收集和整理。比如说，进行数据处理和定量分析工作的过程中，就需要广泛应用稳健比Z比分数，整体效果较为理想，并且工作方式高效、科学，已经得到了众多工作人员的认可。但是，Z比分数是一种典型的理想实验数据，是在定性的实验环境和实验条件下所获得的，与实际的工作之间存在一定的差异情况，为此就造成所测定的内容无法满足实际的需求。这样一来就可以看出，Z比分数的应用必须要视情况而定，避免造成计算失误或者与客观要求不符的问题，将影响降至最低。所以说，为了提升金属元素检测结果的准确性，工作人员开展稳健统计的过程中，必须要提前进行Z比分数可靠性和科学性的验证工作。

三、激光诱导击穿光谱技术

现阶段，在多个领域当中都开始逐步地应用激光诱导击穿光谱技术，此项技术的更是原子发生光谱技术的发展和延伸。在分析技术的原理的过程中可以发现，此项技术是依赖于聚焦脉冲激光来完成样品表面的打击处理，并且在高温烧蚀的作用下，能够生成相应的仪器设备和等离子体，通过进行样品的定量分析和定性分析，能够精准地确定最终的物质组成^[4-6]。

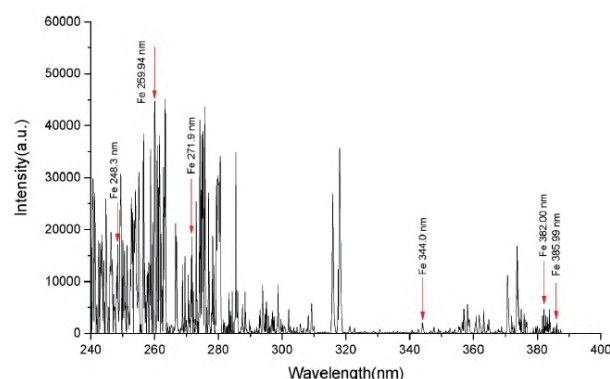
在进行样品制备的过程中，样品中所添加的各种聚乙烯醇粉末、分析纯试剂等可能无法同样品实现全面、均匀地混合。为此工作人员就需要根据情况增加光谱数据的采集数量，获取详细的光谱信息，提升检测结果的真实性和全面性。

工作人员开展光谱采集工作时，需要借助激光诱导击穿光谱，实验室中使用的 LIBS 装置（如图2）所示。在确定检测仪器性能的过程中，应当从波长、激光能量、脉冲频率等多个方面的参数入手，详细掌握光谱仪信号所采集的通道数量、可检测波长范围、单元序列号等数据。另外，工作人员通过开展多次的延时时间试验，有效地提升了矿石金属元素检测的精准性，保证了光谱信号质量^[7]。在分析仪器所采集的延时信息后，通过对应开展金属元素的检测处理工作，成功地降低了延时时间的影响。

激光诱导击穿光谱元素谱图（如图3）所示，是矿石技术元素检测过程中所获得的具体图表。通过图表显示，此矿石的组成相对复杂，内部物质含量较多^[8]。工作人员运用偏最小二乘法等技



> 图2实验室 LIBS 装置实物图



> 图3矿石样品（1#）的激光诱导击穿光谱图

术，能够典型铁元素的特征谱线标注在谱图当中，通过分析样品中铁元素的质量分数情况，掌握了全面详尽的定量分析数据。

但此项技术应用的要求较高，为了保证结果的精准性，就需要将噪声、基线漂移等不良因素的影响降至最低，避免影响到定量分析过程^[9]。另外，对于工作人员来讲，此项技术的应用需要进行相关情况的综合考虑，掌握多种预处理技术，实现对谱图的科学分析，提供准确的定量分析结果。

四、其他金属元素检测方法

在科学技术不断发展，人类文明日益进步的过程中，矿石中金属元素的检测技术也呈现出多样化的趋势，合理应用现代化的仪器设备，能够提升矿石金属元素检测工作的效率水平。现阶段，探头、传感器、分析转化仪等设备的应用较多，不仅使用便捷，同时还能够精准直观地获得被检测物质的结构、成分、含量的信息资料^[10]。比如说，工作人员想要能够通过形象的微观图像了解物质的结构情况，就需要合理借助仪器分析法。但是任何事物都具有两面性，这种技术虽然直观性较好，但是检测过程相对复杂，需要花费的时间较长，同时由于检测过程较为复杂，就可能出现变化不明显的问题，某种程度上也影响了结果的精准度。因此就要求工作人员在应用此项技术的过程中，需要做好相应仪

器的优化和调整处理，保证检测效率，提升矿石金属元素检测的准确性。

相关研究显示，目前原子吸收法的应用也得到了一定的认可，主要是利用基态原子受激吸收跃迁的原理，在辐射适中并加之原子蒸汽影响，并保持辐射频率一致的情况下，能够完成共振的吸收处理。通常情况下，利用这一技术进行矿石金属元素的检测，主要是以待测技术元素的原子蒸汽为依托，在进行收到波长光辐射后原子蒸汽吸收形象的过程，完成检测工作。但是无论是何种技术的应用，都需要综合考虑矿石的情况和基本的检测条

件，实现各项检测技术的针对性运用。

五、结束语

总之，我国国土面积广阔，不同区域的矿石资源存在一定的差异，其中的金属元素含量情况不尽相同，开展矿石金属元素的检测工作意义重大。并且不同检测技术的优势和特点不尽相同，必须要根据矿石资源的实际情况，合理选用检测方式，提高检测结果的精准性。

参考文献

- [1] 王娟, 刘畅, 牛晓. 实验教学及资源信息化管理平台的研究与实现 [J]. 实验室研究与探索, 2012, 31 (03): 201-202.
- [2] 王永保. 矿石样品中金属元素化学分析方法的应用 [J]. 化工管理, 2020, (32): 69-70.
- [3] 张明祖, 覃路燕, 郭炳北. 有机萃取-火焰原子吸收法测定岩矿中金的探讨 [J]. 黄金, 2011(11): 70 - 73.
- [4] 杨德利, 李兵. 火试金富集-火焰原子吸收光谱法测定复杂矿样中的微量金 [J]. 湖南有色金属, 2013(6): 65 - 66.
- [5] 李波, 朱军, 李进, 等. 电化学溶解镍基高温合金废料的研究 [J]. 有色金属 (冶炼部分), 2015(5): 51-54.
- [6] 陈东志. 矿石样品中金属元素化学分析方法的应用研究 [J]. 世界有色金属, 2023(24): 62-64.
- [7] 马军. 探讨金属元素在矿石样品成分中的化学分析与研究 [J]. 世界有色金属, 2018(13): 170-171.
- [8] 王凌燕, 王飞虎, 姜兴伟. 锌精矿中锌、铜、砷含量的检测方法 [J]. 世界有色金属, 2022(07): 136-138.
- [9] 李亚龙, 任冬, 孙广胜. 矿物样本中所含金属元素的化学分析方法研究 [J]. 中国金属通报, 2021(12): 74-76.
- [10] 郭嘉. 自动矿物分析技术在岩矿稀有金属元素鉴定中的应用 [J]. 世界有色金属, 2021(19): 197-198.

浅析制药业腐蚀环境下 RTO 的工艺结构设计

蒋武, 李泮林, 李俊波

四川源之蓝环保科技有限公司, 四川 绵阳 621000

摘 要 : 二氯甲烷在制药领域中是一种应用较多的有机溶剂。近年来, 通过饱和树脂骨架分子与氯代烃分子之间的高选择性吸附工艺, 逐步替代吸附材料寿命较短的活性碳吸附剂处理工艺来处理 VOCS, 已形成行业里二氯甲烷回收工艺的主流。但由于吸附剂受分子结构、分子量、分子极性、分子大小、分子面积、分子沸点以及动力学直径等特性的影响, 介于多种成分的溶剂参与, 一种孔径的吸附剂不可能同时高效吸附或拦截多种不同 VOCS 分子直径的废气物质, 其排放不完全达标, 树脂吸附器成为了氯甲烷预处理设备, 后端仍采用 RTO 进行高效治理^[1]。本文主要针对精细化工^[3] 制药业的废气治理工艺、腐蚀环境下 RTO 的结构优化方案、安全^[2] 等设计要求进行论述, 减小 RTO 的运行安全风险。

关 键 词 : 制药; 二氯甲烷; RTO; 结构; 安全

Analysis of RTO Process Structure Design in Corrosive Environment of Pharmaceutical Industry

Jiang Wu, Li Fenglin, Li Junbo

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

Abstract : Dichloromethane is a kind of organic solvent widely used in pharmaceutical field. In recent years, through the highly selective adsorption process between saturated resin skeleton molecules and chlorinated hydrocarbon molecules, gradually replace the activated carbon adsorbent treatment process with a short life span of adsorption materials to deal with VOCS, which has formed the mainstream of dichloromethane recovery process in the industry. However, because the adsorbent is affected by the characteristics of molecular structure, molecular weight, molecular polarity, molecular size, molecular area, molecular boiling point and kinetic diameter, between the participation of a variety of solvents, an adsorbent with a pore size cannot efficiently adsorb or intercept a variety of exhaust gases with different VOCS molecular diameters at the same time, and its emission is not fully up to standard. The resin adsorber becomes a chloromethane pretreatment device, and RTO is still used for efficient treatment at the back end. This paper mainly discusses the design requirements of waste gas treatment process of fine chemical and pharmaceutical industry, structural optimization scheme and safety of RTO in corrosive environment, so as to reduce the operation safety risk of RTO.

Keywords : pharmaceutical; dichloromethane; RTO; structure; secure

引言

近年来, 随着精细化工和制药行业的快速发展, 其有机废气治理的工艺技术也不断成熟, 传统的有机废气治理技术已经无法满足当今高标准、低排放的环保要求, 蓄热式热力氧化 RTO 处理技术以其独有的优势, 被广泛应用在制药行业。在化工制药工序的原料药^[3] (中间体) 车间、污水站等在生产过程中, 多组分、聚合物、腐蚀性废气的产生是制药行业的典型特征。制药行业废气中成分复杂, 大量的二氯甲烷、乙酸乙酯、DMF、正己烷、正庚烷、四氢呋喃、异丙醇、石油醚、甲醇、乙醇等, 有的还含苯系物。但大部分企业认为前端已经投入了几百万的树脂吸附-蒸汽脱附-冷凝回收预处理装置, 进入后端的腐蚀性卤素成分较少, 不会有太大风险, 都会选择低价格的、按照常规工况去设计和选材的治理装置。事实证明, 微量的腐蚀性成分, 也会导致系统在短时间内腐蚀性非常严重, 而且增加了系统的安全风险与不达标因素, 变成了每年都在技改与维护, 给企业造成了很大的困惑。

文章通过实际工程案例介绍了精细化工、制药业腐蚀环境下的废气治理工艺路径^[6]、结构设计及材料选型。通过应用对比, 优化后设计使整个系统完全达到了高效、节能、持续达标、延长了系统设备使用寿命的特点, 设备安全可靠, 相比常规工况的设计工艺具有较大推广优势和实用价值。

作者简介: 蒋武 (1994-), 男, 汉族, 籍贯: 四川三台, 学历: 本科, 职称: 无, 研究方向: 环境工程项目管理及大气污染治理工艺研究;

李泮林 (1994-), 男, 汉族, 籍贯: 四川省绵阳市高新区, 学历: 本科, 二级建造师/工程师, 研究方向: 大气污染与处理技术研究与工程应用;

李俊波 (1972-), 男, 汉族, 籍贯: 四川省绵阳市高新区, 学历: 本科, 职称: 环境工程高级工程师, 研究方向: 大气污染控制研究与治理工程技术应用。

一、精细化工－制药业的废气治理工艺

生产废气经前端树脂吸附－蒸汽脱附－冷凝回收预处理装置处理后，与污水站高浓废气混合后进入末端预处理设备：经碱洗塔、水洗塔，再经 RTO 高温氧化后（含氯甲烷废气被氧化成 HCl、CO₂和 H₂O）再经过烟气降温塔、碱洗、除雾装置后进入烟囱达标排放（图一）。

（一）碱洗塔基本要求

- 1. 自带循环液槽，洗涤塔材质采用 FRP，自带除雾；循环管路系统应包括液位计、碱洗塔 PH 计、电导仪、自动排水、自动进自来水阀门、自动进碱阀门等，设置观察窗及检修人孔。
- 2. 喷淋泵需设计一备一用，两台泵自动定期切换使用，且在故障时自动切换备用泵；喷淋泵材质：耐腐蚀，要求 IP55 以上防护等级，整机防爆，电动机为二级及以上能效等级。
- 3. 碱洗塔配置在线 PH 检测器、远传耐腐蚀磁翻板液位计（PP）、自动补排水装置（喷淋塔液位设置低低液位连锁停循环泵，避免液位过低泵抽空）。
- 4. 使用液碱进行 PH 调节，现场需设置自动加药管路、气动球阀，配备液碱高位罐液位连锁，液碱储罐，配 304 不锈钢磁力泵。
- 5. 水洗塔、降温塔设计符合系统工艺处理要求。



>（图一）

（二）RTO 结构的基本要求

- 1. RTO 采用三室结构形式，材质 Q235-B，设计使用寿命不低于 15 年。温度维持在 800-900℃之间，燃烧废气在焚烧系统中停留时间不低于 1.2s，燃烧废气中 VOC 的去除效率不低于 99%；蓄热室隔栅，隔栅上布置陶瓷蓄热体，比表面积大于 650M²/M³，阻力小，耐高温达 1200℃，抗裂性能好，寿命长。
壳体内设耐火保温层，材料为硅酸铝耐火纤维炉内保温共三层，其中含两层硅酸铝纤维毡及一层硅酸铝纤维模块，隔热厚度 ≥ 280mm；与氧化室高温区接触部分硅酸铝纤维模块容重应不小于 220kg/m³，下部硅酸铝纤维模块容重应不小于 168kg/m³，陶瓷纤维毯容重应不小于 128kg/m³）^[5]。
- 2. RTO 进排气阀门采用高效结构切换阀，阀板、阀座、阀杆至少 2507 材质，泄漏率必须保证低于 0.05%，其他部位须耐腐蚀；阀门执行机构提供阀位反馈。

- 3. 应设置易拆卸清洗、防铵盐堵塞、便于清理的防堵填料层减缓盐类晶体等对蓄热体的堵塞。蓄热体上下均安装温度传感器，对温度变化，进行检测，对蓄热换热效果进行控制。蓄热室安装压差计，对蓄热体堵塞情况进行检测。
- 4. 防堵填料支架要考虑至少采用双相不锈钢 2507 防止废气中含腐蚀性成分的腐蚀及防填料坍塌。要合理设置检修口，方便清理防堵填料。
- 5. 应设计自动程序对防堵填料层进行高温逆洗高温反烧逆洗程序，提高系统的运行周期。
- 6. 废气焚烧系统安装在线 VOC 浓度测定（LEL）和报警连锁装置，显示进出口 VOCs 浓度上传至中控室，预留气体检测口。当气体 VOC 浓度超过规定的危险值时，立即发出报警信号，并自动关闭加热气源，同时自动切断原始废气和焚烧系统天然气供给，开启焚烧系统自动泄气功能，原始废气自动切换为紧急模式。
- 7. 焚烧系统应包括燃烧控制器、UV 火焰检测器、压缩空气冷却装置、高压点火器、相应的阀门组合、燃烧室压力监测（压差表）、点火前预吹扫、熄火保护、超温报警、燃气泄漏自检和超温切断燃料供给等功能。
- 8. 焚烧系统控制柜设有：火焰控制器，风压开关，点火变压器，温度控制器，高温限位控制器，热电偶、温度记录仪等。
- 9. 配置的阻火器，能够有效阻止易燃气体燃烧造成回火而引起爆炸，确保系统安全。
- 10. RTO 必须做好泄爆、防雷及防漏电设施，电器类防爆，保证设备安全使用。
- 11. 设备管路要考虑防静电措施。

二、腐蚀环境下 RTO 的结构优化方案

（一）材质的要求与防腐

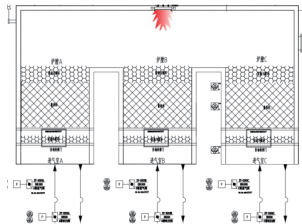
1. RTO 采用 Q235-B 材质，炉体内部、风道内采用防氯离子的重防腐涂装^[9]后再进行保温^[6]，进排气阀门采用高效结构切换阀，阀板、阀座、阀杆至少 2507 材质，泄漏率必须保证低于 0.05%，其他部位须耐腐蚀；蓄热体支架、防堵填料支架要考虑至少采用双相不锈钢 2507。

（二）无机盐类导致的蓄热床底层堵塞的优化方案

在化工制药业，因为洗涤效率的差异，仍有部分无机物、聚合物等物质进入蓄热床，伴随的是高湿甚至是有液态水进入蓄热床的状况，还有部分在氧化过后随着温度降低冷凝下来到了蓄热床底层，造成堵塞。



>（图二）



>（图三）

优化方案一:

①蓄热床底层使用大孔径的蜂窝陶瓷^[7],如:蜂窝25孔,孔径4.9mm4.9mm;32孔,孔径3.8mm3.8mm。

②使用致密材质的陶瓷,降低吸水率。

③大孔蜂窝陶瓷的填装厚度为150mm~300mm。



图3 (25孔蓄热陶瓷)

(32孔蓄热陶瓷)

优化方案二:

①采用双层格栅形式。上部主承重格栅,安装常规的40/43孔蜂窝陶瓷,承担热回收的作用。下部格栅,安装1寸或1.5寸马鞍环,起到抗堵和过滤的作用。

②上下格栅之间的空间约为700~900mm(此位置留有检修口和大空间—图三,方便更换和清理马鞍环)。

③马鞍环的填装厚度为400—450mm左右。

双格栅形式,会使蜂窝陶瓷免于堵塞,马鞍环堵塞之后方便清洗,更换代价更小,降低清洗和更换的频率,为客户节省了运维成本和时间。

复合性方案三:

①常见的更换陶瓷或取出清洗或高温煅烧;之后上下层颠倒安装,尽量重复利用。

②反烧:通过加大燃烧机开度,延长切换时间等方式,提高将中下层温度提高到350℃左右,使聚合物气化,使交联物质结焦,减少聚合物或焦油堵塞。

③高温吹扫,从炉膛中引来高温风,混风降温到250~350℃进行吹扫,效果明显。

④底部安装大孔径陶瓷,厚度450mm。

⑤采用双格栅形式,底层马鞍环填装厚度400—450mm。

三、RTO系统的安全设计

①在系统开机时有一个系统“吹扫”过程,可以清扫集气室、蓄热室、燃烧室及管线内残留的有机废气和燃料,以避免点火时发生闪爆等;同时,在RTO燃烧室装有泄爆装置,最大限度降低系统爆炸损失。

②蓄热室、燃烧室温度报警及连锁,蓄热室陶瓷床上、下部压差报警等。

③蓄热室陶瓷床上、下部温度及燃烧室温度都设有高高、高、低、低低四级报警。通过工控机上设置相应的报警参数,实现所有的温度测点都可以设置相应的报警;蓄热室、燃烧室温度高、低报警时,在工控机上显示相应的报警信息;当蓄热室、燃烧室温度高高或低低报警时,控制系统会禁止燃烧器点火,使RTO离线,系统进入离线模式;当温度恢复正常范围后,RTO进

入人工启动“RTO在线”模式。

④RTO提升阀设置“开到位”“关到位”反馈信号:当开/关阀门时,在3s内未收到相应的“开/关到位”信号,发出“开/关阀门故障”指示,RTO离线。

⑤燃烧室温度下限报警,当燃烧室温度低报警时,RTO离线。

⑥火焰控制器火检信号和大火电磁阀连锁:必须监测到火焰控制器火检信号,大火电磁阀才能开启,否则立即关断;同时,大火电磁阀采用冗余配置,确保关断动作的可靠执行。

⑦燃烧室温度设置均温偏差报警:为了防止燃烧室温度检测元件故障情况下,导致系统控制异常,把同一测点不同安装位置的温度检测元件设置均值偏差报警;当产生报警后,RTO离线。

⑧在炉体进出口有压力变送器,在蓄热室陶瓷床上下部装有差压变送器,用来观测蓄热陶瓷的工作情况,用来判断蓄热床是否有堵塞或者破损。

⑨系统会根据蓄热室陶瓷床的上部温度自动调整各个蓄热室的切换周期,使各蓄热室/陶瓷床的上部温度基本平衡。

⑩RTO系统内所有的压力、温度等测点都可以设置相应的报警参数。甲方可根据需要进行相应的设置。所有的报警信息都可长期保存在U盘或硬盘上。同时,对重要工艺参数都以历史趋势曲线形式供用户查询,数据可长期保存。

⑪系统发生故障时,轻度故障,会有蜂鸣器报警;中度故障,会有声光报警器报警,此报警可以安装在控制室外,便于操作人员听见;重度故障时,系统立即停车,声光报警器报警。

⑫为防止陶瓷床下部的蓄热体结焦,设置自动/手动及在线/离线两种方式的“反烧系统”。

四、结论

RTO具有高效节能、处理效率高、应用领域的广泛性等方面的优点^[10],但在大量粘性物质气体、聚合物、腐蚀性等环境下,确保系统安全运行的关键还是在于工艺、结构设计、材料的选择等方面的特殊要求^[9]。一旦系统设计或材料选型错误,加速了系统的腐蚀程度,造成系统的不稳定运行,甚至出现较大的安全风险。

参考文献

- [1] 蓄热燃烧法工业有机废气治理工程技术规范: HJ 1093-2020 [S]. 2020.
- [2] 蓄热式焚烧炉系统安全技术要求: DB32/T 4700-2024. [S]. 2024.
- [3] 向杰、录华. 精细化工概论(第三版) [M]. 化学工业出版社: 201610.
- [4] 管国锋、赵汝溥. 化工原理(第四版) [M]. 化学工业出版社: 201509.
- [5] 李鸿发. 设备及管道的保冷与保温 [M]. 化学工业出版社: 200207.
- [6] 工业设备及管道绝热工程设计规范: GB50264-2013. [S]. 2013
- [7] 崔海亭、杨峰. 蓄热技术及其应用 [M]. 化学工业出版社, 2002年7月.
- [8] 李守信、苏建华、马德刚. 挥发性有机物污染控制工程 [M]. 化学工业出版社出版, 201708
- [9] 高瑾、米琪. 防腐蚀涂料与涂装 [M]. 武汉音像出版社, 200702.
- [10] 罗国民. 蓄热式高温空气燃烧技术 [M]. 冶金工业出版社, 201107.

土木工程的可持续发展

王普聪, 邢永霞

东胜区城市管理综合行政执法局, 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘 要 : 伴随着社会经济的发展, 环境破坏、资源枯竭已成为一个全球性的问题。为实现社会、经济的发展和环境、资源协调发展, 我国实行了可持续发展战略。土木工程作为人类对自然环境的重要生产活动之一, 也同样需要贯彻可持续发展的战略。在土木工程活动中的各个过程中, 均需要消耗大量的能源, 产生废弃物, 对环境的影响较大。因此, 我们在发展时, 不仅要满足经济、社会的发展需要, 同时也要注重对环境的保护、资源的节约。

关 键 词 : 土木工程; 可持续发展

Sustainable Development of Civil Engineering

Wang Pucong, Xing Yongxia

Dongsheng District Comprehensive Administrative Law Enforcement Bureau, Erdos, Inner Mongolia 017000

Abstract : With the development of society and economy, environmental destruction and resource depletion have become global issues. To achieve coordinated development between society, economy, environment, and resources, China has implemented a sustainable development strategy. As one of the important production activities of humans on the natural environment, civil engineering also needs to implement the sustainable development strategy. Various processes in civil engineering activities require a significant amount of energy consumption and generate waste, which has a considerable impact on the environment. Therefore, when pursuing development, we must not only meet the needs of economic and social development but also focus on environmental protection and resource conservation.

Keywords : civil engineering; sustainable development

可持续发展理念提出后, 经过持续深化和拓展, 逐渐引发了人们对生态环境的广泛关注。由于经济社会粗放型发展导致生态环境遭受严重破坏, 不同程度上威胁着人类文明的传承和发展。因此, 现代土木工程发展中, 作为支持国民经济持续发展的重要产业之一, 表现形式多样, 包括桥梁、铁路、公路、建筑物等, 将可持续发展的理念融入到土木工程建设和发展中, 对于构建资源节约型、环境友好型社会具有重要意义。

一、土木工程与可持续发展综述

土木工程即建在地上、地下、水中的各种工程设施, 也指所应用的材料、设备和所进行的勘测设计、施工、保养、维修等技术。^[1] 可持续发展是既满足当代人的需求, 又不对后代人满足其需求的能力构成危害的发展称为可持续发展。^[2] 土木工程作为建筑业这一我国的支柱产业之一的重要一员, 对我国的发展起着重要作用, 如果能够实现土木工程建设过程中的可持续发展, 将有利于国家的长远生存和发展。

二、土木工程中可持续发展面临的问题

随着世界各国对于可持续发展的重视程度提高, 土木工程行业开始响应这一趋势, 将可持续发展理念融入到行业发展各个领域。但具体实践中, 却仍然存在很多的欠缺和不足。具体表现在

以下几点。

(一) 管理体制问题

在土木工程建设过程中, 需要多部门协同合作, 这就造成了多头管理, 责任不能明确落实等问题。各部门对于施工控制缺乏重视, 对一些大型工程的施工在前期做的研究不足, 剖析不够细致, 对建设过程中资源的使用、工程质量的监控监管没有明确的细则和奖惩系统。同时, 现有土木工程可持续发展配套法规政策和标准并不完善, 即便部分国家和地区出台了相应的绿色建筑激励政策和评价标准, 以至于全球范围内标准与法规普及程度不足, 执行力度有限, 制约着可持续发展理念难以在土木工程中实践应用。

(二) 设计施工问题

土木工程的设计分为三个阶段, 即初步设计、技术设计、施工图设计。在三个阶段中, 均设计可持续发展问题^[3]。我们在初步设计阶段会对工程提出可行性的分析建议, 先形成一个初步的方

案,确定工程的大体规划以及修建位置。根据项目自身的特点,对各项指标做全面的调查,在满足其基础条件的前提下,尽可能多采用新型高性能材料,做到结构的进一步优化。同时,需要提前考察周边生态环境,了解周边地质水文问题^[4]。

技术设计阶段需要拟定工程建设各部分图纸,科学的管理各部门之间的关系。施工设计阶段确定所有工程需要的物资和材料,也要根据设计情况进行调整和修订,借助新型信息化设备,让项目的整体结构和规划更加安全、环保、经济^[5]。传统的砖石、钢筋混凝土等建筑材料广泛应用,对生态环境产生了严重破坏,即便绿色建筑材料是可持续发展的一个主要方向,但具体土木工程施工中,如何有效推广和应用这些材料仍然存在重重阻碍,如技术不成熟、成本过高等问题。在施工过程中,需要的工种、人员比较多,因此,施工管理对于环境污染有直接影响。施工一线人员普遍受教育程度不高,从事基本体力活动,所以,我们应该保有对施工流程及人员的绝对熟悉度,才能更好,更科学的安排工作、培训,更好的管理相关人员。从本质来说,技术人员及管理人员综合素质水平会直接导致施工污染的增加,对基地环境产生影响。

（三）施工维护问题

在进行施工的过程中,需要消耗大量的资源,同时也会产生大量的建筑垃圾和生活垃圾。随着使用时间的推移,建筑的结构和外观也会随着外部环境的变化和人类的使用频率而改变,建筑的使用寿命也会随之减少。但在施工结束后,有些工程维护的缺失,导致建筑的基本寿命更加缩短,在没到寿命的情况下就提前废弃。所以,在使用方面,也需要降低人为的消耗,提高资源使用效率,科学的加以利用。在面对外部环境的不可控因素时,也要做好定期的检测和维护,这样才能使建筑的使用寿命进一步延长^[6]。

土木工程可持续发展中,离不开先进技术支持,但是现有绿色建筑技术、材料尚处于研发阶段,技术成熟度有所不足。有些高性能绿色建筑材料、可再生能源技术以及高效节能系统等,在土木工程中应用存在技术障碍,技术应用效率并不理想^[7]。此类技术的应用还需要经过长时间检验,这样才能确保在具体土木工程中展现出应有的作用。

（四）环境问题

在土木工程的建筑和施工中,不可避免的会对环境产生一定的影响。在进行水利工程建设时,可能会破坏河流长期演化的生存环境,进而导致气候的改变。铁路和公路在修建时会对沿线的生态环境造成影响,不科学甚至违规方式甚至会造成水土流失^[8]。建筑物大厦的修建、煤矿的开采、公路的运营也会造成一定的空气污染和噪音污染,这些问题在土木工程中也长久存在。与此同时,土木工程建设需要消耗大量的能源,包括燃料、电力等,尽管有很多先进的节能技术得到了有效应用,如,建筑物隔热材料、太阳能技术等,但普及度不足,很多传统建筑项目未能有效融合这些先进技术,不可避免的影响到整体的资源利用率,如何在保证工程建设质量前提下,减少能源消耗和环境污染,则是目前土木工程可持续发展首要待解决的任务^[9]。

（五）监管力度问题

在土木工程建设过程中,应该有相关部门及专门人员对于建设中的资源使用,工程质量等进行监控监管。然而在实际工作中,监管部门并没有切实的履行职责,监管部门擅离职守,对细则监管不严格,导致建设过程中监管缺失,给实行可持续发展战略增加了难度^[10]。

三、促进土木工程可持续发展的措施

（一）加强工作人员的培训工作,加强对可持续发展的宣传教育

在土木工程建设中,如果相关工作人员都没有意识到保护环境的重要性,没有真正了解到可持续发展的意义,那么就势必会出现难管理,资源浪费的现象^[11]。要想顺利建设绿色建筑,就必须把绿色可持续的施工观念深植每个人心中,开展培训指导,增强他们的环保意识,宣传可持续发展理念,长期定期的进行培训,进一步加深思想认识,从自身做起,深层次提高工程的环保性。

（二）优化工程设计,做好各专业技术衔接

土木工程设计阶段,应注重可持续发展理念的融合渗透。设计阶段要综合考量工程项目建设需要的经济、技术、资源和环境等因素,任何一个环节考虑不到位,都将影响项目建成后的效益、功能和价值^[12]。所以,在设计方案选择中,应保证设计标准、设计参数、设备功能、结构选型等满足使用前提的同时,还要保证工程项目的整体经济、安全、质量和美观等符合要求,并契合工程区域地质条件和人文环境,提升设计方案合理性。所以,设计环节要充分实地勘察,力求设计方案与周围生态环境、人文环境相契合,提升各项资源利用率,实现土木工程的可持续发展^[13]。土木工程设计中融入可持续发展理念,关注生态系统良性循环,实现节能、环保的建筑材料和技术的有效应用,保护周围生态环境。

土木工程设计中多集合了多专业,在设计不同阶段需要建筑、设备、结构等专业之间紧密衔接,如果不同专业人员对相关规范、材料、技术和标准掌握程度不统一,或是环境保护认知存在差异,则会对工程可持续发展产生负面影响。所以,应加强设计各专业之间协调沟通,彼此交流和学习,严格控制投资数额在合理范围内,提升设计质量,为后期工程建设提供坚实保障^[14]。

（三）加大监管力度,建立持续有效的施工管理制度

无规矩不成方圆,无论是企业还是政府,都应该建立严格的监管体系和奖惩制度,对于浪费自然资源,破坏生态环境的个人或企业进行严惩。同时,在工程进行的同时,工作人员应该互相监督,减少废弃物品的乱堆乱放,控制资源浪费,大家一起努力促进可持续发展。政府部门也需要做好监督管理工作,制定相关制度和措施,严格控制当地房屋的拆建工作,尽量减少“短命建筑”的出现。可持续的施工制度需要多方面,多行业共同努力,推进施工制度的完善,达到节约资源、保护环境的目的^[15]。

（四）提高能源效率，注意使用过程的环境保护

在施工过程中，提高能源的使用效率，尤其是电能。在平时可以减少空调和电灯的使用，多采用自然通风和采光的方式，在使用过程中，应避免将产生废气的物品带入，若为必需品，应采取措​​施，减少危害；在施工过程中减少不必要设备的开启，以免产生噪音；对于产生的废水要及时处理，循环利用；在施工生活及工作过程中产生的垃圾应分类处理，以便再次利用^[16-18]。

（五）废物回收再利用，严格控制对环境的影响

对建设过程中产生的建筑垃圾进行分类，回收可以二次使用的材料，既保护环境又提高经济效益^[19]。土木工程建设和拆除过程中，不可避免产生废旧木材、钢筋和混凝土碎块等废弃物，如果废弃物未能得到及时有效处理，盲目排放，则会对生态环境产生严重的负面影响。首先，应建立完善的废物分类和回收体系。将废弃物细致分类，包括金属、混凝土、木材等，由专业企业或政府部门统一回收处理，实现废弃物资源有效利用。其次，加强废弃物再利用研发和应用，基于破碎、筛分等工艺，将废旧混凝土制成再生骨料，可以生产新的再生混凝土，减少自然资源消耗同时，实现废弃物资源有效回收利用。最后，土木工程建设中，采用设置防尘网、低噪音设备和污水处理设施等，可以有效减少粉尘、噪音以及废水等废弃物的排放量。这样在满足土木工程建设需要同时，减少不必要资源浪费，维护生态系统平衡。

（六）对建筑进行定期的维护保养

加强建筑物的维护和保养，可以延长建筑的使用周期。定期对建筑结构进行维修，虽然会花费一定成本，但是效果是显著的，这样不但可以延长建筑寿命，也可以避免资源的大量浪费，达到保护环境，改善生态的目的。首先，建立健全维护保养体系，编制完善的维护保养计划，确定具体的维护保养标准和周期，定期检查和评估基础上，选择合理的维修措施，最大程度上保障建筑结构安全。其次，加强维护保养人员专业培训，学习新技术、新理念，丰富维护保养人员专业知识储备，具备更强的环保意识，有效运用维护保养技术开展工作，提升整体工作质量^[20]。最后，注重节能和环保改造，引入节能材料、技术和设备，如，安装太阳能热水器，更换节能型窗户，采用环保装修材料等，减少环境的污染和破坏，提升建筑物整体的能源利用率。

四、结论

土木工程对我国的发展起着举足轻重的作用，与人们的生活息息相关，未来的土木工程不仅要安全舒适，人们也会更多的关注工程中使用的材料、生产工艺及性能，以及是否能与自然和谐相处。土木工程只有走可持续发展的道路，才能更好的促进国家的发展。

参考文献

- [1] 曾雄杰. 土木工程可持续发展的若干思考[J]. 居舍, 2018(32):12-12.
- [2] 李改凤. 国土空间规划与城市可持续发展的整合策略研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (14): 203-205.
- [3] 赵潇蒙. 城市化进程中的土木工程可持续发展策略研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (13): 211-213.
- [4] 王小颖. 新型绿色建筑材料在土木工程施工中的应用分析[J]. 广州建筑, 2024, 52 (02): 80-83.
- [5] 李鹏波, 顾荣军, 曾雪琴, 马兴亮. 绿色建造在土木工程专业人才培养中的实践[J]. 创新创业理论研究与实践, 2024, 7 (07): 155-159.
- [6] 王维奇, 孙元明. 绿色环保建筑材料在土木工程施工中的应用[J]. 居舍, 2024, (10): 52-55.
- [7] 夏学敏, 饶平平. 融合 BIM+VR 技术的土木工程专业课程教学模式探索[J]. 福建建材, 2024, (03): 111-113.
- [8] 覃龙. 建筑土木工程施工技术控制的重要性分析[J]. 居业, 2024, (03): 31-33.
- [9] 钱栋. 土木工程施工中的材料选择及质量控制策略研究[J]. 居舍, 2024, (07): 39-41.
- [10] 孙波. 土木工程施工中节能环保技术的应用[J]. 住宅与房地产, 2024, (06): 163-165.
- [11] 张翠萍. 论住宅建筑工程施工中节能环保技术的运用[J]. 居舍, 2024, (03): 89-92.
- [12] 汪毅. 落实新工科教育理念培养综合型土木人才[J]. 大学, 2024, (02): 1-2+205.
- [13] 杨肖杰, 赵三欣, 李瑞峰. 绿色环保建筑材料在土木工程施工中的应用分析[J]. 居舍, 2024, (01): 76-78.
- [14] 张小鹏. 绿色建筑材料在土木工程施工中的应用探究[J]. 居舍, 2024, (01): 82-85.
- [15] 薛刚, 王宏, 高鹏, 王英浩. 对土木工程专业毕业要求及达成评价的再认识[J]. 高教学刊, 2024, 10 (01): 82-85.
- [16] 刘巧君. 交通运输工程规划与交通土木工程管理的策略探讨[J]. 中华建设, 2024, (01): 70-72.
- [17] 陈诗娅. 智慧城市背景下土木工程专业的转型发展探索[J]. 盐城工学院学报(社会科学版), 2023, 36 (06): 104-107.
- [18] 徐诚, 孙淑萍, 杜玉芬. 建筑施工中建筑土木工程的技术要点及创新方式分析[J]. 居舍, 2023, (34): 31-34.
- [19] 向鹏. 生态岩土学在土木工程低碳绿色发展中的进展与挑战[J]. 高科技与产业化, 2023, 29 (11): 22-25.
- [20] 王佳. 土木工程施工中的材料选择及质量控制策略[J]. 居舍, 2024, (16): 95-97.

煤矿机电管理标准化建设与事故预防管理探讨

王海兴

潞安化工集团寺家庄煤业有限责任公司, 山西 晋中 045300

摘 要 : 随着我国经济发展, 各类制造业的兴起使得煤炭需求量有所提升, 为了满足行业发展需求, 煤矿企业加大煤矿开采力度, 在矿井中进行深入挖掘, 机电新型设备逐渐应用至煤矿开采工作中。由于安全事故频发, 以往的煤矿机电管理方式存在着许多不足之处, 影响了煤矿企业的生产进度。因此, 煤矿企业要更新机电管理模式, 提升机电设备事故的预防和控制水平, 减少事故发生的可能性, 实现安全化管理。本文在探讨煤矿机电管理标准化建设与事故预防管理意义、现状的背景下, 寻找有效的管理方法和举措, 为煤矿企业相关工作提供理论支撑。

关 键 词 : 煤矿机电管理; 标准化建设; 事故预防管理

Exploration on Standardization Construction and Accident Prevention Management of Coal Mine Mechanical and Electrical Management

Wang Haixing

Shuijiazhuang Coal Industry Co., Ltd., Luan Chemical Group, Jinzhong, Shanxi 045300

Abstract : With China's economic development, the rise of various manufacturing industries has increased the demand for coal. To meet the development needs of the industry, coal mining enterprises have intensified coal mining efforts, conducted deep excavation in mines, and gradually applied new mechanical and electrical equipment to coal mining work. However, due to the complex mine environment and frequent safety accidents, there are many deficiencies in the traditional coal mine mechanical and electrical management methods, which affect the production schedule of coal mining enterprises and are not conducive to their development. Therefore, coal mining enterprises should update their mechanical and electrical management models, improve the prevention and control level of mechanical and electrical equipment accidents, reduce the possibility of accidents, and achieve safe management. This article explores the significance and current situation of standardization construction and accident prevention management in coal mine mechanical and electrical management, and seeks effective management methods and measures to provide theoretical support for related work in coal mining enterprises.

Keywords : coal mine electromechanical management; standardization construction; accident prevention management

引言

煤矿企业主要是在地下矿井中开展各项作业, 在地下矿井中, 机电设备的应用存在着一些安全隐患, 加强设备标准化管理可以提升设备工作的稳定性和安全性。但当前大部分煤矿企业机电设备标准化建设力度不足, 使得事故预防管理工作难以发挥出实际的作用。因此, 煤矿企业要对当前的现状进行分析, 加强标准化建设, 并实行事故预防措施, 促进煤矿企业的经济发展。

一、煤矿机电管理标准化建设和事故预防管理工作的意义

煤矿企业在施工过程中, 煤矿事故的发生率较高, 包括机电设备事故、运输事故等, 而发生这些事故的主要原因大部分在于操作不当、设备运行不安全等原因, 一旦发生这些安全事故, 将会影响煤矿

企业的发展, 甚至威胁工作人员的生命。加强机电设备管理标准化建设可以保障设备的安全运行, 使生产线质量有所提升, 做好机电设备事故预防管理工作, 减少事故发生情况, 保护人员安全^[1]。

为了与我国绿色环保的需求相契合, 煤矿企业可以用新兴的环保能源替代污染能源, 对机电设备进行优化更新, 使企业的生产效率和质量有所提升, 为企业带来更多经济效益。

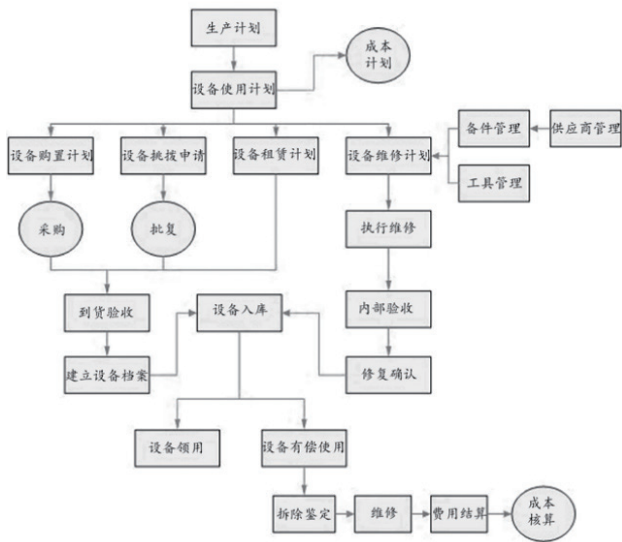
二、煤矿机电管理现状

（一）机电标准化认识不足

机电设备管理人员必须重点关注机电标准化建设，并将安全生产理念贯穿煤矿企业的整个生产过程中，才能够实现安全生产、经济发展的目标^[2]。但当前，大部分煤矿企业机电设备管理不到位，机电设备工作人员缺少机电标准化建设与安全意识，专业水平和实践能力有待提升，严重影响管理工作的顺利开展。

（二）缺乏设备安全管理

科学的安全生产管理制度可以帮助煤矿企业开展机电设备安全管理工作，具体的流程如图1所示，工作人员可以按照管理制度中的要求进行设备管理。但当前煤矿机电设备安全管理制度有待完善，部分管理标准缺少严谨性，工作人员没有安全管理观念，只依靠经验开展管理工作。部分企业为了提高生产效率对机电设备技术参数进行更改，使机电设备无法安全运行^[3]。



> 图1 机电设备安全管理

（三）存在设备老化现象

在煤矿企业运营的过程中，由于机电是开采煤矿所使用的重要设备，在运转过程中必然会出现磨损与折旧情况。部分企业会忽略设备的保养与维修工作，导致机电设备老化程度加快，且机电设备属于煤矿企业长期使用的高额投入设备，煤矿企业不会在短期内更换设备，若不对其进行更新，将存在安全隐患^[4]。

三、实现煤矿机电管理标准化建设的路径

（一）完善煤矿机电管理相关制度

为了促进煤矿企业的高质量发展，煤矿企业要建立完善的管理制度。首先，煤矿企业要针对煤矿开采展开制度完善工作，按照开采的各阶段制定针对性的管理制度。其次，机电设备管理人员要落实责任制度，对违反管理制度的一系列行为进行警告与惩罚，杜绝在机电管理过程中出现的不良行为。最后，煤矿企业要制定突发事件应急方法，组织相关管理人员进行学习与实践。使工作人员在遇到事故时能够快速解决，减少安全事故发生的可能性。

（二）实现高质量的机电设备采购

为了实现煤矿机电管理标准化建设，机电设备的质量是设备能否正常运行的重要影响因素，也是减少机电设备发生故障的根本因素。首先，当煤矿企业在采购机电设备时，工作人员需结合实际需求与调查的结果制定详细的计划，按照计划进行采购。其次，机电设备管理人员要与物资储备科进行对接，准确列举机电设备采购的具体要求。工作人员进行详细的交接，准确地传达给设备供应商。当设备送达后，管理人员对机电设备的实际情况进行核实，看参数、规格等是否符合采购需求。加大设备验收工作力度，对其稳定性、防爆性等指标进行检测，使设备能够达到安全使用的标准。当发现设备与采购方案需求不符合时，要提前做好方案，做出相应处理，避免将不合格的设备应用到煤矿企业各项工作中^[5]。最后，当煤矿企业使用机电设备时，还要派专业的技术人员对其使用过程中情况进行随时的检验与调试。检测的每个环节都要求工作人员进行签字确认，切实提升设备运行的安全性。

（三）促进机电信息化建设的发展

随着信息技术的高质量发展，在煤矿企业机电设备管理过程中引入信息化技术可以提高机电安全管理水平，各机电设备可以进行信息传输，挖掘设备的参数、维修保养记录等机电设备的基本信息，并储存至数据库中。工作人员可以根据实际的数据进行操作，实现对煤矿机电设备的有效运行。若机电设备出现故障时，维修人员也可以根据参数、使用年限等数据进行针对性维修。另外，煤矿企业可以在机电设备上安装设备传感器，设备操作人员能够随时了解设备的应用情况。若设备出现故障或者异常，操作人员能够尽快得知，并根据实际情况进行设备叫停，能够降低事故频率^[7]。

（四）提高各环节标准化管理水平

第一，煤矿企业针对机电设备零部件要进行标准化管理，从零部件安全到安全防护的各环节都要制定检查标准，及时更换机缺失、磨损等问题部件。第二，煤矿企业要重视机电设备的润滑油更换工作，润滑油的采购必须符合设备需求。企业要制定加油、换油的相关标准，要求人员定期按照油温、油压等情况进行润滑油更换工作。并对容易出现变形的密封材料进行及时的更换。第三，针对机电设备的调校工作，企业在标准化建设制度中要明确规定机电设备调校标准。第四，煤矿企业要重视机电设备的维修与保养工作，对设备所处的环境进行定期的清理，为机电设备加装防尘装置或者泡沫抑尘装置。对环境中堆积的粉尘进行清扫，减少环境粉尘对设备的影响^[8]。第五，工作人员在维护机电设备时要对其设备外壳进行检查，例如外壳的完整性、防护装置完整性、磨损情况等，如图2所示。



> 图2 机电设备维护

四、煤矿机电事故预防管理举措

（一）提高事故预防技术水平

煤矿机电设备极易出现火灾事故，当煤矿机电设备长期运行时，其零部件会出现超负荷的现象，若设备缺少温度监控保护装置，会因为高温引起火灾。机电设备长时间在潮湿、恶劣的环境下工作，极易影响设备的使用寿命，供电系统很有可能会失效，进而引发火灾事故^[9]。电火花这类事故类型最为常见，当设备的线路损坏时会导致设备漏电、短路，出现事故火花。煤矿企业要想有通过技术途径控制事故的发生。选择性能好、隔爆性强的机电设备，当没有粉尘堆积的情况下，设备温度可以控制在400摄氏度以下。若有粉尘堆积，则要控制在150摄氏度以下。电缆的选择要与机电设备功率相符合，根据设备功率计算电缆的长度与横截面积，按照计算结果进行合理购入。同时，煤矿企业可以对机电设备安装保护装置，例如过流、漏电等方面的保护装置。当设备出现异常时可以对设备进行远程操控。另外，机电设备在矿井中工作，矿井供电时产生的高次谐波可能会对设备造成干扰现象。企业可以安装滤波装置，保障设备的稳定运行。最后，企业还要采购闭锁防火报警装置，将其安装在机电设备上，若设备出现高温或者异常温度的现象，装置可以切断设备动力电源，发出警报，工作人员能够及时发现设备异常情况并进行处理。

（二）实现机电设备安全管理

首先，煤矿企业要加强对机电管理和事故预防管理工作的宣传力度相关工作人员能够树立正确的观念，增强设备运行安全意识，提升自身的综合素质与专业知识水平，在设备操作与管理过程中按照规范严格进行。企业可以结合员工的实际表现情况制定奖惩制度，针对出现严重错误的工作人员进行处罚，对表现优秀的工作人员进行奖励。其次，煤矿企业要加强交流与学习，引进先进的技术与管理经验，并派专职人员更新改造机电设备。企业要结合自身实际的生产情况了解设备、生产、故障、工艺之间的关系，能够及时解决其中出现的技术矛盾问题，保障企业开展高效率的生产工作，并实现机电设备的安全运行^[10]。最后，煤矿企业要定期维护设备相关的电气线路，对拆接线路、插座、设备等情况进行严厉禁止，使带电体与工作人员的距离维持在合理范围内，做好一系列隔离防护措施，实现安全管理。

（三）加强基础管理工作力度

在基础管理工作中，煤矿企业要切实落实机电设备安全管理制度与标准化建设要求，提高事故预防效果。首先，在开展基础管理工作时，要在煤矿安全生产标准化建设的基础上，对煤矿企业的技术、生产等过程进行规范，从源头有效预防机电设备安全事故的发生。其次，针对机电设备的一系列工作，设备管理人员要合理操作设备，了解设备的事故多发点、危害点。将责任落实到个人，针对性控制事故的发生，杜绝预防事故不到位的现象。当工作人员在操作设备时，管理人员要进行监督与防范，保证员工按照规范与要求正确操作设备，整顿与机电设备相关的操作、施工纪律等内容。最后，煤矿企业要制定个人点检制相关规定，落实工作责任，相关责任人必须在适当的周期内对机电设备进行检查与检测，将设备出现异常的情况与原因能够及时准确地找出，并有效规避，保障各项参数在正常范围内^[11]。

（四）提升机电人员专业能力

随着机电设备的发展，机电人员要了解不同类型机电设备的操作与使用方法，因此对机电人员的专业性要求比较高。所以，首先煤矿企业要加强对机电人员专业内容的培训，使机电人员能够掌握熟练的专业操作技能。另外，煤矿企业要对机电的相关操作人员、管理人员等开展实践操作训练，使其结合先进的信息技术进行操作。加大机电人员培养力度^[12]。同时，煤矿企业在招聘机电人员时要对其进行考核，要求机电人员必须有相关的专业证件，熟悉设备运行和操作要求，才能够上岗。最后，企业要加强对机电人员的安全教育力度，设置专项资金用于人员教育，主要的教育途径为聘请专家开展讲座、举办招商交流会等。提高机电人员的事故预防和处理能力，增强人员安全意识。

五、结语

综上所述，煤矿企业的长远发展要靠企业的管理，企业管理的重点在于煤矿机电管理与事故预防管理，煤矿企业要结合自身的实际情况，对机电设备运行过程中的各种情况进行综合考虑，开展机电管理标准化建设工作，利用科学的管理举措加强事故预防管理，促进煤矿工作的顺利开展，夯实煤矿企业长远发展的基础。

参考文献

- [1] 姚远. 探讨煤矿机电管理标准化建设与事故预防管理[J]. 低碳世界, 2020, 10(8):2.
- [2] 焦胜利. 煤矿机电管理标准化建设与事故预防管理分析[J]. 化工中间体, 2021, 000(002):46-47.
- [3] 曹明亮. 浅析煤矿机电管理标准化建设与事故预防管理[J]. 中国房地产业, 2019.
- [4] 刘岳彬. 煤矿机电管理标准化建设与事故预防管理分析[J]. 门窗, 2019(19):1.
- [5] 王泽斌. 煤矿机电管理标准化建设与事故预防[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(9):2.
- [6] 郭军丽. 基于煤矿机电管理的标准化建设与事故预防管理[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(8):3.
- [7] 焦会峰. 论煤矿机电管理标准化建设与事故预防[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2021(7):2.
- [8] 张培文. 煤矿机电管理标准化建设与事故预防管理[J]. 中国科技期刊数据库 工业A, 2021(1):1.
- [9] 焦胜利. 煤矿机电管理标准化建设与事故预防管理分析[J]. 当代化工研究, 2021.
- [10] 侯跃强. 煤矿机电管理标准化建设与事故预防管理研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2020.
- [11] 刘志敏. 煤矿机电管理标准化建设与事故预防[J]. 石油石化物资采购, 2020(12):104-104.
- [12] 梁修权. 煤矿机电管理标准化建设的实践与探索[J]. 大众标准化, 2021(18):3.

基于 GA-BP 的工程总承包项目成本预测研究

朱剑钦¹, 吴晓磊², 池商铃³, 巫庆明⁴, 柯建平⁵

1. 福州建工集团有限公司, 福建 福州 350004

2. 中庆建设有限责任公司, 福建 福州 350004

3. 厦门第一建筑工程集团有限公司, 福建 厦门 361003

4. 厦门特房建设工程集团有限公司, 福建 厦门 361010

5. 福建省二建集团(厦门)有限公司, 福建 厦门 361011

摘 要： 工程总承包模式缩短了建设项目周期，提升了设计与施工协同效率。然而，在工程总承包项目管理中，超限额、超概算和亏损问题普遍存在，传统的成本管理模式已难以满足工程总承包模式的需求。本文根据总承包项目成本特点，提出了一种基于遗传算法（GA）优化 BP 神经网络的成本预测方法，通过构建 GA-BP 神经网络工程总承包项目成本预测模型，并结合实际工程案例进行验证，有效提高工程总承包项目成本预测的准确率。

关 键 词： 工程总承包；成本预测；GA-BP 神经网络

Research on Cost Prediction of General Engineering Contracting Projects Based on GA-BP

Zhu Jianqin¹, Wu Xiaolei², Chi Shangqian³, Wu Qingming⁴, Ke Jianping⁵

1. Fuzhou Construction Engineering Group Co., LTD., Fuzhou, Fujian 350004

2. Zhongqing Construction Co., LTD., Fuzhou, Fujian 350004

3. Xiamen First Construction Engineering Group Co., LTD., Xiamen, Fujian 361003

4. Xiamen Special Housing Construction Engineering Group Co., LTD., Xiamen, Fujian 361010

5. Fujian Second Construction Group (Xiamen) Co., LTD., Xiamen, Fujian 361011

Abstract： The general engineering contracting model has shortened the construction project cycle and improved the efficiency of design and construction synergy. However, in the management of general contracting projects, the problems of over-limit, over-estimation and loss are common, and the traditional cost management mode has been difficult to meet the needs of the general contracting mode. This paper proposes a cost prediction method based on genetic algorithm (GA) optimized BP neural network according to the cost characteristics of general contracting projects, and effectively improves the accuracy of cost prediction of general contracting projects by constructing the GA-BP neural network cost prediction model for general contracting projects and verifying it by combining with actual engineering cases.

Keywords： general engineering contracting; cost prediction; GA-BP neural network

引言

工程总承包作为一种全新的工程项目管理模式，以其有效缩短建设周期、降低工程造价、减少纠纷、优化资源配置等优势被广泛采用^[1]。在总承包项目的整个建设过程中，如何降低企业成本，提高企业利润，进而提高企业的市场竞争力是需要关注的重点。成本预测在项目成本控制中起主导作用，是企业管理工作的关键环节，也是影响企业经济效益的关键。鉴于总承包项目成本影响因素的复杂性，成本预测的准确性难以保证，成本管理难度大，因此迫切需要找到一种快速、可靠、准确的成本预测方法。

近年来，随着机器学习与智能算法等现代化信息技术的快速发展，大量学者对智能预测模型进行了研究。林申正等^[2]提出基于 BIM 技术结合神经网络的装配式建筑成本控制方法，Zheng^[3]通过构建遗传算法优化神经网络模型对物料工序质量进行预测，Alshboul 等^[4]提出利用机器学习实现绿色建筑的成本预测。本文以提高工程总承包项目成本管理精细化、智能化为目的，构建 GA-BP 神经网络模型，对工程项目的直接成本作出合理预测，为总承包项目成本的控制与公司利润的提升提供了重要参考。

基金项目：福建省住建厅科技研究开发计划项目 (2023-K-99)。

作者简介：朱剑钦，男（1986-），福州建工集团有限公司，高级工程师，从事建筑施工技术方面的研究工作。

一、总承包项目成本概述

（一）总承包项目的概念

工程总承包是指建设单位将项目的勘察、设计、采购、施工、试运行等工作整体发包给一个工程总承包单位，由工程总承包单位对项目的实施负总责，并对所承担的工作向建设单位负责^[5]。工程总承包模式将项目各阶段进行集成，既减少了建设单位的管理投入成本，又促使项目建设单位以预定的项目利润目标为导向，通过不断优化施工组织策划方案、采购方案等一系列成本控制举措，最大限度地满足了建设单位的施工需求，同时有效提高了项目建设单位的工作效率。

总承包模式通过集中责任、减轻业主管理负担、降低项目风险等特点，为工程项目的高效、可控实施提供了途径。在总承包模式下，合理控制项目成本是保证企业经济效益的重要手段，因此总承包企业必须加强成本控制能力，进而实现项目效益的最大化。

（二）总承包项目成本构成

工程总承包在设计阶段就对项目的进度、成本、质量及安全进行整体规划和协调。在总承包项目的施工过程中，全过程、全要素、全员成本控制已成为项目管理的重要内容，是提高项目利润的重点。

根据我国相关政策要求，总承包单位可以将部分工程分包或转包给其他单位，该笔支出作为流动负债不属于公司当期成本，即项目的外委成本；公司为项目产生项目人员报酬、项目直接管理费用、间接费用等，属于总包项目的自营成本，自营成本是总包项目成本管理的主要对象^[6]。

（三）总承包项目成本特点

总承包项目成本形成后具有不可逆性和高风险性。总承包项目因其体量大、无法批量生产等特点，决定了项目成本一旦形成，不可逆转。

成本频繁变动。总承包项目工期跨度大，受市场环境的影响，其建筑材料、人工和机械设备的价格也会不断变化，容易对造价产生影响。

成本构成繁杂。总承包工程的成本构成复杂，包括与项目施工相关的所有要素支出，如劳务费、材料费、机械费等；施工过程中受环境、人员技术水平等不确定性因素引起的成本支出；与项目施工相关的工资、差旅费、规费、税金等。

项目管理者通过对总承包项目的直接成本进行事前主动管理，可以有效预见可能遇到的成本问题，从而采取相应措施，保障企业的经济效益。

二、GA-BP 神经网络成本预测模型

（一）BP 神经网络结构

BP 神经网络也称后向传播学习算法支撑的前馈神经网络（Back Propagation Feed-forward Neural Network, BPFNN/ BPNN），其本质为多层架构，依据误差逆向传递机制进行训

练^[7]。BP 神经网络在语音解析、图像辨识、计算机视觉等多个领域展现出了广泛的应用潜力，且成效显著。BP 神经网络由三大层次构成：即输入层、中间层和输出层，输入层负责接纳外部数据样本，经由隐含层（或称中间层）的复杂处理与内部反馈机制，最终导向输出层以生成结果数据。

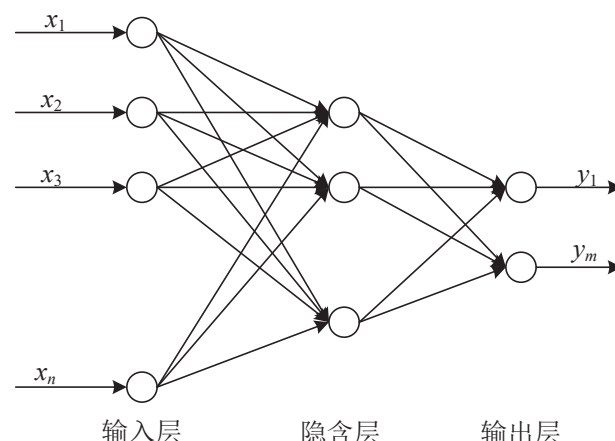


图1 BP神经网络结构图

尽管BP神经网络模型凭借其独特优势在多个领域内得以广泛采纳与应用，然而在实际应用过程中其局限性亦不容忽视，具体体现在以下几个方面：

1. 局部极小化问题。BP神经网络的核心机制在于局部渐进式的调整权值以找到全局最优解，但该机制造常常导致算法陷入局部极小值，难以达到理想训练效果。
2. 收敛速度慢。BP神经网络以梯度下降法作为基础，反复循环学习，又由于传递函数的影响，使得算法收敛慢，训练效率低。
3. 网络结构不易确定。BP神经网络的结构一般仅依靠经验选择，如果隐含层或神经元数目过多，训练速度会很慢，从而造成过拟合现象；如果结构过小，则网络可能不收敛，无法使用。

（二）遗传算法优化BP神经网络

遗传算法（Genetic Algorithm, GA）是一种模拟自然界生物进化过程的随机搜索算法，通过模拟生物进化中的自然选择和交配变异寻找问题的全局最优解^[8]。遗传算法于20世纪70年由美国密歇根大学教授 John H. Holland 提出，目前被广泛应用于各种工程领域的优化问题之中。遗传算法具有强大的全局搜索能力，可有效优化BP神经网络易陷入局部最优解的缺点。具体步骤如下所述：

1. 种群初始化。由BP神经网络中输入层和隐含层的权值、阈值与隐含层和输出层的权值、阈值四部分作为遗传算法的初始种群，采用实数编码。
2. 适应度函数。计算预测值与期望值之间的误差绝对值。
3. 选择操作。本文选择轮盘赌法作为选择算子，个体*i*被选中的概率 p_i 为：

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^Q f_i} \quad (1)$$

式中： f_i 为个体*i*的适应度值； Q 为种群中的个体总数。

4. 交叉操作。本文选择实数交叉法作为交叉算子, 则第 k 和 i 两个染色体在位置 l 上进行交叉操作的计算公式为:

$$\begin{cases} a_{kl} = a_{kl}(1-b) + a_{il}b \\ a_{il} = a_{il}(1-b) + a_{kl}b \end{cases} \quad (2)$$

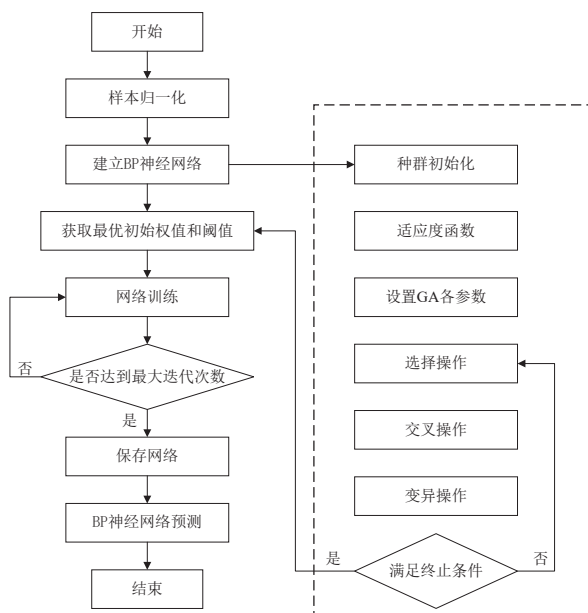
式中: b 为 $[0, 1]$ 的随机数。

5. 为防止陷入局部最优解, 采取变异操作。第 i 个个体的第 j 个基因进行单点变异的计算公式为:

$$\begin{cases} a_{ij} = a_{ij} + (a_{ij} - a_{\max})r_2F, r > 0.5 \\ a_{ij} = a_{ij} + (a_{\min} - a_{ij})r_2F, r \leq 0.5 \end{cases} \quad (3)$$

式中: $F = (1 - g/G_{\max})^2$, g 为当前迭代次数, G_{\max} 为最大进化次数; a_{\max} 、 a_{\min} 分别为基因 a_{ij} 的上界和下界; r 为 $[0, 1]$ 的随机数; r_2 为随机数。

6. 把 GA 得到的最优权值和阈值代入到 BP 神经网络中进行训练预测。



> 图2 遗传算法改进的 BP 神经网络预测流程

三、工程总承包项目成本预测模型实例应用分析

(一) 工程概况

天津大学福州校区位于福建省福州市长乐区滨海新区, 占地面积约 2000 亩, 建筑面积 60 余万平米, 是福建省房屋建筑装配式建筑试点项目。为了验证 GA-BP 模型对水利工程建设成本预测的准确性, 研究以天津大学福州校区项目第 2 标段中的宿舍楼单体建筑为例进行测试, 并将其与 BP 神经网络进行比较, 其中宿舍楼建筑面积 24544.11m², 工程造价 81598.81 万元。

(二) 工程总承包项目成本预测

BIM 模型具有数据完整性、溯源性较强等优势^[9]。以 BIM 数据库为基础, 按构件、按专业等分类、动态的提取工程量数据, 通过遗传算法优化 BP 神经网络成本预测模型, 对人材机单价数据进行网络学习和单价预测, 再结合相关工程量信息获得成本预测结果, 实现较精准价格预测。

通过文献分析同时结合总承包项目成本特点, 将分包商的选择、设计水平、人工材料设备费用、施工质量、施工进度、施工安全水平、施工组织设计、项目管理水平、水文地质条件、政策变动共 10 个影响因素作为输入变量, 输入层的节点数量为 10。总承包项目成本预测值作为输出变量, 输出层的节点数量为 1。隐含层的节点数量计算公式如下:

$$\begin{cases} h = \sqrt{m+n+a} \\ \frac{m+n}{2} \leq h \leq m+n+10 \end{cases} \quad (4)$$

式中: h 为隐含层的节点数量; m 为输入层的节点数量; n 为输出层的节点数量; a 为常数, 其取值范围为 $[1, 10]$ 。

经计算, 隐含层的节点数量 h 为 6。

本试验借助 Matlab 平台进行仿真研究。测试前, 需要对原始数据采取归一化处理。GA、BP 具体参数设置见表 1、表 2。其中训练集 240 组, 测试集 60 组数, 然后将 240 组数据再分为 20 小组, 每小组有 12 组数据, 这 12 组数据用来确定 BP 神经网络中的一组权值和阈值, 通过实数编码生成 GA 初始种群中的一个单独个体, 共得到 20 个个体作为初始种群。

表 1 BP 神经网络参数设置

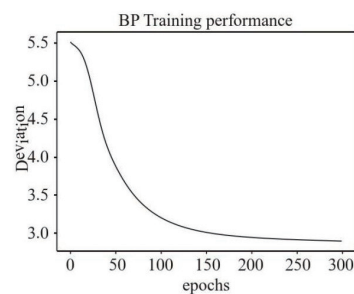
训练次数 / 次	学习速率	目标误差	训练函数	传递函数
1000	0.5	0.0001	Sigmoid	Purelin

表 1 GA 遗传算法参数设置

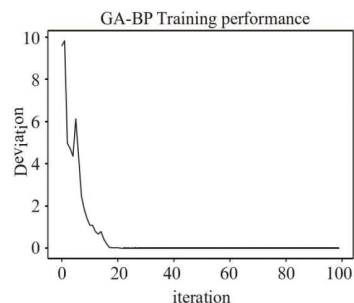
种群规模	最大迭代次数	变异概率	交叉概率
20	100	0.15	0.6

(三) 成本预测结果分析

从图 4 可以看出, 训练过程中 GA-BP 的收敛速度较快, 误差值逐渐减小, 约 18 次迭代后模型基本收敛趋于稳定; BP 神经网络收敛速度较慢, 近 300 次迭代后才逐渐收敛。在迭代初期, GA-BP 出现较大波动, 这说明遗传算法在模拟种群进化过程中的不确定性, BP 神经网络整体误差则平滑下降^[10]。



> 图3 BP 神经网络适应度曲线图



> 图4 GA-BP 适应度曲线图

训练集放入 GA-BP 后，再对 60 组测试数据进行预测，预测误差如表 3 所示。

表 3 BP 与 GA-BP 成本预测误差表

模型类型	最小误差	最大误差	平均误差	平均相对标准差
BP 神经网络	0.045%	5.721%	2.372%	1.527%
GA-BP 神经网络	0.086%	2.691%	4.758%	0.856

根据表 3 数据可以得到，相对于 BP 神经网络，GA-BP 神经网络对于天津大学福州校区总承包项目成本预测的平均误差值和平均相对标准差更小，这说明了 GA-BP 神经网络模型预测准确性和稳定性更高。

四、结语

工程总承包模式下的成本控制面临着很多的不定性因素，面对复杂的市场环境、持续增加的人工成本，借助现代化智能算法实现项目成本有效管理愈发重要。本文以天津大学福州校区项目第 2 标段中的宿舍楼单体建筑为例，基于总承包项目成本特点，利用遗传算法的全局搜索能力构建 GA-BP 神经网络成本预测模型，有效地克服了 BP 神经网络易陷入局部最优的弊端，从而实现工程总承包项目成本的准确预测，为今后工程实践提供理论指导。

参考文献

[1] 黄锰钢,王鹏翔. BIM 在施工总承包项目管理中的应用价值探索 [J]. 土木建筑工程信息技术, 2013,5(05):88-91.

[2] 林申正, 罗恒勇. BIM 技术和神经网络相融合的装配式建筑成本控制研究 [J]. 建筑经济, 2021,42(2):86-89.

[3]ZHENG B H. Material procedure quality forecast based on genetic BP neural network [J]. Modern Physics Letters B,2017,31(2):1740080.

[4]Alshboul O, Shehadeh A, Almasabha G ,et al.Extreme Gradient Boosting-Based Machine Learning Approach for Green Building Cost Prediction [J]. Sustainability, 2022.

[5] 高华. 水电工程 EPC 项目管理协同度评价研究 [D]. 西安理工大学, 2019.

[6] 夏川子. 试析如何加强总承包项目的成本核算 [J]. 财会学习, 2023,(36):117-119.

[7] 刘荷苇. 基于 CUDA 编程的神经网络手写数字识别 [D]. 西南交通大学, 2013.

[8] 李岩, 袁弘宇, 于佳乔, 等. 遗传算法在优化问题中的应用综述 [J]. 山东工业技术, 2019,(12):242-243+180.

[9] 李培. 基于 BIM5D 的工程施工成本管理与预测 [D]. 天津大学, 2018.

[10] 祝望旺. 基于 BIM5D 技术的施工成本控制方法研究 [D]. 天津大学, 2021.

CAD/CAE/CAM 及 CNC 等多软件协同下 夹持机构的设计与仿真

管晓航, 陈凯旋, 马肆冲
辽宁工程技术大学, 辽宁 阜新 123000

摘 要 : 本文主要围绕夹持机构的设计展开。首先, 选定平行四边形机构作为主要夹持机构。在 Inventor 零件模块下对夹持机构的关键零件进行了设计和建模, 应用3Dsource完成了标准件的选型, 在 Inventor 部件模块下完成了夹持机构装配体的构建和干涉检验, 并给出了装配体构建的基本思路和流程, 在运动仿真模块完成了夹持机构的运动仿真分析。应用 Solidworks CAM 模块完成了自动编程和 G 代码的生成。应用 Vericut 软件进行数控加工仿真模拟和加工过程的验证。最后应用 Keyshot 3D 渲染软件完成了装配体的渲染。整个设计及仿真过程充分体现 CAD/CAE/CAM 及 CNC 等多软件协同作用在夹持机构设计中的高效性和优越性, 能够为相关领域工作者在设计和相关软件的操作过程中提供基本思路和参考。

关 键 词 : CAD/CAE/CAM; 夹持机构; 仿真; CNC; 多软件协同

Design and Simulation of Clamping Mechanism with CAD/CAE/CAM and CNC

Guan Xiaohang, Chen Kaixuan, Ma Sichong
Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000

Abstract : This paper mainly focuses on the design of the clamping mechanism. Firstly, the parallelogram mechanism is selected as the main holding mechanism. The key parts of the clamping mechanism were designed and modeled under the Inventor part module, the selection of standard parts was completed by using 3Dsource, and the assembly construction and interference inspection of the clamping mechanism were completed under the Inventor part module, and the basic ideas and processes of the assembly construction were given. In the motion simulation module, the motion simulation analysis of the clamping mechanism is completed. Solidworks CAM module is used to complete automatic programming and G code generation. Vericut software is used to simulate NC machining and verify machining process. Finally, Keyshot 3D rendering software is applied to complete the rendering of the assembly. The whole design and simulation process fully reflects the high efficiency and superiority of CAD/CAE/CAM and CNC in the design of clamping mechanism, and can provide basic ideas and references for workers in related fields in the design and operation of related software.

Keywords : CAD/CAE/CAM; clamping mechanism; simulation; CNC; multi-software collaboration

引言

在当今竞争激烈的机械设计领域, 创新和效率是企业生存和发展的关键。随着科技的飞速进步, CAD/CAE/CAM 与 CNC 仿真等技术和多软件协同应用逐渐成为推动机械设计行业变革的重要力量。这种协同工作模式不仅能够极大地提高设计效率、优化产品性能, 还能显著降低成本和缩短产品开发周期, 为企业带来巨大的竞争优势^[1]。

然而, 单一软件的应用往往存在局限性。CAD 软件侧重于设计的表达, CAE 软件侧重于性能的分析, CAM 软件侧重于制造工艺的规划, CNC 仿真软件侧重于加工过程的验证和优化。虽然当前一些大型软件已经具备 CAD/CAE/CAM 的相关功能, 但单一软件的独立模块在应用上往往存在局限性, 因此只有将这四者具有专业性较强的独立软件有机地协同起来, 才能充分发挥各自的优点, 实现从设计到制造的无缝衔接, 从而提高整个机械设计过程的质量和效率。

本文以夹持机构设计和仿真过程中所应用的相关软件为例, 通过 CAD/CAE/CAM 与 CNC 仿真专用软件进行多软件协同应用, 在设计阶段就对夹持机构零部件的结构强度、运动特点和性能进行了分析, 同时使用 Solidworks CAM 模块完成零件铣削加工的自动编程, 并通过 CNC 仿真提前验证数控程序的正确性, 大幅缩短了零部件的研发周期, 提高了产品的可靠性和市场竞争力。

作者简介:

管晓航 (2002.07-), 男, 满族, 辽宁开原人, 辽宁工程技术大学本科在读, 研究方向: 机械设计制造及其自动化;
陈凯旋 (2002.11-), 男, 汉族, 河南省宝丰县人, 辽宁工程技术大学本科在读, 研究方向: 机械设计制造及其自动化;
马肆冲 (2002.10-), 男, 满族, 辽宁省开原人, 辽宁工程技术大学本科在读, 研究方向: 车辆工程。

一、工作原理及动力源的确定

本文设计的夹持机构是一种可完成对指定零件毛坯料(120×60×30mm)的夹持、释放和转移任务的夹持机构。在综合考虑夹持的可靠性和机构整体简易程度的基础上,最终确定选用平行四边形机构作为主要夹持机构。该夹持机构的夹持和释放功能主要是通过连杆1上下移动,从而带动杆2、3、4、5连杆组成的平行四边形机构运动来实现的,即当连杆1向上移动时夹持板6、7相向运动实现对毛坯的夹紧,连杆1向下移动时夹持板6、7向相反方向运动从而释放毛坯件,机构运动简图如图1所示。

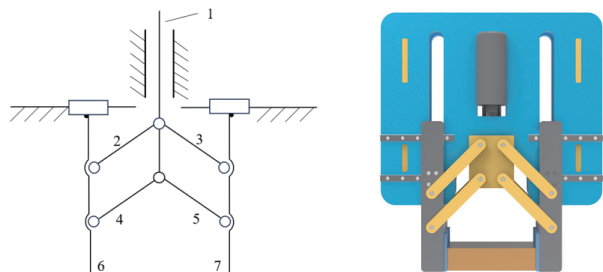


图1 夹持机构运动简图及模型渲染图

根据设计阶段基本方案的提出和机构简图可以确定运动形式为直线运动,因此可选用电动推杆作为动力输出。已知该毛坯料的材料为碳钢,可计算其质量为1.696 kg。根据其运动简图进行简单的受力分析可知,在夹持状态下受力分析受力平衡状态下,当连杆与竖直方向呈现夹角时,可计算得动力源至少应提供16.96N的拉力。据此要求电动推杆的额定负载应大于该值。通过毛坯长度可计算单个连杆长度可知电动推杆的行程至少应为60mm。同时,选型部分应用“3DSource”软件,在充分考虑零件制造及装配误差的基础上,最终确定选用FD3电动推杆作为动力输出,该推杆在满载情况下额定负载为50N,行程为75mm。

二、应用 Inventor 进行各零件的建模和整体机构的装配

(一) 应用 Inventor 零件模块进行零件三维模型的构建

根据选型后电动推杆的基本尺寸和已确定的连杆尺寸,初步确定支撑板的基本尺寸,在草图环境下绘制基本轮廓,应用拉伸、镜像、孔和基于布尔运算的交、差、并等功能命令完成了各零件三维模型的构建^[2]。作为夹持机构,在保证零件可靠性的同时还需要减小质量,因此,在基础草图的绘制时进行槽的草图绘制,进行轻量化预处理,为实现安装,在板的上下左右相应位置设置小槽,方便两夹板安装的同时固定电动推杆。

(二) 应用 Inventor 部件模块进行整体机构的装配

设计过程中主要应用 Inventor 的部件模块完成夹持机构的整体装配任务。首先,创建装配体环境,导入创建好且已保存的各零件模型,为保证装配体规范,选择其中一个零件与坐标平面进行约束,从而作为整个机构的机架,以方便其他配合的施加。

其次,应用软件的“放置”从“资源中心”调用螺栓等标准紧固件,从文件夹中调用在“大工程师”和3Dsource资源平台下

载的标准件如:Step格式的电动推杆、轴承、滑块和导轨等通用产品模型,导入标准件也有其他方法,如可应用3Dsource直接插入到装配体。然后按照机构的实际工作情况,通过“配合”命令进行各零件约束配合关系的构建。

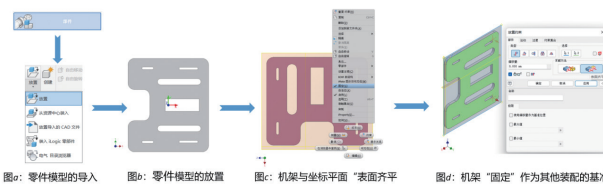


图2 装配体构建基本流程图

电动推杆尾孔与支撑板孔采用“插入(端面边线配合)”的接触约束,电动推杆尾部表面与连接件上表面采用角度约束以限制其自由度,活塞与缸体采用“配合(反向)”约束,保证活塞的伸出和缩回。

重复上述装配操作,机架连接板一端面与(支撑板)端面采用“表面齐平”约束,活塞连接件与活塞采用“插入”和表面齐平约束。

将通用件滑块、导轨和轴承导入后采用“表面齐平”、“插入”等配合完成单侧装配,应用装配体条件下“镜像”命令实现另一侧导轨滑块的装配,夹持板和滑块采用“表面齐平”、“配合”实现约束,连杆、夹持杆、推杆连接件采用表面齐平,孔与孔间采用“插入”约束命令。装配体装配完成,检验结果为无干涉,检验通过,可进行仿真分析。

三、应用 Inventor 运动仿真功能进行机构运动仿真分析

运动仿真及相关运动曲线的输出主要是应用 Inventor 自带的仿真模块进行仿真运动模拟。在装配完成的条件下,运动仿真模块可根据约束类型自动生成运动类型,但有时自动生成会出现错误,因此在保证上述约束条件设定正确的基础上需要人为添加运动类型对自由度和运动条件进行限定和设置^[3]。

在仿真“运动类型”设定中定义动力源(电动推杆)的输出特性,由于要完成夹持和释放动作因此电动推杆伸出和缩回为一个周期,定义伸出长度,选择夹持板为观察对象。

在“输出图示器”中求解推板运动曲线,将结果导出到 Excel 表格中进行修改标注。从仿真结果可以看到机械爪末端夹板的位移、速度、加速度曲线是一条平滑连续的曲线,且在动力源输出(推杆伸出)和返回(推杆收缩)过程中曲线呈现对称状态,夹持状态下呈现一条水平直线,据此表明机械爪在抓取、保持和释放过程中运行平稳,没有出现速度和加速度的突变^[4]。表明机构能够在给定驱动的条件下正常稳定运行,满足实际工作条件。

四、应用 Ansys workbench 平台对连接销的强度校核

连接销作为连杆和机架的连接部分,对整个机构的强度具有重要影响,甚至决定了整个机构能否正常运行,因此该部分在进

行了受力分析,求得其所受应力和完成几何模型构建的基础上,应用 Ansys workbench Static structure 模块,根据有限元分析技术流程:前处理、求解、后处理对连接销进行了有限元分析^[5]。本文结合连接销分析实例,前处理步骤主要为:几何模型的导入、材料的定义、网格划分、载荷边界条件的设定和位移边界条件的设定。求解步骤包括:应力、应变和变形的求解。后处理步骤包括:计算结果分析校核及结果云图的输出^[6]。

首先,从三维软件中导出已经构建好的几何模型(Step 格式),将其模型导入到 Ansys workbench 平台中,构建 Static structure 模块,在 Geometry 功能下导入的模型,检查模型无误后,在 Engineering Data 中进行材料的定义^[7]。默认材料为结构钢,进入进行网格划分,选择四面体网格,进行位移边界条件的设定,选择销轴一段全固定约束,载荷边界条件的设定:销轴另一段受到切向载荷 12N、求解的设定(位移、应力及应变求解条件的设定)、计算结果的分析(solution 求解)、应力等计算结果的云图输出等,主要流程如图 3 所示。

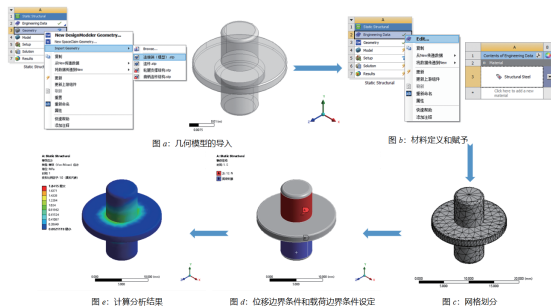


图 3 连接销有限元分析基本技术流程汇总

连接销零件有限元分析原网格划分模型及计算结果(应力、应变和位移)云图,计算得连接销最大等效应力为 1.8415Mpa,由结构钢主要材料参数表可知其屈服强度为 250Mpa,综上所述,连接销在受到 12N 的载荷条件下,强度条件满足,强度校核通过。

五、Vericut 下 CNC 加工仿真及 G 代码的验证

(一) 机床的选择和加工前准备

创建仿真加工环境,首先进行加工中心的选择,选择夹具台虎钳导入机床,导入后如、定义系统控制器^[8]。选用 fan10 m

系统控制器、导入夹具台虎钳模型、工作台上台虎钳的安装,使其沿 Y 轴方向移动 200mm 约处于工作台中心位置、定义零件毛坯,根据 SW 软件创建的毛坯数据,定义零件毛坯的尺寸并且完成装夹。

(二) 毛坯的装夹及坐标系的定义

首先将定义好的台虎钳和零件毛坯“创建视图”,方便操作和观察,应用“移动”命令,将选择箭头移动至毛坯左边终点选择“从”,然后选择“到”命令,点击台虎钳一端顶部重点,实现移动,重复命令,将虎钳另一端移动至工件另一侧表面,完成毛坯件的装夹,实际情况下,应当明确待加工工件下方应垫有垫块,模拟仿真操作过程中可不予体现。

由于在 SW CAM 模块中选择的夹具坐标系为“毛坯外围盒顶点”^[9],因此夹具坐标系的定义过程中需创建一新坐标系,并通过“移动”命令将其移动至零件毛坯上方中心顶点处,坐标系定义后需要移动代码偏置位置,通过查阅相关资料,确定 Vericut 代码偏置中“寄存器”数值为 54,由此创建代码偏置,将代码偏置显示后,应用“平移到位置”命令,将其与上述定义好的,夹具坐标系原点重合,从而完成零件坐标系和系统偏置的设定。

(三) 定义刀具类型和基本参数

根据 SW CAM 模块下生成的刀具类型和参数,需要在数控仿真加工前定义至 VERICUT “加工刀具”处,创建刀具^[10]。对应 SW CAM 模块“编辑定义”中查看具体刀具信息,此处要求刀具信息,包括刀具长度、名称代号需完全一致,以满足在代码导入后顺利完成加工仿真模拟操作。

六、结语

本文应用 Inventor、3Dsource、Solidworks CAM 模块、Ansys workbench 平台和 Vericut 分别完成了对夹持机构设计、建模、标准件和通用件的选型、装配、机构运动学仿真,有限元分析,数控代码自动编程和 CNC 仿真系统下的加工可行性验证等任务,并给出了相应软件的基本操作流程和具体步骤。在装配体环境下进行了干涉检查,结果为无干涉,在运动仿真过程中进行了尺寸条件和运动条件的验证,结果为夹持板的位移、速度、加速度曲线是一条平滑连续的曲线。

参考文献

- [1] 熊伟. 质量创新: 基于质量功能展开的系统方法 [M]. 中国标准出版社, 2015.
- [2] 李伟, 马文泽, 李东升, 等. Inventor 在多功能攀爬机器人设计中的应用 [J]. 机械管理开发, 2017, 32(2): 18-20.
- [3] 王小玲. 基于 Autodesk Inventor 的千斤顶虚拟装配技术研究 [J]. 煤矿机械, 2010, 31(2): 194-196.
- [4] 胡岳, 刘诚. 木地板码垛机械手末端夹持机构设计及运动学仿真 [J]. 机电产品开发与创新, 2015, 28(2): 67-68, 34.
- [5] 王瑶. C 型钢管道支架力学动态响应分析 [D]. 四川: 西南科技大学, 2022.
- [6] 张中宜, 栗飞, 费杨, 等. 智能电液执行机构的分布式事件触发控制器设计 [J]. 自动化应用, 2023, 64(2): 65-66, 70.
- [7] 杨曙光. 基于虚拟样机技术的轿车等速驱动轴仿真与改进设计 [D]. 江西: 江西理工大学, 2014.
- [8] 曾学淑, 崔欢欢, 孙建明. 基于 VERICUT 的薄壁零件数控加工技术研究 [J]. 机电产品开发与创新, 2024, 37(3): 129-132.
- [9] 王翌龙, 闫晓玲. 基于 SolidWorks 和 MasterCAM 一体的 CAD/CAM 研究 [J]. 制造技术与机床, 2009(1): 36-39.
- [10] 张文叶. 基于 VERICUT 的数控车铣加工中心仿真技术 [J]. 现代制造技术与装备, 2024, 60(6): 195-197.

工程检测技术在道路桥梁工程中的应用与分析

兰彬¹, 申丹辉², 杨飞³

1.2. 山东高速青岛发展有限公司, 山东 青岛 266061

3. 山东省交通科学研究院, 山东 济南 250102

摘要：工程检测技术保证道路桥梁工程的质量与安全。但检测技术在准确性和可靠性、设备适应性和便携性、数据处理和分析能力、经济性和效率上还面临着许多挑战。文章旨在通过对这些应用难题进行探究，提出相关应用策略以提升道路桥梁工程整体质量和安全性。通过增强检测技术准确性和可靠性，优化检测设备适应性和便携性，加强数据处理和分析能力，提高检测技术经济性和效率等，能够有效地应对上述挑战，从而为路桥工程的良性发展提供强有力的支撑。

关键词：工程检测技术；道路桥梁工程；准确性与可靠性；适应性与便携性；数据处理与分析

Application and Analysis of Engineering Inspection Technology in Road and Bridge Engineering

Lan Bin¹, Shen Danhui², Yang Fei³

1.2. Shandong High-speed Qingdao Development Co., LTD, Qingdao, Shandong 266061

3. Shandong Transportation Research Institute, Jinan, Shandong 250102

Abstract： Engineering testing technology ensures the quality and safety of road and bridge engineering. However, inspection technology still faces many challenges in terms of accuracy and reliability, equipment adaptability and portability, data processing and analysis capabilities, economics and efficiency. The purpose of this paper is to explore these application problems and put forward relevant application strategies to improve the overall quality and safety of road and bridge engineering. By enhancing the accuracy and reliability of detection technology, optimizing the adaptability and portability of testing equipment, strengthening data processing and analysis capabilities, and improving the economy and efficiency of detection technology, the above challenges can be effectively addressed, so as to provide strong support for the benign development of road and bridge engineering.

Keywords： engineering inspection technology; road and bridge engineering; accuracy and reliability; adaptability and portability; data processing and analysis

引言

在我国基础设施建设飞速发展的今天，道路桥梁工程安全性与耐久性直接影响着人民生命财产安全与社会经济平稳发展。工程检测技术是保证道路桥梁工程质量至关重要的方法，它的重要性是显而易见的。但在实践中，该检测技术在准确性和可靠性、设备适应性和便携性、数据处理和分析能力、经济性和效率上还存在许多困难。

一、工程检测技术在道路桥梁工程中的重要性

首先，工程检测技术可以对工程缺陷进行鉴别与防范。在道路桥梁的建设中，由于材料质量不过关，施工工艺不当或者环境因素的影响等原因都有可能存在质量问题。工程检测技术能够通过检测混凝土强度、钢筋位置以及焊缝质量的检测来及时发现上述问题，并对其加以纠正^[1]。比如用超声波探测，可探测混凝土内空洞、裂缝等，用射线探测，可探测钢筋混凝土内钢筋的位置及锈蚀等，这些检测方法可以有效地防止和矫正工程缺陷的发生，保证工程质量。其次，工程检测技术对延长工程使用寿命起到了至

关重要的作用。道路桥梁工程需长期服役于复杂环境中，经受地震、洪水、重载车辆及其他多种自然及人为因素作用。定期对桥梁结构进行健康状态检测，能够及时发现桥梁结构老化、疲劳裂纹现象，采取相应措施进行修复加固。如通过健康监测系统能够对桥梁变形，应力及振动等进行实时监测，及时发现桥梁异常并预防性养护，以延长桥梁使用寿命并确保交通安全。最后，工程检测技术也能够提升工程管理效率以及经济效益。通过先进检测技术的运用，能够快速准确地得到工程质量信息，降低了传统检测方法所需时间及人力成本。如采用无损检测技术就能做到既不损伤结构又能避免拆卸与修复成本。现代化数据采集与分析系统

可以使检测数据自动化处理、提高检测工作效率与准确性、减少人为误差、降低工程检测成本、增加经济效益^[2]。

二、工程检测技术在道路桥梁工程中的应用难题

（一）检测技术的准确性与可靠性问题

检测技术在实际中的准确性与可靠性通常很难得到充分的保障。不同的检测技术原理与方法不一样，应用范围与适用条件不一样。无损检测技术可能会受材料性质和环境条件的影响而使结果准确性下降。另外检测设备是否准确、操作人员技术水平高低等因素都会影响到检测结果。若设备校准不合适或者操作不标准，均可能造成检测数据的偏差而影响结果可靠性。环境因素同样影响检测结果准确性。道路桥梁工程一般位于室外，其环境条件复杂多样，例如温度、湿度、风速等等均会影响检测设备性能以及检测结果^[3]。

（二）检测设备的适应性与便携性问题

道路和桥梁的建设工程通常涉及多个区域，因此检测设备必须能够适应各种不同的环境条件，例如高温、低温和潮湿等。但有些高精度的检测设备尺寸大，操作繁杂，不适用于现场环境。如大型 X 射线检测设备应用于现场，对防护措施及操作环境要求较高，加大检测工作难度及费用。检测设备存在便携性问题，也制约着它的使用范围。便携性较差的装置在交通运输、现场布置等方面都有不便之处，给检测工作带来较大困难，同时也提高了检测成本。例如，某些高精度的测量工具，例如激光扫描仪，尽管能给出高度精确的测量数据，但由于其体积庞大和重量较大，现场操作并不方便，因此需要承担额外的运输和布局成本。另外，便携性较差的装置在某些特殊环境中使用难度较大，比如高空，狭小空间，制约着检测工作灵活高效地进行^[4]。

（三）检测数据的处理与分析问题

道路桥梁工程的检测数据处理和分析是确保检测结果科学性和有效性的关键。面对大量复杂的数据，如何有效管理和分析成为当前的主要难题。传统的处理方法效率低，难以适应现代检测需求。随着检测技术的进步，数据量激增，管理与分析海量数据成为工程检测的重要问题。尤其在桥梁结构健康监测中，需要结合大数据分析和人工智能技术，从数据中提取关键信息，及时识别结构问题。然而，现有的数据分析方法和技术精度不足，效率低下，限制了数据的高效利用。此外，数据的标准化和规范化问题也是处理和难点，不同的数据格式和低水平的标准化增加了处理难度，影响数据的共享和综合应用^[5]。

（四）检测技术的经济性与效率问题

传统的检测方法通常需耗费大量人力，物力及财力，加重项目成本负担。在检测技术不断发展的过程中，如何提高检测工作经济性与效率同时又能确保检测质量已成为一个急需解决的课题。如一些新型无损检测技术及自动化检测设备等，尽管在检测精度及效率上有优势，但是它们昂贵的费用制约着它们在实际项目中广泛推广使用。另外，检测工作效率的高低对工程检测的经济性有着至关重要的影响。传统的检测方法在数据采集与处理上

通常耗时较长，造成检测工作周期较长，效率低下。在工程规模越来越大、检测要求越来越高的情况下，提高检测工作效率、缩短检测周期是改善检测技术经济性最重要的手段^[6]。

三、工程检测技术在道路桥梁工程中的应用策略

（一）提高检测技术的准确性与可靠性

提高检测技术准确性与可靠性要加强对检测设备校准与维修，以保证其在最佳状态下运行。比如定期校准无损检测设备以保证检测的准确性与稳定性。还要提高检测人员专业素质与技术水平，并通过培训与考核保证操作人员能熟练运用检测技术与装备。另外还可通过综合运用各种检测方法来提高检测结果准确性与可靠性。如综合运用超声波探测，射线探测，磁粉探测等多种手段实现桥梁结构的综合探测，相互印证探测结果，降低了单一探测手段的局限性。提高检测技术准确性与可靠性仍需强化检测标准与规范制定与实施。检测标准与规范是保证检测技术准确可靠的依据，没有统一标准与规范就会造成检测结果不统一、不可靠^[7]。

（二）优化检测设备的适应性与便携性

考虑到检测设备适应性强、便携性好等特点，可采用如下策略对其加以优化。一是要研究开发并推广应用适合不同现场环境使用的检测设备以增强其适应性。如研制具有防水，防尘及耐高温等特点的检测设备以满足各种现场环境条件。二是要增强检测设备便携性，开发出便携易带的检测设备以便于野外使用。如研制小型化，模块化检测设备以减小设备体积与重量以及增加检测工作灵活性与便捷性等。三是还可推广应用无人机等新检测工具对高空及不易到达地区开展探测，以提高探测工作效率及安全性。四是优化检测设备适应性与便携性也需强化检测设备智能化与自动化研发。智能化、自动化的检测设备能够独立完成复杂环境中的检测任务，从而提高了检测工作效率与安全性。如研制具有自主导航、避障等功能的检测机器人能够独立地完成复杂桥梁结构上的检测任务、减少人为干预、提高检测工作安全高效^[8]。

（三）强化检测数据的处理与分析能力

增强检测数据处理分析能力，可将大数据分析技术运用到海量检测数据的有效处理分析中。如采用云计算平台及大数据处理技术实时分析桥梁结构健康监测数据并及时发现可能存在的结构问题。将人工智能技术运用到检测数据中，以提高分析的准确性与效率。如采用机器学习算法对桥梁结构检测数据分类预测并提取宝贵信息以帮助工程管理与决策。另外，还要建立一套完整的检测数据管理系统对检测数据进行自动收集，储存与分析，以增强检测工作规范性与系统性。加强对检测数据进行处理及分析的能力也需加强对数据标准化及规范化。数据标准化与规范化是检测数据共享与综合利用的根本，没有统一标准与规范将造成数据互操作性不强，制约其综合分析与运用。为此，要强化数据标准化、规范化，建立统一数据格式与标准，保证检测数据互操作性与可移植性。如可建立桥梁结构健康监测资料标准与规范，确定资料收集，储存与传输需求，提高资料标准化与规范化水平，便

于资料共享与综合利用等^[9]。

（四）提升检测技术的经济性与效率

提升检测技术经济性与效率是减少工程检测成本，增强检测工作可行性的关键策略。一方面要大力推广和应用高效，低成本检测技术以减轻检测工作成本负担。如推广使用激光扫描技术检测桥梁结构与传统的检测方法相比具有快速，准确和费用低廉的优点。本实用新型还可将自动化检测设备运用到检测工作中，以提高检测工作效率与准确性。比如将自动化机器人运用到桥梁结构检测中，能够降低人力投入并提升检测工作效率与安全性。另一方面要加大检测技术创新与研发力度，减少检测设备与技术成本，增强应用经济性与可行性。促进检测技术经济高效地发展，同时也需强化检测工作组织与管理。对检测工作进行组织与管理，对于提高检测效率，减少检测成本具有十分重要的意义。合理地安排检测工作流程、优化配置检测资源，可提高检测工作效率与经济性。比如可通过信息化手段对检测工作进行自动化管理

来提升检测工作效率与规范性。另外，还可通过检测工作激励机制的建立来提高检测人员工作积极性与工作效率、降低检测成本、增加检测工作经济性与可行性^[10]。

四、结束语

总之，将工程检测技术运用到道路桥梁工程中是保证工程质量和安全的一个重要途径。面对检测技术在准确性和可靠性、设备适应性和便携性、数据处理和分析能力、经济性和效率上存在的难题，需要采取有效的措施对检测技术进行不断地优化升级。通过提高检测技术准确性和可靠性，优化检测设备适应性和便携性，增强数据处理和分析能力，提高检测技术经济性和效率等，能够有效地应对上述挑战，确保道路桥梁工程质量和安全，助力我国基础设施建设可持续发展。

参考文献

[1] 左彬. 无损检测技术在道路桥梁工程中的应用 [J]. 居舍, 2021, (05): 64-65.
[2] 王国花. 无损检测技术在道路桥梁工程中的应用 [J]. 企业科技与发展, 2020, (04): 69-71.
[3] 吴文兵. 道路桥梁工程新型检测技术现状及应用意义分析 [J]. 公路交通科技 (应用技术版), 2020, 16 (01): 195-196.
[4] 王丽博. 道路桥梁工程新型检测技术现状及应用意义分析 [J]. 住宅与房地产, 2019, (03): 177.
[5] 曹志明. 道路桥梁工程新型检测技术现状及应用意义分析 [J]. 科学技术创新, 2018, (16): 116-117.
[6] 韩成博. 无损检测技术在道路桥梁工程中的应用 [J]. 智能建筑与工程机械, 2022, 4(1):72-74.
[7] 毛舒鸿. 无损检测技术在道路桥梁工程中的应用分析 [J]. 黑龙江交通科技, 2021, 44(2):127-128.
[8] 陈秀荣. 无损检测技术在道路桥梁工程中的应用 [J]. 建材发展导向 (上), 2020, 18(10):207.
[9] 陈建刚. 无损检测技术在道路桥梁工程中的应用 [J]. 现代工程项目管理, 2024, 3(12). DOI:10.37155/2811-0625-0312-50.
[10] 王朋. 无损检测技术在道路桥梁工程中的应用 [J]. 山西建筑, 2019, 45(10):154-155.

船舶舾装模块化设计与制造技术研究

王奔

招商局金陵鼎衡船舶（扬州）有限公司，江苏 扬州 225200

摘 要： 本研究系统地探讨了船舶舾装模块化设计与制造技术。本文先构建了模块化设计的理论基础，涉及船舶舾装概念、模块化设计理论、设计原则及流程，为深入分析和应用提供了理论框架。继而，本文提出了舾装模块的划分与优化策略，包括划分方法、依据、优化原则及实施策略。进一步，介绍了基于成组技术、参数化设计、虚拟现实的舾装模块化设计方法。本文最后对舾装模块化制造技术进行了研究，涵盖了制造概述、工艺流程、关键技术及质量控制措施。

关 键 词： 船舶舾装；模块化设计；模块化制造；技术优化；生产效率

Research on Modular Design and Manufacturing Technology of Ship Outfitting

Wang Ben

China Merchants Jinling Dingheng Shipbuilding (Yangzhou) Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu 225200

Abstract： This study systematically explores the modular design and manufacturing technology of ship outfitting. Firstly, the theoretical foundation of modular design is constructed, involving the concept of ship outfitting, modular design theory, design principles, and processes, providing a theoretical framework for in-depth analysis and application. Then, this paper proposes the division and optimization strategy of outfitting modules, including division methods, basis, optimization principles, and implementation strategies. Furthermore, the modular design method of outfitting based on group technology, parametric design, and virtual reality is introduced. Finally, the modular manufacturing technology of outfitting is studied, covering manufacturing overview, technological process, key technologies, and quality control measures.

Keywords： ship outfitting; modular design; modular manufacturing; technical optimization; production efficiency

引言

随着全球航运业的快速发展，船舶制造业面临着日益激烈的市场竞争。为了提高我国船舶制造业的核心竞争力，降低生产成本，缩短建造周期，船舶舾装模块化设计与制造技术成为当前研究的热点。舾装作为船舶建造的重要环节，其效率和质量直接影响到整船的性能和可靠性。船舶舾装模块化设计与制造技术是将舾装分为若干个独立的功能模块，通过对这些模块进行标准化、系列化设计，实现舾装部件的批量生产、快速组装和互换。然而，当前我国船舶舾装模块化设计与制造技术尚处于起步阶段，存在诸多亟待解决的问题，如模块化设计方法、制造工艺、质量控制等。

一、船舶舾装模块化设计理论基础

随着现代造船技术的发展，船舶舾装模块化设计逐渐成为提升造船效率和质量的关键技术。通过对船舶舾装进行模块化设计，不仅可以优化设计流程，提高生产效率，还能有效降低成本，增强船舶的可靠性和维护性。

（一）船舶舾装概述

船舶舾装是指在船舶建造过程中对船体内部进行的一系列装备安装工作，包括机械、电子、管道等系统的安装。现代生产设

计需要全方位掌握船舶舾装生产的规格、名称、等级、重量以及材质等相关数据，并且在计算机的协助下完成数据的自动化统计和分析。总段预装工艺通过对三维技术的利用，对重要的零部件进行分段预组装和安装，进行不同程度的组合，同时采取差异化的形式完成舾装。此外，在安装船舶设备时，也应该考虑大小和易损性，优先进行安装^[1]。这一过程对于船舶的整体性能和功能实现至关重要。

（二）模块化设计理论

模块化设计是一种创新的设计策略，它将复杂的系统分解为

多个独立且功能明确的模块单元，从而实现单独的设计与制造。这种方法不仅提升了设计的灵活性和效率，还为标准化生产和管理提供了便利。在船舶舾装领域，模块化设计尤为重要，它将船舶内部复杂多样的系统和组件细化为独立的模块，每个模块都具备特定的功能和设计要求^[2]。这种模块化处理方式不仅简化了设计流程，提高了生产效率，还有助于标准化管理，使得船舶建造过程更加有序和高效。通过模块化设计，船舶内部系统可以更快速地组装和拆卸，便于维护和升级，同时也有利于提高船舶的整体性能和安全性。因此，模块化设计在船舶舾装领域具有重要的应用价值和意义。

（三）舾装模块化设计原则

在舾装模块化设计中，恪守三项基本原则以保障设计的卓越性和实际应用的有效性。每个模块均需具备独立性，确保其拥有完整的功能与结构，能够单独运作；同时，模块的设计与制造严格遵循标准化流程，以实现便捷的组装与维护；此外，模块之间必须具备良好的互换性，这一特性显著增强了设计的灵活性与适应性，为船舶建造的创新提供了坚实的技术支撑。

（四）舾装模块化设计流程

舾装模块化设计的流程严谨而精细，涵盖了从需求分析至模块组装的多个阶段。起初，通过对船舶的功能需求和设计目标进行深入分析，确立设计方向；继而，基于需求分析结果，将复杂的舾装系统细分为多个功能模块；随后，针对每个模块展开详细设计，涵盖结构、接口、功能等关键要素^[3]；紧接着，依据设计图纸，分别完成各模块的精确制造；最终，将这些模块有序组装，形成一个完整的船舶舾装系统，确保其高效运作和可靠性。

二、船舶舾装模块划分与优化

为了提高舾装作业的标准化、模块化水平，本文将对船舶舾装模块划分与优化进行探讨。以下分别从舾装模块划分方法、划分依据、优化原则及策略四个方面展开论述。

（一）舾装模块划分方法

在船舶舾装模块化设计中，系统分析法扮演着关键角色，通过对舾装系统的功能、结构、性能等多维度综合分析，将其细分为多个子系统，并进一步将子系统划分为具体的舾装模块。同时，形状分析法依据舾装件的形状、尺寸、重量等物理特征，将具有相似特征的舾装件归入同一模块，以简化设计和制造过程。此外，功能分析法则侧重于舾装件在船舶上的应用功能，将功能相同或相近的舾装件整合为一个模块，以此提升舾装系统整体的设计效率和功能性。

（二）舾装模块划分依据

在舾装模块的划分过程中，技术可行性是首要考虑的因素，确保各模块能够独立完成安装、调试和拆卸，以维护其技术完整性。同时，经济合理性亦不容忽视，模块划分需着眼于成本效益，力求在生产过程中降低成本并提升效率。管理便捷性同样重要，模块的合理划分有助于简化生产管理和质量控制流程，从而提高生产组织的效率^[4]。此外，维修方便性也是模块划分的关键考

量，旨在船舶维修时能够迅速定位故障并进行高效维修，以保障船舶的持续运行能力。

（三）舾装模块优化原则

在舾装模块优化的过程中，稳定性原则至关重要，确保舾装系统的稳定性和安全性不受影响；高效性原则旨在通过模块优化提升生产效率，有效缩短船舶建造周期；灵活性原则要求模块优化具备适应性，以满足多样化的船舶建造需求；标准化原则则强调模块设计的统一性，以增强模块的通用性和互换性，从而提升整体设计与应用的便捷性。

（四）舾装模块优化策略

为提升舾装模块设计的效能，采纳先进设计理念和工具是关键，以此提高设计的合理性与准确性；同时，简化模块结构有助于降低生产难度，从而提升生产效率。推行模块化生产策略，实现舾装件的批量制造，有效降低成本^[5]。信息化管理的应用，则确保了舾装模块从设计到生产的全程可追溯，极大提升了生产组织效率。此外，人才培养与技术创新并重，通过加强员工技能培训与推动技术革新，为舾装模块优化技术的发展提供持续动力。

三、船舶舾装模块化设计方法

随着现代船舶建造技术的不断发展，舾装模块化设计已成为提高船舶建造效率和质量的关键手段。以下将详细介绍几种船舶舾装模块化设计方法，并分析舾装模块化设计软件的需求与功能。

（一）基于成组技术的舾装模块设计

成组技术，作为一种将具有相似特征或共同属性的零件、组件归类整合的方法，在舾装模块设计中发挥着重要作用。该技术的应用主要通过以下流程实现：在舾装模块化设计的过程中，先细致地对舾装件进行分类，识别并深入分析其相似性^[6]。随后，将具有共同特征的舾装件整合为模块族，这一步骤有助于推动舾装件的通用化和标准化。最终，为这些模块族设计统一的接口标准，确保模块间的互换性和兼容性，进而提高整体设计的灵活性与效率。

（二）基于参数化设计的舾装模块设计

参数化设计，作为一种以参数为核心驱动力的设计方法，能够根据具体设计需求迅速生成多样化尺寸和形状的舾装模块。其设计流程主要包括：构建参数化模型，依据舾装件的结构特性进行模型建立，以实现设计尺寸的灵活调整；设计参数化接口，确保舾装模块间的高效集成；以及通过参数的调整，快速生成符合各种需求的设计实例，从而提升设计的灵活性和响应速度。

（三）基于虚拟现实的舾装模块设计

虚拟现实技术的融入，为船舶舾装模块化设计开辟了新的视野。该技术应用于舾装模块设计的主要环节包括：构建三维虚拟环境，利用虚拟现实技术重现船舶舾装的实体空间^[7]；在虚拟环境中进行模块安装的模拟，以验证设计的合理性与实施可行性；以及通过虚拟现实设备的交互功能，实现设计师与虚拟环境的直接互动，从而显著提升设计的效率和准确性。

四、船舶舾装模块化制造技术研究

船舶舾装模块化制造技术是现代造船业的重要组成部分，以下将从舾装模块化制造的概述、工艺流程、关键技术以及质量控制四个方面进行详细探讨。

（一）舾装模块化制造概述

舾装模块化制造是指将船舶舾装分为若干个独立的模块，这些模块在制造过程中可以单独设计、生产和预装，最终在船体建造过程中进行快速组装^[8]。这种制造方式打破了传统造船的线性流程，实现了并行作业，大大提高了造船的灵活性和效率。

（二）舾装模块化制造工艺流程

舾装模块化制造的工艺流程涵盖了多个关键阶段：起始的设计阶段，依据船舶设计图纸对舾装系统进行模块化设计，确立模块划分及接口标准；随后进入材料准备阶段，依据设计要求筹备相应的材料和舾装件；接着是模块预制阶段，在专业预制场地完成舾装模块的焊接、组装和调试等工序；随后是模块运输阶段，将预制完毕的模块安全运送至船体组装现场；紧接着是模块组装阶段，在船体上依照设计位置进行模块的组装和安装；最终进入调试与验收阶段，对已安装的舾装模块执行功能测试和调试，确保其达到设计及使用标准。

（三）舾装模块化制造关键技术

舾装模块化制造的核心技术涉及多个方面：模块化设计技术，其精确的模块划分与设计构成了模块化制造的基础；预制技

术，涵盖高精度焊接、自动化组装等，以保障模块的高品质^[9]；接口技术，通过设计标准化、通用化的模块接口，实现了模块的快速组装与拆卸；信息集成技术，运用信息技术实现设计、生产、管理环节的融合，从而显著提升制造效率。

（四）舾装模块化制造质量控制

为确保舾装模块化制造的质量，实施了一系列严格的质量控制措施：为确保舾装模块化制造的品质，一项全面的质量控制体系得以建立，内含一系列严格的质量标准和检验流程。在此基础上，对舾装模块的预制与组装过程实行了实时监控，旨在迅速识别并解决潜在问题^[10]。此外，对所有模块成品进行了全面的性能和质量检验。依托质量反馈，设计和制造工艺持续得到优化，进而不断提高模块化制造的总体水平。

五、结束语

展望未来，随着我国船舶制造业的不断发展，船舶舾装模块化设计与制造技术将具有更加广阔的应用前景。在此，衷心希望本文的研究成果能为船舶舾装模块化设计与制造技术的推广应用提供参考，为我国船舶制造业的繁荣和发展贡献力量。同时，也期待更多专家学者关注和参与到船舶舾装模块化设计与制造技术的研究中来，共同为我国船舶制造业的创新发展献计献策。在此，向所有参与本研究工作的同仁致以衷心的感谢。是你们的勤奋工作与无私奉献，确保了本研究的顺利实施和圆满完成。

参考文献

- [1] 张捷. 船舶舾装生产设计优化研究 [J]. 船舶物资与市场, 2023, 31(07): 39-41. DOI: 10.19727/j.cnki.cbwzysc.2023.07.012.
- [2] 李海昭, 陈丹. 船舶舾装件标准化设计与分析 [J]. 船舶标准化工程师, 2023, 56(04): 7-9+34. DOI: 10.14141/j.31-1981.2023.04.001.
- [3] 孙旭明, 赵志威. 船舶舾装设计特点浅析 [J]. 船舶物资与市场, 2023, 31(05): 42-44. DOI: 10.19727/j.cnki.cbwzysc.2023.05.013.
- [4] 施程议, 丁运来. 玻璃钢栏杆在船舶舾装上的应用 [J]. 船舶物资与市场, 2023, 31(04): 70-72. DOI: 10.19727/j.cnki.cbwzysc.2023.04.022.
- [5] 庞龙. 现代船舶舾装设计与制造效率提升研究 [J]. 船舶物资与市场, 2023, 31(03): 65-67. DOI: 10.19727/j.cnki.cbwzysc.2023.03.020.
- [6] 赵立志. 船舶舾装生产现场管理研究 [J]. 船舶物资与市场, 2023, 31(01): 53-55. DOI: 10.19727/j.cnki.cbwzysc.2023.01.018.
- [7] 邢顺波, 李仁鑫, 姜海滨. 现代船舶舾装生产设计工艺浅析 [J]. 船舶物资与市场, 2022, 30(08): 39-41. DOI: 10.19727/j.cnki.cbwzysc.2022.08.013.
- [8] 周凯. 船舶舾装产品数据 BOM 管理中心设计与实现 [D]. 大连理工大学, 2020. DOI: 10.26991/d.cnki.gdllu.2020.004701.
- [9] 滕雨航. 船舶舾装件托盘多载具协同配送方法研究 [D]. 哈尔滨工程大学, 2022. DOI: 10.27060/d.cnki.ghbcu.2022.000761.
- [10] 何磊磊, 钱华, 许如强. 船舶舾装件采购策略探讨 [J]. 船舶物资与市场, 2021, 29(12): 60-62. DOI: 10.19727/j.cnki.cbwzysc.2021.12.023.

井下废石充填采空区技术优化与应用实践

周杰

新疆维吾尔自治区地质勘查质量评估中心，新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要： 本文探讨了井下废石充填采空区技术的优化与应用实践。针对采空区稳定性和安全性对矿业生产的重要性，分析了常规治理技术存在的问题，并阐述了井下废石充填技术的优越性。文章从技术原理、技术特点、采矿过程中形成的采空区问题及其影响、技术优化策略等方面进行了深入探讨，并通过案例分析展示了该技术的实际应用效果。研究结果表明，井下废石充填采空区技术不仅具有环保性、经济性和安全性，还能有效增强采空区的稳定与安全，为矿山环境治理提供了新的途径。

关 键 词： 井下废石；充填采空区；技术优化；环保性

Technical Optimization and Application Practice of Underground Waste Rock Filling Goaf

Zhou Jie

Xinjiang Uygur Autonomous Region Geological Exploration Quality Assessment Center, Urumqi, Xinjiang 830000

Abstract： This paper discusses the optimization and application of waste rock filling technology. According to the importance of goaf stability and safety to mining production, the problems of conventional treatment technology are analyzed, and the advantages of underground waste rock filling technology are expounded. This paper deeply discusses the technical principle, technical characteristics, the goaf problems formed in the mining process, and the technical optimization strategy, and shows the practical application effect of the technology through case analysis. The results show that the underground waste rock filling goaf technology not only has environmental protection, economy and safety, but also can effectively enhance the stability and safety of the goaf, and provides a new way for mine environmental management.

Keywords： downhole waste rock; filling goaf; technology optimization; environmental protection

引言

采空区的稳定性和安全性对矿业正常生产具有十分重大的意义。常规治理技术存在着投资高，效率低，污染环境等诸多问题。井下废石充填采空区技术具有明显的优越性，可以为矿山环境治理开辟一条新途径。该技术以废石为主要原料，既可充分回收废石，又可有效增强采空区的稳定与安全。

一、井下废石充填采空区技术概述

（一）技术原理

井下废石充填采空区技术是利用采矿所形成的废石作为充填材料，回填至采空区的工艺，其主要思想是将废石的物理性质经过合理处理与比例转化为充填物，用以支承采空区围岩^[1]。充填过程包含粉碎、筛选、搅拌将其运到采空区。采空区内的充填物逐步硬化，会构成降低地面沉陷、预防坍塌和开拓新地下空间的支护结构。

（二）技术特点

井下废石充填采空区技术作为一项创新性的矿山治理技术，具有诸多显著的技术特点（见表1）。

作者简介：周杰，（1991.12—），男，新疆昌吉，汉族，本科，中级，采矿工程。

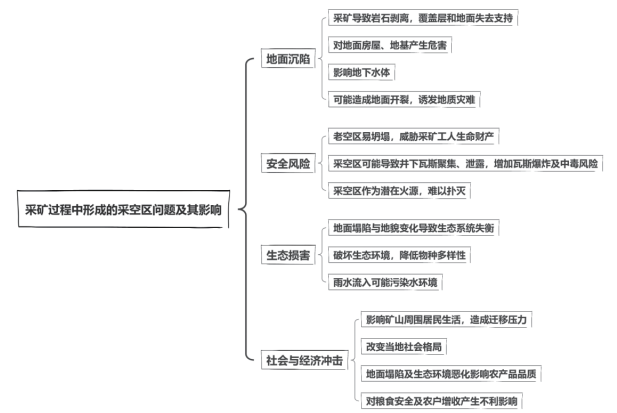
表1 井下废石充填采空区技术特点分析表

特点维度	具体描述
环保性	将废石直接回填到采空区，减少地面弃渣，降低对地面生态的危害，满足可持续发展需求。
经济性	废石重复使用降低搬运成本，降低地面沉陷及坍塌危险，减少维修费用，提高矿石采出率，延长矿区使用寿命。
安全性	适时充填采空区，降低地面沉陷、冒落危险，保证人员生命财产安全和矿山稳定，改善填料稳定与强度。

井下废石充填采空区技术在环保性、经济性和安全性方面均表现出显著优势。它不仅能够有效解决矿山废石处理问题，减轻对环境的压力，还能带来显著的经济效益，提高矿山的安全生产水平。因此，该技术在矿山环境治理和安全生产方面具有广阔的应用前景。

二、采矿过程中形成的采空区问题及其影响

在开采地下矿产资源的过程中，采空区的形成是一个不可避免的现象。但是，采空区若不进行有效治理，将引发一系列环境与安全问题，对矿山及其周围区域产生深远的经济与社会影响（见图1）。



> 图1 采矿过程中形成的采空区问题及其影响

在开采地下矿产资源的过程中，必然产生大量的采空区。如果不进行有效治理，将导致一系列的环境与安全问题，给矿山及其周围区域带来深刻的经济后果。第一，在矿山开采中，地面沉降是一个普遍存在的问题。在采矿过程中，原来支持的岩石被剥离，会造成覆盖层和地面的支持，从而产生沉降。地面沉降不但会对地面房屋、地基等产生严重的危害，而且对地下水体也产生一定的作用。另外，地面沉降也会造成地面开裂，从而为诱发地质灾害创造条件。第二，采空区造成的安全风险又是一个主要问题。非充填或失稳的老空区容易产生坍塌，给采矿工人的生命财产带来直接危险。同时，采空区也会造成井下瓦斯聚集、泄露，从而增大瓦斯爆炸及中毒的危险。采空区也是潜在火源，且因其密闭的特点，使其难以扑灭。第三，采空区除以上所说的直接效应之外，还会造成一定的生态损害。地面塌陷与地貌变化可引起局部生态系统失衡，造成生态环境破坏，降低物种多样性^[2]。在矿山开采过程中，如果不及时处理，还会随着地面雨水流入到水中，对水环境质量的构成威胁。第四，不可忽视的是对社会和经济造成冲击。采空区的存在会对矿山周围居民造成极大的影响，同时也会给当地居民带来迁移的压力，从而改变当地的社会格局。同时，由于地面塌陷及生态环境的恶化，也会对地方农产品品质产生一定的负面作用，进而对粮食安全及农户增收产生不利影响。矿山开采产生的地下空间问题，包括环境、安全、生态、社会、经济等多个层次。因此，采用行之有效的开采技术与治理手段，及时处理好矿业开采过程中的采空区问题，是矿山可持续发展的关键所在。

三、井下废石充填采空区技术优化策略

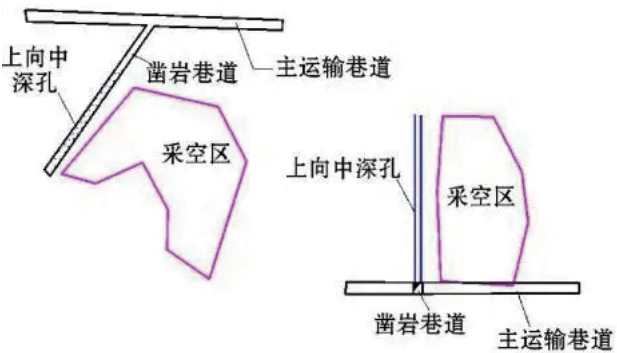
（一）废石预处理

如何有效地处理和综合利用废石，已成为矿产资源开发的一个重要课题。井下废石充填采空区技术是一条行之有效的途径，而废

石预处理是其最优选择。该过程是保证充填效果和改善充填质量的关键环节。废石分类是一项重要的前期工作。通过对废石进行详细的分类，可以依据特性、粒径大小来决定其作为填料的应用范围。例如，粒径大于50mm的粗废石占比约30%，适合直接作为骨架填料；而粒径小于10mm的细废石占比约60%，更适用于调整填料的密实度。粉碎与筛分技术是改善填料品质的重要步骤^[3]。利用先进的破碎装置及筛选技术，对废石的粒径进行合理调节，达到更好的充填效果。通过对粉碎与筛分技术的研究，该技术可以保证废石的粒径分布更为均一，并降低粗粒的数量，进而改善填料的压实度和承载力。粉碎与筛分技术的优选，可以使填料颗粒更加准确地进行颗粒级配，以保证其符合设计需要。同时，为了避免对周围生态和以后的充填工作产生不良影响，应对废石中的危险成分进行清除或稳定。采用化学固化和生物处理等措施，可以有效减少废石中的有毒成分，从而改善矿山的环境质量。

（二）充填技术优化

在废石充填开采中，如何有效提高开采效率与安全是至关重要的，具体见图2：



> 图2 采空区治理方案

充填技术优化包括充填管道布置、输送系统优化、充填物料比例和混合技术的优化、充填过程的自动、智能调控等。充填管道布置和输送系统优化是保证充填物料顺利、高效运输到采空区的前提条件。通过对管道进行合理的结构优化，可以降低物料损失，减少物料阻塞的危险，从而达到提升物料输送效果的目的。选用耐磨损、耐腐蚀的材质，以及对管径、长度及弯曲程度进行合理调整，可以减少管道的阻力损耗，减少维修费用。另外，为了满足各种情况下的充填要求，需要对充填过程进行准确速率和压力的控制。填料比例及混合技术的改善，对填料品质及稳定性有很大的影响。在此基础上，结合理论分析和试验研究，优化填料配比（水泥、水、尾矿、废石等），保证充填物满足设计要求。优化后的配比方案不仅降低了成本（每吨充填材料成本减少约5%），还显著提高了充填体的强度和稳定性（抗压强度提升约10%）。同时，实现自动监控，降低手工操作，保证充填过程的安全、准确。该智能控制系统能够根据采空区的实际情况，对充注量、充注压力、充注速度等进行在线监控，实现对充填过程的自动调节。另外，通过对实验结果的分析与学习，实现对充填方案的持续改进，从而有效提升充填的效率与质量。

（三）采掘顺序与生产计划调整

在井下废石充填采空区技术优化策略中，采掘顺序与生产计

划调整是保证矿山开采高效、安全的关键。合理的采掘顺序与生产计划调整,使得废石搬运距离平均缩短了20%,开采费用相应降低约15%。所谓最优采掘顺序,就是要依据井下的实际情况及矿石的赋存情况,对开采进行适当的排序。对深埋矿山进行超前开采,可以在初期就造成采空区,为以后的废石充填创造条件。该方案既可以缩短废石的搬运路程,降低开采费用,又可以为废石的适时回填创造有利环境,解决采空区长期不回填所造成的安全风险。对生产计划调整进行科学的设计,可以保证采空区与废石之间的高效配合。在制定生产规划时,应充分考虑矿山生产能力、废石产量和对充填物料的需求量。通过准确的计算与预报,以废石为目标,同时兼顾矿石产量与废料利用率的优化方案。其中,应对开采与充填时间进行适当规划,以保证废石产量与采空区生成量的协调一致,从而防止矸石积压或无充填物^[4]。同时,合理确定采掘顺序与生产计划调整,也要从长远角度出发,兼顾矿产资源的可持续开发。通过对采掘顺序与生产计划调整的合理安排,能够使矿区的生态环境影响降低了约30%,从而达到延长矿区使用寿命的目的^[5]。通过上述研究,可以有效降低开采产生的生态破坏,促进矿山的“绿色发展”。

(四) 监测与反馈机制

在井下废石充填采空区技术优化策略中,其核心是要构建监测与反馈机制,以保证废石开采过程的长效、平稳运行。该机制包括对充填过程进行实时监控,并依据监控结果进行反馈修正^[6]。要想达到高效充填,必须要建立起一套完整的充填监测系统。该系统能够实时监测地表沉陷量(精度达到毫米级)、围岩位移速率(误差率小于1%)、充填物紧实度及强度等关键参数。通过对充填物的在线监控,可以对充填物的配比、充填速度、充填压力等进行及时调节。为了保证充填质量,必须依据监控数据及时进行充注充填,将监控资料的分析结果,及时提供给充填作业及生产管理人员^[7]。另外,建立完善的监测与反馈机制,并对其进行不断改进。通过长时间的数据累积与分析,找出存在的“规则”与“趋势”问题,进而对其进行系统的完善。这样不断地进行优化,可以有效提升整个采矿作业的效率与安全,降低对资源的浪费,从而增加井下的整体经济效益。

四、实践案例分析—以阿希金矿为例

矿产资源的高效、合理利用是绿色矿山建设的重要基石,而井下废石充填采空区技术作为一种创新的采矿工艺,在实现资源节约与环境保护方面发挥着举足轻重的作用。阿希金矿作为西部黄金股份有限公司的下属子公司,其在井下废石充填采空区技术的应用实践上,为我们提供了一个生动的案例。

阿希金矿位于新疆伊宁县喀拉亚尔奇乡,自1993年开始筹建,历经数十年的发展,已成为集采、选、冶为一体的现代化黄金生产企业^[8]。然而,在追求经济效益的同时,阿希金矿也面临着资源浪费与环境污染的双重挑战。为了破解这一难题,矿山积极引进并优化了井下废石充填采空区技术。在过去,阿希金矿主要采用无底柱分段崩落法进行采矿,这种方法虽然生产成本相对较

低,但贫化率和损失率均高达25%以上,导致资源浪费严重。为了改变这一状况,阿希金矿开始探索充填采矿工艺,并最终确定了盘区下向分层进路胶结充填采矿法和小空场嗣后充填采矿法作为替代方案。这些新方法的应用显著提高了采矿回采率,降低了贫化率,使得矿产资源的利用更加充分和合理^[9]。

在井下废石充填采空区技术的具体实践中,阿希金矿将露天废石经过破碎后作为充填原料之一重新充填至井下采空区。这一做法不仅提高了矿石的回收率,还有效减少了废石对草场的污染,实现了无废或少废开采的目标。同时,通过实施地貌重塑、土体再造与生态恢复等工程,阿希金矿进一步降低了矿山生产建设对环境的负面影响。除了在技术层面的创新与应用外,阿希金矿还舍得投入资金进行选矿工艺的优化和废水处理项目的实施^[10]。通过泥、砂分选技术改造和选矿废水处理项目的实施,阿希金矿不仅提高了浮选回收率,还实现了选矿废水的零排放。选尾矿砂膏体浓缩井下采空区原位充填工程的实施也进一步提升了尾矿的资源化利用水平,避免了尾矿堆存对土地的占用。

五、结束语

综上所述,井下废石充填采空区技术作为一种创新性的矿山治理手段,展现出了其显著的优越性和广泛的应用前景。该技术不仅有效解决了矿山废石处理问题,减轻了对环境的压力,还带来了显著的经济效益,提高了矿山的安全生产水平。通过对废石预处理、充填技术优化、采掘顺序与生产计划调整以及监测与反馈机制的深入研究与实践,我们进一步提升了该技术的实用性和效果。案例分析也充分证明了该技术在实际应用中的可行性和有效性。展望未来,随着技术的不断发展和完善,井下废石充填采空区技术将在矿山环境治理和安全生产方面发挥更加重要的作用,为矿业的可持续发展做出更大的贡献。

参考文献

- [1] 郝建平, 拓文腾, 雷升科. 采空区煤矸石浆体充填技术研究进展与展望[J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (12): 142-144.
- [2] 段单峰. 矿井采空区矸石充填方案设计与工程应用[J]. 现代矿业, 2024, 40(06): 77-80.
- [3] 张小连, 李兴林, 黄伟江, 王攀, 薛天富. 盐矿采空区充填注浆材料优选实验研究[J]. 中国煤炭地质, 2024, 36(05): 43-49.
- [4] 安森宁, 王言伟. 灌注充填法在煤矿采空区场地治理中的应用[J]. 资源信息与工程, 2024, 39(02): 86-90.
- [5] 李雄伟, 侯彦威, 姜涛, 郭建磊. 建筑固废高效利用对采空区精准充填试验研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2024, 22(02): 80-85+101.
- [6] 周忠斌, 梁卫国, 郭凤岐, 阎雾龙. 煤矿采空区智能充填深度神经网络算法[J]. 太原理工大学学报, 2024, 55(02): 223-230.
- [7] 赵永平, 孙利, 吴智平. 矿山掘进废石充填采空区工艺探索与实践[J]. 世界有色金属, 2019, (13): 163-164.
- [8] 高常华, 张承明. 废石充填采空区在缓倾斜薄矿体中的应用[J]. 中国矿山工程, 2016, 45(05): 53-56.
- [9] 郭康胜. 铅铜山矿利用废石充填井下采空区方案研究[J]. 科技资讯, 2015, 13(21): 42-44.
- [10] 黄万朋, 马树坤, 朱全美, 陈明程. 井下采空区部分充填参数的确定[J]. 煤矿安全, 2011, 42(07): 150-152.

机械设计制造自动化技术应用分析

席国英

广东省珠海市珠海凯邦电机制造有限公司, 广东 珠海 519100

摘 要： 机械设计制造行业飞速发展，自动化技术逐渐得到了广泛融合应用，相较于传统技术，能够极大地提升生产效率，降低人工强度和生产成本，提升生产效率，对于企业市场竞争和发展具有积极作用。近些年来，大量企业开始引入机械设计制造自动化技术，推动行业高水平发展。文章主要就机械设计制造自动化技术的应用内容进行分析，在了解机械自动化现状基础上，把握技术要点，期待在实际应用中展现更大的作用。

关 键 词： 自动化技术；机械设计制造；柔性自动化技术；智能自动化技术

Analysis of the Application of Automation Technology in Mechanical Design and Manufacturing

Xi Guoying

Zhuhai Kaibang Electric Motor Manufacturing Co., Ltd., Zhuhai, Guangdong 519100

Abstract： With the rapid development of the mechanical design and manufacturing industry, automation technology has gradually been widely integrated and applied. Compared with traditional technologies, it can greatly improve production efficiency, reduce labor intensity and production costs, and enhance production efficiency, which has a positive effect on enterprise market competition and development. In recent years, a large number of enterprises have begun to introduce automation technology in mechanical design and manufacturing, promoting high-level development in the industry. This article mainly analyzes the application content of automation technology in mechanical design and manufacturing. Based on understanding the current status of mechanical automation, it grasps the technical points and looks forward to demonstrating a greater role in practical applications.

Keywords： automation technology; mechanical design and manufacturing; flexible automation technology; intelligent automation technology

新时代背景下，工业自动化水平持续提升，尤其是机械制造业，目前已经掌握了世界前沿的技术手段，但相较于世界先进水平还存在一定差距，未来应继续深化自动化技术创新应用。机械设计制造自动化技术的融合应用，可以将原本复杂、强度大和危险系数高的工作，交由自动化技术控制下的机械设备完成，这样不仅可以提升生产效率和质量，还可以有效减少生产过程中的安全风险，推动机械设计制造行业高水平发展。综合分析研究机械设计制造自动化技术应用情况，有助于丰富技术实践经验，为相关企业生产实践提供参考支持。

一、机械设计制造自动化技术概述

机械设计制造自动化是一门综合学科，其中涵盖了电子工程、机械工程和计算机科学等学科知识，用于机械产品设计、制造研究，以及如何运用自动化技术到实际的机械系统控制中，进而提高机械生产效率和质量^[1]。机械设计制造强调依据机械工学原理，实现机械系统、零件过程的设计、制造和优化，在这个过程中重点关注机械产品形状、尺寸设计，以此来保证产品质量、安全和效率。随着自动化技术发展创新，在机械设计制造领域逐渐得到了广泛应用。自动化技术集合了传感器、计算机、控制器等先进设备，实现生产全过程自动化、智能化，提高生产效率和产品质量同时，推动生产线自动化升级优化^[2]。机械设计制造自动化

技术系统性较强，从模型设计、产品制造、零件加工和设备成型等环节联系密切，逐步形成了相较完整的制造体系，提高生产效率同时，保障产品一致性。

二、机械设计制造自动化技术的应用价值

（一）有助于提高生产效率

机械设计制造中应用自动化技术，对于提高生产效率具有重要价值。依托于自动化技术，可以实现生产全过程自动化进行，精简生产流程，减少人工成本支出和工作强度，提升生产效率和效益同时，为企业持续稳定发展提供坚实保障。伴随着科技发展，自动化技术也将得到进一步优化改进，随着自动化技术全方

位的普及应用,对于推动行业转型升级具有重要意义^[3]。

(二) 有助于保障生产过程安全

以往的机械设计制造过程中,传统生产模式需要人工操作,不可避免出现偏差和失误,影响到生产效率,埋下安全隐患。推行自动化技术,依托于预设程序,并且在精确传感器控制下,实现生产全过程自动化、智能化,减少人为主观意识影响下,将安全事故发生几率降到最低^[4]。自动化技术具有实时监测和预警功能,在生产线上安装监控设备、传感器,实时收集生产数据和设备具体运行状态,在检测到异常情况下及时发出预警信息,并采用合理措施及时处置,如,自动调整工艺参数,停机检修等,尽可能规避安全事故发生几率。

(三) 有助于降低生产成本

机械设计制造中应用自动化技术,实现生产加工全过程精准控制,减少不必要的材料损耗^[5]。如,数控加工中,依据系统预设程序自动化调整切削参数、刀具路径等,精准化加工和使用材料,保证产品质量同时,减少原料消耗成本和废弃物,契合绿色环保要求。自动化机械设备可以24小时不间断运行,不需要轮班,并且胜任复杂、高精度的生产任务,提升生产效率,降低人工成本。

三、机械设计制造自动化技术的应用

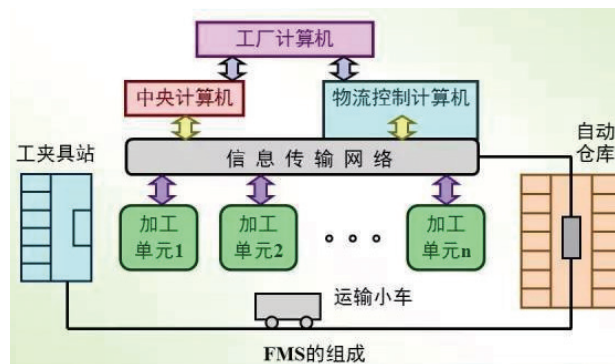
(一) 集成自动化技术

机械设计制造领域应用自动化技术,有助于推动行业进步和发展,展现出更大的作用。集成自动化技术属于综合技术体系,其中集合了信息技术、自动化技术、管理技术,建立统一的系统平台,实现设计、制造和管理各环节集成优化,提高生产效率、质量,降低生产成本^[6]。具体应用主要包括以下几个环节:①产品设计与开发。在这个阶段应用集成自动化技术,有机整合CAM、CAE、CAD等设计软件,实现产品设计三维化、数字化、仿真化^[7]。建立集成化设计平台,精准、直观模拟产品性能,优化产品结构,减少设计偏差,缩短产品开发周期。②生产过程控制。集成自动化技术在生产过程中应用,建立自动化控制系统,基于PLC、DCS以及SCADA等技术,远程、集中控制生产设备运作。依托于实时监测设备运行状态,收集数据信息,上传到系统中,依据生产需要自动化调整工艺参数,实现生产全过程安全稳定^[8]。运用集成自动化技术,同生产管理系统结合,将物料调度、生产计划、质量控制等环节集成优化,提升生产管理精细化水平。③供应链与物流管理。运用大数据、物联网和云计算等技术建立物流信息平台,增强供应链上下游企业联系,信息共享和协同,实时跟踪物料流动情况,实现物流配送方案和库存管理全面优化,提高物流效率,降低物流成本。集成自动化技术同智能制造系统结合,还可以实现生产全过程柔性化、智能化,迎合市场多元、复杂的需求。

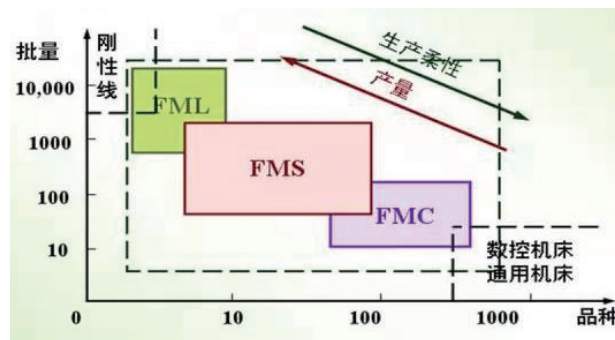
(二) 柔性自动化技术

柔性自动化技术可以实现小批量、多品种生产,灵活应对市场需求。柔性自动化技术集合了信息技术、计算机技术、自动化

控制技术等,建立高度灵活的生产系统,依据生产计划动态调整生产流程,以此来满足客户的多样化需求。柔性自动化技术中的关键技术包括计算机控制、数控技术、GT等,地勘性系统与装备包括NC机床、DNC、工业机器人、FMS、FMC等^[9]。就柔性自动化技术在机械设计制造领域的应用来看,具体包括以下几点:①柔性化生产线设计。基于柔性自动化技术,可以实现生产线优化设计。传统刚性生产线主要是生产统一类型、规格的产品,与之相比,柔性生产线能够满足不同产品生产需求,及时优化调整设备布局、工艺参数,更换工装夹具等,多产品混线生产,提高生产线工作效率同时,显著降低产品生产成本。②模块化与可重构技术。生产线柔性化,引入可重构技术和模块化技术至关重要^[10-12]。根据生产需要,细化生产设备为多个功能模块,动态重构与组合,构建多条生产线,负责不同生产任务。基于模块化设计,便于设备升级和维护,提高生产线可重用性和可扩展性,尽可能减少企业投资风险。③智能控制与调度系统。运用柔性自动化技术,建立智能控制与调度系统,集成先进控制算法、调度策略,精准控制和优化调度生产线各类设备,实时监控设备运行状态,依据生产需求自动化调整设备参数、生产节奏,保障生产过程高效性。在发现异常情况下及时预警,及时通知技术人员处理,提高生产线可靠性^[13]。以FMS技术为例,具有鲜明的柔性和自动化特点,并且具有自学功能,依据生产环境和任务迅速调整,适合多品种、中小批量生产需要。如图1和图2。



> 图1 FMS的构成



> 图2 FMS的零件批量和自动化加工方式

(三) 智能自动化技术

智能自动化技术在机械设计制造领域应用,可以赋予机械设备自我学习、自我决策能力^[14]。在智能感知与识别方面应用智能自动化技术,集成各类机器视觉系统、传感器等设备,实时感知生产环境变化情况,精准识别和处理各类信息。如,机械加工

生产中，智能自动化设备借助图像识别、激光测距等技术，精准定位和测量工件，提高加工精度和质量。智能自动化技术具有智能决策和优化能力，基于大数据技术和人工智能算法收集生产数据，并对数据深度分析，及时发现生产中的问题^[15]。依据数据分析结果自动优化调整工艺参数，优化生产流程，预测未来生产趋势，为企业管理和决策提供参考依据。智能自动化技术可以为人机协同作业提供支持，在智能自动化生产线上，智能机器人和工人之间并非简单的替代关系，而是转变为紧密的合作伙伴，工人负责复杂的任务，智能机器人负责执行劳动强度大、重复性高的工作，提高生产效率同时，增强生产线灵活性。智能自动化技术具有自主学习和进化能力，持续学习更多的生产知识和技能，用于提升智能自动化设备的功能，更好地适应生产环境，具备更强的竞争优势。例如，汽车制造领域应用智能机器人，在焊接、装配、喷涂等工序中应用，能够极大地提高生产效率，为产品质量提供保障。航空航天领域，基于智能自动化技术生产高精度、高可靠性的零部件，为产业发展提供支持^[16]。

（四）网络化制造模式

网络化制造模式，依托于互联网平台实现跨区域、跨行业共享生产资源，企业依据自身需求调用外部资源，如，技术、设备和人才等，提高生产效率，降低生产成本。而且借助统一的信息平台，实现企业和部门之间紧密衔接，提高沟通效率，保障生产活动高效展开^[17]。机械设计制造自动化技术中结合互联网技术，远程监控生产设备，不受时间和空间限制，通过网络远程操作设备，在线查看设备运行状态，维护生产过程安全稳定。网络化制造模式下，机械设计自动化技术还可以整合云计算、大数据分析等技术，实时采集、统计分析和共享生产数据，了解生产中的瓶颈问题，实现生产流程优化改良^[18]。

四、机械设计制造自动化技术的应用策略

（一）增加资金投入，提高机械设计制造自动化水平

机械设计制造领域应用自动化技术，为了充分发挥技术优势，应适当增加资金投入，支持自动化技术的应用和完善。增加资金投入，除了购置先进自动化技术、设备和软件系统，还可以为人才培养和技术研发等提供支持。企业要合理规划资金用途，购置先进自动化设备、软件系统，提升生产效率和产品质量，展现更大的经济效益。加大技术研发投入，鼓励技术研发创新，生产更具自主知识产权的自动化技术和产品^[19]。

（二）推行定制化，满足个性化需求

机械设计制造领域持续优化升级，市场需求逐步增长，为了满足市场多样化需求，推行定制化生产模式逐渐成为主流趋势。机械设计制造自动化技术应用，具有可配置性和灵活性特点，实现定制化设计和生产。建立模块化设计平台，分解产品为多个独立设计模块，基于自动化技术快速组合与配置，致力于满足客户个性化需求^[20]。

（三）协同化运行，增强产业链上下游合作

机械设计制造自动化技术的实际应用，除了在企业内部应用

外，也要加强与供应商、科研机构和客户等合作交流，推动自动化技术创新研发和应用。建立协同设计、制作和服务平台，增强产业链上下游联系，促进信息和资源合理化配置和共享。采用此种协同化策略，有助于提高产业链自动化水平，加快产业链转型升级。

五、结束语

综上所述，机械设计制造领域引入自动化技术，有助于弥补传统生产技术不足，优化生产流程，减少人工强度和生产成本，提升生产效率和效益。随着自动化技术持续更新和完善，推动自动化技术在机械设计制造领域融合应用，还可以加快产业转型升级，创造更大的经济效益和社会效益，切实提升企业的竞争优势。

参考文献

[1] 李由. 机械设计制造自动化技术应用分析 [J]. 现代农机, 2024(4):124-126.

[2] 王雨田. 自动化技术在冶金机械设计制造中的应用分析 [J]. 冶金与材料, 2024,44(7):160-162.

[3] 李必贵. 自动化技术在机械设计及制造领域的应用分析 [J]. 中国设备工程, 2023(5):214-216.

[4] 彭思远, 刘鹏厚. 计算机技术在机械设计制造及自动化中的实践应用分析 [J]. 机械管理开发, 2022,37(7):332-333,340.

[5] 李雪凝. 机械设计制造及其自动化技术的智能应用分析 [J]. 机械管理开发, 2023,38(11):91-92.

[6] 张洪娟, 李炳辉. 潍坊市农业机械设计中自动化技术的应用分析 [J]. 河北农机, 2023(9):16-18.

[7] 徐锐. 机械设计制造及其自动化技术的智能应用探析 [J]. 仪器仪表用户, 2024,31(1):70-72.

[8] 齐彩娟. 机械设计制造及其自动化中计算机技术的应用分析 [J]. 河北农机, 2022(4):12-14.

[9] 赵力. 机械设计制造及其自动化中计算机技术的应用分析 [J]. 魅力中国, 2017(34):258.

[10] 赵显权. 自动化技术在机械设计与制造中的应用浅析 [J]. 锻压装备与制造技术, 2023,58(4):85-88.

[11] 王雅先. 机械设计制造及其自动化中计算机技术的应用分析 [J]. 农村牧区机械化, 2018(6):44-45.

[12] 朱海勇. 机械设计制造及其自动化中计算机技术的应用分析 [J]. 内燃机与配件, 2021(17):211-212.

[13] 郭仁贵. 信息技术背景下机械设计制造及其自动化的应用分析 [J]. 时代汽车, 2023(19):139-141.

[14] 张琦朋. 新时期背景下机械自动化技术在机械设计制造中的应用分析 [J]. 机械管理开发, 2022,37(10):289-290.

[15] 张敬华. 机械设计制造及其自动化中计算机技术的应用分析 [J]. 科技风, 2019(9):62.

[16] 徐光. 机械设计制造及其自动化中计算机技术应用分析 [J]. 中外交流, 2021,28(6):115.

[17] 李晓虎. 机械设计制造及其自动化中计算机技术的应用分析 [J]. 环球市场, 2019(13):377.

[18] 岳维信. 机械设计制造及其自动化中计算机技术的应用分析 [J]. 科学与信息化, 2019(5):100.

[19] 祁鹏. 自动化技术在机械设计制造中的应用分析 [J]. 造纸装备及材料, 2022,51(2):27-29.

[20] 王利东. 机械设计制造及其自动化中计算机技术的应用分析 [J]. 科技展望, 2015(18):74-74.

电气主设备继电保护原理与应用

刘朝霞

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 56300

摘 要： 由于经济的发展以及科学技术的进步（其中就包括了计算机技术和电子方面的技术），电力系统继电保护也经历了多个发展的阶段，尤其是最近的一些年，电力工业得到了迅猛的发展，电力系统的发展方向也朝着单机容量变大、超高压等级等方面靠近。电气主设备继电保护是通过检测电气量（如电流、电压、功率等）的异常变化，快速判断故障类型和位置的自动化装置，并自动切断故障部件或发出报警信号，防止故障扩大，保证非故障部件继续安全运行。随着智能电网、大数据、人工智能等技术的融合应用，继电保护技术正朝着更加智能化、网络化、自适应的方向发展。

关 键 词： 电气主设备；继电保护；原理与应用；存在问题；策略

Principle and Application of The Relay Protection for the Electrical Main Equipment

Liu Zhaoxia

Guizhou Xidian Power Co., LTD. Yaxi Power Generation Operation Branch, Zunyi, Guizhou 56300

Abstract： Due to economic development and advancements in science and technology (including computer technology and electronics), power system relay protection has undergone multiple stages of development. In recent years, the power industry has experienced rapid growth, and the development trend of power systems is moving towards larger single-unit capacities and ultra-high voltage levels. Electrical main equipment relay protection is an automated device that quickly determines the type and location of faults by detecting abnormal changes in electrical quantities (such as current, voltage, and power). It automatically cuts off faulty components or issues alarm signals to prevent fault expansion and ensure the continued safe operation of non-faulty components. With the integrated application of technologies such as smart grids, big data, and artificial intelligence, relay protection technology is evolving towards greater intelligence, networking, and adaptability.

Keywords： electrical main equipment; relay protection; principles and applications; existing problems; strategies

引言

随着电力工业的快速发展，主要电气设备（如发电机、变压器、高压输电线路等）已经成为保证电网可靠性的关键，继电保护作为电力系统安全的第一道防线，其重要性不言而喻，深入探讨电气主设备继电保护的基本原理、关键技术、最新应用进展和未来发展趋势，为提高电力系统保护水平提供理论支持和实践指导。

一、电气主设备继电保护的基本原理

（一）电流保护

作为电气主设备保护系统的基石，电流保护的核心在于对电流特性的准确监测和分析，过流保护作为电流保护的一种基本形式，其工作原理是基于欧姆定律和基尔霍夫电流定律，通过实时监测流经被保护设备的电流值，并与预设的电流阈值进行比较。当监测到的电流值持续超过阈值一定时间后，保护装置判定设备

内部或外部存在短路故障，然后触发保护动作，如断开断路器，隔离故障区域，防止故障电流对设备造成进一步的损害。^[1] 过流保护不仅适用于低压系统，在高压系统中也有重要作用，特别是需要一定的延时来区分过载和短路故障时。速断保护作为过流保护的补充和加强，其设计初衷是为了快速响应近端的严重短路故障，速断保护的动作时间极短，几乎可以在故障发生的瞬间做出判断并执行保护动作，这是由于其内部快速动作电流阈值和保护逻辑没有延迟或延迟非常短，速断保护的存在大大提高了电网抵

作者简介：刘朝霞（1987.08-），女，汉族，贵州省赤水市，本科，职称：助理工程师。

御突发短路故障的能力，有效限制了故障范围的扩大，保证了电网的稳定运行。^[2]

（二）差动保护

差动保护以其独特的工作原理和优异的保护性能，在电气主设备保护领域发挥着重要作用，其基本原理是利用被保护设备两侧（如发电机两侧和变压器两侧等）的电流互感器采集的电流信号来计算两侧通过差动电路的电流之差，即差动电流。正常情况下，由于电流在设备内部形成闭合回路，两侧电流大小相等，方向相反，所以差动电流接近于零，而当设备内部出现故障时，故障点成为新的电流源，导致两侧电流不再平衡，差动电流明显增大，差动保护装置实时监测差动电流，并与设定的动作阈值进行比较，一旦差动电流超过阈值，则判断为设备内部故障，保护动作迅速触发。差动保护具有较高的选择性和灵敏度，能够准确区分内部故障和外部故障，有效避免外部故障误操作造成的停电事故，此外，差动保护具有良好的抗饱和能力和抗干扰能力，能在复杂的电磁环境中稳定工作。^[3]因此，差动保护广泛应用于发电机、变压器、大型电动机等关键电气设备的保护，成为保障电力系统安全稳定运行的重要技术手段。

（三）距离保护

距离保护是一种基于阻抗原理的电气主设备保护方法，其核心是通过测量故障点与保护安装处之间的阻抗（或距离）来判断故障位置，进而决定是否实施保护动作。距离保护结合了电流保护和电压保护的优点，能够充分反映故障过程中电流和电压变化的特征，从而实现故障类型的准确识别和故障的准确定位。距离保护中，保护装置首先根据系统参数和线路参数计算故障点到保护装置的理论阻抗值（或距离），然后与实测阻抗值进行比较，当实际阻抗值小于理论阻抗值时，表明故障点在保护范围内，保护装置立即触发保护动作；否则，确定故障点在保护范围之外，保护不动作。^[4]距离保护不仅能快速切除故障线路，还能有效避免相邻非故障线路的误动，提高电网整体保护水平。此外，距离保护还具有适应性强、保护范围可调的优点，随着电网结构和负荷波动的不断变化，保护装置能根据实时信息自动调整保护参数和策略，保证保护性能的稳定可靠，因此，距离保护被广泛应用于高压输电线路的保护中，成为保障电网安全稳定运行的重要防线。^[5]

二、电气主设备继电保护关键技术和应用

（一）微机保护技术

微机保护技术是现代继电保护领域的核心驱动力，它深度融合了计算机技术、数字信号处理技术和先进控制理论，为电力系统的安全稳定运行提供了强有力的技术支持，该技术以高性能微处理器或数字信号处理器为核心，结合海量存储和高速通信接口，实现保护逻辑的数字化、软件化和网络化。在微机保护系统中，保护逻辑不再依赖于传统的硬件电路，而是通过软件算法来实现，这种转变大大提高了保护的灵活性和可配置性，工程师可以根据电网的实际运行情况和保护要求，灵活编写或修改保护程

序，调整保护定值，以适应不同的故障类型和运行工况。^[6]此外，微机保护还具有强大的数据处理能力，能够实时采集、处理和分析来自电力系统的各种电气信息，为快速准确的故障识别提供可靠的数据支持。微机保护技术的另一个显著优点是具有良好的通信接口和联网能力，通过标准的通信协议和接口，微机保护装置可以方便地与变电站内的其他智能装置（如测控装置、录波装置等）进行信息交换和数据共享和远程监控中心，这种信息交换不仅提高了保护系统的整体性能，而且为实现电力系统的智能化和自动化管理提供了可能。

（二）自适应保护技术

自适应保护技术是现代继电保护技术的重要发展方向之一，旨在提高保护系统对电网运行方式和故障类型变化的适应能力，从而保证保护动作的准确性和可靠性。自适应保护技术集成了先进的传感器、数据采集系统和智能算法，实时监测电网运行状态，并根据监测结果自动调整保护参数和策略，在复杂多变的电网环境中，自适应保护技术可以显著提高保护系统的整体性能。^[7]比如电网结构发生变化时（如线路切换、变压器分接头调整等），自适应保护能快速识别这些变化，自动调整保护定值，保证保护动作的正确性。此外，在故障类型多样、故障特征复杂的情况下，自适应保护还可以根据故障特征的变化动态调整保护策略，实现对不同类型故障的准确识别和快速切除。自适应保护技术的实现离不开先进的智能算法和数据处理技术，通过使用机器学习和模式识别等人工智能技术，自适应保护系统可以不断学习和优化自身的保护策略，提高保护动作的准确性和可靠性。

（三）智能电网中的继电保护

在智能电网中，继电保护不再是一个孤立的系统，而是与整个电网的智能化、自动化管理紧密相连，智能电网中的继电保护通过集成传感器、通信网络和智能决策系统，实现了保护信息的快速共享和协同处理，提高了故障识别的准确性和快速性。在智能电网中，继电保护系统通过遍布电网的传感器网络实时采集电力系统的运行状态信息，包括电流、电压、功率等电气信息和温度、振动等非电气信息，这些信息通过高速通信网络传输到智能决策系统进行处理和分析。智能决策系统利用大数据分析和人工智能技术，对信息进行深度挖掘和分析，实现对电网运行状态的全面感知和故障风险的准确预测。当电网发生故障时，智能电网中的继电保护系统能够快速响应并启动保护动作，通过多个保护装置信息的协同处理，可以快速定位和隔离故障。同时，智能决策系统可以根据故障的类型和严重程度，自动调整保护策略，优化恢复方案，最大限度地减少故障对电网的影响，加快电网恢复进程。

三、电气主设备继电保护原理与应用存在问题

（一）技术集成和标准化问题

随着智能电网、物联网、大数据、云计算、人工智能等前沿技术不断涌入电力系统，技术融合成为推动其转型升级的重要引擎，然而，这一过程并非没有障碍。技术系统之间的“孤岛效

应”越来越明显,技术系统之间没有统一的接口标准和通信协议,导致设备之间互操作性差,信息共享效率低,这不仅增加了系统集成的复杂性和成本,还可能导致安全风险。^[8]标准的滞后成为技术整合的一大障碍,新技术的发展速度往往快于标准的制定速度,导致新技术应用初期缺乏明确的标准来指导实践,不仅增加了技术应用的不确定性,还可能导致市场混乱和恶性竞争。再者,技术集成不仅仅是技术的简单叠加,更是技术之间的深度融合和协同创新,目前在技术创新和融合方面往往缺乏跨学科的合作机制和平台,使得技术创新难以形成合力,发挥应有的效能,此外,技术融合还面临着数据安全、隐私保护等伦理和法律问题,这就要求我们在发展技术的同时,加强相关法律法规的建设和完善。

（二）网络安全和数据隐私保护受到严峻挑战

电力系统的网络架构越来越复杂,涉及的设备和系统种类繁多,为黑客攻击和病毒入侵提供了更多的机会,关键系统一旦遭到攻击,可能导致大规模停电、设备损坏等严重后果,对国家安全和社会稳定构成严重威胁。数据隐私保护问题日益突出,大数据时代,电力系统积累了大量敏感数据,如用户用电信息、设备运行状态等,这些数据在推动电力系统智能化发展的同时,也面临着被泄露和滥用的风险,数据一旦泄露,不仅可能侵犯用户隐私,还可能引发社会恐慌和信任危机。^[9]为了应对这些挑战,需要加强网络安全防护技术的研究和应用,提高电力系统的安全防护能力,同时,也需要加强数据隐私保护意识的培养和法律法规的建设与完善,确保用户隐私和数据安全得到有效保障。

四、电气主设备继电保护原理与应用策略

（一）深化技术创新和应用,引领电力体制改革新篇章

在电力系统建设追求卓越的过程中,技术创新不仅是进步的动力,也是引领变革的灯塔,要想在全球能源变革的浪潮中占得先机,就必须深化技术创新,将其融入电力系统的每一个细胞,这不仅意味着对现有技术的简单升级,更意味着从理念到实践的全面创新。将重点关注人工智能、大数据和物联网等前沿技术,并探索其与电力系统的深度融合路径,通过智能化改造,电网可

以实现自主感知、自主学习、自主决策,使电力系统更加灵活、高效、可靠,鼓励跨领域合作,打破传统界限,推动能源、信息、交通等领域的协同创新,共同推动电力系统向智能化、绿色化、服务型方向转变。在技术创新的同时,我们也会注重技术成果的转化和应用,通过建立完善的产学研结合机制,加速科技成果从实验室走向市场,从理论走向现实,这不仅可以提高电力系统的整体性能,还可以促进相关产业链的发展,形成良性循环。

（二）强化安全管理体系,保护电力安全铜墙铁壁

电力安全是电力系统运行的生命线,是社会稳定和经济发展的基石,为了保障这种安全,必须建立一套严密、高效、全面的安全管理体系,让电力安全成为坚不可摧的铜墙铁壁。从制度建设入手,完善安全法规标准体系。包括制定更加严格的安全生产规范,加强安全监管执法,提高安全标准国际化水平,为电力系统安全管理提供坚实的法律保障和制度支持。加强安全监测预警能力建设,利用云计算、大数据分析等现代信息技术手段,实现电力系统安全风险的实时监测和预警,不仅可以提高我们对安全隐患的敏感度和反应速度,还可以为制定有针对性的预防措施提供科学依据。^[10]同时,将着力提高应急反应和处置能力,建立健全应急预案体系,加强应急演练和培训,提高各级人员在突发事件中的应变能力和协同作战能力,也将加强与国际社会的合作与交流,共同应对跨境跨领域的电力安全挑战。通过这些努力,确保电力系统在任何情况下的安全稳定运行,为经济社会发展提供有力的电力保障。

五、结语

在电器系统主设备的保护之中,继电保护技术是较为重要的一项技术,因为其对电气系统的稳定运行作出了较大的贡献,对电气主设备的保护起到了一个较大的作用。电力系统的容量呈现了一个上升的趋势,范围也是如此,即使继电保护装置有着较多的优势,仅设置系统各个元件的继电保护装置也是难以完成对一些电力系统重大事故的处理。由此,虽然继电保护装置取得了一定的成就,但想要做好电气主设备的保护,还需要以电力系统整体布局作为出发点,来对继电保护技术进一步的研究。

参考文献

- [1] 褚方林,魏雨,董晶.谈电气主设备继电保护技术的应用分析[J].工程技术:引文版,2016(8):00247-00247.
- [2] 李焯榕.电气主设备继电保护技术论述[J].科研,2017(2):00229-00229.
- [3] 刘超.谈电气主设备继电保护技术分析[J].中国科技投资,2016(20):0012-0013.
- [4] 杜银景,刘德建,闫崇峰.继电保护技术在电气主设备中的应用[J].环球市场,2016(24):00205-00205.
- [5] 欧丰华.电力系统中电气主设备继电保护技术现状与发展实践[J].建筑·建材·装饰,2019(7):136,171.
- [6] 周文玲.电力系统中电气主设备继电保护技术的分析[J].通讯世界,2015(17):149-150
- [7] 范尧.浅谈电气主设备继电保护技术[J].山东工业技术,2017(21):210+195.
- [8] 柳叶.论继电保护技术在电气主设备上的应用[J].现代商贸工业,2017(22):189-190.
- [9] 王碧波.电气主设备中继电保护常见问题及措施分析[J].科技创新导报,2017,14(07):49-50.
- [10] 黄少军.电气设备继电保护相关技术发展研究[J].通讯世界,2016(17):114-115.

储能技术在新能源发电技术中的应用研究

梁晓军

中电投陵川新能源发电有限责任公司，山西 晋城 048300

摘 要： 在新能源发电技术中，储能技术通过科技手段有效地缓解了新能源的波动性和间歇性带来的不利影响，确保电力供应的连续性和稳定性。因此当前发电技术发展需要与现代科学技术相结合，对新能源发电技术中的储能技术进行深入探讨，实现与系统的对接，并从而促进新能源的有效开发和应用，强化电力供应。

关 键 词： 储能技术；新能源发电技术；应用

Application of Energy Storage Technology in New Energy Generation Technology

Liang Xiaojun

CLP Investment Lingchuan New Energy Power Generation Co., Ltd., Jincheng, Shanxi 048300

Abstract： In the new energy generation technology, energy storage technology through scientific and technological means to effectively mitigate the volatility and intermittency of new energy brought about by adverse effects to ensure the continuity and stability of power supply. Therefore, the development of current power generation technology needs to be combined with modern science and technology, and the energy storage technology in the new energy generation technology should be discussed in depth to achieve the docking with the system, so as to promote the effective development and application of new energy, power supply.

Keywords： energy storage technology; new energy generation technology; application

引言

由于不可再生资源的日益枯竭以及生态环境污染的加剧，电力行业在发展进程中应更加注重新能源发电技术的研发与实施，并结合能量储存技术，满足社会对能源的迫切需求，提升电网运行的稳定性和可靠性，因此相关人员需要全面掌握储能技术，明确各种技术的属性与优势，结合新能源发电技术的实际运行状况及需求，进一步在风能发电、太阳能发电等推广储能技术的应用，有助于提高电力质量和运行效率，确保电力供应满足需求，促进我国电力行业的持续改进与进步。

一、新能源电力系统中的储能技术

（一）物理储能技术

物理储能主要是通过物理方法实现能量的储存和释放，物理储能技术主要包括三种：其一为抽水蓄能，这是一种常见且成熟的物理储能技术，利用电力负荷低谷时的电能抽水至上水库，在电力负荷高峰期再放水至下水库发电，其优势在于存储量较大，运行效率也较高，能够提供大规模的电力调节。其二为压缩空气储能，核心原理是将空气压缩并储存于地下洞穴或者压力容器中，在需要时释放压缩空气来推动涡轮机发电，相对于抽水蓄能技术来说，这种储能技术相应速度比较快，而且还可以利用一些废弃的空间进行存储，可以有效节约土地资源。其三为飞轮储

能，主要利用高速旋转的飞轮来储存能力，这一技术的优势在于，电力充足时，电动机带动飞轮高速旋转，将电能转化为机械能储存，而当需要释放能力时，飞轮会带动发电机发电，所以适用于响应速度要求较高的场合，能够为新能源的稳定接入和电网的可靠运行提供有力支持。^[1]

（二）电磁储能技术

电磁储能技术的核心原理基于电磁感应定律，在实际应用中电磁储能技术主要包括电感式储能、超导式储能以及电容式储能等多种形式。电感式储能技术通过电感元件将电能转化为磁场能量，并在需要时将储存的磁场能量转换回电能以供使用。超导能量存储技术主要利用超导材料的零电阻特性，通过超导电流的形式将电能储存在超导体中，提升新能源发电技术的能量利用稳定

作者简介：梁晓军（1986.3-）男，汉族，山西省朔州市右玉县，本科，工程师，研究方向：新能源发电与并网。

性和效率。电容式储能技术需要在电场的作用下积累电荷，并将其储存于电容装置内，在需要时释放能量，在新能源发电技术中电容式储能技术的即时功率和短期储备功率进行有效管理成为可能。^[2]

（三）相变储能技术

在实际应用中，相变储能技术主要通过物质状态的转变来实现能量的储存与释放。在当前的技术发展阶段，常用的储能材料包括储热型的水泥、混凝土、陶粒以及石蜡等，在运行过程中能够相应地转换为热量并释放。在新能源发电技术中，相变储能技术主要应用于太阳能发电和空调制冷等领域。将相变储能技术应用于太阳能发电领域，能够有效地积累和分配太阳能产生的热能，确保电力供应的连续性和稳定性。此外在空调系统中，相变储能技术通过积累和调配温度能量，显著提升了空调系统的运行效率，同时降低了能源消耗和维护成本。

（四）化学储能技术

在新能源发电技术中，化学储能技术具备安装简便、反应迅速等优势，在运行阶段能够更有效地提升能量和功率的效率。因此利用化学储能技术，可以对新能源发电过程中可能出现的不稳定状况进行实时监控并发出预警，为整个电力系统的科学管理提供数据支持，增强供电过程的稳定性和可靠性，实现对电力网络更全面、恰当的管理和控制。此外新能源电站和配电网络等场所是化学储能技术的典型应用领域，在当前的发展阶段化学储能技术在实际应用中面临许多难题。

二、储能技术在新能源发电技术中的应用

（一）在风能电力系统中的应用

在风能发电系统中，合理且科学应用储能技术不仅能够显著提高电压和电流的稳定性，而且能够实现电力网络的实时调控，能够根据实际情况实时优化电力供应；在输出端线路应用储能技术，能在最大程度上发挥系统的放电和储能功能，为增强风电设备的稳定性和安全性能，在风力发电机组中适当安装备用蓄电池储存多余的电能，同时为避免突发故障的影响，需要重视电池设施的正确安装和配置。^[3] 随着科技的快速发展，风力发电实现了持续的技术进步和提升，从而使得风力发电与电网的有效融合成为现实。当前利用储能技术，能够充分挖掘风力发电站在调节电力高峰和补充低谷时段的潜力，由于风力发电设备在运行过程中速度较快且常受到风速变化和塔影效应的干扰，容易产生类似闪电的闪烁现象。

（二）在光伏发电系统中的应用

储能技术在光伏发电系统在实际应用中可以对主电力网的补充角色，然而在具体操作过程中，光伏发电系统在运行时缺乏稳定的即时输出功率，导致其在实际使用中的电力获取效能相对较弱。因此应合理运用储能技术，最大限度地挖掘其潜在价值，从而提升整体新能源发电技术的稳定性，并确保电网运行效果的持续改善。同时在光伏发电系统中应积极应用无功并联储能技术，稳定负载功率，优化系统内电涌的管理，确保电池充放电过程的

平稳性，进一步提升电流的连续性和系统运行的安全性。在实际应用阶段，光伏发电技术常被应用于独立电网连接系统，通过多种技术的综合运用，充分挖掘各项技术的潜力与价值，增强系统的整体平衡性和稳定性，确保新能源发电技术能够安全稳定地运行，为人类日常生活和社会生产活动提供了稳定的电力供应。

（三）在微电网系统中的应用

微电网所覆盖的区域相对较小，既可以与主电网实现有效衔接，也具备独立供电的能力。将储能技术合理且高效的方式融入微电网可以显著增强系统的整体安全性和稳定性。依据当前的实践经验，微电网系统中所应用的储能技术主要包括以下几种类型：第一，超电容储能技术。超电容储能技术在运作过程中，具备将电能转化为电荷并进行储存的功能，在产生用电需求时可通过逆变器释放储存的电荷，从而确保电力资源的充足供应，在实际应用中展现了高效能和长期耐用的特性，常被用于需要小容量和短时间储存电能的场合。第二，纳米钛酸盐储能技术。纳米钛酸盐储能技术在实际应用中，能够实现电力向化学能的转化并进行储存，化学能可以被完整地保存于纳米钛酸盐材料内部，在产生电能需要时能够适时地释放并利用电能，通常适用于大规模和长期的能量存储场景。^[4] 相关人员需要深入研究每项储能技术的优势与潜在风险，基于具体情况制定切实可行的操作策略与计划，并根据实际状况实施应用，充分展现储能技术的效能与价值，确保新能源发电技术持续稳定地运行，为社会的发展和民众的生活提供稳定的电力供应。

（四）在太阳能电力系统中的应用

在太阳能电力系统中，所产生的电力主要通过光伏并网方式向系统输送。为避免电力问题对电网稳定运作产生不利影响，相关人员需要持续探索和完善储能技术，提升设备操作效率和电能输送速度，不断优化输电过程的流畅性和安全性，确保光伏并网的有序进行。为提升储能技术运用成效，需要积极采用包括信息和计算机技术在内的现代技术工具，与储能技术相结合，实现自动化管理的目标，尽量减少联网过程中可能产生的各种潜在问题，从而更加有效地确保系统的整体性能和运行安全。

三、储能技术在新能源发电技术中的优化措施

（一）储能容量的优化配置

在新能源发电技术中，优化储能技术是关键的研究领域之一，有利于储能技术的提升。储能技术的适宜性直接影响储能设备的运行效率、成本投入以及经济效益，因此合理地配置储能规模对于确保系统运行达到最优状态具有重要作用。其一，充分考虑新能源电力供应网络的负载特性及其需求。由于不同地区和时段的负载需求存在差异，因此储能技术与设备的容量配置需要根据实际情况进行适当调整，通过对电网负荷趋势和负载预测数据的精确分析，可以确定所需的储能系统容量范围。其二，在储能设施的配备过程中，需要全面考虑新能源发电技术的波动性与不连续性特点，确保储能技术能够有效地弥补新能源输出的不一致性，从而保障电力网络的稳定供电。其三，在应用储能技术规划

与管理过程中，需要同时考虑其经济利益和成本效益，构建及维护储能技术与设备所需的资金投入是制定优化策略时需要重要考虑的因素。随着储能规模的扩张，相应的资金需求将增加，因此在权衡经济利益与成本效益时，需要做出恰当的平衡决策。^[5]通过经济价值评价与成本效益的对比分析，可以确定最适宜的储能技术规模配置。其四，在评价储能系统时，不仅应重视其稳定性和防护能力，还需要重视储能技术在实际应用中的稳定性和安全性，确保新能源发电正常运行，保障电力网络的稳定。

（二）储能系统运行策略的优化

在储能技术的应用中，实施精细化管理方案是新能源发电技术应用中重要研究问题。精细化的管理方案能够充分释放储能装置的潜能，并提升整体运作的效率与成本效益。^[6]在优化储能设备的管理策略过程中，需要对多种变量进行全面地分析。其一，充放电优化。根据电力负载需求和能源供应状况，制定出理想的充电与放电时机以及电能配置方案，确保新能源供电与需求的平衡，并最大限度地优化储能系统的容量利用。其二，能量管理优化。储能系统全面覆盖能量分配和能效优化管理两个方面。通过实时调整储能设备的充放电模式，使其能够迅速适应电网需求的变化；同时利用精确的算法和调节技术，在储能过程中达到最佳性能，从而提高系统运行的效率和经济效益。^[7]其三，储能系统与电网协同运行优化，储能设备的性能需要与新能源电力系统的运行标准相匹配，例如：为新能源电网频率调节提供迅速的功率调整反馈，通过优化联合操作策略可以促进储能设备与电力网络的互补，从而提高系统整体的运行效率和稳定性。其四，安全管理优化，需要确保储能设备的安全性和可靠性，包括安全监控、故障检测以及安全管理等多个方面。

（三）储能技术与其他能源系统的协同优化

储能技术协同整合与多样化能源系统的联合优化，构成了新

能源发电技术中储能技术发展的核心要素，提升储能解决方案及其他能量系统的管理效能，有助于增强整个系统的综合性能、稳定性和经济效益。其一，与风电、光伏等新能源系统的协同优化。^[8]由于新能源的产出极易受到环境条件的影响，其发电量往往会出现显著的波动，可能会对电力系统的稳定性造成不利影响。然而储能技术能够有效地管理储能设备的充放电过程，从而平滑新能源的发电性能，有助于缓解高峰与低谷时段的能量供需差异，显著提升新能源供电网络的稳定性和电力供应的质量。^[9]其二，与传统能源系统的协同优化。传统能源配置主要包含以煤炭发电和核能发电为代表的基础能源形式，传统能源的输出稳定性较高。然而在对电力系统进行高峰和低谷调节以及应对电力负荷波动时，展现出一定的局限性。通过应用储能技术，可以有效地弥补传统能源的不足，从而增强其调节的灵活性，实现能源供应与需求的更佳匹配，进而降低能量使用的损耗和对生态环境产生的负面影响。其三，与电网系统的协同优化。储能技术可作为配电网的主动电能管理策略，根据供电网络的需求执行储能和放电操作，赋予电网快速响应和灵活控制的能力，实现对电网功率和频率的平衡。^[10]

四、结束语

总而言之，在新能源发电技术中整合储能技术，能够显著提升电力供应的整体质量，并保障电网的稳定运行。由于新能源电站的储存条件与需求因素目前存在差异，所采用的储能技术各有不同。为了充分发掘储能技术在电力转换效率方面的潜力，需要根据各个电力系统的能量转换机制进行针对性的策略制定。面对当前储能技术应用中遇到的问题，需深入研究相关技术细节的优化，提升储能技术在新能源发电技术的性能表现。

参考文献

- [1] 朱文韬, 周杨, 徐艺敏, 等. 电池储能技术在新能源发电系统中的应用与优化 [J]. 储能科学与技术, 2024, 13(08): 2737-2739.
- [2] 郭翠翠. 新能源发电系统中储能系统的运用探讨 [J]. 中国战略新兴产业, 2024, (15): 83-85.
- [3] 梁森, 孔祥允. 独立电池储能电站在新能源发电中的应用探讨 [J]. 中国设备工程, 2024, (08): 94-96.
- [4] 李磊. 大容量储能与输电网投资分析 [J]. 电气技术与经济, 2024, (01): 222-224.
- [5] 黄兆浩, 毕素玲, 刁智伟, 等. 新能源发电侧储能技术的研究与应用 [J]. 电工技术, 2023, (S1): 240-242.
- [6] 许嘉雯. 新能源风力发电系统中储能技术的实践应用 [J]. 应用能源技术, 2023, (11): 43-47.
- [7] 乔亚鹏, 李佳东, 霍敏艳. 碳中和背景下新能源与储能技术的发展研究 [J]. 中国市场, 2023, (04): 4-6.
- [8] 薛澳宇, 马速良, 马可欣, 等. 规模化新能源-储能技术控制策略及商业模式研究 [J]. 电气应用, 2022, 41(08): 52-60+9.
- [9] 黎冲, 王成辉, 王高, 等. 规模化储能技术发展分析与思考 [J]. 电气时代, 2021, (09): 22-28.
- [10] 唐芳纯. 储能在新能源中的应用分析 [J]. 电子世界, 2021, (10): 25-26.

中国与印度尼西亚铁合金矿热炉生产安全对比研究

邬骞, 沈星, 林飞, 牛子儒*

中钢武汉安全环保研究院股份有限公司, 湖北 武汉 430081

摘 要 : 随着国家大力倡导“一带一路”战略方针以及印度尼西亚对镍矿的出口限制和镍铁价格的走低, 大量中资企业积极在印尼投资建厂, 有力地促进印尼经济发展, 其中铁合金行业成绩斐然, 但其安全事故也不断发生。由于国内外铁合金行业采用的工艺、安全要求、环保要求和政府监管要求均不相同, 本文章从国家意识形态、政府监管、法规标准、安全管理水平、设备设施本质安全等维度, 结合矿热炉的主要风险, 客观地对比分析国内与印度尼西亚铁合金行业发展情况, 结合两国铁合金企业安全管理和现场生产现状和特点, 通过现场隐患反应出的问题, 对造成此现状的原因进行简要的分析并提出几点意见, 希望能促进国内外相互交流吸收各自的优点, 保障人权, 减少事故的发生, 促进铁合金行业安全健康发展。

关 键 词 : 铁合金; 印度尼西亚; 矿热炉

A Comparative Investigation into the Production Safety of Ferroalloy Submerged Arc Furnaces in China and Indonesia

Wu Qian, Shen Xing, Lin Fei, Niu Ziru*

Sinosteel Wuhan Safety&Environmental Protection Research Institute Co., Ltd, Wuhan, Hubei 430081

Abstract : With the active promotion of the “Belt and Road” strategy by the national government and Indonesia’s export restrictions on nickel ore, coupled with falling nickel iron prices, a significant number of Chinese enterprises have proactively invested in Indonesia to establish factories. This has effectively contributed to the economic development of Indonesia. Notably, the iron alloy industry has achieved remarkable results; however, safety accidents have been occurring frequently. Owing to differences in processes, safety requirements, environmental protection standards, and government regulations between domestic and foreign iron alloy industries, this article objectively compares and analyzes the development of both domestic and Indonesian iron alloy industries from perspectives including national ideology, government supervision, regulations and standards, safety management levels, inherent safety of equipment and facilities as well as primary risks associated with electric arc furnaces. Furthermore it combines an analysis of safety management practices along with on-site production status and characteristics within iron alloy enterprises in both countries to briefly examine underlying causes for the current situation while offering some suggestions. It is hoped that this will facilitate mutual exchange and learning regarding strengths and weaknesses between nations while safeguarding human rights through accident reduction measures aimed at promoting safe and healthy development within the iron alloy industry.

Keywords : iron alloy; indonesia; mineral furnace

引言

红土镍矿炼精制镍铁是目前生产镍铁合金的主流方法^[1]。印尼的镍储量达2100万吨, 据印尼能源及矿产资源部 (MODI) 统计, 印尼近一半的红土镍矿资源品位高于1.7%, 拥有较为明显的品位优势。根据中国与印尼达成的“一带一路”建设方针、印尼对镍矿出口的管制以及吸引外资入场提升本国冶炼工艺, 越来越多的中国企业选择在印尼当地建立冶炼厂。2024年镍矿产量预计达到2.4亿吨, 伴随着中资企业铁合金产能的不断提升, 作为镍铁冶炼主体设备的矿热炉其相关事故量也在增加。

基于上述情况, 本文针对中国和印尼铁合金矿热炉生产安全现状分析, 对国内外铁合金矿热炉生产现状简要分析描述, 为两国铁合金矿热炉安全生产和发展提出参考意见。

作者简介:

邬骞 (1971-), 男, 本科, 工程师, 注册安全工程师, 冶金、机械铸造安全技术咨询;

沈星 (1987-), 男, 硕士, 高级工程师, 注册安全工程师, 冶金安全技术咨询;

林飞 (1983-), 男, 本科, 工程师, 注册安全工程师, 冶金、机械铸造安全技术咨询;

通讯作者: 牛子儒 (1999-), 男, 硕士, 助理工程师, 金属冶炼安全。

一、矿热炉主要风险

矿热炉主要风险为穿炉、塌料爆炸、煤气中毒^[2]等。

(1) 穿炉：矿热炉出渣口和出铁口属于长期被高温熔体冲刷部位，其耐火层被不断腐蚀后，容易导致熔融金属烧穿与冷却系统中循环冷却水接触，进而发生爆炸事故。

(2) 塌料爆炸^[3]：指矿热炉出铁、出渣时，焦炭层与料层之间出现可燃气体空穴，从而发生覆盖料塌陷造成空穴中可燃气体与外部空气接触爆炸事故，因此对于矿热炉炉况实时监测至关重要。

(3) 煤气中毒：生产硅铁、镍铁矿热炉多为半封闭式矿热炉，生产过程矿热炉炉内会产生煤气，目前矿热炉的炉况仍需人工通过观察口进行观察控制，增加了人员中毒的风险。

二、中国与印尼铁合金企业对比

(一) 安全管理对比分析

1. 印尼安全管理情况

印尼企业的安全管理主要以职业安全与健康管理体系为主^[4]，同时参照部分通用性的安全技术标准（例如 Keselamatan Mesin – Perlengkapan Listrik dari Mesin – Bagian 1: Persyaratan Umum 安全机器 – 机器的电源 – 第1部分：一般要求：SNIIEC 60204-1-2009, Peraturan khusus keselamatan dan kesehatan kerja 职业健康和安全的有关规定：SNI 19-1961-1990, Kegiatan konstruksi, Keselamatan dan kesehatan kerja 施工活动 职业安全卫生：SNI19-0231-1987）等；但是未制定铁合金或矿热炉的针对性的安全生产标准，难以形成成套的安全生产标准化管理体系，企业管理能力仅依靠自觉性和集团内部要求得以提升。

印尼管理制度多是由企业或集团参照国内法律法规相关要求制定后引入，政府对于生产安全的监管薄弱，主要采用企业自查等方式监管，且企业对于管理制度的执行不够。安全管理机构的设立以及安全管理人员的设置未做具体要求，整体呈现粗放式发展模式。

2. 国内铁合金企业安全管理情况

安全法律法规、标准依据体系建设。我国建立了完善的生产安全法律法规标准体系，颁布实施了《安全生产法》《冶金企业和有色金属企业安全生产规定》《冶金企业安全生产标准化评定标准（铁合金）》等法律法规及部门规章文件，同时还制定了专业的技术标准，例如《铁合金生产安全规程》（AQ 2024—2010）、《半封闭矿热炉炉料热装热送技术规范》（GB/T 32973-2016）、《电热装置的试验方法 第11部分：埋弧炉》（GB/T 10066.11-2016）、《电热装置基本技术条件 第2部分：电弧加热装置》（GB/T 10067.2-2005）等，进一步细化指导铁合金行业安全生产。同时，对于场所布置、设备本质化安全、“三新”员工的培训、安全管理人员的设置等也在相关法规标准中提出详细要求。

安全监督管理体系运行。我国安全监管主要依靠行政监管，其监管层次为：中华人民共和国应急管理部——省级应急管理

部门——市（县）级应急管理部门；同时采用国家应急管理部门安全监管“两手抓”的方式，促进引导企业安全生产。此外铁合金生产企业按照《国民经济行业分类》（GB/T 4754-2017），划归为冶金行业，由应急管理部执法工贸局及下属各省市应急管理部门负责对其安全生产进行监督管理。

行业准入条件门槛。为强化行业管理，国家发展改革委颁布实施了《铁合金行业准入条件》办法，推进铁合金工业结构升级，促进企业工艺和装备的提升。

国家安全意识形态。国内各部门高度重视生产安全，近些年先后制定国家安全生产月、全国安全生产专项整治三年行动计划、安全生产治本攻坚三年行动等举措；同时，国内将金属冶炼企业纳入高危行业监管。铁合金行业监管力度对比印尼更为严格。

3. 共性问题分析

员工安全意识较为薄弱，教育培训不到位。岗位人员缺乏对隐患的辨识和判断能力，对岗位风险评估不到位，且未制定针对性安全管控措施。

安全管理制度、岗位操作规程不健全。例如缺少矿热炉开堵眼岗位安全操作规程、设备控制标准、应急预案编制和演练以及日常检查维护标准等。企业的管理较为薄弱急需提升。

(二) 现场设备设施与作业对比分析

1. 印尼企业生产现场情况

1) 矿热炉本质安全水平较低。印尼矿热炉冷却方式多采用炉身外部打水冷却、炉基风冷搭配出铁口和出渣口冷却壁冷却方式^[5]，当发生喷爆和烧穿事故时，熔融金属和熔渣遇水容易造成群死群伤事故。

2) 对6类人员聚集场所设置安全风险认知不足。在矿热炉熔融金属泄漏和喷溅影响范围以及煤粉制备厂房内设置操作室等问题普遍存在，企业对《工贸企业重大事故隐患判定标准》认知不足，对人员聚集场所设置在危险场所可能造成群死群伤事故的风险未识别。

3) 熔融金属吊运和转运区域存在非生产性积水、煤气区域缺少煤气监测报警装置等重大隐患问题普遍存在。相比国内，印尼雨水更为充沛，这也为生产区域非生产性积水的防护和及时清理提出了更高的要求，而印尼对现场管理较为松散，从而导致非生产性积水问题普遍存在，增加了安全风险。

4) 现场联锁缺失严重，自动化程度较低。存在例如设置了煤粉仓氧气含量实时监测，但并未与氮气自动喷吹联锁；外部喷淋打水系统未设置出水温度、进水流量检测报警系统，未与电机断电进行联锁，冷却水系统靠人工现场手动操作等问题。各种联锁缺失严重，控制系统较为落后，部分控制系统需要人工开启，当出现紧急情况时，可能会造成事故的扩大。

5) 仪器仪表缺少检验。印尼仪器仪表的检验较为困难，所需天数、时间和花费的精力、成本远高于国内，导致现场使用的仪器仪表大多超检验周期使用。

6) 特种作业人员的管控不够。人员证件缺失、印尼对特种作业人员的管理力度不够，对其培训考核、持证上岗等与国内存在差异，现场无证人员作业的情况普遍存在。

2. 国内铁合金企业生产现场情况

1) 矿热炉本质安全水平相对较高。在国内法规的引导下,国内矿热炉炉身多已采用冷却壁冷却方式,安全性较高,从而减少穿炉情况的发生。小型矿热炉仍有采用无冷却水的风冷方式。国内伴随钢铁企业快速发展的耐火材料产品,具有种类丰富、技术先进等优点,给与国内矿热炉耐材更多的尝试和发展,在炉体不同部位针对其特点选用耐火材料,使得国内矿热炉的寿命得到提高。

2) 国内安全联锁措施较为完善,自动化、智能化水平较高^[6]。内蒙古和青海为国内铁合金企业分布主要省份,内蒙古铁合金矿热炉和青海省铁合金2WKVA及以上矿热炉已基本实现非人工开眼,占铁合金矿热炉80%左右,青海省2WKVA以下矿热炉仍采用人工开眼。部分铁合金生产企业开堵铁口、加料等已实现远程监控操作,从而减少人与危险源的接触,降低生产风险。

3) 国内铁合金企业众多,部分生产企业在炉龄末期、安全防护破损严重、生产环境恶劣情况下继续生产,从而导致矿热炉炉口腐蚀情况加剧、耐火炉衬在使用寿命期限内提前报废^[7]、炉体运行情况检查不到位,从而导致事故的发生,四川省兴晟铁合金冶炼有限公司“5·25”一般灼烫事故为此现状典型案例。

4) 矿热炉的安全风险与其生产产品和生产工艺相关^[8],造成不同铁合金企业其生产现场工况差异性较大。存在部分铁合金企业在炉身漏水、出铁口侵蚀严重、矿热炉煤气泄漏严重的情况下仍在生产。这种情况多出现在工艺较为落后,建厂时间较长的企业当中。

3. 共同问题

1) 生产现场“5S”建设较差,现场生产条件较为恶劣,劳动保护不到位。铁合金企业现场存放杂物、设备设施腐蚀严重、炉前作业人员劳动保护不到位等情况严重,现场缺少安全防护和警示标识的情况普遍存在。

2) 对粉尘爆炸场所设备选型,消防安全认知不足。部分企业出现矿热炉控制室、水泵房等火灾危险区域火灾报警器缺失,煤粉制备工序温度监测报警缺失等。在煤粉制备、储存所用电器为非防爆型电器,煤粉仓泄爆装置缺失等问题普遍存在。

3) 对于矿热炉产生煤气危险性认知不足。矿热炉生产过程中会产生煤气,然而炉身操作平台区域未按要求设置或未设置固定式一氧化碳监测报警仪、人员进入矿热炉工作平台和炉顶工作未携带便携式一氧化碳监测报警仪等情况却普遍存在。

4. 中国与印尼铁合金企业对比简述

表一 中国与印尼铁合金生产“人物环管”对比表

序号	类别	国内	印尼
1	监管	行政监管为主	企业自主监管为主,行政监管为辅
2	管理体系	在国内完善法律、法规、法令、标准体系指导下发展	国内引进,缺少安全目标、责任制等
3	安全管理人员对比	按照金属冶炼企业1%,部分省份达到2%~3%	缺少专职安全管理人员,但向着管理人员职业化和专业化发展

序号	类别	国内	印尼
4	设备本质化安全水平	投入生产时间不同、工艺不同的主体设备本质化水平差异较大	多数企业投入生产时间较短,但设备本质化基础薄弱,联锁缺失严重
5	矿热炉冷却方式	空冷(小型炉)、炉身冷却壁冷却搭配炉基空冷	炉身外部打水冷却、出铁口和出渣口冷却壁冷却、炉基风冷三者搭配
6	布局方式	小型企业较为紧凑,其余相对宽松	紧凑
7	控制方式	远程控制为主	现场集中控制为主
8	炉前作业每班人员数量	3~5人	7~10人
9	现场重大隐患数量	部分存在	大量存在

三、对策和建议

(一) 印尼建议

1) 以政府为主导建立安全监管体系。印尼政府应加快铁合金生产安全管理监管体系建立,成立必要的体系建设单位,明确职责和任务分工。在政府的领导下,制定总体建设方案,合理规划建设目标、建设阶段、重点工作、进度控制要求等。结合印尼生产现状,把握“一带一路”的机会,学习归纳中国乃至世界先进经验,建成紧密围绕国家总体战略布局的本国特色安全管理监管体系。

2) 加强特种设备及其安全附件全生命周期管理。一是加强特种设备全设计、制造、安装、验收、使用、维护、定期检验、报废等全生命后期管理;二是按照特种设备监察规程建立健全特种设备管理技术电子台账。确保特种设备全生命周期合法合规安全使用。

3) 加强特种作业人员合规性管理。《工贸企业重大事故隐患判定标准10号令》已经明确将特种作业人员持证上岗纳入重大事故隐患。一是梳理自身特种作业人员需求,建立台账,按计划开展取证工作;二是加强相关方特种作业人员核准、监督管理工作。确保特种作业人员依法持证上岗。。

(二) 国内建议

1) 推动矿热炉机械、智能化转型^[9]。推动铁合金企业信息化智能化建设、加强铁合金安全标准化建设、不断提升安全管理能力。树立安全发展新理念落实企业主体责任,推动新建铁合金企业安全管理思路及安全生产标准化创建,建立铁合金新建项目安全管理交流平台,对典型铁合金企业安全风险进行分析加强安全管控要点^[10],及时对落后工艺和老旧设备进行淘汰和更换。

2) 持续推进标准化作业管理。通过行为观察法,不断完善、固化员工作业行为,并融入至岗位安全操作规程或安全操作卡中,以此降低人的不安全行为,减少人员违章造成安全事故。

3) 持续推进标准化体系建设。建议企业以安全生产标准化为抓手,持续推进、完善企业自身法律法规辨识、安全管理机构、

应急管理、设备设施安全、作业行为安全等方面建设，促进企业安全生产管理综合水平再提高。

四、结语

安全生产是人权事业发展的重要成就，其本就是公民人身权力的一种保障。伴随印尼镍铁矿出口禁令和国内铁合金企业不断

涌向印尼，其安全管理缺失、安全监管薄弱和环保要求宽松为其带来国外资本投资的同时，也造成安全事故伤亡人数的增加和人权保障能力的考验。国内近期矿热炉事故的频繁发生也体现出国内铁合金行业仍然存在设备超产和炉龄末期监管缺失等问题。建议双方针对本国铁合金生产出现的不同问题，发挥政府监管职责，企业对相关问题引起重视，不断提升企业标准化创建和运行水平，推动铁合金行业安全发展。

参考文献

[1] 李洋, 柳晓东, 陈超. 印尼“高架回转窑+矿热炉”镍铁冶炼项目技术研究[J]. 铁合金, 2016,47(05):5-9.

[2] 储少军, 曾世林, 黄祖诚, 等. 矿热炉塌料、爆炸事故的成因浅析[J]. 铁合金, 2009,40(02):13-17.

[3] Contreras Serna, Jorge. Case studies in electric arc furnace Off-gases transport and steam explosion onset [D]. Itesm Campus Monterrey, 2018.

[4] Scott, Ferguson and Zsomboky Nick. Electric Arc Furnace Explosions: A Deadly but Preventable Problem. Iron and Steel Technology 14 (2017): 35.

[5] 曹培峰. 锰硅合金矿热炉炉底烧穿事故的原因探讨[J]. 第23届全国铁合金学术研讨会论文集(上), 2014.

[6] 张志斌, 王伟, 刘招俊, 等. 大型矿热炉电极事故原因分析与预防措施[J]. 铁合金, 2015(6):10-14.

[7] 杨芳园. 半封闭锰硅矿热炉电极电爆安全风险与控制[J]. 第26届全国铁合金学术研讨会论文集(下册), 2018.

[8] 杨芳园. 半封闭锰硅矿热炉电极电爆安全风险与控制[C]//中国金属学会铁合金分会, 贵州省经济和信息化委员会, 贵州省科学技术协会, 黔西南州人民政府, 贵州省投资促进局. 第26届全国铁合金学术研讨会论文集(下册). 桂林康密劳铁合金有限公司; 2018:4.

[9] Guoping J ,Zhenhong W ,Yiming D .Revamping design of an EAF automatic temperature measurement and sampling robot [J] . Baosteel Technical Research, 2023,17(03):32-39.

[10] Bojan V ,Damiano P ,Harald K , et al.EAF ECS versus Conventional Electric Arc Furnace: Environment Control versus Transformation Cost Control [C] //中国金属学会(The Chinese Society for Metals).Proceedings of 2018 China Symposium on Sustainable Steelmaking Technology (CSST2018).Danieli Metallurgical Equipment & Service (China) Co., Ltd.;Danieli & C.Officine Meccaniche S.p.A;2018:7.

智能控制在矿山机电一体化系统中的应用

程建平

江西龙鼎企业管理集团南方矿山建设有限公司，江西 上饶 334200

摘 要： 随着矿山开采技术的不断发展，机电一体化系统在矿山生产中的应用越来越广泛，而智能控制技术的引入，则能够为矿山机电一体化系统的自动化、信息化和智能化提供了有力支撑，毕竟矿山开采工程具有系统性和复杂性的特点，对技术的要求极为严格，但因为传统的矿山机电设备控制难度大，效率低下，难以满足现代矿山开采的需求，所以引入智能化技术，不仅能够极大地提升矿山开采的智能化水平，还能提升其生产效率，因此本文旨在探讨智能控制在矿山机电一体化系统中的应用策略，希望能够为中国矿山开采工程的智能化发展提供有益借鉴。

关 键 词： 智能控制；矿山机电一体化；系统

Application of Intelligent Control in Mine Mechatronics System

Cheng Jianping

Jiangxi Longding Enterprise Management Group Southern Mine Construction Co., Ltd., Shangrao, Jiangxi 334200

Abstract： With the continuous development of mining technology, the application of mechatronics systems in mine production has become increasingly widespread. The introduction of intelligent control technology provides strong support for the automation, informatization, and intelligence of mine mechatronics systems. Mining engineering is systematic and complex, with strict technical requirements. However, traditional mine electromechanical equipment is difficult to control and inefficient, making it difficult to meet the needs of modern mining. The introduction of intelligent technology can not only greatly enhance the level of intelligence in mining but also improve production efficiency. Therefore, this article explores the application strategies of intelligent control in mine mechatronics systems, hoping to provide valuable insights for the intelligent development of mining engineering in China.

Keywords： intelligent control; mine mechatronics; system

引言

矿山机电一体化系统是现代矿山企业实现高效、安全生产的重要组成部分，特别是如今随着矿山开采技术的不断进步，传统的机械设备和电气控制系统逐渐难以满足现代矿山生产的需求，而智能控制技术的出现，为矿山机电一体化系统注入了新的活力，使其在自动化、信息化和智能化方面取得了显著进展。其中智能控制技术包括智能传感、PLC（可编程逻辑控制器）、人工智能算法和大数据分析等，通过将这些技术应用于矿山机电一体化系统，可以实现设备的智能监控、故障诊断、优化控制和能效管理，从而提升矿山生产的效率和安全性，降低能耗和维护成本。

一、智能控制系统概述

（一）智能控制系统

智能控制系统，作为现代工业自动化的核心，不仅代表着科技发展的前沿，更是推动工业领域向智能化、高效化迈进的关键力量，因为它依托于计算机技术、信息技术和控制理论等多元科技的深度融合，为机电设备的控制与管理提供了全新的解决方案，其中智能控制系统的核心在于其高度的自动化特性，通过先进的算法和强大的计算能力，它能够实时处理海量数据，并

据此对机电设备进行精准控制，这种自动化不仅极大减少了人工干预的需求，更在很大程度上提升了生产效率和稳定性^[1]；而且响应速度快是智能控制系统的另一显著特点，在面对突发状况或系统变化时，智能控制系统能够迅速作出反应，及时调整控制策略，确保机电设备的稳定运行，这种快速响应能力对于保障生产安全、减少事故损失具有重要意义；除此以外控制精度高则是智能控制系统实现精准控制的关键，因为其通过先进的传感器技术和数据处理技术，能够实时监测机电设备的运行状态，并据此进行微调，确保设备始终处于最佳工作状态，这种高精度控制

作者简介：程建平（1984.8-），男，汉族，江西省德兴市，大专，专业方向：矿山机电一体化。

不仅提升了产品质量，也为企业节约了大量能源和成本；最后智能控制系统还具有很强的适应性。它能够根据环境变化和生产需求自动调整控制策略，确保设备在不同条件下都能稳定运行，这种适应性使得智能控制系统在各种复杂环境下都能发挥出强大的作用^[2]。

（二）PLC 控制系统

PLC（可编程逻辑控制器）是矿山机电一体化系统中的核心控制单元，其具有可靠性高、抗干扰能力强、编程灵活等优点，而通过编程，PLC 能够实现矿山设备的自动化控制，适应各种复杂的控制需求，并且现代 PLC 系统不仅能够完成基本的逻辑控制，还可以通过通信模块与其他设备进行数据交换，从而实现复杂的控制和监控功能，其中 PLC 控制系统在矿山机电一体化系统中的应用非常广泛，例如其可以通过对设备运行参数的实时监测和调节，PLC 控制系统能够确保设备在最佳状态下运行，又或者在矿井通风系统中，PLC 可以实时监测瓦斯浓度、风速和温度等数据，自动调节风机的运行状态，确保矿井内的空气质量达标，提高生产安全性，当瓦斯浓度超过预设安全阈值时，PLC 控制系统会自动启动排风机，并通过报警系统通知操作人员，从而及时采取安全措施，防止安全事故的发生^[3]。

除此以外 PLC 控制系统不仅具有高度的自动化能力，还具有很强的灵活性。其编程可以根据具体应用需求进行调整和优化，适应不同的控制要求，例如在矿山运输系统中，PLC 可以通过对输送带速度、载荷等参数的实时监测和调节，实现输送带的自动启停和速度控制，确保物料的连续、平稳运输，以及 PLC 可以通过与传感器、执行器和上位机系统的联动，实现设备的状态监控、故障诊断和预防性维护，从而提高设备的运行效率和可靠性；最后现代 PLC 系统还具有强大的通信能力，其能够通过各种通信协议与其他设备和系统进行数据交换，例如 PLC 可以通过以太网、Profibus、Modbus 等通信协议，与 SCADA（数据采集与监控系统）、DCS（分布式控制系统）等上位机系统进行通信，实现整个矿山生产过程的集中监控和管理，通过数据的实时传输和共享，PLC 控制系统能够为矿山企业提供全面的设备运行数据和生产信息，从而支持生产决策和优化^[4]。

（三）人工智能算法

人工智能算法在矿山机电一体化系统中的应用，主要体现在故障诊断、预测维护和优化控制等方面，其会通过引入机器学习、神经网络等人工智能算法，去对设备运行数据进行深度分析，并根据分析去发现潜在的故障隐患最终提出优化控制策略，例如通过对矿山设备历史运行数据的分析，人工智能算法可以建立设备的健康状态模型，实现故障的早期预测和预防性维护，这样不仅可以避免设备突发故障引发的停机损失，还可以延长设备的使用寿命，降低维护成本。

（四）大数据分析技术

大数据分析技术在矿山机电一体化系统中的应用，主要体现在数据的采集、存储、处理和分析等方面，如其会通过海量运行数据的分析，去发现设备运行规律、优化控制策略、提升系统效率，而这个分析技术在实际应用中一般会用于设备运行状态的

实时监控与分析，如通过对历史数据的挖掘，发现设备运行中的异常模式和故障规律，提出改进建议，又或者通过对矿井通风系统的大数据分析，去优化风机的运行策略，提高通风效率，降低能耗。

二、智能控制在矿山机电一体化系统中的应用优势

（一）可以提高生产效率

智能控制在矿山机电一体化系统中的应用，可以显著提高其生产效率，因为传统的矿山开采过程往往依赖于大量的人工操作和监控，这不仅耗费了大量的人力物力，而且效率低下，容易出错，而智能控制系统的引入，则可以通过实现对矿山机电设备的自动化控制与管理，极大地减少人工干预的需求，而且智能控制系统能够实时获取设备运行状态数据，通过先进的算法进行快速分析和处理，自动调整设备参数，优化运行流程，这能够使得矿山开采过程更加高效、稳定，提高了整体生产效率，并且对矿山开采过程进行全程监控，确保各个环节的协同作业，进一步提升了生产效率。除此以外智能控制系统还能够实现预测性维护，如通过对设备运行数据的分析，去预测设备可能出现的故障，并根据这个故障提前进行维护和保养，避免了设备因故障停机造成的生产中断，进一步提高了生产效率^[5]。

（二）可以提升安全性

智能控制在矿山机电一体化系统中的应用，可以提升其矿山开采的安全性，毕竟在矿山开采过程中，设备故障、人为操作失误等因素都可能导致安全事故的发生，而智能控制系统则可以通过实时监测设备的运行状态，及时发现并处理故障，有效降低了安全事故发生的概率，例如智能控制系统能够实时获取设备运行状态数据，并通过先进的算法去进行快速分析和处理，一旦发现设备存在异常或故障，立即进行报警和自动处理，这样便能够避免设备故障对人员和设备造成损害，保障了矿山开采过程的安全。除此以外智能控制系统还能够对矿山开采过程进行全程监控，及时发现并处理潜在的安全隐患，例如通过视频监控系统实时监测矿区环境，发现火源或其他危险情况，立即进行报警和处理，有效提升了矿山开采的安全性。

（三）降低维护成本

传统的矿山机电设备维护往往需要大量的人工操作和现场维修，这不仅耗费了大量的人力物力，而且维护效率低下，所以引入智能控制系统便可以通过其实现对设备的远程监控和故障诊断，从而减少现场维修人员的数量和劳动强度，降低了维护成本，其间智能控制系统能够实时获取设备运行状态数据，并通过先进的算法进行快速分析和处理，一旦发现设备存在故障或异常，就会立即进行故障诊断和报警，从而使得维修人员能够迅速定位问题所在，进行针对性的维修处理，避免了不必要的维修和更换成本。除此以外智能控制系统还能够实现预测性维护，通过对设备运行数据的分析，预测设备可能出现的故障，提前进行维护和保养，这能够避免设备因故障停机造成的生产中断和维修成本增加，进一步降低了维护成本。

三、智能控制在矿山机电一体化系统中的应用策略

（一）数据采集与监控

在矿山机电一体化系统中，智能控制系统的数据采集与监控功能是至关重要的，因为只要通过安装传感器和其他数据采集设备，智能控制系统便能够实时获取矿山机电设备的各种参数，如温度、压力、振动等，这些数据不仅反映了设备的当前运行状态，还为后续的分析和决策提供了基础，而且在数据采集过程中，智能控制系统能够确保数据的准确性和实时性，这对于矿山开采的安全和效率至关重要；再加上其通过对数据的实时监控也可以能够及时发现设备的异常情况，从而采取必要的措施避免故障的发生；除此以外智能控制系统还能够对采集到的数据进行分析处理，提取有价值的信息，为矿山开采工程提供决策支持。因此为了实现全面的数据采集与监控，智能控制系统需要与其他信息系统进行集成，如企业资源计划（ERP）系统、制造执行系统（MES）等。通过信息共享和协同工作，智能控制系统能够更好地服务于矿山开采的全过程，提升整体运营效率和安全性^[6]。

（二）自动化控制

智能控制在矿山机电一体化系统中的应用策略之一是自动化控制，例如其通过设定特定的规则和算法去对矿山机电设备进行自动化控制，最终实现设备的智能化运行，其间自动化控制策略可以根据矿山的生产计划和环境条件进行调整，例如在生产高峰期，系统可以自动调节设备的运行速度和负荷，以满足生产需求；而在环境恶劣或设备老化的情况下，系统可以调整控制策略，确保设备的稳定运行；除此以外智能控制系统还能够实现设备的远程控制和联动控制，其通过远程监控界面，操作人员可以在任何地点对设备进行控制和管理^[7]；而且通过联动控制策略，系统可以实现不同设备之间的协同工作，提高矿山开采的协同性和智能化水平，总之自动化控制策略的应用不仅可以提高矿山开采的效率和安全性，还能进一步降低人工操作的难度和成本。这对于提升矿山企业的竞争力具有重要意义。

（三）故障诊断与预警

智能控制系统在矿山机电一体化系统中的应用策略还包括故障诊断与预警功能，其通过实时监测设备的运行状态和参数变化便能够及时发现设备可能出现的故障并进行预警，例如当设备出现故障时，智能控制系统就能够自动诊断故障原因并提供解决方案，从而大大减少故障排查和修复的时间成本以及提高设备的可用性和生产效率，同时系统还能够记录设备的故障历史数据，为设备的维护和管理提供数据支持，由此可见故障诊断与预警功能的应用不仅可以降低设备故障对生产的影响，还能提高矿山开采的安全性和稳定性，这对于保障矿山企业的正常运营和可持续发展具有重要意义。

（四）智能化点检系统

智能化点检系统是智能控制在矿山机电一体化系统中的重要应用策略之一，因为其能够通过在线监测和离线点检相结合的方式去对矿山机电设备进行全面检查和维护，例如在线监测功能能够实时监测设备的运行状态和性能参数，确保设备的正常运行，一旦发现设备存在异常情况或性能下降等问题，系统会立即进行报警并通知相关人员进行处理，这能够避免设备故障对生产的影响并延长了设备的使用寿命；至于离线点检则是对设备进行定期的检查和维护，如其通过定期对设备进行全面检查和维护保养等操作可以及时发现并解决潜在问题从而确保设备的长期稳定运行并降低故障率，由此可见智能化点检系统的应用不仅能够提高设备的可靠性和使用寿命，还能降低维护成本和人力投入，这几个有利因素对于提升矿山企业的经济效益和竞争力具有重要意义^[8]。

四、结语

总而言之，智能控制在矿山机电一体化系统中的应用是矿山开采工程智能化发展的重要方向，企业通过应用智能控制技术，可以实现对矿山机电设备的自动化控制与管理，从而提高其生产效率、降低维护成本、提升安全性，为矿山开采工程的智能化发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 牛宁伟. 智能控制在矿山机电一体化系统中的应用[J]. 世界有色金属, 2017(15): 53.
- [2] 刘泽华, 赵丽. 智能控制及其在机电一体化系统中的应用[J]. 通讯世界, 2016(18): 238-239.
- [3] 王成勤, 李威, 孟宝星. 智能控制及其在机电一体化系统中的应用[J]. 机床与液压, 2018(8): 280-282.
- [4] 商吉祥. 智能控制在机电一体化系统中的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2017(9): 149-150.
- [5] 王翠翠, 田欣, 刘云飞. 智能控制在机电一体化系统中的应用[J]. 数字通信世界, 2018(5): 210.
- [6] 杨彩霞. 智能控制技术在金属矿山机电控制系统中的应用探索[J]. 世界有色金属, 2018(14): 29-30.
- [7] 郭鹏意. 浅议机电一体化系统中智能控制的应用[J]. 能源与节能, 2017(6): 180-181.
- [8] 张广宁. 智能控制技术在机电一体化系统中的应用[J]. 职业, 2018(9): 115-116.

煤炭行业招标采购模型研究及国产化替代分析

杨博

中国煤炭开发有限责任公司，北京 100010

摘要： 本文旨在构建煤炭行业招标采购模型，并分析国产化替代的可行性。文章探讨了设备选型的重要性，分析了影响国内外设备选择的因素，并提出了优化招标采购模式和推动国产化替代的策略。通过构建招采数据模型，为企业提供决策支持，并通过案例分析展示了国产设备替代的成功实践，强调了其对降低成本、提升效率、保障供应链安全、促进技术创新和环境保护等方面的积极作用。

关键词： 煤炭行业；招标采购；国产化替代；数据模型；供应链安全

Research on Bidding and Purchasing Model in Coal Industry and Analysis of Localization Replacement

Yang Bo

China Coal Development Corporation Limited, Beijing 100010

Abstract： This article aims to construct a bidding and purchasing model for the coal industry and analyze the feasibility of localization replacement. The paper explores the importance of equipment selection, analyzes the factors influencing the choice of domestic and foreign equipment, and proposes strategies for optimizing the bidding and purchasing model and promoting localization replacement. By constructing a bidding and purchasing data model, it provides decision support for enterprises. Case studies are presented to demonstrate successful practices of replacing imported equipment with domestic alternatives, emphasizing their positive impact on reducing costs, improving efficiency, ensuring supply chain security, promoting technological innovation, and environmental protection.

Keywords： coal industry; bidding and purchasing; localization replacement; data model; supply chain security

引言

煤炭行业作为我国能源体系的重要组成部分，长期以来为国家经济发展提供了强有力的能源支撑。煤炭设备选型对提升工程效率、确保安全及增加经济效益扮演着关键角色，错误的选型可能会导致生产效率下降、安全事故频发以及经济效益受损等严重后果。在这种背景下，为降低成本、提高效益，煤炭企业需不断优化招标采购模式，加强人才培养，提升风险防控能力。同时，推动国产化替代，利用国产设备的技术进步、成本优势和政策支持，降低对进口设备的依赖，增强供应链稳定性，保障国家能源安全。

一、介绍

（一）煤炭开采是全球能源生产的基石

煤炭作为我国能源体系的核心组成部分，其需求量持续攀升，推动了煤炭生产设备技术层次和装备标准的不断提升。投资于先进设备对于维系企业的市场竞争力和实现持续发展具有至关重要的意义。

（二）煤炭工程中的设备选型策略

在煤炭工程中，设备选型是提高生产效率、保障安全、降低成本、适应矿井条件、推动技术进步和实现节能减排的关键。合

理选型能确保生产流程顺畅，提升开采速度，减轻工人负担，同时降低事故风险。考虑设备的维护简便性和配件供应，可以减少运营成本。设备需适应复杂多变的矿井环境，以发挥最佳性能^[1]。采用国内外先进设备，如高性能采煤机和挖掘机，有助于提升技术水平。此外，选用节能环保设备，有助于构建绿色矿山。因此，设备选型需紧密结合工程实际，综合考虑性能、可靠性等要素，以促进煤炭产业的高效、安全和可持续发展。

（三）煤炭行业现有的招标和采购模式

煤炭行业招标采购模式变革，以适应技术、经济、监管和供应链变化。竞争性招标降成本，环保法规促绿色采购，全球供应

链风险需重新评估采购策略。行业内通过创新、精益管理、产业联盟推动升级，与供应商建立稳定关系，运用数字平台提升效率。面对多重风险，企业需风险评估与缓解策略，追求可持续发展和运营卓越，持续研究和改进采购实践，确保长期成功和韧性^[2]。

（四）分析影响国内外设备选择的因素

在煤炭工程中，设备选择至关重要，技术特性、环境法规遵守、供应链稳定性、基础设施兼容性及长期维护服务是关键考量。外国设备虽技术先进，但可能不兼容现有设施，且面临供应风险。相比之下，国产设备更符合环境标准，易于集成，且得益于政府政策支持，有利于本地经济和就业^[3]。本地采购减少了国际物流依赖，降低了供应中断风险。国内设备在维护和服务上更快捷、成本效益高。因此，煤炭开采设备选择需综合经济、技术、监管因素，权衡短期成本与长期可持续性，国产设备在多方面具有优势，对促进本地经济发展具有重要作用。

二、煤炭工程企业招采策略

在当今煤炭产业转型升级的关键时期，煤炭工程项目的成功与否，不仅取决于先进技术的应用和施工管理的效率，更在于煤炭企业的招采策略。在当今市场经济的背景下，设备的质量对工程建造的影响逐渐上升，对采购的要求越加严格，不仅要满足工程建设的要求，又要使设备、技术、使用价值和工程成本得到保证。但是，目前企业运行的招标模式是不够完善的，在设备招标采购过程中由于招标人员对设备性能、用途、技术发展趋势及技术更新缺乏了解，使采购的设备不能满足工程需要^[4]。

（一）招标类型

招标是煤炭采购关键步骤，分为公开、封闭式（邀请）和两阶段招标。公开招标提高市场竞争力和透明度，封闭式招标提升效率，适用于专业采购，两阶段招标先技术后价格。招标需明确技术规范，评标考虑成本、质量等维度，确保公平。最终商务合同详列条款，保障双方权益，奠定合作基础。

（二）集中采购与分散采购

集中采购由中央机构统一协调，保障了采购的一致性与规模经济效益。而分散采购则由各场矿自行管理，以实现操作的灵活性和满足特定的定制需求。在合同策略上，长期合同旨在确立稳定的供应伙伴关系，保障持续供应；框架协议则通过预先设定的采购条款，加快重复采购流程，增强效率。

（三）综合采购策略

将维护和运营成本纳入采购考量，以实现长期成本效益。推动创新激励，促进供应商采纳尖端技术。确保新购设备的兼容性与集成性，以便与现有系统无缝对接。进行风险评估，洞察供应链及采购流程中的潜在威胁，并制定应急计划以缓解和管理这些风险。应对全球供应链挑战，修补中断漏洞，同时顺应本地化趋势，优先考虑本地采购。推进数字化转型，通过电子采购和数字平台整合，打造简洁透明的采购流程^[5]。利用人工智能和大数据分析，增强招标与采购决策的数据支撑。

三、招采数据模型构建

（一）数据收集

在煤炭企业招标采购过程中，数据收集主要围绕供应商信息、设备参数、市场价格数据以及工程技术类内容展开。对于供应商信息，需全面了解企业的背景、资质等级、历史合作记录、是否通过质量管理体系认证、技术研发能力以及市场声誉。这些信息帮助我们综合评估供应商的可靠性和合作潜力。在设备参数方面，要详细记录设备的型号、技术规格、性能指标、操作条件、维护要求以及安全性能，这些数据是评价设备性能和适用性的关键。接着，市场价格数据的收集涉及市场报价、历史交易价格、行业价格走势以及原材料成本波动、汇率变动等宏观经济因素，这对于成本控制和预算编制具有指导意义。而工程技术类内容涵盖了技术标准符合性、技术创新程度、技术适应性和技术升级潜力，这些数据有助于企业评估设备的技术实力和未来的发展潜力。通过采用系统化和结构化的数据收集方法，能够确保数据的准确性和完整性，从而为采购决策模型的构建提供强有力的数据支撑。

（二）数据处理

在煤炭企业招标采购模型研究中，数据处理环节是对收集到的数据进行清洗、整理和预处理的必要步骤。该过程包括识别并剔除异常值、纠正数据错误、填补缺失值、统一数据格式和量纲，以及进行必要的数据转换和归一化处理^[6]。通过对数据进行标准化操作，确保数据的一致性和可比性，从而提升数据集的整体质量。这些预处理措施为后续模型的建立和分析提供了准确、可靠的数据基础，是保障研究结果有效性的关键所在^[7]。

（三）指标体系构建

在构建煤炭企业供应商评价指标体系时，需充分考虑行业特性，确保指标体系的全面性与针对性。体系应包括价格指标，如投标报价、性价比分析；质量指标，涵盖产品稳定性、耐用性、故障率等；售后服务指标，包括响应时间、维修服务网络覆盖、备件供应情况。同时，还应考虑供应商的交货期、生产能力、研发能力、财务状况、管理体系认证等辅助指标。通过这些多维度的指标，形成一套系统化的评价框架，以科学、客观地评估供应商的综合实力，为煤炭企业招标采购提供决策支持。

（四）模型建立

结合熵权法和模糊综合评价法，构建煤炭企业招采数据模型，旨在客观赋权并综合评价供应商。熵权法依据数据本身的信息熵确定权重，反映指标相对重要性，增强评价客观性。模糊综合评价法则处理评价过程中的不确定性和模糊性，通过构建模糊关系矩阵，实现定性与定量相结合的评价^[8]。两种方法相辅相成，形成一套系统评价机制，为煤炭企业招采决策提供量化支持。

（五）模型应用

在煤炭企业招标采购实践中，招采数据模型的应用至关重要。模型通过输入实际招标采购数据，输出各供应商的综合评分，为企业决策层提供直观的决策依据。具体应用过程中，企业可根据模型结果对供应商进行排序，筛选出最优候选者，同时，

模型还能辅助识别潜在风险，优化采购策略。此外，模型的应用有助于提高招标采购的透明度和效率，降低人为干预风险，确保采购活动的科学性和公正性。通过不断地实践反馈和模型调整，企业能够不断完善招采流程，提升采购管理水平。

四、国产化替代分析

（一）国产设备替代的必要性

在煤炭企业招标采购模型研究中，地缘政治和经济风险考量是一个重要的维度。原籍国的政治经济稳定性对设备采购决策产生深远影响。国产设备的选用因其不易受地缘政治紧张局势和货币波动的影响，成为更加可靠的选择。国产设备在煤炭业的经济影响显著，其生产行为不仅促进了就业市场的繁荣和经济增长，还通过支持本地供应商和制造商，激发了经济连锁反应，增强了国内供应链的弹性。提高国产设备的利用率有助于缓解贸易赤字和确保资金在国内循环，对经济平衡产生正面影响。此外，国内制造业的繁荣推动了研发活动的增加和技术创新，带动了基础设施投资的增长，促进了先进制造设施的建立与发展，提升了国家的经济基础设施水平^[9]。增加对国产设备的依赖提升了国家的经济安全性，尤其是在全球经济波动不安的时期，并且国产设备的生产为政府带来了稳定的税收收入，这些税收可用于公共服务的再投资，进一步支持经济生态系统的持续健康发展。

（二）国产设备在煤炭工程中的应用优势

在煤炭工程领域，国产设备的替代优势尤为明显。技术层面，我国企业创新成果显著，国产设备技术已达国际标准，为替代提供了技术保障。成本方面，国产设备凭借较低的劳动力与原材料成本，以及优化的运输和售后服务，展现出价格优势。政策上，政府出台多项措施支持国产设备研发与替代，为煤炭工程提供了政策保障^[10]。市场优势方面，国产设备在本土市场信息获取和客户需求满足上更具优势，加之更便捷的售后服务，使其在煤炭工程中的应用日益广泛，推动了产业升级和可持续发展。

（三）国产设备替代的案例分析

ZT 煤炭集团，作为我国大型煤炭生产企业之一，长期以来在矿井设备采购上依赖进口。近年来，为了响应国家能源安全和国产化替代的号召，ZT 煤炭集团开始尝试国产矿井设备的替代工

作，并取得了显著成效。

1. 替代背景：过去，ZT 煤炭集团的主要矿井设备如采煤机、输送带、提升机等，大多依赖进口，导致成本高昂且维护困难。随着国内矿井设备技术的不断成熟，集团决定在部分矿井开展国产设备的替代试点。

2. 技术评估与选型：ZT 煤炭集团首先对国内矿井设备生产企业进行了全面的技术评估，选择了几款性能指标接近或达到国际标准的国产设备进行试运行。经过严格的测试和对比，集团选定了 XX 品牌的采煤机和 YY 品牌的输送带作为替代产品。

3. 替代实施：在选定国产设备后，ZT 煤炭集团制定了详细的替代计划。在小范围进行试运行，对国产设备在实际工作中的性能、稳定性和可靠性进行验证。在试运行期间，国产设备表现良好，各项指标均达到预期。

4. 经济效益分析：经过一段时间的运行，国产设备在成本上展现出了明显优势。与进口设备相比，国产设备的采购成本降低了约 30%，维修保养成本降低了约 50%。此外，由于国产设备的本土化服务优势，维修响应时间和备件供应周期大幅缩短，进一步提高了生产效率。

5. 挑战与对策：在替代过程中，ZT 煤炭集团也遇到了一些挑战。例如，部分国产设备在耐用性和精确度上与进口设备仍有差距。为此，集团与设备供应商建立了长期的技术交流机制，共同推进产品升级和技术创新。

6. 替代成果：经过几年的努力，ZT 煤炭集团成功在多个矿井实现了国产设备的替代，不仅降低了生产成本，还提升了矿井的整体运营效率。国产设备的稳定运行，也为集团带来了良好的社会效益，展现了国产设备在煤炭行业的应用潜力。

五、结束语

本文深入探讨了煤炭行业招标采购模型构建与国产化替代策略，为提升产业竞争力和保障能源安全提供了理论支持。未来，煤炭企业需持续优化招标采购流程，提升模型精准度，同时积极推动国产设备替代，降低成本、增强供应链韧性。政府应完善政策体系，助力国产设备研发和应用，共同推动煤炭产业转型升级，为国家能源安全和经济可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1] 张海兰. 基于经济批量模型的煤矿企业采购成本方案优化 [J]. 煤炭技术, 2014, 33(02): 241-243. DOI: 10.13301/j.cnki.ct.2014.02.102.
- [2] 田弼尹. 煤矿物资招采策略研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2023, (22): 90-92. DOI: 10.13487/j.cnki.imce.024436.
- [3] 裴孟忠. 基于博弈的煤矿设备招标采购模型研究 [J]. 煤炭工程, 2008, (10): 107-109.
- [4] 张明会. 浅议煤矿设备招标采购中的问题与对策 [J]. 中小企业管理与科技 (中旬刊), 2016, (05): 26-27.
- [5] 吕益, 王修宏. 进口采煤机国产化替代技术研究与创新 [J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(S2): 170-173.
- [6] 刘轶, 郑志刚. 特大型煤矿企业设备管理模式研究 [J]. 设备管理与维修, 2020, (02): 36-37. DOI: 10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2020.01D.18.
- [7] 王鑫, 牛志钧. 露天煤矿电铲提升电动机国产化研制 [J]. 矿山机械, 2020, 48(02): 59-63. DOI: 10.16816/j.cnki.ksjx.2020.02.012.
- [8] 周玉峰, 宋应金. 煤矿进口压风机专用润滑油的国产化替代 [J]. 煤炭技术, 2019, 38(07): 198-200. DOI: 10.13301/j.cnki.ct.2019.07.067.
- [9] 姜淳. 实现煤矿高端装备国产化 [N]. 中国煤炭报, 2008-08-11(002).
- [10] 韩冰. 重大煤矿技术装备在沈实现国产化 [N]. 沈阳日报, 2010-12-09(A02).

某大桥船撞事故后应急评估与处治设计

武建中¹, 杨子楠²

1. 广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司 / 广东和立交通养护科技有限公司, 广东 广州 510000

2. 广东和立交通养护科技有限公司, 广东 广州 510000

摘 要 : 广东某大桥主桥为预应力混凝土 T 形刚构 + 挂梁型式, 2023 年 11 月突发船舶撞击主桥挂梁的事故, 导致挂梁边梁严重受损, 预应力钢丝断丝率 16.7%, 受拉钢筋全部断裂。但本桥处于国道上, 中断交通社会影响大, 因此需结合检测报告和设计图纸进行分析评估, 论述当前保通的可行性, 并提出永久处治方案, 尽快恢复以降低社会影响。验算评估在有限元模拟结构损伤分析的基础上, 考虑将保通车道偏载在非受损梁片另一侧的工况, 各片梁结构承载能力和应力水平基本可控, 具备保通条件, 并按双车道保通进行实施。综合考虑安全耐久、施工快捷及对现场桥上交通和桥下通航影响等因素, 提出受损梁板更换与维修加固方案。最终推荐的维修加固方案, 采用破损修补、增设体外预应力索和粘贴钢板提高结构承载能力和抗裂性能, 并按原设计规范名义拉应力控制, 解决破损处修补混凝土的抗裂问题。

关 键 词 : 应急; 评估; 偏载; 体外预应力索

Emergency Evaluation and Treatment Design after a Ship Collision Accident on a Bridge

Wu Jianzhong¹, Yang Zinan²

1. Guangdong Provincial Transport Planning and Design Research Institute Group Co., Ltd./Guangdong Heli Transportation Maintenance Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

2. Guangdong Heli Transportation Maintenance Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : The main bridge of a bridge in Guangdong Province is of the prestressed concrete T-shaped rigid frame + suspended beam type. In November 2023, a sudden ship collision accident occurred on the suspended beam of the main bridge, resulting in severe damage to the side beam of the suspended beam. The prestressed steel wire breakage rate was 16.7%, and all tensioned steel bars were fractured. However, this bridge is located on a national highway, and the social impact of traffic interruption is significant. Therefore, it is necessary to analyze and evaluate the current feasibility of ensuring traffic based on inspection reports and design drawings, and propose a permanent treatment plan to restore it as soon as possible to reduce social impact. Based on the finite element simulation of structural damage analysis, the calculation and evaluation consider the working condition of offsetting the traffic lane to the other side of the non-damaged beam. The bearing capacity and stress level of each beam structure are basically controllable, meeting the conditions for ensuring traffic. The implementation follows the dual-lane traffic insurance plan. Considering factors such as safety, durability, quick construction, and impact on on-site bridge traffic and navigation under the bridge, a plan for replacing damaged beams and plates as well as repair and reinforcement is proposed. The final recommended repair and reinforcement plan adopts damage repair, adds external prestressed cables, and applies steel plates to improve the structural bearing capacity and crack resistance. It also controls the nominal tensile stress according to the original design specifications to address the crack resistance of the repaired concrete at the damaged location.

Keywords : emergency; evaluation; eccentric load; external prestressing tendon

一、概述

(一) 项目概况

某大桥位于国道 G228 上, 跨越磨刀门水道, 跨径组合为 (16 × 16+5 × 30+1 × 70+2 × 110+1 × 70+3 × 30+20 × 16)m, 桥梁全长 1180m。主桥上部结构为预应力混凝土 T 形刚构 + 30m 预应力混凝土挂梁, 主墩为双薄壁墩; 引桥上部结构为预应力混凝土简支

T 梁, 下部结构为双柱式桥墩。桥面横向布置为 10.5m (行车道) + 2 × 1m (人行道) = 12.5m。设计荷载为汽车 -20 级、挂车 -100 级, 人群荷载 3.0kN/m²。

桥位处水道为国家 I 级航道, 采用双孔单向通航, 通航净空为 2 × (90 × 22) m。

(二) 船撞事故及病害情况

2023 年 11 月 30 日中午, 一船只在河道下游往上游行驶过程

作者简介: 武建中 (1979—), 男, 高级工程师, 2002 年本科毕业于西南交通大学土木工程专业, 获得学士学位, 2010 年毕业于华南理工大学建筑与土木工程专业, 获得工程硕士学位, 现在广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司 / 广东和立交通养护科技有限公司从事桥梁新建、改扩建及加固维修设计工作。

中，碰撞本桥梁体，造成主桥第24跨（通航孔）挂梁下游侧外边梁跨中严重损伤。

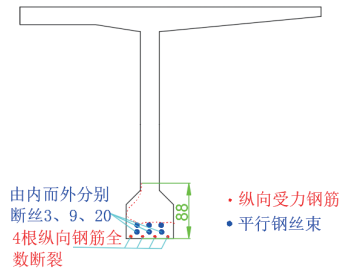


> 图 1.1 船只撞击桥梁现场



> 图 1.2 24-5#T 梁损伤近照

经现场检查，外边梁马蹄底缘纵向4根钢筋全部断裂，底排3束预应力钢束断丝共计32丝，占全部预应力钢丝的16.7%。梁体混凝土破损范围纵向长约3m，竖向高度范围最大约0.9m，T梁底部2层共6束预应力钢丝均已露出。现场检测揭示挂梁未产生明显横向位移，桥面无明显异常。主桥上部承重构件技术状况为“4类”。

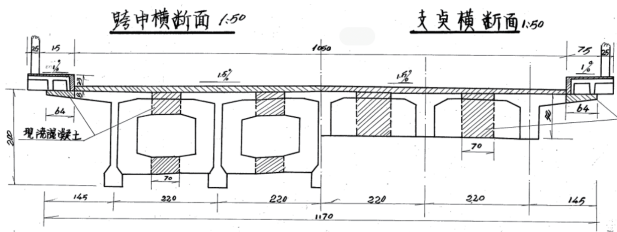


> 图 1.3 病害情况梁截面图

经专项检测，本桥24-5#挂梁检算系数Z1为1.08，恶化系数 ξ_e 为0.0592，截面折减系数 ξ_c 为0.98，钢筋截面折减系数 ξ_s 为0.99。

（三）第24#跨挂梁结构信息

挂梁为30m 预应力混凝土简支T梁，两端设牛腿，梁高2m，梁间距2.2m，横向布置5片。梁体采用40#混凝土，每片T梁布设8束24 Φ 5、标准强度 $R_y^b=1600\text{MPa}$ 的预应力高强钢丝。

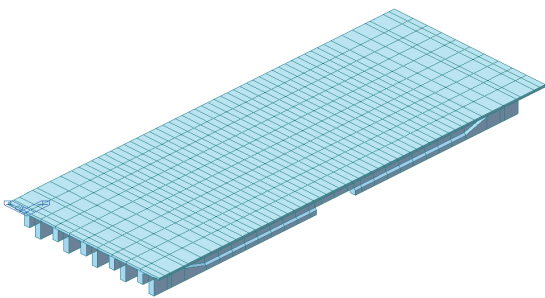


> 图 1.4 第24#跨挂梁横断面图

二、撞击受损后现状评估

发生船舶撞击桥梁事故后，从安全考虑，主管部门及时对桥面交通进行封闭。同时考虑本桥处在国道上，长期中断交通社会压力大，需及时对现状受损后桥梁的结构安全性进行评估，以尽快确定何时开放交通或部分开放交通。

主桥参照竣工图建模，按原设计《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTJ 023-85）进行验算。采用有限元软件Midas Civil建立单梁和梁格模型，模拟实际局部破损情况，进行结构承载能力和正常使用极限状态验算评估^{[1][2][3]}，梁格模型如图2.1。



> 图 2.1 梁格模型图

（一）承载力极限状态

表 2-1 单梁模型破损后抗力验算

组合	验算位置	弯矩效应 (kN.m)	抗弯承载力 (kN.m)	安全系数
组合 I、II	边梁跨中	6602	7092.4	1.07
组合 III	边梁跨中	7281	7092.4	0.97

结论：T梁抗弯承载力在组合 I、II 下可满足，在组合 III 下不满足 85 规范要求。

（二）正常使用极限状态验算

考虑被撞边梁局部破损严重，梁体刚度有削弱，影响横向分配，故按梁格模型进行验算。

表 2-2 截面法向拉应力统计表

组合	上 / 下缘	最大值位置	应力值 (MPa)	规范限值 (MPa)
组合 I	上缘	—	未出现	2.08
	下缘	跨中	1.5	2.08
组合 II、III	上缘	—	未出现	2.34
	下缘	跨中	11.7	2.34

表 2-3 截面主拉应力统计表

组合	最大值位置	应力值 (MPa)	规范限值 (MPa)
组合 I	支点	4.5	2.08
组合 II、III	支点	12	2.34

表 2-4 截面法向压应力统计表

组合	上 / 下缘	最大值位置	应力值 (MPa)	规范限值 (MPa)
组合 I	上缘	跨中	6.9	14
	下缘	1/4L	11	14
组合 II、III	上缘	跨中	10.7	16.8
	下缘	1/4L	10.7	16.8

表2-5截面主压应力统计表

组合	最大值位置	应力值 (MPa)	规范限值 (MPa)
组合 I	支点	12.6	16.8
组合 II、III	支点	15.6	18.2

结论: T 梁发生破损后, 按正常使用极限状态主拉应力及法向拉应力均不满足 85 规范要求, 其余均可满足。

(三) 考虑行车道偏载工况的验算

结合上述 2.2 验算结果, T 梁撞击破损后按原设计荷载组合验算不满足规范要求。考虑结构安全和恢复通行的迫切性, 结合行车道总宽为 10.5m, 按 5# 梁侧围蔽、偏载至横桥向另一侧通行两车道, 试算结果如下:

表2-6破损后两车道偏载通行情况下5# 边梁拉应力

组合	上 / 下缘	应力值 (MPa)	规范限值 (MPa)
组合 I	上缘	未出现	2.08
	下缘	未出现	2.08
组合 II、III	上缘	未出现	2.34
	下缘	未出现	2.34

结论: 破损后全封闭或偏载另一侧两车道通行情况下, 边梁未出现拉应力, 评估现状边梁的安全风险不大, 结构安全。

表2-7破损后两车道偏载通行情况下5# 边梁压应力

组合	上 / 下缘	最大值位置	应力值 (MPa)	规范限值 (MPa)
组合 I	上缘	—	4.5	14
	下缘	跨中	11.1	14
组合 II	上缘	—	7.12	16.8
	下缘	跨中	11.55	16.8
组合 III	上缘	—	6.15	16.8
	下缘	跨中	11.1	16.8

结论: 5# 边梁船撞破损后, 两车道偏载另一侧通行情况下, 边梁下缘最大压应力满足 85 规范要求。

三、应急处治方案分析

(一) 设计目标

结合桥梁损伤情况, 依据检测报告和相关图纸进行验算, 根据验算结果提出处治方案, 以便尽快恢复桥梁结构安全和正常通行。综合考虑安全可靠、施工快捷、造价适中、对现场桥上交通和桥下通航影响小等因素。

(二) 重点影响因素

(1) 梁体存在预应力钢束断丝、纵向钢筋断裂, 首先需恢复结构的安全性;

(2) 结构损伤严重, 处治后需保证结构的耐久性;

(3) 桥梁日均交通车流量约为 21000 辆, 及时恢复交通压力大, 处治方案应方便快捷, 同时需考虑施工期间的通行性;

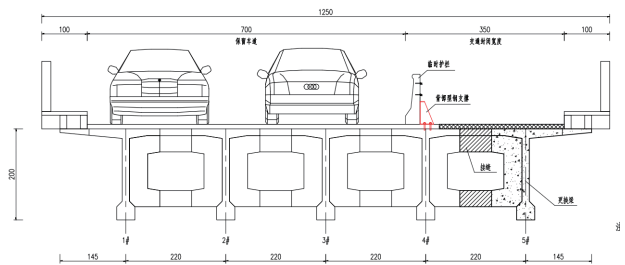
(4) 桥下船舶流量大, 处治方案施工期间尽量不影响通航净空。

(三) 处治方案比选

1. 方案一: 更换受损梁片

对 24-5# 边梁进行更换, 新换梁片尺寸按原竣工图, 梁高

2m, 梁顶面宽 2.2m, 跨中腹板 18cm。预应力钢束采用钢绞线, 预应力度适当加强。更换边梁处人行道及护栏按原竣工图进行设计。



> 图 3.1 更换梁片横断面图 (单位: cm)

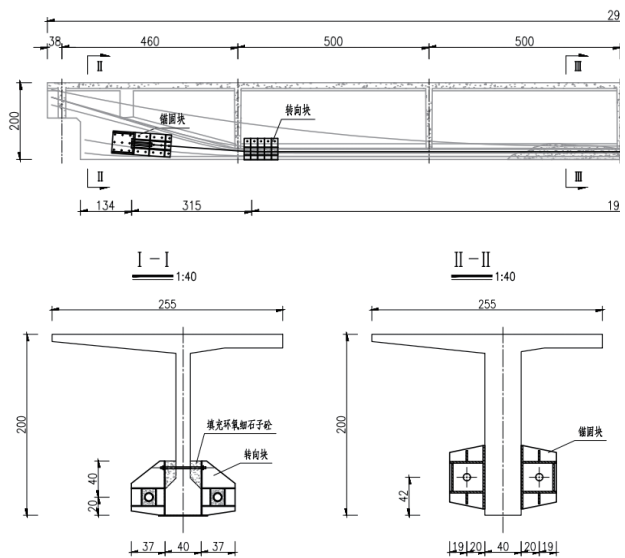
2. 方案二: 既有结构加固

(1) 加固技术标准:

按原设计汽车 -20、挂车 -100、人群 3.0kN/m²。

(2) 方案简述

对受损梁片局部采取 UHPC 修复^[4], 对断掉的预应力钢丝采用体外预应力进行补偿加固^{[5][6]}, 并采取粘贴钢板等措施控制修补混凝土的抗裂和提高结构冗余度, 使结构在较短时间内恢复承载能力和耐久性^[7]。



> 图 3.2 梁体破损修复示意图 (单位: cm)

(3) 加固计算分析

1) 体外预应力束加固

考虑梁体受船舶撞击, 预应力钢丝断丝率为 16.7%, 梁体承载能力和正常使用极限状态不满足 85 规范要求。结合边梁上下缘的应力水平, 本次拟采用腹板处左右各张拉 1 束 $\phi 15.2-3$ 的体外预应力束进行加固, 张拉控制应力为 1116MPa^[8]。体外预应力束满足可调可换, 以便后续调整索力。

2) 体外束加固梁体承载能力计算

表3-1 抗弯承载力验算

组合	验算位置	弯矩效应 (kN.m)	抗弯承载力 (kN.m)	安全系数
组合 I、II	边梁跨中	6361.5	8806.6	1.38
组合 III	边梁跨中	7040	8806.6	1.25

结论: 体外预应力束加固后, 梁体抗弯承载力满足 85 规范

要求。

3) 体外预应力束加固后梁体应力验算

表 3-2 截面法向拉应力统计表

组合	上 / 下缘	最大值位置	应力值 (MPa)	规范限值 (MPa)
组合 I	上缘	—	未出现	2.08
	下缘	—	未出现	2.08
组合 II、III	上缘	—	未出现	2.34
	下缘	跨中	1.8	2.34

表 3-3 截面法向压应力统计表

组合	上 / 下缘	最大值位置	应力值	规范限值	
				原设计 40# 混凝土	取芯试验 45# 混凝土
组合 I	上缘	跨中	9	14	15.75
	下缘	1/4L	15.6	14	15.75
组合 II、III	上缘	跨中	11.62	16.8	18.9
	下缘	1/4L	16.05	16.8	18.9

结论：按原设计 40# 混凝土，组合 I 作用下法向压应力不满足规范要求，超出 1.6MPa，组合 II、III 作用下法向压应力可满足规范要求。

根据检测报告可知：在 24-5# 边梁翼板采用钻芯法检测混凝土强度（共 4 个芯样），芯样试件混凝土抗压强度介于 45.0~62.5MPa，取最小值作为该构件混凝土抗压强度推定值，即为 45.0MPa。按实际混凝土强度 45MPa 时，组合 I、II、III 作用下法向压应力均可满足规范要求。

4) 混凝土破损修补部位应力控制分析

本次增设的 2 束 15-3 体外预应力束张拉后，对破损处修补的 T 梁马蹄混凝土底缘可产生 4.5MPa 的压应力。考虑施工期间不能全封闭，需维持两车道通行，因此提取汽车 -20 级及温度作用下对 T 梁修补后的马蹄底缘产生 4.7MPa 的拉应力，在挂车 -100 级作用下对 T 梁修补后的马蹄底缘产生 8.4MPa 的拉应力，则梁底破损修补处混凝土在后续正常使用状态下存在拉应力，即在汽车 -20 级作用下 T 梁破损处底缘产生最大 0.2MPa 的拉应力，在挂车 -100 级作用下 T 梁破损处底缘产生最大 3.9MPa 的拉应力。按照 85 桥规 B 类构件裂缝宽度为 0.2mm 的容许名义拉应力控制^{[11][10]}，结果如下：

表 3-4 混凝土破损部位新修补混凝土应力计算表

活载	新修补混凝土下缘拉应力 (MPa)	40# 混凝土规范容许拉应力 (MPa)	原设计 40# 混凝土是否满足	取芯实测 45# 混凝土规范容许拉应力 (MPa)	取芯实测 45# 是否满足
汽车 -20	0.2	3.57	满足	3.92	满足
挂车 -100	3.9	3.57	不满足	3.92	满足

结论：按取芯实测混凝土强度低值 45# 混凝土，套用 85 桥规 B 类构件裂缝宽度为 0.2mm 的容许名义拉应力为 5.6MPa*0.7=3.92MPa，满足规范要求，但处于临界值。因此，从安全耐久

考虑，拟增加粘贴钢板措施提高抗裂性能和耐久性。

3. 方案综合对比

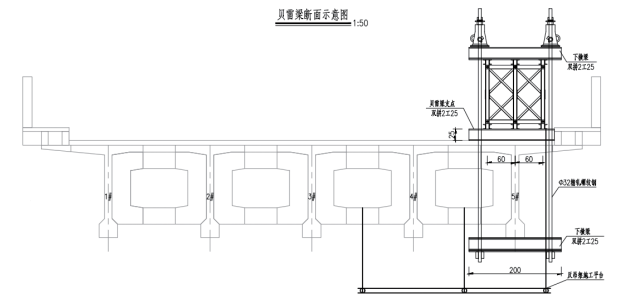
方案	方案一：更换受损梁片	方案二：既有结构加固
方案简述	拆除 24-5#T 梁，更换单片梁，恢复桥面系	1. 凿除破损混凝土、焊接恢复钢筋并浇筑混凝土修补； 2. 采用体外预应力束加固； 3. T 梁马蹄粘贴钢板加固。
优点	1. 质量安全可靠； 2. 结构受力清晰。	1. 施工对交通影响较小； 2. 施工周期相对较短。
缺点	1. 施工对交通影响较大； 2. 施工周期较长； 3. 存在新旧梁变形协调问题； 4. 预制梁的制作周期稍长，如定制模板、台座等； 5. 工程费相对用较高。	1. 结构验算相对复杂； 2. 破损处修复比较困难； 3. 后期会开裂，且裂缝发展情况不便观测； 4. 施工工序较多，需要精细化施工； 5. 作为恢复短期若干年内承载能力的措施。
建安费	85 万	70 万
工期	2 个月	1 个月

经综合比选，结合当前的交通压力及主管部门后续针对“T 型钢构 + 挂梁”桥型的综合整治规划，本次最终采用方案二。

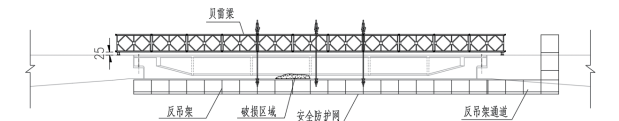
四、主要施工要点

(一) 悬吊系统

为减少施工对受损梁片的影响，提高施工期的安全性，在挂梁两侧 T 构上布置贝雷梁，与 Φ32 螺纹钢、I25 横梁组成悬吊系统。悬吊系统下横梁仅与梁底面贴合，仅承担施工荷载。悬吊的吊点布置于跨中 3 片横隔板附近。考虑贝雷梁挠度，在两侧 T 构处采用双拼工 25 字钢作为支点。施工反吊架面积按 5m×40m=200m² 计。



> 图 4.1 贝雷梁横断面示意图



> 图 4.2 贝雷梁立面布置示意图

(1) 贝雷梁计算

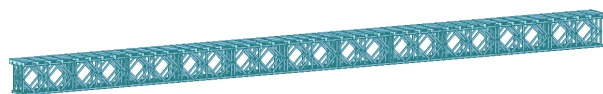
利用 Midas Civil 建立计算模型，贝雷梁纵向长 33m，横向布置 3 片，间距 0.6m。贝雷梁材料采用 16Mn，设计容许应力取 273MPa。

分阶段进行计算：(a) 第一阶段施加贝雷梁与反吊架自重；

(b) 第二阶段增加混凝土修补；(c) 第三阶段组合其他施工荷载。

计算荷载考虑反吊架（含安全网、防渗布等）、修补混凝土、其他人、材、机等施工荷载。

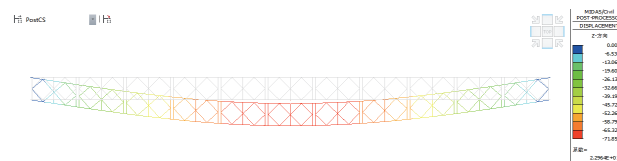
荷载组合：恒载起控制作用，强度计算组合按1.35恒载+1.4*0.7施工荷载；挠度计算按标准组合。



> 图4.3 贝雷梁计算模型



> 图4.4 组合施工荷载后贝雷梁应力图（单位：MPa）



> 图4.5 组合施工荷载后贝雷梁变形图（单位：mm）

计算得到第一阶段自重与反吊架作用下贝雷梁片最大应力为 $1.35 \times 71.65 = 96.73 \text{ MPa}$ ，最大竖向位移为40mm。

第二阶段增加修补混凝土后贝雷梁片最大应力为 $1.35 \times 81.13 = 109.53 \text{ MPa}$ ，最大竖向位移为46mm。

第三阶段组合施工荷载后贝雷梁片最大应力为 $122.86 \text{ MPa} < 273 \text{ MPa}$ ，强度满足要求；最大竖向位移为 $56 \text{ mm} < 33000/400 = 82.5 \text{ mm}$ ，满足要求。考虑最大竖向位移为56mm，为避免贝雷梁弯曲变形与受损梁片接触，需将贝雷梁支点处垫高，采用双拼工25工字钢作为支点。工字钢与桥面、贝雷梁之间采用进行牢靠连接，贝雷梁两侧做好横向支撑。

（2）螺纹钢计算

每处吊点采用2根 $\Phi 32$ 精轧螺纹钢，有效面积 804.2 mm^2 ，PSB785精轧螺纹钢强度设计值为 650 MPa 。

则 $\sigma = (1.35 \times 32.1 + 1.4 \times 0.7 \times 12.44) \times 103/2/804.2 = 34.5 \text{ MPa} < 650 \text{ MPa}$ ，强度满足要求。

（3）横梁计算

每处吊点上、下横梁均采用2I25双拼工字钢，长度2米， $I_x = 47400000 \text{ mm}^4$ ， $W_x = 474000 \text{ mm}^3$ ， $S = 272200 \text{ mm}^3$ 。Q235钢材 $f = 215 \text{ MPa}$ ， $f_v = 125 \text{ MPa}$ 。

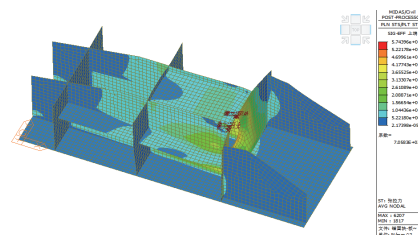
剪力 $V = (1.35 \times 32.1 + 1.4 \times 0.7 \times 12.44)/2 = 27.8 \text{ kN}$ ，弯矩 $M = 27.8 \times 1 = 27.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$\sigma = 27.8 \times 106/474000 = 58.6 \text{ MPa} < 215 \text{ MPa}$ ，抗弯强度满足要求。

$\tau = 27.8 \times 103 \times 272200/14/47400000 = 11.4 \text{ MPa} < 125 \text{ MPa}$ ，抗剪强度满足要求。

（三）锚固块计算

本桥的锚固块为钢锚固块^[9]，锚固块钢板和钢管均采用Q355钢材，采用Midas对钢锚固块进行计算分析。



> 图4.6 锚固块等效应力图（单位：MPa）

计算结果表明，锚固块板件的最大应力为 57.5 MPa ，出现在承压钢板开孔处，均小于Q355C钢材的设计强度 295 MPa ，锚固块的强度满足设计要求，结构处于弹性状态。

锚固块采用8.8级M20对穿锚栓固定，共19套。锚固块承受剪力为 $V = 3 \times 140 \times 1116/1000 = 468.7 \text{ kN}$ 。

由于锚栓为对穿锚栓，本次仅考虑50%锚栓参与受力，且偏安全不考虑粘钢胶提供的抗剪力。根据《混凝土结构加固设计规范》（GB50367-2013）中第16.2.3条，8.8级锚栓抗剪强度设计值 $f_{vb} = 290 \text{ MPa}$ 。50%锚栓的抗剪承载力验算：

$N_v = n_v A_s f_v \times 50\% = 19 \times 245 \times 290 \times 50\%/1000 = 675.0 \text{ kN} > 468.7 \text{ kN}$ ，满足要求。

（四）转向块计算

体外预应力束在转向块弯起角度为 4° ，不计内部转向器及环氧砂浆，竖向作用力 $N_{vd} = 468.7 \times \sin 4^\circ = 32.7 \text{ kN}$ 。转向块布置4个8.8级M20对穿锚栓，不考虑马蹄U形钢板和灌钢胶作用，按50%锚栓的抗剪承载力 $N_v = n_v A_s f_{vb} \times 50\% = 5 \times 245 \times 290 \times 50\%/1000 = 142.1 \text{ kN} > \text{转向块所受竖向力 } 32.7 \text{ kN}$ ，满足要求。

五、结论

1. 本次船舶撞击梁体后，对T构挂梁24-5#边梁的混凝土强度、未断的钢丝性能和应力有一定影响，但当前技术尚不能准确评估，建议后续加强监测。

2. 项目实施完成后，结合近半年的运营，效果良好。

参考文献

- [1] 交通部公路规划设计院. 公路桥涵设计通用规范: JTJ 021-89. [S]. 人民交通出版社, 1989.
- [2] 交通部公路规划设计院. 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范: JTJ 023-85. [S]. 人民交通出版社, 1985.
- [3] 交通运输部公路科学研究院. 公路桥梁承载能力检测评定规程: JTG/T J21-2011, [S]. 人民交通出版社股份有限公司, 2021.
- [4] 梁拯. 超高性能混凝土的研究现状 [J]. 江苏建材, 2023, (05): 11-12+34.
- [5] 张王乐元, 张芳, 盛可鉴. 装配式简支T梁体外预应力加固技术应用 [J]. 交通科技与经济, 2020, 22(03): 62-67. DOI: 10.19348/j.cnki.issn1008-5696.2020.03.012.
- [6] 马士宾, 刘月钊, 汲港升, 等. 基于可靠度的简支梁体外预应力加固设计与优化方法 [J]. 工业建筑, 2022, 52(10): 168-175+145. DOI: 10.13204/j.gyjzg.22052104.
- [7] 谌润水, 胡钊芳, 帅长斌. 公路旧桥加固技术与实例 [M]. 人民交通出版社, 2002.
- [8] 回达鹏. 体外预应力加固技术在桥梁维修中的应用 [J]. 交通世界, 2023, (14): 131-133. DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2023.14.011.
- [9] 付星燃, 胡承泽, 高洪波. 大跨径T梁体外预应力加固锚固块设计研究 [J]. 世界桥梁, 2021, 49(01): 101-106.
- [10] 吴迅, 王艺桥, 赵柏岩. 预应力混凝土桥底板纵向裂缝控制 [J]. 沈阳工业大学学报, 2012, 34(02): 215-219.

医药厂房项目机电工程施工技术研究与应用

管禄诗

青岛海洋生物医药研究院, 山东 青岛 266071

摘要：医药厂房不同于一般工业厂房，项目机电工程施工技术要求高，需要根据实际情况制定合适的方案，做好各项技术细节控制，提高机电工程安装质量。医药厂房不仅是制药企业的基础设施，更是保障药品生产质量与安全的重要屏障。鉴于此，文中以医药厂房项目为着眼点，分析机电工程的特点，总结机电工程施工技术要点，并给出技术质量控制措施，以保障项目机电工程安装质量。希望通过文中论述，能为医药厂房建设提供借鉴，促进医药工业水平的提升。

关键词：医药厂房；机电工程；施工技术

Research and Application of Mechanical and Electrical Engineering Construction Technology in Pharmaceutical Factory Project

Guan Lushi

Qingdao Institute of Marine Biopharmaceuticals, Qingdao, Shandong 266071

Abstract： Pharmaceutical factories are different from general industrial factories in that the construction technology requirements for mechanical and electrical engineering projects are high. It is necessary to develop appropriate plans based on the actual situation, control various technical details, and improve the installation quality of mechanical and electrical engineering. Pharmaceutical factories are not only the infrastructure of pharmaceutical companies, but also an important barrier to ensure the quality and safety of drug production. In view of this, the article focuses on the pharmaceutical factory project, analyzes the characteristics of mechanical and electrical engineering, summarizes the key points of mechanical and electrical engineering construction technology, and provides technical quality control measures to ensure the installation quality of the project's mechanical and electrical engineering. I hope that through the discussion in the article, it can provide reference for the construction of pharmaceutical factories and promote the improvement of the level of the pharmaceutical industry.

Keywords： pharmaceutical factory building; mechanical and electrical engineering; construction technique

在这个特殊领域，每个系统都需要精心设计和高效运行，而机电工程无疑是其中最核心的一环。从供电、供水，到通风、空调，再到自动化控制，这些系统共同构建了一个高度复杂且必须洁净的生产环境。每一项设计与施工，要符合严格的 GMP 要求，还要满足高级别的安全和环保要求。这些要求不是纸上谈兵，而是真正关乎患者用药安全的大事。因此，对机电工程技术进行深入研究并不断优化，是确保整个生产流程稳定运行不可或缺的一步。此外，这种持续优化不仅能够大幅提升施工效率，还能保证设备长期可靠运转，使得整个工厂始终处于最佳状态，助力企业提高产能并保持产品质量的稳定性，从而增强市场竞争力^[1]。

一、医药厂房项目机电工程的特点

（一）高洁净度要求

在医药行业中，生产环境的洁净度是确保产品质量不受污染物影响的关键。为了达到这一目标，在机电系统设计与施工过程中，尤其是在空调和新风系统等环节，需要严格控制空气过滤、气流组织以及正压差管理。这些措施不仅是技术上的要求，更是为了保障车间内空气质量始终符合 GMP 标准，有效阻挡外界微生物

或其他污染物进入生产区域^[2]。此外，在管道、电缆敷设以及设备安装时，也必须高度重视防止灰尘颗粒渗入生产环境。施工中，每一个接缝处都需要进行密封处理，这不仅是对洁净度的一种保障，更是一种对产品质量和消费者健康负责的态度。

（二）严格的温湿度控制

在制药工艺中，尤其是涉及生物制剂或化学合成产品时，精确控制环境温度和湿度至关重要。这不仅有助于维持生产流程的稳定，还直接影响最终产品的质量。例如，某些生物制剂只有在

作者简介：管禄诗（1995-），男，汉，山东省济南，高级工程师，硕士，主要从事生物医药企业的产品研发、供应链管理、工程建设及企业管理工作的研究。

特定温度范围内才能保持其活性，这对确保它们在患者体内发挥预期效果尤为关键。同时，在化学合成过程中，反应速率常受到环境温度的影响，这决定了整个合成过程能否顺利进行。因此，在设计空调和冷却水系统时，不仅要全面考虑各环节可能出现的负荷变化，还必须提前设想并准备应对突发情况的方法，如备用机制或紧急操作方案。此外，施工阶段需特别关注管道保温层的完好状态，因为外界因素导致的任何损坏都可能破坏整个系统的运行平衡^[3]。

（三）高可靠性的供配电系统

由于停电可能导致整个药品生产批次报废，并引发严重安全事故，医药厂房必须具备高度可靠的供配电系统。高可靠性的核心在于双路供电，即使一条线路出现故障，另一条线路也能立即接替运作，确保生产环境的持续稳定。然而，这还不足以应对所有突发情况，因此自备发电装置也是不可缺少的。这些设备不仅在关键时刻提供能源支持，更是整个系统韧性的基础。

为了进一步提升安全等级，不间断电源（UPS）也是必备配置。它能确保关键设备在任何情况下都不会因短暂断电而停止运行，从而避免意外风险。施工过程中，每条线路敷设都必须严格遵循相关标准规范，这不仅关系到工程质量，更涉及未来生产运营中的安全保障。

二、医药厂房机电工程施工技术要点

（一）管道工程施工技术

洁净车间施工前先熟悉图纸资料，并组织有关人员进行图纸会审，核实图中选用的设备材料，根据工期安排及进度要求合理配备劳动力，准备工机具及材料。同时提出备料及分批采购计划，材料进场后，组织有关人员进行检验，杜绝不合格品进场。在医药厂房内，生产过程中涉及到各类介质，如纯水、蒸汽、压缩空气以及废气排放等，这对管道系统提出了严格要求。在开始安装前，必须仔细研究设计图纸，综合考虑不同介质的特性，并合理规划每条管道的路线。^[4]

为了进一步优化系统内部环境，通常采用精密焊接方式连接这些不锈钢管道。这种焊接方法不仅能减少死角积垢，还能确保内部表面光滑无瑕，从而有效防止微生物滋生或污染物残留。此外，各类介质之间必须严格遵循设计规范布置，以避免交叉污染。实际操作中，这意味着保持适当间距，并在必要时采取隔离措施，例如设置隔板或使用专门保护套，以最大限度降低风险。钢管在穿线前，首先检查各个管口的护口是否齐整，如有遗漏和破损，均补齐和更换。当管路较长或转弯较多时，要在穿线的同时往管内吹入适量的滑石粉。导线穿入钢管后，在导线出口处，装护线套保护导线。洁净区内电线管进入接线盒或配电箱，穿线后密封严实^[5]。

除了上述因素，在具体安装时，还需特别关注坡度设置，以确保液体能够顺利排放；支吊架布置同样需要合理安排，不仅要保证整个结构拥有良好的承载能力，还需具备抗震性能。此外，在某些关键位置应预留膨胀节，此设计可以应对温度变化带来的

热胀冷缩现象，确保整个系统能够稳定运行^[6]。

（二）电气工程施工技术

医药厂房不仅需要常规照明与电力供应，还需满足大量特殊用电需求，包括恒温恒湿设备的连续运行、动力支持系统的持续运作以及弱电信息传输的保障。这些设施在施工阶段必须明确各个回路负载的性质，并合理进行分区布线。例如，为确保恒温恒湿设备供电线路稳定，应避免其他设备带来的波动影响。而对于动力支持系统，则需要单独配置电源线路，以防突发停电影响生产过程。根据相关规范与标准选择合适规格的导线、电缆及开关柜元件，这一步骤至关重要，不仅关系到整个系统安全，还直接影响设备运行稳定性。^[7]

在布线与安装工作完成后，需要进行绝缘性能检测，因为这能确保线路在长时间使用过程中不会出现漏电情况。接下来，还要校验短路保护装置，以便在意外发生时能够迅速切断故障回路，从而保障整体安全。而对于接地系统的检查，更是不可忽视，每个金属部件都必须有效接地，以杜绝触电风险。同时，考虑到大部分仪器设备具备极高的精密度，需要关注静态放电脉冲干扰的问题。由于这类干扰可能对精密仪器造成严重损害，因此必须采取额外措施，如增加滤波器或者安装屏蔽罩等方式，来减轻 EMC 效应带来的负面影响。如，电动机进行检查接线前，需仔细认真的熟悉图纸，明确设备启动方式及接线方法，并对电机进行绝缘测试。接线时先拆开接线盒用万用表测量三相绕组是否断路，正常情况下方可进行接线。电机接线端子与电缆头必须连接紧密，不受外力，连接用紧固件的锁紧装置完整齐全。在电机接线盒内，裸露的不同相导线间和导线对地间最小距离必须符合规范规定^[8]。

（三）通风系统施工技术

在医药厂房施工中，不同区域（如洁净室、实验室或仓库）需要特定的空调通风方案，以满足各自特殊需求。例如，在洁净室内，为确保最佳空气质量，必须严密控制气流方向，使其始终从洁净区向非洁净区流动。这不仅仅涉及气流方向，还需要依靠多级高效过滤器，有效去除空气中的悬浮颗粒物，保证洁净度达到规定标准。

对于普通仓库而言，虽然对空气质量的要求不如洁净室严格，但仍需特别关注防潮与降温效果，以维持储存环境的稳定。精确计算各个区域所需的风量是设备选型是否恰当的关键。根据这些计算结果，选择合适的风机和空调主机型号，以确保整个系统顺利运行并实现预期效果。

在现场安装过程中，特别需要关注密封处理问题。穿墙孔洞周边常常容易出现漏风隐患。为彻底解决这个问题，可以在这些区域涂抹密封胶进行加固，也可以采用金属套筒嵌入式固定的方法来增强整体密封性能。同时，新鲜补给空气的来源也需要全面评估。在确定补给空气入口位置时，要仔细检查周围环境是否存在潜在污染源，如工业废气排放口或交通繁忙道路等可能产生尾气侵入风险。如果发现此类情况，需要考虑增加前端预处理单元（如活性炭吸附塔），以提高输入空气质量，确保进入厂房内部的空气达到安全标准。

三、医药厂房项目机电工程施工技术质量控制

（一）设计阶段的质量控制

在医药厂房项目中，设计阶段是整个施工过程中的核心环节。确保设计方案符合国家及行业标准，同时充分考虑医药厂房独特的工艺流程需求，如洁净室内的气流组织、温湿度控制和微压差管理等。这些因素需要在初期进行详细规划，以避免后续出现问题。

此外，与业主方保持紧密沟通尤为关键。通过了解他们的具体需求，设计团队可以根据实际情况灵活调整方案，从而更好地满足项目要求。在图纸审核过程中，邀请经验丰富的专业人员进行严格把关，不仅能有效避免因设计缺陷引发的施工难题，还能确保每一个细节得到完美处理。

（二）材料选择与采购控制

在医药厂房项目中，材料选择直接影响机电工程的安装质量。由于这些项目对环境要求极高，所用材料必须具备卓越的耐腐蚀性、高温耐受能力和优异的洁净性能。在实际操作中，需要对供应商进行严格的资格审查，并按照既定程序开展招标及比选工作。为了确保所有采购到位的材料完全符合标准，还需实施严谨的抽样检测流程。尤其是对于空调系统、净化系统等关键设备，更应优先挑选市场口碑良好并经实际应用验证过的产品，以保障设备在长期使用中的稳定运行^[9]。

（三）施工过程中的质量控制

在施工过程中，严格把控各项工序，不仅能确保工程质量，还能避免后续问题。现场管理需要特别关注，每个环节都应有专人负责监督工作进展，并及时处理任何突发状况。例如，在进行

管道铺设时，必须确保每段管道连接紧密，无渗漏现象；在电气安装过程中，则需仔细检查线路布置是否合理、接线是否牢固，这些都是不可忽视的细节。在涉及洁净室建设的任务中，如墙体封闭和地面处理，更须严格遵循相关规范，以维持高标准的洁净度。同时，为了不断提升整体施工水平，有必要定期组织培训，使施工人员熟练掌握最新技术与工艺。这不仅能够提高工作效率，也能在竞争激烈的市场中占据优势^[10]。

（四）安装调试阶段的质量控制

在机电工程中，安装调试不仅决定了前期工作的成败，还影响整个系统的稳定运行。在这一阶段，需要特别关注几个关键点，包括设备的安装位置、连接状况以及参数设置的合理性。例如，在空调系统调试过程中，每一个送风口与回风口的风量都需仔细测量，同时各区域温湿度指标也需严格监控，以确保符合洁净室的高标准要求。对于消防系统，通过模拟火灾场景测试报警器与灭火装置的反应速度是评估其性能的重要手段。这不仅关系到设备能否迅速启动，还涉及实际火灾发生时能否有效扑灭火源。此外，在自动化控制系统方面，多次测试响应速度与精准度是必不可少的步骤。

四、结语

综上所述，从设计初期到竣工交付的每一个环节，始终坚持科学合理的管理机制，这种全方位的把控，不仅帮助提升了医药厂房机电工程的整体水平，还为未来类似项目积累了宝贵的经验。所有这些努力都是为了打造符合行业标准、更具竞争力的现代化医药制造基地，进而推动我国医药事业快速健康发展。

参考文献

- [1] 李剑锋, 何顺权, 吴志超, 等. 浅谈化工制药企业机电设备、管道安装问题及应对方法 [J]. 当代化工研究, 2022, (19): 182-184.
- [2] 张红云, 张晓康, 苏青. BIM 技术在医药项目机电安装精细化管理中的应用 [J]. 安装, 2021, (02): 68-72.
- [3] 张雪. 建筑企业机电安装工程成本管控体系优化研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2019.
- [4] 郭宗庆. 浦东医药生产基地机电安装工程项目进度计划与控制研究 [D]. 东北大学, 2017.
- [5] 苏志清. 制药企业 GMP 实施中的设备管理 [J]. 内蒙古石油化工, 2014, 40(22): 83-84.
- [6] 顾建号. 制药企业的电气安全管理 [J]. 现代职业安全, 2014, (01): 88-90.
- [7] 刘磊. 装配式建筑综合施工技术研究 [J]. 工程技术研究, 2020, 5(16): 44-45. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2020.16.016.
- [8] 王延松. 助力实现双碳目标一屋顶绿化施工技术研究 [J]. 农业与技术, 2023, 43(09): 130-136. DOI: 10.19754/j.nyyjs.20230515030.
- [9] 杨友, 张文龙, 雷进生, 等. 白鹤滩水电站迁建集镇工程人工挖孔抗滑桩施工技术研究 [J]. 工程技术研究, 2023, 8(05): 228-230. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2023.05.072.
- [10] 刘勇. 建筑工程绿色节能施工技术研究 [J]. 城市建设理论 (电子版), 2020, (14): 62. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202014052.

锅炉压力容器压力管道检验中的裂纹分析

李峰光¹, 任志峰¹, 孙晓靖¹, 王宪²

1. 湖南安广检验检测有限公司, 湖南 常德 415137

2. 湖南科技大学, 湖南 湘潭 411100

摘 要： 锅炉、压力容器、压力管道等都是现代社会生产活动中的重要特种设备，这些设备具有较高的危险性，且其运行环境长期处于高温高压状态，容易发生事故，造成对于人员的生命财产安全造成巨大损失，因此，需要加强对于锅炉压力容器和压力管道的日常检验活动。裂纹是设备产生安全风险的主要原因之一，加强对裂纹的检测，并采取措施避免裂纹的出现，可以促进设备的稳定运行。本文将结合实际情况，确立锅炉压力容器压力管道的检验方法和检验内容，并对裂纹的产生原因和具体种类进行分析，最后探讨相关的应对措施，以求为锅炉、压力容器、压力管道等特种设备的有序运行提供参考建议。

关 键 词： 锅炉；压力容器；压力管道；检验；裂纹分析

Crack Analysis in the Inspection of Boiler Pressure Vessel and Pressure Pipeline

Li Fengguang¹, Ren Zhifeng¹, Sun Xiaojing¹, Wang Xian²

1. Hunan Anguang Inspection and Testing Co., Ltd. Changde, Hunan 415137

2. Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411100

Abstract： Boiler, pressure vessel, pressure pipeline and so on are important special equipment in the modern society production activity, these equipment have the high danger, and its operation environment is in the high temperature and high pressure condition for a long time, accident is easy to occur, causing great loss to the safety of life and property, therefore, it is necessary to strengthen the boiler pressure vessel pressure pipeline routine inspection activities. Crack is one of the main reasons for the safety risk of equipment. Strengthening the detection of crack and taking measures to avoid crack can promote the stable operation of equipment. In this paper, the inspection method and content of pressure pipeline of boiler pressure vessel are established according to the actual situation, and the causes and specific types of crack are analyzed, for the boiler, pressure vessels, pressure pipes and other special equipment for the orderly operation of reference.

Keywords： boiler; pressure vessel; pressure pipeline; inspection; crack analysis

在进行锅炉压力容器压力管道的检验过程中，需要结合实际情况选取合适的检测技术，从而明确锅炉压力容器压力管道运行过程中存在的问题，并积极采取针对性措施，避免这些问题对锅炉压力容器压力管道的运行造成不良影响。在目前的锅炉压力容器压力管道检测活动中，裂纹问题是重要的检测项目之一，若裂纹问题过于严重，将对锅炉压力容器压力管道造成重大影响，甚至会对设备造成损坏。因此，应当将裂纹问题的检测、处理和预防作为检验工作的核心内容^[1]，从而保障锅炉压力容器压力管道设备的正常运行，延长设备的使用寿命。

一、锅炉压力容器压力管道的检验方法和检验内容

（一）锅炉压力容器压力管道的检验方法

在进行锅炉压力容器压力管道的检验工作时，会将多种检验方法进行有机结合，以此提高检验工作的全面性和准确性。具体的检验方法可以分为以下几种：首先是利用工作经验和专业化流程进行设备的检验，在检验工具上主要采取常规工具。通过在前期全面了解设备的正常状态，随后根据设备的表面形态、筒体椭

圆度等指标进行对比，对设备的问题进行初步排查。其次是利用无损检测设备进行非破坏性检验，主要使用超声波、射线、磁粉、涡流等专业检测设备对锅炉压力容器压力管道进行检测。最后是利用金相分析和理化分析等综合检测手段完成设备的检验活动^[2]。

在具体的查验方式上，主要包括了目测查验锤击查验、直尺查验、拉线查验、样板查验、灯光查验、钻孔查验、超声波侧厚、射线焊缝查验等，利用各类设备和各类手段完成对锅炉压力

容器压力管道的检验活动，对设备的安全性进行综合评估，保障设备的持续健康运行。

（二）锅炉压力容器压力管道的检验内容

在进行锅炉压力容器压力管道的检验过程中，需要提前确定检验内容，保证检验活动的全面性，避免检验内容的缺失所造成的不良影响。在单位自检合格之后，还需要由专业的检验机构进行进一步的检验，确保检验行为的严谨性和准确性。具体的检验内容包括外观尺寸是否合规、设备的壁厚是否达标、设备的位置设定是否合理等，还包括了对基础技术资料的审查、对管道焊缝质量的检测以及对安全附件的检查等^[3]。通过检验内容的确定，可以对锅炉压力容器压力管道设备当中是否存在问题进行排查，以更加细致、更加完备的检验内容提高检验活动的覆盖面，从而强化检验力度，为裂纹问题的排查奠定重要基础。

二、锅炉压力容器压力管道中常见的裂纹种类及其产生原因

（一）疲劳裂纹及其产生原因

疲劳裂纹是锅炉使用过程中最为常见的裂纹种类，从产生方式上可以分为机械疲劳、腐蚀疲劳、热疲劳三种。疲劳裂纹一般伴随着设备的长期连续运转而产生，在分布区域上十分广泛，大多出现在运转频率高的部位，如锅炉辅助转动设备的叶片、叶轮等位置。疲劳裂纹在产生之初相对细小，之后会随着疲劳累积进行不断的扩展，裂纹范围也会随之增加。其中，腐蚀疲劳造成的裂纹则会出现在汽包接管和吉祥水冷壁管附近，且随着时间的作用愈发严重。疲劳性裂纹的修复难度较高，很多情况下甚至需要对整个材料进行更换，需要耗费巨大的成本和时间投入，且一旦裂纹比较集中，则会向周边进行蔓延，通过不断扩展最终产生巨大影响，进而将引发一系列的安全风险。

机械疲劳裂纹产生的主要原因是设备长期运转出现了机械疲劳，使设备的表面承受的压力过大，从而产生了大面积的机械裂纹，这种裂纹会随着设备的运转不断延伸，以隧道状模式不断生长，最终对设备造成巨大破坏；热疲劳裂纹一般产生与设备的温度分布不均，出现热应变的情况，当热应变超出了材料的弹性极限后，便产生了热疲劳裂纹^[4]。热疲劳裂纹一般呈现龟裂状，对于设备的平稳运行具有重要影响；腐蚀疲劳则是因为设备长期在腐蚀介质的作用下引起抗疲劳性能的降低，从而在设备表面出现疲劳损伤，最终形成裂纹。

（二）焊接裂纹及其产生原因

锅炉、压力容器、压力管道并不是完整的体系，在安装过程中也无法一次成型，需要将不同的金属部件进行焊接，才能够形成完整的工业设备系统，其中锅炉是该工作系统的核心部件，同时其他部分也具有重要作用，若在设备局部出现问题，则容易引发连锁反应，降低设备的安全性。在焊接过程中，可能会出现焊接裂缝，影响设备的稳定运行。大多数的锅炉、压力容器、压力管道等均采用金属材料焊接制成，若未能对焊接活动进行把关，则很有可能会产生批量性的焊接裂纹，降低设备的安全性^[5]。

焊接裂纹的产生原因主要是极大的温度差诱发的热裂纹与冷裂纹，具体来说。在焊接活动结束后，在锅炉、压力容器、压力管道等设备的使用过程中，伴随着长期的高温高压作用，使得原有的裂缝成为热裂纹；同时，在焊接的冷却阶段，裂缝由经过冷却形成了冷却裂纹，最终在反复作用下产生较为严重的焊接裂纹。此外，焊接过程中溶解的氢元素与焊接冷却过程中的金相组织进行结合，也会导致冷裂纹的产生^[6]。焊接裂纹很难在焊接活动中完全避免，因此需要加强对于焊接活动的管理力度，降低焊接裂纹对于设备运行的影响。

（三）应力腐蚀裂纹及其产生原因

应力腐蚀裂纹产生的主要原因是设备长期与碱性介质接触所导致的，对金属材料造成的损坏十分明显。在碱性腐蚀物质的作用下，会在金属设备内部产生电位差，使金属晶体和晶间出现微电流，从而进一步引起内部的腐蚀，直至出现裂纹。应力腐蚀裂纹主要分为主裂纹和次裂纹，主裂纹通常会从晶体内部穿过，而次裂纹则与晶体的发展方向一致。从微观层面上看，应力腐蚀裂纹一般从里向外进行延展，呈现出“之”字的裂纹形态^[7]。应力腐蚀裂纹具有明显的群状形态，会对设备的性能造成严重影响。

（四）蠕变裂纹及其产生原因

蠕变，指的是固体材质在应力不变的情况下，随着时间的延长而出现的应变增加现象，随着蠕变现象的产生，会对固体材料造成一定程度的撕裂，进而形成蠕变裂纹。蠕变裂纹的产生原因主要是由于在长期的应力垂直作用下，受力部分的材料受到应力与高温等多重因素的作用导致材料分离，进而在材料表面产生了裂纹。蠕变裂纹大多出现在设备局部发生损伤之后。由于损伤部分长期受到压力、温度的影响，同时在应力集中的作用下出现的裂纹。

三、避免锅炉压力容器压力管道检验中出现裂纹的举措

（一）提高锅炉压力容器压力管道的生产制造水平

为了避免锅炉压力容器压力管道等设备出现裂纹问题，需要在这些设备的生产环节进行优化，提高锅炉压力容器压力管道的生产制造水平，使这类设备的出厂质量符合行业标准，降低裂纹等质量问题发生的几率，使其具有合格的性能，确保设备能够长期稳定运行。若想提高设备的生产制造水平，首先需要在图纸设计环节开始，充分把握好设备的质量控制，对设备的工作条件进行调研，并在易发生裂纹问题的环节做出优化处理。同时需要加强对图纸的审核工作，保证设备在设计环节的可靠性。其次，需要在生产制造全程严格遵守国家标准，按照相关的规范流程进行生产，保证生产制造活动的规范性，避免由于生产环节的失误所造成的质量问题。最后，需要积极选取成熟的新材料和新工艺完成生产制造活动，通过材料与技术的支撑增强设备的耐用性，提高设备的使用寿命，以最大化避免裂纹的出现^[8]。

（二）健全锅炉压力容器压力管道的检验制度

想要避免锅炉压力容器压力管道出现裂纹问题，需要加强对

于这些设备的日常检验力度，在裂纹产生初期及时发现，并进行裂纹的针对性维护，降低裂纹问题对于设备的影响，保障设备的有序运行。需要健全锅炉压力容器压力管道的检验制度，以更具更加系统化的检验体系提高检验活动的综合效果。在构建检验制度的过程中，一方面需要架起那个在生产过程中的检验强度，从源头上保证设备的质量，严格限制不合格设备的出厂。

（三）增强相关设备操作人员的专业水平

生产人员的人为操作失误也是诱发锅炉压力容器压力管道出现裂纹的重要因素，因此，为避免裂纹对于锅炉压力容器压力管道的不利影响，需要加强操作人员的专业水平，维护好设备的安全质量。生产制造企业需要加强对操作人员的技能培训，通过定期的培训活动，培养生产人员的专业技术和安全生产意识，从而增强设备生产环节的质量意识，提高设备的出厂质量。在培训活

动结束之后，还需要对参与人员进行专业知识的考核，以此对员工的掌握情况进行评估，为之后的培训活动做出重要参考^[9]。可以将考核成绩与上岗需求挂钩，只有在考核合格后再能进行上岗操作，提高上岗人员的综合质量。

四、结束语

综上所述，锅炉、压力容器、压力管道等设备在生产生活当中的应用十分普遍，这类承压类特种设备具有明显的危险性，可能对周边的生命财产安全造成巨大隐患。裂纹问题是导致该类设备出现安全事故的重要诱因，因此需要加强对裂纹问题的检测和维护，降低裂纹问题对于锅炉、压力容器、压力管道的影响。^[10]

参考文献

[1] 史秋玉. 锅炉压力容器压力管道检验中的裂纹问题分析 [J]. 模型世界, 2024(13):106-108.
[2] 张国杰. 锅炉压力容器及压力管道检验中裂纹问题研究 [J]. 中国高科技, 2024(8):122-124.
[3] 庄海立. 基于超声波探伤技术的锅炉压力容器无损检测方法 [J]. 今日制造与升级, 2024(4):23-25,48.
[4] 尹洪恩, 张新岗. 锅炉压力容器压力管道裂纹 X 射线检测方法研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024,44(7):42-44.
[5] 单增春, 孔凡叶, 耿文彬, 等. 锅炉、压力容器和压力管道的材料缺陷检测技术 [J]. 工程建设与发展, 2024,3(1):85-87.
[6] 程哲. 锅炉压力容器压力管道检验中的裂纹问题分析 [J]. 中国化工贸易, 2024,16(8):166-168.
[7] 王书敏. 承压类特种设备检验之压力管道——裂纹隐患检测及措施分析 [J]. 中国化工贸易, 2024,16(16):148-150.
[8] 李建磊, 张建华. 锅炉压力容器压力管道检验中的裂纹问题探讨 [J]. 数字化用户, 2024(12):271-272.
[9] 赵长龙, 孔鹏. 锅炉压力容器压力管道检验中的裂纹问题分析 [J]. 山东工业技术, 2023(4):87-90.
[10] 吴超; 朱承正. 锅炉、压力容器与压力管道裂纹及预防分析 [J]. 中国机械, 2023(06):122-124.

GNSS 技术在大型土木工程施工测量中的应用

王兴晨

中国葛洲坝集团市政工程有限公司，湖北 宜昌 443002

摘 要： 全球导航卫星系统（GNSS）技术，利用一系列卫星发射的信号来提供地面或近地面对象的位置、速度和时间信息。这种技术在建筑测量领域尤为重要，因为它提供了精确的定位数据，是进行大型土木工程施工前准备和执行过程中不可或缺的工具。本文探讨了 GNSS 技术在大型土木工程施工测量中的应用，详细阐述了土地平整与基础设施布局、实时监控测量、地基施工中的定位与导航以及线路校准与检测等方面的技术实践，展示了 GNSS 技术如何提升工程测量的精确性与效率。

关 键 词： GNSS 技术；土木工程；施工测量

Application of GNSS Technology in Construction Survey of Large Civil Engineering

Wang Xingchen

China Gezhouba Group Municipal Engineering Co., LTD., Yichang, Hubei 443002

Abstract： The Global Navigation Satellite System (GNSS) technology uses a series of satellite-launched signals to provide information on the position, speed, and time of ground or near ground objects. This technology is particularly important in the field of building surveying because it provides precise positioning data and is an indispensable tool in the preparation and implementation of large civil engineering construction. This paper discusses the application of GNSS technology in the construction survey of large-scale civil engineering, expounds the technical practice of land leveling and infrastructure layout, real-time monitoring and measurement, positioning and navigation in foundation construction, and line calibration and detection, and shows how GNSS technology can improve the accuracy and efficiency of engineering measurement.

Keywords： GNSS technology; civil engineering; construction survey

引言

在现代土木工程领域，精确的施工测量不仅是工程设计与实施的基础，也是保障工程质量和安全的关键因素。随着全球导航卫星系统（GNSS）技术的快速发展与广泛应用，其在大型土木工程施工测量中的作用日益显著。GNSS 技术，通过利用地球同步轨道上的卫星群发出的信号，能够为工程测量提供高精度的地理位置信息，极大地提高了测量数据的精确度和可靠性。在施工测量中，GNSS 技术的应用不仅限于初期的地形勘测和现场布置，还涵盖了从地基施工到结构物的建造，以及后期的结构监测和评估等多个阶段。

一、GNSS 技术原理

全球导航卫星系统（GNSS）技术是一种基于卫星的导航系统，它提供全球范围内的地理位置和时间信息服务。该系统包括多个由不同国家运营的卫星导航系统，如美国的全球定位系统（GPS）、俄罗斯的全球导航卫星系统（GLONASS）、欧洲的伽利略定位系统和中国的北斗卫星导航系统。GNSS 技术的核心在于利用这些卫星群发出的信号，经由接收器计算得出用户的三维位置（纬度、经度、高度）及时间。工程测量中的 GNSS 技术运

用，特别是在大型土木工程施工测量中，依赖于高精度的时间同步和位置确定能力，以确保施工测量的准确性和效率。

GNSS 技术的工作原理基于从四颗或更多卫星接收信号来确定接收器的位置。每颗卫星都会发送包含其位置和发送时间的信号，接收器通过计算这些信号的传播时间来估算出距离每颗卫星的距离，进而利用三角测量的方法计算出精确位置。这一过程中，信号的传播速度受到大气层的影响，因此，高级 GNSS 设备会采用双频接收机来纠正电离层和对流层造成的误差，从而提高测量的精确度。在土木工程施工测量中，这种高精度的地理位置

作者简介：王兴晨（1995.12-），男，河北省沧州市青县，汉，大专，助理工程师，测绘工程。

信息是不可或缺的，它直接影响到工程项目的设计、施工和最终的质量控制。GNSS 技术在大型土木工程施工测量中的应用，不仅提高了测量数据的准确性，也大幅提升了工程测量的效率和安全性。通过持续的技术创新和应用实践，GNSS 技术正成为现代土木工程不可或缺的高科技工具，为工程项目的成功实施提供了坚实的技术支持^[1]。

二、GNSS 技术在建筑测量中的优势

GNSS 技术在建筑测量领域展现了明显优势，尤其是在大型土木工程施工测量中的应用显得尤为重要。GNSS 提供的高精度定位功能极大提高了施工测量的准确性，这对于确保大型结构如高层建筑、桥梁和隧道等工程的准确实施至关重要。通过接收卫星信号，GNSS 系统能够实现毫米级的测量精度，这种高精度使得工程师能够进行精确的地形分析和土地利用规划，优化设计方案，降低潜在的结构风险。GNSS 技术还支持全天候操作，不受天气条件的限制，这对于那些需要在复杂或恶劣气候条件下进行的项目尤为重要。此外，GNSS 技术的实时数据传输功能使得工程管理更为高效。实时监测施工进度和即时调整施工策略成为可能，有助于管理者及时发现问题并作出快速响应，从而避免错误累积导致的成本增加和时间延误。这一点在大型土木工程中尤为关键，因为项目规模大、涉及人员多、工期长，实时信息流大大提升了项目管理的效率和效果。同时，GNSS 技术的广泛应用还减少了人力资源需求，通过自动化测量减轻了测量人员的工作负担，降低了人为错误的可能性，这对于保证项目质量和安全具有重要意义^[2]。

GNSS 技术在施工测量中的另一大优势是其多功能性。除了提供位置信息外，许多 GNSS 设备还整合了其他功能，如倾斜传感、图像捕获和环境监测，这些功能的结合提供了一个全面的解决方案，以应对工程测量中遇到的各种挑战。例如，在进行地基施工的定位和导航时，GNSS 设备不仅可以指导挖掘机准确挖掘，还可以监测土壤的移动和沉降，确保施工安全。

三、GNSS 技术在大型土木工程施工测量中的应用

（一）土地平整与基础设施布局

在大型土木工程施工测量中，全球导航卫星系统（GNSS）技术在土地平整与基础设施布局阶段发挥着至关重要的作用。这一阶段的主要任务是通过高精度的测量来确保施工地的地形与设计图纸的完美对应，从而为后续施工活动提供坚实的基础。利用 GNSS 技术进行土地平整与基础设施布局，可以显著提高测量数据的准确性和工作效率，同时降低人力资源和时间成本^[3]。在土地平整阶段，GNSS 技术通过其高精度和高效率的特性，为工程师提供了实时、连续的地形数据。例如，在进行大面积土地平整时，GNSS 接收器可以精确地测定土地的原始高程和平整后的高程，确保每个区域达到设计要求。此外，GNSS 技术在基础设施布局中也显示出其独特的优势。在布置道路、管线和建筑基础等基础

设施时，GNSS 接收器能够提供精确的位置数据，确保所有基础设施的位置精确对应于设计图纸，如表 1。

表 1 应用数据

项目阶段	GNSS 任务	平均精度（厘米）	数据点收集数量	覆盖面积（平方公里）	节省时间（小时）
初始测量	地形测绘	2.0	150,000	2.5	40
设计对准	布局规划	1.5	200,000	3.0	55
挖掘	深度控制	1.0	120,000	2.0	30
填充	体积计算	1.0	180,000	2.8	45
最终测量	精度验证	0.5	160,000	3.1	25

通过这些数据可以看出，GNSS 技术在确保工程测量的精确性和效率方面提供了显著的优势。这种技术的应用不仅加快了工程进度，还提高了工程质量，确保了工程项目的顺利进行。

（二）实时监控测量

在大型土木工程施工测量领域，全球导航卫星系统（GNSS）技术的实时监控测量功能在确保结构完整性和施工安全中扮演了至关重要的角色。实时监控测量通过持续收集施工现场的数据，提供对工程进展的即时反馈，从而允许项目管理团队进行实时决策和调整。GNSS 技术在此过程中通过高频率的数据更新和精确的位置监控，显著提升了施工过程的效率和安全性。在各个施工阶段，如基础设定、结构竖立、基础设施网络布局、表面整平以及公用设施安装等，GNSS 技术均能提供关键的监控支持^[4]。

例如，GNSS 技术在基础设定阶段通过每日多次的垂直性检查确保基础的正确安装，这对避免后续结构问题至关重要。在结构竖立阶段，对结构对齐的验证则需依赖 GNSS 技术提供的连续监控数据来保证结构元素的精确安装。此外，当涉及基础设施网络布局时，空间协调任务尤为复杂，GNSS 技术则通过提供实时的空间位置数据，确保各个系统间不会发生冲突。在表面整平工作中，GNSS 的表面水平测量功能可以确保达到设计规格的精确度。最后，在公用设施安装阶段，地下公用事业追踪则是 GNSS 技术不可或缺的应用之一，以避免施工中对现有地下设施的损害，如表 2。

表 2 实时监控测量数据

施工阶段	监控任务	每日测量频率	检测错误数	进行更正数	操作改进 (%)
基础设定	垂直性检查	24	5	5	15
结构竖立	对齐验证	18	3	3	12
基础设施网络布局	空间协调	12	2	2	20
表面整平	表面水平测量	15	4	4	10
公用设施安装	地下公用事业追踪	20	1	1	18

通过这些数据可以看出，GNSS 技术的实时监控测量在提高大型土木工程施工测量的精确性、效率及安全性方面发挥着至关重要的作用。这种技术的应用不仅加快了项目进度，还显著提高了工程质量，保证了施工过程的顺利进行。

（三）地基施工中的定位与导航

在大型土木工程项目中，地基施工阶段的定位与导航是确保

整个工程质量和安全的关键环节。全球导航卫星系统（GNSS）技术在这一阶段发挥着至关重要的作用，通过提供高精度和实时的地理位置数据，GNSS 确保了工程建设的精确性和效率。在地基施工中，定位与导航主要涉及到精确的地基定位、施工机械导航以及后续的基础检验，这些应用对于遵循设计规范、防止结构偏差并最终实现结构稳定性至关重要。利用 GNSS 技术，工程团队能够在复杂的施工环境中实现对地基工程设施的精确布局。GNSS 接收器提供的数据支持施工人员进行准确的挖掘和填充作业，确保每个地基元素都严格按照工程设计进行。此外，GNSS 设备在施工机械如挖掘机、推土机等导航中也扮演着核心角色，这些设备依赖 GNSS 提供的连续位置信息以保证作业的精准度和效率。在挖掘过程中，GNSS 技术可以实时监控挖掘深度和位置，预防过挖或不足挖的问题，同时优化作业路径，减少机械运行时间，降低成本^[5]。

在地基施工的导航方面，GNSS 技术提供了一种有效的解决方案来维护施工质量控制。通过高精度的定位系统，施工团队可以确保地基和基础设施的每个部分都能精确对接，从而避免由于定位错误导致的结构问题。此技术还使得地基施工过程中的复杂协调变得更为简单，特别是在多层次、大范围的工程项目中，GNSS 的应用极大提升了跨部门和跨阶段的工作效率^[6-8]。GNSS 技术在地基施工的定位与导航中的应用不仅提高了施工精度，减少了工程风险，也优化了资源分配和时间管理，这对于保证大型土木工程项目的成功完成具有不可估量的价值。

（四）线路校准与检测

在大型土木工程项目中，线路校准与检测是确保工程按照设计标准准确实施的关键步骤。全球导航卫星系统（GNSS）技术在此过程中扮演着至关重要的角色，提供了一种高精度、高效率的方法来执行这些任务。线路校准涉及到对工程线路进行精确设置，包括道路、轨道以及管线等的精确布局，而线路检测则是对这些线路实施后的位置精度进行验证的过程。利用 GNSS 技术

进行线路校准，可以显著减少传统测量方法所需的时间和人力，同时提高测量数据的可靠性和准确性。GNSS 技术在进行线路校准时通过其全球卫星覆盖能力，能够提供连续、实时的地理位置数据，确保各种线路元素的精确布局。这种技术特别适用于复杂的地形和广阔的施工区域，其中传统测量技术可能面临较大的挑战。例如，在建设新的铁路或高速公路时，GNSS 技术能够确保线路的直线部分和曲线部分都严格符合设计规格，从而优化行车安全和结构耐久性。此外，GNSS 设备的高效数据处理能力支持工程团队进行即时数据分析，及时调整施工计划，以应对地形变化或其他意外情况^[9]。

线路检测方面，GNSS 技术提供了一种有效的监控手段，通过高精度的位置跟踪，可以监测到任何偏离预定线路的情况。这对于早期识别潜在的结构问题和及时进行修正至关重要。通过定期的 GNSS 监测，工程团队可以确保所有施工阶段的线路位置都符合设计要求，这对于维护工程的整体质量和安全性是必不可少的。GNSS 技术在大型土木工程施工测量中的应用极大地提高了线路校准与检测的精度和效率^[10]。通过利用 GNSS 的全球覆盖和高精度定位功能，工程团队能够有效地管理复杂的施工项目，保证工程按照最高标准顺利完成。这不仅优化了资源利用，减少了成本和时间的消耗，还显著提升了工程安全性和可靠性，是现代大型土木工程不可或缺的技术支持。

四、结语

全球导航卫星系统技术在大型土木工程施工测量中的应用，不仅是技术进步的体现，也是现代土木工程向更高效率、更高安全标准迈进的关键步骤。通过深入研究 GNSS 技术在此领域的具体应用案例和效果，可以为工程测量领域提供新的视角和方法，促进土木工程科技的进一步发展和创新。

参考文献

[1] 黄观文, 陈孜, 徐永福. 膨胀土边坡 GNSS 实时监测技术 [J]. 测绘学报, 2023, 52(11):1873-1882.
[2] 张梓巍, 白玉星, 李晨曦. 全球导航卫星系统的发展综述 [J]. 科技与创新, 2023(9):150-152.
[3] 宿林, 张帅. 基于 GNSS 的滑坡自动化监测应用分析 [J]. 地理空间信息, 2023, 21(2):122-124.
[4] 赵帅王胜杨淑娟崔维久. 基于 GNSS 技术的结构位移监测应用研究进展 [J]. 施工技术 (中英文), 2022, 51(21):6-10.
[5] 任学锋, 黄科伟, 李营作. GNSS 监测技术在露天矿边坡监测预警中的应用 [J]. 露天采矿技术, 2023, 38(4):46-48.
[6] 郭冰, 孟丽媛, 杨丁亮. 建筑业转型升级背景下“土木工程测量”课程教学改革思考 [J]. 科教导刊, 2023,(35):110-112.
[7] 刘勇. 土木工程施工中的测量施工分析 [J]. 居业, 2019,(01):6-7.
[8] 鲁明星, 吴晓红, 乔京生, 等. 应用型本科院校茅以升班“工程测量”课程教学研究及实践 [J]. 测绘与空间地理信息, 2018,41(06):8-10.
[9] 张宗领. 《土木工程测量》课程教学改革探索 [J]. 廊坊师范学院学报 (自然科学版), 2017,17(03):126-128.
[10] 袁沁琳. 简单的数学方法在土木工程放线中的作用 [J]. 科技视界, 2017,(16):126+106.

探讨火力发电厂发电机组集控运行技术

蔡明松

贵州西电电力股份有限公司黔北发电厂，贵州 毕节 551800

摘 要：近年来，随着计算机技术的发展，在电力企业中的应用越来越广泛，在电力企业中集成电路和微处理器大量的被应用，这也有效的推动了集控运行技术的发展。自集控运行技术面世后，不仅有效的加快发电厂操作控制技术的发展，而且有效的提高了发电厂生产运行能力，提高了系统的自动化水平，确保了发电厂供电的可靠性。火力发电厂作为电力生产的重要组成部分，其运行效率和稳定性直接关系到社会能源供应和经济发展。本文旨在探讨火电厂发电机组集控运行技术，分析其基本原理、存在的问题、控制方式及相应的优化策略，为电力工业的可持续发展提供理论支持和实践指导。

关 键 词：火力发电厂；发电机组；集控运行技术；基本原理；策略

Discuss the Centralized Control Operation Technology of Thermal Power Plant Generator Set

Cai Mingsong

Guizhou West Electric Power Co., LTD. Qianbei Power Plant, Bijie, Guizhou 551800

Abstract： In recent years, with the development of computer technology, the application in power enterprises is more and more widely, in the integrated circuit and microprocessor in power enterprises, which also effectively promoted the development of centralized control operation technology. Since the introduction of the centralized control operation technology, it not only effectively accelerates the development of the operation and control technology of the power plant, but also effectively improves the production and operation capacity of the power plant, improves the automation level of the system, and ensures the reliability of the power supply of the power plant. As an important part of electric power production, the operation efficiency and stability of thermal power plants are directly related to the social energy supply and economic development. This paper aims to discuss the centralized control operation technology of thermal power plant generators, analyze their basic principles, existing problems, control mode and corresponding optimization strategies, and provide theoretical support and practical guidance for the sustainable development of the power industry.

Keywords： thermal power plant; generator set; centralized control operation technology; basic principle; strategy

引言

火力发电厂作为传统的发电方式之一，在电力系统中占有重要的地位，随着工业规模的扩大和电力需求的增加，提高火电厂的运行效率和稳定性成为一个亟待解决的问题。集控运行技术作为现代工业控制技术的一个重要分支，通过集成电子技术、计算机技术和通信技术，实现发电机组的集中控制和优化管理，对提高火电厂的生产效率和运行稳定性具有重要意义。

一、火电厂发电机组集控运行技术综述

（一）基本原理

火力发电厂发电机组集控运行技术作为电力行业领域的里程碑式创新，其影响深远，超越了单纯的技术范畴，成为推动能源行业向智能化、高效化转变的关键力量。火力发电厂发电机组集控运行技术不仅仅是一个控制系统，更是信息技术和发电技术的深度融合，体现了科技进步对电力生产模式的重塑。通过火力发电厂发电机组集控运行技术，电厂内的每一台发电机组都仿佛被赋予了“智

慧”，能够在复杂多变的运行环境中自动调整优化，确保供电的稳定和安全。^[1]火力发电厂发电机组集控运行技术的核心运行机制就像一个精密的大脑，其心脏是一个高性能、高可靠性的处理器，负责处理来自电厂各个角落的海量数据，这些数据就像生物的神经信号一样，通过高度发达的网络通信技术在控制单元和处理器之间快速传递，这些控制单元分布在发电机组的每个角落，他们就像一双敏锐的眼睛，时刻监控着发电机组的运行状态，无论是微小的温度变化，还是压力波动的瞬间，都逃不过他们的感知。一旦数据被收集，它们将被发送到处理器的“思维大厅”进行深入分析，处理器

作者简介：蔡明松（1994.05-），男，汉，贵州贵阳，本科，助理工程师，火电厂集控运行，贵州西电电力股份有限公司黔北发电厂。

根据预设的算法和控制逻辑对数据进行解读，并据此判断机组的健康状态和运行效率。^[2]随后，它会向各个控制单元发出精确的指令，调整燃料供给、空气流量、冷却水循环等关键环节，使机组保持最佳运行状态，这个过程就像一场精心编排的舞蹈，每一个动作都很精准，保证了动力产生的连续性和高效性。

（二）技术优势

火力发电厂发电机组集控运行技术优势，如同其运行机制一样，是多维度的、深层次的，在节能方面，火力发电厂发电机组集控运行技术凭借其出色的实时数据分析能力，能够准确把握机组的能耗特性，通过动态调整运行参数，实现能源的最大利用，像一个精明的会计，时刻计算着投入产出比，确保每一份能量都能转化成尽可能多的电能。在操作便利性方面，火力发电厂发电机组集控运行技术彻底改变了传统电厂的运行模式，运行人员不再需要在控制室之间穿梭，只需要坐在中央控制室，通过图形用户界面直观地掌握整个电厂的运行情况，系统的智能化设计让复杂的操作变得简单易懂，即使是新手也能快速上手。在性能稳定性方面，火力发电厂发电机组集控运行技术以其高冗余、高可靠性的设计，保证了系统在面对突发故障或恶劣工况时的稳定运行，作为一名经验丰富的守护者，时刻准备迎接各种挑战，保证供电的连续性和安全性。^[3]火力发电厂发电机组集控运行技术在电力安全中发挥着不可替代的作用，通过集成的安全监控和保护机制，可以及时发现和消除安全隐患，同时，该系统还支持与消防、安防等系统无缝对接，形成全方位、立体化的安全防护网络，为电力生产安全保驾护航。

二、火力发电厂发电机组集控运行技术存在的问题

（一）主蒸汽压力系统控制问题

在火力发电厂的“心脏”，主蒸汽压力系统的稳定控制是保证发电效率和安全的基石，然而，这一关键环节正面临诸多挑战，能量平衡公式作为控制理论的核心，为压力调节提供了理论依据，但在实际操作中其应用比预想的要困难。发电厂内部的复杂环境，如多变的负荷需求、燃料特性的细微差异，甚至是季节性的温度变化，都可能导致能量值的剧烈波动，使精确估计变得极其困难，这不仅要求技术人员有深厚的理论功底，还要求他们有敏锐的洞察力和丰富的实践经验，以应对各种突发变化。^[4]更复杂的是，当电厂采用协调系统辅助运行时，主蒸汽压力的控制策略又增加了一层变量，虽然协调系统可以在一定程度上平衡各子系统的运行，但在退出协调模式之前，主蒸汽压力的控制仍需回到能量平衡公式的理论框架，这意味着，转换过程中任何微小的偏差或延迟，都可能导致系统的不稳定，甚至引发连锁反应，影响整个电厂的运行安全。

（二）过热温度系统控制的复杂性

过热温度系统的控制是火电厂集控技术中的又一难题，该系统作为一个精密调节器，需要时刻关注煤水比、火焰中心高度、热表面结渣、给水温度等变量的细微变化，这些变量交织在一起，形成错综复杂的网络，任何一个环节的失衡都可能对过热的温度产生深远的影响。尽管工程师们已经为这一系统建立了完善的理论基础，但在实际应用中，各种不可预见的问题仍然层出不穷，例如，测温元件的精度可能会因长期使用而下降，导致温度读数不准确，调节

阀的响应速度可能因磨损而变慢，使调节效果大打折扣。此外，生产过程中的一些微小缺陷或不合理设计，在长期运行后可能会逐渐暴露出来，进一步加剧了过热温度系统控制的复杂性。

（三）再热汽温系统控制困境

与一次风温控制相比，再热汽温系统的控制难度无疑更高，这主要是因为再热蒸汽温度受外界因素干扰较多，其变化更加敏感，难以预测。为了应对这一挑战，一些火电厂选择使用减温水进行温度调节，然而，这种方法虽然看似简单直接，却隐藏着很多隐患。减温水的使用无疑会增加机组的能耗和运行成本，在能源价格不断上涨的今天，这无疑会给电厂带来更大的经济压力，减温水和蒸汽之间的热交换效率并不总是那么理想，尤其是在高温高压的环境下，这种热交换过程可能会变得更加复杂和难以控制，因此，即使使用减温水，也很难保证再热蒸汽温度能够稳定在理想范围内。^[5]更严重的是，使用减温水还可能对机组的热效率和排放性能产生不利影响，减温水过多可能导致蒸汽湿度增加，进而降低机组热效率，同时，还可能增加机组的排放含量，对环境造成更大的污染。因此，如何在不断增加额外成本和环境负担的情况下实现再热汽温系统的精确控制，已成为火电厂集控运行技术中亟待解决的重要问题。

三、火力发电厂发电机组集控运行技术控制方式

（一）通信系统集成控制

在火电厂发电机组集控运行技术中，通信系统的集控模式作为信息枢纽起着关键作用，该模式的核心是实现多系统接口的深度集成，通过高度发达的通信网络将电厂内的控制系统紧密连接起来，形成一个高效协调的整体。不仅大大提高了数据传输的速度和准确性，还保证了系统间信息的无缝对接和实时共享，为集控运行提供了坚实的基础。通信系统集成控制模式的优势在于其很强的协调性和灵活性，能根据电厂实时运行情况自动调整数据传输的优先级和路径，保证关键信息得到及时处理和反馈。^[6]同时，这种模式还具有很强的容错和冗余机制，即使某些通信链路出现故障，也能快速切换到备用通道，保证系统的持续稳定运行，这种高度的集成化和智能化，使得电厂的管理和运维更加高效便捷。

（二）分散控制模式

分散控制方式是火电厂发电机组集控运行技术的又一亮点，该模式通过将发电机组划分为若干个相对独立的控制单元，实现了控制任务的分层和分散，这种设计思想有效地降低了单个控制节点所承受的压力和风险，避免了传统集控系统中单个故障引起的连锁反应。在分散控制模式下，每个控制单元都具有相对完整的控制逻辑和数据处理能力，能够独立完成一定的控制任务。同时，各控制单元保持密切联系与合作，通过通信系统实现信息的实时交换与共享，这种“化整为零，合二为一”的控制方式，不仅提高了系统的鲁棒性和可靠性，也使电厂在面对复杂多变的运行工况时能够更加灵活地做出反应。

（三）分级梯次控制模式

分层递阶控制方式是火电厂发电机组集控运行技术中的又一重要控制策略，模型将系统的控制过程和监控过程分为几个不同的步骤，每个步骤承担特定的任务和责任，这种分层设计使得系统结构更加清晰有序，也便于管理和维护。在分级梯次控制模式

下,各级控制单元各司其职,互不干涉,低层控制单元负责执行具体的控制指令和数据处理任务,高层控制单元负责整体策略规划和调度,这种“自下而上,循序渐进”的控制模式,不仅提高了系统的整体运行效率和响应速度,也使电厂在面对突发事件时能够快速做出决策和调整。同时,该模型还具有很强的扩展性和适应性,能够轻松应对电厂规模和需求的不断增长和变化。^[7]

四、火力发电厂发电机组集控运行技术优化策略

(一) 全面改善集控系统的环境条件

为了保证火力发电厂发电机组集控系统的持续高效运行,必须全面细致地改善和优化系统的环境条件,不仅仅是硬件设施的简单维护,更是对系统稳定性和安全性的深刻承诺。对于集控系统的外部环境,必须保证 UPS 和仪表电源的稳定供应,这意味着要定期检查供电线路,确保其不会老化或损坏,并配置适当的冗余供电系统,以应对突发停电等紧急情况。同时,要严格控制控制室和电子室的温度和湿度。通过安装精密空调、除湿机等先进的温湿度调节设备,将室内环境维持在最佳运行范围,防止电子设备因湿度过高或过低而损坏。^[8]另外,电磁信号干扰是影响集控系统稳定运行的隐患,必须采取有效措施,如使用屏蔽电缆和增加滤波器,以减少电磁信号对系统的干扰。

(二) 加强集控系统运行的技术管理

技术管理是保证集控系统长期稳定运行的关键,必须加强系统运行技术管理,从多方面全面提升系统运维水平,要建立和完善系统维护和检修制度,这包括制定详细的维护计划、维护程序和应急计划,以确保每项维护工作都能得到遵循和记录。同时,要加强对维护人员的培训和管理,提高他们的专业技能和责任心,确保系统能够得到及时有效的维护。要注重软硬件设备的升级更新,随着科学技术的不断进步,新的软硬件技术层出不穷,应与时俱进,定期升级更新系统,引入更先进可靠的软硬件设备,提高系统的运行效率和稳定性。要加强系统运行数据的分析和处理,通过建立完善的数据监控和分析系统,可以实时掌握系统的运行状态和性能指标,及时发现潜在的问题和隐患,并采取相应的措施进行处理,这不仅有助于提高系统的可靠性和安全性,也为后续的优化和改进提供了有力的数据支持。

(三) 提高系统控制精度和响应速度

控制策略是集控系统的核心,不仅可以提高系统的控制精度和响应速度,还可以进一步降低运行成本,提高发电效率,在优化控制策略时,需要紧密结合机组的实际情况和运行要求。通过对机组历史运行数据的深入分析,可以发现其运行规律和特点,制定更符合实际情况的控制策略,比如可以根据负荷变化调整煤水比、火焰中心高度等参数或者采用神经网络控制、模糊控制等先进的控制算法,提高系统的自适应能力和控制精度。同时,还需要注意控制系统的实时性和响应速度,通过优化控制算法,提高控制器的运算能力,缩短系统的响应时间。

(四) 加强人员培训和应急演练

在火电厂发电机组集控运行技术不断优化过程中,人员培训和应急演练是不可或缺的重要环节,该策略旨在提高运维团队

的专业技能,增强团队协作能力,提高处理突发事件的能力。定期对集控系统运维人员进行专业培训,培训内容应涵盖最新技术知识、系统运行规范、故障排除和处理技能。^[9]通过理论与实践相结合,提高运维人员的专业素质和实际操作能力,同时,建立激励机制,鼓励运维人员参加行业认证考试,进一步提高队伍的整体技术水平。进一步制定详细的应急预案,定期进行应急演练,演练的内容应包括各种可能的突发事件,如系统故障、设备损坏、外部灾害等,以及相应的对策和处置程序,通过模拟真实场景下的应急处理过程,检验了应急预案的可行性和有效性,提高了运维团队的应急响应速度和处置能力。

(五) 引入智能监测诊断技术

随着人工智能、大数据等技术的快速发展,智能监测与诊断技术在火电厂发电机组集控运行中的应用越来越广泛,通过引入先进的智能技术,提高系统的自动化和智能化水平,实现更加准确高效的运行管理。利用物联网、传感器等技术手段,对发电机组及其集控系统的运行状态进行实时监控,通过收集和分析大量运行数据,可以及时发现系统异常或潜在故障,为运维人员提供预警信息。同时建立可视化监控平台,以图表和动画的形式直观展示系统运行状态,使运维人员快速掌握系统整体运行情况。结合机器学习、数据挖掘等智能算法,对采集的运营数据进行深度分析,通过构建故障预测模型和诊断知识库,实现了系统故障的自动诊断和定位。^[10]

五、结语

综上所述,随着社会发展,火力发电厂的生产任务日益繁重,生产管理难度也不断加大,将发电机组集控运行技术应用于火力发电厂电力生产过程,可以提升电力生产系统运行稳定性和安全性。在实际生产过程中,应从机组发电集控运行技术特征入手,全面提升设备与系统之间的联动性,确保系统的高质量运行。今后应通过智能化、系统化、科学化、现代化的技术措施提升火力发电厂生产系统性能,为平稳的电力生产奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 王志坤, 王杰, 王爱明. 火电厂燃煤全自动化制样机性能试验方案研究 [J]. 华电技术, 2019, 41 (3): 43-45.
- [2] 王金波. 电厂入厂煤与入炉煤热值差问题探讨 [J]. 东北电力技术, 2014, 35 (9): 49-51, 4.
- [3] 金鹏. 火电厂集控运行节能降耗对策 [J]. 现代工业经济和信化, 2020, 10(06): 73-74.
- [4] 文发红. 火力发电厂发电机组集控运行技术应用研究 [J]. 光源与照明, 2022(6): 139-141.
- [5] 耿亚军. 火力发电厂发电机组集控运行技术分析 [J]. 应用能源技术, 2021(1): 7-9.
- [6] 李骁. 燃煤电厂发电机组集控管理和协调控制系统优化设计研究 [J]. 电工技术, 2020(10): 60-61, 63.
- [7] 雷爱国. LY1200 铁合金煤气发电机组的关键技术 [J]. 内燃机与动力装置, 2022, 39(1): 31-35.
- [8] 刁利, 李光, 宋雪莹, 等. 新能源分比例渗透下基于博弈的多主体效益综合评估方法 [J]. 电力建设, 2022, 43(6): 43-55.
- [9] 肖尤国. 试论火力发电厂发电机的集控运行技术 [J]. 低碳世界, 2020, 10(01): 55-56.
- [10] 欧阳海波. 分析发电机组集控运行技术在火力发电厂中的应用 [J]. 建材与装饰, 2020, (01): 234-235.

供热工程预制直埋保温管接头保温施工工艺研究

刘俊杰, 秦建斌, 崔刚, 李清泽, 赵艳

中国建筑一局(集团)有限公司, 中建一局集团安装工程有限公司, 北京 102600

摘 要 : 预制直埋保温管是当前供热工程常用管道, 而接头保温施工则是预制直埋保温管施工的重点。文章基于此, 以郑州热力集团有限公司华润登封电厂引热入郑长输供热管网工程为研究案例, 先对工程基本情况做了简单介绍, 继而从施工流程出发, 介绍了接头保温施工工艺, 并探讨了质量保证措施。

关 键 词 : 供热工程; 预制直埋保温管; 接头保温; 施工工艺

Research on the Insulation Construction Technology of Prefabricated Buried Insulation Pipe Joints in Heating Engineering

Liu Junjie, Qin Jianbin, Cui Gang, Li Qingze, Zhao Yan

China Construction First Engineering Group Co., Ltd, China Construction First Engineering Group Installation Engineering Co., Ltd. Beijing 102600

Abstract : Prefabricated buried insulation pipes are commonly used pipelines in current heating engineering, and joint insulation construction is the focus of prefabricated buried insulation pipe construction. Based on this, the article takes the Zhengzhou Thermal Power Group Co., Ltd. Huarun Dengfeng Power Plant's heat introduction into the Zhengzhou long-distance heating pipeline network project as a case study. Firstly, a brief introduction is given to the basic situation of the project. Then, starting from the construction process, the joint insulation construction technology is introduced, and quality assurance measures are discussed.

Keywords : heating engineering; prefabricated buried insulation pipe; joint insulation; construction technology

管道是供热工程最为基础的设备, 起到着连接供热设施以及保障集中供热的作用。随着供热距离的不断延长, 长输管道成为供热工程的主要管道类型, 然而, 热能在传输过程中存在着一定的损耗性, 并且, 管道距离越长, 热能损耗率越高, 这极大地降低了热能的利用效率, 导致了能源浪费。预制直埋管是一种新型供热管道, 由管材、聚氨酯硬质泡沫预制保温层以及高密度的聚乙烯外护套管保护壳构成, 具有诸多优点^[1]。接头保温施工是预制直埋保温管施工的重要组成部分, 本文主要探讨预制直埋保温管接头保温施工工艺。

一、项目简介

本次研究以郑州热力集团有限公司华润登封电厂引热入郑长输供热管网工程(以下简称引热入郑项目)为案例。引热入郑项目建设内容主要包含长度约45公里供热主干线及2座中继泵站、1座能源站工程, 项目供回水管道直径达1.6米, 是全国管径最大、高差最大、压力最大的长输供热管网工程, 热源将由登封市引至郑州市内, 建成后将为郑州市提供4667万平方米的供热能力。引热入郑项目在接头保温施工中采用双密封式接头: 加宽电热熔套+外包热缩带+热熔焊孔+横向热熔焊接工艺。补口先进行热熔套施工, 然后进行气密性检测, 检验合格后发泡保温, 再沿焊缝缠绕粘接热缩带, 热缩带作为冗余密封形式。现场补口注料孔采用热熔焊, 横向(沿管道轴向)焊缝采用热熔焊接, 热熔焊接处进行拉伸试验, 母材伸长变形, 而塞堵与母材的焊接面不开裂为合

格。管道外补口采用了“长输供热管网外补口施工工法”, 有效提高了施工效率, 保障了工程质量, 在实际工程中的施工周期、成本等方面取得了良好的效果。

表1.1 引热入郑项目接头保温材料选用表

序号	名称	规格型号	主要指标	用途
1	电热熔套	聚乙烯热熔套, 直径与管道外径保持一致	直径	补口
2	热收缩带	热收缩带沿轴向长度需大于补口宽度, 沿外护管环向长度 \geq 保温外护管周长+0.6m, 环向搭接口, 搭接长度不小于150mm。	宽度	冗余密封
3	封堵	与注料孔大小匹配	-	封堵注料孔
4	发泡剂	聚氨酯	-	保温材料

作者简介: 刘俊杰(1991-), 男, 汉族, 陕西省宝鸡市, 工程师, 本科学历, 主要从事机电工程施工研究。

二、项目施工工艺

（一）管道清理

管道清理是预制直埋保温管接头保温施工的第一步，工艺要点包括三点：

①清理过程必须保持管端保温层始终处于干燥状态，作好防水保护。

②发泡前工作钢管表面应进行预处理，使用适当的工具（如刷子、刮刀、砂纸或电动清洁工具），去除铁锈、轧钢鳞片、油脂、灰尘、油漆、水分或其他，工作钢管外表面除锈等级应符合 GB/T8923.1-2011 中 Sa2.5 的规定。

③使用酒精将热熔套与管道外套管搭接范围以及外延 200mm 范围内清洗干净，尤其是外套底部死角必须清理干净以确保热熔套粘接质量。如果管道表面有油脂或其他化学污染物，使用工业清洁剂或溶剂进行清洗。使用清洁剂后，用干净的水彻底冲洗管道，以去除清洁剂残留，并确保表面干燥。

（二）电热熔套安装与熔接

电热熔套为用于连接管道的专用套管，一般由聚乙烯（PE）或聚丙烯（PP）材料制成。引热入郑项目采用了电热熔套安装与熔接工艺：

①电热熔套的厚度与管道外套管等厚，电热熔套的宽度 $800 \pm 20\text{mm}$ 。

②热熔接头的外护层与保温管外护管的熔体质量流动速率的差值控制在 $0.5\text{g}/10\text{min}$ （试验条件为 5kg ）以内。

③在接口两端外护管表面画热熔套标识定位线，确保热熔套与外护管搭接部分大于 150mm 。

④将电热熔套安放在需要连接部位，电热熔套两端与保温管搭接部分宽度大于 150mm ，（注料孔方向朝上）热熔丝两端露出约 50mm 接线，调整电热熔套使横向接口处对接紧密，然后用三条打包带将电热熔套对接部位、两侧保温管道结合部位分别环形压紧^[2]。

⑤根据电热熔管道的材质，设置合适的熔接温度（通常在 $200\sim 240$ 摄氏度）。观察电热熔机上的指示灯，待其达到设定温度后才能开始熔接。

⑥通电热熔，使热熔套与管道外套管粘结牢固。将热熔丝外接线与电源线连接，按设定的热熔时间（25 分钟左右）和电流调节好热熔机，加热至聚乙烯外护管与电热熔套结合处熔化溢出，断开热熔电源，熔合结束即完成。（热熔前需保证沟槽内不要有水浸泡电热熔套）

⑦电热熔套横向对接处熔接。电热熔套两侧熔接完成后，使用手提式焊枪对热熔套横向（管道轴向）对接处进行焊接。

⑧检查熔接部位的外观是否均匀、无气泡或裂纹。在适当的条件下进行压力测试，以确保连接的密封性和强度。

（三）气密性实验

补口接头的气密性实验是确保管道系统或设备接口在工作过程中不会漏气的关键测试，当补口接头自然冷却至 40 摄氏度以下时，对保温接口进行气密性试验，主要流程包括实验准备、密封

准备、加压测试、漏泄检测、结果评估等^[3]。引热入郑项目气密性实验流程如下：

①准备实验设备。实验中采用的到设备主要有气密性测试仪、压力源、密封装置、泡沫检测液、温度计和湿度计等。

②密封准备。对接头进行表面清洁，确保没有尘埃和油污。使用密封装置将补口接头的一端密封，同时确保另一端能与气源连接。将压力表安装在排气孔位置，确保密封严密，拧紧固定螺栓。

③加压测试。用气泵将压缩空气注入到补口保温电热熔套内，试验压力应维持在 0.02Mpa ，在电热熔套熔接处涂上肥皂水，保持压力 2min ，目测环缝和横缝处没有气泡产生，气密性试验成功，质量合格。若有部位漏气应进行修补，然后进行气密性试验，合格后方可进行聚氨酯发泡。

④漏泄检测。若发现有向两侧管道串气现象，则在补口前后的两根管道保温裸露部分安装密封装置—橡胶密封圈，将补口前后的两根管道保温裸露部分封堵严实，然后再进行气密性试验。

⑤结果评估。记录实验过程中观察到的数据，包括施加的压力、保持时间及漏气情况。

（四）补口注料

供热管道运行过程中，易受高温、高压、腐蚀等多种因素的影响，出现泄漏、腐蚀和损伤。补口注料既能提升供热管道的性能，也是接头保温施工的重要工艺。材料的选择，是补口注料工艺的关键。引热入郑项目采用的是聚氨酯^[4]。作为专门用于修补和填充材料缺陷的高性能材料，聚氨酯在供热管道补口注料中有着多重优势，一方面，聚氨酯能够与多种基材形成良好的粘合，不易脱落，且具有出色的耐磨性，适合修补需要承受物理磨损的部件^[5]。另一方面，聚氨酯用有阻力较好的弹性，能够适应基材的热胀冷缩，有效降低了补口部位的开裂风险。并且，聚氨酯耐油、耐水及耐多种化学品，适合恶劣环境下的应用。聚氨酯补口注料工艺如下：

①发泡采用移动式发泡机发泡，原料采用聚氨酯。

②计算聚氨酯的注射量：聚氨酯注射量的计算公式为 $(R+D)*D*3.14*L*\rho$ ，式中 R 为管道钢管直径， D 为管道保温层厚度， L 为补口宽度， ρ 为聚氨酯容重。

③从孔溢出的泡沫完全固化后进行敲击检验，泡沫应充实饱满。

（五）注料孔封堵

注料孔主要用于材料的注入、排出，常用的封堵方法主要有物理封堵、化学封堵两类。引热入郑项目采用的是热熔封堵工艺，先使热熔材料在高温下变成液态，填充注料孔，再待其冷却固化，形成封堵效果。热熔封堵工艺具有高密封性、操作简单、无损拆卸、适用性强等优势^[6]。热熔材料在冷却后会收缩，形成紧密的接触，能够有效防止泄漏，并且，操作中，只需加热材料并填充，冷却后即完成封堵，操作过程相对简单。热熔封堵工艺要点有二：

①于孔塞热熔焊接处进行拉伸试验，母材伸长变形，而塞堵与木材的焊接面不开裂为合格。

②用电热熔装置同时对封堵和注料孔进行加热，至熔融状态时将封堵塞入注料孔中，使之结成一体，必要时用热缩带封盖。

（六）热收缩带安装

热收缩带为接头保温重要工艺，并且，绝热层的材质不同，热收缩带表现出来的性能以及实际的保温效果也有着很大的差异。以往，热收缩带的材质主要有常规聚乙烯、辐射关联聚乙烯两种，其中，辐射关联聚乙烯不仅具有更高的力学强度，且耐腐蚀、抗衰老的性能更为优越^[7]。近年来，随着材料科学的不断发展，热收缩带的材质更为多样。热熔胶作为新型热收缩带，具有粘接强度高、适用范围广、保温效果好的优点。同时，热收缩带也能在管道接头部位产生防腐效果，从而增强管道的耐侵蚀性、抗衰老性，延长管道的使用寿命。引热入郑项目采用的是热熔胶材质的热收缩带，安装工艺如下：

①清污。对热收缩套及外套管粘接部位进行表面清污工作，用清水抹净表面泥土、污物，采用酒精擦拭油污部分，确保清污宽度不小于热收缩带宽度。对粘结部位进行打毛处理，确保打毛宽度不小于热收缩带宽度。对粘结部位进行干燥处理，如晾干或烘灯烘干。

②裁剪。根据接头的大小，确定热收缩带与热收缩套的搭接长度，热收缩带的长度应比待包裹的部分稍长，以确保完全覆盖，热缩带的一端裁去倒角 $\angle 50\times 15\text{mm}$ 。

③安装。将剪裁好的热收缩带均匀地包裹在接头部位上，确保热收缩带紧密贴合，避免出现褶皱或空隙^[8]。

④加热。先用小火将搭接的两层热缩带烘烤至胶层微化，然后将胶层已烘烤过的压盖居中扣在搭接缝上，转中火均匀烘烤，确保压盖与热缩带完全粘接。加热中，注意检查热收缩带和压盖是否有翘边和气泡存在，如有，及时修补。

⑤冷却。加热完成后，让热收缩带自然冷却，冷却后应呈现出紧密固定的状态。检查安装是否牢固，确保没有松动或脱落的现象。

（七）质量保证措施

质量管理是现代管理体系的有机组成部分，指借助质量策

划、控制、保证、改进等手段来实现质量目标的全部活动。接头保温施工是一项系统性工程，涵盖管道清理、电热熔套安装与熔接、气密性实验等多个环节，任何环节的质量问题，都会影响到施工工艺的整体效果。引热入郑项目采用了成体系的质量保证措施。

①保温施工前钢管表面除锈至 Sa2.5 级，阴雨、大风天气停止施工。

②电热熔套安装过程中注意避免被水浸泡，打包带扎紧使电热熔套与管道外护套贴合紧密，横向对接紧密。

③严格控制通电热熔时间，避免热熔不到位或过热熔损坏护套情况。

④大量发泡之前，进行小模具发泡实验，然后再放单根发泡，并收集试样送质检部门化验，合格后方可大批量施工^[9]。

⑤发泡之前根据环境温度、管径大小，保温层耐流温度要求、单根长度、精确计算材料用量，A、B 组份配比应控制在 1：（1-1.1）之间，及时测试发泡机 A、B 出料速度定时做出调整，发泡之前先吹入冷空气将其降温，温度太低，施工设置加温装置^[9]。

⑥发泡时先开启压缩空气阀门，调整压缩空气压力使原料雾化，然后正式作业。

⑦发泡喷注过程中从管的另一端排气口处认真观察内部发泡情况，及时堵住排气口。

⑧发泡操作结束时，清理干净所用工具及管道表面^[10]。

三、结语

接头保温施工作为预制直埋保温管施工的重点，由管道清理、电热熔套安装与熔接、气密性实验、补口注料、注料口封堵以及热收缩带安装等工序构成。应从工序特点出发，采取好质量保证措施，提高施工工艺水平。

参考文献

[1] 耿海洋. 聚氨酯预制直埋保温管的保温层受力分析及设计要求 [J]. 区域供热, 2019(01):132-139.
[2] 杨雪飞. 聚氨酯预制直埋保温管道散热损失研究 [J]. 工业加热, 2018, 47(06):48-50+63.
[3] 沈旭, 白冬军. 聚氨酯直埋保温管道切向剪切试验装置的设计 [J]. 机电产品开发与创新, 2018, 31(05):83-85.
[4] 王超, 韦健民, 陈永生. 聚氨酯高密度聚乙烯预制直埋保温管施工技术 [J]. 安装, 2018(03):47-49.
[5] 冯伟伟. 谈直埋预制保温管现场保温修补的做法 [J]. 山西建筑, 2021(17):102-103+170.
[6] 王莹. 预制直埋保温塑料管与预制直埋保温钢管的比较分析 [J]. 中国设备工程, 2021(9):206-207.
[7] 吴近, 杨国梁. 浅析高密度聚乙烯聚氨酯预制直埋保温管产品技术 [J]. 石化技术, 2019(6):297-298.
[8] 张瑞娟, 张世豪. 热力管道安全评估研究与实践 [J]. 区域供热, 2024, (03):109-118.DOI:10.16641/j.cnki.cn11-3241/tk.2024.03.016.
[9] 郝文辉. 热力管道腐蚀问题分析与预测 [J]. 全面腐蚀控制, 2024, 38(06):153-156.DOI:10.13726/j.cnki.11-2706/tq.2024.06.153.04.
[10] 郭彬. 市政热力管道设计与施工技术的应用现状及优化方案 [J]. 中国建筑金属结构, 2023, (02):33-35.DOI:10.20080/j.cnki.ISSN1671-3362.2023.02.012.

水文地质勘察在污染场地环境调查中的重要性

杨倩

四川省第七地质大队，四川 乐山 614000

摘 要：通过对地下水的循环和流动规律、地质结构对地下水流动的影响以及污染物在地下水中迁移机制的深入研究，水文地质勘察能够提供关于地下水资源和污染物行为的关键数据。在污染场地的环境调查中，水文地质勘察有助于确定污染物的来源及其迁移路径，从而评估污染物对地下水资源的潜在影响。此外，它为污染场地的修复和风险评估提供了科学依据。实际应用中，水文地质勘察包括场地特征调查、污染源识别和污染范围与程度的评估，确保了环境调查的全面性和准确性。

关 键 词：水文地质勘察；地下水循环；污染物迁移

The Importance of Hydrogeological Survey in Environmental Investigation of Polluted Sites

Yang Qian

The seventh Geological Brigade of Sichuan Province, Leshan, Sichuan 614000

Abstract：Through in-depth studies on the circulation and flow patterns of groundwater, the influence of geological structures on groundwater flow, and the migration mechanism of pollutants in groundwater, hydrogeological surveys can provide critical data on groundwater resources and pollutant behavior. In the environmental investigation of polluted sites, hydrogeological surveys help determine the source of pollutants and their migration pathways, thereby assessing the potential impact of pollutants on groundwater resources. Furthermore, it provides a scientific basis for the remediation and risk assessment of polluted sites. In practical applications, hydrogeological surveys include site characteristic investigations, pollution source identification, and assessment of pollution scope and extent, ensuring the comprehensiveness and accuracy of environmental investigations.

Keywords：hydrogeological survey; groundwater circulation; pollutant migration

一、水文地质勘察的基本原理

（一）地下水的循环与流动

地下水的循环是一个涵盖水分蒸发、降水、渗透、流动及回补等多个环节的复杂过程，其形成始于降水，通过地表的渗透作用渗入地下，穿过表层土壤和岩石的过滤，最终储存在地下含水层中。在地下水的流动过程中，地形、地质结构以及补给和排泄条件等因素均会对其流动特性产生显著影响。自然状态下，地下水通常从高水头区域流向低水头区域，流动模式主要由重力和地下水压力差驱动。地下水的流动速度和方向受到地层孔隙度和渗透性的决定性影响。渗透性较大的地层具有较高的水传输能力，可以容纳和传输大量的水，而渗透性较低的地层则限制了水的流动，导致水流缓慢或停滞^[1]。

地下水在流动过程中还受到地质结构的影响，地层的孔隙度和渗透性是决定地下水流动速度的关键因素。孔隙度大的地层可以储存更多的水，而渗透性好的地层允许水流动得更为迅速。相反，孔隙度和渗透性较差的地层则对地下水流动产生阻碍。此外，地形的起伏和地下水补给及排泄条件也对地下水流动模式产生影响。山脉和丘陵形成地下水流动的障碍，改变水流的方向和速度，而地下水补给源（如降水或河流）和排泄源（如泉水或地

下水流出）则会影响地下水的补给和排泄平衡，从而影响整体的水流动态。

（二）地质结构对地下水流动的影响

地质结构对地下水流动的影响主要体现在岩石的孔隙度、渗透性以及地质层的构造特征，岩石和土壤的孔隙度决定了地下水的储存能力，即地下水能够在岩石或土壤中存储的总量。渗透性则影响水的流动速度和流动路径，渗透性高的地层允许水流迅速通过，而渗透性低的地层则会对水流形成阻碍。地下含水层的地质构造特征，如裂缝、断层和褶皱，对地下水流动产生了复杂的作用。裂缝和断层通常会形成地下水流动的主要通道，使得地下水能够沿这些结构迅速迁移，导致水流速度显著加快，在地下水中形成高渗透通道，从而引导地下水流向特定区域。相对而言，褶皱和层间的不连续面可能会对地下水的流动产生阻碍或引导作用，褶皱的弯曲结构导致地下水在褶皱的凹陷部分积聚，而层间的断裂面可能使地下水在流动中发生偏折或停滞。^[2]地质结构的复杂性要求在水文地质勘察中进行深入的空间分布分析，理解不同地质层对水流的控制作用，包括详细勘测岩层的空间分布、分析地层的交错和重叠情况，以及识别可能影响地下水流动的各类地质构造特征，有助于准确描绘地下水的流动特征，预测地下水在不同地质条件下的行为，并为水资源的管理和保护提供科学

依据。

（三）污染物在地下水中的迁移机制

污染物在地下水中的迁移机制是一个复杂的过程，涉及多种物理、化学和生物因素，主要的迁移机制包括溶解、扩散、对流和吸附等。溶解过程指的是污染物以离子或分子形式溶解在地下水中，溶解的污染物随水分子一起流动，成为地下水的一部分。扩散机制则是由污染物浓度梯度引起的自发性迁移，浓度较高的区域向浓度较低的区域迁移，直到达到均衡状态。对流则是由于地下水流动所带动的污染物迁移，地下水的流动将污染物从源头带向其他区域，这种迁移方式与水流的速度和方向密切相关。污染物的迁移速度和范围不仅受到上述机制的影响，还与地质介质的性质密切相关，砂质地层由于其较高的渗透性，允许污染物较快地迁移，而在粘土层中，污染物的迁移速度显著降低，这主要是由于粘土的低渗透性和较高的吸附能力所致。^[3]此外，地下水中的吸附作用也会显著影响污染物的迁移。某些污染物能够与土壤颗粒发生相互作用，导致其在地层中被固定，从而减缓其迁移速度，吸附作用的强弱与污染物的化学性质以及土壤颗粒的特性有关，带有较强极性的污染物更容易被土壤颗粒吸附。

二、污染场地环境调查中水文地质勘察的重要性

（一）确定污染物的来源和迁移路径

通过对地下水进行深入勘察，能够揭示污染物的原始释放点以及其在地下水中的扩散方式，调查过程通常包括对污染物的地质背景进行详细分析，监测地下水样本中的污染物浓度及其空间分布，并评估地下水流动的方向和速度，能够为揭示污染物的迁移路径提供基础数据。地下水流动的模式与地质结构、污染物的物理化学性质密切相关。^[4]地质结构特征，如断层、裂隙以及土壤类型，会显著影响污染物的流动和扩散，而污染物的溶解度、密度和与土壤的相互作用也会改变其迁移特性。系统化的勘察与建模工作能够在复杂因素的基础上，精确追踪污染物的源头，并描绘其在地下水系统中的传播路径，详细的追踪和分析不仅有助于理解污染物的实际分布情况，还能够评估其对地下水系统的长期影响，从而为制定针对性的污染防控和修复措施提供科学依据。准确识别污染物的迁移路径有助于环境工程师和决策者制定有效的应对策略，以防止污染进一步扩散，并保护地下水资源及其周边环境。

（二）评估污染物对地下水资源的潜在影响

污染物的存在及其浓度对地下水质量产生直接影响，进而对水资源的安全性和适用性产生深远的影响，水文地质勘察通过详细分析污染物在地下水中的浓度分布和扩散范围，以及对地下水资源的长期影响，能够全面评估污染的程度，包括对污染物迁移速度和浓度衰减的监测与分析，以揭示污染物在地下水系统中的行为和变化。通过对数据的深入解读，了解污染物对地下水质量的具体危害，并预测其未来产生的影响。进一步的分析则可以揭示污染物对地下水生态系统的潜在风险，包括其对水体生物的健康影响，对饮用水源的安全性威胁，以及对农业用水的污染风

险，为制定有效的水资源保护和污染治理措施提供了科学依据。通过理解污染物的迁移模式和对地下水系统的影响，可以优化污染控制策略，确保地下水资源的持续安全和利用，系统化的评估方法不仅有助于当前污染状况的管理，也为未来的环境挑战提供了预测和应对方案，确保了地下水资源的可持续性和生态系统的稳定性。^[5]

（三）为污染场地的修复和风险评估提供科学依据

通过深入的地下水调查和数据分析，可以为污染场地的修复工作制定科学的策略和方案，水文地质勘察提供的详细数据有助于全面了解污染的范围和程度，明确污染源的具体位置以及污染物的迁移路径，为制定修复目标和选择适当的修复技术提供了必要依据。通过构建污染物在地下水中行为的模型，能够模拟其不同情境下的扩散和变化，从而预测修复措施的有效性和长期影响。^[6]此过程不仅涵盖了对不同修复技术的比较分析，还涉及对未来可能出现的污染风险的预估。通过这些模型和分析，能够评估各种修复方案的实际效果，为决策者提供科学依据，帮助其选择最适合的修复策略，对不同修复技术的效果进行对比，能够发现每种技术在特定环境条件下的优缺点，从而为现场修复方案的优化提供支持。通过系统的风险评估和修复效果预测，可以有效制定和调整修复计划，以应对可能的环境挑战，实现对污染场地的有效治理和长期保护。

三、水文地质勘察在污染场地环境调查中的应用

（一）场地特征调查

水文地质勘察在污染场地环境调查中展现了其在场地特征分析方面的核心作用，对场地进行综合调查时，涉及的内容不仅包括地质结构和地下水特性，还涵盖了土壤性质和地层构造等多个维度。通过地质勘探手段，能够详细记录土壤层的分布、深度及其物理特性，信息对于了解地下水的流动动态和污染物的迁移路径至关重要。具体而言，地下水的流动受地层的孔隙度和渗透性的影响，参数决定了水流在地下介质中的储存和传输效率。孔隙度较高的地层可以容纳更多的地下水，而渗透性强的地层则允许水流迅速通过，从而影响污染物的扩散速度和范围。^[7]此外，地质结构的复杂性，如地层的断层、褶皱及裂隙等，也对地下水流动模式产生深远影响，如断层和裂隙可以作为地下水流动的主要通道，使得污染物能够沿这些结构迅速迁移，改变其在地下水系统中的分布情况。相反，密实的地层则可能对水流形成阻碍，导致污染物在某些区域的积聚。通过对地质和水文特征的系统分析，能够建立地下水流动模型，精准描绘污染物在地下水系统中的行为模式，从而为污染场地的环境评估和治理提供科学依据。对于制定有效的污染控制措施和修复方案，数据和模型是不可或缺的支持，确保了污染防治工作的针对性和实效性。

（二）污染源识别

通过对污染场地及其周边环境的细致调查，能够明确污染源的具体位置并评估其对地下水系统的潜在影响，通常包括对历史活动记录的梳理，如工厂生产、废料处理及废弃物堆放等，活动

往往是污染物的主要来源。同时，现有的排污设施和管理措施也需要纳入分析范围，以识别可能的泄漏或管理不善的情况。^[8] 采集地下水样本并进行化学分析是关键步骤，通过分析可以明确水中污染物的种类和浓度，进一步揭示污染源的性质和规模。结合地质数据和水文信息，能够精确定位污染源，并理解其对地下水质量的具体影响，地质层的特性和地下水流动路径对污染物的扩散有直接影响，能够帮助解释污染物的空间分布和浓度变化，污染源的识别还需包括对其释放机制的研究，例如排放途径、污染物的溶解性和迁移速度等，为未来的环境影响评估提供了依据，使得制定有效的污染控制和治理措施成为可能。全面了解污染源的释放机制及其带来的长期影响，可以指导采取适当的应对策略，减轻污染对地下水资源的潜在威胁，确保环境保护措施的科学性和有效性。^[9]

（三）污染范围和程度评估

污染范围和程度的评估在水文地质勘察中占据了核心地位，主要用于全面掌握污染物在地下水中的扩散状态，此评估过程涉及系统化的地下水监测和数据分析，通过这些步骤可以绘制出污染物在地下水体中的空间分布和浓度变化图谱。具体而言，定期采集地下水样本并进行化学成分分析，能够揭示污染物在不同深度和地理位置的浓度分布，需要高频次的监测，以捕捉污染物浓度的时空变化，并结合地质层的特性与地下水流动模式，形成详

尽的污染扩散模型。利用模型，可以预测污染物在未来的扩展趋势，从而对污染扩散进行前瞻性评估。^[10] 除了当前污染情况，这些预测结果还为未来的环境保护和修复策略提供了科学依据。通过深入分析污染的空间和时间分布，可以有效制定针对性的修复方案和管理措施，以降低污染对地下水资源的长期影响。最终，评估为制定切实可行的修复目标和方案奠定了基础，确保在实际治理过程中能够准确应对污染问题，实现有效的环境保护和资源管理。

四、结束语

在当今环境保护和资源管理日益受到关注的背景下，污染场地的有效调查和修复显得尤为重要，水文地质勘察作为环境调查中的核心环节，提供了关于地下水资源和污染物行为的宝贵数据，不仅有助于明确污染物的来源和迁移路径，还能准确评估其对地下水资源的潜在影响。通过科学的水文地质勘察，可以为污染场地的修复措施和风险评估提供坚实的基础，从而保障地下水资源的安全性和环境质量的提升。在全面理解污染场地特征、识别污染源以及评估污染范围与程度的过程中，水文地质勘察的作用不可替代，确保了环境调查的科学性和准确性，为制定和实施有效的环境保护策略提供了重要支持。

参考文献

[1] 龚良成. 污染场地环境岩土工程地质勘察中水文地质条件评估方法研究 [J]. 环境科学与管理, 2024, 49 (05): 186-190.

[2] 王文焱. 矿山污染场地环境治理中的水文地质勘察技术研究 [J]. 中国金属通报, 2023, (10): 149-151.

[3] 陈会会. 污染场地环境水文地质勘察技术的应用 [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.3). 河北正润环境科技有限公司; , 2022: 2.

[4] 吴仕军. 水文地质勘察在污染场地环境调查中的重要性探讨 [J]. 冶金管理, 2022, (01): 103-105.

[5] 张雷, 刘利军, 郭晨辉. 水文地质勘察在污染场地环境调查中的重要性探讨 [J]. 环境与发展, 2020, 32 (02): 60-61.

[6] 陈林. 水文地质勘察在污染场地环境调查中的应用 [J]. 城市周刊, 2022(31):43-45.

[7] 王继誉, 宋乐乐, 袁晓磊. 水文地质调查在污染场地调查中的作用研究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(4):177-179.

[8] 张建春. 水文地质调查在污染场地调查中的影响分析 [J]. 装饰装修天地, 2022(20):109-111.

[9] 张雷, 刘利军, 郭晨辉. 水文地质勘察在污染场地环境调查中的重要性探讨 [J]. 环境与发展, 2020, 32 (02) :60-61.

[10] 石磊. 基于污染场地环境水文地质勘察技术应用分析 [J]. 科学技术创新, 2020, 07:36-37.

矿山水文地质分析及防灾策略探讨

王章翔

四川省成都市四川省第三地质大队，四川 成都 611730

摘 要： 随着我国工业规模的不断扩展，对于矿产资源的需求也日益提高，这在一定程度上也引发了矿山的过度开采问题。过度开采矿产资源将会对矿山矿区的水文地质情况造成重大影响，引发不同程度的水文地质灾害，对采矿工作人员的人身安全造成威胁，同时也将对我国的生态环境造成破坏。针对这一情况，本文将详细分析矿山的水文地质特征，并结合矿山区域常见的水文地质灾害类型构建出具有针对性的防灾策略，以求为矿山采矿行业的可持续发展提供助力。

关 键 词： 矿山；水文地质；防灾策略

Hydrogeological Analysis of Mines and Exploration of Disaster Prevention Strategies

Wang Zhangxiang

Chengdu, Sichuan Third Geological Brigade, Chengdu, Sichuan 611730

Abstract： With the continuous expansion of China's industrial scale, the demand for mineral resources is also increasing, which has to some extent led to the problem of overexploitation in mines. Overexploitation of mineral resources will have a significant impact on the hydrogeological conditions of mining areas, causing varying degrees of hydrogeological disasters, posing a threat to the personal safety of mining workers, and also causing damage to China's ecological environment. In response to this situation, this article will analyze in detail the hydrogeological characteristics of mines and construct targeted disaster prevention strategies based on common hydrogeological hazards in mining areas, in order to provide assistance for the sustainable development of the mining industry.

Keywords： mines; hydrogeological; disaster prevention strategies

由于矿山采矿活动属于地下作业，在进行采矿活动的过程中，矿山的地质条件和地下水分布将对采矿活动产生巨大影响。因此，想要提供采矿活动的总体质量，就需要提前对矿山的水文地质情况进行详细调查和系统分析，制定出最佳的采矿方案，避免地下水渗漏、矿洞塌方等情况的发生，保障采矿活动的稳定性。另外，在矿产开采过程中，周边的生态环境将会受到不同程度的影响，地下水源可能会受到采矿活动的污染，造成区域内的环境破坏，从而引发自然灾害^[1]。因此，需要对矿山周边的水文地质进行分析，并建立起完善的灾害预防机制，减少矿山事故的发生概率，推动采矿作业的持续发展。

一、矿山水文地质的分析方向

（一）矿山水文条件的分析方向

在进行矿山水文条件的分析活动时，应当首先将地下水的分布情况作为重要方向。对地下水的分布进行全面的了解有利于清晰掌握地下水的水位高度、水位梯度以及水源运动规律等基本情况，从而为矿产资源的开采工作提供参考；其次需要对地下水的水质进行系统分析。矿山附近的地下水水质会随着矿山活动发生一定程度的改变，酸性物质及重金属等物质的渗入会使得地下水受到污染，进而改变地下水的化学组成以及 pH 值等水质特征^[2]。对地下水水质进行分析可以充分判断地下水的受污染情况，对地下水的使用途径做出合理规划，并提前预防地下水污染造成的水文地质灾害；最后，需要对矿山区域的水文循环情况进行分析探索。

需要将地下水与地表水、大气含水之间的作用关系纳入分析活动中，从水文循环的角度分析出矿山地下水的补给情况，并探索出地下水具体的补给区范围，为后续的灾害防护以及地下水应用等活动提供重要依据。

（二）矿山地质条件的分析方向

在进行矿山地质条件的分析活动时，需要把握好矿山周边的地质背景和岩层特征，以此确定矿山区域的具体地质条件，为采矿活动的规划以及防灾策略的制定提供重要参考。在地质背景方面，需要探索矿山区域的地质构造的形态、断裂与褶皱的具体情况，以此得出相关的地质信息。例如，一般情况下，断裂与褶皱等地质情况会使地下水的运动方式产生异常，对地下水的流速、流量等造成重大影响。在岩层特征方面，需要重点分析岩层的渗透性。如在砂岩、砾石等岩层中，岩层具有较高的渗透

性,可以使地下水在该岩层上发生快速渗透,形成含水层;而黏土层、液层等低渗透性的岩层则会减少水源的渗透率,使地下水的传导速度缓慢,最终形成含水不良层^[3]。此外,矿山开采活动会对岩层结构产生变动,进而改变岩层的渗透性。由此可见,岩层的渗透性对于地下水的分布具有重要影响。

二、矿山水文地质分析的作用

(一)降低矿山区域的环境污染

矿山开采活动直接改变区域的地质环境,改变矿区的原始生态,从而对矿区的生态平衡产生明显影响。同时开采活动也将对地下水资源造成一定程度的污染,进一步影响到周边区域的植被生长,造成对自然环境的整体破坏,甚至可能会引发水土流失、泥石流等地质灾害。通过对矿山的水文地质情况进行系统的分析,可以为后续的开采活动提供更加科学的规划,使开采活动对于水文地质的影响最小化,减少开采活动对于矿山区域的环境污染,保护周边的自然环境。

(二)提升地质勘察工作的水平

地质勘察工作是矿山开采前的必要环节,地质勘察对于开采方案的制定具有重要作用。对矿山的水文地质进行系统详细的分析可以获取到矿区周边的翔实情报,从而为地质勘察工作提供更加精准且全面的地质信息,以此保障地质勘察工作的可靠性和精确性,进而提高地质勘察工作的综合水平^[4]。

(三)提高采矿活动的综合效益

一方面,对矿山进行水文地质分析有利于为开采活动的设计提供参考,规划出最佳的开采线路,从而提高开采活动的效率和质量。同时,科学的开采方案还可以降低灾害防治的成本,并进一步降低开采活动的整体支出。随着开采效益的提高和开采成本的降低,开采活动所收获的矿产资源将更加丰富,而开采活动投入的资金将明显减少,在二者的共同作用下实现了采矿活动经济效益的提高。另一方面,通过全面的水文地质分析可以实现开采活动的可持续化发展,为构建资源节约型提供帮助,实现资源节约与效益最大化的有机结合,实现矿产开采的生态效益、经济效益、社会效益的统一^[5]。

三、矿山区域常见的水文地质灾害类型

(一)地下水位变化引发的灾害

矿山开采活动容易对地下水造成影响,使地下水位发生变化,进而引起此相关的地质灾害。在进行矿山开采时,矿井经常会与地下暗河接触,造成矿场地下涌水和泥沙涌出的情况,对开采活动造成重大影响。甚至在矿井存在裂缝时,将会导致大量泥沙流入矿井矿道,造成矿道的堵塞,对操作人员的人身安全产生巨大威胁。也有可能对采矿设备造成破坏,进而限制了采矿活动的有序展开。

(二)岩土层变形引发的灾害

矿山开采活动可能会对岩土层进行不同程度的破坏,从而引

起岩土层的变形,严重时会发生矿体坍塌、地面塌陷等事故,不仅会危害采矿人员的生命安全,还会对地面建筑和地表环境造成巨大破坏,若周边存在人口定居区域,则会严重影响居民的正常生活,对社会的稳定发展造成不同程度的影响。另外,为了使开采活动更加顺利,在进行开采活动时往往会对矿脉周边的岩石进行爆破,从而对地质环境产生较大改变,若在起爆点勘察时存在失误,则会使岩体发生喷射状飞溅,引发严重的安全事故^[6]。

(三)易燃物质引发的灾害

矿产资源的存在会为矿山区域赋予大量的可燃性气体,这种可燃气体大多以甲烷为主,在深度足够时,也会存在一定的硫含量。在地热效应的影响下,矿井温度将随着开采深度的增加而逐步提升,若矿井内通风情况不良,易燃气体将在井内不断积累,在矿井温度的不断提高下引起爆炸,造成严重后果,对矿山开采活动的安全生产带来巨大危害。即便未出现爆炸事故,易燃气体的积累也将对矿工的呼吸系统造成影响,危害矿工的人身健康。易燃物质引发的灾害具有较大的破坏性,但也可以通过适当的措施进行防范,具有较强的可预见性。

四、矿山水文地质的防灾策略

(一)加强防灾策略的前期规划与布局

为实现矿山水文地质灾害的有效防护,需要优先做好防灾策略的前期规划与总体布局。首先,应当建立起完善的风险评估机制,在水文地质的分析环节便对该区域可能发生的灾害类型进行提前预估,并结合灾害类型的基本特征分析灾害可能会带来的影响,按照影响的严重程度将灾害进行合理分级,以分级防治的模式提高灾害防治活动的针对性^[7]。其次是要根据地质特点以及灾害的风险情况,选择最为合适的矿产开采手段,通过开采手段的选择将灾害防治的理念充分融入矿产开采活动中,以最佳的开采方案提高工程的安全性,在最大程度上降低水文地质灾害发生的可能性。面对不同的水文地质条件,需要对开采手段进行灵活调整,以此提高灾害防治的针对性,保障矿山的持续安全运营。最后,需要建立起智能化的灾害模拟体系,利用现代信息技术,采用数学建模和虚拟现实技术,根据矿山的水文地质条件建立起拟真的环境模型,并在计算机网络的帮助下模拟可能会产生的地质灾害,通过仿真模拟的方式实现防灾措施的提前布局^[8]。

(二)做好生态环境的保护与恢复工作

发生地质灾害的主要原因是周边生态环境的失衡,因此做好生态环境的保护与恢复工作有利于从根本上预防地质灾害的发生。具体可以采用以下几种方式:第一,做好生态恢复工作。一般情况下在地质灾害发生后,会对地表的植被产生巨大破坏,使地表土壤直接暴露在自然环境下,这将导致土壤受到不同程度的侵蚀,引发次生灾害,使周边环境陷入地质灾害的恶性循环。为此,需要在地质灾害发生后积极开展生态恢复工作,通过植树造林等措施恢复植被覆盖,减少土壤的暴露,避免水土流失等次生灾害的发生。第二,需要对周边区域的水流进行调控,通过滞洪

池等设施实现对水资源的合理调控，引导水流程向滞洪池等储水设施内，通过对雨水的收集避免因暴雨造成的水流聚集，降低洪水灾害的发生几率，减少洪水对地质环境造成的破坏，进而避免泥石流等地质灾害的发生^[9]。第三，应当在矿山周边构建起完善的护坡工程，利用多结构的护坡工程实现对不同坡面的适应程度，以护坡设备分散水流对土壤的冲击作用，实现对坡面的保护，避免滑坡等地质灾害的发生。

（三）利用科学技术建设完善的监测机制

科学技术可以提高矿山水文地质灾害的防护水平，可以通过建设完善的监测机制实现对矿山水文地质条件的全面监控，为防灾工作提供重要助力。一方面，可以利用远程遥测技术实现对地下水位的总体监测，通过网络环境将中央服务器与监测站点进行远程连接，从而实现对地下水位数据的实时监测，及时发现地下水分布的异常情况。另一方面，可以利用水质传感器实现对地下水水质的实时监测，及时发现地下水中污染物浓度的变化，积极探查地下水的各类化学物质分布情况，使监测人员可以实时掌握地下水的污染情况，降低地下水污染对地质环境造成的破坏，为地质灾害的防护提供重要的数据支撑。

（四）加强专业人才的引进与培育

专业性人才不仅可以为矿山水文地质环境的分析提供助力，还可以使矿山水文地质灾害的防治工作更加专业，从而提高防灾工作的综合成效，保证矿山的持续化运营。因此，需要加强专业人才的引进与培育。在人才引进方面，需要与高校进行合作，通过资金投入与技术支持，在高校建立起矿山水文地质分析与防灾工作相关的专业课程，将高校作为人才培育基地，为矿山水文地质灾害的防治工作提供更大的人才储备。在人才培养方面，需要积极开展专业培训活动，向相关工作人员传授先进的灾害防治经验，提高从业人员的专业水平^[10]。

五、结束语

综上所述，矿产资源的开发会对矿山的生态环境造成一定程度的破坏，从而引发各种地质灾害。因此，需要加强对矿山水文地质情况的分析活动，并结合分析结果，从规划布局、环境保护、科技支撑、人才建设等角度出发，制定出合理的灾害防治策略，保障矿山作业的稳定与安全。

参考文献

- [1] 唐专武，冉登基，朱雷. 矿山水文地质勘察研究 [J]. 现代工程科技, 2024, 3(12): 101-104.
- [2] 李坊辉. 矿山水文地质特征及地质问题防治探讨 [J]. 冶金与材料, 2023, 43(11): 187-189.
- [3] 李杰. 矿山水文地质勘察中地下水问题及应对措施研究 [J]. 中国金属通报, 2024(2): 224-226.
- [4] 张弛. 矿山水文地质勘察工作的重要作用探析 [J]. 西部探矿工程, 2024, 36(3): 85-87.
- [5] 王军. 矿山水文地质勘察技术的运用 [J]. 中国金属通报, 2023(8): 240-242.
- [6] 王学元. 矿山水文地质调查与地质灾害调查工作方法研究 [J]. 世界有色金属, 2024(3): 226-228.
- [7] 张瑞鹏，李岩涛，安成龙. 水工环地质技术在矿山地质灾害防治中的应用 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2022(10): 181-183.
- [8] 秦明辉. 矿山水文地质分析及防灾策略 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2021(4): 194-195.
- [9] 王强. 矿山水文地质分析及防灾策略探讨 [J]. 世界有色金属, 2024(1): 193-195.
- [10] 桑可. 矿山水文地质分析及防灾策略 [J]. 建筑工程技术与设计, 2020(22): 4209.

BIM 技术应用面临的困境及突破途径研究

何克见

武汉中央商务区股份有限公司, 湖北 武汉 430000

摘 要： 本文介绍了建筑信息模型（BIM）技术的概念、发展历程及其在我国的应用现状，并深入分析了其在技术、管理和市场三个方面所面临的挑战，如软件兼容性、数据标准缺失、信息安全问题、人才培养不足、项目管理缺陷、政策支持不足、市场认知低、投资回报期长和竞争激烈等。针对这些问题，研究提出了促进软件标准化、建立统一数据标准、强化信息安全、完善人才培养机制、优化项目管理、加强政策支持、提升市场认知和降低投资成本等突破策略。案例分析进一步证实了这些策略的有效性，为 BIM 技术的持续发展提供了借鉴。

关 键 词： BIM 技术；应用挑战；解决策略；信息安全

Research on the Dilemmas and Breakthrough Paths of BIM Technology Application

He Kejian

Wuhan Central Business District Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430000

Abstract： This paper introduces the concept, development process, and current application status of Building Information Modeling (BIM) technology in China. It provides an in-depth analysis of the challenges faced by BIM in three aspects: technology, management, and market, such as software compatibility, lack of data standards, information security issues, inadequate talent cultivation, project management defects, insufficient policy support, low market awareness, long investment return periods, and fierce competition. To address these issues, the study proposes breakthrough strategies including promoting software standardization, establishing unified data standards, strengthening information security, improving talent cultivation mechanisms, optimizing project management, enhancing policy support, raising market awareness, and reducing investment costs. Case studies further confirm the effectiveness of these strategies, providing valuable insights for the continuous development of BIM technology.

Keywords： BIM technology; application challenges; solution strategies; information security

引言

随着建筑行业的快速发展，建筑信息模型（BIM）技术作为一种新兴的信息化技术，已经引起了业界的广泛关注。BIM 技术通过数字化的建筑模型，实现了设计、施工、运营等环节的信息共享和协同工作，极大地提高了建筑行业的效率和质量。然而，尽管 BIM 技术具有显著的优势，但在实际应用过程中，仍然面临着诸多困境和挑战。

一、BIM 技术概述

建筑信息模型（BIM）技术，作为建筑行业的一次革命性变革，正在逐步改变传统的建筑设计与施工模式。

（一）BIM 技术定义

BIM 技术，即建筑信息模型技术，是一种集成了数字化设计、施工和管理的建筑行业解决方案。它通过创建和管理建筑项目的数字副本，实现了项目信息的实时更新、共享和协同。BIM 技术不仅包含建筑物的几何信息，还涵盖了材料属性、构件性能、施工进度等非几何信息，为项目的全生命周期管理提供了强有力的支持。BIM 技术贯穿于工程建设领域全生命周期的各阶段、

各参与方以及各个专业，自推广应用以来，得到了快速的发展，并衍生了一系列相关软件。根据各类软件的主要功能作用不同，主要可分为建模软件、结构分析软件、综合碰撞检查软件、运营管理软件等^[1]。

（二）BIM 技术发展历程

BIM 技术的发展可以追溯到 20 世纪 70 年代，最初由乔治亚理工大学的查尔斯·伊斯特曼教授提出。自那时起，BIM 技术经历了从简单的 3D 建模到如今的智能化、信息化管理的发展过程。21 世纪初，随着计算机技术的飞速发展，BIM 技术开始在全球范围内得到广泛应用。在我国，BIM 技术自 2000 年以后逐渐被引入，并在近年来的政策推动和市场需求的共同作用下，实现了快速的发展。

（三）BIM 技术在我国的应用现状

当前，BIM 技术在中国的应用现状表现出以下特点：长期以来，CAD 软件作为设计领域的主要工具，使得大多数设计人员对其操作流程和功能有着深厚的熟悉度。因此，尽管 BIM 技术在提高设计效率和精度方面具有明显优势，但设计人员对 BIM 技术的接受和熟练应用仍需要一个过渡期。尽管 BIM 技术在某些大型项目和复杂设计中得到了应用，但在更广泛的设计市场中，BIM 技术的普及程度仍然有限。许多设计单位和设计师由于对 BIM 技术的了解不足或缺乏相应的培训，仍然倾向于使用传统的 CAD 软件。此外，BIM 技术的推广还面临着一些行业内的挑战，包括初期投资成本、软件兼容性、技术培训等问题，这些都影响了 BIM 技术的广泛应用。因此，在深入理解扇形图所展示的应用情况的同时，我们还需关注这些挑战，并在未来的发展中努力克服^[2]。如图。

这个扇形图直观地展示了 BIM 技术在中国不同领域的应用现状。图中显示，商业建筑领域对 BIM 技术的应用最为广泛，而医疗和教育设施领域的应用则相对较少。这一分布情况可能揭示了各行业对 BIM 技术需求的不同，这也促使我们进一步分析各行业的特点、BIM 技术的适用性以及未来的发展趋势。



二、BIM 技术应用面临的困境及原因分析

BIM 技术为建筑行业注入了前所未有的创新活力，显著提高了建筑设计的精确度和施工管理的效能。然而，在实际应用过程中，这一尖端技术也面临着诸多挑战，这些挑战在一定程度上影响了其优势的充分发挥。

（一）技术层面困境及原因分析

在 BIM 技术应用的实践中，设计人员面临着诸多挑战，这些挑战不仅影响了 BIM 技术的实际应用效果，也阻碍了其更广泛的普及和深化。以下是对这些挑战的详细分析：

技术培训不足是一个显著的问题。由于 BIM 技术相对较新，许多设计人员缺乏必要的培训和指导。这导致他们在实际项目中难以熟练运用 BIM 技术，影响了 BIM 技术的应用效果。为了克服这一挑战，设计单位和施工单位需要提供系统的 BIM 技术培训，

确保设计人员能够掌握 BIM 软件的使用技巧，并理解其在项目中的应用方法^[3]。软件兼容性问题也是一个重要的挑战。目前市场上存在多种 BIM 软件，这些软件之间的兼容性存在问题。设计人员在实际项目中需要面对不同软件之间的数据转换和对接，这增加了项目实施的难度，降低了 BIM 技术的应用效果。为了解决这一问题，软件开发商需要加强软件之间的互操作性，确保数据在不同软件之间的无缝转换和共享。

初期投资成本高也是一个不容忽视的挑战。BIM 技术的应用需要一定的初期投资，包括软件购买、硬件升级和人员培训等方面。对于一些中小型设计单位和施工单位来说，这样的投资成本较高，限制了 BIM 技术的普及和应用。为了解决这一问题，政府和企业可以通过提供财政补贴、技术支持和培训服务等方式，降低中小型设计单位和施工单位采用 BIM 技术的门槛。

总的来说，BIM 技术应用面临的挑战包括技术培训不足、软件兼容性问题、初期投资成本高等。为了解决这些挑战，我们需要从多个方面入手，包括加强技术培训、提高软件兼容性、降低初期投资成本等。通过这些措施，我们可以推动 BIM 技术的广泛应用，为建筑行业的持续发展提供有力支持。

（二）管理层面困境及原因分析

在 BIM 技术应用的实践中，设计人员面临着诸多挑战，这些挑战不仅影响了 BIM 技术的实际应用效果，也阻碍了其更广泛的普及和深化。以下是对这些挑战的详细分析：

项目实施周期长是一个显著的问题。BIM 技术的应用需要较长的项目实施周期，因为设计人员需要时间来学习和适应 BIM 技术。这可能导致项目进度延误，影响项目的整体进度和效率^[4]。为了克服这一挑战，设计单位和施工单位需要合理安排项目计划，为设计人员提供足够的学习和适应时间，并确保项目在规定的时间内顺利完成。此外，设计人员自身的持续学习和技能提升也是关键，他们需要不断地更新知识体系，以适应 BIM 技术的发展和需求。标准不统一也是一个重要的挑战。BIM 技术在不同地区和行业的应用标准存在差异，这导致了 BIM 技术的应用效果参差不齐。为了实现 BIM 技术的广泛应用，需要制定统一的标准和规范，以提高 BIM 技术的应用效果。制定统一的标准和规范有助于设计人员更好地理解 and 运用 BIM 技术，提高项目的质量和效率。同时，这也有助于推动 BIM 技术在行业内的标准化和规范化发展。

总的来说，BIM 技术应用面临的挑战包括项目实施周期长和标准不统一。为了解决这些挑战，我们需要从多个方面入手，包括合理安排项目计划、提供足够的学习和适应时间，以及制定统一的标准和规范^[5]。通过这些措施，我们可以推动 BIM 技术的广泛应用，为建筑行业的持续发展提供有力支持。同时，也需要加强行业内部的交流与合作，分享成功经验，共同推动 BIM 技术的发展和应

三、BIM 技术突破途径研究

在建筑行业中，BIM 技术的应用已经成为推动行业发展的重要力量。为了实现 BIM 技术的突破，我们需要采取一系列切实可

行的措施,以提升其在实际项目中的应用效果。以下是关键的研究途径:

(一) 强大的工具开发与应用

为了实现 BIM 技术的广泛应用,我们首先需要开发出强大的 BIM 软件工具。这些工具将成为推动 BIM 技术发展的重要力量,为建筑行业的数字化转型提供强有力的支持。设计单位和施工单位应在重点项目的实验运用中总结经验,并不断优化 BIM 软件的应用策略^[9]。目前,市场上已经出现了两款较为成熟的 BIM 软件:Revit 软件和广联达开发的 BIM 软件。Revit 软件是由美国 AUTODESK 公司开发的一款全面的 BIM 软件,它以其强大的功能和用户友好的界面,在建筑行业中得到了广泛的应用。而广联达开发的 BIM 软件则是在中国市场上受到欢迎的一款软件,它更符合中国市场的需求,并且能够更好地支持中文操作。

然而,仅仅依赖于国外的 BIM 软件是不够的。为了保障我国的 BIM 技术发展,城乡建设部应主导开发具有自主知识产权的行业通用软件。这样的软件不仅需要功能强大,以满足建筑行业的需求,还需要标准统一,以便于不同设计单位和施工单位之间的协作。此外,为了保持软件的竞争力,还需要及时进行优化更新,以应对不断变化的技术需求和市场环境。通过开发强大的 BIM 软件工具,并在实际项目中进行实验运用和经验总结,我们可以推动 BIM 技术的广泛应用,为建筑行业的数字化转型提供有力支持。同时,通过自主知识产权的行业通用软件的开发,我们还可以保障我国 BIM 技术的发展,提升我国在建筑行业的竞争力^[7]。

(二) 以设计院为突破点的应用试验

设计院作为建筑设计的前沿阵地,承载着创新与实践的双重使命。在这一领域,BIM 技术的应用不仅能够提升设计效率和质量,还能推动整个行业的技术进步。因此,设计院应成为 BIM 技术应用的重要突破口。设计院通过内部推广 BIM 技术,可以有效地推动整个行业的技术进步。这是因为设计院在建筑设计过程中,能够更直接地感受到 BIM 技术带来的变革,从而更加积极地推动其应用。同时,设计院在推广 BIM 技术的过程中,可以积累宝贵的经验和案例,为行业提供借鉴和参考。

为了更好地推广 BIM 技术,设计院可以通过试点项目进行深入研究和实践。这些试点项目可以选取具有代表性的建筑项目,通过实际操作来验证 BIM 技术的优势和潜力^[8]。在试点项目中,设计院可以与施工单位、业主等各方紧密合作,共同探索 BIM 技术的应用模式和最佳实践。此外,设计院还可以通过与其他设计院、高校和科研机构的合作,开展 BIM 技术的学术交流和合作研究。通过这些合作,设计院可以分享 BIM 技术的应用经验,同时也可以学习和借鉴其他单位在 BIM 技术方面的优秀实践。

总之,设计院作为建筑设计的前沿阵地,应成为 BIM 技术应用的重要突破口。通过内部推广、试点项目和合作研究,设计院可以推动 BIM 技术的广泛应用,为建筑行业的技术进步和发展做出贡献。

(三) EPC 工程总承包、全过程咨询项目的应用动能

EPC(工程、采购、建设)工程总承包和全过程咨询项目是建筑行业中的关键环节,它们在项目的各个阶段都发挥着至关重

要的作用。在这些项目中,BIM 技术的集成应用可以极大地提升项目的协同工作能力,提高项目管理效率和质量,从而推动 BIM 技术的深入应用和发展^[9]。在 EPC 工程总承包项目中,BIM 技术的应用可以帮助设计、施工和采购各个环节的团队更加紧密地协作,确保项目的顺利进行。通过 BIM 技术,各团队可以实时共享项目信息,提前发现并解决问题,从而减少施工过程中的错误和延误。

全过程咨询项目则提供了更多机会,让 BIM 技术在项目全生命周期中发挥更大的作用。在这些项目中,BIM 技术不仅可以用于设计阶段,还可以用于施工管理和运维阶段。通过 BIM 技术,全过程咨询团队可以更好地协调各方利益,提高项目的整体质量和效率。此外,全过程咨询项目还可以帮助业主更好地理解项目的成本、进度和质量等方面的问题,从而做出更加明智的决策。BIM 技术的应用还可以帮助业主更好地管理和维护项目,确保项目的长期稳定运行^[10]。

总之,通过强大的工具开发与应用、以设计院为突破点的应用试验和 EPC 工程总承包、全过程咨询项目的应用动能,我们可以实现 BIM 技术的突破,推动建筑行业的持续发展。

四、结束语

随着对 BIM 技术研究的深入,我们不仅全面理解了其优势,也识别了应用中的挑战。分析技术、管理和市场层面的难题,探讨解决之道,为 BIM 技术的发展提供了宝贵见解。推广 BIM 技术是一个长期复杂的过程,依赖行业共同创新和努力。展望未来,随着技术进步、管理水平提升和市场环境改善,BIM 技术将在建筑行业扮演更关键角色,成为推动行业转型升级的重要动力。

参考文献

- [1] 王金荣. 基于 BIM 的新型建筑工业化发展水平评价研究 [D]. 青岛理工大学, 2023.DOI:10.27263/d.cnki.gqudc.2023.000075.
- [2] 刘帮. 中建四局 BIM 技术人员职业发展困境及对策研究 [D]. 石河子大学, 2022. DOI:10.27332/d.cnki.gshzu.2022.000860.
- [3] 郑国威, 陈明曼, 王钦, 等. BIM 技术在贵州省建筑行业的应用困境及对策研究 [J]. 智能城市, 2022, 8(03): 39-41. DOI:10.19301/j.cnki.zncs.2022.03.013.
- [4] 徐立钦, 丁华. 浅析现阶段 BIM 技术应用困境及解决的主要途径 [J]. 建筑设计管理, 2021, 38(12): 80-83.
- [5] 徐兆赫. BIM 技术当下在我国的发展与困境思考 [J]. 内蒙古科技与经济, 2020, (05): 8-12+62.
- [6] 代霞, 皮海洋. BIM 技术在装配式建筑施工阶段的应用研究 [J]. 重庆建筑, 2022, 21(S1): 177-179.
- [7] 陈彩渝, 刘长雨, 肖辉, 等. BIM 技术在山地建筑项目场地设计中的应用探究 [J]. 重庆建筑, 2022, 21(S1): 228-231.
- [8] 冯思舟, 艾健, 张阳. BIM 技术在某复杂动力机房项目的应用研究 [J]. 暖通空调, 2022, 52(S2): 333-338.
- [9] 靳磊, 鞠东鹏, 程荣国, 等. 基于 BIM 的医院建筑智慧运维技术及应用 [J]. 中国住宅设施, 2022, (12): 57-59.
- [10] 刘傲东, 丛绍运, 张福英, 等. 基于 BIM 技术的高层建筑桩基施工质量评价方法 [J]. 江苏建筑, 2022, (S2): 76-79.

泵站墩墙及流道混凝土防裂措施

万华

上海市水利工程集团有限公司, 上海 201600

摘 要 : 混凝土的抗压性能出色, 但抗拉性能不强, 尤其是泵闸工程中重要部位如墩墙、底板、流道等部位, 对混凝土裂缝的控制有着极其严格的要求。本文针对某泵闸项目中流道混凝土的裂缝控制, 从材料、模板、施工方法、温控等措施等方面简要论述^[1]。

关 键 词 : 泵站墩墙; 流道混凝土; 防裂

Crack Prevention Measures for Concrete of Pier Wall and Flow Channel in Pumping Station

Wan Hua

Shanghai Water Conservancy Engineering Group Co., Ltd., Shanghai 201600

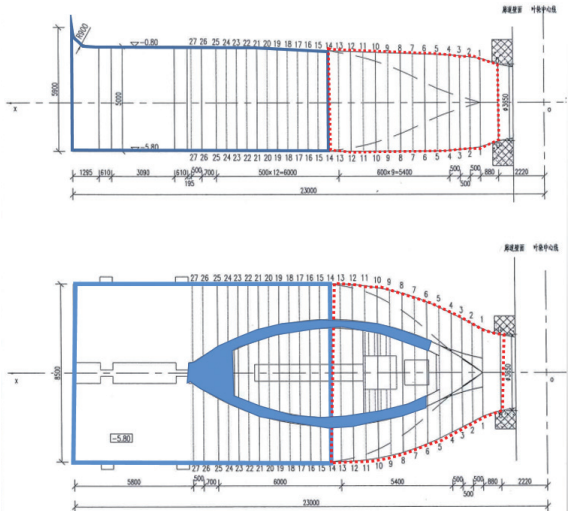
Abstract : Concrete has excellent compressive performance but poor tensile performance. Especially in key parts of pump and sluice projects, such as pier walls, bottom plates, and flow channels, there are extremely strict requirements for controlling concrete cracks. This article briefly discusses the crack control of flow channel concrete in a pump and sluice project from the aspects of materials, templates, construction methods, temperature control measures, etc.^[1]

Keywords : pumping station pier wall; flow channel concrete; crack prevention

一、泵站介绍

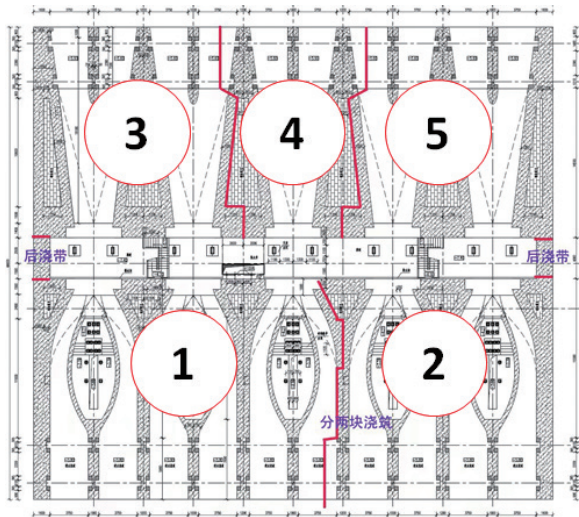
该项目站身结构采用 C30 钢筋砼块基结构, 5 台机组并排布置, 水泵与水泵机组中心间距均为 9.7m, 中间隔墩厚度为 1.2m, 边墩厚度为 1.6m, 流道总宽度 50.5m。

站身流道厚 1.5 ~ 1.9m, 流道底标高 -7.30m。主泵房流道混凝土标号为 C30。为控制裂缝, 在混凝土中掺加抗裂纤维。



> 内河侧流道 (实线框范围为木模板, 虚线框内为钢模板)

内河流道层本次浇筑方量约计 3100m³, 外河侧流道浇筑总方量 3600m³。考虑到一次浇筑方量过大, 内外河流道浇筑计划分仓。分仓浇筑后单次最大浇筑为内河侧单次方量为 1850m³, 内河流道剩余浇筑方量 1250m³; 外河侧各次浇筑方量在 1440m³, 1440m³ 及 720m³。



> 流道浇筑分块图

二、现场准备

1. 钢筋

泵房流道所涉及的钢筋主要型号为 HRB400, 主要规格直径为 25mm、22mm、20mm、18mm。竖向钢筋采用电渣压力焊, 其余钢筋连接采用双面焊接。

2. 模板

本工程泵房内河流道内侧竖井 (6-27 断面) 及外侧流道 (14 断面至内河门槽等) 之后非渐变部位采用木胶合板, 进场模板要求采用 122 × 244 × 1.5cm 规格, 每块模板的开孔位置统一筹划, 重复利用不超过 2 次^[2]。

3. 混凝土

委托河海大学实验室进行配合比论证

编号	水	水泥	粉煤灰	矿粉	粗砂	细砂	石子	外加剂	抗裂剂	
		PO.42.5	F II	595	2.9	1.5	5-25	华联	苏博特	上海方籓
1	168	213	68	62	550	236	1042	4.46		
2	168	213	68	62	550	236	1042	4.46		1
3	155	244	68	0	792		1053	6.46	28	1
4	160	300	53	0	807		1027	4.24		0.8

细骨料质量要求

项 目		指 标	
		天然砂	人工砂
表观密度 (kg/m³)		≥2500	
细度模数		2.2~3.0	2.4~2.8
石粉含量 (%)		—	6~18
表面含水率 (%)		≤6	
含泥量 (%)	设计龄期强度等级≥30MPa和有抗冻要求的混凝土	≤3	—
	设计龄期强度等级<30MPa	≤5	
坚固性 (%)	有抗冻和抗侵蚀要求的混凝土	≤8	
	无抗冻要求的混凝土	≤10	
泥块含量		不允许	
硫化物及硫酸盐含量 (%)		≤1	
云母含量 (%)		≤2	
轻物质含量 (%)		≤1	—
有机质含量		浅于标准色	不允许

粗骨料质量要求

项 目		指 标
表观密度 (kg/m ³)		≥2550
吸水率 (%)	有抗冻要求和侵蚀作用的混凝土	≤1.5
	无抗冻要求的混凝土	≤2.5
含泥量 (%)	D ₂₀ 、D ₄₀ 粒级	≤1
	D ₈₀ 、D ₁₅₀ (D ₁₂₀) 粒级	≤0.5
坚固性 (%)	有抗冻和抗侵蚀要求的混凝土	≤5
	无抗冻要求的混凝土	≤12
软弱颗粒含量 (%)	设计龄期强度等级≥30MPa和有抗冻要求的混凝土	≤5
	设计龄期强度等级<30MPa	≤10

三、主要技术方案

1. 施工工艺流程

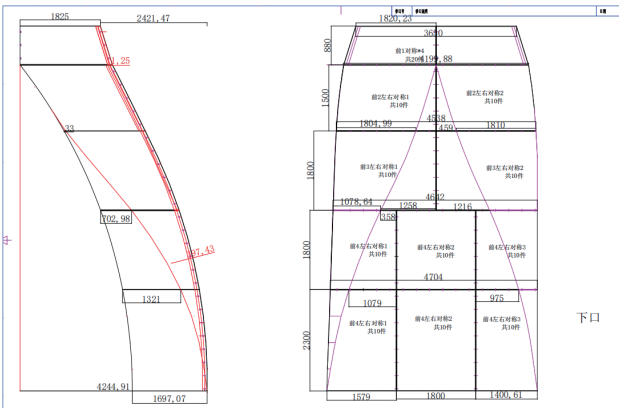
测量放样→凿毛处理→底槛浇筑→流道内模板工程→钢筋安装→预埋件安装→流道层墩墙模板→混凝土浇筑→混凝土养护及冷却保温

底板处凿毛要求露出底板面层钢筋，确保混凝土浇筑后无烂根，同时钢模木模与底板接触面预先安排砂浆封堵，防止后期漏浆也起到保护过流底板面的作用^[3]。

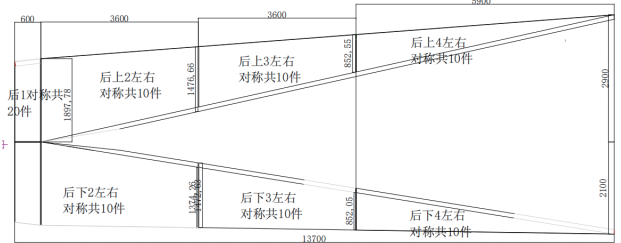
2. 模板工程

流道模板采用钢模及木胶合板组合，木模主要采用1220*2440mm的模板规格。钢模板内外河采用数字加工分段进场拼装，采用14#槽钢加固连接。木模板采用方木+钢管进行支撑，

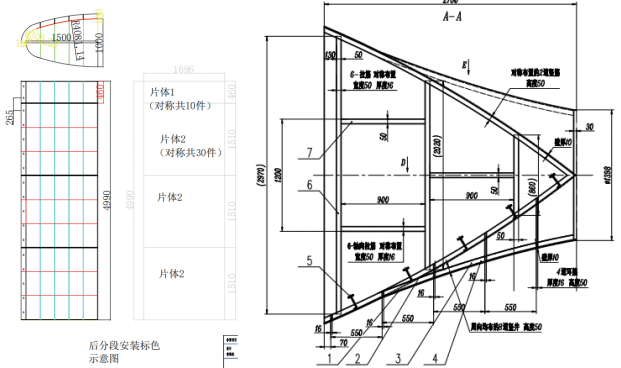
竖向布置4cm*8cm方木。钢管支撑横向布置，间距600mm。采用对拉杆与流道钢筋连接，要求对向拉杆连接在同一根钢筋上。其中，导流锥部位钢衬段（竖井前段）由设备生产商提供，采用二期安装，一期流道竖井浇筑时预留安装间隙。



> 内河流道钢模分段部分顶视图



> 外河钢模部分分段侧视图



> 外河流道导流墩钢模分段

> 内河流道导流锥部位钢衬（2700mm）

为了保证质量，模板施工必须符合以下要求^[4]：

- 1) 模板厚度必须满足要求，表面无破损和断裂现象。
- 2) 安装侧模前，必须首先由放样员定出模板安装线，保证各结构部位位置正确。
- 3) 除内拉杆外，模板的固定装置或支撑物不应设在已完

成的混凝土中。模板内金属拉杆或锚杆，应设置在距表面至少50mm处。

4) 模板拼装必须牢固、不松动、拼缝严、不得漏浆，模板表面必须平整光滑，无明显凹凸现象。

5) 混凝土外露表面的模板接缝，应做成一种有规则的形式，水平和垂直线条应一直连贯每个结构物，所有的施工缝应同这些水平和垂直线条相重合。以泵站流道为例，具体分缝如下：0.1m标高处往下按1.22m递推。

3. 混凝土工程

(1) 浇筑安排

1) 总体浇筑原则经上述分析2台泵车的浇筑最小浇筑量满足现场分层分块方量要求。

2) 考虑到泵房南北两侧胸墙部位吊模，为保证该处振捣密实，因此浇筑完成后等待0.5~1h左右，继续浇筑，防止混凝土塌落。

3) 砼采用泵送方式进行，并保证砼自落高度不大于2m。

4) 砼浇筑施工需在监测数据指导下进行，并及时调整技术措施^[5]。

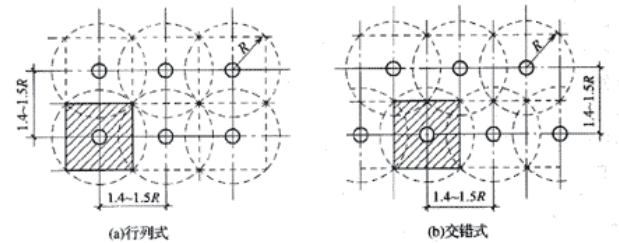
(2) 混凝土浇筑的质量保障措施

1) 吊模部位浇筑应放在最后，等待边墩、中墩等与流道结合部位的浇筑完成后20分钟再行浇筑，防止混凝土侧冒。

2) 浇筑时应防止砼的离析，泵管口与浇筑面距离应控制在2m以内。

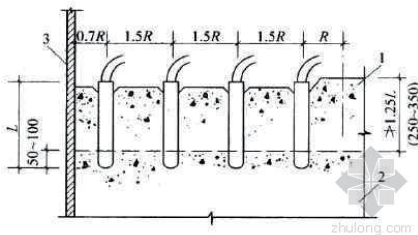
3) 安排专人负责混凝土的捣振、专人负责看模，发现模板、钢筋、止水带或其他预埋件有变形、移位时，应立即进行暂停及整改；振捣时不得触及测温元件及引出线。

4) 混凝土施工期间，振动器移动间距为400mm左右，插入点振捣插点间距为1.5倍振动器的作用半径。斜面浇筑时振动棒振点应在坡脚与坡顶处。避免冷缝。振捣时应采取快插慢拔式振捣方法，一般插入老层混凝土下10cm左右，振动时间10~15s为宜，以混凝土表面泛浆且不再显著下沉、冒出气泡为准，不可超振。具体如下图所示：



> 振捣棒插点布置示意图

分层浇筑振捣示意



> 振捣棒插入深度示意

(3) 混凝土泌水处理

流动性大的混凝土在振捣过程中涌出水分顺混凝土坡面下流到底。随着混凝土浇筑向前推进，残留的泌水被赶至基坑顶端，由顶端模板的预留孔排出。

当混凝土大坡面的坡脚接近模板时，改变混凝土浇筑方向，有意识地加强两侧模板处的混凝土浇筑强度，从顶端往回浇筑与原斜坡相交成一个集水坑，随着浇筑的进行，集水坑逐步缩小成小水潭，及时排除，重点是集水坑的部位应尽量避免开模板，防止泌出的水分影响混凝土表面质量。

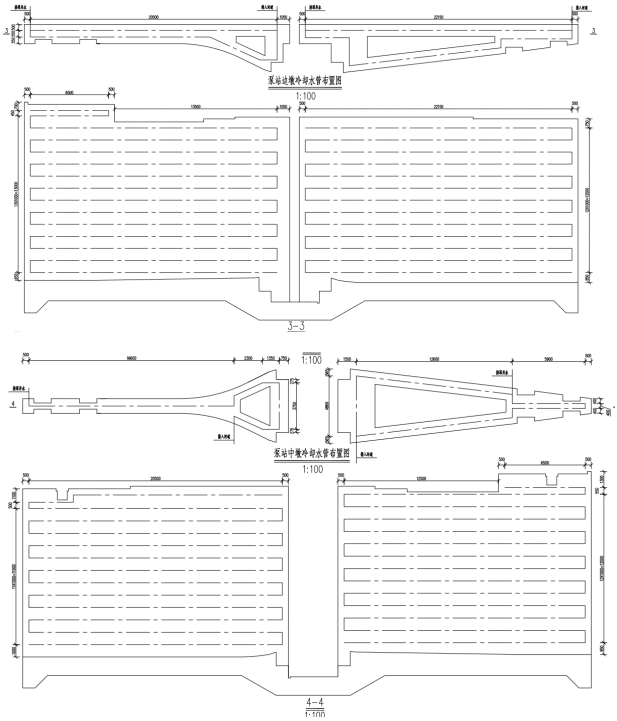
(4) 混凝土养护

混凝土浇筑完毕后，应及时进行抹平收光处理，并及时进行养护。可在混凝土表面覆盖一层塑料薄膜保湿，再覆盖一层土工布保温，如果当出现零下等极端气温时，应采用保温被或其他材料覆盖^[6]。

(5) 冷却水管布置

大体积混凝土质量不容易控制，需采用预埋温度探头进行温度测量，通过养护控制混凝土的内外温差不大于25℃，预防温度应力引起的裂缝。

本工程泵站流道大体积混凝土对冷却水管布置进行优化处理。冷却水管采用钢管，管外径48mm，壁厚2.0mm。



测温时用测温仪分别测其埋点的温度值，再使用红外温度计进行混凝土表面温度测量，流道初凝后开始专人进行温度测量。因为水泥水化热最大值一般出现在初凝后3天，在初凝后7天内水化热达到稳定，温度观测计划如下表：

时间	初凝后第一天	初凝后第二天	初凝后第三天	初凝后第四天	初凝后第五天	初凝后第六天	初凝后第七天	初凝后7天以后
频率	每小时	每小时	每小时	每2小时	每2小时	每2小时	每4小时	每6小时

根据温度监测反馈的数据,控制冷却水的开关及流量,当内外温差大于 25℃时,及时开启冷却水,温度急剧升高时要加大流量;当温度趋于平缓并逐步下降时,缩短冷却水开启时间和减小流量,同时做好外部保温和保湿工作。

养护保温基本要求:混凝土浇筑后,必须及时在木模外包裹遮阳布或浇水降温,并立即用塑料薄膜覆盖混凝土表面,保温保湿。在养护期间,需定时在冷却管注水,养护时间不得少于 14 天,并且尽可能延长养护时间以确保混凝土早期水化质量^[7]。

四、混凝土裂缝控制措施

1. 一般规定

(1) 从原材料选择、配合比、施工部署、现场组织、混凝土温控、养护等方面采取控制混凝土裂缝。

(2) 混凝土质量除应满足强度、和易性、初凝时间等要求外,还要考虑早期抗裂能力要求,因此根据设计要求添加改性高纯聚丙烯纤维抗裂剂,掺量 1kg/m³。

(3) 采取综合温控措施,使混凝土最高温度控制在设计和规范允许范围内。根据《水工混凝土施工规范》(SL677-2014),混凝土浇筑温度不应高于 28℃,根据《大体积混凝土施工标准》(GB50496-2018),混凝土入模温度宜控制在 5℃~30℃^[8]。

2. 浇筑温度控制

高温时段施工时,宜采取下列措施:

(1) 混凝土浇筑宜尽可能安排在早晚、夜间及阴天等低温环境进行。

(2) 降低仓面气温(喷雾法)。

(3) 缩短混凝土运输及卸料等待时间,入仓后及时平仓振捣,缩短混凝土的暴露时间。

(4) 大体积混凝土浇筑时,可采用台阶浇筑法。台阶宽应大于 2m,浇筑块分层厚度不大于 2m。

(5) 混凝土浇筑后,应及时采用隔热材料覆盖。

3. 内部温度控制

(1) 在满足混凝土各项设计指标的前提下,尽量采用水化热低的水泥,优化配合比设计合理减少混凝土的单位水泥用量。

(2) 基础混凝土和老混凝土约束部位浇筑层厚宜为 1.5~2m,并应做到均匀上升。

(3) 采用冷却水管进行初期冷却,通水时间暂定 10~20d。混凝土温度与水温之差不应超过 25℃,管中水的流速宜为 0.6~0.7m/s(初凝后 72h 内根据情况调节)。每 24h 调换 1 次水流的方向,日降温不应超过 1℃。

4. 表面保温

(1) 养护期内的混凝土,如遇气温骤降必要时应长期保温。浇筑面顶面保温至气温骤降结束或新混凝土浇筑前^[9]。

(2) 模板拆除时间应根据混凝土强度及混凝土的内外温差确定,避免在气温骤降时拆模。在气温较低季节,当预计拆模后有气温骤降变化时,应推迟拆模时间;确需拆模,应在拆模后及时采取保温措施。

(3) 已浇好的流道顶(侧)面等重点部位宜保温到过水前。浇筑块的棱角和突出部分应加强保温。

5. 温度测量

(1) 在混凝土施工过程中,宜每 4h 测量一次混凝土原材料的温度、混凝土出料口温度和气温,混凝土冷却水的温度按 3.5 节。

(2) 混凝土浇筑温度的测量,按每 100m²不少于 1 个测点,且每一浇筑层不少于 3 个测点。测点均匀分布在浇筑层面上^[10]。

参考文献

[1]《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB50204-2015)。

[2]《水工混凝土施工规范》(SL677-2014)。

[3]《混凝土结构工程施工规范》(GB50666-2011)。

[4]《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB50204-2015)。

[5]《大体积混凝土施工规范》(GB50496-2018)。

[6]《混凝土泵送施工技术规程》(JGJ/T10-2011)。

[7]《混凝土强度检验评定标准》(GB/T 50107-2010)。

[8]《混凝土外加剂应用技术规范》(GB50119-2013)。

[9]《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ55-2011)。

[10]《水利工程施工质量检验与评定标准》(DG/TJ08-90-2014)。

试析光伏技术在建筑电气中的应用

刁承悦

天津市自来水集团有限公司, 天津 300040

摘要： 本文概述了光伏技术的发展历程、原理与分类，并探讨了其发展趋势。在此基础上，分析了光伏技术在建筑电气系统中的应用形式及其与建筑电气融合的优势。通过案例分析，展示了光伏技术在住宅、商业建筑和公共设施中的应用实例。同时，文章指出了光伏技术在建筑电气应用中面临的技术、经济和政策层面的挑战，并提出了相应的技术创新、政策支持和市场培育等发展策略，以促进光伏技术在建筑电气领域的广泛应用。

关键词： 光伏技术；建筑电气；应用形式；优势；挑战

Analysis on the Application of Photovoltaic Technology in Building Electrical System

Diao Chengyue

Tianjin Water Group Co., Ltd., Tianjin 300040

Abstract： This paper provides an overview of the development process, principles, and classification of photovoltaic technology, and explores its development trends. Based on this, it analyzes the application forms of photovoltaic technology in building electrical systems and the advantages of its integration with building electrical systems. Through case studies, it demonstrates practical examples of the application of photovoltaic technology in residential, commercial buildings, and public facilities. At the same time, the article points out the technical, economic, and policy challenges faced by photovoltaic technology in building electrical applications, and proposes corresponding development strategies such as technological innovation, policy support, and market cultivation to promote the widespread application of photovoltaic technology in the field of building electrical systems.

Keywords： photovoltaic technology; building electrical; application form; advantage; challenge

引言

随着全球能源危机和环境问题的日益严重，可再生能源的开发和利用受到了广泛关注。光伏技术作为一种清洁、可再生的能源技术，在我国得到了迅速发展。近年来，光伏技术在建筑电气领域的应用逐渐成为研究热点，对于推动建筑行业绿色转型、实现节能减排目标具有重要意义。

一、光伏技术概述

光伏技术，作为当今世界最具潜力的可再生能源技术之一，其发展历程、工作原理以及技术分类，都为我们揭示了这一领域的发展脉络和未来趋势。从最初的研究和实验，到如今的大规模商业化应用，光伏技术经历了从实验室走向工业化的蜕变。其工作原理基于半导体的光生伏特效应，将太阳光直接转换为电能，这一过程高效且环保。

（一）光伏技术的发展历程

自19世纪末法国科学家贝克雷尔发现光伏效应以来，光伏技术经历了从实验室研究到工业化生产的漫长历程。20世纪50年代，美国贝尔实验室成功研制出第一块硅太阳能电池，标志着光伏技术进入实用化阶段。此后，随着材料科学和电子技术的不断

进步，光伏电池的转换效率逐步提高，成本逐渐降低，光伏产业在全球范围内得到了快速发展^[1]。特别是在21世纪初，随着各国对可再生能源政策的支持，光伏技术更是迎来了黄金发展期。

（二）光伏技术的原理与分类

光伏技术是基于半导体的光生伏特效应，将太阳光直接转换为电能的一种技术。其核心组件是光伏电池，主要由硅、砷化镓等半导体材料制成。当太阳光照射到这些材料时，光子能量会激发电子跃迁，产生电动势，从而形成电流。根据所用半导体材料的不同，光伏电池可分为硅电池、薄膜电池和聚光电池等类型。其中，硅电池又分为单晶硅、多晶硅和非晶硅电池，各自具有不同的性能和应用场景。

（三）光伏技术的发展趋势

随着技术的不断进步和市场需求的扩大，光伏技术呈现出以

下发展趋势：一是高效率化，通过技术创新提高光伏电池的转换效率，减少单位电能的成本；二是薄片化，减轻电池重量，降低材料消耗；三是集成化，将光伏组件与建筑材料相结合，实现光伏建筑一体化；四是智能化，利用互联网、大数据等技术实现光伏系统的智能监控和管理；五是多样化，开发新型光伏材料和电池结构，满足不同应用场景的需求。展望未来，光伏技术将在全球能源结构转型中扮演越来越重要的角色。

二、建筑电气与光伏技术的结合

借助光伏新能源技术，建筑行业可以在发电方面进行创新，以实现节能减排的目标。持续优化光伏技术的应用，确保其在建筑电气系统中的高效发挥，不仅有助于提升企业的经济效益，还将为社会创造更大的环保价值。在如今竞争激烈的市场环境中，建筑企业应当紧跟时代的脚步，将光伏新能源技术纳入自身的发展战略中。只有不断推动技术创新，合理应用光伏新能源技术，才能实现经济效益和社会效益的双赢局面^[2]。

（一）建筑电气系统简介

建筑电气系统是建筑物中负责输送、分配和控制电能的网络。它包括供电系统、配电系统、照明系统、动力系统、通信网络和自动化控制系统等。随着建筑智能化水平的提升，建筑电气系统越来越注重能效管理、安全可靠性和环境适应性。电气系统的设计不仅要满足基本的用电需求，还要考虑节能减排、绿色环保等可持续发展目标。

（二）光伏技术在建筑电气中的应用形式

光伏技术在建筑电气中的应用形式多样，主要包括以下几种：一是光伏并网发电系统，将光伏电池板产生的电能直接并入电网，为建筑提供电力；二是光伏独立发电系统，通常用于偏远地区或对电网依赖性较低的建筑；三是光伏建筑一体化（BIPV），将光伏组件与建筑结构相结合，既美观又实用；四是光伏照明系统，利用光伏电池为建筑提供照明电源；五是光伏热利用系统，将光伏发电与建筑供暖、热水供应相结合。

（三）光伏技术与建筑电气融合的优势

光伏技术与建筑电气的融合，带来了诸多显著优势。它显著降低了建筑的整体能耗，减轻了对传统化石能源的依赖，助力建筑迈向碳中和的目标。光伏系统的引入增强了建筑的自给自足能力，尤其在电网波动或自然灾害情况下，确保了建筑的电力安全^[3]。光伏建筑一体化的设计不仅提升了建筑的视觉美感，更增添了其实用价值。这种融合促进了建筑行业的绿色转型升级，推动了社会经济的可持续发展。所以，光伏技术与建筑电气的结合，为建筑行业注入了创新动力，开辟了一条崭新的发展道路。

三、光伏技术在建筑电气中的应用案例分析

本章将通过具体案例分析，展示光伏技术在住宅、商业建筑和公共设施中的应用实例，让您更加直观地感受到光伏技术为建筑电气带来的变革和效益。

（一）住宅建筑中的应用

在住宅建筑领域，光伏技术的应用正日益受到青睐，逐渐成为绿色生活的风向标。以某座城市的豪华别墅区为例，这里的住宅精心设计并安装了高效的光伏屋顶系统。这些光伏板巧妙地镶嵌在屋顶之上，不仅充分满足了住户的日常电力需求，而且还能将多余的电力反哺至电网，实现额外的经济收益^[4]。此外，这套系统还配备了先进的储能装置，确保在夜晚或遭遇恶劣天气时，住宅依然可以享受到稳定的电力供应。这种应用模式不仅显著降低了居民的电费支出，更提升了住宅的环保属性，使其成为倡导绿色生活理念的典范。这些光伏屋顶系统不仅是一处居所的亮点，更是对未来可持续生活方式的一种承诺和践行。

（二）商业建筑中的应用

在商业建筑领域，由于其庞大的电力消耗和对能源效率的迫切需求，光伏技术的应用显得尤为重要。以一座位于城市心脏地带的繁华购物中心为例，该建筑采用了创新的光伏玻璃幕墙设计。这不仅为建筑提供了坚固而美观的外围护结构，还将其转变为了一套高效的光伏发电系统。这种设计巧妙地将美观与实用相结合，不仅大幅降低了建筑对传统电力资源的依赖，还为城市增添了一道独特的绿色风景线。

此外，购物中心还巧妙地利用这些光伏发电设备，为内部的照明和空调系统提供电力，这一举措不仅有效降低了日常运营的成本，还实现了经济效益与环保理念的双重提升^[5]。这种创新的能源利用方式，不仅展示了商业建筑在可持续发展方面的前瞻性，也为其他商业建筑提供了可借鉴的绿色改造范例。

（三）在公共设施中的应用

公共设施，如学校、医院等，肩负着服务社会、造福人民的重大责任，因此在光伏技术的应用上，它们具有特殊而深远的意义。以一所当地的小学为例，该校在操场的一侧巧妙地搭建了光伏遮阳棚。这不仅为学生们提供了一个舒适的阴凉休息区域，而且在遮阳的同时，光伏板还高效地转化为电能，为校园的照明和电子教学设备提供了清洁能源。

这种应用不仅帮助学校节省了能源开支，更重要的是，它向学生们传递了绿色能源的理念，成了一个生动的教育和示范案例。学生们在享受凉爽学习环境的同时，也学会了如何利用可再生能源，从而培养了他们对于环境保护和可持续发展的责任感^[6]。这种将光伏技术与教育相结合的创新实践，不仅提升了校园的环境质量，还为学生们提供了一个实践学习的机会，使他们能够在日常生活中践行绿色能源的使用，为构建更加美好的未来贡献力量。

四、光伏技术在建筑电气应用中存在的问题与挑战

技术的发展往往并非一帆风顺，光伏技术在建筑电气领域的应用也不例外，它同样面临着一连串的问题与挑战。这些挑战既包括技术层面的难题，如光伏电池的转换效率、组件的寿命与稳定性，以及系统的集成设计等，也包括经济层面的挑战，如初期投资成本、运营成本以及电价补贴政策的不确定性。此外，政策

法规层面的问题也不容忽视，如并网政策的完善性、技术标准的健全性，以及政策支持连续性等^[7]。

（一）技术层面的问题

尽管光伏技术已经取得了显著的进展，但在建筑电气的实际应用中，仍面临若干技术挑战。一是光伏电池的转换效率尚有提升空间，尤其是在光照不足的环境中，其发电效率较低。二是光伏组件的寿命和稳定性问题，特别是在极端气候条件下的持久性，依旧是一个技术上的难题。另外，光伏系统的集成设计需要更加精细和巧妙，以便更好地适应多样化的建筑结构和审美要求。三是光伏系统的智能化与自动化程度还需进一步增强，以提升运维的效率并优化用户的体验。

（二）经济层面的问题

在建筑电气领域，光伏技术的应用遭遇了成本与收益之间的经济考验。一方面，光伏系统初期投入成本较高，投资回收周期较长，这对不少投资者构成了不小的财务障碍。另一方面，光伏系统的维护和运营成本同样不容忽视，尤其是在偏远地区，专业维护人员的稀缺可能会进一步推高运营成本。再者，电价政策和补贴政策的不确定性，也为光伏项目的经济可持续性带来了影响^[8]。这些因素共同构成了光伏技术在建筑电气应用中的经济挑战。

（三）政策与法规层面的问题

政策和法规是驱动光伏技术向前发展的关键动力，然而，在这一领域，我们也面临着一些显著的挑战。一是光伏发电的并网政策尚未成熟，某些地区面临着并网困难、电价结算过程不透明等问题。二是相关技术标准和规范的不足，导致了市场上光伏产品质量的参差不齐。三是政策支持的力度和连贯性不够，这使得投资者对于光伏市场的长期发展前景持有疑虑。四是针对光伏建筑一体化的专门法规和激励措施的缺失，限制了光伏技术在建筑电气领域的广泛采纳和应用。

五、光伏技术在建筑电气应用中的发展策略

面对种种挑战，策略不仅是前行的指引，更是照亮征途的灯塔。它为我们指明了方向，照亮了道路，让我们在探索 and 发展的旅途中，即使遭遇风浪和迷雾，也能保持坚定的步伐，不断向前。

（一）技术创新与研发

技术创新是光伏技术持续进步的核心引擎。为了促进光伏技术在建筑电气领域的深入应用，我们必须加大对提升光伏电池效率和降低成本的技术研发投入^[9]。这涉及新型光伏材料的探索、电池结构设计的精细化，以及组件耐候性和寿命的增强。同时，我们应当重视光伏系统的集成创新，尤其是在光伏建筑一体化（BIPV）技术的研究与开发上，力求实现美观与功能性的完美融合。此外，智能化光伏系统的创新同样重要，通过物联网、大数据等前沿技术，提升光伏系统的智能化程度，实现高效的远程监控和智能化的运维管理。

（二）政策支持与推广

政策的大力支持和广泛推广是光伏技术发展不可或缺的要

素。政府应当制定并实施一系列激励措施，如提供财政补贴、税收减免、绿色信贷等，以减轻光伏项目的初期投资负担和运营风险。同时，政府需完善光伏发电的并网政策，简化接入流程，确保光伏电力能够公平且透明地进入电网。此外，制定并推广光伏建筑一体化的标准和规范，提高市场准入门槛，是保障光伏产品质量的关键。通过这些政策的实施，将有助于提振市场信心，吸引更多投资者投身于光伏建筑领域，共同推动这一行业的健康发展。

（三）市场培育与拓展

市场的培育与扩展是光伏技术广泛普及的根本。一方面，加大对光伏技术的宣传力度和普及工作，是提升公众对光伏建筑认知度和接受度的关键。另一方面，通过打造光伏示范项目，直观展示光伏技术在建筑电气中的应用成效，以点带面地推动市场的全面发展^[10]。同时，激励光伏企业与国际标准接轨，吸收国际先进的技法和管理经验，以增强自身的竞争力。最终，通过培育光伏产业链的上下游企业，构建健康的产业生态，协同推动光伏技术在建筑电气领域的广泛应用和深入发展。

六、结束语

随着研究的深入和技术的进步，光伏技术在建筑电气领域的应用前景日益广阔。通过不断地创新与探索，光伏技术将更好地融入建筑电气系统，为建筑行业带来革命性的变革。在这个过程中，不仅要关注技术的进步，还要注重政策的引导、市场的培育和社会的认知。只有各方共同努力，才能推动光伏技术在建筑电气领域的广泛应用，实现建筑行业的绿色、可持续发展。

参考文献

- [1] 申斌宇. 光伏发电在建筑电气节能减排中的应用[J]. 能源与节能, 2023,(12):85-87.DOI:10.16643/j.cnki.14-1360/td.2023.12.058.
- [2] 陈译耘. 光伏新能源技术在建筑电气系统中的应用[J]. 光源与照明, 2023,(12):237-239.
- [3] 湛爱星. 医院特殊科室建筑电气设计的安全及节能措施分析[J]. 四川建材, 2023, 49(12):203-204+240.
- [4] 张立东. 新能源光伏技术在建筑节能中的应用[J]. 集成电路应用, 2023, 40(12):398-399.DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2023.12.176.
- [5] 陈立庆. 某区档案方志馆建筑电气设计[J]. 绿色建造与智能建筑, 2023,(12):109-112+116.
- [6] 张雁洋洋. 光伏技术在建筑电气节能中的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023,(30):70-72.DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202330024.
- [7] 曹刚. 光伏新能源技术在城市智能建筑电气中的应用[J]. 科技创新与生产力, 2023,44(10):50-52.
- [8] 赖新峰. 建筑电气节能减排措施及光伏新能源应用研究[J]. 房地产世界, 2023,(19):157-159.
- [9] 范俊鹏. 建筑电气系统中光伏发电技术的应用与研究[J]. 光源与照明, 2023,(09):117-119.
- [10] 肖明. 光伏新能源技术在建筑电气节能中的应用分析[J]. 中国高科技, 2023,(17):102-104.DOI:10.13535/j.cnki.10-1507/n.2023.17.31.

工程咨询服务对建筑项目效益提升的实证研究

赵蕊馨

天津磐宇咨询有限公司, 天津 300220

摘 要： 本文以工程咨询服务对建筑项目效益提升为研究对象，通过理论基础与文献综述，明确了工程咨询服务的概念与内涵，阐述了建筑项目效益提升的理论基础，并探讨了工程咨询服务与建筑项目效益之间的关系。在此基础上，本文构建了工程咨询服务对建筑项目效益提升的作用机制，分析了工程咨询服务在建筑项目各阶段（决策、设计、施工、竣工）的角色定位及其对效益提升的具体作用。进一步地，提出了工程咨询服务的优化策略，并探讨了优化工程咨询服务对建筑项目效益的提升效果及优化路径。研究结果表明，工程咨询服务在建筑项目中具有重要作用，通过优化服务策略，可以显著提升建筑项目的整体效益。

关 键 词： 工程咨询服务；建筑项目；效益提升；项目管理；决策支持

Empirical Study on the Improvement of Construction Project Benefits by Engineering Consulting Services

Zhao Ruixin

Tianjin Panyu Consulting Co., Ltd., Tianjin 300220

Abstract： This paper takes the improvement of construction project benefits by engineering consulting services as the research object. Through theoretical basis and literature review, it clarifies the concept and connotation of engineering consulting services, expounds the theoretical basis for improving the benefits of construction projects, and explores the relationship between engineering consulting services and construction project benefits. On this basis, this paper constructs the mechanism of engineering consulting services on improving the benefits of construction projects, analyzes the role of engineering consulting services in each stage of construction projects (decision-making, design, construction, completion) and their specific effects on benefit improvement. Furthermore, it proposes optimization strategies for engineering consulting services and explores the improvement effects and optimization paths of optimized engineering consulting services on construction project benefits. The research results show that engineering consulting services play an important role in construction projects, and by optimizing service strategies, the overall benefits of construction projects can be significantly improved.

Keywords： engineering consulting services; construction projects; benefit improvement; project management; decision support

引言

在当今快速发展的建筑行业中，工程咨询服务的作用日益凸显，它为建筑项目的顺利实施和效益提升提供了有力保障。建筑项目的成功与否，不仅取决于项目本身的规划与设计，更在于项目全过程中的科学管理和专业咨询。因此，探讨工程咨询服务如何对建筑项目效益产生积极影响，对于提高建筑项目整体水平具有重要意义。本研究旨在深入分析工程咨询服务在建筑项目中的具体应用及其对项目效益提升的贡献，以期为进一步优化工程咨询服务体系，提高建筑项目效益提供理论依据和实践指导。

一、理论基础与文献综述

在探讨建筑行业的创新发展过程中，为了更好地理解工程咨询服务的价值，本文先对相关理论基础进行梳理。在此基础上，本文将进一步深入剖析工程咨询服务的概念及其内涵，并详述建

筑项目效益提升的理论基础。此外，本文还将阐述工程咨询服务与建筑项目效益之间的关系。

（一）工程咨询服务的概念与内涵

在我国建筑行业迅猛发展的背景下，工程咨询服务在项目实施中的地位日益凸显。作为一个综合性强、专业度高的服务领

域，工程咨询服务的概念及其内涵涵盖了广泛的知识和技能。具体而言，工程咨询服务是指针对建筑项目提供包括技术、经济、管理等多个维度的专业咨询与建议，其核心目的是协助项目达成既定的目标和要求。该服务贯穿于项目的整个生命周期，包括项目策划、方案设计、施工组织直至竣工验收等关键阶段，致力于提升项目管理的科学性、合理性和效率性。通过专业的工程咨询服务，可以确保项目在技术先进性、经济合理性和管理规范性方面得到有效保障，从而推动建筑项目的顺利进行和最终成功。

（二）建筑项目效益提升的理论基础

在建筑项目效益提升的理论研究领域，众多学者进行了深入的探讨与剖析。其目的是在保证工程高质量和按时竣工的情况下，通过管理的手段对建筑施工过程中所有影响施工成本的因素进行监督和控制，并且控制工程预算与工程实际投资额之间的差值，将其控制在合理的范围内^[1]。这些理论研究成果为实践中追求建筑项目效益的最大化提供了坚实的理论依据和支撑，确保了在实际操作中能够有的放矢，科学有效地推进项目效益的提升。

（三）工程咨询服务与建筑项目效益的关系

工程咨询服务通过实施全方位、全过程的精细化管理，对于提升项目质量、压缩建设周期、节约成本、降低潜在风险起到了关键作用，进而促进了建筑项目效益的最大化。具体而言，在项目策划阶段，工程咨询服务能够基于市场调研和数据分析，为项目的定位、规模设定、投资估算等关键决策提供科学合理的建议；在设计阶段，它通过专业知识和技术的运用，对设计方案进行优化，确保设计质量达到最优标准；在施工阶段，工程咨询服务能够有效地协调各方资源，保障项目施工的顺利进行，同时降低施工过程中的各种风险；在验收阶段，它则确保项目成果符合国家法律法规及行业规范要求，保障项目的合法性和合规性^[2]。

总之，工程咨询服务与建筑项目效益的提升紧密相关，其在整个建筑项目生命周期中的重要作用不容小觑。因此，对于工程咨询服务的研究与探讨，不仅具有理论价值，更具有实践意义，值得建筑行业同仁们进行深入且持续地探索和研究。

二、工程咨询服务对建筑项目效益提升的作用机制

在深入理解工程咨询服务的概念与内涵之后，本文将进一步剖析工程咨询服务在建筑项目中发挥的作用机制。通过深入分析工程咨询服务在建筑项目各阶段的具体角色定位及其对项目效益的促进作用，可以更为明确地揭示工程咨询服务的关键性。以下是对工程咨询服务在建筑项目各阶段效益提升作用机制的详细阐述。

（一）工程咨询服务在建筑项目中的角色定位

工程咨询服务在建筑项目中充当着项目的“智囊团”，提供专业而系统的指导与建议。在整个项目生命周期内，从最初的策划阶段到最终的竣工交付，工程咨询服务的身影无处不在，其专业支持成为项目顺利推进的不可或缺的要害。这种角色定位确保了项目在策划、设计、施工直至运营的每一个关键节点，都能够获得科学化、高效率的管理，有效规避风险，优化资源配置，进

而显著提升项目的综合效益和投资回报^[3]。工程咨询服务的深度介入，不仅保障了项目目标的顺利实现，也促进了建筑行业的持续健康发展。

（二）工程咨询服务对建筑项目决策阶段的效益提升

在建筑项目的决策阶段，工程咨询服务扮演着至关重要的角色。此时期，经验丰富的专业团队提供的综合分析，涉及市场动态、技术可行性、经济合理性和法规遵循等多个核心方面，为项目决策提供了有力的数据支撑和战略性建议。这种专业深入的介入，对于精准项目定位和明智投资决策至关重要，它从规划初期即着手优化资源分配，显著提高项目的经济和社会效益。工程咨询服务的精确评估和前瞻性规划，为项目成功奠定了基石，降低了实施阶段的风险，保障了项目价值的最大化。因此，工程咨询服务不仅是确保项目成功的基石，也是促进建筑行业优质发展的重要推手。

（三）工程咨询服务对建筑项目设计阶段的效益提升

随着建筑项目进程的逐步深入至设计阶段，工程咨询服务在增强项目效益方面的贡献主要体现在对设计方案的精细优化上。在这一阶段，由专业咨询师组成的高效团队对设计草案进行了详尽的分析与严格评估，进而提出了精准而有效地改进建议。这些专业建议不仅显著提升了设计方案的实用性、美学价值以及成本效益，而且还确保了设计方案在实施过程中的可操作性和创新性。

通过这种专业性的深度参与，设计阶段的工作得以更加精细化，为后续的施工阶段奠定了坚实的技术基础^[4]。这种前期工作的精细化管理，保障了项目在后续的实施过程中能够以更高的效率、更顺畅的方式推进，从而实现了项目整体价值的最大化。此外，专业咨询服务的介入还有助于规避设计阶段可能出现的风险，确保了项目从蓝图到现实转化的每一步都稳健可靠，为项目的成功交付提供了有力保障。

（四）工程咨询服务对建筑项目施工阶段的效益提升

在建筑项目进入施工阶段时，工程咨询服务的作用至关重要，其主要职责是确保项目严格按照既定设计方案和施工规范顺利实施。专业咨询师通过一系列精细化管理措施，包括现场监控、进度协调、质量检验和成本监控等，有效地识别并降低施工过程中可能出现的各类风险。这些措施不仅提升了施工流程的效率，还确保了项目在预定时间和预算内达到预期的质量标准。通过这种全方位的专业服务，工程咨询服务为项目的顺利推进提供了有力保障，进一步提升了项目的整体效益和投资回报。

（五）工程咨询服务对建筑项目竣工阶段的效益提升

在建筑项目竣工的决胜阶段，工程咨询服务依旧发挥着决定性的作用。专业咨询师团队积极参与项目验收过程，确保项目成果全面符合合同条款和行业标准，细致排查并迅速解决任何遗留问题，保障了项目的顺利交接^[5]。此外，咨询服务团队还承担着项目后评价的重任，通过对项目全过程的深入分析，总结成功的经验与存在的不足，这些宝贵的反馈为未来类似项目的规划与实施提供了重要的参考依据。通过这种全面而深入的专业服务，工程咨询服务在巩固项目成果的同时，进一步提升了项目的长期效益和行业影响力。

三、工程咨询服务优化策略及对建筑项目效益的提升

在明确了工程咨询服务在建筑项目中的重要作用之后，如何优化这一服务以进一步提升建筑项目的效益成了一个值得深入探讨的问题。本文接下来将提出一系列工程咨询服务优化策略，并分析这些策略如何作用于建筑项目效益的提升，同时，将对工程咨询服务的优化路径进行探讨，以期为实现建筑项目的高效管理和优质效益提供参考。

（一）工程咨询服务优化策略

为了最大化工程咨询服务在建筑项目中的效能，对其服务策略进行精细优化势在必行。工程咨询服务的核心在于人才的系统培养和团队结构的优化，旨在不断提升咨询师的专业能力和服务水平^[6]。在此基础上，应着力加强信息技术的综合运用，特别是通过 BIM、大数据等前沿技术，大幅提升咨询服务的精准度和运行效率。

进一步地，咨询服务应更加敏锐地洞察客户需求，推出定制化、差异化的服务方案，以满足不同项目的特定要求。此外，建立并完善咨询服务质量管理体系是不可或缺的一环，这将确保服务质量得到持续优化和提升，从而在激烈的市场竞争中保持领先地位。通过这一系列策略的实施，工程咨询服务将能够更有效地支持建筑项目的成功，为行业发展贡献力量。

（二）优化工程咨询服务对建筑项目效益的提升效果

工程咨询服务优化的成效在建筑项目效益提升方面表现得尤为显著。通过系统性地增强咨询师的专业素养，项目决策过程得以基于更加科学和严谨的依据，确保了项目方向的正确性。在设计阶段，专业能力的提升使得问题识别与解决方案的提出更为迅速和精准，有效避免了设计偏差带来的风险^[7]。施工阶段中，咨询服务的优化带来了更加高效地协调与管理，确保了施工活动的顺畅进行。至竣工阶段，严格的验收和评价流程进一步保障了项目成果的质量。

这些综合性的优化措施有效地降低了项目成本，缩短了建设周期，并显著提升了项目质量，最终实现了建筑项目综合效益的大幅提升。通过这种全方位的服务升级，工程咨询服务在推动建筑项目成功交付的同时，也为整个建筑行业的持续健康发展贡献了积极力量^[8]。

（三）工程咨询服务优化路径探讨

在深入探讨工程咨询服务优化策略时，必须采取一种全面而多维的思考方法^[9]。在政策层面，迫切要求构建一套全面且成熟的法律法规体系，以营造一个有利于咨询服务健康发展的市场环境。在企业层面，则应着力完善内部管理体系，对服务流程进行精细化优化，从而显著提高服务效率。

接着，从行业层面来看，应当积极推进服务标准化建设，通过提高服务的透明度，增强行业自律，确保服务质量^[10]。这些优化路径的实践，将使工程咨询服务能够更加精准和高效地服务于建筑项目，从而推动项目效益向最大化方向发展。通过政策、企业、行业三方面的共同努力，工程咨询服务将更好地发挥其在建筑项目中的关键作用，为整个建筑行业的进步贡献力量。

四、结束语

研究表明，工程咨询服务在建筑项目的整个生命周期中扮演着至关重要的角色，其对项目效益的显著提升作用不容忽视。尽管如此，我们必须认识到，在实际操作过程中，工程咨询服务仍有较大的改进空间。展望建筑行业的长远发展，迫切需要对工程咨询服务进行深入的理论研究，并不断优化服务模式，以进一步促进建筑项目效益的增长，从而推动建筑行业的持续健康发展。本文旨在通过深入探讨，为行业内的专业从业人员提供宝贵的参考资料，以期在我国建筑行业的发展道路上贡献一份力量，助力行业迈向更高水平的发展。

参考文献

- [1] 谢明宪. 谈加强建筑项目管理提高建筑工程效益[J]. 建材与装饰, 2017, (29): 172-173.
- [2] 祁志强. 浅析工程项目精细化管理在质量和效益控制中的重要性[J]. 广东土木与建筑, 2010, 17(05): 41-42. DOI: 10.19731/j.gdtmyjz.2010.05.013.
- [3] 袁方翠. 服务为先人才为本铸就一流品牌——访北京双圆工程咨询代理有限公司总经理王远[J]. 建设监理, 2024, (03): 1-4. DOI: 10.15968/j.cnki.jsjl.2024.03.010.
- [4] 自觉增强责任担当、着力做好“四个服务”奋力谱写服务行业高质量发展的新篇章——中国工程咨询协会2023年工作总结和2024年工作计划[J]. 中国工程咨询, 2024, (02): 43-48.
- [5] 王映力, 谢坚勋. 新形势下工程咨询行业、企业和服务发展的挑战和应对——专访同济大学经济与管理学院教授何清华[J]. 建设监理, 2024, (01): 3-10. DOI: 10.15968/j.cnki.jsjl.2024.01.016.
- [6] 吴俊, 罗齐鸣, 杨婧, 等. EPC 模式下全过程工程咨询服务策略分析——以总承包单位、建设单位、工程咨询方为研究视角[J]. 中国工程咨询, 2024, (01): 48-53.
- [7] 本刊编辑部. 继续用高质量咨询服务护航“中国工程”——专访中国国际工程咨询有限公司党委书记、董事长、总经理苟护生[J]. 中国工程咨询, 2023, (11): 8-15.
- [8] 曹效义, 张伟, 曹子焯. 面向“新基建”的全过程工程咨询服务管理平台构建及展望——基于“互联网+”的关键技术应用研究[J]. 物联网技术, 2023, 13(10): 129-132+137. DOI: 10.16667/j.issn.2095-1302.2023.10.036.
- [9] 侯丽娟, 张日. 追溯工程咨询服务本源探索设计与管理深度融合——记中设协团标《全过程工程咨询服务规程》编制历程[J]. 中国勘察设计, 2023, (09): 18-21.
- [10] 曾泽伟, 张军, 徐郁竺, 等. 工程咨询企业员工服务能力提升行为影响因素及其机理研究[J]. 建筑经济, 2023, 44(S1): 521-525. DOI: 10.14181/j.cnki.1002-851x.2023S1521.

建筑工程现场施工安全管理策略研究

王冠懿

成都天府国际机场分公司，四川 成都 610000

摘要： 本文围绕建筑工程现场施工安全管理策略展开研究，先阐述了建筑工程现场施工安全管理的理论基础，包括相关概念、管理原则以及法规与标准。在此基础上，对当前建筑工程现场施工安全管理的现状进行了分析，总结了取得的成就和存在的问题。针对存在的问题，本文提出了两大策略：一是完善建筑工程现场施工安全管理制度，包括制定科学的施工安全管理制度和加强制度的执行与监督；二是构建建筑工程现场施工安全风险防控体系，涉及建立风险识别与评估机制、制定针对性的风险防控措施以及加强风险防控体系的运行与监控。本文的研究旨在为建筑工程施工现场安全管理提供理论支持和实践指导，以促进建筑行业的安全生产和持续发展。

关键词： 建筑工程；施工安全管理；策略研究；安全管理制度；风险防控体系

Research on Safety Management Strategies for Construction Site Operations in Architectural Engineering

Wang Guanyi

Chengdu Tianfu International Airport Branch, Chengdu, Sichuan 610000

Abstract： This paper focuses on safety management strategies for construction site operations in architectural engineering. It first elaborates on the theoretical foundations of construction site safety management, including relevant concepts, management principles, and regulations and standards. Based on this, the current status of construction site safety management in architectural engineering is analyzed, summarizing achievements and existing problems. To address these problems, this paper proposes two major strategies: First, improving the safety management system for construction site operations in architectural engineering, including developing a scientific construction safety management system and strengthening its implementation and supervision; second, building a risk prevention and control system for construction site operations in architectural engineering, which involves establishing risk identification and evaluation mechanisms, formulating targeted risk prevention and control measures, and strengthening the operation and monitoring of the risk prevention and control system. The research in this paper aims to provide theoretical support and practical guidance for safety management at construction sites in architectural engineering, promoting safe production and sustainable development in the construction industry.

Keywords： architectural engineering; construction safety management; strategy research; safety management system; risk prevention and control system

引言

在经济持续增长与城市化步伐不断提速的大环境下，我国建筑工程项目的数量正迅速增加，与此相伴的是施工现场安全问题日益成为焦点。施工现场的安全管理不仅直接关联到施工人员的生命财产安全，更是确保工程项目按计划推进、维护社会和谐稳定的基石。面对这一现状，探索有效的策略以预防和控制施工现场安全事故，提升安全管理质量，已经成为建筑行业不得不面对的重要课题。本研究致力于深入分析建筑工程现场施工安全管理的多种策略，旨在为我国建筑工程施工现场的安全管理工作提供科学的理论依据和实用的操作指南，以促进整个建筑行业安全管理水平的提升。

一、建筑工程现场施工安全管理理论基础

为了深入剖析和探讨建筑工程现场施工安全管理的策略，构建一个稳固的理论基础是必要的先决条件。以下部分将详细阐述

建筑工程现场施工安全管理的相关概念、原则以及法规与标准，为后续的研究和实践提供必要的理论支撑。

（一）建筑工程现场施工安全管理相关概念

在深入剖析建筑工程现场施工安全管理的本质之前，必须对

施工安全管理的概念进行精确地阐释,以保障研究的准确性和专业度。施工安全管理是指在建筑工程施工的全过程中,通过一系列系统的组织行为、细致的计划布局、科学的管理准则和严谨的监督控制方法,对可能导致人员伤害、财产损毁和环境破坏的风险因素进行识别、评估和干预。该概念包含了一系列复杂的活动与内容,从安全管理体系的确立与不断完善,到安全文化的培育与持续传播,再到安全教育的全面推行,以及事故预防策略的精心规划和坚决执行等方面。

通过对大量的项目现场建设的研究发掘,通过加强安全管理的实施,其主要任务是能够对施工和机械设备的安全做出保证,同时减少危险因素的发生,能够保证现场工程建设的顺利开展,同时对项目的质量加以科学合理设计和控制,实现在节约建设时间、资金和人工的同时,防止工程施工管理效率和质量受损失,由此来推动项目实施质量的改善^[1]。它不仅是一种管理手段,更是一种责任文化的体现,是建筑企业社会责任感和专业能力的直接反映,因此在建筑行业的整体发展策略中必须给予充分的重视和强化。

（二）建筑工程现场施工安全管理原则

建筑工程现场施工安全管理,遵循一系列核心原则,这些原则构成了实践活动的根本指导准则。坚持以人为本的管理理念,将施工人员的安全与健康作为管理工作的重中之重。在这一核心理念的引领下,保障施工人员的生命安全和健康状态成为管理的根本宗旨,充分体现了对施工人员生命尊严和身体健康的尊重与维护^[2]。紧接着,恪守预防为主的安全策略,在施工前和施工过程中,采取一切必要手段预防安全事故的发生,依托科学的预测规划和风险评估,有效减少安全风险。

进一步,采纳综合治理的安全管理方针,综合运用多种方法和策略,对施工现场的安全问题进行全方位、立体化的管理,构建起一个完善的系统性安全管理体系。此外,坚守持续改进的原则,不断审视和评估现行安全管理措施的实际效果,通过不懈地优化与调整,以适应施工现场环境的动态变化和安全管理需求的升级,确保安全管理水平的持续提高。这些原则相互支撑,共同构成了施工现场安全管理活动的基石,为各项安全管理工作的有效实施提供了明确的方向和保障。

（三）建筑工程现场施工安全法规与标准

法律法规及行业标准构成了建筑工程现场施工安全管理的法律框架和操作基准,它们为施工现场的安全管理活动提供了明确的规范要求和操作指南,确保了施工过程中的合法性和合规性^[3]。这些法规与标准的内容广泛,涵盖了安全生产许可证制度、施工现场安全防护措施、应急预案的制定与执行等多个层面,它们在规范施工现场的安全操作行为、降低事故发生风险方面发挥着至关重要的作用。深入理解和严格遵守这些法规与标准,是提升施工现场安全管理水平的关键所在。这不仅要求施工企业和管理人员对这些法律法规有深刻地理解,还要求他们在实际工作中不折不扣地执行。通过这种方式,可以确保施工现场的每一项操作都符合法律的规定,每一项安全措施都能得到有效落实。遵守法规与标准,有助于构建一个安全、有序的施工环境,这不仅能够

保障施工人员的生命安全和身体健康,还能维护企业的合法权益,提升企业的社会形象^[4]。同时,这也是建筑行业实现可持续发展的基础,对于促进整个行业的安全文化建设和提升行业整体安全管理水平具有重要意义。

二、建筑工程现场施工安全管理现状分析

在深入探讨建筑工程现场施工安全管理策略之前,准确把握当前的管理现状是至关重要的。这不仅有助于识别存在的问题,也为制定有效的管理措施提供了现实依据。以下部分将分析建筑工程现场施工安全管理的现状,包括已经取得的成绩以及仍然存在的问题,旨在为提出有效的管理策略提供现实依据。

（一）建筑工程现场施工安全管理取得的成绩

在建筑行业快速发展的今天,安全管理的重要性愈发凸显。在这样的行业背景下,建筑工程现场施工安全管理取得了显著进步。安全生产责任制的深化实施,实现了从企业高层到基层员工的安全责任意识全面提升,形成了全员参与的安全生产新局面^[5]。项目经理及管理层对安全生产的关注度不断上升,将安全责任具体化、落实到每一个施工环节和每一个工作岗位。

施工人员的安全意识亦有了显著增强,他们在作业过程中更加重视个人防护和事故的预防工作。在安全防护设施方面,一系列创新技术的应用和改进措施的实施,使得施工现场的安全水平大幅提升。例如,个人防护装备如安全帽、安全带等已成为施工人员的标准配置,这些装备的有效使用大大减少了施工过程中的安全风险。此外,脚手架、防护网等关键安全设施的标准化建设和合理布局,为施工现场构筑了一道坚实的防护屏障,不仅提高了现场的安全防护能力,同时也确保了工程建设的优质完成^[6]。

在安全教育领域,通过加强培训,施工人员的安全操作技能得到了显著提高。定期的系统化安全教育和应急处理演练,使得施工人员在遭遇紧急情况时能够迅速、准确地采取应对措施,大幅降低了事故发生的可能性。这些综合措施的实施,不仅提升了建筑工程现场施工安全管理的整体水平,也为建筑行业的健康稳定发展提供了有力保障。

（二）建筑工程现场施工安全管理存在的问题

尽管建筑工程现场施工安全管理在近年来取得了显著进步,但仍面临一系列问题,这些问题若不予以解决,将对建筑行业的健康发展构成潜在威胁。安全管理体制的不完善成为首要问题,部分施工企业未能构建科学、系统的安全管理架构,导致安全管理工作流于形式,缺乏实质性效果,难以真正确保施工现场安全^[7]。同时,施工人员的安全意识亟需加强,实际工作中部分人员对安全生产的重要性认识不足,侥幸心理和麻痹大意增加了安全隐患。此外,安全投入的不足亦是一个突出问题,一些企业为追求利润最大化,在安全设施和防护措施上削减成本,加剧了安全风险,违背了安全生产原则。最为严重的是,事故应急预案的不完善,使得在紧急情况下,现有预案因缺乏针对性和可操作性而难以实现快速有效应对,可能导致事故后果扩大。这些问题共同揭示了施工现场安全管理需进一步深化和完善的紧迫性。

三、建筑工程现场施工安全管理策略研究

在充分认识建筑工程现场施工安全管理现状的基础上,本文将进一步探讨如何有效提升施工现场的安全管理水平。以下部分将提出一系列策略,旨在通过完善安全管理制度和构建安全风险防控体系,为建筑工程施工现场的安全管理提供切实可行的解决方案。

(一) 完善建筑工程现场施工安全管理制度

为确保施工现场的安全管理活动有序、高效地进行,完善安全管理制度成为迫切需要解决的问题。构建一套科学、合理的施工安全管理制度,是保障施工现场安全的核心^[8]。该制度应紧密结合工程项目的特点和实践需求,具体应涵盖以下方面:确立安全管理目标,为各项安全管理活动提供明确的方向和衡量标准,从而指导和规范施工现场的安全行为;进一步,详尽制定操作流程,具体规定施工过程中的安全操作步骤,涵盖安全检查、事故报告、应急处理等环节,确保所有安全措施均有明确的执行依据;同时,明确责任划分,清晰界定项目管理者、施工人员、安全监督人员等各方责任,确保责任落实到个人,权责分明。

在此基础上,加强施工安全管理制度的执行力和监督机制至关重要^[9]。构建高效监督体系,确保其具备全面性、实时性和及时反馈的特点,以保障制度在施工现场得到切实执行;此外,推动制度落地实施,通过日常监督、定期审查、专项整治等多种手段,使安全管理制度深入施工一线,成为施工人员的自觉遵循;进而,提高制度的实际效果,通过持续的监督和反馈,不断对安全管理制度进行优化,确保其在保障施工安全和预防事故中起到关键作用,充分体现制度的重要价值和深远意义。

(二) 构建建筑工程现场施工安全风险防控体系

有效的安全管理核心在于预防而非仅仅应对事故,因此,构建建筑工程现场施工安全风险防控体系显得尤为关键。在建立这

一体系的过程中,确立风险识别与评估机制成为首要任务。通过采用系统化的方法,全面辨识潜在的安全风险,并对其进行精确的量化评估,以准确把握风险的潜在影响及其发生的概率。在此基础上,制定一系列针对性的风险防控策略,这些策略应全面覆盖不同的风险类型,包括但不限于工程技术、管理流程以及人员教育培训等多个维度。

为确保风险防控体系的有效性,需强化其持续运作与监督控制。这意味着,各项防控措施不仅要得到有效执行,还需根据施工现场的实际情况进行动态调整与优化,以适应不断变化的环境和条件^[10]。通过这样的防控体系,施工现场安全事故的发生概率将得到显著降低,从而有效保障施工人员的安全和工程的顺利推进。这一体系的建立和实施,不仅体现了对安全生产的高度重视,也为建筑行业的持续健康发展提供了坚实保障。

四、结束语

本文深入探讨了建筑工程现场施工安全管理策略,通过全面的理论分析、现状审视,以及策略的制定与实施保障,旨在为我国建筑工程施工现场安全管理提供切实可行的参考。研究内容覆盖了安全管理的关键环节,旨在提升管理效能,确保施工现场安全。

面向未来,建筑工程现场施工安全管理策略的研究将继续聚焦于新形势下的各种挑战与机遇,致力于推动建筑行业向着安全、高效、可持续的发展方向迈进。研究成果预期将对建筑行业的安全生产产生深远影响,为行业的健康发展提供智力支持。本文期望其研究成果能够为政策制定者提供决策参考,助力形成更加科学合理的安全生产政策体系。总体而言,本文的研究成果旨在为建筑工程施工现场安全管理提供全方位的借鉴与启示。

参考文献

- [1] 新敏. 建筑工程施工中安全管理重要性及措施[J]. 大众标准化, 2023, (05): 30-32.
- [2] 蔡旭航. 建筑工程施工现场安全管理探析[C] // 中国智慧工程研究会智能学习与创新研究工作委员会. “2022智慧规划与管理”学术论坛论文集. 杭州建工集团有限责任公司, 2022: 6. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2022.011717.
- [3] 邓兴刚. 高层建筑工程施工风险和安全管理策略[J]. 居业, 2023, (10): 158-160.
- [4] 龚柯. 建筑工程施工现场安全管理中存在的问题及处理对策[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023, (11): 67-69. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202311023.
- [5] 丁于强. “三全育人”背景下高职建筑工程类课程思政的实施探究——以施工现场安全管理课程为例[J]. 广西教育, 2023, (03): 48-51.
- [6] 沈万岳, 林滨滨, 余春春, 等. 建筑工程安全素养提升课程教学创新与实践[J]. 山西建筑, 2023, 49(19): 191-195. DOI: 10.13719/j.cnki.1009-6825.2023.19.050.
- [7] 王德生. 关于建筑工程施工现场安全管理探析[C] // 中国智慧工程研究会智能学习与创新研究工作委员会. “2022智慧规划与管理”学术论坛论文集. 杭州金仕建设有限公司, 2022: 6. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2022.011697.
- [8] 王琦, 潘铁铮. 电力工程施工现场临时用电的特点与安全管理措施探讨[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023, (30): 4-6. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202330002.
- [9] 苗田. 建筑工程施工安全管理难点及应对措施[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.1). 中冶建工集团有限公司, 2022: 2. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2022.037415.
- [10] 徐国海. 建筑工程施工现场安全管理存在的问题及处理对策[J]. 房地产世界, 2023, (09): 106-108.

农村城镇房建中装配式建筑的推广策略

何克见

武汉中央商务区股份有限公司，湖北 武汉 430000

摘 要： 本研究围绕装配式建筑在农村城镇房建中的应用与推广，概述了其定义、特性、发展历程及优缺点，分析了农村城镇化背景下的房建问题，并指出装配式建筑在提升质量、节约资源、降低污染、丰富风格和缩短工期方面的应用前景。文章进一步探讨了装配式建筑在结构类型和产业链方面的局限性，并基于农村城镇建筑特点，提出了装配式建筑的适应性分析。最终，制定了涵盖政策支持、技术创新、产业链优化和市场推广的装配式建筑推广策略，旨在为我国农村城镇房建提供参考和借鉴。

关 键 词： 装配式建筑；农村城镇化；房建推广；政策支持；技术创新

Promotion Strategy of Prefabricated Buildings in Rural and Urban Housing Construction

He Kejian

Wuhan Central Business District Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430000

Abstract： This study focuses on the application and promotion of prefabricated buildings in rural and urban housing construction. It provides an overview of the definition, characteristics, development history, advantages, and disadvantages of prefabricated buildings. The study analyzes the issues related to housing construction in the context of rural urbanization and highlights the prospects of prefabricated buildings in improving quality, conserving resources, reducing pollution, enriching architectural styles, and shortening construction durations. The article further explores the limitations of prefabricated buildings in terms of structural types and industrial chains. Based on the characteristics of rural and urban architecture, it presents an adaptability analysis of prefabricated buildings. Finally, a promotion strategy for prefabricated buildings is developed, covering policy support, technological innovation, industrial chain optimization, and market promotion. This strategy aims to provide reference and guidance for housing construction in rural and urban areas of China.

Keywords： prefabricated buildings; rural urbanization; housing construction promotion; policy support; technological innovation

引言

随着我国农村城镇化的深入推进，农村城镇房建市场迎来了前所未有的发展机遇。然而，传统建筑方式在资源消耗、环境污染、施工周期等方面的问题日益凸显，已成为制约农村城镇化发展的瓶颈。装配式建筑以其工业化、标准化、模块化的优势，为农村城镇房建提供了转型升级的可能。因此，以农村城镇建筑为突破点，推广装配式建筑具有重要意义。

装配式建筑在节约资源、减少污染、缩短工期、提高建筑质量等方面具有显著优势，但其推广过程中仍面临诸多挑战。如：政策法规不完善、技术水平不高、产业链不成熟、市场认知度低等。因此，如何制定一套科学、合理、有效的推广策略，成为当前农村城镇房建领域亟待解决的问题。

一、装配式建筑概述

随着建筑技术的不断进步和可持续发展理念的深入人心，本章将对装配式建筑进行全面的概述，包括其定义、特点、发展历程，以及在实际应用中所展现的优势和面临的挑战。

（一）装配式建筑的定义及特点

装配式建筑施工技术是一种在工厂内制造构件和模块，然后在现场进行组装的方法，它具有诸多优势，包括施工周期短、减少现场浪费、提高施工质量等。随着人们对建筑质量和可持续性

要求的不断提高，装配式建筑已成为一个备受关注的领域^[1]。

装配式建筑，通过工厂预制构件和现场快速拼装的方式，体现了建筑业工业化生产的理念。其预制过程与工业制造相似，具有标准化和自动化的特点，有效缩短了施工周期并减少了现场作业，降低了材料浪费和环境污染，同时提升了建筑质量和耐久性。这一建筑方式不仅是高效的建造技术，也是推动建筑业现代化和工业化的重要力量。

（二）装配式建筑的发展历程

装配式建筑的发展历程源远流长，其起源可追溯至20世纪

初。在这漫长的历史进程中，装配式建筑经历了从原始的简易预制构件到当代集成化、智能化预制技术的多个发展阶段与深刻变革^[2]。每一次的技术革新都标志着建筑工业化的一个新里程碑，而装配式建筑的发展史则是一部建筑技术飞速进步的见证。从最初的基础预制构件应用，到如今高度模块化、精确化、自动化的建筑生产方式，装配式建筑不仅推动了建筑行业的效率革命，也引领了建筑美学和功能性的全新探索。

（三）装配式建筑的优势与挑战

装配式建筑以其高度工业化的生产、环保的施工方式以及稳定的质量保障，为建筑行业带来了质的飞跃。其核心优势包括提升建筑效率、缩短建设周期、降低成本、增强经济效益、减少环境污染，以及提高建筑质量和安全性。然而，在推广装配式建筑的过程中，仍需克服技术标准不一、产业链协同不足、市场认知局限和政策支持不足等挑战^[3]。为确保装配式建筑的持续发展，必须加大技术创新力度，优化产业结构，并逐步完善政策体系，以消除发展障碍，推动其在更广泛市场的应用与认可。

二、装配式建筑结构适用范围的局限性分析

装配式建筑，作为一种创新的建筑技术，已经在多个建筑领域展现出其广泛的应用潜力。然而，其结构类型的适用范围存在一定的局限性，特别是在复杂地形和特殊功能需求的项目中。

（一）钢结构装配式建筑

钢结构装配式建筑凭借其独有优势，在厂房、公共建筑及超高层建筑中得到广泛应用。然而，其实际应用亦面临若干局限性。成本方面，钢结构相较于钢筋混凝土结构并未显现出明显的经济优势，导致在特定项目中成本较高。此外，钢结构对防火防腐的处理要求极为严格，这不仅增加了初期建设成本，也提高了长期维护的经济成本^[4]。再者，消防验收的严格标准限制了钢结构在150米以下的办公和住宅建筑中的应用，因消防标准较高，钢结构的使用通常受到限制。

（二）现代木结构装配式建筑

在我国，由于木材资源的相对稀缺，木结构装配式建筑的应用受到了地域限制。其主要局限性表现在几个方面：木结构建筑的应用场景相对有限，主要适用于低层建筑。此外，木结构的防火与防腐性能较弱，容易受到腐蚀和损坏，从而提升了建筑的安全风险。再者，木结构的后期维护成本较高，这一经济因素进一步限制了其在更广泛领域的应用。

（三）预制混凝土结构装配式建筑

预制混凝土结构装配式建筑在连接技术方面遭遇技术挑战。该结构在连接材料的选择上存在局限性，主要依赖钢筋和混凝土作为关键的连接元素。尽管预制混凝土结构减少了施工中的模板成本，但运输和吊装成本的增加部分抵消了其经济优势^[5]。更为重要的是，预制混凝土结构的节点连接通常采用湿连接方法，这可能导致质量隐患，影响结构的整体性能，相较于传统现浇结构，可能对建筑的安全性和耐久性带来潜在风险。

（四）产业链建设不足

装配式建筑产业链目前尚未达到成熟状态，其不足主要体现在两个方面：一是产业链的一体化设计制造能力尚显不足，尤其是在建筑外围护系统、设备与管线系统以及内装系统的一体化设计制

造方面，还有待进一步的提升和发展；二是装配式建筑的安装过程对组织管理、工程设备和施工人员的能力素养提出了更为严格的要求，这对当前的施工管理和人员培训体系构成了新的挑战。

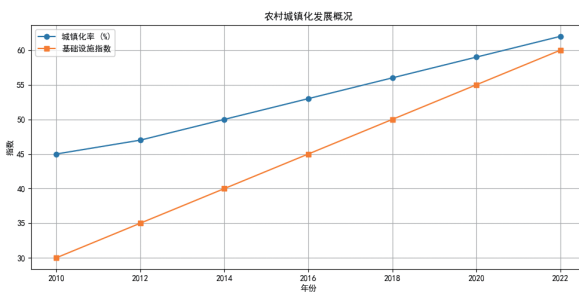
三、农村城镇房建现状分析

农村城镇化作为我国社会经济发展的关键战略，其房建市场具有巨大潜力。然而，当前农村城镇房建存在的问题亟待解决，这些问题为装配式建筑提供了广阔的应用空间。因此，本章将分析农村城镇化的发展概况，深入探讨农村城镇房建存在的问题，并在此基础上，重点阐述装配式建筑在农村城镇房建中的优势和应用潜力。

（一）农村城镇化发展概况

我国城镇化进程持续加速，城镇化率从2010年的45%稳步增长至2022年的近60%，这一趋势显著标志着城镇化发展的关键特征。同期，基础设施指数的同步增长，揭示了农村地区城镇化及其基础设施建设的显著成就。在此期间，道路、供水供电和信息通信设施的显著改善，极大提升了农村地区的生活品质和生产效率。产业结构的优化调整成为农村城镇化的一个重要转折点，促进了经济多元化和社会全面进步^[6]。农村城镇化作为一个涉及广泛领域的社会经济转型过程，正在深刻地重塑中国农村的社会结构和经济面貌。

>图1 农村城镇化发展概况



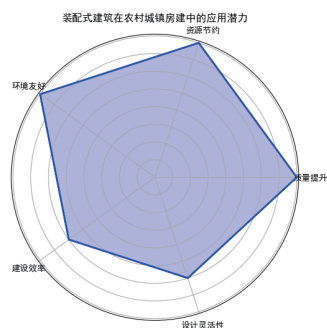
（二）农村城镇房建存在的问题

在农村城镇化快速推进的过程中，尽管取得了显著成就，但房屋建设领域仍面临诸多挑战。首要问题是建筑质量的不稳定性，主要归因于施工技术局限和监管体系不足。传统建筑模式中，资源浪费现象严重，既体现在建筑材料的使用，也体现在施工过程中的资源消耗。此外，施工现场产生的噪音和粉尘等环境污染问题亦不容忽视^[7]。同样，建筑风格的单一性也亟须改善，以迎合居民对富含地域特色和文化内涵的高品质生活的需求。针对这些问题，亟须制定和实施有效策略，促进农村城镇化房屋建设的可持续发展，实现建筑质量、资源效率、环境保护和风格多样性的协调统一。

（三）装配式建筑在农村城镇房建中的应用潜力

装配式建筑在农村城镇房建领域面临挑战时，以其独特的优势展现出广阔的应用前景。该建筑模式通过预制构件的标准化生产，有效提升了建筑的整体质量和结构稳定性。预制构件的应用大幅减少了现场施工作业，显著降低了资源与能源消耗，同时工厂化生产减少了施工现场的噪音和粉尘污染，减轻了对环境的影响。预制构件的多样化设计满足了不同地域和文化的需求，丰富了建筑风格。装配式建筑的快速组装特性大幅缩短了建设周期，提高了建设效率。因此，推广装配式建筑对于解决农村城镇房建问题具有深远的意义，是推进建筑行业可持续发展的关键途径。

> 图2 装配式建筑在农村城镇房建中的应用潜力



四、农村城镇建筑的特点及装配式建筑的适应性

随着我国城乡建设步伐的加快，农村城镇建筑的特殊性日益凸显。与此同时，装配式建筑作为一种新型建筑方式，其在农村城镇的适应性也逐渐成为行业关注的焦点。

（一）农村城镇建筑特点

农村城镇建筑的特点主要体现在其规模较小，通常功能较为单一，因此在设计上更加强调经济性和实用性。此外，这些建筑往往融入了浓郁的地域特色，无论是建筑风格还是材料选择，都充分体现了当地的文化和环境特征^[8]。然而，农村城镇地区的建筑施工技术和设备普遍较为落后，这也是其建筑发展中需要关注和改进的重要方面。

（二）装配式建筑的适应性

装配式建筑在农村城镇市场中展现出显著的适应性，其快速施工能力有效满足了市场的即时需求。预制构件的使用显著降低了现场施工成本，与农村城镇对经济实用性的追求相吻合。此外，装配式建筑的节能环保特性与农村城镇的绿色发展理念不谋而合^[9]。预制构件的标准化生产为后续维护和更换提供了便捷。装配式建筑的可定制化设计使其能够灵活适应不同地域的特色和功能需求。更为关键的是，装配式建筑的推广有助于提高农村城镇建筑行业的施工技术标准，促进整个行业的技术发展。

五、装配式建筑推广策略

为了促进装配式建筑在农村城镇房建中的应用，实现建筑行业的转型升级，本章将提出一系列推广策略。这些策略旨在为装配式建筑的广泛推广提供全面的解决方案。

（一）政策法规支持

政策法规的坚实支持构成了装配式建筑推广的基石。为了促进其发展，政府需制定一系列优惠政策，如税收减免、财政补贴等，以激励企业采纳装配式建筑技术^[10]。同时，完善的标准体系是不可或缺的，它涉及设计、施工、验收等各个环节，旨在确保装配式建筑的质量达标。此外，加大监管力度亦至关重要，通过对装配式建筑项目的严格监管，保障各项政策措施得以有效执行，从而推动装配式建筑行业的健康发展。

（二）技术创新与研究

技术创新与研究是驱动装配式建筑行业向前发展的核心动力。持续的研发投入旨在不断探索新型建筑材料和施工技术，从而提升装配式建筑的整体性能。与此同时，加强产学研的深度合作，促进

科研成果向实际生产力的转化，是加速技术进步的关键途径^[10]。此外，积极引进和吸收国际上的先进技术与管理经验，对于提高我国装配式建筑的技术水平和市场竞争力具有重要意义。通过这些措施，可以有效推动装配式建筑行业的持续创新和发展。

（三）产业链构建与优化

产业链的构建与优化是确保装配式建筑推广成功的关键保障。为了提升产业链的效能，必须整合设计、生产、施工、物流等多个环节，构建起一个紧密相连、协同高效的完整产业链条。同时，通过鼓励企业间的兼并重组，提高产业集中度，以实现规模经济，降低整体成本。此外，建立产业联盟也是优化产业链的重要策略，它将推动产业链上下游企业建立稳固的合作关系，实现资源的高效共享与优化配置，从而为装配式建筑的广泛推广提供坚实的产业支撑。

（四）市场培育与推广

市场培育与推广是提升装配式建筑市场影响力的有效策略。为加深公众对装配式建筑的认识，应加大宣传力度，利用媒体、展会等多种渠道普及相关知识。同时，建立一批高质量的装配式建筑示范项目，通过实际案例展示其独特优势和技术成果。此外，积极拓展市场应用范围，鼓励在公共建筑、保障性住房等项目中优先考虑装配式建筑的应用，以此作为推动市场接受度和扩大行业影响力的关键手段。

六、结束语

本研究在探讨农村城镇房建领域装配式建筑推广策略时，从装配式建筑的内涵、特性、发展历程以及其优势与挑战出发，对农村城镇化进程及房建问题进行了深入分析，并探讨了装配式建筑在此领域的应用潜力。综合考虑政策法规、技术创新、产业链整合、资金扶持、市场推广和人才培养等多维度因素，本研究构建了一套全面的装配式建筑推广框架。本文强调，装配式建筑的推广不仅是建筑业的革新，也是推进农村城镇化、实现绿色发展及提升居住品质的关键途径。尽管在农村城镇房建中推广装配式建筑遭遇诸多挑战，但坚信通过坚持实施策略和持续完善制度，装配式建筑将为我国农村城镇化绘制一幅美好蓝图，并为其发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 季丽莎. 装配式建筑施工技术视域下的施工管理[J]. 中国建筑金属结构, 2023, 22(12): 166-168. DOI: 10.20080/j.cnki.ISSN1671-3362.2023.12.055.
- [2] 沈启伟. 大体量装配式建筑防水工程技术研究及应用[J]. 大众标准化, 2023, (22): 156-158.
- [3] 王永锐. 基于装配式结构方案的选型思路[J]. 中国建筑金属结构, 2023, 22(12): 133-135. DOI: 10.20080/j.cnki.ISSN1671-3362.2023.12.044.
- [4] 田龙. 基于BIM技术的装配式建筑智慧管理应用探索[J]. 四川建筑, 2023, 43(06): 269-272.
- [5] 李娜, 覃霞. 超高性能混凝土材料在装配式建筑中的应用[J]. 江苏建材, 2023, (06): 20-21.
- [6] 王志伟. 装配式建筑施工混凝土质量管控的探究[J]. 大众标准化, 2023, (24): 96-98.
- [7] 闫峻明. 上海市装配式建筑的发展及应用现状[J]. 中国住宅设施, 2023, (11): 109-114.
- [8] 杨滨赫, 周庆旭, 吴金钦, 等. BIM在新型建筑工业化全过程应用与展望[J]. 四川建筑, 2023, 43(06): 30-32.
- [9] 刘峰. 装配式建筑框架柱抗冲击性能试验研究[J]. 江西建材, 2023, (11): 285-286+291.
- [10] 李大洲. 装配式建筑构件生产过程质量控制措施[J]. 江苏建材, 2023, (06): 3-4.

市政给排水工程自动化控制技术研究与应用

陈瑾宏

天津市排水管理事务中心第四排水管理所，天津 300160

摘 要： 本文全面阐述了市政给排水工程自动化控制技术，涉及原理、系统构成及应用场景。深入探讨了传感器、执行器、控制器、通信及数据处理等关键技术在实际应用中的重要性。详尽阐述了系统设计原则、架构、硬件配置、软件开发与集成，以及调试优化流程。展望了技术发展的智能化、网络化、集成化及绿色环保趋势。最终，提出了推动我国技术进步的策略，涉及政策、人才培养、创新和社会推广等多个层面。

关 键 词： 市政给排水工程；自动化控制技术；传感器；执行器；控制器

Research and Application of Automatic Control Technology in Municipal Water Supply and Drainage Engineering

Chen Jinhong

Fourth Drainage Management Institute, Tianjin Drainage Management Service Center, Tianjin 300160

Abstract： This paper comprehensively expounds on the automatic control technology in municipal water supply and drainage engineering, covering principles, system composition, and application scenarios. It deeply explores the importance of key technologies such as sensors, actuators, controllers, communication, and data processing in practical applications. The system design principles, architecture, hardware configuration, software development and integration, as well as debugging and optimization processes are elaborated. The trends of intelligentization, networking, integration, and environmental protection in technological development are also discussed. Finally, strategies to promote technological progress in China are proposed, involving multiple levels such as policies, talent cultivation, innovation, and social promotion.

Keywords： municipal water supply and drainage engineering; automatic control technology; sensors; actuators; controllers

引言

随着我国城市化步伐加快，市政给排水系统作为基础设施核心，其高效稳定运行对城市生活品质和可持续发展至关重要。面对传统管理模式效率低、资源浪费等问题，采用自动化控制技术，推动给排水系统智能化管理，已成为行业发展所需。该技术通过集成计算机、通信和控制理论，实现自动检测与调节，能有效提升系统效率，降低成本，确保水质安全，增强环保能力。

一、市政给排水工程自动化控制技术概述

随着人们生活水平的提高，原有的市政给排水系统暴露了诸多不合理之处，给水不便且引发城市内涝，影响了正常的生产生活。在行业发展的今天，市政给排水工程方面陆续出现了很多新工艺、新技术，对提高工程建设质量与效益起到了关键作用^[1]。

（一）自动化控制技术原理

自动化控制技术原理主要涉及闭环控制和开环控制两大类。闭环控制，也称为反馈控制，是通过传感器收集系统输出信息，与预设的目标值进行比较，然后由控制器发出指令，通过执行器对系统进行调整，以消除偏差，确保系统稳定运行。开环控制则

不依赖于系统输出反馈，直接根据预设的程序或指令进行操作。在市政给排水工程中，闭环控制因其能够实时响应和调整，更符合复杂多变的水务环境需求。

（二）市政给排水工程自动化控制系统的组成

市政给排水自动化控制系统，作为城市水务的智能中枢，融合先进技术，精确监控和管理设施。系统以遍布的传感器为“感官”，实时监测关键数据，经控制器处理后，快速指令执行器动作，保障系统高效运行。通信网络如同“血液循环”，保持各部分信息畅通。人机界面和监控中心提供便捷管理，提高监控效率。该系统不仅提升设施运行效率，还确保供水安全，支撑城市可持续发展^[2]。

（三）自动化控制技术在市政给排水工程中的应用领域

自动化控制技术已成为市政给排水工程不可或缺的一部分，其应用涵盖了水质监测、水量调度、水压控制、污水处理及应急管理等多个关键领域。这一技术体系如同一位全天候的守护者，默默地保障水质安全，智能地调节水泵运行，优化水资源配置。它还像一位精准的调控师，稳定管网水压，减少事故风险，提升供水可靠性。在紧急情况下，自动化控制系统迅速响应，采取措施减轻损失，为工程的平稳运行提供坚实的技术支持。

二、市政给排水工程自动化控制关键技术研究

在市政给排水工程中，自动化控制技术的核心在于一系列关键技术的应用。这些技术不仅关系到系统的稳定性和效率，还直接影响着工程的整体性能。

（一）传感器技术

在市政给排水工程的庞大体系中，传感器技术犹如一双敏锐的眼睛，它无时无刻不在注视着工程的健康状态。这一技术家族包含了水质传感器、流量传感器、压力传感器、液位传感器等多种类型，它们各司其职，共同守护着水质的安全和系统的稳定^[3]。这些传感器能够即时捕捉 pH 值、浊度、余氯等水质指标，以及流量、压力和液位等关键数据，保障了信息的实时性和精确性。例如，超声波流量计以其非侵入式的测量方式，巧妙地在干扰水流的情况下，准确记录管道中的流量数据。

（二）执行器技术

在自动化控制系统中，执行器技术扮演着至关重要的角色，它将控制信号转化为具体的机械动作，确保指令得以准确执行。在市政给排水工程中，执行器技术的应用十分普遍，涵盖了调节阀开度、控制水泵启停等关键操作。常用的执行器包括电动执行器、气动执行器和液压执行器。电动执行器因其快速响应、高精度以及易于安装的特点，在工程中得到了广泛地应用。随着技术的进步，执行器技术的研究重点逐渐转向故障诊断和远程控制功能。通过远程控制功能，技术人员可以对执行器进行远程监控和操作，从而提高维护效率和安全性。同时，故障诊断技术的应用可以及时发现执行器的问题，并采取相应的措施，从而减少故障对系统运行的影响^[4]。

（三）控制器技术

控制器技术是自动化控制系统的核心，它根据传感器收集的数据，通过预设的控制算法，对执行器发出控制指令。在市政给排水工程中，PLC（可编程逻辑控制器）和 DCS（分布式控制系统）是常用的控制器。它们能够处理复杂的逻辑关系，实现系统的精确控制。随着人工智能技术的发展，智能控制器也逐渐应用于给排水工程，它们能够通过学习优化控制策略，提高系统的自适应能力。

（四）通信技术

通信技术在自动化控制系统中负责连接传感器、控制器、执行器和人机界面等各个部分。在市政给排水工程中，常用的通信技术包括有线通信（如以太网、串行通信）和无线通信（如 Wi-

Fi、ZigBee、LoRa 等）。无线通信技术因其灵活性和易于部署的特点，在远程监控和移动监测中得到了广泛应用。通信技术的稳定性和抗干扰能力是保障系统可靠运行的关键。

（五）数据处理与分析技术

数据处理与分析技术在自动化控制系统中负责对收集到的数据进行处理和分析，从而为系统的优化和决策提供依据^[5]。在市政给排水工程中，数据处理技术包括数据清洗、数据融合、数据挖掘等。通过高级分析技术，如机器学习、大数据分析等，可以预测用水需求、诊断系统故障、优化能源消耗等。

三、市政给排水工程自动化控制技术的应用领域

市政给排水工程自动化控制技术在实际应用中发挥着重要作用，其应用领域广泛而深入，涵盖了水质监测与处理、水量调度与优化、水压控制与稳定性、污水处理与能耗降低以及应急管理 with 事故处理等多个关键环节。

（一）水质监测与处理

实时监测，水质传感器如同水质的“眼睛”，它们时刻关注着原水、出厂水和管网中的水质状况，实时捕捉并记录 pH 值、浊度、余氯等关键指标，确保水质符合国家标准。这些传感器可以连续不断地收集数据，为水质管理提供及时准确的信息。自动处理，当水质监测系统检测到异常时，自动化控制系统能够迅速响应，自动启动水质处理设备，如活性炭过滤器、消毒装置等，及时处理水质问题，确保水质安全。这些自动处理设备能够快速介入，有效去除污染物质，恢复水质至正常水平。

（二）水量调度与优化

通过数据分析，预测用水需求的变化趋势，为水量调度提供科学依据^[6]。通过对历史用水数据的分析，结合天气、季节、人口等因素，可以预测未来的用水需求，从而制定合理的水量调度计划。根据实时监测的用水需求，自动化控制系统能够自动调节泵站的运行状态，实现水资源的优化配置。当用水需求增加时，系统能够自动启动备用泵站或增加现有泵站的运行时间，以满足供水需求。当用水需求减少时，系统能够自动减少泵站的运行时间或关闭部分泵站，以避免资源浪费。

（三）水压控制与稳定性

压力传感器如同管网水压的“脉搏”，它们遍布管网各个关键节点，实时监测并记录水压数据。这些数据被自动化控制系统实时接收，确保了水压信息的即时更新和准确反馈。当管网水压出现异常时，自动化控制系统能够迅速响应，自动调节水泵的运行状态，以维持水压的稳定。系统通过预设的控制策略，能够智能判断水压是否处于正常范围，并根据需要调整水泵的启停、转速等参数，确保水压始终保持在安全且经济的范围内^[7]。

（四）污水处理与能耗降低

自动化控制技术通过精确控制和能耗监测，显著提升了污水处理的效率和能源利用的优化。通过控制器技术，自动化控制系统能够对污水处理过程中的各个环节进行精确控制，包括调节药剂投放、控制曝气量、调整污泥处理等。这种自动化控制不仅提

高了污水处理的效率，还减少了人为操作的误差，确保了处理过程的连续性和稳定性。数据处理与分析技术则负责监测污水处理过程中的能耗情况，通过收集和分析电能、化学药剂消耗等数据，自动化控制系统能够优化能耗管理，找出潜在的能耗节约机会，并通过调整控制策略，实现能耗的降低。

（五）应急管理 with 事故处理

自动化控制技术通过预警系统和自动响应机制，为市政给排水工程提供了有效的安全保障。通过对历史数据和实时监测数据的分析，自动化控制系统能够预测潜在的突发事件，如管道爆裂、水污染等。一旦发现异常趋势或风险，系统会自动发出预警信号，提醒操作人员采取预防措施，从而避免或减轻事故的发生。当事故确实发生时，自动化控制系统能够迅速启动应急预案，采取一系列应急措施，如关闭相关管道、启动备用设备、启动水泵等^[8]。这种自动响应机制能够在事故发生的第一时间采取有效措施，降低事故造成的损失，并尽快恢复正常供水。

四、我国市政给排水工程自动化控制技术发展策略

在全球化和信息化的大背景下，我国市政给排水工程自动化控制技术的发展不仅关系到城市基础设施的现代化水平，也是推动智慧城市建设的核心要素。

（一）政策支持与资金投入

政府应制定相关政策，明确自动化控制技术在市政给排水工程中的重要地位和作用，为其发展提供政策支持和指导。这些政策应涵盖技术研发、应用推广、标准制定等方面，以推动技术的创新和应用。政府应加大对自动化控制技术研发和应用的财政投入，设立专项资金支持技术创新和工程改造。这包括对研究项目的资助、对应用示范项目的补贴以及对技术改造项目的资金支持，以确保技术的持续发展和应用。为鼓励企业研发和采用新技术，政府可以提供税收减免等优惠政策^[9]。这可以降低企业的研发成本，提高其采用新技术的积极性，从而推动技术的广泛应用和产业的升级。

（二）人才培养与技术引进

高等院校和职业培训机构应加强自动化控制技术人才的培养，提高从业人员的专业素质。这包括开设相关课程、开展实习实训、举办专业讲座和研讨会等，以培养具备自动化控制技术知识、技能 and 创新能力的人才。鼓励国内外技术交流与合作，通过研讨会、论坛等活动，促进知识共享和经验交流。这有助于引进先进技术和管理经验，同时也可以推广我国在自动化控制技术领域的创新成果，推动技术的发展和 application。积极引进国外先进的技术和管理经验，通过消化吸收再创新，提升我国自主创新能力。这包括引进先进的技术设备、管理理念和方法，以及与国外企业和研究机构的合作。通过消化吸收和再创新，我国可以加快技术进步，提高自主创新能力，推动自动化控制技术的发展。

（三）技术创新与产业升级

鼓励企业投入研发，推动关键技术的突破，如传感器精度提升、控制算法优化等。这有助于提高自动化控制系统的性能和效

率，为市政给排水工程提供更可靠、更智能的技术支持。构建完整的产业链，从上游的设备制造到下游的系统集成，实现产业协同发展。这有助于优化资源配置，提高产业链的整体竞争力，同时也可以促进技术的创新和应用。参与国际标准的制定，推动国内标准的国际化，提高我国技术在国际市场上的话语权。这有助于提升我国在自动化控制技术领域的国际地位，同时也为技术的应用和推广提供更有力的支持。

（四）社会宣传与公众参与

通过媒体、网络等渠道，普及自动化控制技术知识，提高公众对智慧水务的认识。这包括发布相关科普文章、举办技术展览和讲座等，以提高公众对自动化控制技术的了解和认识。鼓励公众参与市政给排水工程的监督和管理，提高公众对工程质量和服务的满意度^[10]。这包括设立公众参与平台、举办听证会和咨询会等，以听取公众意见和建议，提高公众对工程管理的参与度。在中小学教育中加入水资源保护和智慧城市建设的课程，培养公众的环保意识和科技意识。这有助于提高公众对水资源保护的认识，同时也可以培养新一代对自动化控制技术的兴趣和应用能力。

五、结束语

随着研究的深入和技术的发展，市政给排水工程自动化控制技术已成为推动城市水务管理现代化的重要力量。在此，我们期待更多的研究者、工程师和技术人员加入这一领域，共同探索、共同进步，为市政给排水工程自动化控制技术的发展贡献智慧和力量。同时，我们也希望社会各界能够给予更多的关注和支持，共同推动我国市政给排水工程自动化控制技术走向更加广阔的舞台。

参考文献

- [1] 马嘉勋. 市政给排水工程设计中 BIM 技术的应用 [J]. 绿色建筑与智能建筑, 2024, (01): 61-64.
- [2] 彭博. 基于 BIM 技术的市政给排水管道工程措施项目成本管理研究 [D]. 南昌大学, 2023. DOI: 10.27232/d.cnki.gnchu.2023.004424.
- [3] 李楠. 基于 BIM 技术的市政给排水管线设计及应用 [J]. 工程技术研究, 2021, 6(24): 157-160. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2021.24.045.
- [4] 陈思明. 曲线顶管施工在市政给排水工程中的应用价值分析 [J]. 四川水泥, 2021, (09): 77-78.
- [5] 赵明. BIM 技术在市政给排水管线设计中的应用探索 [J]. 江西建材, 2021, (01): 94-95.
- [6] 李炜. 试析市政给排水节能设计的必要性及相关措施 [J]. 中华建设, 2020, (07): 62-63.
- [7] 崔美花. 探索基于 BIM 技术的市政给排水管线设计及应用 [J]. 建材与装饰, 2020, (13): 32-33.
- [8] 高旭. 浅析市政给排水管道的施工技术要点 [J]. 四川水泥, 2020, (03): 153.
- [9] 宋智雄. 海绵城市理念在市政给排水设计中的运用 [J]. 建材与装饰, 2020, (03): 101-102.
- [10] 姜丽. 基于 BIM 技术的市政给排水管线设计及应用研究 [J]. 建材发展导向, 2019, 17(16): 54-56. DOI: 10.16673/j.cnki.jcfzdx.2019.0110.

水利工程中的堤防设计与施工技术研究

顾浩然¹, 孙新², 孙思³, 李毅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. 江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223000
3. 江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223000
4. 淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 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 : 堤防设计与施工技术在水利工程中起着至关重要的作用。随着气候变化和城市化进程的加速, 堤防面临的挑战愈加复杂。先进的设计方法和施工技术能够有效提高堤防的抗洪能力和耐久性。通过对堤防设计原理、施工技术及其应用实例的分析, 探讨了近年来堤防设计与施工中的新进展, 包括材料选择、施工工艺优化以及智能监测系统的应用。这些技术的融合有助于提高堤防系统的整体性能, 确保防洪安全和长期稳定性。

关 键 词 : 堤防设计; 施工技术; 防洪安全; 材料选择; 智能监测

Research on Dike Design and Construction Technology in Hydraulic Engineering

Gu Haoran¹, Sun Xin², Sun Si³, Li Yi⁴, Liang Junyu⁵

1. Huai'an Water Resources Survey and Design Research Institute Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223000
2. Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223000
3. Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223000
4. Huai'an Water Resources Survey and Design Research Institute Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223000
5. Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223000

Abstract : Dike design and construction technology play a crucial role in hydraulic engineering. With climate change and accelerated urbanization, the challenges faced by dikes have become increasingly complex. Advanced design methods and construction techniques can effectively improve the flood resistance and durability of dikes. Through the analysis of dike design principles, construction techniques, and application examples, this paper explores recent advancements in dike design and construction, including material selection, optimization of construction processes, and the application of intelligent monitoring systems. The integration of these technologies helps to improve the overall performance of the dike system, ensuring flood control safety and long-term stability.

Keywords : dike design; construction technology; flood control safety; material selection; intelligent monitoring

引言

堤防作为水利工程中的关键设施, 对保护人们的生命财产安全至关重要。然而, 随着极端天气频发和城市化速度加快, 传统的堤防设计与施工方法已难以应对复杂的挑战。现代堤防工程不仅要求提升防洪能力, 还需兼顾环境适应性和经济效益。为应对这些需求, 设计与施工技术的创新显得尤为重要。通过深入探讨先进的设计理念、材料应用及施工技术, 可以显著提升堤防系统的性能和稳定性, 从而保障防洪安全。这一领域的技术进步正成为未来水利工程设计的重中之重。

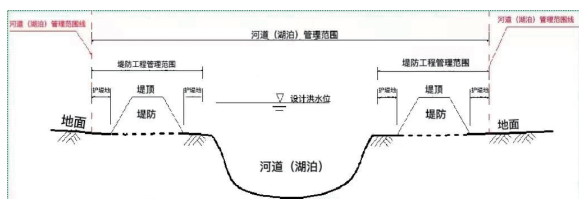
一、堤防设计原理与方法概述

1. 堤防设计原理

堤防设计的核心在于保证其对抗洪水的能力, 并确保在各种自然条件下的稳定性。设计过程中首先需了解堤防所处的环境, 包括河流流量、土壤性质、气候条件等因素。经典的堤防设计原

理包括稳定性分析、抗洪能力评估和结构安全性检验。稳定性分析主要考察堤防在洪水、雨水渗透及土壤压力作用下的稳定性, 确保其不会发生滑坡或沉陷。抗洪能力评估则需结合历史洪水数据及气候变化趋势, 合理设定堤防的防护高度和宽度。此外, 结构安全性检验包括对堤防材料的强度和耐久性的评估, 保证其在长期使用中的稳定性。如图1所示。

图1 堤防河道设计管理范围



2. 新型材料与设计方法

随着科技的发展,新型材料的出现为堤防设计带来了革命性的变化。这些材料具有更高的强度、更好的耐久性和更低的维护成本。例如,聚合物土工合成材料(如土工布和土工格栅)具有优良的土壤加固和水流控制能力,有效提升了堤防的稳定性和使用寿命。新型混凝土和高强度钢材的应用也显著提高了堤防的抗冲刷和抗压能力。在设计方法上,计算机模拟技术和有限元分析方法被广泛应用,以实现更精确的设计和优化。通过对堤防系统进行全方位的模拟和分析,可以识别潜在的薄弱环节并进行改进,从而提升堤防的整体性能^[1]。

3. 施工技术创新

堤防的施工技术是实现设计目标的关键环节。传统的施工方法包括土方施工、混凝土浇筑和防渗层铺设,但现代施工技术在材料处理和施工工艺上有了显著进步。例如,机械化施工和自动化设备的应用提高了施工效率和精度。新型施工技术如深层搅拌法和喷射混凝土技术可以有效改善土体的强度和稳定性。此外,施工过程中实时监测和控制技术的应用可以实时跟踪施工质量和进度,确保施工过程的安全和堤防的最终效果。通过这些技术创新,堤防的施工过程变得更加高效、可靠,进一步提升了堤防的防洪能力和耐用性^[2]。

二、新型材料在堤防设计中的应用与优势

1. 新型土工合成材料的应用

新型土工合成材料在堤防设计中发挥了重要作用。土工合成材料包括土工布、土工格栅、土工膜等,这些材料具有优良的物理和化学特性,能够显著提升堤防的稳定性和耐久性。土工布主要用于加固土体,提高土体的抗剪强度和稳定性,尤其在软土和不均匀地基中表现出色。土工格栅则通过其网状结构将土体的应力分散,增强土体的承载能力和稳定性,适用于堤防的加固和扩建项目。土工膜具有良好的防渗性能,可用于堤防的防渗层,防止水体渗透引起的堤防破坏。新型土工合成材料的应用不仅提高了堤防的功能性,还减少了施工时间和成本,提升了堤防的长期性能^[3]。

2. 高性能混凝土和增强钢材的优势

高性能混凝土(HPC)和增强钢材的使用是现代堤防设计的重要发展方向。高性能混凝土相比传统混凝土具有更高的抗压强度、抗渗透性和耐久性,能够有效应对复杂的环境条件和长期的水流冲刷。HPC中通常加入了高效减水剂和微细矿物掺合料,这些成分可以提升混凝土的密实度和抗化学侵蚀能力。增强钢材(如高强度钢筋)则提供了更大的承载能力和抗拉强度,适用于要求较高的结构设计。这些新型材料的应用使得堤防能够承受更大的荷载和更复杂的环境变化,提高了堤防的安全性和使用寿命。

3. 环保型材料的应用与可持续性

随着环保意识的增强,环保型材料在堤防设计中的应用越来越受到重视。这些材料不仅具有优良的工程性能,还符合可持续发展的要求。例如,利用回收材料制成的混凝土和土工合成材料可以减少资源消耗和环境污染。再生混凝土中的骨料来自建筑废料,减少了对自然砂石资源的依赖,降低了碳排放。绿色施工技术如低碳材料的应用和施工过程中的节能措施也在堤防工程中得到推广。这些环保型材料和技术的使用不仅减少了对环境的负面影响,还提升了堤防工程的社会效益和可持续性,符合现代水利工程的发展趋势。

三、施工技术的创新与优化策略

1. 机械化施工与自动化技术的应用

机械化施工与自动化技术的引入显著提升了堤防建设的效率和精度。传统堤防施工依赖人工操作,效率较低且容易受到人为因素的影响。现代机械化施工技术,如挖掘机、推土机、压实机和混凝土搅拌车的应用,使土方施工和混凝土浇筑过程更加高效。自动化技术的应用则进一步提高了施工精度和质量。自动化水平测量系统、数字化控制设备和无人机监测系统可以实时跟踪施工进度,确保施工参数的精确控制^[4]。这些技术不仅加快了施工进度,还减少了施工误差,降低了人工成本和安全风险,使堤防施工更加科学和可靠。

2. 施工工艺的优化与创新

施工工艺的优化与创新是提高堤防施工质量和效率的重要手段。新型施工工艺如深层搅拌法、喷射混凝土技术和超高压水射流技术被广泛应用于堤防工程中。深层搅拌法通过在土体中引入水泥浆或其他固化剂,改善土体的强度和稳定性,特别适用于软土和不良地质条件。喷射混凝土技术则通过高压喷射混凝土层,增强堤防表面的强度和耐磨性。这些新工艺可以有效应对复杂的地质条件和恶劣的环境因素,提高堤防的结构强度和使用寿命。此外,采用模块化施工技术将施工过程分解为多个标准化模块,可以进一步提高施工效率和质量,缩短工期,降低工程成本^[5]。

3. 实时监测与控制技术的应用

实时监测与控制技术在堤防施工中的应用有助于提高施工质量和安全性。传统施工方法中,施工质量往往难以实时掌握,容易出现隐患。现代实时监测技术通过安装传感器和监测设备,可以对堤防施工过程中的关键参数进行实时监控。这些监测设备包括土壤压力传感器、水位监测仪、位移传感器等,可以实时反馈堤防的变形、渗水和应力状态。通过数据分析和处理,施工管理人员可以及时发现潜在问题,并采取相应措施进行调整。这种实时监控和控制技术不仅提高了施工的安全性,还保证了堤防工程的整体质量,确保施工过程符合设计要求和标准^[6]。

四、智能监测系统在堤防工程中的应用

1. 智能监测系统的组成与功能

智能监测系统在堤防工程中的应用涵盖了多个组成部分,包

括传感器、数据采集系统和数据分析平台。传感器是智能监测系统的基础，负责实时监测堤防的各种环境和结构参数，如土壤湿度、压力、位移和水位。这些传感器通常分布在堤防的关键部位，通过无线网络或有线连接将数据传输到中央数据采集系统。数据采集系统负责汇总来自不同传感器的数据，并进行初步处理。数据分析平台则利用大数据分析和人工智能技术对采集到的数据进行深入分析，识别潜在的风险因素和异常变化。这些智能监测系统能够实现对堤防状态的实时跟踪和动态评估，从而提升对堤防健康的理解，支持早期预警和及时维护^[7]。如表1所示。

表1 智能监测系统在堤防工程中的应用

组件	功能描述	应用案例
传感器	实时监测环境和结构参数，如土壤湿度、压力、位移和水位。	堤防关键部位安装，实时数据传输。
数据采集系统	汇总不同传感器的数据，并进行初步处理。	中央系统处理来自各传感器的数据，为分析平台提供数据输入。
数据分析平台	利用大数据和人工智能技术深入分析数据，识别风险因素和异常变化。	分析堤防数据，支持早期预警和堤防健康评估。

2. 智能监测系统的优势与应用效果

智能监测系统在堤防工程中的应用具有显著的优势。首先，实时监测能够快速发现堤防结构中的潜在问题，如裂缝、位移或渗漏现象，避免了传统方法中的被动检测和滞后响应。这种早期预警能力能够帮助工程管理人员在问题初期采取措施，防止小问题演变为严重的结构破坏。其次，智能监测系统提供的数据分析能力可以精确预测堤防的性能变化趋势，优化维护计划，减少维护成本。通过对长期监测数据的积累，系统还能够对堤防的长期行为进行评估，为未来的设计和建设提供数据支持。

3. 实际应用案例与未来发展方向

在实际应用中，智能监测系统已经在多个大型堤防工程中得到广泛应用。例如，在某些地区的河道堤防工程中，采用了基于无线传感网络的智能监测系统，实时监测堤防的水位、压力和位移，成功预警了几次潜在的洪水风险。这些应用案例表明，智能监测系统能够有效提升堤防的安全管理水平^[8]。未来，智能监测系统的发展将趋向于更加智能化和集成化。随着传感器技术、数据处理能力和人工智能算法的不断进步，未来的智能监测系统将能够实现更加精细和全面的监控功能。

五、堤防设计与施工技术的未来发展趋势

1. 高度集成的设计与施工技术

未来堤防设计与施工技术将趋向于高度集成化，融合先进的设计理念和施工技术。集成化设计方法不仅关注堤防结构的稳定性和功能性，还将综合考虑环境保护、施工效率和经济成本。在设计阶段，集成化设计工具如计算机辅助设计（CAD）和建筑信息模型（BIM）将被广泛应用，这些工具能够在设计初期进行虚拟仿真和全生命周期分析，优化设计方案。施工阶段，集成化施工技术包括模块化施工、预制装配和机械化施工等，将提高施工效率和质量，缩短工期。

2. 智能化与自动化施工技术

智能化与自动化施工技术将成为未来堤防工程的重要发展方向。智能化施工技术通过引入无人机、自动化设备和实时监测系统，提高施工精度和效率。无人机可以进行高精度的地形测绘和施工监控，自动化设备如智能挖掘机和混凝土浇筑机器人能够完成精细施工任务，减少人工操作的误差和风险。同时，实时监测系统能够实时反馈施工质量和进度，确保施工符合设计标准。未来，智能化施工技术将与人工智能（AI）和大数据分析深度融合，进一步提升施工的智能化水平，实现动态调整和优化^[9]。

3. 可持续性与环境友好的技术

随着环保意识的增强，未来堤防设计与施工将更加注重可持续性与环境友好技术的应用。可持续设计理念将被广泛采纳，包括使用环保型材料、再生资源 and 低碳施工技术。例如，采用回收材料制成的混凝土和土工合成材料可以减少资源消耗和环境污染。绿色施工技术如减少施工过程中的废弃物、降低能源消耗和碳排放也将成为标准实践^[10]。此外，堤防工程设计将更加注重生态保护和环境修复，考虑对当地生态系统的影响，设计生态友好的堤防系统。这些发展将使堤防工程不仅具备高效的防洪功能，还能够实现与自然环境的和谐共生。

六、结语

未来堤防设计与施工技术将迎来全面创新与升级。集成化设计与施工方法将提升工程效率与质量，确保堤防系统在复杂环境下的稳定性和可靠性。智能化与自动化技术的应用将进一步提高施工精度和实时监控能力，减少人为误差，提升安全性。而可持续性与环境友好技术的推广，将使堤防工程更加符合现代环保要求，实现经济效益与生态保护的双赢。这些发展趋势不仅将推动堤防工程的技术进步，也将为未来的水利工程建设提供更为科学、智能和环保的解决方案。随着技术的不断进步，堤防工程的安全性、可靠性和可持续性将得到更高水平的保障，为社会的安全与发展做出更大贡献。

参考文献

[1] 梁新平. 浅析新疆墨玉县防洪工程中的堤防设计 [J]. 水利规划与设计, 2013(07): 53-56.

[2] 钟水荣. 试析水利工程建设中生态堤防设计 [J]. 科技展望, 2015, 25(14): 107.

[3] 于琦. 水利工程建设中生态堤防设计研究 [J]. 黑龙江科学, 2017, 8(20): 112-113.

[4] 尹海涛. 水利工程建设中生态堤防设计研究 [J]. 工程技术研究, 2018(07): 216-217. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2018.07.102.

[5] 韩庚宝, 邓俊辰. 水利工程建设中生态堤防设计研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2018(21): 170. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.201821140.

[6] 高裕鸿. 生态堤防设计在水利工程中的应用 [J]. 河南水利与南水北调, 2019, 48(03): 5-6.

[7] 韩俊丽, 唐爽. 水利工程中生态堤防设计的应用 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2019(25): 52. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.201925047.

[8] 曹洋, 陈国存, 严嘉华. 水利工程建设中生态堤防设计探析 [J]. 珠江水运, 2020(12): 3-4. DOI: 10.14125/j.cnki.zjsy.2020.12.001.

[9] 范茂雷. 水利工程建设中生态堤防设计 [J]. 中国科技投资, 2021(10): 152-153.

[10] 善小平. 水利工程中堤防加固工程设计策略研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024(16): 202-204. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202416067.

浅谈水利项目中软体排施工技术

万华

上海市水利工程集团有限公司，上海 201600

摘要： 本文主要介绍了软体排的定义、作用、应用范围以及现场工况分析，详细阐述了软体排施工准备、资源配置、施工流程及工艺。软体排作为一种创新的水工结构材料，展现出优异的防冲刷和排水特性，已在河道整治、海岸防护等多个领域得到广泛应用。本文详尽阐述了项目所在丁坝的尺寸、地形以及潮位状况。在施工准备与资源配置部分，着重探讨了 GPS 定位系统的配置、软体排材料的选择、联锁块的规格，以及软体排的制作、堆放与吊运等关键环节。施工流程及工艺部分，详细介绍了定位工艺、铺设工艺、质量要求与控制以及重要控制要点，为软体排施工提供了理论指导和实践参考。

关键词： 水利项目；软体排；施工技术；排水系统；施工质量控制

A Brief Discussion on Soft Mat Construction Technology in Water Conservancy Projects

Wan Hua

Shanghai Water Conservancy Engineering Group Co., Ltd., Shanghai 201600

Abstract： This paper mainly introduces the definition, function, application scope, and field condition analysis of soft mats, and elaborates on the construction preparation, resource allocation, construction process, and technology of soft mats. As an innovative hydraulic structure material, soft mats exhibit excellent anti-scour and drainage characteristics and have been widely used in various fields such as river regulation and coastal protection. This paper provides a detailed description of the dimensions, topography, and tidal conditions of the spur dike where the project is located. In the construction preparation and resource allocation section, it focuses on exploring key aspects such as the configuration of the GPS positioning system, the selection of soft mat materials, the specifications of interlocking blocks, and the fabrication, stacking, and lifting of soft mats. The construction process and technology section introduces the positioning technology, laying technology, quality requirements and control, and important control points, providing theoretical guidance and practical reference for soft mat construction.

Keywords： water conservancy projects; soft mats; construction technology; drainage systems; construction quality control

引言

随着我国水利基础设施建设的不断推进，水利项目的施工技术也在不断创新和发展。软体排施工技术作为一种新型的水利施工技术，以其独特的优势在水利项目中得到了广泛地应用。

软体排主要利用其隔离和反滤功能进行河床的护底和固滩，防止水流直接冲刷河床（滩体），同时也防止因水流渗透作用而造成河床（滩体）的局部形态破坏，在稳定滩槽格局、提升通航能力等方面发挥了重要作用。在水利项目中，软体排施工技术主要应用于河道整治、水库加固、堤防建设、海岸防护等领域。

然而，在实际运行中，面对长期的清水冲刷，护滩护底软体排容易产生鼓包、塌陷、悬挂等变形破坏，影响了工程效益的发挥。因此，有必要对软体排施工技术进行深入研究，探讨其在水利项目中的应用规律，以提高施工质量，保障工程安全。

一、软体排的定义与作用

在水利工程领域，软体排作为一种新型的施工技术，以其独特的优势在海岸防护、河堤加固等工程中发挥着重要作用。以下将详细介绍软体排的定义、作用及其应用范围。

（一）软体排的定义

软体排，顾名思义，是一种柔软的排状结构，通常由土工合成材料制成。它是一种轻质、柔性的水下防护结构，具有良好的透水性、抗腐蚀性和适应地形变化的能力。软体排是利用高强度土工织物整体缝接成排布，排布上根据不同水流情况选择压载物

进行压载的一种防冲刷结构，整体性和耐久性较好，整体结构同时具备很好的弹性，非常适用于不同、多变的水下地形^[1]。

（二）软体排的作用

软体排作为一种高效的水利工程防护措施，其在河床或海岸线附近的铺设，发挥着多重关键作用：护底软体排是整治建筑物的重要组成部分，可阻隔水流对河床的直接冲刷，能起到良好的透水固沙作用，从而避免河床破坏^[2]。同时，该材料具有卓越的透水性，能够促进水分的自由渗透，并过滤掉泥沙等颗粒物，显著降低了泥沙流失的现象。此外，通过加筋带与地基的牢固连接，软体排显著提升了自身的抗滑移能力，确保了整体结构的稳定性；软体排采用环保无毒的材料，对生态环境的影响降至最低，有助于维护水生生物的栖息地，体现了生态环保的设计理念。

（三）软体排的应用范围

现有的软体排主要有铰链排、沙肋软体排、系结压载块软体排等结构形式，上述软体排结构是以加筋带强化的针刺土工布为基础，将冲沙管带、压载块等固定在加筋带上进行软体排施工。为保证加筋土工布在沉排施工时受力均匀，需将布筒、止排梁等大型构件布置在沉排船上，因此铰链排、沙肋软体排等现有软体排的施工均依赖于大型专用沉排船，其设备专业化程度高，对施工人员要求高^[3]。在海岸防护工程中，软体排是抵御海浪、潮汐等海洋动力对海岸线侵蚀的关键措施；在河堤加固工程中，它用于增强河堤的稳定性，防止河水冲刷造成的堤坝坍塌；在港口码头工程中，软体排作为码头基床的防护结构，显著提升了码头的稳定性；在航道整治工程中，软体排的应用有助于改善航道条件，防止航道淤积；此外，在生态环境修复工程中，软体排可作为生态护坡材料，促进植被生长，从而恢复和提升生态环境质量。

二、现场工况简介

为了更好地了解本项目，以下是对现场工况的详细介绍，包括丁坝尺寸、地形描述以及项目地点潮位情况分析。

（一）丁坝尺寸与地形描述

在本水利项目中，丁坝设计宽度为2米，顶标高2.5米，地处地形梯度大的区域，深浅差异从-18米至-0.1米。尾部地形平坦开阔，保护面积140米×85米。项目所在地的潮汐特征为年均高潮位3.35米，年均低潮位0.91米。为确保防护效果，采用联锁块软体排进行海岸防护。施工中使用双频RTK水上GPS与浮标法进行精确定位检测，保障了施工质量与效率。

（二）项目地点潮位情况分析

在审视本项目所在区域的潮汐特征时，数据显示多年平均高潮位为3.35米，而多年平均低潮位为0.91米，据此计算得出的潮差为2.44米。这一显著的潮差对软体排的施工过程及其稳定性构成了重要影响。在高潮位期间，软体排将承受较大的水压，因此，必须确保其具备足够的抗浮能力以抵御水压的冲击。而在低潮位时，软体排可能会暴露在空气中，此时需采取相应措施防止材料干燥和老化。在整个施工过程中，必须根据潮位的变化精心选择施工时机和方法，以保障施工的安全性和最终工程质量。

三、施工准备及资源配置

为确保项目顺利进行，以下是对施工准备及资源配置的详细阐述，包括GPS定位系统的配置与调试、材料准备、软体排制作、堆放与吊运，以及铺设前的准备工作。

（一）施工准备

为了确保施工过程中的定位精度，本项目将采用先进的高精度GPS定位系统。在施工活动正式开始之前，必须对GPS定位系统进行精确的配置与细致的调试，以确保其性能达到施工精度的严格标准。具体的实施步骤如下：

在进行作业前，须对GPS设备实施专业的校准操作，目的是减少系统误差，确保所获取测量数据的精准度[4]。随后，开展定位精度测试，涵盖静态与动态测试，以评估GPS系统在实际操作环境中的性能，尤其是在复杂施工环境中的稳定性和可靠性。此外，还需评估GPS信号在可能受到干扰的环境中的稳定性，如高楼遮挡、树木繁茂等区域，并采取相应措施以保证信号的连续性和准确性。

同时，为了确保GPS系统的有效运行，项目还将对操作人员进行全面的专业培训。培训内容将涵盖GPS设备的操作流程、数据解读、故障排查以及应急处理等方面，确保操作人员能够熟练掌握GPS定位系统的使用技巧，并在实际施工中发挥其最大效能。

（二）材料准备

在选取软体排材料时，应优先考虑具备高强度、耐腐蚀和耐磨损特性的一流材料。这些材料的性能指标，包括抗拉强度、撕裂强度以及耐候性，都必须严格符合国家相关标准和行业规范的要求^[5]。同时，对于联锁块材料的选择，应确保其与软体排材料相兼容，具备环保特性和长期耐久性，其规格应根据具体设计要求来确定，以保障与软体排的有效连接，满足整体结构的稳定性需求。

（三）软体排制作

软体排的尺寸设计应当基于施工图纸和现场实际情况进行精细调整，以确保其能够顺应地形变化并满足具体的工程需求。在加筋带的设计方面，需要综合考虑软体排的受力状况，通过合理规划加筋带的间距和位置，以增强软体排的整体稳定性。至于软体排的拼接，必须确保接缝的密封性和牢固性，固定方法应采用稳定可靠的连接件和先进的施工工艺，以防止在施工过程中出现任何位移，确保施工质量。

（四）软体排堆放与吊运

在软体排的堆放与吊运过程中，至关重要的一项是采取适当的折叠、覆盖及保护措施，以防止材料在搬运过程中发生损坏。此外，针对软体排的运输与搬运，必须制定一套周密的计划，确保材料能够安全、高效地运输至施工地点。

（五）软体排铺设前准备

在正式进行软体排铺设作业之前，必须精心规划并实施一系列预控措施与应急预案。为确保施工安全与效率，先行对施工团队进行全面的安全教育和技术培训，确保每位成员对操作程序和安全规程有深入了解。紧接着，对即将使用的施工设备进行彻底地检验与维护，以保证设备运行在最佳状态^[6]。同时，结合现场实际情况，对可能出现的风险点进行前瞻性预测，包括但不限于水

文地质条件、气象变化、材料性能等因素。

针对已预测的风险点，将制定一系列具体应对措施，涵盖紧急救援方案、设备故障处理流程、突发事件响应机制等，以保障在遭遇任何紧急情况时能够迅速、有效地作出反应，最大程度降低对施工进度的不利影响。同时，将构建一套全面的质量监控体系，对施工关键环节实施实时监控，确保施工质量达到设计标准。

四、施工流程及工艺

在软体排的施工过程中，精确的定位和严谨的铺设工艺是确保工程质量的关键。以下将详细介绍主要施工工艺的各个环节。

（一）主要施工工艺

在软体排施工过程中，GPS 定位技术，通过高精度地定位施工区域，保障了软体排铺设与设计图纸的高度吻合，显著提高了施工的效率和精度^[7]。此外，锚浮控制技术作为补充，通过布置浮标和锚点，利用浮标和锚绳进行精确铺设控制，尤其在复杂水流条件和 GPS 信号受限的情况下，提供了必要的施工安全保障。

铺设工艺是软体排施工的核心，其操作严格遵循施工方案。软体排的卷绕和吊装要求操作人员具备高超技巧，确保排体在运输和吊装过程中不受损害。铺设流程包括精确同步沉放联锁块与软体排，随后施工船移位，重复吊装和沉放步骤，直至完成整个铺设^[8]。这一系列动作的精准执行，是保障施工质量的关键。

为确保软体排搭接处的密封性和稳定性，采取了一系列精确的检测措施。通过水面浮标监测和潜水员的水下探摸检查，对搭接区域进行细致的评估和确认，确保了搭接处的精确性和可靠性，为软体排施工的整体质量提供了专业保障。

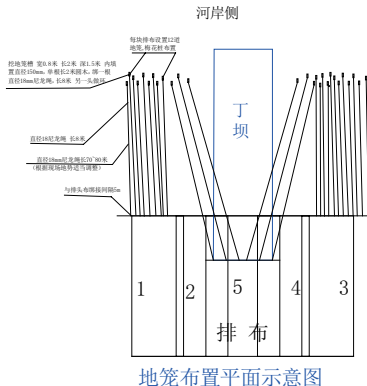
（二）质量要求与控制

施工质量的控制对于保障工程的安全性和使用寿命具有决定性意义。在软体排施工过程中，实施严谨的质量管理体系，确保软体排及其关联材料的质量完全满足国家相关标准和行业规范的要求^[9]。同时，施工过程中对软体排的轴线偏差进行精确控制，以保障铺设的准确性和整体结构的安全稳定，从而确保工程的高标准完成。

（三）重要控制要点

在软体排施工过程中，实施关键控制措施对于预防潜在问题

至关重要。特别地，采用地笼桩等固定措施，能够有效防止软体排在水中的下滑，从而确保施工的安全性，并保证软体排的有效稳定^[10]。这些控制措施是确保施工顺利进行和工程质量的重要保障。



五、结束语

通过对水利项目中软体排施工技术的深入研究和实际工程案例的分析，可以明确软体排施工技术在水利项目中的关键作用及其显著优势。在此，本文将做出以下总结：

软体排施工技术在水利项目中展现出了显著的应用价值。该技术不仅能够提升施工效率、降低工程成本，而且还能够有效减少对环境的影响，这与我国倡导的绿色发展理念相契合。此外，软体排施工技术的推广与应用对我国水利事业的发展具有重大意义，有助于提升我国水利施工技术的整体水平。

然而，值得注意的是，软体排施工技术在应用过程中仍面临若干问题和局限性，包括施工质量的不稳定性、技术标准的不一致性等。因此，未来的研究和实践中，应当持续优化软体排施工技术体系，强化技术培训与交流，提升施工人员的技术能力，以保障施工质量的稳定性。最后，本文希望通过对软体排施工技术研究，能为水利项目施工提供一定的参考和借鉴，推动软体排施工技术在水利领域的广泛应用。同时，也期待更多同行加入软体排施工技术的研究与实践中，共同为我国水利事业的繁荣和发展贡献力量。在此，衷心祝愿我国水利事业越来越好，软体排施工技术在未来能够发挥更大的作用。

参考文献

[1] 李会胜. 软体排在长江口深水航道综合整治工程中的应用 [J]. 住宅与房地产, 2020, (03): 236.
[2] 蔡建冬. 变坡潜堤周围水流结构对软体排破坏的影响因素分析 [J]. 水运工程, 2021, (07): 135-141.DOI: 10.16233/j.cnki.issn1002-4972.20210630.020.
[3] 吴杰, 孙祥志, 罗京蕾, 等. 单向格栅软体排的拼接及沉排工艺设计 [J]. 江苏水利, 2023, (05): 21-25.DOI: 10.16310/j.cnki.jssl.2023.05.013.
[4] 徐雪鸿, 魏祥龙, 杨涵苑, 等. 软体排鼓包变形应变响应特征及识别方法研究 [J]. 水电能源科学, 2023, 41(04): 147-150.DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20221219.
[5] 吴杰, 陈磊, 李铭华, 等. 单向格栅软体排顺水沉排受力特性研究 [J]. 水运工程, 2023, (04): 129-136.DOI: 10.16233/j.cnki.issn1002-4972.20230403.024.
[6] 魏祥龙, 杨海亮, 左利钦, 等. 光纤传感监测护底软体排的可行性探讨 [J]. 水电能源科学, 2023, 41(12): 147-151.DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20230328.
[7] 于刚. 侧扫声呐在水下软体排检测中的应用与改进 [J]. 水科学与工程技术, 2022, (04): 82-85.DOI: 10.19733/j.cnki.1672-9900.2022.04.22.
[8] 王莹. 关于控制软体排铺设过程中排体收缩量的研究 [J]. 珠江水运, 2022, (10): 73-75.DOI: 10.14125/j.cnki.zjsy.2022.10.008.
[9] 常留红, 王瀚锐, 李小超, 等. D 形软体排顺水沉排受力特性分析 [J]. 水运工程, 2022, (03): 78-84.DOI: 10.16233/j.cnki.issn1002-4972.20220228.008.
[10] 曹波, 张亮亮, 聂卫平, 等. 混凝土联锁块软体排抗拖锚稳定性试验及改进 [J]. 港工技术, 2021, 58(06): 36-40+81.DOI: 10.16403/j.cnki.ggjs.20210609.

