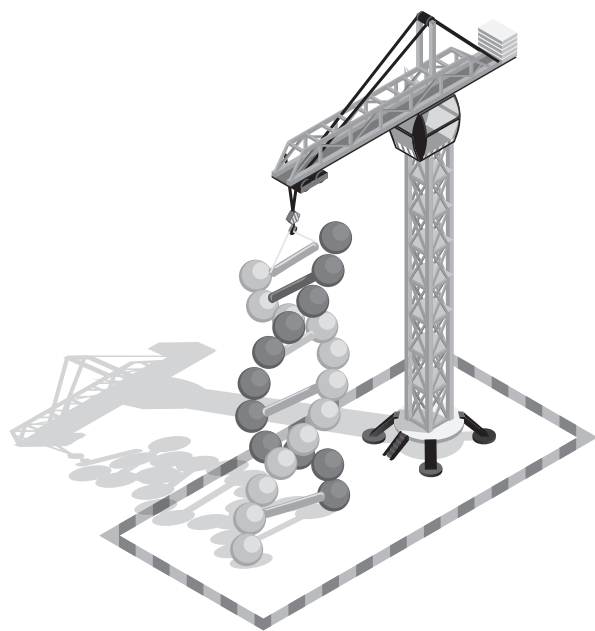


# 工程 研究与应用

Engineering Research and Application



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

119 S Atlantic Blvd, Suite 300D

Monterey Park, CA 91754

Copyright © 2025 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3卷 第1期 2025年1月刊

主 管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主 办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编 辑 《工程研究与应用》编辑部

ISSN(O): 2993-2742

ISSN(P): 2995-3154

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

网 址: <https://www.artdesignp.com>

## 本刊说明:

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

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



## 工程科学 | ENGINEERING SCIENCE

- 005 5G 技术下的远程医疗高清视频传输系统设计与测试 张皓杰, 刘欣雨  
Design and Testing of Remote Medical High-Definition  
Video Transmission System Based on 5G Technology Zhang Haojie, Liu Xinyu
- 009 加热炉的氮氧化物排放优化操作 宗升  
Optimization Operation of Nitrogen Oxide Emissions  
from Heating Furnaces Zong Sheng
- 012 基于生产建设项目水土保持 "天地一体化" 监管技术探讨 邓熔  
Discussion on the Supervision Technology of "Space-Ground Integrated Network"  
of Soil and Water Conservation Based  
on Production and Construction Projects Deng Rong
- 015 用于汽车运输铁矿石的自动取样系统设计与实践 周荣平, 罗磊, 刘洪具  
Design and Practice of Automatic Sampling System  
for Automobile Transportation of Iron Ore Zhou Rongping, Luo Lei, Liu Hongju
- 018 先进过程控制在气分装置的应用 池占胜, 颜景义, 郑伯刚  
Application of Advanced Process Control Technology  
in Gas Separation Unit Chi Zhansheng, Yan Jingyi, Zheng Bogang
- 021 钢结构焊接工艺优化对结构 王清, 李维宇, 代连水, 张涛, 董慧欣  
性能的影响 Effect of Optimization of Steel Structure Welding Process on Structural  
Performance Wang Qing, Li Weiyu, Dai Lianshui, Zhang Tao, Dong Huixin
- 024 一种机械式手动变载吸能技术研究 王卫, 石小潘, 马武明, 刘鹏  
A Study on Mechanical Manual Variable Load  
Energy Absorption Technology Wang Wei, Shi Xiaopan, Ma Wuming, Liu Peng
- 028 武汉地区轻型动力触探与地基土 陈伟, 高振宇, 周淼, 赵天翔  
承载力相关性研究 Correlation Study between Light Dynamic Penetration  
Test and Bearing Capacity of Foundation  
Soil in Wuhan Area Chen Wei, Gao Zhenyu, Zhou Miao, Zhao Tianxiang
- 032 隧道开挖过程中的地下水控制技术研究 白周全  
Research on Groundwater Control Technology  
During Tunnel Excavation Bai Zhouquan
- 035 大断面掘进中锚网索支护技术的应用与优化研究 冯祥祥  
Application and Optimization Research of Anchor Net Cable  
Support Technology in Large Section Excavation Feng Xiangxiang
- 038 供水公司廉洁文化建设的路径探讨 陈胜杰  
Exploring the Path of Integrity Culture Construction  
in Water Supply Companies Chen Shengjie
- 041 测绘新技术在工程建设中的应用分析 陈春红, 林建峰  
Application Analysis of New Surveying and Mapping Technology  
in Engineering Construction Chen Chunhong, Lin Jianfeng
- 044 关于北方城市园林精细化管理的可操作性探讨 马新宇  
Discussion on the Operability of Fine Management  
in Northern Urban Gardens Ma Xinyu
- 047 新型压缩机和离心泵的设计与性能优化 兰进福, 姚晓花  
Design and Performance Optimization of New  
Compressors and Centrifugal Pumps Lan Jinfu, Yao Xiaohua

050	道路桥梁隧道工程施工技术与安全监控 Construction Technology and Safety Monitoring of Road, Bridge, and Tunnel Engineering	杜超 Du Chao
053	高填方区地基处理及边坡支护施工技术 Construction Technology of Foundation Treatment and Slope Support in High Fill Area	谢元文, 曾治国, 刘维 Xie Yuanwen, Zeng Zhiguo, Liu Wei
056	城市轨道交通既有线路双向变流器研究 Research on Bidirectional Converters Replaced on Existing Urban Rail Transit Lines	储杭道, 于喜林 Chu HangDao, Yu Xilin
059	道路桥梁工程中的施工技术创新 Title: Innovations in Construction Technology for Road and Bridge Engineering	王永成 Wang Yongcheng
062	电子信息工程中数据安全与加密技术的研究 Research on Data Security and Encryption Technology in Electronic Information Engineering	郑华 Zheng Hua

建筑科学 | BUILDING SCIENCE

065	装配式施工技术在住宅建筑工程施工管理中的应用 Application of Prefabricated Construction Technology in Construction Management of Residential Buildings	娄金林 Lou Jinlin
068	高层建筑施工技术难点与解决方案 Technical Difficulties and Solutions in High-rise Building Construction	姬裕林 Ji Yulin
071	跳仓法在大体积混凝土筏板施工中的应用研究 Study on Application of Jumping Method in Construction of Mass Concrete Raft	马天骄, 王清, 李维宇, 张涛, 李金会 Ma Tianjiao, Wang Qing, Li Weiyu, Zhang Tao, Li Jinhui
074	智能化施工技术在现代建筑工程中的应用研究 Research on application of Intelligent construction technology in modern building Engineering	廉克国, 谭刘志, 孔繁康 Lian Keguo, Tan Liuzhi, Kong Fankang
077	建筑施工“互联网+”智慧安全警示教育基地建设 Construction of "Internet plus" Smart Safety Warning Education Base for Construction	张杰 Zhang Jie
080	临建轻钢结构房屋在建筑施工中的应用 Application of Temporary Construction of Light Steel Structure Building in Building Construction	陈强 Chen Qiang

能源科学 | ENERGY SCIENCE

083	石墨材料高温纯化工艺优化及其性能研究 Study on the Optimization of High-Temperature Purification Process of Graphite Materials and Its Properties	王琦 Wang Qi
086	海洋石油模块钻机液压系统故障诊断与可靠性改进策略 Fault Diagnosis and Reliability Improvement Strategies for the Hydraulic System of Offshore Oil Modular Drilling Rigs	吴汉东 Wu Handong
089	纯电动救护车动力系统匹配及续航里程优化研究 Research on Power System Matching and Range Optimization of Pure Electric Ambulance	钟福春, 李亚蕾 Zhong Fuchun, Li Yalei
092	燃煤发电厂烟气在线监测系统与节能减排策略 Coal-fired Power Plant Flue Gas Online Monitoring System and Energy-saving and Emission-reduction Strategies	郑文静 Zheng Wenjing
095	陆上风电场折减系数及其后评估分析 Reduction Factor and Its Post-Evaluation for Onshore Wind Farms	许梦莹, 徐旭 Xu Mengying, Xu Xu
099	煤矿机电设备的智能化改造与能效提升研究 Research on the Intelligent Transformation and Energy Efficiency Improvement of Coal Mine Mechanical and Electrical Equipment	陈金星 Chen Jinxing
102	风电场电缆接头感知装置的高精度测温技术 High precision Temperature Measurement Technology for Wind Farm Cable Joint Sensing Device	卞全 Bian Quan
105	煤矿机电设备的变频节能技术研究 Research on Frequency Conversion and Energy Saving Technology of Coal Mine Mechanical and Electrical Equipment	白雪 Bai Xue

# 5G 技术下的远程医疗高清视频传输系统设计与测试

张皓杰, 刘欣雨  
辽宁科技大学, 辽宁 鞍山 114003

**摘要：** 本文旨在研究5G技术下的远程医疗高清视频传输系统的设计与测试。随着5G技术的快速发展，其超高数据传输速率、低时延、大规模设备连接等特性为远程医疗服务提供了强大的技术支持。本文首先介绍了5G技术的基本特点及其在远程医疗中的应用优势，然后详细阐述了远程医疗高清视频传输系统的设计方案，包括前端设备、云端服务器和数据管道的设计与实现。通过对系统进行功能测试和性能测试，验证了系统在远程医疗场景下的稳定性和可靠性。研究结果表明，5G技术下的远程医疗高清视频传输系统能够有效提高医疗服务的效率和质量，为解决医疗资源分布不均、提高偏远地区医疗服务水平等问题提供了可行的解决方案。

**关键词：** 5G技术；远程医疗；高清视频传输；系统设计；测试

## Design and Testing of Remote Medical High-Definition Video Transmission System Based on 5G Technology

Zhang Haojie, Liu Xinyu  
University of Science and Technology Liaoning, Anshan, Liaoning 114003

**Abstract：** This article aims to investigate the design and testing of a remote medical high-definition video transmission system based on 5G technology. With the rapid development of 5G technology, its characteristics such as ultra-high data transmission rate, low latency, and massive device connectivity provide strong technical support for remote medical services. This article first introduces the basic features of 5G technology and its application advantages in telemedicine. Then, it elaborates on the design scheme of the remote medical high-definition video transmission system, including the design and implementation of frontend devices, cloud servers, and data pipelines. Through functional and performance testing of the system, its stability and reliability in remote medical scenarios are verified. Research results indicate that the remote medical high-definition video transmission system based on 5G technology can effectively improve the efficiency and quality of medical services. It provides a feasible solution to address issues such as uneven distribution of medical resources and improving medical service levels in remote areas.

**Keywords：** 5G technology; telemedicine; high-definition video transmission; system design; testing

## 引言

随着5G技术的迅猛发展，其高速率、低时延、大连接的特性为远程医疗领域带来了革命性的变革。特别是在高清视频传输方面，5G技术为远程医疗提供了前所未有的技术支持，使得高质量的远程医疗服务成为可能。本研究旨在探索5G技术在远程医疗高清视频传输系统中的应用，以期解决医疗资源分布不均、提高医疗服务效率和质量等关键问题，具有重要的现实意义和应用价值<sup>[1]</sup>。

目前，国内外在5G远程医疗领域的研究日益增多，但针对高清视频传输系统的设计与测试仍存在一定的挑战和空白。本研究将综合国内外研究成果，结合实际需求，进行系统的设计与测试。

## 一、5G技术概述及其在远程医疗中的应用

### (一) 5G技术的基本特点

5G技术，即第五代移动通信技术，以其卓越的性能和广泛的应用前景，正逐步改变着我们的生活和工作方式。其基本特点主

要体现在以下几个方面：

超高数据传输速率：5G网络能够提供高达几十Gbps的峰值速率，这意味着用户可以享受到比4G快数倍甚至数十倍的网络速度。这一特性对于高清视频传输、大型文件下载等应用至关重要，确保了数据的快速传输和实时性<sup>[2]</sup>。

作者简介：张皓杰（2003.12-），男，汉族，内蒙古呼和浩特市人，本科在读，辽宁科技大学，辽宁，鞍山，邮编：114003。

低时延：5G 网络的时延可以低至毫秒级，甚至更低。这对于需要即时反馈的应用场景，如远程手术、自动驾驶等，具有极其重要的意义。低时延确保了数据的实时传输和处理，提高了应用的响应速度和准确性。

大规模设备连接：5G 网络能够支持每平方公里内数百万个设备的连接，这为实现物联网、智慧城市等应用提供了可能。在远程医疗领域，这意味着可以同时连接多个医疗设备和患者终端，为远程监控、远程会诊等应用提供了强大的支持。

网络切片技术：5G 网络切片技术能够根据不同的应用需求，动态地创建和管理不同的网络切片。这一特性使得 5G 网络能够灵活地适应各种应用场景，为远程医疗提供了定制化的网络服务，确保了数据传输的安全性和稳定性<sup>[3-4]</sup>。

高可靠性：5G 网络具有高可靠性和高可用性，能够确保数据传输的完整性和准确性。这对于远程医疗等需要高度可靠性的应用场景至关重要，避免了因数据传输错误或丢失而导致的医疗事故。

### （二）5G 技术在远程医疗中的应用优势

5G 技术在远程医疗中的应用，不仅提高了医疗服务的效率和质量，还解决了医疗资源分布不均的问题，降低了患者的就医成本。具体优势如下：

解决医疗资源分布不均：5G 技术使得高质量的医疗服务能够跨越地域限制，实现远程会诊、远程手术等应用。这有助于将优质医疗资源引入偏远地区，缓解医疗资源紧张的问题，提高医疗服务的可及性和公平性<sup>[5-6]</sup>。

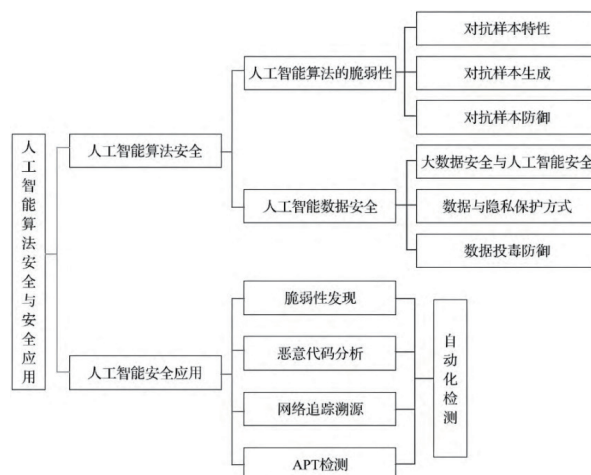
提高医疗服务质量和效率：5G 网络的高速率和低时延特性，使得医生能够实时获取患者的高清视频和生理数据，进行准确的诊断和治疗。同时，5G 技术还支持远程监控和远程护理等应用，提高了医疗服务的效率和便捷性。

降低患者就医成本：通过 5G 远程医疗应用，患者可以在家中或就近的医疗机构接受专家的诊断和治疗，避免了长途跋涉和住宿等费用。这不仅减轻了患者的经济负担，还提高了就医的舒适度和满意度。

综上所述，5G 技术在远程医疗领域的应用具有广阔的前景和巨大的潜力。随着技术的不断成熟和应用的深入拓展，5G 远程医疗将成为未来医疗服务的重要组成部分，为人们的健康和生活带来更多的便利和福祉。

### （三）人工智能安全检测的基本框架

人工智能安全检测的基本框架旨在构建一个全面的安全防护体系，以保障人工智能系统在 5G 远程医疗中的应用安全。数据采集与预处理的安全措施是框架中的基础环节，在这个阶段，确保数据的完整性和保密性是关键目标。通过加密技术、数据脱敏和访问控制等手段，可以有效防止数据在采集和传输过程中遭到篡改或泄露。AI 模型的安全性评估方法则是框架的核心组成部分，通过一系列的安全性测试，如对抗样本攻击检测、模型篡改识别和鲁棒性评估，能够识别和评估 AI 模型可能存在的安全漏洞。框架为人工智能在 5G 远程医疗中的安全应用提供了全方位的保障，如图 1 所示。



> 图 1 人工智能安全检测的基本框架

## 二、远程医疗高清视频传输系统设计

远程医疗高清视频传输系统是一个集成了前端设备、云端服务器和数据管道的综合系统，旨在通过 5G 技术实现高质量、低延迟的远程医疗服务。以下是对该系统设计的详细阐述。

### （一）系统总体架构

远程医疗高清视频传输系统的总体架构由前端设备、云端服务器和数据管道三部分组成，它们协同工作，确保高清视频数据的采集、传输、处理和存储<sup>[7]</sup>。

前端设备：前端设备是系统的入口，负责采集患者的音视频数据。它通常包括摄像头与音视频采集模块、5G 通信模块和用户交互界面。

云端服务器：云端服务器是系统的核心，负责处理前端设备传来的音视频数据，进行存储、转发和分析。云端服务器需要具备强大的数据处理能力和安全性，以确保远程医疗服务的稳定性和可靠性<sup>[8]</sup>。

数据管道：数据管道是连接前端设备和云端服务器的桥梁，负责将音视频数据从前端设备传输到云端服务器。数据管道的设计需要考虑网络带宽、传输协议和故障恢复机制等因素，以确保数据的实时性和完整性。

### （二）前端设备设计

前端设备的设计直接关系到远程医疗服务的用户体验和数据质量。以下是前端设备设计的关键要素：

摄像头与音视频采集模块：摄像头负责采集患者的视频数据，音视频采集模块则负责采集患者的音频数据。为了保证高清视频传输的质量，摄像头和音视频采集模块需要具备高分辨率、低噪声和低延迟等特性。

5G 通信模块：5G 通信模块是前端设备与云端服务器之间的通信桥梁。它利用 5G 网络的高速率、低时延特性，确保音视频数据的实时传输。此外，5G 通信模块还需要具备网络自适应能力，能够在不同的网络环境下保持稳定的连接<sup>[9]</sup>。

用户交互界面：用户交互界面是前端设备与用户之间的交互窗口。它提供了音视频通话、数据传输和远程控制等功能，使用



户能够方便地使用远程医疗服务。用户交互界面的设计需要简洁明了，易于操作。

### （三）云端服务器设计

云端服务器是远程医疗高清视频传输系统的核心部分，它负责处理前端设备传来的音视频数据。以下是云端服务器设计的关键要素：

视频数据处理与存储：云端服务器需要对前端设备传来的音视频数据进行处理，包括解码、压缩、编码和存储等操作。为了确保数据的完整性和安全性，云端服务器需要采用先进的视频数据处理技术和存储设备。

实时音视频传输协议：实时音视频传输协议是云端服务器与前端设备之间通信的基础。它需要具备低延迟、高可靠性和可扩展性等特性，以确保音视频数据的实时传输和流畅播放。常用的实时音视频传输协议包括 WebRTC、RTMP 等。

安全性与隐私保护：云端服务器需要采用严格的安全措施和隐私保护机制，以确保远程医疗服务的安全性和用户隐私的保护。这包括数据加密、访问控制、身份验证和日志审计等措施<sup>[10]</sup>。

### （四）数据管道设计

数据管道的设计是远程医疗高清视频传输系统的重要组成部分，它负责将音视频数据从前端设备传输到云端服务器。以下是数据管道设计的关键要素：

5G 网络选择与配置：数据管道需要选择合适的 5G 网络，并进行相应的配置，以确保音视频数据的实时传输。在选择 5G 网络时，需要考虑网络的覆盖范围、带宽和延迟等因素。在配置 5G 网络时，需要设置网络参数、优化网络性能和确保网络稳定性。

数据传输协议与带宽管理：数据传输协议是数据管道中音视频数据传输的基础。它需要具备高可靠性、低延迟和可扩展性等特性。同时，数据管道还需要进行带宽管理，以确保音视频数据的稳定传输。带宽管理包括流量控制、拥塞避免和错误恢复等措施。

网络故障恢复机制：数据管道需要设计网络故障恢复机制，以应对网络故障和数据丢失等问题。网络故障恢复机制包括网络重连、数据重传和错误纠正等措施。这些措施可以确保音视频数据的完整性和连续性，提高远程医疗服务的可靠性和稳定性。

综上所述，远程医疗高清视频传输系统的设计需要综合考虑前端设备、云端服务器和数据管道等多个方面。通过合理的系统设计和优化，可以实现高质量、低延迟的远程医疗服务，为医疗资源的均衡分配和医疗服务效率的提高提供有力支持。

## 三、远程医疗高清视频传输系统测试

远程医疗高清视频传输系统的测试是确保系统在实际应用中能够满足用户需求、稳定运行的重要环节。通过系统的测试，可以发现潜在的问题并进行优化，以提高系统的可靠性和用户体验。以下是对远程医疗高清视频传输系统测试的详细阐述。

### （一）测试环境与方法

测试环境与方法的选择对测试结果具有重要影响。合理的测

试环境和科学的测试方法能够更准确地反映系统的性能和功能。

测试平台搭建：测试平台包括硬件和软件两部分。硬件方面，需要搭建前端设备（如摄像头、5G 通信模块等）和云端服务器（如高性能计算服务器、存储设备等）。软件方面，需要安装和配置系统所需的软件环境，包括操作系统、数据库、音视频处理软件等。此外，还需要搭建测试用的网络环境，模拟真实的 5G 通信环境。

测试用例设计：测试用例是测试过程中用于验证系统功能和性能的具体步骤和预期结果。测试用例的设计应遵循全面、准确、可重复的原则。对于远程医疗高清视频传输系统，测试用例应包括视频传输清晰度测试、音视频同步性测试、用户交互体验测试等功能测试，以及系统时延测试、网络带宽占用测试、系统稳定性与可靠性测试等性能测试。

### （二）功能测试

功能测试是验证系统是否满足用户需求的关键环节。以下是对远程医疗高清视频传输系统功能测试的详细阐述：

视频传输清晰度测试：通过对比前端设备采集的视频与云端服务器接收的视频，验证视频传输过程中的清晰度是否保持一致。测试过程中，需要采用不同的分辨率和帧率进行测试，以确保系统在不同场景下都能提供清晰的视频传输。

音视频同步性测试：验证音视频数据在传输过程中是否保持同步。测试过程中，可以播放一段包含音视频的数据，观察音视频是否同步播放。同时，还需要在不同的网络环境下进行测试，以验证系统在不同网络条件下的音视频同步性能。

用户交互体验测试：验证用户交互界面的易用性和稳定性。测试过程中，需要模拟用户进行音视频通话、数据传输等操作，观察系统是否稳定、流畅，并收集用户反馈意见，对界面进行优化。

### （三）性能测试

性能测试是验证系统性能和稳定性的重要环节。以下是对远程医疗高清视频传输系统性能测试的详细阐述：

系统时延测试：验证系统从前端设备采集音视频数据到云端服务器接收并处理数据的时延。测试过程中，需要记录不同网络环境下的时延数据，并进行分析，以找出可能的优化点。

网络带宽占用测试：验证系统在不同分辨率和帧率下对网络带宽的占用情况。测试过程中，需要测量不同场景下的网络带宽占用情况，以确保系统在实际应用中不会对网络造成过大的负担。

系统稳定性与可靠性测试：验证系统在高负载、长时间运行等条件下的稳定性和可靠性。测试过程中，需要模拟系统在高负载下的运行情况，观察系统是否出现崩溃、卡顿等问题，并记录系统崩溃前的运行时间和崩溃后的恢复时间等指标。

### （四）测试结果与分析

测试结果与分析是测试过程的重要环节。通过对测试数据的统计和分析，可以发现系统存在的问题，并提出改进措施。

数据统计与分析：对测试过程中收集的数据进行统计和分析，包括视频传输清晰度、音视频同步性、系统时延、网络带宽

占用等指标。通过对比不同测试场景下的数据，找出系统存在的性能瓶颈和潜在问题。

问题与改进措施：根据测试结果和分析，提出系统存在的问题和改进措施。例如，如果系统时延较高，可以考虑优化数据传输协议或增加网络带宽；如果视频传输清晰度不够，可以考虑升级摄像头或优化音视频处理算法等。同时，还需要根据用户反馈意见对系统进行优化和改进，以提高用户体验。

综上所述，远程医疗高清视频传输系统的测试是一个复杂而重要的过程。通过合理的测试环境和科学的测试方法，可以全面、准确地评估系统的性能和功能，发现潜在问题并进行优化，为系统的实际应用提供有力保障。

## 四、结论

综上所述，5G 技术为远程医疗高清视频传输系统的发展提供

了强有力的支撑，极大地推动了远程医疗服务的普及和应用。通过该系统，医生能够实时、清晰地获取患者的信息，进行远程诊断、手术和监护等操作，有效提高了医疗服务的效率和质量。同时，5G 技术的高带宽、低延迟特性也为移动医疗等新型医疗服务模式提供了可能。

然而，远程医疗高清视频传输系统仍面临着网络覆盖、数据安全与隐私保护以及法规政策等方面的挑战。为了克服这些挑战，需要不断加强网络基础设施建设、完善数据安全机制以及推动法规政策的制定和完善。

展望未来，随着 5G 技术的持续升级和融合，远程医疗高清视频传输系统将迎来更加广阔的发展前景，为医疗行业带来更多的创新和变革。

## 参考文献

- [1] 张赛. 5G 通信技术在医院中的应用 [J]. 中国宽带, 2023,19(10):122-124.
- [2] 陈曦, 李启福. 5G 通信技术在智慧教学中的应用 [J]. 集成电路应用, 2024,41(09):80-82.DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2024.09.030.
- [3] 周华飞, 陈嵘, 刘徐勇. 5G 通信技术在智慧楼宇安防监测中的应用研究 [J]. 电脑知识与技术, 2024,20(25):101-103.DOI:10.14004/j.cnki.ckt.2024.1289.
- [4] 沈凌茜. 大数据与通信技术融合的应用研究 [J]. 中国宽带, 2024,20(10):16-18.
- [5] 郭磊. 信息通信技术对产业结构优化的影响分析 [J]. 数字通信世界, 2023,(11):160-162.
- [6] 张津. 5G 通信技术在广播电视工程中的应用 [J]. 电视技术, 2023,47(10):134-136.DOI:10.16280/j.videoe.2023.10.036.
- [7] 王建峰, 黄艳虹, 赖筱雪, 等. 5G 通信技术在融媒体直播中的运用微探 [J]. 华章, 2023,(02):87-89.
- [8] 李杭. 5G 通信技术在广播电视领域的应用研究 [J]. 电视技术, 2024,48(01):125-127.DOI:10.16280/j.videoe.2024.01.034.
- [9] 冯娟. 5G 通信技术与广播电视技术的融合策略 [J]. 山西电子技术, 2024,(02):94-96.
- [10] 王周, 张涛, 薛成冰, 等. 5G 通信技术在智能化煤矿的应用研究 [J]. 数字通信世界, 2024,(05):108-110.



# 加热炉的氮氧化物排放优化操作

宗升

中国石油天然气股份有限公司大庆炼化分公司，黑龙江 大庆 163000

**摘 要：** 本文旨在综述当前氮氧化物排放控制的研究进展，分析加热炉氮氧化物排放的生成机制、影响因素及控制技术，探讨未来氮氧化物排放控制的发展趋势和方向。通过本文的研究，期望能够为炼油厂加热炉氮氧化物排放的有效控制提供理论支持和实践指导，推动环保技术的创新与应用，促进经济社会的可持续发展。还有就是对开工时点加热炉的时候，氮氧化物易超标情况进行分析和应对措施。

**关 键 词：** 氮氧化物；烟气；优化

## Optimization Operation of Nitrogen Oxide Emissions from Heating Furnaces

Zong Sheng

China National Petroleum Corporation Daqing Refining and Chemical Branch, Daqing, Heilongjiang 163000

**Abstract：** The purpose of this paper is to summarize the current research progress of nitrogen oxide emission control, analyze the generation mechanism, influencing factors and control technology of nitrogen oxide emission in heating furnaces, and discuss the development trend and direction of nitrogen oxide emission control in the future. Through the research in this paper, it is expected to provide theoretical support and practical guidance for the effective control of nitrogen oxide emissions in refinery heating furnaces, promote the innovation and application of environmental protection technologies, and promote the sustainable development of economy and society. There is also the analysis and countermeasures for the nitrogen oxides that are easy to exceed the standard when the furnace is heated at the time of operation.

**Keywords：** nitrogen oxides; flue gas; optimization

## 引言

在各类工业排放源中，炼油厂作为能源消耗和污染物排放的大户，其加热炉等设备的氮氧化物排放问题尤为突出。加热炉作为炼油过程中的关键设备，其燃烧过程中产生的氮氧化物排放不仅受到燃料种类、燃烧条件等因素的影响，还与设备设计、运行管理等多个方面密切相关。因此，针对炼油厂加热炉氮氧化物排放的控制研究，不仅有助于降低炼油厂的污染物排放，提高环保水平，还能对其他工业领域的氮氧化物排放控制提供借鉴和参考。

## 一、加热炉中氮氧化物的形成原理

加热炉燃烧器所产生的 NO<sub>x</sub> 分为三个部分，快速直接转化型、热力型和燃料转化型，其中主要为热力学 NO<sub>x</sub>，在火焰高温区空气中的 N<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub> 气在高温条件下反应生成。

经分析可以得到加热炉燃烧过程中生成的烟气中的氮氧化物主要是 NO 和少量 NO<sub>x</sub>，烟气中 NO 产生机理一般分为如下3种：

1. 热力型 NO<sub>x</sub>。燃烧时，空气中氮在高温下氧化产生，其中的生成过程是一个不分支连锁反应。其生成机理在高温下总生成式为：N<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>→2NO，NO+0.5O<sub>2</sub>→NO<sub>2</sub>；随着反应温度 T 的升高，其反应速率按指数规律增加。当 T<1500℃时，NO 的生成量很少；而当 T>1500℃时，T 每增加 100℃，反应速率增大

6.7 倍。

2. 快速型 NO<sub>x</sub>。在碳氢化合物燃料燃烧时，当燃料过浓时，在反应区附近会快速生成 NO<sub>x</sub>，由于燃料挥发物中碳氢化合物高温分解生成的 CH 自由基可以和空气中氮气反应生成 HCN 和 N，再进一步与氧气作用以极快的速度生成 NO<sub>x</sub>，其形成时间只需要 60ms，所生成的 NO<sub>x</sub> 与炉膛压力的 0.5 次方成正比。与温度的关系不大。

3. 燃料型 NO<sub>x</sub>。指燃料中含氮化合物，在燃烧过程中进行热分解，继而进一步氧化而生成 NO<sub>x</sub>。在生成燃料型 NO<sub>x</sub> 过程中，首先是含有氮的有机化合物热裂解产生 N、CN、HCN 等中间产物基团，然后再氧化成 NO<sub>x</sub>。

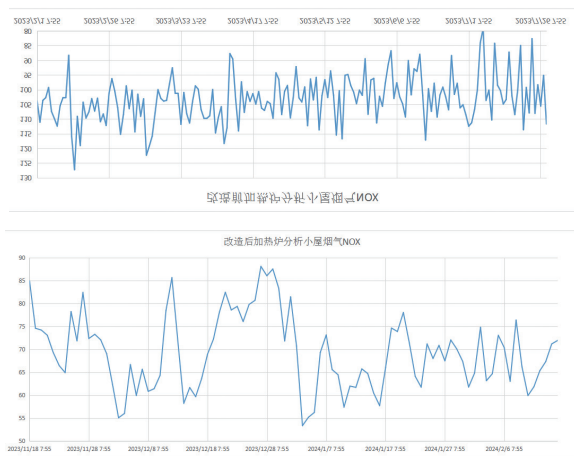
氮氧化物折算浓度与烟气中氧含量的关系为：

$$\bar{C} = \bar{C}' \times \frac{21 - O_2}{21 - X_{O_2}}$$

式中： $\bar{C}$ ——折算成基准含氧量时的颗粒物或气态污染物排放浓度， $\text{mg}/\text{m}^3$ ；  
 $\bar{C}'$ ——标准状态干烟气状态下颗粒物或气态污染物排放浓度， $\text{mg}/\text{m}^3$ ；  
 $X_{O_2}$ ——在测点实测的干基含氧量，%；  
 $O_2$ ——有关排放标准中规定的基准含氧量，%。

## 二、加热炉低氮燃烧器使用情况

某石油汽油加氢装置共有三台圆筒式加热炉（F101、F201、F202），加热炉设计热负荷分别为：28.37MW（F-101）/5.83MW（F-201）/6.5MW（F-202），炉膛温度平均在600℃，火焰中心温度高，装置工艺要求烟气的排放必须符合环保指标要求（ $\text{SO}_2 \leq 100\text{mg}/\text{N}_3$ ； $\text{NO}_x \leq 100\text{mg}/\text{N}_3$ ），加热炉为纯瓦斯加热炉，瓦斯组分为  $\text{C}_1\text{--C}_4$ ，加热炉采用强制通风，综合炉膛温度、火焰中心温度及燃料组分可以看出，本装置 NO 类型主要是热力型、快速型而燃料型较少，燃烧器都设置在炉底的位置，采用底烧型式。三台加热炉共用一套落地式余热回收系统。利用烟气余热加热燃烧器助燃空气，2023年7月将燃烧器更换为低氮燃烧器。



由上图可以看出更换低氮燃烧器之前后的对比，更换之前氮氧化物排放平均在  $103\text{mg}/\text{m}^3$ ，更换之后氮氧化物排放平均在  $69\text{mg}/\text{m}^3$ 。

## 三、低氮燃烧器的运行机理

目前关于低  $\text{NO}_x$  燃烧器的所用到的其主要技术包括空气分级、燃料分级、烟气循环等。

空气分级燃烧，它的主要原理是把燃烧所需的空气分成两股。优点为改造简单，弥补了简单的低过量空气燃烧技术的缺点，缺点是需要很好的调整一二次风的配比，已出现不完全燃烧。且对  $\text{NO}_x$  控制有限。

燃料分级燃烧跟空气分级燃烧原理类似，整个燃烧过程所需的燃料分成多股。优点是可将火焰的负荷分散，单只枪的负荷和火焰降低，火焰高温区减少，进而可以控制氮氧化物的生成。缺点是，小负荷燃烧器燃料分级手段有限。

烟气循环法主要是将一部分燃烧后的烟气再返回燃烧区循环使用，降低火焰温度来控制  $\text{NO}_x$  的生成，烟气循环法最常用和最有效的控制方法。

此次更换低氮燃烧器原理采用燃料分级和烟气循环技术以最大限度限制热力学  $\text{NO}_x$  的生成。燃料分级以辅枪形式出现，燃料供应由耐火砖周围瓦斯枪喷头喷孔以一定的角度喷向燃烧区域来完成，从而达到分割火焰的目的。具有多孔分级燃烧技术和阶梯式分级燃烧技术，分层与助燃空气混合燃烧，直接拉大了火焰集中区，降低了局部火焰热强度，从而抑制了热力学  $\text{NO}_x$  的产生。同时，枪头喷出的火焰依靠耐火砖的独特结构，在燃料分级处形成负压区，进而使烟气在负压区进行回流、重新混合，形成烟气回流区，进一步降低高温区域，从而进一步降低  $\text{NO}_x$  的形成。

另外，燃烧器高速喷射的瓦斯射流带动燃烧区域附近烟气回流，加强了炉膛局部对流换热，提高炉效率的同时增加了炉管的使用寿命。

通过圆形火焰和方形扁平火焰燃烧器为例，详细说明燃料分级与强制烟气回流的技术原理。低氮燃烧器通过耐火砖内部的中心枪与耐火砖外部的瓦斯枪的燃料分级，降低局部高温区，使生成  $\text{NO}_x$  降低；分支瓦斯枪开孔按照一定角度，避免二级燃烧火焰相互重叠，进而增强火焰燃烧的稳定性，降低燃烧区的火焰温度， $\text{NO}_x$  在原来基础上也进一步得到降低。其次，由于分支瓦斯枪喷出高速燃料，形成局部低压区，形进而导致上部温度较低的烟气回流，使副局部火焰温度降低，最终使  $\text{NO}_x$  生成量降低<sup>[1]</sup>。

## 四、装置降低氮氧化物的排放措施

### （一）调整燃烧器主副火嘴比例来降低热力型氮氧化物排放

本次更换的燃烧器燃料分为两部分进入，实现了燃料分级，燃料分级配入并在两个相对独立的燃烧区内完成燃烧，即占比相对较少的中心燃料枪在过量空气中完成燃烧，大量的空气会降低火焰中心的温度，当氮氧化物排放量高时，可以通过关小副火嘴的方式避免热力学  $\text{NO}_x$  的大量生成。

### （二）通过降低炉膛负压降低烟气中快速型氮氧化物含量

快速型氮氧化物是当燃料过浓时，在反应区附近会快速生成  $\text{NO}_x$ ，由于燃料挥发物中碳氢化合物高温分解生成的 CH 自由基可以和空气中氮气反应生成 HCN 和 N，再进一步与氧气进一步氧化其形成时间只需要 60ms，所生成的  $\text{NO}_x$  与炉膛压力的 0.5 次方成正比。综上所述，日常的操作中我们可以通过降低炉膛负压的方式降低烟气中快速型氮氧化物的浓度。

### （三）降低瓦斯中氮氢化合物含量降低烟气中氮氧化物含量

如果瓦斯中含氮化合物含量高，在燃烧过程中进行热分解，继而进一步氧化而生成  $\text{NO}_x$  的含量也随之增加。在生成燃料型  $\text{NO}_x$  过程中，首先是含有氮的有机化合物热裂解产生 N、CN、HCN 等中间产物基团，然后再氧化成  $\text{NO}_x$ 。因此当装置烟气氮氧化物含量高时要及时联系化验对装置高压瓦斯中氮氢化合物含量，如分析出瓦斯中氮氢化合物含量偏高要及时联系公司调整瓦斯组分，从而降低氮氧化物的排放量。

#### （四）通过降低加热炉氧含量降低烟气氮氧化物含量

烟气中 NO<sub>x</sub> 的生成反应离不开氧气的参与，氧气的含量影响 NO<sub>x</sub> 的生成，这可以从烟气监测的实测值中直接反映出来，间接影响 NO<sub>x</sub> 的折算值。氧气的含量高，生成的 NO<sub>x</sub> 就会增加，则实测值增加，折算值增加；氧气的含量低，生成的 NO<sub>x</sub> 就会减少，则实测值减小，折算值降低。

含氧量对氮氧化物折算值的另一个影响是直接的。这个可以从氮氧化物折算值的计算公式中分析了解到。计算公式如下：

氮氧化物折算值 =  $[21/(21-X)]/1.4 \times$  氮氧化物实测值，其中 X 为实测的烟气氧含量。

假定氮氧化物实测值不变，从换算后的公式中分析可得到烟气含氧量增大，分母变小，折算值增大；烟气含氧量降低，分母变大，折算值降低<sup>[2]</sup>。

### 五、装置开停工期间，氮氧化物排放易超标问题分析

装置在开工期间，加热炉由自然通风状态改为强制通风期间，氧含量由 20% 降至 3% 期间氮氧化物容易出现氮氧化物超标情况。

当地相关部门对氮氧化物的监控，采用的是氮氧化物折算值的小时均值，折算值是氮氧化物的实测值乘以折算系数得到的，其中氮氧化物的生成与燃烧区的氧气浓度和火焰的温度密切相关，折算系数跟烟气氧含量有直接关系，氧含量高折算系数就大，所以说控制氮氧化物不超标的最重要的两个措施：一是降低燃烧区火焰温度，二是降低燃烧区氧气浓度

#### （一）降低燃烧区火焰温度，现在主要的做法

操作上进行优化：保证火嘴及长明灯是对称间隔的点，调整燃烧火嘴的风门，保证多火嘴（烟气内回流的低 NO<sub>x</sub> 燃烧器，使燃烧器在设计正常负荷下工作），火焰燃烧的形态如短、硬、蓝的状态。

炼油厂用的低氮燃烧器可能都有所不同，低氮燃烧技术的发展经历了四个阶段：第一阶段传统燃烧器（氮氧化物排放水平 155-370mg/m<sup>3</sup>）；第二阶段分级扩散燃烧型（75-175mg/m<sup>3</sup>）；第三阶段分级扩散燃烧 + 烟气再循环（50-120mg/m<sup>3</sup>）；第四阶段多低氮技术耦合型（15-75mg/m<sup>3</sup>），当前技术发展正由第三阶段像第四阶段过渡，兼顾 NO<sub>x</sub> 排放及能源效率。

#### （二）降低燃烧区烟气中的氧含量

停工过程：

##### 1. 减少火嘴燃烧数量

烟气内回流的低 NO<sub>x</sub> 气体燃烧器，燃料压力直接关系到烟气回流的强度，如果炉子处于低负荷运行，燃烧器燃料压力过低，烟气回流效果变差，NO<sub>x</sub> 排放会上升。减少投用燃烧器数量，尽量使燃烧器在设计正常负荷下工作。保证燃料操作压力尽量高，以达到减少 NO<sub>x</sub> 生成的目的。

##### 2. 降低氧含量

采用低 NO<sub>x</sub> 燃烧器的加热炉，加热炉氧含量需要控制在 3% 左右，这时燃烧器才能达到理性的排放值。氧含量过高，NO<sub>x</sub> 会快速增高，在装置降温过程中，根据降温速度（25-30℃）逐一熄灭火嘴和长明灯，在此过程中内外操要多人配合，内操严密监

视氮氧化物瞬时值变化，逐步降低鼓风机、引风机的负荷，保证其不超标。外操要把熄灭的火嘴二次风门和长明灯风门要及时关闭，有漏风的风门可以考虑用胶带封死，关小引风机、鼓风机的入口挡板，关闭鼓风机烟气侧线，同时还要注意观察剩下火嘴的燃烧情况，保证燃烧正常。

##### 3. 实现豁免

随着装置逐步降温过程中，加热炉的负荷在持续降低，当氧含量上升到一定数值，氮氧化物折算瞬时值将要超标时，此时需要向反方向调整，内操开大鼓风机负荷，外操开大鼓风机入口挡板、火嘴风门、看火窗等措施，使外排烟气氧含量迅速达到 19% 以上，实现豁免。

在进行该操作时，一是人员提前就位，选取在这一个小时内第 50 分钟至下一个小时第 10 分钟时间段内完成，二是系统降温速度已经降到很低，降至 10℃/h 以后再进行，以免影响系统降温速度，到达熄火温度时，加热炉进行熄火，改自然通风。

开工过程：

##### 降低氧含量

装置氢气循环升温阶段，加热炉强制通风，先把长明灯一个点起来，根据升温速度点相应的火嘴，一般情况下在高压系统氢气循环升温阶段，加热炉负荷是比较低的，氧含量都能维持在豁免值 19% 以上，循环达到某一阶段时出现外排烟气中氧含量无法维持在 19% 以上，此时需要快速跨越豁免区，外操根据升温速度快速点几个火嘴，然后调整火焰燃烧状态，保证多火嘴、短火苗、完全燃烧，关小鼓风机入口挡板、火嘴风门，内操降低鼓风机转速，使外排烟气氧含量迅速降低，直至烟气中氮氧化物折算值、二氧化硫折算、颗粒物折算值降至正常水平。

在进行该操作时，人员提前就位，选取在这一个小时内第 50 分钟至下一个小时第 10 分钟时间段内完成，升温到一定温度，升温速度变得很缓慢<sup>[3]</sup>。

### 六、结论

综上所述，在经济社会迅猛发展的背景下，国家逐渐加大了生态环境保护力度，并对工业污染物排放提出了更高的要求，颁布了一系列的降低氮氧化合物的排放标准。其目的之一就是减少加热炉燃烧生成的氮氧化合物的，保护大气环境，这是工业社会高质量发展必然需求。所以，化工企业在控制加热炉氮氧化物排放量中，应该结合自身与加热炉的实际情况，从低氮燃烧器的改造入手，分析加热炉燃烧生成氮氧化物的机理以及气体燃烧器组分异常情况，合理利用低氮燃烧技术。

### 参考文献

- [1] 曾令名. 炼油企业催化裂化装置再生烟气污染物减排技术分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量 .2024 ,44 (20):170-172.
- [2] 张立杰. SCV 烟气氮氧化物排放标准研究 [J]. 化工安全与环境 .2024 ,37 (10): 40-43.
- [3] 王浩渊. 从源头控制降低锅炉烟气排放中 NO<sub>x</sub> 的方法 [J]. 节能 .2024 ,43 (07): 85-87.

# 基于生产建设项目水土保持“天地一体化” 监管技术探讨

邓榕

遂川县水利局, 江西 吉安 343900

**摘 要：**在我国经济飞速发展的背景下，生产建设项目施工导致的水土流失日益严重，导致生态环境遭到严重影响。“天地一体化”监管技术作为一种先进的信息化手段，其可通过高分辨率遥感影响与图斑的叠加，精准分析生产建设项目建设过程中存在的问题，进而实现水土的保护。为此，本文以某区域2022年与2023年生产建设项目为例，对“天地一体化”监管技术进行探讨，以期为生产建设项目监管信息化工作的开展提供参考。

**关 键 词：**生产建设项目；遥感；天地一体化；监管

## Discussion on the Supervision Technology of "Space-Ground Integrated Network" of Soil and Water Conservation Based on Production and Construction Projects

Deng Rong

Suichuan County Water Resources Bureau, Ji'an, Jiangxi 343900

**Abstract：** Under the background of China's rapid economic development, the soil erosion caused by the construction of production and construction projects is increasingly serious, leading to a serious impact on the ecological environment. As an advanced information means, the supervision technology of "Space-Ground Integrated Network" can accurately analyze the problems existing in the construction process of production and construction projects through the superposition of high-resolution remote sensing influence and map spots, so as to realize the protection of soil and water. Therefore, this paper takes the production and construction projects in 2022 and 2023 as an example to discuss the supervision technology of the Space-Ground Integrated Network, in order to provide reference for the development of the supervision information work of production and construction projects.

**Keywords：** production and construction projects; remote sensing; Space-Ground Integrated Network; supervision

### 引言

随着城市化进程的不断深入，生产建设项目数量日益增加，导致环境问题日益严重，加强水土保持的监管尤为重要。对于生产建设项目而言，其具有点多面广、类型复杂等特点，传统的监管模式难以满足监管需求<sup>[1]</sup>。在信息化技术飞速发展的背景下，水土保持信息化应运而生，已逐渐成为各级水行政主管部门的重要职能。“天地一体化”监管技术作为一种先进的信息化手段，在生产建设项目监管中的重要性日益凸显<sup>[2]</sup>。

基于此，本研究以某区域2022年与2023年生产建设项目为例，探讨了“天地一体化”监管技术的实际应用，以期为生产建设项目的快速调查与全面监管提供借鉴。

### 一、生产建设项目水土保持监管现状及“天地一体化”监管技术

#### （一）生产建设项目水土保持监管现状

据水利部发布的《中国水土保持公报》数据显示，截至2023年，各级水行政主管部门共审批生产建设项目水土保持方案9.60万个，涉及水土流失防治责任范围3.98万平方公里。由此可以看出，

我国生产建设项目数量较多，开展水土保持工作刻不容缓<sup>[3]</sup>。一般来说，生产建设项目水土流失具有突发性、强度高及危害大等特点，加强对生产建设项目的监管，是现阶段水土保持工作的主要内容。在水土保持监管过程中，监管范围相对较广，如项目类型、扰动面积等，传统的监管方式主要是以实地测量、交谈询问等方式为主，监管难度相对较大，且耗时长。因此，为有效提升生产建设项目监管的时效性，需充分借助遥感技术的作用，形成一种“天地一

作者简介：邓榕（1983.04—），男，汉族，江西省吉安市人，本科，遂川县水利局工程师，研究方向：水土保持。



体化”的监管模式，在实现生产建设项目水土保持状况全面检测的同时，有效提升监管的准确性，进而确保监管工作的顺利开展。

（二）生产建设项目水土保持“天地一体化”监管技术

“天地一体化”（Space-Ground Integrated Network, SGIN）是一种综合利用多尺度遥感、GIS、空间定位、互联网和移动通信技术的新型信息化技术<sup>[4]</sup>。该技术充分利用空间信息技术的优势，集合了信息的获取、分析、传输、存储和应用，形成了一套高效的信息系统。通过航天航空飞行器、卫星系统等对地球实施全方位监控，获取地表的各种信息，为不同用户提供对应的信息供给和分析。“天地一体化”技术具有准确、高效、快速和覆盖面广的特点，已被广泛应用于航天航空、资源勘测、气象监测、水环境监测、应急通信、导航和测绘等领域。在水土保持工作中，该技术通过集合高分遥感技术、无人机遥感数据、地面视频监控等监测、监控技术及对数据的整合，实现水土保持情况的联合监管。

“天地一体化”可通过解译高分辨遥感影响获取区域生产建设项目扰动图斑，并将其与水土流失防治范围图进行空间上的叠加分析，实现生产建设项目违法行为的判别，为水土保持监督管理处罚提供相应的证据。通过该技术进行生产建设项目的监管，不仅可准确获取项目的数量、空间分布情况以及周围环境的实际情况，而且还可实现项目的全面监管，在提升监管技术水平的同时，有效提升监管效率<sup>[5]</sup>。

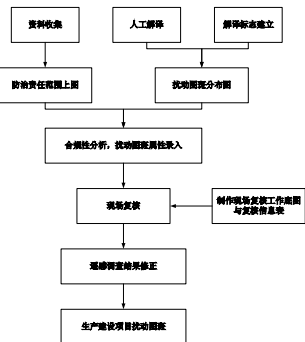
二、生产建设项目“天地一体化”监管技术分析

（一）项目概况

某区域为监管示范试点，行政区规划调整前总面积大约为538.44k m<sup>2</sup>。作为监管示范试点，该生产建设项目需接受更为严格的水土保持监督检查，如果该试点项目在建设过程中产生了水土流失问题，则需承担相应的水土流失治理任务。为此，需通过“天地一体化”监管技术对其水土流失问题进行监管。

（二）监管方法与技术路线

选取经过专题信息增强、影像融合、镶嵌的高分一号影像（空间分辨率为2m）、资源三号影像（空间分辨率为2.1m）作为数据样本，并从中提取研究区域的扰动地面，以人工判读的方式，从扰动图斑中筛选出研究区域内生产建设项目扰动图斑。最后再将其与防治责任范围进行叠加分析，实现项目合规性的判断，并结合现场实际情况进行复核，技术路线如图1所示。



> 图1 生产建设项目监管技术路线

（三）遥感调查过程

在2022年、2023年分别对该区域内的生产建设项目进行遥感调查，具体调查内容主要包括以下几点：

（1）扰动图斑解释

在提取研究区域的扰动地面后，通过人工目测解译的方式，解译项目扰动图斑，并采用野外调查的方式，构建不同类型生产建设项目的解译标志。最后结合GIS影像特征，根据91卫图勾绘面积大于0.1hm<sup>2</sup>扰动地块<sup>[6]</sup>。

（2）防治责任范围上图

首先，基于水土保持方案，提取生产建设项目的经纬度、位置，根据91卫图确定项目在遥感影响中的大体位置。其次，对纸质版的防止责任范围图件进行扫描，获取电子版；最后，采用ArcGIS软件，在坐标系相同条件，参考遥感影响进行地理配准，并对防止责任范围边界进行勾绘，同时录入相应的属性数据。值得注意的是，在地理配准过程中，由于防治责任范围资料技术标准具有差异，故需采用不同的方式对其进行配准，具体为：

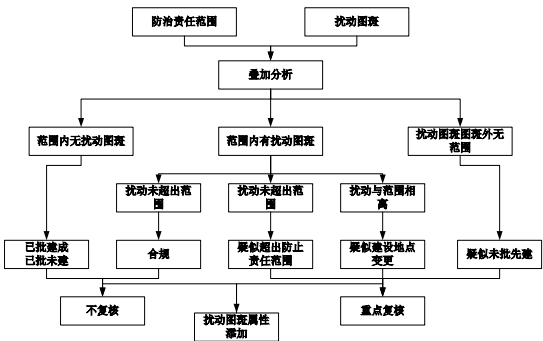
①若防治责任范围图中明确标注坐标信息与拐点坐标，可直接对其进行坐标转换，以此来获取相应的矢量数据。

②若防治责任范围图中具备公里网，可在其中的横、纵坐标上进行配准，并在此基础上勾绘相应的矢量边界。

③若防治责任范围图中未明确标注坐标信息，可通过基于特征点的准配技术，在遥感影像中找到道路、河流交叉点等特征点，并将其作为控制点构建对应关系，最后再将其配准到遥感影像中<sup>[7]</sup>。

④合规性分析

在合规性分析过程中，主要是根据扰动图斑与防治责任范围的空间位置关系，借助ArcGIS软件的空间叠加分析功能，对项目的扰动状况合规性进行判别，并将合规的图斑录入至扰动图斑矢量图层的合规性属性字段中，具体流程如图2所示。



> 图2 合规性分析技术流程与叠加分析

（3）现场复核

在完成上述工作后，结合区域现场实际情况对项目的扰动情况进行复核，具体流程为：

步骤一：制作复核图与信息表，并准备相关设备，如相机、GPS等；

步骤二：分析生产建设项目的基本建设情况，对水土保持过程中存在的问题进行复核，并收集相应的资料与证明材料；

步骤三：对扰动图斑边界进行复核，并在复核底图中标注存

在问题的扰动图斑；

步骤四：填写复核信息表，并采用相机对现场实际情况进行拍摄；

步骤五：在上述步骤完成后，根据现场调查结果对解译结果进行修正，获取该区域的扰动图斑分布图。

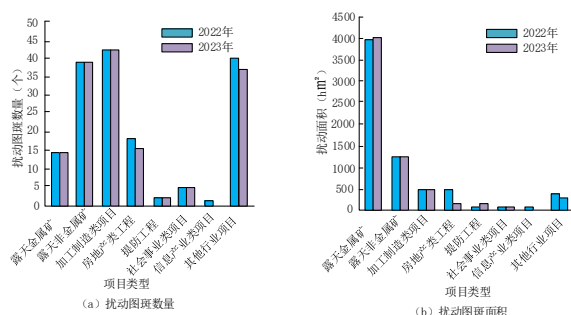
#### （4）扰动图斑动态更新

根据该区域2022年、2023年的遥感调查结果，对2023年发生变化的扰动图斑进行更新。在此过程中，主要是对原图斑边界进行调整，并勾绘最新出现的扰动图斑，同时删除不存在的扰动图斑。在对扰动图斑进行实时更新后，对其进行二次合规性分析与现场复核，并根据现场的实际情况对2023年遥感调查结果进行修正，获取该年的扰动图斑矢量数据<sup>[8]</sup>。

### （四）调查结果分析

#### （1）扰动图斑数量分析

在调查过程中发现，该区域内生产建设项目在2022年与2023年分别存在159、151个扰动图斑，面积分别为6308.22h m<sup>2</sup>、6318.39h m<sup>2</sup>如图3所示。



> 图3 2022年、2023年扰动图斑变化

从图3中可看出，虽然2023年的扰动图斑数量相较于上一年有所减少，但是扰动面积却显著增加。从整体上来讲，在2022年与2023年，该区域内生产建设项目扰动图斑数量与面积变化差异较小。究其原因主要是由于调查时间间隔较短，地物在此期间无显著变化。对于矿山开采项目，在开采到一定范围后将会停止扩界开采，而是转为地下开采，故扰动范围内变化较小。对于图斑扰动范围逐渐扩大与缩小的原因，主要是由于项目开工后施工范围

扩大，施工过程中形成的尾矿在地面积累，导致扰动面积增加，但是在项目完工后逐渐恢复，使得扰动范围缩小。

#### （2）扰动图斑类型分析

通过分析图1得知，该区域扰动图斑涉及的项目相对较多，其中最为典型的包括露天金属矿、非金属矿及房地产工程等。对于露天金属矿、非金属矿等项目，其对土地扰动较大，扰动土地面积占总扰动面积也相对较大。究其原因主要是由于研究区域内矿产资源较为丰富，使得该类项目占比增加。

#### （3）扰动范围合规性分析

基于 ArcGIS 软件的空间叠加分析功能，判别该区域内生产建设项目扰动范围的合规性，并对该区域中存在的扰动图斑进行统计。据统计发现，在2023年，该区域总计出现151个扰动图斑。其中，合规的5个，超出防治责任范围的12个，未批先建的134个。

## 三、结果与讨论

在本次研究过程中，以某区域内生产建设项目为例，通过“天地一体化”技术对其进行监管，实现了该区域项目扰动情况、数量以及分布的准确监测。同时，为判断合规性，研究借助了 GIS 提取了相应的扰动图斑，并结合现场实际调查结果进行了验证。研究结果表明，通过“天地一体化”技术，不仅可实现区域生产建设项目的全面调查，而且还可辨别造成水土流失的违规项目，为生产建设项目的监管提供真实有效的数据，对地面调查结果起辅助验证作用。通过遥感监测与地面调查的结合，在降低区域生产建设项目监督难度的同时，进一步提升了监管工作的效率与准确性。

但是，在实际检测过程中，由于水土流失防治责任范围制图标准不统一，存在制图不规范的现象，导致“天地一体化”监管技术的应用受到影响。在后续的监管工作中，相关部门需规范制图标准，以此来确保上图工作的顺利开展。同时，由于受到技术条件的限制，使得土地利用信息的提取仍采用目测法，为此，在后续的研究中，还需不断提升技术手段，确保监测结果的时效性。

## 参考文献

- [1] 刘成, 雷晓琴, 张昕川, 等. 生产建设项目水土保持监督性监测实践与思考 [J]. 中国水土保持, 2024(5):16-20.
- [2] 蒋应洪. 生产建设项目水土保持“管家式”服务实践与探讨 [J]. 亚热带水土保持, 2024,36(3):43-45.
- [3] 曹伟, 武峰东, 王隽雄. 已验收生产建设项目水土保持监督管理实践与思考 [J]. 中国水土保持, 2024(6):1-4.
- [4] 许小有, 樊庆国, 王福, 等. 和田地区生产建设项目水土保持遥感监管实践 [J]. 中国水土保持, 2024(8):8-10.
- [5] 周宁, 孙和强, 刘凤飞, 等. 黑龙江省大中型生产建设项目水土保持实践与思考 [J]. 中国水土保持, 2024(8):29-31.
- [6] 郭春香, 周舒燕, 陈正新. 杭州市临平区生产建设项目水土保持方案管理探讨 [J]. 中国水土保持, 2024(7):7-10.
- [7] 高星艳. 生产建设项目水土保持措施体系研究 [J]. 山西水土保持科技, 2024(2):16-20,39.
- [8] 王建. 广东省生产建设项目水土保持方案存在的问题及对策 [J]. 中国水土保持, 2024(6):11-14.



# 用于汽车运输铁矿石的自动取样系统设计与实践

周荣平, 罗磊, 刘洪具

云南昆钢电子信息科技有限公司, 云南 安宁 650302

**摘 要 :** 通过汽车运输的原铁矿石, 矿石形状复杂多样、车厢内堆料不稳定, 人工上车取样难度较大, 容易发生踏空、剐蹭和滑倒等安全事故, 本文介绍了一种用于汽车运输铁矿石的自动取样系统的设计, 采用自动控制系统, 结合视觉识别技术的应用, 对铁矿石进行智能识别, 可以实现自动定点定位、矿石钻取、样品吸取收集等工作, 实现矿车定点自动取样, 代替人工上车取样工作, 降低岗位安全风险, 提高取样工作效率。

**关 键 词 :** 汽车运输; 铁矿石; 自动取样系统; 系统设计; 实践探究

## Design and Practice of Automatic Sampling System for Automobile Transportation of Iron Ore

Zhou Rongping, Luo Lei, Liu Hongju

Yunnan Kungang Electronic Information Technology Co., Ltd. Anning, Yunnan 650302

**Abstract :** The raw iron ore transported by car has complex and diverse shapes, unstable stacking materials in the carriage, and is difficult to manually sample. It is prone to safety accidents such as stepping, scratching, and slipping. This article introduces the design of an automatic sampling system for car transportation of iron ore, which adopts an automatic control system and combines visual recognition technology to intelligently recognize iron ore. It can achieve automatic fixed-point positioning, ore drilling, sample collection, and other work, and realize fixed-point automatic sampling of mining cars, replacing manual sampling work, reducing job safety risks, and improving sampling efficiency.

**Keywords :** automobile transportation; iron ore; automatic sampling system; system design; practical exploration

### 一、铁矿石取样的现状

在铁矿开采企业, 有汽车运输、皮带运输、电机车运输和提升机运输等多种运输方式, 其中原矿石的运输以汽车运输为主, 汽车运输原矿石的取样是一个重要环节, 通常在矿车上按照一定的网距和点距, 敲击拣取大小大致相等的块矿石, 合并成一个样品, 通常一个矿山有多个采区, 每个采区矿石品位有差异, 在矿山各采区通过矿车运输的铁矿石, 在进入破碎前需进行计量和取样, 取样与计量通常在同一个地点进行, 矿车停靠在过磅房磅秤上进行称重, 同时由取样人员通过扶梯上至运矿卡车厢矿石表面, 依次对每辆运矿卡车内矿石进行重复取样作业; 人工取样每次都按照一定的网距和点距, 均匀布点后, 敲击或者抓取每辆矿车上的少量矿石作为样品, 由于矿车运输的铁矿石为采区开采的原铁矿石, 块状复杂、质地坚硬、堆放不稳靠等情况, 人工取样过程中敲取样品极为困难, 需要爬上矿车顶部或者攀爬矿车的车架, 如果操作不当可能会导致高处坠落的危险; 矿车上的矿石高低不平, 松动不稳定, 取样人员容易踩空、绊倒、擦伤、压脚或者滑倒造成伤害<sup>[1]</sup>。

近年来, 全国的大型矿山都在推进智慧矿山建设, 采用自动化、信息化、数字化、智能化等技术提高设备自动化和智能化水平, 减少高危岗位, 以机械化生产替换人工作业, 提高岗位的生产效率、降低安全事故风险。人工上车取样工作重复、风险高、

效率低, 可以开展自动化和无人化生产的研究, 但是矿石复杂不易实现自动取样, 目前针对原矿石的自动取样系统的研究应用还未广泛推广, 而以粉矿和碎矿等单一品类的自动取样为主。

### 二、自动取样系统的设计思路

本文介绍了一种原矿石自动取样系统的设计研究, 是基于图像视觉识别技术的自动取样方法, 应用于矿车运输过程的自动取样, 整个系统包含矿石视觉智能识别、取样定点定位小车、自动钻矿装置、样品吸取收集装置等子系统的研究和应用。本文介绍的取样方法大部分采用市场通用的设备集成, 少部分装置构件需要自研设计, 能有效降低整套系统的实施成本, 易推广应用<sup>[2]</sup>。

原矿石自动取样系统的主要设备包括视觉识别摄像机、滑轨式取样定位小车、取样机头、潜孔钻装置、样品吸取装置、旋转储料装置、空压系统、液压系统和取样控制中心等。取样过程在矿车过磅计量时进行, 当矿车停于磅秤计量时, 光电触发开关产生触发信号, 视觉识别相机移动拍照, 生成深度图像和三维点云, 经过图像识别算法, 分析计算出卡车相对于基准点的位置, 根据车厢轮廓计算车厢尺寸, 同时分析出矿车装矿状态及矿石分布情况, 根据原矿自动取样点距要求和车厢尺寸, 计算取样点的坐标, 坐标值发送至取样控制中心分析处理, 取样控制中心根据取样点坐标控制滑轨式移动小车, 滑动到取样位置, 启动小车上

作者简介: 周荣平 (1983.04—), 男, 汉族, 云南省彝良县人, 本科, 自动控制工程师, 研究方向: 工矿企业自动化控制系统和信息系统的集成开发。

的机头和钻机，采用钻和吸联动运行的方式，进行自动取样，每车自动选取合适取样点3-6处。

在移动小车上安装升级机构，将安装在升降机构上的钻取装置自动压下在取样点矿石上，同时液压系统启动压紧矿石，自动旋转钻机钻取矿石，通过安装在钻取装置侧方的吸取装置将所钻取的颗粒状或粉状矿石样品吸收到收尘料桶内。

取样时间和取样量主要由称重传感器实现，在样品收集装置底部安装有称重传感器对所吸取收集到的矿石样品进行称重计量，当样品重量达到系统要求重量时，自动停止钻取装置，升降机构自动提升钻取装置，并通过智能图像分析自动定位下一个取样点进行自动取样，完成一车多点钻取后，通过旋转底座自动匹配相应编号的储料桶，样品自动落入旋转储料桶内，完成一次完整的自动取样工作<sup>[3]</sup>。

### 三、自动取样系统的视觉识别定位方法

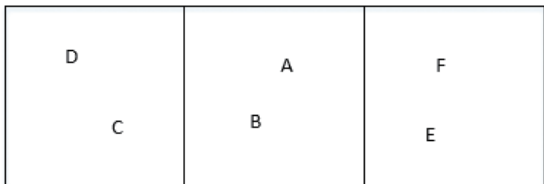
通过视觉摄像机获取的图像信息来分析矿石均匀分布情况、矿石块度大小，运用目标检测算法、目标定位跟踪和激光3D扫描成像技术等计算出适合钻取点x、y、z三维坐标值，由控制中心PLC担任移动定位小车控制系统实现坐标点位控制，实现系统自动定位和取样全过程<sup>[4-5]</sup>。

视觉识别通过双目相机和识别算法来实现，在移动定位小车上合适位置加装双目相机，双目相机是矿石智能识别定位系统的重要组成部分，也是整个系统实现的关键，须自动检测停稳于磅秤上的运输车辆，自动拍摄车厢全貌。在磅秤侧边合适位置安装光电触发开关和激光测距仪，当矿车停在磅秤上进行计量时，光电触发开关产生触发信号，相机拍摄照片，通过图像识别算法自动计算车厢尺寸，自动识别矿车装矿状态、矿石分布以及矿石形状，判断取样点深度，从而为系统提供取样点三维坐标，自动分析取样位置。

通过视觉图像系统发出指令至取样控制中心PLC，滑轨式移动定位小车通过智能图像分析精确定位取样点并自动行走至取样位置，移动定位小车带动钻取机头采用钻和吸同时运行的方式，进行自动取样。

### 四、取样点位确定方法

按照一定的网距和点距均匀布点，每车自动选取合适取样点3-6处，图像识别算法将车厢划分为3个取样区域，每个区域选取合适的1-2个点位进行取样，如点位图所示：



> 取样点位分布图

矿石视觉识别定位系统选取的取样点按照原矿汽车运输人工取样方法进行，在自动取样系统中可以设置每车取样点数，以及设置取样点选取规则，由取样人员根据取样规范进行调整<sup>[6-7]</sup>。

通常每车至少确定3个取样点，在车厢3个取样区域各取一份样，根据取样规则进行调整，点位随着调整，如图所示，在A、B两点中任选一点，在C、D两点中任选一点，在E、F两点中任选一点，如取样不成功，自动选取下一个点位，也可以两个取样点都进行取样。

矿石视觉识别定位系统发送矿车取样方式及取样坐标至取样控制中心PLC，样控制中心PLC发送取样坐标及取样指令至滑轨式移动小车进行取样。

### 五、样品钻取装置系统设计

样品钻取装置是整个自动取样系统中的核心系统，采用主要包含微型潜孔钻机、空压机、漩涡风机、样品收集容器、液压系统及防摇液压装置。钻取装置、吸取装置安装在滑轨移动定位小车上，在滑轨移动定位小车的带动下，移动至矿石智能识别定位系统指定的取样位置，通过视觉图像识别系统精确分析并定位原矿矿石取样点，滑轨移动定位小车根据坐标和激光定位算法，移动到指定位置，再自动固定并伸出钻取装置快速钻取原矿矿石样品，钻杆在电机的驱动下旋转破碎矿石为粉末或颗粒状，同时启动漩涡风机和吸取装置，钻取和吸取完成，收回并横移至卸料点卸入储料桶内<sup>[8-9]</sup>。

由于原矿石的大小形状复杂，车厢内矿石堆分布情况不均，高低起伏，矿石块松动，在钻取装置下钻取样过程中，矿石块会移动，给取样带来极大难度，在取样机头部位与钻取装置连接处，采用一套液压压紧系统，将矿石压紧固定，防止钻头在钻取过程中钻杆摇晃偏摆，同时防止矿石晃动移位。

为了使钻取装置能够平稳且固定落在所精确定位的取样点位置，可以在钻取装置钻头上安装活动柔性、可自动伸缩及自由转向的定制三角架，以便更好的使钻取装置在下落到高低不平取样位置时，能够将钻头合理支撑并定位钻取位置，有效解决钻头钻不进或钻偏的现象，更好地固定钻头及定位钻取。

当钻头旋转启动时，系统自动启动空压机，往钻杆中部吹入压缩空气，边钻的同时将钻下的粉状或颗粒状样品吹起，同时，自动开启漩涡风机将吹起的粉状或颗粒状样品吸取并收集至样品收集装置内，当样品收集装置的称重传感器检测到收集的样品重量到达预设值时，停止当前取样，钻取装置自动升高，滑轨式移动小车返回卸料点将样品卸入储料桶内<sup>[10]</sup>。

### 六、样品收储装置的设计

铁矿石各采区的矿石品位是不一样的，在运输过程中，从运输-计量-取样各环节必须进行矿石品类跟踪，在自动取样系统的设计研究时，就要考虑多种矿石品类取样与收储筛分等，通过汽车衡集中计量系统获取矿石来源、重量和品类等信息，通过旋

转底座自动匹配相应编号的储料桶，储料桶转动至卸料点，所取矿石样品落入储料桶内，完成一次自动取样工作。

为了方便更换储料桶，采用可旋转定位的储料桶转盘底座，在转盘底座上均匀分布9个储料桶位，每个料桶和底座需要编号，根据矿石的采区和品类分配料桶，同时，料桶需要配置备用桶，当料桶装满后启用备用桶，确保样品不会因装满溢出。

样品收储装置包括圆盘式旋转底座、减速电机、定位编码器和料位检测仪等设备，圆盘式转盘底座需要根据实际位置和桶位大小进行设计，储料桶底部会随机作编码标签，与转盘底座对应，样品收储装置安装在移动小车滑动范围，当钻取工序完成后，移动小车回到指定位置进行卸料。

## 七、自动控制系统集成设计

本文研究的是针对汽车运输铁矿石的自动取样，取样过程在汽车过磅计量时进行，汽车计量时系统获取到矿石来源采区，根据定义规则，对同一个采区的矿石采取规则取样，在矿车计量完成后，系统根据取样规则下发取样指令，由自动取样系统自动完成取样的过程，整个取样过程在2-3分钟完成，与人工取样相比提高了取样效率。

在取样区域安装一套电气控制系统，电气控制系统包括控制整个自动取样系统的各种电气设备，如变压器、变频器、开关电源，继电器，断路器、服务器、触摸屏及 PLC 控制器等，由 PLC 控制器实现取样机构、移动小车平台、视觉识别定位系统、集中计量系统、空压系统和液压系统等自动控制，并控制样品收储装置、电子安全门、车辆道闸及传感器等设备，组成自动取样控制

中心，实现整个系统的数据采集、数据处理、数据存储、数据传输及联锁控制，并通过服务器显示器显示矿石智能定位系统定位信息、矿石来源信息和取样频次控制等，控制中心实现储料装置的参数设定、修改及配置，实现设备工作状态及报警记录的显示等。通过操作箱实现移动小车、空压系统、钻取机等设备的手动操作。

自动取样控制中心配置一台工控机作为操作员站，安装系统软件和软件接口等，通过连接集中计量系统，实时读取原矿矿石重量及相关属性信息。当矿车停至汽车衡，集中计量系统完成车辆及矿石来源信息读取后，将本次矿车车牌号及装矿采区信息传输至自动取样控制中心控制器，控制器经过数据处理，控制样品收储装置将对匹配的料桶旋转至卸料点，实现自动取样模式下，矿石来源与储料装置桶号的精准和快速匹配。并根据矿石智能定位系统发送的取样坐标，控制取样移动小车实现矿石的取样和卸料。

## 八、结语

原矿石汽车运输中自动取样系统研究与应用，可实现机器替代劳动强度大、危险系数高和频繁重复作业的岗位，优化人员配置，改善现场作业工作环境，解决人工取样作业存在的高处坠落、机械伤害、车辆伤害等安全隐患问题，提升现场安全管控、生产过程管理的可视化，提高采矿设备的自动化和信息化水平，降低和减少生产安全事故的发生，也可以提高取样质量，对矿车上进行定点钻取和吸取，避免了人工点位偏差，本文介绍的系统易于推广应用。

## 参考文献

- [1] 李鹏飞, 李子鹏. 工业机器人在冷轧产线的应用实践 [J]. 山西冶金, 2023, 46(11): 196-197, 200.
- [2] 云南昆钢电子信息科技有限公司. 适用于矿石动态取样的机器人取样装置与取样机器人: CN202321565783.9 [P]. 2024-04-12.
- [3] 杨晓微. 采矿自动化取制样系统的应用与发展 [J]. 自动化应用, 2022(9): 123-125, 129.
- [4] 郭成伟, 王欢, 蒋晓光, 等. 铁矿石、锰矿石和铬矿石取样和样品制备技术概况 [J]. 化学分析计量, 2020, 29(3): 137-143.
- [5] 朱东岳. 堆积矿石采样装置设计 [J]. 内蒙古科技与经济, 2021(20): 121-122.
- [6] 吴国境, 韦星羽, 陈永欣, 等. 全自动取制样系统运行问题及对策研究 [J]. 大众科技, 2021, 23(06): 143-145.
- [7] 李艳秋, 张西春, 李洲, 等. 矿物取制样系统偏差检验 [J]. 现代矿业, 2020, 36(09): 242-245.
- [8] 孙伟. 试论冶金企业金属矿石自动取制样技术 [J]. 世界有色金属, 2020, (08): 14-15.
- [9] 王春生. 铁矿石全自动在线检测系统的应用现状及发展趋势 [J]. 现代矿业, 2020, 36(02): 103-105+112.
- [10] 艾菁, 袁黎刚, 沈怡平. 25万t级矿石接卸码头机械取制样设施工艺设计 [J]. 港口装卸, 2011, (02): 26-28.

# 先进过程控制在气分装置的应用

池占胜, 颜景义, 郑伯刚

浙江石油化工有限公司, 浙江 舟山 316200

**摘 要 :** 为提高装置的自动化程度、稳定产品质量、降低装置能耗, 同时提升丙烯收率, 实现装置效益最大化, 在气分装置上实施先进过程控制技术。应用结果表明: 先进过程控制投用率 98% 以上, 装置操作频次下降 61%; 发挥 APC 技术卡边优化作用, 降低装置能耗 4.5%, 提高丙烯收率 1.56%, 效益估算约 489.17 万元 / 年。

**关 键 词 :** 先进过程控制; 气分装置; 降低能耗; 提高收率

## Application of Advanced Process Control Technology in Gas Separation Unit

Chi Zhansheng, Yan Jingyi, Zheng Bogang

Zhejiang Petrochemical Co., Ltd. Zhoushan, Zhejiang 316200

**Abstract :** To improve the automation level of the unit, stabilize product quality, reduce energy consumption, increase propylene yield, and maximize unit efficiency, advanced process control technology is implemented in the gas separation unit. Application results show that the utilization rate of advanced process control is over 98%, and the operation frequency of the unit has decreased by 61%. By leveraging the optimization function of APC technology, energy consumption of the unit has been reduced by 4.5%, propylene yield has increased by 1.56%, and the estimated benefit is approximately RMB 4.8917 million per year.

**Keywords :** advanced process control; gas separation unit; reducing energy consumption; increasing yield

先进控制技术 (Advanced Process Control, APC) 是基于模型预测控制算法 (Model Predictive Control, MPC) 的一项控制技术, 以模型为基础, 同时包含了预测的原理, 还兼具最优控制的基本特征, 随着计算机的普及, 得到推广和应用; MPC 是在 20 世纪 70 年代末开始出现的一种基于模型的计算机控制算法<sup>[1]</sup>。该技术有如下特点:

1. 对模型要求低:

功能上: 能满足上述功能的均可以作为预测模型。

结构上: 状态方程、传递函数这类传统的模型都可以作为预测模型, 对于线性稳定对象, 甚至阶跃响应、脉冲响应这类非参数模型也可直接作为预测模型使用<sup>[1]</sup>。

2. 能够实现大时滞、多变量耦合等复杂的多变量过程控制, 被控变量和控制变量之间存在各种约束条件<sup>[2]</sup>。

3. 应用传统的控制理论难以解决高度非线性问题, 而应用先进控制技术则可以有效地解决这一问题<sup>[2]</sup>。

4. 随着 DCS 技术的不断发展, 当前很多的先进控制策略可以在 DCS 上实现, 先进控制的可靠性、可维护性以及可操作性都得到了比较大的提升<sup>[2]</sup>。

随着石油化工行业的发展, APC 在炼油化工领域得到了广泛应用。众多国内外大型石油化工企业应用先进控制技术实例表明 APC 可提高生产负荷和产品回收率, 带来可观的经济效益<sup>[10]</sup>。APC 系统能够全面提升装置的抗干扰能力, 使主要工艺指标更加平稳; 并通过卡边优化, 提高装置目标产品的收率, 降低装置的物耗和能耗, 实现装置“安、稳、长、满、优”的运行目标<sup>[3]</sup>。

某石化公司 70 万吨 / 年气分装置, 存在关键工艺指标波动较大、运行平稳性欠佳、产品收率和质量不稳定、能耗偏高等问题; 为提升装置的自动化水平、稳定产品质量、降低能耗、提高高附加值产品丙烯的产率, 实现装置效益最大化, 2024 年 7 月投用 APC, 实现装置的精细化控制和卡边优化, 达成了节能降耗与提高收率的目的<sup>[3]</sup>。本文通过对比 APC 实施前后装置主要参数变化, 包括操作频次、能耗、收率和经济效益。全面考察了该技术的应用效果。

## 一、装置简介

气分是一套完整的精馏装置, 它是利用被分离的组分之间存在相同压力下沸点差来完成多组分分离。根据精馏原理, 利用原料中各组分相对挥发度的不同, 采用物理方法将脱除硫化氢和硫

醇的催化液化气进行不同组分的切割分离, 其主要产品是丙烯、丙烷和碳四。

本文提到的气分装置采用常规三塔流程, 包括脱丙烷塔、脱乙烷塔、丙烯精馏塔和公用工程部分, 其中丙烯精馏塔是由两个塔 A 和 B 串联组成。工艺流程如下: 装置外来的液化气, 经原



料缓冲罐沉降脱水，一路经原料泵经换热后从中上部进入脱丙烷塔，从脱丙烷塔顶出来的碳二和碳三组分，经冷却后进入回流罐；回流罐抽出两路，一路返脱丙烷塔顶做回流；另一路经泵送至脱乙烷塔，脱乙烷塔是全回流操作，塔顶抽出经回流罐再次返塔打回流，塔顶设置压控阀，泄放燃料气，防止乙烷集聚造成塔压过高，脱乙烷塔塔底碳三自压送到丙烯精馏塔；丙烯精馏塔分为 A 塔和 B 塔，B 塔是上塔，A 塔是下塔。A 塔塔底采用热水作为重沸器热源，塔底丙烷抽出后，经冷却送出装置，丙烯塔 A 塔塔顶物料直接进 B 塔，B 塔塔底物料打回 A 塔，B 塔塔顶的丙烯组分进丙烯回流罐；回流罐中的丙烯经冷却、过滤、脱水后，产品出装置<sup>[4]</sup>。

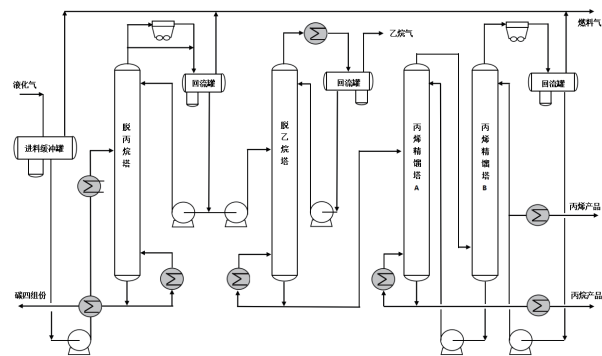


图 1 气分装置工艺流程简图

能源利用方面，气分装置充分利用热联合，脱丙烷塔底重沸器采用催化顶循油作为热源，以 0.5MPa 低压蒸汽作为开工辅助热源，这在一定程度上降低了能耗。但对气分装置来说，其精馏过程是一个传质传热过程，产品纯度要求高，回流比大，能耗相对其他种类的工艺装置仍然较大，因此工艺有优化能耗的需求<sup>[4]</sup>。

## 二、项目实施

为保证 APC 的应用效果，APC 技术实施前，首先要完成基础控制回路 PID 整定和控制方案优化，提高装置的自控率和有效投用率，发挥 APC 多变量协调控制的作用，并达到卡边优化的目的。其次，结合装置运行状态和工艺人员经验，优化控制方案，避免人为操作和干预，干扰和影响 APC 控制，如脱丙烷塔顶压力和丙烯塔顶压力，修改为压力和冷后温度串级控制，保持塔压在合理的区间范围内。

完成上述工作后，围绕气分装置与工艺讨论并制定详细功能设计方案，按照方案开展阶跃测试确定变量间的模型关系，下装 DCS 与 APC 数据传递程序并测试相关逻辑组态，保证程序的可靠性和安全性，最后投用 APC、优化参数并完成标定验收。

## 三、控制器设计

APC 系统以现有的 DCS 基础控制回路为基础，综合考虑气分装置各单元之间及单元内部变量之间相互的关联性，结合装置的设计理念、操作经验和工艺指标等，确定影响和决定装置运行的关键变量并利用模型确定变量之间的关系，完成控制器设计。装

置整体的控制策略设计如下：

1. 调节空冷冷后温度，稳定控制丙烯塔塔顶压力。
2. 调节丙烯塔塔底温度和回流量，稳定控制和丙烯塔运行。
3. 丙烯塔塔顶压力、塔底液位和塔顶丙烷含量作为约束变量，保证产品质量合格。
4. 在约束变量满足要求的情况下，操作回流比和塔底温度趋近于边界，卡边优化丙烯塔运行，提高丙烯收率，降低装置能耗。

根据以上的原则，在气分装置上设计了两个 APC 控制器，分别是：

（一）脱丙烷塔控制器：设计 1 个操作变量和 2 个被控变量。以回流量作为操作变量，对脱丙烷塔的操作实施控制与优化。将脱丙烷塔第 25 层塔盘温度设为约束变量，以确保产品质量。设定合理区间，优化回流比，实现脱丙烷塔的卡边优化。

（二）丙烯塔控制器：设计 3 个操作变量和 5 个被控变量。其中空冷冷后温度控制丙烯塔塔顶压力，实现塔顶压力稳定控制，同时减少操作次数。操作变量塔底温度和回流量，与被控变量塔顶压力、塔底液位、塔顶丙烷含量和回流比相对应，实现多变量协调控制，满足工艺指标约束，保证丙烯和丙烷合格，同时引入优化功能，实现卡边优化。

## 四、应用效果

为验证 APC 技术在本装置实施的效果，下面从操作频次、装置能耗、丙烯收率 and 经济效益四个方面，对比 APC 投用前后装置的运行情况。

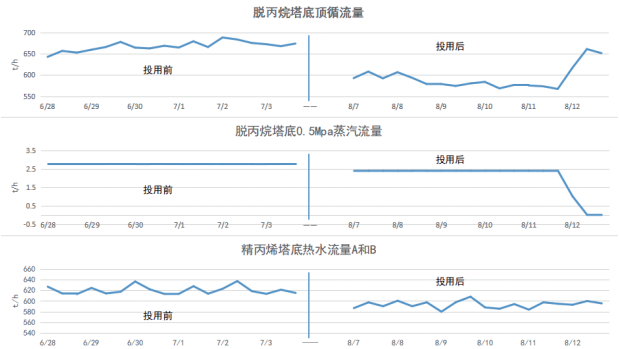
### （一）操作频次

进料负荷波动，工艺人员频繁干预，操作频次居高不下，进料缓冲罐液位控制作用太强，没有缓冲作用。液位可以在工艺指标一定范围内波动，具有一部分的控制自由度，可以用于装置上下游的物料平稳过渡，减少下游单元进料流量波动<sup>[9]</sup>。本项目中，首先要解决进料负荷波动的问题，要充分发挥进料缓冲罐、各回流罐和塔器液位的缓冲作用，解决进料负荷升降过快对装置的影响；另外，发挥 APC 多变量控制的优势，把工艺人员操作时参考的变量都纳入到 APC 中。APC 投用后，装置的自控率和有效投用率都达到了 100%，对比投用前后装置的操作频次，投用后操作频次降低约 837 次/周，约 61%。大幅降低了操作人员的劳动强度，使装置操作人员有更多的时间与精力来思考操作上的优化<sup>[6]</sup>，提升了装置的整体安全水平<sup>[6]</sup>。

### （二）装置能耗

APC 的功能之一就是控制受控参数在一定范围内的波动，通过模型预测数值与实际测量数值比对，将比对结果反馈给优化控制程序，控制操作变量的数值，使受控对象平稳运行<sup>[7]</sup>。波动降下来了，就有卡边优化的空间了<sup>[10]</sup>；分析气分装置的能耗，可优化的部位主要集中在两塔（脱丙烷塔和丙烯精馏塔）塔底热源和塔顶空冷，在保证产品质量前提下，APC 重点对两塔的操作条件做了卡边优化，对比投用前后与装置能耗相关的参数变化可看出

(见图1),投用后,影响能耗的主要参数均有明显的降低。



> 图1 投用前后与装置能耗相关的参数趋势变化对比图

采集相关数据并计算得出,投用后,装置能耗降低了4.5%,具体数据见表1。

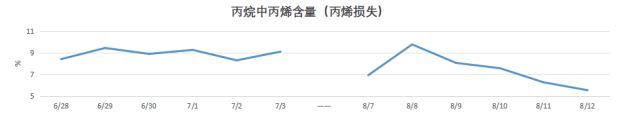
表1 常规控制和 APC 控制下装置能耗数据对比

项目名称	单位	单位能耗 /kgEo/t	
		常规控制	APC 控制
1.3MPa 蒸汽	t/h	1.04	1.07
0.5MPa 蒸汽	t/h	2.49	2.25
循环水	t/h	1.76	1.85
伴热给水	MJ/h	23.08	22.44
0.7MPa 氮气	Nm3/h	0.18	0.19
电	kwh/h	3.44	3.57
顶循热供	MJ/h	11.48	10.14
合计	kgEo/t	43.47	41.52

对 APC 投用前后的能耗数据进行对比分析。装置年运行时间按8400小时计算。降低能耗的经济效益约为 350.74 万元 / 年。

(三) 丙烯收率

丙烯精馏塔作为产品塔,塔的操作和运行至关重要,此塔优化的目标是在保证产品质量的情况下,减少丙烯损失,降低丙烷产品中丙烯的含量。投用 APC 后,丙烯塔底丙烷中的丙烯含量明显降低(见图2),均值降低 1.56 %,即提高了1.56%的丙烯收率,结合丙烯流量和装置年开工时间,折算后的经济效益约为 138.43 万元 / 年。



> 图2 常规控制和 APC 控制下丙烷中丙烯含量

(四) 经济效益

总的经济效益等于增产的丙烯和降低的能耗之和,其中多产丙烯效益为 138.43 万元 / 年,降低能耗节省 350.74 万元 / 年,合计489.17万元 / 年。

五、结论

在气分装置上应用先进控制技术,发挥了该技术多变量协调控制、卡边优化的技术特点,实现了降低装置能耗、提高产品收率的目的,同时改善装置操作条件,降低操作人员劳动强度,实现了经济效益和社会效益的双收益。

参考文献

[1] 王树青. 工业过程控制工程 [M]. 2002.12. 北京: 化学工业出版社, 2002.12: 185.  
[2] 张永辉, 纪红霞. 先进控制在炼油化工行业的应用 [J]. 化工管理, 2022年01月, 69–71.  
[3] 赵长斌. 先进过程控制系统在催化裂解和气体分离装置的应用 [J]. 石化技术与应用, 2023年3月, 第41卷(2期): 130–134.  
[4] 无作者. 2#70万吨 / 年气体分馏装置技术规程, 浙江石油化工有限公司, 2022.5: 1–2, 8–9.  
[5] 张抗抗. MPC 的经济效益在哪里? (1) 间接经济效益, (2024–11–04) .  
[6] 张留煜, 柴昕, 刘炳杰. 先进过程控制在气分装置中的应用 [J]. 石油化工自动化, 2014, 50(3): 31–34, 66.  
[7] 卢俊文. 先进过程控制在催化重整装置中的应用 [J], 石油化工技术与经济, 2023年2月, 第39卷(1期): 31–34.  
[8] 王炳淞. 先进过程控制在芳烃抽提装置中的应用 [J], 石油化工自动化, 2022年3月, 第58卷(2期): 16–20.  
[9] 邓昌付. 常减压装置实施优化中的先进控制系统提升 [J], 中外能源, 2022年, 第7期: 89–94.  
[10] 韩文华. 先进过程控制在芳烃联合装置的应用研究 [J], 技术应用与研究, 2022年, 第17期: 132–134.



# 钢结构焊接工艺优化对结构性能的影响

王清, 李维宇, 代连水, 张涛, 董慧欣  
中建六局华北建设有限公司, 北京 100071

**摘要：** 本文的研究主要聚焦于钢结构焊接工艺优化这一关键主题，深入地探讨了其对钢结构各项性能的影响。首先文章阐述了钢结构焊接工艺的基础理论。接着再分别从强度、韧性、疲劳性能等方面详细分析了焊接工艺优化所产生的影响，当中包括工艺参数优化、焊接顺序与方法调整以及各类相关因素的控制对各性能指标的作用机制。此外还探讨了焊接工艺优化与钢结构抗震、防火等其他性能的关联，希望能够全面地揭示焊接工艺优化在提升钢结构性能方面的重要性，进而为钢结构焊接实践及相关工程应用提供有价值的参考依据。

**关键词：** 钢结构；焊接工艺优化；结构性能；强度

## Effect of Optimization of Steel Structure Welding Process on Structural Performance

Wang Qing, Li WeiYu, Dai Lianshui, Zhang Tao, Dong Huixin  
North China Construction Co., Ltd., China Construction Sixth Bureau, Beijing 100071

**Abstract：** The research in this paper mainly focuses on the key topic of steel structure welding process optimization, and deeply discusses its influence on various properties of steel structure. Firstly, the basic theory of steel structure welding process. Then, the influence of welding process optimization is analyzed in detail from the aspects of strength, toughness and fatigue performance, including the optimization of process parameters, the adjustment of welding sequence and method, and the action mechanism of the control of various related factors on each performance index. In addition, the correlation between the welding process optimization of steel structure and other properties is discussed, hoping to comprehensively reveal the importance of welding process optimization in improving the performance of steel structure, so as to provide valuable reference for the welding practice of steel structure welding and related engineering applications.

**Keywords：** steel structure; welding process optimization; structural performance; strength

## 引言

在现代建筑和工业领域的蓬勃发展进程当中，钢结构凭借其强度高、自重轻、施工速度快等诸多优势，在各类工程项目中得到了广泛应用。而焊接作为钢结构连接的关键工艺，其质量的好坏直接决定了钢结构整体的性能和安全性。在实际工程中，相关人员通过对焊接工艺进行优化，能够有效提升钢结构的强度、韧性、疲劳寿命等重要性能指标，从而进一步地保障钢结构在不同工况下的可靠服役。因此深入研究钢结构焊接工艺优化，对于结构性能的影响具有重要的现实意义，此举不仅有助于提高钢结构工程的质量，还能推动相关行业的可持续发展<sup>[1]</sup>。

## 一、钢结构焊接工艺基础理论

### （一）钢结构焊接原理与过程

钢结构焊接是利用电能或其他能源产生的热量，使得焊条或焊丝与母材金属局部熔化，从而形成熔池，随后熔池冷却凝固即可使焊件连接。从微观角度来看，母材金属的原子在焊接电弧的高温作用下，能够获得足够的能量，进而挣脱晶格束缚，始终处于活跃状态。接着其会与焊条或焊丝熔化后提供的填充金属原子相互扩散、融合，并且在冷却过程中按照一定的结晶规律重新排

列，最终形成焊缝金属。即整个焊接过程涉及到起弧、熔池形成、金属熔合、熔池凝固以及焊缝成型等多个阶段，并且每个阶段都相互关联，均对最终的焊接质量有着重要影响。

### （二）焊接工艺参数及其相互关系

焊接工艺参数是影响钢结构焊接质量和性能的关键因素，其主要包括焊接电流、焊接电压、焊接速度、焊接热输入等。展开来说，焊接电流决定了单位时间内通过焊件的电荷量，它直接影响着焊缝的熔深，通常电流越大熔深就会越深，但过大的电流也可能导致焊件过热，从而引起焊缝金属晶粒粗大，影响其力学性

作者简介：王清（1991.02-），男，汉族，天津市，工程师，本科，研究方向：土木工程。

能。而焊接电压与电弧长度密切相关，当电压过高时会会使电弧过长，导致焊接过程不稳定，易产生飞溅。若电压过低则可能造成电弧熄灭，从而无法正常施焊。

焊接速度反映了焊接过程中焊条或焊丝沿焊接方向移动的快慢程度，即它与焊接电流、电压共同决定了焊接热输入。另外焊接热输入是指单位长度焊缝所吸收的热量，其计算公式为：热输入 = 焊接电流 × 焊接电压 / 焊接速度。相关人员合理控制焊接热输入，对于保证焊缝质量至关重要。因为过高的热输入会使焊缝及热影响区组织过热，降低其强度和韧性，而过低的热输入则可能导致焊缝熔合不良、未焊透等缺陷。

### （三）焊接材料的选择与作用

1. 焊条由药皮和焊芯组成，其中焊芯作为填充金属成分与母材相近，主要作用是在焊接过程中熔化后填充焊缝。药皮则具有稳弧、造气、造渣等多种功能，因此它能够保护熔池免受空气中氧气、氮气等有害气体的侵入，同时改善焊缝金属的化学成分和性能。

2. 对于焊丝的选择同样关键，针对于不同的钢结构材质，如碳钢、合金钢等，相关人员需要选用与之匹配的焊丝，以此保证焊缝金属与母材在化学成分、力学性能等方面具有良好的相容性<sup>[2]</sup>。

3. 焊剂常用于埋弧焊等焊接方法中，将它覆盖在焊接熔池表面，能起到隔离空气、保护熔池的作用。并且其还能够参与熔池的冶金反应，细化焊缝晶粒，以提高焊缝的质量和性能。

## 二、焊接工艺优化对钢结构强度性能的影响

### （一）焊接工艺参数优化与强度提升

通常在焊接厚板钢结构时，相关人员应适当增加焊接电流，同时合理降低焊接速度，以此保证足够的热输入，进而确保焊缝根部完全熔透，使焊缝金属填充更加饱满，具有有效地传递应力，最终提升结构在承受拉力、压力等载荷时的强度表现。此外对于不同材质的钢结构来说，如低合金高强度钢，相关人员应根据其化学成分和力学性能特点，针对性地优化焊接电压等参数，如此才能使焊缝金属的微观组织更加致密均匀、晶粒细化。

### （二）焊接顺序与方法优化对强度的影响

由于在复杂的钢结构焊接中，不同的焊接顺序会导致焊件产生不同的残余应力分布和变形情况。因此焊接顺序的合理安排对钢结构强度有着不容忽视的影响。例如对于大型框架结构的焊接，如果相关人员采用无序的焊接顺序，就可能会使结构局部产生过大的残余应力。此时在后续使用过程中，这些残余应力会与外加载荷叠加，极易容易引发应力集中，致使结构的强度承载能力降低，甚至导致结构过早失效。而相关人员经过优化焊接顺序，如采用对称焊接、分段退焊等方法，则可以有效控制焊接变形和残余应力的产生<sup>[3]</sup>。

与此同时焊接方法的选择和优化也同样重要，其中不同的焊接方法具有不同的特点和适用范围。例如气体保护焊相较于传统的手工电弧焊，其更能够提供更稳定的电弧和更好的焊缝保护

效果，从而减少焊缝中的气孔、夹渣等缺陷，使得焊缝金属的质量更高，并且强度性能也更优。

### （三）焊接缺陷对结构强度的影响及控制

焊接缺陷是影响钢结构强度的重要因素之一，一般常见的焊接缺陷包括气孔、夹渣、裂纹等。就气孔来说，去的存在会减小焊缝的有效截面积，使得焊缝在承受载荷时应力集中现象加剧，进而降低焊缝的承载能力，严重时此问题还可能会导致焊缝在较低的载荷下就发生破坏。

为了控制焊接缺陷对结构强度的影响，相关人员在焊接工艺优化过程中需要从多个方面采取措施。第一要严格控制焊接材料的质量，以此确保焊条、焊丝等无受潮、油污等杂质；第二是要优化焊接工艺参数，从而保证焊接过程的稳定性，并避免因参数不当产生气孔、夹渣等缺陷；第三则是加强焊接前的焊件清理工作，确保去除母材表面的铁锈、油污等杂质，以防止其混入焊缝；第四为采用合适的焊接后检验方法，如无损检测技术（超声检测、射线检测等），如此可及时地发现并处理焊接缺陷，从而保障钢结构的强度性能<sup>[4]</sup>。

## 三、焊接工艺优化对钢结构韧性性能的影响

### （一）焊接热循环对钢结构韧性的影响机制

实际在焊接热循环作用下，焊缝及其周围的母材会经历快速加热、高温停留以及随后的快速冷却过程，而这会使得材料的微观组织发生显著变化，进而影响其韧性性能。具体来说，当焊缝金属快速加热到高温时，其原有的晶粒会长大，但在冷却过程中，如果冷却速度过快，就可能会形成粗大的马氏体组织，而马氏体组织硬度高、脆性大，因此其会严重降低焊缝的韧性。相反而言，如果冷却速度过慢，则可能出现贝氏体、珠光体等组织，虽然此时韧性相对马氏体有所提高，但可能达不到理想的韧性要求。

因为不同的焊接工艺参数会导致不同的热循环曲线，从而影响焊缝及热影响区的组织转变和韧性表现。对于深入了解焊接热循环对钢结构韧性的影响机制，可帮助相关人员通过焊接工艺优化来改善钢结构韧性。

### （二）焊接工艺参数优化与韧性改善

从焊接工艺参数入手可改善钢结构的韧性性能。其中在焊接电流、电压和速度的选择上，相关人员要综合考虑其对焊接热输入和热循环的影响。例如适当降低焊接热输入，即通过合理减小焊接电流、提高焊接速度等方式，来控制焊缝及热影响区的冷却速度，使其形成更为细小均匀的组织，如细晶粒的铁素体和珠光体混合组织。由于这种组织具有较好的韧性，因此其能够提高焊缝和热影响区的抗冲击能力，从而提升钢结构整体的韧性<sup>[5]</sup>。

与此同时，对于一些对韧性要求较高的钢结构而言，如低温环境下使用的容器、管道等，相关人员还可以采用多层多道焊的工艺方法。在进行多层多道焊时，因为后续焊道对前一层焊道起到了重新加热和细化晶粒的作用，所以此方法能够有效改善焊缝金属的组织，使其韧性得到进一步提升。并且在选择焊接材料

时,相关人员也应选用含有适量合金元素(如镍、钼等)的焊条或焊丝,原因是这些合金元素可以细化晶粒、提高材料的韧性转变温度,从而增强钢结构在低温等特殊工况下的韧性表现。

### (三) 焊后热处理对钢结构韧性的恢复与提升

在焊接过程中由于热循环的影响,焊缝及热影响区的组织和性能发生了变化,所以部分区域可能出现韧性下降的情况。但通过焊后热处理,则可以对焊接接头进行适当的加热、保温和冷却处理,预习调整其微观组织,恢复并提升韧性<sup>[9]</sup>。实践当中,焊后热处理成为了相关人员改善钢结构韧性的重要手段之一。

具体而言,对于一些中、高强度合金钢钢结构,焊后进行回火处理,相关人员可将焊接接头加热到低于母材相变点的某一温度范围,在保温一定时间后缓慢冷却。其中在回火的过程中,其能够消除焊接残余应力,使焊缝及热影响区的马氏体组织分解,进而形成回火索氏体等韧性较好的组织。如此即可有效地提高焊接接头的韧性,且降低材料的脆性,使其在后续使用过程中能够更好地承受冲击载荷等外力作用,最终将保障钢结构的安全可靠运行。

## 四、焊接工艺优化对钢结构疲劳性能的影响

### (一) 焊接接头疲劳破坏机理与影响因素

焊接接头由于存在焊缝形状的不连续性、焊接缺陷以及残余应力等因素,因此其会产生应力集中现象,即在交变载荷的反复作用下,应力集中处的材料首先产生微观裂纹。而这些微观裂纹在交变应力的持续作用下,则会沿着焊缝金属与母材的界面、热影响区等薄弱部位逐渐扩展,当裂纹扩展到一定程度时,剩余的承载截面就会无法承受外加载荷,进而发生突然断裂,导致钢结构失效<sup>[7]</sup>。中影响焊接接头疲劳性能的因素也是众多的,其主要包括了焊接工艺参数、焊接接头的几何形状、焊接缺陷、残余应力水平以及钢结构所处的工作环境(如温度、湿度等)等。

### (二) 焊接工艺参数优化与疲劳寿命延长

相关人员合理地控制焊接热输入,能够避免过大的热输入导致焊缝及热影响区组织粗大、性能变差,从而减少应力集中的程度,并提高焊接接头的抗疲劳能力。举例来说,其在焊接薄板钢结构时,采用较小的焊接电流和较快的焊接速度,既能保证焊缝质量,又能使焊缝金属的组织更加细密均匀,进而降低焊缝表面

的粗糙度,并减少应力集中源。此时在交变载荷作用下,可延缓微观裂纹的萌生,最终延长钢结构的疲劳寿命<sup>[8]</sup>。

### (三) 焊接结构细节设计与疲劳性能提升

焊接结构细节设计对钢结构的疲劳性能有着至关重要的影响,而其中涉及到了焊缝的形状、尺寸以及接头形式等设计。对于承受较大疲劳载荷的焊接结构,相关人员可采用对接接头形式并保证焊缝根部完全熔透,原因是相较于角接头等形式,其应力传递更加均匀,因此疲劳强度更高。同时在结构设计中,需要避免焊缝过于集中布置,即合理分散焊接接头,也有助于降低因焊缝集中导致的整体结构应力集中程度,能够有效地提高钢结构的疲劳性能,延长其在实际使用中的疲劳寿命<sup>[9]</sup>。

## 五、焊接工艺优化与钢结构其他性能的关联

### (一) 焊接工艺优化对钢结构抗震性能的影响

焊接工艺优化对其抗震性能有着重要影响,一方面,相关人员通过优化焊接工艺参数和焊接顺序,可减少焊接残余应力和焊接变形,从而使钢结构在地震作用下的整体受力更加均匀合理。另一方面,因为焊接接头的质量直接关系到钢结构在地震反复作用下的可靠性。所以相关人员通过优化焊接工艺,可确保焊缝无缺陷、焊接接头强度和韧性满足要求,以此防止在地震过程中焊接接头处出现裂纹扩展、断裂等情况。<sup>[10]</sup>

### (二) 焊接工艺优化对钢结构防火性能的影响

钢结构虽然具有诸多优点,但在高温环境下,其强度和刚度会迅速下降,所以其防火性能较差。但焊接工艺优化在一定程度上可以影响钢结构的防火性能。

## 六、结语

因为钢结构焊接工艺优化对其结构性能有着多方面且深远的影响。所以在实际的钢结构工程应用中,相关人员需要充分地考虑各种因素,且深入地研究焊接工艺优化与结构性能之间的关系,再结合具体的工程要求和使用环境,制定出科学合理的焊接工艺方案。如此一来才能为钢结构的高质量建设和长期稳定运行奠定坚实基础。

## 参考文献

- [1] 黄礼琼. 门式刚架厂房钢结构焊接工艺优化[J]. 设备管理与维修, 2017,(09):87-88.
- [2] 彭移华. 梦幻城项目钢结构复杂节点焊接工艺优化[J]. 广船科技, 2017,37(03):33-35.
- [3] 达运社, 达卿文. 钢结构焊接工艺评定的优化方法[J]. 现代制造技术与装备, 2018,(07):139-140.
- [4] 程登, 张发荣, 李正, 等. 建筑钢结构箱形构件电渣焊焊接工艺的优化[J]. 金属加工(热加工), 2022,(10):54-57.
- [5] 李冉, 梅乾龙, 赵通, 等. 船体结构焊接工艺参数优化研究[J]. 机械设计与制造工程, 2022,51(06):43-46.
- [6] 王朋, 黄斌. 输电杆塔挂点结构焊接工艺分析与优化[J]. 焊接技术, 2022,51(03):68-71.
- [7] 于洋, 吕安松, 王尚典. 轨道车辆车顶钢结构焊接工艺分析与优化[J]. 交通节能环保, 2019,15(06):28-31.
- [8] 范瑞瑞, 杨安杰, 张林涛. 复杂项目劲性结构梁柱节点施工研究[J]. 中华建设, 2023,(09):143-145.
- [9] 王雄. 钢结构焊接工艺优化算法及其推理机制研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2018,(04):93.
- [10] 贾晓喆. 钢结构焊接工艺优化算法及其推理机制研究[D]. 南京航空航天大学, 2015.

# 一种机械式手动变载吸能技术研究

王卫, 石小潘, 马武明, 刘鹏

航空工业航宇救生装备有限公司, 湖北 襄阳 441003

**摘 要 :** 抗坠毁座椅能直接为乘员提供过载保护, 是直升机抗坠毁能力的重压组成部分。目前我国直升机配套的抗坠毁座椅均配套 85% 抗坠毁生存率的固定载荷吸能器, 而国外早已配套 95% 抗坠毁生存率的变载吸能器。本文以椅腿高度集成式 U 型翻转板式吸能器为研究对象, 深入分析 U 型翻转板式吸能器的吸能原理, 通过对影响 U 型翻转板式吸能器吸能载荷的相关参数进行分析, 提出一种满足 95% 抗坠毁生存率的机械式手动变载吸能器设计方案, 并通过理论分析和试验验证, 验证其可行性, 为变载吸能器的发展提供基础。

**关 键 词 :** 抗坠毁座椅; 85% 抗坠毁生产率; 95% 抗坠毁生产率; 手动变载吸能器

## A Study on Mechanical Manual Variable Load Energy Absorption Technology

Wang Wei, Shi Xiaopan, Ma Wuming, Liu Peng

Aviation Industry Aviation Yu Life Saving Equipment Co., Ltd. Xiangyang, Hubei 441003

**Abstract :** The anti-crash seat can directly provide overload protection for the crew, which is a part of the helicopter anti-crash capacity. At present, the anti-crash seats in China are equipped with fixed load energy absorber with 85% crash-resistant survival rate, while foreign countries have already equipped with variable load energy absorber with 95% crash-resistant survival rate. In this paper, based on the height of U-type flip plate absorber as the research object, deeply analyzes the energy absorption principle of U-type flip plate absorber, by analyzing the related parameters of U-type flip plate absorber, proposed a design of mechanical manual load absorber which meet the survival rate of 95% crash resistance, and verify the feasibility through theoretical analysis and test, provide foundation for the development of variable-load energy absorber.

**Keywords :** anti-crash seat; 85% anti-crash productivity; 95% anti-crash productivity; manual variable load energy absorber

## 引言

武装直升机在现代战争中发挥着越来越重要的作用, 飞行员及其乘员的救生问题就成为当今武装直升机设计者们的重要研究课题。抗坠毁座椅作为乘员防护的核心部件, 它在直升机发生坠机事故时限制从机身传到乘员的载荷, 以降低乘员在坠撞可生存事故下的伤亡率<sup>[1]</sup>。

抗坠毁座椅的核心部件是吸能器, 吸能器的性能直接决定了座椅的抗坠毁性能。座椅吸能器对维持座椅结构的完整性和提高乘员的生存率起着举足轻重的作用。据统计, 未装吸能器时, 一年内发生的事故中由于加速度造成的损伤, 飞行员为 23.3%, 其它乘员为 42%, 由于加速度造成的死亡, 飞行员为 18%, 其他乘员为 54%; 在安装吸能器后, 这种情况得到了极大的改善<sup>[2]</sup>。

目前国内现役直升机座椅采用一种近似恒定载荷-位移特性的吸能器使乘员减速。为了在座椅乘员重量范围内发挥最大的效能, 这个恒定载荷是按第 50 百分位乘员重量设计的。这就意味着较轻的乘员比较重的乘员承受更大的加速度量值, 但后者却有更大的位移。因此, 较轻的乘员承担脊柱损伤的风险, 较重的乘员虽然承受的加速度较小但却承担位移过大“冲到底”的风险, 同样可能造成脊柱损伤的危险<sup>[3]</sup>。

因此, 有必要对直升机抗坠毁座椅手动变载吸能技术进行研究, 对目前的定载吸能器进行改进设计, 使吸能器可根据乘员的重量调节其启动载荷, 提高抗坠毁座椅的抗坠毁性能, 从而对不同百分位的乘员提供最佳保护。

## 一、吸能器工作原理和参数计算

### (一) 吸能器工作原理

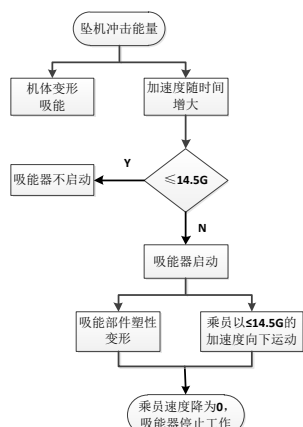
直升机发生坠撞事故时, 在坠地瞬间强大的冲击载荷作用下

起落架和机体开始塑性变形吸收能量, 机体的负加速度随时间增大。当机体的负加速度达到某一设计值后乘员和座椅可动部分以一个恒定的启动载荷沿座椅骨架的两个滑柱向下运动, 直到冲击载荷小于吸能器启动载荷以后位移才停止<sup>[4]</sup>。此启动载荷是根据坠

作者简介: 王卫 (1989.11-), 男, 湖北省襄阳市人, 硕士研究生, 高级工程师, 航宇救生装备有限公司, 研究方向: 航空救生技术。



地瞬间所产生的最大加速度、速度和作用时间的脉冲波形所预设的。乘员的有效重量和座椅可动部件产生的巨大动能主要通过吸能装置的塑性变形来吸收，确保乘员所承受的过载不超过人体耐受极限，保证乘员的生命安全<sup>[5]</sup>。抗坠毁座椅吸能工作过程如图1所示。



> 图1 吸能器工作流程图

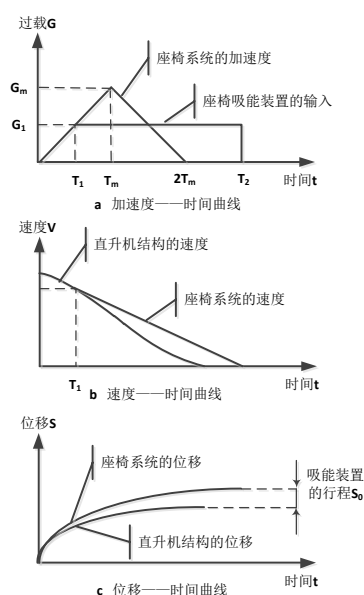
## （二）吸能器吸能行程计算方法

直升机的坠毁过程是一个复杂的过程，为简化分析，将直升机抗坠毁过程简化为三个阶段<sup>[6-9]</sup>：

第一阶段 ( $0 \leq t \leq T_1$ )，起落架或机身底部结构压缩（塑性变形），但乘员所承受的过载小于吸能装置的启动载荷，乘员与机体间不发生相对位移；

第二阶段 ( $T_1 \leq t \leq 2T_m$ )，起落架或机身底部结构继续压缩（塑性变形），乘员所承受的载荷达到吸能装置的启动载荷，乘员与机体间发生相对位移，同时，由于吸能装置的力学性能特征，乘员所承受的载荷保持恒定；

第三阶段 ( $2T_m \leq t \leq T_2$ )，机体速度减为0，不再继续运动，乘员所承受的载荷保持恒定，但乘员继续运动，至  $T_2$  时刻，其速度也减为0，此时吸能装置的行程为  $S_0$ 。



> 图2 加速度、速度、位移时间曲线

根据吸能器各阶段加速度、速度、位移时间曲线，经过计算

可得吸能装置的吸能行程  $S_0$  为：

$$S_0 = G_m g T_m^2 \left( -\frac{k^3}{24} + \frac{k}{2} + \frac{1}{2k} - 1 \right)$$

式中：

$S_0$  为乘员与机体的相对位移（吸能器所需工作行程）

$T_m$  为机体达到最大加速度的时间；

$G_m$  为机体输入的最大加速度；

$G_1$  为吸能器工作时乘员的加速度（吸能器的工作加速度）

$$k = G_1 / G_m$$

## （三）吸能器启动载荷计算方法

发生坠撞事件时机体的加速度值会瞬间增大，当达到变载吸能装置的启动载荷时吸能元件开始工作，使乘员加速度值不再随机体一起增加，达到保护乘员的目的。吸能器的启动载荷  $F$  必须保证乘员过载不超过人体可耐受过载极限  $G$  许用  $=14.5g$ <sup>[10]</sup>。即：

$$F \leq G_{\text{许}} \cdot g \cdot m$$

式中  $m$  为乘员有效重量。

乘员的有效重量  $m$  的计算方法为：

$$m = 0.8 \cdot (m_t + m_c) + m_h + m_y$$

式中：

$m_t$  为乘员的裸重

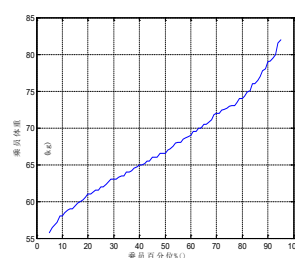
$m_c$  为乘员服装的重量

$m_h$  为头盔的重量

$m_y$  为座椅可动部分的重量

## （四）变载吸能档位分布设计

查阅 GJB4856-2003《中国男性飞行员人体尺寸》中关于轰炸机、直升机飞行员体重数据，通过数据统计绘制第5～第95百分位乘员体重其分布情况如下：



> 图3 第5～第95百分位乘员体重其分布

从图3中可以看出，人体百分位数与乘员体重近似为线性关系，故可将乘员重量均匀分为三段，从而将手动变载吸能器吸能载荷设置为三挡，每档吸能器启动载荷可根据2.3节计算。

## 二、手动变载吸能器设计

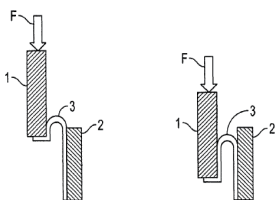
### （一）手动变载吸能器平台选型

目前国内直升机采用的吸能器均为85%固定载荷吸能器，且并未对座椅提供供电接口，故无法安装自适应变载座椅。为提升座椅抗坠毁能力，有必要在现有座椅平台基础上进行手动变载吸能器研究，从而提升座椅抗坠毁性能。

经过筛选，确定在已经经过试验验证的座椅平台上进行改

进。此座椅结构简单、重量轻，具有较强的重量优势。其采用的U型翻转板吸能器与座椅集成设计，不仅重量轻，且可提供稳定的吸能载荷。

U型反转板吸能器如图4所示。



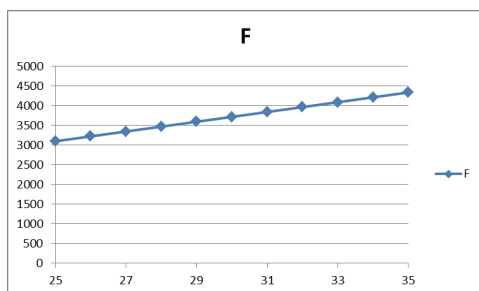
> 图4 U型反转板吸能器

## （二）吸能器变载参数选择

U型翻转板吸能器工作原理是在轴向拉力的作用下，翻转板发生内翻变形，吸收冲击能量。同时，翻转板在翻转过程中，变形区域的形状和大小始终保持不变，因而其工作载荷基本保持恒定。经分析在材料一定的情况下影响U型反转板吸能器吸能载荷F的因素有壁厚t、宽度b和翻转半径r。采用控制单一变量法进行控制单一参数分析，分析单一参数对吸能器启动载荷的影响，从而选择合适的控制参数指导变载吸能器设计。

### a. 宽度对启动载荷的影响

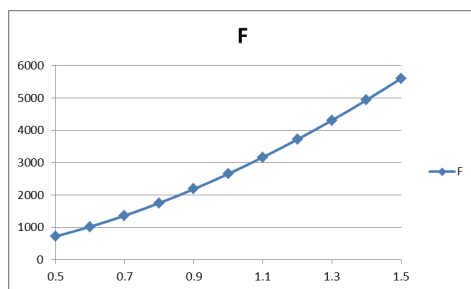
根据平台座椅翻转板吸能器验证情况，选取翻转板厚度为1.2mm，翻转半径为1mm，翻转板宽度范围25mm ~ 35mm的翻转板进行控制单一参数数值计算，数值计算曲线如下：



> 图5 不同宽度对应启动载荷曲线

### b. 厚度对启动载荷的影响

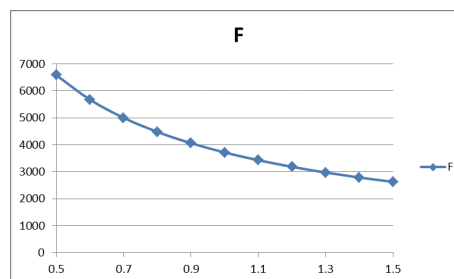
选取翻转板宽度为30mm，翻转半径为1mm，翻转板厚度范围0.5mm ~ 1.5mm的翻转板进行控制单一参数数值计算，数值计算曲线如下：



> 图6 不同厚度对应的启动载荷曲线

### c. 翻转半径对启动载荷的影响

选取翻转板宽度为30mm，翻转板厚度为1.2mm，翻转板翻转半径范围0.5mm ~ 1.5mm的翻转板进行控制单一参数数值计算，数值计算曲线如下：



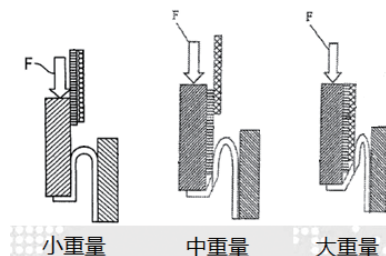
> 图7 不同翻转半径对应的启动载荷曲线

经过上述控制单一参数数值计算，可以得出：翻转板厚度和翻转半径的变化对启动再喝影响较为明显，而宽度对载荷影响较为平缓。针对手动变载吸能器，采用改变翻转板厚度的方式实现变载难度较大，而采用改变翻转板翻转半径的方法较为容易，故在U型翻转板吸能器平台基础上，选用改变翻转半径r作为实现变载吸能的可调因子。

## （三）手动变载吸能器结构设计

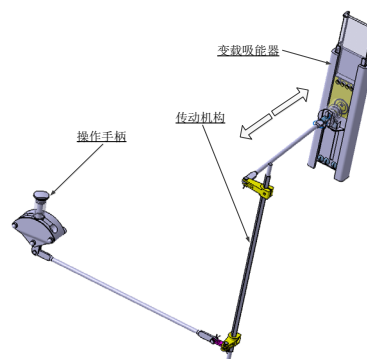
通过上述分析，选择改变翻转板翻转半径的方式来实现变载吸能方案可行，变载机构的主要作用是改变U型翻转板翻转半径r，从而达到根据不同乘员重量区间调节启动载荷的目的。

改变翻转板翻转半径的主要工作原理为：通过操纵机构控制两个压片的工作状态，从而实现不同档位下控制U型翻转板吸能器翻转半径的目的。当操纵手柄处于第一档时，两个压片均不工作，此时吸能器处于启动载荷最低状态，满足小重量乘员吸能要求。当操纵手柄处于第二档时，只有一个压片工作，此时吸能器启动载荷处于中位状态，满足中重量乘员吸能要求。当操纵手柄处于第三档时，两个压片均工作，此时洗能器启动载荷处于高位状态，满足大重量乘员吸能要求。工作原理如下图所示：



> 图8 手动变载吸能器工作原理图

根据上述改变翻转板翻转半径的工作原理，可以根据座椅吸能器的具体结构形式，设计相应的调节机构，通过调节手柄实现吸能器的变载调节。



> 图9 手动变载吸能器原理图



### 三、试验验证

#### (一) 试验参数设计

根据 U 型翻转板吸能器工作原理以及启动载荷数值计算公式, 同时结合抗坠毁座椅验证经验, 初步设定手动变载吸能器相关参数如下:

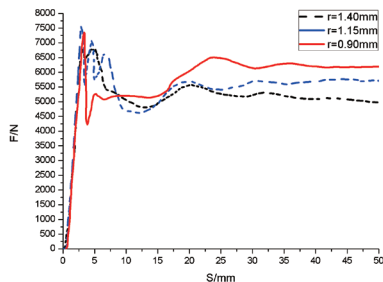
- a. 翻转板厚度: 1.2mm;
- b. 翻转板宽度: 36.8mm;
- c. 压片 1: 0.5mm;
- d. 压片 2: 0.5mm;
- e. 翻转板一挡翻转半径: 1.4mm;

根据上述参数, 经计算可得:

- a. 翻转板二挡翻转半径: 1.15mm;
- b. 翻转板三挡翻转半径: 0.9mm;
- c. 一挡启动载荷: 3422N;
- d. 二挡启动载荷: 4052N;
- e. 三挡启动载荷: 4984N

#### (二) 变载吸能器压力试验

根据 4.1 节设定的相关参数, 设计出试验件, 在电液伺服万能材料压力试验机上进行准静态压力试验, 通过压力试验得到不同翻转半径下的压力 - 位移曲线, 试验曲线如下:



> 图10 不同翻转半径下压力 - 位移曲线

#### (三) 数据分析

通过对图10曲线进行分析可以发现: 改变 U 型翻转板翻转半径可以明显改变吸能载荷, 经过试验验证, 证明手动变载方案设计合理可行, 基本可以满足变载需求。

### 四、结论

本文在现有 U 型翻转板固定载荷吸能技术的基础上, 对影响启动载荷的三个因素 (宽度、厚度、翻转半径) 进行分析。结合手动变载吸能原理, 创造性提出通过改变翻转半径从而达到改变启动载荷的目的。并通过试验验证, 证明了方案的可行性。参照本文研究成果, 可以为后续手动变载吸能器研制工作提供参考。由于试验样本有限, 本文的研究内容仍显不足, 主要体现在如下几个方面:

1. 启动载荷理论计算数据与实际试验数据存在较大偏差, 需深入分析偏差原因, 并制定控制措施使启动载荷可控;
2. 试验样本较少, 需加大样本量, 并根据试验数据归纳总结出便于工程应用的经验公式;
3. 探索改变 U 型翻转板吸能器宽度或厚度实现手动变载方案, 实现手动变载方案的多元化;
4. 试验方式为准静态试验, 需要研究动态试验条件下吸能载荷的变化, 从而实现工程应用。

### 参考文献

- [1]Gaurav Nilakantan. Desing and Development of an Energy Absorbing Seat and Ballistic Fabric Material Model to reduce Crew Injury caused by Acceleration from Mine/IED blast [ D ]. Visveswaraiah Technological University india, 2006.
- [2]Astori P, Ceresa P, Morandini M. Numerical optimisation of a seat energy absorber [ C ] //4th International K. RASH Users' Seminar. Amsterdam. 2003.
- [3] 徐梅香, 涂方正, 廖良全, 等. 先进的变载吸能器 [ J ]. 直升机技术, 2001 (4): 43-47.
- [4]Desjardins S P. The evolution of energy absorption systems for crashworthy helicopter seats [ J ]. Journal of the American Helicopter Society, 2006, 51(2): 150-163.
- [5]SVOBODA C M, WARRICK J C. Design and development of variable-load energy absorbers(aircraft seats)[Final Report, Jul. 1979- Jun. 1981] [ J ]. 1981.
- [6] 汪洋. 抗坠毁座椅吸能装置的性能参数选择方法研究 [ J ]. 直升机技术, 2007, 4: 28-30.
- [7] 李永亮. 直升机抗坠毁座椅吸能装置的设计方法 [ J ]. 直升机技术, 2019, 2.
- [8] 丁春全, 李保刚, 马登武. 武装直升机抗坠毁救生技术 [ J ]. 海军航空工程学院学报, 2006, 20(5): 547-550.
- [9] 王昌言. 直升机抗坠毁座椅吸能系统 [EB/OL]. 北京, 北京安达维尔航空设备有限公司, 2011.
- [10]GJB4234-2001 人体坐姿着陆冲击安全限值.

# 武汉地区轻型动力触探与地基土承载力相关性研究

陈伟, 高振宇, 周淼, 赵天翔

武汉市勘察设计有限公司, 湖北 武汉 430022

**摘 要 :** 在工程建设中, 地基土承载力是一个重要的工程技术指标, 轻型动力触探作为一种原位测试手段, 以其轻便快捷等特征在工程地基土承载力检测中得到广泛运用。《建筑地基检测技术规范》( JGJ340-2015 ) 提供了按轻型动力触探初步判定地基土承载力的经验值, 而笔者通过武汉市多年的工程实践发现该手段获取的地基土承载力相比勘察报告提供的地基土承载力有较大差距, 为此笔者选取武汉市多个具有代表性场地, 针对第四系全新统一般粘性土, 采用静力触探、地基载荷试验与轻型动力触探进行了平行对比试验, 以探究武汉地区轻型动力触探与第四系全新统一般粘性土地基土承载力的相关性。

**关 键 词 :** 岩土工程; 轻型动力触探; 地基土承载力; 武汉地区

## Correlation Study between Light Dynamic Penetration Test and Bearing Capacity of Foundation Soil in Wuhan Area

Chen Wei, Gao Zhenyu, Zhou Miao, Zhao Tianxiang

Wuhan Survey and Design Co., Ltd. Wuhan, Hubei 430022

**Abstract :** In engineering construction, the bearing capacity of foundation soil is an important engineering technical indicator. As an in-situ testing method, the light dynamic penetration test has been widely used in the detection of foundation soil bearing capacity due to its lightness, convenience, and quickness. The "Technical Specification for Building Foundation Inspection"(JGJ340-2015) provides empirical values for preliminarily determining the bearing capacity of foundation soil based on the light dynamic penetration test. However, through years of engineering practice in Wuhan, the author has found that there is a significant gap between the bearing capacity of foundation soil obtained by this method and the bearing capacity provided in the survey report. Therefore, the author selected multiple representative sites in Wuhan, focusing on the general clayey soil of the Quaternary Holocene. Parallel comparison tests were conducted using static penetration tests, foundation load tests, and light dynamic penetration tests to explore the correlation between the light dynamic penetration test and the bearing capacity of general clayey soil of the Quaternary Holocene in Wuhan.

**Keywords :** geotechnical engineering; light dynamic penetration test; foundation soil bearing capacity; Wuhan area

### 引言

地基承载力的检测是建筑工程中至关重要的一环, 常用的检测方法较多, 动力触探仪检测地基承载力是较为常用的一种原位试验法<sup>[1]</sup>, 以其轻便、操作简单等特点, 使其在建筑、市政工程天然地基以及回填土地基的承载力检测中得到广泛运用, 而笔者在武汉地区多年的工程实践中发现轻型动力触探检测结果与勘察指标(静力触探、土工试验、标准贯入试验等)所反映的地基承载力匹配度不高, 这造成了在工程地基验槽过程中常存在分歧, 从而影响了工程的建设工期和造价。由此, 地基土的检测对工程质量的保障尤为重要<sup>[2]</sup>。为此笔者选取了武汉市多个具有代表性场地, 针对第四系全新统一般粘性土, 采用静力触探、地基载荷试验与轻型动力触探进行了平行对比试验, 以探究武汉地区轻型动力触探与第四系全新统一般粘性土地基土承载力的相关性, 为地基土承载力的获得提供可靠、准确的途径。

一、轻型动力触探推定地基土承载力存在的问题

轻型动力触探（N10）是岩土工程勘察常用的原位测试手段，其原理是利用重锤将试验装置击入土体内，测定贯入一定深度的锤击数，利用该锤击数确定土体承载力的一种原位试验方法<sup>[3]</sup>。轻型动力触探试验适用于评价黏性土、粉土、粉砂、细砂地基及其人工地基的地基土性状、地基处理效果和判定地基承载力<sup>[4]</sup>。在武汉地区工程实践中具体的检验方式一般是：挖至目标地层初步平整后，进行轻型动力触探试验，获取基面下0.9m 范围的3个试验击数，并计算平均值，检测报告则是依据《建筑地基检测技术规范》（JGJ 340-2015）用目标层分层的击数平均值推定地基承载力。《建筑地基检测技术规范》（JGJ 340-2015）主要分析、参考了《铁路工程地质原位测试规程》（TB 10018-2003）、广东、北京、西安、浙江的资料，与武汉地区工程经验存在一定偏差。在武汉地区工程实践中多采用轻型动力触探对浅层地基土进行承载力检测，但检测结果与前期勘察所反映的承载力匹配度不高，在地基验槽过程中存在分歧。

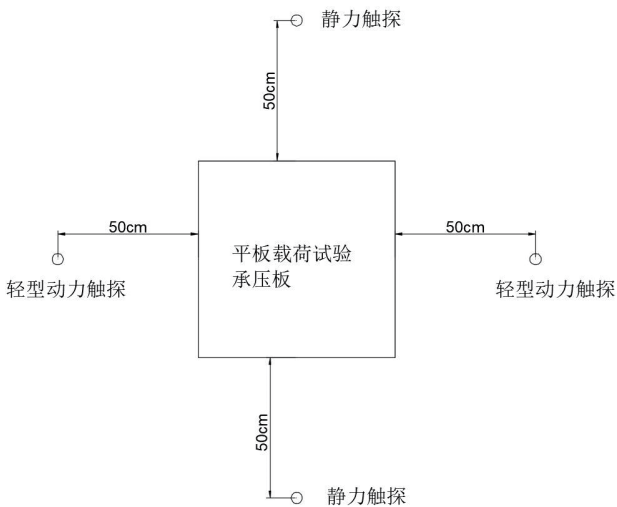
若能建立并修正武汉地区轻型动力触探指标与地基土承载力的相关关系，将能提供更多的勘察手段以辅助勘察工作，验证岩土参数的准确性，同时更好的服务于工程建设<sup>[5]</sup>。研究和修正武汉地区轻型动力触探确定地基土承载力的方法，是对武汉地区原位测试方法获取地基土承载力重要的补充和完善。

二、平行对比试验

确定地基土承载力，国内工程技术人员采用各种原位测试方法，对地基土承载力的取值都进行了不同程度的研究。较为可靠直接的方法为采用平板载荷试验确定地基土承载力，但该试验对现场条件要求严苛（经常受场地条件和土层深度的限制），而且试验成本较高，因此，该试验在很多情况下难以实施<sup>[6]</sup>。

当载荷试验难以实施时，采用原位测试是较为经济可行的<sup>[7]</sup>。我国对承载力的研究已经取得了较大的进展，分析计算和采用各种原位测试手段求取承载力都进行了有益的探索，如采用单桥静力触探对地基土的承载力进行较为准确的确定，已在武汉地区工程实践中作为一种重要的勘探手段得到了广泛应用和验证。

笔者通过研析武汉地区的区域地质资料，选取了11个场地进行了静力触探、地基载荷试验与轻型动力触探平行对比试验。试验前首先对每个场地采用网状布孔方式对场地浅部地层条件进行静力触探探查，以选取适宜的试验点位及深度，每个试验点用挖机开挖至目标层并整平场地后，在试验点位放置地基载荷试验承压板（70cm 方形板），在距承压板四周约50cm 处分别进行2组轻型动力触探（测试深度1.2—1.5m）、单桥静力触探试验（测试深度一般大于5m），最后在承压板处进行平板载荷试验，点位示意图如图1。每个试验点位进行1组对比试验：1组平板载荷试验和2组轻型动力触探、静力触探试验，本次试验共得到26组对比试验数据。



> 图1 对比试验平面布置图

三、对比试验数据分析

（一）三种试验数据的取值

本次26组对比试验一些特征数据见表1，其中 $f_{ak}$ 代表该试验点位三种测试所确定的地基承载力特征值； $N_{101}$ 、 $N_{102}$ 分别代表该试验点位2个轻型动力触探试验从测试点位表面向下贯入30cm的锤击数平均值； $N_{10-1}$ 、 $N_{10-2}$ 、 $N_{10-3}$ 代表该点位处0-0.9、0.3-1.2、0.6—1.5m 的锤击数平均值，并分布按《建筑地基检测技术规范》（JGJ 340-2015）确定地基土承载力特征值 $f_{ak}$ ； $p_s$ 代表该试验点位2个静力触探试验1.5m 深度范围内的深度峰值平均值，按照《岩土工程勘察规程》（DB42/T 169-2022）附录 K 表 K.11 确定承载力特征值 $f_{ak}$ <sup>[8]</sup>。

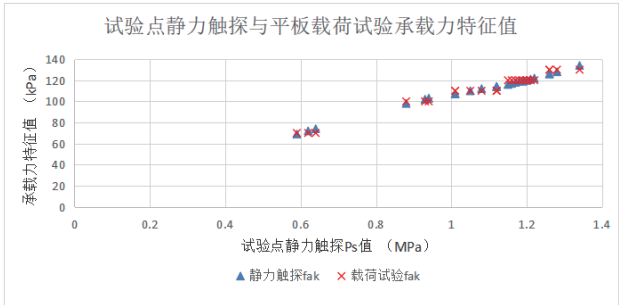
表1 对比试验数据表

试验 点编 号	载荷 试验	$N_{101}$ (击)	$N_{102}$ (击)	$N_{10-1}$		$N_{10-2}$		$N_{10-3}$		静力触探	
	$f_{ak}$ (kPa)			击数	$f_{ak}$ (kPa)	击数	$f_{ak}$ (kPa)	击数	$f_{ak}$ (kPa)	$p_s$ (MPa)	$f_{ak}$ (kPa)
1	130	8	9	13.5	86	18.2	106	22.2	124	1.26	126
2	130	9	7	16.0	95	21.2	120	23.7	130	1.26	126
3	120	10	16	15.7	93	18.0	105	21.3	120	1.19	119
4	110	16	13	16.8	99	19.3	111	19.3	111	1.08	112
5	110	8	8	12.5	80	15.8	94	18.7	108	1.01	107
6	110	14	14	16.3	96	17.8	104	18.2	106	1.05	110
7	120	13	12	15.8	94	19.0	110	22.5	125	1.16	117
8	110	14	12	16.2	96	18.3	106	18.5	107	1.12	114
9	120	14	13	15.2	91	18.2	106	21.8	122	1.17	118

试验点编号	载荷试验	$N_{101}$ (击)	$N_{102}$ (击)	$N_{10-1}$		$N_{10-2}$		$N_{10-3}$		静力触探	
	$f_{ak}$ (kPa)			击数	$f_{ak}$ (kPa)	击数	$f_{ak}$ (kPa)	击数	$f_{ak}$ (kPa)	$p_s$ (MPa)	$f_{ak}$ (kPa)
10	130	12	15	17.7	103	21.2	120	20.5	117	1.28	128
11	110	13	13	15.7	93	17.5	102	17.7	103	1.12	114
12	110	12	11	14.7	89	18.3	106	22.0	123	1.12	114
13	120	13	14	16.2	96	19.2	111	19.3	111	1.18	119
14	110	12	13	16.5	97	18.2	106	18.8	109	1.01	107
15	120	13	13	16.3	96	18.8	109	18.8	109	1.15	116
16	120	13	13	17.7	103	20.5	117	20.2	116	1.2	120
17	120	15	13	18.0	105	21.0	119	22.3	124	1.22	122
18	120	15	14	18.3	106	22.2	124	23.7	130	1.2	120
19	120	11	13	16.7	98	20.7	118	22.7	126	1.21	121
20	130	12	15	18.2	106	21.3	120	22.2	124	1.34	134
21	70	6	7	7.5	60	8.5	64	9.5	68	0.64	74
22	70	7	7	7.3	59	8.0	62	9.0	66	0.62	72
23	70	7	8	7.8	61	8.2	63	8.7	65	0.59	69
24	100	11	12	14.2	87	15.5	92	/	/	0.93	102
25	100	10	8	11.5	76	15.2	91	/	/	0.88	98
26	100	9	12	13.3	83	16.5	97	/	/	0.94	103

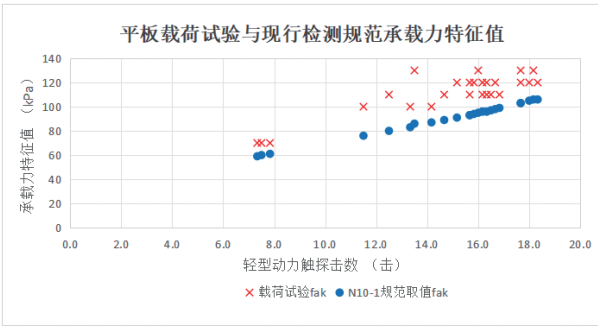
(二) 平板载荷试验与静力触探试验结果基本匹配

由表1、图2可分析出：单桥静力触探试验所确定的地基土承载力特征值与平板载荷试验所确定的地基土承载力特征值 $f_{ak}$ 基本一致，偏差在5%以内，两种试验可相互验证，从而确定该试验点位的地基土承载力特征值。



> 图2 试验点静力触探与平板载荷试验承载力特征值

(三) 轻型动力触探试验按现行检测规范取值偏小



> 图3 平板载荷试验与现行检测规范承载力特征值

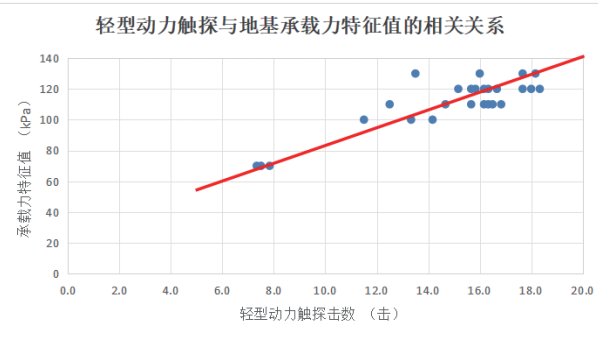
如图3所示，本次试验试验点轻型动力触探锤击数平均值按照《建筑地基检测技术规范》（JGJ 340-2015）所取地基土承载力特征值普遍比该试验点平板载荷试验所得地基土承载力特征值明显偏小。

原因分析：本次研究在现场试验所完成的轻型动力触探的测试深度一般是1.2—1.5m，表1为本次轻型动力触探的一些特征数据。由表1可分析出：轻型动力触探试验表层锤击数偏小，尤其是第一击偏小特别严重，第一击锤击数仅为剩余锤击数平均值的64%；除第一击外其余击数相差不大，在统计学误差范围内。造成表层土体轻型动力触探试验锤击数偏小的主要原因应为土层开挖卸荷导致。

(四) 轻型动力触探试验锤击数与地基土承载力特征值的关系

由于按现行《建筑地基检测技术规范》（JGJ 340-2015）进行轻型动力触探试验在工程实践中已得到广泛运用（取0-0.9m试验平均击数），故笔者在此用该试验方法建立武汉地区轻型动力触探试验锤击数 $N_{10-1}$ 与地基土承载力特征值的关系<sup>[9]</sup>。在统计过程中，同一岩性的轻型动力触探指标与地基土承载力特征值指标的相关性主要遵循以下原则：

1. 总体线性原则。据武汉地区岩土工程勘察统一技术措施，静力触探指标与地基土承载力特征值之间基本满足线性关系，通过类比及数据初步整理分析，轻型动力触探指标与地基土承载力特征值指标之间基本满足线性关系<sup>[10]</sup>。
2. 安全性原则。统计出来的结果为平均值状态，数据中大值形成的包络线对于工程而言是不安全的，而小值形成的包络线则过于保守，平均值状态介于两者之间，因此最终采用轻型动力触探的锤击数的平均值确定地基土承载力特征值。



> 图4 轻型动力触探锤击数与地基土承载力特征值相关关系



以轻型动力触探锤击数为横坐标，以地基土承载力特征值为纵坐标，进行二者相关关系拟合，并按上述原则进行分段研究，拟合关系曲线如图4所示。

经修正的轻型动力触探锤击数  $N_{10}$  与地基土承载力特征值  $f_{ak}$  的相关关系为：

$$f_{ak} = 5.5N_{10} + 30 (5 \leq N_{10} \leq 50)$$

## 四、结语

本文通过平板载荷试验、静力触探试验与轻型动力触探试验的对比分析得出了武汉地区轻型动力触探试验  $N_{10-1}$  与地基土承载力特征值的相关关系，但毕竟本次试验数据量不大，选取土层不全面，得出的结论有待后期工程实践进一步验证。

## 参考文献

[1] 杨兰, 马小平, 吴瑜. 轻型动力触探仪评价地基承载力的应用 [J]. 价值工程, 2024, 43(06): 115-117.

[2] 罗剑. 轻型动力触探试验推定地基承载力的数据统计分析方法论述 [J]. 广东建材, 2022, 38(08): 35-36+11.

[3] 赵磊. 轻型动力触探与工程勘察确定土体承载力的差异分析——以某新建垃圾转运站为例 [J]. 华北自然资源, 2023, (02): 22-25.

[4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑地基检测技术规范: JGJ 340—2015 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.

[5] 威海涛. 轻型圆锥动力触探试验在工程中的应用 [J]. 数字农业与智能农机, 2023, (04): 123-126.

[6] 温卫国. 基于重型动力触探试验的综合楼地基承载力评价 [J]. 四川建材, 2019, 45(09): 116-117.

[7] 刘晨旻, 孔令明, 齐吉琳. 地基承载力深度解析 [J]. 北京建筑大学学报, 2023, 39(06): 41-49.DOI: 10.19740/j.2096-9872.2023.06.06.

[8] 王涛, 刘力, 徐文元, 等. 基于重型圆锥动力触探的软土地基处理评价 [C] // 《施工技术 (中英文)》杂志社, 亚太建设科技信息研究院有限公司. 2023年全国工程建设行业施工技术交流会论文集 (中册). 中建三局集团 (深圳) 有限公司, 2023: 3.DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.033069.

[9] 邓少权. 地基土承载力特征值检测方法与取值研究 [J]. 工程质量, 2021, 39(05): 74-76+84.

[10] 冯亮. 复合地基承载力试验探究 [J]. 大众标准化, 2023, (09): 103-105.

# 隧道开挖过程中的地下水控制技术研究

白周全

四川川交路桥有限责任公司, 四川 广汉 618300

**摘 要：** 本文深入探讨了隧道开挖过程中的地下水控制技术，详细阐述了地下水对隧道工程的危害，系统分析了降水、堵水、排水等控制技术的原理、方法、适用条件及存在的问题。同时，探讨了超前地质预报在地下水控制中的重要性，以及地下水控制技术的发展趋势，旨在为隧道工程建设中的地下水处理提供全面、深入的理论依据和技术参考，确保隧道施工的安全、高效与质量稳定，减少地下水对隧道及周边环境的不利影响。

**关 键 词：** 隧道开挖；地下水控制；降水技术；堵水技术；排水技术

## Research on Groundwater Control Technology During Tunnel Excavation

Bai Zhouquan

Sichuan Chuanjiao Road and Bridge Co., Ltd. Guanghan, Sichuan 618300

**Abstract：** This article delves into the groundwater control techniques during tunnel excavation, detailing the hazards posed by groundwater to tunnel engineering. It systematically analyzes the principles, methods, applicable conditions, and existing problems of various control techniques such as dewatering, water plugging, and drainage. Additionally, it explores the significance of advanced geological prediction in groundwater control and discusses the developmental trends of groundwater control technology. The aim is to provide a comprehensive and in-depth theoretical basis and technical reference for groundwater treatment in tunnel engineering construction, ensuring safe, efficient, and quality-stable tunnel construction while minimizing the adverse effects of groundwater on the tunnel and its surrounding environment.

**Keywords：** tunnel excavation; groundwater control; dewatering technology; water plugging technology; drainage technology

## 引言

在隧道工程建设中，地下水的存在是一个不可忽视的重要因素。随着隧道开挖深度和长度的不断增加，地下水带来的问题愈发复杂和严峻。有效的地下水控制技术对于保障隧道施工安全、提高工程质量、保护环境以及控制成本具有至关重要的意义。它不仅关系到隧道结构本身的稳定性，还涉及施工过程中的人员安全、设备运行以及周边生态环境的可持续发展。因此，深入研究隧道开挖过程中的地下水控制技术，不断优化和创新控制方法，是当前隧道工程领域的重要课题。

## 一、地下水对隧道工程的危害

### （一）对围岩稳定性的影响

地下水发育洞段围岩一般较破碎，竖向裂隙较发育，降雨入渗后沿裂隙通道往下汇集、排泄；地下水对岩石有一定软化作用，地下水发育洞段岩质一般较软～较坚硬，地下水对裂隙面抗剪强度参数有一定的劣化作用<sup>[1]</sup>。一方面，水的浸入会降低岩石的强度，尤其是对于一些软岩，如泥岩、页岩等，其强度降低幅度更为明显。另一方面，地下水在岩石孔隙和裂隙中的流动会产生动水压力，这种压力可能会对围岩产生冲刷作用，带走其中的细小颗粒，导致围岩结构逐渐松散，孔隙率增大，进而降低围岩的整体稳定性。在节理裂隙发育的岩体中，地下水的长期作用可能会引发岩块的滑移、坍塌等现象，严重威胁隧道施工安全。

### （二）引发涌水突泥灾害

当隧道开挖遇到富水的断层破碎带、岩溶洞穴等不良地质体时，极有可能引发涌水突泥灾害。这些地质体中储存着大量的地下水，一旦隧道开挖打破了原有的水力平衡，高压地下水会携带泥沙等物质突然涌入隧道<sup>[2]</sup>。涌水突泥的发生往往具有突发性和灾难性，不仅会瞬间淹没隧道施工区域，造成施工设备损坏、人员伤亡，还会导致隧道支护结构破坏，严重影响施工进度，甚至可能使整个隧道工程报废。

### （三）增加施工难度与成本

地下水的处理需要投入大量的人力、物力和财力，从而增加了施工成本。为了控制地下水，施工过程中需要采取一系列措施，如降水、排水、堵水等，这就需要购置和安装大量的设备，如抽水机、注浆设备等，同时还需要消耗大量的材料，如水泥、

注浆材料等。此外，地下水的存在会使施工环境变得恶劣，如泥泞的工作场地会影响施工机械的正常运行，增加设备故障的概率，降低施工效率，延长施工周期，进一步增加了施工成本。

#### （四）对周边环境的影响

隧道开挖过程中的地下水控制不当，可能会对周边环境产生多方面的负面影响。大量抽取地下水可能导致地下水位下降，引起地表沉降，影响周边建筑物、道路、桥梁等基础设施的稳定性，甚至可能导致建筑物开裂、倾斜<sup>[3]</sup>。地下水的排放如果未经处理，可能会污染地表水和土壤，破坏周边生态平衡，影响植被生长和农业生产。

## 二、地下水控制技术

### （一）降水技术

降水技术的核心原理是通过人为手段降低地下水位，减少地下水对隧道施工的影响。常见的降水方法包括井点降水和深井降水。井点降水是在隧道周围布置一系列井点管，井点管下端通常设置滤管，插入含水层中。通过连接抽水设备，在井点管内形成负压，使地下水在重力和负压的作用下流入井点管，进而被抽到地面，达到降低地下水位的目。深井降水则是在隧道附近钻凿深井，深井深度一般根据含水层的深度和厚度确定。深井泵安装在深井底部，直接抽取地下水，其降水深度相对较大，适用于地下水位较深、含水层厚度较大的情况。

降水技术适用于地下水位较高、含水层透水性较好且厚度较大的地层。在砂性土、砾石层等渗透性强的地层中，降水效果较为显著。然而，降水技术也存在一定的局限性。在一些地质条件复杂的地区，如存在多层含水层且各层水力联系复杂时，单纯的降水技术可能难以达到理想的效果<sup>[4]</sup>。降水过程中，如果降水速度过快或降水幅度过大，可能会引起周围土体的固结沉降，导致地面不均匀沉降，对周边建筑物和地下管线造成损害。此外，降水技术需要持续运行抽水设备，能耗较大，运行成本较高。

### （二）堵水技术

堵水技术主要包括围岩注浆止水和衬砌背后注浆。围岩注浆止水是在隧道开挖前或开挖过程中，针对围岩裂隙、孔隙等渗流通道进行注浆处理。根据注浆范围和方式的不同，可分为超前预注浆、开挖后局部注浆等。超前预注浆是在隧道掌子面前方一定范围内进行注浆，形成止水帷幕，防止地下水涌入开挖区域。开挖后局部注浆则是对开挖后出现涌水的部位进行针对性注浆封堵。衬砌背后注浆是在隧道衬砌施工完成后，对衬砌与围岩之间的空隙进行注浆填充，增强衬砌的防水性能，防止地下水从衬砌背后渗漏进入隧道。注浆材料种类繁多，常见的有水泥浆、水泥-水玻璃双液浆、化学浆液等。不同的注浆材料具有不同的特性，适用于不同的地质条件和工程要求。

在实施堵水技术时，准确掌握注浆参数至关重要。注浆压力、注浆量、注浆时间等参数直接影响注浆效果。注浆压力过小，浆液可能无法有效填充裂隙，导致堵水效果不佳；注浆压力过大，则可能破坏围岩结构，引发新的工程问题。注浆量应根据

围岩裂隙的发育程度、孔隙率等因素进行合理计算和控制。注浆时间的选择也需要考虑围岩的稳定性和施工进度等因素<sup>[5]</sup>。注浆孔的布置应根据围岩的地质特征进行优化设计，确保浆液能够均匀地扩散到需要封堵的区域。同时，要注意注浆材料的选择和配比。不同的地质条件和工程要求需要选择不同性能的注浆材料。例如，在富水地层中，可选择凝结速度较快、抗水性强的注浆材料；对于细小裂隙，可选用黏度较低、渗透性好的化学浆液。在注浆过程中，还需要密切关注注浆过程中的各种现象，如注浆压力的变化、注浆量的变化、是否有漏浆现象等，并根据实际情况及时调整注浆参数。

### （三）排水技术

隧道排水系统主要由地下水排水系统、路面水排水系统和洞外截排水系统组成。地下水排水系统包括环向排水、边墙纵向排水、底横向排水和中央排水沟。环向排水通常采用软式透水管，如 FH50 软式透水管，沿隧道环向铺设在初期支护与围岩之间，将围岩中的地下水引至纵向排水管。边墙纵向排水采用 HDPE 双壁打孔波纹管，沿隧道边墙底部纵向设置，将环向排水汇集的地下水引向底横向排水。底横向排水同样使用 HDPE 双壁打孔波纹管，将两侧边墙纵向排水的水引入中央排水沟。中央排水沟一般为矩形或梯形断面，采用混凝土浇筑或预制拼装而成，负责将隧道内的地下水排出洞外。路面水排水系统主要由路面两侧的纵向排水浅槽组成，用于排除隧道内路面的积水。洞外截排水系统包括洞外截水沟和排水沟，截水沟设置在隧道洞口上方和周边，拦截地表水，防止其流入隧道；排水沟则将截水沟收集的水引至远离隧道的排水系统。

排水设施的施工质量直接关系到排水效果。在施工过程中，要确保排水管道的坡度符合设计要求，以保证水能够顺利流动。管道连接应牢固、密封，防止漏水。例如，HDPE 双壁打孔波纹管的连接可采用专用的连接管件，确保连接紧密。同时，要注意排水管道的固定，防止在施工过程中管道移位<sup>[6]</sup>。在铺设软式透水管时，要保证其与围岩紧密接触，充分发挥排水作用。排水设施的维护也不容忽视。定期对排水系统进行检查，清理排水管道中的杂物、泥沙等，防止堵塞。在雨季来临前，应对排水系统进行全面检查和清理，确保其畅通无阻。对于损坏的排水设施，应及时修复或更换。

## 三、超前地质预报在地下水控制中的作用

### （一）技术方法与应用

超前地质预报是隧道施工过程中的重要环节，对于地下水控制具有关键指导意义。常用的超前地质预报方法包括地质调查法、物探法和钻探法等。地质调查法通过对隧道区域的地质地貌、地层岩性、地质构造等进行详细的调查和分析，初步推断可能存在的地下水情况。物探法利用地震波、电磁波等物理场的变化来探测隧道前方的地质体特征，如 TSP（隧道地震波反射法）、地质雷达等技术可以探测到前方地层中的断层、岩溶洞穴等不良地质体以及地下水的分布情况<sup>[7]</sup>。钻探法是最直接的探测方法，通

过在隧道掌子面前方钻孔，获取岩芯样本，直观了解地层岩性、含水层位置和涌水量等信息。

（二）对地下水控制的重要性

超前地质预报能够提前了解隧道前方的地质和水文地质条件，为地下水控制措施的制定提供依据。通过准确预测可能遇到的地下水情况，如涌水量大小、含水层位置等，施工方可以提前准备相应的降水、堵水或排水设备和材料，合理安排施工工艺和进度。在遇到富水地段时，可以提前采取预注浆等堵水措施，防止涌水突泥事故的发生；对于地下水位较高的区域，可以提前规划降水方案，确保施工安全和顺利进行<sup>[9]</sup>。超前地质预报还可以帮助优化隧道线路设计，避免穿越地下水治理难度极大的区域，从源头上减少地下水对隧道工程的影响。

四、地下水控制技术的发展前景

（一）智能化监测与预警

随着信息技术与传感器技术的迅猛发展，智能化监测与预警系统在隧道地下水控制领域正发挥着日益关键的作用。在隧道内部精心布置高精度传感器网络，可实时精准获取地下水位、水压、围岩变形、渗流量等关键参数，并即时传输至监控中心。借助大数据分析和人工智能算法，对监测数据展开实时处理与深度剖析。例如，运用先进算法建立地下水渗流模型，紧密结合实时监测数据，能够有效预测涌水突泥的可能性及发生时间，进而提前谋划防范举措，大幅提升隧道施工的安全性及可靠性，为隧道工程的顺利推进提供坚实保障。

（二）环保型技术创新

未来的地下水控制技术将更加注重环境保护。一方面，研发和应用环保型注浆材料，减少传统注浆材料中有害物质对地下水环境的污染。例如，开发可生物降解的注浆材料，在完成堵水功能后能够自然分解，降低对地下水水质的长期影响。另一方面，

优化排水系统设计，实现水资源的回收利用<sup>[9]</sup>。例如，对隧道排出的地下水进行处理后，用于施工现场的降尘、设备冷却等，提高水资源的利用率，减少对周边水资源的依赖，降低隧道施工对环境的负面影响。

（三）多学科融合与优化

地下水控制技术将与地质学、力学、材料学、环境科学等多学科进行深度融合。通过跨学科研究，综合考虑地质条件、力学原理、材料性能和环境影响等因素，优化地下水控制方案。例如，结合地质力学理论，更准确地分析地下水对围岩稳定性的影响，制定更合理的支护和堵水措施；利用新型材料的特性，开发高性能的防水衬砌材料和注浆材料，提高隧道的防水性能和耐久性<sup>[10]</sup>。同时，多学科融合还将促进地下水控制技术与隧道施工全过程的紧密结合，实现从设计、施工到运营的一体化优化。

五、结束语

隧道开挖过程中的地下水控制技术是一个复杂而系统的工程，涉及多个学科领域和技术环节。地下水对隧道工程的危害是多方面的，包括影响围岩稳定性、引发涌水突泥灾害、增加施工难度与成本以及对周边环境造成影响等。降水技术、堵水技术和排水技术是控制地下水的主要手段，各有其原理、方法、适用条件和局限性。在实际应用中，需要根据隧道的具体地质和水文地质条件，合理选择和组合这些技术，以达到最佳的地下水控制效果。超前地质预报在地下水控制中起着重要的指导作用，能够为施工提供前瞻性信息，保障施工安全。通过不断的技术创新和改进，提高隧道地下水控制水平，确保隧道工程的安全、高效建设，同时实现环境保护和可持续发展的目标。在隧道工程建设中，应充分重视地下水控制技术的研究与应用，不断总结经验，推动行业技术进步。

参考文献

[1] 刘金洋, 胡政. 花岗岩风化-裂隙-地下水相互作用对隧道围岩稳定性的影响研究 [J]. 交通节能与环保, 2020, 16(05): 133-137.  
[2] 吕玉香. 西南典型岩溶槽谷隧道开挖引起的地下水场变化及控制机理 [D]. 西南大学, 2022.  
[3] 李小东, 田明, 张艳. 小型水工隧洞施工技术探讨 [J]. 河南水利与南水北调, 2017, 46(10): 53-54.  
[4] 廖翔, 张杰青, 汪彪, 等. 临江高水位涉京广线基坑工程地下水控制设计 [J]. 地下空间与工程学报, 2024, 20(S1): 265-272.DOI: 10.20174/j.juse.2024.S1.32.  
[5] 李瑞杰. 地下水环境监测技术的应用及质量控制措施探究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(16): 38-40.DOI: 10.20025/j.cnki.CN10-1679.2024-16-13.  
[6] 曲延光, 温宝玉, 韩京龙, 等. 地下水超采区埋深控制指标确定方法的探讨 [J]. 吉林水利, 2024, (08): 28-32.DOI: 10.15920/j.cnki.22-1179/tv.2024.08.005.  
[7] 王子河, 金婧, 刘伟, 等. 土默川平原黄灌区地下水化学控制因素来源分析 [J]. 内蒙古水利, 2024, (S2): 1-2+12.  
[8] 田苗社. 南水北调地下水回补对潮白河冲洪积扇中上部地表形变响应及控制因素 [J]. 地质论评, 2024, 70(04): 1571-1586.DOI: 10.16509/j.georeview.2024.01.005.  
[9] 刘聪丽, 刘飞, 甄品娜, 等. 河北典型压采区地下水水化学变化特征及控制因素 [J/OL]. 环境科学, 1-18[2024-12-13].https://doi.org/10.13227/j.hjks.202403259.  
[10] 刘志刚. 隧道施工期间地下水控制的技术策略 [J]. 工程与建设, 2024, 38(03): 497-498+551.



# 大断面掘进中锚网索支护技术的应用与优化研究

冯祥祥

焦作煤业集团赵固（新乡）能源有限责任公司，河南 新乡 453634

**摘 要：** 大断面巷道掘进在煤矿开采中占据重要地位，其施工质量直接关系到矿井的安全生产和长期运营。然而，大断面掘进面临顶板压力增大、围岩变形明显等问题，锚网索支护技术作为一种常用的支护形式，在提高巷道稳定性方面具有显著优势。本文结合西六盘区辅助运输巷的工程实际，分析了锚网索支护技术在大断面掘进中的应用，阐述了施工工艺及支护形式，并提出了优化策略。研究表明，合理的支护设计和优化措施能够有效提高巷道稳定性，保障施工安全和效率。

**关 键 词：** 大断面掘进；锚网索支护技术；优化措施

## Application and Optimization Research of Anchor Net Cable Support Technology in Large Section Excavation

Feng Xiangxiang

Jiaozuo Coal Industry Group Zhaogu (Xinxiang) Energy Co., Ltd. Xinxiang, Henan 453634

**Abstract：** Large section roadway excavation plays an important role in coal mining, and its construction quality directly affects the safety production and long-term operation of the mine. However, large section excavation faces problems such as increased roof pressure and significant deformation of surrounding rock. Anchor mesh cable support technology, as a commonly used form of support, has significant advantages in improving tunnel stability. This article combines the engineering practice of the auxiliary transportation roadway in Xiliupan District, analyzes the application of anchor net cable support technology in large section excavation, elaborates on the construction technology and support forms, and proposes optimization strategies. Research has shown that reasonable support design and optimization measures can effectively improve tunnel stability, ensure construction safety and efficiency.

**Keywords：** large section excavation; anchor net cable support technology; optimization measures

### 前言

随着矿山开采技术的不断进步，尤其是在煤矿开采过程中，巷道掘进工作面面临着越来越复杂的地质条件。大断面掘进技术作为矿井开拓的关键环节之一，广泛应用于煤矿、隧道和地下工程的建设。大断面掘进巷道需要承受的力学压力较大，尤其是在地质条件不稳定或复杂的情况下，巷道的支护问题成为施工中最大的挑战之一<sup>[1]</sup>。传统的支护技术在面对复杂地质环境时，往往难以满足支护效果的需求，尤其是顶板下沉、塌方等安全问题时有发生。因此，探索并应用新型、高效的支护技术，对提高掘进作业的安全性和效率具有重要意义。

### 一、工程概述

西六盘区辅助运输巷位于二<sub>1</sub>煤层中，承担西六盘区通风、行人、运输及设备安装等辅助运输任务，是西六盘区矿井开拓的重要通道。该巷道的掘进工程地质条件总体稳定，煤层赋存稳定，厚度为5.4 ~ 6.4m，平均为6.1m，煤岩层产状为156 ~ 200° ∠ 3 ~ 16°，平均倾角为10°，地质构造以单斜构造为主。巷道设计为矩形断面，净宽7000mm，净高3500mm，净断面积24.5m<sup>2</sup>，掘进断面积25.92m<sup>2</sup>。

巷道围岩主要由泥岩、砂质泥岩和中粒砂岩组成，其中顶板以泥岩和砂质泥岩为主，具有滑面、裂隙发育等特征；伪顶厚度为0 ~ 3.50m，直接顶厚度为2.0 ~ 7.6m，老顶为中粒砂岩，厚度为4.9 ~ 18.6m；底板直接底为泥岩或砂质泥岩，厚度为9.5 ~ 10.8m，老底为灰岩，厚度为1.3 ~ 1.8m。巷道地质构造较简单，但存在一条正断层（走向82 ~ 84°，倾向352 ~ 354°，倾角37 ~ 50°，落差3.9 ~ 4.5m），对掘进影响较大，巷道底板存在L<sub>8</sub>灰岩水作为直接充水水源，需采取合理的防治水措施。本工程采用EBZ-160型悬臂式综掘机进行施工，采用分台阶截割方

作者简介：冯祥祥（1990.01—），男，汉族，河南省修武县人，学历大专，助理工程师，工作领域：煤炭开采。

式成巷,分两次掘进完成。顶板和帮部均采用锚网索支护技术,通过短锚索、补强锚索和槽钢梁等形式,确保巷道围岩稳定性。

## 二、大断面掘进工法

大断面掘进是一种用于煤矿巷道和其他地下工程的高效掘进方式，特别适用于需要较大断面以满足通风、运输、设备安装等多功能需求的巷道。西六盘区辅助运输巷大断面掘进工法基于地质条件和设计要求，采用科学合理的施工方案，以确保工程质量和施工安全。

### 1. 设备选型与施工工序

该工程采用EBZ-160型悬臂式综掘机进行施工,该设备具备切割效率高、稳定性强、操作灵活等特点。掘进过程中配合机载前探梁进行临时支护,采用带式转载机与带式输送机联合完成煤炭运输。掘进采用分台阶形式,由上至下、由左至右循环进行截割,每次掘进宽度为4m,高度为2.1~2.6m。先掘南帮或北帮,并进行支护,随后完成另一帮的截割和支护,以确保巷道的稳定性。

## 2. 支护技术

大断面掘进对围岩稳定性要求高,因此顶板和帮部均采用锚网索支护技术。顶板支护采用短锚索+钢筋梯、槽钢梁锚索和点锚索相结合的方式。其中短锚索间排距为 $800\times 900\text{mm}$ ,搭配钢筋梯支护,锚索预紧力参数严格控制,以提升顶板承载能力。帮部支护采用锚网索结合钢筋梯,锚索布置需考虑肩窝、底脚等关键部位的特殊受力特点。

### 3. 工序衔接与优化措施

为提高施工效率和支护效果,采用分工明确的作业方式,掘进、支护和运输环节无缝衔接。施工中,通过实时监测围岩变形和支护效果,根据地质条件调整锚索间排距,确保支护与围岩特性相适应。针对掘进过程中遇到的断层等地质构造带,采取顶板加强支护和超前探测的措施,防止发生突发事故。

#### 4. 工法特点与优势

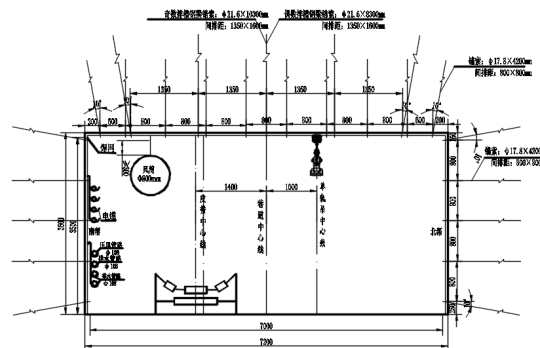
西六盘区辅助运输巷的大断面掘进工法具有空间利用率高、施工效率高、安全性强等特点。采用分台阶掘进方式,避免了大面积开挖带来的围岩失稳风险,同时提高了作业灵活性。科学的支护设计有效保障了巷道结构的长期稳定性,为后续使用提供了安全可靠的条件。

### 三、大断面掘进中锚网索支护技术的应用

### （一）设计原则与关键参数选择

大断面掘进工程中, 由于围岩受力复杂且巷道断面较大, 支护设计需要综合考虑围岩条件、工程需求和经济可行性。锚网索支护技术作为大断面掘进的核心技术, 其设计原则和关键参数选择直接影响施工安全和支护效果<sup>[2]</sup>。以下从设计原则和关键参数两个方面进行阐述。设计的第一步是对围岩稳定性进行全面评估, 包括围岩等级划分、岩体结构特征、地应力分布等。围岩稳定性

直接决定锚杆和锚索的布置密度和长度,对于稳定性较差的围岩,应采用密集布置和长锚索设计,以确保有效支护。本工程的施工工法规划图如图1所示。



> 图1 本工程的施工工法规划图

锚网索支护需通过锚杆、锚索和钢筋网的协同作用构建整体性支护体系<sup>[3]</sup>。锚索负责提供点式支撑和深部加固,钢筋网、槽钢梁则用于分散应力并加强表面稳定性,形成均匀受力的支护结构。在大断面掘进中,围岩受力分布不均,顶板和侧帮常为关键部位,设计时需加密关键部位的锚索,确保支护力分布合理,以防止局部失稳。具体的设计需考虑地质条件的变化和施工过程中的围岩变形反馈,锚索直径、锚索长度、预紧力等参数需具备灵活调整能力,以适应实际施工需求,确保支护体系的有效性。

## （二）施工工序与关键控制点

### 1. 钻孔施工

本工程在钻孔过程中,首先需要根据设计要求和地质条件选择合适的钻机和钻头类型<sup>[4]</sup>。顶板常用的设备是MQT-130/3.8型锚杆钻机打孔,帮部使用ZQS-65/2.5S型气动手持式钻机打孔,这些设备可以高效地完成大直径深孔的施工。钻孔时,应严格控制钻孔角度、深度及孔径,以确保锚索的布置与支护设计一致。钻孔位置应根据围岩条件进行调整,特别是针对断层、破碎带或软弱带等特殊地质条件,需要进行精准定位。

在钻孔过程中,必须时刻关注孔壁稳定性,避免孔壁坍塌或污染,这对后续的锚固效果有重要影响。钻孔结束后,需要清理孔内泥沙和碎屑,以确保锚固剂的有效注入。钻孔的质量直接关系到整个支护系统的受力和稳定因此,对钻孔施工质量的控制至关重要<sup>[5]</sup>。施工过程中要严密监测设备运行状态,并进行必要的技术调整,确保孔深、孔径、孔斜等参数符合设计要求。钻孔直径、锚杆(索)直径、锚固剂直径“三径匹配”符合设计要求。

## 2. 锚索的安装

锚索安装时,首先需要将锚索准确地放置到预定的深度,确保其安装位置符合设计要求。锚索的布置应根据地质条件、巷道断面以及支护要求进行合理设计,一般采用交叉布置以增强支护效果<sup>[6]</sup>。

根据锚索间排距定好孔位,顶锚索采用 MQT-130/3.8 型锚杆机打眼,帮锚索采用 ZQS-65/2.5S 型气动手持式钻机打眼,打完眼后,装入树脂锚固剂,用钢绞线逐支轻推至孔底,将锚杆机或手持式钻机安上搅拌机,然后进行搅拌,搅拌时间 20 ~ 35s,退下锚杆机(或气动手持式钻机)和搅拌机,等待 8min 后,上锚索

梁（点锚索托盘）、托盘和锁具，采用风动式锚索预应力张拉机具紧固。

### 3. 钢筋网铺设

钢筋网的铺设应遵循设计要求，确保网片的规格、尺寸符合设计标准。通常，钢筋网由冷拔钢筋制成，网孔尺寸常为70mm×70mm。在铺设过程中，首先需要清理巷道表面活矸危岩，确保表面平整，以便网片能够与岩壁充分接触。接着，按照设计图纸的位置，将网片逐一铺设到位<sup>[7]</sup>。网片的搭接部分应不少于三格，并用铅丝或钢丝绑扎牢固。每隔两格进行一次绑扎，确保网片的稳定性。网片的铺设过程中应特别注意与锚杆、锚索的结合，确保其与锚固系统的连接紧密。安装完成后，需进行必要的检查，确保网片的张紧度和安装位置符合设计要求，避免因松弛或错位导致支护失效。

### 4. 施加预紧力

施加预紧力是锚网索支护系统中至关重要的步骤，它直接关系到支护结构的有效性和长期稳定性。预紧力的施加通常分为两部分：一部分是对锚杆的预紧，另一部分是对锚索的预紧<sup>[8]</sup>。预紧力的大小和均匀性直接影响支护结构的变形和稳定性。

施加预紧力时，使用MQ18-250/63、MQ22-400/63型矿用风动锚索张拉机具张紧锚索。预紧力的大小应根据设计要求，通常顶板锚索的预紧力控制在300kN以上，帮部锚索的预紧力控制在200kN以上。预紧力的施加过程中，应保持锚索的拉力均匀，以确保支护系统的稳定性。在张拉过程中，要监控锚固设备的工作状态，防止超载或松动现象的发生。

## 四、大断面掘进中锚网索支护技术的优化策略

### （一）优化支护结构设计

对于不同类型的地层，尤其是软弱层、破碎带或断层带，支护结构的布置和锚索的预应力应做适当调整<sup>[9]</sup>。例如，针对含水层或断层带，要加大锚索的布置密度，确保支护力的均匀分布，并

且提高锚固强度。在支护结构的设计过程中，应采用有限元分析等先进计算方法，对巷道内的受力情况进行模拟分析。通过数值模拟，能够提前预测支护结构在实际施工中的变形、应力分布等情况，从而优化锚索的布置位置和预紧力的大小，确保支护体系能够有效应对地质条件的变化。同时，考虑到大断面掘进对空间的要求，设计应尽量减少支护结构的占地面积，以提高施工效率和空间利用率。

### （二）改进施工工艺与设备

一方面，应根据不同的地质条件和掘进进度，合理安排施工工序和关键控制点，在顶板支护过程中，应采用分层、分步支护技术，即先进行局部区域的锚索张拉，再进行整体支护，避免一次性支护造成的应力集中。分层支护不仅可以有效降低支护结构变形的风险，还能提高支护施工的安全性和可靠性<sup>[10]</sup>。另一方面，可以采用高效、精密的钻孔设备，可以保证钻孔的精度和孔径一致性，减少误差带来的不利影响。

## 五、结语

西六盘区的地质条件相对复杂，尤其是存在正断层的影响，使得支护设计和施工难度加大。为确保巷道的安全性，采用了锚网索支护系统，并结合岩层特征与实际施工情况进行优化设计，合理安排锚索的布置和预紧力参数，以应对复杂地质条件。施工工艺和支护设备的选择对掘进效果至关重要。精确的钻孔施工、合理的锚索安装、钢筋网的铺设及预紧力的施加等工序控制，保障了支护系统的稳固性与持续性。优化支护结构设计，结合先进设备和智能化监测手段，进一步提高了施工效率和支护效果。基于该工程的实际，本文提出了大断面掘进中锚网索支护技术优化策略，包括支护结构的设计优化与施工工艺改进，为大断面掘进中锚网索支护技术的应用提供了宝贵的经验。通过多方面的优化措施，能够有效提高支护系统的稳定性，确保掘进过程中的人员和设备安全，并推动相关技术在类似项目中的推广应用。

## 参考文献

- [1] 王林. 大断面煤巷综掘锚杆支护快速掘进关键技术研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2015(1):080.
- [2] 张梦良. 大断面煤巷快速掘进与锚网索支护参数优化研究[D]. 中国矿业大学, 2023.
- [3] 黄昕, 邵林林, 孙斌. 煤矿掘进巷道中锚网(索)喷支护技术分析[J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(12):235-237.
- [4] 李安云, 康鑫, 李森, 等. 富水弱胶结砂岩破坏特性与优化措施[J]. 科学技术与工程, 2024(13).
- [5] 李虎. 煤矿巷道掘进过断层破碎带围岩支护技术研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2024(6):37-39.
- [6] 史超, 张占涛, 李鹏. 锚网索联合支护技术在大采高工作面中的应用[J]. 同煤科技, 2017(5):4.
- [7] 张逸龙. 厚煤层底板巷大断面在软岩支护技术中的应用[J]. 价值工程, 2014, 33(23):3.
- [8] 张松军. 冲击地压掘进锚网索支护技术优化及应用[J]. 中国煤炭工业, 2016.
- [9] 李方见, 吉升阳, 刘纪芳. 深部高地应力软岩大断面巷道支护技术[J]. 陕西煤炭, 2024, 43(7):118-122.
- [10] 胡彦斌. 深部高应力区大断面切眼支护技术研究[J]. 山西冶金, 2023, 46(3):192-193.

# 供水公司廉洁文化建设的路径探讨

陈胜杰

天津水务集团滨海水务有限公司, 天津 300456

**摘要：** 供水行业在公共服务中扮演着重要角色，廉洁文化的建设至关重要。通过分析供水公司面临的廉洁风险与现状，探讨有效的廉洁文化建设路径。采用文献分析和案例研究的方法，识别廉洁文化的核心要素及其在行业中的应用。研究发现，完善的制度建设、持续的教育培训和有效的监督机制是推动廉洁文化建设的关键因素。通过实践案例分析，强调了成功与失败经验的借鉴意义，为未来的廉洁文化建设提供了参考。

**关键词：** 供水公司；廉洁文化；制度建设；监督机制

## Exploring the Path of Integrity Culture Construction in Water Supply Companies

Chen Shengjie

Tianjin Water Group Binhai Water Affairs Co., Ltd. Tianjin 300456

**Abstract：** The water supply industry plays a crucial role in public services, making the construction of an integrity culture essential. This study explores effective paths for building an integrity culture by analyzing the risks and current status faced by water supply companies. Using literature analysis and case studies, it identifies the core elements of integrity culture and their application in the industry. The research finds that sound institutional development, continuous education and training, and effective supervision mechanisms are key factors in promoting the construction of an integrity culture. Through practical case analyses, the study emphasizes the significance of learning from both successful and failed experiences, providing valuable references for future integrity culture construction.

**Keywords：** water supply company; integrity culture; institutional development; supervision mechanism

## 引言

供水行业在社会经济发展中具有不可或缺的地位，直接关系到民生福祉和公共安全。如果出现腐败问题，会直接影响服务质量和公众信任。廉洁文化的建设不仅有助于防范腐败问题的发生，还能提升企业形象与内部管理效率。因此，深入探讨供水公司廉洁文化的建设路径显得尤为重要。文章将分析当前行业现状，分析廉洁文化建设的必要性，并提出相应的改进措施，以期为行业发展提供切实可行的建议。

## 一、廉洁文化的理论基础

### 1. 廉洁文化的概念界定

廉洁文化是指在社会和组织中形成的一种以廉洁自律、诚信为核心的文化氛围。它是以崇廉拒腐为主旨，融价值理念、行为规范和社会风尚于一体的文化形态，涵盖了倡导清正廉洁、以人为本的价值观。在供水行业，廉洁文化尤为重要，因为供水公司直接服务于公众，其工作透明度和廉洁程度直接影响到社会的整体信任。廉洁文化的核心在于自觉遵守道德规范和法律法规，从而形成一种内化于心、外化于行的自我约束机制。

### 2. 廉洁文化的核心要素

廉洁文化的构建涉及多个核心要素。首先，价值观是基础。组织内部必须建立起重视廉洁和诚信的价值观念，以引导员工的

行为。其次，制度建设至关重要。完善的规章制度能够为廉洁文化的实施提供具体的依据，确保每位员工都能遵循相应的行为规范。此外，教育与培训也是不可或缺的环节。通过定期的廉洁教育和培训，增强员工的廉洁意识，使其认识到廉洁不仅是法律的要求，更是个人和组织发展的需要。最后，监督机制的建立和完善也非常重要，只有通过有效的监督，才能确保廉洁文化的落地与执行<sup>[1]</sup>。

### 3. 廉洁文化在公共服务中的作用

在公共服务领域，廉洁文化发挥着极其重要的作用。首先，它有助于增强公众信任。供水公司作为公共服务的提供者，其服务质量和诚信度直接影响民众的生活品质。通过加强廉洁文化建设，企业能够树立良好的形象，赢得社会的信任和支持。其次，廉洁文化有助于提升组织效率。当企业内部形成良好的廉洁氛围



时，员工的工作积极性和凝聚力将显著提高，进而推动整体运营效率的提升<sup>[3]</sup>。此外，廉洁文化还能够有效预防和减少腐败行为的发生。通过建立透明、公正的工作机制，供水公司能够降低腐败风险，确保资源的合理利用，促进社会的可持续发展。

## 二、供水公司面临的廉洁风险

### 1. 行业特性与廉洁风险分析

供水行业具有一定的特殊性，主要体现在其公共服务的性质。作为基础设施的重要组成部分，供水公司负责保障民众用水的基本需求。然而，这种民生行业也存在一定的廉洁风险。一方面，供水公司在资源配置、工程招投标、财务管理等方面，容易受到腐败行为的影响；另一方面，行业内缺乏有效的竞争机制，可能导致一些管理人员利用职务之便进行权力寻租。

### 2. 案例研究：典型腐败事件

近年来，某城市供水公司的腐败案件引起了广泛关注。该公司的一名高层管理人员在负责重大工程项目招标时，利用职务之便，向几家投标企业索取贿赂，承诺给予其优先中标的机会。此事件曝光后，相关部门展开了深入调查，发现该管理人员在多个项目中收取贿赂，总金额达到数百万元。最终，这名高层被判处有期徒刑，并被追缴违法所得。

此事件揭示了供水公司在项目招标过程中存在的廉洁风险，以及内部监督机制的不足。尽管该公司在事后进行了整改和反腐倡廉宣传，但此案件的发生仍然使公众对供水公司的信任度受到严重损害。

### 3. 廉洁风险对公司运营的影响

首先从财务角度看，腐败行为导致公司资源的浪费和流失，增加了运营成本。对于上述案例中的供水公司而言，因腐败导致的财务损失不仅影响了项目的正常进行，还造成了企业信誉的下降，从而影响了后续的资金投入和项目合作。

其次，廉洁风险也损害了公司的形象与公众信任。当公众了解到供水公司存在腐败问题时，会对其服务质量产生怀疑，进而影响到客户的选择与满意度。在竞争激烈的市场环境中，失去客户信任的供水公司将面临客户流失和市场份额下降的双重压力。

此外，廉洁风险还可能导致法律责任和行政处罚。随着反腐败力度的加大，供水公司若未能有效防控廉洁风险，将面临更严格的法律审查和监管，甚至可能遭到罚款、行政处罚及业务停滞等后果。

供水公司面临的廉洁风险源于行业特殊性和内部管理缺陷，需通过有效措施加强自我监管和廉洁文化建设，以确保在市场竞争中实现可持续发展<sup>[3]</sup>。

## 三、供水公司廉洁文化建设的现状

### 1. 现有廉洁文化建设的措施

近年来，许多供水公司逐步认识到廉洁文化建设的重要性，并采取了一系列措施来强化这一方面的工作。这些措施包括制定

和完善廉洁制度，建立反腐倡廉工作机制。通过明确的廉洁规范，为员工提供清晰的行为指南。此外，定期组织廉洁教育与培训，旨在增强员工的廉洁意识和法律法规知识。部分公司还开展了廉洁自查和评估活动，通过内部审计和评估机制，及时发现和纠正不正之风，保障企业的健康发展<sup>[4]</sup>。

### 2. 文化氛围与员工认知

尽管许多供水公司在廉洁文化建设方面已采取措施，但实际文化氛围的营造和员工的认知程度仍存在差距。在一些公司，虽然制定了相关政策，但在实际执行过程中，仍然面临“形式主义”的问题。部分员工对于廉洁文化的理解停留在表面，缺乏深入的认同感和参与感。同时，管理层在日常管理中对廉洁文化的重视程度不一，导致员工在工作中缺乏一致的行为规范。为了增强员工的认同感，供水公司需要通过案例分享、互动讨论等形式，促进员工对廉洁文化的深入理解与认同<sup>[5]</sup>。

### 3. 廉洁文化建设的成效评估

对廉洁文化建设成效的评估是推动其持续改进的重要环节。目前，部分供水公司已开始引入第三方评估机制，对廉洁文化的实施效果进行客观分析。这些评估主要围绕制度落实情况、员工满意度、公众信任度等方面展开。例如，通过定期的员工问卷调查和客户满意度调查，了解员工对廉洁文化的认知及其在实际工作中的应用情况。同时，一些公司也开始关注社会公众对其廉洁文化建设的评价，借助媒体和社会舆论的反馈，促进自身的改进和提升。

尽管已有一定的成效，但整体上，供水公司的廉洁文化建设仍处于逐步推进的阶段。面对未来，供水公司需要在制度执行、文化氛围营造及效果评估等方面持续努力，以更好地应对行业面临的廉洁风险，提升企业的社会责任感和公众形象。

## 四、供水公司廉洁文化建设的路径

### 1. 制定完善的廉洁制度与规范

要有效推动供水公司的廉洁文化建设，首先需要制定和完善相关的廉洁制度与规范。这些制度应覆盖所有业务环节，包括财务管理、招投标、合同管理、供水经营等。明确的廉洁制度能够为员工提供清晰的行为指南，帮助他们理解在工作中应遵循的道德标准和法律法规。此外，制度的制定过程应充分听取员工的意见，确保其合理性和可操作性。在制度落实方面，供水公司应成立专门的廉洁文化建设小组，定期检查和评估制度的执行情况，并根据实际情况进行调整和完善。通过建立有效的问责机制，确保所有员工都能在制度框架内行事，增强制度的权威性和执行力<sup>[6]</sup>。

### 2. 加强廉洁教育与培训

廉洁教育与培训是推动廉洁文化深入人心的关键环节。供水公司应制定系统的培训计划，针对不同岗位的员工开展有针对性的廉洁教育。例如，为新入职员工提供廉洁从业的基础培训，帮助他们尽快融入公司的廉洁文化氛围；对管理人员开展更深入的反腐倡廉培训，使其能够在日常管理中起到表率作用；组织员工

参观廉洁教育基地，增强廉洁意识。此外，供水公司可以利用多种形式的教育方式，如在线学习、案例分析、研讨会、趣味活动、观看警示教育片等，增强培训的吸引力和实效性<sup>[7]</sup>。通过不断的教育与培训，提升员工的廉洁意识和自律能力，形成全员参与、共同维护的良好局面。

### 3. 建立健全监督机制与反馈渠道

有效的监督机制和反馈渠道是保障廉洁文化建设成效的重要保障。供水公司应建立内部监督体系，设置专门的纪检部门，负责日常的监督检查工作。同时，鼓励员工对发现的违法违规行为进行举报，并保证举报者的隐私和安全。通过建立“廉洁热线”或“意见箱”等反馈渠道，员工和社会公众可以及时反馈意见和建议，形成良好的沟通机制<sup>[8]</sup>。此外，定期开展内部审计与评估，确保各项廉洁制度和措施得到有效落实。

在监督机制的建立过程中，供水公司还应积极利用信息技术手段，推进透明化管理。例如，建立电子化的招投标平台和财务管理系统，提升业务流程的透明度，减少人为干预的空间。同时，通过数据分析技术，实时监控财务流动与项目进展，及时发现潜在的廉洁风险，采取预警措施。

综上所述，供水公司在廉洁文化建设的路径上，需要从制度完善、教育培训到监督机制的建立，全方位推动廉洁文化的落地实施。这些措施能有效降低腐败风险，提升企业管理水平与社会责任，最终实现供水服务的可持续发展。

## 五、廉洁文化建设的实践案例

### 1. 成功案例分析：某供水公司的经验

某市供水公司在廉洁文化建设方面取得了显著成效。该公司通过系统的制度建设和全面的廉洁教育，形成了较为完善的廉洁文化体系。在制度方面，该供水公司制定了一系列反腐倡廉的规章制度，修订了廉洁风险防控手册，明确了各岗位的廉洁责任。同时，该公司定期组织廉洁教育活动，通过案例分析提升员工的自律意识。最关键的是，该公司设立了专门的监督小组，负责对内部管理和业务流程进行审查与评估。通过透明化管理和制度的

贯彻执行，该供水公司有效降低了腐败风险，赢得了社会公众的信任和支持，树立了良好的企业形象<sup>[9]</sup>。

### 2. 失败案例反思：教训与启示

与成功案例形成对比的是，某供水公司因内部管理不善而爆发的腐败事件，给企业带来了严重损失。在该事件中，管理层未能有效执行廉洁制度，导致个别员工利用职务之便进行违法操作，最终导致公司财务损失和声誉受损。通过对这一失败案例的反思，发现问题主要在于制度执行的不到位和监督机制的缺失。企业在制定制度时缺乏广泛的参与和监督，导致许多员工对制度不够重视、了解得不深入。这一事件提醒其他企业在廉洁文化建设中，要加强制度的执行力度和监督环节，确保每位员工都能自觉遵守。

### 3. 对其他企业的借鉴意义

以上案例为其他供水公司和相关企业提供了宝贵的经验与教训。成功案例表明，完善的制度建设与持续的廉洁教育能够有效提升企业的廉洁意识，降低腐败风险；而失败案例则警示企业在制度执行与监督方面不可掉以轻心。其他企业在借鉴时，应重视内部沟通和员工参与，通过建立开放的反馈机制，及时发现问题并加以改进。同时，结合现代信息技术，推进透明化管理，能够进一步增强监督的有效性和管理的公正性<sup>[10]</sup>。因此，只有通过持续的努力和反思，企业才能在廉洁文化建设的道路上取得长足进展。

## 六、结语

供水公司的廉洁文化建设在防范腐败、提升服务质量和增强公众信任方面具有重要意义。研究发现，完善的制度、持续的教育培训和有效的监督机制是推动廉洁文化落地的关键要素。为了进一步加强廉洁文化建设，建议供水公司在制度执行和员工参与上加大力度，同时利用现代技术手段提升透明度。尽管本研究提供了有益的参考，但仍存在案例选择的局限性，未能涵盖所有地区和公司的情况。未来的研究应关注更多案例的比较分析，以更全面地探讨廉洁文化建设的有效路径和实践经验。

## 参考文献

- [1] 齐博豪. 新时代国有企业廉洁文化建设研究 [D]. 中共江苏省委党校, 2022.DOI: 10.27475/d.cnki.gzjsd.2022.000033.
- [2] 孟瑞瑞, 王威. 新时代高校廉洁文化建设路径创新研究 [J]. 黄河科技学院学报, 2023, 25(04): 90-94.DOI: 10.19576/j.issn.2096-790X.2023.04.016.
- [3] 龙太江, 孙悦. 公共文化服务助推廉洁文化建设研究 [J]. 湖南省社会主义学院学报, 2023, 24(02): 71-75.
- [4] 陈园园. 新时代中国共产党廉洁文化建设研究 [D]. 河北经贸大学, 2023.DOI: 10.27106/d.cnki.ghbj.2023.000686.
- [5] 钟夺. 新时代中国共产党廉洁文化建设研究 [D]. 沈阳师范大学, 2023.DOI: 10.27328/d.cnki.gshsc.2023.000051.
- [6] 苗蕴玉. 探讨高职院校廉洁文化建设的现状、问题及其改进策略 [A]. 延安市教育学会. 第四届创新教育与发展学术会议论文集 (一) [C]. 延安市教育学会: 延安市教育学会, 2023: 10.DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.040392.
- [7] 孙照红, 杨霞. 加强新时代廉洁文化建设的系统进路 [J]. 中国延安干部学院学报, 2024, 17(02): 121-129+136.DOI: 10.16223/j.cnki.cn61-1456/c.2024.02.011.
- [8] 袁兴好, 赖丽慧. 新时代廉洁文化建设的内涵要义与路径探索 [J]. 福建金融管理干部学院学报, 2024(01): 16-25.
- [9] 孙建佳. 德行、法治与责任: 廉洁文化建设的三维向度研究 [D]. 吉林大学, 2024.DOI: 10.27162/d.cnki.gjlin.2024.002799.
- [10] 吴明华. 中华优秀传统文化因子融入新时代廉洁文化建设研究 [D]. 重庆交通大学, 2024.DOI: 10.27671/d.cnki.gcjtc.2024.001106.

# 测绘新技术在工程建设中的应用分析

陈春红<sup>1</sup>, 林建峰<sup>2</sup>

1. 河南建筑职业技术学院, 河南 郑州 450000

2. 河南海华工程建设管理有限公司, 河南 郑州 450000

**摘 要 :** 随着中国社会经济的不断发展, 科学技术也在不断进步和创新, 测绘工程领域也迎来了前所未有的发展机遇, 各种测绘新技术不断涌现。在工程建设中, 测量工作是必不可少的一个重要环节, 因此测绘新技术的出现, 缩短了测量工作的时间, 减少了测量人员的投入, 降低了测量数据的误差, 提高了测量工作的效率和精度, 为工程建设带来了极大的便利。下文将对工程建设中测绘新技术的应用展开分析, 主要从无人机遥感技术、GNSS 技术、地理信息系统等方面进行讨论。

**关 键 词 :** 测绘新技术; 工程建设; 应用分析

## Application Analysis of New Surveying and Mapping Technology in Engineering Construction

Chen Chunhong<sup>31</sup>, Lin Jianfeng<sup>42</sup>

1. Henan Technical College Of Construction, Zhengzhou, Henan 450000

2. Henan Haihua Engineering Construction Management Co., Ltd. Zhengzhou, Henan 450000

**Abstract :** With the continuous development of China's social economy, science and technology are also progressing and innovating, and the field of surveying and mapping engineering has also ushered in unprecedented development opportunities, and various new surveying and mapping technologies are constantly emerging. In engineering construction, surveying is an indispensable link, so the emergence of new surveying and mapping technology shortens the time of surveying, reduces the investment of surveyors, reduces the error of surveying data, improves the efficiency and accuracy of surveying, and brings great convenience to engineering construction. The following will analyze the application of new surveying and mapping technology in engineering construction, mainly from unmanned aerial vehicle remote sensing, GNSS technology, geographic information system and other aspects.

**Keywords :** new surveying and mapping technology; engineering construction; applied analysis

## 引言

工程建设按施工程序可分为勘测规划设计、施工建设和运营管理三个阶段。勘测设计阶段的测量工作主要是提供大比例尺地形图; 施工生产建设阶段的测量工作包括控制测量、场地平整、定位放线、基础施工中的测量工作、主体施工中的测量工作以及构件和设备安装中的测量工作; 运营管理阶段的测量工作包括竣工测量和变形观测。由此可见, 测量工作贯穿于工程建设的整个过程中, 测量时某个环节产生失误, 将会影响测量结果, 影响工程设计和工程施工的顺利进行, 最终导致工程建设出现严重错误。<sup>[1]</sup> 因此, 工程测量是工程项目建设的重要环节之一, 测绘数据的准确性对工程项目的整体完成质量有着不可忽视的影响。<sup>[2]</sup>

传统的测量仪器设备无论是经纬仪、水准仪及各类全站仪等, 体积重量较大, 搬运及操作控制难度大; 测量投入的人力和资金量大、效率低、数据定位精度低; 测量施工耗时长、作业困难; 现时性差。<sup>[3]</sup> 已经无法满足新时代下工程项目建设的需求, 测绘新技术的出现扭转了这种的困难局面, 其广泛应用对提高工程建设工作的效率、提升数据的准确性乃至整个测绘行业的发展都起到了促进的作用。

本文主要介绍测绘新技术的几种基本类型, 包括无人机遥感技术、GNSS 技术、地理信息系统。

## 一、无人机遥感技术

无人机遥感技术, 是指利用先进的无人驾驶飞行器技术、遥感传感器技术、遥测遥控技术、通讯技术、GPS 差分定位技术和遥感应用技术, 实现自动化、智能化、快速获取国土资源、自然

环境、地震灾区等空间遥感信息, 并完成遥感数据处理、建模和应用分析的应用技术。

### (一) 无人机遥感技术在工程建设中的应用

在规划设计阶段, 无人机可以通过航空摄影测量技术获得工程建设区域内高分辨率的正射影像数据, 用于制作数字高程模型

作者简介: 陈春红 (1981-), 女, 河南周口人, 高校讲师, 本科, 研究方向: 测绘工程。



(DEM)和数字表面模型(DSM),解决由于地形复杂而测绘制图困难的问题。技术人员可采用遥感技术通过航拍画面以及所检测的点云数据等,对工程范围内的地物、地貌等情况加以分析,为工程建设的规划设计提供基础地理信息,从而能更好地对工程进行合理的规划和设计。<sup>[4]</sup>

施工建设阶段,无人机搭载的遥感传感器,能够实现厘米级甚至毫米级的地面分辨率,可以多角度拍摄和快速采集地面信息,快速获取施工现场的进度和劳动力配置情况,真实清晰地反映施工现场情况,通过图像处理技术,可以直观地查看施工现场的安全文明和环境保护情况,有助于工程的进度控制、方案交底和精细化管理,保证施工活动安全有序地开展。

运营管理阶段,利用无人机遥感技术可以对工程进行定期的监测和变化分析,检测工程的沉降、位移等问题,及时地采取措施进行处理。此外,无人机遥感技术还可以对施工材料和设备进行监测,防止偷盗和浪费。

## (二) 无人机遥感技术在工程建设中的优点

### 1. 提升数据准确性与安全性

无人机遥感技术涉及多种高科技的应用,如数码传感技术、卫星定位技术和无人技术等,能够大大提高数据收集的质量和效率,降低测绘误差。通过无人机遥感技术,可以开展详细勘察工作,有效避免数据失误和丢失的情况,为工程建设提供有力支持。

### 2. 提高工作效率

无人机遥感测绘技术的应用能够减少人工操作,快速处理数据,提高工作效率。在外部作业中,无人机能够克服恶劣天气的影响,具备较长的续航能力,从而保障测绘工作的进度。此外,无人机遥感技术还可以适应各种复杂环境和气候条件,确保测绘工作的顺利进行。<sup>[5]</sup>

### 3. 降低成本

与传统测绘方式相比,无人机遥感技术能够显著降低测绘作业的复杂性,简化工作流程。使用载人飞机或卫星进行数据收集会产生较高的成本,并且存在安全问题和受恶劣天气影响的风险。而无人机遥感测绘技术能够有效地降低成本,减少人工操作程序,确保数据安全和准确。<sup>[6]</sup>

## (三) 无人机遥感技术面临的挑战

无人机遥感技术的应用为工程建设带来了许多益处,极大地提高了工程建设的效率和质量,减少人工成本和风险。然而,无人机遥感技术应用也而临一些挑战。首先,技术的成本和可靠性问题是一个重要因素。目前,无人机遥感技术的设备和软件还比较昂贵,且在复杂环境和恶劣天气条件下的可靠性仍有待提高。其次,合法和隐私问题也是一个关注点。在无人机遥感技术的应用过程中,如何保护个人隐私和数据安全,确保合法合规,是一个需要解决的问题。

## 二、GNSS 技术

GNSS 技术是一种全球性的位置与时间测定系统,通过卫星星座提供全天候、高精度的位置、速度和时间信息。GNSS 包括多个

卫星星座及其增强系统,能够为用户提供全天候的3维坐标和速度以及时间信息。GNSS 技术广泛应用于导航、定位、测量、农业、救援、监视和管理、军事等领域。

## (一) GNSS 技术在工程建设中的应用

规划设计阶段测量的主要工作是提供大比例尺地形图,采用传统的测量仪器,受地形和通视影响,工作量很大。而采用GNSS 技术测绘地形图时,不受地形和通视的影响,可以快速准确地采集地形特征点的坐标和高程信息,为地形图的绘制提供可靠的数据支持,并结合测绘制图软件,实现数字化测图,提高工作效率,节约工程成本。

施工阶段需进行控制测量和定位放线工作,采用 GNSS 技术进行控制测量时,不受通视影响,可以减少控制点的数量,减少工作量和人员投入。采用 GNSS 技术进行定位放线操作便捷,定位放线人员将控制点和放样点的数据输入到 GNSS 手簿中,能自动转换参数,计算中定位所需的数据,解决了人工计算误差大、效率低的问题。<sup>[7]</sup>

运营管理阶段需对建筑物进行变形监测,GNSS 形变监测系统具备实时数据传输能力,能够将监测数据实时传输到数据处理中心或监测平台,及时反映监测对象的动态变化。这有助于及时发现潜在的灾害风险,为应急响应提供及时准确的信息。

## (二) GNSS 技术在工程建设中的优点

### 1. 定位精度高

GNSS 在工程测绘中,使用卫星进行地面事物的精确定位,在静态测量中其测量精确度达到了毫米级别,动态测量精度为厘米级别。与传统的测绘技术相比,GNSS 测量显现出了较大的优势。尤其是在工程变形监测中的运用,实现全天候、实时监测,对工程变形进行全过程的精确监测,提高了工程建设的成效。

### 2. 操作简便快捷

GNSS 接收机的体积小、携带方便、操作简单,在实际的测量中,技术人员只需在现场打开接收机,就可接收和存储卫星传递的数据,完成测量后直接关闭设备,就可完成一项测量任务。整个数据采集过程只需要几分钟,测量的时间效益明显。

### 3. 自动化程度高

GNSS 测绘技术应用了卫星技术、计算机技术、移动通信技术等,自动化水平高。地面部分自动进行卫星数据的传递和接收,主控站、监测站、注入站等之间借助通信系统进行信息交互,人工操作较少。

## (三) GNSS 技术存在的问题

GNSS 在测量过程中具有不受通视影响,定位精度高,便于携带,操作简便快捷,自动化程度高等优点。<sup>[8]</sup>但同时也存在一些问题,GNSS 信号容易受到建筑物、树木、隧道等物体的遮挡和反射,导致信号减弱或消失。GNSS 接收机需要收到足够的卫星信号才能进行定位,电量不足也会影响信号等。

## 三、地理信息系统 (GIS)

地理信息系统 (GIS) 是一种特定的空间信息系统,它采用计



算机硬件、软件系统,对整个或部分地球表层空间中的有关地理分布数据进行采集、储存、管理、运算、分析、显示和描述。它将地理信息视为可以描述和表达地球表面空间位置和特征数字化数据,并利用计算机技术和数据库管理方法对这些数据进行处理和分析。

**(一) 地理信息系统在工程建设中的应用**

在规划设计阶段, GIS 能够为工程建设的选址提供科学依据。通过收集和分析地形、地质、环境、交通流量、人流量等地理空间数据,这些数据有助于评估潜在建造地点的可行性,避免在不适宜的区域进行建设,从而降低工程风险。<sup>[9]</sup>利用 GIS 数据,建筑师可以轻松获得建筑物的具体规划信息,包括高度、遮挡效应等,从而进行更精确的设计。

在施工阶段, GIS 通过模拟施工过程,预测可能出现的问题,并提前制定应对措施,从而优化施工方案,提高施工效率。通过分析建筑物的楼层、墙壁、窗户等结构,可以计算出所需的建筑材料数量和成本,为建筑预算的制定提供有力支持。通过 GIS,项目负责人可以实时了解施工进度,确保工程按计划进行。

在运营管理阶段, GIS 软件可以和 GNSS 相结合,对建筑结构进行连续实时的观测,判断其是否存在变形,利用地理空间分析函数可以计算变形量和变形速率,根据变形数据分析变形的趋势,为建筑物的安全评估和维护提供及时依据。

**(二) 地理信息系统在工程建设中的优点**

**1. 数据精确性高**

传统的测绘技术由于受到各种因素的影响与制约,会导致测量结果与实际存在较大的偏差,影响数据的真实性。随着地理信息系统全面引入测绘领域,改变了原本测绘技术的弊端,它凭借自身超高精准测量的优势,能够有效避免影响测量准确性的因素,提高测绘数据的真实性与可靠性。<sup>[10]</sup>

**2. 测量效率高**

地理信息系统不需要进行估读与观测就能够获取准确的测量

数据,在整个测量活动中表现出良好的测量效率,能够在短时间内完成大量测绘工作,同时,地理信息系统在复杂地貌区域测量也能展现出良好的工作效果,通过多台设备开展分组测量,可以有效提高测量数据的精准度,同时提高测量工作的连续性与适应性,高效达成测量任务。

**3. 外部因素影响小**

传统的测绘技术对于控制点的选择和设置一般都处于被动状态,必须根据测区的实际情况进行选择,如果地形过于复杂,就会给测量工作带来巨大的困难。采用地理信息系统可以有效地解决这一问题,它能够在各类恶劣的环境以及复杂的地形条件下完成测绘工作,同时每一个操作流程都不会受到影响,保证测绘工作的有序推进。

**(三) 地理信息系统存在的问题**

工程建设中 GIS 具有提高测量数据的精确度提高测量效率,受外部环境影响小等优点。同时,也存在一些问题。在数据结构方面,存在处理位置关系费时,缺乏与 DEM 和 RS 直接结合的能力的问题。GIS 模型方面,存在难以表达复杂的地理实体的问题。成本方面, GIS 需要大量的硬件和软件来支持其运作,导致使用 GIS 成本高昂,限制了 GIS 的广泛应用。<sup>[11]</sup>

**四、结束语**

综上所述,测绘新技术在工程建设中的应用具有广泛的潜力和重要的作用。测绘新技术的出现,使各种工程可以更高效、高质量地进行规划、设计、施工和运营管理。总之,测绘新技术在工程建设中的应用有着广阔的前景,但同时也面临着一系列的问题和挑战。为了充分发挥其优势需要进一步研究和改进技术,解决相关的成本、可靠性、合法和隐私问题,确保其可持续发展和应用。我相信,通过我们测绘工作者的继续努力,一定能使测绘技术更上一个台阶,在工程建设中发挥更大的作用。

**参考文献**

[1] 黄扬帆. 现代测绘技术在工程建设中的应用优势 [J]. 四川水泥, 2021 (12) 68-69.  
[2] 林清顺. 浅析测绘新技术在工程测量中的应用 [J]. 新型工业化, 2022, 12(10): 309- 312.  
[3] 唐弼. 新型测量技术在工程建设中的应用分析 [J]. 中国科技信息, 2021(13): 40- 41.  
[4] 袁心. 无人机遥感技术在测绘工程测量中的应用研究 [J]. 黑龙江环境通报, 2022, 35(04): 71-74.  
[5] 任春鹏. 无人机遥感技术在测绘工程测量中的应用 [J]. 江苏建材, 2022 (04) : 76-78.  
[6] 孔鲁宁. 无人机遥感技术在工程测量中的应用研究 [J]. 城工程技术研究, 2021, 6(24): 194- 196.  
[7] 张盟. GNSS 测绘技术的特点及其在工程测绘中的运用 [J]. 科技资讯, 2021, 19(36): 31-33.  
[8] 洪娅岚. GNSS 在工程场地平整中的应用研究 [J]. 科技创新与生产力, 2019 (01) : 35-38+42.  
[9] 田剑, 徐勇, 徐小芳. 地理信息系统在测绘工程中的应用 [J]. 工程技术研究, 2020, 5(05): 246-247.  
[10] 刘晟昊. 地理信息系统在工程测绘中的应用 [J]. 集成电路应用, 2022, 39(08): 212-213.  
[11] 张嘉德. 地理信息系统技术在工程测量中的应用 [J]. 华北自然资源, 2021(03): 90-91.

# 关于北方城市园林精细化管理的可操控性探讨

马新宇

呼和浩特市华春园林工程有限责任公司，内蒙古 呼和浩特 010010

**摘 要：** 北方城市园林面临气候、植被等特殊挑战，传统粗放管理模式难以适应新形势下园林高质量发展需求。本文从园林精细化管理内涵和意义出发，结合北方城市园林实际，分析管理中突出问题，提出优化布局、完善制度、创新模式等对策建议。通过标准、技术、流程、制度等多维度协同发力，提升园林管理科学化、精细化、智能化水平，增强园林生态功能，改善城市人居环境，为北方城市园林管理实践提供参考。

**关 键 词：** 北方城市；园林；精细化管理；可操控性

## Discussion on the Operability of Fine Management in Northern Urban Gardens

Ma Xinyu

Hohhot Huachun Landscape Engineering Co., Ltd. Hohhot, Inner Mongolia 010010

**Abstract：** Northern urban gardens face special challenges such as climate and vegetation, and traditional extensive management models are difficult to adapt to the high-quality development needs of gardens under the new situation. This article starts from the connotation and significance of refined management in gardens, combined with the actual situation of gardens in northern cities, analyzes prominent problems in management, and proposes countermeasures and suggestions such as optimizing layout, improving systems, and innovating models. Through multi-dimensional collaborative efforts such as standards, technology, processes, and systems, we aim to enhance the scientific, refined, and intelligent level of garden management, strengthen the ecological functions of gardens, improve urban living environments, and provide reference for garden management practices in northern cities.

**Keywords：** northern cities; gardens; refined management; controllability

## 引言

随着城市化进程的不断推进，城市园林建设规模不断扩大，管理难度也在不断加大，传统的粗放型管理模式已难以适应新形势下园林高质量发展的需要。北方城市园林面临着区别于南方城市的特殊挑战。受气候、地理、植被等因素影响，北方园林在植物配置、养护管理等方面有其独特规律<sup>[1]</sup>。冬季严寒漫长、夏季炎热干燥的气候条件，导致植物生长期短、病虫害多发等问题，对园林养护管理提出了更高要求。同时，北方园林中常见的落叶乔木、针叶植物等，在修剪整形、树势维护等方面也有更高的技术难度。如何立足北方园林特点，通过精细化管理手段提升园林养护水平，进而增强园林生态功能，改善城市人居环境，成为摆在北方城市园林管理部门面前的一项重要课题。

## 一、园林精细化管理的意义

### （一）提升城市生态韧性，应对极端气候挑战

北方城市面临着干旱、洪涝、高温、低温等多种极端气候事件的冲击，给城市园林生态系统带来严峻考验。园林植被作为城市生态系统的重要组成部分，其健康生长状况直接关系到城市生态安全。园林精细化管理可以通过科学养护措施，提高园林植被抵御极端气候的能力，维护城市生态系统的稳定性。例如，精细

化管理可以优化植物品种选择，筛选和引进适应当地气候条件的抗逆性品种，提高园林植被的耐旱、耐寒、耐盐碱等能力<sup>[2]</sup>。同时，加强园林植被的抚育管理，通过合理修剪、客土改良、科学施肥等措施，促进植物根系发达，增强植被生长活力，提升其应对逆境胁迫的能力。此外，园林精细化管理还可借助现代信息化技术手段，对植被生长状况进行实时监测预警，根据旱情、汛情等预测信息，提前采取应对措施，降低极端天气可能带来的损失。通过精细化调控灌溉营养，补充植被生长所需水分养分，提

作者简介：马新宇（1982.07—），内蒙古呼和浩特市人，园林中级  
就职单位：呼和浩特市华春园林工程有限责任公司，内蒙古，呼和浩特市  
邮编：010010，研究方向：城市园林精细化管理。

高园林植被应对极端气候的生理生态能力。

### （二）彰显北方园林特色，提升城市文化内涵

北方园林蕴含着独特的地域文化基因和审美追求，粗犷大气、雄浑壮阔的艺术魅力构成了其鲜明的文化标识。然而，在快速城镇化进程中，体现北方园林特色的许多景观元素和文化内涵却面临着湮没甚至消亡的危机。园林精细化管理以传承保护为宗旨，通过精心修缮、因地制宜营造等措施，最大限度地还原和再现北方园林的历史风貌、特色景观，使其成为展示城市个性和魅力的靓丽名片。与此同时，精细化管理还注重从园林形态中深度发掘其承载的历史故事、人文精神，并运用创新方式阐发传播，唤醒人们对城市记忆的共鸣，激发人们对优秀传统文化的认同。由此，北方园林在精细化管理下不仅自身魅力得以彰显，更成为提升城市文化品位、传播文化自信的重要载体，为城市文化建设做出独特贡献<sup>[3]</sup>。

### （三）优化园林空间布局，促进公平普惠发展

精细化管理以数据驱动的规划、动态监测的反馈、精准施策的调控为抓手，推动园林绿地和城市不同区域、不同群体间更加均衡合理地配置。这有助于破除园林建设的马太效应，让园林发展成果惠及更广泛的民众，切实提升园林绿地的可达性和服务性。同时，精细化管理立足人民多样化、差异化的现实需求，因人而异地提供个性化的园林空间服务，营造全龄友好的园林环境，不断提升园林综合服务功能，最终增进民生福祉<sup>[4]</sup>。由此可见，园林精细化管理通过推进园林事业发展的公平性、普惠性，为促进社会公平正义、共享发展繁荣做出了重要贡献。在精细化管理的引领下，北方城市园林必将更好地造福人民、服务社会，成为城市高质量发展不可或缺的助推器。

## 二、北方城市园林提升精细化管理可操控性的对策

### （一）建立精细化管理标准体系，明确管控目标和评价指标

建立健全的园林精细化管理标准体系是提升管理可操控性的重要基石。标准体系应以精细化管理理念为指导，立足北方城市园林的地域特点和管理需求，全面梳理园林规划、建设、养护、运营等环节的管理事项，针对性地制定可量化、可考核、可操作的管理标准和规范<sup>[5]</sup>。标准的制定需要管理部门、业界专家、一线从业者等多方参与，在广泛调研、反复论证的基础上，确定各项管理工作的目标值、评价指标、操作规程等，形成科学完备的标准文本。通过标准体系的构建，园林管理工作将有章可循、有据可依，管理目标更加明确，管理行为更加规范，管理绩效更加可控。

以植物养护管理标准为例，可针对不同植物类型，如乔木、灌木、草坪、花卉等，分别制定养护技术规程。以乔木养护为例，标准可包括：树体高度、冠幅等生长指标的目标值；整形修剪的时间节点、枝条去除量等操作要求；病虫害防治的关键时期、药剂选择、施药浓度等技术参数；灌溉施肥的水量、肥料种类、施用时间等定量标准等<sup>[6]</sup>。同时还应建立养护质量评价指标，如叶面光洁度、枝干通直度、树冠完整度等，作为考核养护效果

的依据。在标准执行过程中，可利用大数据平台对养护过程进行精准记录和跟踪管理，对照标准及时发现养护问题并予以改进，让标准成为提升养护品质的有力抓手，以精细化管理促进园林植物健康生长。

### （二）应用智慧园林管理平台，提升管理信息化水平

北方园林面临着冬季漫长、生长期短等特殊挑战，对园林养护提出了更高要求。智慧平台可充分考虑北方园林的气候特点和植物生长规律，为园林管理赋能。平台通过在园林重点区域布设物联网传感设备，实时采集环境参数，并结合北方植物生长特性，设置预警阈值<sup>[7]</sup>。当监测到气温、湿度等指标偏离植物适宜生长范围时，平台即可向管理人员推送预警，提示采取防寒保湿、遮阳降温等措施，有效应对北方园林的极端天气风险，减少植被冻害、暴晒等不利影响，提高管理的前瞻性和精准性。

智慧园林管理平台应充分利用大数据分析功能，为北方园林的精细化养护提供智力支持。以北方常见的国槐为例，平台可通过采集国槐主要园林的生长数据，如树高、胸径、新梢长度等，并从土壤、气象等多源数据中提取影响国槐生长的关键因子，通过数据挖掘分析国槐生长与环境因子的关联规律，形成国槐生长预测模型。基于该模型，平台可以预判国槐春季萌芽期、秋季落叶期等关键物候节点，为制定养护计划提供时间参考。同时，平台还应进一步分析历年国槐生长数据，识别出生长健康度不佳的区域或个体，并探究其背后的影响因素，为有针对性地制定土壤改良、病虫害防治等对症下药式的精细化养护方案提供依据。此外，通过跟踪分析国槐生长状况对不同养护措施的响应情况，平台可评估各项养护作业的成效，不断优化养护时间、频次、强度等，在持续改进中探索出一套适合本地国槐生长的最佳实践方案，用数据驱动国槐的精细化养护管理。

### （三）优化园林养护管理流程，提高养护作业精细化程度

北方城市园林养护管理的精细化，关键在于流程优化为抓手，细化养护作业标准，创新养护管理模式，将粗放管理向精细化管理转变。北方园林植物生长的特殊性，对养护管理流程提出了更高要求。应立足北方园林特点，从植物生长节律、抗逆特性等维度，重构植物养护关键流程，细化不同物候期、生长阶段的作业指标体系，实现养护管理全流程可视化、可控化<sup>[8]</sup>。基于流程优化，应进一步强化实时督导、过程管控、绩效评估等具体举措，压实养护主体责任，将精细化管理理念渗透到日常养护作业的方方面面，提高北方园林植物养护的科学化、规范化水平。

以北方公园常见的山楂树养护为例，可针对其物候特点，设计春、夏、秋、冬四季养护作业流程：春季萌芽期，流程聚焦幼芽管护，可将徒长枝剪除、病虫害防治等作为关键作业节点，明确各节点的时间窗口、质量标准，并嵌入实时督导程序，确保一株不漏；夏季生长旺盛期，流程重点引导科学修剪整形，制定短截疏剪、疏密有致的作业指引，通过过程质量抽查，及时发现并纠正不规范的剪除行为；秋季结果期，流程强调做好病虫害防治和果实采摘，可明确防治周期、采摘时机等具体要求，避免病虫害和果实腐烂情况<sup>[9]</sup>；冬季休眠期，流程侧重树体防寒防冻，细化覆盖防寒、根际舒缓等措施，并做好低温监测预警。在每个季节

流程收官时，还应嵌入绩效评估环节，对照树体长势、果品质量等综合指标，客观评价养护效果，并据此优化下一季度的作业流程。如此，在流程再造－标准完善－过程管控－绩效评估－持续改进的循环中，不断提升山楂树养护的精细化水平。

（四）健全园林精细化管理制度体系，强化制度执行力

制度是园林精细化管理行为的基本准则和行动指南。北方园林管理的制度体系应充分考虑北方气候、生态、植被等特点，围绕园林规划、建设、养护、运营等环节，全面梳理管理事项，科学设置管理规则，明确管理职责、管理流程、奖惩机制、绩效评估等要素，形成全链条、全过程的制度矩阵，为园林管理各项工作提供基本遵循。在制度制定过程中，还应注重吸收北方园林管理的经验教训，及时将实践中的新情况、新问题转化为制度条文，做到制度内容与园林管理实际相契合、相统一。

制度的生命力在于执行。园林管理部门要建立健全制度执行的监督问责机制，切实扛起制度执行的主体责任。以北方园林夏季绿地草坪管理制度为例，可从日常督查、专项督导、“双随机”抽查等维度，强化制度落实情况的实时监控。管理部门可每周不定期开展日常督查，重点检查浇水、修剪、除杂、病虫害防治等养护作业是否符合草坪管理技术规程；在高温干旱等极端天气下，还应组织专项督导小组，实地督办各园林单位落实防御预案、加大巡查频次等应急举措的情况<sup>[10]</sup>；同时，管理部门应按月随机

抽取部分园林绿地，通过明察暗访等方式，核查草坪管理责任人是否严格执行草坪质量考核标准。对督查中发现的违规行为，管理部门要按照制度规定，视情节轻重给予通报批评、诫勉谈话、经济处罚等处分，对造成严重后果的还应启动责任追究程序。此外，管理部门还应定期总结草坪管理中的薄弱环节，研究修订完善制度条款，并加强制度宣贯培训，增强一线作业人员的制度意识，在严管与厚爱中激发广大园林人恪守制度的自觉性和主动性。

三、结束语

综上所述，北方城市园林精细化管理是一项系统工程，需要从标准、技术、流程、制度等多个维度协同发力，全面提升管理的科学化、精细化、智能化水平。建立健全的园林精细化管理标准体系，明确目标导向和评价规则，为管理工作提供基本遵循；应用智慧园林管理平台，借力信息化手段强化数据感知、决策支持和过程管控能力；优化园林养护管理流程，突出北方园林特点，因地制宜地细化养护作业标准，创新养护管理模式；健全园林精细化管理制度体系，压实管理责任，强化制度执行力，为园林管理提供坚实的制度保障。

参考文献

[1] 黄沫. 城市园林绿化养护精细化管理及其对园林景观设计的影响 [J]. 现代物业：中旬刊, 2023(2):148-150.  
[2] 王娜. 北方城市园林精细化养护管理分析 [J]. 花卉, 2024(14):31-33.  
[3] 史成龙. 园林景观工程施工的精细化管理研究 [J]. 现代经济：现代物业中旬刊, 2022(005):000.  
[4] 韩伟婷. 园林绿化养护精细化管理对园林景观的影响 [J]. 工程技术（文摘版）, 2022(13).  
[5] 谢晖. 园林绿化养护精细化管理存在的问题及解决对策研究 [J]. 房地产世界, 2023(18):151-153.  
[6] 周泉, 刘定明. 城市园林绿化精细化管理存在的问题及措施 [J]. 现代园艺, 2023, 46(18):162-164.  
[7] 王华军. 精细化绿化养护管理在城市园林建设中应用研究 [J]. 花卉, 2023(2):67-69.  
[8] 鹿亚龙. 新时期园林绿化养护精细化管理探讨 [J]. 建筑·建材·装饰, 2024(002):000.  
[9] 唐欢欢, 彭鑫, 阮小英. 园林绿化养护精细化管理对园林植物景观的影响 [J]. 农村科学实验, 2023(4):103-105.  
[10] 张艳菊. 精细化理念在城市园林绿化施工管理中的应用 [J]. 越野世界, 2023, 18:220-222.



# 新型压缩机和离心泵的设计与性能优化

兰进福，姚晓花

宁夏宝丰能源集团股份有限公司，宁夏 银川 750000

**摘 要：** 新型压缩机和离心泵在工业领域中具有重要的应用价值，其设计与性能优化直接影响着能源利用效率和设备的经济性。文章围绕新型压缩机和离心泵的结构创新、材料选择、性能优化等关键环节展开，结合现代流体动力学、热力学以及智能控制技术，系统探讨了提升设备效率和运行稳定性的路径。通过深入分析两类设备的协同设计方法，提出了一体化控制的优化策略，为新型压缩机和离心泵的研究与工程应用提供了技术指导。

**关 键 词：** 新型压缩机；离心泵；设计优化

## Design and Performance Optimization of New Compressors and Centrifugal Pumps

Lan Jinfu, Yao Xiaohua

Ningxia Baofeng Energy Group Co., LTD. Yinchuan, Ningxia 750000

**Abstract：** New compressors and centrifugal pumps have important application value in the industrial field, and their design and performance optimization directly affect the energy utilization efficiency and the economy of equipment. This paper focuses on the structure innovation, material selection, performance optimization and other key links of the new compressor and centrifugal pump, combined with modern fluid dynamics, thermodynamics and intelligent control technology, systematically discusses the path to improve the efficiency and operation stability of the equipment. Through in-depth analysis of the collaborative design methods of the two types of equipment, the optimization strategy of integrated control is proposed, which provides technical guidance for the research and engineering application of new compressors and centrifugal pumps.

**Keywords：** new compressor; centrifugal pump; design optimization

## 引言

压缩机和离心泵是工业领域中广泛应用的两类关键设备，分别用于气体和液体的传输与增压。传统设计在效率和稳定性方面存在一定局限，难以满足现代工业对高效、节能、环保的需求。随着工业生产需求的多样化和运行工况的复杂化，新型压缩机和离心泵的开发成为解决能源浪费和设备寿命问题的重要方向。通过优化结构设计、选用新材料和改进控制策略，可以显著提升设备的性能并降低运行成本。在此基础上，进一步探索两类设备的协同工作模式，有助于实现工业系统效率的全面提升，为现代工业提供可靠支持。

## 一、新型压缩机的设计与性能优化

### （一）设计原则与创新

#### 1. 提高气体压缩效率的结构设计

提高气体压缩效率是新型压缩机设计的重要目标，直接决定了设备的整体性能。优化结构设计是实现这一目标的基础，通过高效叶轮设计，能减少气体流动过程中因湍流和能量损耗造成的效率下降。利用三维流体仿真技术对气流分布进行精确分析，改进叶片的形状和角度，使气体在叶轮内的流动路径更加顺畅，显著降低气流阻力。在叶轮与壳体的结合部，设置高精度密封结构，以最大限度减少气体泄漏，来提高能量的传递效率。利用这些设计优化，压缩机在高负荷和复杂工况下依然能够保持高效运行<sup>[1]</sup>。

#### 2. 适应不同工况的模块化设计

模块化设计是适应多样化工况需求的重要手段，它通过可拆卸和可组合的结构设计，将叶轮、扩压器、轴承等核心部件分解为标准模块，可灵活适配不同运行场景。面对负荷变化或特殊气体的压缩需求，仅需调整或更换部分模块便可实现性能优化，无需整体更换设备。由于模块化设计简化了设备的维护与升级过程，降低了运行和维护成本的同时，也为设备的长期可靠性提供了保障。在现代工业中，模块化设计能满足用户对灵活性的需求，还大幅提升了设备的经济性。

### （二）关键技术与材料选择

#### 1. 高效叶轮与壳体设计

叶轮与壳体是压缩机的核心组件，其设计与材料的优劣直接

作者简介：兰进福（1983-），男，回族，宁夏彭阳县，助力工程师，学士，研究方向：化工设备。

影响设备的运行效率。高效叶轮设计通过采用三维建模技术,精确优化叶片的表面轮廓、厚度分布和倾斜角度,使气流在叶轮中能量传递效率达到最佳。结合数值模拟分析,能消除气流中的湍流和低效区,保证气体以最优路径流动,来提高压缩效率。注意,壳体的设计则需要兼顾强度,可采用高强度耐腐蚀的材料如铝合金和钛合金。

## 2. 轻量化与高强度材料的应用

轻量化设计在压缩机技术中可选择强度高且重量轻的材料,可以有效减少设备的运行负荷和运输成本。而对于高温高压的运行场景,复合材料和陶瓷涂层的结合提供了良好的解决方案。这种材料组合具有出色的耐腐蚀性能和抗疲劳特性,能够延长设备的使用寿命并减少运行过程中因部件磨损导致的效率下降。延伸一点,创新材料的应用使得压缩机在恶劣环境下仍能保持高效稳定运行,为设备在多行业的广泛应用提供了技术支持。

## (三) 性能优化策略

### 1. 流体动力学仿真与优化

通过流体动力学仿真与优化技术,能大大提升压缩机的工作效率。对气体流动的流体力学行为进行深入分析,有助于识别压缩机内部可能存在的涡流。利用调整流道的形状和尺寸,使气流流动的方向更加均匀,来减少能量损失,优化后的气流通道设计能够提高压缩效率并减少噪声产生,为设备的高效运行奠定了基础。进一步,通过迭代优化仿真模型,可不断改进压缩机的性能参数,保其设备在各种工况下的运行稳定性<sup>[2]</sup>。

### 2. 热力学性能提升

热力学性能的优化在多级压缩机中尤为重要,压缩气体在逐级升压过程中,温升和能量损失是影响设备性能的关键因素。这不妨引入高效冷却系统,在每一级压缩完成后对气体进行冷却,能够显著降低温升对设备热力循环效率的负面影响。还可以通过优化压缩比的分布设计,可使各级压缩机的负荷更加均匀,减少机械磨损并提高系统的整体运行效率,改进后的热力学性能设计使压缩机能够在高负荷运行时保持较低的能耗,满足现代工业对高效节能设备的需求。

## 二、新型离心泵的设计与性能优化

### (一) 创新设计思路

#### 1. 提高液体输送效率的叶轮优化

提高液体输送效率是离心泵优化的核心目标,叶轮设计是实现这一目标的关键环节。叶轮的几何形状决定了液体在泵体内部的流动路径。一方面,采用高精度数值模拟技术,可优化叶轮曲面形状和出口角度,使液体流动更加顺畅,减少流动损失。注意,设计过程中要对液体流速分布和压力变化进行详细分析,保证叶轮在各类工况下均能实现高效运行。另一方面,材质选择对叶轮的性能同样具有决定性影响。在腐蚀性或高压环境中,使用高强度耐腐蚀材料如不锈钢或工程陶瓷,可显著延长设备使用寿命并提高运行可靠性。还有采用复合材料设计叶轮可以实现轻量化,有助于降低启动和运行时的能耗,能进一步提高整体性能<sup>[3]</sup>。

#### 2. 适应多工况运行的可调节设计

多工况运行需求使得离心泵的可调节可以根据输送流量的需求自动调整泵速,使设备在不同负荷条件下均保持高效运行状态。然后配合可调节叶轮设计,通过改变叶片的开度或角度,可使离心泵的性能曲线更加贴合实际工况,减少因负荷偏离设计值带来的能量浪费。此种设计对于流量需求频繁波动的应用场景尤为重要,能够显著提升设备适应性。

## (二) 技术升级与集成

### 1. 智能控制与远程监测技术

智能控制技术为离心泵的性能优化提供了新的可能性,通过在泵体上安装高精度传感器,可实时监测液体流量、压力和温度等关键参数,利用人工智能算法分析这些数据后,动态调整泵的运行状态,让设备始终处于最佳工作点。智能控制系统能够减少人工干预,优化能耗分配,提高运行效率,智能预测功能还能在运行过程中识别潜在的异常情况,提前发出报警信号,减少设备故障引发的停机时间和维修成本,这种高效便捷的管理方式提升了设备的运行可靠性,适用于大型工业场景。

### 2. 系统化的节能设计

系统化的节能设计可通过重新设计泵体内部流道和优化液体流动路径,可有效减少流体冲击和涡流现象。改进后的流道设计能够使液体流动更加平稳,减少因流速波动导致的能量浪费。配备高效电机可以进一步提升泵的整体效率,这种电机能够在不同负荷条件下快速响应,保证离心泵在广泛的工况下都能保持最佳运行状态。节能设计的另一关键点是优化泵系统的整体布局,包括合理布置进出口管道和选择适当的管道材料。减少管道中的弯头和缩径设计可以降低流体流动阻力,而选择光滑内壁材质的管道能够进一步减少摩擦损耗。使其与泵的运行参数匹配,能提高系统的液体输送效率并降低运行负荷。这种全面的节能设计方案不仅能减少能源消耗,还能提高设备运行的可靠性和经济性,满足现代工业对高效节能设备的需求。结合智能控制技术,系统化的节能设计为离心泵的性能优化提供了全方位支持,为各类复杂工况下的应用奠定了基础<sup>[4]</sup>。

## (三) 优化性能的途径

### 1. 水力模型的改进与仿真分析

水力模型的改进是离心泵性能优化的核心手段之一,通过对泵体内部流场进行详细分析,可以识别液体流动中的低效区,并通过改进流道设计提高流动的稳定性,减少紊流现象。结合计算流体力学仿真技术来优化叶轮和导流叶片的几何参数,使流体动能转换效率达到最佳水平。此方法可降低液体流动的压力损失减少能量消耗。水力模型的不断优化能够确保离心泵在各种工况下均能实现高效运行,同时显著提升其稳定性。

### 2. 降低能量损耗的管道优化设计

管道优化设计在降低离心泵的系统能耗方面发挥了重要作用,合理布置泵的进出口管道降低液体流动中的阻力损失。使用光滑内壁的管道材料可以进一步减少摩擦阻力,同时通过选取合适的管道直径和材质,使管道与泵的性能更好地匹配,从而提高液体输送效率。此外改进后的管道设计可以减少泵的负荷,延长

设备使用寿命降低维护频率和成本，适用于各种复杂工况下的高效运行需求。

### 三、新型压缩机与离心泵的协同设计与优化

#### （一）协同工作模型的设计

在气液混输系统中，压缩机负责气体增压，而离心泵完成液体输送，两者需保持高效的参数协同。设计过程中通过流体动力学和热力学模型的耦合计算，精确预测不同工况下气液流动的变化规律，避免压力波动和流量不均导致的系统效率下降。为实现动态调节，可采用一体化控制系统对压缩机与离心泵的运行状态进行联动优化。利用实时监测关键参数，如压缩机出口压力与泵入口流量，智能控制系统能够快速调整设备运行工况，确保整体系统始终处于最佳效率点。

协同设计还涉及组件的标准化和模块化开发，通过对压缩机和离心泵的核心部件进行统一标准的设计，例如轴承组和密封系统，可降低整体系统的维护难度，提高设备之间的兼容性。这种模块化协同设计还便于设备在不改变系统整体结构的情况下进行快速升级，满足工业系统灵活性和高可靠性的要求。

#### （二）系统性能的全面提升

协同优化不仅提升了单设备的性能，还大幅改善了整体系统的经济性。在多级气液增压与输送系统中，优化压缩机的排气温度与离心泵的入口压力可实现热能的梯级利用。对压缩机和离心泵分别引入高效冷却装置，将压缩气体和液体的热量进行回收再利用，可显著降低系统的总能耗。从而延长设备的使用寿命。为进一步提升协同性能，可在系统中部署数字孪生技术，实时模拟压缩机与离心泵的运行状态。数字孪生模型通过采集设备的实时数据，与实际运行情况进行对比分析，为系统的参数调整提供科学依据。根据华能山东黄台电厂在压缩机与离心泵协同设计中的

应用案例，该电厂通过优化气液混输系统的协同工作模型，实现了设备运行效率的大幅提升。项目中引入了智能控制系统，对压缩机的排气温度和离心泵的入口压力进行实时监测和动态调整，让两种设备在不同工况下保持流量和压力的精准匹配。通过一体化控制系统的优化，设备在气液分离与增压输送过程中的能量损耗显著降低。同时黄台电厂对关键组件进行了模块化升级，其中含有采用统一标准设计的叶轮、轴承和密封系统。这些模块化部件的使用简化设备的维护，提高压缩机和离心泵之间的兼容性，在多级气液增压环节，引入了高效冷却装置，对压缩气体和输送液体的热量进行回收，并用于厂区供热需求，进一步提高了能源利用效率。这一优化项目最终使得系统能耗降低约12%，设备运行寿命延长近20%，有效提升了电厂整体经济效益和运行稳定性<sup>[5]</sup>。

### 四、结语

新型压缩机和离心泵的协同设计与性能优化为现代工业设备的高效运行提供了重要技术支撑。通过优化结构设计、选用先进材料和引入智能控制技术，这两类设备在效率、能耗和稳定性上得到了显著提升。在协同工作模型中，智能化控制系统的应用实现了设备间运行参数的实时联动调整，不仅提高了整体系统的运行效率，还显著减少了能源浪费。优化后的流体动力学模型和热力学设计大幅降低了运行中的能量损耗，改进后的节能设计方案增强了设备的可靠性和使用寿命，同时降低了维护成本。随着工业需求的不断升级，这些技术措施为压缩机和离心泵的高效应用奠定了坚实基础，为工业领域的节能减排和经济效益提升提供了广阔空间。未来，随着数字化技术的进一步发展，设备协同优化的深度和广度将继续拓展，为更高效、更智能的工业系统建设开辟新的可能性。

### 参考文献

- [1] 王金伟, 孙立宾. 化工离心泵水力改进设计及性能分析 [J]. 化工设计, 2024, 34(04): 3-5+12+1.
- [2] 王者文, 李杰军, 侯多华, 乔玉兰, 吴晋晶. 离心泵宽高效水力设计方法的研究及应用 [J]. 节能技术, 2024, 42(04): 353-358.
- [3] 黄维维. 新型水平预压式垃圾压缩机的轻量化设计 [J]. 山东工业技术, 2023, (01): 110-115.
- [4] 刘学平, 李秋宇, 刘宇. 一款新型组合型线涡旋压缩机的设计 [J]. 压缩机技术, 2019, (03): 6-10.
- [5] 武永生, 刘建瑞, 李红, 陈凯, 常浩. 新型自吸离心泵自吸结构设计与试验研究 [J]. 排灌机械工程学报, 2016, 34(07): 579-583.

# 道路桥梁隧道工程施工技术与安全监控

杜超

枣庄路发工程咨询有限公司, 山东 枣庄 277100

**摘 要：**在交通基础设施建设快速发展的背景下，道路桥梁和隧道工程规模和复杂度与日俱增。文章对道路桥梁隧道工程关键施工技术进行深入分析，主要包括路基路面的施工，桥梁上部结构和下部结构的施工以及隧道开挖和支护技术，并对各个环节的技术要点进行详细说明。与此同时，本文就施工期安全监控体系建设，监控方法及应对措施等方面进行了研究，目的在于为促进道路桥梁隧道工程施工质量的提高提供参考、保障施工安全，为促进交通建设行业的稳步发展提供了综合理论依据和实践指导。

**关 键 词：**道路桥梁隧道；施工技术；安全监控；质量保障

## Construction Technology and Safety Monitoring of Road, Bridge, and Tunnel Engineering

Du Chao

Zaozhuang Lufa Engineering Consulting Co., Ltd. Zaozhuang, Shandong 277100

**Abstract：**With the rapid development of transportation infrastructure, the scale and complexity of road, bridge, and tunnel projects are increasing day by day. This article provides an in-depth analysis of key construction techniques for road, bridge, and tunnel projects, including roadbed and pavement construction, the construction of the superstructure and substructure of bridges, and tunnel excavation and support techniques. Detailed technical points for each step are also provided. Additionally, this article explores the establishment of a safety monitoring system during the construction phase, monitoring methods, and response measures. The aim is to provide a reference for improving the construction quality of road, bridge, and tunnel projects, ensure construction safety, and offer a comprehensive theoretical basis and practical guidance for promoting the steady development of the transportation construction industry.

**Keywords：**road, bridge and tunnel; construction technology; safety monitoring; quality assurance

### 一、道路桥梁隧道工程施工技术要点

#### (一) 道路工程施工技术

##### 1. 路基施工技术

(1) 填方路基施工：填方工作之前，需要对放线进行准确的测量，明确填方的边界和坡度。选择适宜的填方材料并严格控制填方材料的含水量和粒径，以保证压实效果。分层填筑是至关重要的一步，每一层的厚度都是根据压实机械性能来合理确定的，通常是控制在20-30厘米的范围内，然后逐层压实到规定的密实度，常用压路机静压，振压联合作用来确保路基稳定和承载能力<sup>[1]</sup>。

(2) 挖方路基施工：以地质勘察资料为依据，准确地计划开挖的坡度和深度，以免出现超挖、欠挖现象。针对岩石路段合理选择预裂爆破和光面爆破两种爆破技术，在控制爆破震动作用于周围岩体和环境时，及时清理挖方土石和修整边坡并采取防护措施以防边坡垮塌<sup>[2]</sup>。

##### 2. 路面施工技术

(1) 沥青路面施工：沥青混合料配合比的设计非常关键，需要考虑道路等级，交通流量和气候条件，准确地分配沥青和集料的配比。在摊铺过程中，要确保摊铺机能够均匀且连续地工作，

同时控制摊铺的厚度和平整度，通常的厚度误差应控制在 $\pm 5$ 毫米之内。碾压分为初压，复压和终压3个环节，初压跟上摊铺，用轻型压路机实现稳压；复压选择重型压路机以保证压实度满足设计要求；终压后轮迹被消除，路面平整度得到增强，确保了沥青路面耐久性和行车舒适性。

(2) 水泥混凝土路面施工：模板的安装应坚实顺直、拼接紧密，以保证混凝土在浇注过程中不漏浆。混凝土搅拌严格执行配合比、水灰比控制、确保混凝土的强度。在混凝土的浇筑过程中，需要确保充分的振捣，避免出现如蜂窝和麻面这样的缺陷<sup>[3]</sup>。同时，要及时进行拉毛和养生处理，这样可以确保养护时间不少于14天，从而提高混凝土路面的抗裂性和使用寿命。

#### (二) 桥梁工程施工技术

##### 1. 桥梁下部结构施工

(1) 基础施工：对桩基础而言，灌注桩在施工时应应对桩位，垂直度和桩径进行准确控制，泥浆护壁以保证孔壁的稳定性，避免塌孔，钢筋笼的下放工艺顺利，处于中间位置，混凝土浇筑持续致密。扩大基础的施工需要对基坑进行良好的支护，并根据地质情况选择适当的支护形式例如钢板桩支护和土钉墙支护，在开挖到设计标高时进行，适时浇筑基础混凝土以确保基础的强度和稳定性。



(2) 墩台施工：在墩台的施工过程中，我们使用了定型的钢模作为墩台模板，以确保接缝的密封性和表面的光滑性。在安装过程中，我们严格监控其垂直度，通常误差不会超过0.3%。混凝土的浇筑过程是分层的，每一层的厚度都不会超过30厘米，并且需要均匀地振捣，确保养护到位，以防止墩台产生裂缝，从而为上层结构的施工提供坚实的基础。

## 2. 桥梁上部结构施工

(1) 预制梁施工：预制梁场的场址要考虑场地面积和运输条件，预制台座要牢固平整并留有反拱。钢筋骨架捆扎牢靠，波纹管位置精准，保证预应力管道的畅通。混凝土浇筑由附着式振捣器和插入式振捣器配合使用，确保了振捣效果。预应力张拉严格遵守设计所需张拉顺序，张拉力大，通过智能张拉系统准确调控，压浆致密，增强预制梁承载能力和抗裂性能<sup>[4]</sup>。

(2) 现浇梁施工：采用支架法，支架的设计应符合强度，刚度和稳定性的要求，预压以消除非弹性变形的影响，预拱度的测定和设定。挂篮法是一种适合大跨径连续梁的施工方法，挂篮的拼装，向前移动严格按照工艺标准进行，混凝土对称浇注，挂篮的变形得到了控制，保证了梁体优美的线形和结构的安全性。

## (三) 隧道工程施工技术

### 1. 隧道开挖技术

(1) 钻爆法：按围岩的等级对炮孔间距和深度及装药量进行合理的设计，用光面或预裂爆破来降低超欠挖。周围的眼间距通常被限制在30-60厘米之间，根据围岩的硬度来调整装药量，严格控制爆破产生的震动速度，以保护围岩的完整性，并为后续的支护工作创造良好的条件。

(2) 盾构法：盾构选型是根据隧道直径，地质条件，地下水情况等来决定的，盾构的装配，调试准确。在推进时对盾构姿态进行实时监测，并控制推进速度和出土量，通过同步注浆充填盾尾空隙来阻止地层沉降的发生，适合软土地层隧道的建设，且施工效率高，受周围环境影响较小<sup>[5]</sup>。

### 2. 隧道支护技术

(1) 初期支护：喷射混凝土应及时、跟上开挖面的步伐，并采取湿喷工艺以保证混凝土的强度和附着力、厚度满足设计要求。锚杆安装稳固且锚固力合格，配合喷射混凝土提高围岩的自稳能力。钢拱架架设位置精确，并与锚杆和喷射混凝土密切结合构成联合支护体系。

(2) 二次支护：通常用模筑混凝土施工，待初期支护的变形趋于稳定，钢筋绑扎和模板的安装均满足规范要求，并将混凝土浇注振捣致密，用作隧道永久支护结构以确保其长期稳定运行。

## 二、道路桥梁隧道工程安全监控体系构建

### (一) 监控目标和原则

安全监控的目的是实时了解施工期的安全状况，防止事故的发生，确保人员，设备和工程结构的安全。遵循全面性的原则，覆盖了施工各环节和各种风险源；及时性原则保证监测数据的迅速反馈以采取适时的措施；准确性原则、使用高精度的监测设备

确保数据的可靠性；动态性原则根据施工进度和环境的变化对监测的重点和参数进行调整。以隧道施工为例，当开挖深度加大，围岩情况发生变化时，适时调整监测点位和频次，时刻关注重点风险部位以保证监测效果<sup>[6]</sup>。

### (二) 监控组织架构

建立了以项目经理为组长，技术负责人，安全管理人员和各施工班组负责人参加的安全监测小组。项目经理协调配合，技术负责人拟定监控方案并进行数据分析，安全管理人员实地检查并实施整改，施工班组长对本班施工区域进行日常安全检查和信息报送，从而形成了分工协作，协同有效的监控组织体系。大型桥梁工程建设过程中安全监控小组每天都要举行例会，对各方面情况进行总结，对监测到的问题进行及时处理，确保建设安全、有序地进行。

### (三) 监控设备选型与布置

(1) 道路工程：对高填方路基和深挖方边坡布设沉降观测点和位移观测点并利用全站仪和水准仪进行定期观测；将温度传感器设置于沥青路面摊铺施工现场，对沥青温度进行实时监控，以保证摊铺质量和施工安全。例如，在山区的高级公路建设项目中，每20米的高填方路段都会设置一组沉降观测点，并在边坡的关键区域设置位移观测点，这些定期的观测数据将为路基稳定性评估提供重要依据；沥青路面摊铺过程中温度传感器将数据实时传输给摊铺机控制系统以保证沥青温度处于最优压实区间。

(2) 桥梁工程：桥梁基础，墩台和梁体等关键部位设置应力应变传感器对结构的受力状态进行监控；将位移传感器设置于挂篮，支架及其他临时设施中，对其变形进行监测，选择高精度的传感器进行合理配置，确保数据能够综合反映结构的安全状态。跨海大桥建设过程中在基础桩身，墩台核心区，箱梁关键截面等位置设置应力应变传感器并在挂篮和支架的各个节点处设置位移传感器并将数据传输到监控中心进行实时监测，出现异常情况时即时报警<sup>[7]</sup>。

(3) 隧道工程：在隧道围岩周围设置收敛计对围岩的收敛变形进行监测；在拱顶处布置沉降观测点对隧道沉降进行监测；衬砌后方设置压力传感器对支护压力进行监测并组成立体监测网络对隧道的施工安全提供保障。在某铁路隧道的建设过程中，隧道内部每隔5米都会设置一组收敛计和沉降观测点。衬砌背后的压力传感器会按照特定的位置进行布置，以全面监控围岩和支护结构的动态变化，从而确保隧道施工的安全性。

## 三、道路桥梁隧道工程安全监控方法与应对措施

### (一) 安全监控方法

(1) 实时监测：采用自动化的监测系统对桥梁结构应力和隧道围岩变形的关键部位及参数实行全天候监测，实时将数据传输到监控中心并在超过预警值时马上启动预警机制。城市地铁建设过程中隧道周围建筑物的沉降，结构变形由自动化监测系统对其进行实时控制，当沉降速率超过标准时，应立即停建，并组织专家对其成因进行了分析，制定了应对措施。

(2) 定期巡查: 安全管理人员每天都要到施工现场检查施工设备的运行状态, 人员的操作规范和防护设施的设置情况, 并填写检查记录, 及时发现存在的问题并告知纠正情况。在桥梁施工现场中, 日常检查内容包括塔吊和起重机的工作状态, 高空作业人员安全防护用品的穿戴, 及时发现设备存在的故障隐患或者违规操作并进行整改, 保障了施工安全<sup>[8]</sup>。

(3) 专项检查: 对隧道爆破作业和桥梁大型构件吊装这两个施工重难点环节组织专项检查并请专家参加, 对可能存在的安全隐患进行排查并制订专项防范措施。在隧道爆破具体检查时, 专家们从爆破设计, 炸药的储存和使用以及人员资质方面进行了综合评审, 并提出了相应的优化意见, 以减少爆破风险。

## (二) 预警与应急处置

(1) 预警分级: 预警按监测数据与正常范围偏差大小划分为蓝、黄、橙和红4个等级, 其中蓝色属于轻度异常, 红色是严重危急的颜色, 不同等级对应着不同的反应, 保证了报警的针对性和有效性。以公路高填方路基的沉降监测为例, 蓝色警告可能暗示观测频率的增强, 而黄色警告需要停止填方作业并对其成因进行分析, 橙色警告需要组织专家咨询, 红色警告需要即时启动应急预案并撤离周围群众。

(2) 应急响应: 当预警被触发后, 应立即启动应急预案、组织应急救援队伍、分配应急物资等, 如果隧道坍塌报警后, 则快速组织抢险人员进行救援、备齐抢险设备、撤离周围群众、按预定计划施救、尽可能少受损失。某隧道在施工过程中出现局部坍塌报警, 施工方快速启动方案, 抢险队伍带着专业设备快速进入现场, 撤离了正在施工的人员, 并采取紧急支护和清渣措施成功解决了此次危机。

## (三) 安全隐患整改与预防

(1) 隐患整改: 针对监控中查出的隐患, 要建立台账, 明确责任人、整改时限和整改措施等, 并对整改进程进行追踪, 直到隐患排除, 保证施工安全可持续控制。该桥墩台施工过程中发现模板拼缝不严密的情况, 当即建立了台账并指定模板工担任负责人, 要求两小时后进行整改, 并由安全管理人员对整改情况进行全程跟踪调查, 保证整改工作的顺利进行。

(2) 预防措施: 定期对安全监控数据和事故案例进行分析、总结经验和教训、优化施工工艺和安全生产管理制度、进行安全教育

和培训, 增强施工人员的安全意识, 从根本上防止安全事故的产生。道路施工企业按季度对安全数据和案例进行整理和分析, 并依此优化路基压实工艺、健全安全奖惩制度、进行全员安全培训等措施减少事故的发生<sup>[9]</sup>。

## 四、施工技术与安全监控协同发展策略

### (一) 技术创新推动安全提升

鼓励开发智能化盾构施工技术和桥梁预应力张拉远程监控等新的施工技术, 以降低人为操作的失误和提高精准度, 同时也给安全监控提供了更加方便和有效的工具, 使施工和安全监控工作协同推进。如智能化盾构施工技术能够对盾构运行参数进行实时反馈、推进姿态自动调节、减少操作风险等, 同时它的监测数据还与安全监控系统直接连接, 对隧道的施工安全起到了全方位的保障作用。

### (二) 人才培养强化技术保障

高校和职业院校强化道路、桥梁、隧道等专业, 培养不仅懂得施工技术, 而且熟悉安全监控和控制的复合型人才; 企业经常组织内部培训以提高职工的技能水平, 建设一支高素质的施工和安全监控队伍, 从而为工程的质量和安全生产提供人才支持。某大学新增了道路桥梁隧道施工及安全监控一体化的课程, 以实践教学和企业实习相结合的方式对学生的综合能力进行培养; 每年企业都会进行技能培训和比赛, 以调动职工的学习积极性, 促进团队整体素质的提高<sup>[10]</sup>。

## 五、结论

道路桥梁隧道工程施工技术和安全监控互为补充, 构成了保证工程质量和施工安全两大关键因素。通过对施工技术要点的深入研究, 技术工艺的持续优化, 安全监控体系的准确建设, 监控方法和应对措施的科学落实, 并促进二者的协同发展, 能有效地应对工程建设所面临的多种挑战, 创造出优质高安全的交通基础设施。今后, 伴随着科学技术的进步和管理理念的革新, 道路桥梁隧道工程的建设必将迎来更多的发展。

## 参考文献

- [1] 侯明研. 道路桥梁隧道工程施工技术与安全管控分析[J]. 运输经理世界, 2023(08): 111-113.
- [2] 王亚芬. 分析道路桥梁隧道工程施工中的难点和养护技术[J]. 四川建材, 2023, 49(03): 174-175+194.
- [3] 韩金刚. 道路桥梁隧道工程施工技术与安全管控[J]. 大众标准化, 2022(24): 148-150.
- [4] 肖太宝. 道路桥梁隧道工程施工技术与安全管控分析[J]. 运输经理世界, 2023(03): 149-151.
- [5] 曹荣臣. 试析道路桥梁隧道工程施工技术与安全监控[J]. 市场周刊·理论版, 2020(80): 1.
- [6] 刘俊成. 试议道路桥梁隧道工程施工技术与安全监控[J]. 建材发展导向, 2019, 17(13): 1.
- [7] 王祥真. 公路工程桥梁隧道施工安全评估监控技术研究[J]. 工程建设与设计, 2019(13): 110.
- [8] 纪海鹏. 浅议公路桥梁涵洞隧道工程施工技术应用[J]. 中国科技投资, 2019(23): 52-53.
- [9] 刘明龙. 公路桥梁涵洞隧道工程施工技术的应用浅析[J]. 工程技术: 引文版, 2020(2): 179.
- [10] 陈兴奎. 公路工程桥梁隧道施工安全评估监控技术[J]. 运输经理世界, 2022(07): 82-84.

# 高填方区地基处理及边坡支护施工技术

谢元文, 曾治国, 刘维

湖南省第二工程有限公司, 湖南 长沙 410015

**摘 要：** 针对高填方区地基处理的难题，提出了一种重力式挡土墙 + 土工格栅加筋土挡墙相结合的施工技术，并详细阐述了其施工原理、施工流程、操作要点以及经济效益对比。实践应用证明此方法经济可行，不仅解决了工程的施工难题，同时具有经济、绿色环保等优点，为类似工程提供了施工经验和参考。

**关 键 词：** 高填方区；挡土墙；土工格栅加筋土

## Construction Technology of Foundation Treatment and Slope Support in High Fill Area

Xie Yuanwen, Zeng Zhiguo, Liu Wei

Hunan No.2 Engineering Co., Ltd. Changsha, Hunan 410015

**Abstract：** Aiming at the difficult problem of foundation treatment in high fill area, a construction technology combining gravity retaining wall and geo-grid reinforced retaining wall is put forward, and its construction principle, construction process, operation key points and economic benefit comparison are expounded in detail. The practical application proves that this method is economical and feasible, not only solves the construction problem of the project, but also has the advantages of economy, green environmental protection, etc. It provides construction experience and reference for similar projects.

**Keywords：** high fill area; retaining wall; geoglassic reinforced soil

### 一、工程概况

永顺县溪洲新城生活污水处理厂位于永顺县老城区主干道209国道右侧，该地区因前期工程建设存在高度约为19m的填土，形成了较大的填方区，且经实地勘察，填方区土质松散，无法满足厂房建设要求，必须进行地基和边坡处理。但受场地空间小、填土施工质量难度大等原因限制，采用放坡、桩板墙等方式无法满足安全、经济的要求<sup>[1]</sup>。

### 二、技术原理及其特点

#### （一）技术原理

在土体中分层铺设土工格栅拉筋带，分层填筑填料并碾压压实，利用土工格栅与填料之间的摩擦力，限制土体的水平位移<sup>[2]</sup>。再通过反包的方式将下层格栅、生态袋、上层格栅固定在上层填土内连接形成整体，保证其内部及整体的稳定性。其中面层生态袋采用填充种植土和草籽的生态袋砌筑，区别于常规的刚性面层效果，更符合生态、绿色的理念<sup>[3]</sup>。另外，在坡脚处修筑一定高度的重力式挡土墙，进一步加强了边坡的稳定性。

#### （二）技术特点

- （1）重力式挡土墙与加筋土挡墙结构简单，不需配备大型机械，施工简单便捷。
- （2）加筋土挡墙属于柔性结构，能适应基础的轻微变形和不

均匀沉降。

（3）本技术相较于抗滑桩、全重力式挡土墙等支护方式相比，施工成本低，经济效益明显。

（4）本技术坡面面层采用填充种植土和草籽的生态袋砌筑，后期可形成绿色种植墙面，符合绿色环保的要求。

### 三、重力式挡土墙 + 土工格栅加筋土挡墙支护施工技术的具体应用

#### （一）施工工艺流程

施工准备→土方开挖（边坡卸载）→基底处理→重力式挡土墙施工→土工格栅铺设→堆砌生态土袋→填料回填、压实→土工格栅反包和搭接→边坡排水系统施工→边坡监测。

#### （二）操作要点

##### 1. 施工准备

根据工程量的大小及工期要求，组织足够的人员、机械设备、合格的原材料等，有次序的组织机械设备进场，机械设备除及时运输调用外还应注意使用前的检查和保养。

##### 2. 土方开挖（边坡卸载）

（1）按设计边坡开挖线进行边坡开挖，自上而下，分段分层开挖，逐层降低，并清除土壤至土工格栅铺设的最大嵌入长度；

（2）边坡开挖出的土方应用渣土车运至场内集中堆放，堆土场应远离边坡边界线不得低于20m；



(3) 开挖后的临时边坡如暴露时间长, 应采取覆盖防护措施, 防止雨水冲刷。



> 图1 边坡开挖及转运



### 3. 基底处理

(1) 边坡开挖至设计标高后, 在基底铺筑碎石垫层后应进行碾压压实、平整;

(2) 基底处理完成后, 必须检查压实度和地基承载力是否符合设计要求, 一般地基承载力不得低于80kPa, 若不符合要求, 应当与设计单位取得联系, 采取换填、加固等相应措施;

(3) 为保证后期排水通畅, 基底设置为1% ~ 3%的横坡。



> 图2 碾压压实施工



> 图3 基底处理

### 4. 重力式挡土墙施工

(1) 本工程挡土墙工程施工质量控制等级为B级, 采用浆砌法施工, 原料为MU30块石, M10水泥砂浆, 石料必须坚硬, 无风化、无裂纹, 挡土墙具体材料及施工方式可根据现场情况与设计确定;

(2) 挡墙基底出现回填或超挖的情况时, 可采用墙下砌筑毛石混凝土回填到基础设计标高, 再按原设计执行;

(3) 应分层错缝砌筑, 防止出现垂直通缝, 避免通长的水平通缝。单元段挡土墙施工应一次完成, 不留施工缝;

(4) 挡土墙最小埋深为0.5m, 本工程挡土墙高度为4.35m, 埋深为3.35m, 墙顶应略低于墙后坡底加筋土基础面(方便第一层土工格栅铺设和反包施工)。

### 5. 土工格栅铺设

(1) 土工格栅施工是该技术的关键程序, 在施工前必须对土工格栅进行质量、性能检测, 包括抗外观无损伤、老化性能和抗拉强度等, 在检测合格后方可进场;

(2) 根据设计要求, 土工格栅裁剪出指定长度(嵌入深度+反包长度2m), 实际长度可比设计长度稍宽, 避免后期出现搭接、拼接过多的情况;

(3) 采用全断面铺设, 铺设前应仔细检查覆土表面情况, 清理表面石块和尖锐杂物避免造成土工格栅损坏; 在铺设时土工格栅中筋材受力方向垂直于墙面, 并拉直平顺, 紧贴基层, 不得有皱褶和破损;

(4) 铺设完后采用U型钉固定在土体中, 相邻铺设格栅搭接长度不得低于2个肋条(3个孔格), 搭接点严格按照设计要求均匀布置。



> 图4 土工格栅堆放



> 图5 土工格栅铺设

### 6. 堆砌生态土袋

(1) 加筋土柔性支护体结构共设2级, 每级高8m, 坡比设计为1:0.75, 两级之间设有宽度为2m的马道, 具体可根据现场情况与设计确定。边坡面层采用填充种植植被和草籽的生态袋砌筑, 施工数月后可形成绿色墙面, 符合绿色环保的要求<sup>[4]</sup>;

(2) 生态袋垒砌摆放时, 挂水平线, 由低到高, 层层错缝摆砌, 连接扣要骑生态袋缝放置;

(3) 在垒砌生态袋成型的过程中先后外内逐层垒砌<sup>[6]</sup>。每层袋子铺设完成后将上表面及外侧拍打平整, 做到“顺直、平整、密实”, 袋体外露部分不能起皱, 相邻袋体间无明显高差。

### 7. 填料回填、压实

(1) 回填料可采用原开挖的土方, 但必须满足级配、含水率和压实度的要求; 也可选择具有一定级配的透水性比较好的砂类土、碎石, 可增加土工格栅与填料之间的摩擦力, 以确保其稳定性, 具体可根据现场施工情况确定;

(2) 本工程回填填料为1000mm一层(土工格栅上下两层距离), 回填填料摊铺采用人工+机械的方式完成, 首先由人工洒布150mm厚的回填料, 保证首层回填料的厚度均匀一致, 同时也作为加筋带与压实面之间的保护层, 然后再通过机械进行分层摊铺压实, 厚度为200~300mm;

(3) 机械碾压时, 应先从加筋带中间部位向两侧有序作业, 首次碾压的速度不得超过4km/h, 确保碾压过程中不会出现拥包现象, 第二次碾压可适当加快速度, 整个平面范围应分层回填、分层碾压;

(4) 在靠近挡土墙、生态袋的缘部, 不得采用机械碾压, 以免机械侧翻与对缘部和挡土墙造成损坏, 可采用人工+轻型夯实设备进行压实。





> 图6 填料回填



> 图7 压实度检测

### 8. 土工格栅反包和搭接

(1) 填料回填压实后,按5.2.5的操作要求继续铺设第二层土工格栅,再将下层预留伸出的土工格栅向上翻转将生态袋反包做成“C”型包裹,末端部分与上层土工格栅通过连接棒进行搭接,连接棒搭接时,必须交替穿过上下幅格栅每根肋条<sup>[6]</sup>;

(2) 反包总长度为2m,其中端部反包格栅(0.75m)应埋入当层填料0.3m处,并采用U型钢筋钉将土工格栅固定在土体中,U型钢筋钉的位置严格按照设计要求均匀布置,严禁出现土工格栅局部褶皱、破损的情况<sup>[7]</sup>。

### 9. 边坡排水系统施工

(1) 加筋土边坡及回填土内设置排水系统,采用DN80与DN160软式透水管,外倾1~3%;水平间距5~10m,垂直间距≤10m,梅花形布置;

(2) 坡底挡土墙内预埋Φ100排水管,间距为1~1.2m,呈梅花形布置;

(3) 边坡开挖前与边坡施工完成后,应在边坡顶部、马道和坡底分别设置截水沟和排水沟,具体位置由总体规划确定,以及时排除地表水<sup>[8]</sup>;

(4) 坡顶根据设计要求进行封闭和硬化处理,防止地表水渗入边坡体造成危害。

## 四、效益分析

### (一) 经济效益

以永顺县溪洲新城生活污水处理厂项目为例,本施工技术综

合费用分析如下表所示:

表:本施工技术费用分析表

序号	费用	单位	数量	单价	总价	备注
1	重力式挡土墙	元/m <sup>3</sup>	293	477.85	140087	坡底挡土墙
2	土工格栅	元/m <sup>2</sup>	15381	13.69	210602	
3	填料	元/m <sup>3</sup>	34113	26.92	918328	
4	反转挖机	元/台班	120	2247	269640	
5	碾压机	元/台班	100	1812	181200	
6	自卸汽车	元/台班	476	925	440300	
7	其他费用	-			58643	草籽、连接棒等
总计			221.88万			

永顺县溪洲新城生活污水处理厂工程项目,原填土高度为19m,坡底外轮廓线81m,面积约为2100m<sup>2[9]</sup>。由于填土高度、面积较大,且空间狭窄,采用放坡、全重力式挡土墙无法同时满足安全、经济的要求,在此不做考虑。若采用单排桩板墙的支护形式,经初步设计和估算,采用直径1.2m的抗滑桩,桩间距为2.8m布置,总计需29根抗滑桩,其综合费用约460万。经上述分析可知:采用本技术比桩板墙施工造价低了约238.12万,经济效益明显<sup>[10]</sup>。

### (二) 环保效益

该技术坡面面层采用填充种植土和草籽的生态袋砌筑,后期喷水灌溉,可形成绿色种植墙面,不仅美观,能防止水土流失,同时能一定程度上改善厂区生态环境,符合绿色环保的要求,具有较好的环保效益。

## 五、结语

重力式挡土墙+土工格栅加筋土挡墙支护施工技术适用于高填方区地基处理,其原理简单、施工操作方便,在保证施工安全和工程质量的同时,能很大程度节省施工成本,并且该技术的应用符合绿色环保理念,具有较高的推广应用价值。

## 参考文献

- [1] 彭华伟. 三向土工格栅在生态加筋土挡墙中的应用[J]. 技术与市场, 2024,31(09):106-110.
- [2] 熊凯. 土工格栅加筋土挡墙的动力性能及施工工艺研究[J]. 科学技术创新, 2021,(20):134-136.
- [3] 卓博华. 土工格栅加筋土挡墙施工及质量控制[J]. 工程技术研究, 2020,5(11):60-61.DOI:10.19537/j.cnki.2096-2789.2020.11.028.
- [4] 李通, 田志鹏, 欧洋. 某项目高填方区地基处理方法讨论[J]. 四川建材, 2024,50(10):90-92.
- [5] 林俊武, 陈鑫填, 郑可杨, 罗森, 吕金钊. 建筑地基处理的方法及发展趋势[J]. 民营科技, 2016(07): 54-55.
- [6] 殷德洪. 大型公共建筑中地基处理关键技术及应用实践[J]. 中国住宅设施, 2024(07): 85-87.
- [7] 朱金泰, 刘尊平, 徐耀德. 地基处理后复合地基承载力的深宽修正[J]. 岩土工程技术, 2007(01): 42-45
- [8] 唐华承. 土木工程中新型地基处理技术应用研究[J]. 住宅与房地产, 2024(05): 245-247.
- [9] 张黎明. 岩土工程中地基处理主要方法探析[J]. 城市建设理论研究(电子版),2023(06): 100-102.
- [10] 武鹏程, 石耀鸣, 郭少雄, 朱临瑞. 房屋建筑工程地基处理技术应用研究[J]. 城市建筑空间, 2023(S1):316-317.

# 城市轨道交通既有线路换装双向变流器研究

储杭道, 于喜林

神铁二号线(天津)轨道交通运营有限公司, 天津 300000

**摘 要 :** 本文介绍了既有城市轨道交通线路供电系统的常规设计方案, 并阐述了双向变流器的特性及在轨道交通中的应用。在此基础上, 本文研究、讨论了既有线路换装双向变流器的优势及适配性, 并选择一条既有线路作为算例, 进行调研和换装双向变流器的方案设计, 经计算、对比与分析, 该线换装双向变流器可以提升供电质量、同时减少约 2.3 % 的牵引能耗。本文认为换装双向变流器对既有线路供电系统的供电质量及节能减排具有积极的影响。

**关 键 词 :** 城市轨道交通; 既有线路; 换装; 双向变流器

## Research on Bidirectional Converters Replaced on Existing Urban Rail Transit Lines

Chu HangDao, Yu Xilin

Shentie Line 2 (Tianjin) Rail Transit Operation Co., LTD. Tianjin 300000

**Abstract :** This paper introduces the conventional design scheme of the existing urban rail line power supply system, and expounds the characteristics of the bidirectional converter and its application in rail transit. On this basis, this paper studies and discusses the advantages and adaptability of the existing line to replace the bidirectional converter, and chooses an existing line as an example to investigate and design the bidirectional converter. Through calculation, comparison and analysis, it is found that the line can improve the power supply quality and reduce the traction energy consumption by about 2.3%. This paper considers that the replacement of bidirectional converters has a positive impact on the power supply quality, energy saving and emission reduction of the existing power supply system.

**Keywords :** urban rail transit; existing line; replacement; two-way converter

### 引言

截至2021年12月31日, 全国共有51个城市开通运营城市轨道交通线路269条, 运营里程8708公里。如此庞大的城市轨道交通运营里程, 使城轨交通“碳达峰、碳中和”成为实现交通运输行业绿色发展的重要挑战和历史性任务。牵引系统是轨道交通车辆的“心脏”, 是列车动力的关键来源。其能耗约占城市轨道交通总能耗的50%。因此, 降低列车牵引能耗, 能够有效降低城市轨道交通总能耗, 降低碳排放量。

### 一、城市轨道交通牵引系统及仿真方法

#### (一) 牵引能量流向

城市轨道交通牵引系统电力来源于城市220/110 kV 外电源, 经中压环网, 传向城市轨道交通牵引网系统。中压环网与牵引网之间一般有4种类型的能量传递装置; 1) 整流机组: 能量单向流动, 中压环网→整流机组→牵引网(轨); 2) 双向变流器: 能量双向流动, 中压环网↔双向变流器↔牵引网(轨); 3) 中压逆变: 能量单向流动, 中压环网←中压逆变←牵引网(轨); 4) 储能装置: 能量双向流动: 储能装置↔牵引网(轨), 但不接入中压环网。一般的, 整流机组是默认设置的, 双向变流器、中压逆变和储能装置选择其一设置或不设置。

#### (二) 常规供电系统的劣势

常规供电系统一般采用两套整流机组并联的方式。整流机组是采用基于二极管的24脉波整流, 应用较为成熟, 却存在以下劣势:

- (1) 再生能量回收比例低。整流机组只能为列车提供能量, 需要额外增加设备以提高回收车辆再生能量的比例, 增加了投资与用地。
- (2) 直流输出电压波动范围大。变电所输出电压会随着列车运行工况的变化出现较大波动, 对列车的安全稳定运行不利, 同时也限制了供电距离。

#### (三) 再生能源利用

目前轨道交通普遍采用的VVVF动车组列车, 一般制动能量可达到牵引能量的20% ~ 50%甚至更高。轨道交通公交化的运输模式决定了城市轨道交通具有列车运行密度大、站间距小、起停

作者简介: 储杭道(1982-), 男, 汉族, 江苏海安, 工程师, 工学学士, 研究方向: 轨道交通供电及机电系统。

频繁的特点，列车制动蕴含的能量十分巨大。当列车制动时产生的再生能量被其它列车或设备再利用时，再生能量才是有效和有益的。一般情况下，相邻车的吸收并不能保证再生能量的全部或大部分利用，尤其是非高峰时，发车对数较低的时段。

在供电系统中增加双向变流器、中压逆变或储能装置提升再生能量的利用率，已成为共识。

（四）牵引、供电仿真方法

列车牵引仿真模拟是根据设计线路纵断面、列车牵引特性、供电特性、列车阻力特性、牵引网电压以及运营组织要求等各种资料仿真各个运营阶段列车全线运行状态，其产生的数据作为运行图模拟和供电节点网络模拟的数据基础。列车是供电系统的最主要服务对象，其取流特点具有动态波动性强、在牵引网上的取流位置不固定等特点，而直流系统全线贯通一体，任何位置的负荷波动均会影响到整个供电网络的电气特性。这样的负荷和系统特点，常规的公式计算法很难准确表述列车的动态运行过程及牵引供电系统的实时负荷特性。供电仿真是对构建好的供电系统网络进行有限断面切割，对任意切割断面建立数学模型，利用计算机进行全网络全周期时段的动态分析，获得给定线路下，任意运行条件、任意时刻、任意断面的电气特性参数<sup>[1]</sup>。

二、双向变流器特性及应用

（一）双向变流器的特性

双向变流器作为电压源型 PWM 整流器，具备稳压的输出外特性。双向变流器应用到城轨牵引供电系统中，工作在逆变状态时，能够将列车再生制动能量反馈回中压环网，避免在电阻上的消耗，节约能源；工作在整流状态时，可为列车提供牵引功率，在一定程度上维持直流网压的稳定。此外，还可以工作在无功补偿状态，提高交流系统功率因数<sup>[2]</sup>。

基于 IGBT 的双向变流器，具备取代整流机组加能馈装置的能力，而双向变流器与整流机组的下垂特性不一致，使得双向变流器采用何种控制策略与整流机组协同运行，需要进行选择。

（二）双向变流器应用

目前全国已经有10多个城市在轨道交通中应用了双向变流器。应用方式主要分为两类：1）全线牵引所按照2套整流机组+1套双向变流器或1套整流机组+2套双向变流器布置，提升供电质量，降低牵引能耗，例如宁波4号线；2）针对供电能力薄弱的区域，加装1套双向变流器提升供电质量，例如济南2号线。

目前，双向变流器主要应用在较新的线路，即近年来开通运营或正在设计、施工的线路。尚未有针对较早建成的线路使用双向变流器的案例。

三、换装双向变流器方案

（一）既有有线工程概况及供电方案

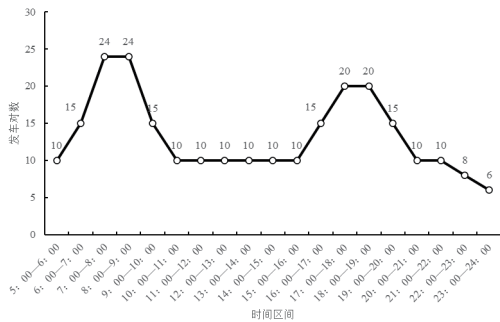
（1）线路、行车、车辆参数

线路全长27千米，设站20座，与2012年建成通车，建成超

过10年。线路纵断面及车站如图1所示，全日行车计划如图2所示，车辆采用6节编组B型车。



> 图1 线路纵断面及车站示意图



> 图2 全日行车计划示意图

（2）既有供电系统方案

该线供电制式为直流750V。全线共设置13座牵引变电所，牵引所平均间距为2.17 km。牵引所设置位置如图3所示。既有整流机组容量为2×1.2 MW或2×1.8 MW。该线供电系统采用二极管整流器作为供电装置，且未安装其它再生或储能装置。当列车减速制动时，电机从电动状态转换为发电状态运行，会产生大量再生制动能量，被输送到接触网上。由于二极管供电装置为单向能量变换（无法再将直流电变换为交流电反馈回中压环网），因此当附近没有列车恰好处于牵引状态时，这部分能量只能被设置在车上的制动电阻装置消耗掉，以防止直流电压飙升，保证列车供电安全。然而，这种解决方式将列车再生制动能量白白消耗掉，造成能量的巨大浪费，同时导致隧道温升和环控系统二次耗能等诸多问题。



> 图3 供电设施分布示意图

牵引供电系统采用的二极管整流机组输出电压不可控，导致直流接触网电压存在较大波动，尤其是在车流密度大和变电所解裂等极端情况下，供电电压过低，不利于列车牵引性能的发挥，影响列车通过能力<sup>[3]</sup>。

该线在主变电所内配置专用无功补偿设备 SVG，以提高系统功率因数，但 SVG 工作时会因为功率损耗而引起器件升温，导致设备发热严重且故障率高，严重时可能导致设备失效。

（二）换装双向变流器方案

既有线相对新建线路，设备房间的限制更为明显。新设备如需安装需要考虑房间的容纳情况，以及与既有设备的兼容性。为有效利用该线的再生能量，同时提升供电质量，选择有条件牵引所进行双向变流装置替换整流机组改造，牵引设备配置模式改为1套整流机组（保留）+1套双向变流器（替换既有的1套整流机组），以实现变流器能量的任意双向流动。

换装方案不仅可解决传统供电系统列车制动能量浪费，网压波动大等问题，还可以为主所专用无功补偿装置 SVG 分担一部分

功率损耗,降低 SVG 发热温度,实现“一机多能”,为构建一个节能高效、结构简化、性能提升、功能先进的新型城轨交通牵引供电系统奠定基础。

四、换装双向变流器对供电系统的影响

该节将对换装前后的供电系统进行的仿真、分析,给出了该既有线换装双向变流器对供电系统的影响。

(一)对牵引能耗的影响

经过牵引供电仿真、计算,既有供电系统牵引能耗计算(分行车对数,单小时)结果如表1所示,换装后供电系统牵引能耗(分行车对数,单小时)计算结果如表2所示,全日牵引能耗和线路损耗对比表格如表3所示。经对比,3个牵引所改装双向变流器后,牵引能耗每日可减少3417 kW.h,约占原牵引能耗的2.3%,节能效果明显。

表1 既有供电系统牵引能耗计算结果

行车对数	整流机组输出 (kW.h)	牵引能耗 (kW.h)
24	14377	14377
20	11922	11922
15	9171	9171
10	6171	6171
8	4952	4952
6	3832	3832

注:既有供电系统全线只有整流机组系统,牵引能耗即整流机组输出。

表2 换装后供电系统牵引能耗计算结果

行车对数	整流机组输出 (kW.h)	双向变流器输出 (kW.h)	双向变流器吸收 (kW.h)	牵引能耗 (kW.h)
24	13346	807	301	13852
20	11441	341	160	11622
15	9081	247	527	8801
10	6338	56	458	5936
8	5167	68	507	4728
6	4119	17	524	3611

注:换装后供电系统全线既有整流机组系统又有双向变流器的线路,牵引能耗=整流机组输出+双向变流器输出-双向变流器吸收。

表3 改装前后牵引能耗、线路损耗对比

	既有供电系统 (kW.h)	换装双向变流器 (kW.h)	差值 (kW.h)	差值比例
全天牵引能耗	151332	147916	-3417	-2.3%

注:差值=换装双向变流器-既有供电系统;差值比例=差值/既有供电系统,下同。

(二)其他影响

(1)运营的影响

项目正式实施过程中,需在满足新设备最小安装间距及条件要求的条件下,减少工程量及改造时间,节省投资,且不影响该线的正常运营。

(2)保护系统的改造与调试

本次改造利用既有交直流开关柜设备,保护装置需做相应调整。各保护设备应选择适用于双向变流装置的保护装置及功能,并对保护定值进行整定,更换完成且定值修改后对保护装置进行调试<sup>[4]</sup>。

(3)关联系统的影响

城市轨道交通是一个整体,用双向变流器替换整流机组时,需对变电所综合自动化软件、设备房间通风空调、土建和综合监控等系统进行校核、调整。

(三)影响分析

通过计算、分析可知,该线换装双向变流器可以减少约2.3%的牵引能耗,同时提升供电质量,对既有线供电系统有积极影响。改造中,需在过程中避免影响正常运营,同时对保护定值及相关系统进行校核、调整。

五、结论

本文介绍了既有城市轨道交通线路供电系统的常规设计方案,并阐述了双向变流器的特性及在轨道交通中的应用。在此基础上,本文研究、讨论了既有线路换装双向变流器的优势及适配性,并选择一条既有线作为算例,进行调研和换装双向变流器的方案设计:选择其中3个牵引所,将1套整流机组换装成1套双向变流器;通过牵引、供电仿真计算、对比与分析,该线换装双向变流器可以提升供电质量、同时减少约2.3%的牵引能耗。本文认为换装双向变流器对既有线供电系统的供电质量及节能减排具有积极的影响。

参考文献

[1] 施仲衡,丁树奎.城市轨道交通绿色低碳发展策略[J].都市轨道交通,2022,35(01):1-4+11.  
[2] 于晓杰.城市轨道交通列车节能运行优化研究[J].电气化铁道,2020,31(S1):128-132.  
[3] 郑旺.城市轨道交通牵引供电双向变流器应用研究[D].中国矿业大学,2019.DOI:10.27623/d.cnki.gzkyu.2019.000352.  
[4] 张钢,刘志刚,牟富强.双向变流器在城轨牵引供电系统中的应用[J].都市轨道交通,2014,27(04):109-112.



# 道路桥梁工程中的施工技术创新

王永成

张家口路缘公路工程有限责任公司，河北 张家口 075000

**摘要：** 随着道路桥梁工程建设需求的不断增长，施工技术的创新成为提高工程质量与效率的重要途径。近年来，智能化施工技术、绿色环保材料的应用以及施工工艺的优化，推动了行业的发展。新型施工设备的引进与智能化管理系统的应用，显著提高了施工精度与安全性。同时，针对复杂地质条件和恶劣气候，开发了相应的技术解决方案，保障了工程顺利实施。施工技术创新不仅提升了桥梁工程的建设速度，也为行业可持续发展提供了有力支持。

**关键词：** 施工技术；创新；智能化；绿色材料；桥梁工程

## Title: Innovations in Construction Technology for Road and Bridge Engineering

Wang Yongcheng

Affiliation: Zhangjiakou Luyuan Highway Engineering Co., Ltd. Zhangjiakou, Hebei 075000

**Abstract：** With the growing demand for road and bridge engineering construction, innovations in construction technology have become an important avenue for improving project quality and efficiency. In recent years, advancements such as intelligent construction techniques, the application of environmentally friendly materials, and the optimization of construction processes have propelled the industry forward. The introduction of new construction equipment and the application of intelligent management systems have significantly enhanced construction accuracy and safety. Additionally, technical solutions have been developed to address complex geological conditions and harsh climates, ensuring the smooth implementation of projects. These innovations in construction technology not only accelerate the construction speed of bridge projects but also provide strong support for the sustainable development of the industry.

**Keywords：** construction technology; innovation; intelligence; green materials; bridge engineering

## 引言

随着城市化进程的加快，道路桥梁工程的规模与复杂性不断增加，传统的施工技术已难以满足现代工程的需求。施工技术的创新，特别是在智能化、绿色材料应用和施工工艺优化方面，正成为提升工程质量、缩短工期、降低成本的重要手段。如何突破传统施工模式，借助先进的技术手段，解决工程中遇到的各种挑战，成为行业关注的焦点。探索这些创新技术，不仅能推动行业发展，也为未来的道路桥梁建设提供了全新的视角与解决方案。

## 一、道路桥梁工程施工技术的发展趋势

随着城市化进程的不断推进，道路桥梁工程面临着规模增大、工期紧张、环境复杂等多重挑战。传统的施工技术已难以满足现代工程对高效率、高质量以及低成本的要求。因此，施工技术的创新成为推动行业发展的关键因素。在这一背景下，施工技术不断朝着智能化、自动化、绿色环保和高效化的方向发展，旨在提升工程的整体性能，并解决传统施工方法中的弊端。

智能化施工技术逐渐成为道路桥梁工程中的核心组成部分。通过引入物联网、大数据、人工智能等前沿技术，施工过程中的各项数据能够实时监测和分析。这些数据的采集与分析不仅能够优化施工流程，还能有效预防施工过程中的安全隐患，提高施工

精度和质量。比如，在桥梁的设计与施工过程中，智能化的 BIM 技术（建筑信息模型）可以实现精准的建模与模拟，使得各项工序的衔接更加紧密，减少了因设计不合理或施工不当带来的返工现象，节省了大量的时间和成本。此外，智能化设备的应用，如自动化机械臂和无人机等，也在提高施工效率和安全性方面发挥着越来越重要的作用<sup>[1]</sup>。

与此同时，绿色环保材料的应用正在成为施工技术创新的重要方向。随着环保意识的提升以及对可持续发展的要求，绿色建筑材料逐渐被推广应用于道路桥梁建设中。新型高强度、耐久性强的环保材料不仅能降低施工过程中的资源消耗，还能有效减少工程对环境的负面影响。比如，采用可再生材料、低碳排放的混凝土以及轻质高强的钢材，可以显著减少桥梁结构的自重，降低

材料使用成本，并提升工程的耐久性和使用寿命。此外，绿色施工工艺的应用，如雨水回收系统和能源高效管理，也为节能减排贡献了力量。

随着技术的不断进步，新型施工设备的引进和应用极大地改变了传统施工模式。现代施工设备具备了更高的自动化程度，能够大大提高施工的精确度和效率。例如，隧道施工中的盾构机和桩基施工中的旋挖钻机等高效设备，不仅提升了施工速度，也改善了施工环境，减少了对周围环境的影响。此外，施工过程中的智能监控系统也能够实时反馈施工状态和结构安全，确保工程在高标准、高质量的前提下顺利推进。新型设备的应用不仅大大提升了施工效率，也为道路桥梁工程的质量控制提供了有力保障<sup>[2]</sup>。

## 二、智能化施工技术在桥梁建设中的应用

智能化施工技术在桥梁建设中的应用，标志着传统施工模式的重大变革。随着信息技术的迅速发展，智能化施工技术通过引入大数据、人工智能、物联网等先进技术，不仅提高了施工过程的效率与精度，还有效降低了施工风险，确保了工程质量。在桥梁建设中，智能化施工技术能够实时监测各项施工数据，如温度、湿度、应力等，确保施工过程在最佳条件下进行。此外，智能化技术还能够施工过程中进行动态优化，根据实时数据调整施工方案，最大限度地减少了不必要的资源浪费<sup>[3]</sup>。

具体到桥梁建设中的应用，智能化建筑信息模型（BIM）技术成为了施工管理的核心工具。通过 BIM 技术，设计、施工、运维等各个环节的数据可以在同一平台上进行共享和协同，极大提升了信息流通的效率。BIM 模型能够精确地模拟桥梁的施工过程，提前预判可能出现的问题，减少设计错误与施工失误。施工人员可以在虚拟环境中进行各种施工操作的模拟，提前解决潜在的技术难题，避免了现场出现重大失误。此外，BIM 技术还可以有效协同各方资源，确保材料、设备、工期等各个方面的协调统一，提高了施工的整体效率和质量。

智能化施工技术还通过自动化设备的应用，进一步提升了桥梁建设的效率与安全性。例如，自动化机械臂、无人机和智能吊车等设备的引入，使得桥梁的施工过程更加精准和高效。无人机可以用于桥梁的现场勘测与测量，精确获取桥梁建设的各类数据，尤其在复杂的地形条件下，能够确保施工方案的精准执行。智能吊车和机械臂等设备不仅能大幅提高施工速度，还能在复杂、高风险的施工环境中执行高精度任务，降低人工操作的风险。通过这些智能化设备的应用，施工现场的安全性得到了显著提高，施工人员的负担也得到了减轻，进一步保障了桥梁建设的顺利推进。因此，智能化施工技术在桥梁建设中的广泛应用，显著提升了施工质量与效率，为现代桥梁工程的顺利实施提供了强有力的技术支持<sup>[4]</sup>。

## 三、绿色环保材料在道路桥梁工程中的创新应用

绿色环保材料在道路桥梁工程中的创新应用，正成为提升工

程可持续性和环保性的重要手段。随着环保意识的提升以及可持续发展理念的广泛传播，传统的建筑材料逐渐被具有更低环境负担和更高资源利用效率的新型绿色材料所取代。这些材料不仅能够降低施工过程中的能源消耗，还能减少对生态环境的负面影响，提升桥梁的耐久性和长期使用价值。例如，采用高性能的再生混凝土、环保钢材以及轻质材料等，不仅减少了对自然资源的依赖，还能有效降低工程成本，符合绿色建筑的标准<sup>[5]</sup>。

在道路桥梁工程中，绿色环保材料的应用主要体现在混凝土和钢材的创新使用上。高强度、低碳排放的混凝土材料被广泛应用于桥梁的主体结构中，较传统混凝土具有更强的抗压能力和更长的使用寿命。此外，一些新型再生材料，如再生骨料和回收废弃钢材，不仅能有效减少建筑垃圾的排放，还能降低新材料的生产需求，达到资源循环利用的目的。这些材料在减少环境负担的同时，还能提高桥梁结构的整体性能，尤其是在耐久性、抗腐蚀性和抗震性方面表现出色。

另外，绿色环保材料的使用不仅限于桥梁的主体结构，还包括桥梁的配套设施与施工工艺。例如，在桥梁的防护层和涂料方面，采用环保型防腐涂料和无害化材料，能够有效减少有害物质的排放，降低施工过程中的污染。而在桥面铺装的选择上，采用透水性强、摩擦系数高的绿色材料，不仅能提高行车安全性，还能改善路面排水效果，减少雨水积聚对桥梁结构的腐蚀影响。这些创新的材料应用，使得道路桥梁工程不仅在建造过程中减少了对环境的破坏，还在使用过程中提高了桥梁的整体性能，推动了绿色可持续的工程发展<sup>[6]</sup>。

绿色环保材料的创新应用，正逐步推动道路桥梁工程向更加环保、高效的方向发展。这些材料不仅符合国家对环保和节能的相关政策，也体现了建筑行业在追求经济效益的同时，注重生态环境保护的责任。随着技术的不断进步，更多具有环保特性的材料将在未来的道路桥梁工程中得到推广，进一步优化施工过程，提升工程的环境友好性和可持续性。

## 四、新型施工设备的引进与技术突破

新型施工设备的引进与技术突破，是推动道路桥梁工程施工效率和质量提升的重要因素。随着工程需求的日益增长，传统施工设备已无法满足复杂、精细化施工的要求。因此，许多先进的施工设备和技术不断被引入到桥梁建设领域。这些新型设备不仅提高了施工精度，减少了人工操作的依赖，还有效缩短了工期、降低了施工成本，并且提高了施工安全性。尤其是在复杂地质和恶劣环境条件下，先进设备的应用展现出极大的优势，能够应对常规设备难以完成的高难度任务<sup>[7]</sup>。

例如，盾构机、旋挖钻机、自动化施工机械等新型设备在桥梁建设中得到了广泛应用。盾构机的引入，大大提升了隧道施工的效率，尤其是在软土或复杂地质条件下，能够确保施工过程的平稳进行，减少对周围环境的扰动。而旋挖钻机的使用，解决了传统桩基施工中遇到的土层较硬、施工速度慢等问题，极大提高了施工效率和精度。此外，自动化施工机械、无人驾驶设备和智

能吊车等设备的使用，进一步推动了施工过程的智能化与高效化。这些设备能够自动完成精密的操作，如精准放置桥梁构件、监测结构状态等，极大地提高了施工的精准度和安全性。

新型施工设备的引进，不仅提升了施工的技术水平，还推动了施工管理的创新。在智能化设备的帮助下，施工现场的数据采集、分析和传输变得更加便捷和高效。施工过程中的每一个细节都能实时监控，施工人员通过数据反馈及时调整施工方案，确保工程按计划顺利进行。智能监控系统能够实时跟踪施工进度、分析潜在风险并作出预警，进一步减少了因人为失误或不可控因素带来的安全隐患和工程延期。同时，施工设备的智能化和远程控制，使得施工现场的安全性得到了显著提高，尤其是在高空作业或危险环境中，自动化设备的使用大大降低了工作人员的劳动强度和安全风险<sup>[8]</sup>。

随着技术的不断进步，未来的道路桥梁施工将会越来越依赖这些高效、智能化的新型设备。这些设备不仅能大幅度提高施工速度和质量，还能通过智能化的管理系统确保施工过程的精确控制和风险预防。新型施工设备的不断突破和应用，不仅推动了道路桥梁工程技术的革新，也为未来更高效、更安全的工程建设提供了强大的技术支撑。

## 五、技术创新推动道路桥梁工程质量与效率提升

技术创新在推动道路桥梁工程质量与效率提升方面起到了至关重要的作用。随着现代工程需求的不断发展，传统施工方法和技术已无法满足日益复杂的工程要求。因此，创新技术的应用成为提升施工质量、缩短工期和降低成本的关键因素。通过智能化、自动化设备和绿色环保材料等技术的引入，工程施工不仅更加高效、精确，而且对环境的影响也大大减少。这些技术创新为桥梁建设提供了全新的视角，使得施工过程更加科学化和精细

化<sup>[9]</sup>。

在提升施工效率方面，技术创新发挥了显著作用。智能化设备和自动化施工技术的引进，不仅提高了施工精度，也大大减少了人工操作的需求，降低了人为失误的风险。通过大数据和物联网技术，施工现场的各项数据可以实时监控和分析，确保施工过程中的每一步都在可控范围内。通过优化施工方案和材料使用，能够最大限度地减少资源浪费，加快施工进度。此外，智能化管理系统能够实时跟踪工程进展，及时发现问题并作出调整，从而确保工程按期完成<sup>[10]</sup>。

技术创新对桥梁工程质量的提升也具有重要影响。新型材料的使用不仅增强了桥梁结构的耐久性，还提高了其抗震、抗腐蚀等性能。绿色环保材料的应用，减少了施工过程中对环境的污染，并延长了桥梁的使用寿命。而智能化的施工设备和监控系统，则能确保施工过程中的每一环节都符合设计要求，避免了传统施工中可能出现的偏差。因此，技术创新为道路桥梁工程带来了更加高效、安全和可持续的解决方案，推动了整个行业向更高质量、更高效率、更环保的目标迈进，进一步促进了工程建设的全面进步和可持续发展。

## 六、结语

技术创新在道路桥梁工程中的应用，显著提升了施工效率和质量。通过智能化设备、绿色环保材料以及自动化施工技术的引入，不仅优化了施工过程，降低了成本，还有效提高了工程的安全性和耐久性。这些创新技术推动了行业的发展，解决了传统施工中的许多瓶颈，推动了工程建设向更加高效、可持续的方向发展。随着技术的不断进步，未来道路桥梁工程将更加智能化、绿色化，促进行业的长远发展与生态保护。

## 参考文献

- [1] 王海新. 探析道路桥梁工程施工课程教学改革与创新[J]. 大学, 2020(11): 43-44.
- [2] 李治军. 道路桥梁工程施工中的桥梁防水排水技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(16): 160-162.DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202416053.
- [3] 胡丹耀. 道路桥梁工程预应力施工技术研究[J]. 运输经理世界, 2024(22): 95-97.
- [4] 刘超. 市政道路桥梁工程中沉降段路基路面的施工技术[J]. 建设机械技术与管理, 2024, 37(04): 71-73.DOI: 10.13824/j.cnki.cmtm.2024.04.021.
- [5] 刘福银. 道路桥梁工程软土地基施工处理技术与发展趋势[J]. 汽车画刊, 2024(09): 143-145.
- [6] 赵玉玺. 道路与桥梁工程交叉施工技术研究[J]. 科技资讯, 2024, 22(20): 170-172.DOI: 10.16661/j.cnki.1672-3791.2405-5042-2913.
- [7] 李博文. 道路桥梁工程沥青路面裂缝施工处理技术与质量要求[J]. 汽车画刊, 2024(10): 149-151.
- [8] 丁川洋. 浅析道路桥梁工程中大体积混凝土施工技术及其裂缝防治措施[J]. 价值工程, 2024, 43(30): 141-144.
- [9] 蔡广德. 道路桥梁工程沉降段路基路面施工关键技术探析[J]. 汽车周刊, 2024(12): 151-152.
- [10] 黎贵超. 市政道路桥梁工程中沉降段路基路面施工技术运用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(33): 143-145.DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202433047.

# 电子信息工程中数据安全与加密技术的研究

郑华

中邮通建设咨询有限公司, 江苏 南京 210000

**摘 要：** 随着信息化社会的快速发展，数据安全问题日益突出，尤其是在电子信息工程领域。数据加密技术作为保护数据隐私和安全的重要手段，逐渐成为保障信息传输和存储的核心技术之一。该领域的研究涉及加密算法、密钥管理、身份认证及安全协议等方面。近年来，随着量子计算等新兴技术的崛起，传统的加密技术面临新的挑战，亟需开发更为高效、安全的加密方案。本研究探讨了当前数据加密技术的现状、挑战与发展趋势，并对未来的研究方向进行了展望。

**关 键 词：** 数据安全；加密技术；密钥管理；信息隐私；安全协议

## Research on Data Security and Encryption Technology in Electronic Information Engineering

Zheng Hua

China Postcom Construction Consulting Corporation, Nanjing, Jiangsu 210000

**Abstract：** With the rapid development of the information society, data security issues have become increasingly prominent, especially in the field of electronic information engineering. As an important means of protecting data privacy and security, data encryption technology has gradually become one of the core technologies to ensure information transmission and storage. Research in this field involves encryption algorithms, key management, identity authentication, and security protocols. In recent years, with the rise of emerging technologies such as quantum computing, traditional encryption technology faces new challenges, and there is an urgent need to develop more efficient and secure encryption schemes. This study explores the current status, challenges, and development trends of current data encryption technology, and provides an outlook on future research directions.

**Keywords：** data security; encryption technology; key management; information privacy; security protocols

### 引言

随着信息技术的飞速发展，电子信息的安全问题逐渐成为全球关注的焦点。在数字化时代，数据的保密性、完整性和可用性直接关系到社会、经济和个人的安全。数据加密技术作为保护敏感信息的核心手段，广泛应用于通信、金融、医疗等多个领域。然而，随着新兴技术的不断涌现，传统加密方法面临着前所未有的挑战，如何在确保安全性的同时提升加密效率，成为亟待解决的关键问题。

### 一、数据安全的挑战与现状分析

随着信息化进程的不断推进，数据安全问题日益成为全球范围内的重大挑战。互联网、大数据、云计算和人工智能等新兴技术的广泛应用，使得数据的存储和传输变得更加复杂，同时也带来了前所未有的安全风险。尤其在电子信息工程领域，数据安全的保障已不仅仅依赖于传统的物理安全防护措施，而是更侧重于信息的加密、认证和管理等技术手段。

数据安全面临的挑战主要体现在以下几个方面。首先，信息泄露和数据篡改成为最为常见的安全威胁。黑客攻击、恶意软件以及网络钓鱼等攻击手段使得大量敏感信息暴露在网络空间，给个人、企业乃至国家安全带来了严重隐患。其次，随着数据量的爆炸式增长，数据的存储与管理变得愈发复杂。如何在保证数据

安全的同时，确保高效的数据访问和处理，成为一个亟待解决的问题。此外，随着云计算和大数据技术的普及，数据在多个平台之间流动，传统的单一保护手段已无法满足跨平台、跨区域的数据保护需求，新的安全架构和技术亟需被提出和应用<sup>[1]</sup>。

针对这些挑战，数据加密技术在保护信息安全方面发挥了重要作用。加密技术能够有效防止数据在传输过程中被窃取或篡改，确保信息的机密性和完整性。然而，随着加密技术的普及，攻击者也不断更新攻击手段，破解解密系统的难度日益增加。此外，密钥管理和身份认证问题也成为数据加密技术中的关键环节。如何有效管理密钥，确保密钥的安全性，防止恶意用户伪造身份访问敏感数据，依然是一个重要课题<sup>[2]</sup>。

虽然传统的加密方法（如对称加密、非对称加密等）在一定程度上保障了数据安全，但面对不断演进的安全威胁，这些技术



亟需在性能、效率和安全性方面做出进一步的改进。量子计算等新兴技术的出现，也为加密技术带来了新的挑战，传统加密算法可能会受到威胁。因此，研究新的加密算法、密钥管理方案以及安全协议，成为确保数据安全的关键任务。

## 二、加密技术的基本原理与分类

加密技术是一种通过特定算法对数据进行转换，使得原始数据变得无法识别，从而实现信息保密、完整性保护和身份验证的技术手段。其基本原理是在信息的发送和接收过程中，通过加密和解密操作，确保数据的机密性和完整性。加密技术的核心思想是使用密钥对明文数据进行编码，只有拥有相应密钥的接收方才能将加密后的数据还原为可读的明文，从而防止未授权人员获取或篡改数据<sup>[3]</sup>。

根据加密方式的不同，加密技术可以分为对称加密和非对称加密两大类。对称加密技术是指加密和解密过程中使用相同的密钥。发送方使用密钥对明文进行加密，接收方则使用相同的密钥对密文进行解密。对称加密算法的优点是加密速度较快，适用于大量数据的加密。然而，其缺点是密钥的安全性至关重要，密钥一旦泄露，整个加密系统的安全性就会受到威胁。常见的对称加密算法有 DES（数据加密标准）、AES（高级加密标准）等。

非对称加密技术，又称为公钥加密技术，采用一对密钥，其中一个公钥，另一个私钥。公钥可以公开，而私钥则由接收方保密。发送方使用接收方的公钥对数据进行加密，接收方则使用自己的私钥对密文进行解密。非对称加密技术的优势在于密钥的管理更为灵活，不需要在通信双方之间共享私密密钥，从而提高了安全性。然而，非对称加密算法的加密速度较慢，适用于较小数据量的加密。常见的非对称加密算法有 RSA、ECC（椭圆曲线加密算法）等<sup>[4]</sup>。

除了对称加密和非对称加密，现代加密技术还包括哈希算法和数字签名等。哈希算法用于对数据进行固定长度的“摘要”生成，使得任何微小的改动都会导致摘要的显著变化，广泛应用于数据完整性校验和密码存储等场景。数字签名技术则结合了哈希算法和非对称加密，能够保证信息的来源和完整性，防止信息被伪造或篡改。

## 三、现代加密算法的应用与发展趋势

现代加密算法已经成为保护信息安全的重要手段，广泛应用于通信、金融、电子商务、云计算等多个领域。随着信息技术的发展，加密算法也在不断演进，以应对日益复杂和多样化的安全威胁。当前，现代加密算法主要包括对称加密、非对称加密、哈希算法、数字签名等，而其应用范围和发展趋势呈现出以下几个方面的特点。

在对称加密算法方面，AES（高级加密标准）已经成为主流算法，广泛应用于数据传输和存储的加密保护。AES 具有较高的安全性和较快的加密速度，适用于大规模数据的加密。随着计算

能力的提升，AES 的安全性仍然得到了保持，且其密钥长度可以根据需要进行调整，以应对不同安全需求。除了 AES，其他对称加密算法如 DES 和 3DES 虽然在一些应用中仍然被使用，但由于它们的安全性较低，已经逐渐被淘汰<sup>[5]</sup>。

非对称加密算法，特别是 RSA 和 ECC（椭圆曲线加密算法），在现代加密中也有广泛应用。RSA 被广泛用于数字证书和身份认证领域，尤其是在 HTTPS 协议中用于保护网页传输安全。ECC 则因其在提供相同安全性的同时，计算效率更高，已逐渐成为主流的公钥加密算法，特别是在移动设备和物联网中。随着量子计算的发展，传统的非对称加密算法面临着较大的挑战，因此，研究者们已经开始探索基于量子抗性的加密算法，如格基加密和哈希基加密等。

哈希算法在数据完整性和数字签名中扮演着重要角色。当前，SHA（安全哈希算法）系列广泛应用于密码存储、文件完整性验证等领域。SHA-256 等哈希算法被广泛采用，且在区块链技术中，哈希函数的应用尤为重要。区块链中的哈希算法能够保证交易数据的不可篡改性和透明性。随着应用需求的多样化，未来哈希算法可能会面临更高的安全需求，尤其是在抗碰撞攻击方面。

数字签名作为结合哈希算法和非对称加密技术的一种手段，广泛用于电子交易、身份认证和文档签署等领域。数字签名技术能够确保信息的来源和完整性，防止信息在传输过程中被篡改。

## 四、密钥管理与身份认证在数据保护中的作用

密钥管理和身份认证是数据保护中至关重要的环节，直接影响到数据的安全性与完整性。它们通过确保加密操作的安全性和验证通信双方的身份，防止未经授权的访问和篡改，从而在信息保护中发挥着基础性作用<sup>[6]</sup>。

密钥管理是加密技术中最为核心的部分。在加密过程中，密钥是用于数据加密和解密的关键要素，其安全性直接决定了加密系统的可靠性。密钥管理不仅仅包括密钥的生成、存储、分发和使用，还包括密钥的更新、撤销和销毁等环节。在对称加密中，发送方和接收方使用相同的密钥进行数据加密和解密，因此如何安全地传输和存储密钥，避免其在传输过程中被窃取或滥用，成为了密钥管理的关键。非对称加密中虽然采用公钥和私钥的分离机制，但私钥的安全性同样至关重要，一旦私钥泄露，整个加密系统的安全性便遭到破坏<sup>[7]</sup>。

为了保证密钥的安全管理，现代密码系统采用了多种方法来保护密钥的存储和传输。例如，密钥管理系统（KMS）通过集中式管理方式来存储和管理密钥，确保密钥的生命周期内始终受到保护。同时，密钥的定期更新和轮换也是一种有效的管理手段，避免了密钥长期使用导致的安全隐患。

身份认证则是在数据保护中验证通信双方身份的关键技术，确保只有授权用户能够访问敏感数据。在网络通信中，身份认证通过验证用户的身份信息，确保数据不会被非法访问。传统的身份认证方式包括用户名和密码，尽管简单易用，但在当今复杂的

网络环境中，容易受到钓鱼攻击、暴力破解等安全威胁。因此，现代身份认证系统逐渐采用多因素认证（MFA）技术，结合了密码、指纹、面部识别、短信验证码等多种认证方式，大大增强了认证的安全性<sup>[9]</sup>。

数字证书和公钥基础设施（PKI）系统是身份认证的常见解决方案。PKI通过数字证书为通信双方提供可靠的身份认证手段。数字证书通过绑定公钥与特定身份信息，确保用户身份的真实性，并且避免伪造和冒充。随着技术的发展，越来越多的系统采用了生物特征认证、行为分析认证等新型身份认证方式，这些方式不仅提高了安全性，还提升了用户体验<sup>[9]</sup>。

密钥管理和身份认证的有效结合，是确保数据安全的基础。密钥的妥善管理和身份认证机制的可靠性共同构成了数据保护的坚实屏障。在未来的信息安全领域，随着攻击手段的不断升级，密钥管理和身份认证技术将持续发展，以应对更为复杂的安全挑战，确保敏感数据在传输和存储过程中的安全性。

五、新兴技术对数据加密安全性的影响与未来展望

随着科技的不断发展，新兴技术正在深刻影响数据加密的安全性，既带来了新的机遇，也提出了前所未有的挑战。这些技术的发展不仅在加密算法的设计、密钥管理的优化、身份认证的创新等方面产生了重大影响，同时也改变了数据保护的整体架构。

量子计算是目前对数据加密安全性影响最大的技术之一。量子计算利用量子力学的原理，能够在极短的时间内处理大量复杂的计算任务，理论上，量子计算机能够破解目前广泛使用的加密算法。特别是非对称加密算法，如RSA和ECC，它们的安全性主要依赖于大数分解和离散对数问题的难度，而量子计算机使用的Shor算法能够在多项式时间内解决这些问题。因此，一旦量子计

算技术成熟，现有的加密算法可能不再安全，必须开发量子安全的加密算法来替代传统算法。

为了应对量子计算带来的挑战，量子加密和后量子加密技术已经成为研究的重点。量子加密技术，如量子密钥分发（QKD），能够通过量子态的不可复制性和测量不确定性来实现信息的绝对安全，确保密钥传输过程中的安全性。后量子加密则旨在设计不依赖于大数分解和离散对数问题的算法，以抵御量子计算的威胁。目前，研究者正在积极推动基于格理论、哈希函数等新的加密方法，以确保未来的加密系统能够抵抗量子计算攻击<sup>[10]</sup>。

人工智能（AI）和机器学习（ML）技术也正在深刻影响数据加密的安全性。AI和ML可以用于攻击者的攻击策略优化，帮助黑客更高效地破解加密算法。例如，通过深度学习技术，攻击者可以从大量的加密数据中识别出潜在的规律和漏洞，从而提高攻击的成功率。与此同时，AI和ML也可以在加密技术的开发中发挥积极作用。通过使用机器学习算法，密码学家能够更高效地生成和优化加密算法，提高加密系统的安全性和性能。智能化的加密系统能够根据不断变化的攻击方式自动调整加密策略，增强数据保护的实时性和适应性。

六、结语

随着新兴技术的不断发展，数据加密面临着前所未有的挑战与机遇。量子计算、人工智能、区块链等技术的崛起，推动了加密算法的创新与发展，同时也对现有加密系统提出了更高的要求。面对这些技术带来的安全威胁和机遇，未来的数据加密技术将更加注重量子安全、智能化与跨领域融合。持续优化加密算法、完善密钥管理和身份认证机制，将是保障数据安全的关键，确保信息保护在新时代中的可靠性与高效性。

参考文献

[1] 伍永锋. 数据加密技术在计算机网络安全中的应用研究 [J]. 电子产品世界, 2024, 31(12): 9-11+23.

[2] 张春威, 孙敏, 马建, 张先锋. 加密技术在网络化办公数据安全传输中的应用 [J]. 信息记录材料, 2024, 25(12): 80-82.DOI: 10.16009/j.cnki.cn13-1295/tq.2024.12.017.

[3] 董洪蒙. 计算机网络信息安全中的数据加密技术应用及防护策略 [J]. 造纸装备及材料, 2024, 53(10): 130-132.

[4] 同利军. 数据加密技术在计算机网络通信安全中的应用研究 [J]. 中国新通信, 2024, 26(19): 25-27.

[5] 肖勇才, 徐健, 邱日轩, 李腾, 卢笛. 基于默克尔前缀树的TPM外部密钥管理方案 [J/OL]. 计算机技术与发展: 1-10[2024-12-13].DOI: 10.20165/j.cnki.ISSN1673-629X.2024.0249.

[6] 胡威, 王新, 王菲, 赵阳, 李克. 城际铁路新型列控系统在线密钥管理系统应用技术研究 [J]. 现代城市轨道交通, 2024(06): 54-60.DOI: 10.20151/j.cnki.1672-7533.2024.06.009.

[7] 于少军. 商用密码应用中基于硬件安全模块的密钥管理研究 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2024, 36(05): 207-209.

[8] 安玲. 数据加密技术在计算机信息安全管理中的应用 [J]. 数字技术与应用, 2024, 42(09): 83-85.

[9] 鲁华伟. 基于计算机网络信息安全中数据加密技术的研究 [J]. 信息系统工程, 2024(08): 132-135.

[10] 李云翔. 数据加密技术在计算机网络安全中的应用研究 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2024, 36(13): 67-69.

# 装配式施工技术在住宅建筑工程施工管理中的应用

姜金林

江西中赫建设集团有限公司, 江西 上饶 334099

**摘 要：** 装配式建筑在工程质量、施工效率和环境友好性等方面展现出显著优势。因此，探索装配式施工技术在住宅建筑工程中的应用策略，涉及工程设计优化、预制构件质量控制、施工技术有效利用等多个环节，还关系到管理效率提升、工程质量保障、施工安全控制和资源节约利用。本文的研究旨在深入探讨装配式施工技术在住宅建筑工程施工管理中的具体应用路径，为建筑企业提升工程管理水平提供有益的参考，以促进建筑业的可持续发展。

**关 键 词：** 装配式施工技术；住宅建筑工程；施工管理；应用措施

## Application of Prefabricated Construction Technology in Construction Management of Residential Buildings

Lou Jinlin

Jiangxi Zhonghe Construction Group Co., Ltd. Shangrao, Jiangxi 334099

**Abstract：** Prefabricated buildings have shown significant advantages in terms of engineering quality, construction efficiency, and environmental friendliness. Therefore, exploring the application strategies of prefabricated construction technology in residential construction projects involves multiple aspects such as engineering design optimization, quality control of prefabricated components, effective utilization of construction technology, and is also related to improving management efficiency, ensuring engineering quality, controlling construction safety, and conserving resources. The purpose of this study is to explore in depth the specific application path of prefabricated construction technology in residential construction project management, provide useful references for construction enterprises to improve their engineering management level, and promote the sustainable development of the construction industry.

**Keywords：** prefabricated construction technology; residential construction projects; construction management; application measures

### 引言

随着建筑行业对施工速度、质量以及环境影响的日益重视，装配式建筑技术应运而生，旨在通过预制构件的工厂化生产和现场快速装配，以实现建筑工程施工的优化<sup>[1]</sup>。尽管装配式建筑技术在全球范围内得到了推广和应用，展现出巨大的发展潜力和优势，但在实际施工管理过程中，仍面临着不少挑战和问题。因此，深入探索住宅建筑工程施工管理中装配式建筑施工技术，能够推动我国建筑行业的持续健康发展。

### 一、装配式建筑施工技术在住宅建筑工程施工管理中的应用价值

#### （一）有利于提升建筑的质量

装配式建筑施工技术，利用预制构件，在控制的工厂环境中完成大部分建筑元素的制造，从而大幅减少了传统施工中由人为操作和现场条件变化引发的质量问题。装配式建筑的精确工艺保证了构件的每一个细节都能达到预设的标准，这对于提高最终建筑物的结构完整性和耐用性具有决定性的影响。

在实际应用中，装配式建筑技术通过减少现场施工活动，可

以降低建筑过程中的错误率，还显著提高了施工速度。预制的墙体和楼板可以在短时间内组装完毕，相比于传统的浇筑方法，大幅缩短了建筑周期，这在紧急或时间敏感的项目中尤为重要<sup>[2]</sup>。此技术还对建筑物的长期维护和耐久性提供了保障。预制组件的质量控制和检测远比现场混凝土浇筑更为严格和精确，确保了建筑物对抗自然和环境因素的能力。这种高标准的建筑质量减少了后期维修和维护的需求。

#### （二）有利于管理效率的提升

装配式建筑，通过其高度的预制化和标准化，使得传统的建筑施工过程得以优化，从而显著提高施工管理的效率与效果。装

作者简介：姜金林（1988.01—），男，汉族，浙江省绍兴市上虞区，本科，工程师，施工单位项目经理，研究方向：建筑工程。



装配式建筑施工技术的核心在于，大部分建筑组件和部分都在工厂内预制完成。这种方法减少了现场施工的复杂性，尤其是减少了现场混凝土浇筑和其他湿作业，这些通常需要高度协调和大量劳动力<sup>[3]</sup>。预制组件的使用缩短了建筑周期，还因其精确度高而大幅降低了材料浪费和施工错误的可能性。在管理层面，由于大量施工活动转移到了控制条件更为严格的工厂环境中，施工管理的复杂性和不确定性大幅降低。工厂环境下，工人的管理更为简化，工作分配更为明确，且不受外部天气等因素的干扰。此外，工厂化生产还支持了作业的连续性和交叉作业的顺畅性，这在传统施工中往往是管理的难点。装配式技术还影响了施工人员的配置。由于大量的重复性高和技术要求高的工作已转移至工厂，现场所需的劳动力数量相对减少，而这些人员更多地涉及在安装和质量控制等技术性更强的任务。这种变化提升了劳动生产率，也提高了工程质量。

### （三）有利于管理模式创新

在现代住宅建筑工程中，装配式建筑技术的应用正逐步改变传统的施工管理模式，赋予建筑工程施工管理以新的价值和意义。这种技术通过预制构件在工厂内的标准化生产，再运至施工现场进行装配，从根本上提升了施工过程的效率和质量，为施工管理模式创新提供了坚实的基础<sup>[4]</sup>。

由于预制构件在工厂内生产，工序可以严格按照标准化流程进行，避免了现场施工中因工艺不统一导致的质量问题。这种标准化的生产模式，使得建筑企业在管理过程中能够更加精准地控制施工质量和进度，减少了传统施工过程中不可控因素的影响。

装配式建筑施工技术还促进了施工管理的工厂化，这为建筑工程施工带来了显著的时间和成本效益。在工厂内进行预制构件生产可以提高生产效率，还能够有效减少施工现场的作业时间。此外，工厂化生产也意味着可以更好地控制材料使用，减少浪费，提高资源利用率，最终降低施工成本。装配式建筑施工技术还极大地提升了施工现场的安全性和环保性。由于现场的施工工作量显著减少，施工人员的安全风险随之降低。最后，装配式建筑施工技术推动了施工管理模式系统化。在这种技术模式下，建筑企业需要对整个施工流程进行系统化地管理，包括设计、生产、运输、安装等各个环节。通过系统化的管理模式，企业可以更加有效地整合各类资源，优化施工组织。这种系统化的管理模式，提升了企业的管理水平。

## 二、装配式建筑施工技术在住宅建筑工程施工管理中的应用

### （一）优化工程设计

装配式建筑的核心在于其预制构件的工厂化生产和现场快速装配。这一模式的实施，要求建筑工程管理体系要有高效的物流配送机制，还需拥有精准的施工计划与高水平的施工管理。然而，我国装配式建筑产业虽起步较晚，但正处于快速发展阶段。不同地区在技术规范、政策驱动等方面存在差异，这为企业的管理机制提出了更高的要求<sup>[5]</sup>。针对这一挑战，建筑企业需在深入分

析装配式建筑特点的基础上，构建与之相适应的管理机制，实现施工技术的有效应用。

装配式住宅建筑施工管理的关键在于准确掌握项目需求和精细化管理。施工前期，需通过数据分析确定项目的具体需求，包括预制构件的规格、数量以及运输和存储的条件。此外，施工过程中的质量控制、时间管理和成本控制等也必须达到更高标准。例如，通过建立和完善预制构件的质量追溯系统，实现从生产到运输、再到安装全过程的质量控制，确保工程质量满足设计要求。另一个不可忽视的方面是技术和政策的双重支持。由于我国装配式建筑技术规范要求各不相同，企业在施工过程中可能面临不一致的技术和政策环境。因此，政府的政策支持和行业标准的统一化至关重要。政府可以通过制定优惠政策、提供财政补贴等措施，鼓励企业采用装配式建筑技术<sup>[6]</sup>。同时，加强技术规范和标准的研究，为企业提供明确的指导和规范，有助于提升整个行业的技术水平和管理能力。在管理机制方面，建立高效的协作平台是实现装配式建筑技术应用的关键。由于装配式建筑涉及的参与方众多，包括设计单位、生产厂家、施工单位等，因此，建立一个集设计、生产、施工于一体的协作平台，对于保证项目顺利进行至关重要。这不仅能够实现信息的实时共享，还能有效协调各方面的工作，提高施工效率。

### （二）严格控制预制构件和其他施工材料的质量

从设计阶段开始，设计师必须充分考虑装配式建筑的特点，根据施工计划和功能需求，科学设计预制构件的规格和类型<sup>[7]</sup>。这一过程要求设计的精准性，还要求设计团队与施工团队之间有着紧密的沟通，确保设计方案的实施可行性。进入到生产和采购阶段，施工企业对供应商的选择和监管显得尤为关键。通过深入的市场调研，评估供应商的生产能力、信誉和质量控制体系，确保所选供应商能够提供符合设计要求和质量标准的预制构件和建筑材料。

此外，加强与供应商的合作，实施质量监控和管理，是保证预制构件和材料质量的有效手段。在运输过程中，科学的物流管理同样关键。需要制定合理的运输计划，考虑天气等外部因素的影响，采取措施保护材料在运输过程中不受损害，确保预制构件和材料的完整性与功能性<sup>[8]</sup>。当材料和构件运抵工地时，严格的入场检查程序不容忽视。通过设立质量检查站点，对所有材料和构件进行质量检验，确保其完全符合设计规范和质​​量要求。此环节是防范质量问题蔓延到施工阶段的关键一步。在施工过程中，对预制构件的装配质量进行精细管理是保证工程质量的重要环节。装配过程中的每一步，包括吊装作业、构件连接等，都需严格按照操作规程执行，以确保装配的合理性、严密性和精度。此外，对施工人员进行专业培训，确保他们具备必要的技能和知识，对预制构件进行正确地处理和安装，也是保质保量完成工程的关键。

### （三）预制构件吊装的施工技术

在住宅建筑工程施工管理中，装配式建筑技术的应用标志着行业向高效率、高质量转型的重要一步。预制构件吊装作为装配式建筑中的核心施工环节，其施工技术的高度精确性和专业性直



接关系到整个工程的质量和安全性。为确保吊装作业的精准执行，构建一套综合性的工程结构体系显得尤为关键<sup>[9]</sup>。这涉及到对工程技术人员的评价标准和责任界定，还包括完善的施工分析机制，确保吊装作业能够根据实际需求高效、安全地完成。

吊装预制构件的过程要求极高的技术精度和周密的准备。施工人员必须提前熟悉预制构件的各项参数，包括重量、尺寸以及吊点位置，这些都是精确吊装的前提。在吊装过程中，采用适合的吊装设备和工艺对于保证构件结构的完整性至关重要。同时，合理的吊装方法，如垂直吊装或横向旋转，需根据具体的施工环境和预制构件的特点来确定，以保障吊装过程的安全性和高效性。除了吊装技术本身，现场管理和预制构件的质量控制也是不可或缺的一环。施工现场需要设立专门的质量监督团队，对预制构件的运输、存储以及吊装过程进行全程监控。此外，预制构件的质量从源头上就需要严格把关，这包括材料选择、生产工艺以及成品检验等各个环节<sup>[10]</sup>。只有这样，才能确保吊装入位的预制构件能够满足工程质量的高标准要求。

在实际施工过程中，针对各种预制构件的特点制定详细的吊装方案是确保施工顺利进行的关键。这包括对吊装路径的规划、吊装顺序的确定以及安全预案的制定等。通过精细化管理，可以最大程度地减少施工中的安全风险，提高施工效率，确保工程项目按计划推进。

### 三、结束语

综上所述，随着对装配式建筑施工技术深入地探讨和分析，我们认识到，尽管在实施过程中遭遇诸多挑战，装配式建筑技术仍然展现出巨大的潜力和优势。通过解决工程管理中的关键问题，优化设计流程，严格控制材料质量，以及提高施工技术，装配式建筑有能力革新传统建筑模式，实现建筑行业的可持续发展。未来，随着技术的不断进步和管理经验的积累，装配式建筑将在提高建筑效率、降低环境影响方面发挥更加重要的作用。我们期待着装配式建筑技术在未来的建筑工程中展现出更加卓越的表现。

### 参考文献

[1] 刘萍. 装配式建筑施工技术在工程施工管理中的应用探析 [J]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2022(7):24-27.

[2] 王云松. 智能化施工技术在装配式建筑工程施工管理中的运用 [J]. 户外装备, 2023(2):151-153.

[3] 褚力源. 装配式建筑智能化施工技术在建筑工程施工管理中的应用 [J]. 中国房地产业, 2022.

[4] 郭效超. 建筑工程施工管理中装配式建筑施工技术的应用分析 [J]. 电脑乐园, 2023(3):0217-0219.

[5] 王小明. 预制装配式住宅现场施工技术与安全风险管控 [J]. 散装水泥, 2022(5):40-42.

[6] 李松林. M 企业装配式住宅项目施工阶段风险管理研究 [D]. 中原工学院, 2023.

[7] 章晓琳. 新时期装配式建筑施工技术在建筑工程施工管理中的运用 [J]. 中国住宅设施, 2024(4):91-93.

[8] 王元. 装配式建筑施工技术在建筑工程施工管理中的运用分析 [J]. 中国住宅设施, 2023(8):10-12.

[9] 李洪飞. 浅析装配式建筑施工技术在建筑工程施工管理中的应用 [J]. 现代装饰, 2023(9):52-54.

[10] 高海龙. 探寻装配式建筑施工技术在建筑工程施工管理中的应用探讨 [J]. 城市周刊, 2022(7):55-57.

# 高层建筑施工技术难点与解决方案

姬裕林

河北建设集团股份有限公司，河北 保定 071000

**摘 要：**高层建筑施工技术涉及多个方面，面临诸多难点。首先，结构设计和施工过程中需应对复杂的力学性能和材料选择问题，尤其是高层建筑的稳定性和抗震性能要求较高。其次，施工过程中存在的施工进度与质量控制、工期管理、以及高空作业的安全问题也是挑战之一。此外，施工中的信息化管理和技术创新应用，对提升施工效率和降低成本具有重要意义。针对这些技术难点，采取合理的技术方案和管理措施可有效提升高层建筑施工的质量与效率。

**关 键 词：**高层建筑；施工技术；结构设计；安全管理；信息化管理

## Technical Difficulties and Solutions in High-rise Building Construction

Ji Yulin

Hebei Construction Group Corporation Limited, Baoding, Hebei 071000

**Abstract：** High-rise building construction technology involves multiple aspects and faces many difficulties. Firstly, structural design and construction processes need to address complex mechanical properties and material selection issues, especially given the high requirements for stability and seismic performance in high-rise buildings. Secondly, challenges during construction include construction schedule and quality control, project duration management, and safety issues related to working at heights. Additionally, information management and technological innovations in construction are crucial for improving efficiency and reducing costs. Addressing these technical difficulties through reasonable technical solutions and management measures can effectively enhance the quality and efficiency of high-rise building construction.

**Keywords：** high-rise buildings; construction technology; structural design; safety management; information management

## 引言

高层建筑作为现代城市建设的重要组成部分，其施工技术日益复杂。随着建筑规模的不断增大和结构形式的多样化，施工过程中面临的技术难题也不断增加。如何在确保结构安全和施工质量的前提下，合理控制工期、优化施工方案、提高效率，成为了建筑行业亟待解决的问题。此外，信息化技术的应用和创新施工方法的探索，也为高层建筑的施工带来了新的机遇和挑战。深入分析这些技术难点，并提出有效的解决方案，对于推动高层建筑施工技术的提升具有重要意义。

## 一、高层建筑施工中的结构与力学挑战

高层建筑的结构设计是施工中的核心内容之一，直接影响到建筑的稳定性、安全性和耐久性。随着建筑高度的不断增加，传统的结构设计方法和材料逐渐暴露出许多局限性。尤其是在抗风、抗震等方面，高层建筑所需的力学性能要求远超低层建筑。这些建筑不仅需要承受自重，还要抵抗来自风压、地震等外部因素的影响。因此，如何选择合适的结构体系和材料，保证高层建筑在复杂力学环境下的稳定性，成为施工过程中最为关键的挑战之一。

在高层建筑的结构设计中，力学分析尤为重要，尤其是在材料的选择与结构的受力计算上，必须精确到每一个细节。常见的高层建筑结构体系如框架结构、剪力墙结构、混合结构等，在不

同的建筑环境和设计要求下，具有不同的适用性。框架结构虽然灵活，但其抗震性能较差，适用于较低高度的建筑；而剪力墙结构则具备较强的抗侧力能力，适用于高层建筑的抗震设计。然而，在实际施工过程中，不同结构体系的组合与优化，如何有效提高建筑抗震、抗风性能，是设计人员必须解决的问题。此外，高层建筑设计中还需考虑到建筑物的动态响应，特别是在高风速地区，建筑物在大风中的振动可能会影响其结构稳定性与使用舒适度<sup>[1]</sup>。

除了力学分析，建筑的施工技术也面临一系列挑战。在高层建筑施工中，结构的预制化和模块化技术逐渐得到广泛应用。这些技术能够在保证结构安全的基础上，提高施工效率并缩短工期，但同时也对施工过程中的精度要求提出了更高的标准。特别是在施工过程中，如何确保各个结构部件的精确对接、拼装，避

避免因结构误差而导致的安全隐患，成为施工管理的重中之重。此外，随着新型建材和环保要求的推进，如何平衡材料的选择和成本控制，使得结构设计既满足功能需求，又具备经济效益，亦是设计人员需要解决的重要问题。

高层建筑的结构设计与力学挑战不仅仅是理论和计算的结合，更是施工实践中不断优化的过程。从建筑材料的创新到施工技术的进步，每一项技术改进都为高层建筑的安全性和功能性提供了坚实保障。面对日益复杂的建筑环境，结构设计师和施工团队必须不断探索新技术、新材料的应用，才能在保证建筑质量的同时，推动高层建筑技术的发展。

## 二、高空作业安全管理与风险控制

高空作业是高层建筑施工中不可避免的环节，伴随着高度的增加，作业环境变得更加复杂和危险。因此，安全管理和风险控制成为施工过程中的重中之重。首先高空作业的安全问题直接关系到施工人员的生命安全，尤其是在高风速、雨雪天气或夜间作业等特殊情况下，危险因素显著增加。为了有效防范高空作业中的安全事故，施工单位需要制定严格的安全操作规程，确保每一名作业人员都经过专业培训，并掌握必要的应急处理技能。此外，施工现场应配备足够的安全防护设施，如防护网、安全绳、护栏等，并要求作业人员佩戴符合标准的个人防护装备，如安全带、头盔等。

现代高层建筑的复杂性和施工周期的延长，使得高空作业的频率和工种更加多样化，涉及的风险因素也日益增加。除了常见的跌落风险，施工过程中还可能遇到电力设备触电、物体打击、机械设备故障等各种隐患。因此，除了解决基础的安全防护问题外，还需要加强现场的风险评估和管理。在施工前，必须对每一项高空作业进行详细的风险分析，制定合理的应急预案，确保当发生意外时能迅速有效地进行救援<sup>[2]</sup>。同时，利用现代技术手段，如无人机巡检、传感器监测等，可以实时掌握施工现场的风险动态，做到早预防、早发现。

高空作业的风险控制不仅仅依赖于安全措施的落实，还需要全员的安全意识和全方位的管理体系。管理者应定期开展安全教育和演练，强化施工人员的安全责任感，确保每一位员工都明确高空作业的潜在危险，并积极参与到安全管理中。此外，施工单位应与相关监管部门紧密配合，确保施工现场符合国家安全标准与规定。通过建立完善的安全管理体系和应急响应机制，能够在最大程度上减少高空作业中可能出现的安全隐患，确保高层建筑施工过程中作业人员的安全和项目的顺利推进<sup>[3]</sup>。

## 三、施工进度与质量控制的难点与对策

高层建筑施工项目通常涉及多个施工工序和复杂的技术要求，因此进度与质量控制成为施工管理中的关键难题。首先，施工进度的控制面临着复杂的施工流程和外部因素的影响。高层建筑的建设周期较长，项目规模大，涉及的工种和人员众多。施工

过程中的任何环节拖延，都可能导致整体工期的延误。此外，材料供应、气候条件、施工设备的使用效率等外部因素也常常对进度产生不可预见的影响。为了确保工期的顺利完成，施工单位需要制定合理的进度计划，并根据实际情况进行动态调整。有效的进度管理不仅要求对每个阶段进行细致的安排，还需要通过信息化手段进行实时监控，及时发现和解决问题，防止进度滞后<sup>[4]</sup>。

质量控制同样是高层建筑施工中的一大挑战。高层建筑的结构复杂，涉及的材料种类繁多，对施工质量的要求极为严格。任何细节上的疏忽都可能导致严重的质量问题，甚至影响建筑的安全性与使用寿命。施工过程中常见的质量问题包括混凝土浇筑不均匀、钢筋连接不牢固、外立面施工不规范等，这些都可能对建筑的整体结构和功能产生不良影响。为了有效控制施工质量，必须加强全过程的质量监督与管理。从材料采购到施工验收，每一个环节都需要严格把关。施工单位应建立完善的质量管理体系，定期组织检查与评估，确保各项施工标准和技术要求得到严格执行<sup>[5]</sup>。

为了解决施工进度与质量控制的难点，需要采取一系列对策。首先，强化项目管理团队的专业能力，确保管理人员具备足够的施工经验和知识，能够灵活应对进度与质量的双重挑战。其次，利用信息技术手段，建立数字化项目管理平台，对施工进度和质量进行实时监控。通过 BIM（建筑信息模型）技术的应用，可以有效整合设计、施工、监理等多方信息，提高项目管理的精准度与效率。最后，制定严格的质量标准和奖惩机制，强化各级员工的质量意识和责任心。通过这些综合性对策的实施，可以最大限度地保证高层建筑施工的进度与质量，推动项目顺利完成。

## 四、信息化管理技术在高层建筑施工中的应用

随着信息技术的迅猛发展，信息化管理在高层建筑施工中的应用逐渐成为提升项目效率、确保施工质量和安全的重要手段。首先信息化管理可以通过数字化手段精确掌控施工进度和质量。利用建筑信息模型（BIM）技术，施工方可以在项目开始前进行全方位的三维设计和模拟，提前发现设计中的潜在问题，并进行优化。BIM 技术还可以整合设计、施工和运营的全过程信息，使各个环节之间的协调更加顺畅，减少了因信息传递不畅导致的误差或延误。同时，施工进度和资源管理也可以通过信息化手段实时跟踪，系统自动生成进度报告，极大地提高了管理的精准性与时效性<sup>[6]</sup>。

信息化管理技术在施工现场的安全管理中起到了至关重要的作用。通过安装传感器、摄像头等设备，施工现场的安全状况可以实现全天候监控。例如，通过物联网技术，能够实时监测高空作业区域的气象条件、风速等因素，提前预警潜在的危險，保障施工人员的安全。此外，施工人员佩戴的智能安全设备也能实时传输其健康状况、定位信息等，确保在紧急情况下能够迅速作出响应。这些技术手段的应用有效减少了人工管理的疏漏，提高了施工现场的安全保障能力<sup>[7]</sup>。

信息化管理还在成本控制和资源调配方面发挥了重要作用。通过施工管理软件，项目管理者可以对工程预算、材料采购、设备使用等各项资源进行精细化管理。系统自动记录每一项资源的使用情况，能够帮助管理者及时发现资源浪费或使用不当的情况，进行调整优化。信息化管理还使得项目的财务数据更加透明，资金的流动和使用情况清晰可见，避免了资金滞留或流动不畅的问题<sup>[8]</sup>。同时，通过大数据分析，能够精准预测项目的成本走势，及时调整预算，避免超支，确保项目能够在预算内顺利完成。

通过信息化技术的应用，施工方不仅能够提升施工效率，还能在复杂多变的施工环境中保证进度、质量和安全的有序推进，为高层建筑项目的成功实施提供了强有力的支持。

## 五、创新施工技术与工期优化策略

创新施工技术在高层建筑项目中的应用，极大地推动了施工效率的提升和工期的优化。首先预制装配式建筑技术的推广，成为了缩短施工周期的重要手段。与传统的现浇混凝土结构不同，预制装配式建筑将结构构件在工厂预先生产，然后运至施工现场进行组装。此种方式不仅提高了施工速度，还减少了现场施工的工序，降低了因天气变化等外部因素对进度的影响。此外，预制构件的精度和质量可控，施工过程中对细节的调整和修改也得以减少，从而提升了工程的整体质量<sup>[9]</sup>。

垂直运输技术的创新同样在高层建筑施工中发挥了重要作用。由于高层建筑的高度限制了传统运输方式的效率，施工人员必须依赖高效的垂直运输系统来确保建筑材料和设备的快速移动。随着施工升降机、塔吊等设备技术的不断更新，垂直运输的速度和安全性得到了显著提升，减少了因材料供应不及时而导致

的施工延误。此外，集成化运输系统的使用，使得物料的管理更加科学，进一步提高了工地的运作效率，确保了各工序的顺利衔接，减少了不必要的等待和浪费，提升了整个项目的综合效益。通过精细化的调度和运输路径优化，施工过程中材料配送更加精准，最大程度降低了工地的资源浪费和物料积压问题。

工期优化策略不仅仅依赖于施工技术的创新，还需要精细化的施工管理和科学的工期安排。采用先进的项目管理方法，如关键路径法（CPM）和项目进度管理软件，能够对施工过程中每一项工作的时间要求进行合理安排。通过精确的工期预测与调整，施工单位能够有效识别并解决可能导致工期延误的风险点，提前采取应对措施。此外，团队协作和信息共享平台的建设，使得各工种之间的协同更加高效，避免了工序的重复与交叉，进而确保了工程的顺利推进<sup>[10]</sup>。

综上所述，创新施工技术和科学的工期优化策略相结合，为高层建筑项目的顺利进行提供了有力的支持。通过引入现代化的施工设备和信息化管理手段，能够显著提升施工效率，减少工期延误，从而实现高层建筑项目的快速、高质量建设。

## 六、结语

高层建筑施工技术面临诸多挑战，但随着创新施工技术、信息化管理和科学的工期优化策略的应用，项目的效率和质量得到了显著提升。通过引入预制装配式建筑、垂直运输技术的创新以及 BIM 等信息化手段，不仅有效缩短了工期，也增强了安全管理和质量控制的能力。未来，随着技术的不断发展，施工过程将更加高效、精准，推动高层建筑行业向更高的标准迈进，确保项目的顺利完成和可持续发展。

## 参考文献

- [1] 李兴军, 王国围. 高层建筑施工测量技术重点、难点分析及解决方法 [J]. 黑龙江科技信息, 2008(16): 265+18.
- [2] 宫杰鹏. 多高层住宅的施工技术难点与管理模式探讨 [D]. 山东大学, 2013.
- [3] 赖伟民. 高层建筑施工技术的关键点和质量控制 [J]. 建设科技, 2015(07): 107-108.DOI: 10.16116/j.cnki.jskj.2015.07.033.
- [4] 戴力. 超高层建筑施工管理新技术研究 [D]. 湖南大学, 2016.
- [5] 李磊. 谈超高层建筑施工中的难点及解决方案 [J]. 山西建筑, 2016, 42(35): 100-101.DOI: 10.13719/j.cnki.cn14-1279/tu.2016.35.053.
- [6] 孙士东. 厦门世茂海峡大厦超高层建筑施工安全管理研究 [D]. 厦门大学, 2018.
- [7] 王幸. 高层建筑幕墙施工技术——以来福士广场为例 [J]. 住宅与房地产, 2019(04): 204-205.
- [8] 黄晓清. 超高层建筑施工技术管理存在问题及其解决策略 [J]. 陶瓷, 2020(11): 137-138.DOI: 10.19397/j.cnki.ceramics.2020.11.051.
- [9] 丁飞, 谷文锦. 高层建筑地下室防水施工技术难点与解决策略 [J]. 住宅与房地产, 2024(23): 95-97.
- [10] 李红福. 高层建筑施工技术安全管理挑战与解决方案 [A]. 广西网络安全和信息化联合会. 第三届工程技术管理与数字化转型学术交流会论文集 [C]. 广西网络安全和信息化联合会: 广西信息化发展组织联合会, 2024: 3.DOI: 10.26914/c.cnkihy.2024.044120.



# 跳仓法在大体积混凝土筏板施工中的应用研究

马天骄, 王清, 李维宇, 张涛, 李金会  
中建六局华北建设有限公司, 北京 100071

**摘要：**为应对大体积混凝土结构易开裂的问题，采用了跳仓法施工技术。本文通过正确的仓位划分、施工顺序、混凝土的配合比设计、施工缝的留置和构造、施工缝的留置和构造、混凝土浇筑和养护等措施，有效控制了地下结构的有害裂缝。采用跳仓法技术后，节约了施工成本并缩短工期，经济效益显著。采用跳仓法施工技术后，有效减少了材料浪费和人力成本，同时加快了工程进度，施工成本显著降低和工期明显缩短。

**关键词：**跳仓法；大体积混凝土；施工技术

## Study on Application of Jumping Method in Construction of Mass Concrete Raft

Ma Tianjiao, Wang Qing, Li Weiyu, Zhang Tao, Li Jinhui  
China Construction Sixth Bureau General Contracting Engineering Co., LTD. Beijing 100071

**Abstract：**In order to deal with the problem of easy cracking of mass concrete structure, the construction technology of jumping warehouse method is adopted. This paper has effectively controlled the harmful cracks of the underground structure through the correct position division, construction sequence, mix ratio design of construction joints, retention and structure of construction joints, retention and structure of concrete pouring and curing. After adopting the jump method, the construction cost is saved and the construction period is shortened, and the economic benefit is remarkable. After adopting the construction technology of warehouse jump method, the material waste and labor cost are effectively reduced, the project progress is accelerated, the construction cost is significantly reduced and the construction period is significantly shortened.

**Keywords：**jump form; large-volume concrete; construction technique

## 引言

大体积混凝土作为一种建筑结构，在建筑施工中扮演着重要角色。与其他结构相比，大体积混凝土基础更安全，能更好地满足承载力要求，并通常使用防渗混凝土，具备一定的防水能力。在凝结硬化过程中，混凝土内部产生大量水化热，热量无法释放，导致内外温度不一致，形成内错应力。当温度应力超过混凝土的初始抗拉强度时，便会出现温度开裂。因此，大体积混凝土容易受到温度裂缝的影响，裂缝一旦形成，会影响建筑物的整体性、耐久性和防水性，降低其安全性。

跳仓法作为一种先进的施工技术，在应对大体积及超长混凝土结构的裂缝控制方面展现出了卓越的性能。随着建筑领域对空间利用率的持续追求，大型地下室结构项目日益增多，跳仓法在这一背景下得到了推广与应用。该方法不仅有效缓解了超长混凝土结构常见的裂缝问题，还相较于传统的后浇带施工方式，展现出了多方面的优势。

目前对于跳仓法施工的研究和案例较其他技术而言相对有限，本文基于北京市某项目的地下车库施工案例，对其工程的施工技术进行研究及总结，以期后续工程的研究提供参考。

## 一、跳仓法施工原理

跳仓法施工是将大体积混凝土分割成多个区段进行间隔浇筑。这种方法将超长混凝土块体拆分为若干小块，经过短期应力释放后再进行整体连接。通过混凝土的抗拉强度来抵抗下一区段的温度收缩应力，从而实现施工的有效控制<sup>[1-2]</sup>。

跳仓法施工裂缝控制采用“抗放兼施”“先放后抗”和“以

抗为主”的综合方法，旨在有效管理混凝土结构的裂缝。其原理基于结构长度与约束应力之间的非线性关系：它的原理是基于结构长度和限制应力之间的非线性关系：在一个较短的范围内，结构长度对限制应力有明显的影 响，但限制应力在超过一定的长度后就会稳定下来。因此，采用先放后抗的跳仓法，针对施工阶段温差大、收缩大的情况，先进行较短的分段跳仓，以“放”为主的措施，再将这些部位整体连接起来，以较低的温差、较小的收

缩来适应“抗”措施的长期作用。侧重“放”的措施，然后再将这些部分连成整体，以较低的温差和小的收缩来适应长期作用的“抗”措施。

相较于传统依赖后浇带的施工方法，跳仓法取消了后浇带，从而减轻了施工缝清理的繁重任务，规避了清理不彻底引发的质量问题。此外，跳仓法施工技术不仅提升了混凝土浇筑的质量水平，还显著加快了施工进度，降低了对主要及辅助材料的消耗，从成本控制的角度看，实现了经济性与社会效益的双重提升。

二、工程概况

施工项目地下施工建筑面积约18500m<sup>2</sup>，车库南北两侧间距约110m，东西间距约97m。地上分为西楼、南楼、北楼三个单体结构，其中西楼、北楼的结构体系为钢框架+BRB+VFD，而南楼的结构体系为钢框架-中心支撑结构。地下车库为钢筋混凝土结构，地下基础采用天然地基，建筑基础的结构形式为平板式筏板+下柱墩。外墙和外墙的混凝土强度等级为C30和C40，梁和筏板的混凝土等级为C35P8。

三、跳仓法的可行性分析

北京市某项目地下车库属于超长混凝土结构，有足够的作业流水段。地下施工建筑面积约18500m<sup>2</sup>，车库南北两侧间距约110m，东西间距约97m。经过对地基基础与上部结构的协同作用分析，主裙楼相邻基础的差异沉降应控制在跨度的0.1%以内。根据《超长大体积混凝土结构跳仓法技术规程》T/CECS640-2019<sup>[3]</sup>的规定，在考虑大体积混凝土温度应力的情况下，可以提前浇筑后浇带或取消后浇带，并采用跳仓法施工。地下工程施工期间温湿度变化较大，但回填后正常使用阶段的变化较小。在这种环境下，施工阶段的温度应力可能超出混凝土的抗拉能力，因此需要采取“抗放兼施、先放后抗、以抗为主”的策略。这表明地下工程环境对跳仓法施工非常适宜。

采用跳仓法将整体结构按施工缝分段隔段浇筑，等待至少7d后再填浇成整体。这种方法能有效避免初期的温差和干缩作用，显著减少施工期间的温度伸缩应力，从而有助于控制裂缝并加快施工进度。设计团队在多个项目中积累了丰富的经验，并通过实际工程验证了良好的施工效果和可靠的质量。此外，项目还邀请了“跳仓法”施工专家团队提供技术指导，以确保方案顺利实施。按照进度计划严格执行本专项技术方案，可以有效防止有害裂缝的产生。

四、跳仓法施工实施

（一）仓格划分及施工顺序

跳仓法的原理是“隔仓跳一”，即跳仓或封仓施工至少要隔一个仓块，分仓施工的上下两层缝隙不能对齐即可。最大分块尺寸应不超过40m，必要时可调整至60m。在跳仓法施工过程中，

相邻仓位之间的间隔施工时间应严格把控，不得少于7d，以确保混凝土有足够的时间达到一定的强度与稳定性，减少因过早施工而产生的应力集中和裂缝风险。而对于封仓作业，其间隔施工时间则建议设定在7~10d之间，这一时间范围旨在平衡施工效率与混凝土结构的长期性能。通过给予足够的封仓间隔时间，可以进一步促进混凝土的内部固化与强度发展，同时也有利于施工缝的处理与防水措施的实施，从而全面提升地下结构的整体质量与安全性。基础底板施工阶段，按平面划分9个仓位。施工顺序：1段→3段→7段→5段→9段、2段→4段→7段→8段→6段。

（二）混凝土配合比设计

1. 原材料要求

在制备跳仓法的筏板混凝土时，材料的选择与配比至关重要，直接关系到混凝土的物理力学性能及耐久性。依据现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175-2023的要求，采用了保水性好、泌水小、干缩小且水化热低的P.O 42.5级低水化热水泥，其比表面积严格控制在380m<sup>2</sup>/kg以内，确保3d抗压强度不低于27MPa，28d抗压强度富余系数超过1.16，同时限制铝酸三钙含量及水化热释放，以满足抗渗及低热需求。在细骨料方面，选择天然或机制中砂，细度模数维持在2.3~3.0之间。对于粗骨料，则选用质地坚硬、级配合理且非碱活性的碎石，粒径范围设定在5mm~31.5mm之间，限制含泥量、及针片状颗粒比例，确保混凝土强度与稳定性。

此外，为优化混凝土性能，还引入了掺量为胶凝材料总量40%~45%的优质Ⅱ级粉煤灰，旨在减少水泥在胶凝材料中的比例，增加混凝土拌合物的流动性和密实性，降低早期水化产生的热量，从而提升混凝土的抗裂性及耐久性。在外加剂的选择上，宜选用高效缓凝聚羧酸型减水剂。最后，通过控制拌合水用量不超过170kg/m<sup>3</sup>，并确保拌合物泌水量低于10L/m<sup>3</sup>，以实现混凝土拌合物的高质量拌合。

2. 配合比要求

超长大体积混凝土配合比设计时，其混凝土的配制强度计算应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55-2011的相关规定。项目筏板施工混凝土的强度等级为C35，抗渗强度为P8，其配合比见表1。

表1 基础筏板混凝土配合比

水泥 /kg	粉煤灰 /kg	水 /kg	天然砂 / kg	机制砂 / kg	石子 / kg	减水剂 / kg
222	155	159	379	378	1090	7.54

（三）施工缝的留置和构造

外墙导墙水平施工缝留置在底板以上500mm，竖向施工缝留置按仓位留置，无水房间及未接触土面位置施工缝不设置止水钢板。针对本工程所处地下水环境的特殊性，底板间、底板与外墙、外墙间及含回填土地下结构顶板施工缝将一律采用钢板止水带作为防水屏障。止水钢板安装注意事项：在安装止水钢板时，需特别关注其朝向，确保止水钢板能够正确、有效地发挥止水作用。同时，施工缝处的钢筋箍子需采取上、下断开的措施，以减少焊接作业对止水钢板的潜在破坏。在整个安装过程中，应尽可能

能保持止水钢板的完整性，确保其贯通无阻，从而达到最佳的防水效果。在进行施工缝施工之前，必须清除表面的浮浆和杂物，施涂混凝土界面处理剂，然后铺设厚度为30mm、配比为1:1的水泥砂浆，以确保混凝土能够及时浇筑。浇筑时要避免直接在缝边倒料。使用机械振捣时，从施工缝处缓慢推进，振捣至800–1000mm 处后停止，特别加强对缝隙的振捣处理。

#### （四）混凝土的浇筑与养护

##### 1. 混凝土浇筑

混凝土浇筑采用“一个坡度、分层浇筑、循序推进、一次到顶”的工艺。分层厚度不超过500mm，坡度为1:6~1:7。对于落差大的外墙，使用溜槽、串桶或在墙中开设浇灌孔，以防止混凝土离析。每层间隔时间不得超过前一层的初凝时间，接茬处需振捣到位。浇筑至板顶后，用2m 长铝合金刮杠找平并控制顶标高，再用木抹子拍打两遍。初凝前，需用铁抹子进行二次抹面压光，并铺设塑料薄膜进行保水养护。

##### 2. 混凝土养护

跳仓施工的超长大体积混凝土结构需要进行保温和保湿养护。每次混凝土浇筑后，应及时用塑料薄膜覆盖，并在养护期间每两小时洒水，确保表面保持湿润，养护时间不少于14d。同时，要监测混凝土构件的温度，确保内部与外部的温差控制在25℃以内，以防止因温差过大导致裂缝的发生。当温差降至20℃以下时，可以停止额外的保温措施。

#### （五）混凝土测温

在混凝土施工过程中，温度控制是确保工程质量和进度的关键。特别针对超长大体积混凝土，其内部温度需要精细管理。首先，在入模温度的控制方面，由于混凝土在初期升温迅速，温升主要集中在浇筑后的前三天，需特别关注这一阶段的温度变化。施工团队需规划浇筑时间，避开正午高温时段，优选清晨或夜间进行，以减少初始热量累积。此外，搅拌站应严格控制拌和用水温度为常温，避免骨料直接暴露于阳光下，进一步减少温度波动。在混凝土入模前，必须严格测量温度，确保其在5~30℃的适宜范围内。同时，与搅拌站保持密切沟通，实时监控混凝土出机温度，以确保全程温度控制不留死角。

其次，温度监测作为施工过程中的重中之重，直接关系到混凝土的最终质量与施工安全。使用 JDC-2型电子测温仪及配套的测温导线和探头，精确监测混凝土内部温度。测温点应科学布设，覆盖表层、底层及中心位置，确保数据全面反映混凝土内部

温度分布。表层测温点设置在混凝土表面下50mm，底层测温点位于底面上50mm，中心测温点则在底板竖向中心的二分之一高度处。监测过程中，应确保每昼夜测试次数不少于4次，并根据实际情况灵活调整测试频率。测温周期一般应持续至少14天，以便全面捕捉混凝土内部温度变化规律。一旦发现温度异常，如内外温差接近或超过25℃，或降温速率超过2℃ /d，应立即报告现场技术负责人，采取紧急保温措施，以防止混凝土因温差过大而出现裂缝等质量问题。

## 五、混凝土施工质量控制

严格遵循设计与施工规范，通过精确控制混凝土配合比与实时抽测坍落度，确保了混凝土性能的稳定与优越。在底板混凝土浇筑过程中，采用连续分层浇筑法，有效预防了施工冷缝的产生，并通过严格控制浇筑时间间隔，确保了混凝土的质量。针对钢筋密集区域，我们加强了振捣力度，并安排专人进行振捣操作，以确保混凝土充分密实。同时，对混凝土表面进行了精细处理，包括使用铝合金刮杠找平、木抹子搓抹及铁抹子抹压收浆等工序，有效减少了混凝土收缩裂缝的发生。在应对突发天气变化方面，应当提前关注天气预报，并制定了相应的紧急措施，如利用塑料薄膜覆盖混凝土以防止雨水侵入。对于地下室外墙混凝土，采取带模养护与保温层敷设相结合的养护方式，确保了混凝土的强度与耐久性。在振捣工艺方面，严格遵循操作规程，确保振捣均匀、密实，并特别注意了振捣棒的使用方法与移动间距，以避免在混凝土中留下孔洞或造成钢筋、预埋件的碰撞。

## 六、结论与展望

本文深入探讨了跳仓法施工技术的核心原理，并通过具体工程实例详细阐述了“跳仓”施工工艺的实际操作。通过巧妙的分仓策略、严格控制原材料性能、优化混凝土配合比设计，以及对浇筑和养护过程的精细管理，不仅缩短了施工周期，降低了项目成本，还显著提升了建筑物的整体性、抗裂性和抗渗性能。统计分析显示，该工程应用跳仓法后，预计工期缩短30天，直接成本节约超过55万元，经济效益明显。本文的研究与总结为类似项目的施工提供了宝贵经验，也为跳仓法施工工艺的推广奠定了坚实基础。

## 参考文献

- [1] 熊颖. 跳仓法施工技术在白云站站房底板超长大体积混凝土工程中的应用 [J]. 四川水泥, 2023, (02): 129–31.
- [2] 赵国梁. 二衬拱盖跳仓法施工在地铁工程中的应用研究 [D], 武汉: 华中科技大学, 2022.
- [3] 超长大体积混凝土跳仓法施工技术规程 [M]. 浙江省中小建筑企业协会. 2021.

# 智能化施工技术在现代建筑工程中的应用研究

廉克国, 谭刘志, 孔繁康

山东兖州建设总公司, 山东 济宁 272100

**摘 要 :** 随着信息技术的飞速发展, 智能化施工技术已成为提升建筑工程效率、质量和安全性的重要手段。而作为国民经济中的重要支柱, 将智能化施工技术应用在现代建筑工程中, 能够实现对现代建筑施工技术的革新, 以此推动整个建筑行业向着更高水平的发展方向。基于此, 本文就智能化施工技术在现代建筑工程中的应用展开探究分析, 以期后续建筑工程施工提供必要的参考借鉴。

**关 键 词 :** 智能化; 施工技术; 现代建筑

## Research on application of Intelligent construction technology in modern building Engineering

Lian Keguo, Tan Liuzhi, Kong Fankang

Shandong Yanzhou Construction Corporation, Jining, Shandong 272100

**Abstract :** With the rapid development of information technology, intelligent construction technology has become an important means to improve the efficiency, quality and safety of construction engineering. As an important pillar of the national economy, the application of intelligent construction technology in modern construction engineering can realize the innovation of modern construction technology, so as to promote the development of the whole construction industry to a higher level. Based on this, this paper explores and analyzes the application of intelligent construction technology in modern construction engineering, in order to provide necessary reference for the subsequent construction engineering.

**Keywords :** intelligence; construction technology; modern building

在全球科技的日新月异的变化下, 智能化技术正以前所未有的速度渗透到各行各业, 建筑行业也不例外。传统建筑施工方式因其效率低下、资源浪费及安全隐患等问题, 已难以满足现代建筑工程对高效、精准、绿色的迫切需求。智能化施工技术的兴起, 为建筑行业的转型升级提供了全新的解决方案。该技术通过集成物联网、大数据、人工智能、云计算等先进技术, 实现了施工过程的数字化、自动化和智能化管理, 极大地提升了建筑工程的决策效率、执行精度和资源利用效率。因此, 深入分析智能化施工技术在现代建筑工程中的应用, 对建筑行业发展具有深远影响。

### 一、现代化建筑智能化施工技术

#### (一) 物联网技术

1. 物联网技术能连接与交互各类物品, 借由网络达成物物沟通。其核心特征有三: 一是物联网技术乃计算、互联网与通讯技术的集成创新成果, 构成全新网络技术范式。二是它应用范畴极广, 覆盖制造业、农业、医疗保健等诸多领域, 如图1所示, 三是即便适用性广泛, 在工业等特定行业仍有挑战, 像在复杂工业环境里, 因设备众多会制约数据收集速度与效率, 故而可能需结合其他数据收集手段优化此过程<sup>[1]</sup>。2. 物联网技术可感知与识别物体, 已在诸多行业有所应用, 伴随社会与技术持续发展, 建筑业亦谋求更高智能化水平。不过建筑施工时仍遇难题, 诸如建筑物检测时数据不全或系统故障, 阻碍数据有效利用。为化解这些问题, 运用智能技术开展建筑物检测是提升建筑项目智能化水准的关键举措之一, 将物联网技术应用于建筑行业, 对推动建筑工程

朝更智能方向迈进意义重大。

#### (二) 云计算技术

1. 云计算技术可看作是物联网技术的深化拓展, 对建筑工程有着整合数据资源并转化为实用价值的意义。智能化技术应用显著提升施工时数据收集与使用效率。相较于传统方式常有的繁琐数据处理流程与低效状况, 云计算技术可即时获取并快速处理施工现场海量数据, 既提高数据利用率, 又大幅缩减项目决策时长。因此, 智能化技术不只是建筑业的辅助, 更是推动行业创新前行的关键力量, 为充分挖掘这些技术潜能, 建筑行业需明确技术部署策略, 加强专业人才培养与技术更新, 保证技术应用高效且具前瞻性, 既能提升企业运营效率, 亦会引领整个行业走向更智能、可持续的未来<sup>[2]</sup>。2. 云计算核心是借虚拟化构建灵活服务模式, 其在建筑施工应用利于资源高效利用与信息数据共享。凭借云计算技术, 建筑工程可获更优质服务, 将信息转化为实际效益, 助力智能建筑发展, 当前我国已构建起较成熟的云计算数据

作者简介: 廉克国 (1976.03-), 男, 汉族, 山东省济宁市任城区人, 本科, 研究方向: 建筑施工技术与管理。



中心，对建筑行业进步作用重大。为进一步提升建筑行业信息数据价值，还需对云计算数据中心予以优化设计，以便更好支撑建筑行业数字化转型。

（三）人工智能技术

1. 人工智能技术属于跨学科研究领域，涵盖计算机科学、智能控制与智能制造等多方面，其核心有神经网络、模糊逻辑、遗传算法和专家系统等。在建筑智能化工程中，融入人工智能后施工质量与效率显著提升，能有效预防和减少施工隐患，优化项目经济效益。而借助深度学习与数据分析，人工智能可应对复杂状况并精准预测，其良好适应性 with 智能处理能力有力推动建筑行业技术创新与经济增长。2. 人工智能借助计算机技术与传感器技术模拟人类行为和思维过程以预测行为模式，主要应用于决策支持系统、专家系统与知识管理系统。在建筑智能化工程应用人工智能时，需先全面评估项目，整理分析收集的数据来制定适宜施工计划，同时构建人工智能专家系统，用于监控施工人员技术水准、作业方法与设备使用情形，以此提升工程质量与施工效率。3. 人工智能作为计算机科学分支，包含编程、机器学习与自然语言处理等关键领域，在建筑智能化工程中极为关键。施工监控方面，引入智能系统可实时追踪建筑质量，大幅提升安全管理标准，而项目管理中，人工智能有助于优化资源配置，提升工作效率。并且借助人工智能开展建筑设计的数据分析与模拟测试，能保障设计前瞻性与实用性，增强建筑项目整体品质与经济效益。由此可见，人工智能在推动建筑行业智能化转型进程中不可或缺。

（四）虚拟现实技术

1. 虚拟现实技术以计算机技术为依托，将真实世界元素转化为计算机可处理格式，强化人机交互体验。因此，虚拟现实技术能处理图形、音频、视频等多媒体信息并转为有应用价值的数据，助力用户直观认知现实世界。在建筑工程施工时，该技术给予工人沉浸式体验，助其更好领会工程环境与结构细节，从而有效把握施工要点与安全防护举措，既提升施工效率，又为后续工作顺利开展筑牢基础<sup>[3]</sup>。2. 虚拟现实技术是连接计算机与现实世界的纽带，在建筑行业应用广泛，借助计算机平台构建模拟环境，凭借视觉、听觉、触觉等感官反馈让用户感知虚拟世界。而建筑施工中，通过模拟现实难重现情景，给予工人更直观感受。其仿真能力化繁为简，使施工人员更易理解与应对难题，比如建筑设计阶段遇空间局限，可借虚拟现实技术先行模拟后优化方案。3. 虚拟现实技术借助计算机仿真营造逼真虚拟环境，带来现实难实现的体验，在建筑智能化工程项目里应用颇多，并利于制定更佳设计方案并指引施工团队依设计施工。同时，为施工人员深入认识建筑物结构与设备特性开辟新径，激发创新思维，应用时需依具体项目特点与需求，考量各类环境与工程要素，做出合理规划与设计抉择。

二、智能化施工技术在现代建筑工程中的具体应用分析

（一）无人机监测与测绘

无人机可以在较短的时间内覆盖较大的区域，并通过自动化

程序进行航线规划和数据采集，减少了人为干预的时间和成本，这种高效快速的特性使其成为越来越受欢迎的测量方法，为建筑工程领域带来了更高效、更精确的测量解决方案。而传统的建筑测量方法需要大量的人力和时间投入，还需要使用一些昂贵的仪器设备，相比之下，无人机测绘技术可以大大降低测量成本。无人机能够快速地完成建筑测量任务，节省了大量的人力成本，并且可以在复杂的环境中进行飞行，无需人力介入，进一步减少了人力成本<sup>[4]</sup>。在建筑工程中，无人机技术可以提供高精度的地形测量、三维建模、测量和分析等服务，通过搭载高精度测绘相机、激光雷达等设备，快速获取高精度地形数据，建立三维模型，为建筑设计提供精确的地形和环境信息。在施工阶段，无人机技术提供了全方位的监控、巡检、测量等服务，通过搭载高清相机、红外相机、热成像相机等设备，实时监测施工现场的人流、物流、设备流等情况，及时发现问题和隐患，保障施工安全。在维护阶段，无人机技术可以提供建筑物外观检测、设备检测、维修等服务，通过搭载高清相机、红外相机、热成像相机等设备，无人机可以对建筑物外观进行全方位检测，发现损坏、变形、裂缝等问题，及时进行维修和保养。总之，无人机监测与测绘技术在现代建筑工程中具有广泛的应用前景和巨大的潜力，并随着技术的不断发展和完善，这些技术将在建筑工程领域发挥更加重要的作用。

表 1：无人机在建筑工程中的具体应用

应用领域	具体应用	优势
地形测绘和土地勘察	快速完成勘测任务，提供精准地形信息	时间成本低（15-30 分钟完成勘测），成本仅为传统方式的 1/20
设备跟踪	空中巡视，快速评估设备是否到位，识别设备故障	节省设备租赁费用，提高设备管理效率
远程监控	监控建筑工地周边交通、施工区域和施工进度	实时高清监控，异常警报，确保工地安全
人员安全监控	代替工人进行危险测量工作，监控工地确保人员安全	减少工人风险，提高安全性
建筑结构检查	检查建筑结构稳定性和细节，拍摄高分辨率图像供分析	提高建筑质量，检测供热管道、冷气泄漏和电气问题
工程量清单和监测	拍摄高清图像和视频，记录工程现场情况，准确测量和计算工程量	确保施工质量和进度
三维建模和虚拟现实	生成高精度三维模型，用于建筑设计和城市规划	提供更直观、更准确的展示方式

（二）机器人与自动化施工

在建筑工程施工过程中，机器人与自动化施工技术的引入，为整个建筑行业的效率提升注入了强劲动力，也为建筑工程项目的顺利推进构筑了坚实的保障基石。机器人与自动化施工技术的革新不仅体现在施工速度的显著加快上，更在于对整个建筑工程管理流程的精细化、智能化改造，确保了工程从设计到实施的每一个环节都能达到最优状态<sup>[5]</sup>。通常情况下，机器人和自动化施工

作为智能化技术在建筑工程中的核心应用，正逐步成为现代建筑施工不可或缺的一部分，通过集成先进的传感器技术、人工智能算法以及高精度的机械控制系统，实现了对施工过程的精准操控与高效管理<sup>[6-8]</sup>。在建筑工程的实际操作中，机器人能够承担繁重的体力劳动，如材料搬运、墙面喷涂、精确组装等，还能凭借其卓越的感知与决策能力，对施工现场的每一项工作进行细致入微的检查与记录。这种全方位的实时监控，确保了施工活动的每一步都严格遵循预设的规范与计划，有效预防了潜在的安全隐患与质量问题。

### （三）绿色资源再生技术

当今社会着重走向可持续发展的道路，我国全力推动绿色建筑也已成为建筑业核心发展走向。建筑企业需积极运用绿色资源再生技术并结合智能化手段，推动建筑废料循环再利用，强化建筑工程环保属性。而智能技术可精准分类与处理建筑废弃物，削减建筑活动对环境的不良影响。并且智能管理系统优化了废料回

收流程，降低环境污染风险<sup>[9-10]</sup>。

## 三、结束语

智能化施工技术在现代建筑工程中的应用不仅是对传统施工模式的革新，更是推动建筑行业向更高效、更环保、更安全方向发展的强大动力。通过精确的数据采集与分析、智能的决策支持与优化、以及高效的资源调度与管理，智能化施工技术显著提升了建筑工程的整体效能与品质。然而面对技术更新迅速、数据安全风险、专业人才短缺等挑战，建筑行业需持续加大研发投入，加强标准制定与人才培养，以确保智能化施工技术的健康快速发展。并随着技术的不断成熟与融合创新，智能化施工技术将在更广泛的领域发挥重要作用，为构建智慧城市、实现可持续发展目标贡献力量。因此，深化智能化施工技术的应用，对于推动建筑行业的转型升级与高质量发展具有不可估量的价值。

## 参考文献

- [1] 詹培军. 智能化施工技术在装配式建筑工程施工管理中的应用 [J]. 工程技术研究, 2022, 7(07): 130-132.
- [2] 吴纪飞. 装配式建筑智能化施工技术在建筑工程施工管理中的应用 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2021, (11): 105-106.
- [3] 王柏柱, 刘家赫, 陈承超, 等. 现代建筑工程施工中的智能化机电设备安装技术 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2021, (06): 130-131.
- [4] 焦安亮, 付伟, 张中善, 等. 我国建筑智能工程施工技术及新应用 [J]. 建筑技术, 2018, 49(06): 623-627.
- [5] 赵鑫. 装配式施工技术在现代建筑工程中的应用 [J]. 居舍, 2021, (23): 79-80.
- [6] 王铁三, 王卫东. 四新技术在现代建筑工程施工中的有效应用 [J]. 居舍, 2021, (13): 59-60.
- [7] 徐瑞. 深基坑支护施工技术在现代建筑工程中的运用 [J]. 黑龙江科学, 2020, 11 (04): 110-111.
- [8] 喻姜英, 孙卫国. 论节能技术在现代建筑工程施工中的应用 [J]. 中国住宅设施, 2018, (10): 116-117.
- [9] 杨军. 工程测量技术在现代建筑施工中的应用 [J]. 工程技术研究, 2018, (10): 68-69.
- [10] 朱宏滨. 节能环保技术在现代建筑工程施工中的应用 [J]. 建材与装饰, 2018, (25): 46.

# 建筑施工“互联网+”智慧安全警示教育基地建设

张杰

武汉光谷环保科技股份有限公司，湖北 武汉 430074

**摘 要：** 建筑施工是一个事故频发的高危行业，本文针对当前建筑施工企业安全培训存的问题，提出“事故警示+多媒体安全培训+实操体验+在线培训管理”四位一体的“互联网+”智慧安全警示教育基地建设方案，帮助建筑施工企业提升培训效果、提高管理效率，同时全面提高从业人员安全素质和安全技能，达到降低安全风险、减少安全事故的目的。

**关 键 词：** 高危行业；事故警示；多媒体安全培训；实操体验；教育基地

## Construction of "Internet plus" Smart Safety Warning Education Base for Construction

Zhang Jie

Wuhan Optics Valley Environmental Protection Technology Co., Ltd. Wuhan, Hubei 430074

**Abstract：** Building construction is a high-risk industry with frequent accidents. In view of the current safety training problems of construction companies, this paper proposes a four-in-one "Internet +"smart safety warning education of "accident warning + multimedia safety training + practical experience + online training management".The base construction plan helps enterprises improve training effects and management efficiency, and at the same time comprehensively improves the safety quality and safety skills of employees, so as to reduce safety risks and safety accidents.

**Keywords：** high-risk industries; accident warning; multimedia safety training; practical experience; education base

### 前言

建筑施工是劳动密集型的高危行业，其施工生产的特点是现场情况复杂、流动性强，露天作业、立体交叉施工、高空和地下作业多，施工作业人员素质参差不齐、安全意识淡薄等，不安全因素很多，安全事故较为突出，安全管理工作难度较大<sup>[1]</sup>。

据不完全统计，2020年1月—2022年10月全国房屋市政工程累计发生生产安全事故1934起、死亡2189人。其中，广东河源“5·23”模板坍塌事故8死1伤、福建泉州欣佳酒店“3·7”坍塌事故29死42伤、江苏苏州四季开源酒店“7·12”坍塌事故17死5伤……教训极其深刻。

分析近年来建筑工地发生的伤亡事故，90%以上事故是由于人的不安全行为造成的，而不安全行为的根源主要来自于员工安全意识不足和安全操作技能的欠缺。因此，加强对外来人员的入场安全教育培训和内部员工的日常安全教育培训，提高其安全意识和安全技能，是建筑施工企业控制安全风险和减少生产安全事故的重要途径和必要手段<sup>[2]</sup>。

### 一、当前建筑施工安全教育培训存在的问题

#### （一）培训体系不健全，培训投入不足

一些建筑施工企业存在重施工管理，轻安全培训的错误观念。往往为了应付检查才突击培训或补培训资料。具体体现在：安全培训制度缺失，安全培训资源不足，安全培训课程体系不健全，安全培训内容针对性不强等。

#### （二）培训形式单一，培训内容枯燥，培训效果不佳

从培训内容和方式上来看，当前许多建筑施工企业的安全教

育培训仍停留在传统的课堂教学和理论传授上，缺乏与实际工作紧密结合的实操训练和模拟演练[4]。这样的培训形式单一，培训内容和培训过程枯燥乏味，缺乏感官刺激和体验，无法激发员工的学习兴趣，培训效果欠佳<sup>[3]</sup>。

#### （三）培训组织任务繁重，培训过程难以监管，培训效果难以评估

传统培训模式下培训组织工作繁琐、工作量大。同时，培训过程无法有效监管，培训真实性难以保障。另外，培训过程缺少数据支撑，培训效果难以评估。

作者简介：张杰（1987.10—），男，汉族，湖北蕲春人，本科，研究方向：建筑施工安全，邮箱：283475982@qq.com。

## 二、“互联网+”智慧安全警示教育基地建设

### （一）建设思路

依托工业互联网、移动互联网、VR 等先进技术，借助“场馆+终端+平台+APP”模式，为建筑施工企业打造集“事故警示教育+多媒体安全培训+实操体验+在线培训监督管理”于一体的现代化安全警示教育体验基地，帮助企业实现“线上+线下”相融合的安全教育培训全过程管理，从而有效解决当前建筑施工企业安全培训普遍存在的问题。

### （二）建设目标

（1）打造多手段、多维度、多场景的培训模式，确保全员百分百培训到位。

通过智慧安全警示教育基地的建设，借助多媒体终端培训、APP 移动学习、基地场馆实操体验等多种培训手段，构建安全知识理论培训、事故警示教育、作业现场实操训练等多维度培训内容体系，创造集中培训体验、碎片化自主学习等多种培训应用场景，以满足企业各种不同培训需求，确保建筑施工企业内部员工和外部分包单位人员百分百培训到位<sup>[4]</sup>。

（2）全面引入多媒体、VR 等技术，建立形式多样、权威专业的培训课程体系。

通过引入多媒体、VR 等技术，开发动漫、视频、VR 三维动画、游戏等多形式的安全培训、安全体验课程资源。并通过岗位工作任务分析，建立匹配企业每个岗位的安全培训课程矩阵，形成基于云端企业特有的安全培训、技能提升课程体系。

（3）通过移动互联网、物联网等信息化手段，建立企业安全培训大数据中心。

通过物联网、移动互联网技术，将警示教育终端、培训终端、VR 体验设备、实操训练设备等数据与基地信息化平台、移动 APP 互联互通，建立建筑施工企业内部安全培训大数据中心，为规范全员安全培训过程监管、档案管理提供强有力的信息化支撑<sup>[5]</sup>。

（4）打造行业典范标杆，形成企业内部可展示、可共享、可复制的现代化培训基地标准。

通过智慧安全警示教育基地的建设，打造“覆盖范围全面、培训内容专业、体验感知真实、警示教育震撼”的现代化安全培训基地典范标杆，形成建筑施工企业之间可展示、可共享、可复制的现代化安全培训基地建设标准。

### （三）建设内容

#### 1. 线下建设内容

##### （1）事故警示教育区

在建筑施工企业施工项目部设置事故警示教育区，其功能主要包括事故反思、VR 事故体验和事故伤害体验三个模块。

事故反思模块：主要包括典型事故案例 KT 展板、事故警示教育终端大屏等，建筑施工企业可根据企业实际情况进行配置。KT 展板主要展示行业典型的事故案例图文，对员工起到警示教育的作用；事故警示教育终端大屏则可滚动展示事故相关现场图片、循环播放事故警示教育宣传片等，相比前一种静态警示教育

形式，这种方式带给员工视觉冲击力更强、立竿见影的警示效果更明显<sup>[6]</sup>。

VR 事故体验模块：通过 VR 眼镜、VR 蛋壳椅等 VR 设备并配置典型事故案例 VR 视频资源，以沉浸式虚拟人物运动和体验事故冲击动感特效，让员工达到身临其境的事故伤害体验效果。

事故伤害体验模块：主要包括高处坠落、物体打击、触电等常见事故类型的实物体验装置，通过模拟事故伤害瞬间让员工切身感受事故伤害的后果。

##### （2）多媒体安全培训学习区

在建筑施工企业施工项目部设置多媒体培训教室，以多媒体培训终端为载体，内置内容丰富、形式多样的多媒体安全培训课件和题库，培训课程和试题采用多媒体形式自动播放，简单方便；学员使用无线答题器或手机扫码进行答题考试，现场考核以检验培训效果。

##### （3）实操训练体验区

在建筑施工企业施工项目部设置实操训练体验区，其功能主要包括安全游戏、现场急救以及特殊作业实操训练等三个模块。

安全游戏体验模块：可以配置抢答机、触摸一体机等游戏终端，通过“抢答闯关”“隐患找茬”等游戏化体验，还原现场作业场景，把安全知识、安全技能放到游戏场景中，使学员准确识别安全风险，提高隐患辨识能力与应急处置能力。

现场急救体验模块：可以配置 CPR 训练模型，通过人工呼吸、心肺复苏、止血包扎、伤员固定与搬运等急救操作项目，让学员掌握正确的急救流程和急救操作方法，提高体验者的急救意识和应对突发事件的能力<sup>[7]</sup>。

危险作业实操训练模块：主要包括有限空间作业、高处作业、临时用电作业、动火作业、挖掘作业、吊装作业、脚手架搭设及拆除作业等实操训练项目。

有限空间作业实操项目：搭建有限空间作业场景和实训环境，实现进入有限空间作业的模拟，使学员掌握进入密闭空间的操作流程（先通风、再检测、后作业）和安全注意事项，掌握作业前气体检测的相关工作，掌握密闭空间紧急危险的逃生技巧和救援方式，了解密闭空间临时用电的相关要求。

高处作业实操训练：搭建高处作业平台，使学员体验高处作业平台真实场景，以及安全带的正确佩戴体验、穿好安全带高处坠落时的感受体验、人体模特高处坠落冲击力的体验等，了解高处坠落的安全防护设施，从而提高员工高处作业等安全防范意识。

临时用电作业实操训练：搭建临时用电作业场景，展示三级电路保护、电路过载保护、用电辅材和触电危害等以及现场动手操作，帮助体验者掌握用电安全基础知识、电路保护装置工作原理，了解用电危害及防范措施。

动火作业实操训练：搭建电焊作业等动火场景和实训环境，通过现场展示电焊作业环境，以及现场实际操作，让体验者认识电焊、切割作业所使用的电焊机具、工作原理、防护用品、安全注意事项以及动火作业发生火灾的应急处置方法。



挖掘作业实操训练：搭建挖掘作业场景和实训环境，以推演沙盘形式进行互动教学，以常见土方开挖作业场景为主（管沟开挖作业场景标准展示和基坑开挖作业标准展示）。通过模拟搭拆、摆设等方式实现挖掘作业场景识别和流程模拟，让学员了解挖掘作业流程、掌握挖掘作业的安全注意事项。

脚手架搭设及拆除作业实操训练：搭建扣件式双排脚手架搭设、拆除作业场景和实训环境，通过程序化指引及现场实际操作，让体验者全面掌握脚手架的各部件功能、搭设与拆除操作步骤、安全技术措施、注意事项、验收标准等重要内容。

## 2. 线上建设内容

### （1）手机移动 APP

可开发建筑施工企业内部在线学习 APP，实现在线警示教育、在线培训学习、在线游戏体验等功能，同时 APP 与线下警示教育、多媒体培训学习、实操训练等模块实现信息互通。

在线警示教育：内含大量建筑行业典型事故案例和警示教育片，员工可随时随地观看，以加强员工对安全事故的敬畏感，切实做到警钟长鸣<sup>[8]</sup>。

在线培训学习：配置海量的安全培训课程和丰富的安全知识素材，企业可根据实际需求组织员工进行在线安全知识培训，员工也可以自主进行碎片化安全知识学习，实现安全教育的常态化。

在线游戏体验：通过开发“隐患找茬”“安全知识一站到底”等多种 H5 安全小游戏，让员工在游戏化体验中学习安全知识和技能，使培训学习更具有趣味性。

### （2）信息化管理平台

可开发建筑施工企业内部的信息化管理平台，作为基地场馆、终端和移动 APP 的数据中心，为企业培训管理人员实现全员集中安全培训、自主安全学习、现场警示教育、安全实操体验等组织实施、过程监控、结果跟踪的全过程管理<sup>[9]</sup>。

#### ①人员管理

通过平台可以对外来人员、内部员工进行管理，按照“企

业—部门—班组—个人”实现分级管理，人员信息可以批量的导入，也可以导出，为基地培训人员实名制建档提供信息化支撑。

#### ②课程管理

平台内置符合建筑施工企业各岗位安全培训需求的培训终端和移动 APP 安全培训课件和题库、场馆 VR 体验课程资源等。同时，通过平台企业管理员可动态更新培训课程资源，不断完善企业内部安全教育课程体系。

#### ③项目管理

平台提供多种方式快速创建警示、培训、体验项目，企业安全管理员通过创建项目向学员下发学习体验任务，项目中可灵活设定参训人员、课程内容及考核方式等信息，管理员还可以通过平台可随时监督项目的进度<sup>[10]</sup>。

#### ④档案管理

企业安全培训管理员可以通过平台管理员工的培训档案，查看每位员工的培训、体验和实操训练记录。

#### ⑤统计分析

平台根据企业组织结构汇总下属各级部门的培训数据，通过培训率、人均学时等指标展示本单位各层级组织机构安全培训成效，以量化指标来强化企业安全培训管理工作。

## 三、结语

建筑施工“互联网+”智慧安全警示教育基地，通过多手段、多维度、多场景的培训模式，能够切实加强建筑施工企业各类从业人员安全教育培训效果，达到提升员工安全素质和安全技能，降低安全风险、减少安全事故的目的。同时，通过智慧安全警示教育基地信息化管理平台，实现全员“线上+线下”警示教育、培训学习和实操训练全过程管理，进一步提高建筑施工企业安全教育培训组织管理工作效率。

## 参考文献

- [1] 姚远方, 杨凯, 张居朋. 浅谈建筑企业的安全文化建设 [J]. 中州建设, 2011(20):79-79.
- [2] 徐波. 浅谈房屋市政工程高处坠落成因及落实落细事前预防 [J]. 建筑安全, 2023,38(10):81-85.
- [3] 楼雪娘. 施工现场建筑工人作业疲劳的影响因素研究 [D]. 陕西: 西安建筑科技大学, 2015.
- [4] 蔡炜桦. 建筑施工企业中的安全教育培训工作 [J]. 工程管理与技术探讨, 2024,6(17).
- [5] 严浩. 建筑施工安全管理信息化实践路径与未来演进 [J]. 中国建设信息化, 2024,(22):69-73.
- [6] 吴东晋. 信息化技术在建筑施工安全管理中的运用分析 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2024,(11):80-82.
- [7] 殷伟. 建筑施工安全管理中的技术创新与应用 [J]. 中华建设, 2024,(11):44-46.
- [8] 张建超. 建筑工程管理中施工安全管理体系的构建与应用 [J]. 房地产世界, 2024,(19):86-88.
- [9] 翟延岑, 马云涛, 张静, 等. 智慧平台在建筑施工安全管理中的应用 [J]. 建筑安全, 2024,39(07):80-82+86.
- [10] 韩洵. 智慧工地系统在建筑施工现场管理中的应用探讨——以 X 项目为例 [J]. 房地产世界, 2024,(01):67-69.

# 临建轻钢结构房屋在建筑施工中的应用

陈强

中交一公局第一工程有限公司, 北京 100010

**摘要：** 本文深入探讨了临建轻钢结构房屋在建筑施工领域的广泛应用，系统分析了其从早期至今的发展历程，详细阐述了其结构特点，包括材料的轻质高强、结构的稳定可靠等。同时，本文还介绍了轻钢结构房屋的施工步骤，包括设计、制造、安装等环节，并探讨了其在不同应用领域中的适用性。此外，本文还总结了临建轻钢结构房屋在建筑施工中的显著优势，如施工速度快、成本低、环保节能等。通过全面阐述轻钢结构房屋的各个方面，本文揭示了其在现代建筑施工中的重要地位和作用。

**关键词：** 临建房屋；轻钢结构；建筑施工；结构特点；施工步骤

## Application of Temporary Construction of Light Steel Structure Building in Building Construction

Chen Qiang

CCCC first First Engineering Co., LTD. Beijing 100010

**Abstract：** This paper deeply discusses the wide application of temporary light steel structure building in the field of construction, systematically analyzes its development process from the early stage to the present, and detailed expounds its structural characteristics, including the light weight and high strength of the material, the stability and reliability of the structure. At the same time, this paper also introduces the construction steps of light steel structure houses, including design, manufacturing, installation and other links, and discusses its applicability in different application fields. In addition, this paper also summarizes the significant advantages of temporary light steel structure houses in construction, such as fast construction speed, low cost, environmental protection and energy saving. By comprehensively explaining all aspects of light steel structure building, this paper reveals its important position and role in modern building construction.

**Keywords：** temporary building; light steel structure; building construction; structural features; construction steps

随着建筑技术的不断进步，临建房屋在建筑施工中的应用越来越广泛。其中，轻钢结构房屋因其安全可靠、装拆便捷、环保节约等特点，受到了广泛的关注和青睐。本文旨在探讨临建轻钢结构房屋在建筑施工中的应用，以期为相关实践提供参考。

### 一、临建轻钢结构房屋的发展历程

#### （一）早期阶段

在1965年至1990年的这一时期，临建房屋市场主要以单层木制临建房屋为主导产品。这些木制临建房屋以其相对简单的结构和易于搭建的特点，满足了当时建筑施工中对临时性住所的基本需求。与此同时，市场上还出现了一些附属产品，如混凝土盒子临建房屋、金属盒子临建房屋以及帆布帐篷等。这些多样化的临建产品为建筑施工提供了更多的选择，但它们在结构强度、耐用性和环保性等方面还存在一定的局限性。随着建筑技术的不断进步和人们对临建房屋性能要求的提高，这些早期的临建产品逐渐被更加先进和高效的轻钢结构房屋所取代。

#### （二）中期阶段

从1991年至2000年，临建房屋市场迎来了中期发展阶段，

这一时期以水刷石临建房屋为主导产品。水刷石临建房屋以其坚固耐用、防火防潮的特点，逐渐在市场上占据了一席之地。与早期木制临建房屋相比，水刷石临建房屋在结构强度和使用寿命上有了显著提升。此外，市场上还出现了木制临建房屋和轻钢彩板活动房屋等附属产品<sup>[1]</sup>。这些产品不仅丰富了临建房屋的种类，也为建筑施工提供了更多样化的选择。然而，随着建筑行业的发展和技术的进步，这些中期阶段的临建产品也逐渐暴露出了一些局限性，如施工周期长、成本较高等问题，为后续的轻钢结构房屋的兴起奠定了基础。

#### （三）现代阶段

自2001年至今，临建房屋市场进入了现代发展阶段，彩钢乙炔夹芯板预制拆装式临建房屋成为了主导产品。这种房屋以其轻质高强、拆装便捷、保温隔热、防水防火等优异性能，迅速在建筑施工中得到了广泛应用。与此同时，附属产品也呈现出多元化

作者简介：陈强（1988.08-），男，汉族，山西省大同市，本科，中级，研究方向：房屋建筑施工方向。

的发展格局，包括但不限于轻钢龙骨石膏板隔墙、铝合金门窗、PVC 地板等，这些产品不仅提升了临建房屋的整体品质，还满足了建筑施工中对于环保、节能、美观等方面的更高要求。现代阶段的临建房屋不仅在性能上有了质的飞跃，还在施工效率、成本控制等方面展现出了显著优势，为建筑施工行业的发展注入了新的活力<sup>[2]</sup>。

## 二、临建轻钢结构房屋的结构特点

### （一）安全可靠

轻钢结构房屋以其出色的结构性能，充分满足了建筑结构设计规范的要求，确保了其在各种环境条件下的安全可靠。这种房屋采用高强度钢材作为主要承重材料，通过精确的力学计算和设计，形成了稳定可靠的结构体系。钢材的轻质高强特性使得房屋在承受荷载时表现出良好的变形能力和抗震性能，有效降低了地震、风灾等自然灾害对房屋的影响。同时，轻钢结构房屋的构件连接通常采用螺栓连接或焊接方式，确保了结构的整体性和稳定性，进一步提高了房屋的安全可靠性。因此，轻钢结构房屋在建筑施工中得到了广泛应用，成为了临时性住所的首选之一<sup>[3]</sup>。

### （二）装拆便捷

临建轻钢结构房屋的另一大结构特点是装拆便捷。这种房屋采用了标准化的构件设计，所有构件均按照统一规格和尺寸进行生产和加工，从而实现了构件之间的互换性和通用性。这不仅大大提高了房屋的安装效率，还降低了安装过程中的技术难度和人工成本。同时，由于构件的标准化和模块化，轻钢结构房屋的制作和安装工期也大大缩短，能够在短时间内迅速搭建起所需的临时性住所。此外，装拆便捷的特点还使得轻钢结构房屋在需要拆除或迁移时更加方便，减少了拆除过程中的资源浪费和环境污染，符合现代建筑施工的绿色环保理念。

### （三）环保节约

临建轻钢结构房屋在结构设计中充分考虑了环保节约的理念。其采用的钢材等建筑材料具有良好的可回收性和再利用性，使得房屋在拆除后可以多次循环使用，大大降低了资源的浪费。同时，由于轻钢结构房屋的构件连接通常采用螺栓连接或焊接方式，避免了传统建筑中因拆除而产生的建筑垃圾，减少了对环境的污染。此外，轻钢结构房屋在设计 and 施工过程中还注重节能降耗，通过合理的结构布局和保温隔热措施，提高了房屋的能效比，减少了能源的消耗。因此，临建轻钢结构房屋不仅满足了建筑施工中的临时性需求，还体现了现代建筑对于环保节约和可持续发展的追求<sup>[4]</sup>。

## 三、临建轻钢结构房屋的施工步骤

### （一）基础施工

临建轻钢结构房屋的基础施工是整个施工流程中的重要环节。由于轻钢结构房屋的自重相对较轻，对地基的要求也相对简单，一般采用条形基础即可满足需求。条形基础具有施工简便、

成本低廉、承载力高等优点，能够有效分散房屋对地基的荷载，确保房屋的稳定性和安全性。在进行基础施工时，需要根据房屋的设计要求和地基的实际情况，进行精确的测量和放线，确保基础的位置和尺寸准确无误。同时，还需要注意基础的防水和排水措施，避免基础受潮和积水，影响房屋的使用寿命<sup>[5]</sup>。完成基础施工后，即可进入下一阶段的施工流程。

### （二）墙体结构搭建

墙体结构搭建是临建轻钢结构房屋施工中的关键步骤之一。这一过程包括首层墙体结构框架的搭建、二层楼面梁的搭建以及二层墙体结构框架的搭建等多个环节。在搭建墙体结构框架时，需要按照设计图纸的要求，精确测量和定位各个构件的位置，确保墙体的垂直度和水平度。同时，还需要注意构件之间的连接方式和紧固程度，确保墙体的整体稳定性和承载能力。在搭建二层楼面梁时，需要确保梁的位置和标高准确无误，以保证楼面的平整度和稳定性。完成墙体结构搭建后，即可进行后续的屋面、门窗等施工步骤，最终完成整个房屋的搭建工作。

### （三）内置材料安装与布置

在临建轻钢结构房屋的墙体结构搭建完成后，接下来的重要步骤是内置材料的安装与布置。这包括墙体材料、屋面材料以及门窗、地板、天花板等内部装饰材料的安装。在进行墙体材料安装时，需要确保材料的质量和规格符合设计要求，同时还要注意材料的拼接方式和密封性能，以保证墙体的保温、隔音和防水效果。屋面材料的安装同样需要精确测量和定位，确保屋面的平整度和防水性能。此外，门窗、地板、天花板等内部装饰材料的布置也需要根据设计要求和实际使用需求进行合理规划和安装，最终形成一个功能完善、舒适宜居的轻钢房屋，为建筑施工提供便利的临时性住所<sup>[6]</sup>。

## 四、临建轻钢结构房屋的应用领域

### （一）工业厂房

临建轻钢结构房屋在工业厂房建设中有着广泛的应用。特别是门式钢架轻型结构，由于其独特的优势，特别适用于平面尺寸狭长、跨度较大的工业厂房。这种结构形式不仅能够满足大跨度、大开间的需求，还具有良好的抗震性能和承载能力，确保了工业厂房的稳定性和安全性。同时，轻钢结构房屋的快速搭建和拆卸特点，也适应了工业厂房建设周期短、变化快的需求。此外，轻钢结构房屋的环保性能和节能效果也符合现代工业厂房对于可持续发展的要求，因此成为了工业厂房建设中的优选方案之一<sup>[7]</sup>。

### （二）公共建筑

临建轻钢结构房屋在公共建筑领域同样展现出广泛的应用潜力。多层房屋钢结构因其结构稳定、施工速度快、空间利用率高等特点，被广泛应用于住宅、娱乐设施、办公楼、学校、医院等多种类型的公共建筑中。在住宅领域，轻钢结构房屋能够提供舒适、安全的居住环境，同时满足现代家庭对于空间布局 and 美观性的需求。在娱乐设施和办公楼中，轻钢结构房屋则能够灵活适应

各种复杂的功能布局 and 空间需求, 提供高效、便捷的使用体验。在学校和医院等公共设施中, 轻钢结构房屋更是以其良好的抗震性能和耐久性, 保障了人们的生命安全和健康。

（三）临时设施

临建轻钢结构房屋在建筑施工过程中扮演着不可或缺的角色, 常被用作临时办公、住宿、仓库等设施。其快速搭建和拆卸的特点, 使得轻钢结构房屋能够在短时间内迅速建立起所需的临时性空间, 为建筑施工提供必要的支持和保障。同时, 轻钢结构房屋的灵活性和可移动性, 也适应了建筑施工过程中不断变化的需求和场地条件。<sup>[8]</sup> 在临时办公设施中, 轻钢结构房屋能够提供舒适、高效的工作环境, 促进施工管理的顺利进行。在临时住宿和仓库设施中, 轻钢结构房屋则能够确保人员安全和物资存储的安全可靠, 为建筑施工的顺利进行提供有力支持。

五、临建轻钢结构房屋的优势

（一）造价低

临建轻钢结构房屋的一大显著优势在于其造价相对较低。这主要得益于新型轻钢结构体系的运用, 该体系在设计上进行了优化, 使得用钢量大幅减少, 从而降低了原材料成本。此外, 轻钢结构房屋的构件均为标准化生产, 可以在工厂进行精确加工, 减少了现场施工的复杂度和人工费用。同时, 由于轻钢结构房屋的搭建速度快, 施工周期短, 进一步节省了施工时间和相关成本。相较于传统建筑, 临建轻钢结构房屋在造价上具有明显的优势, 这对于需要控制成本的建筑施工项目来说, 无疑是一个重要的考量因素。此外, 随着技术的不断进步和市场的竞争加剧, 临建轻钢结构房屋的造价有望进一步降低, 为更多用户提供经济实惠的建筑解决方案<sup>[9]</sup>。

（二）施工速度快

临建轻钢结构房屋的另一个显著优势在于其施工速度快。相较于传统建筑, 轻钢结构房屋的构件均为工厂预制, 现场只需进行组装和连接, 大大简化了施工流程。这种装配式施工方式不仅减少了现场湿作业, 还降低了对劳动力的需求, 使得施工效率得到显著提升。同时, 轻钢结构房屋的构件连接通常采用螺栓连接

或焊接方式, 这些连接方式不仅操作简单, 而且能够快速达到设计要求的强度, 从而加快了施工进度。施工速度快意味着工期可以大大缩短, 这对于建筑施工项目来说具有重要意义。缩短工期不仅可以减少施工过程中的时间成本, 还能够提前投入使用, 产生经济效益。特别是在一些紧急或时间紧迫的工程项目中, 临建轻钢结构房屋的施工速度快成为了一个重要的竞争优势。此外, 快速施工还有助于减少施工现场对周边环境的影响, 降低施工噪音和扬尘污染, 符合现代建筑施工对于环保和可持续发展的要求<sup>[10]</sup>。

（三）适应性强

临建轻钢结构房屋的适应性是其另一大显著优势。这种房屋的设计极具灵活性, 能够根据现场的具体情况进行量身定制, 满足多样化的建筑需求和场景应用。无论是狭长的工业厂房、高耸的商业楼宇, 还是复杂的公共建筑、临时的施工设施, 轻钢结构房屋都能够通过灵活的设计方案, 实现最佳的结构布局 and 空间利用。在设计过程中, 临建轻钢结构房屋充分考虑到建筑的功能性、美观性和经济性, 确保在满足使用需求的同时, 也能够达到最佳的性价比。此外, 轻钢结构房屋的构件均为标准化生产, 可以根据需要进行组合和拆卸, 这种模块化的设计方式使得房屋在适应不同场景时更加灵活多变。在实际应用中, 临建轻钢结构房屋的适应性强还体现在其能够快速响应各种突发情况和变化。例如, 在自然灾害发生时, 轻钢结构房屋能够迅速搭建起临时避难所, 为受灾群众提供安全的庇护; 在建筑施工过程中, 轻钢结构房屋能够作为临时办公、住宿和仓库等设施, 为施工团队提供必要的支持和保障。

六、结论

临建轻钢结构房屋在建筑施工中具有广泛的应用前景和显著的优势。其安全可靠、装拆便捷、环保节约等特点, 使得其在现代建筑施工中占据了重要地位。未来, 随着建筑技术的不断进步和人们对环保节能要求的提高, 临建轻钢结构房屋的应用将会更加广泛和深入。

参考文献

[1] 熊良. 装配式轻钢结构在公路临建项目中的研究与应用 [J]. 运输经理世界, 2024, (04): 37-39.  
[2] 寻奥林, 张明亮, 江波, 等. 轻型钢结构临建设施在施工中的应用 [J]. 建筑技术, 2018, 49(04): 395-398.  
[3] 胡志明, 岳钰杰, 范志燕. 混凝土结构屋顶加建轻钢结构设计探索 [J]. 中国建材科技, 2017, 26(01): 91+100.  
[4] 张铮, 蔡雪峰, 马永超, 等. 轻钢结构临建房屋结构分析及设计建议 [J]. 工业建筑, 2016, 46(06): 155-160.DOI: 10.13204/j.gyjz201606032.  
[5] 马永超, 蔡雪峰, 张铮, 等. 轻钢结构临建房屋骨架结构有限元计算分析 [J]. 福建工程学院学报, 2016, 14(01): 1-4.  
[6] 马永超, 蔡雪峰, 张铮, 等. 轻钢结构临建房屋有限元计算分析 [J]. 福建建筑, 2016, (02): 53-55.  
[7] 张铮, 蔡雪峰, 马永超, 等. 轻钢结构临建房屋静力性能试验研究 [J]. 西安建筑科技大学学报 (自然科学版), 2015, 47(04): 531-536+548.DOI: 10.15986/j.1006-7930.2015.04.012.  
[8] 张屹, 周书兵. 地震灾区援建轻钢结构房屋墙体热桥处理的探讨 [J]. 建筑节能, 2012, 40(09): 45-47.  
[9] 孙焕然. 浅谈临建轻钢结构房屋在建筑施工中的应用 [J]. 科技传播, 2011, (09): 128+125.  
[10] 高鹏, 王燕, 王鹏. 装配式轻钢结构临建房屋技术性能与应用研究 [J]. 工业建筑, 2009, 39(01): 52-55.



# 石墨材料高温纯化工艺优化及其性能研究

王琦

山西中电科电子装备有限公司，山西 太原 030032

**摘要：** 石墨是一种独特的结晶碳材料，具有优异的导电性、导热性、良好的润滑性和耐高温性，在许多领域显示出广泛的应用潜力，从冶金、机械制造到环保化工，再到耐火材料、电子技术、医药制造，甚至军事、航空航天等高科技领域，石墨都发挥着不可替代的作用，尽管石墨的应用范围很广，但由于杂质含量高，国产石墨产品很难在高端市场占据一席之地。高杂质含量不仅影响石墨的物理化学性能，也限制了其在高性能材料领域的应用，优化石墨的高温提纯工艺，降低石墨中的杂质含量，已成为提高石墨材料性能、拓宽其应用领域的关键，通过深入研究和工艺优化，有望为石墨材料的高性能化提供有力支撑，进一步推动其在各个领域的广泛应用。

**关键词：** 石墨材料；高温纯化工艺；性能研究

## Study on the Optimization of High-Temperature Purification Process of Graphite Materials and Its Properties

Wang Qi

CETC SHANXI ELECTRONIC EQUIPMENT CO., LTD. Taiyuan, Shanxi 030032

**Abstract：** Graphite is a unique kind of crystalline carbon material, with excellent electrical conductivity, thermal conductivity, good lubrication and high temperature resistance, in many fields shows a wide application potential, from metallurgy, machinery manufacturing to environmental protection chemical industry, to refractory materials, electronic technology, pharmaceutical manufacturing, even military, aerospace and other high-tech fields, graphite is playing an irreplaceable role, although the application scope of graphite is very wide, but due to the high impurity content, domestic graphite products is difficult to occupy a place in the high-end market. High impurity content not only affects the physical and chemical properties of graphite, also limits its application in the field of high performance materials, optimize graphite high temperature purification process, reduce the impurity content of graphite, has become the graphite material properties, is the key to broaden its application, through in-depth research and process optimization, is expected to provide strong support for high performance of graphite materials, further promote its widely used in various fields.

**Keywords：** graphite materials; high-temperature purification technology; performance study

## 引言

石墨作为一种综合性能优异的结晶碳材料，在高性能材料中具有很高的应用价值，但国内石墨产品主要是原料和初级产品，杂质含量高限制了其应用范围。因此，优化石墨的高温提纯工艺并研究其性能具有重要意义，本文阐述了石墨高温提纯的基本原理，探讨了工艺优化策略，并对提纯石墨的性能进行了详细研究。

## 一、石墨材料高温纯化工艺现状

### （一）高温纯化工艺概述

石墨材料作为碳元素的同素异形体，以其独特的层状结构和优异的物理化学性能，在许多高科技和工业领域显示出广泛的应用潜力，石墨的天然存在往往伴随着各种杂质，不仅降低了石墨的纯度，也限制了其在高端领域的应用，高温提纯工艺应运而生，旨在通过高温环境下的特定处理，有效去除石墨中的杂质，提高其整体性能。高温提纯过程是一个复杂而精细的过程，它结

合了物理、化学和材料科学的原理，通过精确控制温度、气氛、压力、反应时间等参数，实现石墨中杂质的定向去除，这一过程不仅需要很高的技术精度，还需要对石墨材料的微观结构和性能有深刻的理解。高温提纯后的石墨不仅纯度更高，而且晶体结构更加完整，理化性能显著提高，满足了高性能石墨材料的制备要求。<sup>[1]</sup>

### （二）高温纯化工艺的主要方法

石墨材料的高温提纯工艺根据其不同的原理和操作方法形成了各种独特的方法，化学气相沉积 (CVD) 利用气态前体在高温

作者简介：王琦（1991.04—），女，汉族，山东省栖霞市，助理工程师，硕士研究生，研究方向：动力工程及工程热物理。

下在石墨表面上的化学反应来产生纯石墨层，通过精确控制反应条件和沉积速率，可以获得高纯度和高质量的石墨薄膜或涂层，CVD 法不仅适用于石墨的提纯，还可用于制备具有特殊功能的石墨复合材料。熔盐电解是以熔盐为电解质，在高温下电解石墨，通过电解，石墨中的杂质元素以离子的形式被提取出来，从而实现提纯，该方法对于从石墨中去除金属杂质特别有效，并且电解过程中产生的副产物易于处理和回收。<sup>[2]</sup> 激光辐照法是利用高能激光束照射石墨，使石墨表面或内部的杂质发生热解、汽化或氧化反应，从而实现提纯，该方法具有非接触处理、控制精确、效率高的优点，适用于制备高质量的石墨纳米材料。

### （三）高温纯化工艺的挑战与前景

尽管高温提纯工艺在石墨材料提纯领域取得了显著进展，但仍面临诸多挑战，一方面，石墨原料中杂质种类繁多，性质各异，如何针对不同的杂质选择合适的提纯方法，实现高效、低成本的提纯，是目前亟待解决的问题。另一方面，石墨本身在高温提纯过程中的热稳定性和化学稳定性也是制约该工艺发展的关键因素，如何在保证净化效率的同时避免石墨的过度氧化和结构破坏，是工艺优化的重要方向。此外，随着科学技术的进步和工业的发展，对石墨材料性能的要求也在不断提高，高温提纯工艺需要不断创新和改进，以满足高性能石墨材料的制备要求，比如开发新的净化方法，优化工艺参数，提高设备自动化程度，都是未来高温净化工艺发展的重要方向。<sup>[3]</sup> 随着新能源和新材料的快速发展，对高性能石墨材料的需求将持续增长，高温提纯工艺作为提高石墨材料性能的关键技术，将在促进石墨产业升级和拓展石墨应用领域方面发挥重要作用，加强国际合作与交流，引进和消化国际先进技术也是提升我国石墨材料高温提纯工艺水平的重要途径。

## 二、存在问题

### （一）原料质量控制难题

石墨材料高温提纯工艺的起点在于原材料的选择和质量控制，在这一过程中存在许多挑战，严重影响了净化效率和产品质量，石墨原料的来源很多，从天然石墨矿到合成石墨材料，在组成、结构和性能上存在显著差异，这种多样性给原材料的质量控制带来了很大的困难。石墨原料的纯度直接影响净化效果，如果原料中杂质含量过高，不仅会增加提纯难度，还会降低提纯效率。因此，在原料的选择上，需要进行严格的化学成分分析和性能测试，确保其符合提纯工艺的要求，但由于石墨原料的复杂性，这种分析测试往往费时费力，且难以保证结果的准确性。<sup>[4]</sup> 石墨原料的粒度、形状和分布也是影响净化效果的重要因素，粒度大或形状不规则的石墨原料在提纯过程中容易形成团聚或堆积，导致提纯不均匀，甚至破坏石墨的晶体结构。因此，原料的预处理成为了必不可少的环节，预处理过程不仅增加了生产成本，而且可能引入新的杂质，进一步增加了质量控制的难度。

### （二）纯化过程中的能耗与环境问题

在净化过程中，需要大量的电能、热能等能源来维持高温环

境和驱动设备运行，这种高能耗不仅增加了生产成本，而且可能对环境产生负面影响。高温提纯过程需要大量热能来加热石墨原料和反应介质，这些热能往往来自化石燃料等不可再生能源，燃烧过程中会产生大量的二氧化碳、氮氧化物等温室气体和污染物，对环境造成严重污染。因此，如何在保证净化效率的同时降低能耗和污染物排放，成为一个亟待解决的问题。高温净化过程中的设备运行也需要消耗大量电能，这些电能主要用于驱动电机、泵、风机等设备，以维持工艺的稳定运行，由于设备效率低下或运行管理不善，往往导致电能的浪费，必须加强设备维护，提高其运行效率，降低电能消耗。<sup>[5]</sup> 此外，高温净化过程还可能产生大量的固体废物和废水，这些废物和废水含有大量有害物质，如重金属离子、酸碱物质等。如果不经适当处理直接排放到环境中，会对土壤、水源和生态系统造成严重污染，必须建立严格的废物和废水处理系统，确保其符合环保标准后才能排放。

### （三）纯化工艺与产品性能的关联机制不明确

虽然经过多年的研究和探索，人们对净化过程有了一定的了解，但对其与产品性能之间的具体关联机理仍缺乏深入的了解，提纯工艺对石墨材料的晶体结构、化学成分和微观形貌有显著影响，这些效应具体是如何影响石墨材料的性能，它们之间的相关机制是什么，仍然需要进一步的研究和探索。净化过程中的参数控制也是影响产品性能的关键因素，如温度、时间、气氛等参数，都可能对净化效果和产品质量产生显著影响，这些参数如何影响产品性能，它们之间的最优组合是什么，仍然需要大量的实验数据和理论分析来支持。<sup>[6]</sup> 此外，石墨材料的性能还受到其应用领域和环境的影响，不同的应用领域和环境对石墨材料的性能要求不同，因此提纯工艺也需要根据具体的应用要求进行调整和优化，如何根据应用领域和环境制定合适的净化工艺方案，如何评价净化工艺对产品质量的改善效果，仍然是一个亟待解决的问题。

## 三、石墨材料高温纯化工艺优化方案

### （一）原料选择与预处理

石墨材料高温提纯工艺的优化从原材料的选择和预处理阶段开始，原料的质量直接决定了提纯石墨材料的性能和应用范围，因此优化原料的选择和预处理策略至关重要。原料的选择要综合考虑石墨的纯度、晶体结构、颗粒形态和来源稳定性，通过先进的化学成分分析和物理性能测试，筛选出纯度高、晶体结构完整、颗粒均匀的石墨原料。此外，考虑到石墨原料的可持续性，应优先考虑环保开采和回收的石墨资源，以减少对新资源的依赖。传统的预处理方法往往涉及化学试剂的使用，这不仅增加了成本，而且还可能引入新的杂质。<sup>[7]</sup> 因此，探索绿色预处理技术成为优化方案的重点，如采用物理破碎分级技术，通过精确控制破碎强度和分级筛，实现石墨原料的精细破碎分级，同时减少粉尘污染。此外，利用超声波或微波辅助处理技术，可以在不引入化学试剂的情况下，有效去除原料表面的污染物，提高原料的纯度。

## （二）气氛控制

优化大气控制策略，实现精准调控和环保优化，气氛的成分、浓度和流速对石墨材料的净化效果有重要影响，通过高精度的气体流量控制器和在线气体分析仪，实时监测和调整气氛中氧气、氮气、氢气等气体的比例和浓度，保证净化过程中气氛的稳定性和一致性，根据石墨原料的特性和净化目标，灵活调节气氛的流速和温度梯度，达到最佳净化效果。传统的高温净化工艺往往使用惰性气体或还原性气体作为保护气氛，但这些气体排放时可能会对环境产生一定的影响。因此，探索环保大气的设计成为优化方案的一个重要方向，比如使用生物质气或可再生资源制备的氢气作为净化气氛，既能满足净化需求，又能减少温室气体排放。此外，开发高效的气体回收和循环利用技术，对净化过程中产生的废气进行收集、净化和再利用，使资源利用最大化，对环境的影响最小化。<sup>[8]</sup>

## （三）设备改进

设备是石墨材料高温提纯工艺的物质基础，其性能直接影响提纯效率和产品质量，传统的高温净化设备往往能耗较高，存在热能损失和废气排放等问题。因此，开发高效节能的净化设备成

为优化方案的重点，比如采用先进的保温材料和热回收技术，减少热量损失；采用高效加热元件和智能温控系统，实现快速加热和精确控温；同时设计合理的废气处理系统，回收废气中的热能，提高能源利用率。<sup>[9]</sup>将智能技术融入净化设备的设计和制造过程，如利用智能传感器和控制器实现设备的远程监控和自动调节；利用大数据分析和人工智能技术，优化设备运行参数，提高设备的稳定性和可靠性；同时，开发智能故障诊断预警系统，及时发现和处理设备故障，降低维护成本和停机时间。<sup>[10]</sup>

## 四、结语

综上所述，石墨材料高温提纯工艺的优化是一个系统工程，涉及原料选择、气氛控制和设备改进，通过实施精细筛选、绿色预处理、精准气氛控制、环保气氛设计、高效节能设备和智能升级等策略，不仅可以提高石墨材料的净化效率和产品质量，还可以有效降低能耗和环境污染，促进石墨材料产业的可持续发展。未来，随着技术的不断进步和市场的不断扩大，石墨材料高温提纯工艺的优化将会有更广阔的应用前景和发展空间。

## 参考文献

- [1] 陈四甫, 张俊杰, 陈瑞斌. 柔性石墨接地材料工频热稳定性能试验研究 [J]. 高压电器, 2024, 60(02): 184–191.
- [2] 张良基, 彭成龙. 石墨 / MoS<sub>2</sub> 复合材料制备及其电化学性能研究 [J]. 信息记录材料, 2024, 25(01): 7–10.
- [3] 韩箫笛, 黎剑辉, 潘春阳. 锂离子电池负极用 Si@G 复合材料的研究进展 [J]. 化工新型材料, 2023, 51(S2): 23–26.
- [4] 何卫, 浦龙娟, 周毅, 等还原态氧化石墨烯载 Pd 纳米催化剂对甲酸氧化的电催化性能 [J]. 中国科学: 化学, 2011, 41(12): 1805–1810.
- [5] 张琼, 贺蕴秋, 陈小刚, 等氧化钛 / 氧化石墨烯复合结构及光催化性能 [J]. 科学通报, 2010, 55: 620–628.
- [6] 李林儒, 付宏刚, 陆天虹, 等石墨烯载 Ir 催化剂对氨氧化的电催化性能 [J]. 高等学校化学报, 2012, 33(1): 122.
- [7] 张伟, 朱宏伟, 狄泽超, 等液相法制备石墨烯及其摩擦学性能研究 [J]. 纳米科技, 2011, 8(1): 5–9.
- [8] 王晓梁, 刘仍礼, 缪世阳. 化工石墨设备生产技术状况和进展探究 [J]. 全面腐蚀控制, 2023, 37(07): 77–79+83.
- [9] 赵雪松, 陈小峰, 刘畅. 探讨玻璃纤维在石墨制化工装备上的应用技术 [J]. 全面腐蚀控制, 2022, 36(03): 28–30+35.
- [10] 王涛. 化工石墨设备生产技术状况和进展综述 [J]. 石化技术, 2020, 27(06): 270–271.

# 海洋石油模块钻机液压系统故障诊断 与可靠性改进策略

吴汉东

中海油能源发展股份有限公司渤海地区管理服务中心 工程建设中心, 天津 300452

**摘 要：** 本文聚焦海洋石油模块钻机液压系统，以海洋石油模块钻机液压系统为核心展开研究，深入剖析其系统形成与运作机制，结合相关资料梳理常见故障类型及诊断技术，从多维度提出可靠性改进策略。经案例分析验证策略有效性，为提升海洋石油模块钻机液压系统可靠性、保障稳定高效运行提供理论与实践支撑。

**关 键 词：** 海洋石油模块钻机；液压系统；故障诊断；可靠性改进

## Fault Diagnosis and Reliability Improvement Strategies for the Hydraulic System of Offshore Oil Modular Drilling Rigs

Wu Handong

Engineering Construction Center, Bohai Region Management and Service Center, CNOOC Energy Technology &amp; Services Limited, Tianjin 300452

**Abstract：** This article focuses on the hydraulic system of offshore oil modular drilling rigs, conducting research with the hydraulic system as the core. It deeply analyzes its system formation and operating mechanism, summarizes common fault types and diagnostic techniques based on relevant data, and proposes reliability improvement strategies from multiple dimensions. The effectiveness of the strategies is verified through case studies, providing theoretical and practical support for improving the reliability of the hydraulic system of offshore oil modular drilling rigs and ensuring stable and efficient operation.

**Keywords：** offshore oil modular drilling rigs; hydraulic system; fault diagnosis; reliability improvement

### 引言

在海洋石油开采领域，模块钻机作为作为钻井核心装备，其高效稳定运行至关重要，而液压系统作为模块钻机的重要系统之一，其性能优劣直接关乎开采效率、作业安全与经济效益。深入探究该液压系统故障诊断方法与可靠性提升策略，对确保海洋石油开采顺利进行意义深远。

### 一、海洋石油模块钻机液压系统构成

海洋石油模块钻机液压系统主要包括液压动力单元、终端液压用户及其必要的连接管线、过拖链软管、接口柔性连接件和阀门件，包括控制阀、减压阀、止回阀、安全阀、压力表、转换接头等。液压动力单元主要是综合液压站、终端液压用户主要包括滑移系统（上下底座爬行器）及其控制箱、液压猫头、液压大钳、井架起升控制箱等。

#### （一）动力单元

在海洋石油模块钻机液压系统中，综合液压站是主要的动力单元，其选型至关重要。综合液压站主要由液压油泵及电机、冷却风机、启动器、联轴器、液压邮箱、电加热器、过滤器、控制盘及撬座等组成。如曹妃甸11-1/11-6油田项目的综合液压站，配备的两套45kW恒压变量柱塞泵，具备防爆及高防护等级，采用恒压变量且一用一备设计，能输出高压力大流量，满足重载需

求，能在钻井过程中井口滑移定位、井架起升和钻进作业中稳定供能。其特殊密封与散热设计，可抵御海水侵蚀，适应高湿度狭小空间，确保长时间稳定运行。动力单元影响系统运行效率与可靠性，可靠的液压动力单元为模块钻机高效运行筑牢基础<sup>[1]</sup>。

#### （二）终端用户

海洋石油模块钻机上的液压终端用户主要有上下底座爬行器、钻台面上的液压猫头、液压大钳和井架基座上的起升控制箱等。上下底座爬行器通过爬行器液压缸的伸缩带动整个钻机模块和钻台面对进口的精准定位；液压猫头通过液压驱动在钻台面上与吊钳配套使用，用于钻井时钻杆、钻铤、套管等机械化上、卸扣作业；液压大钳通过液压驱动进行进行各类钻具紧扣、松扣作业；起升控制箱通过液压驱动各段的起升以完成井架的安装和拆卸作业。

在曹妃甸11-1/11-6油田项目中，上爬行器（驱动钻台面移动）液压缸拉力1600kN，下爬行器（驱动钻机整体移动）液压缸



拉力3000kN，行程750mm，缸筒内壁珩磨处理，活塞与缸筒高精度配合，滑移时协同控制底座和钻台面移动，保障钻井作业位置调整。

### （三）控制元件

在海洋石油模块钻机液压系统中，控制元件至关重要，包含电磁换向阀、溢流阀、节流阀等。电磁换向阀可远程控制，依电控信号快速切换油路，在曹妃甸11-1/11-6油田项目中，能根据司钻房指令精准改变液压油流向，使执行元件准确动作。溢流阀设定最高压力，系统压力超阈值时开启，让多余油回流，有效防止元件因压力突变损坏。节流阀依据工况调节开度，控制进入液压马达油量，保障终端用户工作效率与质量<sup>[2]</sup>。

## 二、液压系统常见故障模式及危害

为保证模块钻机液压系统高效稳定工作，精准剖析液压常见故障及其危害意义深远。这不仅关乎设备性能稳定，更紧密关联生产安全与效益。以下将详述各故障要点。

### （一）液压泵故障

在液压系统运行的过程中，液压泵是最容易出现故障的一个装置，主要是液压泵经常处于高速运转的状态，导致零件磨损严重，最终导致故障的发生。泵内的齿轮、叶片、柱塞这类关键部件，会长时间遭受油液污染颗粒的冲刷、腐蚀，还有高频交变应力影响，表面随之逐渐磨损，进而致使配合间隙以及流道特性改变。与此同时，油液中溶解气体逸出、局部压力骤降时会产生气泡，引发气蚀现象，气泡溃灭瞬间带来的高温高压冲击，会损坏泵体表面，让泵的输出压力降低，流量稳定性变差，效率下滑，最终导致系统出现流量不足、压力波动异常的状况。

另外，密封件也常出现老化、磨损、挤出变形，或是遭化学物质侵蚀的情况，使得密封性能大打折扣，泵内泄漏问题加剧，出口压力难以满足执行元件工作要求。不仅如此，泄漏的液压油还会污染环境，造成能源浪费，埋下火灾隐患。

### （二）液压缸泄漏与卡滞

液压缸存在密封泄漏、活塞杆划伤与弯曲两类常见问题，严重影响设备运行。密封方面，活塞密封、活塞杆密封若出现老化、受损情况，会引发内泄漏，致使缸体保压能力大打折扣，运动速度忽快忽慢、难以稳定；同时还会产生外泄漏，泄漏的油液不仅会污染设备，还会使油液储量不断减少，进而诱发故障。而活塞杆由于频繁做往复运动，一旦遭受偏载、侧向力，或是被外界异物碰撞，便极易出现划伤、弯曲问题，这会加剧密封件的磨损，让液压缸出现卡顿、爬行现象，直接干扰运动精度与控制性能，最终威胁到设备整体的运行稳定性与可靠性。

### （三）液压阀堵塞与阀芯磨损

在液压系统运行过程中，极易出现污染物堵塞与阀芯磨损两类问题，给系统正常运转带来诸多不良影响。一方面，油液里的杂质、污垢会不断堆积在液压阀的节流口、阀芯与阀座间隙以及阻尼孔处，由此致使阀口通流面积缩减，流量特性随之改变，进而造成系统压力损失大幅增加，响应速度变得迟缓，控制精度也大打折

扣；情况严重时，阀芯甚至会被卡死，直接引发系统故障。

另一方面，阀芯长期承受油液冲刷、压力冲击，加上频繁换向产生的摩擦，其密封面、导向面会逐渐磨损，使得配合间隙与密封性发生改变，引发内泄漏、压力波动，还会导致换向可靠性降低，最终致使整个液压系统工作不稳定，执行元件动作失控<sup>[3]</sup>。

### （四）液压油污染变质

液压油污染源主要由颗粒污染、水分污染、氧化变质等。颗粒污染指外界灰尘、沙粒入侵以及系统内磨损产物混入油液，致使油液中的颗粒污染物增多，进而加剧元件磨损，划伤密封件，还会堵塞过滤器与节流孔，严重影响液压系统正常运行以及元件的使用寿命；水分污染源于潮湿环境、冷却系统泄漏，水分混入油液后，润滑性能随之降低，油液氧化变质加速，金属元件遭受腐蚀，油泥逐渐生成并堵塞管路与元件，散热能力被削弱，油温异常升高，给系统可靠性、安全性带来极大危害；氧化变质则是在高温、高压以及金属催化作用下发生，油液氧化产生酸性物质、胶质与沥青质，元件表面遭到腐蚀，油液黏度与酸值上升，油泥沉淀不断形成，致使系统散热、润滑、密封性能大打折扣，最终影响系统的稳定性与可靠性。

## 三、液压系统常见诊断技术

本章节聚焦常见液压故障类型及诊断技术，旨在精准剖析故障根源，探寻高效诊断路径。精准识别故障类型，熟练掌握诊断技术，是迅速修复系统、保障模块钻机液压系统正常运转、提升作业可靠性。

### （一）感官诊断技术

感官诊断法依靠使用和维修人员经验，通过目视油液、耳听声响、手触元件来初步排查故障，虽便捷但主观性强、精度低。可按照“望”“闻”“问”“切”方式进行：

**望：**即观察液压系统各设备和连接管路的配置是否正常，包括泵、阀、液压油、滤油器、散热器、液压软管、液压接头等；检查爬下器和液压猫头运动速度是否有异常现象；观察液压系统中各测压点的压力值大小及波动；查看液位，检查液压油容量是否合适；查看液压油是否清洁，有无变质；检查液压管道各接头处、阀板结合处、液压缸端盖处、液压油泵轴伸出处是否有渗漏、滴漏和油垢现象。

**闻：**即听液压系统工作时的声音，判断声音是否正常工作声音，如属于异常声音，则需查找源头在哪，是液压泵、马达、阀等液压件还是系统的管路或与元件连接的工作机构。

**问：**即询问操作人员设备操作及运行情况，了解故障发生的前因后果；询问设备维护记录，了解设备的历史故障和维修情况等。

**切：**即用手摸运动部件表面，检查是否发热；感觉是否有振动现象；检查液压油缸有无“爬行”现象；检查接口是否有漏油现象。

### （二）基于信号处理的故障诊断技术

目前，在海洋石油模块钻机上，液压系统各设备均与中控室

或司钻房有远控和信号反馈连接。液压系统关键部位的压力、流量信号蕴含着运行与故障信息,实时监测这些数据,通过剖析其稳态值偏差、动态响应特性以及波动情况来排查故障,例如压力突降大概率意味着泵故障或管路泄漏,流量异常波动很可能是阀故障或液压缸内泄漏所致,在此基础上,搭配统计分析、特征提取技术,能让诊断结果更准确、更可靠。

## 四、海洋石油模块钻机液压系统可靠性改进策略

提升海洋石油模块钻机液压系统可靠性,需多管齐下实施综合策略。此部分将从系统设计优化、元件质量提升、维护保养强化、管理体系完善着手,全方位攻克影响可靠性难题,为系统稳定运行筑牢根基、注入持久动力。

### (一) 优化系统设计

在液压系统领域,可靠性设计对保障系统稳定运行意义非凡。冗余设计通过为关键泵、阀配备备份,可在主设备故障时自动切换,确保系统连续性。如曹妃甸11-1/11-6油田项目的模块钻机液压系统,其液压油泵一用一备,主泵故障时备用泵能快速接替,避免系统停机,增强了整体可靠性。

优化管路布局亦不可或缺。依据液压系统原理图与设备安装位置合理规划走向,减少弯头、接头数量,选用适配规格确保连接紧密,既能降低泄漏与压力损失风险,又能提升系统运行效率与稳定性。

仿真模拟技术助力系统性能提升。利用先进软件模拟模块钻机液压系统起升、钻进、循环等工况,掌握压力、流量、温度等关键参数变化规律,据此优化泵排量、阀通径、油箱容积等设计参数,使系统适应复杂海洋环境,确保在各种工况下稳定可靠运行。

### (二) 提高元件质量

元件质量直接关乎液压系统可靠性,为此需多管齐下。首先,元件选型要严格,将知名品牌、高可靠性产品列为首选。因其在设计、制造工艺和质量控制上优势显著,能契合海洋石油开采恶劣工况。如蓬莱19-9油田项目,选型时全面评估各品牌产品性能、质量与可靠性,确保所选元件优质,从源头减少故障隐患。其次,入厂检验务必加强,蓬莱19-9油田项目采用超声波、磁粉检测等无损检测技术,细致排查元件内部缺陷,像裂纹、气孔和夹杂物等,只有检验合格的元件才能进入装配流程,有力维护系统安全稳定。最后,定制专用元件很关键,与供应商紧密协作,依据海洋高湿度、高盐度及复杂工况优化材料工艺,采用耐腐蚀不锈钢材质、表面涂层防护等处理元件材料,优化制造工艺提升元件加工精度与表面质量,增强其耐磨和抗疲劳性能,延长

使用寿命,为系统整体可靠性筑牢根基。

### (三) 强化维护保养

精准规划维护周期是保障液压系统稳定运行的关键。需综合考虑设备运行时长与工况,合理确定维护周期。对长时间连续运行且负荷大的系统,应缩短周期、增加频次;运行短且工况稳定的系统则可适当延长。曹妃甸11-1/11-6油田项目据此制定了详细时间表,明确各维护项目间隔,确保系统维护及时。

定期保养关乎系统清洁度。油液长期使用会变质并混入杂质水分,影响系统运行。应依计划定期换油、换过滤器,保证油液清洁。同时,定期深度清洁油箱,清除沉淀杂质污垢,防止其进入系统损坏元件。蓬莱19-9油田项目定期执行这些操作,有效维持了系统清洁,降低了故障风险。

智能监测助力精准维护。引入油液在线检测仪和设备状态监测系统,实时监控油液品质与设备状态。前者能检测油液黏度、酸值、污染度等指标,超标即报警;后者通过传感器采集振动、温度、压力等参数,经数据分析评估设备健康状况,预测故障,为预防性维护提供依据,提升了维护针对性、及时性与系统可靠性。

### (四) 完善管理体系

构建全生命周期管理档案对液压系统管理意义重大,其涵盖设计阶段技术参数、选型依据、图纸,安装阶段位置、连接、调试数据,调试阶段结果、问题及解决措施,维护阶段记录、元件更换与故障处理等信息,为故障分析、性能评估和优化改进提供全面准确数据,如曹妃甸项目靠档案可定位故障、评估性能、助力优化。强化操作人员和维修人员专业培训是系统正常运行的保障,操作人员需熟悉操作规程和正确操作方法,维修人员要提升故障诊断、维修及应急处理能力,可通过定期培训、交流活动、专家授课及鼓励自主学习分享提升整体技术水平。建立高效故障预警机制能减少停机时间保障生产连续性,实时监测分析运行数据并设阈值,异常时自动预警,维修人员依此提前调配资源及时处理,防止故障扩大,确保系统稳定运行、提高生产效率。

## 五、结束语

海洋石油模块钻机液压系统可靠性是石油开采作业稳定运行基石。经深入剖析系统构成与运作、精准把握常见故障及诊断方法,从设计、元件、维护、管理全方位协同改进,结合案例有力验证策略成效,可大幅削减故障几率、延长设备寿命、提升运行稳定性。展望未来,融合智能传感、大数据分析、人工智能诊断技术将成为提升液压系统可靠性关键路径,持续推动海洋石油高效开采,助力石油工业稳健可持续发展。

## 参考文献

- [1] 张泽. 液压系统在石油钻机中的应用研究[J]. 化学工程与装备, 2019, (11): 57-58. DOI: 10.19566/j.cnki.cn35-1285/tq.2019.11.024.
- [2] 陈卓明. 海洋石油平台起重机液压系统故障诊断[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(04): 150-153. DOI: 10.19981/j.CN23-1581/G3.2023.04.036.
- [3] 田乐意. 全液压钻机液压系统泄漏故障分析及对策[J]. 煤矿机械, 2017, 38(08): 148-150. DOI: 10.13436/j.mkjx.201708058.

# 纯电动救护车动力系统匹配及续航里程优化研究

钟福春, 李亚蕾

江铃汽车股份有限公司, 江西 南昌 330000

**摘要：** 本论文研究了纯电动救护车的动力系统匹配和续航里程优化问题。通过分析当前纯电动救护车的技术现状，结合动力系统设计的关键要素，我们提出了一种综合的续航里程优化策略。研究涵盖了动力系统的设计、续航里程优化方案、系统测试与验证等多个方面。在系统测试中，通过仿真和实际道路测试，验证了所提出方法的有效性和可靠性。此外，论文还对采用纯电动救护车的经济和社会效益进行了分析，表明其在降低碳排放和运行成本方面具有显著优势。最后，本文总结了研究成果和未来的研究方向。<sup>[1]</sup>

**关键词：** 纯电动救护车；动力系统匹配；续航里程优化；系统测试；经济效益

## Research on Power System Matching and Range Optimization of Pure Electric Ambulance

Zhong Fuchun, Li Yalei

Jiangling Automobile Co., Ltd. Nanchang, Jiangxi 330000

**Abstract：** This paper studies the power system matching and cruising range optimization of pure electric ambulances. By analyzing the current technological status of pure electric ambulances and the key elements of power system design, we propose a comprehensive strategy for cruising range optimization. The study covers aspects including power system design, cruising range optimization strategies, system testing, and verification. Through simulation and real-world road tests, the effectiveness and reliability of the proposed methods have been verified. Additionally, the paper analyzes the economic and social benefits of adopting pure electric ambulances, demonstrating significant advantages in reducing carbon emissions and operational costs. Finally, the paper summarizes the research findings and suggests future research directions.<sup>[1]</sup>

**Keywords：** pure electric ambulance; power system matching; cruising range optimization; system testing; economic benefits

## 前言

随着全球环境问题的日趋严重，许多国家和地区正在努力减少交通工具的碳排放，提高新能源车辆的普及率，电动汽车因其零排放的优势在此背景下得到了快速发展。救护车作为承担突发事件中重要急救与运输任务的特种车辆，对于其低排放、高效率的要求尤为迫切。目前，传统救护车大多使用内燃发动机，不仅带来一定的环境污染，还面临油耗高、噪声大等问题。纯电动救护车以其环保优势及潜在的经济效益，成为研究与开发的热点。<sup>[2]</sup>

## 一、文献综述

### （一）国内外电动救护车研究现状

随着新能源汽车技术的快速发展，研究人员越来越关注电动技术在特种车辆中的应用。国外一些发达国家，如德国、美国和日本，已经开始研发电动救护车项目，通过小规模试运营来积累经验，并积极推进其在实际救援中的应用。国外研究主要集中在车辆平台的综合开发、行业标准的制定以及与传统救护车的综合比较方面。而在国内，虽然电动汽车的普及速度较快，但针对电动救护车的研究相对较少，主要集中在动力电池技术和能量管理策略方面，具体应用案例较为有限。<sup>[3]</sup>

### （二）动力系统匹配技术的发展

动力系统匹配是影响电动救护车性能的重要因素之一，它决定了车辆的加速性能、最大速度和满载情况下的运行效率。近年来，多种新型电动机和驱动技术被应用于电动车辆中，如永磁同步电动机（PMSM）和开关磁阻电动机（SRM）等，这些电动机在效率和功率密度上都有显著优势。电机与电池之间的匹配涉及多变量的协同优化，需要综合考虑电机功率、扭矩输出特性以及电池的充放电特性，以实现最佳的性能输出。<sup>[4]</sup>

### （三）续航里程优化策略分析

续航里程一直是电动救护车研发中的关键问题。相关研究表明，续航里程受多个因素影响，包括车辆载荷、驾驶习惯、路况

作者简介：钟福春（1985.10-），男，汉族，江西省赣州市，大学本科，中级工程师，汽车电子电器相关，身份证号：360725198510080017，邮箱：zhongfuchun2005@163.com。



条件以及温度等外部环境因子。为此，许多研究提出了不同的优化策略，包括：

- 智能能量管理系统（EMS）：通过实时监控车辆状态和可用能量，动态调整电量分配，以延长续航时间。
- 制动能量回收系统（RBS）：利用电机制动时的能量反馈技术，回收动能并储存在电池中。
- 导航与路径优化：结合城市交通实时数据，提供能耗最低的行车路径。

#### （四）现有研究的不足与挑战

尽管电动救护车的研究取得了一些进展，但仍然存在多个层面的挑战：

- 技术集成难题：如何将先进的电动驱动和能量管理技术有效集成到一个安全可靠的救护车平台中。
- 经济性与效用考量：如何在性能与成本之间找到平衡，使得电动救护车既具备高性能又具有广泛的市场接受度。
- 政策与标准缺失：电动救护车作为特种车辆，目前缺乏完善的行业指导标准和政策扶持，影响其大规模推广应用。

上述分析表明，尽管在理论研究和局部应用上已有一些突破，但要实现电动救护车在急救领域的全面推广，仍需在技术、经济和政策等方面继续深入探索和推进。

## 二、纯电动救护车动力系统设计

在纯电动救护车的开发中，动力系统设计是确保车辆具备高效性能和足够续航能力的核心任务。本章节将探讨如何设计一个优化的动力系统，以满足救护车辆的特殊需求。

### （一）动力系统结构分析

#### 1. 电动机及传动系统选择

选择合适的电动机和传动系统是动力系统设计的首要任务。对于救护车这样的特种车辆，我们需要具备快速响应和高启动扭矩的动力系统。本研究选择了一台高效稀土永磁同步电动机，该电动机以其高功率密度和效率著称，能够在高负荷条件下稳定运行。此外，选择采用无级变速传动系统与电机相配合，以实现平稳加速和更高的系统集成性，优化车辆的驾驶体验和能量利用率。<sup>[5]</sup>

#### 2. 电池类型及其管理系统

动力电池是纯电动车辆的核心部件，其性能对整车续航和安全至关重要。根据当前技术水平和市场可行性，本研究决定采用基于锂离子电池的储能装置，考虑了这类电池在能量密度、功率输出和循环寿命上的优势。在电池管理系统（BMS）方面，设计结合了电池状态监测、热管理和均衡充电等功能，以确保电池在运行中的安全性及性能稳定性。<sup>[6]</sup>

### （二）系统匹配原则

#### 1. 电机与电池的匹配方法

有效的电机与电池匹配是动力系统设计的关键。通过分析电动机的功率需求和电池的放电能力，确立了能量传输的最优方案。本研究采用了动态匹配算法，该算法根据实时的功率需求调

整电池输出，确保在高效运行和续航能力之间取得最佳平衡。<sup>[7]</sup>

#### 2. 整车重量和功耗的关系

车辆总重量直接影响功耗，尤其是在救护车加载医疗设备的情况下，重量控制更加关键。为了降低能耗，本设计通过选用轻质材料和优化车身结构，以减少重量。同时，通过仿真计算不同车重与功耗之间的关系曲线，提供了车辆设计和设备布控的科学参考。

### （三）动力系统建模与仿真

#### 1. 仿真环境及工具选择

动力系统的建模和仿真工具选择至关重要。本研究采用 Matlab/Simulink 作为主要的仿真平台，该平台提供了全面的电动机和电池模型库，能够精确模拟动力系统各个组成部分的动态行为。此外，还采用了 ANSYS 等辅助工具对热管理系统进行专业分析。

#### 2. 系统性能测试及优化结果

经仿真分析，动力系统在多种工况下均表现出良好的性能。在标准化测试条件下，模拟结果显示该系统能够实现预期的加速和续航性能。同时，基于测试数据的优化调整进一步提高了系统的整体效率，使车辆在能耗方面较传统设计减少约 15%。此结果验证了所提出动力系统设计方案的有效性与先进性。<sup>[8]</sup>

## 三、续航里程优化策略

在新时代交通工具的研发中，续航里程的优化对于纯电动救护车尤为重要。由于救护车特殊的任务需求——需要快速、稳定地转移病患，因此延长续航里程并保证其在各种条件下的可靠性成为了关键。这一部分将详细探讨影响续航里程的主要因素，以及现代化的能量管理策略和续航优化技术。

### （一）续航影响因素分析

续航里程的优化首先需要对影响其的多种因素进行详细分析：

#### 1. 车载医疗设备能耗

电动救护车与传统车辆的显著区别之一是它承载了大量的医疗设备，这些设备通常需要持续供电，如监护仪、呼吸机、输液泵等。这些设备的能耗直接影响车辆的整体续航里程。因此，对车载设备的能耗进行合理评估和优化——例如使用低能耗设备、制定设备使用优先级和能效管理制度，成为提升续航的关键。

#### 2. 车辆载荷和环境条件

车辆载荷不仅限于医疗设备，还包括病患与随行医护人员重量。载荷的变化对能耗的影响非常显著。此外，外部环境条件如路况、坡度、交通情况，以及极端天气条件也会影响车辆的能量消耗。因此，需要实时监测和调节以适应不同的环境情况，保证最优的能耗表现。

### （二）能量管理策略

为了有效管理能耗，提高续航能力，需采用先进的能量管理策略：

#### 1. 智能能量分配算法

借助人工智能和大数据技术，开发智能能量分配算法，以实



现对不同设备及驱动装置的高效能量分配。此类算法可以考虑实时路况、车辆负载及电池状态等因素，动态调整能量分配策略，使得能源利用最优化。<sup>[9]</sup>

2. 制动能量回收技术应用

制动能量回收技术是一种将车辆制动时的机械能转换为电能并储存在电池中的技术。对于经常需要快速起停的救护车来说，该技术不仅延长了续航里程，还减少了频繁充电的需求，提高了任务的及时性。

（三）续航优化技术实现

技术手段的应用是将续航理论转化为实际效果的关键所在：

1. 实时监测与调节机制

利用传感器技术和互联网，通过实时监测车辆的电池状态、能耗情况和外部环境因素，进行快速响应和调整。例如，实时控制系统可以自动切换不同的能量管理模式，优化能耗表现。

2. 燃油与电池混合动力可行性

对于远程救护任务或长时间任务，探讨燃油与电池的混合动力系统也是可行之路。此策略能在电池电量不足时启用燃油系统，从而确保任务的连续性和应急处理能力。这种灵活的动力切换模式尤其适用于基础设施不完善的地区，将大幅提高救护车的任务完成效率。

在上述策略的综合作用下，纯电动救护车的续航能力将得到显著提升，进而更好地服务于医疗紧急事件处理。<sup>[10]</sup>

四、经济性及社会效应分析

（一）成本效益分析

纯电动救护车的成本效益分析涉及初始购置成本、运营维护成本以及潜在的节省成本等方面。相比传统燃油救护车，纯电动救护车在购买成本上可能较高，但其在使用过程中的运营成本显著降低。由于电能价格低于常规燃料，加之电动机维护简单、故障率低，长期运行中纯电动救护车能够显著降低总成本。此外，政府对清洁能源车辆的政策支持和补贴也提高了其经济吸引力。通过对比传统车辆和纯电动车辆的生命周期成本，我们可以明确看到电动救护车在降低医疗服务运输成本方面的潜力。

（二）环境影响评估

纯电动救护车的推广应用显著减少了城市空气污染。传统救护车以汽柴油为动力源，其尾气排放是主要的城市污染源之一，而电动救护车则无尾气排放。此外，在全球变暖的大背景下，使用可再生能源生产的电力替代化石燃料，有助于减少温室气体排放。通过对城市交通排放数据的分析，采取纯电动救护车将有助于城市环境质量的提升，并对推动城市绿色交通体系建设起到积极作用。

（三）社会效益

从社会效益角度看，纯电动救护车的应用不仅改善了城市环境，还提高了道路交通安全。这是由于电动车辆噪声低，特别是在低速行驶和拥堵环境中，更能营造一种平和的交通氛围，减少由噪声引发的事故可能性。此外，纯电动救护车能在城市交通管制区域灵活通行，提升应急救援效率，这极大地增强了公共医疗系统的服务能力。

从经济效益方面来看，纯电动救护车产业链的发展带动了相关技术创新和就业机会的增加，促进了当地经济的发展。同时，这也为电动车充电基础设施的完善提供了动力，形成绿色交通和新能源市场的良性循环。

综上所述，纯电动救护车在技术经济性和社会效应方面的优势明确，其优化的动力系统和巡航范围能有效应对现代城市交通挑战，为实现绿色交通建设和健康城市生活提供了新的解决方案。

五、结语

本研究围绕纯电动救护车的动力系统匹配和续航里程优化进行了深入探讨，并取得了一系列重要的成果。首先，通过对动力系统的设计优化，我们提高了车辆的能效和稳定性，使得在紧急救援场景中车辆的性能更为可靠。其次，续航里程优化策略的应用，使车辆在不同工况下的电能利用率显著提升，达到了里程优化的预期目标。此外，通过严格的测试与验证，研究证实了所设计的系统能够有效满足实际使用需求，同时具备一定的经济和社会效益，包括降低运营成本和减少碳排放。

参考文献：

[1] 王秉刚：电动汽车宣传应实事求是，管理制度要加强事后监管 [J]. 汽车实用技术, 2019(06).  
[2] 彭永伦；王珊珊；胡芳芳；潘大磊；李颖琳. 电动汽车续航里程和能量消耗率测试研究 [J]. 标准科学, 2015(03).  
[3] 张永；殷玉明；冯拓；龚春忠；沈溪玉. 基于大数据的电动汽车用户充电习惯分析及优化策略研究 [J]. 中国汽车, 2024(06).  
[4] 梁禹迪；董立甲；刘占国；张元勤；王世英；朱伟. 基于云端大数据的电动汽车低温续航里程工况构建 [J]. 汽车文摘, 2024(09).  
[5] 邓桂芳. 利用再生制动能量回收控制系统提高电动汽车续航里程 [J]. 电力需求侧管理, 2018(04).  
[6] 杨文华；马欢欢；李岳. 电动汽车能耗预测与续航里程研究 [J]. 汽车实用技术, 2022(21).  
[7] 胡超常；吴金；陈龙；陈立伟；刘树友；刘小林. 智能电动汽车高低温续航测试 [J]. 制冷与空调, 2022(09).  
[8] 增程式电动汽车增程器的控制策略研究 [J]. 现代制造工程, 2017(04).  
[9] 柯彬彬；贝绍轶；汪伟；汪永志；张焱. 张运花. 电动汽车制动能量回收系统的设计 [J]. 汽车实用技术, 2013(04).  
[10] 高洪伟；康子怡；吕贵林；王文彬；何云廷. 电动汽车能耗预测的研究 [J]. 汽车文摘, 2021(05).

# 燃煤火电厂烟气在线监测系统与节能减排策略

郑文静

阜新发电有限责任公司, 辽宁 阜新 123003

**摘要：** 随着全球对环境保护意识的增强和可持续发展战略的提出，燃煤火电厂作为能源消耗和污染物排放的主要源头，其烟气排放问题日益受到关注。为了减少燃煤火电厂对环境造成的污染，烟气在线监测系统应运而生。该系统能够实时、连续地监测燃煤火电厂产生的烟气污染物排放情况，包括二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳等有害物质的浓度和排放量。同时，为了实现节能减排的目标，燃煤火电厂还需采取一系列策略，如优化能源结构、提升燃烧效率、采用先进的脱硫脱硝技术等。本文旨在探讨燃煤火电厂烟气在线监测系统的应用及其节能减排策略，以期为燃煤火电厂的环保和可持续发展提供参考。

**关键词：** 燃煤火电厂；烟气在线监测系统；节能减排；污染物排放

## Coal-fired Power Plant Flue Gas Online Monitoring System and Energy-saving and Emission-reduction Strategies

Zheng Wenjing

Fuxin Power Generation Co., Ltd. Fuxin, Liaoning 123003

**Abstract：** With the heightened global awareness of environmental protection and the proposal of sustainable development strategies, coal-fired power plants, as major sources of energy consumption and pollutant emissions, have increasingly come under scrutiny for their flue gas emissions. To mitigate the environmental pollution caused by coal-fired power plants, flue gas online monitoring systems have emerged. These systems are capable of real-time, continuous monitoring of the emissions of flue gas pollutants generated by coal-fired power plants, including the concentration and emission volumes of harmful substances such as sulfur dioxide, nitrogen oxides, and carbon monoxide. Meanwhile, to achieve the goals of energy conservation and emission reduction, coal-fired power plants must adopt a series of strategies, such as optimizing energy structures, enhancing combustion efficiency, and employing advanced desulfurization and denitrification technologies. This paper aims to explore the application of flue gas online monitoring systems in coal-fired power plants and their energy-saving and emission-reduction strategies, with the intention of providing a reference for the environmental protection and sustainable development of coal-fired power plants.

**Keywords：** coal-fired power plants; online flue gas monitoring system; energy conservation and emission reduction; pollutant emission

燃煤火电厂作为重要的能源供应基地，其在生产过程中产生的烟气污染物排放问题不容忽视。随着全球环境保护意识的提高和可持续发展理念的深入人心，燃煤火电厂面临着更加严格的环保要求和挑战。因此，如何实现燃煤火电厂的节能减排，减少其对环境的影响，成为了当前亟待解决的问题。

### 一、背景分析

#### （一）燃煤火电厂在能源供应中的重要地位与污染物排放的严峻形势

燃煤火电厂在全球能源供应体系中占据举足轻重的地位。作为传统的能源转换方式，燃煤火电以其稳定的供电能力和相对较低廉的成本，长期以来一直是许多国家电力供应的主力军。<sup>[1]</sup> 特别是在一些发展中国家，燃煤火电更是电力工业发展的基础。然而，

燃煤火电厂在运行过程中会产生大量的污染物排放，对环境造成严重影响。

燃煤火电厂的污染物排放问题不容忽视。在燃烧过程中，煤炭会释放大量的二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物和颗粒物等污染物。这些污染物不仅会对大气环境造成污染，还会形成酸雨、加剧温室效应，对人类健康和生态系统构成严重威胁。<sup>[2]</sup> 随着全球工业化进程的加速和能源需求的不断增长，燃煤火电厂的污染物排放问题日益严峻，已成为全球环境保护面临的重要挑战之一。

作者简介：郑文静（1991.02-），汉族，大学本科，现就职于阜新发电有限责任公司，工程师，研究方向：火电企业环保方面。

## （二）全球环境保护意识的增强和可持续发展战略的提出对燃煤火电厂的环保要求

近年来，全球环境保护意识显著增强。随着人们对环境问题认识的深入，越来越多的人开始关注燃煤火电厂等工业污染源对环境造成的破坏。各国政府和社会各界纷纷呼吁加强环境保护，推动绿色可持续发展。<sup>[3]</sup>

在此背景下，可持续发展战略被提出并逐渐成为全球共识。可持续发展强调在满足当代人需求的同时，不损害后代人满足其需求的能力。对于燃煤火电厂而言，这意味着必须采取有效措施减少污染物排放，提高能源利用效率，实现清洁、高效、低碳的发电方式。

全球各国政府纷纷出台了一系列环保法规和政策，对燃煤火电厂的污染物排放进行了严格限制。同时，鼓励和支持燃煤火电厂采用先进的环保技术和设备，降低污染物排放水平。这些举措不仅有助于改善环境质量，还推动了燃煤火电行业的转型升级和可持续发展。

## 二、烟气在线监测系统的作用

### （一）实时、连续监测燃煤火电厂烟气污染物的排放情况

烟气在线监测系统（CEMS）在燃煤火电厂的环保监管中扮演着至关重要的角色。它能够实时、连续地监测燃煤火电厂烟气中污染物的排放情况，包括二氧化硫、氮氧化物、颗粒物以及一氧化碳等关键指标。这种实时监测的特性使得系统能够迅速捕捉到排放浓度的微小变化，从而确保电厂能够及时采取必要的调整措施，以避免污染物超标排放。<sup>[4]</sup>

实时监测不仅有助于电厂实现自我监管，还能有效应对突发情况。例如，当电厂设备出现故障或运行参数异常时，烟气在线监测系统能够立即发出警报，提醒操作人员及时采取措施，防止污染物排放超标。这种即时反馈机制有助于电厂保持排放的稳定性，减少因排放超标而带来的环境风险 and 法律责任。

此外，实时监测还能为电厂提供宝贵的运行数据。通过对监测数据的分析，电厂可以了解设备的运行效率和污染物的排放规律，从而优化运行参数，提高能源利用效率，降低污染物排放。

### （二）提供准确、可靠的监测数据，为环保管理和决策提供支持

烟气在线监测系统提供的监测数据是环保管理和决策的重要依据。这些数据不仅具有高度的准确性和可靠性，而且能够实时反映电厂的排放状况，为环保部门提供及时、准确的信息支持。<sup>[5]</sup>

环保部门可以利用这些监测数据对电厂的排放情况进行定期评估，确保其符合国家和地方的环保法规要求。同时，这些数据还可以用于制定更为科学合理的环境政策，推动燃煤火电行业的绿色发展。

此外，监测数据还可以为电厂的环保改造和升级提供指导。通过对历史数据的分析，电厂可以识别出排放超标的主要原因，并据此制定针对性的改造方案。这种基于数据的决策方式不仅有助于降低改造成本，还能确保改造效果达到预期目标。

综上所述，烟气在线监测系统通过实时、连续的监测和提供准确、可靠的监测数据，为燃煤火电厂的环保管理和决策提供了有力的支持。

## 三、节能减排策略探讨

### （一）优化能源结构，提高清洁能源的使用比例

优化能源结构是实现节能减排的重要途径。燃煤火电厂作为能源消耗大户，其能源结构的调整对于减少污染物排放、提高能源利用效率具有重要意义。一方面，燃煤火电厂可以通过增加清洁能源的使用比例来降低煤炭消耗。<sup>[6]</sup> 清洁能源，如天然气、风能、太阳能等，具有低碳、环保、可再生的特点，是替代煤炭的理想选择。通过建设天然气发电站、风力发电场和太阳能发电站等设施，燃煤火电厂可以逐步减少对煤炭的依赖，实现能源结构的优化。另一方面，燃煤火电厂还可以探索混合能源利用方式，如煤与生物质混燃、煤与天然气混烧等。这些混合能源利用方式不仅可以降低煤炭的消耗量，还可以提高能源利用效率，减少污染物的生成。同时，生物质能源作为一种可再生能源，其利用还可以促进农业废弃物的资源化利用，实现经济效益与环境效益的双赢。

### （二）提升燃烧效率，减少燃煤过程中的污染物生成

提升燃烧效率是燃煤火电厂减少污染物排放的有效手段。通过改进燃烧技术和设备，燃煤火电厂可以实现更加充分、高效的燃烧，从而减少燃煤过程中的污染物生成。一方面，燃煤火电厂可以采用先进的燃烧器技术，如旋流燃烧器、微油点火燃烧器等，这些燃烧器具有燃烧效率高、污染物排放低的特点，能够显著提高燃煤火电厂的燃烧效率。<sup>[7]</sup> 另一方面，燃煤火电厂还可以通过优化燃烧参数、加强燃烧过程的管理和控制等方式，进一步提高燃烧效率。例如，通过调整煤粉细度、控制炉膛温度、优化风量分配等措施，可以确保燃煤过程中的燃烧更加充分，从而减少污染物的生成。

### （三）采用先进的脱硫脱硝技术，有效去除烟气中的有害物质

脱硫脱硝技术是燃煤火电厂减少烟气中有害物质排放的关键技术。通过采用先进的脱硫脱硝技术，燃煤火电厂可以有效地去除烟气中的二氧化硫、氮氧化物等有害物质，从而降低其对环境造成的污染。<sup>[8]</sup> 一方面，燃煤火电厂可以采用石灰石-石膏湿法脱硫技术、氨法脱硫技术等成熟的脱硫技术，这些技术具有脱硫效率高、运行稳定的特点，能够显著降低烟气中二氧化硫的排放浓度。另一方面，燃煤火电厂还可以采用选择性催化还原（SCR）技术、选择性非催化还原（SNCR）技术等先进的脱硝技术，这些技术能够有效地去除烟气中的氮氧化物，减少其对环境造成的危害。同时，这些脱硝技术还可以与脱硫技术相结合，形成一体化的脱硫脱硝系统，进一步提高烟气净化效率。

## 四、系统应用与节能减排成效

### （一）烟气在线监测系统在燃煤火电厂的实际应用

烟气在线监测系统（CEMS）在燃煤火电厂中发挥着至关重



要的作用。该系统能够实时、准确地监测烟气中的污染物排放情况，为电厂的环保管理和决策提供了有力的支持。<sup>[9]</sup>在实际应用中，烟气在线监测系统通过安装在燃煤火电厂的烟道或烟囱上，实时监测烟气中的二氧化硫、氮氧化物、颗粒物等污染物的排放浓度。系统采用先进的传感器和测量技术，能够确保监测数据的准确性和可靠性。同时，系统还具有数据记录、存储和传输功能，可以将监测数据实时传输到环保监控中心，方便环保部门进行远程监管和数据分析。

烟气在线监测系统的应用不仅有助于电厂实现自我监管，还能为环保部门提供及时、准确的排放数据，有助于制定更加科学合理的环保政策和措施。此外，该系统还可以为电厂的环保改造和升级提供数据支持，帮助电厂识别排放超标的主要原因，并据此制定针对性的改造方案，从而提高环保效果。

**（二）节能减排策略实施后的环境效益和经济效益分析**

节能减排策略的实施对于燃煤火电厂来说，不仅具有显著的环境效益，还能带来可观的经济效益。<sup>[10]</sup>

从环境效益来看，节能减排策略的实施能够显著降低燃煤火电厂的污染物排放，改善空气质量，减少酸雨、雾霾等环境问题的发生。同时，节能减排还有助于降低温室气体排放，减缓全球气候变暖的趋势。这些环境效益对于保护生态环境、维护人类健康具有重要意义。

从经济效益来看，节能减排策略的实施能够降低燃煤火电厂的能源消耗和运营成本。通过优化能源结构、提高燃烧效率、采用先进的脱硫脱硝技术等措施，电厂可以减少煤炭消耗和污染物处理费用，从而提高经济效益。此外，节能减排还有助于提升电厂的环保形象和社会责任感，增强市场竞争力，为电厂的可持续发展奠定基础。

综上所述，烟气在线监测系统在燃煤火电厂的实际应用中发挥着重要作用，而节能减排策略的实施则能够带来显著的环境效益和经济效益。

**五、未来展望**

未来，燃煤火电厂在环保和可持续发展方面将呈现出以下趋

势和方向：

一方面，燃煤火电厂将更加注重清洁能源的利用和能源结构的优化。随着全球对环保和可持续发展的重视程度不断提高，燃煤火电厂需要逐步减少对煤炭的依赖，增加清洁能源的使用比例。这不仅可以降低污染物排放，还可以提高能源利用效率，实现经济效益和环境效益的双赢。

另一方面，燃煤火电厂将加强技术创新和研发，推动环保技术的升级和转型。通过采用先进的燃烧技术、脱硫脱硝技术、烟气净化技术等手段，燃煤火电厂可以进一步降低污染物排放，提高环保水平。同时，燃煤火电厂还需要关注新技术的发展和应用，如碳捕集和封存技术、氢能技术等，以探索更加清洁、高效的能源利用方式。

此外，燃煤火电厂还需要加强国际合作与交流，借鉴国际先进的环保经验和技

术，推动燃煤火电行业的绿色发展。通过加强与国际组织的合作与交流，燃煤火电厂可以获取更多的技术支持和资金援助，推动环保技术的研发和应用。

**六、结论**

燃煤火电厂烟气在线监测系统的应用及其节能减排策略是实现燃煤火电厂环保和可持续发展的重要途径。通过实时、连续的监测和有效的节能减排措施，燃煤火电厂可以显著降低其对环境的影响，提高能源利用效率，实现经济和环境的共赢。未来，随着技术的不断进步和政策的逐步完善，燃煤火电厂的环保和可持续发展前景将更加广阔。

**参考文献**

[1] 刘攀, 李静. 燃煤火电厂烟气在线监测系统与节能减排研究 [J]. 中国资源综合利用, 2021(7): 154-156.  
[2] 泰金鹏, 王娟. 燃煤火电厂烟气在线监测系统与节能减排优化研究 [J]. 电子元器件与信息技术, 2017(3): 87-89.  
[3] 陈瑞新. 燃煤火电厂烟气在线监测系统与节能减排优化研究 [J]. 低碳世界, 2016(26): 38-39.  
[4] 江平, 陈标, 周一勇, 龙建平. 广西电网火电厂节能减排在线监测系统优化 [J]. 广西电力, 2016(2): 53-55, 61.  
[5] 刘洪涛. 燃煤火电厂烟气在线监测系统与节能减排优化研究 [J]. 内燃机与配件, 2017(23): 139.  
[6] 张宇. 燃煤火电厂烟气在线监测系统数据一致性探讨 [J]. 科技视界, 2016(8): 215, 197.  
[7] 赵相利. 论燃煤火电厂烟气在线监测系统与节能减排 [J]. 中国科技博览, 2018(16): 25.  
[8] 王金袖. 燃煤电厂三氧化硫排放在线监测技术研究 [D]. 华北电力大学. 2019.  
[9] 刘宇鹏. 用于火电厂氮氧化物排放检测的氧化钨传感器研制及监测系统研究 [D]. 西南大学. 2023.  
[10] 唐小健. 火电厂烟气在线远程监控管理系统开发与应用 [D]. 电子科技大学. 2010.



# 陆上风电场折减系数及其后评估分析

许梦莹，徐旭

上海电气风电集团股份有限公司，上海 201100

**摘 要：** 风电场的发电量评估是风电项目建设前的关键环节，决定项目的经济可行性。影响风电场年发电量的因素较多，并以折减系数的形式参与到评估中，本文选取实际风电场运行数据开展折减系数后评估分析，探讨了微观选址阶段折减系数评估的准确性。后评估结果显示，常用的微观选址软件 WT 和 WindSim 在发电量预估方面表现相近，实际折减系数确随着地形复杂度的增加而增大，而前期发电量评估中对复杂地形下的折减系数存在低估。本文的研究为风电场的精准评估和优化设计提供了参考。

**关 键 词：** 陆上风电场；微观选址；折减系数；后评估

## Reduction Factor and Its Post-Evaluation for Onshore Wind Farms

Xu Mengying, Xu Xu

Shanghai Electric Wind Power Group Co. Ltd. Shanghai 201100

**Abstract：** The assessment of wind power generation is a key process before the construction of wind power projects, which determines the economic feasibility of the project. By introducing the influencing factors of annual wind power generation, the composition of reduction factor and its post-assessment based on actual wind farm operation data, this paper discusses accuracy of reduction factor assessment during the wind resource assessment. The results of post-assessment show that the commonly used wind resource assessment software WT and WindSim have similar performance in the prediction of power generation. The actual reduction factor increases with the increase of terrain complexity. The reduction coefficient under complex terrain is underestimated in the early assessment. This study provides a reference for the accurate assessment and optimal design of wind farms.

**Keywords：** wind farm; wind resource assessment; reduction factor; post-evaluation

## 引言

中国风电市场起步于陆上，经过近二十年的发展，从高风速平地到低风速山区，再到分散式，风电行业在发展中积累了大量的数据与经验。风电场建设前会开展一系列的场址分析工作，其中很重要的内容是决定风电场收益的风电场年发电量评估。。根据我国正式颁布的关于风电场工程上网电量预测估算的规范文件<sup>[1]</sup>，电量计算的基本逻辑是采用代表年风数据和机组功率曲线，得到理论上网电量，然后考虑计算过程中的影响因素，以折减系数的形式乘以理论发电量，从而得到预估的年发电量。

折减系数的确定方法通常以经验法为主，基于历史数据和专家经验来设定一个大致的折减系数范围。技术发展过程中，众多学者对折减系数取值差异化和精细化进行了研究。杨靖文等基于已运行风电场数据，推荐折减系数各细项的取值<sup>[2]</sup>。方卫民等采用层次分析法，精细化至各机位点的折减系数取值<sup>[3]</sup>。余文博收集了全国22个运行风电场的57个有效样本点的折减数据，从整体上分析了折减系数的区间、中位数等统计特征<sup>[4]</sup>，但并未讨论不同因素对折减系数取值的影响，比如机型、地形复杂度等。

本文收集了12个有效的运行风电场数据，研究了两种常用微观选址软件的发电量预估性能、机型与地形复杂度等与折减系数的联系。

## 一、年发电量及其影响因素

理论发电量的计算公式如下所示，其中将风速通常按1m/s的间隔进行分组，假定一年有8760小时：

$$\text{理论发电量} = 8760 \sum f_i P_i \text{ kWh}$$

$$P = \frac{1}{2} \rho \frac{\pi D^2}{4} V^3 C_p$$

式中：

$f_i$ ：风速区间*i*对应的累计频率，由处理后的测风数据得到

$P_i$ ：风速区间*i*对应的功率，由整机厂提供功率曲线

$\rho$ ：空气密度

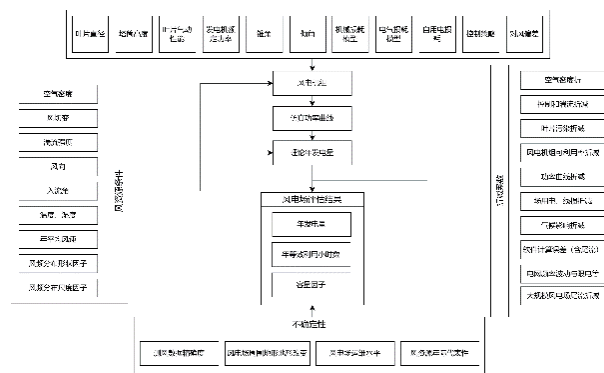
D：叶片直径

V：年平均风速，由处理后的测风数据得到

$C_p$ ：风能利用系数

作者简介：许梦莹（1989.8），女，汉族，四川人，硕士学历，主要从事风资源技术研究工作，包括数字化风电场设计、风资源评估等，涉猎风电机组设计相关专业领域。

以理论计算公式为基础,测风数据和机组功率曲线是影响理论发电量的两大因素。在工程应用中将两个因素作为独立项分别进行考虑,但实际上风资源特征中的湍流强度、风切变、入流角等与机组的控制系统相互作用共同决定了机组的出力水平。测风数据本身在参与计算之前,也需进行处理分析以期能够代表轮毂高度该地区长期的风资源情况(即年际代表性)。因此,测风数据前处理过程、控制性能等会影响机组发电量。图 1 给出了年发电量 AEP 即理论上网电量主要影响因素及其间的关系图。



> 图1 理论上网电量影响因素（在文献<sup>[5]</sup>基础上补充更新）

## 二、折减系数

如上所示,影响风电机组出力的因素是多方面的,在工程应用中,将各因素引起的发电量减少百分比称为折减系数。折减系数取值可参考国家发改委发布的文件<sup>[6][7]</sup>。根据行业内调查统计,目前我国风电项目折减率系数范围大致在20%~45%之间。文件<sup>[7]</sup>给出了主要的11项折减项及其定义在此不过多追溯定义。

根据上述文件提到的折减项并综合文献结果,国内常用的参考折减项及典型取值如表 1 所示。

表 1 国内常用折减项典型取值范围

序号	折减类别	典型取值范围
1	尾流折减	软件计算
2	空气密度折减	软件计算
3	控制和湍流折减	5% 左右
4	叶片污染折减	6% 左右
5	机组可利用率折减	5%~10%
6	机组功率曲线保证率折减	5%
7	场用电、线损折减	3%~10%
8	气候影响折减	3%~7%
9	软件计算误差折减	5%~10%
10	电网频率波动与限电等折减	3%~5%
11	大规模风电场尾流折减	探索中
	总计	30%~45%

### （一）折减系数细化

为了更好地预估风电场的发电能力,从业人员也在不断优化细化上网电量预测的折减估算方法。表 2 为本文根据工程经验提出的细化折减项,其中逐项折减部分需根据经验估计、部分可通

过已运行机组或类似项目停机天数进行计算得到。值得注意的是, 根据机组一年中所损失的时间比率来估算损失, 有其不合理的地方: 一年中风速有月际变化, 在小风期进行风机故障维修所造成的损失低于大风期的维修。虽然有其不合理之处, 传统的粗放式经验估计必然会在技术发展中被逐渐淘汰, 而更为合理准确的方式也会在发展比较中脱颖而出。

对于特定细项，可根据其特点进行取值方法选择，在实践中可采取的精确取值方式有四种：

a. 根据测风数据、长期历史中尺度或运行数据等统计计算，比如周边已有风场影响、环境因素限功率运行、风场运维水平等折减。

b. 结合长期历史统计数据、学术界研究成果等整理得到折减取值,比如叶片污染性能损失、叶片前缘侵蚀损失、叶片结冰性能损失等可根据中国全国降雨量、风沙天气情况和当地结冰统计等数据,结合文献成果<sup>[8]9)</sup>,给出不同情况下折减系数取值。

c. 根据历史出现的概率或已知的规划进行经验估算, 比如周边环境变化、周边待建风场影响折减等。

d. 固定数值折减，比如功率曲线保证率，通常整机厂会根据自身机组质量控制、已有测试运行数据等分析等在合同中写明。

## （二）总体折减系数估算方法

以上为折减系数细化项,在此基础上,可计算总体折减系数。最开始行业内采用逐项折减估算的方法,近年来随着业内认知的提升,基于概率的发电量估算方法也逐渐被接受推广<sup>[10]</sup>。与逐项折减估算方法相比,引入概率分析的估算方法过程虽然略显繁琐,需要处理的输入输出数据也比较多,但或许更能反映客观情况。

### (a) 逐项折减估算方法

各项因素作为损失项，计算公式：

$$1 - \prod (1 - Lossfactor_i)$$

其中  $1 - \text{Lossfactor}_i$  就物理意义而言, 类似为效率。该方法简单直接, 在风电发展的前十年是行业内普遍通用的方法。

### (b) 基于概率的估算方法

该方法常见于欧美项目的分析报告中，目前也也逐渐被国内所接受。该方法中考虑到可能导致上网电量损失的影响因素中，有些影响结果明确造成了发电量的降低，比如切入切出控制策略影响损失、升压与集电系统线路损失、叶片污染导致的动力学影响损失等；而另外一些影响可能得到较高的发电量或者是降低发电出力，比如机组出力曲线保证率、未来风况不确定性等。

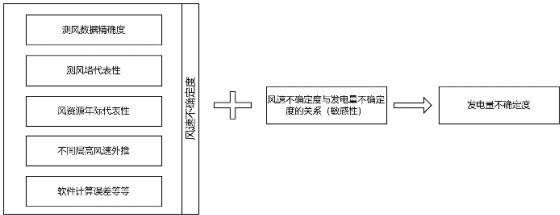
计算流程图如图 2 所示，假设发电量服从正态分布  $f(\mu, \sigma)$ ，确定性折减项影响均值  $\mu$ ，不确定性因素得到分布方差  $\sigma$ 。由原始测风数据的精度、微观选址软件仿真误差等不确定性得到总的风速不确定性  $\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots}$ ，然后根据已计算得到的单位风速的发电量影响值，得到风速影响下的发电量的不确定度（即方差），再结合其他直接影响发电量不确定性的因素，最终得到总的发电量不确定度。根据正态分布的统计方法，可得到风电场年上网电量的超越概率分布。

表 2 折减系数细化项

序号	项目（逐项折减项目）
1	附加尾流
2	叶片污染性能损失 <sup>a</sup>
3	叶片前缘侵蚀损失 <sup>a</sup>
4	叶片结冰性能损失 <sup>a</sup>
5	高风速迟滞
6	线损
7	控制迟滞
8	周围已有风场影响
9	周围待建风场影响
10	环境因素（噪声、光影等）限功率运行
11	场用电
12	场平
13	限电
14	风机计划停机 <sup>b</sup>
15	风机故障维修 <sup>b</sup>
16	风机冰冻停机 <sup>b</sup>
17	极端温度控制 <sup>b</sup>
18	台风 <sup>b</sup>
19	遭雷劈 <sup>b</sup>
20	场址可入住性 <sup>b</sup>
21	第三方权威机构停机 <sup>b</sup>
22	电网掉电 <sup>b</sup>
23	馈线故障 <sup>b</sup>
24	变电站故障 <sup>b</sup>
25	业主原因停机 <sup>b</sup>

表 3 折减系数细化项 - 续

序号（续）	项目（概率分析项目）
26	周围环境变化
27	测风数据精确度
28	风场运维水平
29	风资源年际代表性
30	功率曲线保证率 <sup>c</sup>



> 图 2 基于概率的总体折减估算流程图

三、总体折减系数后评估

运行风场分析评估是对前期设计方案的验证与经验总结，通常也称为后评估。后评估的方法较多，主要是基于现代系统工程与反馈控制的管理理论，应用较多的有对比分析法、逻辑框架法、统计预测法、效益分析法等，其中对比分析法因其简单易理解而最为常用。本文主要以对比分析法实现对设计阶段与运行阶段折减系数指标的评估。

设计阶段的折减系数计算如上所述运行阶段折减系数的计算公式为1减去实际发电量与软件计算所得的理论发电量的比值（1-(实际发电量\*)/(Meteodyn WT/WindSim 计算发电量)），考虑到国内常用的微观选址软件主要有 Meteodyn WT 和 WindSim，本文同时考虑了两款软件对风电场发电量预估的准确度比较。前期微观选址主要考虑风电场在全生命周期中平均的年发电量，因此在运行阶段后评估中也考虑了年际风速变化对折减系数的影响。

后评估需收集的资料包括前期微观选址资料、机组 1 个完整年以上运行数据、数据说明文档、风电场及机组资料、其他资料等。其他资料包括中尺度数据（MERRA2或其他）、周边气象站数据、同期风功率预测塔数据、激光雷达数据、各机位点的实际空气密度、主控风速修正方法及样机 NTF 函数等。对风电场各项资源掌握的越全面，越能避免出现基于错误假设的结论。

在数据收集过程中，因前期微观选址资料缺失、完整年运行数据无法获取或完整率较低、现场数据与微观选址数据不一致等原因，最终可供分析的项目为 12 个，其中两个项目 WT 结果缺失。

图 3 为 12 个项目前后期折减系数的比较，实际折减在 7.3%~44.5% 范围内，WT 的平均折减为 24.9%，WindSim 为 23.4%。从平均值的角度，与前期微观选址设定的平均折减 23.8% 较为接近。所有项目高于前期微观选址设定折减的项目总计 6 个，低于前期微观选址设定折减的项目总计 6 个，其中使用机型 C 的 4 个项目的实际折减低于前期（实际发电量高于前期设计评估），而高于前期折减的项目即使是大风年，也并未如预期出现实际折减低于预期的情况。

图 4 为根据微观选址报告中的风场地形定义统计的不同地形下前后期折减系数比较，从图中可以看出，尽管风资源工程师在工作中通常会遵循着复杂地形的折减系数会大于平坦地形的原则（个别情况除外，比如大规模风电场下场内尾流损失较大或已建风电场尾流损失大等），这与实际折减系数基本吻合。但从统计结果可以看到，前期折减评估中折减系数设定随着地形复杂度的增加而略有减小。

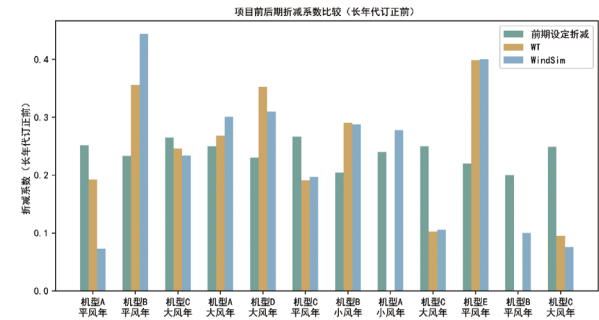
图 3 与图 4 中未考虑运行年是否是大风年，根据场址近 15 年中尺度平均风速，采用比例法对运行年的风速进行长年代订正，从结果上，长年代订正后上述分析结论基本不变，同时也额外反应出平坦地形下前期折减系数估计值与后期基本接近，而复杂地形下前期折减系数存在低估的情况。

总体上，WT 和 WindSim 两者对风电场发电量的预估差异小于各自与实际发电量的差异，不存在一款软件普遍高估或低估的情况。

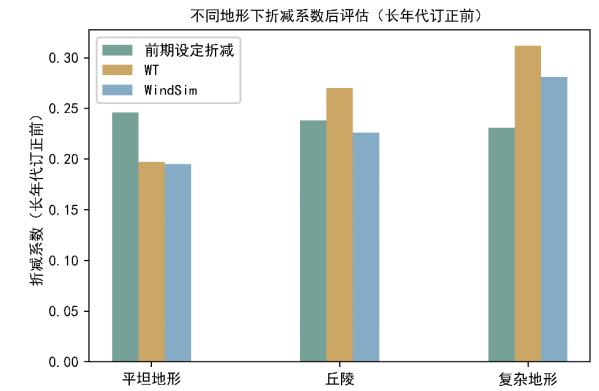
表 4 后评估项目结果汇总

项目	地形	机型	运行年大小风年	前期设定折减	长年代订正前		长年代订正后	
					WT	Wind Sim	WT	Wind Sim
1	平坦地形	机型 C	平风年	0.266	0.191	0.197	0.193	0.199
2	平坦地形	机型 C	大风年	0.25	0.103	0.106	0.153	0.156

项目	地形	机型	运行年大小风年	前期设定折减	长年代订正前		长年代订正后	
					WT	Wind Sim	WT	Wind Sim
3	平坦地形	机型E	平风年	0.22	0.399	0.400	0.411	0.413
4	平坦地形	机型C	大风年	0.249	0.095	0.076	0.177	0.159
平均值				0.246	0.197	0.195	0.234	0.233
5	丘陵	机型A	平风年	0.252	0.192	0.073	0.222	0.106
6	丘陵	机型C	大风年	0.265	0.246	0.234	0.320	0.309
7	丘陵	机型D	大风年	0.23	0.353	0.310	0.407	0.368
8	丘陵	机型B	小风年	0.204	0.290	0.288	0.231	0.229
平均值				0.238	0.270	0.226	0.295	0.224
9	复杂地形	机型B	平风年	0.233	0.356	0.445	0.342	0.432
10	复杂地形	机型A	大风年	0.25	0.268	0.301	0.458	0.482
11	复杂地形	机型A	小风年	0.24	—	0.278		0.218
12	复杂地形	机型B	平风年	0.2	—	0.100		0.059
平均值				0.231	0.312	0.281	0.40	0.30
总体平均值				0.238	0.249	0.234	0.291	0.261



> 图3 项目前后折减系数比较（长年代订正前）



> 图4 不同地形下折减系数后评估（长年代订正前）

#### 四、分析与总结

造成风电场发电量损失的因素很多，在行业从粗放型发展到精细化的过程中，各家主体在探索更为准确的折减系数估算方式。折减系数的估算涉及到对各细项的研究分析、多个风电场数据的收集与统计分析，与各家数据管理水平、研发资源投入等密切相关。

从后评估的结果可以看到，WT和WindSim的实际折减平均值相近，与前期微观选址设定的平均值相近。两款软件对风电场发电量的预估差异小于各自与实际发电量的差异，性能持平。针对各具体项目，前期折减系数设定值与实际折减系数存在较大的差异，使用机型C的3/4项目在去除大风年的因素后，实际发电量也高于前期评估结果。而其他项目即便是大风年，实际发电量也低于预期。风电场建设中对于机型的选择，包括容量、可靠度等，是决定项目经济性的重要环节。

在地形与折减系数关系的分析中可以看到，实际折减系数随着地形复杂度的增加而增大，这与风资源工程师前期评估遵循的原则所一致。而机型C所涉及的项目中3个为平坦地形，平坦地形风况相对简单，风机故障率相对较低、运维可达性较好等是其实际发电量较高的原因。对于复杂地形下折减系数的设定，后评估结果提示前期折减系数存在低估。值得注意的是对于地形的定义，通常来源于风资源工程师根据风场地形、高程等信息主观定义，该定义可能并不能代表风资源情况，后续可考虑采用与风资源更为相关的参数量化值来进行分类。

在风电场设计阶段如何更准确的估计风电场发电量仍是一个待进一步研究的课题，需要发电量评估过程中各模型准确度的提升与技术进步、已运行机组数据的统计分析等。在精细化过程中，降低风电场运营的经济风险。

#### 参考文献

[1] 杨建设. 关于风电场工程上网电量估算问题的讨论 [J]. 风能, 2010 (5).

[2] 杨靖文, 张双益. 风电场发电量折减精细化评估研究 [J]. 水电与新能源, 2019, 33(10): 69-73.

[3] 方卫民, 吴志旺. 复杂地形风电场发电量计算改进方法研究 [J]. 江西电力, 2024, 48(01): 84-88.

[4] 余文博. “平价时代”下风电项目发电量折减问题的研究 [J]. 中国新技术新产品, 2022(06): 78-80.

[5] 李慧新, 刘超, 巫发明, 等. 风电场年发电量预评估影响因素分析 [J]. 中国农机工业协会风能设备分会-风能产业, 2014.

[6] 中国国家发展和改革委员会. “风电场过程可行性研究报告编制办法.” 发改能源【2005】899号, 2005.

[7] 中国国家发展和改革委员会. “关于对中国风电发电量折减问题的说明.” 2009年6月.

[8] Spruce C J. Power performance of active stall wind turbines with blade contamination [C] //Proceedings of the European Wind Energy Conference. 2006.

[9] Langel C M, Chow R, Hurley O F, et al. Analysis of the impact of leading edge surface degradation on wind turbine performance [C] //33rd Wind Energy Symposium. 2015: 0489.

[10] 可再生能源专家技术委员会. 基于概率的发电量计算方法指导文件: REETC/TN006:2022 [P]. 北京: 可再生能源专家技术委员会, 2022-03-15.



# 煤矿机电设备的智能化改造与能效提升研究

陈金星

山西寿阳段王煤业集团段王矿，山西 晋中 045405

**摘 要：** 煤矿生产是我国能源供给系统中的核心环节，其高效运行与安全运行关系到我国能源稳定与发展。但是，目前的矿井机电设备在运行效率、能耗和安全等问题上存在着较大的缺陷，亟需引入智能化技术。此项工作的基本目的是提高整个装置的综合效能，保证作业的安全性。本文从物联网、大数据、人工智能等先进智能科技的角度出发，对矿井机电设备智能化转型的途径及节能优化对策进行深入研究。通过具体案例分析，本文旨在为煤矿企业的智能化转型提供理论依据和实践指导。

**关 键 词：** 煤矿生产；机电设备；智能化改造；能效提升

## Research on the Intelligent Transformation and Energy Efficiency Improvement of Coal Mine Mechanical and Electrical Equipment

Chen Jinxing

Duanwang Coal Industry Group Duanwang Mine, Jinzhong, Shanxi 045405

**Abstract：** Coal mine production is the core link in China's energy supply system, and its efficient operation and safe operation are related to the stability and development of energy in China. However, there are great defects in the operation efficiency, energy consumption and safety of the current mine electromechanical equipment, and it is urgent to introduce intelligent technology. The basic purpose of this work is to improve the comprehensive efficiency of the whole device and ensure the safety of the operation. From the perspective of advanced intelligent technologies such as the Internet of Things, big data and artificial intelligence, this paper conducts an in-depth study on the ways of intelligent transformation of mine machinery and equipment and the energy-saving optimization countermeasures. Through specific case analysis, this paper aims to provide theoretical basis and practical guidance for the intelligent transformation of coal mining enterprises.

**Keywords：** coal mine production; mechanical and electrical equipment; intelligent transformation; energy efficiency improvement

## 引言

在煤矿行业，保证安全永远是第一位的。采用智能化技术，提高了矿井生产的安全和生产效率。通过智能监控摄像头和先进的传感技术，可以对矿井环境进行全方位、无缝隙的监测，快速识别和应对潜在的安全隐患。智能化的紧急应变机制可以在突发事件发生后快速反应，为紧急情况下的人员撤离和营救提供最重要的时机。智能体系还可以辅助和实施人员的训练计划，增强工作人员的安全意识和应急处理水平，可以有效地控制安全事件。矿井电气设备的智能改造具有广阔的发展空间。

## 一、煤矿机电设备智能化改造的关键技术

### （一）物联网技术

物联网可以有效地解决现有设备之间存在的“信息孤岛”问题，使设备之间能够进行互联和协同运行。在矿井机电设备智能化的过程中，各个设备已经不是单独工作了，它们已经被集成了一个智能系统，可以相互协作，共同完成任务。移动终端可以实时地进行数据分享与工作协作，达到高效的资源配置与提升运营效率。这种协作方式提高了企业的生产效率，成为企业实现能源

节约、减排和安全的关键。通过物联网，专家可以通过网络远程获取设备的实时信息，并进行实时监测与分析，当发现异常状况或装置失效时，将自动启动预警机制，形成深度分析报告，帮助运维人员快速找到问题所在，并制定有针对性的对策。这种远程监测和故障诊断的能力提高了维修的效率和精度，有效减少因设备失效而造成的停机风险。

### （二）大数据技术

大数据的出现，煤矿企业原有的生产、管理方式也发生了翻天覆地的变化。通过对资料的综合和分析，公司可以了解制造过

程中的各个环节。这些工作主要是对制造过程中的动态变化进行追踪,对各种资源的使用效率进行评价,对费用的构成和配置方式进行分析。为公司实施高质量管理策略,为公司制定相关政策,奠定坚实的理论基础。这种精细化管理方式使企业的生产效益得到了提高,在降低能耗和降低成本方面也有很大的成效。在大数据的支持下,煤矿企业实现了对生产过程的实时可视化与精准管理,为企业的长远、平稳发展打下基础。

### (三) 人工智能技术

人工智能通过对生产过程中的实时信息进行分析,可以对生产过程中的各种工况进行自动调节,保证生产过程中一直处于最优的工作状况,不断地获得最优的性能。这种智能化的控制方法提高装置的运行效率,达到节约能源、减少排放的目的。利用智能辅助决策体系,提出设备运行的最优方案,帮助企业实现精细化的管理,提升企业的运行效率和利润。在设备失效预报和预警体系建设过程中,人工智能利用先进的计算模式,通过对设备的各种信息进行深度挖掘,实现对潜在失效的准确辨识与预报,实现早期预警,提高装置的预防维修效率。利用数据分析技术实现的失效预报和预警体系,提高装置的工作可靠性和安全性能,降低维修费用,提高设备的使用年限,具有重要的经济效益和长期价值。将人工智能技术引入到矿井中,为矿井的安全生产提供了一个智能化的管理体系。通过智能化的安全监测体系,可以实现对生产过程中的安全状况进行连续、实时监测,快速识别和处理存在的安全隐患和问题,保证企业的正常运转和安全保护。这种智能的设计,防止了意外事件的发生,在增强员工的安全意识,保护员工的生命和财产安全中扮演着重要的角色<sup>[1]</sup>。

## 二、煤矿机电设备智能化改造的实践案例

### (一) 通风系统的智能化改造

在矿井的重点区域,配置一套高精度的空气质量监测仪器,可以对煤矿中的瓦斯、氧气、一氧化碳等具有潜在危害的危险气体进行快速、精确的探测,并进行实时的监测。高效的通信网络可以保证信息的即时反馈,为智能控制系统的运行提供可靠的依据。智能化的监控系统,通过实时采集到的信息,显示出效率和准确性,可以用来评价矿井的空气质量,实现对通风设备的操作速度和送风速度的自动调节。新型的智能化控制体系,可有效保证煤矿环境空气质量的稳定性和安全性,降低煤气爆炸、CO中毒等危险事故的发生概率。遥控技术通过对现场监测画面的观察,操作员不需要进入矿井,只需要站在现场,通过实时监测画面,就能运行状况进行了解,实现遥控和管理。采用这种方式实现了对设备的远程监测与自动运行,在保证设备运行稳定、安全的前提下,降低作业工人的劳动强度,提升生产效率。在安全第一的观念下,重视节约能源和减少二氧化碳。采用智能调控技术,对风机送风过程进行精准调控,有效解决常规风机因过量送风而造成的能量损失问题。采用先进的节能工艺和新型的建筑材料,进行优化设计,在减少能源消耗的前提下,确保矿井通风系统的绿色、可持续生产。为煤矿生产提供可靠的保障,促进煤矿通风管

理走向智能化、自动化,为煤矿工业的长远发展提供新的动力。

### (二) 除尘系统的智能化改造

粉尘浓度传感器能够对周围环境中的灰尘含量进行检测,通过高效的信息传递网络,将采集到的监控信息无缝整合到智能控制系统中,达到精确、自动化调节和最优的目的。以煤矿清灰过程中的烟尘含量为基础,通过对烟尘浓度的实时动态调整,实现对除尘设备运行参数的智能化优化。通过调整除尘器送风速率或者设置清扫周期,使除尘器能够精确地与指定的除尘需求相匹配,保证除尘器的除尘效果一直处于最佳。使除尘效率提高,能源消耗减少。

### (三) 防火系统的智能化改造

性能优良的高精度检测仪器,包括温度传感器,湿度传感器和烟气监测器,可以对矿井内的温度、湿度和烟雾进行监控。如果这些参量发生变化,就表示有更高的火灾风险。为了实现对火灾安全的实时监测,将智能的报警系统整合起来,实现对火灾安全的实时监测。利用温度传感器、湿度传感器和烟气检测器等多种高科技装置采集到的信息,并通过高精度的计算方法,对可能存在的火灾隐患进行精确测评。当发现潜在的火灾危险信号时,系统会立刻激活报警装置,并通过声音,灯光和电子信号来警告员工,使用者可以快速地制订和实施应急行动,达到预防火警的目的。火灾系统内置有实时监视、及时报警等特征,还可进行远程监视,保证全方位、持久的安全性。用户只需要在调度指挥中心的监视屏幕旁值班,就可以实时观察火灾设备的工作状况和报警信息。基于无线传感器网络的煤矿井下监测方法,能够有效提高煤矿作业的可靠性与稳定性,使作业人员能够及时了解煤矿的安全状态,为煤矿的安全生产提供有力的保证。通过对火灾设备进行智能升级,使火灾安全管理体系的缺陷辨识和应急处置能力得到提高,将大大提高矿井火灾预警的可信性。

### (四) 煤矿信息化系统的智能化改造

矿井信息化建设中的人工智能技术越来越显示出它的核心价值,通过建立智能化的智能决策辅助平台,可准确模拟并重现人的行为,为煤矿企业的安全运行及日常管理,提供准确、智能化的策略引导与解决方案。体现了高精度、高稳定度的特点,对不断变化的环境进行了适应性的动态调节,保证企业管理活动一直处于最优水平。同时,通过对物联网的整合,使矿井的现代化程度和工作效能得到提高。将物联网技术应用于矿井作业过程中,使各作业单元间进行高效的互联和协作,使矿井作业过程的一体化程度提高。这种方法的运用,可以提高企业的资源管理水平,提高企业的整体效益和安全水平<sup>[2]</sup>。

## 三、煤矿机电设备智能化改造的能效提升策略

### (一) 优化设备运行参数

矿井设备的智能控制系统可以对装置的工作状况及操作参数进行实时监控,并据此对装置进行微调,达到节约能源的目的。以煤矿的通风与除尘装置为例,通过对空气质量及灰尘浓度的实时监控,对通风及除尘装置的工作参数进行智能调整,保证了煤

矿中的空气总是清新的，也可以对灰尘的浓度进行有效的控制，在火灾预防方面，该智能技术还可以针对煤矿内部的温、湿等因素进行智能调整参数，保证系统在保证能量有效使用的情况下，仍能有效地工作。通过对设备操作参数进行优化，实现设备节能降耗，为煤矿企业实现“绿色发展”提供新动能，顺应了当今世界环境保护的潮流，对煤矿企业的可持续发展也具有重要作用。

### （二）实现设备的智能控制

在煤矿企业，将先进的控制算法与辅助决策系统相结合，使智能化程度得到提高，保证了煤矿企业运行的高效与安全，为工业可持续发展打下技术基础。利用人工智能，建立了一套具有较强自主知识产权的智能控制体系。系统可对监测数据进行实时分析，精确地预估工作状况，并据此进行智能管理与优化。通过物联网的运用，可以有效地将各种终端连接起来，使得不同的终端可以一起工作，一起完成各自的工作，达到更好的资源配置与使用效率。通过这种智能控制方式，可以有效提高生产过程中的工作效能与稳定度，对于节能减排具有重要意义。通过使装置处于最优工作条件，可以很好地控制不需要的能量消耗，使由于工艺问题造成的生产中断现象降低，提高煤矿工业的经济效益。

### （三）加强设备的维护与保养

利用智能科学技术，可以对设备的工作状况和维护要求进行实时监测，可以及时发现设备的各种缺陷和隐患。这种方法可以在系统出现重大错误前，进行检测和处理。研究成果为解决由于设备失效造成的生产过程无法正常进行的问题，提高总体产能及设备工作的可靠性。传感器是智能控制的重要组成部分，可以对部件的振动、温度等重要性能指标进行在线检测，保证整个系统的工作效率。如果这些参数出现不正常的改变，就有可能是装置的隐患，需要立即进行检修。大数据是设备运营中的关键环节，可以对设备的历史数据进行采集与分析，准确地预估设备的使用寿命和维护要求，为设备的检修和检修工作提供参考。新型的智

能化维修与维护方法，可提高设备使用寿命，减少维护费用，为煤矿企业长远发展提供可靠支撑。

### （四）推广使用新能源和节能设备

在加快推进矿井机电设备的智能化改造过程中，必须充分关注和推动新能源和节能设备的推广和应用，对保障煤矿长远发展有着重要的作用。将太阳能、风能等可再生资源应用于矿井作业，可以减少对常规矿物资源的依赖，降低二氧化碳的排放量，有利于环保。采用高性能的电动机和变频调速装置，实现对能耗的本质控制，提高能量利用效率。新型能量与节能设备的集成，极大地改善煤矿工业的能量供应结构，对提高煤矿企业的生产效率、减少运行费用具有重要作用。要继续强化新能源与节能设备的研究与推广，使煤矿工业走上绿色高效的发展之路<sup>[3]</sup>。

## 四、结语

通过引入物联网，结合大数据、人工智能等前沿技术，可以对矿井机电设备进行自动控制和智能化管理，提高设备的工作效率和安全性能，减少能耗和总体的运行费用。在实践中，应注重推进智能技术与节能减排的有机结合，大力推广新能源、高效节能设备，完善能量配置体系，实现精确减排，为煤矿工业实现“绿色转型”“平稳发展”，强化对设备的维修手段，目的是使设备的使用年限得到延长，使由于设备出现问题导致的生产中断得到了切实的防止，使整个生产力得到充分的改善，使经济效益得到提高。伴随着科学技术的发展，煤矿机电设备的智能升级，能量利用的不断优化，呈现出了广阔的发展前景。要促进我国煤矿工业的长期发展和向现代化转变，就需要不断地增加科研经费，加快科技的革新和推广，要加大在世界范围内的交流与协作，促进世界煤矿产业向智能转变和不断发展。

## 参考文献

- [1] 许升起，陈录平，段武德. 数字孪生驱动的煤矿机电设备状态监控和诊断[J]. 煤矿机械, 2024, 45(12): 168-171.
- [2] 原豪强. 煤矿机电设备安装质量控制策略[J]. 能源与节能, 2024, (11): 271-273.
- [3] 杨振东. 基于信息化和智能化的煤矿机电设备故障诊断与预测分析[J]. 信息系统工程, 2024, (11): 72-75.

# 风电场电缆接头感知装置的高精度测温技术

卞全

国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 210000

**摘 要：** 高精度测温技术在风电场电缆接头中的应用日益广泛。该技术主要基于热电偶与热电阻、声波以及光纤布拉格光栅等测温原理，实现对电缆接头温度的精准测量。通过构建实时监测与预警系统，该技术能够及时发现电缆接头温度异常，有效预防火灾或设备损坏事故。同时，高精度测温技术还提升了运维工作的效率与精准度，减少了人工巡检的频率。此外，该技术还为电缆接头的设计与选材提供了科学依据，有助于优化接头结构，选择更耐高温、导热性能更好的材料，从而延长接头使用寿命，降低故障率。

**关 键 词：** 风电场；电缆接头感知装置；高精度测温

## High precision Temperature Measurement Technology for Wind Farm Cable Joint Sensing Device

Bian Quan

Guodian Nanjing Automation Co., Ltd. Nanjing, Jiangsu 210000

**Abstract：** The application of high-precision temperature measurement technology in wind farm cable joints is becoming increasingly widespread. This technology is mainly based on temperature measurement principles such as thermocouples, thermistors, sound waves, and fiber Bragg gratings, to achieve accurate measurement of cable joint temperature. By constructing a real-time monitoring and warning system, this technology can promptly detect abnormal temperature at cable joints, effectively preventing fires or equipment damage accidents. Meanwhile, high-precision temperature measurement technology has also improved the efficiency and accuracy of operation and maintenance work, reducing the frequency of manual inspections. In addition, this technology provides a scientific basis for the design and selection of cable joints, which helps optimize the joint structure, select materials with higher temperature resistance and better thermal conductivity, thereby extending the service life of the joint and reducing the failure rate.

**Keywords：** wind farm; cable joint sensing device; high precision temperature measurement

风电场通常位于海上或内陆偏远地区，电力传输线路长且复杂，电缆接头作为电力传输系统中的重要部件，其运行状况直接影响整个风电场的稳定运行。现有的电缆温度测量技术如感温式电缆测温、热敏电阻式测温、红外传感式测温等，在实际应用中存在诸多限制，无法满足高精度、高可靠性和免维护的需求。因此，开发一种新型的电缆接头测温技术显得尤为重要。

### 一、高精度测温技术原理

#### （一）热电偶与热电阻测温原理

热电偶与热电阻测温原理，作为温度测量的两大基石，均基于物理效应实现，为高精度测温提供了强有力的支持。热电偶测温的核心在于塞贝克效应的应用。当两种不同材质的导体被连接在一起，形成一个闭合回路，且两端存在温度差异时，这个回路中会产生一种电动势。这种电动势的大小与导体两端的温度差成正比，即温度差越大，产生的电动势也越大<sup>[1]</sup>。通过精密的仪器测量这个电动势的大小，就可以准确地推算出温度值。热电偶测温

具有测量范围广、稳定性好、反应速度快等特点，尤其适用于高温、低温以及腐蚀性环境中的温度测量。

热电阻测温则是利用了导体电阻随温度变化的特性。在温度升高的过程中，导体的电阻值会随之增大，反之则减小。基于这一原理，可以使用铂、镍、铜等金属作为测温元件，通过精确测量这些金属电阻值的变化，来推算出温度的变化。热电阻测温具有精度高、稳定性好、重复性好等优点，被广泛应用于各种需要高精度测温的场合，如实验室、医疗设备、工业自动化等领域。热电偶与热电阻测温原理不仅具有高稳定性和宽测量范围，还具有良好的环境适应性。它们能够在各种恶劣环境下稳定工作，提

作者简介：卞全（1986.01—），男，汉族，江苏扬州，硕士，工程师，研究方向：从事电气设备预警诊断与智能运维关键技术的研究与应用，单位全称：国电南京自动化股份有限公司。



供准确可靠的温度测量数据<sup>[2]</sup>。

（二）声波测温原理

声波测温原理巧妙地利用了声波在介质中传播速度与温度之间的紧密联系，从而实现了温度的精确测量。在气体或液体这类流体介质里，声波的传播速度并非恒定，而是受到多种因素的共同影响，其中介质的密度、弹性模量以及温度是三个最为关键的参数，它们共同决定了声波在介质中的传播特性。

随着介质温度的变化，其内部的微观结构会做出相应调整，这会导致介质的密度和弹性模量发生变化。这些变化进一步影响声波的传播速度，使声波在介质中的传播特性发生改变。基于这一原理，可以通过精确测量声波在已知距离上的传播时间，来计算出声波在该介质中的平均传播速度。声波的传播速度与温度之间存在着特定的函数关系。利用这一关系，可以将测量得到的声波传播速度转化为介质的温度值，实现温度的精确测量。声波测温技术具有非接触式测量的特点，避免了传统测温方法中需要与被测介质直接接触的问题，同时响应速度快，能够在极短的时间内完成温度的测量<sup>[3]</sup>。声波测温技术的测量范围广泛，能够适用于从低温到高温的各种温度范围。另外，该技术还具备强大的环境适应性，能够在高温、高压或腐蚀性介质等恶劣环境中稳定工作，提供准确可靠的温度测量数据。

（三）光纤布拉格光栅测温原理

光纤布拉格光栅测温原理，作为高精度测温领域的杰出代表，其精髓在于利用光纤内部精心构造的布拉格光栅作为温度感知元件。布拉格光栅，这一通过光纤内部折射率周期性调制形成的光学结构，具备独特的反射特性：仅当光波在光纤中行进并遭遇光栅时，满足布拉格条件的特定波长光波才会被精确无误地反射。这一物理现象构成了光纤布拉格光栅测温技术的核心基础。

环境温度的细微变动，会触发光纤材料的热胀冷缩效应，进而引发光栅周期的微妙调整。这一变化虽小，却足以导致反射光波长的显著偏移。借助高精度的光谱分析手段，这种波长的微小变化能够被精准捕捉，从而实现对环境温度波动的精确追踪与测量<sup>[4]</sup>。光纤布拉格光栅测温技术不仅以其高精度和高灵敏度著称，更展现出卓越的抗干扰性能。光纤材料本身具备的出色绝缘性和对电磁干扰的强抵抗力，确保了该技术能在复杂电磁环境中保持稳定运行，提供准确无误的温度数据。另外，该技术还具备远程监测与多点分布式测量的能力。借助光纤网络的广泛覆盖，多个光纤布拉格光栅传感器可实现远程连接与数据收集，极大地提升了测温作业的效率与灵活性<sup>[5]</sup>。这一特性为工业监控、科研探索及医疗诊断等需要大规模、高精度温度监测的领域开辟了新的应用空间，展现出广阔的市场前景与发展潜力。

二、高精度测温技术在风电场电缆接头中的应用

（一）实时监测与预警系统构建

在风电场的庞大电力传输网络中，电缆接头扮演着举足轻重的角色，它们是连接电缆段落的桥梁，确保电能稳定、高效地传输至各个发电单元。这些接头的温度状态，无疑是衡量风电系统

健康与安全的关键指标之一。一旦电缆接头因电流过载、接触不良或环境因素导致温度异常升高，就可能迅速演变为火灾隐患，严重时甚至会损坏电缆及相关设备，对风电场的正常运行构成巨大威胁<sup>[6]</sup>。

高精度测温技术的引入，为电缆接头的温度监控带来了革命性的改变。该技术能够不间断地、实时地监测电缆接头的温度变化，就像一个忠实的守卫，时刻警惕着任何可能的安全隐患<sup>[7]</sup>。借助先进的传感器和数据处理系统，一旦检测到温度超过预设的安全阈值，预警系统便会立即启动，自动发送警报信息至运维团队。这种即时反馈机制，为运维人员争取到了宝贵的响应时间，使他们能够迅速定位问题源头，采取必要的干预措施，如调整电流负载、加强散热或进行紧急维修，从而有效遏制潜在事故的发生，确保风电场的安全稳定运行<sup>[8]</sup>。

（二）提升运维效率与精准度

在风电场的日常运维工作中，电缆接头的温度监测是一项至关重要的任务。然而，传统的人工巡检方式受限于时间、人力的局限，往往难以实时、准确地捕捉到电缆接头温度的细微变化。这种滞后和不精确的温度监测，可能会错过关键的预警信号，导致运维团队无法及时做出响应，增加了风电场运行的风险。

相比之下，高精度测温技术的运用则带来了显著的改进。该技术能够实现对电缆接头温度的连续、实时监测，通过高精度的传感器和先进的数据处理系统，将温度数据实时传输至监控中心<sup>[9]</sup>。运维人员可以直观地看到每个电缆接头的温度曲线，从而准确判断其健康状况。这种连续采集与分析的能力，不仅让运维人员能够及时发现潜在的过热问题，还能对温度变化的趋势进行预测，为运维策略的制定提供了科学依据。高精度测温技术的应用，不仅大幅提升了运维工作的效率，减少了人工巡检的频次和强度，还确保了温度监测的精准度和可靠性。运维人员可以更加专注于问题的分析和解决，而不是花费大量时间在数据的收集和整理上。

表1 高精度测温技术在提升风电场运维效率与精准度方面的优势

项目	传统人工巡检方式	高精度测温技术
温度监测频率	每日巡检1-2次，每次耗时约1-2小时	连续实时监测，每秒可采集多次数据
温度监测精度	误差范围在 ±5° C 左右	误差范围小于 ±0.5° C
预警响应时间	平均响应时间约为30分钟至1小时	平均响应时间缩短至几秒至几分钟
故障率	电缆接头因温度问题导致的故障率约为每年2%-3%	电缆接头因温度问题导致的故障率约为每年0.1%-0.2%

（三）优化电缆接头设计与选材

在风电场的建设与运维过程中，电缆接头的性能与可靠性直接关联到整个电力系统的稳定运行。而通过高精度测温技术，可以获得大量、详尽的电缆接头温度数据，这些数据如同一扇窗，让我们得以窥见电缆接头在实际运行中的温度表现。

工程师们利用这些宝贵的温度数据，可以对电缆接头的温度

分布情况进行深入分析。他们观察接头在不同工况、不同负载下的温度变化，识别出温度异常的区域，进而推断出可能导致温度升高的设计缺陷或材料问题。基于这些发现，工程师们可以对电缆接头的结构进行优化设计。他们可能会调整接头的内部结构，改善电流的传输路径，减少热量的积聚<sup>[10]</sup>。同时，他们还会选择更耐高温、导热性能更出色的材料来制造接头，以提高其承受高温的能力，延长使用寿命。这样的优化设计与选材，不仅能够有效降低因温度问题导致的电缆接头故障率，还能提升整个风电场的运行效率和安全性。

### 三、结语

高精度测温技术在风电场电缆接头中的应用，凭借其热电偶与热电阻、声波及光纤布拉格光栅等测温原理，实现了对电缆接头温度的精准、实时监测。这不仅构建了有效的预警系统，降低了运维成本，提升了工作效率，还为电缆接头的优化设计与选材提供了科学依据。随着技术的不断发展，高精度测温技术将在风电场运维中发挥越来越重要的作用，为风电场的长期稳定运行提供坚实的技术支撑。

### 参考文献

[1] 王光耀, 孙建平, 李婷, 汪洪军, 李嘉豪, 陈泽川, 高传吉. 集成电路高精度晶圆测温技术研究 [J]. 计量科学与技术, 2023, 67 (04): 77-82+27.

[2] 赵紫樱. 无人机频谱远距探测和高精度测向技术探索 [J]. 无线互联科技, 2022, 19 (21): 113-115.

[3] 张晓娟, 付杨涛, 成晋军. 一种高精度的基于红外技术的测温系统设计 [J]. 山西电子技术, 2022, (01): 13-15.

[4] 蔡李靖, 周凯来, 沈桂竹, 姚一杨, 邱兰馨, 字崇德, 曹汛. 红外热像仪高精度测温标定技术 [J]. 红外与激光工程, 2021, 50 (10): 202-209.

[5] 陶杰, 居来提·买提肉孜, 罗辉卿, 郭图盟, 汪平, 任航宁. 基于负温度系数热敏电阻多通道高精度可穿戴式体温采集系统的设计 [J]. 科学技术与工程, 2021, 21 (14): 5733-5741.

[6] 范殿梁, 田真真. 无人机频谱远距探测和高精度测向技术初探 [J]. 中国安防, 2021, (04): 39-44.

[7] 周志强, 彭水. 匹配场高精度测向技术在海底线列阵中的应用研究 [J]. 舰船电子工程, 2021, 41 (01): 145-149.

[8] 杜永胜. 浅谈热计量仪表高精度测温技术 [J]. 科学技术创新, 2020, (20): 179-180.

[9] 张志强, 王萍, 于旭东, 张剑, 李婷. 高精度红外热成像测温技术研究 [J]. 仪器仪表学报, 2020, 41 (05): 10-18.

[10] 张凯临, 杨铭伦, 曲利芹, 管磊. 高精度海表皮温红外辐射测量系统 [J]. 中国海洋大学学报 (自然科学版), 2020, 50 (05): 157-162.

# 煤矿机电设备的变频节能技术研究

白雪

1. 中煤科工集团沈阳研究院有限公司, 辽宁 抚顺 113122

2. 沈阳煤炭科学研究所有限公司, 辽宁 沈阳 110015

**摘 要：** 煤矿开采期间需使用各类机电设备，这些机电设备在运行时具有高能耗、高负荷等特点，容易产生较高的成本，耗费较多资源。为减少能源消耗，应加强运用变频节能技术，这样不仅可提高煤矿机电设备的运行效率，还能节约资源，提升煤炭资源利用水平。所以现阶段应充分了解变频节能技术的优势特点，结合煤矿机电设备运行需求和实际情况，制定有效的应用对策，以实现变频节能技术在煤矿机电设备中的高效应用，为煤矿行业可持续发展提供推力。本文就煤矿机电设备的变频节能技术作出分析，提出几点建议，以供参考。

**关 键 词：** 煤矿机电设备；变频节能技术；技术应用

## Research on Frequency Conversion and Energy Saving Technology of Coal Mine Mechanical and Electrical Equipment

Bai Xue

1. Shenyang Research Institute Co., Ltd. Fushun, Liaoning 113122

2. Shenyang Coal Research Institute Co., Ltd. Shenyang, Liaoning 110015

**Abstract：** During coal mining, all kinds of mechanical and electrical equipment should be used. These mechanical and electrical equipment has the characteristics of high energy consumption and high load, which is easy to produce high cost and consume more resources. In order to reduce energy consumption, the use of frequency conversion and energy saving technology should be strengthened, which can not only improve the operation efficiency of mechanical and electrical equipment in coal mines, but also save resources and improve the utilization level of coal resources. Therefore, at the present stage, we should fully understand the advantages and characteristics of frequency conversion energy saving technology, and formulate effective application countermeasures according to the operation demand and actual situation of coal mine mechanical and electrical equipment, so as to realize the efficient application of frequency conversion energy saving technology in coal mine mechanical and electrical equipment, and provide thrust for the sustainable development of the coal mine industry. This paper analyzes the frequency conversion and energy saving technology of coal mine electromechanical equipment, and puts forward some suggestions for its reference.

**Keywords：** coal mine mechanical and electrical equipment; frequency conversion and energy saving technology; technology application

随着煤矿开采规模不断扩大，煤矿行业发展水平快速提高，对应的资源消耗速度也在加快，目前煤炭资源较为紧缺，而想要更好地节约能源，提高资源利用率，还需要优化改进煤矿机电设备，采用变频节能技术以进一步减少资源浪费问题，同时节省成本，更好地推动煤矿行业实现可持续发展目标<sup>[1]</sup>。所以在此情况下应加大重视变频节能技术，对技术特点及原理加以了解，并根据煤矿开采需求和机电设备运行情况，采取有效措施，将变频节能技术应用于煤矿机电设备中，发挥其作用，降低能源消耗，为煤矿行业可持续发展提供动力与保障。

### 一、煤矿机电设备应用存在的问题

煤炭是我国重要资源，煤矿行业的发展在国民经济中起到重要作用，但目前很多煤矿机电设备应用实效性偏低，在选型、能耗等方面存在不足，对煤矿行业的可持续发展产生负面影响，同

时也不满足新时期节能减排理念。首先，煤矿开采生产过程中所需的煤矿机电设备数量较多，电机负荷较大，这种情况下不仅启动时间长，还会产生较高的电量消耗。同时，冷启动矿井机电设备存在一定困难，易对设备造成损伤，使得维护费用增多。其次，很多煤矿企业对机电设备选型缺少重视，不合理的选型下导

作者简介：白雪（1985.01—），女，满族，硕士研究生，辽宁抚顺人，副研究员，研究方向：煤矿机电设备研究开发与应用。

致电能浪费较为严重,运行效率低。在煤矿开采生产中排水、通风、压气等方面都需使用相应的机电设备,若采用挡风板、阀门等设备,则需消耗较多电能才能进行调节,而采取变频节能技术可节省约20~50%的调节电能,既节约成本,又可实现节能环保目标。最后,故障问题也较为重要,由于煤炭资源需求量在不断增加,使得很多煤矿开采生产需24小时进行,而在这种情况下很多煤矿机电设备也需24小时不间断运行,这样不仅增加能耗,也会加大设备磨损程度,引发更多隐患风险,一旦煤矿机电设备出现故障问题,则会消耗更多的电量,也会降低煤矿开采生产效率,无法提高煤矿企业的经济效益水平。

## 二、变频节能技术概述分析

变频节能技术指实际运行时,借助电力半导体器件的优势作用实现涌流,进而使工频电源转变为其他频率进行电能控制的过程,而将其用于煤矿机电设备中,可在一定程度上降低能源消耗量<sup>[2]</sup>。运用变频节能技术,能够将机电设备的交流电转为直流电,调整电压频率,还可用于信息化手段,更高效地开展变频操作,在保证煤矿机电设备正常运转的同时实现节能目的,该技术的构成原理如图1所示。

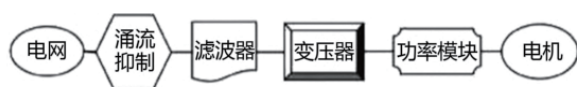


图1 变频节能技术构成原理

依据图1所示内容可知,变频节能技术的运行有序性较强,在实际运行时遵循的原理是通过涌流抑制操作对电网输出的电压进行处理,利用滤波器对电力进行调整,通过变压设备的处理使电流达到功率模块,进而实现变频调整,提供适合机电设备运行的电力。

煤矿机电设备在长时间高负荷的运转之下,无法对转数进行调整,因此,机电设备在运行期间对于能源的损耗是极大的,机电设备的使用寿命可能也会因此而缩短。对于变频节能技术来说,将其用于煤矿机电设备中,可提高设备运行节能性,与节能减排、绿色环保的总体发展趋势及政策发展方向不谋而合,且煤矿作为重要的能源类型,该技术的有效运用也能进一步降低煤矿开采过程中的浪费<sup>[3]</sup>。同时,能源整体结构在转型,为更好地顺应时代发展需求,促进煤矿开采发展更加先进有效,也应积极将变频节能技术等更为高新的技术手段应用其中,更好地推动煤矿行业转型升级,提高整体发展水平。

## 三、煤矿机电设备中变频节能技术的应用

### (一) 变频节能技术在提升机中的应用

提升机是煤矿开采生产过程中较为常见的机电设备,在实际开采生产期间提升机并不是时刻都需运作,但目前很多煤矿开采生产中提升机设备还是长期处于空载状态,导致能源消耗较多,且提升控制系统较为复杂,容易发生故障问题,影响其整体运行安全稳定性。比如煤矿开采后,提升机会处于满载状态运输煤

矿,而运输结束后提升机会在空载状态下再次运行,为下一次煤矿资源的运输做准备。但对于提升机的运行状态来说,满载状态下与空载状态下所产生的能源消耗量是一致的,这样就会出现严重的资源浪费问题。所以工作人员可运用变频节能技术,根据煤矿开采运输需求,结合提升机的运行情况,对提升机空载状态的工作频率做出调节,以进一步降低能源消耗。

### (二) 变频节能技术在胶带输送机中的应用

胶带输送机也是煤矿开采生产过程中较为常见的机电设备,胶带输送机在运行时主要借助胶带本身的强大摩擦力对煤炭产生牵引作用,在摩擦力和张力作用下,将煤炭快速输送至指定位置<sup>[4]</sup>。以往胶带输送机在启动运行时通常需借助液力耦合器,而该模式长期运行下容易引发胶带老化、设备性能降低等情况,不仅会使煤炭输送效率下降,还会增加维护成本。所以为优化胶带输送机,工作人员可进一步分析不同运输频率下设备的耗电及节电情况,进而把握设备运输频率与耗电量的关系,以结合实际需求运用变频节能技术进行调节,促进胶带输送机得到优化升级,而对于运输频率和耗电量之间的关系具体如表1所示。经表中数据所示,可知耗电量会随运行频率的提升呈现出正向增长趋势,节电量与运行频率变化的关系曲线呈现出反向增长关系<sup>[5]</sup>。

表1 不同运输频率下的耗电量与节电量

运行频率 / (Hz)	耗电量 (kw · h)	节电量 (kw · h)
工频	3133678.75	—
20	1292238.65	1841440.20
30	1938357.98	1195320.76
40	2584477.75	549201.43

### (三) 变频节能技术在流体负荷设备中的应用

目前变频节能技术在流体负荷设备中的应用效果更为显著,风机和泵机设备具有变频调速功能,风机运行过程中变频调速功能的应用效果更佳<sup>[6]</sup>。运用变频节能技术可有效降低流体负荷设备运行转速,以实现对其输出功率的有效控制,进而减少流体负荷设备的运行消耗。而从设备工艺转变角度分析,通过应用该技术可降低流体负荷设备运行时产生的冲击力,还可更好地增强设备运行的灵敏度。比如在抽水泵机电设备运转时,工作人员采用变频节能技术,可更好地稳定煤矿井下液位,以此达到节约能耗,提高运行效率的效果。

### (四) 变频节能技术在空气压缩机中的应用

煤矿开采生产过程中井下作业数量较多,整体占比较大,为保证开采安全,促进井下作业的顺利进行,通常需要使用空气压缩机,该设备运行存在长期性、持续性等特点,整体使用频率较高,所以也会产生较多的能源消耗量,运行成本较高。所以对于空气压缩机来说,也可使用变频节能技术对设备的运行状况进行优化调整。如采用变频节能技术,工作人员可使用变频器调整该机电设备的回路,将其运行期间的电压控制在恒定范围,这样既能提高设备运行稳定性,又可减少电力消耗,以达到节能的目的。

### (五) 变频节能技术在水泵中的应用

根据煤矿实际开采生产情况来看,水泵在运行期间工作人员



需调节管网闸阀的开合度，达到控制水泵的流量，以此保证其他相关设备的正常运转，但很多煤矿开采生产中未对水泵设备多加控制，容易造成水资源浪费问题。所以工作人员可运用变频节能技术根据水泵实际运行需求合理控制水流量，既满足运行需求，又能避免过多水资源浪费，以达到节能环保的效果。

（六）变频节能技术在斗提机中的应用

在斗提机中应用变频节能技术，主要可选用高压变频变速自动控制系统与 PLC 控制系统。以 PLC 控制系统来说，将其用于斗提机电气设备，可提高整个过程的部分操纵、速率操纵、动态性界面监控和提升绞车系统的各类维护作用，达到电磁兼容测试性的技术标准<sup>[7]</sup>。这样可进一步对斗提机进行优化升级，提升其运行水平。

（七）变频节能技术在排风机中的应用

煤矿开采生产中主扇风机也是较为常见的机电设备，该设备的运行能够起到通风作用，且该设备需不间断运行，进而也会产生较高的电能消耗。而针对该设备运用变频节能技术，可对离心风机进行优化改造，实现变频软启动，可降低启动电流量的冲击力，还能实现随地启动或停机<sup>[8]</sup>。这种方式能够让设备在更多情况下保持低速率运行，既节约能耗，又可延长设备的使用寿命。

四、变频节能技术应用于煤矿机电设备的相关建议

虽然变频节能技术用于煤矿机电设备中能够更好地降低设备运行产生的能耗，提升设备运行效率，但很多煤矿开采生产实际过程中并未对变频节能技术有较高的关注度，导致变频节能技术应用程度不足，应用水平偏低。如未能设计合理的技术应用方案，难以全面考虑技术应用的安全问题，设备质量监测与维护工作开展不到位。这些都会降低变频节能技术的应用效果，同时还会引发相关隐患风险，影响煤矿机电设备整体运行水平。

所以现阶段及未来发展过程中，还应加大对变频节能技术的重视度，综合考虑各方面因素，做好相关工作，以提高变频节能

技术的应用效果。首先，工作人员应对煤矿开采生产中涉及的各类机电设备运行情况、运行特点等进行了解分析，结合煤矿开采生产实际需求，设计科学有效的变频节能技术应用方案，选择更合适的材料、技术及设备。同时，为提高变频节能技术的设计效果，还需对工作人员开展相应的培训工作，提高工作人员的设计能力，以及提高人才准入门槛，确保变频节能技术的应用更加合理有效。其次，落实开展系统故障监测与管控工作，可使用编辑器、触摸显示屏等方法，借助信息化手段，加强对系统故障的排查力度，解决机电设备存在的故障隐患<sup>[9]</sup>。工作人员需根据实际情况，合理调节设备的运行操作模式，不断优化设备性能，才能更好地发挥变频节能技术的应用效果。最后，社会快速发展中对能源的需求量越来越大，在未来想要更好地提高煤矿开采生产效率，还需加大技术与资金投入力度，能够对变频节能技术进行深入优化升级，进一步提高变频节能技术的有效性，最大化发挥其优势作用，促进电机供电模式更加灵活多变，电能消耗更加合理，为社会整体节能环保和煤矿行业长效发展提供推力。

五、结语

综上所述，煤矿开采生产中需使用多种机电设备，也会产生较高的能耗，为实现节能环保目标，提高煤矿开采生产效率，推动煤矿行业可持续发展，还应进一步对机电设备进行优化改进。工作人员应了解变频节能技术的原理及优势，根据煤矿开采生产需求，将变频节能技术有效应用，对提升机、胶带输送机、流体负荷设备、空气压缩机、水泵、排风机等不同机电设备进行升级调整，促进其性能提升，运行稳定性增强，同时又可更好地节约能耗，降低成本，切实提升整体运行效率。在此基础上意识到现有变频节能技术应用存在的问题不足，并加强研发升级，采取有效优化对策，促进变频节能技术在现阶段及未来发展中不断提高应用效果，为煤矿行业的可持续发展提供动力和保障。

参考文献

[1] 范玉聘. 我国煤矿机电设备中变频节能技术的应用研究 [J]. 百科论坛电子杂志, 2020(22):521.  
[2] 张倩. 煤矿机电设备中变频节能技术的应用研究 [J]. 设备管理与维修, 2019(12):244-245.  
[3] 张顺. 新技术与新设备在新街台格庙矿区新建煤矿机电系统中的应用研究 [J]. 中国矿业, 2024, 33(2):194-199.  
[4] 李成. 永磁变频节能技术要点及其在煤矿机电设备中的应用分析 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2023(13):139-141.  
[5] 赵勇. 变频节能技术在煤矿机电设备中的应用 [J]. 矿业装备, 2023(7):203-205.  
[6] 李祥千, 吴昊. 变频节能技术在煤矿机电设备中的应用探讨 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2022(24):136-138.  
[7] 王宇伟. 探讨我国煤矿机电设备中变频节能技术的应用 [J]. 矿业装备, 2021(5):280-281.  
[8] 侯相杰, 姜振通, 盛春雷. 煤矿机电设备中变频节能技术的应用研究 [J]. 中国科技投资, 2023(22):110-112.  
[9] 张新齐. 煤矿机电设备变频节能技术的应用探讨 [J]. 当代化工研究, 2022(11):154-156.

