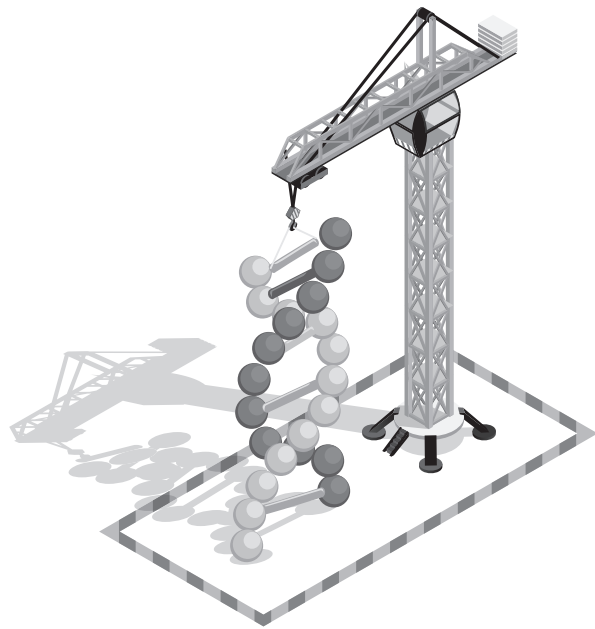


工程 研究与应用

Engineering Research and Application



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

Level 1

119 S Atlantic Blvd, Suite 300D

Monterey Park, CA 91754

Copyright © 2024 by ART AND DESIGN PRESS INC.

Complimentary Copy



Editorial Board

Editors-in-Chief

Xiaolei Ju

China Architectural Design and Research Institute, China

Meilian Chao

Heze Dehe Construction Engineering Group Co., LTD

Editorial Board Member

Xianbo Tu

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

Neda Abbasi

School of Engineering and Technology

Tanvir Ahamed

School of Engineering and Technology

Zhen Xu

Zhongtong Bus Holding Co., Ltd

工程研究与应用

Engineering Research and Application

第2卷 第7期 2024年7月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《工程研究与应用》编辑部

ISSN(O): 2993-2742

ISSN(P): 2995-3154

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

网址: <https://www.artdesignp.com/>

本刊说明:

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

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



材料科学 | MATERIAL SCIENCE

- 005 材料试验机的维护保养和一般故障处理 刘向峰
Material Testing Machine Maintenance And General Troubleshooting Liu Xiangfeng
- 008 基于 CAE 技术的汽车覆盖件冲压工艺分析 李月营
Analysis Of Stamping Process For Automotive Panels Based On CAE Technology Li Yueying
- 011 公路建设中如何实现材料损耗的最小化目标 杨静
How To Achieve The Goal Of Minimizing Material Loss In Highway Construction Yang Jing
- 014 计量器具强制检定费用停征后检定工作中的一些思考 王日有
Some Thoughts On The Calibration Work After The Mandatory Calibration Fee For Measuring Instruments Is Suspended Wang Riyou

工程科学 | ENGINEERING SCIENCE

- 017 卫星定位技术在工程测绘精度提升中的贡献 郎小龙
The Contribution Of Satellite Positioning Technology In Improving The Accuracy Of Engineering Surveying And Mapping Lang Xiaolong
- 020 换填法在市政工程软土地基处理中的应用 蔡军
Application Of Replacement Method In Soft Soil Foundation Treatment of Municipal Engineering Cai Jun
- 023 基于大数据的工程检测数据处理与分析 姚娜娜, 马洪生
Processing And Analysis Of Engineering Inspection Data Based On Big Data Yao Nana, Ma Hongsheng
- 026 自动控制在热控系统中的应用及优化研究 蒋泉波, 张涛
Application And Optimization Study Of Automatic Control In Thermal Control System Jiang Quanbo, Zhang Tao
- 029 热系统中的温度传感器选择及性能评估 戚梦强, 王硕
Temperature Sensor Selection And Performance Evaluation In The Thermal Control System Qi Mengqiang, Wang Shuo
- 032 水压爆破技术在地震勘探中的应用 吴杨云, 杜琦伟
The Application Of Water Pressure Blasting Technology In Seismic Exploration Wu Yangyun, Du Qiwei
- 035 基于 PID 控制算法的热控系统性能优化研究 张涛, 蒋泉波
Study On The Performance Optimization Of Thermal Control System Based On PID Control Algorithm Zhang Tao, Jiang Quanbo
- 038 城市防灾减灾工程体系建设及对策研究 翟学翔
Research On The Construction And Countermeasures of Urban Disaster Prevention and Reduction Engineering System Zhai Xuexiang
- 041 基于动态变化的生产过程信息集成管控技术应用探讨 刘洪元
Discussion On The Application Of Integrated Control Technology For Production Process Information Based On Dynamic Changes Liu Hongyuan
- 044 城市轨道交通车辆电制动控制技术应用实践分析 王忠渝
Analysis Of Electric-Air Braking Control Technology And Application Practice Of Urban Rail Transit Vehicles Wang Zhongyu
- 047 超深硬岩中临近地铁地下连续墙成槽
施工技术研究 孙士远¹, 郭东海², 池商钊³, 柯建平⁴
Study On Troughing Construction Technology Of Underground Diaphragm Wall Near Subway In Ultra-Deep Hard Rock Sun Shiyuan¹, Guo Donghai², Chi Shangchao³, Ke Jianping⁴

050	复杂软基动态实时监测技术研究 Research on Real time Monitoring Technology for Complex Soft Ground Dynamics	吴亿 ¹ , 陈金成 ² , 巫庆明 ³ , 柯建平 ⁴ Wu Yi ¹ , Chen Jincheng ² , Wu Qingming ³ , Ke Jianping ⁴
053	新型全自动 K ₀ 固结仪试验结果影响因素分析 Analysis Of Influencing Factors On The Test Results Of The New Fully Automatic K ₀ Consolidation Instrument	刘聪 Liu Cong
056	基于汽机抽汽 – 锅炉再加热的中温中压供汽系统设计 Design Of Medium Temperature And Medium Pressure Steam Supply System Based On Steam Engine Extraction And Boiler Reheating	张江涛 Zhang Jiangtao
059	智能 PID 控制器在电厂热工过程控制中的应用前景 Application Prospect Of Intelligent PID Controller In Thermal Process Control Of Power Plant	张来星 Zhang Laixing
062	输电线路跨越复杂地形施工技术研究 Research on Construction Technology of Transmission Lines Crossing Complex Terrain	冀登军 Ji Dengjun
065	掠翼型振荡水翼的水动力特性分析 Analysis Of Hydrodynamic Characteristics Of Swept Wing Oscillating Hydrofoil	陈卓 ¹ , 焦波 ¹ , 孙光 ² , 林海花 ¹ Chen Zhuo ¹ , Jiao Bo ¹ , Sun Guang ² , Lin Haihua ¹
070	焊接机器人在焊接技术应用中的关键技术分析 Key Technology Analysis Of Welding Robots in Welding Technology Application	姜元好, 薛彬, 徐卫彦 Jiang Yuanhao, Xue Bin, Xu Weiyan
073	地下室热力站管道泄漏紧急关断系统技术研究 Research On Emergency Shutdown System Of Pipeline Leakage In Basement Thermal Station	徐媛媛 Xu Yuanyuan
076	基于热控技术的智能温控系统设计与实现 Design And Implementation Of Intelligent Temperature Control System Based On Thermal Control Technology	王硕, 戚梦强 Wang Shuo, Qi Mengqiang
079	工程检测中红外热成像技术的应用研究 Research on the Application of Infrared Thermal Imaging Technology in Engineering Inspection	马洪生, 姚娜娜 Ma Hongsheng, Yao Nana

建筑科学 | BUILDING SCIENCE

082	土木工程施工质量控制的新技术与方法综述 Summary Of New Technology And Methods For Civil Engineering Construction Quality Control	祁美均 Qi Meijun
085	高寒地区混凝土施工与维护：质量与耐久性的关键因素 Construction And Maintenance Of Concrete In Alpine Areas: The Key Factors Of Quality And Durability	周建军 Zhou Jianjun
088	城市桥梁墩柱钢筋骨架整体安装施工技术研究 Study on Construction Technology of Integrated Installation of Reinforced Skeleton of Piers for Urban Bridges	陈金成 ¹ , 郭东海 ² , 池商铃 ³ , 柯建平 ⁴ Chen JinCheng ¹ , Guo Donghai ² , Chi Shangqian ³ , Ke Jianping ⁴
091	建筑工程安全生产标准化研究 Research on Standardization of Safety Production in Construction Engineering	赵星琪 Zhao Xingqi
094	房建工程中的施工现场管理与效率提升 Construction Site Management And Efficiency Improvement In Housing Construction Projects	王存科 Wang Cunke
097	高寒地区冬季新老混凝土结合处理技术 Winter Combined Treatment Technology For New And Old Concrete In High-Altitude Regions	李皓, 邓文明, 陈航, 赵建刚, 王滨 Li Hao, Deng Wenming, Chen Hang, Zhao Jiangang, Wang Bin

能源科学 | ENERGY SCIENCE

100	火电机组发电厂电气设备预防性维护策略研究 Study On Preventive Maintenance Strategy Of Electrical Equipment In Thermal Power Plant	张杨 Zhang Yang
103	火力发电厂热工控制系统常见故障分析及检修策略研究 Study On Common Fault Analysis And Maintenance Strategy Of Thermal Control System Of Thermal Power Plant	王文光 Wang Wenguang
106	关于智慧供热技术在大型供热管网中的应用探讨 The Application Of Intelligent Heating Technology In Large-Scale Heating Pipe Network Is Discussed	赵国振 Zhao Guozhen
109	科学规划视角下的电力网架扩展与升级改造策略 Expansion and Upgrading Strategies of Power Grid from the Perspective of Scientific Planning	何愈慎 He Yushen

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

112	城镇污水系统病害诊断及提质增效方法 Diagnosis Of Urban Sewage System Diseases And Methods Of Improving Quality And Increasing Efficiency	吴子焱 Wu Ziyen
115	平原地区农田水利建设与管理途径 Construction And Management Of Farmland Water Conservancy In Plain Area	赵梅 Zhao Mei
118	水利工程测绘中激光雷达技术的运用分析 Analysis of the Application of Lidar Technology in Water Conservancy Engineering Surveying and Mapping	陈兆睿 Chen Zhaorui
122	港口干散货码头扬尘污染防治研究 Research on the Prevention and Control of Dust Pollution in Port Dry Bulk Cargo Terminals	赵杨 ¹ , 张洪铭 ² Zhao Yang ¹ , Zhang Hongming ²

材料试验机的维护保养和一般故障处理

刘向峰

大同市综合检验检测中心, 山西 大同 037046

摘要： 材料试验机在现代工业发展中扮演着重要角色，它们被广泛应用于材料科学、工程技术及质量控制等多个领域。随着科技的不断进步，材料试验机的种类和功能也日益复杂和多样化。然而，尽管这些设备在设计上具有高度的精密性和可靠性，日常的维护保养仍然是确保其长期稳定运行的关键。尤其在高负荷和高精度要求的实验环境中，试验机的维护保养工作显得尤为重要。本文旨在探讨材料试验机的维护保养方法，并分析常见的故障类型及其处理方法，以期为相关领域的技术人员提供有益的参考和指导。

关键词： 材料试验机；维护保养；故障处理

Material Testing Machine Maintenance And General Troubleshooting

Liu Xiangfeng

Datong Comprehensive Inspection and Testing Center, Datong, Shanxi 037046

Abstract： Material testing machines play an important role in the development of modern industry, and they are widely used in many fields such as material science, engineering technology and quality control. With the continuous progress of science and technology, the types and functions of material testing machines are increasingly complex and diversified. However, despite the high degree of precision and reliability in the design of these devices, daily maintenance is still the key to ensure their long-term stable operation. Especially in the experimental environment with high load and high precision requirements, the maintenance work of the testing machine is particularly important. The purpose of this paper is to discuss the maintenance methods of the material testing machine, and analyze the common fault types and their treatment methods, in order to provide useful reference and guidance for technicians in related fields.

Keywords： material testing machine; maintenance; fault handling

引言

材料试验机的维护保养工作在保证试验数据的准确性和设备的长寿命方面具有重要意义。定期的维护不仅可以预防故障的发生，还能够延长设备的使用寿命，减少因故障带来的停机时间和维修成本。同时，适当的保养可以确保试验机在各种极端环境下依然能够稳定运行，提供准确可靠的数据输出。在科研和生产过程中，材料试验机的故障往往会导致数据失准、实验失败，甚至造成严重的财产损失。因此，了解和掌握材料试验机的维护保养和故障处理方法，不仅是提高工作效率的需要，更是保障实验安全和质量的必备措施。

一、材料试验机的维护保养

（一）定期清洁

定期清洁是材料试验机维护保养的重要环节，它有助于保持设备的精确性和延长使用寿命。具体应做好以下工作。首先，确保设备处于断电状态，并遵循制造商提供的安全指南进行操作。使用干燥、柔软的布料或专用清洁布轻轻擦拭设备表面，避免使用含有研磨剂或腐蚀性的清洁剂，以免刮伤或损坏设备表面。对于屏幕和其他敏感部件，可以使用专用的清洁剂，并按照制造商的说明进行操作。其次，清洁设备内部时，首先要拆卸所有可移

动部件，如传感器、测试平台等。使用干燥、柔软的刷子或吹风机清除灰尘和杂质。对于油污或其他难以清除的污垢，可以使用温和的清洁剂，但务必确保清洁剂不会对设备造成损害。清洗后，彻底干燥所有部件，并重新组装。此外，定期检查设备的连接线和电源线，确保没有磨损或断裂。如果发现损坏，应及时更换，以免影响设备的正常工作和安全性。最后，定期清洁维护不仅包括清洁设备本身，还包括清洁工作环境。保持工作区域的整洁和有序，避免灰尘、杂质等对设备造成污染。同时，定期检查设备的使用记录和维护日志，确保设备的正常运行和维护保养得到及时记录和跟踪。

总之，定期清洁是材料试验机维护保养的重要环节，需要认真对待。通过正确的清洁方法和定期的维护保养，可以确保设备长期保持良好的工作状态，为实验和研究提供准确可靠的数据支持。

（二）定期润滑

定期润滑是材料试验机维护保养中不可或缺的一个环节。恰当的润滑不仅能够降低机械磨损，延长设备的使用寿命，还能提高设备的精度和稳定性。首先，润滑之前需要了解材料试验机的润滑点，主要包括丝杠、导轨、轴承、齿轮等。这些部位在设备运行过程中承受着较大的摩擦力，因此需要定期进行润滑。其次，选择合适的润滑剂也非常重要。一般来说，根据设备的使用环境和工况，可以选择黄油、机油、润滑脂等不同类型的润滑剂。例如，对于高温环境下的设备，应选择耐高温的润滑剂；对于潮湿环境下的设备，应选择防水性能好的润滑剂。接下来，润滑的方法也非常关键。一般来说，可以采用手动润滑和自动润滑两种方式。手动润滑需要定期打开润滑点，涂抹润滑剂，这种方式简单易行，但需要人工定时检查和维护。自动润滑则是通过设备内部的润滑系统自动将润滑剂输送到各个润滑点，这种方式可以节省人工成本，但需要保证润滑系统的正常运行。最后，需要注意的是润滑的频率^[1]。一般来说，可以根据设备的使用频率和工况来确定润滑的频率。例如，对于使用频繁的设备，应增加润滑的频率；对于工况恶劣的设备，也应增加润滑的频率。通过选择合适的润滑剂和方法，以及合理的润滑频率，可以有效地降低设备磨损，延长设备使用寿命，提高设备的精度和稳定性。

（三）定期校准

材料试验机作为实验室中不可或缺的设备之一，其定期校准和维护保养显得尤为重要。定期校准是确保试验机准确性和可靠性的关键步骤。首先，校准应该由专业技术人员进行，他们应具备相关培训和经验，熟悉机器的工作原理和调整方法。在进行校准之前，必须确认校准仪器的准确性和可靠性，以确保校准的准确性。在进行校准之前，需要对试验机进行全面的检查。首先，检查机器的外部部件，包括传感器、控制面板、连接线路等是否完好无损，确保没有松动或损坏的地方。其次，需要检查机器的内部部件，包括传动系统、润滑系统、密封件等，确保其工作正常，没有异物或损坏。此外，还需要检查机器的电气系统，确保电源接线正确，没有漏电或短路现象。在校准过程中，需要根据试验机的类型和规格，按照相应的校准标准进行操作。通常包括零点校准、满量程校准、线性度校准等步骤。在校准过程中，要注意环境因素的影响，如温度、湿度等，确保在合适的环境下进行校准。校准完成后，要及时记录校准结果和校准日期，建立校准档案，以备日后查阅和追溯。最后，出具详细的校准报告，记录校准过程、测量数据和调整情况，并在设备上贴上校准标签，注明校准日期和下次校准时间。定期校准不仅能保证实验数据的准确性，还能及时发现和排除潜在的问题，确保设备长期稳定运行。对于高精度要求的材料试验，应每半年至一年进行一次全面校准，具体频率可根据设备使用情况和实验要求进行调整。

二、材料试验机的一般故障处理

（一）机械故障处理

材料试验机作为一种高科技测试设备，它的运行状况直接影响着材料性能的测定结果。在使用过程中，我们可能会遇到一些机械故障，比如加载不准确、试验结果不稳定、加载过程中突然停止等，下面是一些常见的机械故障及其处理方法。

首先，加载不准确是材料试验机中最常见的故障之一。造成这种问题的原因可能是载荷传感器不准确或者加载系统出现故障。对于这种情况，我们需要先检查载荷传感器的精度是否在正常范围内，如果不在则需要对其进行校准。如果载荷传感器没有问题，那么可能是加载系统出现故障，需要检查加载丝杠、导向杆等部件是否正常工作，必要时进行更换^[2]。

其次，试验结果不稳定也是常见的问题之一。这可能是由于测力系统的噪声过大或者试样本身存在问题。我们可以通过调整测试参数或者更换试样来解决这个问题。同时，我们也可以检查测力系统的电气连接是否良好，以及机械部件是否正常工作。

最后，加载过程中突然停止也是一个严重的问题。这可能是由于控制系统出现故障或者加载部件卡死等原因导致的。我们需要先检查控制系统的电气连接是否正常，同时检查加载部件是否有卡死现象，如果有则需要对部件进行清洗或者更换。

总之，当材料试验机出现机械故障时，需要先确定故障原因，然后根据具体情况进行相应的处理。在维修过程中，要注意安全，避免造成人员伤亡或者设备损坏。

（二）电气故障处理

材料试验机是一种用于材料性能测试的设备，它通过施加不同的负载和条件来测试材料的强度、韧性等性能。在使用过程中，电气故障是常见的问题之一。

当材料试验机出现电气故障时，需要先对设备进行断电处理，以确保安全。然后，可以通过检查设备的电源线、插头、开关等部分来确定故障原因。如果电源线或插头出现松动或损坏，可能会导致设备无法正常工作。此时，可以更换新的电源线或插头，或者将其重新插紧。

如果材料试验机的电机出现故障，也会导致设备无法正常工作。此时，可以检查电机的接线是否正常，是否存在短路或断路等问题。如果存在问题，可以进行修复或更换新的电机。

如果材料试验机的控制系统出现故障，也会导致设备无法正常工作。此时，可以检查控制系统的电路板、芯片等部分是否正常。如果存在问题，可以进行修复或更换新的控制系统。

需要注意的是，在进行电气故障处理时，需要遵循相关的安全操作规程，以确保人身安全。同时，也需要对设备进行定期的维护和保养，以延长设备的使用寿命。

综合来看，材料试验机的电气故障处理需要根据具体情况进行分析和处理。只有找到故障原因并进行修复，才能保证设备的正常运行。同时，也需要注重设备的安全使用和维护保养，以确保测试结果的准确性和可靠性。

（三）软件故障处理

材料试验机是一款高精度、高稳定性的测试仪器，它通常用于对材料进行拉伸、压缩、弯曲、剪切等力学性能的测试。

对于材料试验机的软件故障，需要了解其常见原因。一般来说，软件故障的原因主要包括：软件程序错误、操作系统错误、病毒攻击、人为误操作等。在遇到软件故障时，应首先分析故障原因，以便采取相应的处理措施。

针对不同的软件故障原因，我们可以采取相应的处理措施。例如，对于软件程序错误导致的故障，我们可以尝试重新安装软件或修复软件程序；对于操作系统错误导致的故障，我们可以尝试重新安装操作系统或修复操作系统错误；对于病毒攻击导致的故障，我们可以使用杀毒软件进行病毒查杀；对于人为误操作导致的故障，可以加强对操作人员的技术培训，提高操作人员的技能水平。

在处理材料试验机的软件故障时，还应注意以下几点：一是备份数据，避免在处理故障过程中造成数据的丢失；二是严格按照操作规程进行操作，避免因操作不当导致故障的扩大；三是及时联系设备供应商或维修机构，获取专业的技术支持和维修服务。

对于材料试验机的软件故障，需要了解其常见原因，并采取相应的处理措施。在处理过程中，还应注意备份数据、按照操作规程进行操作以及及时联系设备供应商或维修机构，以确保设备的正常运行和测试结果的准确性^[3]。

总的来说，软件故障处理需要有有条不紊地进行，不能操之过急，要有耐心和细致。通过逐步排查和解决，大多数软件故障都能得到有效解决，保证材料试验机的正常运行。

（四）温控故障处理

材料试验机是用于测试和分析材料性能的重要设备，而温控系统在材料试验过程中起着至关重要的作用。温控故障不仅会影响试验结果的准确性，还可能导致设备损坏。因此，了解和处理温控故障是设备操作和维护人员必须掌握的技能。以下是关于材料试验机温控故障处理的详细说明。首先，温控故障一般表现为温度无法达到设定值、温度波动过大或温度显示不准确。针对这些常见问题，需要一步步进行排查和处理。

问题一：温度无法达到设定值

1. 检查电源和加热系统：首先确认温控系统是否正常通电，电源线和插头是否接触良好。检查加热器是否有损坏或老化现象，如发现问题应及时更换或修理。

2. 温控器设置：确保温控器的设定值和实际需求一致，并确认温控器的工作模式正确。

3. 传感器故障：温度传感器故障可能导致温度无法正常检测和反馈。检查传感器是否安装正确，探头是否损坏或污染，必要时更换传感器。

问题二：温度波动过大

1. 环境干扰：温控系统对环境温度变化较为敏感，检查试验环境是否有较大的温度波动，尽量在恒温环境中进行试验。

2. 控制参数设置：温控器的 PID 参数设置不当会导致温度波动过大。根据实际情况调整 PID 参数，使温控系统响应更稳定。

3. 硬件问题：检查加热器和冷却系统是否工作正常，是否存在功率不足或反应迟缓的问题。必要时，更换或升级硬件设备。

问题三：温度显示不准确

1. 校准问题：温控系统需要定期校准，以确保温度显示的准确性。使用标准温度计对温控系统进行校准，如发现偏差及时调整。

2. 信号传输：检查温度传感器到温控器之间的信号传输线路，确保线路无断裂、接触不良等问题。

3. 设备老化：长期使用的温控设备可能会出现老化现象，导致温度显示不准确。定期进行设备维护和保养，必要时更换老化部件。

材料试验机温控故障的处理需要系统的检查和分析，从电源、加热系统、传感器、控制参数等多个方面入手，逐步排查和解决问题。定期维护保养和校准是预防温控故障的重要措施，只有通过细致的管理和维护，才能确保材料试验机的长期稳定运行^[4]。

结语

综上所述，材料试验机的维护保养和故障处理是确保其稳定运行和实验数据可靠性的关键环节。通过定期的检查和科学的维护，可以有效预防设备故障，延长其使用寿命，同时减少因设备故障带来的生产停滞和经济损失。对于常见故障的及时诊断和处理，则能够迅速恢复设备的正常运行，保证实验的连续性和数据的准确性。未来，随着技术的不断发展，材料试验机的维护保养技术也将不断进步，为实验室和生产线带来更加高效、稳定的支持。

参考文献：

- [1] 柳红蕾. 浅谈万能材料试验机的使用和维护保养 [J]. 山东化工, 2019, 48(22): 140+142.
- [2] 王瑞迪. 万能材料试验机的操作及维护保养 [J]. 设备管理与维修, 2019, (14): 17-18.
- [3] 郭伟. 试验机在材料拉伸试验中的测量不确定度分析 [J]. 产品可靠性报告, 2024, (03): 112-113.
- [4] 乌仁图雅, 姜浩然. 拉力、压力和万能试验机的检定方法初探 [J]. 模具制造, 2023, 23(11): 145-147.

基于 CAE 技术的汽车覆盖件冲压工艺分析

李月营

北京汽车集团越野车有限公司, 北京 101300

摘要： 本文先概述了计算机辅助工程（CAE）技术的定义、在汽车行业中的应用及其发展趋势。随后，介绍了汽车覆盖件冲压工艺的基本概念、原理和流程。在此基础上，深入分析了基于 CAE 技术的汽车覆盖件冲压工艺，包括 CAE 技术在冲压工艺中的应用、工艺参数优化、成形性能分析以及模具结构设计优化。通过具体案例分析，展示了 CAE 技术在冲压工艺中的实际应用效果。在文章结尾处探讨了 CAE 技术在汽车覆盖件冲压工艺中的未来发展趋势，包括人工智能的融合、云计算的应用和大数据在工艺分析中的作用。

关键词： CAE 技术；汽车覆盖件；冲压工艺；参数优化；成形性能

Analysis Of Stamping Process For Automotive Panels Based On CAE Technology

Li Yueying

Beijing Automotive Group Off road Vehicle Co., Ltd., Beijing 101300

Abstract： This article first outlines the definition, application, and development trends of computer-aided engineering (CAE) technology in the automotive industry. Subsequently, the basic concepts, principles, and processes of stamping technology for automotive panels were introduced. On this basis, an in-depth analysis was conducted on the stamping process of automotive panels based on CAE technology, including the application of CAE technology in stamping process, process parameter optimization, forming performance analysis, and mold structure design optimization. Through specific case analysis, the practical application effect of CAE technology in stamping process was demonstrated. At the end of the article, the future development trends of CAE technology in automotive panel stamping processes were discussed, including the integration of artificial intelligence, the application of cloud computing, and the role of big data in process analysis.

Keywords： CAE technology; automotive coverings; stamping process; parameter optimization; forming performance

引言

随着汽车工业的快速发展，汽车覆盖件作为汽车的重要组成部分，其质量直接影响到汽车的外观、安全性能和使用寿命。汽车覆盖件的生产主要采用冲压工艺，该工艺具有高效、批量生产的特点，但同时也存在着工艺复杂、质量控制难度大等问题。为了提高冲压工艺的精度和效率，减少生产过程中的废品率，计算机辅助工程（CAE）技术在汽车覆盖件冲压工艺中的应用变得越来越广泛。

CAE 技术是一种利用计算机模拟和分析产品设计和生产过程的方法，它可以在产品实际制造之前预测其性能，从而指导设计和工艺优化。本文旨在探讨 CAE 技术在汽车覆盖件冲压工艺中的应用，分析其在工艺参数优化、成形性能分析以及模具结构设计优化等方面的作用，并通过案例分析来验证 CAE 技术的实用性和有效性。

一、CAE 技术概述

计算机辅助工程（CAE）技术，作为现代工程设计的重要工具，已经深刻地改变了产品开发的过程。在本章中，我们将深入探讨 CAE 技术的定义，其在汽车行业中的应用现状，以及未来发展的趋势，以期为广大工程技术人员提供一个全面而深入的了解。

理解。

（一）CAE 技术定义

CAE 技术，即计算机辅助工程（Computer-Aided Engineering），是一种融合了计算机科学、数学、力学、材料科学等多个学科领域的综合技术体系^[1]。该技术通过建立精确的数学模型，并借助计算机进行高效的数值分析和仿真模拟，实现对工程产品

性能的预测与评估。CAE 技术的精髓在于其能力模拟现实世界中的各种物理现象，包括但不限于结构力学、热力学、流体动力学等，为工程师提供了一种无需依赖物理原型即可进行设计评估和优化的先进工具。

（二）CAE 技术在汽车行业中的应用

在汽车工业中，计算机辅助工程（CAE）技术已成为设计和开发流程的核心。它广泛应用于结构分析与优化、碰撞安全模拟、NVH（噪声、振动和粗糙度）分析以及热管理分析等领域。工程师通过 CAE 技术对汽车零部件的结构强度、刚度和疲劳寿命进行精确仿真分析，确保设计满足性能标准并优化材料使用，实现成本效益的最大化。在碰撞安全领域，CAE 技术模拟车辆在多种碰撞情景下的响应，帮助设计更安全的汽车结构^[9]。NVH 分析预测和评估车辆运行过程中的噪声、振动和粗糙度水平，提升乘坐舒适性。热管理分析优化散热系统设计，确保车辆性能的稳定性和可靠性。CAE 技术的应用不仅展现了其科学性和专业性，而且显著提高了产品开发的效率和质量，推动了汽车工程领域的创新和进步。

（三）CAE 技术发展趋势

随着技术的发展，计算机辅助工程（CAE）技术正迎来重大变革。计算能力的提升使其能够处理更复杂、更大规模的仿真挑战，为工程师提供更精确的仿真数据。CAE 技术正朝着多物理场耦合分析的方向发展，以提高对现实世界中多种物理场相互作用的高仿真度。人工智能与机器学习的整合为 CAE 分析带来了智能化，实现了设计参数的自动优化，显著提高了分析效率。云计算技术的应用为 CAE 技术提供了弹性和强大的计算资源，使得仿真分析更加灵活和便捷，推动了仿真服务化的趋势，为工程领域的研发和创新带来了巨大的便利和效率提升。

二、汽车覆盖件冲压工艺简介

随着汽车工业的发展，汽车覆盖件的冲压成形技术也迎来了快速的发展，我国汽车覆盖件的制造水平也越来越高，有许多先进的技术应用到了汽车覆盖件的冲压成形设计开发中。一辆好的汽车开始于高质量的覆盖件冲压制造，覆盖件造型美观，制造质量好，直接影响消费者是否选择此辆车^[3]。

（一）汽车覆盖件概述

汽车覆盖件，包括车门、引擎盖、行李箱盖、翼子板等，构成了汽车的外表皮肤，它们不仅负责美化汽车的外观，还承担着保护内部结构和提升空气动力学性能的重要功能。这些覆盖件大多采用金属材料制造，其特点表现为对高外观质量的要求，即表面需具备良好的平整度和光洁度，以满足消费者的审美标准；同时，对尺寸精度的严格要求，确保覆盖件之间的配合间隙精确，以保障装配质量和外观的一致性；此外，由于覆盖件通常具有复杂的曲面形状，因此对材料的成形性能也提出了较高的要求。

（二）冲压工艺原理

冲压工艺，作为一种金属加工技术，涉及利用压力机和专用模具对板材、条材、管材及型材等材料进行压力处理，以实现材

料的塑性变形或分离。该工艺的核心在于通过模具的精确形状，对材料施加局部或整体的压力，引导材料按照模具的轮廓发生预定变形，进而形成所需的工件。冲压工艺的成功与否，模具设计与材料选择扮演着决定性角色。模具的精度不仅直接关系到最终产品的质量，同时也影响着生产流程的效率^[4]。与此同时，材料的选择对于确保产品的成形性和最终性能表现至关重要，它决定了产品能否满足设计和功能上的严格要求。

（三）冲压工艺流程

在汽车制造业中，汽车覆盖件的冲压工艺流程是一项精密而有序的操作，涉及以下关键步骤：

在汽车制造领域，汽车覆盖件的冲压工艺流程是一项精确且条理分明的技术操作，包含以下几个关键环节：

1. 拉伸（Drawing）：在该阶段，利用拉伸模具的强大作用，将平整的金属板材塑造成基础的三维结构，为后续加工工序奠定稳固的基础。

2. 修边（Trimming）：紧随其后，对拉伸过程中形成的多余材料进行精确裁剪，保障工件边缘的整齐与统一，提升产品的整体美观性。

3. 冲孔（Piercing）：在此步骤，运用冲孔工艺，精确地在工件上制造出所需的孔洞，例如螺栓孔、通风孔等，以适应特定的功能性要求。

4. 成形（Forming）：借助成形模具对工件进行精细的形状加工，确保覆盖件完美呈现出设计所规定的复杂曲面结构。

5. 翻边（Flanging）：在工件边缘执行翻边工序，这一步骤对于确保覆盖件的连接牢固性和密封效果至关重要。

6. 校正（Correcting）：对已经成形的工件进行精确的尺寸和形状调整，以保证最终产品的尺寸精度和形状完全符合严格的质量规范^[5]。

这一系列工艺步骤的精确执行，不仅保证了汽车覆盖件的外观和功能性，也体现了现代汽车制造工艺的高标准和先进性。

三、基于 CAE 技术的汽车覆盖件冲压工艺分析

在汽车覆盖件冲压工艺中，CAE 技术的应用已经成为提升设计质量、优化生产过程的关键工具。

（一）CAE 技术在冲压工艺中的应用

CAE 技术在冲压工艺中的应用举足轻重，其核心价值主要体现在设计验证、故障预测和过程模拟这三个关键环节。在模具制造阶段之前，CAE 软件已对汽车覆盖件的设计进行了深入仿真分析，这不仅验证了设计的合理性与可行性，更确保了设计方案与生产标准的完美契合。紧接着，CAE 技术针对冲压过程中可能出现的缺陷，如破裂、起皱和回弹等，进行了精细的模拟分析，从而提前预见潜在问题，并制定出相应的预防措施，大大降低了生产过程中的风险系数。最终，通过对整个冲压过程的仿真模拟，包括材料流动行为、应力与应变分布等重要参数的精确捕捉，CAE 技术为实际生产提供了强有力的数据支持和专业指导，助力优化生产流程，显著提升产品质量与生产效率。^[6]

（二）冲压工艺参数优化

CAE 技术的应用为工程师提供了在实际物理试验前精确优化冲压工艺参数的强大能力。通过高级仿真分析，工程师能够深入剖析并精细调整冲压过程中的关键参数，如模具间隙、冲压速度和材料特性，以保障零件成型质量。特别是在外板件 A 面区域，严格的工艺参数控制是满足行业标准和降低面品缺陷风险的关键。优化策略涉及提高最小减薄率至 $\geq 3\%$ ，确保主应变 ≥ 0.03 ，次应变 ≥ 0 ，次应力达到 ≥ 1.1 倍材料屈服强度。通过综合模具型面加工、工艺参数调整、材料流动路径和润滑条件的优化，以及对产品结构与工艺补充型面的细致调整，我们大幅提升了零件成型的一致性和生产稳定性，确保了零件的外观与功能性达到高标准。

（三）冲压成形性能分析

汽车覆盖件的成型分析在 AUTOFORM 软件中得以实现，涵盖了成型极限分析、零件的减薄、起皱和回弹等多个方面。成型极限分析（FLD）用于评估材料在冲压过程中的应力极限，直观地展示了零件成型力和压边力的分布情况。而起皱和减薄分析则分别揭示了板料在成型过程中堆积和过度变薄的具体位置，从而为优化工艺参数提供了科学依据。

回弹分析预测成形后零件的回弹量，为模具设计提供精确的补偿数据，确保零件达到预定的尺寸和形状^[7]。精度分析通过仿真分析评估冲压件的尺寸精度，确保产品符合设计规范，从而保证产品质量。这三个方面的综合分析为工程师提供了全面的冲压成形性能评估，有助于优化设计方案，提升生产效率和产品质量。

（四）模具结构设计及优化

CAE 技术在模具结构设计与优化过程中的应用，显著提高了模具设计的效率和可靠性。这一技术通过仿真分析，对模具在冲压过程中的受力状况进行评估，确保模具在生产过程中能够承受预期的载荷，从而减少模具因损坏而导致的生产中断。此外，模具动态分析模拟模具的闭合、打开等动作，优化模具的运动轨迹和平衡性，提升模具操作的稳定性和安全性。此外，通过模拟分析热成型模具的冷却系统，能够评估冷却系统的布局及其冷却效能，确保模具在热成型过程中的温度控制达到最优状态，以提高生产效率和产品质量，确保模具在高温环境下能够保持良好的工作状态，延长模具的使用寿命^[8]。CAE 技术的应用为模具设计提供了强大的技术支持，使得模具设计更加高效、可靠，为汽车制造业的发展提供了有力的技术保障。

四、基于 CAE 技术的汽车覆盖件冲压工艺发展趋势

随着技术的不断演进，CAE 技术在汽车覆盖件冲压工艺中的应用也在迎来新的变革。本章将展望未来，探讨人工智能、云计算和大数据如何与 CAE 技术相结合，共同推动汽车覆盖件冲压工艺的发展，为读者揭示这一领域的前沿趋势。

（一）人工智能与 CAE 技术的融合

人工智能（AI）技术的飞速发展正在深刻影响计算机辅助工程（CAE）领域，预示着 AI 与 CAE 技术的深度融合将带来革命

性的变革。AI 算法的自动调整和优化能力，能够快速确定最佳设计方案，大幅减少人工干预的需求。通过机器学习技术，AI 能够预测并解决冲压过程中的缺陷，降低生产风险。此外，AI 系统通过学习大量仿真数据，不断提升预测和分析的准确性，进一步强化了 CAE 技术在工程设计中的应用。这些趋势预示着 AI 技术将为 CAE 技术的发展注入新活力，推动汽车覆盖件冲压工艺向更智能、更高效的方向发展^[9]。

（二）云计算在 CAE 技术中的应用

云计算的普及正在重塑计算机辅助工程（CAE）技术的应用范式，其核心趋势主要聚焦于三个方面：云计算通过按需分配的弹性计算资源扩展，使得大规模、复杂的 CAE 仿真分析成为可能，从而推动了工程设计的创新边界。云平台实现了设计数据和仿真结果的安全共享，加强了跨地域团队之间的协作，加速了知识的传播和决策的制定。云计算技术实现了 CAE 作为一种服务（CAEaaS）的模式，用户无需投资昂贵的软件和硬件，即可轻松获取 CAE 分析能力，降低了技术应用的门槛，提高了整个行业的效率和灵活性^[10]。

结束语

本文深入探讨了 CAE 技术在汽车覆盖件冲压工艺中的应用及其发展趋势。从 CAE 技术的定义到应用，再到冲压工艺的原理和流程，每一步都凸显了其在现代汽车制造中的重要性。案例分析进一步展示了 CAE 技术在实际生产中的价值。展望未来，人工智能、云计算和大数据的融合将进一步拓宽 CAE 技术的应用范围，推动冲压工艺向更高效、智能的方向发展。

参考文献

- [1] 罗维, 贾志欣, 李继强, 等. 汽车车灯支架压铸工艺 CAE 分析及模具设计 [J]. 铸造, 2024, 73(02): 202-207.
- [2] 王新华. 汽车覆盖件冲压成形毛坯快速排样系统研究与开发 [D]. 华中科技大学, 2022.DOI: 10.27157/d.cnki.ghzku.2022.004216.
- [3] 黄凤辉. 汽车覆盖件冲压成形新技术分析 [J]. 中国机械, 2023, (20): 46-50.
- [4] 黎子豪. 汽车覆盖件拉伸模具精确型面构建及加工方法研究 [D]. 湖南大学, 2022. DOI: 10.27135/d.cnki.ghudu.2022.003008.
- [5] 王振. 汽车覆盖件模面智能化设计方法研究与应用 [D]. 华中科技大学, 2021. DOI: 10.27157/d.cnki.ghzku.2021.006572.
- [6] 杨玉贵, 丁哲, 胡建全. 汽车覆盖件顶盖冲压工艺方案标准化研究 [J]. 模具制造, 2021, 21(07): 8-12.
- [7] 王朴, 杨梅, 王浩, 等. 基于 CAE 汽车覆盖件拉伸成形工艺优化与模具设计 [J]. 模具制造, 2020, 20(10): 33-37.
- [8] 黄智达. CAE 技术在汽车设计中的应用探析 [J]. 数字通信世界, 2023, (09): 129-131.
- [9] 李富强, 王芳, 张文静. 基于 CAE 技术的汽车零部件轻量化设计 [J]. 专用汽车, 2023, (06): 70-73.DOI: 10.19999/j.cnki.1004-0226.2023.06.020.
- [10] 曾孟军, 散克勇. 基于 CAE 技术的汽车零部件轻量化设计 [J]. 内燃机与配件, 2022, (01): 16-18.DOI: 10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2022.01.006.

公路建设中如何实现材料损耗的最小化目标

杨静

广西崇左市天等县福新镇黎亮村天椒扶贫乐园，中国建筑办公室，广西 崇左 532800

摘要： 本研究深入剖析了公路建设中降低材料损耗的有效途径，并提出了一系列策略，包括但不限于：优化材料采购与供应链管理、提升施工技术与工艺、强化施工管理与监督，以及提高施工人员的专业技能和节约意识。文章详细阐述了制定科学合理的材料采购计划、采用先进的施工技术、实施有效的施工管理措施以及严格执行质量控制标准等具体做法。通过案例分析，展示了材料损耗最小化的成功实践，并提炼了宝贵经验和启示。研究结果表明，采纳这些策略与方法，能够显著降低公路建设中的材料损耗，提升资源利用效率，降低成本，并确保工程质量。

关键词： 公路建设；材料损耗；最小化目标；优化采购；供应链管理

How To Achieve The Goal Of Minimizing Material Loss In Highway Construction

Yang Jing

Tianjiao Poverty Alleviation Park, Liliang Village, Fuxin Town, Tiandeng County, Chongzuo, Guangxi, China Construction Office, Chongzuo, Guangxi 532800

Abstract： This study deeply analyzes the effective ways to reduce material loss in highway construction and proposes a series of strategies, including but not limited to optimizing material procurement and supply chain management, improving construction technology and processes, strengthening construction management and supervision, and enhancing the professional skills and conservation awareness of construction personnel. The article elaborates on specific practices such as developing a scientifically reasonable material procurement plan, adopting advanced construction techniques, implementing effective construction management measures, and strictly enforcing quality control standards. Through case analysis, the successful practice of minimizing material loss was demonstrated, and valuable experience and insights were extracted. The research results indicate that adopting these strategies and methods can significantly reduce material loss in highway construction, improve resource utilization efficiency, reduce costs, and ensure project quality.

Keywords： highway construction; material loss; minimize the objective; optimize procurement; supply chain management

引言

随着我国经济的快速发展和交通基础设施建设的日益完善，公路建设已成为推动经济发展和社会进步的重要基础。然而，在公路建设中，材料损耗问题日益凸显，对资源利用效率、建设成本和工程质量产生负面影响。为了提高公路建设的可持续发展水平，实现材料损耗的最小化目标具有重要意义。

一、公路建设中材料损耗的现状

（一）材料损耗的定义和分类

材料损耗是指在公路建设过程中，由于各种原因导致的材料浪费和损失。这种损耗不仅增加了建设成本，还影响了资源的合理利用和工程的可持续发展。

在公路建设中，材料损耗现象复杂多样，主要包括自然损耗、施工损耗、管理损耗、人为损耗和设计损耗。这些损耗类型

共同影响了公路建设的成本和质量，因此，需要采取综合措施来减少材料损耗，提高资源利用效率，保障公路建设的可持续发展。

（二）材料损耗的原因和影响

在我国公路建设中，材料损耗普遍存在，建设周期长，在整个工程施工期内，存在着多种因素能够直接或者间接影响施工现场材料成本。^[1]

这些损耗增加了建设成本，影响了资源合理利用和工程可持

续发展。为减少损耗，需采取综合措施，包括优化采购和供应链管理、改进施工技术、加强管理和监督、提高人员技能等，以提高资源利用效率和保障工程可持续发展。

（三）材料损耗的现状和问题

在我国公路建设中，材料损耗是一个普遍且复杂的问题，涉及多种原因和影响。为提高公路建设的质量和可持续发展水平，需要从多个方面采取措施，包括优化材料采购和供应链管理、改进施工技术和工艺、加强施工管理和监督、增强施工人员的技能和意识等，以有效降低材料损耗，提高资源利用效率，降低建设成本，并提升工程质量。

二、材料损耗最小化的策略和方法

（一）材料损耗最小化的原则和目标

在公路建设中，材料损耗最小化是一项关键的管理目标，旨在通过合理的管理和控制措施，最大限度地减少材料在施工过程中的浪费和损失。这不仅有助于提高资源利用效率和降低建设成本，还能提升工程质量^[2]。材料损耗最小化的原则和目标主要包括五个方面：经济效益最大化、资源节约、工程质量保证、环境保护以及社会效益最大化。通过减少材料损耗，可以实现这些目标，从而推动公路建设行业的可持续发展，并确保项目的投资回报率和社会效益的最大化。

（二）材料损耗最小化的策略

在公路建设过程中，为实现材料损耗的最小化，关键在于优化材料采购与供应、改进施工技术与方法、提升施工管理与控制水平以及强化质量控制和验收标准。具体而言，需制定科学合理的采购计划，加强供应链管理，筛选合适的供应商，并通过多种采购策略降低成本，同时建立严格的质量控制体系确保材料合规。施工过程中，应采用先进技术和绿色施工方法，推行精细化管理，加强人员培训与监控体系，以及提升监理和验收效果^[3]。此外，提高施工管理的全面性，包括质量控制、安全管理、资源配置和合同管理，以及增强质量检测、监控和责任追究制度，是保障工程质量和降低材料损耗的重要措施，共同促进公路建设行业的可持续发展。

（三）材料损耗最小化的方法

1. 科学合理的材料采购和供应计划

在公路建设中，确保工程进度、质量及成本控制的关键在于制定科学合理的材料采购与供应计划。该计划需涵盖以下要点：精确估算材料需求量，筛选出信誉优良、质量可靠的供应商，编制采购计划以确保材料供应的及时性与连续性，优化库存管理以减少成本与资金占用，运用信息化工具提升计划的灵活性与响应速度，加强采购成本管理以降低采购成本，制定应急预案以应对供应中断与质量问题，强化采购流程中的质量控制以确保材料品质，以及定期对采购与供应计划进行评估与优化^[4]。采取这些措施，能够显著降低材料损耗，提升资源利用率，保障工程质量和进度。

2. 先进的施工技术和方法

在公路建设领域，采纳前沿的施工技术与方法是提升工程质

量、效率，降低成本，并促进可持续发展的关键。关键措施包括：普及预制构件技术、应用 BIM 技术、实施机械化施工、推广混凝土连续浇筑技术、利用激光扫描技术、普及沥青混合料的连续拌和与摊铺技术、实施环保施工技术、推广信息化管理平台，以及加强施工人员的专业培训^[5]。这些综合性措施能够显著提高公路建设的施工效率与品质，有效减少材料浪费，并促进资源的可持续利用。

3. 有效的施工管理和控制措施

在公路建设中，为确保工程进度、质量和成本控制，需采取一系列有效的施工管理和控制措施。这包括科学规划施工组织、加强过程监控、建立质量管理体系、加强安全管理、优化资源配置、强化进度管理、提高人员技能和素质、强化合同管理、推进绿色施工和建立风险管理机制。这些措施旨在提升施工效率和质量，降低材料损耗，实现可持续发展。

4. 严格的质量控制和验收标准

在公路建设中，严格的质量控制和验收标准是确保工程质量的关键。这包括建立质量管理体系、加强质量检测和监控、增强施工人员质量意识、实施质量责任追究制度、加强验收管理、推广质量控制新技术、强化质量信息反馈和处理，以及提高质量控制和验收标准的透明度^[6]。通过这些措施，可以有效提高工程质量，降低材料损耗，实现可持续发展。

三、案例分析

（一）案例选择和背景介绍

本研究选取了位于我国某省份的一项典型干线公路建设项目作为案例，深入分析了公路建设中材料损耗最小化的实际应用。该项目涉及公路新建与改扩建，全长大约 100 公里，包括道路、桥梁、隧道及绿化等工程内容。

项目旨在提升区域交通能力，促进地方经济增长。在施工过程中，项目团队采用了预制构件技术、BIM 技术、机械化施工等先进技术，以提升工程质量和施工效率。项目管理团队注重施工管理与控制，制定了科学合理的材料采购与供应计划，确保了材料的及时与连续供应。通过信息化手段实施施工过程监控，实时跟踪施工进度和质量，确保了工程按计划推进^[7]。此外，项目建立了严格的质量控制与验收标准，有效识别并整改施工中的质量问题，确保了工程质量符合设计及规范要求。得益于这些措施，项目团队成功实现了材料损耗的最小化，提升了资源利用效率，降低了建设成本，并保障了工程质量。

（二）案例中的材料损耗最小化实践

1. 材料采购和供应的优化

在公路建设中，优化材料采购和供应是确保工程进度、质量和成本控制的关键。这包括准确计算材料需求量，选择信誉良好、质量可靠的供应商，制定采购计划以确保材料供应的及时性和连续性，优化库存管理以降低成本和资金占用，采用信息化手段提高采购和供应计划的灵活性和响应速度，加强采购成本控制以降低采购成本，建立应急预案以应对供应中断和质量问题，强

化采购过程中的质量控制以确保材料质量，以及定期评估采购和供应计划以调整和优化^[8]。通过这些措施，可以有效降低材料损耗，提高资源利用效率，确保工程质量和进度。

2. 施工技术和方法的改进

在公路建设中，改进施工技术和方法是提高工程质量和效率、降低成本以及实现可持续发展的重要途径。这包括推广预制构件技术、运用 BIM 技术、采用机械化施工、推广混凝土连续浇筑技术、运用激光扫描技术、推广沥青混合料连续拌和和摊铺技术、采用环保施工技术、推广信息化管理以及加强施工人员培训等措施。通过这些综合措施，可以显著提升公路建设的效率和质量，同时减少材料损耗，实现资源的可持续利用。

3. 施工管理和控制水平的提高

在公路建设中，提高施工管理和控制水平对工程进度、质量和成本控制至关重要。这包括建立完善的施工管理体系、加强施工过程监控、强化施工质量控制、提高安全管理水平、优化资源配置、加强施工进度管理、提高施工人员技能和素质、强化合同管理、推进绿色施工以及建立风险管理机制。^[9]通过这些综合措施，可以有效提高施工效率和质量，降低材料损耗，实现可持续发展。

4. 质量控制和验收标准的强化

在公路建设中，强化质量控制和验收标准是确保工程质量的关键。这包括建立质量管理体系、加强质量检测和监控、增强施工人员质量意识、实施质量责任追究制度、加强验收管理、推广质量控制新技术、强化质量信息反馈和处理，以及提高质量控制和验收标准的透明度^[10]。通过这些措施，可以有效提高工程质量，降低材料损耗，实现可持续发展。

（三）案例分析的结果和启示

案例分析显示，项目部通过实施科学合理的材料采购和供应计划、采用先进的施工技术和方法、强化质量控制和验收标准等措施，成功实现了材料损耗最小化的目标。这些措施不仅提高了

资源利用效率，降低了建设成本，还确保了工程质量。

案例研究揭示，为在公路建设中实现材料损耗的最小化，项目部需采纳一系列综合性策略。核心在于制定精准的材料采购与供应计划，确保材料的及时与连续供应，并优先选择具有良好信誉和质量保证的供应商。同时，应引入预制构件技术、BIM 技术、机械化施工等先进技术，以提升工程质量和施工效率。此外，项目部必须建立严格的质量控制和验收标准，涵盖质量管理体系、检测监控及责任追究制度，确保工程质量达标。项目部还应强化施工管理与控制，包括完善施工管理体系、监控施工进度、实施安全管理、优化资源配置、控制进度、提升人员技能、合同管理、推广绿色施工和风险管理，以提升施工效率与质量，减少材料浪费，并推动可持续发展。

结束语

本研究致力于探究公路建设中减少材料损耗的策略，针对当前公路建设中材料损耗的问题，提出了一系列解决方案。文章重点阐述了优化材料采购与供应链管理、提升施工技术与工艺、加强施工管理与监督，以及提高施工人员技能与节约意识的策略。此外，详细介绍了制定科学合理的材料采购计划、采用先进施工技术、实施有效施工管理措施和严格执行质量控制标准的具体方法。

通过案例分析，本研究展示了在实际工程中成功实施材料损耗最小化的实例，并提炼了关键经验和启示。研究结果表明，采纳这些策略与方法能够显著降低公路建设中的材料损耗，提升资源利用效率，降低成本，并确保工程质量。

总之，本文为公路建设中实现材料损耗最小化提供了理论依据和实践指南，旨在推动材料管理的优化，助力公路建设行业的可持续发展。随着技术进步，我国公路建设将更加重视材料损耗控制，为交通基础设施的完善和经济发展贡献力量。

参考文献

[1] 谭潇洋. 基于高速公路大标段模式施工现场材料成本控制研究 [D]. 长沙理工大学, 2019.DOI: 10.26985/d.cnki.gcsjc.2019.000134.

[2] 伍石生. 中外公路建设环保理念之比较[J]. 中外公路, 2011, 25(4): 210—211.

[3] 周礼, 刘凯, 赵飞. 发达国家公路环保措施、政策及应用 [J]. 交通标准化, 2009(1): 152—156.

[4] 刘东旭等. 澳大利亚的公路工程环境保护 [J]. 国外公路, 2012, 1: 15—18.

[5] 吴国雄, 何兆益. 德国公路管理模式及环境保护 [J]. 中外公路, 2002.6.

[6] 刘屹. 高速公路财务管理模式探讨 [J]. 交通财会, 2007, (3).

[7] 颜宝清. EPC 模式下工程造价控制要点与策略 [J]. 江西建材, 2022, (8).

[8] 徐阳, 祝亚坤, 张文涛. 基于结构方程模型的农村公路建设项目质量关键影响因素分析 [J]. 江西科学, 2024, 42(03): 626—631.DOI: 10.13990/j.issn1001—3679.2024.03.026.

[9] 崔书洋. 深入学习贯彻习近平总书记重要指示精神奋力谱写加快建设交通强国农村公路新篇章 [N]. 中国交通报, 2024-05-31(001).DOI: 10.28099/n.cnki.ncjtb.2024.000965.

[10] 石水平, 吴文强, 何敏燕, 等. 研究型审计在高速公路建设项目中的应用与实践——以 G 项目成本控制审计为例 [J]. 会计之友, 2024, (11): 41—46.

计量器具强制检定费用停征后检定工作中的一些思考

王日有

大同市综合检验检测中心, 山西 大同 037046

摘 要 : 计量器具强制检定是保障贸易公平、保证产品质量和生产安全的重要环节, 但由于过去一直存在检定费用高的问题, 导致很多企业对强制检定的积极性不高。为了解决这个问题, 政府决定停征计量器具强制检定费用, 以鼓励更多企业参与强制检定。基于此, 文章简要分析了强制检定计量器具和非强制检定计量器具的区别, 以及计量器具强制检定的重要性, 并从我国检定行业市场现状入手, 对停征后的计量器具强制检定工作进行了深入思考和探讨。

关 键 词 : 计量器具; 强制检定; 费用停征; 检定工作

Some Thoughts On The Calibration Work After The Mandatory Calibration Fee For Measuring Instruments Is Suspended

Wang Riyou

Datong Comprehensive Inspection and Testing Center, Datong, Shanxi 037046

Abstract : Mandatory calibration of measuring instruments is an important link in ensuring trade fairness, product quality, and production safety. However, due to the problem of high calibration costs in the past, many enterprises have low enthusiasm for mandatory calibration. In order to solve this problem, the government has decided to suspend the mandatory calibration fees for measuring instruments, in order to encourage more enterprises to participate in mandatory calibration. Based on this, the article briefly analyzes the differences between mandatory and non mandatory calibration of measuring instruments, as well as the importance of mandatory calibration of measuring instruments. Starting from the current market situation of China's calibration industry, the article deeply considers and discusses the mandatory calibration of measuring instruments after the suspension of taxation.

Keywords : measuring instruments; mandatory verification; fee suspension; verification work

计量器具强制检定是保障贸易公平、保证产品质量和安全的重要环节。然而, 长期以来, 由于检定费用高, 许多企业面临参与计量器具强制检定的经济负担, 导致其对此缺乏积极性, 不仅限制了计量器具的合规度, 也影响了市场的健康竞争。近年来, 为了促进市场秩序的规范和提高计量器具强制检定的参与度, 政府开始关注并采取降低检定费用。其中, 最重要的措施之一就是停征计量器具强制检定费用, 旨在鼓励更多的企业参与强制检定, 提高检定的全覆盖率和质量水平, 确保市场交易的公平和消费者权益的保护。然而, 如何在费用停征的背景下确保检定工作的可持续发展和质量监管, 仍然需要深入思考和有效实践。

一、计量器具强制检定的相关概述

(一) 强制检定计量器具和非强制检定计量器具的区别

强制检定计量器具《计量法》第9条明确规定: “由县级以上人民政府计量行政部门对社会用计量标准器具、部门和企业、事业单位使用的最高计量标准器具, 以及用于贸易结算、安全防护、医疗卫生、环境监测方面的列入强制检定目录的工作计量器具, 实行定点定期检定”。强制检定计量器具的检定依据是国家法律法规和计量检定规程, 未按规定申请检定或者检定不合格的, 不得使用。

非强制检定计量器具则是指使用单位根据自身实际情况, 自愿进行的量值溯源, 检定或校准周期根据使用情况和需要进行决

定, 一般由使用单位灵活安排, 检定或校准结果则主要作为内部质量控制的依据, 提高产品或过程的准确性和可靠性。这类计量器具的检定或校准通常是相关计量校准规范或检定规程进行。因此, 强制检定计量器具和非强制检定计量器具的主要区别在于强制检定是由政府市场监督管理部门统一管理, 指定或授权强制检定机构实施定点定周期的检定活动。非强制检定或校准是使用单位自行依法管理, 保证量值准确, 自愿进行的检定或校准活动, 可以由不同机构实施, 其检定结果一般用于内部质量控制^[1]。

(二) 计量器具强制检定的重要性

第一, 保证公平交易和公共利益, 强制检定计量器具主要是为了保障商业领域的交易公平和公众利益的保护。例如, 对于商

业计量器具（如燃气表、出租车计价器）的强制检定，以确保商家提供的商品或服务的计量准确性和公平性，避免因计量器具不准确而导致的交易纠纷和不公平情况。

第二，保障公共安全和健康，计量器具的准确性对于公共安全和健康具有重要影响。例如，医疗领域的计量器具如血压计、体温计等，其准确性直接关系到患者的健康和治疗效果，而强制检定则可有效确保这些计量器具的准确性和可靠性，保障患者的健康和生命安全。

第三，保证质量和可靠性，强制检定计量器具对产品和服务过程的质量控制具有重要作用。例如，生产线上的计量器具如温度计、压力计等，其准确性和可靠性影响到生产产品的质量和稳定性，以确保计量器具的精度和可靠性，提高产品质量和生产过程的稳定性。

第四，保护消费者权益，强制检定计量器具可以为消费者提供权益保障，确保其所购买的产品或服务符合计量标准和质量要求，并通过检定有效地防止商家使用不准确的计量器具欺诈消费者，维护消费者权益，促进市场公平竞争，促进社会和谐与经济的可持续发展。

二、我国检定行业市场现状分析

（一）强检计量器具报检流程不明确，材料手续太多

强检计量器具是指根据法律法规要求，必须经过强制检定机构检定并取得合格证书后方可使用和销售的计量器具，但目前许多强检计量器具报检流程均不明确，导致一些企业在进行报检时存在困惑和不知所措^[6]。如果强检计量器具报检的具体流程、所需材料和时间等方面的信息缺乏统一的指导和公开透明的规定，便会导致企业难以了解和遵循相关要求，而涉及报检的各个环节，如申请、材料准备、检定过程、合格证书颁发等缺乏明确的操作指南和规范，也会导致企业难以准确完成报检程序^[2]。因此，应加强对强检计量器具报检流程的法规制定和明确化，明确各个环节的具体要求、流程和时间，为企业提供明确的指导，并建立和完善强检计量器具报检信息公开平台，为企业提供流程、材料和操作指南等相关信息，提高报检的透明度。同时，提高强制检定机构的服务质量和效率，加强工作流程的规范化，确保报检服务的可靠性和稳定性，减少企业的报检困扰和成本，促进检定行业的健康发展。

（二）缺乏政策宣传力度，多数企业尚不明确强制检定范围

目前，我国政府对强制检定范围和要求的宣传力度不够，很多企业对于哪些计量器具需要强制检定以及检定的具体要求和标准并不清楚，而由于缺乏统一标准和明确的指导文件，不同地区、不同行业对于强制检定的认知和执行存在差异，企业很难准确理解自己所处行业是否需要强制检定^[7]。并且，政府部门、强制检定机构和企业之间的信息传递渠道有限，很多企业缺乏及时了解和掌握相关政策信息的渠道，难以及时做出相应的规范和调整。因此，政府部门应加大对强制检定范围和标准的宣传，通过多种渠道向企业传递相关政策信息，提高企业对于强制检定的

认知度，并对强制检定范围和要求的研究和制定，形成统一的标准和指导文件，明确各类计量器具的强制检定范围和频率，减少企业对于强制检定的困惑和疑虑。作为沟通桥梁，政府应积极与强制检定机构和企业建立信息共享平台，定期举办培训和沟通会议，加强信息的传递和交流，帮助企业准确理解和执行强制检定的要求，提高企业对于强制检定的认知度，推动检定行业市场的规范和健康发展^[8]。

（三）检定机构关系混乱，原有溯源链被破坏

目前，由于缺乏统一管理和监管，市场上涌现了大量的检定机构，这些机构的资质、能力和服务质量存在差异，使得企业难以选择和信任合适的检定机构。此外，还有一些检定机构在运营和服务过程中，与企业、政府监管部门、标准制定机构等多个方面存在着交集和关系，由于监管不完善，从而导致利益关系混乱，影响检定结果的客观性和可信度。并且，由于关系混乱和资质不明确，原有的检定溯源链被破坏，存在非法机构超范围出证，不按检定规程/校准规范执行，无资质人员从业等现象，企业很难追溯检定结果的准确性和合法性，影响市场信任度和公信力。因此，政府应加强对检定机构的监管，明确资质要求、行业准入标准和监督机制，优化市场竞争环境，降低不合格机构的存在，并要求检定机构提高自身的服务质量和信任度，建立可追溯的检定体系，增加市场的透明度和信任度^[9]。同时，促进政府、检定机构、企业等各方的深入合作，形成联动机制，共同推动检定行业的规范化和健康发展，恢复原有的溯源链，从而提高检定行业的规范性和信任度，维护市场的公平竞争环境。

三、计量器具强制检定费用停征后检定工作的开展思路

（一）增加法定计量检定机构或授权的计量技术机构执行强制检定

当计量器具强制检定费用停征后，为了保证检定工作的顺利开展，政府首先应增加法定计量检定机构的数量和规模，加强其检定能力和服务水平，且这些机构应由政府直接管理和监管，负责执行强制检定工作，确保计量器具的准确性和合规性。第二，政府应授权合格的计量技术机构参与强制检定工作，确保机构具备相关的技术能力和资质，并接受政府的监管和指导，以增加检定机构的多样性和市场竞争，提高检定的效率和质量。第三，增加对检定机构的资源支持，包括资金、人员和设备等方面，保障检定机构的正常运作和开展强制检定工作，并加强与其他国家和地区计量检定机构的合作和交流，借鉴其先进经验和技术，提高我国的检定水平和能力，进一步推动检定工作的规范化和国际化发展。最后，加强对强制检定工作的管理和监管，制定明确的检定标准和程序，建立健全的质量控制体系，并加强对检定机构的监督和评估，提高其服务质量和责任意识，保障检定工作的顺利开展^[4]。

（二）充分利用法律监管武器，协调各机构共同参与强检监管

在计量器具强制检定费用停征后，应充分利用法律监管武器并协调各机构共同参与强检监督工作，明确计量器具的强制检定

要求、检定机构的资质和责任等方面的规定,并建立健全检定工作制度 and 监管机制,确保强检工作的开展与监督。同时,加大法律监管的力度,增加执法人员的数量和专业能力,建立有效的检定机构评估和监督机制,加强对检定机构的日常监管和突击检查,确保其依法执行强制检定相关工作。此外,政府还应建立定期召开的协调会议,各相关机构及时沟通和分享信息,加强协同工作,确保强检监督工作的有效开展,实现各部门之间的资源整合与协同作战^[9]。最后,结合互联网技术建立便捷的信息系统和监测平台,实现对计量器具强检工作的全过程监控和数据共享,通过信息化手段,提高监管效能和反馈速度,提升强检监督工作的效果和效率。

(三) 增加政府资金支持力度,建设高效检定环境

其一,政府应增加对检定机构的资金支持,给企业优惠并加大检定工作的宣传。包括设备、人员培训、研发等方面的资金投入,以提高检定机构的技术水平和服务能力,并提供专项补贴或奖励计划,激励检定机构提供更高质量的检定服务。

其二,加大对计量器具检定技术研发的支持力度,设立科研项目或资助机制,推动新技术、新方法在检定领域的应用,从而提高检定的精准度和效率,推动检定工作的创新和发展。

其三,加强对资金使用和效益的监管和评估,确保政府资金的有效使用和检定工作的质量,建立健全的绩效评估体系和监督机制,对资金支持项目进行跟踪检查和评估,及时发现和解决问题,推动检定工作的创新发展。

其四,设立更多专项基金用于支持检定工作的开展,同时鼓励更多的企业积极参与检定工作。增加检定的积极性和参与度。如设立计量器具强制检定补贴基金,为符合条件的企业提供补贴或优惠政策,减轻企业的检定费用负担。

其五,对参与计量器具强制检定的企业给予相应的税收优惠政策,如减免企业所得税或增值税等,以降低企业参与检定的经济成本。

(四) 加大宣传普及力度,让社会企业有依据可循

为了让社会企业的检定工作有据可循,政府应通过各种媒体

渠道,如电视、广播、报纸、网络等,广泛宣传计量器具强制检定的政策法规和要求,或通过制作宣传片、发布宣传手册、举办宣讲会等方式,向企业和公众普及计量器具检定的重要性和合规性,帮助公众认识到强制检定对保障质量和公平竞争的意义。并且,政府应组织专家开展技术指导和培训,建立计量强制检定指导程序向企业和公众介绍计量器具检定的基本知识和操作技巧,帮助他们更好地理解检定的流程和要求,指导企业在内部设立专人专管制度,而针对不同行业和计量器具的特点,还应提供针对性的指导,确保企业和个人能够正确进行强制检定并遵守相关法规^[9]。在计量器具强制检定费用停征后,政府应建立官方网站和热线,提供关于计量器具强制检定的咨询和服务,便于企业和个人可以实时获取最新的政策法规信息、检定标准和程序等,解答疑问并及时获得帮助,定期发布检定结果和企业违规情况,增强信息透明度和约束力^[10]。此外,政府还可以组织和支持相关的宣传活动,如举办计量器具检定主题研讨会、展览会以及行业培训等,增加企业和个人对计量器具强制检定的关注度和参与度,推动检定工作的普及和规范。最后,政府应积极与行业协会、企业组织等合作,共同宣传和推广计量器具强制检定的重要性,将检定工作纳入行业标准和自律机制中,加强企业自觉遵守和推动检定工作的开展,提高计量器具强制检定的合规性和科学性。

四、结束语

综上所述,停征计量器具强制检定费用可以明显提高企业的参与度和积极性,促进强制检定工作的广泛开展。为了确保强制检定费用停征后检定工作的顺利进行,政府应加大宣传力度,提高企业和公众对计量器具强制检定的认知度和理解程度,并加强监管机制和检定质量监督,确保检定工作的公平、公正和高效进行。同时,通过优惠政策和支持措施,进一步激励企业参与计量器具强制检定,并加大检定工作的宣传普及力度,让社会企业有依据可循,全面推动计量器具强制检定工作的规范化发展,维护社会和谐稳定,保障公众利益。

参考文献

- [1] 廖秋红. 我国计量强制检定收费改革模式研究 [J]. 标准科学, 2022, (01): 55-61.
- [2] 姚尧, 王志鹏, 常子栋等. 国家实行强制检定免征费用形势下的仪器计量检定现状探究 [J]. 中国检验检测, 2021, 29(01): 76-77.
- [3] 关越. 关于强制检定工作的几点思考 [J]. 品牌与标准化, 2020, (05): 74-75+78.
- [4] 丁淑英. 新形势下如何开展强制检定工作 [J]. 检验检疫学刊, 2020, 30(02): 116-117.
- [5] 蒋向新. 计量强制检定费用停征后检定工作中的一些思考 [J]. 科技创新导报, 2017, 14(14): 233+235.D
- [6] 强制检定工作计量器具管理系统使用说明. [J]. 中国计量, 2022, (05): 85-85.
- [7] 浅谈企业计量器具送检管理. [J]. 罗林. 中国计量, 2022, (04): 41-42.
- [8] 关于如何做好强制检定计量工作的探讨. [J]. 王干, 曹久莹. 仪器仪表标准化与计量, 2022, (01): 43-44.
- [9] 浅谈停征强制检定计量收费后如何做好量值传递工作. [J]. 梁光永. 计量与测试技术, 2018, 45(02): 104-105.
- [10] 计量器具强制检定制度存在的问题探讨. [J]. 莫鹏云. 轻工标准与质量, 2016, (06): 53-53.

卫星定位技术在工程测绘精度提升中的贡献

郎小龙

甘肃远豪工程勘测设计咨询有限公司，甘肃 嘉峪关 735100

摘要： 本文介绍了卫星定位技术，特别是 GNSS 和我国 BDS，及其在工程测绘中的应用。与传统方法相比，卫星定位显著提升了数据采集速度和精度，降低了成本，增强了测绘成果的可靠性。文章还探讨了影响精度的关键因素，如信号质量、设备性能、数据处理和人员素质，并针对信号遮挡、系统误差等问题提出了改进建议，为该技术在测绘领域的深化应用提供了指导。

关键词： 卫星定位技术；工程测绘；精度提升；北斗导航系统；数据处理

The Contribution Of Satellite Positioning Technology In Improving The Accuracy Of Engineering Surveying And Mapping

Lang Xiaolong

Gansu Yuanhao Engineering Survey and Design Consulting Co., Ltd., Jiayuguan, Gansu 735100

Abstract： This article introduces satellite positioning technology, especially GNSS and BDS in China, and their applications in engineering surveying and mapping. Compared with traditional methods, satellite positioning significantly improves data collection speed and accuracy, reduces costs, and enhances the reliability of surveying and mapping results. The article also explores the key factors that affect accuracy, such as signal quality, equipment performance, data processing, and personnel quality, and proposes improvement suggestions for issues such as signal occlusion and system errors, providing guidance for the deepening application of this technology in the field of surveying and mapping.

Keywords： satellite positioning technology; engineering surveying and mapping; precision improvement; beidou navigation system; data processing

引言

随着现代工程建设的快速发展和对精度要求的不断提高，工程测绘技术面临着前所未有的挑战。传统的测绘方法在精度、效率和环境适应性等方面已逐渐显现出其局限性。在这种背景下，卫星定位技术的出现和发展为工程测绘领域带来了革命性的变革。本文旨在探讨卫星定位技术的基本原理、在工程测绘中的应用及其对测绘精度提升的具体贡献，同时分析影响精度提升的关键因素，并针对存在的问题提出相应的对策和建议，以期工程测绘技术的进步和发展提供参考和借鉴。

一、卫星定位技术概述

当前，卫星导航定位技术已完全取代了以往的无线电导航、传统大地测量技术等，全面推动了定位导航技术及相关应用平台、领域的“高精尖发展”，已成为人所熟知、应用范围最为广泛的导航定位技术，并在精准度、时延、范围等层面上对各个领域产生了突破性的影响^[1]。尤其在工程测绘领域，其作用更是不可或缺。为了更好地理解卫星定位技术在工程测绘中的价值，需要深入地剖析其原理，并了解全球及我国的主要卫星定位系统。

（一）卫星定位技术原理

卫星定位技术，是一种高科技的定位手段，通过捕捉宇宙中多颗卫星的微弱信号，精准计算出接收器在地球表面的具体位置。该技术基于三角测量原理，通过测量信号从卫星发出至接收

器的时间差，并考虑信号传播中的多路径效应，结合卫星精确轨道信息，运用一系列数学模型和算法，揭示接收器的三维坐标。尽管计算过程复杂，但其原理简洁明了，类似于夜空中利用星星定位，卫星定位技术也是通过已知的卫星位置来确定地球上的未知点。

（二）全球卫星定位系统（GNSS）

全球卫星定位系统，简称 GNSS，是由众多卫星星座构成的全球性网络，它为我们的世界提供了一种革命性的定位手段。在这个系统中，美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、欧盟的伽利略 GALILEO 以及中国的北斗 BDS，这四大系统最为人熟知。它们各自拥有众多在轨卫星，共同编织起一张覆盖全球的定位网络，为用户提供高精度、不受天气和时间限制的定位、导航和时间同步服务^[2]。得益于 GNSS 的广泛应用，获取地理信息变得前所未

有的简单和快捷，极大地便利了我们的日常生活和工作。

（三）我国北斗卫星导航系统（BDS）

中国的北斗卫星导航系统，作为国家自主研发的全球卫星导航体系，自其启动之初便承担着保障国家战略安全和推动民用服务的双重责任。BDS 系统不仅拥有与美国的 GPS 相媲美的定位、导航和精确授时功能，还独具特色地加入了短报文通信能力，这一功能在特定的应用场景中显得尤为宝贵和高效。自古以来，人们就利用天上的星星来辨别方向。如今，北斗导航系统如同现代的“指路明灯”，为工程测绘、智能交通、精准农业等多个领域提供精准的定位服务，其独特的价值和应用潜力正逐渐显现。在工程测绘领域，北斗系统的精确性和可靠性已经得到了广泛的认可，它为各类工程项目提供了高效、精准的定位服务，极大地提升了作业效率和成果质量^[3]。

（四）卫星定位技术在工程测绘中的应用

在工程测绘的广阔天地中，卫星定位技术已经渗透至每一个关键环节。它从地形图的精确绘制、工程控制网的精准建立，延伸至施工放样和变形监测等实际操作，凭借其卓越的精度和效率，显著提升了测绘工作的整体质量和效率。例如，在港澳大桥建设中，卫星定位技术被广泛应用于桥梁控制网的建立、施工放样和变形监测等环节，有效确保了桥梁建设的精度和安全。不仅如此，正如美国国家地理空间情报局 (NGA) 所言，卫星定位技术已成为“21 世纪最重要的定位技术之一”，其与无人机、三维激光扫描等前沿技术的融合，将为工程测绘领域带来革命性的变革。

二、卫星定位技术在工程测绘精度提升中的具体贡献

技术的进步不仅仅体现在理论上的突破，更在于其能够如何在实践中发挥实效。本章节将深入探讨卫星定位技术在工程测绘精度提升方面的具体贡献，从数据采集速度、精度、作业成本到成果可靠性，一一揭示其带来的变革。

（一）提高测绘数据采集速度

在工程测绘的激烈战场上，效率便是生命线。卫星定位技术的融入，无疑为测绘工作插上了翅膀，带来了革命性的速度提升。与传统的逐点测量方法相比，卫星定位技术能够即时捕捉到点位信息，省去了冗长的测量流程^[4]。在大型工程项目的初步勘察阶段，这种快速响应的能力显得尤为关键。它允许测绘团队以迅雷不及掩耳之势完成地形数据的采集工作，为后续的设计和施工环节赢得了宝贵的时间窗口。这种高效的作业方式，不仅缩短了项目周期，也为工程成本的节约和项目管理的优化提供了有力支持，从而在竞争激烈的建设市场中抢得先机。

（二）提高测绘数据精度

在测绘工作中，精度如同生命线一般至关重要。它直接关系到工程设计的精细化、施工过程的精准控制，以及后续的变形监测环节。卫星定位技术，凭借其通过多颗卫星信号交汇的原理，并依托精密的算法，实现了高达厘米甚至毫米级的测量精度。这种卓越的精度水平，对于工程设计的精细化、施工过程的精准控制，以及后续的变形监测环节，都具有不可替代的重要性。高精

度数据采集如同为工程注入了“精准基因”，不仅极大提升了测绘成果的精确度和可靠性，更为工程的安全性和长期耐久性提供了坚实的技术支撑，确保每一项工程都能经得起时间的考验^[5]。在这样的技术保障下，工程建设者能够更加自信地面对各种复杂挑战，确保每一项工程都能经得起时间的考验，满足现代社会的高标准要求。

（三）降低测绘作业成本

成本控制是工程项目管理中不可或缺的一环，它直接影响到项目的经济效益和可持续发展。卫星定位技术的应用在这一过程中扮演了重要角色，通过减少人力物力的投入，有效地降低了测绘作业的成本。

从长期来看，卫星定位技术在成本效益方面的优势对于推动测绘行业的健康发展具有重要意义。它不仅降低了测绘作业的成本，还提高了作业效率，使得测绘行业能够更加灵活地应对各种复杂和紧急的工程项目。此外，随着卫星定位技术的不断发展和普及，其成本效益的优势将更加明显，进一步推动测绘行业的技术进步和市场竞争力的提升。

（四）提高测绘成果的可靠性

可靠性是评价测绘成果价值的关键指标。卫星定位技术以其固有的稳定性和可重复性，显著提高了测绘成果的可靠性。在多变和复杂的环境条件下，卫星定位技术能够持续、稳定地提供精确的数据流，显著降低了由于人为操作失误或环境因素变化而引起的误差^[6]。

这种可靠性的提升对于工程决策具有重要意义。在工程项目的各个阶段，从初步设计到施工监控，再到后期维护，卫星定位技术提供的高质量数据为决策者提供了准确的信息基础，增强了决策的准确性。这不仅提升了工程项目的整体质量，也提高了工程的安全性。

三、卫星定位技术在工程测绘精度提升中的关键因素

任何技术的发展都不是孤立无援的，其效能的发挥往往依赖于一系列关键因素。在此章节中，将探讨影响卫星定位技术在工程测绘精度提升中的几个关键要素，从卫星信号质量到人员素质，一一剖析其在实际应用中的作用。

（一）卫星信号质量

卫星信号的质量是决定定位精度高低的关键因素。这一质量受到多种因素的共同影响，如卫星星座的布局、大气层对信号的折射、电离层对信号的干扰，以及周围环境对信号的遮挡等。在理想的信号条件下，卫星定位系统能够提供极为精确的定位结果^[7]。因此，选择一个开阔且无遮挡的测量环境，避免在电离层活跃的时段进行测量，以及采用信号增强技术，都是提高信号质量的有效方法。

（二）测绘设备性能

测绘设备的性能直接关系到数据采集的质量。高性能的卫星定位接收器能够更精确地捕捉到卫星信号，从而显著减少测量误差。这些设备在稳定性、灵敏度、抗干扰能力以及支持多系统联

合定位方面的表现，都是评价其性能的重要标准。随着技术的发展，测绘设备的便携性和易用性也日益受到重视。这使得测绘人员能够更灵活地开展现场工作，提高工作效率，并降低操作难度。

（三）测绘数据处理方法

数据处理如同“数据医生”，能够校正系统误差，消除或减少随机误差，从而显著提升数据的可靠性，确保测绘成果的准确无误。这包括对卫星轨道的精确校正、大气延迟的校正、多路径效应的抑制以及数据融合等高级技术。熟练掌握并正确应用这些数据处理方法是提高测绘精度的重要保障。

（四）测绘人员素质

即便是配备了最先进设备和技术，也需要高素质的人员来操作和应用这些工具^[8]。测绘人员的专业知识、操作技能和丰富经验对于确保测绘工作的顺利进行至关重要。他们必须理解卫星定位技术的原理，熟练掌握测绘设备的操作，并能正确处理和分析数据。因此，加强测绘人员的培训和继续教育，提升其专业素质，是提高测绘精度不可或缺的一环。

四、卫星定位技术在工程测绘精度提升中存在的问题与对策

任何技术的应用都不是一帆风顺的，卫星定位技术在工程测绘中的普及同样面临着种种挑战。本章节将揭示这些存在的问题，并提出相应的对策与建议，以期为进一步提高测绘精度提供参考。

（一）存在的问题

1. 信号遮挡与多路径效应

在城市的高楼大厦、崎岖的山地，或是茂密的森林等复杂地形中，卫星信号常常遭遇建筑物、树木等障碍物的阻隔，导致信号的强度减弱甚至完全丢失。此外，多路径效应也是影响定位精度的一个重要因素^[9]。当信号从卫星反射到接收器时，可能会产生额外的路径，从而引入测量误差。

2. 系统误差与偶然误差

系统误差通常源自卫星轨道的偏差、时钟的误差等，这些误差在长期累积后，会显著影响定位结果的准确性。另一方面，偶然误差则是由不可预测的因素引起的，如信号的干扰、设备的故障等。这些误差虽然可能只是偶尔出现，但随着时间的推移，它

们会逐渐累积，对测绘精度产生显著的影响。

3. 数据处理与分析能力不足

随着地理信息数据的迅猛增长，如何高效且精确地处理与分析这些庞大的数据集，已经成为测绘领域面临的一项重要课题。在这一背景下，我们发现部分测绘工作者在数据处理与分析方面的技能尚显不足，这使得他们在利用卫星定位技术时，难以将其在精度上的优势发挥到极致。

（二）对策与建议

1. 改进卫星定位接收设备

针对信号遮挡和多路径效应，研发更先进的卫星定位接收设备是提高抗干扰能力和信号接收灵敏度的有效途径。例如，通过采用多频段接收技术、优化增强型天线设计，以及内置的多路径抑制算法，这些创新手段共同作用，能够显著提升设备的整体性能。

2. 优化测绘数据处理方法

为了减少系统误差和偶然误差，数据处理方法的持续优化至关重要。这包括采用更精确的卫星轨道校正模型、实时大气延迟校正技术，以及开发更高效的数据滤波和融合算法^[10]。通过这些先进技术，可以显著提升数据的准确性和可靠性。

3. 加强测绘人员培训与交流

提升测绘人员的专业素质是解决数据处理与分析能力不足的关键所在。通过定期举办培训班、研讨会和技术交流活动，测绘人员可以及时掌握最新的技术和方法，增强在实际工作中处理复杂问题的能力。同时，鼓励跨学科的学习和实践，有助于培养具备综合能力的测绘人才，为测绘行业的持续发展提供坚实的人才支持。

结束语

随着卫星定位技术在工程测绘领域的广泛应用，了解了测绘精度和效率的显著提升，同时也面临了一系列挑战。展望未来，卫星定位技术将与人工智能、大数据等前沿技术深度融合，为工程测绘领域带来更加智能化、自动化的解决方案，助力我国基础设施建设和社会发展迈向更高水平。让我们携手并进，以科技为帆，以人才为桨，共同驶向工程测绘的星辰大海，为建设更加美好的未来贡献力量。

参考文献

- [1] 李旭峰. 大地测量及卫星导航定位技术的新进展 [J]. 中国高科技, 2022, (21): 153-154.
- [2] 王一帆. 基于北斗/GPS双模定位的土地面积测绘技术及土地信息系统研究 [D]. 宁夏大学, 2022. DOI: 10.27257/d.cnki.gnxhc.2022.000994.
- [3] 杨磊. 北斗卫星导航系统在工程测绘中的运用 [J]. 工程技术研究, 2022, 7(01): 105-107. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2022.01.035.
- [4] 仲跻文. 基于三维定位技术的水文地质测绘方法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(04): 197-201. DOI: 10.16526/j.cnki.11-4762/tp.2022.04.033.
- [5] 黄磊. 自然资源测绘过程中3S技术应用的有效策略 [J]. 中国住宅设施, 2021, (11): 73-74.
- [6] 吴继忠, 李明峰. 课程思政融入《卫星导航定位技术与应用》教学的实践 [J]. 现代测绘, 2021, 44(06): 61-64.
- [7] 曹海翔, 刘付强, 赵晨光, 等. 高分辨率立体测绘卫星技术研究 [J]. 遥感学报, 2021, 25(07): 1400-1410.
- [8] 孙佳宾, 蒋军娟. 现代测绘技术在工程测量中的应用 [J]. 工程技术研究, 2020, 5(17): 110-111. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2020.17.048.
- [9] 王昌锐. GNSS技术在矿山测量中的应用 [J]. 华北自然资源, 2020, (03): 85-86.
- [10] 王建荣, 杨元喜, 胡燕, 等. 高分十四号立体测绘卫星无控定位精度初步评估 [J]. 测绘学报, 2023, 52(01): 8-14.

换填法在市政工程软土地基处理中的应用

蔡军

上饶市安畅物流有限公司, 江西 上饶 334000

摘 要： 市政工程在城市建设中扮演着至关重要的角色，而软土地基处理作为市政工程中的关键环节，直接影响到工程的稳定性、安全性和长期性能。随着城市化进程的加快和城市功能的不断拓展，城市基础设施的需求日益增加，在软土地区，软土地基的处理成为工程实施中的重要挑战。本文旨在探讨换填法在市政工程软土地基处理中的应用策略与优势，提出科学的地基处理方案和技术创新，为提升城市基础设施的质量和安全性，促进城市可持续发展提供理论支持和实际指导。

关 键 词： 市政工程；软土地基；换填法；处理技术

Application of Replacement Method in Soft Soil Foundation Treatment of Municipal Engineering

Cai Jun

Shangrao Anchang Logistics Co., Ltd., Shangrao, Jiangxi 334000

Abstract： Municipal engineering plays a crucial role in urban construction, and soft soil foundation treatment, as a key link in municipal engineering, directly affects the stability, safety, and long-term performance of the project. With the acceleration of urbanization and the continuous expansion of urban functions, the demand for urban infrastructure is increasing day by day. In soft soil areas, the treatment of soft soil foundation has become an important challenge in engineering implementation. This article aims to explore the application strategies and advantages of the replacement method in the treatment of soft soil foundation in municipal engineering, propose scientific foundation treatment schemes and technological innovations, and provide theoretical support and practical guidance for improving the quality and safety of urban infrastructure and promoting sustainable urban development.

Keywords： municipal engineering; soft soil foundation; replacement method; processing technology

前言

软土地基因其土质松软、水分含量高、压缩性强等特点，常常会导致工程的沉陷变形、地基不稳定等问题，严重影响到市政工程的使用寿命和安全性。为了解决软土地基施工面临的问题，工程技术领域提出了多种处理方法，其中换填法作为一种广泛应用的地基处理技术，通过在软土地基中注入固化材料，改善土体的物理性质和力学性能，从而提升地基的承载能力和抗沉陷能力，保证工程的长期稳定性^[1]。此外，软土地基处理过程中面临着诸多技术挑战，如地质条件复杂、固化材料的选择与配比、注入技术的精准控制等，所面临的挑战不仅需要在地质勘察与评估阶段准确把握地基的物理性质和工程需求，还需要通过科学的材料选择和优化设计，确保固化材料能够充分渗透并有效固结软土地基。

一、市政工程软土地基处理的难点

软土地基的地质条件通常复杂多变，包括土层层理不清晰、水文条件复杂等，这使得工程施工前的地质勘察和分析显得尤为重要，并且不同地区的软土地基存在着不同的物理力学特性和稳定性问题，需要根据具体情况采取相应的处理措施。此外，软土

地基的承载能力通常较低，特别是在大型市政工程中，如桥梁、道路等，对地基的承载能力要求极高^[2]。传统的地基处理方法如预压桩、加固桩等虽然有效，但成本高昂、工期长，不适合于一些需要快速投入使用的工程项目。

一般而言，软土地基易受工程荷载影响，容易产生沉陷和变形，这对工程的安全性和稳定性构成潜在威胁，且有效控制和减

作者简介：蔡军，1992年1月17日，男，汉族，本科，江西省上饶市广丰区，市政工程

少沉陷变形，是软土地基处理中的一大挑战，在此基础上换填法等新型地基处理技术通过固化材料的注入和地表换填，可以有效改善土体的物理力学性质，减少沉陷变形的风险，但需要精确控制材料的配比和注入技术^[3]。市政工程通常位于城市或市区中心，施工对周围环境和市民生活造成的影响需要得到有效控制和管理，特别是在使用化学固化材料时，需要注意对土壤和地下水的保护，避免环境污染和资源浪费。近年来，随着城市化进程的加快，市政工程对地基处理技术的要求越来越高，需要不断进行技术创新和工艺改进，在此基础上也需要考虑到成本效益，选择合适的地基处理方法既能提升工程质量，又能控制施工成本，符合经济可行性和社会效益。

二、换填法在市政工程软土地基处理中应用的优势

换填法作为一种新型的地基处理技术，在市政工程软土地基处理中展现出了显著的优势，换填法通过在软土地基中注入固化材料并进行地表换填，能够有效提升土体的承载能力。软土地基由于其疏松、含水量高等特性，通常具有较低的承载能力，这对于市政工程中的道路、桥梁等重要结构的安全性和稳定性构成挑战^[4]。换填法通过选择合适的固化材料（如水泥、石灰等）和精确的注入技术，能够在土体中形成坚固的复合结构，有效增强地基的承载能力，满足工程对地基承载能力的要求。

软土地基易受工程荷载影响，容易产生不均匀沉陷和较大的变形，严重影响工程的使用寿命和安全性。通过控制固化材料的配比和注入技术，换填法能够有效稳定土体的物理力学性质，减少沉陷变形的风险。这不仅提高了市政工程的长期稳定性，还减少了后续维护和修复的成本与工作量^[5]。此外，相比传统的地基处理方法如预压桩、加固桩等，换填法不需要大量的场地准备和设备调配，施工周期较短，适合于一些对工期要求较为紧迫的市政工程项目。这种快速投入使用的特点，能够有效提升工程的施工效率，减少因地基处理而引起的工程延期和成本增加问题。

三、换填法在市政工程软土地基处理中的应用策略

（一）前期地质勘察与评估

在市政工程软土地基处理中，进行充分的前期地质勘察和评估是确保换填法成功应用的关键所在，且软土地基的复杂性和地质特征多变，直接影响到后续地基处理方案的选择和实施效果，实际需要综合运用多种地质勘察方法和技术手段，进行全面的地质信息收集和分析。

地质钻探是获取地下土层物理力学性质、水文地质情况等关键信息的主要手段，通过钻探取样，可以获得到不同深度的土层样本，进行物理力学测试、含水率分析以及地层分析，为后续固化材料选择和工程设计提供准确的数据支持。除此之外，地质雷达和地球物理勘探技术可以在不同深度范围内获取地下介质的电磁特性、密度、速度等信息，所采用的各类技术能够帮助工程师更准确地理解软土地基的结构和水文条件，识别存在的隐患和工

程风险，为后续的地基处理方案提供科学依据^[6]。除了地下勘探，地面观测和现场测试也是地质勘察的重要组成部分，应该结合实际进行地面地质构造、地貌特征的观察和现场土壤力学性质测试，可以全面了解地表以上的土壤特征，为地质勘察结果的综合分析提供必要的技术支持。在前期阶段，通过对采集的土壤样本进行实验室测试，包括压缩试验、剪切试验等，获取土壤的力学参数如承载力、变形模量、抗剪强度等数据。这些参数对于评估软土地基的稳定性和工程承载能力至关重要，是确定后续地基处理方案的重要依据，并且技术人员还需评估地下水位、土层的渗透性和水文动力学特征等信息，为后续固化材料的选择和注入技术的优化提供科学依据^[7]。

综合分析地质勘察和土壤力学测试结果，进行工程风险评估是确保软土地基处理方案成功的关键环节。评估过程中需考虑土体的稳定性、沉陷变形潜力以及地基在工程荷载下的响应情况，为工程设计和后续施工措施的制定提供科学依据。

（二）固化材料选择与混合优化

在市政工程软土地基处理中，固化材料的类型、配比和注入技术直接影响到地基的固结效果和工程的长期稳定性，实际需要综合考虑多种因素进行合理选择和优化。水泥是常用的固化材料之一，具有较高的强度和稳定性，能够有效改善软土地基的力学性能^[8]。且不同类型的水泥（如普通硅酸盐水泥、高性能混凝土用水泥等）在固结效果和工程成本方面有所差异，需根据具体地质条件和工程需求选择合适的水泥类型。不同类型的水泥固结效果如表1所示。

表1 不同类型的水泥固结效果

固结材料类型	固结效果（抗压强度提升）
普通硅酸盐水泥	1.2 MPa
高性能混凝土	2.5 MPa
聚合物改性水泥	1.8 MPa
高效固化剂	3.0 MPa

一方面，石灰具有较好的渗透性和吸湿性，能够有效改善软土地基的抗压强度和抗剪强度，其本身适用于一些较湿软土地基的处理，通过优化配比和混合工艺，能够达到良好的固结效果和经济效益。另一方面，复合固化材料结合了多种材料的优点，如水泥、石灰、粉煤灰等，通过优化配比和混合工艺，能够兼顾强度、稳定性和经济性，所选择的材料能够在不同地质条件下灵活应用，提升软土地基的整体性能和工程效果，固化材料的配比直接影响到固结效果和施工成本。

（三）注入技术与施工过程控制

在市政工程软土地基处理中，注入技术和施工过程的有效控制是保证换填法成功应用的关键环节，合理的注入技术和严格的施工过程控制，可以确保固化材料充分渗透到软土地基中，并实现固结效果的稳定和持久^[9]。

在软土地基处理中，注入固化材料时需要考虑到土体的渗透性和力学性质，通过控制合适的注入压力和速度，可以确保固化材料充分渗透到各个层次的软土中，避免局部空洞和松散区域的存在，提升固结效果和地基的整体稳定性。常见的注入技术包括

压浆注浆法、孔隙灌注法等，每种技术有其适用的地质条件和施工要求，压浆注浆法适用于软土地基的深层注浆，通过高压将固化材料注入到较深层次的土体中，提升固结效果和抗沉陷能力^[10]。除了固化材料本身的选择外，其配比和混合优化也直接影响到注入技术的实施效果，根据地质勘察和土壤力学测试的结果，确定最佳的固化材料配比，保证固化材料在注入过程中的流动性和渗透性，提高软土地基的整体稳定性和工程质量。不同注入技术的实施效果如表2所示。

表2 不同注入技术的实施效果

注入技术类型	固结效果 (抗压强度提升)	抗沉陷能力 (沉陷率降低)
普通水泥浆注入	1.0 MPa	30%
聚合物固化剂注入	1.5 MPa	40%
高效固化剂注入	2.0 MPa	50%

(四) 地表换填设计方法的优化

地表换填设计在市政工程软土地基处理中扮演着至关重要的角色，直接影响到地基的整体稳定性和工程的长期性能，在此基础上需要优化地表换填设计方法，可以有效提升软土地基的承载能力和抗沉陷能力，保证工程的安全和可持续性发展。

首先，在进行地表换填设计时，首先需要进行详尽的地基载荷分析和设计计算，应该综合考虑工程荷载的分布特征和荷载传递路径，确定地表换填层的厚度、材料选择和施工工艺，以提升地基的承载能力和工程的稳定性。其次，合理选择换填材料（如

砂土、碎石等），通过优化材料的粒径分布和夯实工艺，确保换填层的均匀性和稳定性，提高软土地基的抗沉陷能力和承载能力，采用适当的夯实工艺（如振动夯实、压路机等），保证换填材料充分压实和与下层土体的紧密结合，提升地基的整体稳定性和工程的安全性。最后，在地表换填设计过程中，需进行全面的环境影响评估和社会影响管理，在此基础上需要评估换填工程对周围环境和社区的影响，制定合理的施工规划和环境保护措施，减少工程对周边生态环境和市民生活的负面影响。与此同时，还应该与当地政府、社区和公众保持良好沟通，及时回应公众关切，是确保地表换填工程顺利实施的重要前提。建立有效的社会风险管理机制，处理出现的争议和问题，维护工程的正常进行和社会稳定。

结语

综上所述，换填法在市政工程软土地基处理中的应用展现了显著的优势和策略。通过前期地质勘察与评估的科学实施，能够准确把握软土地基的物理性质和工程需求，为后续固化材料选择与混合优化提供了重要依据。在固化材料选择与混合优化阶段，通过精细的配比与施工控制，有效增强了软土地基的力学性能和抗沉陷能力，从而提升了工程的长期稳定性和安全性。同时，注入技术与施工过程控制的合理运用，确保了固化材料的全面渗透和工程质量的可控性，有效应对了软土地基处理中的技术难题。

参考文献:

[1] 王若菲. 换填法在市政工程软土地基处理中的应用[J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2023(4):4.

[2] 廖光能. 换填法应用于市政工程软土地基处理的探讨[J]. 新材料·新装饰, 2023, 5(11):155-158.

[3] 陈翼显. 建筑基础工程建设中软土地基施工技术研究[J]. 中国房地产业, 2022(22):214-217.

[4] 唐勇斌. 泡沫轻质土换填公路浅埋中厚层软土地基处理分析[J]. 路基工程, 2023(4):108-112.

[5] 钟锦权. 换填法地基加固施工技术在建筑工程中的应用[J]. 建材发展导向, 2023, 21(12):161-164.

[6] 蒙璐, 张潜华, 蓝天助. 钢渣垫层在公路软土地基处理中的应用研究[J]. 西部交通科技, 2022(1):11-15.

[7] 余巧红. 公路桥梁工程中桥涵软土地基的施工处理措施[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023.

[8] 王煜之. 大吨位基桩竖向抗拔静载试验的分析与应用[J]. 建筑安全, 2023, 38(3):65-67.

[9] 吴乐. 强夯垫层法在软土路基处理中运用分析[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2024(002):000.

[10] 陈焕钊. 探析软土地基处理技术在市政路桥施工中的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023(1):158-160.

基于大数据的工程检测数据处理与分析

姚娜娜, 马洪生

武汉中和工程技术有限公司, 湖北 武汉 430312

摘要： 本文起始于对工程检测数据处理技术基础的全面梳理，包括数据采集与传输、数据预处理、数据分析与挖掘，以及数据可视化等关键环节。继而，提出了一种基于大数据的工程检测数据处理框架，详尽讨论了其设计原则和体系结构，并对数据采集与存储、数据预处理、数据分析与挖掘，以及结果展示与反馈等核心模块进行了详尽阐释。文章结语深入探讨了异构数据融合、大规模及实时数据处理，以及数据安全隐私保护技术在工程检测数据处理中的应用。

关键词： 大数据；工程检测；数据处理；数据分析；数据挖掘

Processing and Analysis of Engineering Inspection Data Based on Big Data

Yao Nana, Ma Hongsheng

Wuhan Zhonghe Engineering Technology Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430312

Abstract： This article starts with a comprehensive review of the foundation of engineering testing data processing technology, including key links such as data collection and transmission, data preprocessing, data analysis and mining, and data visualization. Subsequently, a big data based engineering inspection data processing framework was proposed, and its design principles and architecture were discussed in detail. The core modules of data collection and storage, data preprocessing, data analysis and mining, as well as result display and feedback were elaborated in detail. The conclusion of the article deeply explores the application of heterogeneous data fusion, large-scale and real-time data processing, as well as data security and privacy protection technologies in engineering detection data processing.

Keywords： big data; engineering testing; data processing; data analysis; data mining

引言

随着我国基础设施建设的快速发展，工程检测在保障工程质量、提高工程管理水平方面发挥着越来越重要的作用。工程检测涉及众多领域，如土木工程、水利工程、交通工程等，产生的数据量呈现爆炸式增长。如何有效处理和分析这些海量数据，成为工程检测领域面临的一大挑战。在此背景下，大数据技术为工程检测数据处理与分析提供了新的思路和方法。

大数据，指的是无法在合理时间内用传统数据库软件工具进行捕捉、管理和处理的数据集合。大数据的特性体现在其庞大的数据规模、多样的数据类型、高速的处理能力。近年来，大数据技术在互联网、金融、医疗、教育等领域取得了显著成果。将大数据技术应用用于工程检测领域，有助于提高数据处理与分析的效率，为工程质量管理提供有力支持。

一、工程检测数据处理技术基础

在工程检测领域，数据处理技术的应用对于确保工程质量和安全至关重要。以下是对工程检测数据处理技术基础的详细探讨：

（一）数据采集与传输技术

建筑工程现场检测、监测工作的科学性、公正性、规范性等受多种因素的影响，特别是技术标准的缺失或不完善，致使现场结构构件检测数据的可重复性和可复现性无法得到保证。检测人员在建筑工程现场检测时，受人为因素和技术标准把控的影响，

有意或无意中使建筑工程实体的施工质量和性能的现场检测数据采集具有一定随意性和不确定性^[1]。数据采集与传输技术构成了数据处理链路的基础和起点，其关键作用不容忽视。该技术涉及一系列精密的硬件设施，包括各类传感器、监测设备等，它们协同工作，以采集工程结构的动态状态数据。这些数据反映了结构的健康状况、性能指标以及可能存在的隐患，是评估工程质量与安全的核心信息。

进一步地，采集到的数据需要通过高效、稳定的传输渠道（有线或无线网络）实时传输到数据处理中心^[2]。这一过程要求极高的时效性和准确性，以确保数据的完整性和有效性不受传输过

程的影响。精心设计的数据采集与传输技术不仅能够捕捉到工程结构的实时状态，还能够确保这些宝贵数据安全、准确地传输到数据处理中心。

（二）数据预处理技术

数据预处理环节在数据处理流程中至关重要，它包括数据清洗、数据集成、数据转换等多个关键步骤。该技术旨在剔除数据集中的无效和错误信息，确保数据的一致性和准确性，并通过格式统一和缺失值填补提升数据质量^[3]。

在数据清洗阶段，通过识别并剔除异常值、重复记录和不相关的数据，能够净化数据集，消除潜在的噪音，确保分析结果的可靠性。数据集成则来自不同源的数据进行合并，形成一个统一的视图，以便于后续的综合分析。而在数据转换过程中，原始数据被转换成适合分析的格式，包括数据类型转换、尺度标准化等，以便于不同数据之间的比较和分析。

（三）数据分析与挖掘技术

数据分析与挖掘技术是工程检测数据处理的核心环节，其重要性在于能够对采集到的数据进行深度解析，揭示工程结构的性能特征及其潜在问题隐患。该领域的技术手段主要包括统计分析、机器学习、模式识别等先进方法，它们共同作用，使得工程师能够从海量的数据中提炼出有价值的信息，为工程决策提供坚实的科学支撑^[4]。

统计分析技术通过对数据集进行定量描述和推断，帮助工程师识别数据中的趋势、模式和关联性，从而对工程结构的健康状况做出准确评估。机器学习算法则能够从数据中学习复杂的模式，并通过构建预测模型，对未来的结构行为进行预测。模式识别技术则专注于从数据中识别出特定的信号或模式，这些信号可能是结构故障的早期迹象。

（四）数据可视化技术

数据可视化技术，作为一种将复杂数据转化为图表、图像等直观展现形式的方法，为工程师提供了一种高效的数据解读和分析工具。该技术的作用在于将抽象的数据转化为易于理解的视觉信息，使得工程师能够迅速把握数据的本质，洞察数据背后的规律和趋势^[4]。

通过数据可视化，工程检测的成果得以以更加生动、清晰的方式呈现。这不仅简化了数据的解读过程，还极大地提升了工程师对数据深层含义的洞察力。在这种直观的视觉辅助下，工程师能够更容易地识别出数据中的异常点、趋势线以及潜在的模式，这些发现对于理解工程结构的性能状态和预测未来的变化至关重要。

二、基于大数据的工程检测数据处理框架

为了有效地应对工程检测中大数据的处理挑战，本文构建了一个基于大数据的工程检测数据处理框架。以下是对该框架的设计原则、体系结构以及关键模块的详细介绍：

（一）框架设计原则

在构建面向大数据的工程检测数据处理框架时，恪守了一系

列精心设计的原则，旨在确保框架能够达到工程检测领域对数据处理的高标准。框架设计注重扩展性和灵活性，以适应不断增长的数据量和复杂多样的数据类型，确保其能够适用于不同规模和复杂度的工程检测项目，并保持长期的有效性。同时，强调了框架的高效性和实时性，通过优化数据处理流程，减少延迟，确保数据的快速传输和分析，以满足工程检测对时效性的严格需求^[5]。此外，框架的安全性和稳定性也是关注的重点，采用多层次的安全措施和稳定性机制，包括严格的数据访问控制、加密传输、冗余存储和定期备份，以保障数据处理过程中数据的完整性和可靠性。

（二）框架体系结构

该框架采用精密分层设计，构建了一个全面且高效的数据处理流程。涵盖了数据源整合、采集、存储、处理、分析、展示及用户交互七个层级，明确了处理阶段，提升了系统维护与升级的便捷性^[6]。

在数据源层，框架实现了多源数据融合，保障了信息的全面与多样。采集层采用精确技术，确保了数据的准确与实时。存储层采用稳定方案，维护了数据的安全与持久。

数据处理层严格进行数据清洗与转换，剔除了杂质，为分析奠定了基础。分析层利用高级算法挖掘数据，揭示了潜在规律和异常，为工程决策提供了坚实支撑。

展示层通过直观视觉展现分析结果，增强了信息的可读性与理解。用户交互层通过高效应用对接，实现了决策支持与业务流程的流畅整合，确保了流程的专业性、效率与用户友好性^[7]。此设计满足了工程检测领域的数据处理需求，展现了框架应对复杂挑战的高效能。

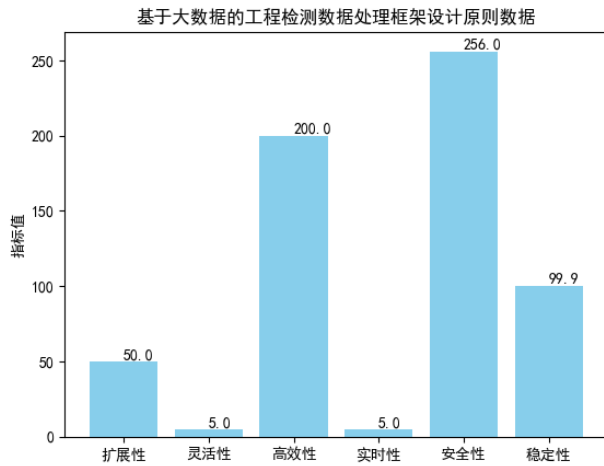
（三）框架关键模块介绍

数据采集与存储模块构成了系统的核心枢纽，它承担着从众多异构数据源中高效地捕获原始数据的重任。该模块通过精心设计的优化数据传输机制，确保了数据能够迅速且可靠地存储在分布式数据库系统中，同时支持多种数据采集协议，以保障数据的全面覆盖和实时更新。紧接着，数据预处理模块接管了流程，对采集到的数据进行细致的清洗、转换和格式化操作，有效剔除数据中的噪声和不一致性，为后续的深入分析打下了坚实的基础。

在数据分析与挖掘模块中，运用了先进的数据处理算法和模型，对经过预处理的干净数据进行深度挖掘，从而揭示出数据背后的潜在规律和异常模式，为工程决策提供了坚实的数据支撑和洞察力^[8]。最终，结果展示与反馈模块以图表、报告等直观形式，将分析成果生动地展现给用户，并建立了有效的反馈机制，使得用户能够对分析结果进行验证、评估和调整，从而形成了一个闭环、高效且互动性强的数据处理流程，极大地提升了整个系统的专业性和实用价值。

模拟示意图如表1。图表中包含了扩展性、灵活性、高效性、实时性、安全性和稳定性六个方面的指标值。这些指标值直接反映了框架设计时考虑的关键要素，有助于直观地理解框架的设计原则。

表1



三、工程检测数据处理关键技术研究

在工程检测领域，数据处理的关键技术是确保数据高效、准确处理的核心。以下是对工程检测数据处理中几个关键技术的研究和探讨：

（一）异构数据融合技术

异构数据融合技术专注于整合来源于不同渠道、具有多样格式与属性的数据，包括文本、图像、传感器数据等。该技术通过精心构建的数据融合算法，实现了对异构数据集的统一表征与深度综合运用，显著提高了数据利用的效率及分析结果的精确性。应用异构数据融合技术，不仅优化了数据资源的分配与使用，更为工程检测领域提供了全面而精确的数据支撑^[9]。在决策制定与问题解决的关键环节中，该技术发挥了至关重要的效能，确保了工程检测活动的高效性与准确性，进而推动了整个工程领域的技术进步与发展。

（二）大规模数据处理技术

大规模数据处理技术集成分布式计算、并行处理等先进方法，旨在高效处理巨量数据集。通过这些技术手段，不仅显著缩短了数据处理的时间周期，还大幅提升了数据处理的整体能力，从而满足了工程检测在数据处理速度和规模上的严格要求。分布式计算技术通过将数据分散到多个节点进行处理，有效提高了计算效率；而并行处理技术则通过同时执行多个计算任务，加快了数据处理的速度。这些技术的综合运用，为工程检测提供了强大

的数据处理支撑，确保了数据分析的实时性和准确性，对于推动工程检测技术的发展和具有重要应用意义。

（三）实时数据处理技术

实时数据处理技术能够实现数据的即时采集、高速传输和动态处理，从而实时监控工程状态，在潜在风险和出现问题时能够迅速识别并响应^[10]。这种即时的数据处理能力，不仅极大提升了工程安全监控的时效性，而且确保了工程项目的顺利进行。通过实时数据处理技术，工程人员能够对关键指标进行持续跟踪，及时发现异常情况，采取有效措施，避免可能的事故发生，保障工程项目的整体安全与效率。

（四）数据安全与隐私保护技术

在工程检测的数据处理流程中，确保数据的安全性和隐私保护是至关重要的环节。为了维护数据的完整性和机密性，一系列数据安全与隐私保护技术被广泛应用，包括但不限于加密机制、访问控制策略、数据匿名化处理等。这些技术的主要目的是防止数据在传输和处理过程中发生泄露、篡改或遭受非法访问，从而保障数据安全，并维护个人及组织的隐私权益。加密技术确保了数据在传输过程中的保密性，访问控制则限制了只有授权用户才能访问特定数据，而匿名化处理则保护了个人隐私，使得数据在不泄露个人身份的前提下仍可用于分析。这些措施的应用，不仅提升了工程检测数据管理的信任度，而且确保了数据处理活动的合规性，对于整个工程检测行业的数据治理和风险管理具有深远的影响。

结束语

在信息技术迅猛发展的时代背景下，大数据已成为推动各行业变革的重要力量。工程检测作为保障工程质量的关键环节，借助大数据技术进行数据处理与分析，不仅提高了检测效率，还增强了检测结果的准确性和可靠性。然而，大数据技术在工程检测领域的应用仍处于探索阶段，未来还有很长的路要走。

本文的研究虽然取得了一定的成果，但仍有许多不足之处，需要后续研究不断完善。我们相信，随着大数据技术的进一步发展，其在工程检测领域的应用将更加广泛，为我国工程建设事业贡献更大的力量。在此，期待更多研究者加入这一领域，共同推动工程检测技术的发展，为构建更加安全、高效的工程质量管理体系提供有力支持。

参考文献

- [1] 刘兴远, 刘洋, 王彬伟, 等. 重庆市《建筑工程现场检测监测数据采集标准》内容分析[J]. 重庆建筑, 2022, 21(10): 49-51.
- [2] 管孝强, 谭志勇, 李海斌, 等. 选矿工业大数据关键装备的研发与工程化实践——以浮选流体动力学特征阈值传感器系统为例[J]. 现代矿业, 2023, 39(08): 148-150+158.
- [3] 叶好文. 浅析大数据分析对工程造价精确性的影响及应用[J]. 智能建筑与智慧城市, 2023, (10): 40-42.DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2023.10.012.
- [4] 陈炳桦, 黄彦天. 大数据在计算机软件工程中的实践研究[J]. 电子元器件与信息技术, 2023, 7(02): 153-156.DOI: 10.19772/j.cnki.2096-4455.2023.2.036.
- [5] 扎实推进大数据智能化建设战略工程更好谱写公安工作现代化天津篇章[N]. 人民公安报, 2023-11-20(001).DOI: 10.28651/n.cnki.nrmga.2023.006247.
- [6] 孙理娜, 刘凤云. 全过程大数据在工程造价管理中的应用[J]. 砖瓦, 2024, (01): 116-118+122.DOI: 10.16001/j.cnki.1001-6945.2024.01.047.
- [7] 郭佳婧, 严童, 陈明, 等. 基于大数据的电力计量装置故障智能化诊断研究[J]. 电子设计工程, 2019, 27(23): 55-58+63.DOI: 10.14022/j.issn1674-6236.2019.23.011.
- [8] 王勋龙, 王恩生, 李传增, 等. 基于大数据的腐蚀控制工程全生命周期智能化建设[J]. 全面腐蚀控制, 2018, 32(09): 15-18.DOI: 10.13726/j.cnki.11-2706/tq.2018.09.015.04.
- [9] 张瑞程, 张仁尊, 王书源, 等. 基于大数据的电力系统继电保护自动化技术的研究[J]. 自动化应用, 2024, 65(02): 36-38.DOI: 10.19769/j.zdhy.2024.02.012.
- [10] 芦俊丽, 陈晓丹, 尚晓丽, 等. 工程教育专业认证下民族院校教学模式探索与实践——以大数据类专业为例[J]. 云南民族大学学报(自然科学版), 2024, 33(02): 271-274.

自动控制在热控系统中的应用及优化研究

蒋泉波, 张涛

江苏阚山发电有限公司, 江苏 徐州 221134

摘 要 : 热控系统是火电厂运行过程中的重要组成部分, 为了保证机组的安全稳定运行, 提高热控系统的控制效果, 需要对热控系统进行优化。自动控制作为热控系统的核心技术, 对于确保机组运行的稳定性和安全性至关重要。它通过精确监测系统参数, 实时调整控制策略来应对各种工况变化, 从而在复杂多变的环境中保持机组的高效稳定。因此, 在日常的维护和操作过程中, 必须对自动控制技术给予充分重视, 确保其得到有效应用, 以保障设备的最佳性能和安全生产。文章以热控系统为研究对象, 分析了热控系统的现状及优化意义, 并从软件和硬件两个方面对自动控制在热控系统中的应用进行了详细分析。

关 键 词 : 自动控制; 热控系统; 应用及优化

Application And Optimization Study Of Automatic Control In Thermal Control System

Jiang Quanbo, Zhang Tao

Jiangsu Kan Shan Power Generation Co., LTD. Xuzhou, Jiangsu 221134

Abstract : The thermal control system is an important part of the operation process of the thermal power plant. In order to ensure the safe and stable operation of the unit and improve the control effect of the thermal control system, the thermal control system needs to be optimized. As the core technology of thermal control system, automatic control is crucial to ensure the stability and safety of unit operation. It accurately monitors the system parameters, adjusts the real-time control strategy to deal with the changes of various working conditions, so as to maintain the efficiency and stability of the unit in the complex and changeable environment. Therefore, in the daily maintenance and operation process, we must give full attention to the automatic control technology, to ensure its effective application, to ensure the best performance of the equipment and safe production. This paper analyzes the present situation of thermal control system and its optimization significance, and analyzes the application of automatic control in thermal control system from software and hardware.

Keywords : automatic control; thermal control system; application and optimization

引言

随着自动化技术的发展, 在电厂热控系统中, 自动控制技术的应用越来越广泛。热控系统是电厂正常生产的重要保障, 能够实现对电力生产过程中各种参数的控制。本文通过分析热控系统的构成, 探讨了自动控制在热控系统中的应用情况, 并分析了自动控制技术在电厂热控系统中存在的问题, 提出了优化自动控制技术在电厂热控系统中应用的方法。

一、热控系统的组成与工作原理

(一) 计算机监控系统

计算机监控系统是由微机及其外围设备组成的, 可对过程变量进行监控、记录、计算和显示的自动化系统。它主要由数据采集与处理单元 (DAQ)、控制器、操作员工作站等模块组成。数据采集与处理单元可以将被测对象中所含的全部物理量转换成数字量并加以存储, 控制器完成从数字量到模拟量的转换工作, 操

员通过人机界面操纵控制器的键盘来对被测对象进行控制操作。在整个系统中起着大脑作用的是操作员工作站, 操作员可以通过它监视或控制计算机系统的运行^[1]。

(二) 电气部分

电气部分主要由电源、电机、温度传感器、执行机构等组成。1) 电源是热控系统的核心, 为整个系统提供电能和控制信号, 其电压一般在380V ~ 420V之间, 且需要达到较高的稳定性。2) 电机是执行机构的动力源, 负责将执行机构的运动指令转

作者简介: 蒋泉波 (1981年01月), 男 (汉), 籍贯 (江苏省徐州市鼓楼区), 学历或职称: 本科, 从事研究方向: 热控仪表、自动控制、热控保护

换成机械运动。电机的转速通常在50-600rpm之间，电机采用直流电机或交流异步电机作为驱动装置。3) 温度传感器温度传感器可以感知环境中的温度变化，并将信号传送给中央控制器，从而实现对环境温湿度的实时监测。温度传感器主要有热电偶、热敏电阻、热电阻、红外线感应器、光纤激光吸收仪等。4) 执行机构执行机构包括执行器和阀门等，它们接受来自温度传感器的信号，并根据设定的逻辑控制阀门的开关状态。执行机构还可能包括一些辅助机构，如气缸、活塞等，它们在特定情况下参与调解过程。5) 中央控制器（ECU）ECU是热控系统的大脑，它接收来自各执行机构的信号，并进行分析处理后发出控制指令，控制各个执行机构的动作，最终实现对环境温湿度的调节。ECU通常采用嵌入式计算机作为硬件基础，结合工业控制软件开发而成。

二、自动控制在热控系统中的应用

（一）温度控制中的应用

在电子产品的生产过程中，对于温度控制是十分重要的。而温度变化会直接影响到电子产品的质量以及稳定性。为了保证电子元器件能够正常运行，同时也能有效避免因温度过高造成损坏。因此，对电子产品进行温度控制就显得尤为重要了。一般情况下，在进行温度控制时，通常都会采用PID控制方法。这种控制方法具有较强的实时性和准确性，并且能够很好地满足其他性能指标。对于不同型号的电子产品来说，其所需要的温度范围并不相同。因此，为了确保温度的精准性，就要在各个环节中加大检测力度。通过专业的检测设备来采集相关数据，然后再将数据输入到计算机当中，利用相应的计算程序对这些数据进行处理。最终根据处理结果来决定是否需要调节温度，从而达到更好的温度控制效果^[2]。

（二）压力控制中的应用

压力控制是热控系统的重要组成部分，它的主要作用是对蒸发器的压力进行控制，以满足制冷系统正常运行的需要。在实际应用中，可以利用压缩机和膨胀阀来实现对蒸发器压力的调节，并且还可以通过其他的自动化技术手段对其进行相应的控制。当温度达到一定值时，可以对加热器进行自动启动或者关闭；当蒸发器内出现异常情况时，可以及时报警并停止运行；当发生故障时，可以快速地排除故障并恢复到正常状态。通过这种方式可以有效地减少人为因素造成的影响，保证整个制冷系统的稳定性，从而提高生产效率。

（三）流量控制中的应用

在工业生产中，热量的分布是非常复杂的。为了控制不同的温度，需要对许多变量进行精确的调节和控制，这样才能使设备正常运行。目前，热工自动控制技术主要应用于热电联产、集中供热等领域，不仅提高了能源利用效率，还提高了经济效益，节省了成本。例如：通过将传感器安装在换热器、泵、风机、蒸发器、冷凝器等设备上，并使用计算机监测这些参数的变化情况，当某个参数出现异常时，自动采取相应措施进行调整。同时，还要与其他系统进行协调配合，实现对整个系统的全面监控。总

之，随着科技的不断发展，智能控制已经成为热控系统的重要组成部分，这就要求我们必须充分发挥其作用，加强对热工控制技术的应用研究，积极推广应用先进技术，促进热工自动化水平的进一步提升^[3]。

（四）燃烧控制中的应用

燃烧的控制是指通过对燃烧器进行自动调节，使锅炉能安全、经济地运行。控制燃烧的目的：在保证锅炉安全生产和满足负荷要求的前提下，提高煤耗、减少污染物排放，实现低污染、高效率的生产目标。在此基础上，可以进一步优化蒸汽参数，降低运行成本。对于现有大型电站锅炉而言，一般都采用二次风配比调节，利用炉内温度、压力等变化来调节二次风量，达到燃烧稳定的目的。但这也带来了一些弊端，如由于无法直接观测到炉膛火焰，难以对燃烧状况进行有效监控；二次风门开关频率过快，影响了一次风燃烧效果；受炉膛结构及二次风比对燃烧不均匀性影响较大，易导致部分区域出现欠燃或超燃的现象。因此，为了获得更加精确的燃烧状况，有必要引入燃烧自动控制技术，并以此作为优化燃烧的手段。

（五）其他方面的应用

在电厂热工控制系统的实际应用过程中，除了上述几个方面之外，还有其他很多方面的应用。例如：蒸汽管道上热滑动点的控制；汽轮机的轴向推力测量和反馈；电气主变所内温度场的控制等。总之，随着自动控制技术在电厂热控系统中的应用，将会极大地提高电厂运行人员对机组负荷、系统参数变化的敏感性，促进电厂热工自动监控系统的进一步发展。

三、自动控制在热控系统优化策略

（一）控制算法的改进

为了提高热控系统的控制效率，需要在实际运行过程中对控制算法进行不断完善和优化。从目前情况来看，常用的PID算法主要有常规PID算法、自适应PID算法和模糊PID算法等。其中，常规PID算法简单实用，但由于其动态性能较差，所以不适合作为热控系统的主要控制策略；而模糊PID算法虽然能够弥补常规PID算法的不足之处，但也存在着一定的缺陷，因此，只有综合考虑各种因素，才能使其得到有效改进。此外，一些学者还提出了新的算法，如模型参考自适应控制算法、广义预测控制算法、增量式学习速率控制算法等。这些新算法的引入，都有助于实现热控系统的智能化控制。

（二）传感器与执行器的优化

首先，对于传感器的优化设计可以选择PID控制系统，实现温度的自动调节，并利用传感器和执行器的结合来保证控制系统的准确性。其次，根据当前的情况分析，在实际应用中应尽可能地选用小型、可靠、方便的传感器，以便能够提高监测效率，同时也要考虑到各种因素的影响。此外，为了更好地发挥自动控制技术的优势，需要对执行器进行优化。主要是通过增加执行机的数量以及改善它们之间的逻辑关系来达到最佳效果，以确保整个热控系统的正常运行。总之，当被控对象发生变化时，需要对执

行机构的结构进行相应的调整,从而使其适应新的条件。

(三) 系统建模与仿真

自动控制在热控系统中的应用是基于模型进行的,它包括三个方面:一是被控对象的建模;二是控制器的设计;三是仿真实验。基于模型的热控系统优化控制策略有:(1)模型参数在线辨识技术;(2)非线性控制策略;(3)最优控制器设计方法。基于模型的热控系统优化控制策略在数学建模、模型辨识、控制器设计和仿真实验方面都有很好的表现,随着计算机技术和信息技术的发展,仿真实验也越来越多地被应用到实际当中^[4]。

(四) 智能控制技术的融合

在传统的热控系统中,由于缺乏智能控制技术,难以对系统进行控制。但是,随着人工智能技术的不断发展,为热控系统的自动控制提供了新的解决方案。以神经网络技术、模糊控制技术和专家系统等为代表的智能控制技术,能够在一定程度上提高热控系统的智能化水平。因此,需要将这些先进技术应用到热控系统中,从而提高其运行效率。例如,可以利用神经网络技术实现对机组状态的实时监控,并通过数据分析预测未来的运行状况,以便及时调整控制策略,确保系统安全稳定运行。此外,还可以利用专家系统对热工参数进行智能优化,通过分析历史数据,选择最佳控制参数,避免出现过冷或过热现象,从而提高系统的稳定性和可靠性。

(五) 故障诊断与容错控制

热控系统的故障诊断和容错控制是实现高精度、高效率控制目标的重要手段。该系统由大量传感器收集数据,经过一系列分析处理后输出指令,完成对被控对象的控制。但在实际应用中,由于系统本身或外部环境因素影响,系统可能出现故障,甚至完全失效,因此必须采取必要的容错措施。为此,可以利用智能算法对各种故障模式进行预测,并设计相应的容错控制策略,以确保系统始终处于正常运行状态。此外还应定期对设备进行检修维护,及时发现并排除潜在问题,防止故障扩大造成更严重的后果。通过上述方法能够有效提升热控系统的稳定性和可靠性,

保障设备安全稳定地运行^[5]。

(六) 节能优化

在机组安全、稳定的运行中,控制系统通过调节给水温度和凝汽器真空,来达到降低热耗的目的。在实际操作过程中,需加强对调节水量、循环水量、给水泵出力等参数的调控,使机组获得更多的经济运行指标,如:节约燃料,降低成本。具体调控措施如下:

- (1) 优化调节水节流装置的开度,保持机组稳定运行;
- (2) 合理分配各台水泵的流量,使各台水泵间能相互兼顾;
- (3) 保持各台泵组转速基本一致,避免因一台机组转速较高而造成其他机组转速偏低现象;
- (4) 定期检查给水温度,并与设定值进行比较,若偏离则采取相应的措施;
- (5) 利用变频技术调节冷却塔风机转速,提高冷却效果;
- (6) 调整凝汽器真空,优化热力系统,提高发电效率;
- (7) 定期清理除氧器内的水垢,保持足够的空气量。

结语

随着我国科学技术的迅猛进步,电力工业也迎来了蓬勃发展的新局面。在这个不断向前推进的时代背景下,电力企业通过实施一系列创新技术和管理措施,不仅有效提升了发电效率,而且大幅增强了电网的稳定性和可靠性。然而,要想确保电力生产的安全高效,就必须对机组进行严格的运行维护。特别是热控系统作为保障机组稳定运行的关键环节,其性能的优化与控制策略的改进显得尤为重要。因此,针对当前存在的问题和挑战,加强对热控系统研究与开发工作,无疑将成为推动我国电力工业发展的重要举措。这不仅能够为企业带来更为丰厚的经济效益,同时也能为社会提供更加安全、可靠的电能供应,从而实现可持续发展的战略目标。

参考文献

- [1] 唐莉. PLC 自动控制在双套管输灰系统中的优化及应用 [J]. 广西电力, 2014, 37(06): 66-69.
- [2] 王力骞, 高乐, 王嘉骏. 自动控制在污水处理系统中的应用及优化 [J]. 工业安全与环保, 2011, 37(07): 11-12+31.
- [3] 赵希娟. Smith 预测器在热工自动控制系统中应用 [J]. 黑龙江电力技术, 1999, (04): 59-61.
- [4] 孙红. 实现喷雾降温装置自动控制在热煤气系统中的应用 [J]. 自动化与仪器仪表, 2010, (02): 56-57.
- [5] 张学志. 谈自动控制在热网调度系统中的应用 [J]. 山西建筑, 2016, 42(35): 140-141.

热控系统中的温度传感器选择及性能评估

戚梦强, 王硕

江苏阚山发电有限公司, 江苏 徐州 221134

摘要： 温度传感器是一种重要的电子仪器，在工业过程控制和设备制造领域得到广泛的应用，温度传感器通过测量温度信号来转换成电信号，该电信号经处理后可以驱动执行机构来实现对生产过程中工艺参数的控制。温度传感器可用于各种应用场合，包括工业过程控制、过程仪表、各种环境测试和测量系统等，工业过程控制领域中使用的温度传感器主要有热电偶、热电阻和热电阻三种类型。随着电子技术和半导体技术的发展，应用于温度传感器的半导体材料和器件也不断更新换代，相应的测量精度也不断提高。本文主要介绍在热控系统温度传感器选择及性能评估。

关键词： 热控系统；温度传感器；选择；性能评估

Temperature Sensor Selection And Performance Evaluation In The Thermal Control System

Qi Mengqiang, Wang Shuo

Jiangsu Kanshan Power Generation Co., LTD. Xuzhou, Jiangsu 221134

Abstract： Temperature sensor is an important electronic instrument, which is widely used in the field of industrial process control and equipment manufacturing. The temperature signal, which can drive the actuator to realize the control of process parameters in the production process. Temperature sensors can be used in a variety of applications, including industrial process control, process instruments, various environmental testing and measurement systems, etc. The temperature sensors used in the field of industrial process control mainly include thermocouple, thermal resistance and thermal resistance three types. With the development of electronic technology and semiconductor technology, the semiconductor materials and devices applied to temperature sensors are also constantly updated, and the corresponding measurement accuracy is also constantly improved. This paper mainly introduces the temperature sensor selection and performance evaluation in the thermal control system.

Keywords： thermal control system; temperature sensor; selection; performance evaluation

引言

在工业生产中，温度是一个非常重要的参数，尤其是对于某些设备的正常运行，温度的控制尤为重要，在现代工业生产中，温度控制设备通常是指自动控制系统、热电偶传感器、热敏电阻、热电偶温度变送器等。为了实现对这些设备的自动控制，温度传感器的选择和性能评估就显得尤为重要，对温度传感器要求越来越高，这就要求选择和使用好温度传感器。在实际生产中，我们必须根据生产设备的工艺要求和实际使用情况，正确选择合适的温度传感器。

一、热控系统

（一）热控系统的组成与工作原理

热控系统的组成：（1）温度检测与传感器：这是热控系统的基础部分，负责实时监测和采集温度数据。例如，锅炉温度监控系统中的 DS18B20 温度传感器，以及数字温度传感器在室内温度控制系统中的应用。（2）控制逻辑模块：这部分负责根据温度数据和其他参数（如时间、房间状态等）计算出相应的控制

指令。例如，加热炉温度控制系统中的控制逻辑模块。（3）执行机构：包括各种能够响应控制指令以调节温度的设备或元件，如电磁阀、固态继电器等。例如，通过驱动双稳态电磁阀的开闭实现温度控制，以及通过输出口控制固态继电器来调节炉的温度。（4）数据通信模块：用于系统内部各部分之间的信息交换，以及与外部系统的连接。例如，基于 OPC 通信协议的数据通信模块。（5）人机界面：提供一个直观的界面，使操作者能够方便地设置温度、查看温度数据和接收报警信息。例如，采用液晶显示模块

作者简介：戚梦强，1995年，汉族，江苏省东海县，本科，助理工程师，热控检修

及键盘模块进行温度、时间的设定。(6) 辅助热沉: 在某些热控系统中, 为了更有效地管理热量, 可能会引入辅助热沉, 如液体 PAO 与 R134a。(7) 安全与故障诊断电路: 确保系统安全可靠运行的基础, 如高精度的温湿度信号采集电路、低噪音的继电器控制电路等。(8) 热管理子系统: 在一些复杂的热控系统中, 可能需要将系统划分为多个热管理子系统, 每个子系统负责特定区域或设备的温度控制^[1]。

热控系统的工作原理: (1) 温度检测与反馈: 热控系统首先需要一或多个温度传感器来监测当前的环境或过程温度, 这些传感器可以是基于不同技术的, 如热电偶、热电阻或数字温度传感器等。(2) 数据处理与控制算法: 收集到的温度数据被传输到控制器中, 控制器根据预设的温度目标和当前的温度读数计算出必要的控制动作。(3) 执行器的激活: 根据控制器的指令, 执行器(如加热器、风扇或其他类型的加热或冷却设备)将被激活以调整环境温度。(4) 人机界面与用户交互: 许多热控系统还包括人机界面(HMI), 允许操作者设置目标温度、监控系统状态并进行故障诊断。这些界面通常提供图形化显示和易于使用的输入设备, 如触摸屏或键盘。(5) 系统优化与自适应控制: 一些高级的热控系统还可能包括自适应控制功能, 能够根据外部条件的变化自动调整控制参数, 从而提高系统的效率和响应速度。

(二) 热控系统对温度测量的要求

1. 高精度和稳定性

热控系统在温度测量中的高精度和稳定性要求涉及到高精度温度传感器的选择、先进的信号处理技术的应用、稳定的温度控制算法设计以及系统整体设计的综合考虑。这些因素共同作用, 以确保温度测量和控制的高精度和稳定性, 满足精密工业产品生产的需求。

2. 多种传感器选择

不同的应用环境对温度传感器的要求也不同。常用的有热电偶, 热电阻(例如铂电阻), NTC 热敏电阻等等。每一种传感器都有各自的适用场合, 各自的优势和不足。比如, 温差电偶适合在较高的温度下使用, 而 NTC 型热敏电阻适合在中低温环境下使用。

3. 环境适应性

测温装置要能适应多种恶劣的环境, 如高温, 低温, 腐蚀性气体等。比如, 在对加热炉进行高温测试时, 必须保证测试系统的精度与均匀性。

4. 实时反馈与控制

要达到准确的温控要求, 测温系统必须能提供即时的回馈。PID 调节器是一种常见的温控算法, 它是通过对温度传感器的反馈, 对其进行温度调节, 达到了精密控制的目的。

5. 集成化与自动化

为了降低人为的干扰, 提高工作效率, 现代测温系统正朝着集成化、自动化方向发展。以 SPMK3000 智能温控仪表校验系统为例, 采用微机、打印机、高精度的数字测量仪等一系列装置, 对仪表进行自动检测与控制。

6. 故障检测与处理

热控系统对温度测量的要求包括高精度的温度测量、准确的

故障检测与及时有效的故障处理。通过采用先进的温度测量技术和控制方法, 结合有效的故障诊断和处理策略, 可以显著提高热控系统的性能和可靠性^[2]。

二、温度传感器选择

(一) 常见温度传感器类型

热电偶, 热电偶测温是一种基于两种金属材料之间的温度差, 具有成本低、量程大、线性度好等特点, 在工业自动控制、环境监控等领域得到了广泛的应用。电阻温度检测器, RTD 工作原理是根据铂或其他金属的电阻随温度而改变。该方法具有较高的准确度, 适合于对测量精度有较高要求的场合。热敏电阻, 热敏电阻是一种利用材料的电阻随温度变化的特性来测量温度的传感器, 它可以分为负温度系数(NTC)和正温度系数(PTC)两种类型, 广泛应用于家电控制、医疗设备等领域。基于半导体的集成电路, IC 温度传感器一般是将温度转换成电压或数字信号的集成电路, 其测温精度高, 在各类电子器件及工业生产中得到了广泛的应用。

(二) 不同类型温度传感器的特点与适用范围

1. 热电偶(Thermocouple)

特点: 测量范围宽, 性能稳定, 结构简单, 动态响应好, 能够远传电信号, 便于自动控制和集中控制。铠装热电偶具有抗震、可弯曲、超长、动态响应快的特点; 薄膜热电偶热容量小、反应速度快; 防爆热电偶机构强度高、可防爆或隔爆。

适用范围: 广泛应用于工业自动化、航空航天、气象监测等领域。

2. 热电阻(RTD)

特点: 电阻值随温度升高而线性增加, 特别是白金测温电阻体具有出色的线性和长期稳定性, 适用温度范围广, 阻值精度高。

适用范围: 适用于工业领域中的温度监测和控制。

3. 热敏电阻(Thermistor)

特点: 灵敏度高, 响应速度快, 阻值和 B 值精度高, 一致性互换性好。具有较高的准确性和线性度, 适用于较宽的温度范围。

适用范围: 广泛应用于电子设备、汽车等领域。

4. 红外测温传感器(Infrared Temperature Sensor)

特点: 非接触式测量, 快速响应, 适用于远距离和高温环境的温度测量。

适用范围: 适用于医疗设备、家电控制、汽车电子等领域的温度测量^[3]。

5. 光纤温度传感器(Optical Fiber Temperature Sensor)

特点: 利用光纤的光谱特性进行温度测量, 具有高精度、抗干扰能力强、安全性能高等优点。

适用范围: 适用于需要高精度和安全性的场合, 如核电站、化工厂等。

6. 数字温度传感器(Digital Temperature Sensor)

特点: 精度高、数字输出、快速响应、简单易用和低功耗等

特点，例如 LM35 温度传感器，具有低功耗、低成本、高精度的特点，输出电压与摄氏温度成正比。

适用范围：广泛应用于工业自动化、智能家居、医疗设备、汽车电子等领域。

三、热控系统中的温度传感器选择及性能评估

（一）精度与分辨率评估

温度传感器的准确度是指实测值和真实值的最大差值，一般用标准偏差的三倍来表达，比如，一些国内的温度传感器被划分为 A 和 B 两个等级，其精确程度由国家标准来确定，而分辨力是导致示值偏差的最小量值。在选择温度传感器时，需要根据应用需求确定所需的精度和分辨率，评估热控系统中温度传感器的精度与分辨率需要结合多种方法和标准，包括校准、误差分析、非线性校正以及多方面的性能测试，以确保传感器在实际应用中的可靠性和准确性。

（二）响应时间与动态特性

该系统的动力学性能指标主要有：温度响应时间、时间常数等，它们反映了系统对温度变化的响应速率。例如，布拉格光栅（FBG）作为一种新型的测温器件，其响应速度快，能够在微秒级的时间内实现对温度的测量。另外，在实际校准中，阶跃温度响应也是普遍采用的一种测量方式，而温度传感器的响应时间与动力学特性是评价其工作性能的关键，直接关系到其能否准确、及时地对其进行检测与反馈，因此，理解和优化该特性对整个测温系统的综合性能具有重要意义^[4]。

（三）稳定性与可靠性

温度传感器的稳定可靠是保证长期精确测量的关键，在要求精确、快速的场合，可选用 Pt1000 型，在稳定度要求较高的场合，可选用磁开关型。其中，HMP155A 系列传感器，采用了国际领先的生产工艺，并拥有自主知识产权的技术，性能稳定，对环境的适应性强。另外，数字温度传感器具有很强的自适应能力，能够对各种不同的场合进行测量。

（四）环境适应性

一种新型的基于纳米银基农业温敏芯片，它采用 PDMS 保护层对其进行防水保护，提高其对环境的适应能力和使用寿命。此外，封装技术也极大地提升了其对环境的适应性，因此，在选用适当的温度传感器时，需要充分考虑其在工作条件下的工

作性能，如：耐温范围、准确度、响应速度、对湿度、腐蚀性气体等的敏感性等。

（五）安装与维护便利性

传感器的简易安装与维修对整个系统的工作效率有很大的影响，例如，一些传感器具有结构简单、安装方便、可转动的安装界面，可灵活地适用于各种安装地点。同时，在选择安装位置时，还需要考虑维护和更换的方便性，以避免增加额外的成本和复杂性，评估和比较不同温度传感器在安装与维护便利性方面的表现，需要综合考虑传感器的安装方式、维护难度、耐用性以及对环境适应性等多个方面。

（六）成本效益分析

在选用温度传感器的时候，要注意性价比，因为不同型号的温度传感器，其价格、性能等各方面都有很大的差别，所以要从性价比的角度来考虑。本项目将对 3D 热控系统中采用多种温度传感器进行经济性评价，并对其进行经济性评价，并将其直接、间接费用、直接或间接费用计算在内。例如，热电偶式温度传感器由于其价格低廉，在工业上得到了广泛的应用，但是它的动态响应性能却不一定能达到布拉格光栅的要求。

（七）综合性能比较与选型建议

综合考虑精度、分辨率、响应时间、稳定性、环境适应性、安装与维护便利性以及成本效益等因素，选择最适合的应用场景的温度传感器。例如，对于需要高精度和快速响应的应用场景，可以选择光纤布拉格光栅传感器，而对于成本敏感且对环境适应性要求较高的应用场景，则可以选择数字式温度传感器或热电偶温度传感器^[5]。

结语

在热控系统中，温度传感器的选择和性能评估是确保系统运行精确性和稳定性的关键，通过深入研究不同类型的温度传感器（如热电偶、RTD、热敏电阻等），我们可以更好地理解它们的特性和适用范围，从而做出更合适的选择。未来的研究应进一步探索新型温度传感器的开发和应用，特别是在极端温度条件下的表现，此外，研究还可以集中在优化传感器的布置和控制算法，以实现更高的测量精度和系统稳定性。这些努力将为相关领域的进展提供新思路和方法，推动学术界和实践界的共同发展。

参考文献

- [1] 单亚男, 李云鹏. 退化量分布法在牵引电机温度传感器性能可靠性评估中的应用 [J]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2022(9): 0131-0134.
- [2] 吴道兴, 聂志强, 黄保光. 氨水再循环系统中的材料选择与耐久性分析 [J]. 当代化工研究, 2024(2): 125-127.
- [3] 闫智武, 顾乃庭, 饶长辉. 大口径地基太阳望远镜温度传感器标定方法 [J]. 量子电子学报, 2023, 40(4): 588-596.
- [4] 高桃红. 发电厂中的 PLC 热控系统抗干扰策略分析 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(9): 284-285.
- [5] 杨庆涛, 朱新新, 王辉, 白菌尘, 裴进浩. 快速响应热流 / 温度传感器制备与试验研究 [J]. 遥测遥控, 2020, 41(2): 60-67.

水压爆破技术在地震勘探中的应用

吴杨云, 杜琦伟

山西省煤炭地质物探测绘院有限公司, 山西 晋中 030600

摘 要 : 随着城镇化发展和绿色勘探的要求, 采用大药量连续装药的井中爆炸方式, 难以统筹解决地震勘探资料采集难、爆炸震动危害大和炸药爆炸后产生的有害气体对环境的污染问题。笔者通过借鉴钻孔水压爆破技术原理, 采用往地震勘探炮孔底投放 1 瓶与孔径基本吻合的装满水的矿泉水瓶, 然后下药, 再在炸药顶端安装 2 个矿泉水瓶, 埋孔、灌水等措施, 论证了水压爆破在复杂环境作业区提高地震勘探采集质量、降低震动危害和炸药爆炸后产生的有害气体对环境的污染问题等方面的成果应用价值, 研究制定了地震勘探水压爆破实施办法。为进一步解决深厚黄土区采集资料难、建筑物附近炮震动危害大、炸药爆炸后 NO、NO₂ 有害气体的污染问题, 进行了有益的探索和思考。

关 键 词 : 地震勘探; 水压爆破; 环保震源; 技术研究

The Application Of Water Pressure Blasting Technology In Seismic Exploration

Wu Yangyun, Du Qiwei

Coal Geological Geophysical Exploration Surveying & Mapping Institute of shanxi Province, Jinzhong, Shanxi 030600

Abstract : With the development of urbanization and the requirements of green exploration, it is difficult to solve the problem of the environmental pollution of harmful gases caused by the explosion. The author, by drawing lessons from the drilling water pressure blasting technology principle, put the bottom and the aperture of 1 bottle filled with water bottles, and then install 2 bottles at the top of the explosive bottles, buried hole, irrigation, demonstrates the water pressure blasting in the complex environment to improve the quality of seismic exploration and acquisition, reduce the vibration hazards and the explosive explosion of harmful gases of environmental pollution results application value, study the measures for the implementation of seismic exploration hydraulic blasting. In order to further solve the problems of NO and NO₂ pollution in the deep loess area, the vibration of guns near the building, and the explosive explosion, the beneficial exploration and thinking are made.

Keywords : seismic exploration; water pressure blasting; environmental protection source; technical research

一、引言

以炸药爆炸时产生的能量作为震源的地震勘探^[1], 是当前常用的一种地球物理勘探方法, 其装药方式目前仍然采用连续装药^[2]的方法, 将震源药柱串起来, 用木杆将炸药送到井底, 然后用岩土岩屑封孔、起爆, 基本解决了地震勘探资料采集问题。但是, 随着城镇化发展, 勘探深度的增加和《绿色勘探指南》^[3]对地震勘探的要求, 采用大药量连续装药的井中爆炸方式, 难以统筹解决复杂环境作业区地震勘探资料采集难、爆炸震动危害大和炸药爆炸后产生的有害气体对环境的污染问题。

水压爆破^[4]是利用水的不可压缩性质, 能量传播损失小, 且水在爆炸气体膨胀作用下产生的“水楔”效应, 大大减少了炸药能量的外泄, 使更多的能量为地震波, 同时减小对周围围岩的扰动; 其次水在爆破冲击波作用下形成水雾, 能溶解一部分有害气体, 降低有害气体对环境的污染。目前水压爆破已广泛应用于工程爆破中, 并取得了较为理想的效果。因此, 将水压爆破应用于

地震勘探中, 具有一定的技术、经济和环保意义。

二、国内外研究现状和发展趋势

早在二战期间, 库克伍德和贝特提出了水中爆炸的近似理论, 泰勒提出了气泡振荡理论; 1948 年库尔研究了水中爆炸的主要现象和变化规律; 1962 年, 霍顿用数值方法研究得出了水下爆破冲击波传播和衰减的理论解。40 年代末期, 挪威、瑞典等国就在城市进行过水压爆破拆除建筑物的尝试, 并取得了成功; 进入 50 年代, 水压爆破技术迅速在世界各国得以推广, 成为城市建筑物拆除爆破中一种较安全且先进的爆破技术; 到 70 年代末, 日本的桥本博和高木薰首先将此技术应用于隧道掘进和石材切割中, 发明了所谓的 ABS 法。

我国应用水压爆破技术始于 50 年代, 大量应用则是 70 年代末 80 年代初。80 年代初, 山东莱芜铁矿、山东洪山铝土矿将水压爆破技术应用于大块的二次破碎, 取得了成功; 1984 年—1995 年,

作者简介: 吴杨云 (1966—), 男, 山西新绛人, 地质工程师, 注册安全工程师, 爆破安全工程师, 主要从事煤矿安全和地质勘探安全研究

中国科技大学、铁道部工程指挥部、西安矿业学院爆破工程部将水压爆破应用于城市拆除爆破中。陈士海、林从谋根据水的性质和爆炸作用特点，理论分析了水压爆破岩石破碎特征，讨论了水介质的水楔作用；罗勇等人通过现场试验表明水介质不耦合爆破装药量少，爆破震动低，围岩稳定性好，可节约施工成本、降低爆破烟尘、加快施工进度。

由于水压爆破较多应用于工程爆破中，因此国内外的研究现状大多是关于工程爆破，对于水压爆破在地震勘探的应用目前还处于空白阶段。

本文通过借鉴隧道孔内水压爆破技术参数，采用往地震勘探炮孔底投放1瓶与孔径基本吻合的装满水的矿泉水瓶，然后下药，再在炸药顶端安装2个矿泉水瓶，埋孔、灌水等措施，在现场进行了试验和单炮记录品质分析与对比，不仅取得了单炮记录面貌好，面波干扰少，单炮能量、道集间频率、信噪比都要优于单孔连续装药质量，而且从地震波能量对比上可以看出水压爆破试验孔的振幅明显小于常规孔，并且在爆区边缘100 m范围内有居民集中区、大型养殖场和重要设施的环境中实施炸药量为2kg，孔深在6m以内的基岩孔爆破激发，其周围的居民设施和养殖场均没有受到任何震动危害影响。在环保方面，NO、NO₂属于炸药爆炸后产生的有毒有害气体，遇水后会生成硝酸或亚硝酸与黄土孔内含有的钙质结核发生化学反应，会生成硝酸钙等盐类物质，有利于农作物生长。另外孔内充水较多，也可以稀释有害气体的作用。从而填补了国内地震勘探实现绿色勘探的一项空白。

三、地震勘探水压爆破试验对比

深厚黄土区一直是地震勘探困难区。过去常规的办法是，加大孔深，加大药量或采取平面组合，提高地震勘探爆破作用面积的办法。但是其效果并不理想，单炮记录深层反射波不明显，面波干扰大，而且施工成本高。

为了提高采集资料质量，保障生产成本不超预算的情况下，笔者在山西厚黄土区和基岩区采用了用饮料瓶装水作间隔材料进行了间隔装药^[5]地震勘探爆破试验，即深孔水压爆破技术，取得了明显的效果。

(1) 1号试验点

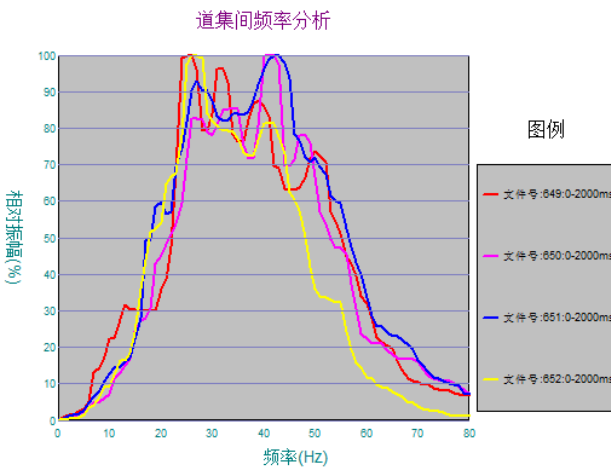
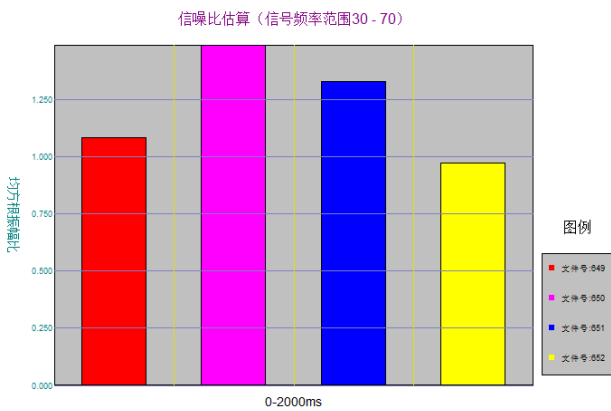
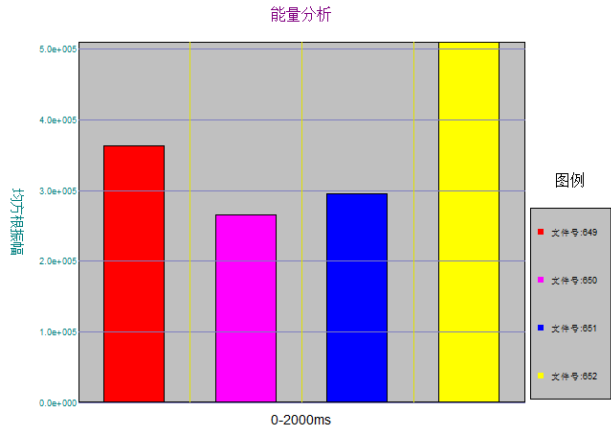
7号孔为常规孔：孔深5m，位于沟底，激发介质为N2砂质粘土。药量2kg，集中连续装药。

5号孔为试验孔：孔深5m，位于沟底，激发介质为N2砂质粘土。药量2kg，为间隔装药，间隔方式为在孔底安放1瓶高22cm的装满水饮用水瓶，下1kg炸药，然后再安放1瓶高22cm的装满水饮用水瓶，再下1kg炸药，最后埋孔堵塞。通俗的表示方法为1+1，1代表水瓶。

山西某煤矿井田三维地震勘探水压爆破和常规炸药的对比试验：同一地方的普通炸药和水压爆破的单炮的定性、定量分析可看出，水压爆破目的层段的目的波连续性、信噪比优于普通炸药；二者在能量和频率上相差不大，水压爆破的信噪比优于普通炸药。

(2) 2号试验点

改变试验方法，采用孔底间隔装药先在井底安放2瓶矿泉水，下4kg炸药，炸药之上再安放10瓶矿泉水，最后埋孔，在山西某县陡坡深厚黄土区地震采集方面取得了突破。



通过实验对比，不难发现凡是在井底安放水瓶的试验孔，其目的层反射波能量明显优于常规孔，并且采集资料面貌好，干扰波能量弱，信噪比高。从单炮能量和品质分析上可看出，深孔水压爆破在高频成分分布、能量、频带和信噪比方面具有明显优势。

从地震爆破激发能量上看，试验孔（粉红色）、蓝色和常规孔（红色）、黄色看，试验孔对孔壁破坏做功能量低，用于激发地震波的能量高。在信噪比分析，试验孔信噪比明显高于常规孔，从频谱上看，15—55赫兹频率的能量比较突出。

四、水压爆破技术参数与地震勘探子波特征的关系

（一）地震勘探子波形成与特征

以炸药为震源的地震勘探子波产生于炸药爆炸后形成的弹性带内，若介质为各项同向，其强度、波形和频谱与压力衰减系数、震点到塑性形变外缘距离、纵波速度、介质密度等有关。通过理论计算和实践可得出以下几点认识。

（1）压力衰减系数越小，在弹性形变内壁上形成的压力越大，形成的地震波振幅就越强。在此情况下，压力也就衰减越慢，且低频成分越丰富。这也是闷井可以增强激发能量的理论依据。

（2）压力衰减系数不变，激发介质速度越高，振幅越小，频谱向高频端展宽。在地震勘探中，一般不选取在速度较高的硬岩石（如化学胶结的岩石）中激发，但也不选取速度很低的松散层激发，这是因为速度很低的松散层对地震波有强烈的吸收作用。

（3）药量大时，振幅相对较强，低频成分相对较为丰富。激发药量越大，地震子波的振幅相对较强，低频成分相对丰富，延续时间相对较长；激发药量越小，地震子波的振幅相对较弱，高频成分相对丰富，延续时间相对较短。

（二）水压爆破技术参数

地震勘探炮井内水压爆破其实质是工程爆破中的间隔装药^[5]一种形式。通过间隔介质改变药柱与炮孔壁的接触关系，以降低应力波和爆轰气体产物作用于孔壁的初始压力，使这种压力的作用时间延长，使炮孔周围不产生压碎区或压碎区明显减小，从而在减小炮孔装药量的情况下，依靠炸药能量有效利用率的提高，达到保证爆破破碎的目的。

在地震勘探中通过实施间隔装药可以实现炸药波阻抗与介质波阻抗接近，使激发的地震波能量最大。地震勘探震源药柱的波阻抗通常为6000的爆速与1.4的乘积。而岩土波阻抗通常为3000与1.5-1.7的乘积，波阻抗值相差2000左右。将炸药波阻抗与岩土波阻抗接近唯一的办法就是通过孔底间隔使炸药起爆后所产生气体作用的空间增大，密度减小，在爆速不变的情况下，使炸药的波阻抗与岩土波阻抗接近，从而提高炸药能量转化为地震波的能量。

“钻孔水压爆破”技术正是针对这一情况，采用在炮眼中先“注水”后用“炮泥”回填堵塞的新技术，利用在水中传播的爆破应力波对水的不可压缩性，使爆炸能量经过水传递到炮眼围岩中几乎无损失，十分有利于岩石破碎。同时，水在爆炸气体膨胀作用下产生的“水楔”效应有利于岩石进一步破碎，炮眼中有水可以起到雾化降尘作用，大大降低粉尘对环境的污染。岩石通过水楔效应破碎的过程，也就是地震波产生的过程。

另外，根据炸药的热化学参数，1kg 硝铵炸药爆炸后能够释放4228kJ 热量，1kg 水遇热被气化需要2260 kJ 的热量。采用“钻孔水压爆破”炸药爆炸后，孔底的水将被气化膨胀，其体积在1个标准大气压下将会膨胀1244倍。由于孔底空间的限制，被气化的水瓶将会发生水蒸气爆炸（就像锅炉爆炸）。水瓶气化后在爆炸的瞬间处于强烈的压缩状态，因而形成很高的势能。该势能在水蒸气膨胀过程中迅速转化为机械功，产生地震波。从而大大提高了炸药的能量利用率。

（三）水压爆破技术参数与地震勘探子波特征的关系

通过上述论述，采用在炮眼中先“注水”后用“炮泥”回填堵塞的新技术，不仅提高了炸药能量利用率，而且利用水的不可压缩性和较高的能量传递效率，提高地震勘探子波的品质，形成如下效应：

（1）使炮井内水中爆轰产物的膨胀速度要慢，在耦合水中激起爆炸冲击波的作用强度高和作用时间长，有增强地震子波振幅的作用；

（2）在炮孔周围岩石中产生的爆炸应力波强度高，衰减慢，作用时间较长，具有较高的爆炸压力峰值，使地震子波频谱向高频端展宽；

（3）因为水的不可压缩性和较高的能量传递效率，同时相当于炮泥，水又具有一定的堵塞作用，因此，传递给岩石的爆破能量分布更加均匀、利用率高，有助于压制面波干扰，延缓地震子波的衰减。

五、结论

通过借鉴钻孔水压爆破技术参数在地震勘探中的应用，形成了如下认识和结论。

（1）炸药与装满水且封闭的矿泉水瓶相组合，可成为新型环保震源，不仅提高了炸药的能量利用率，而且还充分利用炸药的热力参数，使装满水且封闭的矿泉水瓶在炸药爆炸后高温高压条件下急剧气化膨胀，在有限的空间内产生爆炸现象，因而形成很高的势能。该势能在水蒸气膨胀过程中迅速转化为机械功，产生地震波。

（2）采用往地震勘探炮孔底投放1瓶与孔径基本吻合的装满水的矿泉水瓶，然后下药，再在炸药顶端安装2个矿泉水瓶，埋孔、灌水等措施，有效解决了深厚黄土区采集资料难、建筑物附近放炮震动危害大、炸药爆炸后NO、NO₂有害气体的污染问题。

（3）爆破激发的地震波记录面貌好，面波干扰少，单炮能量、道集间频率、信噪比都要优于单孔连续装药质量，为解决厚黄土区地震勘探资料采集难打下基础，取得突破。

（4）为哑炮的人工处理创造了识别标志。炸药顶端的2瓶矿泉水实际上为人工用洛阳铲掏药到水瓶时，作业人员有明显的手感，这时作业人员就会均匀用力将水瓶从孔内缓慢掏出，然后再下药引爆。

参考文献：

- [1] 地震勘探：陆基孟，王永刚. 地震勘探原理. 东营：中国石油大学出版社，2009.
- [2] 连续装药：王亚朋，王相，王海亮，等. 连续装药起爆方式对爆破效果的影响分析[J]. 矿业研究与开发，2016(12):101-103.
- [3] 《绿色勘查指南》是中国矿业联合会标准，是中国第一个绿色勘查团体标准。指南规定了勘查工作中开展实践绿色勘查的基本原则和基本要求、施工企业管理、勘查工作中的生态环境保护 and 环境恢复治理、和谐勘查等内容。2018年8月1日，《绿色勘查指南》标准实施。
- [4] 水压爆破：钟冬望. 水孔预裂爆破机理及应用研究[D]. 北京理工大学，2000.
- [5] 间隔装药：吴亮，朱红兵，卢文波. 空气间隔装药爆破研究现状与探讨[J]. 工程爆破，2009，15(1):16-19.

基于 PID 控制算法的热控系统性能优化研究

张涛, 蒋泉波

江苏阚山发电有限公司, 江苏 徐州 221134

摘要： 本文针对热控系统性能优化展开研究，深入探讨了 PID 控制算法，包括其原理与参数整定方法。详细分析了热控系统性能的评价指标及影响因素，在此基础上，重点研究了基于 PID 控制算法的热控系统性能优化方案，如改进的 PID 控制算法、基于模型的 PID 控制优化、多变量 PID 控制应用、抗干扰性能优化、与其他控制算法结合应用、实时监测与自适应调整等内容，并通过实验验证了优化方案的效果与可行性，最后对研究成果进行了总结与展望，为热控系统性能优化提供了理论与实践依据。

关键词： PID；控制算法；热控系统；性能优化

Study On The Performance Optimization Of Thermal Control System Based On PID Control Algorithm

Zhang Tao, Jiang Quanbo

Jiangsu Kanshan Power Generation Co., LTD. Xuzhou, Jiangsu 221134

Abstract： This paper studies the performance optimization of the thermal control system, and deeply discusses the PID control algorithm, including its principle and the parameter setting method. Detailed analysis of the evaluation indexes and the performance of the thermal control system, on this basis, the performance optimization scheme based on PID control algorithm, such as improved PID control algorithm, PID control optimization, multivariate PID control application, anti-interference control optimization, combined with other control algorithm, real-time monitoring and adaptive adjustment, and verify the effect and feasibility of the optimization scheme, the research results provide a theoretical and practical basis for the performance optimization of the thermal control system.

Keywords： PID; control algorithm; thermal control system; performance optimization

引言

在现代工业生产和科学研究中，热控系统发挥着至关重要的作用。无论是在化工、能源、材料加工等领域，还是在电子设备、航空航天等高科技产业中，精确的温度控制和稳定的热性能都是保证产品质量、提高生产效率和确保系统可靠性的关键因素。PID 控制算法作为一种经典的控制算法，由于其原理简单、易于实现和鲁棒性强等优点，在热控系统中得到了广泛的应用。然而，传统的 PID 控制算法在面对复杂的热控系统和多样化的控制需求时，也存在一定的局限性。因此，如何对 PID 控制算法进行优化和改进，以提高热控系统的性能，成为了当前热控领域的研究热点之一。

一、PID 控制算法

(一) PID 控制算法的原理

PID 控制算法的基本原理是用误差信号和控制量信号对控制器进行反馈，从而对控制器的输出进行调整。PID 算法通过检测误差信号来调整控制器的输出值，以达到对被控系统稳定、精确控制的目的。PID 算法一般由四部分组成：比例（P）、积分（I）、微分（D）和自整定参数（e）。其中比例环节表示输入误差信号与期望值之间的偏差与偏差信号之比；积分环节表示输出误差信号与期望信号之差与输出信号之差之和；微分环节表示输出误差信

号与实际输出之差与实际输出之比；自整定参数则用于修正比例环节中误差信号与期望值偏差太大或太小的问题。

(二) PID 控制算法的参数整定方法

PID 控制器参数的整定是整个 PID 控制系统设计中最重要的一环，它直接关系到控制效果。一般来说，在确定了控制对象和被控对象之后，即可根据实际需要选用合适的 PID 控制算法来设计 PID 控制器，然后进行相应的参数整定，即通过调节比例（P）、积分（I）及微分（D）三个参数达到预定要求。在这里可以采用传统的方法：按先简单后复杂、先线性后非线性的原则，逐一一对三个参数进行整定，并考虑到温度控制系统具有一定的滞

作者简介：张涛（1978年11月），男（汉），籍贯（江苏省徐州市铜山县），学历或职称：本科，从事研究方向：热控仪表、自动控制、热控保护。

后特性,因此还要设置一个延时时间项(T),使之与被控变量同步变化。在这几种典型的整定方法中,加权平均法具有较好的综合性能,为此可以选择此方法来设计PID控制器^[1]。

二、热控系统性能

(一) 热控系统性能的评价指标

热控系统的性能评价指标通常包括:动态特性、稳态特性和稳态误差。

(1) 动态特性。重点是评估系统在各种工作条件下对控制输入变化做出反应的性能,即系统对外部环境变化的快速适应能力。这一评估可以通过控制输出与被控变量之间的相对误差来衡量。误差越小,说明系统的跟踪性能越好,反之则表明系统响应能力较弱。常用的指标有:平均绝对百分比偏差(APC)、均方根偏差(RMSD)、最大超调量等;

(2) 稳态性。在对系统进行评价时,主要考察其在实际运作过程中是否会因外部环境的各种干扰因素而导致控制参数发生波动。这些参数的波动,正是系统稳定性的直接体现。通过分析这些波动的特性和大小,可以对系统的稳定性作出评估,进而判断该系统是否能够可靠、稳定地完成既定功能。常用的指标有:超调系数、调节时间、死区及积分常数等;

(3) 稳态误差。在进行系统可靠性评估时,关键在于分析系统的输出与实际执行情况之间的相对偏差。这一指标不仅揭示了系统对输入信号的响应是否准确,而且也体现了系统设计和控制策略的有效性。通过对比预设值与实际结果的偏差,可以量化地衡量系统在各种可能条件下的性能稳定性,从而为进一步优化系统设计提供依据。这种相对偏差的大小通常以百分比形式表示,是一个直观而有利的指标,用于确保系统能够按照预期功能稳定运行。常用的指标有:绝对误差、相对误差、总偏差等。

(二) 影响热控系统性能的因素

由于热控系统的性能与其对热量的控制有关,所以影响热控系统性能的主要因素是热流密度、热辐射强度以及空气温度。

(1) 热流密度

热流密度是指单位面积内的热量,即单位时间内通过单位面积上的热量。在其他条件不变的情况下,若热流密度增大,则意味着换热能力增强,系统的换热效率提高;反之,若热流密度减小,则意味着换热能力减弱,系统的换热效率降低。

(2) 热辐射强度

热辐射强度,这一物理量的本质在于衡量在特定的空间单位中所受到的辐射能量的总量。它不仅仅是一个简单的数值,而是涉及了许多复杂的因素。首先,物体的材料性质会对其热辐射强度产生显著影响,不同的材料具有不同的热传导率和辐射特性,这些特性决定了物体对热量传递的效率。其次,材料的导热性能越好,以及物体表面能够吸收多少热量,都将直接影响单位空间内热辐射的强度。在实际应用中,通过精确测量和控制热辐射强度,便能有效地调节和优化热控制系统的运行状态,进而提高系统的工作效率,确保设备在各种环境条件下都能保持最佳的性能

表现^[2]。

(3) 空气温度

空气温度是指空气中单位体积的热量,它的大小直接影响着热控制系统的冷却效果。因此,为了使热控系统达到最佳的效果,需要根据不同季节、不同地区的实际气温来选择合适的室外换热器和室内风机盘管。

三、基于PID控制算法的热控系统性能优化研究

(一) 改进的PID控制算法

PID算法在控制系统中应用非常广泛,但其本身存在着固有的缺陷。传统PID控制算法结构简单、计算量小、鲁棒性强等优点,但是在实际生产过程中会出现很多问题:①由于设定值和实际值偏差过大,导致控制器输出信号震荡,甚至发散;②控制器的超调量太大,影响系统的动态性能;③对外界干扰不够敏感,抗干扰能力差。针对以上问题本文提出了一种基于模型预测控制的PID控制算法。该方法以预测控制理论为基础,并将它与常规PID控制算法相结合,从而弥补了二者的不足之处。具体思路是:首先建立基于神经网络的模糊逻辑控制模型来预测下一时刻的被控变量的变化趋势,然后通过对当前时刻的被控量进行积分运算得到偏差量,再根据偏差大小调整控制参数使系统稳定在期望的范围内。其中,所用到的预测控制模型主要有两个部分组成:第一部分是专家知识表示层,第二部分是规则决策层。

(二) 基于模型的PID控制优化

针对一段锅炉本体的实际运行情况,以保证二次风与燃烧器出口温度呈良好匹配关系为优化目标,设计了一种基于专家经验的模型预测控制算法。该算法首先对系统进行辨识,将输入变量与输出量映射成统一形式的数学模型;然后通过模型预测控制技术得到PID控制器的参数最优解;最后,采用仿真试验验证优化后的PID控制策略的有效性和鲁棒性。在MATLAB/Simulink中建立了一段锅炉的时域仿真模型,并利用PID控制器对锅炉一段炉出口烟温进行闭环调节,进而获得其一阶模型;在此基础上,构建了基于专家模型的PID控制器参数优化模块。在“优化参数”对话框中输入所需的输入输出数据,系统会自动计算出各个控制参数的取值范围,从而确定最优的参数组合^[3]。

(三) 多变量PID控制在热控系统中的应用

(1) 分析热电偶温度检测点的响应时间和精度要求。热电偶检测点响应时间要在20 ms以内,并且在5℃范围内满足 $\pm 1^\circ\text{C}$ 的要求,这就需要进行多变量PID控制算法来实现。

(2) 在系统运行过程中,将PID控制器设定为2个变量:一是由P型输入量、T型输出量和反馈值组成的控制模型;二是I型输入量、T型输出量和反馈值组成的控制模型。通过对控制模型的比较与筛选,确定出最优控制模型。

(3) 根据热控系统的实际情况,合理设置各项参数,使得控制效果达到最佳。

(4) 应用仿真软件建立热控系统的仿真模型,并对其进行动态仿真实验。结果表明,该控制算法可以有效地控制热控系统中

的多个变量，提高了热控系统的控制性能。

（四）抗干扰性能的优化

为提高系统的抗干扰性能，在原 PID 控制算法的基础上增加了一个干扰项。通过实验对比分析可知，干扰项可以有效地抑制由外界因素引起的热控系统不稳定情况。当机组负荷发生变化时，由于热管换热器进口温度与出口温度之间存在一定的滞后现象，因此要对控制对象进行有效的跟踪，在这种情况下引入干扰项能够使得整个系统具有更好的响应能力和快速的调节能力。此外，针对扰动信号的大小，采用不同的积分时间 τ 来对 PID 参数进行整定，从而达到比较理想的优化效果^[4]。

（五）与其他控制算法的结合应用

（1）PID+ 模糊控制。在传统的 PID 控制算法中，其控制参数是固定的，而且系统响应时间较长，不能达到理想的控制效果，而应用模糊算法就可以对其进行调节，从而实现了 PID 与模糊控制的有机结合。该算法首先建立一个输入输出模型，并根据实际运行状况调整目标值，再利用模糊控制器得到输出量的最佳值，最后通过 PID 算法对输出结果进行修正，实现了动态误差最小化的目的。

（2）PID+ 神经网络控制。由于神经网络具有自适应、自学习的功能，所以将其应用于 PID 控制当中，能够有效改善热控系统的控制性能，使系统的稳定性和可靠性都得到提高。但是目前基于神经网络的热控算法还存在着许多问题，如输入数据不精确等，因此，研究人员应不断完善这方面的技术，进而提高我国电厂的智能化水平。

（六）实时监测与自适应调整

在主风机控制系统中，设置了一种基于神经网络的自适应调节方法。该方法以主风机转速、供氧量为输入信号，利用 BP 神经

网络训练模型，经过训练后获得的模型可以对当前工况下的各项参数进行实时在线监测，并根据监测结果和实际运行状态不断调整优化，从而达到降低能耗提高机组效率的目的。此外，通过对仿真数据的分析可知，在各种运行工况下，该方法都能使机组负荷响应更加平稳，并且能够保证稳定的最低出力和较低的排烟温度，具有一定的工程应用价值^[5]。

（七）实验验证与结果分析

在采用 PID 控制策略的系统中，其响应速度表现出色，确保了运行过程的稳定性。当外部环境中的温度发生剧烈波动时，该系统的温度波动幅度被有效控制，维持了一个相对较小的范围内。在整个测试过程中，不论是在何种复杂多变的工况下，输出信号与输入信号之间的一致性都得到了很好的保持。这一特性显著增强了热控系统的鲁棒性，使其能够更好地适应各种突发变化，而不会出现明显的性能下滑。此外，通过对 PID 算法的精细调节和优化，该热控系统展现出了良好的自适应性，它能够根据实际情况自动调整参数，从而保证了系统的高效稳定运行。

结语

本文对基于 PID 控制算法的热控系统性能优化进行了全面深入的研究。通过对 PID 控制算法原理与参数整定方法的探讨，以及对热控系统性能评价指标和影响因素的分析，提出了多种性能优化方案。然而，热控系统的发展和应用不断变化，未来还需要进一步深入研究和探索，以应对更加复杂和多样化的需求。希望本文的研究成果能够为相关领域的研究人员和工程技术人员提供有益的参考和借鉴，共同推动热控系统性能的不断提升和发展。

参考文献

- [1] 屈晓宇, 苏晓峰, 吴守霞. 基于变论域模糊自适应 PID 的供热系统控制策略 [J]. 兰州工业学院学报, 2024, 31(03): 59-64.
- [2] 李建伟. 风电叶片模具多点电加热控制算法研究与系统开发 [D]. 山东省: 山东理工大学, 2021. DOI: 10.27276/d.cnki.gsdcg.2021.000256.
- [3] 杨亮, 秦洪浪. 改进 PID 控制算法的电加热炉炉温控制系统研究 [J]. 工业加热, 2023, 52(10): 38-41. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1639.2023.10.009.
- [4] 李乐, 张佩杰, 宋克非, 等. 基于 PID 自整定算法的高精度滤光片热控系统的设计 [J]. 激光杂志, 2015, 36(03): 7-9. DOI: 10.14016/j.cnki.jgzz.2015.03.007.
- [5] 宁献文, 张加迅, 赵欣. 卫星单相流体回路热控系统前馈 PID 控制 [J]. 中国空间科学技术, 2008, (04): 1-6.

城市防灾减灾工程体系建设及对策研究

翟学翔

河南省建华建筑工程有限公司, 河南 永城 476600

摘 要 : 本文深入分析了我国城市防灾减灾工程体系建设的现状, 揭示了存在的问题和挑战, 并从理论体系和实践层面提出了相应的对策。文章强调构建多层次应急管理体系、协同土地利用规划、发展防灾减灾技术和设施、加强国际合作与交流等, 以提升城市防灾减灾能力, 保障人民生命财产安全和社会稳定, 推动城市可持续发展。

关 键 词 : 城市防灾减灾; 工程体系; 应急管理; 土地利用; 技术创新

Research on the Construction and Countermeasures of Urban Disaster Prevention and Reduction Engineering System

Zhai Xuexiang

Henan Jianhua Construction Engineering Co., Ltd., Yongcheng, Henan 476600

Abstract : This article deeply analyzes the current situation of the construction of urban disaster prevention and reduction engineering system in China, reveals the existing problems and challenges, and proposes corresponding countermeasures from both theoretical and practical perspectives. The article emphasizes the construction of a multi-level emergency management system, collaborative land use planning, development of disaster prevention and reduction technologies and facilities, strengthening international cooperation and exchanges, etc., in order to enhance urban disaster prevention and reduction capabilities, ensure the safety of people's lives and property and social stability, and promote sustainable urban development.

Keywords : urban disaster prevention and reduction; engineering system; emergency management; land use; technological innovation

引言

随着我国城市化进程的加快, 城市人口和规模不断扩大, 城市已成为国家经济发展的重要引擎。然而, 在这一过程中, 城市安全问题日益凸显, 成为影响城市居民生活质量和经济社会稳定发展的关键因素。自然灾害如地震、洪水、台风等, 事故灾难如火灾、交通事故、工业事故等, 以及公共卫生事件如疫情、环境污染等突发事件, 给城市带来了前所未有的挑战和巨大的损失。这些灾害事件不仅造成了人员伤亡和财产损失, 还严重影响了城市的正常运行和社会秩序。城市基础设施的脆弱性、人口密集区的安全隐患、应急救援能力的不足等问题, 都在一定程度上加剧了灾害的影响。

因此, 城市防灾减灾工程体系建设成为保障城市安全、提高城市抵御灾害能力、促进经济社会可持续发展的重要课题。

一、城市防灾减灾工程体系建设现状分析

近年来, 我国在城市防灾减灾工程体系建设上取得了显著进展。得益于党和国家的高度关注, 城市的防灾减灾能力得到了全面提升。硬件设施方面, 众多水利工程、排水管网和防灾设施的建成与完善, 大幅增强了城市的防灾减灾能力。尽管如此, 我国城市防灾减灾工程体系尚存在一些问题和挑战。《“十四五”国家综合防灾减灾规划》指出, 在“十三五”时期, 我国防灾减灾救灾体系建设取得了明显成效, 如自然灾害管理体系的优化, 自然灾害防治能力的增强, 救灾救助能力的提升等。然而, 也存在一

些短板, 如统筹协调机制有待健全, 抗灾设防水平有待提升, 救援救灾能力有待强化, 全社会防灾减灾意识有待增强。

二、影响城市防灾减灾工程体系建设的因素

2019年台风“利奇马”以强热带风暴级或台风级强度在中国浙江、上海等地登陆, 登陆时带来的狂风、暴雨和风暴潮导致了严重的洪涝灾害。这次台风造成了浙江、上海等地近千万人受灾, 大量房屋损坏, 基础设施受损严重, 交通瘫痪, 电力中断, 直接经济损失数百亿元人民币。台风引发的洪水和泥石流还导致

了数十人死亡，数百人失踪，给当地居民的生活带来了巨大的痛苦。这次灾害暴露出我国城市防灾减灾工程体系存在的不足，如城市排水设施不完善，导致雨水无法及时排放，引发城市内涝；另外，由于预警系统和应急响应机制不健全，导致灾害发生时，救援工作无法及时开展，增加了人员伤亡和经济损失。

由此可见，城市防灾减灾工程体系建设对于保障城市安全、减少灾害损失、维护社会稳定和促进经济可持续发展具有至关重要的作用^[1]。然而，这一体系的建设质量受到多种因素的复杂影响。地理自然环境，如地形地貌、气候条件和水文地质，是决定灾害发生概率和工程设计的关键。不完善的应急管理体系可能使防灾减灾工程在紧急时刻无法有效发挥作用，而基础设施建设的滞后则难以满足城市日益增长的防灾需求。城市规划布局的合理性同样至关重要，不合理的规划可能会加剧灾害风险。同时，城市的经济实力和科技水平直接决定了防灾减灾工程的资金投入、技术应用和建设进度，这些因素共同塑造了工程体系的最终格局和成效。

三、城市防灾减灾工程体系构建原则

城市防灾减灾工程体系的构建，是一项涉及多环节、多层次的复杂任务^[2]。在这一过程中，始终坚持以全方位、立体化的防控为目标，涵盖自然灾害的预防、预警、救援和恢复等各个环节并依据科学的风险评估和灾害规律研究成果，确保工程措施的科学性和合理性。同时，秉持预防为主的原则，将防灾减灾工作重心前移，力求最大限度地减少灾害损失。

在这一体系中，人民的生命安全和身体健康始终是我们关注的焦点，确保工程体系真正服务于人民，满足人民的基本生活需求。还应着眼于长远发展，注重生态环境保护，推动经济、社会、环境的可持续发展。此外，根据城市的规模、灾害类型和风险程度等因素，分级分类构建防灾减灾工程体系，以提高其针对性和实效性。

四、城市防灾减灾工程体系建设对策研究

（一）构建多层次城市应急管理体系的策略

城市应急管理体系是确保城市安全、减轻灾害损失的重要保障。构建多层次城市应急管理体系，需要从组织架构、制度建设、预案编制、应急资源配置等多个方面进行系统设计。

在组织架构方面，应建立“政府主导、部门协同、社会参与”的城市应急管理模式。政府主导，即各级政府应承担起应急管理的领导责任，明确应急管理职能和责任，确保应急管理工作的顺利开展；部门协同，即各相关部门应根据职责分工，协同配合，形成应急管理的合力；社会参与，即鼓励社会各界参与应急管理工作，形成政府、企业、社会组织和公民个人共同参与的局面。

在制度建设方面，应建立健全应急管理的法律法规体系，明确应急管理目标、原则、任务和责任，规范应急管理的流程 and 措施^[3]。例如，我国《突发事件应对法》明确了政府在突发事件应

对中的主导作用，规定了各级政府、有关部门和公民在突发事件应对中的权利和义务。

预案编制方面，应根据城市特点和灾害风险，制定科学、实用的应急预案。应急预案应包括应急组织架构、应急响应流程、应急资源配置等内容，确保在突发事件发生时，能够迅速、有效地开展应急响应。

应急资源配置方面，应加强应急物资、应急队伍、应急科技等方面的建设。应急物资储备应根据城市规模和灾害风险进行合理配置，确保在突发事件发生时，能够及时提供救援和生活保障；应急队伍应具备专业的救援技能和快速响应能力，能够应对各种突发事件；应急科技应充分利用现代科技手段，提高应急管理的信息化、智能化水平。

以城市内涝为例，当发生强降雨等极端天气时，城市可能会出现内涝现象，对城市运行和居民生活造成严重影响。多层次城市应急管理体系的构建，可以使政府、部门和社会各界迅速行动起来，共同应对内涝灾害^[4]。政府可以启动应急预案，组织疏散受影响的居民，调拨应急物资进行救援；相关部门可以协同配合，加强对城市排水系统的监控和调度，尽快排除积水；社会组织和公民个人可以积极参与，为受灾群众提供帮助和支持。通过多层次城市应急管理体系的协同作用，可以最大限度地减轻内涝灾害带来的损失。

（二）城市防灾减灾规划与土地利用的协同

城市防灾减灾规划与土地利用的协同是确保城市安全与可持续发展的重要策略。在实际操作中，这一策略需要将防灾减灾的理念融入到土地利用规划中，从而在城市建设和发展过程中提高对自然灾害的防范和应对能力。这一策略的实施，涉及以下几个关键环节：

1. 环境与社会经济条件的综合考量：深入分析城市的地质构造、气候特征、水文状况，评估潜在自然灾害风险，并结合人口、经济、基础设施等社会经济发展水平，精准定位防灾减灾的关键区域。

2. 防灾减灾设施的用地预留：在土地利用规划中，确保有充足的空间用于建设排水系统、应急避难所、消防站、医院等关键防灾设施，以增强城市应对灾害的能力。

3. 易受灾区域的保护与治理：针对洪水、地震等高风险区域，高度重视防灾减灾工作，采取一系列综合性措施来降低灾害风险，提升土地利用的防灾性能^[5]。在防洪方面，我们加强了河堤的加固和疏浚工作，修建了一系列水库和水闸，以调节洪水流量，同时完善了城市排水系统，提高排涝能力。在抗震方面，推广抗震设防标准，要求新建建筑采用先进的抗震技术和材料，确保在地震发生时能够最大限度地减少建筑物的损坏和人员伤亡。

4. 空间规划中的防灾减灾考量：在城市规划中，坚决避免在易受灾区域建设高风险建筑，如地震带、洪水多发区等。同时，要科学优化城市布局，合理规划基础设施，增加绿地和开放空间，提升城市整体抗灾能力。

（三）防灾减灾技术与设施的创新发展

所谓的城市韧性是指城市系统在受到各种风险扰动冲击时，

能够通过不断优化、调整系统要素结构来吸收由冲击所带来的各种不利影响,以达到城市系统同外部环境间的动态平衡,使城市实现平稳、健康发展^[6]。城市防灾减灾工程体系建设是保障城市安全、提升城市韧性的关键。以下是对策研究的具体内容:

1. 加强科技创新,推动防灾减灾技术发展

当前,现代城市在构建防灾减灾工程体系的过程中,正大力促进技术创新与应用的深化发展。借助大数据、云计算、物联网等现代信息技术的强大功能,能够迅速采集、处理和分析防灾减灾信息,这一流程的优化大大提高了预警预报的准确性,为市民赢得了宝贵的逃生和应对时间^[7]。在此基础上,新型建筑材料和技术的发展成为关注的焦点,通过提升建筑物的抗震、抗风、防火等性能,有效降低了城市建筑在灾害面前的脆弱性,保障了市民的生命财产安全。

举例来说,近年来在地震频发的地区,一些采用高性能抗震材料建设的校舍在地震中表现出了卓越的抗震性能。这些校舍在设计和建造时,特别注重使用新型抗震技术和材料,如隔震支座、弹性连接件和高强度钢材等,以增强建筑的稳定性和韧性。在地震发生时,能够有效地吸收和分散地震波带来的能量,减少建筑物的摇晃,从而避免了结构性破坏。正是因为这些高性能抗震材料的应用,使得校舍在地震中能够保护师生的生命安全,极大地减少了人员伤亡,为救援工作赢得了宝贵时间^[8]。此外,在推进绿色防灾减灾技术方面,已实现重要突破,特别是雨水收集利用和生态护坡技术,这些技术的广泛应用,不仅极大地提升了城市水资源的综合管理效率,有效降低了洪涝灾害的风险,而且在不断改善城市生态环境的同时,为城市筑起了更加坚实的防灾减灾防线,为构建可持续发展的城市环境奠定了重要基础。

2. 推进防灾减灾教育与培训,提高民众自救互救能力

提升民众的自救互救能力,关键在于深入推进防灾减灾的教育与培训。防灾减灾知识需融入国民教育,从小培养公民的防灾意识,形成社会普遍认知。开展不同层次、多种形式的培训,确保政府工作人员、企业员工及社区居民都能学习并掌握防灾技

能^[9]。同时,定期进行应急预案的实际操作演练,使民众在模拟的灾害情境中熟练自救互救流程,以备不时之需。

3. 加强国际合作与交流,借鉴先进防灾减灾经验

为提升我国防灾减灾能力,积极参与国际防灾减灾合作项目具有重要意义。在当前全球气候变化背景下,自然灾害频发,防灾减灾已成为各国面临的共同挑战。我国应抓住机遇,引进国外先进的防灾减灾技术和管理经验,为我国防灾减灾事业注入新的活力^[10]。以下是一些具体的行动方案:

1. 加强与国际防灾减灾领域的交流与合作。通过共享研究成果,学习借鉴国际上的成功案例,提高我国防灾减灾水平。具体措施包括:举办国际防灾减灾研讨会、论坛等活动,邀请国际知名专家来华交流;派遣我国科研人员赴国外学习先进技术,拓宽视野;与国际组织合作,共同开展防灾减灾项目。

2. 引进国外先进的防灾减灾技术和管理经验。我国在城市防灾减灾工程体系建设方面尚有不足,通过引进国外成熟的技术和经验,有助于弥补这一短板。例如,引进国外先进的地震预警系统、洪水预测模型等,提高我国防灾减灾预警能力;学习国外城市防灾减灾规划与管理经验,优化我国城市防灾减灾布局。

3. 我们要注重培养防灾减灾人才。通过国际合作与交流,提高我国防灾减灾人才的国际视野和专业素养。加大投入,完善人才培养体系,为我国防灾减灾事业提供有力的人才保障。

结束语

城市防灾减灾工程体系建设是一项复杂的系统工程,需要政府、企业、社会组织和公众共同努力。通过加强科技创新、完善应急管理体系、优化土地利用规划、推动防灾减灾教育等措施,不断提升城市的防灾减灾能力,才能有效应对日益严峻的自然灾害挑战,保障城市安全,促进经济社会可持续发展。让我们携手共建安全韧性城市,共创美好未来!

参考文献

[1] 白雪. 抗震防灾,让城市更具“韧性”[N]. 新华日报,2022-05-13(005).DOI:10.28872/n.cnki.nxhnb.2022.002419.
[2] 马天明,周家超,孟泽圳,等. 城市防灾减灾综合装配式建筑新型连接方式的分析[J]. 居舍,2022,(10):150-152.
[3] 王乃玉. 韧性城市理念赋能城市数智防灾[J]. 人民论坛·学术前沿,2022,(Z1):56-63.DOI:10.16619/j.cnki.rmltxsqy.2022.1112.006.
[4] 朱樱. 城市绿地防灾避险适宜性评价及空间布局优化研究[D]. 北京林业大学,2022.DOI:10.26949/d.cnki.gblyu.2022.000788.
[5] 林俏. 党建引领城市灾害治理的机制与路径创新——以广东省汕头市内涝治理为例[J]. 领导科学论坛,2022,(07):95-98.DOI:10.19299/j.cnki.42-1837/C.2022.07.018.
[6] 胡梦珠. 我国城市韧性研究的文献计量分析[J]. 山东行政学院学报,2022,(05):118-128.
[7] 杨新奎. 韧性城市下A市洪涝灾害防灾研究[D]. 郑州大学,2022.DOI:10.27466/d.cnki.gzzdu.2022.001315.
[8] 刘铭. 防灾视角下城市韧性评价研究[D]. 华北理工大学,2022.DOI:10.27108/d.cnki.ghelu.2022.000493.
[9] 史斌,刘弘涛. 城市防灾减灾规划的理念比较与路径整合[J]. 西部人居环境学刊,2022,37(02):100-106.DOI:10.13791/j.cnki.hsfwest.20220214.
[10] 袁方成,白钰梦. 完善超大城市防灾应急治理体系研究[J]. 武汉社会科学,2022,(02):5-10.

基于动态变化的生产过程信息集成管控技术应用探讨

刘洪元

贵州航天控制技术有限公司，贵州 贵阳 550009

摘 要： 航空器用系统类产品由于其系统复杂，生产周期长，再加上其批量少、型号多，产品间结构差异大，产品装调过程还主要采用人工生产为主。如飞行器用伺服机构产品，其装调过程生产、工艺、质量、资源等过程管控主要采用线下和人工结合的生产管控方式。本文针对伺服机构类产品装调过程管控特点，通过探讨其生产过程多业务系统集成和流程管控方法，完成适应产品过程信息管控的系统构建，实现了人工广泛参与的伺服机构产品装调过程多信息在线集成管控技术应用，提高了产品过程管控能力。

关 键 词： 动态变化；生产过程；集成管控

Discussion On The Application Of Integrated Control Technology For Production Process Information Based On Dynamic Changes

Liu Hongyuan

Guizhou Aerospace Control Technology Co., Ltd. Guiyang, Guizhou 550009

Abstract： Aircraft system products are mainly produced manually during the assembly and adjustment process due to their complex systems, long production cycles, small batch sizes, multiple models, and significant structural differences between products. For servo mechanism products used in aircraft, the production, process, quality, and resource control of the installation and adjustment process mainly adopt a combination of offline and manual production control methods. This article focuses on the control characteristics of the installation and adjustment process of servo mechanism products. By exploring the integration of multiple business systems and process control methods in their production process, a system construction that adapts to product process information control is completed. The application of multi information online integration control technology for servo mechanism product installation and adjustment process with extensive human participation is realized, which improves the product process control capability.

Keywords： dynamic change; production process; integrated control

一、引言

近年来，为提升企业内部管理能力，ERP 系统、MES 系统、仓储系统、产线系统等信息化系统在企业内部进行了广泛的建设和应用，有效提升了企业内部生产、资源、流程等管控能力。但对于制造型企业，要通过信息化的手段来优化和改造现有的生产工艺流程，提高企业生产所涉及的各个环节的工作效率，实现企业内部的流程优化再造^[1]，在构建适应企业自身产品管控需求 MES 系统的同时，还需针对企业产品生产实际管控需求和企业信息化系统配置应用现状，完成与其他业务系统的集成，以适应其产品生产过程管控需求，从而避免形成“信息孤岛”。

目前，在汽车、家电等行业，基于流程驱动的采购、订单下发、发料、配送、制造一体化流程应用较为成熟，在产品制造流程一体化管控方面具有较为成熟的管理和应用经验。但我国大多数制造型企业属于传统型制造企业，主要的生产方式还是依靠大量的人力、物力、财力等资源的投入作为代价^[3]。在产品计划制

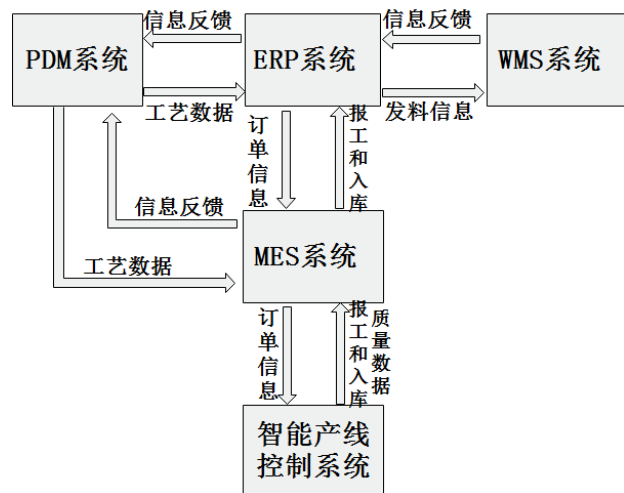
定、物料采购、发料、配送、生产执行过程，还主要采用人工进行信息对接和录入等管理方式，信息及时性、准确性等难以保证。本文针对飞行器用伺服机构类产品生产过程管控需求，研究多业务系统的信息交互管控方法，满足了产品制造过程多动态信息精益化管控需求。

二、产品生产过程管控现状及需求分析

伺服机构类产品系统复杂，其主要由上百个零组件组成，在其装调过程中，其主要流程为根据产品结构按照组件逐级进行装调，直至完成整机产品的装调合格。在产品装调执行过程中，涉及的过程信息主要有物料信息、计划信息、工艺信息及质量结果信息，涉及信息管理系统主要有 ERP 系统、PDM 系统、WMS 系统、智能产线控制系统等。根据各系统业务流程，目前企业普遍采用如图 1 所示系统集成方式。

基金项目：国家重点研发计划后补助项目（黔科合平台人才—GHB[2023]001）；航天科工工艺振兴项目（GYZX2023D009）。

作者简介：刘洪元（1980.04），男，汉族，贵州省黔南州，高级工程师，大学本科，主要从事复杂产品智能产线、系统集成管控与应用研究



> 图1 系统集成应用图

如图1所示,企业在进行上述生产系统与各业务系统集成应用过程中,通常采用生产系统与ERP系统直接集成,从而实现订单计划的下发与接收,并通过系统接口完成报工和入库;同时通过与PDM系统集成,实现工艺数据的在线推送。但在实际执行过程中,由于大部分企业各业务环节主要采用人工结合系统的管控方式,这就造成系统执行效率低,线上业务数据延迟等问题,难以满足产品生产等管控需求,最终造成生产系统难以执行等问题。存在以下主要问题:

1) 多系统工艺数据一致性难以保证问题。当前,随着产品研制节奏的加快,产品研制周期越来越短,原有设计、工艺准备、加工、装配的生产执行流程难以适应产品快节奏生产管控需求,通常采用设计、工艺准备、制造同步并行方式,而过程数据主要靠人工进行准备,变化频繁,多系统工艺数据一致性难以保证。

2) 产品生产执行过程基础管理难以支撑系统执行管控需求。目前,复杂产品计划调度和物料管理等基础管理距离一物一码管理等还有较大差距,而MES系统通常采用基于严格工序物料领用、配送及工序资源管理的流程化管控方式,从而造成在产品装调执行过程物料与信息难以匹配,准备工作量大等问题,造成系统执行困难。

3) 过程质量采集工作量大,防错能力不足。由于系统类产品装调周期长,参数多,在生产系统执行过程中质量数据等主要由人工采集为主,工作量大,人工核对数据正确性防错能力弱,难以满足产品生产过程管控需求。

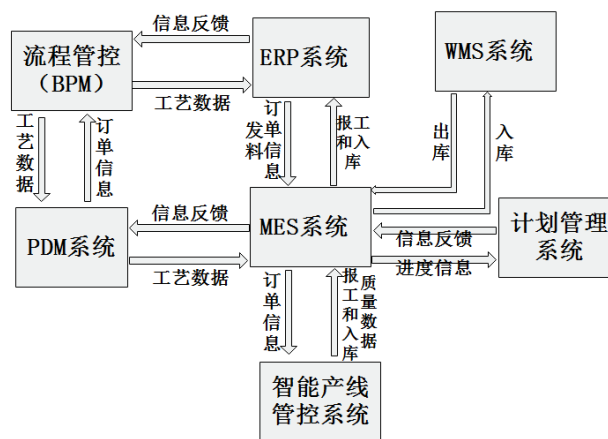
因此,针对产品装调过程存在的主要问题,需结合产品生产过程管控需求及各业务流程管控现状,开展相应的流程优化及系统集成应用,以适应人工广泛参与下产品装调过程生产管控需求。

三、多系统集成管控思路及方案

(一) 系统集成总体架构

目前,ERP、PDM是企业广泛使用的通用管理系统,在企业生产过程管控,产品技术状态管控等方面发挥重要作用。因此,

在进行产品生产业务流程规划设计过程中,其整体架构主要围绕上述两个系统业务进行策划。在进行方案策划中,重点考虑业务管理现状及需求,并根据需求进行业务流程规划,从而提升系统间数据准确性和及时性,确保订单进度考核、工时上报、工艺数据在线推送等数据及时性和准确性,以适应产品生产过程资源、环境、人员、设备、工艺方法、工位等多信息频繁变化管控需求。系统主要架构方案如图2所示。



> 图2 系统架构图

(二) 计划订单信息的集成管控

当前,为保证产品装调进度需求,在产品研制过程中,主要采用设计、工艺准备与制造并行方式。因此,为保证产品研制进度需求,在产品初始订单下发时,在PDM和ERP等系统中,其执行的工艺路线和BOM仅能满足当前备料等需求,在产品实际执行过程中,ERP系统中的工序信息和MES系统中的工序信息难以一一对应,从而造成报工不准确,订单进度策划和管理困难,难以满足产品装调过程管控需求。这就要求在产品订单执行过程中,具有订单柔性调整等管控功能。为满足研制产品备料和制造进度和数据准确性等管控需求,在方案设计过程中,主要通过进行产品执行过程计划管控系统配置,并与MES等系统集成,实现ERP、计划管理系统、MES系统分类管理功能。工厂调度系统在ERP系统中重点进行产品总计划的制定和进度管理;生产车间通过MES系统进行订单计划排产和执行管理,MES系统只接收ERP系统下发的整机计划,并对整机计划进行二次分解,根据产品BOM结构,将整机计划分解为组件装配计划和整机装调计划,并进行计划执行和管理,在执行过程中,只向ERP系统报送整机计划完工数量、工时和入库数量;工厂管理部门通过计划管理系统进行重点任务的制定和管理,实时接收MES系统订单排产任务及任务工艺路线,根据MES系统工序进度情况,实时将工序执行状态(未执行、执行中、完工)推送至计划管理系统对应订单下,工厂管理人员通过计划管理系统实时管理计划完成情况,协调处理过程问题。

(三) 工艺数据的集成管控

工艺数据是产品生产执行过程的准则和标准,在产品生产过程中,涉及工艺数据主要有物料主数据、工艺路线、工时、作业指导书、检验标准、资源信息等。在进行方案设计时,根据产品工艺数据产生原则,产品工艺数据主要在PDM系统中产生和管

理，并通过 BPM 系统进行申请和输出流程管理，将相应的工艺数据在线推送至其他业务系统。根据产品生产过程各业务系统功能，物料主数据、BOM 数据和工艺路线主要需在 ERP 系统和 MES 系统中进行应用，作业指导书和检验标准主要在 MES 系统中进行应用。因此，技术方案主要从以下三个方面进行实现：1）工艺技术人员通过 PDM 系统进行物料主数据、工艺路线、BOM 数据的编制，并通过 BPM 系统进行申请流程审批，同步完成工时数据的填写，在完成流程审批时，通过系统接口将物料主数据、工艺路线、BOM 数据同步传送至 ERP 系统、MES 系统中，确保各系统工艺数据一致性；2）工艺技术人员通过 PDM 系统完成作业指导书和检验标准编制，并通过系统审批后，同步将作业指导书和检验标准通过系统接口在线推送至 MES 系统中，并通过物料主数据和工艺路线版本将作业指导书和检验标准与工艺路线进行绑定，订单执行时，通过工艺路线版本自动调用作业指导书和检验标准等工艺数据；3）在产品订单执行过程中，通过系统接口将 MES 系统中工艺路线在线推送至计划管理系统。

（四）订单进度信息的集成管控

伺服机构类产品由于产品生产配套特殊性，工厂计划调度员通过 ERP 系统进行订单下发时，由于产品研制型号多、产品配套信息动态变化快，在产品计划下发阶段，主要采用整机订单提前下发方式，造成 ERP 系统订单下发与实际执行差异大，计划精益化管控困难。因此，要实现订单计划的精益化和准确性管控，主要通过配置计划管理系统，工厂计划调度员通过在计划管理系统中进行阶段技术资料、生产计划的制定和管控，在产品订单执行过程中，通过采集的 MES 系统计划订单执行情况，对阶段进度信息进行精益化管理，从而实现阶段重要计划节点的实时跟踪和考核管理。

（五）智能产线信息的集成管控

智能产线在进行计划执行过程中，主要涉及信息有产品订单信息、工艺路线信息及质量执行结果信息等。由于产品生产过程管控的特殊性，在 MES 系统中进行订单进度执行和质量信息采集管控时，其执行过程主要采用人工操作完成。因此，在智能产线执行过程，进行产线计划自动接收、自动报工和质量数据在

线自动采集实现工作量大，投入高，成效比较低。在进行技术实现时，主要采用在 MES 系统中对产线执行的所有工序按照一个工序进行管控方式。在订单下发时，通过 MES 系统将订单信息下发至智能产线管控系统，智能产线管控系统调用其保存的工艺路线，并按照编制固化的工艺流程执行装配操作。在执行过程中，智能产线管控系统按照执行流程及结果自动生成阶段质量数据包。在完成产线装配任务后，智能产线管控系统通过系统接口，将工序完工信息和质量数据包统一上传至 MES 系统，从而实现智能产线装调过程的集成管控。

四、系统集成应用结果

通过上述系统集成架构和相关信息的集成应用实施，在满足产品装调过程管控需求的同时，通过系统的集成应用，取得了以下几个方面的实施效果：

1）通过 ERP 系统、计划管理系统、MES 系统的集成应用，解决了 ERP 系统、PDM 系统、MES 系统等多系统工艺数据动态调整困难问题，避免了因工艺路线频繁调整而导致 MES 系统订单执行困难问题的发生。

2）通过计划管理系统的导入，适配了多复杂系统产品快速研制计划制定与进度精细化管控需求。

3）通过与产线等系统集成，保证了系统产品自动装配过程进度管理和质量数据采集与管控需求。

五、结论

综上所述，根据伺服机构类产品研制过程管控特点和需求，结合 ERP 系统、PDM 系统、MES 系统等系统应用现状和功能，通过配置必要的计划管理系统，并进行相关订单数据、工艺数据等数据的集成优化管理，进一步优化了各业务系统重点管控信息内容和流程，构建了适应伺服机构类产品装调过程信息动态变化下的装调过程集成管控方法，并通过系统集成应用，验证了集成管控方法的有效性和适用性，提升了产品装调过程管控能力。

参考文献：

-
- [1] 张斌. 浅议如何提高 MES 系统的数据实时性 [J]. 贵州化工, 2011, 36(2).
[2] 张道弘. 基于 MES 系统实现智慧工厂的解决方案 [J]. 建材世界, 2019, 40(5).
[3] 耿元芳, 宋利利. ERP 系统应用在中国制造型企业的挑战与机遇 [J]. 信息与电脑, 2019(22).

城市轨道交通车辆电空制动控制技术及应用实践分析

王忠渝

重庆市轨道交通（集团）有限公司，重庆 400000

摘 要： 本篇文章主要以某城市轨道交通地铁6号线列车为研究对象，通过列车采用电制动与空气制动实时协调配合控制技术，在充分发挥电制动力的前提下，完成电—空气制动转换，实现列车在自动驾驶模式（以下称为ATO）下精确对标停车，而且极大地减少了基础制动系统中闸瓦、闸片及制动盘的磨损，降低了车辆维修费用，为企业节约成本。

关 键 词： 城市轨道交通车辆；电空制动；技术探究

Analysis Of Electric-Air Braking Control Technology And Application Practice Of Urban Rail Transit Vehicles

Wang Zhongyu

Chongqing Rail Transit (Group) Co., LTD., Chongqing 400000

Abstract： this article mainly in an urban rail transit metro line 6 train as the research object, through the train using electric braking and air brake real-time coordination control technology, on the premise of giving full play to the electric braking force, complete electric-air brake conversion, realize the train in automatic driving mode (hereinafter referred to as ATO) under accurate standard parking, and greatly reduce the basic brake system brake tile, brake plate and brake disc wear, reduce the vehicle maintenance costs, save cost for the enterprise.

Keywords： urban rail transit vehicles; electric and air braking; technical exploration

引言

某城市轨道交通6号线列车由6辆车组合而成，其列车编组型式为“+TC1-MP1-M1+M2-MP2-TC2+”，TC为拖车（带司机室），MP为动车（带受电弓），M为动车。列车制动装置为北京某研究院设计生产，拖车基础制动方式采用轴盘制动，动车基础制动方式采用踏面制动。制动系统是采用微机控制的模拟式电—空制动系统，控制系统采用车控方式，每辆车都配有一套电空制动控制装置（以下称为BCU），BCU内设有监控终端，具有自诊断和故障记录功能。空气制动系统能在司机控制器或在列车自动保护模式（以下称为ATP）的控制下对列车进行阶段或一次性的制动与缓解。具有反应迅速、操纵灵活、能与电制动混合使用、防滑控制、紧急制动等功能，是一个充分考虑安全的城轨交通车辆制动系统。

该号线列车设计最高车速为100 km/h，目前列车已经累计行驶了超过120万公里，车辆已陆续进行了大修。从车辆实际运营情况来看，ATO自动停车情况以及基础制动闸瓦、闸片及制动盘的磨损情况均较好。列车在ATO模式运行时停车准确度可控制在 ± 300 mm以内。同时，根据基础制动磨耗件实测数据统计，分析得出：闸瓦十万公里磨耗量在1.2—1.7mm之间，正常磨耗使用寿命在200万—240万公里左右；闸片十万公里磨耗量在0.3—0.4mm之间，正常磨耗使用寿命在700万—900万公里左右；制动盘的磨耗情况则更好，现所有列车的制动盘实测最大的磨耗深度仅为0.15mm，从目前的磨耗情况来看，制动盘的使用寿命能轻松覆盖列车的整个寿命周期。当然，取得这样的成果均离不开电—空制动控制技术在列车上的有效运用。

一、电空制动控制技术的概述

电空制动控制技术是采用电制动与空气制动实时协调配合、电制动优先使用、空气制动延时投入的混合制动方式。当电制动不足时，优先在拖车上补充空气制动。全列车交叉混合制动时，当总电制动力能够满足全列车制动力的需求时，各车都不需要补充空气制动；当总的电制动力不满足全列车的制动力需求时，则先在拖车上根据拖车载荷来补充剩余所需要的制动力，此时，如

果总电制动力大于动车所需要的制动力时，动车上不需要补充空气制动；如果总电制动力不能满足动车所需要的总制动力时，拖车根据本车的载荷施加本拖车所需求的制动力，动车所需要空气补充的制动力也按拖车载荷比例分配到拖车上，即由拖车的空气制动进行补充，拖车上施加的总空气制动力受粘着极限限制，当拖车上的空气制动力未达到极限时，动车上不需要补充空气制动；当拖车上的空气制动力达到极限时，剩余所要补充的制动力平均分配到动车的空气制动上，每辆动车上所施加的电制动力和

作者简介：姓名：王忠渝，出生日期：1972年11月11日，性别：男，民族：汉，籍贯：四川省渠县，学历：本科，职称：工程师，研究方向：交通运输（轨道交通机电—轨道交通车辆）技术。

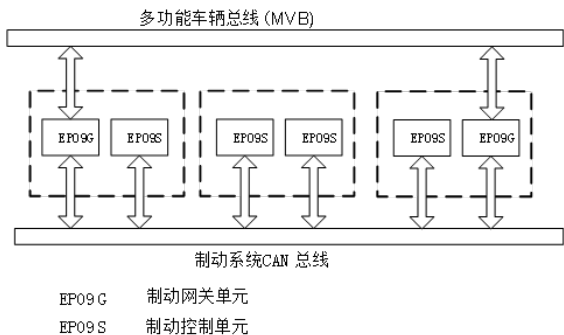
空气制动力的总和同样受粘着极限限制。

二、电空制动技术的应用

(一) 列车制动控制单元

列车制动控制单元包括微机控制的模拟电空制动控制模块和微机控制的空气防滑控制装置等，每辆车有两套制动控制单元，从控制方式上，可分为制动网关单元（以下称为 EP09G）和制动控制单元（以下称为 EP09S）。EP09G 负责与列车监控管理系统（以下称为 TCMS）通讯，在 TCMS 不工作时，EP09G 还接收列车硬线信号执行相应的操作模式。

网络指令采用 MVB 总线结构，架控系统网络的接口方式如图1所示，每个动车和1个拖车（Tc 车）组成的单元中配置2个 EP09G，负责与 MVB 总线的网络接口。EP09G 通过 MVB 总线接收制动指令和电制动信号，并计算出本单元中各个转向架上应施加的空气制动，通过制动系统 CAN 总线传送给本单元的各架控 EP09S。正常情况下，一个单元内的 EP09G 只有一个工作在主控模式，另一个作为备用工作在从模式。



> 图1 架控系统网络的接口方式

(二) 制动力计算方式

电空制动计算由各车的电子制动控制单元（以下称为 EBCU）根据 TCMS 发送给 EBCU 的信息独立计算。

记列车制动力要求为 F ，各车的重量分别为 $M(1), M(2), \dots, M(6)$ ，动车的电制动力分别为 $F_{ed}(2), F_{ed}(3), F_{ed}(4), F_{ed}(5)$

列车重量 $M = M(1) + M(2) + M(3) + M(4) + M(5) + M(6)$

各车所需求的制动力 $F(i) = M(i) * F / M$ ($i=1 \sim 6$)

◎ 当 $F_{ed}(2) + F_{ed}(3) + F_{ed}(4) + F_{ed}(5) \geq F$ 时，各车均不需要补充空气制动；

◎ 当 $F_{ed}(2) + F_{ed}(3) + F_{ed}(4) + F_{ed}(5) < F$ 时，拖车需要补充的空气制动力为：

$$F_a(j) = [F - (F_{ed}(2) + F_{ed}(3) + F_{ed}(4) + F_{ed}(5))] * M(j) / [M(1) + M(6)]$$

($j = 1, 6$)

◎ 当 $F_{ed}(2) + F_{ed}(3) + F_{ed}(4) + F_{ed}(5) \geq F(2) + F(3) + F(4) + F(5)$ 时，动车上不需要补充空气制动；

◎ 当 $F_{ed}(2) + F_{ed}(3) + F_{ed}(4) + F_{ed}(5) < F(2) + F(3) + F(4) + F(5)$ 时，各拖车上补充的空气制动为拖车自身所需要的制动力及动车所需要补充的制动力。

此时要求： $F_a(j) \leq F_{Limit}(j)$ ($j = 1, 6$).....(1)

$F_{Limit}(j)$ ($j=1, 6$) 为拖车受粘着限制所能施加的最大制动力。

◎ 当拖车满足式（1）时不再在动车上补充空气制动。

◎ 若拖车不满足（1）式，则剩余的空气制动平均补充到各个动车的空气制动上。

各电动车所补充的空气制动为：

$$F_a(j) = [F - (F_{ed}(2) + F_{ed}(3) + F_{ed}(4) + F_{ed}(5)) - F_{Limit}(1) - F_{Limit}(6)] / 4$$

($j = 2, 3, 4, 5$)

动车上的电制动和空气制动力总和为：

$$F_{sum}(j) = F_a(j) + F_{ed}(j) \quad (j = 2, 3, 4, 5)$$

此时要求： $F_{sum}(j) \leq F_{Limit}(j)$ ($j = 2, 3, 4, 5$).....(2)

◎ 若某动车制动力总和不满足式（2），则在该动车上不能补充的空气制动力平均到其他动车的空气制动力上。

若在制动过程中出现电制动滑行造成制动力的损失，空气制动不进行补偿，以便于电制动的防滑控制。

在有电制动时，即使不需要施加空气制动制动缸也要保留一定压力（30kPa 左右），以补偿在电制动衰减时空气制动补充的滞后。当列车制动在电制动快要衰减时由 VVVF 发出一个电制动退出（衰减）预告信号，BCU 收到电制动退出预告信号后，按预定速率预补空气制动。

(三) 列车运行时各阶段电空制动控制的情况

1. 制动初期阶段的电空制动控制实时协调配合情况

当列车在进行制动的过程中，TCMS 可以从司控手柄或者 ATO 的制动命令中，详细的计算出整个列车所需要的制动力参数，同时，这个时候再给牵引系统发送一个电制动力，接着牵引系统按照需要，把电制动力送回 TCMS，之后，TCMS 再把它送到 BCU，可见，由于信号传输在传输的过程中，其到达 BCU 的实际电制动力会有延迟性。当列车出现制动需求的早期，BCU 收到 TCMS 的制动指令的时候，这时因为牵引系统还没有进入电制动，这个时候的电制动力的真实值仅仅为“0”，BCU 就会因为电制动力不能满足列车所需的制动力，而采用空气制动的方式进行补充，这样即不利于制动控制，同时也会造成基础制动不必要的磨损。为了解决这一问题，在 TCMS 向 BCU 传输的网络数据中添加了每个牵引系统的电制动力可能值，其就可以用以反映牵引系统在目前阶段运行状态下能否产生电制动力和实际需要发挥的电制动力。在制动开始的 1.5 秒之内，BCU 把每节动车的电制动力的可能值，当作实际的电制动力来计算。通常情况下，在制动初期阶段电制动力的可能值可以满足整个列车的制动力要求，BCU 无需再进行空气制动补充，这样就可以避免在制动初期阶段就使用空气制动力的情况。若出现牵引系统无法产生电制动力时，电制动力可能值就变为“0”，这个时候由 BCU 根据整列车的情况来判断，应怎样进行补充空气制动力。

2. 制动过程中电空制动控制实时协调配合情况

列车在行驶过程中，必定有大量的制动调速控制，因此这个时候对列车制动力的需求会产生很大的改变。因为牵引系统网络的电制动力在进行发挥的过程中必须一定的反应时长，所以 BCU 在按照列车所需要制动力以及电制动力的实际值来进行制动计算的过程中，经常会遇到因为此刻制动力的总和不能达成整个列车所需的制动力的问题，所以 BCU 在制动力的计算过程中，也会对电制动力的可能值进行认真的考虑，也就是当电制动力的可能值

达成整台列车所需的制动力的时候,这个时候就不需要进行空气制动力补充,若在一定的延时时间之后,实际电制动力还是不能满足全列车所需的制动力时候,就需要进行空气制动力补充。

图2为列车制动控制过程中的实际数据图,反映了制动过程中电空制动控制实时协调配合情况。其中深绿色曲线为列车制动控制需求力,亮绿色曲线为列车实际电制动发挥力,红色曲线为制动缸实际施加压力值。通过列车实际制动数据可以看出,在制动过程中需要施加空气制动力的情况很少,这样可以大大降低闸瓦、闸片及制动盘的磨损,减少车辆维修成本。

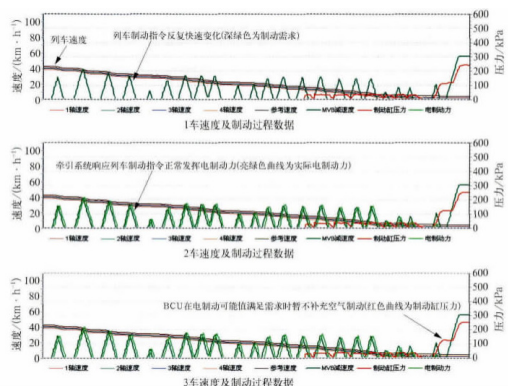


图2 列车制动控制过程中的实际数据图

3. 制动后期阶段的电空制动控制实时协调配合情况

当列车的速度下降到5 km/h左右的时候,TCMS会发出电空转换的命令,由VVVF发出一个电制动衰减预告信号(当速度降低至3 km/h左右时,电制动力将变为“0”),BCU收到电制动退出预告信号后,按预定速率预补空气制动。这种电-空的转换方式是当前国内大多数城市轨道交通列车电-空转换的方式。

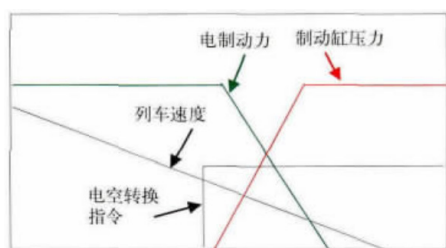


图3 电-空制动转换示意图

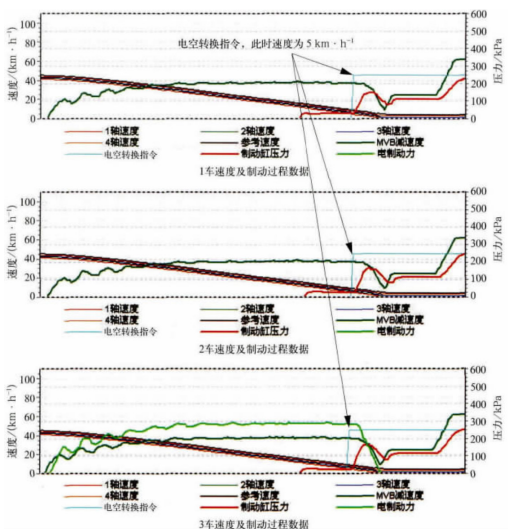


图4 列车在ATO模式下进站停车过程中的实际数据图

图3为列车制动后期阶段的电-空转换示意图,图4为列车在ATO模式下减速进站停车过程中的实际数据图。根据数据所示,当列车速度为5 km/h左右时,电-空制动转换命令被下达,电制动力逐渐衰减,空气制动力逐渐增加。当速度降低至3 km/h左右时,电制动力已降为“0”,空气制动力达到列车所需制动力,最终完成列车进站后精准对标停车。

三、关于城市轨道交通车辆电空制动控制技术的未来展望

城市轨道交通车辆电空制动控制技术是城市轨道交通系统中非常重要的一环。目前,随着城市轨道交通的不断发展和技术的不断进步,电空制动控制技术也在不断地发展和完善。未来,这项技术将会有更广泛的应用和更加丰富的功能。

首先,通过人工智能技术的应用,轨道交通车辆的电空制动控制系统将会更加自动化和智能化。采用先进的传感器、控制器和数据分析预测技术,实现对列车制动过程的精确控制,从而提高轨道交通车辆制动系统的运行效率和安全性。其次,随着社会环保意识的不断提高,轨道交通电空制动控制技术将会更加注重节能和环保,通过采用更加环保的制动材料和控制技术,以降低对环境的影响。并通过能量回收技术来减少能源的浪费,实现节能环保的目标,从而更好地满足人们对于环境保护的需求。最后,随着城市轨道交通系统网络化运营规模的不断扩大,对车辆制动系统可靠性和安全性的要求也越来越高,轨道交通车辆电空制动控制技术将会更加可靠和安全,从而更好地保障城市轨道交通系统的安全运行。总之,未来的城市轨道交通车辆电空制动控制技术将会更加智能化、环保节能和安全可靠,从而更好地满足人们对于城市轨道交通运营系统的服务需求。

结束语

电空制动控制技术对于城市轨道交通车辆安全运行至关重要,其拥有响应快、制动效果好、基础制动部件磨损低的优越特性。保证电空制动系统稳定运行,可以有效提高城市轨道交通车辆的安全、准点运行,同时可以减少基础制动闸瓦、闸片及制动盘的磨损,降低车辆维修成本,为企业节约运营成本。

参考文献:

- [1] 王鹏飞,樊贵新,王新海,等. 城轨车辆在ATO模式下停车精度问题的分析与探讨[J]. 铁道机车车辆,2011,31(6):77-79.
- [2] 周波,张新永,刘中华. 地铁车辆两种典型制动方式的对比分析[J]. 中国高新技术企业,2016(18):102-103.
- [3] 杨丰萍,陈振华,李玉庆. 地铁微机控制直通电空制动系统研究[J]. 华东交通大学学报,2014,31(03):55-59.
- [4] 方宇,张同宏,穆华东,等. 制动模式对城市轨道交通车辆车轮异常磨损的影响分析[J]. 铁道机车车辆,2010,30(4):67-70.

超深硬岩中临近地铁地下连续墙成槽施工技术研究

孙士远¹, 郭东海², 池商钤³, 柯建平⁴

1. 中庆建设有限责任公司, 吉林 长春 130119

2. 厦门特房建设工程集团有限公司, 福建 厦门 361010

3. 厦门第一建筑工程集团有限公司, 福建 厦门 361003

4. 福建省二建集团(厦门)有限公司, 福建 厦门 361011

摘 要 : 地下连续墙作为深基坑最常见的支护形式, 在超深硬岩成槽过程中, 传统施工工艺耗材耗时耗力, 且由于对岩层扰动较大, 对地铁运营将产生安全隐患。文章以实际项目为工程背景, 对超深硬岩中临近地铁地下连续墙成槽施工技术进行研究。结果表明, 地铁保护范围内地下连续墙在超深硬岩成槽施工中, 通过采用旋挖引孔、双轮铣凿岩、反循环清渣综合成槽施工方法, 可以达到快速入岩成槽的施工效果。与传统施工工艺相比, 硬岩旋挖引孔、双轮铣凿岩综合成槽施工技术对岩层无扰动、对地铁运营影响小、安全可靠、方便快捷。此外, 该施工技术利用旋挖机进行岩石破碎, 分序引孔, 再采用双轮铣顺导孔凿岩, 可以大大提高工作效率。

关 键 词 : 超深硬岩; 临近地铁; 地下连续墙; 成槽施工

Study On Troughing Construction Technology Of Underground Diaphragm Wall Near Subway In Ultra-Deep Hard Rock

Sun Shiyuan¹, Guo Donghai², Chi Shangqian³, Ke Jianping⁴

1.Zhongqing Construction Co., LTD., Changchun, Jilin 130119

2.Xiamen Tefang Construction Engineering Group Co.,Ltd., Xiamen, Fujian 361010

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

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

Abstract : As the most common form of support for deep foundation pits, underground continuous walls are time-consuming and labor-intensive in traditional construction techniques during the formation of ultra deep hard rock trenches. Moreover, due to significant disturbance to rock layers, they pose safety hazards to subway operations. The article takes an actual project as the engineering background and studies the construction technology of trench formation for adjacent subway underground continuous walls in ultra deep hard rock. The results show that in the construction of ultra deep hard rock grooves for underground continuous walls within the protection range of the subway, the comprehensive groove construction method of rotary excavation, double wheel milling and rock drilling, and reverse circulation slag cleaning can achieve the construction effect of rapid rock entry and groove formation. Compared with traditional construction techniques, the comprehensive slotting construction technology of hard rock rotary drilling and double wheel milling drilling has no disturbance to the rock layer, has little impact on subway operation, is safe, reliable, and convenient. In addition, this construction technology utilizes rotary excavators for rock fragmentation, sequential drilling, and then uses double wheel milling to drill along the guide hole, which can greatly improve work efficiency.

Keywords: ultra deep hard rock; adjacent to the subway; underground continuous wall; trenching construction

引言

随着城市人口的快速增长, 人们对高质量交通方式的需求越来越强烈, 地铁出行作为一种绿色快捷的出行方式, 给人们的生活带来了极大的便利。但随着地下空间的开发利用也产生了诸多难题, 地下连续墙作为深基坑工程的重要组成部分, 其施工质量直接影响工程的安全^[1-3]。此外, 在面对超深硬岩的复杂地质环境下, 传统的地下连续墙施工方法在施工质量和施工效率方面也面临一系列挑战。

在超深硬岩成槽过程中, 传统施工工艺一般采用成槽机液压抓斗成槽至岩面, 再换冲孔桩机圆锤冲击入岩、方锤修槽和采用双轮铣凿岩直接成槽两种施工工艺^[4-6]。当成槽入硬质中、微风化岩深度超过一定厚度时, 冲击入岩易出现卡钻、斜孔, 后期处理工时耗大, 冲孔偏孔需回填大量块石进行纠偏, 重复破碎, 耗材耗时耗力, 严重影响施工进度^[7-9]。当成槽入硬质中、微风化岩深度较大, 采用双轮铣直接成槽, 对设备损耗较大, 且耗时较长, 成本较大。另外, 由于冲孔桩机、大直径潜孔锤施工对岩层扰动较大, 对地铁

基金项目: 福建省住建厅科学技术计划项目(2023-K-97)

作者简介: 孙士远, 男(1987-), 中庆建设有限责任公司, 高级工程师, 从事道路与桥梁施工技术方面的研究工作。

运营将产生安全隐患,相关法规严禁在地铁50m 保护范围内采取冲击施工^[10]。因此,如何在复杂地质环境下运营地铁附近进行基坑工程地下连续墙成槽施工,既要保证地下连续墙施工安全,同时还要保证临近地铁正常运营是目前施工中的难题。

基于此,文章结合某临近地铁的地下连续墙工程,结合现场条件及设计要求,对地铁保护范围内地下连续墙硬岩旋挖引孔、双轮铣凿岩综合成槽施工技术进行了研究,通过采用旋挖引孔、双轮铣凿岩、反循环清渣综合成槽施工方法,达到快速入岩成槽的施工效果,取得了显著成效,实现了方便快捷、高效经济、质量保证、安全可靠的目标,达到预期效果。

一、超深硬岩中临近地铁地下连续墙成槽施工技术

(一) 适用范围

本施工技术适用于地铁保护范围内入硬岩的地下连续墙的施工项目,尤其是工期紧迫,深度不超过40m 地下连续墙硬岩成槽施工项目。

(二) 工艺原理

该施工工艺采用液压抓斗机先进行槽段上部土层部分成槽,再利用旋挖钻机分序对槽段硬岩部分进行引孔至设计槽底标高,然后采用双轮铣对已引孔硬岩部分进行分序凿岩并清渣,最后利用液压抓斗进行刷壁、清孔的综合成槽施工。

(三) 施工工艺流程

地铁保护范围内地下连续墙硬岩成槽主要施工工艺流程:液压抓斗机上部土层成槽-旋挖机硬岩分序引孔-双轮铣凿岩、反循环清渣-液压抓斗机刷壁、清渣-超声波测壁仪验槽-吊放钢筋笼网片,灌注混凝土成槽。

二、关键施工技术

(一) 液压抓斗机上部土层成槽

(1) 分三序抓槽,先抓两边,再抓中间,为保证成槽质量及钢筋网片顺利安装,槽段两端各超挖0.6m 宽度,实际成槽宽度7.2m。

(2) 施工时为确保下一步旋挖钻机引孔的垂直度,在上部土层抓槽时,在槽段内保留7.0m 左右土层或风化层。

(3) 抓槽时严格控制成槽垂直度,确保垂直度控制在0.5%。

(二) 旋挖机硬岩分序引孔

(1) 旋挖钻机选择BG38及以上大功率大扭矩的前趴杆钻机施工,可确保引孔垂直度及施工效率。

(2) 钻具选用直径1.2m、长度2.5m 以上直筒截齿筒钻或牙轮筒钻,配备直径1.2m、长度1.8m 以上直筒捞砂斗,确保引孔垂直度。

(3) 旋挖钻硬岩采取取芯钻进、捞渣交替作业,加快引孔效率。

(4) 旋挖机在引孔施工时,先对主孔进行施工至设计槽底标高,再将副孔施工至设计槽底标高;相邻主副两引孔,最外边间距为铣轮机的外边距(2.8m),确保双轮铣高效凿岩。

(5) 旋挖钻进过程中,观察钻孔侧斜仪,及时纠正垂直偏差,以确保引孔垂直精度。

(三) 双轮铣凿岩、反循环清渣

(1) 旋挖机引孔完成后,采用双轮铣对槽段岩层进行切割破碎成槽,其施工流程同样分三序成槽,先铣两边、再铣中间,实际成槽宽度7.2m;凿岩过程中,铣轮与两边槽壁间隙各保持在3cm 的保护层厚度。

(2) 双轮铣施工时,严格定位,确保铣轮位于所引的导向孔内,并实时观察垂直度,确保成槽垂直度。

(3) 成槽进尺的同时孔底进行反循环清渣,在保证不影响上部土层槽壁稳定性的前提下,同步吸出碎岩和沉渣,大大提高了施工效率。

(四) 液压抓斗机修槽、清渣

(1) 双轮铣完成施工后,采用液压抓斗进行修槽,即将抓斗对槽壁进行修孔,修槽时注意观察侧斜仪,及时纠正垂直偏差,以确保成槽垂直精度。

(2) 液压抓斗反复对槽底沉渣进行清理,确保槽底沉渣少于50cm,并满足设计及规范要求。

(五) 超声波测壁仪验槽

双轮铣完成施工后,采用超声波测壁仪对槽壁进行检验,确保成槽尺寸、垂直度满足设计要求,如图1所示。



> 图1 超声波测壁仪

(六) 吊放钢筋笼网片、灌注混凝土成槽

(1) 在吊放钢筋笼时,对准槽段中心,不碰撞槽壁壁面,不强行插入,以免钢筋网片变形或导致槽壁坍塌;钢筋网片入孔后,控制顶部标高位置,确保满足设计要求,如图2所示。



> 图2 钢筋网片入槽

(2) 钢筋网片安放后,及时下入灌注导管;灌注导管按要求下入2套导管,同时灌注,以满足水下混凝土扩散要求,保证灌注质量,如图3所示。



> 图3 灌注导管安放

(3) 灌注导管下放前, 对其进行泌水性试验, 确保导管不发生渗漏; 导管安装下入密封圈, 严格控制底部位置, 并设置好灌注平台。

(4) 在水下混凝土灌注过程中, 每车混凝土浇筑完毕后, 及时测量导管埋深及管外混凝土面高度, 并适时提升和拆卸导管; 导管底端埋入混凝土面以下一般保持 $2 \sim 4\text{m}$, 不大于 6m , 严禁把导管底端提出混凝土面。

(5) 混凝土在终凝前灌注完毕, 混凝土浇筑标高高于设计标高 0.8m 。

(七) 地下连续墙质量控制

严格控制成槽宽度, 必须分好实际幅宽线, 确保成槽宽度为 7.2m 。并确保上部土层及分化层厚不少于 7m ; 严格控制引孔施工质量, 重点检查旋挖钻头、钻杆定位, 确保施工时的无较大位移; 旋挖成孔时, 应严格控制垂直度; 在钻进过程中, 在钻进岩石硬度变化接触面时, 应适当减小钻压, 若发现偏差应及时采取相应措施进行纠偏; 引孔完成施工后, 双轮铣凿岩时, 确保双轮铣铣轮定位准确, 并开启气体反循环装置, 吸出碎岩、沉渣, 保证铣轮凿岩的效率。

双轮铣成槽过程中, 控制槽内泥浆液面高度不低于导墙高度以下 1m 。并确保泥浆质量是否符合相关规范和标准, 预防塌孔; 在双轮铣施工过程应随时观察双轮铣可视化数字显示屏, 分析和了解铣头在槽中的空间位置, 及时通过铣头的定位导向板可选择性双方向顶推进行液压抓斗的位置调整, 以确保修槽质量; 双轮铣的垂直度控制可通过驾驶室中的显示屏上进行实时监控, 若出现偏差, 机手可通过 $X-X$ 轴纠偏、 $Y-Y$ 轴纠偏和控制成槽速度等方法进行调整。

成槽完成后进行超声波侧壁检验成槽质量是否符合设计标准; 成孔完成后, 为保证最终成槽质量后, 应进行清孔, 调整槽中泥浆指标符合混凝土灌注标准。

三、效益分析

(一) 经济效益分析

本施工技术先利用旋挖机进尺效率高和施工硬质斜岩时垂直度好的特点, 对坚硬岩体进行预先分序引孔, 使双轮铣两铣轮能嵌入相邻两导孔内, 降低双轮铣施工难度; 再采用双轮铣顺导孔凿岩, 进尺效率提升 $3 \sim 5$ 倍, 边进尺边清理碎岩碎渣, 降低了设备损耗, 减少成槽清孔时间, 大大提高了工作效率。

本施工技术通过旋挖引孔, 方便控制导孔垂直度, 使双轮铣顺导孔凿岩, 确保双轮铣成槽垂直度。并对传统铣轮进行改进, 增加气举反循环装置, 边成槽边清孔, 确保孔底成渣满足设计要求。由于旋

挖机硬岩引孔、双轮铣凿岩均为对岩层进行硬切割, 相比传统的冲孔桩机冲击破碎引孔、修槽工艺, 对地层扰动小、噪音小, 对地铁运营无影响、安全可靠, 并完全满足对地铁保护范围内施工要求。

总之, 相比采用双轮铣成槽的施工工艺, 大大缩短了成槽时间, 进一步减少了成槽施工配套作业时间和大型吊车等机械设备的成本费用, 且铣轮损耗小, 施工效率大大提升, 体现出显著的经济效益。

(二) 社会效益分析

本施工技术已在多个项目施工中应用, 无论在施工效率、工程质量, 还是在工程项目成本控制上, 都突显出优越性, 解决了地下连续墙超深硬岩成槽施工过程中进度慢、间接成本高的难题, 提供了一种创新的入岩成槽综合施工方法, 旋挖机引导孔, 大大降低了岩石的整体强度, 减少了双轮铣设备磨损, 提高双轮铣施工效率, 加快了项目施工进度, 且对岩层扰动小、对地铁运营影响小、安全可靠, 取得了显著的社会效益。

四、结语

结合具体工程施工实践, 对超深硬岩中临近地铁地下连续墙成槽施工技术进行研究, 得到以下技术总结:

(1) 地铁保护范围内地下连续墙在超深硬岩成槽施工中, 通过采用旋挖引孔、双轮铣凿岩、反循环清渣综合成槽施工方法, 可以达到快速入岩成槽的施工效果。

(2) 与传统施工工艺相比, 地铁保护范围内地下连续墙硬岩旋挖引孔、双轮铣凿岩综合成槽施工技术对岩层无扰动、对地铁运营影响小、安全可靠、方便快捷。

(3) 该施工技术先利用旋挖机进行岩石破碎, 对坚硬岩体进行预先分序引孔, 再采用双轮铣顺导孔凿岩, 进尺效率提升 $3 \sim 5$ 倍, 边进尺边清理碎岩碎渣, 降低了设备损耗, 减少成槽清孔时间, 大大提高了工作效率。

参考文献

- [1] 黄海俊. 双轮铣在地下连续墙成槽施工中的应用及质量控制[J]. 建筑科技, 2022, 6(03): 118-120.
- [2] 金磊. 复杂条件下地下连续墙成槽施工分析与管理[J]. 建设监理, 2022(03): 78-82+99.
- [3] 张坤. 复杂地质条件下超深地下连续墙成槽施工工艺研究[J]. 工程机械与维修, 2022(01): 116-118.
- [4] 王伟, 李永恒, 李思琪, 等. 旋挖桩钻机引孔成槽技术在地连墙施工中的应用分析[J]. 安徽建筑, 2023, 30(03).
- [5] 徐彬彬. 既有综合管廊下地连墙施工技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2022(27): 93-95.
- [6] 黄志雄. 地铁地连墙工程中双轮铣与引孔设备联合施工技术研究[J]. 中国高新技术, 2022(17): 93-94+109.
- [7] 王骁. 铁路超深基坑地下连续墙成槽施工工艺[J]. 居业, 2024(02): 73-75.
- [8] 吕鹏涛. 上层软土下层基岩地下连续墙成槽施工技术[J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(01): 75-79+86.
- [9] 胡小波. 深入岩地下连续墙成槽施工关键技术的应用[J]. 城市道桥与防洪, 2023(08): 239-242+23.
- [10] 张帆舸. 上软下硬复合地层基坑地连墙成槽设备配置及工效分析[J]. 中国建筑金属结构, 2023, 22(04): 80-82.

复杂软基动态实时监测技术研究

吴亿¹, 陈金成², 巫庆明³, 柯建平⁴

1. 福州建工集团有限公司, 福建 福州 350004

2. 中庆建设有限责任公司, 吉林 长春 130119

3. 厦门特房建设工程集团有限公司, 福建 厦门 361010

4. 福建省二建集团(厦门)有限公司, 福建 厦门 361011

摘 要 : 本文对复杂软基动态实时监测技术进行了研究, 动态监测将保证施工的安全性, 然后调整施工方案, 进行施工技术优化研究, 取得很好的经济效益, 并对施工安全进行保护。

关 键 词 : 软基; 动态; 监测

Research on Real time Monitoring Technology for Complex Soft Ground Dynamics

Wu Yi¹, Chen Jincheng², Wu Qingming³, Ke Jianping⁴

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

2.Zhongqing Construction Co., LTD., Changchun. Jilin 130119

3.Xiamen Tefang Construction Engineering Group Co.,Ltd. , Xiamen, Fujian 361010

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

Abstract : This paper studies the dynamic real-time monitoring technology of complex soft foundation. Dynamic monitoring will ensure the safety of construction, and then adjust the construction scheme to optimize the construction technology, achieve good economic benefits, and protect the construction safety.

Keywords : soft foundation; dynamic; monitor

一、前言

随着建筑事业的快速发展, 建造的楼房高度也不断增加, 与之一相关建造结构安全问题也逐渐引起重视, 尤其是地下结构的建造需要花费较长的工期, 地下结构建造是否安全稳定, 直接关系到地上建筑的质量。在一些工程项目中, 地下结构工程问题日益突出, 从而引发了一系列的安全问题, 需要合理控制地下结构的建造工期, 确保在整体控制范围内, 高层建筑主要建造在城市区域, 对技术方面的要求较高, 而且尤其是支护结构施工难度变大, 还会影响到周围环境, 在这种条件下, 使用逆作法可以在保障高层建筑工程工期的基础上, 达到良好的结构稳固效果, 降低变形等安全问题发生的风险, 保障建筑质量。因此, 随着施工技术和地下结构形式的发展, 半逆作法施工应运而生, 由于其支撑体系刚度较大, 使地连墙等挡土结构变形较小, 更利于对周边环境的保护, 本单位对施工基坑降水, 动态监测技术等进行了技术攻关, 基于数字图像测量方法的自动监测系统可以实时对目标进行监测, 精度高, 无需操作人员在现场, 遇到情况随时报警, 不仅节省了大量人力、财力等, 还大大提高了工作的安全性。

二、工艺原理

(一) 复杂软基动态半逆作法施工原理

本工艺在具体实施的过程中, 需要考虑到墙体本身的承载力,

在计算挡土潜力的基础上, 计算得出可行性的挖掘深度数值, 确保中心部分和基坑标高都在安全数值范围内, 保障施工安全。在基坑的周围需要有一些土体, 借助这些土体来保障整个施工结构以及地下连续墙结构的稳定。这样方便进一步建造楼板结构, 确保支撑体系的稳定与安全。支撑体系利用支撑在格构柱上的临时支撑和永久性地下室楼板作为基坑支撑与地下连续墙围护结构进行连接, 保证基坑结构变形稳定。再挖去保留的地下二层土体, 直至施工至底板, 然后由底板进行顺作施工, 浇筑逆作施工中预留的框架柱及剪力墙。这样操作可以确保结构的稳定, 也方便之后施工工作的顺利开展, 尤其是上下结构之间的衔接, 在一些特殊的情况下, 可以满足地下和上部结构的同时施工要求, 从而达到控制工期的目的。

(二) 动态实时监测原理

1. 系统组成

本系统采用高分辨率、高帧频数字相机, 长焦镜头, 数字图像技术、亚像素技术等。

(1) 硬件构成①数据采集器为远距离面内微动测量仪; ②工控机一台; ③微动测量仪操作平台。

(2) 外业数据采集: 为了给测量创造有利条件, 也为了该系统的有效实施, 我们专门设计并加工了微动测量仪操作平台, 运用膨胀螺栓使其固定在该节柱顶层的核心筒墙面上, 并且安装在控制点的正上方。架好微动测量仪以后, 软件自动识别特征标志点, 通过识别后的五个标志点的亚像素定位并进行计算, 该数据直接传输进入工控机中, 利用建立的数学模型自动计算并输出柱

基金项目: 福建省住建厅科学技术计划项目(2023-K-98)

作者简介: 吴亿, 男(1976-), 福州建工集团有限公司, 高级工程师, 从事建筑工程施工技术方面的研究工作。

中心的实测坐标（X，Y）以及实测值与理论值之差值。

（3）为了更好的测量开挖时土体的位移与边坡的稳定性，开发了多目标识别系统，一台相机可以测试多个目标点，节约了成本，对其进行了长期的动态实时自动监测（操作系统照片见图4.1）。监测方法为在坡面上布置长期观测标志板，在待测目标点设置标定板，在离坡脚一定距离设置一固定观测点，每隔10分钟观测一次（可以根据需要进行设定，最多每秒可以测试10个数据），控制每次观测方向一致，记录数据，该系统设计有报警系统，当实时测量结果大于设定数值，发生报警，人员可以安全撤离。实时对目标进行监测，精度高，无需操作人员在现场，遇到情况随时报警，不仅节省了大量人力、财力等，还大大提高了工作的安全性。

（三）利弊分析

微动测量仪自动实时测绘系统大大减少了外业工作时间，提高了工作效率，具有

（1）实现远距离监测面内位移。

（2）高精度（毫米、亚毫米级）。

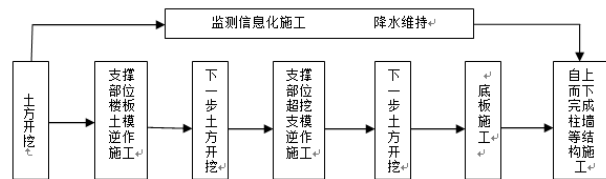
（3）实时性，边采图边出测量结果。

（4）成本低廉、工程实施简单，便于推广等特点，减轻了测量人员的劳动强度，提高了测量精度，节省了测量人员的投入；但需要投入微动测量仪、计算机等先进设备，对测量人员的素质要求也较高。

三、施工工艺流程与实时监测

（一）工艺流程

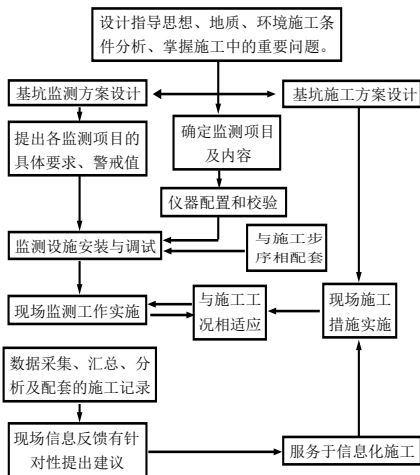
复杂软基动态实时监测半逆作法施工工法整体工艺流程见图1。



> 图1 复杂软基动态实时监测半逆作法施工工艺流程图

（二）动态实时监测

1. 施测流程图见图2。



> 图2 施测流程图

2. 要严格按照国家规定的工程监测技术规范的要求来落实现场施工监测工作，安排专业的监测仪器和人员落实监测工作，确保施工安全。

3. 动态监测设备安装

（1）安装微动动态监测装置：在安装墙上打孔，打孔完毕后通过膨胀螺栓固定安装支架，通过安装支架与设备底座上的预留螺栓孔进行连接，见下图。



> 图3 测量装置安装

（2）安装待测靶板：根据设计单位的计算，确定需要监测的区域，其区域可以为最危险区域，也可以考虑开挖对周边区域的影响，在该区域安装待测靶板，其安装图见图4）。



> 图4 工程应用中多目标靶板安装图

4. 调整镜头确定监测区域在监测范围内：打开操作系统，通过俯仰角调节螺栓与方位角调节螺栓使得测量范围落在镜头可视范围内，并调节俯仰角调节螺栓，方位角调节螺栓使得靶板在相机成像区域内，再调节镜头焦距，使得靶板成像清晰（图5）。



> 图 5 仪器内部相机焦距调节

5. 设计预警值，点击操作界面的监测开始按钮，开始动态实时监测。动态实时监测从土方开挖开始，贯穿整个施工过程。

四、结语

现行的渗透力学在土石围堰安全性计算中，通常考虑了初始的地质与水文条件，施工过程中（基坑抽水，基坑开挖等）引起渗透参数的变化通常很少考虑，这往往会造成安全隐患，也不利于施工组织与优化，而动态施工导致的模型参数的变化，通常会反应到位移变化中来，如何实现动态监测就成为这类课题的重点。本文对数字摄影测量技术进行了深入的研究，理论分析，计算，监测新技术应用等将为建筑施工提供一个新的施工方法，并为安全施工提供理论与实践依据，这将是一个具有重大现实意义的课题。

参考文献：

[1] 范绪奇. 高层结构动态测量新技术研究 [D]. 广州大学, 2012.
[2] 程征. 基于数字摄影测量原理的桥梁健康监测方法研究 [D]. 广州大学, 2013.
[3] 胡运海. 近景摄影测量在滑坡中的运用 [D]. 成都理工大学, 2012.
[4] 崔红梅. 桥梁挠度快速监测系统 [D]. 重庆交通大学, 2013.
[5] 张国栋、赵文光. 结构动态位移监测图像处理技术的工程应用 [J]. 华中科技大学学报, 2005, s1.
[6] 李春林. 多基线数字近景摄影测量系统 Lensphoto 在呼和浩特抽水蓄能电站工程中的应用 [J]. 水利水电技术, 2013, 04.
[7] 伍承彦. 桥梁精密动态测量新技术研究 [D]. 广州大学, 2009.

新型全自动 K_0 固结仪试验结果影响因素分析

刘聪

中国铁路设计集团有限公司, 天津 300251

摘 要 : 本文采用新型全自动 K_0 固结仪, 对影响静止侧压力系数试验结果的因素进行了探讨研究, 分析了初始围压在试验中的作用及对试验结果影响的重要程度, 并提出了相应的改进方法; 研究分析了固结腔内不同胶膜种类对固结过程和试验结果的影响, 得到相较于2mm 的橡胶膜, 采用0.25mm 的乳胶膜更能灵敏反应土样的侧压力状态; 同时, 针对软土试样试验结果线性关系不良的情况, 进行了不同加荷序列下试验结果的研究分析, 得出在进行软土试验时, 取200–500kpa 加荷序列范围内的试验结果可得到更加稳定的线性关系, 所得静止侧压力系数与经验值更为接近。

关 键 词 : 全自动 K_0 固结仪; 静止侧压力系数; 试验结果; 影响因素

Analysis Of Influencing Factors On The Test Results Of The New Fully Automatic K_0 Consolidation Instrument

Liu Cong

China Railway Design Corporation, Tianjin 300251

Abstract : This article uses a new fully automatic K_0 consolidation instrument to explore and study the factors that affect the test results of static lateral pressure coefficient. The role of initial confining pressure in the test and its importance on the test results are analyzed, and corresponding improvement methods are proposed; The study analyzed the influence of different types of rubber films in the consolidation chamber on the consolidation process and experimental results, and found that compared to a 2mm rubber film, using a 0.25mm latex film can more sensitively reflect the lateral pressure state of the soil sample; At the same time, in response to the poor linear relationship between the test results of soft soil samples, research and analysis were conducted on the test results under different loading sequences. It was found that when conducting soft soil tests, taking the test results within the range of 200–500kpa loading sequences can obtain a more stable linear relationship, and the static lateral pressure coefficient obtained is closer to the empirical value.

Keywords : fully automatic k_0 consolidation instrument; static side pressure coefficient; test results; influence factor

引言

K_0 固结试验是岩土工程领域中一种关键性的试验方法, 其主要目的是测定土体的静止侧压力系数 (K_0) 以及分析其固结特性^[1]。该试验结果在工程设计、地基处理及土体稳定性分析等方面发挥着至关重要的作用。随着科技的不断进步, 新型全自动 K_0 固结仪逐渐取代了传统的人工操作仪器, 显著提升了试验的效率和精度^[3]。然而, 在实际应用过程中, 新型全自动 K_0 固结仪的试验结果易受多种因素的影响, 这些因素包括土壤性质、试验条件、仪器结构等, 从而导致数据出现偏差。魏道堃等对上海地区软土层静止侧压力系数进行了研究, 认为黏土静止侧压力系数在0.57–0.62范围内变化, 亚黏土静止侧压力系数在0.48–0.52之间; 王秀艳等对天津及华北地区的原状粉质黏土及黏土的静止侧压力系数进行了研究, 得出粉质黏土静止侧压力系数值随深度的变化氛围为0.088–0.579, 黏土的静止侧压力系数值在0.108–0.631之间; 国外学者 Brooker、Abdelhamid 以及 Simpson 和 Federico 通过一系列固结试验, 总结出静止侧压力系数和有效内摩擦角关系的公式, Alpan 分析了静止侧压力系数与塑性指数之间的关系, 给出了经验公式。

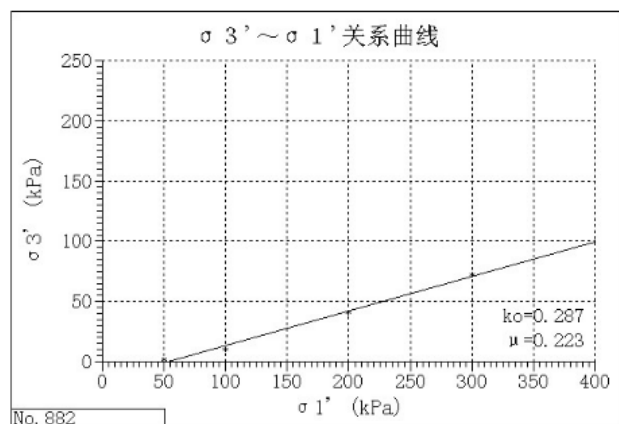
基于国内外研究现状, 一般为基于不同试验地区不同土质的静止侧压力系数结果的经验总结^[3], 很少从对静止侧压力系数试验结果的影响因素及改进措施上进行研究, 本文基于新型全自动 K_0 固结仪进行分析研究, 得出了影响试验结果的各项因素, 并给出了相应的解决方法, 为静止侧压力系数的准确测量提供了可靠依据和保障。

一、初始围压对试验结果的影响分析

(一) 初始围压作用及影响分析

静止侧压力系数是指土体在无侧向变形的条件下, 固结后的水平向主应力与竖向主应力之比, 在 K_0 固结试验中, 初始围压是指在试验开始前, 土样因胶膜的作用, 施加在土样上的周围压力值, 这一压力反映了土样与胶膜的接触状态, 即是否完全紧贴; 同时也是对土体在实际工程中的初始应力状态的模拟, 保证试验开始前不发生侧向变形, 其对于重现土体在自然条件下的状态十分重要, 初始围压的大小, 直接决定了 K_0 试验结果的准确程度。

若仪器的胶膜与试样的紧贴程度不够, 特别是在软土试验中, 试样不易与仪器的胶膜完全紧贴, 试样在受力之初会产生一定的侧向变形, 而此时因为试样与胶膜之间缝隙的存在, 胶膜无法感知试样变形, 从而使实测的周围应力偏小进而造成试验在 50–100 kPa 压力下, 所测得的侧压力值偏下, 进而造成试验结果曲线不通过原点, 如下图 1 所示, 所得到的 $K_0 = \sigma_3' / \sigma_1'$, 的值与真实值产生差异。



> 图1 轴向压力 σ_1' 与侧向压力 σ_3' 关系

(二) 改进措施

针对试验开始前, 胶膜与样品不贴合的状态, 提出以下几点改进方法:

(1) 在试验开始之前采用注射器对准固结仪的注水管, 先将部分水抽出, 使容器胶膜向内凹陷, 然后再装入试样, 这样可以保证试样无阻力进入容器内部, 不会因胶膜或者外力作用使其发生变形, 保证了样品的原状性。

(2) 装入样品后, 将注射器内像内推, 将水注回压力感知腔内部, 此时实时观察电脑终端显示的围压值在一个合理的范围内, 一般为 5–10 kPa, 保证胶膜与试样成紧贴状态后关闭进水管, 拔出注射器后, 开始是试验加压操作。

二、胶膜种类对试验结果的影响分析

(一) 胶膜种类及其性能分析

在 K_0 试验中, 胶膜种类作为重要的试验条件之一, 对试验结果有着显著的影响。其主要起到固定土样、传递侧向压力值的作用。目前试验仪器所使用的胶膜种类主要包括天然橡胶、合成橡

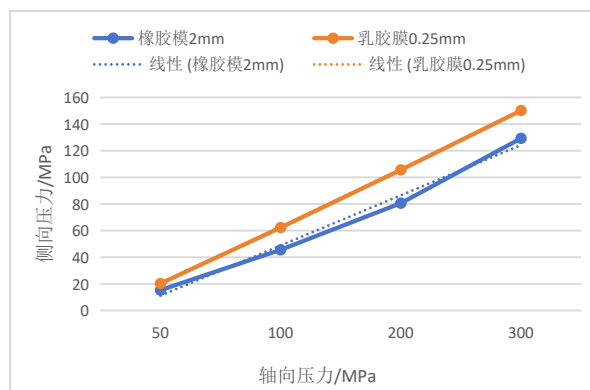
胶和聚乙烯等。不同种类的胶膜在性能参数上存在显著差异, 例如它们的弹性、粘结性和耐腐蚀性等特性。这些性能参数不仅决定了胶膜在固结试验中的使用效果, 而且直接影响了试验结果的准确性。

天然橡胶因其优异的弹性和良好的粘结性, 常被用于固结试验中, 本设备中使用了厚度为 2mm 的橡胶膜作为压力腔内的受力薄膜, 经分析其在土样发生侧向变形后会产生弹性形变, 其会消耗一部分土样的侧压力, 进而使围压传感器测得的侧压力值偏小, 进而影响实验结果。

相较于橡胶膜, 乳胶膜具有高强度和高变形性, 且其厚度可以达到 0.2–0.5mm, 这样可以保障土样发生变形后产生的力值能充分的传递给压力腔, 且还可以使试样与胶膜更加紧贴, 将试验影响降低到最小。

(二) 胶膜种类对试验结果的影响分析

为了研究胶膜种类对试验结果的影响, 本研究设计了对比实验, 分别使用不同种类的胶膜进行 K_0 试验。在试验过程中, 严格控制其他条件不变, 仅改变胶膜种类, 选取 20 组试样进行对比试验。试验数据通过固结试验设备采集, 并采用数据分析方法对不同胶膜种类条件下的试验结果进行对比分析。图 2 为一组代表性曲线。



> 图2 不同胶膜种类下试验结果曲线

随着围压值的增加, 两种胶膜种类的试验结果均呈现出上升趋势。在相同围压条件下, 使用乳胶膜 (厚度为 0.25mm) 的试验结果 $K_0=0.50$, 采用橡胶膜 (厚度为 2mm) 的试验结果 $K_0=0.43$ 。这一发现揭示了不同胶膜种类在承受围压时的性能差异, 在进行 K_0 试验时, 可将现有仪器中的橡胶膜用乳胶膜替换, 消除胶膜材料和厚度的对试验结果的影响, 进而保证试验数据的准确性。

三、加荷序列对试验结果的影响

(一) 加荷序列值分析

加荷序列是 K_0 固结试验中另一个至关重要的参数, 它直接影响土体的应力状态和固结过程。在 GB/T50123–2019《土工试验方法标准》中, 对 K_0 试验的轴向加荷序列规定为 25 kPa、50 kPa、100 kPa、200 kPa、400 kPa^[4], 实际生产中多采用 50 kPa、100 kPa、200 kPa、300 kPa, 作为试验的加荷序列进行试

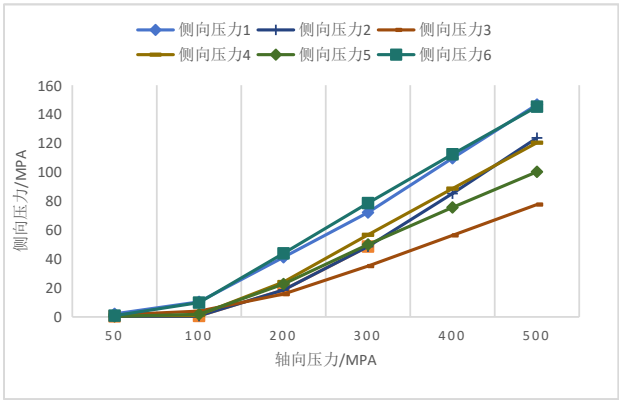
验,但所得试验结果的线性关系不是很好,致使得出的 K_0 值与经验值相差较大。以下内容将详细分析探讨不同加荷序列下的试验结果,并提出相应的解决方法和改进措施。

（二）试验设置

选取物理指标相同的同一种试样各两个,分别进行平行试验取试验结果平均值,试验过程轴向加荷序列设置为 50 kPa、100 kPa、200 kPa、300 kPa,400 kPa,500 kPa,控制其他条件不变,测得不同轴向压力下的侧向压力值,将所得试验结果分析如下(选取6组代表性试样)。

表1 50-500kPa 加荷值下的侧压力值

围压值	侧向压力1	侧向压力2	侧向压力3	侧向压力4	侧向压力5	侧向压力6
50	2.1	0.4	1.4	0.9	0.4	0.9
100	10.4	0.7	4.0	1.4	1.8	9.9
200	41.2	18.6	15.8	24.1	22.7	43.9
300	72.1	48.6	35.1	56.7	50	78.6
400	109.6	85.2	56.3	88.6	75.6	112.3
500	146.6	123.6	77.6	120.3	100.2	145.2



> 图3 侧向压力与轴向压力的关系

表2 不同加荷序列范围下的 K_0 值

K_0 值	1#	2#	3#	4#	5#	6#
序列1(50-300)	0.29	0.20	0.14	0.23	0.21	0.32
序列2(200-500)	0.35	0.35	0.21	0.32	0.26	0.34
序列3(50-500)	0.33	0.28	0.17	0.28	0.23	0.33

（三）试验结论分析

从图3可以得出,轴向加荷序列在200kPa-500kPa 范围内的

线性关系良好,50 kPa-300 kPa 范围以及50 kPa-500 kPa 范围线性关系较差。从表2得出通过直线拟合得出的 K_0 值在200kPa-500kPa 范围内,测得的静止侧压力系数 K_0 值最大,经分析结果与经验值更为吻合,表明该范围内的数据稳定性与可靠性较高,因此,选取200-500 kPa 的压力范围作为最终试验结果,是基于加荷序列优化后获得的更佳线性关系和更精确 K_0 值的考量。

（四）解决方法和改进措施

经分析,加荷序列的选取对于软土的试验结果影响较大,在试验过程中应从以下几方面进行改进:

- （1）在试验之前对于试样进行初步分类,尤其是对软土试样要格外注意;
- （2）针对软土试样在试验时设置加荷序列要多设几级;
- （3）针对试验结果的处理,要选取直线段的后半段来计算 K_0 值,可以得到较稳定且准确的 K_0 值。

四、结论

本研究系统地分析了新型全自动 K_0 固结仪试验结果的影响因素,包括初始围压、胶膜种类和加荷序列。研究结果为 K_0 固结试验的设计和实施提供了理论支持,有助于提高试验结果的准确性和可靠性。未来研究可进一步探讨其他影响因素,以进一步优化 K_0 试验方法并提高试验结果的准确性。具体结论如下:

- （1）为消除软土试样在装样后与胶膜不能充分接触的影响因素,试验开始前要采取措施,观察初始围压的大小,一般控制在5 kPa -10 kPa 范围内,再开始试验;
- （2）固结仪装样容器内的胶膜采用0.25mm 左右厚度的乳胶膜更能灵敏的反应土样试验过程的侧压值,在条件允许的情况下可将胶膜进行更换;
- （3）在进行软土试验时,轴向加荷序列要多设几级,试验结果处理时要选取直线段的后半段来计算 K_0 值,可以得到较稳定且准确的 K_0 值。
- （4）若试验室遇到的各项影响因素不能充分避免,建议依据日常试验结果,针对各个影响因素找出一定规律,得出真实值与实际值的相关系数,进而对 K_0 值进行相关系数修订。

参考文献

[1] 高刚. K_0 固结条件下上海软黏土的力学特性研究 [J]. 土工基础, 2023, 37(04):694-698.
[2] 代云霞, 黄雄, 严义鹏, 等. k_0 固结与等向固结三轴不排水抗剪强度研究 [J]. 中国港湾建设, 2023, 43(04):60-64.
[3] 万征, 曹伟, 刘媛媛, 等. K_0 超固结结构性黏土的本构模型 [J]. 力学学报, 2021, 53(10):2800-2813.
[4] 中华人民共和国国家标准. 《土工试验方法标准》GB/T50123-2019.

基于汽机抽汽—锅炉再加热的中温中压供汽系统设计

张江涛

河南中平电新能源投资有限公司, 河南 平顶山 467000

摘 要 : 本文针对基于汽机抽汽—锅炉再加热的中温中压供汽系统进行设计研究。基于此, 分析中温中压供汽系统的技术特点和应用场景, 明确系统设计的基本要求, 详细探讨了汽机抽汽和锅炉再加热技术的原理及其在系统中的应用, 提出系统设计的关键技术和参数选择。在此基础上, 构建系统的数学模型, 通过仿真分析验证设计方案的可行性, 针对系统运行中可能遇到的问题, 提出相应的优化措施。

关 键 词 : 中温中压; 供汽系统; 汽机抽汽; 锅炉再加热; 系统设计

Design Of Medium Temperature And Medium Pressure Steam Supply System Based On Steam Engine Extraction And Boiler Reheating

Zhang Jiangtao

Henan Zhongping Power New Energy Investment Co., LTD. Pingdingshan, Henan 467000

Abstract : This paper designs and studies the medium temperature and medium pressure steam supply system based on steam engine extraction-boiler reheating. Based on this, the technical characteristics and application scenarios of medium temperature and medium pressure steam supply system are analyzed, the basic requirements of system design are clarified, the principles of steam engine extraction and boiler reheating technology are discussed in detail, and the key technology and parameter selection of system design are put forward. On this basis, the mathematical model of the system is built, the feasibility of the design scheme is verified through simulation analysis, and the corresponding optimization measures are put forward according to the possible problems encountered in the operation of the system.

Keywords : medium temperature and medium pressure; steam supply system; steam engine extraction; boiler reheating ; system design

一、前言

随着工业化进程不断加速, 能源需求进一步增长, 环保能源供应系统成为工业发展的重要支撑。在各种能源供应方式中, 基于汽机抽汽—锅炉再加热的中温中压供汽系统因其独特的技术优势 and 经济效益, 逐渐受到业界的广泛关注。所谓中温中压供汽系统是指在温度和压力范围内提供蒸汽的系统, 满足多种工业过程的热能需求, 与传统供汽系统相比, 中温中压系统在能源利用效率、系统运行稳定性、环境影响等方面具有明显优势。而汽机抽汽—锅炉再加热技术是该系统的核心, 利用汽机抽汽在不影响汽

机发电效率的前提下, 提供所需的中温中压蒸汽。而锅炉再加热则保证蒸汽品质和供应连续性, 对于保证工业生产稳定性具有至关重要的重要。

二、研究对象

(一) 锅炉概况

某电厂三期 #5、#6 机组为进口 350MW 亚临界机组, 锅炉采用 FOSTER WHEELER 公司研发的 W 火焰燃烧方式、自然循环汽包炉。锅炉实施运行燃料见表 1。

表 1 煤质分析

煤质分析	全水分 /%	空气干燥基水分 /%	收到基灰分 /%	干燥无灰基挥发分 /%	收到基低位发热量 /MJ*kg ⁻¹	收到基碳 /%	收到基氢 /%	收到基氧 /%	收到基氮 /%	收到基全硫 /%
煤质 1	11.4	2.70	21.25	30.34	21.25	55.98	2.99	6.66	1.06	0.66
煤质 2	11.6	2.90	16.46	21.24	23.38	62.66	2.80	5.06	0.98	0.44

(二) 汽轮机概况

汽轮机主要包括双缸双排汽、凝汽式汽轮机、N350—

16.65/538/538 型单轴, 全部由日本日立公司进行生产, 回热等级为 8 级。额定负荷数据和候选抽汽点参数如下表。

作者简介: 张江涛, 1989 年 6 月, 男, 汉, 河南省许昌市, 本科, 工程师, 火电厂运行管理。

表2 汽轮机抽汽点参数

参数	负荷 / MW	一抽压力 /MPa	一抽温度 /℃	高压缸排气压力 /MPa	高压缸排气温度 /℃
100%THA	350	5.79	384	3.61	321
80%THA	280	4.47	366	2.85	308

三、供汽参数分析

（一）抽汽点选择

在热电联产系统中，汽轮机抽汽用于供热是一种常见的方式，选择合适的抽汽点对于保证供热质量具有重要意义。本文设定供汽参数为压力4.2 MPa，温度470 ℃，对应焓值为3374.5 kJ/kg，该参数设定旨在满足供热管路的需求，同时考虑到管路压力和散热损失。从温度对口角度出发，抽汽点选择应抽出的蒸汽温度与供热需求相匹配。在不同负荷（100%，80%THA，50%THA）下，汽轮机各抽汽点的温度会有所不同。在100% 负荷运行时，汽轮机各抽汽点的温度较高，超过470 ℃，选择温度适中的抽汽点，有效避免过热；在80%THA 负荷下，抽汽点温度接近470 ℃，选择合适的抽汽点更好地匹配供热需求；在50%THA 负荷运行时，抽汽点的温度较低，需要选择温度较高的抽汽点，以保证供热温度^[1]。

从压力匹配角度出发，抽汽点的选择抽出的蒸汽压力与供热管路的需求相匹配。在不同负荷下，汽轮机各抽汽点的压力也会有所不同。100% 负荷运行时，汽轮机各抽汽点的压力较高，超过4.2 MPa 选择压力适中的抽汽点，避免压力过高；在80%THA 负荷下，抽汽点的压力更接近4.2 MPa，选择合适的抽汽点科学匹配供热需求；50%THA 负荷运行时，抽汽点的压力较低，要选择压力较高的抽汽点，保证供热压力。

（二）抽汽再加热方案

抽汽再加热方案主要涉及从汽轮机的一抽点前增设开孔，抽取高温蒸汽（主汽或再热汽）与供热蒸汽进行汽汽换热，显著提高供热蒸汽的温度，同时高温蒸汽在冷却后用于低压供热，实现能源的梯级利用^[2]。在热源选择时，采用高温蒸汽和热烟气，高温蒸汽通常来自汽轮机的主汽，具有较高的温度和压力，适合用于提升供热蒸汽的温度；热烟气则来自锅炉的烟气余热，通过余热回收系统进行利用。

在供热蒸汽温度提升方面，将高温蒸汽与供热蒸汽进行热交换，提升供热蒸汽的温度，显著改善供热系统的效率，减少能源消耗，提高供热质量。经过汽汽换热后，高温蒸汽的温度降低，但仍具有较强的热能，该部分冷却后的蒸汽用于低压供热，如生活热水供应、低压蒸汽需求，实现能源的充分利用^[3]。在实施抽汽再加热方案时，需要对以下参数进行详细分析，确定合适的抽汽量，保证供热蒸汽温度提升同时不影响汽轮机的运行效率，分析汽汽换热器的换热效率，科学评估系统在不同负荷条件下的稳定性，确保供热系统的可靠运行。

四、锅炉侧烟气在加热供汽改造方案

（一）汽机抽汽点参数

各种工况抽汽口参数如下表所示。

表3 抽汽口各工况参数

项目	工况 1	工况 2	工况 3	工况 4	工况 5	工况 6	工况 7	工况 8	工况 9
电负荷 / mw	280	299	327	230	230	230	150	150	135
流量 / t*h-1	165	100	80	165	100	80	100	74	78.5
压力 / MPa	6.119	6.65	7.188	4.921	4.96	4.866	4.778	4.59	4.411
温度 /℃	391	402	413	367	370	372	375	378	382

根据提供的抽汽口各工况参数表，随着电负荷不断增加，进一步增加电负荷与流量，工况1（280 MW）流量为165 t/h，而工况3（327 MW）的流量为80 t/h，表明在较高电负荷下流量会有所减少，是由于系统效率优化、特定操作条件的结果。在压力与温度关系时，随着电负荷持续增加，抽汽口压力和温度进一步增加，工况1压力为6.119 MPa，温度为391℃，而工况3压力为7.188 MPa，温度为413℃，说明在高负荷条件下蒸汽的热力学性质更为强烈。在相同的电负荷下，流量、压力和温度变化直接反映操作条件的微调系统效率的变化。例如：工况4、5、6电负荷均为230 MW，但流量、压力、温度有所不同，主要原因是在这些工况下，系统在不同的操作模式下运行。在工况7、8、9低的电负荷下，流量、压力和温度相对较低，其在低负荷运行时系统要进行科学调整，保持其自身的稳定性^[4]。

（二）再加热供汽流程

中温中压供汽系统主要由锅炉、汽轮机、抽汽装置、再加热器、管网组成。系统工作原理是通过锅炉产生高温高压蒸汽，蒸汽进入汽轮机做功，利用抽汽装置抽取部分蒸汽进行再加热，从而满足不同用户对蒸汽温度的需求。在再加热供汽操作过程中，锅炉产生高温高压的蒸汽，这些蒸汽经过主蒸汽管道输送到汽轮机，蒸汽进入汽轮机后，推动叶片旋转，驱动发电机发电，降低蒸汽压力和温度。在汽轮机的特定位置设置抽汽点，抽取部分已经做过功的蒸汽，这部分蒸汽被送入再加热器，利用加热介质（如烟气或热水）进行再加热，使其温度和压力恢复到所需的中温中压水平^[5]。接下来，再加热后的蒸汽通过供汽管道输送到各个用户端，包括化工、纺织、食品加工等行业，根据自身工艺需求使用不同温度和压力的蒸汽，用户使用后的蒸汽会冷凝成水，通过回水管道返回锅炉进行循环利用。

（三）再加热器运行控制和保护

第一，流量和压力控制。再加热器流量和压力控制是确保系统稳定运行的关键点，工作人员要安装流量计和压力传感器，实时监测蒸汽流量和压力。控制系统根据设定的参数自动调节阀门的开度，维持稳定的流量和压力，采用PID 控制算法提高控制的响应速度。汽温控制是防止蒸汽过热、欠热的重要措施，利用温度传感器监测蒸汽温度，并与设定值进行比较，控制系统调节再加热器的热输入，保持蒸汽温度的稳定性。而壁温控制则是为了防止再加热器壁面过热，导致设备损坏，设置监测壁温，采取相应的冷却措施，有效保护再加热器的安全运行^[6]。第三，再加热器

的保护。再加热器保护措施包括超温保护、超压保护、低流量保护。超温保护通过设置温度上限，当蒸汽温度超过设定值时，系统自动切断热源，防止设备过热；超压保护则是通过压力上限控制，当蒸汽压力超过安全值时，自动释放压力，避免设备损坏；低流量保护则是为了防止因流量过低，出现严重的局部过热，实时监测设备流量，制定合理的解决措施，控制再加热器的稳定运行^[7]。

五、运行效果

根据提供的运行参数表，#5和#6机组的电负荷均为230 MW，表明在改造后两台机组的电力输出保持一致，没有因改造而产生显著差异。#6机组的换热器蒸汽流量为90 t/h，而#5机组为86.3 t/h，表明#6机组的蒸汽流量略高于#5机组，主要原因是#6机组供汽系统在改造后效率有所提升。#6机组加热器进口压力为4.2 MPa，而#5机组为2.5 MPa，表示#6机组进口压力显著高

于#5机组，可能是由于#6机组的供汽系统设计较为优化。而#6机组的加热器出口蒸汽温度为520℃，压力为4 MPa，而#5机组分别为504℃和2.33 MPa，说明#6机组的出口蒸汽温度和压力均高于#5机组，#6机组具有较高加热效率，能提供更高温高压的蒸汽^[8]。

六、总结

综上所述，在本文中深入探讨基于汽机抽汽与锅炉再加热的中温中压供汽系统设计研究，详细分析该系统的核心技术，以及实际应用中的关键问题，加深对该技术的理解程度，为未来工程实践提供实践指导。我们相信，随着技术的不断进步和创新，中温中压供汽系统将在能源领域展现出更加广阔的应用前景。期待与业界同仁共同努力，推动这一技术的进一步发展，为构建绿色、高效的能源体系贡献力量。

参考文献：

- [1] 李晓军, 毛园园, 刘施江, 等. 基于物联网技术的智能恒压供汽系统设计 [J]. 南通职业大学学报, 2020, 34(3): 74-77, 81.
- [2] 高凤泉. 大容量汽轮发电机组润滑油系统设计及仿真研究 [D]. 黑龙江: 哈尔滨工业大学, 2022.
- [3] 王永良. 供应链环境下 A 公司重型汽车质量区块链系统设计与实现 [D]. 山东财经大学, 2023.
- [4] 罗海华, 方昌勇, 孙士恩, 等. 基于蒸汽压差驱动的高转速压缩空气供应系统设计 [J]. 机电信息, 2022(22): 38-42.
- [5] 刘荀. 汽车双驱引风机灵活高效供热系统设计与优化 [D]. 华北电力大学, 华北电力大学 (北京), 2020.
- [6] 孙亚凯. 化工装置真空系统设计负荷计算及影响因素探讨 [J]. 山东化工, 2024, 53(7): 200-204, 215.
- [7] 雷天凤, 张永, 龚春忠, 等. 基于大语言模型的竞品车型配置问答系统设计与应用研究 [J]. 汽车科技, 2024(3): 73-80.
- [8] 张国政. 基于大数据的超声波温控在线检测系统设计与实现 [J]. 工业加热, 2024, 53(3): 33-35, 39.

智能 PID 控制器在电厂热工过程控制中的应用前景

张来星

国家电投集团吉林能源投资有限公司通化分公司, 吉林 通化 135000

摘 要： 如今在现代电厂的运行过程中，热工过程控制是保障电厂高效、安全运行的关键环节，而传统的 PID 控制器虽然在工业控制领域应用广泛，但其在面对复杂多变的热工控制过程时，控制效果往往难以令人满意，因此随着人工智能技术的发展，智能 PID 控制器应运而生，其中智能 PID 控制器主要是通过引入智能算法和自适应调节机制，去更好地应对电厂热工控制过程中的复杂工况，提高控制精度和系统稳定性，因此本文将系统探讨智能 PID 控制器在电厂热工过程控制中的应用前景，并希望能够为未来的应用研究提供一定的参考价值。

关 键 词： 智能 PID 控制器；电厂热工；控制

Application Prospect Of Intelligent PID Controller In Thermal Process Control Of Power Plant

Zhang Laixing

State Power Investment Group Jilin Energy Investment Co., LTD. Tonghua Branch, Tonghua, Jilin 135000

Abstract： Now, in the operation process of modern power plants, Thermal control process control is the key link to ensure the efficient and safe operation of the power plant, While traditional PID controllers are widely used in the field of industrial control, However, in the face of the complex and changeable thermal control process, Control results are often not satisfactory, So with the development of artificial intelligence technology, Intelligent PID controller has emerged, Among them, the intelligent PID controller is mainly adopted by introducing the intelligent algorithm and the adaptive adjustment mechanism, To better cope with the complex conditions in the power plant, Improve the control accuracy and the system stability, Therefore, this paper will systematically discuss the application prospect of intelligent PID controller in power plant thermal control process control, And hopes to provide a certain reference value for the future applied research.

Keywords： intelligent PID controller; power plant thermal power; control

引言

电厂作为能源生产的重要基地，其热工控制过程的控制效率与稳定性将会直接关系到能源供应的可靠性和经济性，但是由于电厂热工控制过程具有高度的非线性、随机性、突变性和时延性，且传统 PID 控制方法往往难以达到理想的控制效果，因此将智能控制技术融入 PID 控制中，形成智能 PID 控制器，已然成为提升电厂热工过程控制性能的重要途径。

一、智能 PID 控制器的构成与特点

（一）模糊控制与 PID 控制的结合

模糊控制，这一源自人类思维模拟的智能控制方法，主要是通过构建模糊集合与制定模糊规则，去有效解决传统控制理论在处理不确定性及非线性系统时的局限。当模糊控制与 PID 控制相结合时，两者优势互补，形成了一种既能快速响应又能精确控制的智能 PID 控制器，其中该控制器能够实时分析系统偏差及其变化率，运用模糊推理机制动态调整 PID 参数，其核心在于通过调

节三个关键参数——比例增益（ K_p ）、积分增益（ K_i ）和微分增益（ K_d ），来实现对系统偏差的快速响应和稳态误差的消除。确保控制系统在面对复杂多变的热工控制过程时，能够迅速适应并维持最佳控制状态；除此以外模糊 PID 控制器还可以显著提升系统的鲁棒性，降低其对精确数学模型的依赖，使得控制策略更加灵活多变。

（二）专家系统与 PID 控制的结合

专家系统，作为人工智能领域的重要分支，其主要是通过集成领域专家的知识 and 经验，去为复杂问题的决策提供了强有力的

作者简介：张来星（1982年3月17日），男，汉族，吉林省通化市，大学本科，工程师，热工保护与自动化，国家电投集团吉林能源投资有限公司通化分公司

支持，例如将专家系统与 PID 控制相结合，智能 PID 控制器得以利用专家规则库对 PID 参数进行智能整定与优化，这种结合方式不仅提高了控制系统的智能化水平，还使得控制系统能够根据实时工况变化，自动调整控制策略，确保在各种操作条件下都能保持最优性能；此外专家 PID 控制器还会通过持续监控系统状态，去运用专家知识库进行推理判断，动态调整 PID 参数，从而实现

（三）神经网络与 PID 控制的结合

神经网络，以其强大的学习能力和非线性映射能力，在智能控制领域展现出了巨大的潜力，其中其将神经网络与 PID 控制相结合，并利用神经网络的自学习和自适应特性，在线优化和调整 PID 参数，这种结合方式使得控制系统能够不断积累经验，自我完善，更好地适应复杂多变的热工控制过程；而且神经网络 PID 控制器还能通过训练网络模型，使其能够准确映射输入与输出之间的关系，并根据系统反馈自动调整 PID 参数，以达到最优控制效果；除此以外神经网络还能够处理多维输入信息，实现多变量系统的综合控制，进一步提升控制系统的整体性能。

二、智能 PID 控制器在电厂热工控制过程中的应用

（一）过热汽温系统

过热汽温系统是电厂热力循环中的关键环节，它直接影响蒸汽轮机的效率 and 安全性。过热蒸汽温度的稳定控制对于防止设备过热、提高热效率至关重要。然而，由于燃料性质波动、负荷变化、环境温度变化等多种因素的影响，过热汽温系统表现出高度的动态复杂性和不确定性，这对控制系统提出了严峻挑战。但是在传统控制策略中，PID 控制器因其结构简单、易于实现而得到广泛应用。但在过热汽温系统中，固定参数的 PID 控制器往往难以应对系统参数的大范围变化及外部干扰，导致控制效果不稳定，难以满足高精度、高稳定性的控制要求。例如，在负荷快速变化时，传统 PID 控制器可能因响应速度不足而产生较大超调或振荡，影响系统性能。

为克服传统 PID 控制的局限性，智能 PID 控制器应运而生。该控制器通过将模糊控制策略与专家系统技术相结合，实现了对过热汽温系统的深度优化，其优势在于快速响应与稳定性，当主汽温因外界干扰（如燃料量突变）或负荷变动出现显著偏差时，模糊控制机制迅速介入。通过实时监测偏差及其变化率，模糊控制器能够即时调整 PID 参数（如 K_p 、 K_i 、 K_d ），有效遏制偏差扩大趋势，加速系统回归稳定状态。实验数据显示，在负荷变化率为 $\pm 5\%$ 的情况下，智能 PID 控制器相比传统 PID 控制器，能够将系统稳定时间缩短约 30%，同时超调量减少约 20%；精细化调节能力，在偏差较小、需进行精细调节的场合，专家系统发挥作用。基于长期运行数据和专家经验构建的规则库，专家系统能够动态微调 PID 参数，确保调节过程既精准又平稳。例如，在稳定工况下，智能 PID 控制器能将温度波动范围控制在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内，相比传统 PID 控制器的 $\pm 2^\circ\text{C}$ 波动范围，显著提高了控制精度。

表 2.1 智能 PID 控制器与传统 PID 控制器的性能差异

控制策略	稳定时间（秒）	超调量（%）	温度波动范围（ $^\circ\text{C}$ ）
传统 PID 控制器	120	15	± 2
智能 PID 控制器	84	12	± 1

智能 PID 控制器通过融合模糊控制与专家系统技术，有效解决了过热汽温系统控制中的复杂性和不确定性问题。实验数据和实际应用表明，该控制器在提高系统响应速度、减少超调量、降低温度波动范围等方面均表现出显著优势，极大地提升了过热汽温系统的控制性能和运行稳定性，为电厂的安全高效运行提供了有力保障。

（二）单元机组负荷控制系统

单元机组负荷控制系统是电厂自动化控制中的核心环节，其控制效果直接关系到电厂的安全稳定运行及发电效率。该系统的高度非线性和时变性特性，使得传统 PID 控制策略在实际应用中常常面临挑战，难以实现对负荷变化的精准追踪与快速响应。为此，智能 PID 控制器的引入成为了一种创新且有效的解决方案。

智能 PID 控制器通过集成神经网络技术，实现了对传统 PID 控制的根本性升级。神经网络以其强大的学习能力和自适应能力，使得控制器能够实时分析负荷变化的历史数据和当前趋势，通过内部算法不断优化 PID 参数（ K_p 、 K_i 、 K_d ）。这种动态调整机制确保了控制器能够紧密跟随负荷的实际变化，即使在负荷快速波动的情况下，也能保持高精度的控制效果。据实际应用案例显示，在负荷变化率为 $\pm 10\%$ 的情况下，智能 PID 控制器相比传统 PID 控制器，将调节时间缩短了约 25%，超调量降低了约 15%，显著提高了系统的响应速度和稳定性。

此外智能 PID 控制器还融合了模糊逻辑算法，以应对系统中存在的不确定性和模糊性因素。模糊逻辑通过模拟人类思维中的模糊概念，为控制器在处理复杂、不确定工况时提供了更灵活的策略选择。当系统遇到难以精确建模或预测的情况时，模糊逻辑能够根据预设的规则库和隶属度函数，快速做出合理的控制决策，从而增强系统的鲁棒性和适应性，例如在燃料质量波动或环境温度变化等外部干扰下，智能 PID 控制器利用模糊逻辑算法，成功地将负荷控制误差控制在 $\pm 0.5\%$ 以内，相比传统 PID 控制器的 $\pm 1\%$ 误差范围，有了显著提升。

表 2.2 数据对比表

控制策略	调节时间（秒）	超调量（%）	负荷控制误差（%）
传统 PID 控制器	240	8	± 1.0
智能 PID 控制器	180	6.5	± 0.5

由此可见智能 PID 控制器通过引入神经网络技术和融合模糊逻辑算法，成功解决了单元机组负荷控制系统中的高度非线性和时变性难题，其卓越的性能表现和广泛的应用前景，为电厂热工控制领域带来了新的突破和发展机遇。

（三）锅炉水位系统

锅炉水位系统的稳定控制，是电厂安全运行不可或缺的一环，但是由于该系统固有的延迟性与非线性特性，使得传统控制手段难以精准驾驭，控制效果常不尽如人意，而智能 PID 控制器的引入，则为这一难题的解决提供了创新思路与高效工具，其

中智能 PID 控制器巧妙融合了模糊控制技术，这一创新设计使其能够深度洞察锅炉水位系统的动态变化，特别是面对水位偏差及其变化率，控制器不再拘泥于固定策略，而是灵活运用模糊推理，实时调整控制参数与策略，有效削弱了系统延迟与非线性的影响；除此以外模糊 PID 控制器内置的自学习机制，如同一位不断进步的智者，能够持续积累经验，自动优化控制参数，确保控制系统始终与锅炉水位系统的实际状态紧密契合，从而提升控制的适应性与稳定性；最后使得在智能 PID 控制器的精准调控下，锅炉水位系统得以在设定范围内平稳波动，避免因水位异常波动可能引发的安全隐患，这一变革不仅可以巩固电厂机组的安全防线，还能进一步提升机组的整体运行效率与经济效益，为电厂的可持续发展奠定了坚实基础。

（四）磨煤机

磨煤机，作为电厂制粉流程中的心脏设备，其控制性能直接关系到燃料处理的效率与质量，进而影响整个机组的燃烧效率与运行稳定性，但是由于传统控制手段在应对磨煤机复杂多变的动态特性时，往往显得力不从心，难以达到理想的控制效果，所以智能 PID 控制器的融入，为磨煤机控制领域带来了一场深刻的变革，例如该控制器创新性地集成了神经网络控制技术，赋予其强大的学习与适应能力，并通过实时监测磨煤机的运行状态数据，去让神经网络能够精准捕捉设备的工作特征，并据此动态调整 PID 控制参数，确保控制策略与当前工况的完美匹配。这一机制使得磨煤机的控制更加灵活高效，有效提升了燃料处理的精度与速度；与此同时，模糊 PID 控制器的加入，也进一步巩固了控制系统的稳健性。因为模糊控制以其独特的处理逻辑，有效应对了系统中的不确定性与干扰因素，减小了测量误差，并显著降低了小开度时风挡板漏风等问题，这种双重保障下的控制策略，不仅确保了磨煤机的稳定运行与高效输出，还为整个电厂机组的优化运行提供了坚实的支撑。

三、智能 PID 控制器在电厂热工过程控制中的应用前景

（一）技术融合与创新的未来展望

在科技日新月异的今天，智能 PID 控制器在电厂热工过程控制领域的应用正步入一个前所未有的发展阶段，所以展望未来，技术融合与创新将成为推动这一领域持续进步的核心动力，毕竟随着深度学习、强化学习等前沿人工智能技术的不断成熟，智能 PID 控制器将迎来一次质的飞跃，这些先进技术将赋予控制器

更强大的学习与适应能力，使其能够深入洞察热工控制过程的内在机理与动态变化，从而制定出更加精准、预见性的控制策略。而且将来控制器将不再仅仅是响应系统状态的被动工具，而是成为能够主动优化、自我进化的智能体，为电厂热工控制过程的控制带来前所未有的精准度与效率；同时智能 PID 控制器将与其他智能控制系统实现更加紧密的融合。先进的过程控制系统、能源管理系统等将与智能 PID 控制器无缝对接，共同构建起一个高度集成化、智能化的电厂热工过程控制网络。这一网络将实现数据共享、策略协同与资源优化，显著提升整体控制系统的性能与效率。

（二）控制精度与稳定性的持续提升

电厂热工过程控制的精髓，在于追求极致的控制精度与稳定性，所以随着技术的不断演进，智能 PID 控制器应该会逐步成为实现这一目标的关键力量，展望未来智能 PID 控制器将在控制精度与稳定性方面展现出更为卓越的性能，其中控制算法的不断优化，是提升控制精度的核心所在，因此智能 PID 控制器将集成更多先进的控制理论与策略，如自适应控制、预测控制等，以更精准地模型化热工控制过程的复杂动态特性，同时结合实时监控技术，控制器能够即时捕捉系统状态的微妙变化，迅速响应并调整控制参数，确保系统始终处于最优控制状态，这种高度的灵活性与响应速度，将极大地提升控制的精准度，满足电厂对高效、稳定运行的严苛要求；至于在稳定性方面，智能 PID 控制器应该同样会展现出不凡的潜力，例如其可以引入故障诊断与预测维护技术，控制器能够实现对设备的全方位监测与评估，并借助大数据分析机器学习算法，去提前识别潜在故障征兆，及时发出预警信号，为维修人员提供宝贵的时间窗口，这种前瞻性的维护策略，将有效降低设备故障率，延长设备使用寿命，为电厂的稳定运行提供坚实的硬件支撑。

结语

总而言之，智能 PID 控制器在电厂热工过程控制中的应用前景广阔，因此电厂可以通过引入模糊控制、专家系统、神经网络等智能控制技术去实现对复杂多变热工控制过程的精确控制和智能化优化，且未来随着技术的不断发展和应用场景的不断拓展，智能 PID 控制器也将在提升控制精度和稳定性、降低能耗和排放等方面发挥更加重要的作用，为电厂的可持续发展提供有力保障。

参考文献

- [1] 裴彩峰. 电厂热工智能化控制过程的先进方法研究 [J]. 湖北农机化, 2019 (06): 56.
- [2] 赵鑫. 电厂热工控制过程中智能 PID 控制器的应用研究 [J]. 民营科技, 2018 (09): 62.
- [3] 张鑫, 尚坤, 卢红强. 智能 PID 控制器在电厂热工过程控制中的应用 [J]. 产业与科技论坛, 2016, 15 (04): 65-66.
- [4] 刘志远, 吕剑虹, 陈来九. 智能 PID 控制器在电厂热工过程控制中的应用前景 [J]. 中国电机工程学报, 2002, (08): 129-135.

输电线路跨越复杂地形施工技术研究

冀登军

内蒙古送变电有限责任公司, 内蒙古 呼和浩特 010020

摘要：随着经济的快速发展和城市化进程的加速，对电力的需求日益增长。为满足日益增长的电力需求，输电线路的建设规模不断扩大，施工环境也日益复杂。复杂地形条件，如山区、河流交叉区、大跨越区域等，给输电线路的施工带来了诸多困难和风险。这些地形条件不仅增加了施工的难度和成本，还对施工安全和环境保护提出了更高的要求。因此，研究复杂地形条件下输电线路的施工技术，对于确保输电线路的安全、可靠建设和运行具有重要意义。本文探讨了输电线路在跨越复杂地形条件下的施工技术研究。

关键词：复杂地形条件；输电线路施工；地形适应性施工技术

Research on Construction Technology of Transmission Lines Crossing Complex Terrain

Ji Dengjun

Inner Mongolia Power Transmission and Transformation Co., Ltd., Hohhot, Inner Mongolia 010020

Abstract：With the rapid economic development and acceleration of urbanization, the demand for electricity continues to grow. To meet the ever-increasing demand for power, the construction scale of transmission lines has continued to expand, and the construction environment has become increasingly complex. Complex terrain conditions, such as mountainous areas, river crossings, and large-span regions, pose numerous difficulties and risks to the construction of transmission lines. These terrain conditions not only increase the difficulty and cost of construction but also put forward higher requirements for construction safety and environmental protection. Therefore, researching construction technologies for transmission lines under complex terrain conditions is of great significance for ensuring the safe and reliable construction and operation of transmission lines. This paper explores the research on construction technology of transmission lines crossing complex terrain conditions.

Keywords：complex terrain conditions; transmission line construction; terrain-adaptive construction technology

一、复杂地形条件下输电线路施工方案设计

（一）地形特征详细勘测与分析

在复杂地形条件下，地形特征的详细勘测是施工方案设计的基础。利用无人机航拍、卫星遥感、三维激光扫描等现代化勘测设备和技术手段，获取高精度、高分辨率的地形数据和高程模型。这些数据不仅涵盖了地形的高低起伏、坡度变化、沟壑河流等自然特征，还能揭示土壤类型、植被覆盖等环境信息。通过 GIS（地理信息系统）技术对地形数据进行综合分析，识别出施工难点、潜在风险点和需要特殊处理的区域，为后续的施工路线规划和施工方案设计提供科学依据。

（二）施工要求与环境因素综合考虑

施工要求包括输电线路的技术参数、安全标准、施工进度等，而环境因素则涉及生态保护、地质稳定性、气候条件等多个方面。在制定施工方案设计时，必须充分考虑施工要求与环境因素之间的平衡。一方面，要确保施工方案能够满足输电线路的技术参数和安全标准，保证施工质量；另一方面，要尽量减少对生

态环境的破坏，保护当地地质稳定性和生态平衡。例如，在山区施工中，需避开滑坡、泥石流等地质灾害易发区，减少对植被的砍伐，采用环保型施工材料和工艺。

（三）施工路线规划与设备通行能力评估

基于地形特征分析和施工要求与环境因素的考虑，制定合理的施工路线规划是施工方案设计的重要环节。施工路线应尽量选择地形相对平坦、交通便利的区域，以减少施工难度和成本。同时，还需考虑施工设备的通行能力，确保大型施工机械能够顺利进入施工现场并完成作业。在评估设备通行能力时，需充分考虑地形坡度、路面状况、桥梁承载能力等因素，必要时还需进行道路拓宽、加固或修建临时便道等措施。此外，还需规划好施工材料的运输路线和存储地点，确保施工过程中的物资供应顺畅。

综上所述，复杂地形条件下输电线路的施工方案设计需要综合考虑地形特征、施工要求与环境因素等多个方面。通过详细的地形勘测与分析、施工要求与环境因素的平衡考虑以及合理的施工路线规划与设备通行能力评估，可以制定出科学、合理、可行的施工方案，确保输电线路的安全、可靠建设和运行。

作者简介：冀登军，1977.02.07 生，汉族，党员，本科，现就职于内蒙古送变电有限责任公司，高级工程师、五级职员；研究方向为输电线路。

二、地形适应性施工技术

（一）山区地形适应性施工技术

在山区地形中，地形起伏大、坡度陡峭，给输电线路施工带来了极大的挑战。为了克服这些困难，需采用一系列地形适应性施工技术。除了传统的索道运输和空中蹲点作业方式外，还可以探索使用全地形车辆（ATV）或履带式挖掘机等特种施工设备，它们具有较强的爬坡能力和越障能力，能够在复杂山地环境中灵活作业。此外，利用无人机进行线路巡查和地形监测，可以实时掌握施工现场情况，提高施工安全性和效率。在塔基建设方面，采用预制装配式塔基或螺旋锚基础等新型基础形式，可以缩短施工周期，减少对山体的破坏。

（二）河流交叉区域适应性施工技术

河流交叉区域是输电线路施工中常见的难点之一。为了跨越河流，需采用适应性强的施工技术。水上起重设备是常用的方法之一，它们能够在水面上稳定起吊和安装输电塔材，但需确保起重设备的稳定性和安全性。另外，搭建临时桥梁或采用浮桥技术也是可行的选择，它们能为施工提供稳定的作业平台。在深水区域，还可以考虑使用潜水作业技术，如潜水员潜水安装或水下机器人作业，以确保施工质量和安全。同时，还需注意施工过程中的环境保护，避免对河流生态系统造成破坏。

（三）机械化与智能化施工技术的融合

随着科技的进步，机械化与智能化施工技术在输电线路施工中得到了广泛应用。引入先进的机械化施工装备，如自动化吊装设备、智能挖掘机等，可以大幅提高施工效率和质量。同时，结合无人机遥感测量和监测技术，可以实现对施工现场的远程监控和数据分析，为施工决策提供科学依据。此外，还可以探索使用机器人技术进行线路铺设和检修作业，以减少人工劳动强度和提高作业精度。这些技术的融合应用，将进一步提升复杂地形条件下输电线路施工的技术水平和施工能力。

三、悬空出线技术

悬空出线技术是在复杂地形中，通过悬挂输电线路在高空横跨地势起伏或难以进入的区域。这种技术适用于山区、河流交叉等地形条件复杂的情况，能够有效克服地形障碍，确保输电线路的安全、可靠建设。

悬空出线技术，顾名思义，是将输电线路以悬挂的方式架设在高空，以跨越复杂地形中的障碍区域。其技术原理在于利用高强度的输电塔或特殊设计的支撑结构，将导线、地线等线路组件悬挂于空中，形成稳定的输电通道。这种技术的优势在于能够灵活应对复杂多变的地形条件，如陡峭的山坡、宽阔的河流等，有效减少了对地面的占用和破坏，同时确保了输电线路的安全性和可靠性。

在设计悬空出线方案时，需充分考虑地形特点、气候条件、荷载要求等因素，确保输电塔或支撑结构的设计合理、稳固可靠。施工过程中，需采用先进的施工技术和设备，如无人机辅助

放线、高空作业平台等，以提高施工效率和安全性。同时，还需注意对导线的张紧度、弧垂度等参数进行精确控制，以确保输电线路的电气性能和机械性能满足设计要求。

四、斜拉桥式输电塔技术

斜拉桥式输电塔技术是根据地形条件设计并应用具有弹性的斜拉桥式输电塔，使输电线路能够适应不同地势高低差，并提供足够的稳定性和承载能力。这种技术在大跨越输电线路施工中尤为适用，能够显著提高施工效率和安全性。

斜拉桥式输电塔技术以其独特的结构设计和卓越的工程性能，在复杂地形条件下展现出强大的适应性。该技术通过利用高强度钢索作为斜拉索，将输电塔的主体结构与地面锚固系统紧密连接，形成稳定的支撑体系。这种设计不仅能够有效分散荷载，提高输电塔的承载能力，还能使输电线路在不同地势高低差之间平滑过渡，确保电力传输的稳定性和安全性。此外，斜拉桥式输电塔还具备较好的抗风、抗震性能，能够在恶劣的自然环境中保持结构的完整性和稳定性。

在斜拉桥式输电塔的设计过程中，需要充分考虑地形地貌、气候条件、荷载要求等因素，进行精确的计算和模拟分析，以确保设计的合理性和可靠性。同时，为了提高施工效率和安全性，还需采用先进的施工技术和管理方法。例如，利用 BIM（建筑信息模型）技术进行三维建模和仿真分析，可以直观地展示输电塔的结构形式和施工过程，为施工方案的制定提供有力支持。在施工过程中，还需采用高精度的测量技术和监控手段，确保输电塔各部件的安装精度和整体稳定性。此外，还需注重施工过程中的安全管理和环境保护工作，确保施工活动对周边环境的影响降到最低。

五、施工管理与协调

在复杂地形条件下进行输电线路施工时，需要有效的施工管理和协调技术来确保施工进度和质量。采用先进的项目管理工具和方法，合理规划施工过程，优化资源利用，减少浪费。同时，加强不同施工部门和供应商之间的沟通与协作，建立良好的协作机制和沟通渠道，确保施工各个环节的紧密衔接。

（一）先进项目管理工具的应用

在复杂地形条件下的输电线路施工中，引入先进的项目管理工具是提升管理效率的关键。这些工具包括但不限于项目管理软件、BIM（建筑信息模型）技术、大数据分析平台等。通过这些工具，可以实现对施工进度、质量、成本等关键要素的实时监控和精细化管理。项目管理软件能够协助项目经理制定详细的施工计划，跟踪任务完成情况，及时发现问题并调整策略。BIM 技术则提供了三维可视化的施工模拟，帮助各方更直观地理解施工方案，减少误解和冲突。大数据分析平台则能够对海量施工数据进行深度挖掘，发现潜在的风险点和优化空间，为决策提供有力支持。

（二）资源优化与成本控制

有效的施工管理和协调还体现在对资源的优化利用和成本的有效控制上。在复杂地形条件下，施工资源往往有限且难以获取，因此必须合理规划资源的使用，确保施工顺利进行。通过精细化管理，可以精确计算施工所需的人力、物力、财力等资源，避免浪费和冗余。同时，建立严格的成本控制机制，对各项费用进行监控和审计，确保施工成本在预算范围内。通过优化资源配置和成本控制，可以在保证施工质量的前提下，降低施工成本，提高经济效益。

六、环境保护与风险控制

在复杂地形条件下进行输电线路施工时，需要关注环境保护和安全风险控制。研究和应用符合环保要求的施工技术，如无水施工技术、植被恢复技术等，减少施工对环境的影响。同时，建立完善的风险管理机制，加强施工人员的安全意识培养和培训，提高施工安全风险管理水平。

（一）环保施工技术的应用与推广

在复杂地形条件下的输电线路施工中，我们致力于推广和应用一系列符合环保要求的施工技术。无水施工技术作为其中的重要一环，通过优化混凝土配比、采用预制构件等方式，有效减少施工过程中的水资源消耗和废水排放，保护当地水资源和生态环境。同时，植被恢复技术也是不可或缺的环保手段，通过在施工结束后及时恢复施工区域的植被覆盖，防止水土流失，促进生态

修复。此外，我们还将继续探索和创新更多的环保施工技术，如利用生物降解材料替代传统建材、采用太阳能等可再生能源进行施工照明等，以进一步降低施工对环境的负面影响。

（二）风险管理体系的构建与完善

为确保施工安全，我们构建了完善的风险管理体系。该体系包括风险识别、评估、监控和应对四个关键环节。在施工前，我们组织专业团队对施工区域进行全面的风险识别，识别出可能存在的安全隐患和不利因素。随后，通过科学的评估方法，对识别出的风险进行量化分析，确定其可能带来的损失和影响程度。在施工过程中，我们利用现代信息技术手段，如无人机巡检、远程监控等，对施工现场进行实时监控，及时发现并处理潜在的安全隐患。同时，我们还制定了详细的应急预案和处置流程，以应对可能发生的突发事件和安全事故。通过这一系列措施的实施，我们能够有效降低施工风险，保障施工人员的生命安全和身体健康。

结论

通过对复杂地形条件下输电线路施工技术的研究和实践，可以有效应对复杂地形的挑战，提高施工效率和质量，确保输电线路的安全、可靠建设和运行。未来，随着技术的不断进步和创新，输电线路施工技术将更加先进和高效，为电力事业的发展提供有力支持。

参考文献

- [1] 李迎武，周银河. 输电线路架设跨越高速公路的施工技术探析 [J]. 中文科技期刊数据库（引文版）工程技术，2021(2): 276-277.
- [2] 门茂飞. 试析输电线路架设跨越高速公路的施工技术 [J]. 中文科技期刊数据库（文摘版）工程技术，2021(5): 368-369.
- [3] 房延鹏，武朋朋. 高压输电线路带电跨越施工技术研究 [J]. 科技视界，2023(15): 87-89.
- [4] 张世怡. 输电线路架线施工不停电跨越技术研究 [J]. 光源与照明，2022(10): 176-178.

掠翼型振荡水翼的水动力特性分析

陈卓¹, 焦波¹, 孙光², 林海花¹

1. 山东交通学院 船舶与港口工程学院, 山东 威海 264209

2. 山东交通学院 航运学院, 山东 威海 264209

摘 要： 在振荡水翼研究领域，目前对于水翼的选择仍以传统的 NACA 类翼型为主。为探索其他翼型结构水动力相关特性以进一步提高水翼的适用范围。通过仿生学的方法以鱼尾鳍的后掠结构为基础，建立了前缘后掠型、后缘前掠型以及后掠翼和前掠翼的振荡水翼的运动模型，并描述了相关的数学表达式和参数定义。通过数值模拟方法，分析了掠角对于掠翼型振荡水翼水动力性能的影响。结果显示，掠角主要影响水翼的升阻力系数和力矩系数，且其影响随角度变化并不呈完全相关关系。

关 键 词： 振荡水翼；掠翼；水动力；平均功率系数

Analysis Of Hydrodynamic Characteristics Of Swept Wing Oscillating Hydrofoil

Chen Zhuo¹, Jiao Bo¹, Sun Guang², Lin Haihua¹

1. Naval Architecture And Port Engineering College, Shandong Jiaotong University, Weihai, Shandong 26420

2 School of Navigation and Shipping, Shandong Jiaotong University, Weihai, Shandong 264209

Abstract： In the field of oscillating hydrofoil research, traditional NACA type airfoils are still the main choice for hydrofoils. To explore the hydrodynamic characteristics of other wing structures and further improve the applicability of hydrofoils. Based on the swept structure of the fish tail fin using biomimetic methods, motion models of oscillating hydrofoils with swept leading edge, swept trailing edge, swept back wing, and swept forward wing were established, and relevant mathematical expressions and parameter definitions were described. The influence of sweep angle on the hydrodynamic performance of swept wing oscillating hydrofoils was analyzed through numerical simulation methods. The results show that the sweep angle mainly affects the lift drag coefficient and moment coefficient of the hydrofoil, and its influence is not completely correlated with the change of angle.

Keywords： oscillating hydrofoil; swept wings; hydrodynamic; average power coefficient

引言

海洋能作为可再生能源之一，自20世纪70年代开始，受到各沿海国家尤其是发达国家的高度重视^[1]。开发和利用海洋可再生能源对于我国海洋战略新兴产业的培育和发展及缓解世界能源短缺问题均有重要意义。

潮流能是所有海洋能的重要分支之一。与其它形式能源相比，潮流能具有许多优越性：与太阳能、风能相比，潮流能能量更集中，密度比太阳能大30倍左右，比风能大4倍左右，可预测性强，依据地球、月亮、太阳与引潮力之间的相对运动，能较精确地预测出所测定海域内的潮流能量；能量较稳定，波动性大约是波浪能的0.2%左右。据统计，全球潮汐能和海流能技术可利用总量分别为 $1 \times 10^8 \text{ kW}$ 和 $3 \times 10^8 \text{ kW}$ ，年发电量可达2000万亿度。因此潮流能成为重点研发对象，受到我国大力支持^[2]。振荡水翼发电装置是近年来新兴的潮流能转换装置。由于水翼展长限制小，可部署在浅海、浅滩等地区。故相比传统旋转类水轮机，其设备维护方便，一次性投资小，加之其运动速度缓慢，对当地海洋生态系统较为友好^[3-6]。随着1981年McKinney^[7]等首次提出并用风洞实验验证了振荡翼捕能的可行性，人们对于振荡水翼的研

究广泛开展。Pizial^[8]对不同攻角下的翼型进行实验，得到了其在空气条件下的瞬时压力数据，并考察了三维翼型在旋转失速情况下的平均升力系数，拖曳力系数以及俯仰力矩系数等运动特性。Li^[9]等对剪切流中做俯仰运动的翼型的水动力学特征进行了数值模拟分析，并研究频率对振荡翼推力的机理的影响，并得出振动频率在0.7附近其推进效率最高。

NACA类翼型由于数据获取具有开放性，本身又是低阻翼型，故广泛被用于机翼及水翼的理论研究。随着振荡水翼的研究不断深入，已有学者致力于改进传统翼型从而提高获能效率。Sun^[10]等在NACA0018水翼基础上加装了可移动的尾缘格尼襟翼并考虑了在雷诺数不变的情况下格尼襟翼在不同长度和不同运动周期下对水翼能量捕获效率的影响，以及与传统水翼和加装固定式格尼襟翼的各项水动力系数进行对比。数据表明，尾缘格尼襟翼与振荡水翼的运动相结合有助于提高捕能效率。Fish团队^[11-16]对座头鲸的水下运动做出研究，发现座头鲸鳍肢前缘特殊的结节凸起产生的涡流有助于延迟失速，增加升力，减少阻力。并设计了具有类似突起的NACA 634-021翼型进行了风洞实验。结果表明，具有突起的翼状结构可以将最大升力提高超过6%，将极限失速角增加40%，并将阻力降低多达32%。该项研究也直接证明通

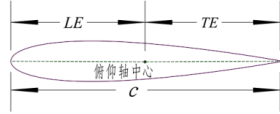
过仿生学内容对水翼翼型改良的可行性。

本文受 Fish 团队启发,通过仿生学方法以鱼尾鳍的后掠结构为基础并进一步分析多种掠翼结构的水动力性能。

一、水翼模型的建立

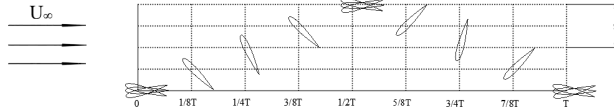
(一) 二维振荡水翼运动模型

图1为振荡水翼的参数图。定义 LE 为水翼俯仰轴中心与翼前缘的距离, TE 为俯仰轴中心与翼后缘距离, c 为水翼弦长, 俯仰轴中心位于水翼弦长上。



> 图1 二维振荡水翼几何模型

常规二维振荡水翼目前普遍采用的运动形式为:在迎流作用下,以正弦谐波围绕俯仰轴中心进行俯仰运动和沿 Y 轴垂降的升沉运动的叠加。如图2所示。



> 图2 二维振荡水翼运动模型

常规振荡水翼正弦运动方程为:

$$y(t) = -y_p \sin(2\pi ft + \varphi) \quad (1)$$

$$\theta(t) = -\theta_p \sin(2\pi ft) \quad (2)$$

式中, f 为振荡频率, t 为当前时刻, φ 为升沉俯仰相位角(本研究中定为 90°)。

为消除由来流流场非定常性和非均匀性导致流速变化和水翼几何参数差异而造分析困难,引入了2个重要无量纲参数,雷诺数 Re_c 和折算频率 f^* , 式中 U_∞ 为来流速度, ν 为流体运动粘度:

$$Re_c = U_\infty c / \nu \quad (3)$$

$$f^* = fc / U_\infty \quad (4)$$

在研究中,由于来流是水翼捕获能量的唯一来源,故忽略水翼系统本身受力而仅考虑来流作用的影响。当水流过水翼时,将产生随水翼运动状态变化且垂直于水翼方向的合力 $F(t)$, 该合力分解为垂直于来流方向的升力 $L(t)$ 和平行于来流方向的阻力 $D(t)$ 。同时,合力 $F(t)$ 在水翼的旋转轴位置产生力矩 $M(t)$ 。定义无因次化后的水翼升力系数 C_L , 阻力系数 C_D , 力矩系数 C_M :

$$C_{L(t)} = L(t) / \frac{1}{2} \rho U_\infty^2 S \quad (5)$$

$$C_{D(t)} = D(t) / \frac{1}{2} \rho U_\infty^2 S \quad (6)$$

$$C_{M(t)} = M(t) / \frac{1}{2} \rho U_\infty^2 Sc \quad (7)$$

式中, ρ 为流体密度, U_∞ 为来流速度, S 为水翼迎流面积。水翼的捕获能量瞬时功率 P 为升力做功与俯仰力矩做功之和:

$$P = L \cdot v + M \cdot \omega \quad (8)$$

故一个周期内水翼平均功率 \bar{P} 为

$$\bar{P} = \frac{1}{T} \int_0^T P dt \quad (9)$$

瞬时功率系数 C_p 为

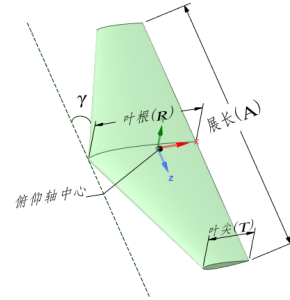
$$C_p = C_{PL} + C_{PM} = \frac{1}{U_\infty} [C_L v + C_M c \omega] \quad (10)$$

平均功率系数 $\overline{C_p}$ 为:

$$\overline{C_p} = \overline{C_{PL}} + \overline{C_{PM}} = \frac{1}{T} [\int_0^T C_{PL} dt + \int_0^T C_{PM} dt] \quad (11)$$

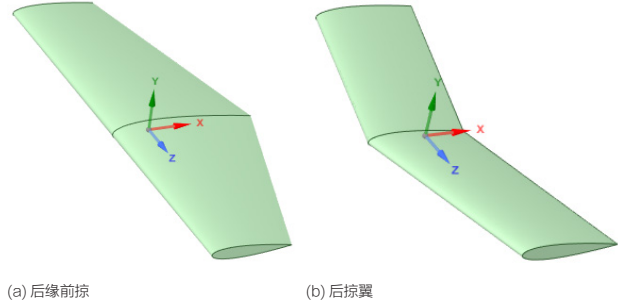
(二) 掠翼型振荡水翼模型

本文所采用掠翼型振荡水翼以 NACA0015 翼型为基础,定义展长为 A , 叶根长 R , 叶尖长 T 。保持常规水翼翼尾缘部分结构不变,在维持平均启动弦长恒定的条件下改变水翼翼尖与叶根部分弦长的比值即可得到前缘后掠型水翼如图3。



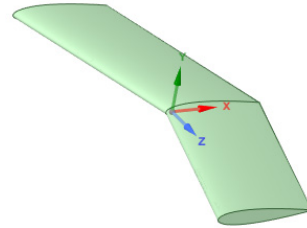
> 图3 前缘后掠型振荡水翼

同理,保持前缘不变,针对尾缘部分变化叶尖与叶根的比值得图4(a)所示后缘前掠型水翼。



(a) 后缘前掠

(b) 后掠翼



(c) 前掠翼

> 图4 后缘前掠型振荡水翼

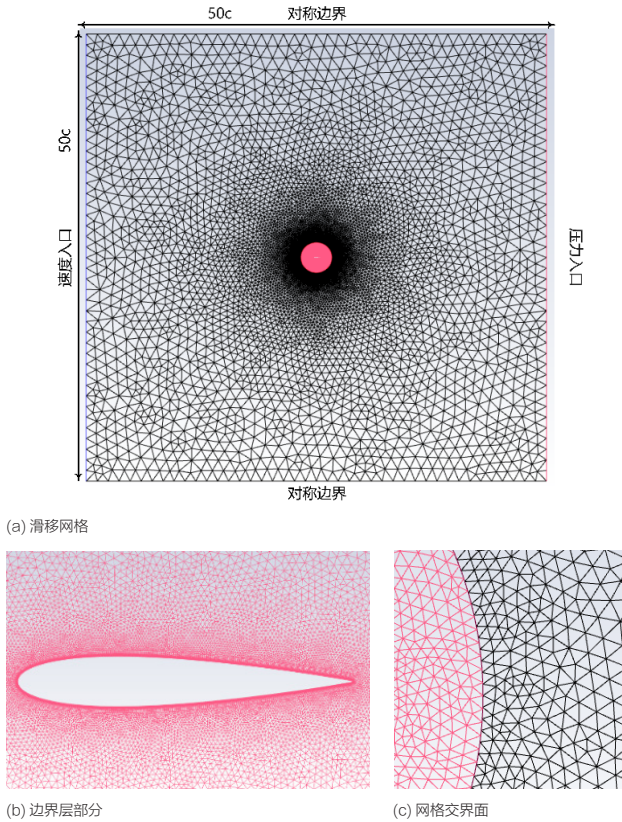
而在保持水翼整体弦长不变的情况下仿照机翼形式,将水翼两侧分别向后和向前产生一定掠角即得到整体型掠翼如后掠翼和前掠翼如图4(b)和4(c)。

二、数值模拟方法与无关性验证

(一) 模拟方法验证

在 Fluent 模型基础上,使用动网格与滑移网格模型相结合,

通过用户自定义函数 (UDF) 方法使全主动水翼进行正弦运动。图5为滑移网格模型，其中正方形外流场区域宽度为 $50c$ ，圆形流体域直径 $3c$ 翼型采用 NACA0015，雷诺数工况为 5×10^5 ，折算频率 0.14 俯仰角度为 75° 升沉幅值为1倍弦长 $0.25m$ ，来流速度为 $2m/s$ 俯仰轴中心位于水翼弦长靠近前缘的三分之一处。其中网格节点总数为 3×10^4 ，水翼网格节点为 500 。



> 图7 滑移网格模型

Kinsey^[7] 等通过实验与数值模拟相结合的方法研究了振荡水翼在不同折算频率下的获能效率特性。本文为验证数值模拟方法及运动模型的正确性，在该网格参数及工况条件下选取较为稳定的第三个周期与其研究进行对比验证，结果如表2。其中 C_{Lmax} 为升力系数最大值， $\overline{C_D}$ 为阻力系数平均值， C_{Mmax} 为俯仰力矩系数最大值， $\overline{C_P}$ 为平均功率系数。经对比可知，本文所采用的数值模拟方法合理。

表2 本模型与 Kinsey 研究模型计算结果比较

模型	C_{Lmax}	$\overline{C_D}$	C_{Mmax}	$\overline{C_P}$
Kinsey	2.819	1.757	0.565	0.986
本文	2.742	1.773	0.574	0.973

(二) 时间步长及网格无关性验证

为避免网格疏密和时间步长对计算结果的影响，对本研究的三维掠翼型振荡水翼模型进行了网格和时间步长无关性验证。经对水翼结构及流场取四种不同数量网格后进行比较结果如表3

表3 网格数量无关性结果验证

网格数 / 百万	C_{Lmax}	$\overline{C_D}$	C_{Mmax}	$\overline{C_P}$
1.07	3.652	1.675	1.276	0.188

网格数 / 百万	C_{Lmax}	$\overline{C_D}$	C_{Mmax}	$\overline{C_P}$
1.25	3.682	1.668	1.279	0.198
1.44	3.685	1.669	1.279	0.198
1.72	3.629	1.661	1.247	0.197

可见，在网格数量取 $1.25 \times 10^6 \sim 1.72 \times 10^6$ 时，网格各项数值趋于稳定，而 1.07×10^6 附近时平均功率系数与稳定区域仍有5.05%的差距。故选择 1.44×10^6 网格数量的划分方式作为水翼的网格模型。

表4为在保证库朗数小于1的情况下，分别取时间步长为 $1.67 \times 10^{-3}s$ ， $1 \times 10^{-3}s$ ， $7.14 \times 10^{-4}s$ ， $5 \times 10^{-4}s$ 四种时间步长计算结果。

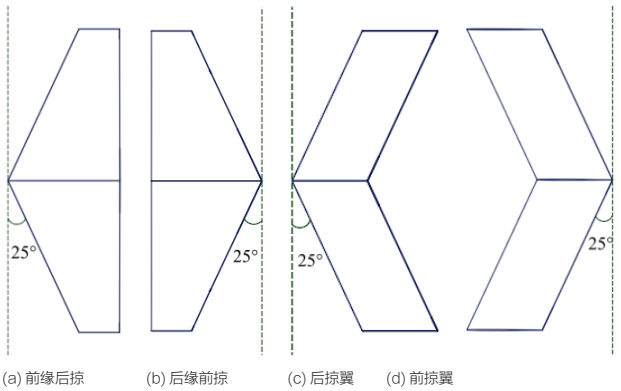
表4 时间步长无关性验证

$\Delta t/s$	C_{Lmax}	$\overline{C_D}$	C_{Mmax}	$\overline{C_P}$
1.67×10^{-3}	3.725	1.666	1.290	0.194
1×10^{-3}	3.685	1.670	1.279	0.198
7.14×10^{-4}	3.727	1.671	1.298	0.198
5×10^{-4}	3.725	1.675	1.300	0.199

为保证计算精度和收敛速度，本研究取 $\Delta t=7.14 \times 10^{-4}s$ 进行数值模拟研究。

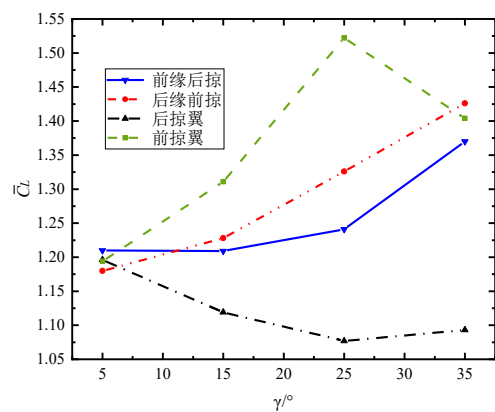
三、研究结果与分析

了解掠角及俯仰轴位置对水翼水动力性能的影响，可以为设计更高效的水翼提供理论依据，增加设计时的灵活性和选择范围。本文数值模型固定条件为雷诺数 $Re_c=5 \times 10^5$ ，平均气动弦长 $c=0.25m$ ，迎流面积 $S=0.25m^2$ 展长 $A=1m$ ，折算频率 $f^*=0.14$ ，升沉幅度 $y=c=0.25m$ ，俯仰振幅 $\theta=70^\circ$ 。在该条件下设计掠翼型水翼包括尾缘不变，仅通过改变梢根比而改变掠角的前缘后掠型水翼图5(a)及后缘前掠型水翼5(b)和以展长方向中心截面为基准，两翼整体偏移从而产生不同角度的后掠翼和前掠翼。以掠角 25° 为例，四种基本模型俯视图如图5所示：

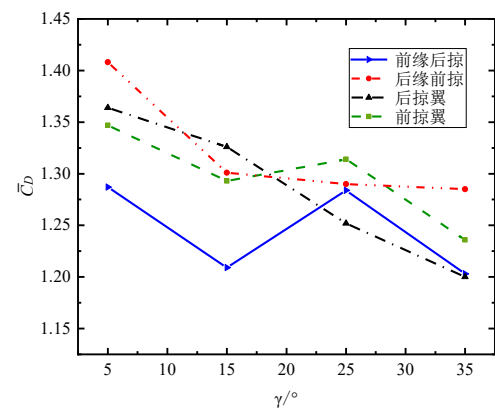


> 图8 掠翼型振荡水翼

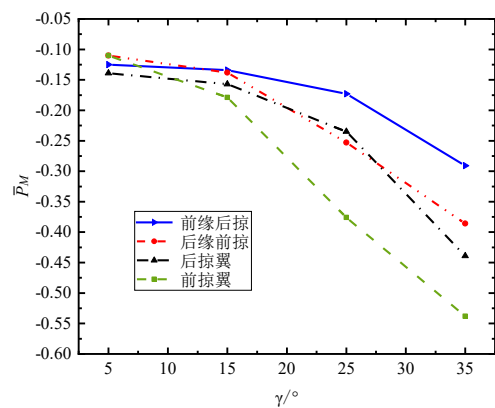
针对四种水翼结构，研究四种掠角 ($5^\circ, 15^\circ, 25^\circ, 35^\circ$) 所代表的掠翼程度，其各项水动力系数如下图：



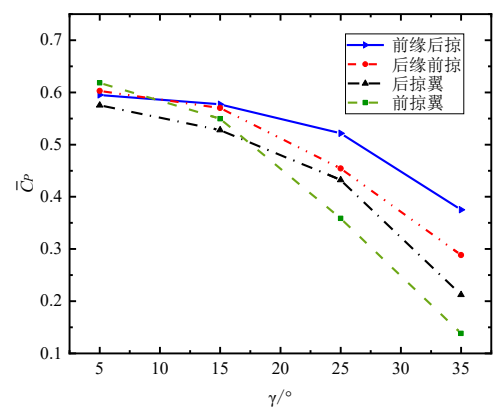
(a) 各模型平均升力系数



(b) 各模型平均阻力系数



(c) 各模型平均力矩功率系数

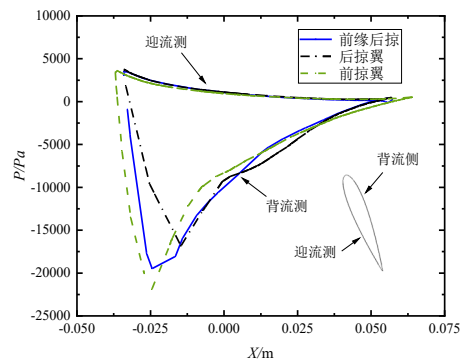


(d) 各模型平均功率系数

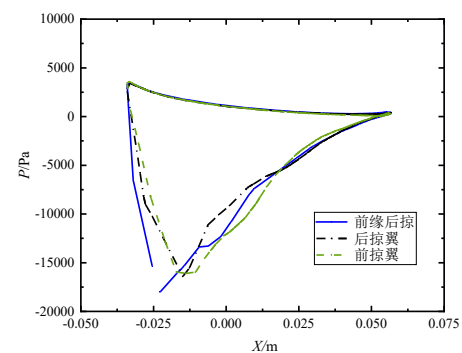
> 图9掠翼型水翼水动力相关系数

对于四种掠翼型水翼，其升力系数及阻力系数随掠角的变化呈不同趋势，前缘后掠型水翼升力系数在后掠角为 25° 之后明显上升，而阻力系数呈波动状态，在 15° 及 35° 时达到最小。后缘前掠型水翼自 15° 开始升力系数上升速度加快， 35° 时为四种结构最高。而阻力系数至 15° 时趋于平缓， 35° 时仍有四种结构中最高阻力系数。后掠翼相较于其他类型水翼升力系数明显较低，至 25° 时达到拐点并小幅上升。阻力系数随掠角增大而持续降低，并于 35° 成为四种结构中阻力系数最低的结构。前掠翼升力系数增长最为明显，在 25° 时达到峰值并出现拐点。其阻力系数变化与前缘后掠类似，值同比有所提高。而平均力矩功率系数仍为影响平均功率系数的主要原因，随着掠角的增大，水翼所作力矩功率增加量逐渐变大，致使水翼平均功率系数减小。

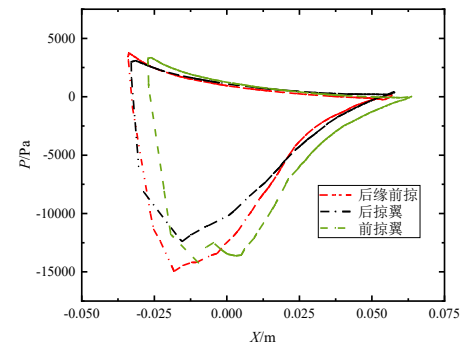
水翼表面压力图是反应水翼运动过程中受力情况的重要参考，图10为在四种不同掠角条件下，水翼平均弦长所在位置的上下表面压力随 X 方向长度变化的曲线。随着掠角的增大，各种水翼上下表面压差整体呈现减小趋势，在 25° 时达到最小，之后有所增加，可见水翼所受压力与掠角之间变化并非非线性。



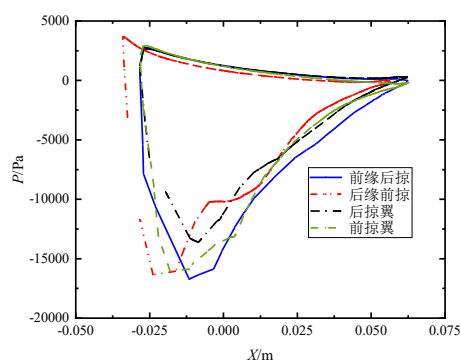
5° 掠角



15° 掠角

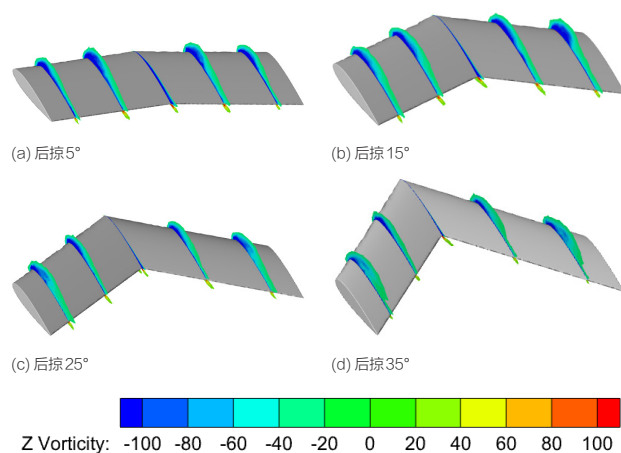


25° 掠角



35° 掠角

> 图 10 不同掠角各翼型表面压力图



> 图 11 不同后掠角水翼涡量图

结合图 11，后掠翼涡量云图随着后掠角的增加而逐渐向叶尖扩散并减小。至 35° 时中心涡强度减小，而边缘处产生轻微涡脱落现象。也是水翼在后掠角为 35° 条件下所受压力略大于 25° 的原因。

四、结论

本研究为掠翼型振荡水翼的设计提供了理论依据，未来的研究可以针对推进方面的应用或进一步探索前掠型水翼及梯形翼等不同结构类型的水翼水动力性能，以及对不同频率或俯仰角度等运动形式进行分析。具体结论如下：

(1) 随着后掠角的增加，水翼整体表现为升力系数增加而阻力系数降低的特性，该特点保证了水翼工作时的稳定性，对于船舶推进性能有所改善。

(2) 在进行增加水翼弦向长度的研究时，应留意力矩做功的增加，且由于升力系数增加的缘故，力矩功率所作负功对于水翼的影响逐渐提高。

(3) 致使不同结构水翼受力变化与掠角不成相关关系的原因在于各种结构水翼边缘产生的涡脱落状况不同，应具体针对特定结构的水翼制定合理的设计方案。

参考文献

- [1]Armaroli N, Balzani V. Towards an electricity-powered world [J]. Energy & Environmental Science, 2011, 4(9): 3193-222.
- [2]Schiermeier Q, Tollefson J, Scully T, et al. Electricity without carbon [J]. Nature, 2008, 454(7206): 816-23.
- [3]YOUNG J, LAI J C S, PLATZER M F. A review of progress and challenges in flapping foil power generation (vol 67, pg 2, 2014) [J]. Progress in Aerospace Sciences, 2014, 67(2014): 1-28.
- [4]ZHU Q. Energy harvesting by a purely passive flapping foil from shear flows [J]. Journal of Fluids and Structures, 2012, 34(2012): 157-169.
- [5]LIU Z Q, WANG Y Z, HUA X G. Numerical studies and proposal of design equations on cylindrical oscillating wave surge converters under regular waves using SPH [J]. Energy Conversion and Management, 2020, 203: 112242.
- [6]ZHANG D, MA X, SI Y, et al. Effect of doubly fed induction Generator/Tidal current turbines on stability of a distribution grid under unbalanced voltage conditions [J]. Energies, 2017, 10(2): 212.
- [7]KINSEY T, DUMAS G. Computational Fluid Dynamics Analysis of a Hydrokinetic Turbine Based on Oscillating Hydrofoils [J]. Journal of Fluids Engineering, 2012, 134(2): 021104.
- [8]PIZIALI R. 2-D and 3-D oscillating wing aerodynamics for a range of angles of attack including stall [R], 1994.
- [9]LI D Y, LIU N S, LU X Y, et al. Force characteristics and vortex shedding of a pitching foil in shear flows [J]. Journal of Hydrodynamics, 2005, 17(1): 27-33.
- [10]SUN G, WANG Y, XIE Y D, et al. Research on the effect of a movable gurney flap on energy extraction of oscillating hydrofoil [J]. Energy, 2021, 225: 120206.
- [11]FRIEDLAENDER A S, HAZEN E L, NOWACEK D P, et al. Diel changes in humpback whale Megaptera novaeangliae feeding behavior in response to sand lance Ammodytes spp. behavior and distribution [J]. Marine Ecology Progress Series, 2009, 395: 91-100.
- [12]HAZEN E L, FRIEDLAENDER A S, THOMPSON M A, et al. Fine-scale prey aggregations and foraging ecology of humpback whales Megaptera novaeangliae [J]. Marine Ecology Progress Series, 2009, 395: 75-89.
- [13]FISH F E, WEBER P W, MURRAY M M, et al. The tubercles on humpback whales' flippers: application of bio-inspired technology [Z]. Oxford University Press. 2011
- [14]EDEL R, WINN H. Observations on underwater locomotion and flipper movement of the humpback whale Megaptera novaeangliae [J]. Marine Biology, 1978, 48: 279-287.
- [15]FISH F E. The myth and reality of Gray's paradox: implication of dolphin drag reduction for technology [J]. Bioinspiration & Biomimetics, 2006, 1(2): R17.
- [16]FISH F E, BATTLE J M. Hydrodynamic design of the humpback whale flipper [J]. Journal of Morphology, 1995, 225(1): 51-60.

焊接机器人在焊接技术应用中的关键技术分析

姜元好, 薛彬, 徐卫彦

青岛滨海学院, 山东 青岛 266555

摘 要 : 随着科技的不断进步, 工业领域的自动化也得到了进一步的发展, 焊接机器人在焊接技术中的应用愈发普遍, 在焊接活动中扮演的角色也愈发重要。焊接机器人相较于人工焊接具有一定的优势, 能够在减少人工工作量的同时加快焊接作业效率^[1]。此外, 焊接机器人所生产的元件具有较强的耐用性, 对于焊接工作的发展具有重要意义。本文将通过对焊接机器人的主要构成进行分析, 探索焊接机器人在焊接技术应用中的关键技术。

关 键 词 : 焊接机器人; 焊接技术; 技术分析

Key Technology Analysis of Welding Robots in Welding Technology Application

Jiang Yuanhao, Xue Bin, Xu Weiyan

Qingdao Binhai University, Qingdao, Shandong 266555

Abstract : With the continuous advancement of technology, automation in the industrial field has also been further developed, and the application of welding robots in welding technology has become increasingly common, playing an increasingly important role in welding activities. Welding robots have certain advantages over manual welding, as they can reduce manual workload while accelerating welding efficiency.^[1] In addition, the components produced by welding robots have strong durability, which is of great significance for the development of welding work. This article will analyze the main components of welding robots and explore the key technologies of welding robots in welding technology applications.

Keywords : welding robot; welding technology; technical analysis

焊接技术在工业制造和生产建设领域具有重要作用, 不仅能够促进生产制造业的发展, 还对其他领域具有积极作用。焊接机器人的使用可以提高焊接精度和焊接效率, 并在此过程中提高焊接技术水平。在焊接机器人的加持下, 不仅可以实现人工无法完成的焊接活动, 还能够使焊接作业的时间大大缩短。焊接机器人的解放了技术工人, 同时也能够有效避免焊接活动中的安全事故的发生, 对于我国制造业的发展具有重要作用。

一、焊接机器人的主要构成

焊接机器人是一种应用于焊接技术领域的工业机器人, 在用途上除了用于焊接外, 还能够通过简单改装实现喷涂作业和切割作业等多种作业。焊接机器人在焊接时具有较强的稳定性, 可以大幅提升焊接活动的作用效率。同时, 焊接机器人还可以进行重复编程, 以此提高在焊接工作中的利用率。常规的焊接机器人分为机器人主体和焊接部件两个主要部分。机器人主体需要与控制柜进行连接, 从而实现远程操控; 焊接部件主要指焊枪, 同时包含了编程器等部件, 主要用于完成指定的焊接动作。

从结构构成上可以将焊接机器人分为以下五个方面:

一是焊接机器人的机械结构, 包括了传动装置、机械臂和关节等部件^[2]。传动装置是实现机器人运动的重要装置, 是焊接机器人进行焊接活动的必要部件。机械臂主要用于控制焊接部件, 模仿人体手臂的运动模式实现运动, 机械臂各个部分之间由关节进

行连接, 以此提高机械臂的灵活性, 并保证机械臂可以按照指令精准运行, 是实现机械臂运动的重要环节。通过传动装置可以带动关节做工, 实现机械臂的运动, 这便是焊接机器人最基本的机械结构。

二是焊接机器人的控制系统, 控制系统由硬件和软件两个部分构成。硬件部分包括了控制器、传感器、执行器等各类部件。通过控制器输入指令信号, 利用传感器完成对所输入信号接收活动, 再用执行器针对指定信号完成指令的执行, 控制机器人完成指定运动。软件部分包含了算法与编程内容, 是焊接机器人的大脑与神经, 通过算法可以完成对机器人的操控活动, 实现焊接任务的具体执行。

三是焊接机器人的电源系统。是焊接机器人能够充分运动的关键系统, 电源系统在构成上包括了电源装置、电缆和电池等, 主要为机器人的运行提供电力支持。是焊接机器人进行焊接工作的动力来源。电源系统是焊接机器人的重要系统, 深刻的影响着

焊接工作的实际效能。

四是焊接机器人的焊接系统，包含了焊枪和焊丝供给装置以及气体保护装置等部件，是焊接机器人区别于其他工业机器人的主要内容。焊枪是焊接工作的主要工具，相当于人类的手部，是实现焊接活动的最终部件，焊接系统通过将热能传递到工件上，以此实现焊接行为。焊丝供给装置的作用是提供焊丝，并进一步控制焊丝的传送速度。气体保护装置的作用提供保护性气体，预防焊接作业中出现的氧化情况^[3]。

五是焊接机器人的安全保障系统，该系统是保护操作人员的安全的重要环节，通过安全保障系统可以确保焊接机器人的安全使用。安全保障系统主要包括了防护罩、传感器以及急停按钮等，可以通过多种形式对机器人的运动模式进行检测，并在发生安全隐患时进行及时干预。避免出现意外事故。

二、焊接机器人当前的应用现状

焊接机器人是一种自动化生产设备，具有高效率、高稳定性和高精度的特点，可以为焊接工作等提供重要支持，在工业与制造业领域中具有广泛应用。随着以汽车制造业为代表的的高精度制造行业的发展，对于焊接的精度与速度提出了更高需求，焊接机器人也因此汽车制造业等领域进行了广泛应用。

首先焊接机器人内部具有运动控制技术，可以控制机械臂的运动路径与运动轨迹。通过运动控制技术可以避免焊接机器人的机械臂在进行焊接时出现碰撞，还可以通过运动控制技术精准的控制焊枪的位置和具体形态，进行精确的焊接工作，在对焊接精度有严格要求的制造业中具有广泛应用，如汽车制造、火车制造等^[4]。

其次，焊接机器人具有感知技术，可以对视觉、力学、温度等信息进行感知。通过视觉传感器直观获取工件的信息，使操作人员能够及时掌握工件的形状和相对位置。利用力学传感器明确焊接活动中的具体力度和相关压力，掌握焊接机器人的工作情况。通过温度传感器感受焊接过程中的温度变化，避免设备和焊接工件的过热。可以以此提高焊接工作的稳定性和总体精度。在感知技术的加成下，可以实现焊接工作的自动化，对于大规模使用焊接技术的制造业具有较大帮助^[5]。因此，焊接机器人在当前被广泛应用于工厂、生产线等需要大规模焊接的领域。

再次，焊接机器人的控制系统可以实现对机器人运动的合理控制，通过运动控制、感知控制以及参数的调节等功能实现焊接机器人的规范化运作。在控制系统的加成下，焊接机器人具有较高的实时性和稳定性，同时也具备直观的人机交互界面，极大地便利了操作人员的监控和调节工作。因此，焊接机器人被广泛应用于较为复杂精密的制造行业当中，如科学仪器制造和汽车部件制造领域等，以此实现焊接机器人的最大效用。

最后，焊接机器人在安全性上具有较强的管控，这也使得其被广泛应用于安全要求较高的领域。焊接活动具有高温高压的特点，同时还会产生一定的有害气体。而焊接机器人在设计上也考虑到了这一点，为此设置了相应的安全防护机制。这也使焊接机器人的应用需求进一步扩大，在石化工业制造业和军工领域等安

全需求较强的环境中得到了广泛应用。

三、焊接机器人的未来发展前景

随着社会的不断发展，焊接技术也得到了进一步的完善，焊接机器人的应用也越来越普遍。从当前的发展阶段来看，我国在使用焊接机器人进行焊接作业时的技术已经较为纯熟，但在相关的理论方面依旧需要进行优化和完善。只有做到理论与实践的有机结合，才能够将操控技术中的重要理念落实于具体的焊接工作当中。另外，当前依旧存在着许多技术性问题需要解决，这些问题限制了焊接行业的进一步发展，使其无法再次取得技术上的突破。我国当前在机器人智能化领域的技术水准依然较为稚嫩，在嵌入式技术上也缺乏核心科技成果的支持，同时在虚拟现实技术上也同样落后于发达国家^[6]。这也导致了我国的焊接机器人技术很难取得进一步的突破，这需要技术人员在日后进行深入的研究。从焊接机器人在我国的应用情况来看，目前已经对整个社会生产活动的发展产生了巨大变革，尤其是以汽车行业为代表。近两年来，国产汽车行业得到了飞速发展，以新能源汽车为核心的汽车制造业在未来将得到进一步发展，对于焊接的需求也会进一步增加。这也代表焊接机器人在汽车行业将得到进一步的应用推广。由此可以看出，虽然目前依旧存在着许多技术性问题，但焊接机器人在我国的发展前景依然十分广阔。

从世界科技的发展历程来看，越来越多的科学技术在发展的过程中不断融合，实现了科技的升级优化。焊接机器人相关技术也可以采用这个思路，将焊接机器人技术同其他相关领域计划进行结合，实现技术突破，促进多个领域的科学技术得到共同进步。可以结合焊接技术的需求和发展方向，将不同领域的技术引入到焊接机器人的生产设计上，增强焊接机器人的总体效用。例如，可以将虚拟现实技术同焊接机器人技术进行结合，利用虚拟现实技术的优势为焊接机器人提供智能化的技术支撑，提高焊接机器人的精度，实现相关技术的突破发展。反之，焊接机器人也能够为虚拟现实技术开辟一条新的应用场景，为虚拟现实技术的发展注入新的动力。由此可见，科学技术之间是相辅相成的，将不同技术进行结合不仅能够促进技术的发展，还能够产生技术集群效应，提高生产工作的综合效率。因此，技术人员应当加强对于焊接机器人的研究工作，通过多领域技术的融合拓宽焊接机器人的使用场景，为我国焊接机器人的未来发展提供技术支持。

四、焊接机器人在焊接技术应用中的关键技术分析

（一）传感技术

传感技术在焊接机器人的实际工作中的作用十分明显，通过传感技术可以让机器人准确感知到周边的环境信息，对焊接环境的具体参数进行精准把控，以此实现精准的焊接操作。如前文所说，传感技术包括了视觉传感、力传感、温度传感和位置传感四个方面。视觉传感技术指通过摄像头和图像处理算法对焊接区域

的图像信息进行实时获取，视觉传感技术可以明显提高焊接工作的在精准度，是传感技术最为直观的表现形式^[7]；力传感技术主要通过力传感器进行传感，可以对着力信息进行实时感知，这些力学信息合一起来控制焊接的力度，保障焊接工作的可靠性；温度传感技术则需要利用温度传感器对焊接过程中的温度变化进行感知，可以通过温度传感技术来控制焊接温度，并监测焊接过程中是否存在温度的异常；位置传感技术指利用激光仪器和编码器等设备对焊接工件的位置进行感知，可以保障焊接的准确性。传感技术的应用可以提高焊接机器人的精准度，避免焊接工作出现偏差。

（二）遥控焊接技术

遥控焊接技术指利用对焊接机器人进行远程遥控的技术，可以使焊接作业更具灵活性。遥控焊接技术主要包括以下几个方面。首先是遥控设备，利用遥控器或操纵杆进行无线通信，实现机器人的远程遥控。其次是控制系统，主要用于接收遥控设备所发出的相关指令，并将指令转为实际动作，以此实现对机器人运动的控制。再次是实时监控技术，通过实时监控加强对焊接过程监管，利用实时传输的图像或视频对焊接区域进行观测，及时掌握实际情况，并对具体的操作方式进行适当调整。最后是安全性保障技术，以求保证操作人员以及周边环境的安全性，通过固定的安全措施加强焊接流程的安全保障，并通过密码和权限等限制机器人的使用^[8]。

（三）焊缝识别技术

焊缝识别技术可以对焊缝的位置和形状进行精准判断。提高机器人对于焊接作业的自动识别能力，实现自动化焊接作业。通过焊缝识别技术，机器人可以明确的找到焊缝所在的位置信息，从而提升焊接质量。焊缝识别技术依托于图像的自动化处理和特征的智能提取技术对焊接区域进行智能分析，并利用模式识别探寻出焊缝形状的规律性，通过智能匹配和自动识别判断出焊缝

的准确位置。在此过程中，同样需要传感器的辅助，以提高焊缝识别的精准度。

（四）仿真模拟技术

焊接机器人在进行焊接工作时，需要使用仿真模拟技术，实现焊枪运动轨迹的模拟，以此寻找到最为准确的焊接初始点。因此仿真模拟技术对于焊接机器人的实际应用具有重要意义。通过仿真模拟技术可以帮助焊接机器人进行参数的优化，以虚拟模型对不同的参数进行模拟，寻找到最为合适的焊接参数组合，保障焊接工作的专业性。另外，方针模拟技术还能够对焊接工作中的缺陷和问题进行预测，提前对焊缝不良、裂纹和气孔等问题进行判断^[9]，并及时干预，通过提前预判实现焊接质量的提升。

（五）视觉图像处理技术

视觉图像处理技术是焊接机器人完成焊接活动的重要技术环节，通过利用传感器与摄像头等设备完成对于焊接区域的图像采集工作，随后再对相关图像进行智能化处理，以此提高对于焊接活动的监管力度。在处理图像的过程中，会采用图像滤波技术对采集到的图像信息进行平滑处理，去除掉图像中的噪点和干扰，使图像信息更加清晰明确。之后再利用图像边缘检测技术确定图像的边缘信息，完成图像的检测与定位。通过视觉图像处理技术可以确保焊枪能够对焊接区域进行自动识别，从而高质量完成焊接作业^[10]。

结束语

综上所述，焊接机器人以其具备的优势在生产制造行业中得到了广泛应用，为焊接技术的发展进步提供了重要的促进作用。在进行焊接机器人的生产制作过程中，需要将先进技术进行应用，以提高焊接机器人的综合性能，满足不同的焊接需求，进一步提高焊接工作的总体效率和综合质量。

参考文献：

[1] 陆建卫. 焊接机器人在焊接技术应用中的关键技术分析 [J]. 内燃机与配件, 2024(3):57-59.
[2] 开赛尔江·艾尔肯, 张军林. 焊接机器人在焊接技术应用中的关键技术分析 [J]. 科技视界, 2021(20):130-131.
[3] 司芳. 焊接机器人在焊接技术应用中的关键技术分析 [J]. 数码精品世界, 2021(10):123-124.
[4] 刘宗元. 焊接机器人在焊接技术应用中的关键技术分析 [J]. 越野世界, 2021,16(6):129.
[5] 常春梅. 机器人辅助的自动化机械加工焊接技术探究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2024,14(5):104-106.
[6] 许少村. 焊接机器人在自动化生产线上的应用研究 [J]. 冶金与材料, 2024,44(3):103-105.
[7] 李显武, 郭海全, 刘文忠, 等. 焊接机器人在矿用汽车车身焊接中的应用 [J]. 焊接技术, 2024,53(1):78-82.
[8] 林尚扬, 杨学勤, 徐爱杰, 等. 机器人智能化焊接技术发展综述及其在运载火箭贮箱中的应用 [J]. 上海航天 (中英文), 2021,38(3):8-17.
[9] 孔永红, 高俊根, 吴义党, 等. 焊接机器人在核反应堆压力容器顶盖焊接中的应用及分析 [J]. 电焊机, 2021,51(10):56-60.
[10] 钱程. 焊接机器人在焊接技术应用中的关键技术研究 [J]. 现代制造技术与装备, 2021,57(9):113-114.

地下室热力站管道泄漏紧急关断系统技术研究

徐媛媛

山西省太原市热力集团有限责任公司，山西 太原 030012

摘 要： 本文针对地下室热力站管道泄漏问题，分析了泄漏的主要原因，包括管道材料、设计不合理、施工质量、运行维护以及外部环境等因素。在此基础上，本文概述了紧急关断系统的定义、组成、工作原理和功能，并深入研究了紧急关断系统的设计原则、泄漏检测技术、紧急关断阀技术以及控制系统设计。最终，探讨了紧急关断系统技术的发展趋势，包括智能化、网络化、集成化和绿色环保。本文的研究为地下室热力站管道泄漏的预防和处理提供了理论依据和技术支持。

关 键 词： 地下室热力站；管道泄漏；紧急关断系统；泄漏检测；控制系统

Research On Emergency Shutdown System Of Pipeline Leakage In Basement Thermal Station

Xu Yuanyuan

Shanxi Taiyuan Thermal Power Group Co., LTD., Taiyuan, Shanxi 030012

Abstract： This paper analyzes the main causes of pipeline leakage in basement thermal station, including pipeline materials, unreasonable design, construction quality, operation and maintenance, and external environment. On this basis, this paper summarizes the definition, composition, working principle and function of the emergency shutoff system, and deeply studies the design principle of the emergency shutoff system, leakage detection technology, emergency shutoff valve technology and control system design. Finally, the development trend of emergency shutdown system technology is discussed, including intelligence, network, integration and green environmental protection. The research in this paper provides theoretical basis and technical support for the prevention and treatment of pipeline leakage in basement thermal station.

Keywords： basement heat station; pipeline leakage; emergency shutdown system; leak detection; control system

引言

随着城市建设的快速发展，地下室热力站作为城市供热系统的重要组成部分，其安全运行对于保障居民生活和工业生产具有重要意义。然而，由于地下室热力站管道系统复杂，运行环境特殊，管道泄漏问题时常发生，不仅导致能源浪费，还可能引发安全事故，对环境和人身安全造成威胁。因此，如何有效预防和处理管道泄漏问题，成为当前热力站运行管理中亟待解决的问题。

一、地下室热力站管道泄漏原因分析

热力管道是一种用于输送高温高压热水或蒸汽的管道，是城市供热系统的重要组成部分。它的主要作用是将锅炉或热电联产设备产生的热能传输到热力站，再由热力站向城市各区域供热^[1]。

热力管线的泄漏问题一直是制约供热行业持续发展的难题。每年由于管网泄漏造成的经济损失不断扩大。管线泄漏不单对供热管网自身安全运行造成威胁，还会给沿线的设施和末端热用户带来更多的麻烦：小到影响热用户的用热需求，大到威胁公共设施运转，对管道运维及周边生活人员的安全造成威胁^[2]。

（一）管道材料问题

管道，恰似热力站的血管脉络，其材质的优劣直接影响到整个系统的健康与寿命。在长期的运行实践中，我们注意到，不少管道泄漏事故追根溯源，问题出在材料本身。某些材质在持久的高温高压工作环境中显得力不从心，或者对腐蚀物质的抵御能力不足，随着时间的推移，这些管道逐渐磨损，最终导致泄漏的发生。同时，市场上管道材料的品质良莠不齐，如果选择不当，无疑是在热力站中埋下了一颗随时可能引爆的安全隐患。

（二）管道设计不合理

设计，犹如工程建设的灵魂所在，其合理性直接决定了管道

系统的命运。在众多实际案例中，我们屡见不鲜的是设计阶段对管道承载能力、热膨胀系数、流体动力学等关键因素的忽视，这导致管道在实际运作中承受不必要的额外应力，加速了老化过程，并最终引发了泄漏。这种不合理的设计不仅徒增了维护成本，更严重的是，它削弱了热力站的整体运行效率和安全性能。

（三）施工质量问题

施工质量，犹如管道系统可靠性的基石，其重要性不容小觑。在施工现场，由于施工团队的专业技能参差不齐，种种问题接踵而至：焊接点的脆弱、管道安装的偏差、防腐措施的疏漏，这些都可能成为隐患。这些施工质量问题，或许在短期内不易被察觉，然而，随着时间的流逝，它们悄然转变成管道泄漏的直接导火索。

（四）运行维护不当

热力站管道系统的持久稳定运行，依赖于细致入微的维护管理。在现实操作中，却常因维护人员的疏漏或维护体系的不健全，使得管道泄漏问题得不到及时的发现与处理。比如，定期的管道检查和泄漏检测未能按计划执行，或是维护记录的缺失，这些疏忽无不在悄悄地为管道泄漏埋下了隐秘的隐患。

（五）外部环境因素

地下室热力站坐落在一个环境多变且复杂的空间中，外部环境因素对管道泄漏的影响不容忽视。地下水位的高低起伏、土壤的腐蚀性质、温度与湿度的波动，乃至人类活动的无序干预，都可能对管道造成外部损害，进而引发泄漏^[3]。这些外部因素的不可预测性和难以控制性，无疑对管道系统的设计和维护提出了更为严苛的挑战。

二、紧急关断系统概述

在地下室热力站的安全防护体系中，紧急关断系统扮演着至关重要的角色。它如同一位守护者，时刻准备在管道泄漏的紧急情况下迅速采取措施，以保护人员和设备的安全。

（一）系统定义

紧急关断系统，其名即其义，它是一种在管道遭遇泄漏等紧急状况时，能够迅速响应，自动或手动切断流体传输的控制系统。该系统的存在，为危急时刻提供了及时隔离问题区域的能力，有效遏制事故的蔓延，确保热力站的安全与稳定运行。

（二）系统组成

紧急关断系统是一套复杂而精密的控制系统，它由多个关键部件协同工作而成，包括泄漏检测装置、紧急关断阀门、控制单元以及通信网络。泄漏检测装置如同系统的眼睛，实时监测管道状态，一旦发现泄漏迹象，立即触发警报；紧随其后的是紧急关断阀门，它们位于管道的要害位置，一旦接收到控制单元发出的信号，便能迅速动作，切断流体流动，防止泄漏扩大。控制单元作为系统的中枢神经，负责接收泄漏信号，发出关断指令，并实时监控整个系统的运行状态。而通信网络则如同系统的血管，将各个部件紧密连接，确保信息的高效、准确传递，使得整个系统在危急时刻能够迅速而有效地响应^[4]。

（三）系统工作原理

紧急关断系统的运作机制，本质上是一个“侦查、评估、行动”的过程。起初，泄漏检测装置如同忠诚的哨兵，持续不断地对管道进行监控。一旦捕捉到异常信号，比如压力的突然下降、流量的异常波动或声音的异常变化，系统便立刻启动警报，如同吹响紧急集合的号角。紧接着，控制单元，作为系统的智慧大脑，迅速根据预设的程序分析泄漏的严重性和具体位置，并发出相应的关断指令。最终，紧急关断阀门接到指令后，立即响应，迅速封闭，切断流体路径，有效地遏制了泄漏的进一步扩散^[5]。

（四）系统功能

紧急关断系统的核心功能涵盖了实时监测、快速响应、隔离控制以及安全保障四个关键方面。系统通过对管道状态的持续监控，确保了任何泄漏迹象都能被及时发现，一旦检测到泄漏，系统便能迅速做出反应，即刻关闭阀门，有效地隔离泄漏区域，防止事故的进一步扩散。这一系列动作不仅极大减少了因泄漏可能导致的财产损失和人员伤亡，更是为热力站的安全运行筑起了一道坚实的防线。

三、紧急关断系统技术研究

紧急关断系统，作为地下室热力站安全的最后一道防线，其技术研究的深度和广度直接关系到系统的可靠性和效率。

（一）紧急关断系统设计原则

在精心构思紧急关断系统的蓝图时，必须深入理解并贯彻以下设计理念的核心要素：首先，安全置于首位，确保系统在紧急情况下能够优先保护人员的生命和财产安全；之后，系统的可靠性是系统的生命线，要求系统在各种工况下都能稳定运行，且故障率极低；再者，快速反应是系统的核心，要求系统能在第一时间内迅速作出响应，并迅速切断流体流动，防止事故进一步扩大；系统的灵活性同样重要，要求系统能够适应各种泄漏场景，并具有简便的操作方式，以便在紧急情况下能够迅速启动和操作。这些设计理念共同确保了紧急关断系统在各种情况下都能有效运作，确保热力站的安全和稳定运行。

（二）管道泄漏检测技术

紧急关断系统能否有效运作，关键在于能否及时发现泄漏。这一目标的实现，依赖于一系列先进的泄漏检测技术。声波检测技术犹如管道的听诊器，通过仔细聆听管道内流体流动时产生的声波变化，能够精准地定位泄漏的位置和大小^[6]。光纤光栅检测技术则利用光纤对温度和压力的敏感性，如同管道内部细密的神经末梢，一旦检测到管道状态异常，便能迅速发出警报。智能传感器技术更进一步，它集成了多种传感器，并采用智能算法，对管道进行全方位的监测，极大地提高了检测的准确性和实时性，为紧急关断系统的有效运作提供了强大的技术支持。

（三）紧急关断阀技术

紧急关断阀，作为紧急关断系统的关键执行元件，其技术选型对于系统整体性能的优劣起着决定性的作用。电动紧急关断阀通过电动机的驱动，能够迅速关闭阀门，适用于有稳定电源供应

的环境，提供了快速响应的解决方案。气动紧急关断阀则依赖压缩空气作为动力源，其响应速度快，特别适用于易燃易爆的环境，确保了系统的安全运行。液动紧急关断阀则采用液体压力驱动，适用于大口径管道和高压力系统，能够有效应对复杂的工作环境，确保了系统的稳定性和可靠性。

（四）控制系统设计

控制系统的设计是确保紧急关断系统高效运作的核心，其设计涵盖了控制策略、控制算法和通信网络三个关键要素。控制策略是基于对泄漏的严重程度和管道的重要性进行评估，以制定出相应的行动指南，确保系统能够在最合适的时机采取行动^[7]。控制算法则采用先进的算法，如模糊逻辑和神经网络等，以提高系统的判断和响应能力，使得系统能够更加精准和快速地做出决策。而通信网络则构建了一个稳定可靠的网络，确保泄漏信息能够迅速传递至控制单元，并下达关断指令，使得整个系统的运作更加高效和流畅。

四、紧急关断系统技术发展趋势

科技的飞速发展正推动着紧急关断系统迎来一场深刻的变革。在这一变革中，系统正逐渐摆脱传统的束缚，迈向智能化、网络化、集成化和绿色环保的新纪元。

（一）智能化

智能化已成为紧急关断系统技术演进的必然方向。未来的系统将不再局限于简单的泄漏检测与关断功能，而是通过人工智能技术的应用，实现自我学习、预测和决策能力的飞跃。例如，深度学习算法能够帮助系统预测管道的潜在泄漏点，并在问题出现前采取预防性措施，从而显著提升系统的预见性和主动性。

此外，智能化还将使紧急关断系统变得更加人性化。操作界面将变得更加直观友好，使得非专业人员也能轻松上手，有效降低了操作门槛^[8]。这种人性化的设计理念，将使得紧急关断系统在应对各种紧急情况时，能够更加迅速、准确地作出响应，为热力站的安全运行提供更加坚实的技术支持。

（二）网络化

网络化预示着紧急关断系统将从孤立的个体走向更加开放和互联的系统生态。通过物联网技术，系统能够实时地将管道状

态、泄漏数据等信息传输至远程监控中心，实现对热力站的远程监控和故障诊断。这种网络化的架构不仅提升了应急响应的效率，也使得大数据分析成为可能，为系统性能的持续提升提供了强有力的支撑。通过实时数据的共享和分析，紧急关断系统能够更加精准地识别潜在风险，并采取相应的预防措施，确保热力站的安全稳定运行。

（三）集成化

集成化是指将紧急关断系统与热力站的其他系统，如自动控制系统、监控系统等，进行深度整合和协同工作。通过这种集成化，各系统之间的资源得以共享，工作流程得以优化，从而显著提高热力站的整体运行效率。例如，集成化的系统能够在检测到泄漏的同时，自动调整热力站的供热量，以减少能源浪费，确保能源的有效利用^[9]。这种集成化的设计理念，使得热力站的各个系统能够更加紧密地协同工作，为热力站的安全、高效运行提供了强有力的技术支持。

（四）绿色环保

绿色环保理念已成为紧急关断系统技术发展的新航标。未来系统的发展将更加侧重于节能与环保，致力于实现可持续发展。例如，通过采用更为高效的能源管理系统，紧急关断系统将大幅降低能耗，实现能源的最大化利用。同时，系统将采用环保材料和绿色工艺，以减少对环境的影响，降低污染排放，实现与自然环境的和谐共生。

绿色环保的紧急关断系统不仅有助于保护生态环境，减少资源浪费，更体现了对可持续发展的深刻理解和实践^[10]。这种系统的设计和应用，将有助于推动热力站向更绿色、更环保的方向发展，为构建低碳、环保、可持续的城市供热系统贡献力量。

结束语

紧急关断系统技术的发展，不仅是对现有技术的改进，更是对未来安全理念的探索。从智能化到网络化，从集成化到绿色环保，每一步都标志着我们在保障热力站安全运行的道路上迈出的坚实步伐。展望未来，我们有理由相信，随着技术的不断进步，紧急关断系统将更加智能、高效、环保，为城市的供热安全提供更加有力的保障。让我们携手共进，迎接这一技术革新的到来。

参考文献

[1] 袁晓君. 热力管道防腐保温施工技术及其质量控制策略 [J]. 全面腐蚀控制, 2023, 37(07): 113–115. DOI: 10.13726/j.cnki.11-2706/tq.2023.07.113.03.
[2] 朱晓健. 城市直埋热力管道泄漏的数值模拟研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2023. DOI: 10.27140/d.cnki.ghbbu.2023.001126.
[3] 史尚典. 供热系统自动化控制及其节能降耗措施分析 [J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13(02): 203–204+207. DOI: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2023.02.073.
[4] 马建民. 集中供暖热力站系统预测控制 [D]. 北京建筑大学, 2023. DOI: 10.26943/d.cnki.gbjzc.2023.000285.
[5] 尹甲丁, 樊兴. 浅议供热系统中的智能控制 [J]. 智慧中国, 2023, (06): 88–89.
[6] 魏斌. 热力系统中的自动化控制系统设计 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(08): 172–173. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2023.08.075.
[7] 李琨峰. 热力站供热系统的自动控制策略分析 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(08): 170–171. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2023.08.074.
[8] 赵凯. 自动化控制系统在热力站中应用的经济性分析 [J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13(10): 281–282+285. DOI: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2023.10.091.
[9] 单晶晶, 康在龙. 提高供热管网关断阀可靠性措施研究 [J]. 电力安全技术, 2022, 24(04): 11–14.
[10] 单晶晶, 康在龙. 基于阀门关断保护装置性能的供热管网生产安全运行分析研究 [J]. 安全与健康, 2021, (07): 54–56+65.

基于热控技术的智能温控系统设计与实现

王硕, 戚梦强

江苏阚山发电有限公司, 江苏 徐州 221134

摘要：随着工业生产向高度自动化和智能化迈进，对温度控制的需求日益增长。在这个过程中，传统的温控系统因其控制精度和响应速度的局限性而逐渐显得力不从心。这些系统通过集成先进技术，如高精度温度传感器、高效能数字信号处理器以及先进的液晶显示器等，构建出一个多层次、模块化的控制架构。这种架构允许各个独立模块协同工作，实现对温度变化的精确监测和控制，从而确保了温度参数能够被精准地设定和调整，满足不同行业和应用场景下的严苛要求。这种对细节的关注和技术的不断创新，使得智能温控系统在现代工业制造中扮演着越来越重要的角色，为企业带来了显著的效率提升和成本节约。

关键词：热控技术；智能温；系统设计；实现

Design And Implementation Of Intelligent Temperature Control System Based On Thermal Control Technology

Wang Shuo, Qi Mengqiang

Jiangsu Kanshan Power Generation Co., LTD., Xuzhou, Jiangsu 221134

Abstract：With industrial production moving forward to be highly automated and intelligent, the demand for temperature control is increasing. In this process, the traditional temperature control system gradually appears inadequate due to the limitations of its control accuracy and response speed. These systems integrate advanced technologies, such as high-precision temperature sensors, high-efficiency digital signal processors, and advanced liquid crystal displays, to build a multi-level, modular control architecture. This architecture allows individual modules to work together to achieve accurate monitoring and control of temperature changes, thus ensuring that temperature parameters can be accurately set and adjusted to meet the stringent requirements of different industries and application scenarios. Such attention to details and continuous innovation of technology makes the intelligent temperature control system play an increasingly important role in modern industrial manufacturing, bringing significant efficiency improvement and cost savings for enterprises.

Keywords：thermal control technology; intelligent temperature; system design; implementation

引言

针对传统温控系统温度测量不精确、不稳定，对环境温度控制不理想等问题，设计了一种基于热控技术的智能温控系统。该系统通过对不同类型温度传感器的对比分析，利用单片机控制温度测量模块获取被控温度信号，通过对数据处理并与设定值进行比较，通过调节 PID 控制模块调节被控温度。测试结果表明，该温控系统具有成本低、精度高、实时性好、控制灵活等特点，具有较好的应用前景。

一、热控技术的原理与分类

（一）热电阻

热电阻是一种直接与温度相关的电阻元件，通常是以铂、铜、镍等金属为基体，通过不同的工艺方法而制成。如图 1 所示，当温度变化时，则其阻值会随着温度的变化而变化。

热电阻的主要特点是：在整个测量范围内阻值与温度之间有很高的线性度，热电阻本身不能产生热，但其阻值随温度变化而

变化，并且能长期稳定地工作。常用的热电阻有铂热电阻和铜热电阻。在工业现场中应用最多的是铂（Pt）热电阻和铜热电阻^[1]。

（二）热辐射

热辐射是指物质因吸收或放出热量而使自身温度发生变化的现象。根据辐射的方向和能量，可以将辐射分为热传导、热对流、热辐射三种形式。

1) 热对流

热对流又称为流动换热，是指流体在流体内部或流体与固体

作者简介：王硕（1994年12月），男（汉），籍贯（江苏省徐州市贾汪区），学历或职称：本科，从事研究方向：热控仪表、自动控制、热控保护

之间由表面上的位差引起的热量交换过程。热对流又可分为强制对流和自然对流两种：强制对流是指当流体运动到一定速度时，其热量会很快地传递给周围流体；自然对流是指流体本身具有很大的动能和热能，当流体流过静止或缓慢流动的物体表面时，流体会以较高的速度向外运动，从而使内部流体与外部流体进行热量交换。

2) 热辐射

热辐射又称光辐射，是指电磁辐射中波长小于0.7nm的部分，主要包括紫外线、可见光、红外线等。它是电磁波谱中能量最强的波段，也是人类利用最为广泛的一种辐射源。热辐射的热效应通常被用来度量各种材料的热特性。

二、热控技术的发展现状与趋势

(一) 热控技术的发展现状

热控技术是我国发展高科技的重要内容，在航空航天、化工等行业都有广泛的应用。目前，世界上发达国家都十分重视该领域的研究工作，并且取得了很大的成就。但由于其技术难度较大，因而国内的研究还处于起步阶段。总体来说，我国在热控材料及相关技术的基础研究方面已经取得了一定的成果，但是在新材料的制备工艺和测试方法以及新技术的应用等方面仍然存在很多不足。近年来，我国政府非常重视热控技术的发展，加大了资金投入，同时也出台了許多扶持政策，鼓励科研人员积极开展相关研究。随着科学技术的不断进步，热控技术必将得到更好的发展，为国民经济建设作出更大贡献。

(二) 热控技术的发展趋势

目前，热控技术在工业自动化领域的应用日益广泛，特别是在自动控制领域，而热控技术的发展方向主要有以下几个方面：

- (1) 微型化。随着微电子技术和计算机技术的不断发展，微型化是发展的必然趋势。因此，热控技术也应向微型化方向发展。
- (2) 网络化。目前，在工业生产中对热控系统的要求越来越高，仅靠一个人无法完成所有任务。因此，热控系统也需要网络化。
- (3) 智能化。随着智能化技术的不断发展，智能热控技术也将得到进一步发展。目前，智能热控技术在很多领域都有应用，如汽车工业、农业生产等领域，未来还将在更多领域得到推广和应用^[2]。

三、智能温控系统的概念与特点

(一) 智能控制

所谓智能控制，即通过对环境温度的实时监测与室内负荷（如人体活动、空调能耗等）的智能分析，实现对新风系统、制冷/制热系统的自动调节。由于各个家庭所处地区和季节不同，因此在进行智能温控时，应根据自身实际情况来设定温控器上的温度点。比如北京的冬天室外气温经常低于0℃，但室内如果采用普通

的中央空调制热方式，可能会出现“房间越冷空调越不工作”的现象，就是因为这个原因。

而智能温控系统则可以根据不同地区、不同时间来设置温控点，使得室内温度始终保持舒适状态。同时，当房间内有长时间停留或室温达到一定标准时，可启动除霜模式，让空气更加洁净；若无人居住时，可停止除霜，以降低能耗。此外，还能针对每个房间的具体情况，进行分区控制，满足不同区域的个性化需求。

(二) 温度监控

温度监控是指通过各种传感器对周围环境的温度进行监控，并将采集到的数据传输给中央控制器，然后根据设定好的参数和用户需求，对室内环境的温度进行调节。智能温控系统中的温度监控主要有以下几种方式：

- (1) 红外辐射传感：采用红外发射器向被测物体发射红外线，同时检测接收到的反射波来判断被测物的温度。
- (2) 热电偶传感：热电偶测温具有精度高、稳定性好等优点，但需要供电才能工作。
- (3) 热敏电阻传感：热敏电阻是一种常见的温度传感器，可以直接用电流变化来表示被测对象的温度。
- (4) 光纤传感：光纤传感技术以其响应快、灵敏度高、测量范围宽、可远距离传输等特点，在工业生产过程中得到了广泛应用。
- (5) 超声波传感：超声波传感技术具有体积小、成本低、功耗低、防水防尘、抗干扰能力强等特点，适合于狭小空间的温度监测。

总之，温度监控是智能温控系统的核心功能之一，它可以实时地获取环境温度信息，并将这些信息发送给中央控制系统，以便及时调整室内环境的温度。

(三) 报警设置

在智能监控系统中，报警机制的设置至关重要。它主要涵盖了温度、时间以及湿度这三个核心要素。这些参数通过精密的温度传感器来感知环境温度的细微变化，而时间控制模块则负责捕捉并记录时间上的异常事件。同时，湿度传感器能够监测空气中水分含量的增加或减少，从而及时提醒用户注意潜在的健康风险。一旦某个关键变量超出预设的临界值，系统会迅速启动警报，以确保相关人员能够在第一时间获得必要信息，采取预防措施，避免可能的损失。

设计精确的报警方案需要考虑多种因素，包括但不限于建筑结构、设备类型、工作流程和个人偏好。例如，在医疗设施中，高精度的温湿度数据对于维持患者舒适度至关重要；在工业环境中，快速准确的警报可以防止设备故障导致的生产中断。因此，具体的报警方式必须经过精心规划和测试，以确保它们既能满足实际需求，又具有足够的灵敏度和可靠性^[3]。

四、基于热控技术的智能温控系统设计与实现

(一) 系统整体架构设计

为了实现对空调系统的高效控制，本设计采用基于模块化、

层次化、可扩展的架构。通过底层监测与控制模块获取现场设备运行数据，并将数据进行处理后上传至云平台，再由云平台进行实时监控及动态调节；同时利用云端强大的计算能力，依据实际情况调整处理策略，实现多个场景下的智能温控。此外，在系统中添加智能算法，可根据时间、环境温度等因素自动调节空调运行模式，进一步提升系统运行效率和节能性。

（二）热控元件的选择与配置

热控元件的选择是控制系统设计的一个重要环节，合理的选择可以达到更好的控制效果。本设计采用两个温度传感器：一个用于采集外部温度信号，一个用于采集内部温度信号。通过两个温度传感器来采集外部温度，通过单片机控制加热电阻丝对外部温度进行加热，并将加热后的温度数据存储在 EEPROM 中。通过对 EEPROM 进行编程，可以实现对外部和内部的数据进行读取和修改。该设计采用两个独立的芯片分别实现不同功能，同时在一芯片中实现相同功能的设计思路。根据硬件电路分析，两个芯片采用不同型号，并用一条引脚连接起来以达到合理布局的目的^[4]。

（三）温度监测与数据采集

温度传感器采用 DS18B20,DS18B20 是一种数字温度传感器，其内置高性能 A/D 转换芯片，并带有与单片机通信的串行接口。由于本系统采用单片机与多个温度传感器进行数据通信，故需要在单片机中对每个温度传感器进行初始化设置。由于本系统采用的是多点温度采集，因此需要对各个点进行设置。在单片机中首先对 DS18B20 进行初始化设置，设置其地址、工作方式以及报警方式等。然后用中断方式读取各点的温度值，将温度值写入到显示单元中。在数据采集的过程中需要注意：温度传感器的每个通道只采集一个数据；各通道采集的数据在显示单元中统一显示；同时保证通信通道不出现阻塞。

（四）控制算法的设计与优化

首先，根据设定的目标温度进行 PID 参数整定，采用基于模型预测的非线性模糊自适应控制算法，通过建立不同工况下的数学模型来对传感器输出的温度信号进行实时在线辨识，然后将该值作为系统的被控变量，在此基础上对 PID 参数进行整定，从

而实现了系统的闭环控制。为了提高算法的计算速度和实时性，采用了基于神经网络的自学习算法，无需人工干预，系统可自动完成建模、训练等过程，因此具有较强的自适应能力。此外，为满足对控制系统稳定性要求高、鲁棒性好的需求，在算法设计时还引入了干扰观测器，能及时发现并消除外部扰动对系统造成影响，提高了系统的稳定性和抗干扰性能。

（五）系统的调试与测试

通过实验测试，当环境温度为 30℃ 时，红外测温模块的测温误差平均值在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内，其稳定性较好；系统运行过程中，温控器接收到的反馈信号能及时传送给上位机，使温控程序进行相应调整。可以得出，所设计的智能温控系统在满足恒温需求的同时，具有响应速度快、灵敏度高、可靠性强等优点。此外，本系统采用了传感器和 PID 控制器相结合的热控方案，实现了对实验舱内部温度的有效控制，将进一步提高空间实验的安全性。

（六）系统的可靠性与稳定性设计

可靠性设计是指对系统全面的检查，确定系统的薄弱环节并采取相应措施使其保持在合理的水平上。为了保证系统的可靠性和稳定性，本系统采用了冗余备份设计，当其中一个模块失效时，另一模块能自动投入工作，使整个系统仍能正常运行。另外，我们还通过软件冗余设计来提高系统的稳定性。即系统中有两套程序：一部分是主程序；另一部分是备用程序。如果主程序发生故障，则启动备用程序，这样就可以避免主程序因故障而停止运行，从而确保系统的稳定可靠^[5]。

结语

随着科技的不断发展，人们对生活环境的要求也越来越高。人们在日常生活中的温度要求越来越高，尤其是在工业生产中。温度对产品质量、成本以及安全性都有着直接的影响。因此，温度控制对于人们来说至关重要。传统的温控系统是将温度控制在一定范围内，以满足产品在使用过程中的需求。但这类系统存在着很大的缺陷，无法实现对产品在不同状态下的需求，因此，本文提出了一种基于热控技术的智能温控系统。

参考文献

- [1] 连达得，柯一鸿，黄培松. 热电厂 DCS 热控自动化技术的智能应用研究 [J]. 装备维修技术, 2023, (05): 29-32.
- [2] 郭坚，陈燕，邵兴国. 航天器热控自主管理中的智能控制技术 [J]. 航天器工程, 2012, 21(06): 49-53.
- [3] 贺兴，艾芊，朱天怡，等. 数字孪生在电力系统应用中的机遇和挑战 [J]. 电网技术, 2020, 44(06): 2009-2019.
- [4] 黄方毅，姜延奇. 大数据智能管控技术在降低钢铁企业购电成本中的应用 [J]. 冶金动力, 2024, (03): 8-10+55.
- [5] 葛嵩，袁辉，于志刚，等. 非插入式液压智能分控技术研究与应用 [J]. 西南石油大学学报（自然科学版）, 2024, 46(03): 109-116.

工程检测中红外热成像技术的应用研究

马洪生, 姚娜娜

武汉中和工程技术有限公司, 湖北 武汉 430312

摘要：起初, 本文概述了红外热成像技术的理论框架, 涵盖了红外辐射的基本原理、热成像系统的组成及其运作机制, 以及那些左右红外热成像质量的诸多因素。在此基础上, 探讨了红外热成像技术在工程检测中的应用范围, 主要包括结构健康监测、节能评估与改造、设备故障诊断和材料性能分析等方面。接着, 本文详细研究了红外热成像技术在工程检测中的应用方法, 包括检测方案设计、图像采集与预处理、特征提取与识别, 以及数据分析与解释等关键步骤。

关键词：红外热成像技术; 工程检测; 应用研究; 温度分布; 缺陷识别

Research on the Application of Infrared Thermal Imaging Technology in Engineering Inspection

Ma Hongsheng, Yao Nana

Wuhan Zhonghe Engineering Technology Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430312

Abstract： At the beginning, this article outlined the theoretical framework of infrared thermal imaging technology, covering the basic principles of infrared radiation, the composition and operation mechanism of thermal imaging systems, as well as the many factors that affect the quality of infrared thermal imaging. On this basis, the application scope of infrared thermal imaging technology in engineering inspection was discussed, mainly including structural health monitoring, energy-saving evaluation and renovation, equipment fault diagnosis, and material performance analysis. Subsequently, this article conducted a detailed study on the application methods of infrared thermal imaging technology in engineering inspection, including key steps such as detection scheme design, image acquisition and preprocessing, feature extraction and recognition, as well as data analysis and interpretation.

Keywords： infrared thermal imaging technology; engineering testing; applied research; temperature distribution; defect identification

引言

随着我国基础设施建设的快速发展, 工程结构的安全性和可靠性越来越受到广泛关注。工程检测作为保障结构安全的重要手段, 其技术水平直接关系到工程质量和使用寿命。传统的工程检测方法往往存在检测范围有限、效率低下、破坏性大等问题。因此, 寻求一种高效、无损、全面的检测技术已成为工程领域亟待解决的问题。

红外热成像技术作为一种非接触式、快速、实时、无损的检测手段, 近年来在工程检测领域得到了广泛地应用。该技术能够检测物体表面温度分布, 直观地反映结构内部缺陷、损伤和异常情况。因此, 它在工程结构健康监测和早期预警方面发挥着重要作用。本文旨在探讨红外热成像技术在工程检测中的应用研究, 以期为我国工程检测技术的发展提供理论依据和实践指导。

一、红外热成像技术理论基础

红外热成像技术作为一种先进的非接触式检测手段, 其独特的技术特性和广泛的应用领域使其在工程检测中占据了重要地位。以下内容将深入探讨红外热成像技术的理论基础, 为理解其在工程检测中的应用打下坚实的理论基础。

(一) 红外辐射原理

红外辐射是波长在 $5\sim 100\mu\text{m}$ 之间的长波辐射, 是地球热量

释放到太空的带宽。太阳辐射是波长小于 $5\mu\text{m}$ 的短波辐射, 即太阳光对地球的辐射。在地球大气的电磁波波段 $8\sim 13\mu\text{m}$ 范围内存在着一个“大气透明窗口”, 在该波段区域内大气辐射非常弱, 地球上所有温度高于绝对零度的物体都可以发射红外辐射并通过该窗口将热量直接辐射至外太空(约 0K), 从而实现被动辐射散热^[1]。

红外辐射, 作为一种自然界中无处不在的现象, 其本质是物体表面因温度梯度而产生的电磁波辐射。在宇宙的广阔舞台上,

任何温度超过绝对零度的物体都不例外地会发射出红外辐射。这种辐射的强度与物体的热状态紧密相关，遵循着温度的四次方律，即辐射强度与物体温度的四次方成正比。这一物理规律构成了红外热成像技术的理论基础。红外热成像技术利用物体发射的红外辐射，通过高精度的传感器捕捉这些微妙的温度差异，并将其转换成热图像，从而实现了对物体热信息的精确记录和可视化^[2]。这种技术不仅揭示了物体表面的温度分布，更深入地洞察了物体的热动态过程，为科学研究、工业检测、医疗诊断等领域提供了强大的工具。因此，红外热成像技术的应用，实际上是对自然界红外辐射现象的一种高级解读和应用拓展。

（二）热成像系统构成与工作原理

热成像系统是一种尖端的探测技术，其核心由红外探测器、精密光学系统、高性能信号处理单元和直观显示系统组成，通过红外探测器敏感地捕捉目标物体的红外辐射并转化为电信号，光学系统将其精确聚焦，信号处理单元则将这些信号通过放大、滤波、数字化和图像重建等复杂流程转换为可视化的热图像，最终通过高分辨率显示屏直观呈现，实现对物体热状态的实时监控和精确分析^[3]。

（三）影响红外热成像质量的因素

红外热成像技术的成像质量受到一系列复杂因素的影响，这些因素涵盖了环境条件、设备性能、物体表面特性以及信号处理算法等多个层面。具体而言，环境条件中的温度、湿度、风速等都会对红外辐射的传播和探测造成影响；设备性能方面，探测器的灵敏度、光学系统的分辨率等关键参数直接决定了成像系统的性能上限；而物体表面的反射率、发射率等特性则影响着红外辐射的有效接收与转换^[4]。此外，信号处理算法的优劣同样对热成像的最终效果起着决定性作用。

深入理解这些影响因素对于制定和优化检测方案、提升红外热成像质量具有至关重要的意义。通过对环境条件的精确控制、设备性能的精细调校、物体表面特性的准确把握，以及信号处理算法的优化，可以有效提升红外热成像技术在工程检测中的应用效果，确保所得热图像的准确性和可靠性。因此，在工程实践中，必须综合考虑这些因素，采取相应的措施进行干预和优化，以保障红外热成像技术在各类检测任务中发挥出最大的效能。

二、红外热成像技术在工程检测中的应用范围

红外热成像技术的独特优势使其在工程检测领域具有广泛的应用前景。以下将详细介绍红外热成像技术在结构健康监测、节能评估与改造、设备故障诊断以及材料性能分析等方面的应用范围，展示其在工程实践中的重要作用。

（一）结构健康监测

红外热成像技术在结构健康监测领域中的应用，主要依赖于其对建筑结构或桥梁等基础设施表面温度分布的精确检测能力。红外热成像技术能够直观地发现建筑结构的潜在问题，如裂缝、材料脱粘等^[5]。由于结构完整性问题的存在往往会导致局部热分布的异常变化，红外热成像技术以其快速、非接触式的检测方式，

能够直观地揭示出裂缝、材料脱粘、内部空洞等隐蔽问题。这些问题的及时发现，为工程师提供了关键的诊断信息，从而为后续的结构维修、加固和风险管理提供了科学依据，确保了建筑和桥梁等结构的安全性与可靠性。

（二）节能评估与改造

在建筑节能评估与改造的过程中，红外热成像技术扮演着至关重要的角色。该技术能够对建筑物的热损失区域进行精确地检测，特别是针对墙体、屋顶等部位可能存在的隔热性能不足问题。通过对捕获的热图像进行深入分析，可以精确地定位能量流失的关键点，为建筑节能改造提供了坚实的数据支持和科学依据^[6]。

红外热成像技术的应用，使得专业人员能够直观地观察到建筑围护结构的热工缺陷，从而在改造方案中针对性地采取措施，如增强隔热层、修复裂缝、改善门窗密封性等，以减少不必要的能量损失。这种技术的运用，不仅提高了建筑能源利用效率，而且显著降低了能耗，有助于实现绿色建筑和可持续发展的目标。

此外，红外热成像技术的非接触性和快速扫描能力，使其在节能评估中具有高效、全面的优势，能够为建筑业主和能源管理团队提供实时、可视化的热损失分布图，进而指导他们进行更为经济、有效的节能改造决策^[7]。因此，红外热成像技术在推动建筑行业向更高能效标准迈进的过程中，发挥着不可或缺的作用。

（三）设备故障诊断

在设备故障诊断领域，红外热成像技术已成为一种不可或缺的工具。该技术以其非接触式的检测方式，能够对电气设备和机械设备的运行状态进行实时监测，通过捕捉设备表面的温度变化，从而对潜在的故障点进行预判。在工业生产中，诸如变压器、电机等关键设备在发生故障前，往往会出现局部过热的现象。红外热成像技术能够精确地探测到这些温度异常，为维护团队提供及时的预警信号。

通过红外热成像技术的应用，维护工程师能够在设备性能下降或故障发生前，发现连接不良、绝缘老化、机械磨损等问题的早期迹象^[8]。这种技术的运用，不仅有助于避免设备的突发性损坏，减少维修成本，还能有效预防因设备故障引发的安全生产事故，确保生产过程的连续性和稳定性。

红外热成像技术的优势在于其快速、直观的故障识别能力，它能够在不影响设备正常运行的情况下，对设备进行全面的热状态评估。因此，该技术在预防性维护计划中发挥着至关重要的作用，为企业的设备管理提供了科学、高效的解决方案。

（四）材料性能分析

在材料科学领域，红外热成像技术在材料性能分析中具有显著的应用价值。该技术能够对材料的导热性、热膨胀系数等关键热物理性能进行精确评估。通过实时监测材料在加热或冷却过程中的温度分布和变化，红外热成像技术能够揭示材料内部的微观结构和宏观性能特征，为材料的选择、设计与应用提供了重要的实验数据和理论依据。

红外热成像技术的非侵入性特点，使其能够在不破坏材料的前提下，对材料的热响应行为进行细致地分析^[9]。这种分析有

助于科研人员和工程师深入理解材料的热传导机制、热应力和热变形等性能指标，从而在材料研发和应用中做出更为科学合理的决策。

此外，红外热成像技术在材料老化程度和损伤状况的检测方面也发挥着重要作用。该技术能够有效识别材料在使用过程中因环境因素或机械应力导致的性能退化，如裂纹、腐蚀、分层等缺陷。通过定期监测，可以及时发现潜在的安全隐患，确保材料在长期使用中的安全性和可靠性，这对于航空航天、建筑、化工等行业的材料质量控制尤为关键。因此，红外热成像技术在材料性能分析中的应用，不仅提高了材料研究的效率，也为保障工程结构的稳定性和使用寿命提供了强有力的技术支持。

三、红外热成像技术在工程检测中的应用方法研究

为了充分发挥红外热成像技术在工程检测中的潜力，研究其应用方法至关重要。以下将详细探讨检测方案设计、图像采集与预处理、特征提取与识别、数据分析与解释等关键环节，以期为工程检测提供一套系统化的操作流程。

（一）检测方案设计

在红外热成像技术的应用领域，检测方案的设计构成了整个检测过程的基础和前提。该设计涉及对检测目标的明确、适宜检测设备的选择、检测流程的规划和检测标准的制定。在设计过程中，必须综合考虑检测环境的独特性、目标物体的特定属性以及所用设备的性能限制，以确保方案既科学又可行。精心构思的检测方案，不仅能够有效提升检测的效率，还能确保所得结果的精确无误，从而为检测活动提供强有力的技术保障。

（二）图像采集与预处理

图像采集是红外热成像技术流程中的关键环节，它要求操作者根据既定检测方案，运用红外热像仪精确捕捉目标物体的热图像。在这一过程中，环境的稳定性至关重要，必须严格控制，以排除外部因素的干扰，确保所获图像的准确性^[10]。紧接着的图像

预处理步骤同样不可或缺，它涉及对采集到的热图像进行噪声消除、对比度增强、图像配准等操作，这些处理旨在提升图像的整体质量，为后续深入的数据分析和故障诊断奠定坚实的基础。

（三）特征提取与识别

在红外热成像技术的应用中，特征提取环节至关重要，它涉及从预处理后的热图像中提炼出能够代表检测目标本质特性的关键信息，包括但不限于温度分布、热点位置、边缘特征等。随后，特征识别步骤则依据这些提取出的特征，对目标进行精确地分类或缺陷识别。此过程要求操作者根据具体的应用场景，精心挑选适宜的算法和模型，确保能够实现高效且准确的特征识别，从而为最终的检测结论提供坚实的数据支持。

（四）数据分析与解释

在红外热成像技术的应用流程中，数据分析与解释阶段对提取特征进行深度挖掘和解读，旨在通过对温度数据的专业统计分析、缺陷严重度的精确评估以及故障原因的合理推断，得出关于检测目标的准确结论。此环节要求分析人员运用其专业知识，对热图像中所蕴含的信息进行详尽且合理地解释，从而为工程决策提供坚实的数据支持和科学依据。通过这一系列严谨方法的研究与实际应用，红外热成像技术在工程检测领域的有效性和实用性得到充分验证，进而推动其在各行各业中的广泛应用和发展。

结束语

总而言之，红外热成像技术在工程检测领域具有广阔的发展空间和应用潜力。展望未来，持续深化理论研究、精进检测手段，并努力克服现有技术的局限，将是推动红外热成像技术在工程检测领域应用范围进一步扩展的关键所在。希望通过本文的研究，能够为相关领域的技术人员提供借鉴和启示，共同推动红外热成像技术在工程检测事业中的持续发展，为我国工程建设质量的提升贡献力量。

参考文献

- [1] 何美莹, 岳学杰, 张涛, 等. 红外辐射调控原理及其在热管理应用中的材料研究进展 [J]. 化工进展, 2022, 41(07): 3719–3730. DOI: 10.16085/j.issn.1000-6613.2021-1788.
- [2] 刘洋, 魏晓斌, 孙正华. 红外热成像法检测技术在建设工程中的应用 [J]. 工程质量, 2023, 41(S1): 29–32.
- [3] 张健. 红外热成像技术在变电站发热点检测中的应用 [C]// 中国金属学会. 第十三届中国钢铁年会论文集——10. 冶金设备与工程技术. 新疆八一钢铁股份有限公司能源中心热力分厂; 2022: 5. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2022.017386.
- [4] 陈华, 周晓巍. 红外热成像技术在通信电源电路板故障检测中的应用 [J]. 通信电源技术, 2021, 38(01): 114–116. DOI: 10.19399/j.cnki.tpt.2021.01.034.
- [5] 赖秋, 高燕俊, 温少鹏, 等. 基于 HoloLens 红外热成像技术在电力设备运行检测中的应用 [J]. 云南水力发电, 2020, 36(05): 137–139.
- [6] 王博正, 董丽虹, 王海斗, 等. 激光红外热成像技术在材料缺陷检测中的研究和应用现状 [J]. 材料导报, 2020, 34(05): 5127–5132.
- [7] 马旋. 红外热成像技术在电连接器插拔磨损检测中的应用研究 [D]. 河北工业大学, 2019. DOI: 10.27105/d.cnki.ghbgu.2019.000251.
- [8] 郭广平, 周在杞. 激光、微波和红外热成像检测技术在中国——庆祝中国机械工程学会无损检测分会成立三十周年 [J]. 无损检测, 2008, (10): 668–672.
- [9] 郭科伟, 陈彦龙, 董立亮. 红外热成像检测技术在电动汽车高压线束接头检测中的应用 [J]. 汽车维修与修理, 2019, (05): 66–68. DOI: 10.16613/j.cnki.1006-6489.2019.05.028.
- [10] 林群武. 红外热成像技术在电力系统设备故障检测中的应用研究 [D]. 安徽理工大学, 2016.

土木工程施工质量控制的新技术与方法综述

祁美均

重庆开州工程咨询有限公司, 重庆 405400

摘 要： 近几年来，随着社会和经济的持续发展，土木建筑产业迅速发展，土木建筑工程在我国得到了广泛的应用，这就需要对它进行质量管理。我国经济建设成绩斐然，特别是城镇化进程有了长足的发展。在这种情况下，国家对国内土木建筑的发展提出了更高的要求。这就要求我们不断地完善和完善我国土木工程建设中的质量管理技术与方法。为此，本文通过对新技术在土木工程建设中的应用意义的剖析，以及如何改进土木工程建设质量管理的新技术和新方法，提出了自己的见解和建议。

关 键 词： 土木工程；施工质量；新技术

Summary Of New Technology And Methods For Civil Engineering Construction Quality Control

Qi Meijun

Chongqing Kaizhou Engineering Consulting Co., Ltd. Chongqing 405400

Abstract： In recent years, with the continuous development of society and economy, the rapid development of civil construction industry, civil construction engineering has been widely used in China, which requires quality management. China's economic construction has made remarkable achievements, especially the process of urbanization has made great progress. In this case, the country has put forward higher requirements for the development of domestic civil architecture. This requires us to constantly improve and perfect the quality management technology and methods in our civil engineering construction. Therefore, this paper puts forward its own opinions and suggestions on the application significance of new technology in civil engineering construction, and how to improve the new technology and new methods of civil engineering construction quality management.

Keywords： civil engineering; construction quality; new technology

引言

随着国民经济的快速发展，土木建筑产业也在飞速发展，但其质量好坏，直接关系到人们的人身、财产安全与社会安定。所以，国家一直在加强对土木工程建设工程的监督，这就需要土木工程施工单位对土木工程施工质量控制给予更多的关注，要严格遵守相关的法律和规定，同时要主动采用新的技术和方法，来提升土木工程施工的质量管理水平，保证工程的按期、按质、按量地完成。另外，土木建筑施工单位也要持续地提高对新技术新方法的认识和关注，在土木工程施工中的质量管理工作中，要不断地进行创新和改进，从而推动我国土木工程建设事业持续健康发展。

一、土木工程施工质量控制的内容

在土木工程领域，项目的成败往往与整个工程是否能够顺利完成紧密相连。每一个细节的精准把控和施工过程中的严格管理都直接影响着最终工程的质量、安全性以及使用寿命，因此，这是一个不容忽视的重要议题。随着我国经济和社会的迅速发展，我国土木工程项目的建设步伐越来越快，同时也面临着越来越激烈的市场竞争。如何保证项目的质量，是建筑企业可持续发展的根本和前提。首先，要对建设工程的质量进行严格的管理与监

控。只有把前期的前期工作做好，才有可能建立起一套行之有效的质量管理体系；其次，在工程建设过程中，要严格落实各项技术规范，做好各项工作；最后，要加强对施工现场的监测，才能保证在全过程中对工程质量进行有效的控制。

在土木工程施工的复杂过程中，施工质量管理不仅是一项基本要求，更是确保工程质量达标的关键环节。它直接关联到工程的成败和使用寿命，因此，必须从实际工程项目的具体情况出发，细致地定义并执行土木工程施工质量管理的各项核心内容。这些管理内容包括但不限于材料采购、施工技术、现场监控以及竣工

作者简介：祁美均，男，1989年6月5日，汉族，籍贯：重庆，学历大学本科，职称：中级工程师，研究方向：工程施工质量。

验收等方面，每一步都需精心策划和严格执行。同时，还需要根据工程进度和环境因素的变化，不断优化和调整质量管理策略，提出创新的改进措施，以适应新的质量标准和市场需求。通过这样的全方位管理，可以最大限度地降低错误和缺陷的风险，保障工程的安全性和可靠性，从而赢得业主和社会各界的信任与认可。^[1]

二、土木工程施工质量控制的意义

在土木工程施工中，施工质量管理是一个非常重要的环节，也是施工的终极目的。它不仅关系到整个工程的最后质量，而且还关系到整个工程能否顺利进行，甚至是以后的投入。土木建筑工程的施工质量控制是指对各个施工环节进行科学、高效的控制与管理，在施工过程中，对工程质量产生的各类影响因素采取相应的措施，才能保证工程的顺利开展，不会造成不必要的损失。土木工程建设项目的质量管理是一项系统和综合性的工作，要求各部门紧密合作，共同努力，方能取得理想的结果。

土木工程施工质量管理就是通过对土木工程施工过程中各种影响因素的分析，提出防治对策，改善工程质量，满足工程使用需求。土建施工质量管理不仅仅是一门技术，更是一个涉及多个层面的综合性工程。它需要考虑到施工现场的环境因素，选用合适的建筑材料以确保质量，采取科学合理的施工方法以保证施工效率和安全，以及合理组织施工组织以确保施工进度和工程质量。这些要素缺一不可，共同构成了一套完整的施工质量管理体系。同时，必须加大工程的质检力度。只有通过不断强化工程质量管理各个环节，确保从设计到施工、从原材料采购到最终交付使用的每一个阶段都得到严格把控和监督，才能真正保障工程建设质量的优良与可靠。^[2]这需要全过程、全方位的精细化管理，确保每一项指标都符合既定标准，从而在源头上预防质量问题的发生，为工程项目的成功奠定坚实基础。所以，土建施工企业要重视对项目的质量管理，要结合工程的具体情况，制订相应的质量管理对策，以确保项目的顺利开展。

三、土木工程施工中混凝土工程的质量控制

在建筑和土木工程的领域内，混凝土扮演着至关重要的角色。这种材料的品质不仅关乎其外观，更是影响建筑物稳定性、耐久性及长期性能的关键因素。因此，混凝土的质量评估和控制成为施工过程中不可或缺的一环。首先要对混凝土的施工过程进行严格的控制，包括原材料的选择、施工工艺的选择以及后期的养护，在具体的施工过程中，应结合具体的工程条件，选用适当的技术措施；其次应注意混凝土的养护，以延长其使用寿命；最后，在土建施工过程中，应重视原材料的质量问题，从原材料质量和配合比设计等多方面加以控制。

1. 基坑开挖的质量控制

在整个工程建设过程中，基坑开挖是一个非常关键的过程，对整个工程的质量有着很大的影响。因此，在进行基坑开挖作业

的过程中，必须严格遵守所有相关规范和标准，同时，务必对施工质量进行严密管理，确保每一个环节都符合要求。只有这样，才能有效保障基坑的结构安全和使用功能，防止潜在的风险发生，保护工人的安全，也维护工程的整体质量和进度。在工程建设的过程中，对于边坡的稳定性问题，必须给予足够的重视。通过深入的研究和细致的分析，确保采取一系列有效的预防措施，以防止可能出现的地质灾害，保障工程项目的安全性和可靠性。这包括但不限于设计合理的护坡结构、加强监测系统以及定期进行维护检查等方法。在基坑开挖时，必须严格遵守设计规范，确保工程顺利进行。若不满足有关规定或设计要求，则要及时与设计部门联系，调整土方工作，保证工程的施工质量满足相应的规范和要求。此外，在基坑开挖过程中还应做好排水工作。

2. 基坑支护结构的支护质量控制

在城市建设中，深基坑的施工质量无疑是一项关键任务。它不仅直接影响到建筑物本身的安全与稳固，更是对周围环境的一种考验和保护。因此，确保施工过程的每一个细节都符合高标准，对于保障整个项目的长期稳定运行至关重要。在基坑工程中，排桩、地下连续墙、锚杆和内支撑是基坑的重要组成部分，该方法具有施工简便、造价低等优点。但是，受工程实际情况的制约，它常常与周围的环境密切相关，所以在进行设计时，要综合考虑多方面的影响。^[3]如：在软弱土层和富地下水条件下，需要进行支护，在基坑开挖的操作过程中，必须充分考量那些狭窄的空间以及错综复杂的地下管线布局。这些因素可能会对基坑的开挖和施工带来额外的难度，因此在设计和施工阶段就需要有周密的规划和预备措施来应对潜在的挑战。

在设计阶段，既要研究、论证支护结构的方案，又要结合工程的具体条件，合理地选择合理的支护参数。在施工过程中，必须强化对基坑支护工程的全程监控，在对基坑支护结构进行仔细检测时，必须对其材质的质量和整体外观情况给予高度重视。一旦发现任何质量上的缺陷或不符合规范的问题，绝不能有任何迟疑，而应迅速采取相应的补救措施，确保施工安全与工程质量得到保障。为保证基坑工程的质量，必须在施工过程中制订具体的施工计划及质量保证措施。另外，为避免基坑支护结构产生裂纹等问题，还需要采取相关的技术措施，从而确保基坑支护结构的稳定性和安全性。^[4]

3. 建筑工程测量技术的应用

测绘是土木工程建设中的一项重要工作。在工程建设过程中，必须将其运用于工程建设，以确保工程质量。但是，土木工程施工工艺的复杂性决定了它必须采用先进的检测手段来确保其精度与可靠性。因此，在土木工程建设漫长旅程中，采纳新兴技术是不可或缺的步骤，它不仅能够确保工程质量的准确性与可靠性，而且还能有效地提升整体项目的效率和安全性。在当前的技术环境下，工程测量已成为土木工程领域的一个核心组成部分，其应用范围日益广泛，并展现出显著的成效。通过精确的测量方法和先进的数据分析技术，工程师们能够更好地理解复杂的建筑结构，预测潜在的风险，并制定更为精确的建设计划。这一切都指向了一个共同的目标：创造既安全又经济高效的工程

成果。

4. 高层建筑施工技术的应用

伴随着社会经济的持续发展，建筑业也得到了长足的发展。同时，楼房也越来越高。为适应越来越高的要求，出现了大量的高层建筑。随着建筑高度的不断提高，其建造工艺也越来越复杂。随着科技的不断发展与进步，在高层建筑中采用了许多新的技术。如：液压爬模施工、立式吊装机械、钢结构施工等。采用上述先进的施工工艺，不但可以有效地提高建设的效率与质量，而且可以有效地降低建设项目成本，促进城市建设的顺利进行。在技术不断革新的浪潮中，土木工程领域也迎来了新的气象。随着科技的突飞猛进，各种先进的施工监控技术和方法如同雨后春笋般涌现，这些创新成果为保证工程质量提供了有力的工具和手段，极大地推动了建筑行业向着更高效、更精确的方向发展。

5. 施工质量验收和工程信息管理

在土木工程施工过程中，施工质量验收是一项非常重要的环节，其对于整个土木工程建设有着重要的意义。因此，必须在施工的每一个阶段都给予工程信息管理足够的重视，确保信息的准确性和完整性，这样才能为施工质量验收提供坚实的基础。只有当每一项工程细节都得到了严格的管理和监控时，才能够保证所有的工程项目都能按照既定标准，高质量地完成，从而使整个建筑过程得以顺利进行并最终达到预期的效果。再者，应当深入研究和积极探索土木工程施工过程中的质量控制技术，不断提高工程质量管理水平。这包括但不限于采用先进的检测设备、运用科

学的方法进行材料检验，以及制定严格的施工流程与规范，确保每一环节都达到高标准要求。

结语

改革开放以来，我国土木建筑产业快速发展，但在这一进程中，工程建设中存在着大量的质量管理问题。所以，要想确保土木工程建设的质量，就需要持续地强化和完善土木工程建设中的新技术与新方法，使土木工程建设的质量监控系统持续健全，强化对土木工程建设项目的全程监管，以保证其满足国家有关规范的要求。在此基础上，加大对项目施工人员的培养，提升他们的职业素质与技术能力，为项目的顺利开展提供优质的人才支撑。

在实际的工程建设过程中，也要对土木工程施工质量管理人員的安全意识、责任心进行持续提升，保证他们能将工程建设中出现的各类问题妥善解决。在实际的工程施工过程中，我们也要持续强化新技术和方法的运用与研究，特别是要在项目设计阶段、材料选择阶段、施工组织管理阶段、工程验收阶段等关键阶段，更要将新技术和新方法运用到各个关键阶段。只有坚持这样的原则和标准，我国在土木工程建设领域才能实现质的飞跃。必须不断追求卓越，确保每一项工程都能达到国际先进水平，以满足人民日益增长的美好生活需求。这需要全社会的共同努力和对质量的不懈追求。

参考文献：

[1] 王建军. 关于土木工程施工质量控制与安全管理的探讨 [J]. 中国住宅设施, 2023, (04):190-192.
[2] 张琳. 住宅土木工程施工中的材料选择及质量控制策略 [J]. 居舍, 2023, (10):68-71.
[3] 赵勇. 土木工程管理施工过程中的质量控制策略研究 [J]. 中国金属通报, 2023, (06):138-140.
[4] 孙山. 浅析土木工程施工管理及质量控制措施 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023, (20):30-32.
[5] 谭文龙. 关于土木工程施工质量控制与安全管理的探讨 [J]. 陶瓷, 2024(4):165-168.
[6] 张菊. 土木工程施工质量控制与安全管理措施分析 [J]. 建材与装饰, 2023, 19(5):99-101.
[7] 鲍建军. 土木工程施工质量控制与安全管理 [J]. 中国建筑装饰装修, 2021(8):172-173.
[8] 李桢. 土木工程施工质量控制之我见 [J]. 技术与市场, 2011, 18(11):67.
[9] 温磊. 浅谈土木工程施工质量控制与安全管理 [J]. 建材与装饰, 2021, 17(8):178-179.
[10] 王莹. 土木工程施工质量控制与安全管理浅析 [J]. 江西建材, 2021(1):137, 139.

高寒地区混凝土施工与维护：质量与耐久性的关键因素

周建军

北京通达监理有限公司（成都分公司），四川 眉山 620500

摘要： 高寒地区由于其独特的气候条件，包括极低的温度和频繁的冻融循环，对混凝土施工与维护提出了严峻的挑战。这些环境因素可能导致混凝土硬化不均、冻胀和裂缝等问题，从而影响结构的质量与耐久性。本文探讨了高寒地区混凝土施工与维护的关键技术和方法，重点分析了低温对混凝土性能的影响，包括混凝土配合比的调整、适当的外加剂使用及冬季施工中的养护措施。通过系统地评估混凝土施工过程中的质量控制措施、维护策略和成功与失败的案例，本文目的在于提供针对高寒环境的有效施工和维护方案。研究结果表明，适当的技术调整和维护措施对提高混凝土结构的稳定性和延长其使用寿命至关重要。

关键词： 高寒地区；混凝土施工；质量控制

Construction And Maintenance Of Concrete In Alpine Areas: The Key Factors Of Quality And Durability

Zhou Jianjun

Beijing Tongda Supervision Co., LTD. (Chengdu Branch), Meishan, Sichuan 620500

Abstract： Due to its unique climatic conditions, including extremely low temperature and frequent freezing and thawing cycles, the alpine region has posed severe challenges to concrete construction and maintenance. These environmental factors may lead to uneven hardening, frost and cracks, thus affecting the quality and durability of the structure. This paper discusses the key technologies and methods of concrete construction and maintenance in high and cold areas, and focuses on the influence of low temperature on the performance of concrete, including the adjustment of concrete mix ratio, appropriate use of admixture and curing measures in winter construction. By systematically evaluating the quality control measures, maintenance strategies, and success and failure cases in the concrete construction process, this paper aims to provide effective construction and maintenance schemes for the high and cold environment. The results show that appropriate technical adjustment and maintenance measures are crucial to improve the stability of concrete structure and prolong its service life.

Keywords： high and cold area; concrete construction; quality control

引言

高寒地区通常指那些冬季气温极低、存在长期冻融循环的区域，如高山、极地或高纬度地区。这些地区的气候条件对混凝土施工和结构维护提出了特殊的挑战。由于低温和频繁的冻融循环，混凝土在高寒地区的性能和耐久性可能会受到显著影响。在这样的环境下，混凝土的硬化过程变得缓慢，容易出现冻胀、裂缝等问题，这直接影响到结构的整体质量和使用寿命。因此，了解和掌握高寒地区混凝土施工与维护的关键技术显得尤为重要。本文旨在探讨高寒地区混凝土施工与维护的主要技术和方法，分析气候条件对混凝土质量的影响，提出优化的施工和维护策略，以确保混凝土结构在严酷环境中的稳定性和耐久性。

一、高寒地区的气候条件及其对混凝土施工的影响

（一）高寒地区气候特点

高寒地区的气候特点主要表现为极端的低温、长时间的寒冷季节以及频繁的冻融循环。这些地区通常位于高纬度或高海拔区

域，如高山地带、极地或高原，年平均气温常常低于零摄氏度。冬季漫长而严寒，气温经常降到 -10°C 以下，甚至在某些极端情况下，气温可以达到 -30°C 或更低。^[1]由于气温的剧烈变化，这些地区的冻融循环现象非常显著，即冰冻与解冻过程交替发生，这种冻融循环对混凝土结构的影响尤为显著。此外，高寒地区的

作者简介：姓名：周建军，出生年月：一九七八年二月，性别：男，民族：汉，籍贯：四川省眉山市仁寿县，学历：本科，职称：中级工程师，研究方向：高原施工质量控制与软弱围岩大变形隧道工程施工

降水量通常较少,但当降水发生时,降雪和霜冻更加频繁。风速较大也增加了风寒效应,使得体感温度更加寒冷。这些气候特点使得混凝土施工和维护面临挑战,施工过程中需要特别注意低温对混凝土硬化的影响,且必须采取适当的技术和材料以确保结构的耐久性和稳定性。

(二) 高寒地区混凝土性能影响分析

在高寒地区,混凝土结构面临的主要问题是冻胀破坏,这种现象的根本原因在于水分在低温条件下转变为冰时体积膨胀。具体来说,当混凝土中的水分结冰时,其体积会显著增大,造成内应力,从而导致混凝土的冻胀破坏。^[2]在这种情况下,混凝土中骨料的特性扮演了至关重要的角色。骨料的吸水率是影响其抗冻能力的关键因素之一。吸水率较高的骨料含有更多的水分,这在低温环境中会增加冻胀破坏的风险,因为更多的水分会在结冰时膨胀,造成更大的内应力和潜在的结构损伤。除此之外,骨料的尺寸也是一个重要因素。较大的骨料尺寸会导致骨料之间的结合不够紧密,使得水分容易滞留在骨料间的缝隙中,这进一步增加了冻胀的风险。此外,骨料的力学性质也对混凝土的抗冻能力有显著影响。骨料的强度和耐压性越好,能够更有效地承受冻胀时产生的内应力,从而提升混凝土的抗冻性能。而混凝土的水灰比直接影响其抗冻性能。水灰比是指混凝土中水与水泥的质量比,水灰比越大,意味着混凝土浆液中水的含量越高,这会导致自由水的比例增加。自由水指的是混凝土中未与水泥反应的水分,它在低温环境下容易结冰。当水灰比较高时,混凝土浆液中的自由水量增加,意味着可冻水的比例也较高。因此,在高寒环境下,混凝土更容易迅速结冰,增加了冻胀破坏的风险,从而降低了其抗冻能力。^[3]这是因为高水灰比的混凝土在低温下结冰速度较快,结冰过程中产生的膨胀压力更大,可能导致混凝土内部的微裂纹扩展,最终导致冻坏。^[4]

二、混凝土防治冻胀的技术及措施

(一) 施工方案的设计

为有效解决冻胀问题,在混凝土渠道施工方案的设计中必须充分考虑冻胀因素,并采取相应措施以减轻冻胀对混凝土渠道的影响。首先,应避免使用粘质土质作为基底材料,因为粘土的吸水性较强,容易在低温下发生冻胀。相应地,应采取措施降低地下水位,以减少土壤中的水分含量。可以通过基土置换来改善土壤性质,即用低吸水性土壤替换原有的高吸水性土壤,从而降低基础土壤的含水率。还可以建在冻胀破坏较少的地质基础之上,如选择地势较高的脊梁地区进行施工,以避免低洼地带的冻胀风险。对于地下水位较高或存在回归水的渠段,必须设置有效的排水设施,以降低地下水位,并改善基础土壤的含水率。通过这些排水措施,可以有效地控制土壤中的水分含量,从而减少冻胀现象的发生。

(二) 添加长效减水剂和憎水剂

在混凝土中添加长效减水剂和憎水剂是一种有效的改良措施,这些添加剂能够显著提升混凝土的流动性,使得其在施工过

程中更易于操作,同时增强混凝土的整体结构稳定性和强度。^[5]通过使用这些添加剂,可以在不改变混凝土强度的情况下减少水泥的用量,从而降低成本,并提升混凝土的抗冻胀性能。长效减水剂和憎水剂的加入还能提高混凝土的抗渗透能力,减少水分的侵入,从而增强混凝土在高寒环境中的耐冻融剥蚀性能,进一步延长混凝土渠道的使用寿命。除了混凝土配合比中的添加剂,减水剂还可以直接涂刷在混凝土的表面,这种处理方式有助于进一步提高防渗透性、节水效果以及抵御冻融破坏的能力。这样的措施可以显著增强混凝土结构在严苛环境下的耐久性,确保其在长期使用中的稳定性和安全性。

(三) 保温处理

1. 对原料进行有效的保温处理

为了确保混凝土的质量和性能,在施工过程中必须对原料进行有效的保温处理。原料在运输到施工区域后,应采取保温措施以防止低温对其造成不利影响。特别是对于砂石、碎石等粗骨料,应采取封闭存储的方式,以避免外部冷空气的侵入。存储设施应配备钢结构屋顶,并使用保温材料处理封闭门,以保持内部温度稳定,防止低温对骨料的影响。此外,在混凝土的拌合过程中,也需要特别注意防止冰雪等物质落入拌合机中,这可能会影响混凝土的整体质量。因此,拌合区应设置有效的防护措施,如覆盖物和挡板,以保持拌合设备的清洁和原料的干燥。这些措施能够确保混凝土在严寒环境下的施工质量,满足结构稳定性和耐用性的需求,从而提高混凝土工程的整体可靠性和使用寿命。^[6]

2. 运输过程的保温

为了保证混凝土在运输过程中的质量和性能,建议在运输轨道上建设暖棚,以对混合料进行预热处理。这种预热措施可以确保混合料在运输过程中保持一定的初始温度,从而抵御寒冷天气对其性质的影响。预热温度的具体设定应根据当地的气温和材料的传热系数来决定,以达到最佳效果。在冬季施工时,水的加热也与混合料的加热相似,需要根据混合料的实际情况来决定加热的温度,但通常不应超过80℃。这是因为水泥不能直接与高温水接触,否则会影响其性能指标。因此,在高寒地区进行混凝土搅拌时,建议调整混合料的投放顺序,将水泥的加入顺序安排在最后。^[7]这样,在搅拌过程中,混合料的温度可以逐渐降低,从而避免高温对水泥性能的影响。同时,为了确保混合料得到充分搅拌,应将整体拌合时间延长约50%。这种做法能够有效地确保混合料在拌合过程中均匀混合,保证混凝土的质量和施工效果。在高寒地区进行混凝土运输时,预热处理是确保混凝土质量的重要措施。在运输前,需要对运输车内部进行加热,以保持混凝土在运输过程中的温度。具体操作包括在运输罐中灌入热水,这样可以通过热水对罐的内壁进行加热,以提高罐内的温度。此外,为了增强保温效果,罐体外部应进行隔热处理,通常可以使用棉毡等隔热材料进行包裹,以减少热量散失,从而保持混凝土的初始温度。在运输过程中,还应应对运输路径进行精心规划,确保整个运输过程的流畅性。合理规划路线可以降低发生堵塞的风险,从而提高运输效率,并防止混凝土在运输过程中因长时间停留而导致温度下降。通过这些措施,可以有效地保证混凝土在运输过程

中的温度稳定，从而提高混凝土的施工质量和最终效果。

3. 实时温度监控

除了对混凝土施工过程中的全程保温处理外，实时监测混凝土的温度同样至关重要。为了确保混凝土在施工中的温度维持在规范要求的范围内，必须建立一套完善的温度监测系统。通过实时获取混凝土的温度数据，可以直观地评估保温加热系统的运行效果是否达到预期目标。^[8] 这种实时数据不仅帮助施工人员及时发现问题，还能在发现温度偏差时，迅速采取必要的调整措施。通过不断优化和调整保温系统，能够有效保证混凝土在施工过程中的温度稳定，从而确保其质量和性能符合设计要求。

（三）提高密实度

为了尽可能降低混凝土的空隙率，提高其密实度是关键措施之一。在混凝土施工过程中，必须加强振捣工作，以确保混凝土的均匀密实。为此，可以采用功率更大的振捣设备，或者延长振捣时间，从而有效减少混凝土中的毛细孔。通过增强振捣效果，可以促使混凝土中的气泡和空隙排出，使混凝土形成更紧密的结构。这种高密实度的混凝土不仅提高了其整体强度，^[9] 还显著提升了其耐久性和抗冻性。降低毛细孔的聚集能够减少水分的侵入，增强混凝土对低温环境的抵御能力，从而提高混凝土在严寒条件下的使用寿命和结构稳定性。

（四）全面的跟踪检查制度

混凝土施工质量是影响工程优劣的关键因素，尤其在高海拔低温季节，施工质量控制显得尤为重要。在这种特殊环境下，确保混凝土的质量不仅关乎工程的成败，更对工程的长期稳定性和耐久性至关重要。具体措施包括：对原材料的温度进行精确控制，以防低温对混凝土性能的不利影响；在混凝土拌制过程中，确保混合物的均匀性和适宜温度，以实现最佳的施工效果。运输

环节同样受到严格监管，确保混凝土在运输过程中保持适宜的温度，防止因低温导致的性能变化。在混凝土入仓和平仓过程中，对混凝土的状态进行实时监控，确保其在整个施工阶段的一致性。在振捣阶段，使用合适的振捣设备和方法，以提高混凝土的密实度和整体强度。^[10] 为了保证混凝土的良好养护，要实施有效的保温措施，包括对混凝土表面进行保温覆盖，防止冻融对其造成破坏。为了确保上述各个环节的有效实施，要建立全面的跟踪检查制度，对施工过程中的每一个细节进行仔细检查和调整。当遇到任何问题时，及时进行协调和解决，以确保施工过程始终处于可控状态。运用这种全面、细致的质量控制方法不仅可以提升混凝土的施工质量，也能有效应对高海拔低温环境带来的挑战，从而确保工程的顺利进行和最终成果的优良。

三、结论

大体积混凝土结构的施工质量对其使用性能及整个工程的成败至关重要，尤其是在高海拔和高寒地区的水工建筑物中，混凝土的抗裂、抗渗、抗冻等性能要求尤为严格，且控制难度较大。在低温季节进行大体积混凝土施工时，采取切实可行的施工措施以确保施工质量是工程成功的关键。针对这一情况，工程在施工过程中要结合现场实际情况，采取一系列保障措施。首先，要对混凝土的拌合和用水加热进行详细的经济性和合理性分析，选择符合经济效益和设计要求的温度控制参数。这些措施不仅可以在高海拔低温季节的持续施工中缓解了项目施工进度压力，还能有效保障混凝土浇筑质量的符合设计和规范要求。通过这些科学合理的施工方案，能够确保混凝土结构的性能和工程项目的顺利完成，从而提升工程的整体质量和耐久性。

参考文献：

[1] 范银鹏. 高原高寒地区混凝土冬季施工技术分析与研究 [J]. 砖瓦, 2021, (09):170+172.
[2] 庞凤府. 高寒地区现浇钢筋混凝土构筑物冬季施工技术措施 [J]. 四川水泥, 2021, (02):46-47.
[3] 柴桥良. 高海拔高寒隧道保温及支护施工技术探讨 [J]. 广东水利电力职业技术学院学报, 2021, 19(03):9-12+35.
[4] 吴华绮, 翟付顺. 高寒地区河流型湿地公园生态驳岸设计策略研究 [J]. 绿色科技, 2024, 26(03):61-66+74.
[5] 杨春. 高寒高海拔地区道面滑模摊铺机施工技术 [J]. 低碳世界, 2023, 13(12):160-162.
[6] 朱华, 熊静. 冬季混凝土施工电加热养护工艺研究与应用 [J]. 黑龙江水利科技, 2023, 51(08):104-106+110.
[7] 孟宪达. 高海拔高寒地区公路桥梁预制梁施工工艺 [J]. 设备管理与维修, 2023, (14):156-157.
[8] 张明奎. 高寒地区冬季混凝土施工技术及养护研究 [J]. 居舍, 2023, (17):37-39+42.
[9] 陕亮, 李星. 高海拔气候环境下碾压混凝土重力坝施工期开裂风险分析 [J]. 水利水电快报, 2023, 44(03):66-71.
[10] 黄晚清, 川西高寒地区沥青混凝土路面抗凝冰技术研究. 四川省, 四川省交通勘察设计研究院有限公司, 2022-12-14.

城市桥梁墩柱钢筋骨架整体安装施工技术研究

陈金成¹, 郭东海², 池商钤³, 柯建平⁴

1. 中庆建设有限责任公司, 吉林 长春 130119

2. 厦门特房建设工程集团有限公司, 福建 厦门 361010

3. 厦门第一建筑工程集团有限公司, 福建 厦门 361003

4. 福建省二建集团(厦门)有限公司, 福建 厦门 361011

摘 要 : 传统城市桥梁下部墩柱的施工工艺为搭设脚手架、现场绑扎钢筋、支设模板、浇筑混凝土, 具有工序繁多、施工周期长、占用现场施工场地大的痛点问题。文章以福州某高架桥下部墩柱施工为工程背景, 对城市桥梁墩柱钢筋骨架整体安装施工技术进行研究。结果表明, 通过事先在钢筋加工场将墩柱钢筋整体绑扎成型, 现场采用吊车将整体墩柱钢筋提起, 插入事先绑扎好的承台钢筋并固定, 然后浇筑承台混凝土, 完成墩柱钢筋的整体安装。墩柱钢筋骨架工厂化生产, 可以实现平行施工, 便于施工组织、提高施工效率。现场无须搭设箍筋安装脚手架, 缩短了承台基坑暴露时间, 提高了基坑安全性。该施工技术占用施工场地小、施工周期短, 尤其适用于对工期要求较严的城市高架桥梁工程。

关 键 词 : 城市桥梁; 墩柱钢筋; 整体安装; 平行施工

Study on Construction Technology of Integrated Installation of Reinforced Skeleton of Piers for Urban Bridges

Chen JinCheng¹, Guo Donghai², Chi Shangqian³, Ke Jianping⁴

1.Zhongqing Construction Co., LTD., Changchun, Jilin 130119

2.Xiamen Tefang Construction Engineering Group Co.,Ltd., Xiamen, Fujian 361010

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

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

Abstract : The traditional construction technology of pier column in the lower part of urban bridge is to set up scaffolding, tie reinforcing bars on site, set up formwork and cast concrete, which has many procedures, long construction period and occupy large construction site. Based on the construction of pier column in the lower part of a viaduct in Fuzhou, this paper studies the integrated installation and construction technology of reinforced skeleton of pier column in urban bridge. The results show that the overall installation of pier column rebar is completed by binding and forming the pier column rebar in the rebar processing plant in advance, lifting the whole pier column rebar with the crane on site, inserting the pre-bound cap rebar and fixing it, and then pouring the cap concrete. The factory production of reinforced skeleton of pier column can realize parallel construction, facilitate construction organization and improve construction efficiency. There is no need to set up stirrup to install scaffold on site, which shorens the exposure time of foundation pit of cap and improves the safety of foundation pit. The construction technology occupies a small construction site and has a short construction period, which is especially suitable for urban viaduct projects with strict requirements for construction period.

Keywords : urban bridges; reinforcement of pier; integral installation; parallel construction

一、引言

为了解决城市交通拥堵的问题, 近几年来城市高架桥梁的建设备受关注。而城市高架桥梁的施工受城市功能及城市环境的要求、影响和限制, 要求其施工速度快、占地少、不扰民、能迅速恢复交通^[1-3]。传统桥梁下部墩柱的施工工艺为搭设脚手架、现场绑扎钢筋、支设模板、浇筑混凝土^[4-7]。该种施工技术具有工序繁多、施工周期长、占用现场施工场地大、现场的噪声和焊光污染等缺点^[8-10], 不适用于对工期要求较严的城市高架桥梁工程。因此, 进一步优化城市桥梁墩柱分项工程施工工艺, 简化施工流程

和缩短施工周期是城市桥梁施工中亟待解决的痛点问题。

基于此, 文章结合福州市某高架桥工程施工实践, 对城市桥梁墩柱钢筋骨架整体安装施工技术进行研究。通过事先在钢筋加工场地将墩柱钢筋整体绑扎成型, 然后使用车辆运输至施工现场, 再采用吊车将整体墩柱钢筋提起, 插入事先绑扎好的承台钢筋并固定, 然后浇筑承台混凝土, 再合模浇注墩柱混凝土, 即完成整个桥墩的施工。该施工技术具有可平行施工、现场机械使用时间短、施工整体占用现场场地小, 能够迅速组织承台施工而确保基坑安全, 无须搭设箍筋安装脚手架等优点, 可为其他同类型工程的施工提供参考。

基金项目: 福建省住建厅科学技术计划项目 (2023-K-96)

作者简介: 陈金成, 男 (1986-), 中庆建设有限责任公司, 高级工程师, 从事道路与桥梁施工技术方面的研究工作。

二、施工工艺原理

城市桥梁墩柱钢筋骨架整体安装施工技术是在传统单主筋预埋插入后浇筑承台，并搭设脚手架进行箍筋安装的基础上发展形成的一种创新技术。该技术在桥梁墩柱施工时，事先在钢筋加工场地将墩柱钢筋整体绑扎成型，然后通过车辆运输至施工现场，再通过吊车将整体墩柱钢筋提起，插入事先绑扎好的承台钢筋并固定，然后浇筑承台混凝土，再合模浇注墩柱混凝土，即完成整个桥墩的施工。该技术具有适应城市市政工程施工场地困难、施工速度提高、钢筋安装绑扎质量保证、措施成本降低等优点。

城市桥梁墩柱钢筋骨架整体安装施工工艺简单，采用常规钢筋施工材料、机械设备和运输吊装设备，无须特殊技术和设备。具有可平行的工厂化施工特点，便于施工组织、提高施工效率。施工现场无须钢筋加工，不要逐根（批）预埋主筋并在承台浇筑完成后搭设脚手进行箍筋的施工，节省脚手架费用，提高施工进度。承台基坑暴露的时间缩短，提高基坑安全性。墩柱箍筋安装质量易于控制，基本无高处作业危险源。占用现场施工场地少、时间短，尤其适用于对工期要求较严的城市高架桥梁工程。

三、关键施工技术

（一）墩柱钢筋骨架绑扎成型

（1）用10号工字钢制作钢筋骨架绑扎成型台，要求其可灵活变动形状、尺寸并可拆卸，以适应多种外形钢筋骨架的成型脱架。

（2）10号工字钢，用于墩柱钢筋骨架焊接绑扎成型的支架，要求符合相关工字钢原材料有关规范的质量要求，并不得有严重锈蚀、变形、表面缺陷和损失缺口。

（3）按设计要求进行主箍筋在成型台上的成型绑扎。

（二）整体钢筋骨架运输

用12米长平板车从加工场地运输至施工现场，一般墩柱已成型骨架含埋入段不大于12米，重量小于9吨。

（三）墩柱钢筋整体安装

（1）用吊车将柱骨架筋整体吊起缓缓放入承台基坑内，并插入定们箍筋内侧，如图1所示。

（2）在承台下的双层水平主筋的上层钢筋上按墩柱的设计位置焊接柱骨架筋的平面定位箍筋，如图2所示。



> 图1 钢筋骨架整体吊装



> 图2 连接承台底层水平主筋

（3）安装柱骨架筋前，先完成承台下的双层承台主筋，并确保标高位置准确。

（4）承台下的双层承台主筋下按柱骨架筋的重量要求分配放置数量适当的保护层块，以在确保保护层厚度的同时，满足承台下双层水平主筋能承担起柱骨架筋的重量并且不变形，如图3所示。



> 图3 承台下双层水平主筋完成

（5）校核插入的柱骨架筋的高程、垂直度，在确认无误后将柱骨架筋与定们箍筋焊接牢固。

（6）在柱骨架筋的顶部四角设缆绳与地锚连接并用紧绳器拉紧同时进一步校验柱骨架筋的垂直度。用于临时固定和调整竖向钢筋骨架的钢丝绳缆绳应符合抗钢筋骨架倾覆要求。

（7）完成承台其它钢筋施工，在承台立模后浇筑承台混凝土，如图4所示。



> 图4 承台混凝土浇筑成型

（8）确保骨架成型的绑扎质量、确保起吊安装的安全、确保平面和高程位置的准确、通过缆绳调整垂直度并稳定整体骨架。

（四）墩柱模板加工、安装

（1）根据桥梁墩柱的高度和外形设置分块模板构件，并对其进行编号。进行模板整体试拼装，调整分块模板的拼缝、错台和平整度。

（2）试拼模板应达到以下质量标准：整体模板表面不平整度不超过3mm，板面局部不平整度不超过1mm，相邻两块板表面高度差不超过1mm，拼缝宽度不超过1mm，并在试拼合格的模板背后采用油漆作调整标记。

（3）现场采用汽车吊进行模板逐块逐节的拼装，安装时按照试拼时的编号顺序依次进行，并根据板块标记调整到位。板块

拼缝间采用双面胶粘贴,并打磨平整,使板块间的接缝严密,不出现错台,混凝土保护层垫块与钢模板保持垂直。每块模板拼装完成后对其中心偏移量和垂直度进行检查。当检查合格后紧固模板连接配件,拼装下一块模板,保证整体模板有足够的承载力和刚度。

(4)当整体模板安装完成,且其中心偏移量和垂直度检查合格之后,在模板顶部位置用钢丝绳和紧张器将钢模板牢固固定,模板四边呈“八”字形。

(五)墩柱混凝土浇筑

(1)考虑到墩柱内钢筋密集,振捣器移位不便利,预先在墩柱四周和中间位置布设多台振捣棒。一方面有利于作业人员振捣,另一方面可以加快振捣进度,避免混凝土由于浇筑时间过长容易形成施工冷缝的问题。

(2)振捣施工按照“先外后内、快插慢拔、不过不久”的施工原则。浇筑上层混凝土时,对于插入式振捣器应伸入到下层混凝土内部50~100mm,保证结构整体振捣密实。在振捣过程中,应防止振捣器碰撞模板和内部的预埋件等,避免模板受到振动影响产生局部变形。

(3)严禁混凝土作业人员在钢筋骨架上随意行走。当发现钢筋被踩踏或者内部支撑件偏位,及时对钢筋骨架进行调整。

四、工程应用

(一)工程概况

福州市某高架桥跨径布置为 $(7\times 30.65)\text{m}+(5\times 30.65+30.07)\text{m}+(55+85+55)\text{m}+(31.05+5\times 31)\text{m}+(7\times 31)\text{m}$ 。单幅桥面宽度13~23.9m,横向布置为0.5m(防撞墙)+12~22.5m(机动车道)+0.5m(防撞墙)。上部结构采用变截面预应力连续箱梁,截面形式为斜腹板多箱截面。下部结构采用薄壁型花瓶墩和钻孔灌注桩基础,墩高2.9~9.75m。

(二)实施应用情况

该工程项目于2022年12竣工验收,施工中采用了城市桥梁

墩柱钢筋骨架整体安装施工技术。通过事先在钢筋加工场地将墩柱钢筋整体绑扎成型,然后使用车辆运输至施工现场,再采用吊车将整体墩柱钢筋提起,插入事先绑扎好的承台钢筋并固定,然后浇筑承台混凝土,再合模浇筑墩柱混凝土,即完成整个桥墩的施工。

墩柱钢筋骨架的成型可提前在加工场预先制作,有利于施工的合理组织,实现了平行施工,大大的缩短工期。占用现场施工场地少,有利于施工场地的快速合理周转,并减少对现场的噪声、焊光污染。无需通过搭设脚手架进行现场墩柱箍筋的绑扎施工,节省了该部分的材料、人工和时间的投入,并避免了高空作业的危险源,提高了生产安全性。无须单根主筋插入承台施工,节省了吊车的操作时间及费用,并使每个墩的现场作业时间大大缩短。总之,城市桥梁墩柱钢筋骨架整体安装施工技术在该项目中的成功应用,降低了工程造价,缩短施工工期,减少环境污染,提高安全性。

五、结语

结合某城市高架桥墩柱施工实践,对城市桥梁墩柱钢筋骨架整体安装施工技术进行研究,得到以下技术总结:

(1)通过事先在钢筋加工场地将墩柱钢筋整体绑扎成型,现场采用吊车将整体墩柱钢筋提起,插入事先绑扎好的承台钢筋并固定,然后浇筑承台混凝土,最终合模浇筑墩柱混凝土。该施工技术占用施工场地小、施工周期短,尤其适用于对工期要求较严的城市高架桥梁工程。

(2)与传统现场绑扎墩柱钢筋相比,墩柱钢筋骨架工厂化生产,可以实现平行施工,便于施工组织、提高施工效率。

(3)采用该施工技术,无需单根主筋插入承台的施工,无需搭设脚手架进行现场箍筋的绑扎,节省了该部分的材料、人工和时间的投入。而且承台基坑暴露的时间缩短,提高了基坑安全性。

参考文献

- [1] 葛庆贺,刘晓飞,赵艳磊,等.城市桥梁40 m曲线斜交箱梁预制及架设施工技术研究[J].科学技术创新,2022(32):133-136.
- [2] 杨骥,吕蕾,黄蓉,等.自行式门架支撑体系在城市桥梁施工中的应用[J].四川建筑,2023,43(03):116-118+123.
- [3] 邓海.城市道路桥梁施工技术与管理[J].河南科技,2020,39(26):86-88.
- [4] 冯波.高速公路桥梁工程中的高墩施工技术探讨[J].工程技术研究,2021,6(03):58-59.
- [5] 刘俊峰.桥梁墩台身施工技术及其应用研究[J].交通世界,2021(12):130-131.
- [6] 刘艳会.高速公路桥梁墩台施工技术研究[J].交通世界,2023(32):166-168.
- [7] 王国勇.高速公路桥梁墩台施工技术[J].工程建设与设计,2022(04):102-104.
- [8] 巴欣.高速公路桥梁墩台施工方法及施工技术[J].交通世界,2022(14):149-151+155.
- [9] 陈星宇,赵卫冬.高速公路桥梁高墩施工工艺研究与分析[J].价值工程,2022,41(36):28-31.
- [10] 郝成凯.公路桥梁灌注桩基础和墩柱施工常见质量问题及控制措施[J].工程建设与设计,2023(12):169-171.

建筑工程安全生产标准化研究

赵星琪

宁夏鸿源凯瑞市政工程集团有限公司，宁夏 固原 756000

摘 要： 本文全面阐述了建筑工程安全生产标准化的概念、特性、意义及发展趋势，并详细构建了其体系框架。研究聚焦于安全生产标准化六大关键技术，包括管理制度、投入、现场管理、教育培训、应急救援和信息化管理。文末，针对我国建筑工程安全生产标准化现状问题，提出了切实可行的对策，为行业标准化进程提供了理论与实践参考。

关 键 词： 建筑工程；安全生产标准化；体系构建；关键技术；实施策略

Research on Standardization of Safety Production in Construction Engineering

Zhao Xingqi

Ningxia Hongyuan Kairui Municipal Engineering Group Co., Ltd., Guyuan, Ningxia 756000

Abstract： This article comprehensively elaborates on the concept, characteristics, significance, and development trends of standardization of construction safety production, and constructs its system framework in detail. The research focuses on the six key technologies of safety production standardization, including management system, investment, on-site management, education and training, emergency rescue, and information management. At the end of the article, practical and feasible measures were proposed to address the current situation of safety production standardization in construction projects in China, providing theoretical and practical references for the industry standardization process.

Keywords： construction engineering; standardization of safety production; system construction; key technologies; implementation strategy

引言

随着我国经济的快速发展和城市化进程的加快，建筑工程行业取得了举世瞩目的成就。然而，在建筑工程高速发展的背后，安全生产问题日益凸显，事故频发，给人民生命财产安全带来了严重威胁。安全生产是建筑工程行业的生命线，如何提高建筑工程安全生产水平，已成为亟待解决的问题。

建筑工程安全生产标准化是贯彻落实安全生产法律法规、规范建筑市场秩序、提升企业安全管理水平的重要手段。通过对建筑工程安全生产进行标准化管理，有助于构建科学、规范、高效的安全管理体系，从而有效预防和减少事故发生，保障作业人员的安全与健康。

一、建筑工程安全生产标准化与体系

在建筑工程施工建设过程中，安全风险存在于各个阶段和环节中，倘若不能采取有效措施加以应对，容易诱发较为严重的安全事故，破坏建筑施工连续性，危害现场工作人员的生命安全，建筑企业因而蒙受不可估量的经济损失，在社会公众心目中的形象也会骤然坍塌^[1]。

（一）建筑工程安全生产标准化

1. 建筑工程安全生产标准化的界定与内涵对于建筑工程施工安全生产标准化而言，其目的便是加强建筑工程施工管理规范、提高施工期间技术落实标准性^[2]。这一进程不仅涵盖了详细的安全操作规程，更是扩展到了安全管理体系的确立、安全文化的深耕以及持续优化机制的构建。它为建筑工程的安全生产活动提

供了全面而深入的指导与保障，确保了从规划到执行的每一个环节都能在安全的框架下稳健前行。

2. 标准化的核心特性

建筑工程安全生产标准化的精髓可以归纳为四个关键特征：统一性、规范性、持续性和适应性。统一性意味着全国上下对安全生产标准的普遍认可和一致践行，它凝聚了行业的共识，为安全生产奠定了坚实的基础。规范性确保了从策划到执行的每一步安全生产活动都有清晰的标准和程序作为参考，从而降低了操作的随意性和潜在的风险。持续性体现在安全生产标准化并非一成不变，而是一个不断更新和完善的过程，它要求企业持续性地进行资源投入和管理优化。适应性则是指安全生产标准能够灵活应对各种工程特点和施工环境的挑战，展现出其灵活和强大的应变能力。

3. 标准化的重要意义

安全生产标准化对于企业而言，是提升安全管理能力、预防事故发生、确保员工生命安全和身体健康、减少企业风险成本的关键所在。它不仅是企业承担社会责任的具体表现，更是建筑行业走向长效、健康、可持续发展道路的必经途径。通过推行安全生产标准化，企业能够构建一套科学化的安全管理体系，为建筑行业的整体发展和进步贡献力量，确保行业的稳健前行。

4. 标准化的发展路径与展望

我国建筑工程安全生产标准化的发展轨迹，是从早期简单的强制性安全规定，逐渐发展成如今覆盖广泛、层次分明的标准体系。这一进程体现了从片面到全面、从表象到本质的转变。展望未来，安全生产标准化的进步将更加重视信息技术与建筑安全的融合，智能化手段的广泛运用，以及绿色施工理念的深入推广，以迎合新时代建筑行业的潮流与需求^[3]。随着技术革新的不断推进和管理理念的创新升级，安全生产标准化将持续引领建筑行业朝着更安全、更高效、更环保的方向稳步前进。

（二）建筑工程安全生产标准化体系构建与实施

1. 体系框架的构建

构建建筑工程安全生产标准化体系框架是一项复杂的系统工程，其核心聚焦于风险的管理与控制。这一框架需要全方位地囊括政策法规的遵循、组织机构的构建、资源的保障、过程的监控、事故的应对以及持续的优化等关键环节，形成一个相互联系、相互作用的有机整体。在框架的设计过程中，我们追求的是清晰与简洁，确保体系的易操作性与实践性，使其能够在复杂多变的建筑工地上得到有效地运用和执行。

2. 体系内容的深度解析

建筑工程安全生产标准化体系的内容广泛，触及安全生产的每一个角落，涵盖了从目标设定到职责分配，从程序文件到作业指导书，以及应急预案等众多环节。每一部分都需因地制宜，针对实际施工的具体情况，进行周密的规划和精心编制，以保证体系的实用性和针对性。目标设定需具体而明确，职责分配需界限分明，程序文件需详尽无遗，作业指导书需详尽具体，应急预案需切实可行，这些要素共同构筑起一个严密的安全生产标准化体系，为施工现场的安全保驾护航。

3. 体系运行的机制与创新

完善体系运行机制是保障安全生产标准化高效运转的核心。这涉及到构建一个全面的培训与教育体系，以增强员工的安全意识和操作技能；确立一套严格的监督检查流程，确保安全措施得以贯彻实施；设立信息反馈渠道，以便及时发现问题并迅速解决；以及制定激励机制，激发员工主动参与安全生产的积极性。此外，创新是促进体系不断进步的源动力。我们应该提倡运用新技术、新方法，不断提高安全生产的效能，让体系在持续发展中保持其生机与活力，在不断地创新中实现自我超越和发展。

二、建筑工程安全生产标准化关键技术研究

深入挖掘并有效应用安全生产标准化的核心技术，构成了推

动建筑工程安全生产水平稳步提升的核心动力。这些技术的研究与应用，不仅为施工现场筑起了坚固的安全防线，也为整个建筑行业的安全管理提供了科学的方法和手段。

（一）安全生产管理制度标准化

安全生产管理制度标准化，是守护施工现场秩序与安全的基础。这一流程包含从创制到优化的各个阶段，涉及安全生产责任制、安全目标管理、安全例会制度以及安全检查制度等诸多方面^[4]。通过这些标准化管理制度的构建，我们不仅为不同层级的人员界定了清晰的安全职责，而且规范了他们的安全生产行为，保障了安全生产法律法规在现实操作中的切实执行。这样的制度化管理，就如同为安全生产绘制了一幅详细的路线图，引导着每一位工程建设者沿着安全的道路坚定前行。

（二）安全生产投入标准化

安全生产投入的标准化，其精髓在于安全资金的明智分配，确保每一笔投资都能有效地服务于施工现场的安全防护。这就要求我们建立一套清晰、具体的费用提取和使用准则，保障从安全防护设施、个人防护装备到安全培训等各个方面都能获得必要的资金支持。这种标准化的财务投入，不仅有助于提高施工现场的整体安全水准，更是对每位作业人员生命安全的深切尊重和坚实守护。通过这样的投入，我们得以在物质层面构筑起一道坚不可摧的安全屏障，为建筑行业的稳健发展打下坚实的基础。

（三）安全生产现场管理标准化

安全生产现场管理标准化，其核心关注点在于施工现场的安全控制，涉及现场环境的管理、施工工艺的安全性保障，以及机械设备的安全操作等多个层面。通过细致规划和制定统一的现场管理规范及操作流程，我们的目标是营造一个井然有序、风险可控的施工环境，以此显著减少安全事故的发生，保障作业人员的人身安全不受侵害。这些标准和规程，就如同施工现场的守护神，它们为每一位工人的安全提供了坚固的护盾，确保安全生产的理念贯穿于每一项工程任务之中，得以真正落地生效^[5]。

（四）安全生产教育培训标准化

安全生产教育培训的标准化，旨在通过一整套系统的培训流程，全方位提高员工的安全意识和操作技巧。这包括周密规划培训方案、精心准备培训材料，以及设定严格的评估准则，确保每位员工都能熟练掌握关键的安全知识，并具备应对紧急情况的处置能力。这样的教育培训，就如同为员工的安全意识和技能注入了活力，大幅降低了因人为错误导致的安全隐患，为施工现场构建了一道坚固的安全防线。

（五）安全生产应急救援标准化

安全生产应急救援的标准化，是我们在面对突发事件时的一道坚实防线。它涵盖了从应急救援组织的构建，到应急救援预案的制定，再到应急演练的开展等一系列关键环节。这套标准化的应急救援流程，就像是一套精密的应急机制，它能够在事故发生的紧急时刻，确保我们能够迅速、有效地采取行动，最大程度地减轻事故可能带来的损失。这样的标准化流程，不仅为事故处理提供了清晰的指引，更为作业人员的生命安全和企业的财产安全提供了有力保障。

（六）安全生产信息化管理标准化

安全生产信息化管理的标准化，是借助现代信息技术的力量，对安全生产工作进行全方位的实时监控和深入的数据分析。这涉及到构建一套高效的安全生产信息管理系统，确保安全数据的及时收集、精准处理，以及安全信息的高效传递。通过这样的信息化管理，我们不仅提升了安全生产的智能化程度，更为决策层提供了基于数据的科学依据。这套标准化的管理体系，就像是一双洞察施工现场的慧眼，它让安全生产的每一个细节都变得透明，让决策变得更加精准和高效。

三、建筑工程安全生产标准化实施策略

在建筑工程的广阔天地中，安全生产标准化的推行，标志着从抽象的安全理念向具体实践操作的转变。政府部门承担着制定和发布相关法律法规的使命，这些法律条文构成了安全生产的法治基石，而严格的监管措施则是确保这些法规得以落实的保障。在企业层面，建立健全的安全生产责任制是必要之举，这不仅意味着安全生产标准化要从理论走向实际应用，更要求企业不断地自我检查和优化提升。

同时，社会监督的力量和媒体的引导作用不容小觑。加大安全生产的宣传力度，提高公众对安全生产的认识，对于营造安全生产的社会氛围至关重要。构建一个科学的评价体系，对企业的安全管理进行量化考核，这不仅是一把衡量企业安全水平的尺子，更是推动企业在安全管理上不断追求卓越、实现自我超越的关键动力。

安全生产标准化的重要性在于，它将安全生产的各个环节串联起来，形成了一个完整的管理闭环。从法规的制定到企业的执行，从社会的关注到媒体的宣传，每一步都紧密相连，共同织就了一张保护工人生命安全和身体健康的坚实网络。这张网络的有效运作，不仅依赖于各方的共同努力，更在于持之以恒地改进和

创新，确保安全生产的脚步始终紧跟时代发展的步伐。

为了使安全生产标准化真正被大众接受并扎实落地，我们必须实施一系列切实可行的策略。定期开展安全生产的培训和宣传活动，目的是在全体员工中培养和强化安全防范的意识。创建安全生产标准化的示范项目，不仅是为了展示成功的案例，更是为了让其他企业能够从中吸取教训，复制和推广这些有效的做法。推出一系列激励措施，旨在激发和引导企业主动拥抱安全生产标准化。同时，建立一个信息共享的平台，以促进企业间的相互学习和合作，共同提高安全管理的水平。加大监督检查的力度，确保安全生产的每一项措施都能得到切实地执行。

四、我国建筑工程安全生产标准化存在的问题与对策

在推进建筑工程安全生产标准化的过程中，我国面临着多重挑战，包括安全意识薄弱、法律法规执行不力、安全生产投入不足、安全管理制度不健全、信息化管理水平低和应急救援能力不足。为应对这些挑战，我们建议加强安全教育培训，提高安全意识；政府部门应加强监管，严格执行法律法规；企业应确保安全生产资金投入，完善安全设施；建立健全安全管理制度，形成长效机制；推进信息化建设，提高安全生产管理水平；以及制定科学合理的应急救援预案，提升应急响应能力。

结束语

安全生产标准化对于建筑行业的健康发展至关重要。本文综合分析了建筑工程安全生产标准化的理论与实践，探讨了实施策略，并对我国面临的问题提出了对策。期望这些成果能为政策制定者、企业管理者和施工人员提供参考，共同推动安全生产标准化工作。安全生产，责任在肩。让我们共同努力，为营造一个更安全、更和谐的建筑工程施工环境而奋斗。

参考文献

- [1] 侯玉玲. 关于推进建筑安全生产标准化的对策分析 [J]. 居业, 2023, (06): 176-178.
- [2] 白斌. 建筑工程施工安全生产标准化建设探讨 [J]. 大众标准化, 2023, (07): 98-99+102.
- [3] 王洪斌. 信息化技术在建筑工程安全管理中的应用探讨 [J]. 大众标准化, 2022, (22): 161-163.
- [4] 赵航正. 建筑工程安全标准化建设在安全生产中的作用研究 [J]. 中国高科技, 2022, (09): 100-101.
- [5] 王胜波. 标准是保证工程质量安全的基石 [J]. 工程建设标准化, 2021, (10): 39-42. DOI: 10.13924/j.cnki.cecs.2021.10.008.

房建工程中的施工现场管理与效率提升

王存科

宁夏鸿源凯瑞市政工程集团有限公司，宁夏 固原 756000

摘 要： 本文详述了房屋建筑施工管理的要点与策略。先是概述了现场管理的职责、原则及其与安全生产标准化的关系。之后，列举了安全生产的具体措施，如责任制、教育培训、安全巡查和事故应急处理。紧接着，提出了提升施工效率的方法，如优化设计、技术应用、信息化和绿色施工。文章还指出了当前管理面临的挑战，并提出了完善法规、增强安全意识、提升管理水平和增加安全投入等对策。

关 键 词： 房建工程；施工现场管理；效率提升；安全生产责任制

Construction Site Management And Efficiency Improvement In Housing Construction Projects

Wang Cunke

Ningxia Hongyuan Kairui Municipal Engineering Group Co., Ltd., Guyuan, Ningxia 756000

Abstract： This article elaborates on the key points and strategies of building construction management. Firstly, the responsibilities, principles, and relationship with safety production standardization of on-site management were outlined. Afterwards, specific measures for safety production were listed, such as accountability system, education and training, safety inspections, and emergency response to accidents. Subsequently, methods to improve construction efficiency were proposed, such as optimizing design, applying technology, informatization, and green construction. The article also points out the challenges facing current management and proposes countermeasures such as improving regulations, enhancing safety awareness, improving management level, and increasing safety investment.

Keywords： building construction project; construction site management; efficiency improvement; safety production responsibility system

引言

随着城市化进程的加快和建筑行业的蓬勃发展，房建工程在国民经济中的地位日益显著。然而，施工现场作为房建工程的重要组成部分，其管理水平和效率直接关系到工程项目的质量、进度、成本和安全生产。近年来，施工现场管理问题频发，不仅影响了工程建设的顺利进行，也对施工人员的生命财产安全构成了威胁。因此，如何提高施工现场的管理水平，确保建筑工程安全生产标准化，已成为业界关注的焦点。

一、房建工程施工现场管理概述

房建工程作为城市基础设施的重要组成部分，是国家经济发展的重要支柱。为了保证每一项房建工程都能达到高质量、高效率的标准，应加强对施工技术和现场施工管理的深入分析。施工技术是房建工程的基石，而现场管理则是确保工程顺利进行、达到预期施工质量效果的指南针^[1]。

（一）施工现场管理的主要内容

施工现场管理涵盖了从工地规划、资源配置到施工过程控制的一系列复杂活动。其主要内容包括：施工现场的平面布置与规划，确保施工场地合理利用，材料设备的有序存放；施工进度的

监控与调整，确保工程按计划推进；质量控制，保障施工质量满足设计要求；成本控制，合理分配资源，降低浪费；安全生产管理，预防事故发生，保障人员安全；环境保护，减少施工对环境的影响；以及与施工相关的各方协调，确保信息畅通，决策高效。

（二）施工现场管理的基本原则

有效的施工现场管理，其基石在于遵循一系列核心原则。首当其冲的是科学合理，这意味着每项管理决策都应建立在坚实的科学基础之上，与工程实际情况相吻合。紧接着是标准化原则，它要求我们严格遵循国家及行业制定的一系列规范和标准，确保管理的规范性。再来是预防为主方针，这强调的是在管理

工作中，应当将重心放在事前的控制和预防上，而非事后的亡羊补牢。最终，持续改进的理念不可或缺，它鼓励我们不断从实践中汲取教训，对管理流程进行优化，从而不断提高我们的管理水平。

（三）施工现场管理与安全生产标准化的关系

施工现场管理是安全生产标准化的具体体现和实施载体。安全生产标准化为施工现场管理提供了明确的指导和规范，确保了施工现场的各项活动能够在安全的前提下进行^[2]。反过来，施工现场管理的有效实施又能促进安全生产标准化的落实，两者相辅相成，共同构成了房建工程施工安全的重要保障。在实际操作中，施工现场管理必须紧密结合安全生产标准化要求，通过制度建设、教育培训、现场监控等手段，确保安全生产标准化的贯彻执行。

二、施工现场安全生产管理措施

安全生产是施工现场管理的重中之重，它直接关系到每一位施工人员的安全和企业的生存发展。

（一）安全生产责任制落实

安全生产责任制的精髓在于清晰界定每位管理人员和施工人员在安全生产中的职责，确保“责任到人，各司其职”。企业需先构建一个完善的安全生产责任网络，将安全生产的目标细致分配至每个岗位，并将其与绩效评估紧密相连。接着，项目经理作为现场管理的首要责任人，应当亲自指挥安全生产工作，确保各项安全措施得以切实执行。

（二）安全生产教育与培训

培养安全意识和掌握安全技能是预防事故的核心。企业应当定期举办安全生产的培训和教育，课程内容应涵盖安全相关的法律法规、岗位特定的安全操作技巧，以及事故案例的深入分析等^[3]。培训应注重实际效果，采取多样化的教学方式，如现场操作示范、模拟应急演练、互动交流等，旨在提升员工的安全意识和应对突发情况的能力。

（三）施工现场安全检查与隐患排查

定期的安全检查和隐患排查是确保施工现场安全的重要手段。企业应制定详细的安全检查计划，对施工现场进行全方位、无死角地检查。对于发现的安全隐患，要立即下发整改通知，限时整改，并跟踪复查，确保整改到位。

（四）事故应急预案与处置

事故应急预案是应对突发安全事故的必要准备。企业应根据工程特点和潜在风险，制定科学、实用的事故应急预案，并定期组织应急演练，检验预案的可行性和有效性。一旦发生事故，应立即启动应急预案，迅速、有效地进行处置，最大限度地减少事故损失^[4]。事后，应认真开展事故调查，总结教训，防止类似事故再次发生。

三、施工现场效率提升策略

在竞争日益激烈的市场环境中，提升施工现场的效率不仅是

提高企业竞争力的关键，也是推动建筑行业可持续发展的必要条件。

（一）优化施工组织设计

优化施工组织设计是提高施工现场效率的基础。企业需根据工程的具体情况和施工条件，精心规划施工流程，剔除多余的施工步骤，保障施工进度的流畅。之后，应合理分配人力资源，推行专业化的工作分工，以提升施工人员的操作技巧和熟练度。同时，还需对物料供应和仓储管理进行优化，确保材料设备的及时到位，减少不必要的等待和搬运时间。

（二）采用先进施工技术与工艺

采用尖端的施工技术和工艺是提升施工效率的关键路径。企业应主动接纳和推广新颖的技术与工艺，比如装配式建筑、建筑信息模型（BIM）技术、智能化施工机械等^[5]。这些先进技术的运用，不仅能显著加快施工进度和提高工程质量，还能有效减轻工人的劳动强度。

（三）施工现场信息化管理

信息化管理技术为施工现场带来了翻天覆地的变革。构建信息化的管理体系，使得施工数据的实时收集、分析与处理成为可能，极大地提升了决策的效率。例如，借助建筑信息模型（BIM）技术，我们可以在施工前进行模拟和碰撞检测，预见并解决潜在问题；同时，通过移动设备和云平台的运用，现场管理变得更加便捷，项目信息得以迅速传递和共享。

（四）绿色施工与节能减排

绿色施工不仅是顺应环保趋势的举措，也是提高施工现场效率的关键策略。企业应当积极推广节能减排的技术和措施，比如选用节能型建筑材料、优化施工中的能源使用结构、推动废物资源的循环再利用等。绿色施工能够有效减少资源的浪费和环境的污染，同时也能提升企业的社会声誉和经济效益。

四、我国房建工程施工现场管理与安全生产标准化存在的问题

尽管我国在房建工程施工现场管理与安全生产标准化方面取得了一定的进展，但在实际操作中仍存在诸多问题。

（一）政策法规与标准体系不完善

在我国房屋建筑领域，政策法规和标准体系尚存缺陷。一方面，一些现行的法律法规未能跟上行业发展的步伐，无法为当下的建筑施工管理提供有力的指导；另一方面，标准体系尚未健全，对于一些新兴的施工技术和方法，缺乏必要的标准支撑^[6]。

（二）企业安全生产意识薄弱

在众多企业中，安全生产意识的淡薄已成为一个普遍现象。一些企业过分追逐利润，将安全生产的重要性抛诸脑后，使得安全管理制度成为一纸空文。另外，还有企业在安全生产上的投入远远不够，缺少持续有效的安全管理机制，使得安全生产仅仅停留在表面，未能真正落到实处。

（三）施工现场管理不规范

在许多施工现场，管理的不规范现象屡见不鲜。管理体系的

漏洞显而易见,缺乏有效的监督和考核制度,导致管理的成效难以得到保障。施工人员的安全意识和操作技能存在较大差异,这使得保障施工安全变得尤为困难。现场环境的混乱不堪也是一大问题,材料随意堆放,安全隐患无处不在,如同潜伏的危机,随时可能触发灾难^[7]。这些管理上的疏漏和行为上的不规范,不仅对施工现场的安全构成了严重威胁,也大大拖慢了工程效率。

(四) 安全生产投入不足

资金在安全生产上的短缺,成为施工现场管理水平提升的一大障碍。部分企业为了节省开支,在安全设施、个人防护装备以及安全培训上的投入显得吝啬,这使得施工现场的安全防护措施难以落实。这种只看眼前利益的做法,不仅提高了事故发生的可能性,也与企业长远发展的目标背道而驰。要解决安全生产投入不足的问题,必须从企业文化和经营理念上进行深刻的反思和本性地改变。

五、对策与建议

针对我国房建工程施工现场管理与安全生产标准化存在的问题,将提出一系列具有针对性的对策与建议^[8]。从完善法规标准体系,到提升企业安全生产意识,再到提高施工现场管理水平以及加大安全生产投入,旨在为行业的健康发展提供切实可行的解决方案。

(一) 完善相关政策法规与标准体系

为了进一步规范房屋建筑工地的管理,首要任务是完善相关的法规政策和标准体系。政府部门应当定期对法律法规进行审视和更新,以保证其与建筑行业的进步步伐保持一致。同时,必须加大对新兴施工技术和方法的标准化研究力度,及时推出技术规范和操作指南^[9]。此外,还应激励行业协会和企业共同参与到标准的制定中来,共同构建一个更加科学、实用的标准框架。

(二) 加强企业安全生产意识

提升企业的安全生产意识,是保障施工现场安全的核心所

在。企业必须确立“安全至上”的信念,将安全生产的理念深植于企业文化与核心价值观之中。通过持续的安全教育和训练,员工的安全意识将得到显著增强。同时,企业的高层管理者应当身体力行,对安全生产的每一个细节给予高度重视,并确保安全管理制度能够得到切实有效地执行。

(三) 提高施工现场管理水平

提高施工现场的管理水平,需采取综合措施。企业需构建一个全面的施工现场管理体系,涵盖施工组织规划、现场协调、质量监管、安全巡视等关键环节。同时,应推广先进的管理手段,例如应用建筑信息模型(BIM)技术、实施信息化管理,以此提升施工现场的透明度和作业效率。此外,还需加大对施工现场的监管力度,确保每一项管理措施都能切实执行,不流于形式。

(四) 加大安全生产投入

安全生产的投入,是守护施工现场安全的根本。企业需明智地规划预算,确保用于安全生产的资金充足。这涵盖了安全设施的采购与保养、个人防护装备的配备,以及安全教育的提供^[10]。增加这些投入,企业不仅能有效降低事故发生的风险,还能提升施工的品质与效率,为企业的持续发展奠定坚实基础。同时,政府亦应扮演推动者的角色,通过减免税负、提供财政补助等手段,激励企业加大对安全生产的投入力度。

结束语

安全是建筑行业的生命线,效率是企业发展的动力源。只有将安全生产和效率提升有机结合起来,才能确保工程项目的顺利实施,保障施工人员的生命安全,实现企业的长远发展。未来,我们仍需不断探索和实践,创新管理方法,提升技术水平,以期在施工现场管理与安全生产标准化方面取得更加显著的成效。让我们携手努力,为构建更加安全、高效、环保的建筑工程施工环境而不懈奋斗。

参考文献

- [1] 赵东洋. 房建工程施工技术与现场施工管理的分析[J]. 中国建筑装饰装修, 2024, (06): 116-118.
- [2] 郭红钰. 施工现场管理方法在房建工程质量控制中的作用[J]. 大众标准化, 2024, (04): 25-27.
- [3] 范协永. 建筑房建工程施工现场安全管理研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (04): 44-46. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202404014.
- [4] 周丽梅. 房建工程质量控制中施工现场管理[J]. 石材, 2024, (02): 76-78. DOI: 10.14030/j.cnki.scaa.2024.0073.
- [5] 党婷婷. 房建工程施工技术及现场施工管理分析[J]. 中国住宅设施, 2023, (04): 109-111.
- [6] 康长青. 房建工程施工现场安全生产文明施工管理现状及对策[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2022, (32): 76-78.
- [7] 王长辉. 房建工程施工阶段的质量控制[J]. 中国建筑装饰装修, 2022, (18): 145-147.
- [8] 吴楠. 关于房建施工现场管理的要点分析[J]. 建筑与预算, 2022, (08): 4-6. DOI: 10.13993/j.cnki.jzyys.2022.08.002.
- [9] 田茂盛. 试析房建工程质量控制中的施工现场管理[J]. 居舍, 2022, (20): 148-151+155.
- [10] 邱亮. 房建工程施工现场管理的问题与解决措施研究[J]. 陶瓷, 2022, (05): 172-174. DOI: 10.19397/j.cnki.ceramics.2022.05.030.

高寒地区冬季新老混凝土结合处理技术

李皓, 邓文明, 陈航, 赵建刚, 王滨

水电九局西藏建设工程有限公司, 西藏 拉萨 850000

摘要： 本研究深入分析了高寒地区冬季混凝土施工的挑战，探讨了恶劣气候对混凝土性能的影响，并提出了相应的材料选择和冻害预防策略。文章详细介绍了冬季新老混凝土快速粘结技术，包括粘结材料的选择、界面处理方法及粘结效果的评估，并对技术进行了冬季优化。此外，研究还描述了快速施工的关键环节，并通过案例验证了技术的有效性。最后，展望了新技术和新材料在冬季混凝土施工中的应用前景，强调了绿色环保施工技术的重要性。

关键词： 高寒地区；冬季混凝土；新老混凝土结合；快速粘结技术；施工技术

Winter Combined Treatment Technology For New And Old Concrete In High-Altitude Regions

Li Hao, Deng Wenming, Chen Hang, Zhao Jiangang, Wang Bin

Xizang Construction Engineering Co., Ltd. of Sinohydro Bureau 9, Lasa, Xizang 850000

Abstract： This study deeply analyzes the challenges of winter concrete construction in high-altitude regions, explores the impact of harsh weather on concrete performance, and proposes corresponding material selection and frost damage prevention strategies. The article provides a detailed introduction to the rapid bonding technology of new and old concrete in winter, including the selection of bonding materials, interface treatment methods, and evaluation of bonding effects, and optimizes the technology for winter. In addition, the study also described the key steps of rapid construction and verified the effectiveness of the technology through case studies. Finally, the application prospects of new technologies and materials in winter concrete construction were discussed, emphasizing the importance of green and environmentally friendly construction techniques.

Keywords： high-altitude regions; winter concrete; combination of new and old concrete; rapid bonding technology; construction technique

引言

随着我国基础设施建设的不断推进，高寒高海拔地区的工程建设项目日益增多。这些地区特殊的气候条件，尤其是冬季的低温、冻融循环等，对混凝土结构的施工和质量提出了更高的要求。在冬季施工中，如何确保新老混凝土的有效结合，提高施工效率，保证工程质量，已成为工程界面临的重要课题。

传统的混凝土施工技术在低温环境下存在诸多问题，如混凝土强度增长缓慢、新老混凝土粘结性能下降、冻害风险增加等。这些问题不仅影响了工程进度，还可能导致结构安全隐患。因此，研究和开发适用于高寒地区冬季新老混凝土结合处理的技术具有重要意义。

一、高寒地区冬季混凝土特性分析

在高寒地区的冬季，混凝土的施工与维护面临着独特的挑战。本章节将深入探讨气候环境对混凝土性能的影响，解析冬季混凝土材料的选择标准，以及混凝土冻害的机理和预防措施，为实际工程提供理论依据和实践指导。

（一）气候环境对混凝土性能的影响

在混凝土施工中，混凝土的强度和抗渗性对施工质量和项目使用年限都有着直接的影响，这对于高原地区尤其重要。高原地区大气压较低、温度低、湿度高，对混凝土强度和抗渗性有着更高要求。在实际施工过程中，要结合实际工况合理设计施工方案

和养护方案，以更好地保证施工质量^[1]。而在高寒地区，冬季的严寒气候同样给混凝土的性能带来了显著的挑战。极低的温度减缓了水泥的水化过程，使得混凝土的强度增长变得缓慢，甚至可能停滞不前。此外，低温还使得混凝土变得更为脆弱，其抗裂性能随之下降。更为严重的是，冻融循环会在混凝土内部形成微裂缝，这些裂缝的扩展不仅降低了混凝土的耐久性，也对其结构完整性造成了损害。

（二）冬季混凝土材料的选择与要求

在寒冷的高寒地区，冬季的极端气候对混凝土的性能和耐久性构成挑战。因此，在选择混凝土材料和设计配比时，必须采取一系列措施来应对这些极端条件。选用抗冻水泥、使用高性能外

加剂、选择密实骨料和考虑纤维增强，这些措施可以增强混凝土的抗冻性和结构强度，确保在冬季条件下保持稳定。

（三）混凝土冻害机理及预防措施

在寒冷环境中，混凝土的冻害通常是由于内部水分冻结时产生的膨胀应力超过其抗拉强度，导致裂缝的产生和扩展。为了防止这种现象，关键在于控制混凝土的含水量，采用低水胶比设计，减少可冻结的水分含量，从而降低冻害的风险^[2]。同时，优化混凝土的配合比，提高其密实性和抗渗性，有助于减少水分的渗透，进一步减少冻害的可能性。采取有效的保温措施，如使用保温毯或搭建暖棚，可以保护混凝土在达到一定强度之前免受冻害的影响。合理安排施工时间，避免在极端低温条件下进行混凝土浇筑，也是预防冻害的重要措施。

二、新老混凝土快速粘结技术

新老混凝土的结合是工程修复和改造过程中的一个关键环节，其成功与否直接关系到工程的整体质量和使用寿命。

（一）粘结材料的选择与应用

选择合适的粘结材料是实现新老混凝土有效结合的关键。在低温环境下，粘结材料应具备良好的适应性、施工性和耐久性。适应性方面，应选择能在低温下正常固化且具有良好粘结性能的材料，如环氧树脂类粘结剂。施工性方面，材料应易于搅拌、涂抹且凝固时间适中，以便在冬季施工中顺利进行。耐久性方面，粘结材料应能抵抗冻融循环和化学侵蚀，确保长期的结构稳定。在使用过程中，必须严格按照材料说明书进行配比和施工，以确保粘结效果^[3]。

（二）新老混凝土界面处理技术

在建筑和施工领域，确保材料之间牢固粘结的秘诀在于精心的界面处理。这个过程要求先对粘结表面进行彻底的清洁作业，采用高压水枪清洗或者喷砂技术来剔除油脂、残留的浮浆以及松散的颗粒，以露出干净、坚实的基底。随后，通过凿毛或打磨等物理方法增加表面的粗糙度，这样做不仅增大了粘结的实际接触面积，而且有助于提高粘结的稳固性。

完成上述步骤后，紧接着是涂抹界面处理剂，这是一种专为此目的设计的化学物质。它的作用是进一步强化粘结面，使其与即将涂抹的粘结材料之间形成更加牢固地结合。

（三）粘结效果的检测与评价

拉拔试验，作为一种直观且有力的检测手段，通过逐步增加的拉力来测定粘结层的强度，进而判断粘结的质量与可靠性。软化系数测试则着眼于粘结材料在潮湿环境中的表现，通过对比材料在干燥与湿润两种状态下的强度差异，来评估其性能的稳定性。至于冻融循环试验，它模拟了冬季的严酷气候，通过不断地冻结与融化循环，考验粘结材料在极端温度变化下的耐受性和持久性。这些检测方法各具特色，共同构成了评价粘结效果的重要体系，它们的运用为工程的长久稳固提供了坚实的保障。

（四）冬季施工条件下粘结技术的优化

在冬季的严寒之下，粘结工作遭遇了前所未有的挑战。为

了确保施工质量，采取一系列精心设计的优化措施变得尤为迫切^[4]。保温施工成为保障粘结品质的首要任务。在寒风的侵袭中，通过为施工区域提供必要的加热，我们能够维持粘结材料固化的理想温度，避免因气温骤降而导致的粘结强度减弱。紧接着，巧妙规划施工时间，尽量将粘结作业安排在阳光较为充足、气温相对暖和的白天进行，这样不仅能够借助自然界的温暖提升材料的活性，还能减少对人工加热的依赖。最后，不要忽视了粘结材料的预热处理，这一步骤在低温环境中尤为关键，它能够显著提高材料的流动性，使得粘结作业更加顺畅，最终达到预期的粘结效果。

三、冬季新老混凝土快速施工技术

冬季的施工环境尤为严峻，低温、霜冻以及恶劣的气候条件为建筑施工带来了额外的挑战，特别是对于新老混凝土的结合工作，更是提出了更为严格的要求。

（一）施工前准备

1. 施工方案的精心制定

为确保冬季施工的顺利进行，我们将根据工程特色和冬季气候特性，精心策划一套全面施工方案。此方案将深入阐述施工方法、技术手段、材料选用及紧急应对措施，确保施工过程中的每一步都规范有序^[5]。同时，我们将明确标识施工的关键节点和时间表，保障工程从筹备到完成的每阶段都能按部就班，有效防止因规划不足引起的施工延滞。

2. 材料与设备的充分筹备

为迎接冬季施工的挑战，我们提前采购了适应低温环境的混凝土、粘结剂、保温材料等施工必需品，并对这些材料执行了严格的质量检验，以保障它们满足施工的严格标准。同时，我们准备了充足的施工设备，包括凿毛机、搅拌机、泵车等，并实施了必要措施，确保这些设备在寒冷气候下依然能够稳定高效地运转。

3. 施工人员的专业培训与安全措施的落实

为确保冬季施工的安全与效率，我们对施工人员进行专业的技术培训，深入讲解了施工关键点和安全操作规程，确保每位员工都能熟练掌握必要的施工技能。同时，我们为施工人员配备了保暖衣物、防滑鞋等个人防护装备，并制定了全面的安全事故预防及处理措施，以保障施工过程的安全性，让每一位员工都能在安全的环境中工作^[6]。

（二）施工工艺流程

在冬季施工中，速度与效率至关重要，以下是一些关键步骤的快速施工方法：

使用高效的凿毛设备对原有混凝土进行快速凿除，操作时注意减少对周边结构的振动和损害。随后，对凿除后的界面进行彻底清理，去除灰尘、油污和积水，然后均匀涂抹界面剂，以增强新旧材料之间的粘结力。之后，在环境温度适宜的情况下，迅速调配粘结剂并尽快进行涂抹，严格控制涂抹的均匀性和厚度，以确保粘结效果。

在粘结剂尚未完全固化前，争分夺秒地进行新混凝土的浇筑作业。利用泵车等设备提高浇筑效率，同时采用适当的振捣方法，确保混凝土密实无气泡，并小心操作以避免破坏粘结层。混凝土浇筑完成后，立即采取保温措施，如覆盖保温毯或搭建暖棚，防止新浇筑的混凝土因低温而受冻^[7]。根据混凝土强度的发展情况，适时调整养护时间和方法，确保混凝土达到预期的强度标准。

（三）施工质量控制与安全保障

1. 质量控制措施

在整个施工阶段，持续的质量监控扮演着至关重要的角色。对粘结层以及新浇筑混凝土的细致检查，是确保每一个细节都严格符合设计规范的关键步骤。这些检查不仅是对工程质量的保障，也是对施工标准的尊重。通过精确执行的拉拔试验和软化系数测试等先进评估技术，得以深入洞察粘结层的稳固性和混凝土的强度表现。这些专业的测试方法，提供了关于材料性能的详实数据，从而能够及时发现并解决潜在问题，确保整个结构的耐久性和可靠性。

2. 安全防护措施

在施工现场，安全始终是我们坚守的首要原则。安全标识需鲜明醒目，确保每一位在场人员都能清晰识别。施工设备必须保持最优的安全性能，同时，操作人员应不折不扣地遵循安全规程。鉴于冬季施工所面临的独特挑战，我们更应加强防滑、防冻、防风等安全防范措施，确保施工现场每一位同仁的生命安全和身体健康^[8]。

3. 施工进度管理

精心规划施工进度是项目成功的关键所在。通过细致编排的时间管理，我们确保了施工过程中的每一步骤都能紧密衔接，有效减少了任何不必要的施工停滞。在坚定不移地执行既定施工方案的同时，我们也保持着进度计划的灵活性，以应对冬季施工中可能出现的各种不确定性和突发状况。

四、新技术、新材料在冬季新老混凝土结合处理中的应用前景

随着材料科学和施工技术的不断进步，新技术和新材料为冬

季新老混凝土结合处理带来了新的可能性。

（一）先进粘结材料的研究与应用

纳米技术的融入，为粘结材料带来了革命性的改进。在严寒的冬季施工条件下，这些材料展现出了非凡的粘结力和持久的稳定性。研究者的目光正聚焦于纳米改性粘结剂，它们在恶劣气候下的卓越表现令人瞩目。同时，环氧树脂的改良也不甘落后，新型低温快速固化环氧树脂的诞生，不仅大幅缩短了施工所需时间，更在保持其固有特性的基础上，提升了极低温度下的作业效率^[9]。

（二）快速施工技术的创新与发展

随着科技的进步，施工现场迎来了无人机、机器人等智能化的施工设备，它们带来了精准的操作，大幅加快了施工进度并提升了工程质量。这些先进的设备即便在不利天气中也能保持一贯的稳定性，有效减少了因人为操作不当带来的风险。此外，施工技术的革新，比如预制构件的应用和3D打印混凝土技术的采用，开辟了快速施工的新途径。通过对施工流程的精简和优化，现场作业时间得以大幅缩短，施工效率因此得到了显著提升。

（三）绿色、环保型混凝土施工技术的探索

绿色混凝土的运用越来越广泛，它通过采用再生骨料和高性能配方，显著降低了对自然环境的压力。在寒冷的冬季，这种环保型混凝土同样能够展现出其卓越的施工性能，坚定不移地贯彻了可持续发展的原则^[10]。此外，环保施工技术正逐步成为建筑行业的标准做法，采纳了如太阳能加热和节能机械等绿色设备，这些措施有效降低了施工过程中的噪音和污染，减少了废物的产生，为维护我们生态系统的平衡做出了积极贡献。

结束语

展望未来，新技术和新材料的应用将进一步推动冬季混凝土施工的进步，提升施工效率和工程质量，同时也符合绿色环保的发展趋势。然而，技术的实际应用仍需在实践中不断优化和调整，以确保工程质量和经济效益的双重目标。总之，本文的研究成果为高寒地区冬季新老混凝土结合处理技术的发展提供了有力的支持，期待这些技术在未来的工程实践中发挥更大的作用，为我国基础设施建设和环境保护做出更大的贡献。

参考文献

- [1] 袁孟. 高原地区气候环境对混凝土强度和抗渗性的影响[J]. 工程建设与设计, 2021,(15):134-136.DOI:10.13616/j.cnki.gcjsysj.2021.08.041.
- [2] 周焱斌, 夜鹏飞. 玄武岩纤维混凝土补强新老混凝土粘结性能试验研究[J]. 广东土木与建筑, 2023,30(09):103-106.DOI:10.19731/j.gdntmyjz.2023.09.027.
- [3] 云辉. 新老混凝土结合界面粘结性能研究综述[J]. 中国水运(下半月), 2022,22(10):159-160.
- [4] 王丹薇. 冻融循环和界面剂对新老混凝土接触面抗剪性能的影响[J]. 吉林水利, 2022,(09):55-58.DOI:10.15920/j.cnki.22-1179/tv.2022.09.012.
- [5] 李安宁静, 李琪, 张馨月, 等. 新老混凝土结合面劈拉强度影响因素统计分析[J]. 建筑结构, 2022,52(S1):1446-1449.DOI:10.19701/j.jzjg.22S1125.
- [6] 许艳松. 切槽与植筋对新老混凝土黏结面抗剪性能试验研究[J]. 山西交通科技, 2021,(06):22-25.
- [7] 林拥军, 徐文强, 张显昭, 等. 设置锚筋的新老混凝土结合面抗剪机理及黏结强度计算[J]. 工业建筑, 2021,51(06):72-83.DOI:10.13204/j.gyjzg.20080511.
- [8] 张振光, 赵慧玲, 姚旭鹏. 地基沉降对箱涵新老混凝土结构结合面的影响[J]. 上海建设科技, 2020,(05):18-20+34.
- [9] 牛朝乾, 李粤. 纤维对新老混凝土结合面抗剪性能的影响[J]. 中国水运(下半月), 2020,20(07):153-154.
- [10] 谭恺炎. 提高混凝土结合界面黏结力的新材料研究与工程实践[J]. 大坝与安全, 2020,(02):52-57.

火电机组发电厂电气设备预防性维护策略研究

张杨

中电投蒙东能源集团有限责任公司通辽发电总厂, 辽宁 阜新 028011

摘 要 : 在电力系统中, 火电机组与电厂是两个相对独立的整体, 在电力系统中, 发电机、变压器是两种重要的装置, 所以对它们的预防维修尤为重要。用电设备的可靠性是保障电网安全运行的关键, 为了防止因电器故障影响电网的正常运转, 需要对其进行预防性维修。为此, 文章对预防维修的必要性进行了论述, 并对其重要性进行了分析, 并给出了相应的对策。

关 键 词 : 火电机组; 发电厂; 电气设备; 预防性维护

Study On Preventive Maintenance Strategy Of Electrical Equipment In Thermal Power Plant

Zhang Yang

China Power Investment Mengdong Energy Group Co., LTD. Tongliao Power Plant, Fuxin, Liaoning 028011

Abstract : In the power system, the thermal power unit and the power plant are two relatively independent whole, in the power system, the generator, transformer are two important devices, so the prevention and maintenance of them is particularly important. The reliability of electrical equipment is the key to ensure the safe operation of the power grid. In order to prevent the normal operation of the power grid, preventive maintenance is needed. Therefore, this paper discusses the necessity of preventive maintenance, and analyzes its importance, and gives the corresponding countermeasures.

Keywords : thermal power unit; power plant; electrical equipment; preventive maintenance

引言

随着社会的发展和经济的持续发展, 对电力的需求量日益增加, 而人类的生产和生活对电力的依赖性也日益增强。而对火力发电厂而言, 电力设备是其工作中的一个重要部分, 它在电厂的生产过程中扮演着非常重要的角色, 所以, 对其进行预防性维修是非常必要的。

一、火电机组发电厂电气设备预防性维护的必要性

1. 保障电力供应的稳定性

火力发电厂用电设备在使用中易发生各类故障, 一旦发生故障, 将导致供电不稳, 给人民生产和生产生活带来极大的危害。而定期对用电设备进行预防性维修, 则能有效地降低这类事故的发生率, 确保发电厂供电的稳定。通过对电力设备的预防性维修, 可以使电力设备中存在的隐患和隐患得到及时的处理, 防止因故障而造成的危害。同时, 在日常的检修工作中, 还存在着许多问题, 如不能及时发现和处理, 将直接影响到电站供电的稳定运行。

2. 降低设备故障发生率

火力发电厂用电设备的故障可分为两类: 一类是人的故障引起的; 另一类是由电器本身的故障引起的。由人为原因引起的故

障, 主要是由人为失误造成的, 例如: 操作失误、人为失误等。这些问题不仅会使设备不能正常工作, 还会对电厂的正常生产造成很大的影响。就电气设备自身的故障而言, 其主要表现为设备自身的缺陷与异常。就设备自身的问题而言, 它将使设备运行异常, 不能正常工作, 进而引起电器设备的故障。^[1] 因此要降低电气设备的故障发生率就要做好预防性维护工作。

3. 延长设备使用寿命

在火力发电厂的生产过程中, 用电设备占有很大的比重, 其使用寿命直接影响着电站的生产效率与效益, 因此, 对电力设备的预防维修应给予足够的重视。而电器设备的寿命与其结构、材料、工艺等密切相关, 维修时若忽视这些因素, 将导致设备老化, 达不到使用要求。所以要对电器设备进行定期的检测与维修, 对不合格的元器件, 材料, 工艺等, 视工作状况而定, 从而达到延长电器的寿命的目的。另外, 对某些关键用电设备, 例如

作者简介: 张杨 (1984年2月), 男, 汉族, 辽宁省阜新市, 本科, 工程师, 火力发电厂电气设备检修

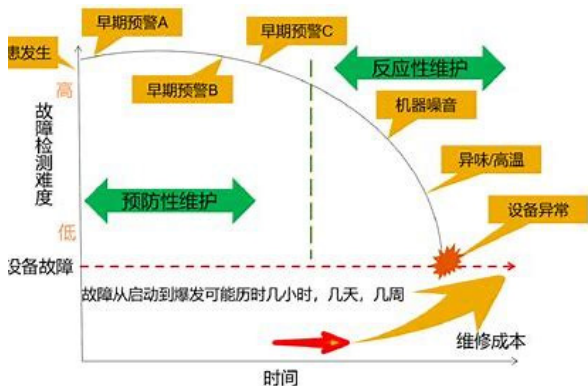
开关等，也要严格按规范要求进行维修保养，防止因维修不当造成的安全事故发生。同时要注意对一些设备进行定期更换部件、调整安装位置等，以保证电气设备能够正常运行。

4. 提高发电厂运行效率

发电厂在工作过程中，有许多电器设备在运转，例如：电机、变压器、发电机等，它们的正常运转直接关系到电厂的经济效益，也关系到发电厂的安全，所以，在检修过程中，必须要采取切实的措施，以提高机组的工作效率。例如：在对发电机进行维修时，要保证发电机的功率在规定的范围之内，对变压器进行适当的控制，并通过优化管理体制等手段，使电厂用电设备的工作效率得到提升。另外，也要对电力设备进行定期的运行情况检查，对出现的问题进行及时的处理。

5. 减少维修成本和停机损失

火电厂用电设备故障率高，所以必须对其进行定期检修。然而，发电厂的电气设备发生故障的原因很多，仅靠检修、维护来提高其寿命是不切实际的。所以，发电厂在对电力设备进行维修和维护时，必须对引起电力设备故障的原因给予足够的重视，并根据具体情况，制定出有针对性的防范措施，以减少维修费用，增加发电厂的经济效益。同时，在进行预防性维修的过程中，也要注意防止盲目的预防性维修。在进行预防维修时，应根据引起电器设备故障的原因，采取相应的措施，降低检修费用，降低停工损失。



二、火电机组发电厂电气设备预防性维护存在的问题

1. 维护计划不够科学合理

维修计划是电力设备预防维修工作的重要组成部分，制定一套科学、合理的维修方案，是确保电力设备正常工作的前提和基础。然而，许多发电厂在实施预防维修时，缺少一套科学、合理的维修方案，无法准确掌握电力设施的工作状态，无法依据电力设施的工作情况，制订出合理、科学的维修方案。许多发电厂对电力设备的维修只是在出现故障之后再行维修，这种维修方式缺少预测性，这就给电力企业带来了很大的损失。此外，许多发电企业在实施预防维修时，均由电网公司统一调度，导致发电企业与发电企业间的信息不对称，并未实现对发电企业的预防维修工作的监管与管理。^[2]

2. 检测技术与设备相对落后

火力发电厂用电设备维修时，必须要对其进行定期检查，但

是现在国内的测试技术和设备都比较落后，无法满足电力设备的预防维修需求，这对电站用电设备的安全运行造成了很大的影响。首先，目前国内对电力设备的检测手段和仪器还不够完善，无法实现对电力系统故障的精确诊断。其次，现有的检修方法和检修方法多依赖于传统的检修方法，缺少有效的检修方法。最后，在实践中，有些工作人员没有专业知识，也没有进行过有效的学习与训练，因此，往往会发生错误的操作，从而使电力设备的预防性维修工作无法得到有效的实施。因此要重视对检测技术与设备的更新与改造。

3. 维护人员专业素养参差不齐

发电厂用电设备的维护员是检修工作的主体，他们的职业素质对发电厂电气设备的正常运转有很大的影响，因此，做好发电厂电气设备的预防性维修工作，首先要提升检修人员的职业素质。然而，在现实生活中，有关人员对设备的维护和检修知识的掌握程度各不相同，有些人仅仅懂得清理设备的表面，却不清楚其内部结构、工作原理以及工作情况，有些人仅仅是通过简单地观察就能确定故障是否发生，并且，维修人员通常都是从维修人员转岗过来的，他们对电气设备的维护知识储备非常有限。因此，在维修过程中对电气设备进行维护时，要加大培训力度，提高员工的专业素养。^[3]

4. 缺乏有效的故障预警机制

在火力发电厂中，由于电气设备种类多，运行环境复杂，并且不可能将所有设备的运行数据都进行实时采集，再加上一些技术人员无法及时掌握最新的运行数据，这就给维修工作带来了很大的难度。故障的产生有可能是设备本身质量不过关导致的，也有可能是维护人员缺乏维修经验所致。这就导致了维修工作一直处于被动状态，对电气设备进行维修时不能做到全面检测和诊断，而只是依靠经验和感觉来判断电气设备是否出现故障。此外，一些大型电厂已经建立了现代化的故障预警系统，可以根据电气设备的运行数据进行分析 and 判断，但这些都只是对发生过事故的设备进行监测。

5. 设备运行数据管理不善

当前，由于电力设施运行数据管理体系不健全，部分电力公司尚未建立起一套设备运行数据管理体系，造成设备运行数据得不到及时向维修人员反馈，致使维修人员不能及时地对电气设备进行维修。一些公司虽然已经建成了设备运行信息管理系统，但是其功能并不完备，一些设备的运行信息不能及时地向维修人员反馈，这就造成了电气设备维修工作得不到很好的进行，从而降低了电力公司的经济效益。

6. 维护资金投入不足

发电机的工作状态直接影响到电网的正常运转，所以做好预防维修工作是十分必要的。在发电厂中，由于长期的运行，以及对发电机、变压器等用电设备的维修经费的缺乏，使得这些设备发生故障后无法得到及时的检修，对电网的稳定运行造成了很大的影响。为此，必须加大对电力设备预防维修经费的投资力度，以免出现因经费短缺而无法及时检修的现象。此外，有些小型发电厂，因为管理方面的问题，造成了职工素质低，经验不足，从

而造成了管理经费的不足,对此,应加强对员工的培训和管理力度,提高员工素质和工作效率。

三、火电机组发电厂电气设备预防性维护的策略

1. 制定科学完善的维护计划

要使维修工作更有效率,要有科学、合理的维修计划,才能保证用电设备的正常运转。做好电力设备维修工作前,要做好维修计划。对长期运行和频繁发生故障的设备,应针对不同的工况,分别采取相应的措施。对某些容易发生故障的部位进行重点检查。只有建立起一套科学完备的预防维修方案,才能将电气设备的故障率降到最低,才能防止因电气设备故障造成的电力系统的重大故障,从而对整个电网的安全性产生影响。^[4]

2. 引进先进的检测技术与设备

根据预防性维护的要求,可以引进一些先进的检测技术与设备,主要有:(1)状态监测与故障诊断技术;(2)由在线监控设备、故障诊断设备和计算机组成的状态监测和故障诊断专用工具。在线监控设备是对电力设备的工作状态进行监控的设备,它可以对电力设备的工作状态进行实时、在线的监控,对其工作状态进行诊断与预警,对电力设备的维护与维修具有重要的意义。以计算机为代表的现代科技,为电力装备的预防维修工作提供了有力的保障。

3. 加强维护人员培训与考核

要做好电力设备的预防性维修工作,就需要确保维修人员具备正确的预防维修知识,并对维修人员进行培训和评估。让维修人员学会预防维修的有关知识,只有具备了预防维修的基础知识,才能确保在进行电力设备的预防性维修工作中,以科学、正确的态度进行工作。同时,要对维修人员进行定期的评估,通过评估,让维修人员能够不断地学习新的知识,掌握新的技术,使其充分了解电气设备预防性维护的相关知识,并在日常工作中能够认真履行其职责。

4. 建立有效的故障预警系统

建立起一套行之有效的故障预警体系,可以为电力设备的预防维修提供一种有效的保证,在对电力设施进行预防维修的过程中,必须要构建一套行之有效的故障预警体系,以便能够对电力设施的工作状况进行实时的了解,并对其工作状况进行分析,并在此基础上,对电力设施的维修战略做出相应的调整,以免造成

不必要的损失。

5. 优化设备运行数据管理

对于电力设备的操作资料,目前主要有两种方法,即统计分析和预测。统计分析法是指对设备的操作资料进行统计,并运用统计学的方法,对其进行分析,从而得到其操作规则。预测方法就是对将来可能出现的各种失效情况进行预报,运用概率统计的方法,推算出将来可能出现的各种失效的可能性,从而决定是否要进行维修。通过对电力设施的运行资料进行统计和分析,得到其将来可能出现故障的概率,从而确定其是否要进行维护。这两种方法都有各自的优缺点,在维修时应结合具体的情况来确定最佳的维修方法。

6. 确保维护资金的充足投入

设备维修是要有经费保障的,在做预防维修前,必须先确定电力设施的工作状况,具有很高的可靠性,并能确保其正常工作。所以,在对电力设备进行预防性维修前,必须先检查其工作状况,并根据其工作状况来确定预防维修的可行性。而电力设备的预防维修成本相对较高,所以要保证电力设备的正常运转,必须有足够的经费做保证。对某些未列入预防性维修计划的工程,也应确保足够的经费。另外,在实施预防维修前,还必须对电器的工作状态进行检查,一旦发现故障隐患需要及时解决,避免故障进一步扩大。

7. 强化部门间的协作与沟通

因为电力设备的维修是多个部门一起进行的,所以要加强各个部门之间的合作和交流,把相关工作细化到每个人,把各个部门和个人的积极性和主动性都发挥出来。在进行预防性维修时,也要多个部门一起来解决设备的故障,所以各个部门之间要加强合作和交流,才能保证工作的顺利进行。另外,在电力系统中,若有任何不正常的情况发生,都要有相应的工作人员,对其进行检测和排除,以确保电力系统的安全、可靠地工作。

结语

综上所述,火电机组是电力系统的关键部件,其可靠性对电网的安全性有很大的影响,所以需要对其进行预防性维修。为了确保电力设备安全可靠地工作,必须针对电力设备的特性,采取合理的预防维修措施。

参考文献:

- [1] 张方明,张瑞明.火电机组电气节能降耗措施的研究[J].中国设备工程,2022,(09):128-130.
- [2] 练义虎.电厂发电机组电气设备故障与维护[J].湖北农机化,2020,(17):154-155.
- [3] 王岫,姜晓晨.探析火电厂发电机组常见电气故障及维修[J].决策探索(中),2019,(07):63.
- [4] 陈宝瑞.火力发电厂电气运行故障原因及应对措施分析[J].河南科技,2021,40(20):40-43.

火力发电厂热工控制系统常见故障分析及检修策略研究

王文光

贵州金元茶园发电有限责任公司, 贵州 毕节 551800

摘 要： 火力发电厂作为电力市场的主力军，在人们的生活和社会经济发展中发挥着重要作用，火力发电厂的热工控制系统作为火力发电厂的重要组成部分，其稳定性和可靠性直接影响着火力发电厂的安全运行和生产效率，热工控制系统对火力发电厂的安全运行具有重要作用。其对设备运行状态的实时监控和调整，能够防止设备过热、压力过大等潜在的危险状况，降低发生事故的风险。本文分析了火力发电厂热工控制系统常见故障类型及其影响因素，并提出了相应的检修策略，以期提高热工控制系统的运行可靠性和检修效率。

关 键 词： 火力发电厂；热工控制系统；常见故障分析；检修策略

Study On Common Fault Analysis And Maintenance Strategy Of Thermal Control System Of Thermal Power Plant

Wang Wenguang

Guizhou Jinyuan Tea Garden Power Generation Co., LTD. Bijie, Guizhou 551800

Abstract： coal-fired power plant as the main force of electric power market, in people's life and plays an important role in social and economic development, coal-fired power plant thermal control system as an important part of coal-fired power plant, its stability and reliability directly affects the safe operation of coal-fired power plant and production efficiency, thermal control system for the safe operation of coal-fired power plant coal-fired power plant plays an important role. The real-time monitoring and adjustment of the running state of the equipment can prevent the potential dangerous conditions such as overheating and excessive pressure, and reduce the risk of accidents. This paper analyzes the common fault types and influencing factors of the thermal power plant, and puts forward the corresponding maintenance strategy to improve the operation reliability and maintenance efficiency of the thermal control system.

Keywords： thermal power plant; thermal control system; common fault analysis; maintenance strategy

引言

火电厂通过燃烧煤，加热水，使水变成高温高压的饱和蒸汽，用高温高压的饱和蒸汽驱动汽轮机旋转发电，重要参数监视：温度、压力、流量、调门开度、6KV 电机、风机振动等等，热工测量设备在长期运行过程中，由于各种因素的影响，往往会出现各种故障，影响火电厂的正常生产，因此，分析热工控制系统的常见故障，并制定相应的故障排除策略是很关键、必要的。

一、火力发电厂热工控制系统常见故障分析

（一）硬件故障

分散控制系统是火电厂热工控制系统的中枢神经系统，经常会导致整个机械故障，这些故障不仅仅是控制站的中央处理单元突然失灵，还包括输入输出单元（I/O 单元）的可靠性问题，输入输出单元充当连接现场设备到分散控制系统的桥梁，其故障可能导致信号传输中断或失真，进而影响控制逻辑的精度。^[1] 此外，分散控制系统器件故障还涉及通信网络的稳定性问题，分散控制系统内部以及其他系统（如 SIS、MIS 等）的通信依赖于高速、可靠

的通信网络，但通信电缆老化、通信不良、电磁干扰等因素都可能导致通信故障，导致数据丢失或传输延迟，影响系统的实时性和准确性。

（二）软件故障的复杂性

软件故障比硬件故障更隐蔽和复杂，软件故障可能源于系统升级过程中的配置错误，新版本软件与旧硬件或旧软件之间的兼容性问题，或者软件内部的逻辑错误或安全漏洞，这些软件故障通常很难通过直观的观察和简单的测试来检测，需要借助专业软件诊断工具进行深入分析。此外，软件故障还可能受到外部因素的影响，如病毒攻击、黑客攻击等网络安全问题，随着火电厂信

作者简介：姓名：王文光，出生年月：1977.09，性别：男，民族：汉，籍贯：贵州遵义，学历：大学，职称：中级，从事的研究方向或工作领域：热控检修

息化水平的不断提高,热工控制系统越来越依赖网络进行数据传输和远程控制,但这也使热工控制系统面临前所未有的网络安全威胁,一旦系统受到攻击,可能导致操纵控制逻辑、窃取或破坏数据等严重后果。

(三) 热控设备电源故障

热控设备的能量失效是火电站热工控制系统中不可忽视的一类故障,这种故障往往源于供电设计不合理、供电质量不稳定、电源单元老化等问题,供电设计不合理可能导致供电能力不足、供电方式单一等问题,导致供电系统在应急情况下缺乏足够的冗余和备份能力,供电质量可能因电网波动、兼容干扰等因素而不稳定,导致不容忽视等问题。电源单元老化问题也是导致电源故障的主要原因之一,随着使用时间的增加,电源单元内部的组件会逐渐进展并出现故障,导致电源转换效率低下,输出电压不稳定,如果这些问题没有及时发现和处理,可能会导致更严重的故障甚至设备损坏。

(四) 外部环境因素对热工控制系统的影响

火电站热工控制系统的工作环境复杂多变,外部环境因素对运行稳定性和可靠性有重要影响,温度是影响热工控制系统性能的重要因素之一;高温环境会导致设备内部元件温度升高,性能下降甚至损坏;低温环境会影响设备的正常启动,另外,湿度是影响热工控制系统稳定性的主要因素之一。^[2] 灰尘和污染物也是影响热工控制系统运行的外部环境因素之一,火电厂内有大量的灰尘和污染物,这些物质容易在设备表面和内部积聚形成一层灰尘,影响设备的制冷性能和电气性能,长期积聚的灰尘也会导致连接不良、电路短路等故障问题。

二、深入分析火电厂热工控制系统故障的影响因素

(一) 环境因素

在火电厂的复杂环境中,热工控制系统面临着环境因素的广泛影响,极端温度条件是一个不可忽视的因素,高温环境会加速控制设备内部组件的老化,影响信号的传输和数据的处理速度,甚至会导致短路或高温保护;而低温会导致设备内部润滑不足,机械部件灵活性降低,故障风险增加。此外,湿度、尘埃、腐蚀性气体等环境因素也会对热工控制系统造成不同程度的损害,高湿度环境容易引发电路短路或腐蚀,尘埃积累则会影响散热效果并增加维护难度,而腐蚀性气体则可能直接侵蚀设备表面和内部元件,缩短设备使用寿命。因此,火力发电厂在设计和建设阶段就需充分考虑环境因素的影响,采取相应的防护措施,如加强通风、防尘、防潮、防腐等,以确保热工控制系统能在恶劣环境中稳定运行。

(二) 人为因素

人为因素在火电厂热工控制系统故障中起着重要作用,其多样性体现在很多方面,操作人员的技能水平和责任程度直接关系到热工控制系统的运行状态;低技能或责任水平的操作人员可能无法准确识别和处理系统中的异常现象,导致故障扩大或延误处理时间,另外,操作人员的行为和操作过程是影响系统稳定性的

重要因素;不正常的操作习惯会导致设备的运行不良或损坏,而有效的无序操作过程则会导致事故。^[3] 检修人员的工作质量直接影响热工控制系统的可靠性,检修人员需要扎实的专业知识和丰富的操作经验,才能及时发现和处理潜在的故障,但在实际工作中,由于检修任务繁重、时间紧迫等原因,一些检修人员可能存在疏忽细节等问题,导致不能及时消除隐患。

(三) 技术因素

随着科学技术的不断发展,火电厂热工控制系统中使用的技术也在不断发展,技术因素的不断变化对热工控制系统的稳定性和可靠性提出了新的挑战,一方面,新技术的引入可能导致性能的提高和功能的扩展,但同时也可能带来未知和不确定性的风险,新技术的成熟,稳定性和与其他系统的兼容性需要经过时间的验证和测试;另一方面,旧技术的淘汰和升级也可能引发一系列问题。如旧设备与新系统的兼容性问题、升级过程中的数据迁移和备份问题等都需要谨慎处理。因此,火力发电厂在引进新技术或进行设备升级时,应充分评估技术风险和成本效益,制定详细的实施方案和应急预案,确保技术变更的平稳过渡和系统的稳定运行。^[4]

三、火力发电厂热工控制系统常见故障检修类型及其策略研究

(一) 预防性检修策略

预防性检修策略是火电厂热工控制系统维护和管理的重要组成部分,其基本概念是“预防风险”,通过定期检查和维护,及时发现并消除潜在的故障,从而提高系统的可靠性和运行效率。建立科学的检修周期和计划是关键,根据设备的运行状况,故障的历史数据,制造商的建议,制定合理的维护周期和计划,以确保关键设备和部件的及时有效的检修,同时,检修计划必须灵活,可以根据应急情况和特殊需要的实际情况进行调整和改进。加强检修过程中数据的收集和分析,在每次检修过程中,必须详细记录设备的运行状态、维修内容、更换部件等信息,建立相应的数据库,通过对这些数据的分析和提取,找出设备的运行规律和趋势,为后续检修工作提供有力的支持,此外,还可以利用大数据分析、人工智能等先进技术,实时监控和预测设备状态,进一步提高检修的准确性和效率。注重检修人员的培训和能力的提高,预防性检修工作对检验人员的专业技能和责任有很高的要求。^[5] 因此,火电厂应加强对检修人员的培训和管理,提高工作水平和应急能力,通过定期组织培训和交流研讨会等活动,交流先进经验和做法,不断提高检修团队的整体素质。

(二) 状态检修策略

状态检修策略是一种基于设备实际运行状态的检修方法,通过对设备状态的实时监测和评估来确定最佳的检修时机,在火电厂热工控制系统的检修中,目前的检修策略具有很大的优势和广阔的应用前景。这种精确的检修方法不仅可以减少不必要的停机时间和浪费成本,而且可以提高检修工作的目标和效率。通过对设备状态的实时监测和分析,可以及时发现和解决设备运行中隐藏的问题和风险,避免错误和安全事故的扩大,同时也可以根据

设备的实际情况调整操作参数和政策，以提高设备的运行效率和经济性。^[6] 状态检修策略需要强大的技术支持和保障体系，实现状态检修需要依靠先进的监控技术、数据分析技术和故障诊断技术，火电厂应加强相关技术的研究、开发和应用，建立完善的技术保障体系，同时加强与科研院所、高校等单位的合作与交流，促进检修技术的创新和发展。

（三）应急检修策略

应急检修策略是火电厂热工控制系统应对紧急情况和紧急故障的重要手段，在改进和完善应急检修策略时，建立良好的应急响应机制，制定详细的应急计划和操作程序，明确各级人员的职责和任务分工，一旦发生紧急情况，可以快速启动应急响应机制，组织相关人员和设备进行维修工作，同时需要建立与地方政府、消防部门等单位沟通的机制，以确保在紧急情况下及时得到有效的支持。^[7] 加强应急检修队伍建设和培训，组建应急检修专业队伍，配备必要的检修设备和工具，定期培训检修人员，提高应急能力和应急水平。同时，加强与设备制造企业、技术支持单位等的合作和沟通，确保在需要时得到及时的技术支持和帮助。要注意总结和改进紧急检修工作，每项紧急检修工作完成后，应组织相关人员总结、评估、分析故障原因、检修过程存在的问题和不足，通过总结经验教训，改进维修过程，提高检修能力，不断提高紧急检修工作的效率和质量。^[8]

（四）智能检修策略

随着物联网、大数据和人工智能技术的快速发展，智能检修策略在热电厂热工控制系统的检修和管理中显示出巨大的潜力，强调全面收集和分析数据，利用物联网技术，将传感器部署在热工控制系统的各个关键节点，实时收集设备运行数据、环境参数等关键信息；通过大数据分析平台，深入挖掘这些数据，发现设备运行中的异常模式和潜在故障点，有助于早期预警，减少计划外停机时间，优化维修决策。人工智能在故障诊断中的应用是智能检修策略的核心，利用机器学习、深度学习等算法，对大量的历史故障数据进行训练，建立预测诊断模型，当设备异常时，模型可以快速识别故障类型，定位故障位置，并提出相应的检修建议，这不仅提高了故障诊断的准确性和效率，而且减轻了检修人员的工作量。^[9] 此外，智能检修策略注重与其他系统的集成和协同，实现数据共享和交互，与智能操作和检修平台相结合，形成一个封闭的检修管理周期，通过多个系统的协同工作，实现检修资源的优化配置，最大限度地提

高检修效率。实施智能检修战略需要强有力的技术支持和人才保护，火电厂应加大相关技术的研发投入，培训或引进具有跨学科背景的人才，同时建立强大的技术标准和规范体系，确保智能检修策略的安全、可靠、高效运行。

（五）持续优化与改进检修策略

为了保证火电厂热工控制系统的长期稳定运行，必须建立持续改进和优化检修的战略框架，这个框架旨在通过不断评估，修改和优化检修策略来适应设备老化，技术更新和外部环境变化带来的挑战。建立定期评估机制是检修策略优化的基础，定期评估检修策略的实施情况，包括检修周期、维修内容、维修效果等，通过评估找出问题和弱点，为后续的调整和改进提供依据。鼓励全面参与检修策略的优化过程，检修策略的优化不仅是技术和管理人员的责任，还需要操作人员的积极参与，通过建立反馈机制，鼓励操作人员在设备运行过程中提出问题和改进建议，同时，加强部门间的沟通与合作，共同推进检修策略的优化工作。^[10] 此外，注重技术创新和引进也是优化检修策略的重要途径，密切国内外最新检修技术和方法，积极引进和吸收，通过技术创新和引进，不断提高检修工作的智能化和自动化水平，减小劳动强度，提高检修效率。营造持续改进的文化氛围是优化改革策略的长期保证，使持续改进成为公司文化的重要组成部分，鼓励员工不断学习和进步，通过组织培训、交流等活动，增强员工的专业能力和创新能力，建立激励机制和考核机制，表彰和奖励在检修策略改进过程中做出突出贡献的员工。

四、结语

在探索火电厂热工控制系统检修的过程中，见证了从传统预防性检修到智能检修的蓬勃发展，每一步都不断追求安全和高效率，随着技术的飞速发展，未来的火电厂热工控制系统检修将是一种基于数据、智能化领导、全员参与的新模式，不仅是对设备故障的响应，也是对系统性能潜力的深度探索和释放，期待火电厂在这个充满挑战和机遇的时代共同进步，以更加开放的心态拥抱技术创新，以更加细致的管理推动检修策略的持续改进，让每一次检修都是提高系统可靠性的机会，让每一次新的重要改进都注入火电厂稳定运行中，为实现绿色、高效、可持续发展，让我们共同书写火电厂新时代的辉煌篇章。

参考文献：

- [1] 刘蓉蓉，高静亮，许泽喜. 660MW 火电厂热控保护装置检修及维护探讨 [J]. 科技展望, 2016, v.26; No.37926: 158.
- [2] 黄学音. 浅谈电厂热控系统中热控保护装置的故障与保护 [J]. 科技与创新, 2016, No.7123: 141+145.
- [3] 李武朋. 电厂热控系统调试过程中存在的问题及解决措施 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2017, No.23323: 163.
- [4] 毋杨娟. 基于电厂热控系统中热控保护装置的故障与保护的分析和保护 [J]. 山东工业技术, 2014, No.17719: 179+182.
- [5] 陈柯柯. 电厂热控系统中热控保护装置的故障分析与保护 [J]. 电子世界, 2013, No.42814: 42.
- [6] 何江. 电厂热控系统中热控保护装置的故障分析与保护探究 [J]. 科技风, 2013, No.22717: 39.
- [7] 陶海兵. 基于发电厂机务热控调试安装问题和改进分析 [J]. 现代国企研究, 2015, No.7824: 131.
- [8] 李强. 火电厂热工保护系统的常见故障原因及防控 [J]. 能源与节能, 2021(12):125-126+178.
- [9] 赵平珠. 火力发电厂热工保护误动拒动原因分析及处理措施 [J]. 当代化工研究, 2021(05):169-170.
- [10] 梁秀壮. 火力发电厂热控保护系统的改善 [J]. 机械管理开发, 2020, 35(07):173-174.

关于智慧供热技术在大型供热管网中的应用探讨

赵国振

国家电投集团东北电力有限公司抚顺抚电能源分公司, 辽宁 抚顺 113006

摘 要 : 随着城市集中供热覆盖范围日益扩大, 供热管网系统的整体状况也发生较大, 其变得越来越复杂且繁琐, 针对该种情况, 在大型供热管网的建设过程中, 需要通过合理使用智慧供热技术, 使供热管网系统运行实现动态化的监管, 保证供热管网系统均衡输送与安全供热, 并通过利用数据输送平台、智能分析平台、远程监控平台等手段, 为大型供热管网的节能运行和提高效益提供指导, 以实现大型供热管网的优化升级。因此, 文章探讨了智慧供热技术在大型供热管网中的具体应用, 仅供参考。

关 键 词 : 智慧供热技术; 大型供热管网; 应用

The Application Of Intelligent Heating Technology In Large-Scale Heating Pipe Network Is Discussed

Zhao Guozhen

State power investment group Northeast Power Co., Ltd. . Fushun Fudian Energy Branch, Fushun, Liaoning 113006

Abstract : with the expansion of urban central heating coverage, the overall situation of heating pipe network system has become more and more complex and cumbersome, in view of this situation, in the construction process of large-scale heating pipe network, it is necessary to realize the dynamic supervision of the heating pipe network system by using the intelligent heating technology reasonably, so as to ensure the balanced transportation and safe heating of the heating pipe network system, by means of data transmission platform, intelligent analysis platform and remote monitoring platform, the paper provides guidance for the energy-saving operation and benefit improvement of large-scale heat-supply pipe network, so as to realize the optimization and upgrading of large-scale heat-supply pipe network. Therefore, this paper discusses the application of intelligent heating technology in large-scale heating pipe network for reference only.

Keywords : intelligent heating technology; large-scale heating pipe network; application

近年来, 虽然国民经济呈现出持续不断的增长态势, 但是生态环境污染问题却展现出愈演愈烈的趋势, 尤其是冬季取暖引发的生态环境污染问题最为严重, 针对这种情况, 多数城市大型供热管网实行了集中供热, 该种转变提升了人们的生活质量, 更是促进了城市建设健康稳定发展。然而, 从大型供热管网建设现状来看, 仍然存在较多问题有待解决, 如供热企业的运行效率有待提升、能源损耗量急需改进、供热成本居高不下等。为有效应对这些问题, 大型供热管网系统急需优化升级, 而智慧供热技术凭借自身独有的优势, 在大型供热管网系统的建设过程中备受青睐, 其不但提升了大型供热管网的整体建设质量, 而且还能满足人们对供热管网的实际需求。

一、智慧供热技术在大型供热管网中应用的意义

(一) 提升供热效率

在具体使用智慧供热技术时, 为充分有效发挥该项技术的优势, 则要按照实际情况, 科学有序地布设不同类型的传感器和监测设备, 确保该类设备能够实时全面准确地监测和采集供热管网运行状况^[1]。通过综合分析采集的数据信息, 则有利于供热企业全方位掌握供热系统的运行状况, 然后根据人们的实际需求供热, 这样既能提升大型供热管网的供热效率, 也能减少发生能源损耗^[2]。

(二) 减少能耗, 提升服务质量

在大型供热管网系统中使用智慧供热技术, 通常能使大型供热管网系统实现优化控制, 减少其运行过程中的能源损耗^[3]。例如, 按照室外温度、用户具体需求等, 使大型供热管网实现自动调整热量, 则能达到供热系统节能降耗的目的。更为重要的是, 通过正确使用智慧供热技术, 还能实时监测大型供热管网的具体运行情况, 及时发现其运行过程中存在的问题并解决, 可以避免大型供热管网运行发生中断的情况, 降低大型供热管网系统的供热服务质量。例如, 通过对大型供热管网系统的各项参数进行实时监测, 如压力参数、温度参数等, 则能第一时间发现大型供热

作者简介: 赵国振(1975-2)男, 满族, 辽宁省抚顺县, 高级工程师, 大学本科, 研究方向: 热动。

管网中的各种故障，然后根据监测设备反馈的数据信息，立即提出有效的应对措施，最大限度避免居民生活生产因此受到影响^[4]。

（三）减少生态环境污染

将智慧供热技术规范应用于大型供热管网中，可以实现供热系统的全方位优化控制，尽可能减少供热系统运行过程中的污染物排放。例如，根据用户的实际需求，对供热系统的供热量进行精准调整，则能将氮氧化物、二氧化硫等污染物控制在最低范围内，避免大型供热管网运行过程中对生态环境造成严重污染，为生态环境保护取得良好成果创建有利条件。

（四）提升管理水平，减少管理成本

在大型供热管网中一旦使用了智慧供热技术，那么则能通过利用信息化技术手段，优化整个供热管网运行的全过程管理，全面提升大型供热管网的整体管理水平。例如，基于大型供热管网系统的既有条件，根据该套系统运行的实际需求科学有序的不同类型监测设备，则能使供热企业能够实时准确地掌握供热系统的具体运行状况，该过程中还能获取全面准确的各项数据信息，通过对该部分数据信息的分析，则能及时发现大型供热系统中是否存在故障，或者是否存在急需进一步优化和改进的地方，并在最短时间内提出切实可行的解决方案，以减少供热管网的管理成本^[5]。

二、大型供热管网发展现状

在城市基础设施的建设过程中，虽然涉及的内容较多，但是大型供热管网却是需要引起高度重视的部分，其与市民生活生产有着紧密联系。从大型供热管网发展现状来看，其实际情况如下：其一，建设规模增大。随着城市化的不断快速发展，为满足城市基础设施建设需求，大型供热管网的建设规模呈现出日益扩张的态势，因此供热管网的长度也随之发生对应变化，其所覆盖的区域也越来越广，服务用户用量更是呈现出节节攀升的趋势。其二，技术进步。大型供热管网的建设规模逐步发生变化，其涉及的内容日渐增多且复杂，各种先进技术和设备的不断涌现，为大型供热管网优化升级提供了助力，如高温水供热、热电联产、分布式能源系统等，通过合理使用该部分技术和设备，不光提高了大型供热管网的供热效率，也减少了供热管网的能源损耗。其三，节能减排。从大型供热管网的建设现状来看，其在节能减排取得了巨大的进步。通过在大型供热管网中全面推广节能技术，可以采取一系列优化措施，如提高供热效率、采用清洁能源等，减少大型供热管网系统运行过程中的能源损耗和污染物排放，为生态环境保护取得良好成果奠定基础。其四，智能化发展。随着智能技术和信息技术的不断发展与进步，物联网技术、人工智能技术、大数据技术等，更是在大型供热管网建设中得到了广泛应用，为大型供热管网朝着智能化和信息化的方向提供了助力，主要表现在通过各种先进技术的应用，大型供热管网实现了远程监控、自动化调节、故障诊断等，全面提升了大型供热管网的供热服务质量^[6]。

三、智慧供热技术在大型供热管网中应用的注意事项

其一，采用智慧供热技术时，工作人员必须根据大型供热管网建设的需求，对其进行规范合理地使用，使智慧供热技术与大型供热管网之间实现深度融合，确保大型供热管网建设过程中，各系统既能独立运行又能保持互联互通与信息共享。其二，采集供热管网系统运行参数。在大型供热管网的建设中融入智慧供热技术，往往能全面精准采集供热管网系统运行过程中各类参数信息，如温度、压力、流量等参数信息，同时通过利用大数据技术、人工智能技术等，还能对采集的各类参数信息进行对比分析，为大型供热管网系统运行的优化监督管理提供全面、真实、可靠的参考依据，不仅如此，还通过利用人工智能技术的独有优势，对大型供热管网系统实行智能化调控，如此不光能提升大型供热管网系统的供热质量，也能减少大型供热管网系统的运行成本。其三，在大型供热管网建设中使用智慧供热技术时，应高度重视节能降耗，通过采取切实可行的优化措施，将大型供热管网系统运行的能耗量控制在最低限度内，提高供热系统的供热效率。其四，大型供热管网中使用智慧供热技术时虽然有诸多优势，但是工作人员需要实时观察供热系统的运行状况，尤其是稳定性、安全性要格外重视，防止因管控不善引发供热系统的故障，致使供热管网运行中断或存在安全隐患。其五，在大型供热管网建设中使用智慧供热技术，可以使大型供热管网系统具有便捷的运维管理功能，例如远程监控、故障诊断、自动巡检等，减少了供热管网系统的运维管理成本，提升了供热管网系统的运维管理效率^[7]。

四、智慧供热技术在大型供热管网中的应用

（一）热源

在大型供热管网的热源环节，工作人员如果能按照实际需求合理使用智慧供热技术，那么则能使供热管网系统实现智能化控制，保障供热系统运行过程中的热源输送保持均衡输送状态。同时，为进一步优化供热管网系统的热源输送，还应在人员机组和管网出口位置有序设置一定数量的温度传感器、流量传感器，唯有如此，才能确保大型供热管网系统运行过程中，可以直观查看出水口的流量参数、温度参数等。通过利用温度传感器、流量传感器，可以精准获取大型供热管网系统运行过程中的不同参数信息，并实时将该部分参数信息传递至调度监控中心，中心则能综合分析和监控不同的参数信息，一旦发现异常则能立即反馈给对应工作人员，使工作人员及时发现并解决，避免大型供热管网系统正常运行因此受到影响^[8]。

（二）配热站设计

1. 无高层建筑的热用户配热站设计

对于无高层建筑的热力用户，要想同时满足以下两个条件，分别为热力用户的最低需求、整栋建筑的供热需求，则要保证恒压不得低于30米。由于许多城市老旧城区在建设过程中终端散热器采用的是铸铁散热器，因此在开展铸铁暖气片耐压能力的计算

过程中,关于老旧小区内部供暖网的老化问题不得出现置之不理的现象。为确保大型供热管网系统保持安全、稳定地运行,防止出现排空现象,则要将用户的建筑物后墙上管道压力控制在30—38米之间。在大型供热管网建设过程中,为确保能够满足所有热用户需求,在开展热用户配热站设计时,设计人员要从宏观角度思考管道的管径,并且还要将每个用户的实际需求作为参考依据。在明确主干线各管段管径、比摩阻数值后,如果参考依据是热水管网干线各管段的计算流量、表格中选择的比摩阻数值,则要按照高温用户压降架设的要求,分别将配水站管网热水压力设置为45米、回水管压力设置为33米。通常情况下,从热力站的热交换来讲,要想满足用户对供热温度的实际需求,不管是一次管网,还是二次管网均要依托于换热器。其中,一次供水管是通过利用调节阀,让水循序渐进地流入换热器中,然后在换热器中完成热交替,最后流入一次管网中^[9]。二次管网的循环水流入循环系统后,在过滤器的辅助下,再借助循环泵送至热交换器中,这样便能达到提升温度的目的,最终满足用户的供热需求。则能精准的管径和比摩数值。

2. 有高层建筑的热用户配热站设计

相较于无高层建筑的热力用户,有高层建筑的热力用户要想满足居住者的采暖需求,同样需要保证恒定压力控制不能低于30米,但是若这样则无法满足热力用户的最低需求。为有效应对该种类型的建筑,首先要求工作人员必须根据实际需求及建设标准,提出科学有效的解决措施,基于高层建筑区域既有条件做好合理划分,避免高层建筑工程内部采暖管道运行过程中发生排空情况。需要注意的是,在高层建筑工程内部如果采取了防空措施,在开展热用户配站设计过程中,只需从实际需求角度出发,无需从整体角度考虑上述各种问题,为有效应对这些问题,杜绝出现防空现象,供热站需要实行阀门前压力调节方式。假设高层建筑的高度超过了54米,为确保阀前调压阀保持最小值,

阀前调压阀保持正常运行的状态,则要将弹簧的显影压力调至57米以上。另外,阀前压力调节时,工作人员应重点考虑各种意外情况,这就要求必须关闭阀。根据具体需求,为确保高层建筑工程内部的回流压力始终不低于60米,不仅要关闭二次热配站回流,还要确保水管压力不得低于67米^[10]。

(三) 热用户

在大型供热管网的建设过程中,不同环节采用智慧供热技术,通常可以获取不同的效果。例如,在热用户环节采用智慧供热技术,则能实时收集供热管网系统运行过程中产生的各项数据信息,如用户温度、用户调节阀等数据信息,并且该部分数据信息还能通过借助大数据技术传递至供热监控中心,该中心在收到该部分数据信息后,则能在第一时间通过对比分析的方式,了解和掌握供热管网系统的运行情况和用户需求,以及发现供热管线系统运行过程中是否存在异常情况,并根据实际情况,为后续供热管网系统的安全稳定运行实行智能化调控,提供可靠、真实的参考数据信息。通过上述方式,除了能防止大型供热管网系统运行过程中出现能源浪费的现象外,还能全面提升大型供热管网供热的有效性,最大限度满足所有用户的实际供热需求。

结束语

智慧供热技术在大型供热管网的建设中展现了显著的优势和应用潜力,相关技术人员需要熟练掌握其操作流程和控制方法,以便于有效地提升大型供热管网的建设质量与运行的稳定性、安全性,最大限度满足用户供热需求的同时,减少污染物的排放量,确保生态环境保护取得优异的成绩。随着科学技术的不断进步,智慧供热技术势必将在未来供暖系统优化升级中发挥更加重要的作用,为大型供热管网的建设提供更为强有力的支持。

参考文献:

[1] 苏继程, 毛明强. 智慧供热技术在城市集中供热系统的应用分析 [J]. 建设科技, 2024(5):39-42.
[2] 吴卿晖. 基于工业集中供热的智慧供热系统技术及应用 [J]. 科技与创新, 2020(16):122-123,125.
[3] 居彤, 张毓, 赵涛. 区块链技术在供热设备及管网管理工作中的应用探讨 [J]. 网络安全和信息化, 2023(10):72-74.
[4] 贾立夫, 郭蔚彤. 实现当代供热系统智慧化管控的关键技术分析 [J]. 应用能源技术, 2022(7):42-44.
[5] 赵帅, 陈金相, 曹慧哲, 等. 数字孪生技术在智慧供热建模及决策的应用 [J]. 煤气与热力, 2024, 44(3):29-32,35.
[6] 王锋, 孙英策, 刘慧文, 等. 基于核能供热技术的热网调控与智慧化管理 [J]. 能源与节能, 2024(1):318-324.
[7] 贾蓉婷. 自动化控制技术在智慧供热中的应用研究 [J]. 科学技术创新, 2023(21):56-59.
[8] 范皓. 基于人工智能技术的智慧供热体系的应用与分析 [J]. 区域供热, 2021(3):124-128.
[9] 吴义勇. 基于工业集中供热的智慧供热系统技术及应用 [J]. 商品与质量, 2021(24):12.
[10] 李强. 智慧能源多能互补清洁供热技术的应用 [J]. 中国新技术新产品, 2021(3):120-122.

科学规划视角下的电力网架扩展与升级改造策略

何愈慎

百源建设集团有限公司，广西 南宁 530000

摘 要： 本文针对新能源快速发展及电力需求增长，深入探讨了电力网架扩展与升级改造的策略。开篇从科学规划理论出发，为研究奠定了理论基础，包括新能源电力接纳与消纳理论、电力系统优化与储能技术理论。接着，分析了现有电力网架的结构特征和问题，揭示了改造的紧迫性。提出了电力网架重新规划布局的策略，包括指导思想、接纳能力提升和输配电网连接方案。此外，总结了农网城网改造经验，分析了大修技改成果，并提出了光伏、风电等新能源电力的消纳方案。最后，探讨了电力储能站的优化布局策略，包括各类新能源发电站概述、储能站布局原则与方法，以及最大化能源利用的储能站布局方案。

关 键 词： 电力网架扩展；升级改造；科学规划；新能源接纳；输配电网连接

Expansion and Upgrading Strategies of Power Grid from the Perspective of Scientific Planning

He Yushen

Baiyuan Construction Group Co., Ltd., Nanning, Guangxi 530000

Abstract： This article explores in depth the strategies for expanding and upgrading the power grid structure in response to the rapid development of new energy and the increasing demand for electricity. Starting from the theory of scientific planning, the opening lays a theoretical foundation for research, including the theory of new energy power acceptance and consumption, as well as the theory of power system optimization and energy storage technology. Subsequently, the structural characteristics and problems of the existing power grid were analyzed, revealing the urgency of the renovation. A strategy for the re planning and layout of the power grid has been proposed, including guiding principles, capacity enhancement, and transmission and distribution grid connection schemes. In addition, the experience of rural and urban power grid transformation was summarized, the results of major repairs and technological upgrades were analyzed, and new energy power consumption plans such as photovoltaic and wind power were proposed. Finally, the optimization layout strategy of power storage stations was discussed, including an overview of various new energy power generation stations, principles and methods for energy storage station layout, as well as energy storage station layout schemes that maximize energy utilization.

Keywords： power grid expansion; upgrading and renovation; scientific planning; acceptance of new energy; transmission and distribution grid connection

引言

随着全球能源需求的不断增长和环境保护的日益重视，新能源的开发和利用已成为各国能源战略的重要组成部分。我国作为能源消费大国，近年来在新能源领域取得了显著成果，特别是在光伏、风电等可再生能源的开发上取得了重要突破。现有电力网架在长期运行过程中，虽然经历了多次农网城网改造、大修技改等工程，但仍存在诸多问题，如电网结构不合理、输配电网连接不顺畅、新能源电力接纳能力不足等。这些问题不仅影响了电力系统的安全稳定运行，也制约了新能源电力的消纳和电力供需的平衡。因此，从科学规划的视角出发，对现有电力网架进行重新调整规划布局，加大对新能源电力的接纳，已成为电力系统发展的必然选择。

一、电力网架扩展与升级改造的理论基础

在新时代背景下，电力行业面临着前所未有的发展机遇与挑战。为了满足经济社会持续增长的电力需求，推动能源结构转

型，电力网架的扩展与升级改造显得尤为重要。以下三大理论基础，为电力网架的优化发展提供了强有力的支撑。

（一）科学规划理论概述

电力系统的可靠性评估是研究电力系统可靠性理论、分析电

力系统运行状况的基础，也是制定电网规划方案和提高电网运行经济效益的重要依据^[1]。电力网架的科学规划是保障电网安全、经济、高效运作的关键。这一理论涵盖了电网规划的多种方法、原则和策略，目的在于实现资源的优化配置，从而提升电网的整体运行效率。

科学规划理论着重于需求导向，全面考虑负荷特性、电源配置、电网结构等核心要素，以制定出合理的电网发展规划。通过精简和优化电网结构，提升供电的可靠性，从而为我国电力事业的持续发展构筑了坚实的基础。

（二）新能源电力接纳与消纳理论

新能源电力接纳与消纳旨在指导如何高效地整合新能源电力进入电网，并确保其被有效消纳。这一理论指出，随着新能源电力的快速发展，电力系统面临前所未有的挑战，如何接纳和消纳新能源电力成为关键。为了适应新能源电力的发展趋势，必须构建一套完善的接纳与消纳机制^[2]。这包括对电网结构的优化调整，制定灵活的调度策略，推广和应用先进的储能技术，以及建立健全的市场机制和政策体系。这些措施不仅关注技术问题，也考虑经济和社会因素，旨在推动新能源电力与传统能源电力的深度融合，实现电力系统的绿色、高效和可持续发展。

（三）电力系统优化与储能技术理论

电力系统优化与储能技术旨在通过优化电力系统运行方式、提高整体效率，以及应用储能技术实现电能时空转移，以增强电力系统的调峰能力和应对突发事件的能力。这一理论认识到，随着电力系统的持续发展和新能源电力的不断接入，系统运行面临更多挑战。因此，强调必须充分考虑负荷特性、电源布局和电网结构等因素，制定合理的运行策略，并通过储能技术实现电能的有效管理和转移，以提升电力系统的稳定性和效率^[3]。此外，电力系统的优化运行不仅涉及技术层面，还涉及经济和社会因素，因此需要从多角度出发，形成全方位的解决方案，以推动电力系统的绿色、高效和可持续发展。

二、现有电力网架现状分析

在深入研究电力网架的扩展与升级改造之前，需对现有电力网架的现状进行深入地分析。以下将从电力网架的结构特点、存在的问题以及新能源电力接纳与消纳需求三个方面，全面揭示当前电力网架的发展状况。

（一）电力网架结构特点

电力网架结构以高压、超高压输电线路为主，形成了跨区域、长距离的输电格局^[4]。同时，城市配电网逐渐向智能化、自动化方向发展，提高了供电质量和可靠性。此外，电网结构逐渐向分布式、多元化发展，以适应不同地区和不同用户的用电需求。

（二）电力网架存在的问题

在我国的某些地区，电网结构存在不合理之处，导致供电能力不足以应对日益增长的用电需求。这些地区的电网设备普遍老化，运行效率低下，这不仅加剧了电力损耗，还影响了供电的稳定性。此外，电力系统的调峰能力不足，使得在应对突发事件和

高峰负荷时，系统的灵活性和可靠性亟需提升^[5]。这些问题共同凸显了电力网架改造的紧迫性，要求采取有效措施，优化电网结构，更新老旧设备，提升运行效率，增强系统的应急响应能力，以确保电力供应的持续性和可靠性。

（三）新能源电力接纳与消纳需求

新能源电力的波动性、间歇性特点对电网运行提出了更高要求。电力网架需要具备更强的调峰能力和灵活性，以实现新能源电力的有效接纳。同时，提高新能源电力在电网中的消纳比例，降低弃风、弃光现象，是当前电力网架改造的重要任务。在此基础上，推动电力网架向更加清洁、高效、可持续发展的方向。

三、电力网架重新规划布局策略

面对新时期的挑战与机遇，电力网架的重新规划布局显得尤为重要。以下将从指导思想、新能源电力接纳能力提升策略以及输配电网合理连接方案三个方面，详细阐述电力网架重新规划布局的策略。

（一）重新规划布局的指导思想

坚持以人为本，服务经济社会发展大局，确保电网安全、经济、绿色、高效。贯彻创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念，推动电网与新能源、信息技术等领域的深度融合，实现电力网架的可持续发展^[6]。

（二）新能源电力接纳能力提升策略

为提高电网的整体性能，需优化电网结构，增加新能源电力接入点的数量并实现合理分布，从而增强电网的灵活性和调峰能力。此外，需加大技术创新力度，积极推广智能电网、储能等先进技术，以有效提升新能源电力在电网中的消纳比例^[7]。同时，市场机制也将得到完善，鼓励新能源电力积极参与市场竞争，通过这些措施，全面推动新能源电力的发展，实现能源结构的优化与升级。

（三）输配电网合理连接方案

根据负荷特性、电源布局和电网结构，合理规划输电线路和配电网的连接方式。加强区域间电力互联互通，提高电力资源优化配置能力。注重城乡电网协调发展，提升农村电网的供电质量和可靠性。通过以上措施，构建一个安全、稳定、高效的输配电网体系。

四、新能源电力就近消纳与供需平衡策略

在推动能源结构转型和实现绿色发展的道路上，新能源电力的就近消纳与供需平衡成为关键环节。以下将从农网城网改造经验总结、大修技改成果分析以及光伏、风电等新能源电力消纳方案三个方面，探讨如何有效实现新能源电力的就地平衡与高效利用。

（一）农网城网改造经验总结

通过对农村电网结构的优化，显著提升了农村地区的供电能力，为新能源电力提供了更加广泛和便捷的接入点^[8]。这一改造不

仅改善了农村居民的用电条件，也为新能源电力的分散接入和就地消纳创造了条件。与此同时，城市电网的改造与升级工作也在同步进行，进一步增强了城市电网对新能源电力的接纳能力，确保了城市供电的稳定性和可持续性。

（二）大修技改成果分析

通过对电网设备的升级与改造，显著提升了电网运行的稳定性和效率，同时有效降低了线路损耗。这些大修技改的成果在分析报告中得到了充分展示，显示出所采取的措施有效提升了电网对新能源电力的接纳能力，进而促进了电力供需双方的平衡。具体来说，升级后的电网设备不仅提高了供电的可靠性，还增强了电网对新能源电力波动性的适应能力，为新能源电力的顺利接入和高效利用提供了坚实的技术支撑^[9]。此外，这些改造措施还有助于优化电力资源配置，减少能源浪费，为构建更加绿色、高效的能源体系奠定了基础。

（三）光伏、风电等新能源电力消纳方案

科学的调度策略已制定，优先利用当地新能源电力资源，以降低远距离输电的损耗。同时，大力推广分布式能源系统，鼓励在电力产生地直接消纳新能源电力，显著提高能源的整体利用效率。此外，通过储能技术的广泛应用，有效平衡了新能源电力供应的波动性，确保了电网运行的持续稳定性。这些综合措施的实施，将为新能源电力的就近消纳和供需平衡提供强有力的推动力，进而促进我国能源结构的优化和电力系统的可持续发展。

五、电力储能站优化布局策略

随着可再生能源的迅猛发展和电力系统对灵活性的需求日益增长，电力储能站的建设与优化布局成为推动能源转型的重要一环。以下将从光伏、风电、潮汐发电、抽水蓄能电站的概述，电力储能站布局原则与方法，以及最大限度利用能源的储能站布局方案三个方面，深入探讨电力储能站的优化布局策略。

（一）光伏、风电、潮汐发电、抽水蓄能电站概述

光伏发电利用太阳能电池将光能直接转换为电能，具有清洁、无污染的特点。风电利用风力驱动发电机产生电能，是可再生能源的重要组成部分。潮汐发电利用海洋潮汐的涨落转换为电能，具有稳定性和可预测性^[10]。抽水蓄能电站则是通过上下水库的水位差来储存和释放能量，为电力系统提供调峰服务。

（二）电力储能站布局原则与方法

坚持以需求为导向的原则，根据电力系统的实际需求和可再生能源的地理分布特征，进行储能站的布局规划。在规划过程中，特别强调经济性，通过合理选择储能站的建设地点和规模，以降低建设和运营的整体成本。安全性始终是首要考虑，确保储能站的安全稳定运行，有效预防事故。为实现储能站布局的最优化，采用了包括地理信息系统（GIS）和各类优化算法在内的先进科学方法，这些工具的应用提升了储能站规划的精准度和效率，为电力系统的可靠性和可持续发展提供了坚实支撑。

（三）最大限度利用能源的储能站布局方案

在制定储能站布局方案时，应充分考虑区域资源的特点，优

先在风能和太阳能资源丰富的地区部署储能站，以实现能源的高效转化和利用。同时，需深入分析电网的结构和负荷特性，将储能站布局于电力需求和供应存在不平衡的区域，从而显著提升电网的调峰能力。通过实施多能互补策略，将不同类型的储能技术相互结合，不仅可以提高储能站的运行效率，还能增强其经济效益。这样的布局方案将有效保障电力系统的稳定运行，并促进可再生能源的全面利用，为构建可持续发展的能源体系提供坚实的支撑。

结束语

本文的研究成果不仅为电力网架的扩展与升级改造提供了理论支撑和实践指导，而且为我国新能源电力的消纳以及电力系统可持续发展提出了有益的思路。研究成果有助于推动电力市场的改革，促进能源结构的优化，加快清洁能源的广泛应用，从而为实现我国能源战略目标和生态文明建设提供有力支持。

尽管本文在电力网架扩展与升级改造策略的研究上取得了一定的进展，但仍存在一定的局限性。未来研究可以在以下几个方面进一步深化：一是对电力网架改造的经济性进行更全面的评估；二是探索更多先进技术在电力网架改造中的应用；三是结合不同地区的实际情况，制定更具针对性的改造策略。期望后续研究能够在此基础上，不断丰富和完善电力网架扩展与升级改造的理论体系，为我国电力事业的持续发展提供更加坚实的理论支撑和实践指导。

参考文献

- [1] 肖齐华, 汤真荣. 电力系统节点及线路评估与骨干网架规划[J]. 电器工业, 2023,(06):26-29.
- [2] 周建华, 孙蓉, 陈久林, 等. 基于改进 PSO 算法的含风电场电力系统网扩展规划研究[J]. 江苏电机工程, 2014,33(05):28-31.DOI:10.19464/j.cnki.cn32-1541/tm.2014.05.008.
- [3] 季晨阳. 新型电力系统背景下基于灵活性资源协同调度的分区网架重构恢复[D]. 华北电力大学, 2023.DOI:10.27139/d.cnki.ghbdu.2023.000091.
- [4] 褚旭, 鲍泽宏. 综合能源系统电力网架继电保护原理综述[J]. 上海交通大学学报, 2023,57(04):379-392.DOI:10.16183/j.cnki.jsjtu.2021.492.
- [5] 黄镇宏. 电力系统网架结构规划优化方式分析[C]//中国电力设备管理协会. 中国电力设备管理协会第二届第一次会员代表大会论文集(2). 广东岭南设计院有限公司; ,2022:5.DOI:10.26914/c.cnkihy.2022.050055.
- [6] 张松磊, 陈小倩, 姚文杰. 电力通信光缆网架性能评价模型的实现[C]//中国电机工程学会电力通信专业委员会. 中国电机工程学会电力通信专业委员会第十三届学术会议论文集. 国网福建省电力有限公司信息通信分公司; ,2022:4.DOI:10.26914/c.cnkihy.2022.023510.
- [7] 耿俊琪. 电力系统重要节点与线路评估及骨干网架规划研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2020.DOI:10.27061/d.cnki.ghgdu.2020.006515.
- [8] 邓创, 刘友波, 谭洋洋, 等. 考虑网架恢复过程的电力应急资源调度方法[J]. 电网技术, 2017,41(11):3582-3589.DOI:10.13335/j.1000-3673.pst.2017.0688
- [9] 宋坤隆, 谢云云, 殷明慧, 等. 电力系统网架重构优化中非连通方案的线路编码修正方法[J]. 电网技术, 2017,41(07):2300-2307.DOI:10.13335/j.1000-3673.pst.2016.2537.
- [10] 廖诗武, 姚伟, 文劲宇, 等. 电力系统恢复后期网架重构和负荷恢复的两阶段优化方法[J]. 中国电机工程学报, 2016,36(18):4873-4882+5111.DOI:10.13334/j.0258-8013.pcsee.151765.

城镇污水系统病害诊断及提质增效方法

吴子焱

苏州市平海排水服务有限公司, 江苏 苏州 215000

摘 要 : 随着城镇化进程的加速, 城镇污水系统的重要性日益凸显。然而, 由于多种原因, 城镇污水系统往往存在各种病害, 影响其正常运行和污水处理效果。本文旨在探讨城镇污水系统常见的病害诊断方法, 并提出相应的提质增效措施, 以提高城镇污水系统的运行效率和污水处理质量, 保护生态环境。

关 键 词 : 城镇污水系统; 病害; 诊断; 提质增效

Diagnosis Of Urban Sewage System Diseases And Methods Of Improving Quality And Increasing Efficiency

Wu Ziyang

Suzhou Pinghai Drainage Service Co.,LTD, Jiangsu, Suzhou 215000

Abstract : With the acceleration of urbanization, the importance of urban sewage system has become increasingly prominent. However, due to various reasons, there are often various diseases in urban sewage system, which affect its normal operation and sewage treatment effect. The purpose of this paper is to explore the common disease diagnosis methods of urban sewage system, and put forward corresponding measures to improve the quality and efficiency, so as to improve the operation efficiency and sewage treatment quality of urban sewage system and protect the ecological environment.

Keywords : urban sewage system; disease; diagnosis; improve quality and increase efficiency

引言

城镇污水系统是城镇基础设施的重要组成部分, 对于保障居民生活质量、保持生态环境平衡具有至关重要的作用。然而, 随着城镇的发展和人口的增长, 污水排放量不断增加, 污水成分日益复杂, 城镇污水系统面临着诸多挑战。如病害频发、处理效率低下、水质不达标等。因此, 对城镇污水系统进行病害诊断, 并采取有效的提质增效方法, 已成为当前城镇发展中亟待解决的问题。

一、城镇污水系统概述

(一) 污水系统组成

城镇污水系统主要包括污水提升泵站、污水管网、污水处理厂等。其中, 污水管网的作用主要是将城镇生产的污水统一收集并传输到污水提升泵站, 泵站可将污水提升到一定高度并输送到污水处理厂。污水处理厂负责对污水进行处理, 使污水达到排放标准后统计进行排放或二次利用^[1]。

(二) 污水系统运行原理

城镇污水系统运行方式主要采用重力流和压力流。在污水收集系统中, 污水先通过重力流收集至提升泵站, 在污水提升泵站、污水处理厂之间通过压力管道或渠道传输污水, 最后收集至污水厂并进行处理。

二、城镇污水系统常见病害

(一) 污水管网病害

(1) 结构性缺陷。受到地质条件变化、外部荷载作用、管道

老化等因素影响, 可能会造成管道破裂或渗漏问题, 造成外水入渗、过水能力降低。

(2) 功能性缺陷。主要包括沉积、结垢、障碍物、残墙与坝根等, 这些堵塞物在管道内堆积堵塞, 严重影响污水在管内正常流动。

(3) 错接与混接。污水管与雨水管混接、不同类型污水管混接等, 这些问题加大了污水厂的处理负担, 也会导致水体污染。

(4) 检查井缺陷。检查井主要问题集中在井盖破损、井壁渗漏、抹面脱落等问题, 这些病害不仅会造成外水入渗也会危及行人安全。

(二) 污水泵站病害

(1) 设备故障。提升泵站中的水泵等电气设备件因检修不到位或垃圾清运不及时, 会造成设备无法正常运行, 影响管网的安全; 信息化程度不高, 问题难以及时反馈。

(2) 泵站集水池淤积。集水池中污水固体颗粒长期沉淀淤积, 减少集水池的有效容积, 降低了提升泵站运行效率。

(三) 污水处理厂病害

(1) 处理工艺不合理。部分污水厂采用的处理工艺无法满足污水水质和水量变化, 处理效果不够理想。

作者简介: 吴子焱, 女, 1990年1月3日, 满族, 硕士研究生, 工程师、环境工程研究

(2) 设备老化与故障。污水处理设备长期运行出现磨损、老化以及故障等情况,对污水处理效率、稳定性造成影响。

(3) 污泥处理不当。污泥产量很大并且处理难度高,如果处理不当很容易造成二次污染问题。

三、城镇污水系统常见病害诊断方法

(一) 污水管网病害诊断

1. 结构性缺陷

管道渗漏、破裂和变形最为常见,由于这些病害的存在,一些老旧城区的污水管网外水入渗率可达20%以上,过水能力也受到影响。渗漏点通常具有管壁湿润、水渍、水流痕迹等特点^[2]。可以通过QV及CCTV检测的方式查明直接找出渗漏和变形点位。检测是指在管道内设置移动摄像装置,观察管道内壁情况,通过检测可以排查出管道的腐蚀、破损、渗漏、错口等结构性缺陷,这种方式的优势在于用机械设备代替人工下井目视检测管道,更加安全可靠。

2 功能性缺陷

有部分区域管道在运行一定年限后,会出现不同程度的功能性缺陷,引起管道堵塞。可以根据污水流量、流速进行初步判断,还可以通过CCTV检测的方式查找管道淤积、排水不畅的原因。确定堵塞后使用管道疏通设备,如机械疏通器、高压水枪等,如遇到较大阻力或无法疏通情况,则需要截断管道,将堵塞物清理干净。严重堵塞问题可能会造成污水倒流,必须重点关注。

3. 雨污混错接

当某个污水系统收水区域内的河道水体出现黑臭现象;在旱天可以观察到雨水排放口或者雨水管道内部有十分明显的污水排入水体或流水的现象;在雨天或者河道处于高水位时,污水厂进水水量有显著的升高的同时其进水水质浓度对比晴天有明显的降低,可以初步诊断这个收水区域内部存在雨污混接现象,这种病害会导致污水厂的工程效益降低,应予以重视。

4. 检查井病害

检查井也可能出现各类病害情况,包括井盖缺失、损坏等,不仅会影响行人安全,还可能大量杂物进入到井内。井壁裂缝、渗漏会对检查井稳定性、密封性造成影响,加重底部淤积。

影响污水流通。检查井通常由人工检查,观察井盖、井壁状况,针对井底淤积问题,先测量井底深度变化,进而判断淤积程度^[3]。

(二) 污水提升泵站病害诊断

1. 设备故障

提升泵站中的各类设备故障问题,可以设置设备监测系统。通过监测水泵、电机、阀门等装置的运行参数,如电流、电压、温度等,判断设备是否能够正常运行。例如检测到水系电流持续复升高、电压不稳、温度过高,则代表水泵很有可能存在故障问题,如电机过载、叶轮磨损等。

2. 泵站集水池淤积

集水池淤积主要是因为污水中泥沙、杂物沉积,且沉积速度很快。可通过监测集水池液位,一旦发现有效深度在指定时间内减少,如6个月减少20cm,则要考虑是否需要清淤。

3. 泵站通风不良

部分泵站由于设计不合理,通风设施老化,存在通风不良

等情况。可在泵站内设置空气质量检测仪,如果氧气含量不足18%、二氧化碳浓度达到1%以上以及泵站内存在异味,则可判定为通风不良。这就需要通过加强通风系统运行功率、引入智能风机装置等手段进行优化。

(三) 污水处理厂病害诊断

1. 工艺运行异常

针对污水处理厂运行异常情况,可通过监测进水和各个处理单元的水质指标,水质指标异常代表某个环节存在问题,如污泥老化、曝气不足等^[4]。在正常运行的情况下,COD去除率应在80%以上、BOD去除率应在85%以上、SS去除率在90%以上、NH₃-N去除率在70%以上、TP去除率在75%以上,如果未达标则代表运行存在异常。

2. 设备老化与损坏

污水处理厂设备长期运行会发生老化、磨损等现象,特别是建成年代久远的污水厂,设备老化率非常高。对此,需要定期对污水厂设备进行检查,遇到问题及时进行维修或更新。例如在检查中发现曝气设备的曝气孔堵塞、搅拌设备叶片磨损、脱水设备滤布受损等,如果无法修复则直接换新。

3. 污泥问题

污泥处理是污水处理厂的重要工作环节,如若污泥膨胀上浮都会对最终处理结果带来影响。通过观察污泥性状,如体积变大,明显异味,颜色变深等,或者检测到污泥沉降比超过30%,则代表污泥异常。

四、城镇污水系统提质增效方法

(一) 污水管网提质增效措施

1. 管网改造与修复

针对管网存在渗漏、破裂、变形、障碍物等病害,需要根据具体情况做出开挖或非开挖修复。对于病害程度较轻且施工条件适合的缺陷进行非开挖的修复,使对周边的影响降到最低。如小范围破裂、渗漏等。局部修复技术主要有不锈钢套筒修复、点状原位固化修复等技术。以点状原位固化修复为例,该技术是将浸渍树脂的玻璃纤维软管拉入待修复的管道内,然后利用充气或注水的方式使其膨胀并紧贴管道内壁,之后采用加热固化措施,形成新的内衬管道。该方法修复效率高、成本较低,通常几小时内即可完工。此外,还可以采用整体修复技术,例如紫外光固化内衬修复技术,利用了拉入法将玻璃纤维增强的内衬软管放入到原管道内,使用紫外光照射加速固化,形成新的内衬。相比传统方法,该技术可减少对交通的影响,并且施工周期很短、成本较低。

针对严重病害问题、故障范围较大的情况,则要将其开挖修复。新管道选材时,应重点考虑耐磨性、耐腐性、抗压性,主流的管道有球墨铸铁管、高密度聚乙烯管等^[5]。

2. 定期管网养护

根据管网使用年限、污水流量、管径大小等因素确定养护频率。老旧城区的小口径管道应每年不少于2次;新城区大口径管道,至少应每2~3年清淤1次。根据不同的管径,可采用射水疏通、绞车疏通、推杆疏通、转杆疏通、水力疏通、人工挖铲等方式进行清淤。这些疏通方式在解决功能性缺陷问题具有一定的作

用,但对于缺陷等级较高的功能性缺陷处理不理想,建议采取工程措施对这些缺陷进行处理。此外,还可以采用化学清淤法,但可能会对环境造成一些影响,需要谨慎使用^[6]。

3. 完善管网监测系统

设置流量、压力、水质等检测设备,对管道内运行情况实时监测,通过设置信息采集装置搭建智能化监测系统,将所采集的数据借助通信系统传输至控制中心,实现管网的远程监控与分析。一旦监测到管网数据异常,系统会自动发出警报,提醒管理人员采取有效应对措施。

4. 雨污分流改造

通过雨污分流改造可避免雨水、污水相混合。需提前对城镇排水系统进行调查评估,制定改造方案。如果是新建区域,应严格按照规划标准对雨污分流规划设计,分别铺设雨水、污水管道。老旧城区可结合管路改造、道路整治等工程逐步开展雨污分流工程^[7]。

(二) 污水提升泵站提质增效措施

1. 设备更新与维护

将老化、损坏的设备更换,确保泵站正常运行。对使用年限超过15年的电机,水系等设备进行全面评估,必要的将其换新。新设备选择应注重可靠性和节能性,保障运行效益。定期对设备进行维护保养,制定科学的维护计划,包括日常巡检、定期保养,故障维修等方面。日常巡检需要每天检查设备运行状态、温度,声音是否异常,定期保养应每隔一段时间进行清洁、润滑、部件更换等工作;故障维修应确保及时性,尽可能短时间内使其恢复正常运行。

2. 优化泵站运行管理

结合污水流量、水位变化调节泵站运行参数,通过智能传感器和智能控制系统,实现泵站自动化运行,一旦集水池水位达到高水位阈值,系统会自动开启多台水泵;一旦集水池水位达到低水位阈值,则自动停止部分水泵,从而达到优化运行、节能运行的目标。此外,还需要优化提升泵站的调度策略,让多座泵站联合运行,让整个污水提升系统性能得到提升。借助信息化技术搭建智能管理平台,实时监测和分析泵站运行参数,为调度策略提供信息支持^[8]。

3. 泵站集水池清淤

定期清理集水池淤积物,保障有效容积量,根据集水池淤积

速度决定清淤周期,清淤每年不少于1次。使用专业的清淤设备和方法,保障清淤效果。同时在集水池设计建设中,采取一定的防淤措施,如设置导流板、优化集水池形状等^[9]。

4. 改善泵站通风条件

安装通风装置,加强泵站内的空气流通,根据泵站规模、环境条件选择轴流风机、离心风机等设备,要求换气量不低于6次/h。同时还要优化通风管道与出风口,保持通风均匀性。定期检查风机运行情况,并清洗管道和滤网,确保通风系统正常运行。

(三) 污水处理厂提质增效措施

1. 工艺优化

根据进水水质、水量变化优化工艺参数,如通过调节曝气量来提升生物处理单元运行效率等。针对水中有机物浓度较高情况。应适当增加曝气量和污泥回流比,提高微生物的代谢活性;对于进水水量波动较大的情况,可以通过调整水力停留时间,保证处理效果的稳定。

2. 设备升级改造

对老旧设备进行升级改造,使用新型污水处理设备,如微孔曝气设备、新型压滤机、新型离心机等,相比老旧设备性能有明显提升。在设备选型时,应充分考虑设备的性能、可靠性、节能性等因素。同时,加强设备的安装调试和运行维护管理,确保设备的正常运行和高效使用^[10]。

3. 强化污泥处理工作

对污泥处理工艺进行优化,提升污泥脱水效果,引入新型污泥脱水设备和调理剂,如低温感化设备、高压隔膜压滤机等,可将污泥含水率控制在60%以内,使污泥体积明显变小。对污泥进行无害化、资源化处理。例如采用厌氧消化工艺将污泥中的有机物转化为沼气;污泥好氧堆肥制作成肥料。

结束语

综上所述,城镇污水系统的病害诊断和提质增效是一项复杂而系统的工作,需要综合运用多种技术手段和管理措施。通过对污水系统常见病害的准确诊断,采取有效的提质增效方法,并加强保障措施的落实,可以提高城镇污水系统的运行效率和污水处理质量,减少对环境的污染,为城镇的可持续发展创造良好的条件。

参考文献:

- [1] 齐利华, 邓海, 谭庆俭, 等. 滨海城市污水管网提质增效工程设计[J]. 广东土木与建筑, 2024(02):31-33.
- [2] 宁兆飞, 张晓林. 市政污水管网的施工及质量问题防治分析[J]. 建筑与预算, 2021(1):309-311.
- [3] 王昱昊. 污水管网病害引起地面塌陷的修复方案分析[J]. 安徽建筑, 2023, 30(6):102-104.
- [4] 于莹. 浅谈城市污水管网病害修复工程工作流程[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(9):522-524.
- [5] 王伟楠, 刘英, 杨丽丽, 等. 城市管道病害非开挖检测评估与工程应用[J]. 中国建筑金属结构, 2022(05):122-125.
- [6] 陈泽鑫, 邹秋云, 江璟航, 等. 珠海市横琴新区污水系统病害分析及提质增效思路[J]. 中国给水排水, 2021(02):10-14.
- [7] 李文东. 污水处理厂构筑物建设质量控制研究[J]. 地产, 2021, (13):1-3.
- [8] 于辰雨, 卢鑫, 陈小飞, 等. 城市地下污水管线渗漏区形态及影响范围分析[J]. 中国水运(下半月), 2023(12):66-68.
- [9] 熊振长. 城市排水收集系统检测排查与方案研究[J]. 清洗世界, 2023, 39(2):143-144.
- [10] 桂钱君, 毛春阳, 王磊, 等. 市政工程雨污水管道施工技术应用分析[J]. 四川水泥, 2024(02):155-158.

平原地区农田水利建设与管理途径

赵梅

兴化市海南水利站, 江苏 泰州 225700

摘 要： 平原地区作为我国重要的农业生产基地，其农田水利建设与管理在保障粮食安全、提升农业生产效率方面发挥着至关重要的作用。然而，由于平原地区特有的地形特点、气候变化以及水资源分布不均等因素，农田水利系统在实际运作中面临诸多挑战。本文综合分析了平原地区农田水利建设的现状与问题，包括灌溉系统老化、设施维护困难、水资源管理不足等，并探讨了优化水资源配置、推广先进灌溉技术、加强设施建设和维护、完善水资源管理制度等有效途径。通过系统性地探讨这些问题及其解决对策，本文旨在为平原地区农田水利建设与管理提供科学依据和实践指导，以实现水资源的合理利用和农业的可持续发展。研究表明，只有通过综合措施和科学管理，才能有效提升水利系统的效率，增强其对自然灾害的适应能力，最终保障农业生产的稳定和水资源的可持续利用。

关 键 词： 平原地区；农田水利；建设；管理

Construction And Management Of Farmland Water Conservancy In Plain Area

Zhao Mei

Hainan Water Resources Station, Xinghua, Taizhou, Jiangsu 225700

Abstract： As an important agricultural production base in China, the construction and management of farmland water conservancy plays a vital role in ensuring food security and improving agricultural production efficiency. However, due to the unique terrain characteristics, climate change and unequal distribution of water resources in the plain area, the farmland water conservancy system faces many challenges in practical operation. This paper comprehensively analyzes the current situation and problems of farmland water conservancy construction in the plain area, including the aging of irrigation system, difficulties in facility maintenance and insufficient water resources management, and discusses effective ways to optimize water resources allocation, promote advanced irrigation technology, strengthen facility construction and maintenance, and improve water resources management system. By systematically discussing these problems and their solutions, this paper aims to provide scientific basis and practical guidance for the construction and management of farmland water conservancy in the plain area, so as to realize the rational use of water resources and the sustainable development of agriculture. The results show that only through comprehensive measures and scientific management, can effectively improve the efficiency of water conservancy system, enhance its adaptability to natural disasters, and ultimately ensure the stability of agricultural production and sustainable use of water resources.

Keywords： plain area; farmland water conservancy; construction; manage

引言

平原地区由于其地势平坦和广阔的耕地，历来是我国农业生产的核心区域。农田水利建设在这一地区具有至关重要的意义，它不仅直接影响到农业生产的效率和粮食安全，还关系到区域经济的可持续发展。随着农业现代化进程的推进，平原地区的水利系统面临着越来越复杂的挑战。首先，水资源的分布不均和水质污染问题严重影响了灌溉效率；其次，许多老旧的灌溉设施亟需更新和维护，以提高系统的运行效率；再者，气候变化带来的极端天气事件如洪涝灾害，对农田水利系统提出了更高的要求。面对这些问题，如何科学规划和有效管理农田水利系统，提升其综合运作能力，成为了平原地区农业持续发展的关键。本文将系统探讨平原地区农田水利建设的现状与挑战，分析其主要问题，并提出相应的优化和管理途径。通过深入研究，希望为平原地区的农田水利建设提供科学指导和实践参考，以促进区域农业的可持续发展，保障粮食安全和生态环境的长期稳定。

一、农田水利工程建设与管理中存在的问题

（一）设计与现实脱节

部分农田水利工程在前期勘察和设计阶段存在不够科学、与实际情况不相符的问题。由于农田水利基础设施涵盖面广，涉及到成千上万的家庭、渠系和耕地，实际情况非常复杂，需求也各有不同。这种情况下，勘察和设计工作往往难以全面考虑所有因素，导致设计阶段的不精准。具体而言，设计往往不能充分反映现场实际情况，可能忽视了一些局部问题或特殊需求，从而导致工程在建设过程中与实际需求脱节，形成了所谓的“半拉子”工程。这类工程由于未能达到设计标准或实际应用效果不佳，最终可能导致设施闲置或浪费资源。此外，不切实际的设计还可能引发一系列问题，例如资源的浪费、维护成本的增加以及对农业生产的负面影响^[1]。部分项目可能在建设完成后无法有效发挥应有的功能，进一步导致农田水利设施的闲置和资金的浪费。这种现象表明，农田水利工程在前期勘察和设计阶段需要更加科学和细致的工作，以确保设计方案能够切实符合实际情况和需求，从而提高工程的整体效益和使用寿命。

（二）管理体系问题

尽管农田水利工程建设中管理工作的关键作用已得到广泛认可，然而管理人员对管理工作的认知常常模糊不清。在实际操作中，管理工作往往被视为次要任务，相比之下，施工工作更容易受到重视。这种认知偏差导致了管理方面的资源和精力投入不足，从而对工程的进度和质量产生了显著影响。在农田水利工程中，管理工作不仅仅涉及质量控制，还包括施工进度的合理安排以及对周边环境的有效保护^[2]。这些因素共同影响着工程的整体效果。然而，实际操作中，部分管理人员可能仅仅将注意力集中在落实管理制度上，忽视了施工进度安排和环境保护等重要方面。这种偏重会导致工程在实施过程中出现一系列问题，如进度延误、质量不达标或环境破坏等，最终影响工程的综合效益和长期可持续性。此外，管理工作的全面性和系统性也显得尤为重要。管理人员需要在项目的各个阶段都保持高度的关注，从设计、施工到验收，确保各项工作都按照既定标准执行。只有全面落实管理职责，综合考虑各方面的影响，才能保证农田水利工程的顺利进行和优质完成^[3]。

（三）投资渠道多元化的问题

过去，农田水利工程的投资渠道主要包括四种类型：一是水利行业的专项投资，这主要由水利部门负责，关注水利基础设施的建设与维护；二是国土资源部门的投资，侧重于土地整治和资源开发；三是财政部门的投资，主要用于支持地方政府和相关部门的水利工程项目；四是发改部门的投资，关注于项目的规划和实施进度，确保工程的经济效益^[4]。然而，近年来经过整合，水利工程的投资渠道主要集中为两种：一是水利行业投资，这仍然由水利部门主导，专注于水利设施的技术性和规范性；二是农业投资，主要由农业部门负责，侧重于提升农业生产条件和效率。由于投资渠道和监管部门的不同，这两种投资方式在设计深度、施工质量和验收标准上存在差异。具体来说，水利行业投资侧重于

技术性和专业性，而农业投资则更加关注实际使用效果和经济效益。这种差异导致在一些项目中，尽管在有限的耕地面积上进行了大量投资，但由于标准和效果预期的不同，实际发挥的效益可能未能达到预期。这种现象反映出在整合投资渠道后，尽管资源集中化管理，但仍需要进一步改进和协调，以确保投资效益的最大化^[5]。

（四）工程维护管理不健全

农田水利工程在建设完成后，往往面临着缺乏有效维修和维护资金的问题。这种情况使得政府管理的水利工程，尤其是那些由地方乡镇或村级管理的项目，常常处于“既管又不管”的状态。结果，许多新建工程在投入使用后，由于缺乏后续的维护，迅速出现破损，未能发挥应有的效益。这种情况导致了大量国家资金的浪费。例如，在一些高标准农田项目区内，虽然设计了许多砂石路以提升交通便利性，但由于设计时未考虑排水沟的设置，导致砂石路在雨天积水严重。农机在湿滑的砂石路面上行驶，容易对路面造成破坏，许多砂石路在建成当年即出现破损，部分路段在使用年限内逐渐恶化，最终恢复到修建前的状态。这不仅浪费了大量国家资金，还未能实现预期的工程效益。造成这一问题的原因主要有三方面：首先，项目在设计和建设阶段未预留后期养护的资金；其次，地方政府由于财政压力大，无法提供足够的维护资金；第三，受益农民对工程维护的意识不足，他们往往认为水利工程的维护是政府的责任，与自己无关。因此，缺乏有效的养护机制和资金支持，使得这些工程的使用效果大打折扣，国家投资的回报率也大幅下降^[6]。

二、平原地区农田水利建设与管理的主要途径

（一）科学规划和设计

科学规划和设计是确保农田水利工程高效运作的基础。首先，科学规划要求对平原地区的水文气象条件、土壤特性和作物需水量进行详尽的调查和分析，以制定适合的水利方案。这一过程应充分考虑区域水资源的可用性和分布情况，避免过度开发或浪费水资源。其次，在设计阶段，应采用先进的设计工具和技术，如地理信息系统（GIS）和水资源管理系统（WRMS），对工程进行精确建模和优化设计^[7]。这不仅有助于提高设计的准确性，还能确保水利设施的功能和效率。此外，科学规划还需要综合考虑生态环境保护和可持续发展，设计时要预留适当的生态调节和恢复空间，确保工程对环境的影响降到最低。有效的规划和设计应包括合理的工程布局、科学的水量调度和明确的建设目标，同时制定详细的施工计划和实施方案。在实际操作过程中，规划和设计还应具备一定的灵活性，以适应可能出现的变化和挑战，如气候异常或资源短缺。科学规划和设计不仅为农田水利工程的成功实施奠定了基础，还能提高工程的投资效益，保障农业生产的稳定和可持续发展。

（二）推广先进灌溉技术

推广先进灌溉技术对于提高农田水利管理效率和保障农业生产至关重要。先进灌溉技术如滴灌、喷灌和微喷等，能够精准地

控制水量和分配方式，从而有效减少水资源的浪费和提高灌溉效率。滴灌系统通过将水直接输送到植物根部，减少了蒸发和渗漏损失，特别适合于干旱和半干旱地区的作物生长。喷灌系统则通过模拟自然降雨的方式，均匀地覆盖农田，适合大面积作物的灌溉。微喷技术结合了滴灌和喷灌的优点，能够灵活地调整水量和喷洒范围，适应不同作物和土壤条件的需求。这些技术不仅能显著提高水的使用效率，还能改善作物的生长环境，提升农作物的产量和质量^[9]。为推广这些先进技术，政府和相关机构需要采取一系列措施，包括提供技术培训和支 持、设立示范区以展示技术效果、以及通过政策激励鼓励农民采用新技术。同时，还应建立完善的技术服务体系，帮助农民进行技术选型、安装和维护。通过组织培训班、技术交流会等形式，提高农民对先进灌溉技术的认知和接受度。政府还可以提供财政补贴或贷款支持，降低农民的技术引入成本，进一步推动技术的普及和应用。总之，推广先进灌溉技术不仅有助于提高水资源的利用效率，还能推动农业生产的现代化，促进农业的可持续发展。

（三）健全管理体系

为了提升农田水利工程的整体管理水平，建设单位和施工企业应设立独立的管理部门，专责监督和协调工程的各个方面，包括工程质量、进度、安全、资源分配等。这个管理部门应组建一个专业化的团队，确保工程管理工作得到充分关注和资源支持^[9]。具体而言，工程管理部门需要严格审查和监督各项工作，包括对施工过程的监管、工程质量的定期检查、项目进度的跟踪，以及对管理人员的培训和考核等，确保管理制度的有效执行，从而提高工程管理的水平和质量，确保工程按照既定的高标准和高效率完成。独立管理体系的实施具有多方面的优势。首先，它使管理人员能够深入了解工程的各个细节，如工程进展、质量问题和施工困难等，从而能够迅速采取有效措施解决问题，避免延误和损失。其次，设立独立的管理部门有助于提升施工人员对管理制度的重视程度，促使其严格遵守规范，进而提高工程质量和施工效率^[10]。最后，独立管理部门还能够有效追踪项目资金的使用情况，确保投资资金得到合理配置和使用，减少浪费和滥用现象。这种体系不仅有助于提升工程的整体管理水平，还有助于增强工程的透明度和问责制，确保项目能够顺利实施并取得预期效果。

（四）提高农民参与积极性

为了增强农民对农田水利建设的参与积极性，必须完善相关

的参与机制。政府可以建立一套完善的农民参与决策的机制，通过民主议事、征集意见和建议等方式，确保农民能够积极参与到农田水利建设的规划和决策过程中。此外，政府应加强与农民组织和社区的沟通与合作，建立有效的联系渠道，及时了解农民的需求和问题，并提供针对性的解决方案和支持。为了激发农民的积极性，政府还应探索创新的农田水利建设模式。例如，可以将农田水利建设与农民的利益紧密挂钩，通过股份合作、土地流转等方式，使农民成为项目的受益者和参与者。这样不仅能够提高农民对水利项目的投入感，还能确保项目的实际效果。另外，政府应推广先进的农田水利技术和管理经验，提供系统的培训和技术指导，帮助农民提高水利设施的使用效率和管理水平。通过培训，农民可以掌握最新的技术和管理方法，提升对水利设施的维护和管理能力，从而更好地利用水资源。同时，政府可以支持农民组织成立农田水利合作社或合作社联合体，促进资源共享和合作发展。这些合作社可以集中农民的资源 and 力量，提升农田水利建设的效率和效益，增加农民的综合经济收益。

三、结论

通过对平原地区农田水利建设与管理 的深入分析，本文总结了当前面临的主要问题及相应的对策，揭示了科学规划和设计、推广先进灌溉技术、优化管理机制等措施对提升水利工程效果的重要性。研究表明，科学规划和精准设计能够有效提升水利设施的功能和效率，减少资源浪费；先进的灌溉技术，如滴灌和喷灌，能够显著提高水资源的利用效率，改善作物生长条件；完善的管理体系和明确的管理职责是确保工程质量和进度的关键，而农民的积极参与和技术培训则有助于提高工程的实际效果。优化水资源配置、更新和维护灌溉系统、完善防洪排涝体系以及增加资金投入是提升农田水利工程效益的关键对策。综合来看，只有通过系统化的措施，综合考虑技术、管理、政策和参与等方面，才能真正实现农田水利工程的高效运作，保障农业生产的可持续发展。本文的研究为平原地区农田水利建设的优化提供了理论依据和实践指导，强调了科学规划、技术创新和管理完善的重要性，并对未来水利工程的发展方向提出了有益的建议。这些结论和对策的实施，将有助于提高农田水利工程的总体效益，增强其对自然和经济环境变化的适应能力，促进区域农业的长远发展。

参考文献：

- [1] 杨娟革. 浅谈小型农田水利工程对促进渭北平原乡村振兴的重要性[J]. 杨凌职业技术学院学报, 2023, 22(01): 18-20+38.
- [2] 杨柳林. 平原地区农田水利规划的布局与工作重点[J]. 陕西水利, 2021, (04): 231-232.
- [3] 何璟涛. 洛阳地区农田水利建设研究（1950-1979）[D]. 广西师范大学, 2020.
- [4] 刘佳, 郭旭东, 傅朝康, 等. 淮北平原农业节水灌溉面临的问题和对策[J]. 治淮, 2020, (03): 68-69.
- [5] 邢礼和. 现代农田水利工程建管模式探究[J]. 新农业, 2019, (22): 41-42.
- [6] 胡文忠. 对农田水利灌溉中节水措施的探究[J]. 智库时代, 2017, (10): 227+230.
- [7] 吴雷. 新时期农村小型农田水利建设与管理探讨[J]. 农民致富之友, 2018, (14): 241.
- [8] 张霞. 平原县农田水利建设与管理探讨[J]. 山东水利, 2015, (06): 44-45.
- [9] 万军. 小型农田水利工程建设管理存在问题及建议——以赣抚平原灌区为例[J]. 黑龙江水利科技, 2013, 41(10): 262-264.
- [10] 吕恒心, 朱山涛. 加快推进粮食主产区农田水利建设——湖北省粮食主产区农田水利建设与管理调研报告[J]. 农村财政与财务, 2011, (12): 4-6.

水利工程测绘中激光雷达技术的运用分析

陈兆睿

海南省水利水电勘测设计研究院有限公司, 海南 海口 570100

摘 要： 水利工程测绘严格要求测绘结果的精准性，因此在工程测绘过程中可以利用激光雷达技术，应对复杂的地质环境，使水利工程测绘水平得以提升。本文主要分析了水利工程测绘中激光雷达技术的运用，对于实际工作发挥出参考作用，合理控制工程测绘的误差，推动工程测绘向智能化方向发展。

关 键 词： 水利工程测绘；激光雷达技术；运用措施

Analysis of the Application of Lidar Technology in Water Conservancy Engineering Surveying and Mapping

Chen Zhaorui

Hainan Provincial Water Resources and Hydropower Survey and Design Institute Co., Ltd., Haikou, Hainan 570100

Abstract： Water conservancy engineering surveying strictly requires the accuracy of surveying results. Therefore, laser radar technology can be used in the process of engineering surveying to cope with complex geological environments and improve the level of water conservancy engineering surveying. This article mainly analyzes the application of laser radar technology in water conservancy engineering surveying and mapping, which plays a reference role in practical work, reasonably controls the errors of engineering surveying and mapping, and promotes the development of intelligent engineering surveying and mapping.

Keywords： water conservancy engineering surveying and mapping; lidar technology; application measures

在水利工程勘察和建设等环节中贯穿工程测绘工作，在工程勘察过程中，通过提供精准的地形图，方便施工单位开展施工。针对传统的工程测绘工作，主要是利用全站仪和 RTK 等技术，不仅需要投入较多的人力资源和物力资源，同时不利于保障作业效率，二维地形环境因素很容易影响实际工作的开展。科学技术不断发展，在水利工程测绘过程中开始广泛利用激光雷达技术，具有自动化优势，同时可以优化测绘结果的精准性，而且天气因素不会影响到激光雷达技术的应用，因此水利工程测绘人员需要加强分析激光雷达技术的应用，在实际工作中发挥出技术优势。

一、激光雷达技术

激光雷达涉及外业采集和内业处理两部分，在外业采集过程中涉及较多的工序，例如需要开展数据预处理，同时需要采集数据和测量地面等，在处理内业数据的时候，需要检查成果数据的精准性，同时需要处理点云数据，具体的技术路线如下图1所示。

（一）前期准备

在前期准备阶段，需要勘察施工现场，合理规划设计航线，确定航飞具体的范围，全面收集测量数据和气象数据等，需要根据目标要求对航飞路线和范围进行合理规划，合理扩大覆盖范围，合理进行扩充，在航飞路线规划阶段注意结合设备性能和测区特点，保证飞行高度和起降点的科学性^[1]。

（二）地面测量

地面测量主要包括参考面测量和地面基站测量两部分，在参

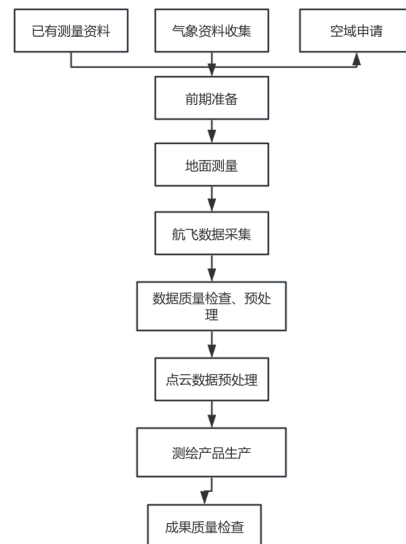
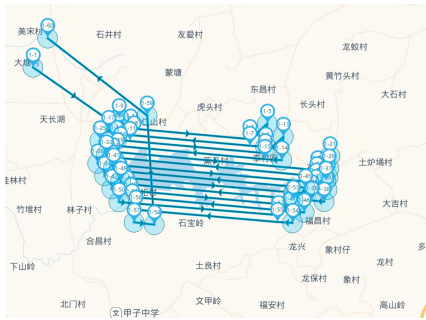


图1 激光雷达关键技术路线



> 图2航线设计图

考面测量过程中，需要根据特征点检查激光点平面高程数据，特征点指的是像控点或明显建筑物的角点、凸出点等，需要在合适区域均匀地采集高程特征点。在地面基站测量阶段，需要根据地面高级控制点，合理设置基站，发挥出 GPS 技术的作用，在航测之前需要布置地面基站用于激光雷达的后差分处理，完成航摄工作之后再关闭基站，在航摄过程中，需要保证信号的通畅性，同时需要维持供电状态，在测量过程中，需要合理校正激光点和调整参数，可以使云数据精准性以提升。



> 图3相控点

(三) 采集航飞数据

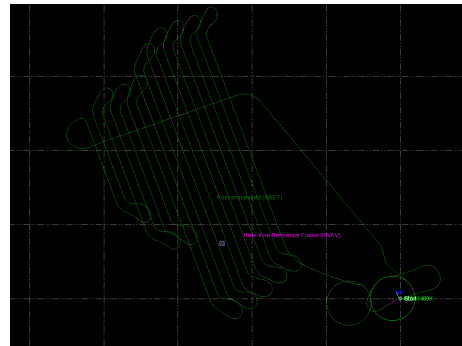
规划操控无人机飞行，工作人员需要对其无人机续航能力和天气因素等进行实时关注。在起飞之前和降落之后，工作人员都要对机载激光雷达运行状态进行检查，保证记录数的完整性。



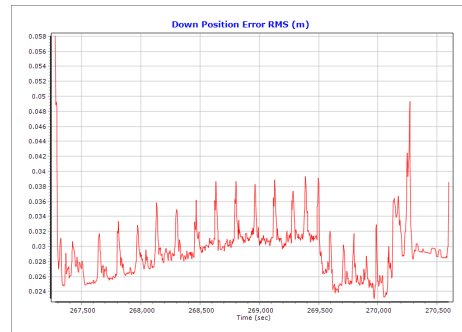
> 图4调整雷达参数

(四) 数据预处理和检查

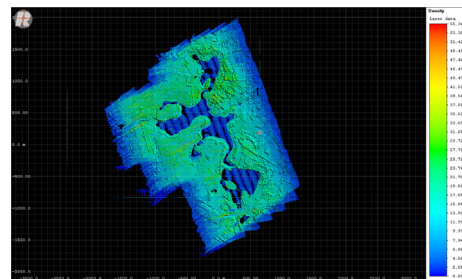
完成航摄工作之后，工作人员需要对点云采集密度、采集精度和数据采集范围等内容进行检查分析，保证这些内容符合规范，避免出现漏问题^[2]。



> 图5轨迹解算



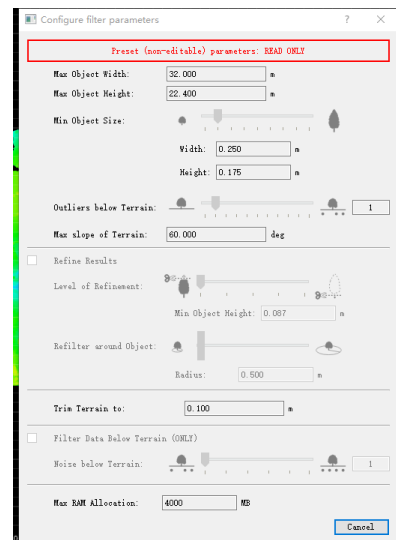
> 图6点云精度报告



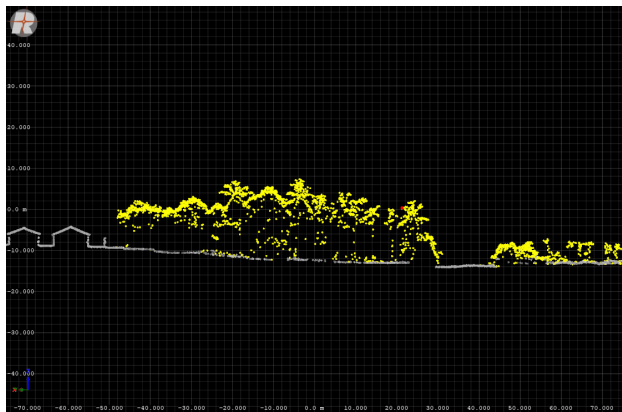
> 图7点密度

(五) 点云数据处理

点云数据处理过程中包含点云分类和点云滤波以及坐标转化内容，在点云滤波阶段，需要利用 RIPPROCESS 软件滤波处理点云数据，同时需要结合工作现场的植被和地形条件等方面的影响，合理设置阈值，利用阈值过滤离地物和面点云。



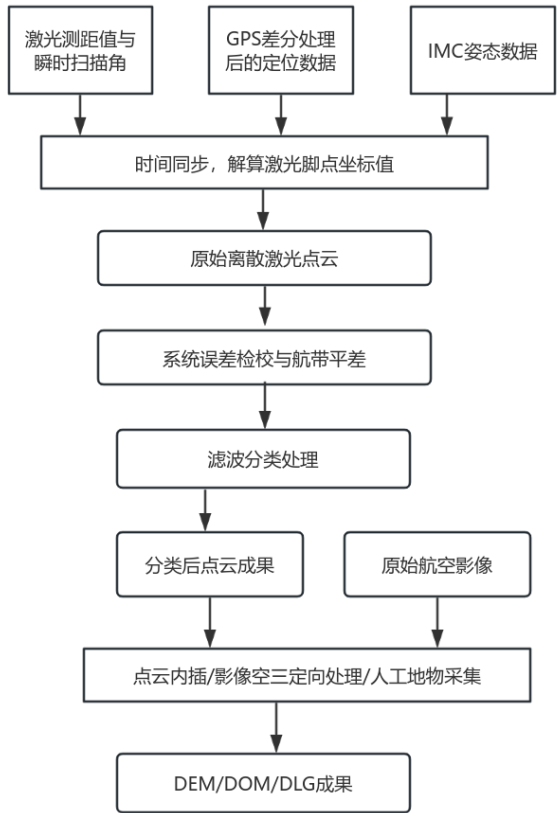
> 图8



> 图9分离地物和地面点云

（六）测绘产品生产

通过去噪处理点云数据，可以构建 DSM 模型，再采取滤波处理，可以生成 DEM。然后结合 DOM 和分离处理之后的点云数据，确定涉及的地物要素，再综合分析外侧测绘数据等，最生成 DLG，如下图2。



> 图10激光雷达数据处理流程

（七）成果质量检查

根据技术规范对 DEM 精度和地形图等进行检查。

二、激光雷达技术的应用优势

（一）不受作业条件的限制

激光脉冲具有极高的穿透性，高功率的激光可以透过狭窄的裂缝照射到树干、树冠、地面、灌木等处，进而形成多重回波。在各类特殊的作业环境中，均可顺利采集数据，植被不会

阻碍激光脉冲，通过采集和滤波处理等点源数据，并根据点云强度信息进行精确分类^[3]。如果覆盖区域的植被过于茂密，将会减少点云数量，但通过调节发射功率、扫描频率及扫描角等参数，使获取的点云与实际应用要求相吻合，有利于顺利完成测绘工作。

（二）实现全天候作业

激光雷达可以实现全天候作业，天气和太阳角等因素不会限制到作业开展，同时可以减少作业时间，避免因不利天气影响到成果精度和作业进度，保障测绘作业的高效性，有利于满足水利应急测绘需求。

（三）可控性好

激光雷达通过对回波信号进行接收和发射激光波速度等一套主动的作业处理，来实现对地表的信息的采集。在测量的时候，操作者通常需要进行一些预先的准备，在后续工作中，数据的采集和处理等工作可以实现自动化操作。整体操作方便，对操作者的需求也比较少。以点测为基础的传统制图方法，仅能得到普通数字高程数据，且所获得的地表信息十分有限。而激光雷达可以迅速采集海量的高精度点云，如果将 DOM 与 DEM 结合起来，则可以在采集地面图像的基础上，得到点云，再经过内业的处理，形成数字地形图、正射效果图、地面模型等，从而实现了库区水位线和库容的计算，以及断面提取等功能。它的制图结果相当的丰富，可以为水利部门的建设工作奠定基础。

（四）作业周期短

激光雷达作业过程中无需布置较多的地面基站，并且没有严格要求旁向和航向的航线重叠率，有利于高效地采集数据。对比传统的航测技术，利用激光雷达可以节省工作时间，有利于保障多山、多树林的水利工程测绘结果的精度，缓解前期工作压力。

三、水利工程测绘中激光雷达技术的运用

以福湖水库为例，福湖水库位于海口市琼山区三门坡镇福湖村附近，滨州河上游，水库于1958年动工兴建，1959年12月枢纽工程完工，水库设计灌溉面积1.039万亩，是一座以灌溉为主，兼有养殖等综合利用的小（一）型水利工程。

（一）航飞准备

根据任务要求选用 C200 垂起固定翼无人机搭配激光雷达，索尼 A7R II 镜头。再根据载具以及负载规划航线。最后根据测区和实际规划的航线，包括任务航线和起降航线确定航飞范围，然后提前进行空域申请，做好准备工作。

（二）地面测量

在航测开始前需要均匀地布设高程特征点和相控点，利用特征点检查激光点平面高程数据、利用相控点控制摄影测量模型的坐标精度。起飞前需要合理布设基站，为无人机 GPS 提供差分信号，以及激光雷达预处理时的后差分数据。激光雷达需要校正激光点，同时需要根据飞行高度，场的空气湿度、温度调整相关参数，获取高精度的点云数据。



> 图 11 基站

（三）采集航飞数据

在航飞阶段，需要合理选择起飞点，优化信号站和飞机的通讯效果。合理规划航线，设置雷达参数扫描频率为 200Hz，飞行高度为 300m。逆风起飞，达到特定高度之后进入绕 8 字航线，进行惯导标定，进入任务航线后再开启激光雷达记录数据，根据航线自动化完成工作任务，在实际行过程中，需要对雷达镜头进行观察，保证点云数据正常记录。



> 图 12 垂起固定翼无人机起飞

（四）数据处理

完成飞行任务之后，利用计算机读取雷达内部硬盘数据。在 POSpac 软件上对轨迹进行后差分处理，提高精度。根据处理后的轨迹文件在 RIPROCESS 软件上滤波和去噪处理，再利用七参数转换坐标和高程，用特性点对精度进行检查，再结合实际情况提取地面点的参数，随后自动化生成高程点和等高线等，在 Cass 三维测图软件中导入 las 点云文件，通过 Cass 软件编辑处理导出的数据，即可形成数字化地形图^[4]。

结束语

激光雷达测绘技术具有较多的优势，在水利工程中优势更加明显，具有较大的应用前景，因此水利工程测绘人员需要积极研究激光雷达技术，掌握技术使用要点，在水利行业中推广利用这项技术，为后续施工工作的顺利开展提供精准性的数据。

参考文献；

- [1] 陈西强. 无人机机载激光雷达技术在电力线路工程中的应用分析 [J]. 福建建设科技, 2024(03):96-98+103.
- [2] 龙宇杰, 辜杰为, 唐晓强. 机载激光雷达技术在资源县抽水蓄能电站地形图测量中的应用 [J]. 四川水力发电, 2024, 43(02):20-27.
- [3] 周建基, 韦睿妍. 基于无人机机载激光雷达技术的地表变形监测研究 [J]. 信息记录材料, 2023, 24(12):155-157+160.
- [4] 廖卓宇, 朱传刚, 孙忠慧, 等. 无人机激光雷达技术在电力运维工作中的应用 [J]. 通讯世界, 2024, 31(03):117-119.

港口干散货码头扬尘污染防治研究

赵杨¹, 张洪铭²

1. 天津港中煤华能煤码头有限公司, 天津 300456

2. 天津环科瞻云科技发展有限公司, 天津 300191

摘 要： 本文专门针对港口干散货码头的扬尘污染问题进行了深入探讨，涵盖了装卸、堆存、取货等各个关键环节。文章对我国港口干散货码头扬尘污染的现状和特点进行了全面分析，以便更准确地理解这一问题的严重性和复杂性。随后对干散货码头各个环节的扬尘污染防治技术进行了详细综述，包括物理防治、化学防治、生物防治以及综合防治技术。这些技术的应用旨在减少扬尘污染，保护港口周边环境和公共健康。

在此基础上，文章进一步研究了干散货码头扬尘污染防治的策略，包括构建科学的管理体系、制定相关的政策法规、开展宣传教育与培训工作。这些策略的实施旨在提升港口企业的环保意识，确保扬尘污染防治措施得到有效执行，从而促进港口的可持续发展。

关 键 词： 港口干散货码头；扬尘污染；防治技术；装卸环节；堆存环节

Research on the Prevention and Control of Dust Pollution in Port Dry Bulk Cargo Terminals

Zhao Yang¹, Zhang Hongming²

1. Tianjin Port Zhongcoal Huaneng Coal Wharf Co., LTD, Tianjin 300456

2. Tianjin Huanke Zhanyun Technology Development Co., Ltd., Tianjin 300191

Abstract： This article specifically explores the issue of dust pollution in dry bulk cargo terminals at ports, covering various key links such as loading and unloading, storage, and pickup. The article provides a comprehensive analysis of the current situation and characteristics of dust pollution at dry bulk cargo terminals in Chinese ports, in order to better understand the severity and complexity of this problem. Subsequently, a detailed review was conducted on the dust pollution prevention and control technologies in various aspects of the dry bulk cargo terminal, including physical control, chemical control, biological control, and comprehensive control technologies. The application of these technologies aims to reduce dust pollution, protect the surrounding environment of ports and public health.

On this basis, the article further studied the strategies for preventing and controlling dust pollution in dry bulk cargo terminals, including building a scientific management system, formulating relevant policies and regulations, and carrying out publicity, education, and training work. The implementation of these strategies aims to enhance the environmental awareness of port enterprises, ensure the effective implementation of dust pollution prevention and control measures, and promote the sustainable development of ports.

Keywords： port dry bulk cargo terminal; dust pollution; prevention and control technology; loading and unloading process; storage process

引言

在全球经济迅猛发展的背景下，港口作为关键的物流节点，其货物吞吐量持续攀升，对能源和原材料的需求也随之膨胀。干散货码头作为港口运作的核心环节，负责着煤炭、矿石、粮食等大宗货物的装卸、储存和转运工作。然而，随着干散货码头作业的增加，扬尘污染问题也日益凸显，对周围环境以及公众健康构成了严峻挑战。鉴于此，深入研究港口干散货码头的扬尘污染防治策略，对于保护环境和提升公共健康水平显得尤为迫切和重要。

一、港口干散货码头扬尘污染现状

（一）我国港口干散货码头扬尘污染现状

扬尘是由于地面上的尘土在风力、人为及其他因素带动下飞扬而进入大气的开放性污染源，是空气中总悬浮颗粒物的重要组成部分，是城市空气污染的主要因素之一。它主要来源于裸露地表、建筑工地、货物堆场等。^[1]随着我国港口干散货码头吞吐量的增加，扬尘污染问题日益成为公众关注的焦点。这些污染物不仅对周边环境造成破坏，而且对居民的健康构成严重威胁。由于港口作业环境的特殊性，如广阔的场地、强风、低湿度等，使得扬尘治理面临巨大挑战。传统的治理方法效果不佳，因此，创新治理技术和管理模式成为实现港口绿色、可持续发展的关键。

为了有效控制港口干散货码头的扬尘污染，保护环境与公众健康，并推动港口的可持续发展，必须采取综合性的治理策略。这一策略涉及三个关键环节：源头控制、过程管理和末端治理。^[2]在源头控制上，应通过优化装卸流程、采用封闭式仓储设施以及实施预湿作业等方法，最大限度地减少扬尘的产生。在过程管理上，应强化现场监管，严格执行环保法规，并确保采取有效措施抑制扬尘。在末端治理上，应利用先进的喷雾除尘和负压吸尘技术，进一步降低扬尘对环境和人体健康的潜在危害。

（二）港口干散货码头扬尘污染特点

港口干散货码头的扬尘污染具有多样性、广泛性、高强度和长期性，治理困难。主要污染源为装卸机械、堆垛和运输车辆，扬尘包括粉尘、颗粒物和有害气体。扬尘污染影响广泛，长期作业威胁环境和健康。治理受场地开阔、风力大、湿度低等因素制约，且污染源和污染物种类多，使得治理复杂^[3]。扬尘污染还可能导致大气和土壤污染，影响港口及其周边地区的可持续发展。

（三）港口干散货码头扬尘污染影响因素

在港口干散货码头的操作过程中，扬尘污染是一个复杂的问题，其严重程度受到装卸机械类型、作业方法、场地状况以及作业时间等多种因素的影响。特别是在露天堆放和简易棚屋堆存的情况下，堆场环境和作业时间的长短都会显著增加扬尘的风险^[4]。为了有效控制扬尘，必须采取一系列针对性的措施，这包括优化装卸设备操作、改进作业流程、提升场地环境条件以及合理安排作业时间，以确保既能提高作业效率，又能减少对环境的影响。

二、干散货码头装卸、堆存、取料环节扬尘污染现状

（一）装卸环节扬尘污染现状

港口干散货码头的扬尘污染是一个多方面的问题，主要来源于散货料堆、码头作业现场、道路及裸露地表等。散货料堆中的煤炭、矿石、粮食等在风吹过时容易将细小的颗粒物吹起，形成粉尘，不仅对港口作业人员的呼吸系统造成危害，还可能飘散到周边居民区，影响居民的生活质量。^[5]码头作业现场中，装卸、搬运和运输散货的过程中，机械设备的扰动和振动会使散货颗粒扬起，形成粉尘，对作业人员的皮肤、眼睛和呼吸系统造成刺激和伤害，长期暴露还可能导致职业病。此外，港口内的道路和裸露地表也是扬

尘污染的来源之一，车辆行驶时车轮卷起的尘土和散货颗粒会形成扬尘，裸露地表的土壤在风吹日晒下容易干燥，形成细小的颗粒物，随风飘散。这些扬尘污染对周边居民和生态环境产生负面影响，粉尘飘散到居民区会影响居民的生活环境和健康，同时还会对周边的植被、水体和土壤造成污染，破坏生态平衡。

（二）堆存环节扬尘污染现状

在港口干散货码头的堆存环节，扬尘污染问题主要源于传统的露天堆存和简易棚屋堆存方式，这些方式容易导致扬尘污染物在风力作用下迅速扩散，对周边环境和人体健康构成威胁。港口堆存场地开阔、风力大、湿度低的特点加剧了扬尘污染问题。此外，港口堆存作业时间长、全年无休，以及部分港口在堆存作业管理方面的不足，如作业人员环保意识不强、设备维护不到位等，也导致了扬尘污染问题得不到有效控制^[6]。港口堆存的货物种类繁多，不同种类的货物在堆存过程中产生的扬尘污染程度不同，进一步增加了防治的复杂性。

（三）取料环节扬尘污染现状

在港口干散货码头的取料环节，由于大型取料机械设备的使用，如斗轮机和皮带输送机，扬尘污染问题十分严重。这些设备在作业过程中产生大量扬尘，在风力作用下迅速扩散，对周边环境和人体健康构成威胁。此外，传统的取料作业方式，如人工取料和简易机械取料，也容易产生扬尘，特别是在人工取料过程中，工人直接接触货物，作业过程中产生的扬尘无法有效控制。^[7]港口取料作业场地通常较为开阔，风力较大，加之湿度较低，使得扬尘污染问题更为严重。港口取料作业时间长，全年无休，导致扬尘污染持续存在，特别是在大风天气，扬尘污染问题更为严重，对周边环境和人体健康构成长期威胁。同时，部分港口在取料作业管理方面存在不足，如作业人员环保意识不强、设备维护不到位等，导致扬尘污染问题得不到有效控制。

三、港口干散货码头扬尘污染防治技术

（一）湿法抑尘技术

在港口干散货码头的运营过程中，扬尘污染是一个不容忽视的问题。为了有效控制这一现象，多种湿法抑尘技术被广泛采用。这些技术包括：安装喷洒水系统，通过周期性的喷洒增加空气湿度，从而减少粉尘的生成；采用高压喷雾系统，将水雾细密地喷洒到空气中，使粉尘颗粒增重，从而降低其飞扬的可能性；^[8]在散货料堆表面喷洒抑尘剂，形成一层保护膜，有效抑制粉尘的产生和扩散；以及在特定条件下，喷洒人造雪，形成覆盖层，减少风力对粉尘的扬起。这些技术可根据实际情况选择固定式或移动式喷洒，具有雾化效果好、覆盖范围广、能耗低等优点，适用于大面积扬尘污染治理。抑尘效果显著、持续时间长，且对环境友好，尤其适用于寒冷地区的港口干散货码头。

（二）干法抑尘技术

为了有效应对这一挑战，可以采取多种干法抑尘技术：采用苫盖压实技术，即在散货料堆表面覆盖苫布或进行压实处理，以减少风力对粉尘的扬起作用。这一技术适用于散货料堆的临时和

长期存放，具有操作简便、成本较低的优点；通过设置集尘设备，如集尘袋和集尘网等，能够有效收集并减少粉尘的扩散。集尘设备的类型和数量可根据实际需求进行选择^[9]；新型生物纳膜抑尘技术通过喷洒新型生物纳膜，形成保护膜，长期抑制粉尘的产生和飞扬，具有抑尘效果显著、对环境友好的优点；云雾抑尘技术通过特定设备产生云雾，促使空气中的粉尘颗粒聚集并最终沉降，适用于大面积的扬尘污染治理，具有抑尘效果好、覆盖范围广的优点。这些干法抑尘技术的综合应用，能够有效降低港口干散货码头的扬尘污染，保障作业环境的安全和卫生。

（三）干湿结合抑尘技术

1. 集尘设备设置：在散货料堆、码头作业现场等扬尘污染源附近设置集尘设备，如集尘袋、集尘网等，将飞扬的粉尘收集起来，减少粉尘的扩散。集尘设备可以根据实际情况选择合适的类型和数量。

2. 综合控制策略：根据港口干散货码头的实际情况，制定合理的干湿结合抑尘控制策略。通过调整喷水系统、喷洒抑尘剂的种类和用量、集尘设备的设置等，实现对扬尘污染的有效控制。

（四）其他机械物理方法

1. 建立防尘屏障：在散货料堆、码头作业现场等扬尘污染源附近设置防尘屏障，如防风网、防尘墙等，减少风力对粉尘的扬起作用。防尘屏障可以根据实际情况选择合适的类型和高度，以达到最佳的防尘效果。

2. 物理吸附：在散货料堆表面喷洒吸附剂，如活性炭、硅胶等，吸附粉尘颗粒，减少粉尘的飞扬。物理吸附方法具有吸附效果好、对环境友好等优点，适用于散货料堆的长期存放。

3. 植被覆盖：在散货料堆、码头作业现场等扬尘污染源附近种植植被，利用植被吸收空气中的粉尘^[10]。植被覆盖方法具有美化环境、减少扬尘污染等优点，适用于港口干散货码头的长期规划和绿化。

四、港口干散货码头扬尘污染防治策略研究

（一）扬尘污染防治管理体系构建

在港口干散货码头，建立全面的扬尘污染防治管理体系是关键。这涉及政策法规、组织架构、责任分工、防治措施、监测评估和宣传教育等多个方面。政府部门需制定和完善相关法律法规，企业应设立专门的管理机构，明确职责并建立责任追究机制。企业还需根据实际情况制定具体的防治措施，并建立监测评估体系。同时，加强员工和周边居民的环保意识教育，提高他们的责任感和使命感，共同参与扬尘污染防治工作。

（二）扬尘污染防治政策法规制定

在港口干散货码头，制定科学合理的扬尘污染防治政策法规是指导与规范工作实践的核心。这一过程必须充分考虑码头的特殊环境特点以及具体的污染状况，确保所制定的法规既科学又合理，且具备可操作性。法规内容应具体明确，涵盖防治目标设定、责任主体界定、具体实施措施、监测评估机制的构建以及宣传教育活动的开展，旨在达成减少污染排放、提升空气质量等关

键目标。通过明确责任、提供行动指南、建立有效的监测评估体系以及加强公众教育，可以有效推动港口干散货码头扬尘污染防治工作的顺利开展。

（三）扬尘污染防治宣传教育与培训

在港口干散货码头，扬尘污染防治宣传教育与培训工作是提升从业人员环保意识和责任感、促进公众参与的关键措施。通过系统的培训和有效地宣传，从业人员能够更加深刻地认识到扬尘污染的危害性，掌握防治的基本知识和技能，并在工作中依法合规操作。同时，加强与周边居民的沟通与宣传，增强他们的环保意识，减少误解和抱怨，鼓励社区参与，共同营造一个良好的生活环境。

结束语

在深入地研究与探讨之后，本研究对港口干散货码头扬尘污染防治技术进行了系统性的综合分析。本研究从装卸、堆存至取料环节，提出了一系列具体且针对性强的技术措施，包括湿式作业、封闭式装卸系统、局部通风除尘、防尘网覆盖、化学抑尘剂应用、堆场绿化、湿式取料、干式除尘技术以及声波除尘等方法。这些技术措施的应用对于有效控制和减少港口干散货码头的扬尘污染，保护环境和人体健康具有重要意义。

此外，本研究还特别强调了综合性措施的重要性，包括环境监测与管理、操作人员防护以及培训与宣传教育等方面。这些综合性措施的实施将进一步增强扬尘污染防治效果，营造一个更加清洁和安全的工作环境。

然而，我们必须认识到，港口干散货码头扬尘污染防治是一个复杂且长期的过程，需要政府、企业和公众的共同努力。在未来的研究中，我们还需持续探索和创新，寻求更加高效、环保的防治技术，以应对不断变化的环境挑战。

参考文献

- [1] 范莹莹，余思勤. 港口干散货码头扬尘污染防控评价指标体系[J]. 水运管理，2015, 37(10): 26-30. DOI: 10.13340/j.jsm.2015.10.014.
- [2] 张复亮. 上海港口码头企业扬尘防控现状及对策[J]. 城市公用事业，2010, 24(06): 4-7+49. DOI: 10.16487/j.cnki.issn2095-7491.2010.06.002.
- [3] 黄聪聪. 党建引领促进柳州市道路扬尘治理精细化水平提升对策研究调研报告[C]// 中国共产党柳州市直属机关工作委员会. 2023年柳州市直机关党建理论研究征文汇编. 柳州市水上综合执法支队综合执法大队党支部; , 2023: 17. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.100999.
- [4] 周婷婷，王会娟. 建筑施工扬尘污染防治措施有效性评价方法研究[J]. 资源节约与环保，2023, (10): 88-91. DOI: 10.16317/j.cnki.12-1377/x.2023.10.014.
- [5] 尹楚杰，李雅杰，王灏，等. 建筑施工扬尘污染问题及其防治[J]. 环境工程，2023, 41(S2): 345-348+353.
- [6] 孙一鸣. 我国扬尘污染防治地方立法不必要重复问题研究[D]. 广西大学，2022. DOI: 10.27034/d.cnki.ggxiu.2022.000840.
- [7] 吴蛟，李伟. 干散货码头带式输送机物料撒漏及粉尘治理关键技术[J]. 港口科技，2023, (03): 6-13.
- [8] 朱海霞. 码头散货堆场防风网设计方法[J]. 珠江水运，2022, (22): 108-110. DOI: 10.14125/j.cnki.zjsy.2022.22.019.
- [9] 干散货码头露天堆场智能喷淋抑尘技术[J]. 中国环保产业，2022, (11): 88.
- [10] 杨廷帅，杨洪锡，赵磊，等. 干散货码头皮带流程智能巡检系统[J]. 港口装卸，2022, (03): 59-62.