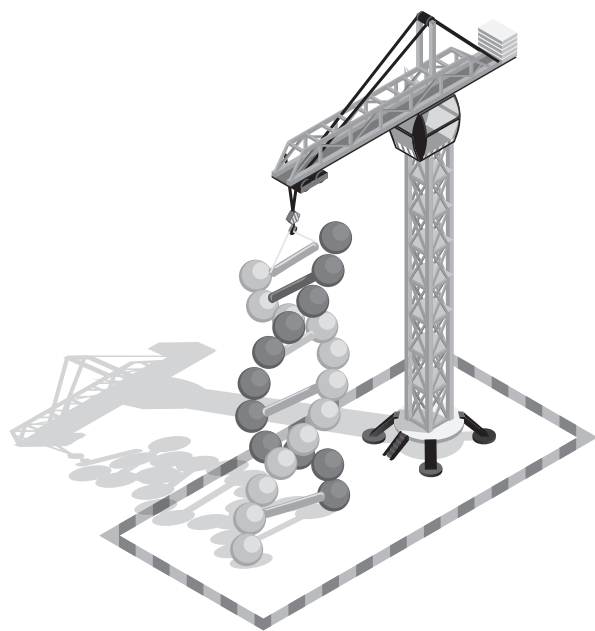


工程 研究与应用

Engineering Research and Application



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

119 S Atlantic Blvd, Suite 300D

Monterey Park, CA 91754

Copyright © 2025 by ART AND DESIGN PRESS INC.

Complimentary Copy



Editorial Board

Editors-in-Chief

Xiaolei Ju

China Architectural Design and Research Institute, China

Meilian Chao

Heze Dehe Construction Engineering Group Co., LTD.

Editorial Board Member

Xianbo Tu

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

Neda Abbasi

School of Engineering and Technology

Tanvir Ahamed

School of Engineering and Technology

Zhen Xu

Zhongtong Bus Holding Co., LTD.

工程研究与应用

Engineering Research and Application

第3卷 第2期 2025年2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:

1. 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。
2. 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。
3. 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。
4. 论文未曾以任何形式公开发表过。
5. 作者所投本刊稿件, 本刊编辑部拥有修改权。



工程科学 | ENGINEERING SCIENCE

- 005 Scrum 敏捷方法在军品研发项目中的应用研究 王卫, 曹冲, 薛友海, 刘鹏
Application Research of Scrum Agile Method In Military
Research and Development Projects Wang Wei, Cao Chong, Xue Youhai, Liu Peng
- 008 湾流 G650 飞机主电瓶充电器故障研究与分析 刘英刚
Research and Analysis on Troubleshooting of Main Battery
Charger for Gulfstream G650 Aircraft Liu Yinggang
- 011 无人机低空遥感技术在崩塌地质灾害动态监测中的应用 黄磊
Application of UAV Low-Altitude Remote Sensing Technology in the Dynamic
Monitoring of Collapse Geological Disasters Huang Lei
- 014 煤矿机械制造及自动化中节能设计理念的运用分析 李治强, 黄梦牵
Analysis of the Application of Energy-Saving Design Concept in Coal Mine
Machinery Manufacturing and Automation Li Zhiqiang, Huang Mengqian
- 017 地图制图技术在地理信息系统数据中的应用 张传东
Application of Map Mapping Technology in GIS Data Zhang Chuandong
- 020 某磷石膏干渣库浆砌石拦渣坝开裂变形原因
分析及处理方案探讨 陈贵生, 余再西
Analysis of the Causes of Cracking and Deformation of the Masonry
Stone Retaining Dam in a Phosphogypsum Dry Slag
Storage Yard and Discussion on the Treatment Scheme Chen Guisheng, Yu Zaixi
- 024 安全文化与特种设备安全法规执行困境与对策研究 党坚
Research on Safety Culture and Dilemmas and Countermeasures
in Implementing Special Equipment Safety Regulations Dang Jian
- 027 消防工程主要施工技术实践研究 汤亭亭
Research on Main Construction Technology Practices
in Fire Protection Engineering Tang Tingting
- 030 顶驱扭摆系统研发与应用 肖伟鸿, 刘伟刚, 丁锐, 张海洋, 杨凯
Research and Application Of Top Drive Torsion
Pendulum System Xiao Weihong, Liu Weigang, Ding Rui, Zhang Haiyang, Yang Kai
- 033 原位聚合改性 EPDMNR
并用胶的性能探讨 王月红, 刘恒发, 陈丙瑞, 王硕, 曷东琦
Discussion on the Performance of In-situ Polymerization
Modified EPDMNR Combined with
Adhesives Wang Yuehong, Liu Hengfa, Chen Bingrui, Wang Shuo, Chuai Dongqi
- 036 工程造价数字化转型: 现状、挑战与发展趋势展望 丁涛
Digital Transformation of Engineering Cost: Current Status, Challenges,
and Development Trends Outlook Ding Tao
- 039 输电线路施工中的技术创新与应用 吴炫津
Innovation and Application of Construction Techniques
in Transmission Line Projects Wu Xuanjin
- 042 变频节能技术在煤矿机电设备中的应用研究 赵晓凡
Research on the Application of Frequency Conversion and Energy Saving
Technology in Coal Mine Electromechanical Equipment Zhao Xiaofan
- 045 公路桥梁设计及其抗震优化分析 张雨
Design and Seismic Optimization Analysis of Highway Bridges Zhang Yu

048	高精度传动系统中轴承和联轴器的匹配策略 Matching Strategy of Bearings and Couplings in High-Precision Transmission Systems	章俊杰, 魏巍, 冯卫国, 岳国艳 Zhang Junjie, Wei Wei, Feng Weiguo, Yue Guoyan
051	桥梁隧道工程中的喷锚支护施工技术研究 Research on the Construction Technology of Spray Anchor Support in Bridge and Tunnel Engineering	王靖宇 Wang Jingyu
054	公路工程业主进度管理的影响因素与应对措施 Construction and Application of Life-Cycle Cost Management Model for Highway Engineering	周林平 Zhou Linping
057	工业固体废物治理与减量化管理的探索与实践 Exploration and Practice of Industrial Solid Waste Treatment and Reduction Management	冯小洁 Feng Xiaojie
060	电力用户满意度对电力营销的影响分析 Analysis of the Impact of Electricity User Satisfaction on Electricity Marketing	朱鹏飞, 周黎 Zhu Pengfei, Zhou Li
063	林业产业数字化转型: 现状、挑战与创新路径 Digital Transformation of the Forestry Industry: Current Status, Challenges, and Innovation Paths	吴长飞, 方万力, 季雅玲, 刘晨曦 Wu Changfei, Fang Wanli, Ji Yaling, Liu Chenxi
066	公路工程施工中土石混填路基施工技术的运用 Application of Soil-Rock Mixed Fill Subgrade Construction Technology in Highway Engineering Construction	孙雪莲 Sun Xuelian
069	浅谈城市水工环地质调查评价工作 A Brief Discussion on Geological Survey and Evaluation of Urban Hydrogeology, Engineering Geology, and Environmental Geology	吴琼 Wu Qiong

建筑科学 | BUILDING SCIENCE

072	防雷击电磁脉冲技术在建筑物中的应用研究——以阿里云谷园区防雷装置安全检测项目为例 Research on the Application of Lightning Protection Electromagnetic Pulse Technology in Buildings ——Taking the Lightning Protection Device Safety Inspection Project in Aliyun Valley as an Example	王子 Wang Zi
075	试析装配式砼建筑效益——以 A 项目为例 Analysis of the Benefit of Prefabricated Building-- Taking a Project as an example	闫海龙 Yan Hailong
078	EPC 总承包供应链管理与发展分析 EPC General Contract Supply Chain Management and Development Analysis	常明智 Change Mingzhi

电子与通信工程 | ELECTRONIC AND COMMUNICATION ENGINEERING

081	窄带物联网 (NB-IoT) 技术的研究与实现 Research and Implementation of Narrow-Band Internet of Things (NB-IoT) Technology	林健 Lin Jian
084	仪器仪表自动控制系统的精度与稳定性研究 Research on Accuracy and Stability of Instrumentation Automatic Control Systems	李德杨 Li Deyang
087	基于深度学习的自动化设备控制系统研究与开发 Research and Development of an Automated Equipment Control System Based on Deep Learning	黄晓阳, 彭云根, 宋满才 Huang Xiaoyang, Peng Yungen, Song Mancai
090	人工智能在软件需求分析中的应用与效果评估 Application and Effectiveness Evaluation of Artificial Intelligence in Software Requirement Analysis	殷政 Yin Zheng
093	基于大数据图像识别的学校人脸签到系统设计与实现 Design and Implementation of a School Face Recognition Sign-in System Based on Big Data Image Recognition	余恩慧 Yu Enhui
096	人工智能技术在消防监督工作中的应用 Application of Artificial Intelligence Technology in Fire Supervision Work	周冬 Zhou Dong
099	智能技术在仪器仪表自动化设备中的应用创新 Application Innovation of Intelligent Technology in Instrumentation Automation Equipment	谢宗琦 Xie Zongqi
102	计算机视觉中的物体跟踪技术及其改进研究 Research on Object Tracking Technology and Its Improvement in Computer Vision	张婷玮, 龙艳彬, 邓凯文 Zhang Tingwei, Long Yanbin, Deng Kaiwen
105	电力主网监控中智能告警系统的优化与应用研究 Optimization and Application Research of Intelligent Alarm System in Power Grid Monitoring	陈潇楠 Chen Xiaonan
108	基于智能传感技术的变电检修设备状态监测研究 Research on Condition Monitoring of Substation Maintenance Equipment Based on Smart Sensing Technology	傅军 Fu Jun
111	基于人工智能的变电运维故障诊断新方法 New Method for Fault Diagnosis of Substation Operation and Maintenance Based on Artificial Intelligence	陆璟 Lu Jun
114	柔性电子组装自动化系统的设计与实现路径 Design and Implementation Path of a Flexible Electronic Assembly Automation System	贾恩会, 彭云根, 桑瑞娟 Jia Enhui, Peng Yungen, Sang Ruijuan

Scrum 敏捷方法在军品研发项目中的应用研究

王卫, 曹冲, 薛友海, 刘鹏

航空工业航空救生装备有限公司, 湖北 襄阳 441003

摘 要 : 在军民融合的大背景下, 军品行业各设备研制单位遇到日益复杂市场竞争环境。这些复杂性主要体现在技术的变革, 激烈的市场竞争, 难以预见的用户需求变更, 跨学科的技术以及产品复杂性的提升等方面。传统军工企业“遵循计划”以瀑布模型为代表的军品研发模式和管理方法已经远远不足以应对这些挑战。本文基于敏捷视角在传统军品研发模式中加入 Scrum 元素, 希望通过在传统军品研发管理活动中引入 Scrum 敏捷开发方法, 提高我国军品研发效率, 助力国军高质量发展。

关 键 词 : 军民融合; 军品研发; 敏捷; Scrum

Application Research of Scrum Agile Method In Military Research and Development Projects

Wang Wei, Cao Chong, Xue Youhai, Liu Peng

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

Abstract : In the context of military-civilian integration, the equipment development units in the military industry have encountered an increasingly complex market competition environment. These complexities are mainly reflected in technological changes, fierce market competition, unpredictable changes in user needs, interdisciplinary technology and improved product complexity improvement. Traditional military enterprises "follow the plan" military research and development mode and management methods represented by the waterfall model are far from enough to meet these challenges. Based on this paper, Scrum elements are added to the traditional military research and development mode from the agile perspective, hoping to introduce Scrum agile development method in the traditional military research and development management activities, improve the efficiency of China's military research and development, and help the high-quality development of the national army.

Keywords : military-civilian integration; military research and development; agile; Scrum

引言

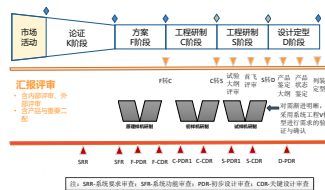
随着国家军民融合的快速推进, 军品市场竞争环境愈演愈烈, 面对如此激烈的市场竞争环境, 各军品研发制造单位需要快速响应客户需求变化, 在保证质量的前提下, 尽可能早的提供客户所需的产品, 以获取用户的肯定和支持, 从而获得市场竞争优势。

然而, “遵循计划”的以瀑布模型为代表的传统军品研发模式越来越无法满足军品用户的要求。为了适应如此激烈的市场竞争环境, 需要以现有瀑布型开发方式为基础, 尝试融入 Scrum 敏捷方法, 寻找即满足军品研制程序, 又可以快速响应需求变更的研发管理模式, 以提升军品研制质量和研制进度。

一、传统军品研发模式存在的问题

传统军品研制程序分为六个阶段: 论证阶段、方案阶段、初样阶段、试样阶段、状态鉴定、列装定型。这六个阶段必须按照顺序逐步完成转段评审, 评审通过后才能进入下一个阶段。但是在运行过程中存在如下问题:

- 缺乏敏捷性: 需求变更困难, 变更验证确认流程繁琐。
- 信息孤岛: 项目团队存在部门墙, 信息共享困难, 通常需要开会协调。
- 创新能力不足: 各研制阶段工作量大, 文件工作多于技术创新。



> 图1 传统军品研发流程

二、Scrum 敏捷开发方法

(一) Scrum 核心理论

敏捷性 (Agility) 这一概念最先由美国提出, 其目的是为了

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

应对21世纪制造业快速产出高品质的产品的需求。美国13所大公司和美国国会委托里海大学在1991年联合编写了关于制造企业战略报告：即《21世纪制造企业战略》报告。该报告首次提出了“敏捷制造企业”和“敏捷制造”概念。该报告核心思想是：为了应对快速变化的竞争环境，企业需要具备新的技能，即敏捷性^[1]。

2001年，正式提出敏捷开发一词。在美国犹他州，17个软件行业的专家集聚一堂，他们探索一个团队耦合度高，流程灵活，可以快速迭代需求的软件开发方法，他们把它称为敏捷。同时成立了敏捷联盟，并发表《敏捷宣言》^[2]。敏捷宣言确定了敏捷四种核心价值观和十二项基本原则。

敏捷核心价值观：

- 互动和交流 高于 工具和流程
- 可运行的软件 高于 详细的报告
- 合作共赢 高于 合同谈判
- 响应变化 高于 按照计划

敏捷十二项基本原则：

- a) 尽早和持续交付使客户满意的软件是我们最重要的目标；
- b) 敏捷掌控变化，即使在开发后期也一样欣然面对需求变化。
- c) 持续快速交付可工作的软件，间隔周期越短越好；
- d) 各相关方必须合作共赢，每天做到信息互通；
- e) 以团队为核心建立管理制度，提供支撑资源，并信任他们；
- f) 面对面沟通，是传递信息最高效的手段；
- g) 可运行的软件是进度最有效的度量标准；
- h) 开发团队与用户要定期保持互动是敏捷持续开发的基础；
- i) 坚持不懈追求技术突破和设计质量是敏捷能力的根本；
- j) 敏捷追求简洁，极力清除不必要的工作；
- k) 自组织团队才能创造出最好的需求、架构和软件；
- l) 为提升团队效率，团队需定期反思如何提升效率；

（二）Scrum 三大支柱

Scrum 方法的三大支柱是：透明、检查和调整，它们是 Scrum 方法的整体框架。

a) 透明：项目信息对团队成员透明，透明保证团队成员目标一致，减少错误，降低沟通成本；

b) 检查：Scrum 采用增量开发，每次迭代完成后均需要检查交付物（包括功能、性能、进度、成本、质量等方面），通过频繁的检查可以尽早发现问题、解决问题；

c) 调整：在检查过程中如果发现问题，就对项目进行调整以解决问题。通过不断的调整，才能保证项目的成功。

（三）Scrum 核心元素

Scrum 核心元素包括：三种角色、三种工件和五个仪式。角色：包括 Scrum 教练（Scrum Master）、产品负责人（Product Owner）、开发团队（Team）。工件：包括产品代办事项列表（Product Backlog）、迭代代办事项列表（Sprint Backlog）、产品增量。仪式：包括 Sprint、Sprint 计划会议、每日站会、Sprint 评审会、Sprint 回顾会议^[3]。

Scrum 的整个流程框架是各种角色通过不断的迭代优化，最终交付用户满意的产品。

（四）Scrum 三种角色

传统的研发项目团队一般分工明确，主要由项目经理、研发

人员、试验人员等组成。但是在 Scrum 中仅有三种角色：Scrum 教练、产品负责人、开发团队。这三种角色构成了 Scrum 的跨职能团队，团队成员平等互助，同时具备完成项目工作的各项技能^[4]。三种角色职责如下：

产品负责人（Product Owner）：是客户代表，根据用户需求定义产品功能，确定产品开发方向，制定产品代办事项列表，并根据需求变化对代办事项列表中的优先级进行排序。同时，产品负责人与团队成员及时沟通，并审查每个迭代的交付物^[5]。

Scrum 教练（Scrum Master）：对开发项目直接管理，领导团队成员按照 Scrum 流程开展工作，并在实践过程中清除团队遇到的困难^[6]。在项目实施过程中，确保团队成员能够胜任工作，并保持高效的生产率，同时促进团队紧密合作，培养团队成员的综合能力。

开发团队（Scrum Team）：具体方案的解决者，团队成员一般5-9人，团队成员都是多面手，能够自行解决各种问题，在项目迭代过程中，团队成员团结协作，定期交付有价值的交付物。

（五）Scrum 三种工件

Scrum 工件是用来管理项目的基础，通过对产品代办事项列表、迭代代办事项列表和产品增量的管理，从而交付用户满意的产品。

产品代办事项列表（Product Backlog）：是从客户价值角度确定并按优先级排序的产品相关功能清单。产品代办事项列表由产品负责人负责编制，根据用户需求的变化不断迭代更新，随着项目的不断迭代，产品代办事项列表不断完善，从而保持其适应性和竞争力^[7]。

迭代代办事项列表（Sprint Backlog）：是开发团队根据产品代办事项列表中的优先顺序挑选出当前 Sprint 期间需要完成的产品功能清单。迭代代办事项列表确定了当期冲刺的目标，开发团队需要在当期 Sprint 期间完成迭代代办事项列表中的全部工作。通常团队成员需每天跟踪迭代事项列表任务完成情况，以方便评估剩余工作量^[8]。

产品增量：是指每个 Sprint 所完成任务成果，增量交付是 Scrum 的典型特征，每个冲刺均会在上一次冲刺成果的基础上产生新的增量。增量让用户不断满意。

（六）Scrum 五个仪式

Scrum 仪式可以看作是 Scrum 方法的动作或行为。Sprint 仪式要事先规定好，不能随意更改。Sprint 仪式包括：Sprint、Sprint 计划会、每日站会、Sprint 评审会、Sprint 回顾会^[9]。

Sprint：典型的迭代周期为2-4周或者最多一个月，一个固定的周期能够创造出更优美的节奏感。产品的设计、开发、测试全部都在一个 Sprint 周期内完成，开发团队在这个 Sprint 周期内开发一个可以发布的产品增量^[10]。

Sprint 计划会：迭代计划会在每个迭代的第一天召开，目的是选择和估算本次迭代的工作项。产品负责人追条讲解最重要的产品功能，开发团队选择此次迭代所完成的工作项，并制定详细的迭代任务，估算工作量，直至本次迭代工作量达到饱和。

每日站会：开发团队每天在同样的时间，同样的地点召开，每日站会不超过15分钟。每日站会团队成员需要回答3个问题：昨天你做了什么？今天你将要做什么？你有需要帮助的地方吗？每日站会不是为了解决问题，具体问题会后再沟通解决。

Sprint 评审会：在 Sprint 将要结束时举行，整个团队成员都需要参加，不需要过多的准备，不需要正式的演示文档，团队成

员只需要花费2小时的准备时间，在会议上演示所完成的迭代工作。Sprint 评审会由产品负责人最终确认此次迭代工作完成情况，Sprint 评审会的目的是确认产品满足用户需求。

Sprint 回顾会：是团队成员后续工作改进提升的基础。回顾会在 Sprint 评审会结束之后进行，一般15-30分钟，整个团队成员都需要参加，会议期间总结此次 Sprint 工作中的经验教训，其目的是思考如何在下一个 Sprint 中做的更好。

三、基于 Scrum 方法的项目管理的应用

（一）基于 Scrum 的团队构建

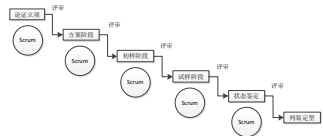
针对传统军品研发管理现状，敏捷团队更注重团队合作，更注重自组织以及全能型人才。因此在研发部门内部需成立专职的团队，在人员数量上按照项目的复杂程度，通常是 7 ± 2 人。基于敏捷理论的 Scrum 框架下，敏捷团队划分三个角色：产品负责人、敏捷教练、开发团队。基于 Scrum 的敏捷团队构成如下：

表1 Scrum 团队构成

项目目标	完成 XX 产品开发	
敏捷教练	按 Scrum 管理要求组织迭代计划会、每日站会、迭代评审会、迭代回顾会	赵 XX (专职,项目总师)
产品负责人	与用户对接具体需求,制定产品待办事项列表,确定产品总体技术方案。	孙 XX (专职,产品主管)
开发团队	按照产品代办事项列表要求开展具体工作	王 XX (结构工程师) 李 XX (电气工程师) 周 XX (测试工程师)

（二）基于 Scrum 的敏捷项目生命周期模型

军品研制项目主要分为6个阶段：立项论证、方案阶段、初样阶段、试样阶段、状态鉴定、列装定型。这是典型的预测型生命周期模型，研制过程严格按照阶段划分开展工作。这一预测型生命周期模型无法适应主机研制进度要求，为了加快研制效率，在现有的研制生命周期模型中需制定一套敏捷生命周期模型。



> 图2 敏捷生命周期模型

在敏捷生命周期模型中，从项目立项到列装定型的军品研制流程中增加了5个冲刺阶段。每个冲刺阶段都包括方案审查、设计更改、文件编制等事项。每个冲刺结束时，项目都经过相关方审查，审查通过后才能转入下一个研制阶段。

（三）建立每个冲刺的 Scrum 流程

在敏捷生命周期模型中，从立项到列装定型增加了5个冲刺阶段，每个冲刺需要制定 Scrum 流程，从而指导项目快速迭代，Scrum 流程图如下。



> 图3 敏捷研发 Scrum 流程框架

根据军品研制流程，产品研发在进入下一个阶段时可根据项目具体进展情况制定 Sprint 计划，以此组织团队成员快速高效的完成项目工作。

进入 Sprint 后，由产品负责人组织项目团队召开 Sprint 计划会议。会议由产品负责人主持，根据项目具体情况，详细介绍此次 Sprint 的工作目标，及详细的产品代办事项列表，并解决团队成员的疑问。团队成员根据自己的专长和任务优先级领取相关任务。

Sprint 期间团队成员每天都需要举行不超过15分钟的每日站会。会议中每个团队成员都需要回答：昨天你做了什么？今天你将要做什么？你有需要帮助的地方吗？同时团队成员需制作一个看板，将每天完成的工作进度在看板上显示，以方便团队成员了解整个项目进度，评估后续工作量。产品负责人通过审查看板，可以及时了解项目进展，识别风险并提前制定应对措施。

Sprint 周期结束后，项目团队需召开 Sprint 评审会。开发团队需对此次 Sprint 的所有工作情况进行展示，产品负责人负责检查和验收，如果存在问题，需要开发团队及时修正。

Sprint 评审会结束后，Scrum 教练及时组织15-30分钟的 Sprint 回顾会。每个团队成员都需要总结此次 Sprint 中的优缺点，并提出自己的改进建议。Scrum 教练总结整个 Sprint 期间的优点和不足，并提出改进建议。

Sprint 回顾会议的结束标志着此次 Sprint 迭代工作的完成，产品进入下一个研制阶段。根据军品研制的具体进度安排和临时性的需求变更，开发团队等待产品负责人组织下一个 Sprint。

四、结语

随着时代的发展，传统的军品研发管理模式已无法满足用户快速多变的需求，寻求一套合理高效的研发模式迫在眉睫。Scrum 敏捷方法作为一套快速响应需求变化的新思想，将其融入到军品研发模式中，从而快速响应用户需求，提高产品研发质量，增加市场竞争力，为军品研发赋能。

参考文献

- [1] Roger N, Nagel, Rick D, Kenneth P, Steven G. 21st Century Manufacturing Enterprise Strategy [M]. Institute of Lehigh, 1991: 121-122.
- [2] 中国敏捷软件开发联盟 ADBOK 编写组. 敏捷开发体系 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2013: 43-48.
- [3] Roman Pichler. 李忠利. Scrum 敏捷产品管理 [M]. 武汉: 武汉理工大学学位论文, 2013.
- [4] Christian Buckley, Darren Pulsipher, Kendall Scott [J]. Implementing IBM Rational Clearquest: An End-To-End Deployment Guide, 2016.
- [5] 丁顺莺. 基于 Scrum 方法在软件项目管理中的应用 [J]. 信息系统工程, 2017(1): 55.
- [6] 尚会斌. CMMI 和敏捷开发过程的分析比较 [J]. 通讯世界, 2016 (13): 294-295.
- [7] 党源源, 付晓琳, 徐立新. Scrum 敏捷项目管理的应用研究 [J]. 情报杂志, 2009, 28(03): 54-57+61.
- [8] 王敏. 基于 Scrum 敏捷开发的软件过程管理研究 [D]. 昆明理工大学, 2010.
- [9] 陈国栋, 罗省贤. Scrum 敏捷软件开发方法实践中的改进和应用 [J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(12): 97-99+104.
- [10] 张智海. Scrum 方法的研究与分析 [J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版. 2010, 33(2): 197-200.

湾流 G650 飞机主电瓶充电器排故研究与分析

刘英刚

北京航空有限责任公司, 北京 100621

摘 要：湾流 G650 飞机作为一款高性能的公务机，其主电瓶充电器对于保障飞机主电瓶电源系统的稳定运行起着关键作用。本文针对湾流 G650 飞机主电瓶充电器在实际运行中可能出现的故障进行深入探讨，详细分析了故障现象、故障原因，并提出了相应的排故方法与预防措施。通过对实际排故案例的研究，总结经验教训，旨在为航空维修技术人员提供有价值的参考，提高湾流 G650 飞机电瓶充电器的维修效率与可靠性，确保飞机飞行安全。

关 键 词：湾流 G650 飞机；主电瓶充电器；排故

Research and Analysis on Troubleshooting of Main Battery Charger for Gulfstream G650 Aircraft

Liu Yinggang

Beijing Airlines Co., Ltd. Beijing 100621

Abstract：As a high-performance business jet, the Gulfstream G650 aircraft's main battery charger plays a key role in ensuring the stable operation of the aircraft's main battery power system. This article explores in depth the possible faults that may occur in the main battery charger of the Gulfstream G650 aircraft during actual operation, analyzes in detail the fault phenomena and causes, and proposes corresponding troubleshooting methods and preventive measures. By studying practical troubleshooting cases and summarizing lessons learned, the aim is to provide valuable reference for aviation maintenance technicians, improve the maintenance efficiency and reliability of Gulfstream G650 aircraft battery chargers, and ensure aircraft flight safety.

Keywords：Gulfstream G650 aircraft; main battery charger; troubleshooting

引言

湾流 G650 飞机以其卓越的性能和豪华的配置在公务航空领域占据重要地位。其主电瓶电源系统的稳定运行依赖于多个关键部件，主电瓶充电器便是其中之一。主电瓶充电器负责为飞机主电瓶充电，维持主电瓶在合适的电量水平，以保证在飞机交流电源系统故障时和启动辅助动力装置 APU 等关键时刻能够提供可靠的备用电源支持。一旦主电瓶充电器发生故障，可能导致主电瓶无法充电、飞机主电瓶电源系统电压不稳定甚至影响飞行安全。因此，深入研究湾流 G650 飞机主电瓶充电器的排故技术具有重要的现实意义。

一、湾流 G650 飞机主电瓶充电器位置、组成和工作原理概述

（一）湾流 G650 飞机主电瓶充电器位置和组成

湾流 G650 飞机主电瓶充电器采用先进的充电技术，飞机上安装了2个主电瓶充电器，左右主电瓶各一个，主电瓶充电器安装在飞机的尾舱后部，前面板包含 LED 显示屏、故障和状态按钮。主电瓶充电器在115 VAC、400 Hz、由左和右主交流汇流条提供的三相电源下运行。主电瓶充电器由电源、充电器和控制电路组成^[1]。

（二）湾流 G650 飞机主电瓶充电器工作原理概述

电源电路从主交流总线或冲压涡轮 RAT 接收115 VAC 输入并将其转换为270 VDC。充电器电路从电源电路获得270 Vdc 的输出，并将其转换为24至30.5 Vdc，用于主电瓶充电。其主要工作过程包括输入滤波、整流、功率转换、电压电流调节以及控制与保护等环节。在充电过程中主电瓶充电器通过监测主电瓶电流、电压温度，并根据主电瓶状况和温度确定正确的充电模式^[2]。

控制电路包含一个处理器，控制主电瓶充电器操作的所有方面。处理器监控主电瓶电流、电压温度，并根据电池状态和温度确定正确的充电模式。

处理器监视以下各项：

- 交流输入电压和相位
- 主电瓶温度、温差、充电器温度、温度传感器状态
- 充电器直流电源电压
- 充电器中央处理器操作
- 充电器电压和电流
- 充电器风扇的运行

每个主电瓶充电器面板上的 LED 显示器显示主电瓶和充电器的状态。当为充电器提供可接受的电源时，充电 LED 灯 (CHARGER LED) 点亮。当可接受的输入电源不再可用或充电器内部故障，充电 LED 灯 (CHARGER LED) 熄灭。

系统故障监控是在飞机通电自检时进行的，检测到的状态存储在内存中并显示在 LED 显示器上。按下显示系统状态的故

作者简介：刘英刚（1979.02-），男，内蒙古呼伦贝尔市人，汉族，本科，工程师，研究方向：飞机维修计划与控制。

障按钮，进入激活故障显示。如果探测到故障，显示屏将显示 BatFault- 探测到电瓶故障、ChgrFault- 探测到充电器故障或 BusFault- 探测到交流汇流条故障；如果不存在故障，显示屏将显示 SystemOK- 系统状态正常。同时按下故障和状态两个按钮可进入高级显示器。模式显示屏显示当前充电模式，包括：

- TR 变压整流模式激活
- BULK- 批量模式激活
- Topping- 顶部模式激活
- TRICKLE- 涓流模式激活
- SHUTDOWN- 检测到主要故障并关闭充电器

二、常见故障现象及原因分析

（一）充电电流异常

1. 故障现象：

- 充电电流过大，可能导致主电瓶过热，甚至损坏主电瓶。
- 充电电流过小，无法使主电瓶正常充电，长时间会导致主电瓶电压低于标准，影响 APU 启动和辅助泵工作。

- 无充电电流，主电瓶无法正常充电。

2. 可能原因：

- 主电瓶充电器内部故障，导致充电电流过大或过小。

（二）充电电压异常

1. 故障现象：

- 充电电压过高，会缩短主电瓶使用寿命。
- 充电电压过低，电瓶无法充满电，影响其容量和性能。

2. 可能原因：

- 电压调节电路故障，不能对输出电压进行精确调整。可能是由于电压调节电路的电阻、电容等元件损坏故障。

- 变压器或整流器故障，影响电压的转换和整流效果，导致输出电压异常。

（三）充电器过热

1. 故障现象：

- 充电器外壳温度过高，可能伴有异味或冒烟现象，严重时会导致充电器内部元件烧毁。

2. 可能原因：

- 散热风扇故障，无法正常散热，热量在充电器内部积聚。
- 功率器件长时间工作在高负荷状态，如充电电流过大或充电器持续工作时间过长，产生过多热量而散热不及时。
- 散热通道堵塞，如灰尘、杂物等堆积在散热片或通风口，阻碍热量散发。

（四）充电器无输出

1. 故障现象：

- 电瓶充电器连接正常，但无直流充电电压和电流输出，主电瓶无法充电。

2. 可能原因：

- 输入电源故障，如飞机交流电源供应异常，没有正常的交流电输入到充电器。
- 主电瓶充电器故障，可能是由于主电瓶充电器内部故障导致保护电路切断电源输出。

- 跳开关断开或者线路故障，导致主电瓶无法正常充电。

- 双通道通用输入 / 输出模块 DGIO 故障，导致主电瓶无法正常充电。

- 充电器模式控制继电器故障，导致主电瓶无法正常充电。

三、排查方法与流程

（一）故障隔离与初步检查

1. 当接到主电瓶充电器故障报告后，维修人员首先应检查飞机的维护记录，了解该主电瓶充电器之前是否有过类似故障或维修历史。

2. 对主电瓶充电器的外观进行检查，查看是否有明显的损坏迹象，如外壳破裂、烧焦痕迹、元件松动等。

3. 检查机组警告系统 CREW ALERTING SYSTEM(CAS) 是否有相关的故障信息。

4. 检查中央维护计算机 Central Maintenance Computer(CMC) 上是否有相关的故障记录。

5. 检查主电瓶充电器显示屏上是否有故障信息。

6. 检查主电瓶电源系统中是否有跳开关弹出，如果跳开关弹出，应先查明跳开关弹出原因，排除短路故障。

7. 检查主电瓶充电器的输入电源连接，确认飞机交流电源供应正常，测量输入电压是否在规定范围内^[3]。

（二）使用测试设备进行深入检测

1. 利用万用表等测试仪器对充电器的关键电路参数进行测量。例如，测量充电电压、充电电流、控制信号电压等，与正常工作参数进行对比，判断是否异常。

2. 检查控制电路中的继电器、电阻和电容等元件，查看是否有虚焊、短路、断路等情况。对于怀疑有故障的元件，可以采用替换法进行验证，即使用正常的元件替换可能故障的元件，观察充电器是否恢复正常工作。

（三）故障定位与修复

1. 根据测试结果，确定故障的具体位置和原因。如果是主电瓶充电器故障，则更换主电瓶充电器。

2. 对于电压调节电路或电流调节电路的故障，仔细检查相关控制电路的元件等，修复或更换损坏的元件，然后重新测试电路参数，确保充电电压和电流能够正常调节。

3. 如果是散热系统故障，如散热风扇损坏，应更换风扇；对于散热通道堵塞的情况，清理散热片和通风口的灰尘、杂物，确保良好的散热效果。

（四）修复后测试与验证

1. 在完成故障修复后，对主电瓶充电器进行全面的测试。首先进行地面通电测试，观察充电器的工作状态，测量充电电压、电流是否正常，检查是否有异常报警信号。

2. 模拟不同的电瓶状态，如低电量、满电量等，验证充电器是否能够正常进行充电，并且在充电过程中各项保护功能是否正常。

3. 进行长时间的稳定性测试，观察充电器在连续工作一段时间后的温度、电压、电流等参数是否稳定，确保故障已被彻底排除，充电器能够可靠地运行。

四、实际排故案例分析

（一）案例一：右主电瓶充电器故障

1. 故障现象：

– 在对湾流 G650 飞机进行日常维护检查时，发现显示 R Main Battery Charger 故障信息。

2. 排故过程：

– 维修人员首先检查了主电瓶和 EBHA 电瓶接头是否连接，未发现异常；然后检查主电瓶充电模式控制跳开关已闭合，检查 PDB 处的主电瓶充电器跳开关已闭合；使用万用表测量验证主电瓶充电器 115 Vac 输入电源正常；将主电瓶充电器模式控制继电器与另一侧互换，故障现象依旧；检查主电瓶充电器和 DGIO 之间的接线正常；将主电瓶充电器与另一侧互换故障现象转移，判断为主电瓶充电器故障^[4]。

– 更换主电瓶充电器后，测试正常，故障排除^[5]。

（二）案例二：使用辅助泵操作襟翼时出现 R Main Battery Charger 故障信息

1. 故障现象：

– 机组人员反映飞机右主电瓶电压低于标准。

2. 排故过程：

– 维修人员检查发现显示 R Main Battery Charger 故障信息，右主电瓶充电器工作不正常。维修人员依据排故程序完成故障隔离，左右对串主电瓶充电器，故障转移为 L Main Battery Charger，更换右主电瓶充电器后，完成测试程序，在使用辅助泵操作襟翼时，再次出现 R Main Battery Charger 故障信息。依据湾流技术组意见，依次对串 BPCU 和左右主电瓶故障依旧；检查 AUX JUNCTION BOX 里面相关的接触器 contractor 安装状态正常；测量 battery contactor 与 charger 之间线路通断性正常。判断为故障信息是由于多次使用辅助泵操作襟翼引起的。

– 经湾流技术组评估此故障信息只有在使用辅助泵多次操作襟翼时出现，此情况不会造成故障锁定，且在辅助泵关闭后故障信息可以清除，此情况可以接受，湾流正在考虑通过产品改进来彻底解决这个问题。

（三）案例三：右主电瓶故障导致出现 R Main Battery Charger 故障信息

1. 故障现象：

– 机组人员反映出现 R Main Battery Charger 故障信息。

2. 排故过程：

– 维修人员首先检查了主电瓶插头和跳开关状态，检查结果正常。检查右主电瓶充电器 LED 显示屏上出现 BatFault 故障信息，探测到右主电瓶故障。维修人员将左右主电瓶对串，通电测试故障显示为 L Main Battery Charger。

– 更换右主电瓶后，通电测试正常，故障排除。

（四）案例四：散热通道堵塞导致左主电瓶充电器无输出

1. 故障现象：

– 左主电瓶充电器外壳温度过高，无直流充电电压和电流输出，左主电瓶无法充电。

2. 排故过程：

– 维修人员检查发现线路接线正常，左主充电器外壳温度过高。

进一步检查充电器散热通道，发现大量灰尘堆积在散热片和通风口上，无法正常散热，热量在充电器内部积聚，导致充电器不能正常工作。

– 维修人员将充电器拆下，清除掉堆积在散热片和通风口上的灰尘，重新安装左主电瓶充电器，通电测试正常，故障排除。

（五）案例五：右主电瓶充电器内部电路短路导致跳开关弹出故障

1. 故障现象：

– 机组人员反映飞机右主电瓶充电器无法为电瓶充电，地面检查发现右主充电器无直流输出电压和电流。

2. 排故过程：

– 维修人员检查输入电源，发现交流输入电压正常。接着检查跳开关，发现其中一个跳开关弹出。进一步检查发现充电器内部电路短路，导致跳开关弹出。

– 更换右主电瓶充电器后，恢复弹出的跳开关，通电测试正常，电瓶开始正常充电。

五、预防措施与维护建议

1. 定期对湾流 G650 飞机电瓶充电器进行维护检查，包括外观检查、清洁散热片和通风口、检查连接线路是否松动等。使用干净、柔软的湿布擦拭充电器外壳和通风口，去除灰尘、油污等污渍。避免使用尖锐或粗糙的物体刮擦外壳，防止损坏表面涂层。

2. 按照飞机制造商的要求，通过机组警告系统 CREW ALERTING SYSTEM(CAS) 上显示的故障信息、中央维护计算机 Central Maintenance Computer(CMC) 上存储的故障信息和主电瓶充电器显示屏上的信息实时监控主电瓶充电器的工作稳定性。

3. 建立完善的飞机维修记录系统，对主电瓶充电器的维修历史、故障现象、排故方法等信息进行详细记录，以便在后续维修中参考，快速定位和解决类似故障。

4. 加强对飞机维修人员的培训，提高其对湾流 G650 飞机主电瓶充电器工作原理、故障诊断与排除方法的掌握程度，提升维修技能和效率。

六、结论

湾流 G650 飞机电瓶充电器的故障排查是一项复杂而重要的工作，需要维修人员具备扎实的专业知识、丰富的实践经验以及严谨的工作态度。通过对常见故障现象、原因的分析，以及排故方法、流程的研究，并结合实际排故案例的经验总结，能够有效地提高主电瓶充电器的维修效率和可靠性。同时，采取相应的预防措施和加强维护管理，可以降低故障发生的概率，保障湾流 G650 飞机主电瓶电源系统的稳定运行，为飞机的安全飞行提供有力支持。在未来的航空维修领域，随着技术的不断发展，还需要持续关注新的故障类型和排故技术，不断提升维修水平，适应航空事业的发展需求。

参考文献

- [1] 湾流 G650ER 飞机维修训练手册 MAINTENANCE TRAINING MANUAL(0.6), 2018-03.
- [2] 湾流 G650ER 飞机系统描述手册 System Description Manual(14), 2024-10-30.
- [3] 湾流 G650ER 飞机故障隔离程序 Gulfstream MyCMP diagnostics.
- [4] 湾流 G650ER 飞机接线图手册 Wiring Diagram Manual(18), 2024-10-30.
- [5] 湾流 G650ER 飞机维修手册 Aircraft Maintenance Manual(19), 2024-10-30.

无人机低空遥感技术在崩塌地质灾害动态监测中的应用

黄磊

长春市测绘院, 吉林 长春 130021

摘 要： 随着我国城镇化建设快速发展, 山区开发活动日益频繁, 崩塌地质灾害发生的频率和规模不断增大, 给人民生命财产安全带来严重威胁。传统的地质灾害监测方法存在监测效率低、覆盖范围小、实时性差等局限性, 难以满足当前崩塌灾害动态监测的实际需求。无人机低空遥感技术凭借其机动灵活、获取数据快速、空间分辨率高等优势, 为崩塌地质灾害的动态监测提供了新的技术手段。通过建立完善的无人机遥感监测体系, 可实现崩塌灾害的快速识别和动态监测, 为灾害预警和防治决策提供科学依据, 有效降低崩塌地质灾害造成的损失。

关 键 词： 无人机低空遥感技术; 崩塌地质灾害; 动态监测

Application of UAV Low-Altitude Remote Sensing Technology in the Dynamic Monitoring of Collapse Geological Disasters

Huang Lei

Changchun Institute of Surveying and Mapping, Changchun, Jilin 130021

Abstract： With the rapid development of China's urbanization construction, the development activities in mountainous areas are increasingly frequent, and the frequency and scale of collapse geological disasters are increasing, which brings a serious threat to the safety of people's lives and property. The traditional geological disaster monitoring methods have limitations such as low monitoring efficiency, small coverage and poor real-time performance, which are difficult to meet the actual needs of dynamic monitoring of current collapse disasters. With its advantages of flexible mobility, fast data acquisition and high spatial resolution, UAV low-altitude remote sensing technology provides a new technical means for the dynamic monitoring of collapse geological disasters. Through the establishment of a perfect UAV remote sensing monitoring system, the rapid identification and dynamic monitoring of collapse disaster can be realized, and the scientific basis for disaster early warning and prevention decision, and the loss caused by collapse geological disaster can be effectively reduced.

Keywords： uav low-altitude remote sensing technology; collapse geological disaster; dynamic monitoring

无人机低空遥感技术是一种新型的对地观测手段, 通过搭载多光谱相机、激光雷达等传感器, 在低空飞行过程中获取地面高精度遥感数据。该技术具有操作简便、机动灵活、成本低廉等特点, 能够在复杂地形条件下快速完成数据采集任务。无人机系统主要由飞行平台、任务载荷、地面控制站和数据处理系统组成, 可获取高分辨率正射影像、数字表面模型等多源数据。随着无人机技术的不断发展, 其搭载设备日益丰富, 数据处理方法不断优化, 已形成了一套完整的低空遥感数据获取与处理技术体系。这种高效精准的对地观测方式可及时发现潜在危险区域。为崩塌地质灾害动态变化监测提供有力的技术支撑, 同时也能够为灾害预警和防治提供决策依据。

一、无人机低空遥感技术的监测系统部署

(一) 无人机航拍设备选型与数据采集方案制定

针对崩塌地质灾害动态监测的特殊要求, 多旋翼无人机因其悬停能力强、起降场地要求低的优势成为首选平台, 机载搭载23MP以上高分辨率可见光相机能够获取厘米级地面分辨率影像, 同时配备热红外相机可探测地表温度异常变化。在实际应用中, 选用续航时间不低于45分钟、抗风等级达到6级、具备自动

返航功能的无人机能够确保山区复杂地形条件下的安全作业, 搭载RTK定位模块可实现厘米级定位精度, 配置千兆数据链路实现图像数据实时回传, 机载处理器具备边缘计算能力可对采集数据进行初步分析和筛选, 提高数据采集效率。崩塌地质灾害监测数据采集方案需综合考虑地形起伏、监测范围和精度要求等因素, 航向重叠度设置为80%、旁向重叠度设置为65%可保证数据处理精度, 同时确定航高在150米以下、飞行速度控制在8米/秒以内能够获取清晰的地面影像。此外, 在航线规划时采用"井"字形布设

作者简介: 黄磊(1987.01—), 男, 汉族, 吉林省长春市, 本科, 长春市测绘院工程师, 研究方向: 遥感科学与技术、测绘工程。

方案,确保测区边缘影像质量,并在陡峭区域增加斜飞航线以获取坡面完整信息。为提高数据采集效率,根据地形特征划分监测子区,制定分区域采集策略,建立监测区域三维电子地图,将关键监测点位坐标预先录入系统,实现自动化巡航监测^[1]。地质灾害动态监测要求数据采集具有周期性和规律性,根据崩塌活动特征和季节变化规律制定采集频次,汛期每周至少开展一次常规监测,另外在降雨量超过50毫米时及时增加监测频次。为保证数据质量的一致性,每次航拍任务选择光照条件相近的时段,避免阴影和强光干扰,飞行参数保持统一标准,通过设定定点起降确保每次起飞位置固定。在数据采集过程中,通过机载RTK与地面基站实时差分定位,保证飞行轨迹精度;采用自动曝光和白平衡控制算法,确保图像质量;建立标准化的航飞作业流程和质量控制体系,实现监测数据的可比性和连续性,为后续崩塌地质灾害动态分析提供高质量的基础数据支撑。

(二) 地面控制点布设与实时数据传输系统搭建

地面控制点布设作为无人机低空遥感监测的基础性工作,需在崩塌地周边选取稳定性好、可长期保存的特征点作为控制点位置,采用CORS实时动态差分技术进行控制点测量,同时使用全站仪进行辅助校核,确保控制点三维坐标精度优于2厘米。在实际布设中,控制点采用十字型标志漆,规格为60厘米×60厘米,在监测区域内按照“四周密布、中间稀疏”的原则进行布设,控制点间距不超过200米,并在地形突变处适当加密。崩塌地质灾害监测的实时数据传输系统采用“边缘计算+5G网络”的架构设计,同时在监测区域建立微基站实现网络全覆盖,保证数据传输的稳定性和可靠性。此外,搭建现场边缘计算服务器,配置高性能GPU进行实时图像处理,实现监测数据的快速分析和预警信息的及时推送,边缘计算单元具备数据压缩、特征提取和初步分析功能,可有效降低数据传输负载。数据传输系统的核心组件包括现场采集单元、边缘计算节点和云端处理平台,另外配置双链路备份机制确保数据传输的连续性。采用分布式存储架构,在边缘节点部署数据缓存模块,建立数据异步传输机制;通过部署负载均衡器,实现多节点数据分发;采用数据加密传输协议,确保监测数据的安全性;配置网络质量监测模块,实时监控网络状态,当出现网络异常时自动切换备用链路,构建稳定可靠的实时数据传输体系^[2]。

二、崩塌地质灾害动态监测的技术实现

(一) 三维点云模型构建与地形变形分析

基于无人机低空遥感获取的高分辨率影像数据,可采用SfM-MVS三维重建技术进行点云模型构建,通过多视影像匹配算法提取同名特征点,同时结合地面控制点坐标进行空中三角测量平差,并实现厘米级精度的三维点云生成。在点云数据处理过程中,运用RANSAC算法进行噪点过滤,采用八叉树空间索引结构优化点云组织方式,生成高精度数字表面模型(DSM)和正射影像图。通过多尺度特征提取算法,识别崩塌地微地貌特征,建立地表形态参数体系,实现崩塌地地形特征的精细化刻画。崩塌地

形变监测基于多期次点云数据对比分析,同时采用ICP迭代最近点配准算法实现不同时相点云的精确配准。此外,通过计算点云距离场变化,提取地形变形特征,包括坡面位移、体积变化和地表裂缝发育等信息,结合地质结构特征建立崩塌地变形模式,实现崩塌地质灾害的定量化动态监测。在变形分析过程中,采用深度学习方法对点云数据进行语义分割,识别不同地物类型,提取关键监测目标,建立崩塌地三维变形场,实现地表变形的精确量化。点云变形分析采用多尺度分析方法,另外通过构建局部坐标系,计算坡面不同部位的位移矢量场,提取关键变形区域。基于点云密度分析和曲率计算,识别地表破裂带分布;通过时序点云差分计算,获取变形速率和加速度信息;利用点云分类算法提取植被覆盖变化。在此基础上,建立基于无人机低空遥感的崩塌地变形预测模型,结合多源数据融合技术,实现变形趋势分析;通过构建地质灾害预警指标体系,设定分级预警阈值,开展崩塌地灾害风险评估,为灾害防治决策提供科学依据。

(二) 多时相影像对比与位移速率计算

无人机低空遥感获取的多时相正射影像,可采用数字图像相关技术进行位移场分析,通过特征点匹配算法提取稳定地物作为参考点,同时运用子像素匹配技术以实现厘米级位移监测精度。在影像预处理阶段,采用直方图匹配和辐射校正方法消除不同时相影像的光照差异,通过几何校正确保影像配准精度优于0.5像素,建立统一的图像坐标系统。崩塌地表位移监测采用基于区域的匹配算法,同时结合SIFT特征提取方法识别特征点,通过构建金字塔影像序列实现多尺度匹配分析。此外,采用最小二乘影像匹配技术提高匹配精度,建立灰度相关系数阈值筛选匹配结果,利用邻域一致性约束剔除误匹配点,形成高精度位移矢量场^[3]。在关键部位设置固定监测窗口,通过模板匹配方法实现局部变形的精确量化,构建崩塌体运动轨迹。位移速率计算基于时间序列分析方法,另外通过建立位移-时间关系曲线,提取崩塌地不同区域的运动特征。采用最小二乘拟合计算平均位移速率,结合核密度估计方法识别位移异常区域;通过速率变化趋势分析,建立加速度预警指标;基于位移矢量场空间分布特征,划分变形分区,确定重点监测区域。利用无人机低空遥感技术的高时空分辨率优势,实现崩塌地质灾害位移场的动态演化分析,为灾害预警提供定量化依据。

三、监测预警信息处理与应用

(一) 监测数据快速处理与灾害预警阈值确定

无人机低空遥感监测数据的快速处理采用分布式计算架构,通过GPU并行计算技术提升数据处理效率,同时运用深度学习算法实现影像自动配准和变形特征提取。在边缘计算节点部署轻量级深度学习模型,实现监测数据的实时分析;采用增量处理策略,仅对变化区域进行重点分析,显著提高处理效率;建立标准化的数据处理流程,包括影像预处理、特征提取、变形分析等环节,确保处理结果的可靠性。崩塌地质灾害预警阈值的确定基于历史监测数据统计分析,同时结合地质条件和致灾因素建立多层

次预警指标体系。此外，通过分析崩塌灾害演化规律，建立基于位移速率、加速度和累积变形量的预警模型，采用模糊综合评判方法确定预警等级划分标准。在预警阈值设定过程中，考虑季节性影响因素，建立动态预警阈值，提高预警准确性。预警指标体系包含地表位移、地形变形和环境因素三个层次，另外通过建立指标权重体系，实现多因素综合预警。基于无人机低空遥感监测数据，计算坡面位移速率、地表裂缝发育程度、植被覆盖度变化等关键指标；结合降雨量、地下水位等诱发因素，建立多源数据融合的预警模型。

（二）预警信息推送与应急响应措施落实

预警信息推送系统采用多级分发架构，基于无人机低空遥感监测数据实时分析结果，通过智能预警平台自动生成预警信息，同时建立分级授权的信息发布机制，确保预警信息及时、准确送达各级管理部门和相关责任人。在信息推送过程中，采用短信、移动 APP、应急广播等多种渠道并行推送，实现预警信息的全覆盖；建立信息接收确认机制，跟踪预警信息送达状态。针对不同预警等级，制定差异化的信息发布策略，建立预警信息溯源机制，实现预警信息全过程可追溯；构建预警信息反馈系统，收集各层级用户对预警信息的响应情况，持续优化信息推送机制。应急响应措施的落实采用分级响应机制，同时建立应急指挥决策支持系统，基于预警

等级自动生成应急处置建议。此外，通过地理信息系统展示灾害风险区域分布，结合人口分布和重要设施分布信息，制定差异化的应急疏散方案；建立应急物资调度系统，实现救援力量和物资的快速调配；构建应急响应专家决策支持系统，为现场处置提供专业指导。在应急响应过程中，要建立跨部门协调机制，明确各单位职责分工；设置应急指挥中心，统筹协调各方资源；建立应急通信保障系统，确保信息畅通。应急响应过程要实行全程跟踪记录，另外通过移动终端实时上传现场处置情况，实现应急响应过程的可视化管理。此外，还需要建立应急处置效果评估体系，对响应措施的及时性和有效性进行评估^[4]；通过无人机低空遥感技术对灾害发展态势进行实时监控，及时调整应急处置策略；并构建应急响应知识库，总结积累处置经验，持续优化应急预案。

四、结束语

随着无人机低空遥感技术的不断发展，崩塌地质灾害监测预警技术将向智能化、精准化和自动化方向发展。通过深度学习算法优化、多源数据融合分析和智能预警模型构建，提升监测预警能力，实现地质灾害防治由被动响应向主动预防转变，为山区工程建设和居民安全提供可靠保障。

参考文献

[1] 王方青. 无人机遥感技术在地质灾害监测与评估中的应用 [J]. 中国高科技, 2024, (08):133-135.
[2] 周升宇. 遥感技术在地质灾害监测和治理中的应用 [J]. 西部资源, 2023, (04):160-161+171.
[3] 张庚丽, 刘伟. 遥感技术在地质灾害监测防治中的应用 [J]. 中阿科技论坛 (中英文), 2023, (07):112-116.
[4] 姚鑫, 吴付英. 无人机遥感技术在地质灾害监测中的应用 [J]. 电子技术与软件工程, 2022, (07):160-163.

煤矿机械制造及自动化中节能设计理念的运用分析

李治强, 黄梦牵

陕西小保当矿业有限公司, 陕西 榆林 719300

摘 要 : 在当今社会, 能源短缺问题日益突出, 节能已成为推动各行业可持续发展的关键。煤矿机械制造及其自动化作为传统的高能耗领域, 融入节能设计理念显得尤为重要。为实现这一目标, 需从设计源头抓起, 将节能思想贯穿于煤矿机械的全生命周期。在机械设计中, 应优选高效节能的部件和材料, 减少能源损耗。同时, 利用自动化技术优化生产流程, 提高设备运行效率, 降低能耗。此外, 还应加强智能监控系统的应用, 实时监测设备能耗, 及时调整运行策略, 实现能源的最大化利用。通过这些措施, 煤矿机械制造及其自动化领域将能有效提升节能水平, 为构建绿色、低碳的能源体系贡献力量。

关 键 词 : 煤矿机械制造及自动化; 节能设计理念; 运用分析

Analysis of the Application of Energy-Saving Design Concept in Coal Mine Machinery Manufacturing and Automation

Li Zhiqiang, Huang Mengqian

Shaanxi Xiaobaodang Mining Co., LTD. Yulin, Shaanxi 719300

Abstract : In today's society, the problem of energy shortage is increasingly prominent, energy conservation has become the key to promote the sustainable development of various industries. As a traditional field of high energy consumption, coal mine machinery manufacturing and automation is particularly important to integrate the energy-saving design concept. In order to achieve this goal, it is necessary to start from the design source and run the energy-saving idea through the whole life cycle of coal mine machinery. In the mechanical design, highly efficient and energy-saving components and materials should be selected to reduce energy loss. At the same time, the use of automation technology to optimize the production process, improve the efficiency of equipment operation, reduce energy consumption. In addition, the application of intelligent monitoring system should be strengthened to monitor the energy consumption of equipment in real time and adjust the operation strategy in time to realize the maximum utilization of energy. Through these measures, the coal mine machinery manufacturing and its automation field will be able to effectively improve the energy-saving level, and contribute to the construction of a green and low-carbon energy system.

Keywords : coal mine machinery manufacturing and automation; energy-saving design concept; application analysis

引言

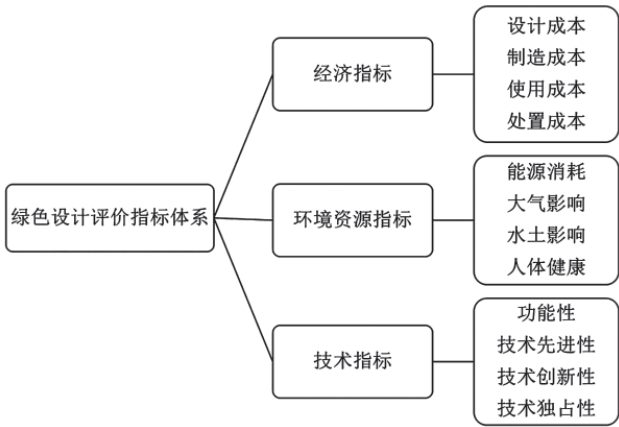
随着科技的不断进步, 煤矿机械制造及自动化水平日益提高。煤矿机械的广泛应用使得能源需求持续增长, 这对能源供应和环境都带来了巨大压力。在此背景下, 节能设计理念在煤矿机械制造及自动化中的运用成为了行业关注的焦点。深入研究节能设计理念的具体应用, 对于提高煤矿机械的能源利用效率、实现绿色开采具有重要的现实价值。

一、节能理念在机械生产与自动化中的应用优势

在当前全球资源日益紧张的背景下, 节能制造的理念显得尤为重要。机械行业的节能设计须遵循自然循环法则, 同时确保资源的高效利用, 力求将对环境的负面影响降至最低。当前, 鉴于资源短缺问题愈发突出, 国家及社会各界对机械设计及其自动化

领域的节能技术给予了密切关注^[1]。展望未来, 机械制造业必须将节能理念作为发展的核心驱动力, 引领机械工程设计朝着绿色化、节能化的方向稳步迈进。绿色理念下的机械设计指标体系(如图1所示)为行业提供了明确的方向和标准, 确保在生产过程中实现资源的高效利用和环境的可持续性。通过深入分析节能制造的特点, 机械节能设计的核心在于对自然循环的尊重与遵循。

这意味着在设计过程中，必须充分考虑资源的循环利用，避免浪费，并尽量减少对环境的破坏。机械制造业的未来发展，不仅仅依赖于技术的进步，更在于如何在技术进步的同时，实现对资源的有效管理和环境的保护^[2]。



> 图1 绿色理念下的机械设计指标体系

二、煤矿机械制造中的节能设计理念运用

（一）机械结构优化设计

在煤矿机械制造中，机械结构优化设计是节能设计理念的重要体现。通过对机械结构的精心设计和改进，可以有效降低能源消耗，提高设备的整体性能。在设计过程中，要充分考虑机械的受力情况^[3]。合理布局各个部件，使受力更加均匀，减少因局部受力过大而导致的能量损耗。采用轻量化设计理念。在保证机械强度和可靠性的前提下，尽量选用轻质但高强度的材料，减轻机械的自重。这样一来，在设备运行过程中，驱动系统所需克服的重力就会减小，从而降低能源消耗。还可以通过模块化设计来优化机械结构。将复杂的机械系统分解为多个相对独立的模块，便于维护和更换，同时也有利于根据不同的工作需求进行灵活组合，提高设备的通用性和适应性，进一步实现节能目标^[4]。

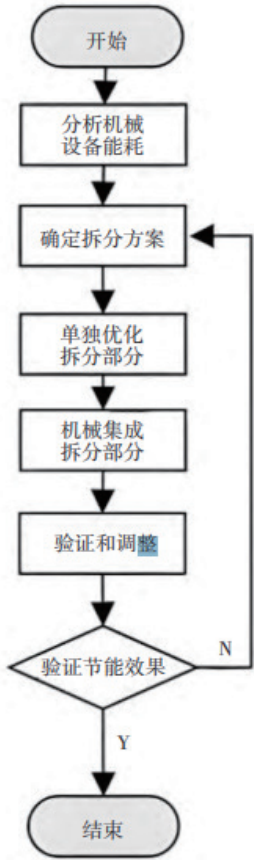
（二）高效传动系统设计

高效传动系统设计在煤矿机械制造的节能设计中占据关键地位。一个优秀的传动系统能够将动力源的能量高效地传递到工作部件，最大限度地减少能量损失。在选择传动方式时，要综合考虑多种因素，选用合适的传动类型^[5]。它可以在传递动力的同时，根据负载的变化自动调整输出扭矩，使设备始终保持在高效运行状态。相比传统的机械传动，液力传动能够更好地适应煤矿复杂多变的工作环境，减少因负载波动而引起的能量损耗。优化传动系统的参数设计也是提高传动效率的重要手段。合理确定传动比、皮带轮直径、齿轮模数等参数，能够使传动系统在最佳工况下运行^[6]。

（三）拆分与优化机械设备

在传统的煤矿机械领域，设备往往因其庞大的体积和复杂的结构而面临诸多挑战。这些挑战不仅包括设备的高重量，还涉及显著的能量损耗问题。为了应对这些问题，现代技术提出了一种解决方案：将大型机械设备拆分为更小、更轻便的模块^[7]。这种拆

分策略不仅能够显著减轻每个组件的重量，还能有效降低设备的整体转动惯量。转动惯量的降低意味着设备在启动和停止过程中所需的能量大幅减少，从而实现了能源的有效节约。此外，这种模块化的设计还极大地提升了设备的灵活性，使得运输和安装过程更加便捷。这不仅降低了运输成本，还简化了安装流程，减少了安装难度。在优化机械设备的过程中，结构改进是一个关键环节。优化后的传动系统不仅能够降低能耗，还能延长设备的使用寿命，减少维护成本^[8]。（见图2）。

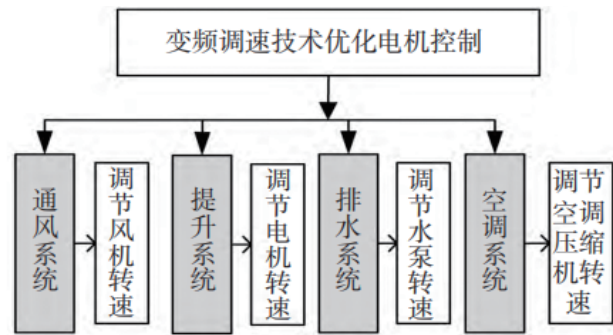


> 图2 拆分机械设备结构流程

三、煤矿机械自动化中节能设计理念的运用分析

（一）使用变频调速技术优化电机控制

在煤矿自动化系统中，变频调速技术的应用为电机控制提供了更为高效、稳定和节能的解决方案。通过这一技术，煤矿中的各类机械设备能够实现更加精准的运行控制，从而提升整体生产效率并降低能耗^[9]。具体应用场景如图3所示，展示了变频调速技术在煤矿自动化中的多维度应用。变频调速技术在风机控制中的应用尤为突出。通过实时监测矿井内的气体成分、温度、湿度等环境参数，系统能够根据煤矿生产的实际需求，精确调节风机的转速，确保矿井通风需求得到满足。这种精准的调节不仅提高了通风系统的效率，还减少了不必要的能源消耗。在水泵控制方面，变频调速技术同样发挥了重要作用。在矿井水位较高的区域，适当提高水泵的转速可以加快排水速度，避免水位过高带来的安全隐患^[10]。



> 图3变频调速技术优化电机控制

（二）采用节能技术提高自动化运行效率

在电气自动化系统的运行中，优化负载是实现节能降耗的关键策略之一。通过实时监控负载，动态调整负载分配，可以有效避免设备过载或空载运行，从而显著降低系统能耗。系统根据实时负载数据，自动调整各设备的运行状态，确保设备在最佳工况下运行，从而实现系统总功率的最小化。此外，过载运行可能导致设备损坏，而空载运行则会造成能源浪费，因此，通过精确的负载监控和动态调整，可以有效规避这些风险。在煤矿生产中，优化负载的应用尤为重要。根据煤矿生产的实际需求，系统可以自动调整设备的工作参数，从而实现能源的最优利用。例如，根据煤层的硬度和产量，系统能够自动调整切割设备的速度和深度，以达到最佳的切割效果和能源利用率。这种动态调整不仅提高了生产效率，还有效减少了能源消耗。通过这种方式，煤矿生产过程中的能源使用得到了显著优化，具体优化参数如表1所示，展示了不同煤层条件下的切割速度和深度的最佳配置^[11]。

煤层硬度	产煤量/(t·h ⁻¹)	切割速度/(m·min ⁻¹)	切割深度/mm
50	100	10	50
80	90	8	40
120	70	6	30

表1煤层切割参数优化

（三）电能回收利用技术

电能回收利用技术在煤矿机械自动化中发挥着重要作用。煤矿机械在运行过程中，如电机的制动、减速等环节会产生大量的电能损耗。电能回收利用技术可以将这些原本会被浪费的电能进行回收和再利用。例如，在煤矿提升机的制动过程中，通过安装能量回馈装置，将电机在制动时产生的电能回馈到电网中。这样不仅减少了制动过程中的能量损耗，还能其他设备提供电能^[12]。对于一些间歇性工作的煤矿机械，在其停机或低负荷运行时，电能回收利用系统可以将多余的电能储存起来，在设备重新启动或高负荷运行时再释放出来，从而提高电能的利用效率，降低煤矿企业的用电成本。

四、结束语

节能设计理念在煤矿机械制造及自动化中的运用是行业发展的必然趋势。通过合理运用节能设计，能有效降低能源消耗，提升煤矿生产的经济效益和环境效益。未来，还需不断探索和创新，进一步完善节能设计，为煤矿行业的可持续发展提供有力支持。

参考文献

[1] 王洋. 煤矿机械制造及自动化中节能设计理念的运用分析 [J]. 模具制造, 2024, 24(12): 218-220+223.
[2] 李韶芬. 节能设计理念在煤矿机械制造及自动化中的应用 [J]. 能源与节能, 2024, (05): 102-104.
[3] 蒋振国. 机械自动化技术在煤矿机械制造中的应用 [J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(09): 66-68.
[4] 李永锋. 节能设计理念在机械制造与自动化中的应用分析 [J]. 南方农机, 2021, 49(21): 175+177.
[5] 陈贵军. 分析机械制造自动化中节能设计理念的应用路径 [J]. 农家参谋, 2020, (16): 163.
[6] 叶宜凡; 黄粮山. 矿山机械制造与自动化设计中的节能设计理念的相关探索 [J]. 科技风, 2020(23): 117.
[7] 李红兵. 煤矿供电系统的绿色节能设计方法探讨 [J]. 居业, 2020(09): 34-35.
[8] 张都. 关于煤矿供电系统的绿色节能设计方法分析 [J]. 能源与节能, 2017(07): 105-106.
[9] 刘友勤. 有色选矿厂节能设计理念 [J]. 中国金属通报, 2009(43): 40-41.
[10] 刘翔. 供配电煤矿系统设计节能设计探析 [J]. 四川水泥, 2017(11): 124.
[11] 张冉. 矿山机械制造与自动化设计中节能设计理念的探索 [J]. 工程设计与设计, 2021(02).
[12] 蔚海明. 煤矿电气自动化节能设计原则分析 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2021(10).

地图制图技术在地理信息系统数据中的应用

张传东

中科宇图科技股份有限公司，北京 100101

摘要：在当今数字化时代，地理信息系统（GIS）在众多领域发挥着不可或缺的作用，其核心是对海量地理空间数据进行高效管理与深入分析。然而，GIS 数据具有复杂抽象的特点，直接理解 and 应用存在较大难度。地图制图技术作为一种直观的信息表达手段，与 GIS 数据的结合意义重大。它可以把抽象的数据转化为可视化的地图，使用户更清晰地认知地理现象和规律。例如，在城市规划中，通过地图制图技术可直观呈现土地利用、人口分布等信息。在资源管理、灾害预警、环境保护等多个领域，这种结合都能为决策和规划提供有力支撑。深入探究地图制图技术在 GIS 数据中的应用，有助于提升数据利用效率，推动各行业的发展，具有重要的现实意义。

关键词：地图制图技术；地理信息；系统数据

Application of Map Mapping Technology in GIS Data

Zhang Chuandong

China Sciences MapUniverse Technology Co., Ltd. Beijing 100101

Abstract： In today's digital age, geographic information system (GIS) plays an indispensable role in many fields, the core of which is the efficient management and in-depth analysis of massive geospatial data. However, GIS data is characterized by complex abstraction, so it is difficult to understand and apply it directly. As an intuitive means of information expression, the combination of map mapping technology with GIS data is significant. It can translate abstract data into visual maps, giving users a clearer understanding of geographical phenomena and laws. For example, in urban planning, information such as land use and population distribution can be intuitively presented through mapping technology. In resource management, disaster warning and environmental protection, this combination can provide strong support for decision-making and planning. It is of great practical significance to deeply explore the application of map mapping technology in GIS data to improve the efficiency of data utilization and promote the development of various industries.

Keywords： map mapping technology; geographic information; system data

引言

在现代科学技术及测绘行业持续发展的背景下，空间数据处理要求正在不断增强。因此为满足数据现代化处理需求，实现在保障地图精准性与可靠性的情况下高效绘制地图，必须对地图制图技术形成正确认知，掌握该项技术的核心内容，不断加强对技术手段的研究力度，并对地图制图技术与地理信息系统进行结合，以此为地理信息系统数据集成提供技术支撑，该点对推动绘图行业高质量发展具有现实意义。

一、地理信息系统的基本概念

地理信息系统（GIS）是一种特定的空间信息系统，它在计算机软硬件、软件系统的支持下，对整个或部分地球表层（包括大气层）空间中的有关地理分布数据进行采集、储存、管理、运算、

分析、显示和描述。GIS 具有强大的空间分析能力，能够解决复杂的规划、管理和决策问题^[1]。例如，在城市规划中，通过分析土地利用数据、人口分布数据等，为城市的合理布局提供依据。其数据类型丰富多样，包括矢量数据和栅格数据。矢量数据通过坐标点来精确表示地理实体，如一条道路由一系列坐标点连接而成；

作者简介：张传东（1984.10-），男，汉族，山东巨野，本科，工程师，从事地图制图技术研究工作。

栅格数据则将地理空间划分为规则的网格单元，每个单元存储相应的属性值^[2]。

表1GIS 数据类型特点

数据类型	数据结构	数据精度示例	数据存储量 (1平方公里范围)
矢量数据	点、线、面等几何图形及属性表	坐标精度可达0.001米	存储道路数据约100KB
栅格数据	规则网格阵列	分辨率可达1米	存储土地覆盖数据约1MB

二、大数据时代对地图制图技术的挑战

在大数据时代，地图制图技术面临着前所未有的挑战。随着数据采集技术的飞速发展，地理空间数据呈现出海量、多源、异构的特点^[3]。例如，每天通过卫星遥感、移动设备定位等方式产生的数据量呈指数级增长，可能达到数十亿甚至数百亿条记录^[4]。一方面，数据的海量性使得传统的地图制图技术在数据处理效率上捉襟见肘。面对如此庞大的数据量，制图软件和硬件需要具备更强的计算能力和存储能力。另一方面，多源异构数据的融合难度加大，不同来源的数据在格式、精度、语义等方面存在差异，需要花费大量时间和精力进行数据清洗、转换和整合^[5]。

三、地图制图技术在地理信息系统数据中的应用

(一) 数据可视化方面的应用

地理信息系统（GIS）中存储着海量的数据，但这些数据本身往往是抽象和难以理解的。地图制图技术能够将这些复杂的数据以直观的地图形式展示出来，帮助用户更好地理解和分析数据^[6]。例如，在城市规划中，通过地图制图技术可以将土地利用类型、人口密度、交通流量等数据以不同的颜色、符号和图案展示在地图上。以某城市的土地利用数据为例，通过地图制图技术可以制作如表2所示的可视化表达^[7]。从这个表格可以清晰地看出不同土地利用类型的分布和占比情况，在地图上对应的颜色区域也能让规划者一目了然，有助于他们进行合理的城市空间布局 and 规划决策^[8]。

表2土地利用类型及其表示与占比

土地利用类型	颜色表示	面积占比（%）
居住用地	红色	40
商业用地	黄色	20
工业用地	灰色	15
绿地	绿色	20
其他用地	棕色	5

(二) 数据编辑与处理方面的应用

地图制图技术为 GIS 数据的编辑和处理提供了有效的手段，在数据采集过程中，可能会存在一些错误或不准确的数据，需要

进行编辑和修正。制图技术可以帮助用户在地图上直接对数据进行操作，比如修改地理要素的位置、属性等。在数据处理方面，地图制图技术可以辅助进行空间数据的拓扑关系建立^[9]。例如，在绘制道路网络时，需要确保道路之间的连接关系正确。以下是一个简单的道路网络拓扑关系处理的数据表格，通过这个表格和地图制图技术，能够清晰地展示道路之间的连接关系，方便进行数据的检查和修正，确保 GIS 数据的准确性和完整性^[10]。

表3道路网络拓扑关系处理数据

道路编号	起点坐标	终点坐标	连接道路编号
1	(100,200)	(300,400)	2,3
2	(300,400)	(500,600)	1,4
3	(100,200)	(200,300)	1,5
4	(500,600)	(700,800)	2
5	(200,300)	(400,500)	3

(三) 空间分析方面的应用

地图制图技术与 GIS 的空间分析功能紧密结合。例如，在进行缓冲区分析时，地图制图技术可以将分析结果以直观的地图形式呈现出来。假设要分析某河流周围一定范围内的生态保护区，通过 GIS 的缓冲区分析功能计算出缓冲区范围后，利用地图制图技术可以将缓冲区在地图上用特定的颜色或图案突出显示。在叠加分析中，地图制图技术同样发挥着重要作用。比如，将土地利用数据和土壤类型数据进行叠加分析，以确定不同土地利用类型下的土壤适宜性。通过地图制图技术，可以将叠加分析的结果以清晰的地图形式展示，为农业规划、土地资源管理等提供科学依据^[11]。

(四) 专题地图制作方面的应用

专题地图是为了突出表示某种或几种主题要素而制作的地图，地图制图技术能够根据不同的主题和需求，制作出各种类型的专题地图。例如，在气象领域，可以制作气温、降水等气象要素的专题地图；在生态领域，可以制作植被覆盖度、生物多样性等专题地图。以某地区的植被覆盖度专题地图制作为例，根据不同的植被覆盖度等级，可以采用不同的颜色进行表示，如表4所示。通过这样的专题地图，能够直观地反映出该地区植被覆盖度的分布情况，为生态保护和环境监测提供有力支持。^[12]

表4植被覆盖度等级及面积统计

植被覆盖度等级	颜色	面积（平方公里）
高（80%-100%）	深绿色	500
中（40%-79%）	浅绿色	800
低（0%-39%）	浅黄色	300

(五) 决策支持方面的应用

地图制图技术在 GIS 的决策支持中扮演着至关重要的角色，决策者借助直观的地图及相关数据，能全方位、深层次地了解问题的现状与发展趋向，进而制定出科学合理的决策。在灾害应急管理领域，地图制图技术的优势尤为凸显。当灾害发生时，它能

够迅速将灾害发生的精确地点、影响范围大小以及受灾人口的具体分布等关键信息，清晰、准确地展示在地图上。救援人员可以依据地图呈现的信息，合理规划救援路线，高效调度救援力量。同时，相关部门也能根据受灾人口分布情况，精准分配救援物资，确保资源得到最有效的利用。此外，在城市规划、资源管理等众多领域，地图制图技术同样能为决策提供有力支撑^[12]。通过将各种地理信息直观呈现，帮助决策者权衡利弊，做出符合实际需求 and 长远发展的最优决策，最大程度地减少决策失误带来的风险和损失。

四、结束语

地图制图技术在地理信息系统数据中的应用具有重要价值和广阔前景，通过将复杂的数据以直观的地图形式呈现，它为数据的理解、分析和决策提供了有力支撑。在各个领域的实际应用中，地图制图技术与 GIS 数据的融合不断推动着相关工作的高效开展。然而，随着技术的发展和应用需求的增加，仍需不断探索和创新，进一步完善地图制图技术，以更好地适应未来 GIS 数据处理和应用的新挑战，为社会发展做出更大贡献。

参考文献

-
- [1] 党攀峰. 集成测绘地理信息系统数据的地图制图技术分析 [J]. 中国高新科技, 2023,(11):82-83+96.
 - [2] 刘丽花. 基于 GIS 数据的快速地图制图技术分析 [J]. 西部资源, 2023,(01):183-184+187.
 - [3] 吕晓洁. 地图制图在地理信息系统数据中的应用 [J]. 华北自然资源, 2022,(06):98-100.
 - [4] 梁汉媚. GIS 在专题图快速制图中的应用研究 [J]. 北京测绘, 2022,36(07):856-859.
 - [5] 丁一伦. 地图制图技术在地理信息系统数据集成中的应用 [J]. 大众标准化, 2022,(03):49-51.
 - [6] 集成测绘地理信息系统数据的地图制图技术分析 [J]. 党攀峰. 中国高新科技, 2023(11): 82-83+96.
 - [7] 地图制图在地理信息系统数据中的应用 [J]. 吕晓洁. 华北自然资源, 2022(06): 98-100.
 - [8] 地图制图技术在地理信息系统数据集成中的应用 [J]. 丁一伦. 大众标准化, 2022(03): 49-51.
 - [9] 集成地理信息系统数据的地图制图技术 [J]. 易鸿杰; 柳菲. 住宅与房地产, 2021(16): 220-221.
 - [10] 基于地理信息数据的地图自动化制图技术研究及应用——以《贵州省地理国情普查地图集》为例 [J]. 吴付英; 姚鑫. 科技资讯, 2021(05): 56-58+62.
 - [11] 集成地理信息系统数据的地图制图技术 [J]. 张金华. 信息记录材料, 2020(11): 161-162.
 - [12] 地图制图技术在地理信息系统数据集成中的应用 [J]. 殷钦霞. 住宅与房地产, 2020(24): 227.

某磷石膏干渣库浆砌石拦渣坝开裂变形原因分析及处理方案探讨

陈贵生¹, 余再西^{2*}

1. 昆明恒基建设工程施工图审查中心, 云南 昆明 650000

2. 云南建安昆宁工程设计咨询有限公司, 云南 昆明 650000

摘 要 : 尾矿因其对环境污染严重且影响范围广, 若处理不当扩散后治理费用高难度大, 需要对其集中堆积后处理, 而尾矿坝是稳定这些尾矿堆积体的重要构筑物, 其破坏或溃坝后果极其严重, 故尾矿坝的安全性对尾矿库的安全性起到至关重要的作用。本文通过某实际工程案例, 分析了某磷石膏干渣库浆砌石拦渣坝开裂变形的原因并给出了加固方案, 其中对施工质量、尾矿渗滤液等对坝体安全性的影响做了详细分析, 为类似尾矿库的建设和管理提供参考和借鉴。

关 键 词 : 浆砌石拦渣坝; 鼓包开裂; 原因分析; 施工质量

Analysis of the Causes of Cracking and Deformation of the Masonry Stone Retaining Dam in a Phosphogypsum Dry Slag Storage Yard and Discussion on the Treatment Scheme

Chen Guisheng¹, Yu Zaixi^{2*}

1. Kunming Hengji Construction Engineering Construction Drawing Review Center, Kunming, Yunnan 650000

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

Abstract : Due to the severe environmental pollution and wide influence range caused by tailings, if not properly handled, the cost and difficulty of post-diffusion treatment will be extremely high. Therefore, it is necessary to concentrate and treat the tailings. Tailings dams are important structures for stabilizing these tailings accumulation bodies. Their failure or collapse would have extremely serious consequences. Thus, the safety of tailings dams plays a crucial role in the safety of tailings ponds. Through a practical engineering case, this paper analyzes the causes of cracking and deformation of the masonry stone retaining dam of a phosphogypsum dry residue storage pond and provides a reinforcement plan. It also conducts a detailed analysis of the impact of construction quality and tailings seepage liquid on the safety of the dam, providing reference and guidance for the construction and management of similar tailings ponds.

Keywords : grout stone check dam; bulging and cracking; cause analysis; construction quality

引言

尾矿因其对环境污染严重且影响范围广, 若处理不当扩散后治理费用高难度大, 需要对其集中堆积后处理, 而尾矿坝是稳定这些尾矿堆积体的重要构筑物, 其破坏或溃坝后果极其严重, 故尾矿坝的安全性对尾矿库的安全性起到至关重要的作用^[1-6]。本文通过某实际工程案例, 分析了某磷石膏干渣库浆砌石拦渣坝开裂变形的原因并给出了加固方案, 其中对施工质量、尾矿渗滤液等对坝体安全性的影响做了详细分析, 为类似尾矿库的建设和管理提供参考和借鉴。

一、项目概况

顶高程约 1945.00m, 场地建设前现场照片详见图 1。

(一) 地质概况

某磷石膏干渣库位于山间冲沟处, 下游修建了蓄水池, 场区汇水面积为 0.4km²; 区域大范围上游地表分水岭为近似圆弧形连绵山脉, 南端最高山峰高程约为 2004m; 沟谷两侧岸基本对称, 坡度约 10~20°, 植被发育中等。渣库位于沟谷发育的上游段, 坝



> 图 1 干渣库拟建位置现场照片

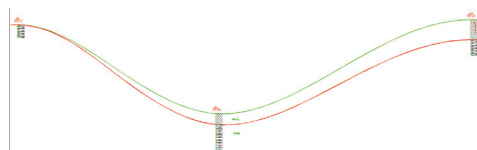
第一作者简介: 陈贵生 (1965-), 男, 汉族, 云南曲靖人, 工程地质学士, 高级工程师, 国家注册土木工程师 (岩土), 主要从事岩土工程勘察、设计、检测、咨询和施工图审查工作, Email: chs97412@163.com。

通讯作者简介: 余再西 (1988-), 男, 汉族, 云南大理人, 岩土工程硕士, 高级工程师, 国家注册土木工程师 (岩土)、一级建造师, 主要从事岩土工程勘察、设计、审查、咨询和研究工作, Email: 764388172@qq.com。

拟建场区内下伏基岩为二叠下统灰岩，场地周边可见露头。第四系地层包括：沟谷底部和两侧岸坡的坡残积层，典型地质剖面图如图2所示。根据野外调查和勘察结果，将场区内的主要地层由新到老分述如下：

残积层：红粘土①₁：红色，局部夹灰白色，稍湿、稍密状态，主要分布于库区底部及挡水坝沟底。液性指数 I_L 的范围值为 0 ~ 0.12，平均值 0.05，呈可塑状态；压缩系数的范围值为 0.26 ~ 0.52 MPa^{-1} ，平均值为 0.38，属中压缩性土；标贯实测锤击数 N 平均值为 6.8 击，强度一般，库区底部平均厚度约 8m，基础承载力 140kPa。红粘土①₂：红色，局部夹灰白色，稍湿，稍密状态，夹有少量中等风化的碎石块，主要成分为石灰岩，粒径 1-3cm，主要分布于库区底部及库区两侧，基础承载力 180kPa。

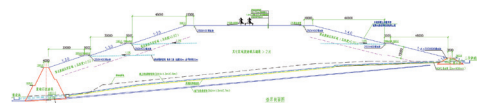
二叠系下统：中等风化石灰岩②：灰色、灰白色。隐晶质结构，厚层状构造，矿物成分以方解石为主，方解石脉发育。局部有溶蚀现象，风化裂隙中等发育，裂隙间充填有少量红粘土，岩芯呈柱状。岩体为较硬岩，质量基本等级为Ⅲ级。岩芯采取率为 90%，RQD 为 70~80%。本层埋深 0~20.3m，整个场区均有分布。岩层承载力 1000kPa。



> 图2 典型地质剖面图

（二）设计概况

本干渣库拟堆存磷石膏废渣为酸性渣，pH 值介于 1.95 ~ 3.04，为Ⅱ类固体废物。根据《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB18599-2001）中的相关要求，此磷石膏干渣库将按一般工业固体废物的贮存、处置场Ⅱ类场进行设计。本干渣库占地 315 亩，拟分两期实施。一期废渣考虑堆至标高 1960.0m，最终废渣顶标高定为 1980.0m，库区剖面设计如图3所示。

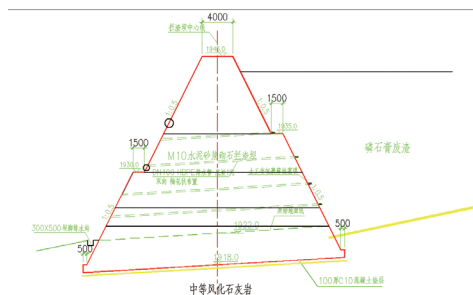


> 图3 库区剖面设计图

根据库区地形情况，本干渣库设置两道坝体，下游设有透水的浆砌石拦渣坝，库尾也设置有拦渣堆石坝。在拦渣坝以上设有三级废渣平台，后期废渣堆高为 35m，渣坝外坡比不陡于 1:3.3（库尾渣坝外坡比不大于 1:4）。库区两岸各有一道浆砌石截洪沟，库内采用排水斜槽+排水管排洪。拦渣坝内坡设有多层排水管道，库区渣坝体内也设有排渗系统以降低废渣坝内的浸润线高程。为避免污染地下水，库区范围均铺设 1.5mm 厚的 HDPE 防渗膜，且膜下设有地下水导排盲沟。库区共设有二个浆砌石集液池，收集磷石膏渗滤液，防止废水外排。

本文研究对象为下游的拦渣坝，如图4所示：拦渣坝顶标高 1945.0m，坝轴处自然地面标高 1922.0m，沟谷段清基深度为 4m，最大坝高 $H_{初}=23\text{m}$ （不含清基深度），坝顶宽 $B=4.0\text{m}$ ，坝体外坡比 1: 0.5，内坡比 1: 0.5，坝轴长 104.5m。外坡在标高 1930.0m 处设置一 1.5m 宽的马道，内坡在标高 1935.0m 处也设

置一 1.5m 宽的马道。为降低废渣坝体的浸润线高程，在坝体上设置排水管。排水管交错布置，起始埋设标高 1925.0m，竖向间距 3m，横向间距 5m，共 4 层。排水管道为 HDPE 结构，管口用土工布包裹，内径 $d=100\text{mm}$ ，埋设坡度 ≥ 0.02 。石坝体与岸坡的连接，为使连接面处不产生集中渗流和存在软弱夹层，坝体与岸坡结合部采用斜面连接。



> 图4 拦渣坝剖面图（垂直坝轴线）

（三）施工概况

（1）设计对筑坝工艺的要求

拦渣石坝砌筑前须清除表层粘土层，进入持力层（中等风化石灰岩②）内，沟谷处坝体最小清基深度 4 米。石坝体施工时采用“坐浆法”砌筑，砂浆饱满，相邻块石交错搭接，石料无裂缝。砌筑坝体所用石料的块度、强度须满足以下要求：岩石的饱和抗压强度大于 40MPa，风化系数大于 0.8，软化系数大于 0.85，块石料径大于 30cm，砂浆等级为 M10 水泥砂浆。在填筑施工时，必须清除坝体两侧山坡上部覆土和强风化极破碎岩石，对坡面上残留的泥土清扫干净，另外在坝底设置 200mm 厚 C10 混凝土垫层。

（2）现场实际施工情况

本项目于 2019 年 3 月 20 日开工，2019 年 8 月 28 日完工，2019 年 8 月 30 日完成验收。施工过程中部分照片如图 5、图 6 所示，由图可以看出来：（1）施工过程中石块泥土灰尘未清洗干净；（2）砂浆含泥量过高；（3）砂浆强度较低时受到机械碾压和振动，表面块石人工砌筑整齐，但缺少与内部石块之间的拉结镶嵌。



> 图5 施工过程照片1（石块上有泥土灰尘）



> 图6 施工过程照片2（砂浆含泥量过高）

（四）竣工后运营情况

本项目拦渣坝后期运营情况如下：2019 年 8 月 30 日完成竣工验收→2021 年 4 月~5 月发现坝体有砂浆脱落（在马道位置上方）现象，但坝体鼓包不明显→2021 年 7 月~10 月完成拦渣坝后方形坝体区域的尾矿回填，此后尾矿开始与坝体接触（图 7）。在此前楔形区域有积水，但坝体在楔形区域回填前后均未发现泄水孔和排渗沟外的渗漏情况→2021 年 10 月 17 日现场对砂浆脱落部位进行重新抹灰处理→2022 年 6 月坝体出现明显的鼓包现象→2022 年 6 月~2022 年 12 月，鼓包开裂略有增大。



> 图7 磷石膏废渣回填过程照片

二、浆砌石拦渣坝现状调查和检测结果

(一) 鼓胀开裂情况

经对受检拦渣坝进行外观质量检查,外观质量一般;墙体表面风化、空鼓、脱落,墙体出现竖屏、垂直或斜向宽度大于5mm的斜向裂缝;现场检查发现局部出现较大裂缝,详见图8~12。



> 图8 拦渣坝正前方照片



> 图9 拦渣坝侧面开裂照片图



> 图10 坝体上部鼓包位置



> 图11 坝体中部台阶处鼓包位置



> 图12 泄水孔下方结晶情况

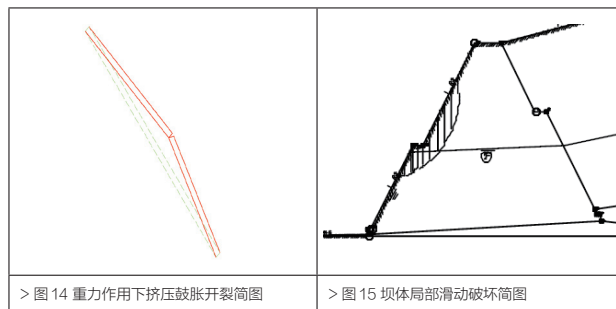
(二) 坝体开裂变形规律分析

从现场调查情况可以看出,如图13所示,坝体鼓包、开裂位置主要发生在坝体中上部到中下部之间,坝体靠近顶部和底部目前未发现明显的鼓包开裂现象。



> 图13 坝体开裂规范分析图

从图13可以看出:(1)图上“1”“3”区域开裂明显,且开裂伴随着鼓包发生,类似于挤压屈曲失稳的情况(如图14所示);(2)图上“2”部位所示区域,裂缝主要为张拉、剪切裂缝,为破坏边缘地段,区域“2”两侧坝体无明显的开裂鼓包情况出现;(3)开裂范围主要发生在“1”“2”“4”包围的区域内;(4)区域“4”位置的开裂情况有别于区域“1”和“3”,其鼓胀不明显,但是裂缝位置有明显的水平剪切错断位移,类似于滑动体的剪出口。坝体现状表现出来的破坏情况如图15所示的局部滑动破坏。



> 图14 重力作用下挤压鼓胀开裂简图

> 图15 坝体局部滑动破坏简图

(三) 检测鉴定结果

(1)外观质量普查结果:经对受检拦渣坝进行外观质量检查,外观质量一般;墙体表面风化、空鼓、脱落,墙体出现竖向、垂直或斜向宽度大于5mm的斜向裂缝;现场检查发现局部出现较大裂缝。

(2)尺寸、标高检测结果:渣坝高度、倾角、墙段长度与设计值符合。

(3)砂浆强度检测结果:拦渣坝未鼓包表面位置砌筑砂浆强度单个构件的推定值在11.7~12.2MPa之间,满足设计要求。拦渣坝未鼓包内部位置砌筑砂浆强度单个构件的推定值在6.7~7.2MPa之间,不满足设计要求。鼓包内部位置砌筑砂浆强度单个构件的推定值在2.5~3.3MPa之间,不满足设计要求。

(4)坝体砌筑质量检测结果:坝体砌筑块石和砌筑砂浆有明显分离现象。掀开石块有砂浆饱满度不够和含泥量偏高现象,石块见有瞎缝。部分位置上下石缝连通,搭接不满足规范要求。

(5)附属工程检查结果:对拦渣坝全部4排正面泄水孔检查:下部第一排和第二排泄水孔正常泄水;第三排泄水孔只有一个孔泄水;第四排泄水孔都未泄水。

三、拦渣坝开裂变形原因分析

（一）施工影响分析

从检测结果可以看出：（1）坝体内部砂浆强度达不到设计要求：坝体表面勾缝砂浆强度部分满足设计 M10 要求，但是内部砂浆强度不满足设计 M10 的要求，内部设计强度在 M2.5~M7.5 之间；（2）毛石砌筑工艺和质量不满足规范要求：坝体毛石和砌筑砂浆有明显分离现象，掀开石块有砂浆饱满度不够和含泥量偏高现象，石块见有瞎缝，部分位置上下石缝连通，搭接不满足规范要求。

从现场施工照片可以看出：（1）施工过程中石块上灰尘、泥土未清理干净，影响砂浆与石块之间的粘结强度；（2）砂浆含泥量超标，影响砂浆的强度、砂浆与石块之间的粘结强度、砂浆的水稳性；（3）挖机等大型机械设备在砂浆强度未达到设计要求的条件下在坝体上行走，导致砌筑体内部产生裂缝（特别是坝体边缘缺少约束的部位易产生微裂缝）为后期破坏埋下隐患；（4）表面块石人工砌筑整齐，但缺少与内部石块之间的拉结镶嵌，出现表面石块和内部石块不搭接的情况。

从上述分析可以看出：砂浆含泥量高、强度低、砂浆不饱满、砂浆与石块之间粘结强度不足、表面石块与内部石块未搭接易分离等问题为后期坝体出现挤压鼓包开裂、局部滑动剪切开裂等问题埋下了隐患。

（二）受力影响分析

因现状坝体中砂浆强度及砂浆与石块之间的粘结强度不足，坝体强度偏低，导致坝体的破坏模式由因磷石膏矿渣的推移而发生整体稳定性不足的破坏转换为因坝体自身强度不足而发生的强度破坏。现状坝体将在自重和磷石膏矿渣推力的共同作用下发生坝体内部局部或整体结构性破坏，即现状坝体的破坏由稳定性问题转变为强度问题。

在拦渣坝与磷石膏矿渣之间的楔形体区域未完全回填前，坝体虽然出现了砂浆脱落、局部开裂的现象，但并不严重且发展缓慢。坝体与矿渣之间的楔形体区域回填完成后，磷石膏矿渣对坝体的推力增大，坝体内应力增加，本身强度不足的坝体，变形和开裂较之前有较大发展。

从现场开裂变形情况可看出，坝体目前发生了浅表局部剪切变形，再往后发展将出现局部剪切破坏，进而引起坝体整体垮塌。

（三）物理化学影响分析

在坝体与矿渣之间的楔形体区域未完全回填前，坝体虽然出现了砂浆脱落、局部开裂的现象，但并不严重且发展缓慢。坝体与矿渣之间的楔形体区域回填完成后，除坝体内应力增大外，酸性矿渣渗滤液通过坝体表面裂缝进入坝体内部，在化学侵蚀和结晶的共同作用下，导致坝体砂浆强度进一步降低，坝体变形和开裂现象进一步发生和发展。

（四）综合分析

砂浆含泥量高、强度低、砂浆不饱满、砂浆与石块之间粘结强度不足、表面石块与内部石块未搭接易分离等问题是坝体开裂破坏的内因；磷石膏矿渣推力和矿渣渗滤液的侵蚀结晶作用均是加速坝体变形和开裂破坏的外因。

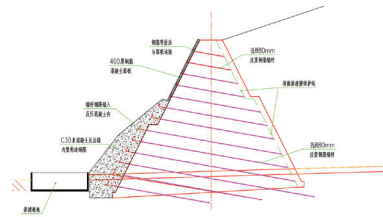
四、坝体加固措施及施工建议

（一）坝体需要加固的内容

砂浆强度不足、砂浆与石块之间的粘结强度不足、表层石块与内部石块之间拉结强度不足为此坝体需要解决的主要问题，即现状工况下坝体加固补强需要解决的主要问题。

（二）加固措施及建议

根据拦渣坝出现的问题和现场可能的用地和施工条件，针对此浆砌石拦渣坝加固措施和建议如下：如图 16 所示，可采取注浆和加筋补强与增大截面反压补强相结合的方法进行坝体加固补强。



> 图 16 加固方向示意图

（三）加固施工注意事项

- （1）坝体表层目前处于欠稳定状态，因高度重视施工扰动对其不利影响，并制定防止坝体出现局部垮塌的施工安全保证措施；
- （2）施工过程中应考虑施工过程对坝体的局部破坏和影响，并针对此采用施工破坏小的工艺和施工顺序；
- （3）施工过程应注意对泄水孔和防渗膜等的保护，不能因加固施工而破坏这些设施。

五、结论和建议

（1）砂浆含泥量高、强度低、砂浆不饱满、砂浆与石块之间粘结强度不足、表面石块与内部石块未搭接易分离等问题是坝体开裂破坏的内因；磷石膏矿渣推力和矿渣渗滤液的侵蚀结晶作用均是加速坝体变形和开裂破坏的外因。

（2）由于施工质量缺陷和物理化学原因坝体安全性在持续降低，若不及时处理坝体存在垮塌风险，故需立即对坝体进行加固补强，加固设计和施工时应考虑加固施工工艺对坝体的短期不利影响。

（3）坝体强度对整个坝体安全影响很大，且目前坝体强度存在下降趋势，整体安全度在降低，需要及时对坝体进行加固补强，现状工况下其加固补强的主要方向是采取措施弥补砂浆强度不足对坝体造成的自身强度不足问题。

参考文献

- [1] 《磷石膏库安全技术规程》（AQ2059-2016）[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2016.
- [2] 《尾矿设施设计规范》（GB50863-2013）[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2013.
- [3] 《尾矿库安全技术规程》（AQ2006-2005）[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2005.
- [4] 《砌石坝设计规范》（SL25-2006）[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2006.
- [5] 《砌体结构设计规范》（GB50003-2011）[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2011.
- [6] 《尾矿设施施工及验收规程》（GB50864-2013）[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2013.

安全文化与特种设备安全法规执行困境与对策研究

党坚

蒲城县市场监督管理局, 陕西 渭南 715500

摘 要 : 本文深入探讨了特种设备安全法规在实际执行过程中所遭遇的多重挑战, 涵盖了监管资源的紧缺、企业在安全管理上的疏忽、法律法规的更新滞后及具体条款的细化不足, 以及社会环境对安全管理成效的潜在影响。针对这些困境, 本文提出了一系列以安全文化建设为核心的对策策略。这些建议着重于加强监管部门的安全生产文化教育、促进企业在安全文化上的自我提升, 以及提高公众对特种设备安全的认知和参与度。

关 键 词 : 特种设备安全; 法规执行; 安全文化; 监管人力; 企业安全意识

Research on Safety Culture and Dilemmas and Countermeasures in Implementing Special Equipment Safety Regulations

Dang Jian

Pucheng County Market Supervision and Administration, Weinan, Shaanxi 715500

Abstract : This article delves into the multiple challenges encountered in the practical implementation of special equipment safety regulations. These challenges include the scarcity of regulatory resources, negligence in safety management by enterprises, lags in updating laws and regulations, insufficient detalization of specific clauses, and the potential impact of the social environment on the effectiveness of safety management. Addressing these dilemmas, this article proposes a series of countermeasures centered around the construction of a safety culture. These suggestions focus on strengthening safety production culture education in regulatory departments, promoting self-improvement in safety culture among enterprises, and enhancing public awareness and participation in special equipment safety.

Keywords : special equipment safety; regulation implementation; safety culture; regulatory manpower; enterprise safety awareness

引言

特种设备在现代社会的广泛应用对生活和工作提供了便利, 但其安全事故对人民生命财产和社会经济稳定构成威胁。应对此挑战, 关键在于加强安全法规执行和培养安全文化。安全文化能潜移默化地提升公众安全意识, 促使使用者、管理者和监管者自觉遵守安全法规。同时, 特种设备安全法规提供了法律约束, 确保设备各环节合规。研究安全文化与法规应用, 有助于发现安全管理问题, 提升安全水平和法规执行力, 对减少事故、保障人民安全和社会经济发展至关重要。

一、安全文化与特种设备安全法规的理论基础

(一) 安全文化的内涵与维度

安全文化是组织在长期的生产经营活动中形成的, 被全体成员接受并遵循的, 包含安全价值观、理念、行为准则及制度体系的一种深层次、无形的力量。它贯穿于精神、制度、行为和物质多个层面, 潜移默化地塑造着成员的安全意识和行为。在价值观上, 安全文化坚持“生命至上、安全第一”, 将人员安全置于首位, 视安全为生产经营的前提, 这一观念在特种设备领域尤为重要, 要求生产企业、使用单位和监管部门深刻认识到特种设备安全对公共安全的重要性, 并树立起对安全的敬畏和责任感^[1]。在态度上, 良好的安全文化环境下, 员工对特种设备安全持有积极态度, 自觉关注设备状况, 主动学习安全知识, 积极参与安全管

理, 对隐患保持警惕, 并及时处理。行为规范上, 安全文化通过明确的操作规程和管理制度, 引导成员行为符合安全要求, 如特种设备的使用维护、检验检测、安全防护使用和应急救援演练等, 这些都是将安全理念转化为实际行动的具体规范, 确保设备安全运行。

(二) 特种设备安全法规体系概述

特种设备是危险性较高的锅炉、压力容器、压力管道、电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施、厂(场)内机动车辆8大类设备, 是国家经济建设的重要基础设备, 是社会民生保障的基础设施, 是人民生活稳定的有力支撑。设备数量持续增加, 截至2020年底, 全国特种设备总量达1 648. 41万台, 另有气瓶1. 79亿只、压力管道101. 26万千米。特种设备安全属于国家公共安全的分支, 其安全水平的高低影响到人民的生命财产安全和

社会经济的平稳发展^[2]。

我国特种设备安全法规体系经过长期的发展，已形成以法律法规为核心，辅以技术规范、标准和行政规章的完善体系。最初，特种设备安全管理依赖零散的行政规定和行业标准，但随着经济社会的进步和对特种设备安全的重视，我国颁布了一系列专门的法律法规。《中华人民共和国特种设备安全法》作为核心法律，确立了特种设备全生命周期的基本要求和各方责任，为国家监管提供了法律依据。为了细化这一法律，国家相关部门制定了大量的技术规范 and 标准，涵盖了特种设备的设计、制造到检验检测等各个阶段，确保了设备质量和安全性能。同时，各级政府通过行政规章和地方性法规，明确了监管程序、方法和地方政府职责，构建了多层次的法规体系。这一体系不仅为特种设备安全管理提供了权威性，还规范了市场秩序，为安全运行设定了行为准则。它通过法律强制力促使企业和个人遵守法规，加强安全管理，并为监管部门提供了执法依据，确保了法规的执行和安全目标的实现，从而保障了人民群众的生命财产安全和社会的稳定发展。

（三）安全文化与安全法规的关系

安全文化与特种设备安全法规执行之间存在着密切的联系和互动，二者共同作用，提升特种设备安全管理水平。良好的安全文化能够增强员工对安全法规的认同和自觉遵守，将法规内化为保障安全的自觉行动，而不仅仅是外在的强制^[3]。这样的文化氛围通过完善的的安全管理制度、培训体系和激励机制，为法规执行提供了支持环境，帮助员工更好地理解 and 执行法规，确保设备安全运行。同时，安全法规为安全文化建设提供了方向和目标，其强制力通过纠正不良行为，推动安全文化的形成和发展。安全文化与法规执行相互促进，共同构成了特种设备安全管理的基石。因此，在实际管理中，应将安全文化建设与法规执行有机结合，通过培育安全文化提高法规执行力，利用法规规范推动文化发展，形成良性循环，保障设备和人民安全。

二、特种设备安全法规执行的困境剖析

（一）法规执行主体的问题

在某地区，特种设备的安全管理正面临前所未有的挑战，这一挑战源自监管执法的艰难困境与企业守法的重重难题。该地区特种设备数量庞大，分布范围广泛，但与之形成鲜明对比的是监管人力的严重不足。每万名特种设备使用者所对应的监管人员数量仅为个位数，这一比例远远低于行业标准和实际需求。由此导致的直接后果是，监管人员无法对所有特种设备进行全方位、及时的检查，使得一些设备处于监管的真空地带，安全隐患因而得不到有效发现和排除。执法资源的紧缺更是加剧了这一困境，陈旧的检测设备、缺乏先进技术支持以及不足的执法车辆，这些都使得监管人员在应对偏远地区的故障或事故时，难以实现快速有效的响应，从而大大降低了执法效率^[4]。

在企业层面，对经济利益的盲目追求往往使得安全管理被边缘化。众多企业安全意识淡薄，对法规的执行流于形式，设备维

护和更新的投入远远不足。一些企业甚至在设备超期未检的情况下仍然坚持使用，抱有侥幸心理，忽视了潜在的安全风险。特别是对于小微企业而言，受制于有限的资金，它们往往难以配备专业的安全管理人员和先进的设备，管理制度和应急预案的建设也显得不够完善，这导致违规操作现象频发，对特种设备的安全运行构成了严重威胁。

（二）法规自身的局限性

在特种设备的管理领域，法规的滞后性和细化不足已经成为一个突出的安全管理难题。随着科技的飞速发展，新型特种设备如智能电梯等层出不穷，它们融合了物联网、人工智能等尖端技术，与传统设备在技术特性和安全风险上存在显著差异。现行安全法规未能跟上这一技术革新的步伐，未能为这些新型设备提供具体的监管指南，特别是在关键技术指标、数据安全、网络通信稳定性等方面，监管法规的缺失使得监管部门在监督和检查时缺乏坚实的法律支撑，难以实施有效的监管措施，从而遗留下潜在的安全风险。

此外，现有的法规在具体条款的细化上显得力不从心，过于宽泛和模糊的表述缺乏实际操作性的指导。例如，在特种设备安全隐患的界定上，现行法规未能明确隐患的具体范畴、严重程度和分类标准，这导致使用单位和监管部门在实际工作中难以作出精确的判断和处理，进而导致执法标准的不统一，损害了法规执行的公正性和权威性，对特种设备安全管理工作的有效推进构成了障碍^[5]。因此，迫切需要对相关法规进行及时的更新和详细的完善，以适应技术进步的需要，确保特种设备的安全运行和管理。

（三）社会环境因素的影响

在社会层面，特种设备安全管理的效能受到公众安全意识薄弱和安全文化氛围欠佳的双重挑战。在日常生活中，公众往往对电梯等特种设备的安全提示和检验标志视而不见，对异常状况反应迟钝，缺乏在紧急情况下的正确应对知识，这无疑削弱了他们对于特种设备安全运行的监督和判断能力，进而影响了安全法规的实际执行效果。此外，社会整体对于安全文化的建设尚处于初级阶段，对特种设备安全法规的贯彻实施缺乏必要的认同和推动力。

安全宣传教育在社区和公共场所的开展并不充分，活动形式单一，内容缺乏创新和针对性，导致公众的参与度不高，难以通过这些活动让公众深刻认识到安全的重要性^[6]。社会舆论对于特种设备安全事故的关注往往聚焦于事故发生后的救援和处置，而忽视了事故预防和安全文化的长效建设，缺少形成强大社会舆论压力和共识的动力，以促进安全文化的深入人心。这些因素综合作用，导致安全文化氛围的缺失，进一步妨碍了特种设备安全法规的有效执行和落实。

三、基于安全文化建设的对策建议

（一）强化监管部门的安全文化建设

为了显著提升特种设备的安全管理水平，监管部门必须采纳一系列综合性措施。需致力于提高执法人员的安全文化素养，同

时构建一个以安全文化为核心的新型监管体系。执法人员将通过参与定期的专业培训课程和研讨会,全面而深入地了解特种设备安全法规的最新发展、安全技术标准、事故案例分析以及安全文化建设的有效方法,从而强化他们对法规的理解和执行力,提升他们的安全责任意识。

在监管流程中,应深刻融入安全文化理念,推行安全绩效评估体系。该体系将全面评估企业的安全管理现状和安全文化建设成果,涵盖安全价值观的普及程度、员工培训的参与度以及管理制度的实施效果等多个维度。通过表彰和奖励在安全文化建设上取得显著成效的企业,同时对于那些在安全法规执行上不尽力地企业加大监管力度,以此激励企业主动遵守安全法规,积极培育和推广安全文化^[7]。这样的策略将有助于营造一个积极向上的安全管理环境,促使企业自发地提升安全管理水平,从而在整体上推动特种设备安全性能的全面提高。通过这种双向激励机制,不仅可以确保特种设备的安全运行,还能够促进整个社会对安全文化的认同和重视,为构建更加安全的社会环境奠定坚实的基础。

(二) 推动企业安全文化建设

为了提高企业在特种设备安全管理方面的能力,成功的案例表明,必须同时注重安全价值观的培育和安全管理制度的完善。企业通过定期的安全文化培训和多样化的活动,如安全事故案例的深入分析、知识竞赛以及技能竞赛,将安全意识深植于每一位员工的心中,逐步构建起一种“安全至上,人人有责”的企业文化氛围。在这种氛围的熏陶下,员工们自觉遵循安全法规,主动参与到安全管理之中,从而极大地提升了设备安全运行的稳定性和可靠性。

此外,企业依据特种设备安全法规的要求,精心制定了一套全面而细致的安全管理制度。这套制度涵盖了设备操作的具体规程、维护保养的严格规定以及紧急情况下的应急预案^[8]。操作规程根据不同设备的特点,详细规定了操作步骤和安全注意事项,确保了操作的规范性和安全性;维护保养制度则保障了设备的定期

检查和及时维护,防止了潜在的安全隐患;应急预案通过定期的实战演练,提升了员工面对突发状况时的快速反应和处置能力。这些综合措施的有效实施,不仅确保了安全法规在企业内部的贯彻执行,而且显著提升了特种设备安全管理整体水平,为员工的生命安全和企业的稳定运营提供了坚实保障。

(三) 提升公众安全意识与参与度

为了推动特种设备安全文化的广泛传播和社会监督的加强,必须采取多元化的宣传策略。通过电视、广播、网络等多种媒体渠道,以及社区、学校、商场等公共场所的讲座和展览,向广大公众普及特种设备安全知识,提升全民安全意识。精心制作的科普视频、触目惊心的事故资料展示、易于理解的宣传手册,这些资源使公众能够轻松获取必要的安全信息,从而在全社会营造起关注特种设备安全的浓厚氛围^[9]。此外,建立健全的举报奖励机制,鼓励和动员公众积极参与特种设备安全的监督工作。通过设置专门的举报热线和在线平台,为公众提供一个便捷、安全的渠道,以便他们能够及时报告发现的安全隐患。为了确保举报人的合法权益,将采取严格的信息保密措施,并对举报人提供物质和精神上的双重奖励,以此激发公众的积极参与,构建起社会共治的安全监管网络^[10]。

四、结束语

安全文化是特种设备法规执行的关键软实力,通过增强法规认同和自觉遵守,支撑法规执行并营造安全氛围。针对法规执行挑战,如监管资源短缺、企业安全意识不足,提出了以安全文化建设为核心的策略,包括提升执法人员安全文化教育、建立导向性监管机制、塑造企业安全价值观和提升公众参与。这些措施共同提升安全管理,保障人民安全和社会稳定,通过结合安全文化建设和法规执行,改善特种设备安全管理,降低事故风险。

参考文献

- [1] 张媛媛, 杨白冰, 王丹, 等. 特检行业质量安全文化建设方法研究 [J]. 中国特种设备安全, 2021, 37(11): 8-13.
- [2] 任崇宝, 蓝麒. “智慧+”视角下的特种设备安全文化建设模式研究 [J]. 安全, 2021, 42(04): 17-26. DOI: 10.19737/j.cnki.issn1002-3631.2021.04.003.
- [3] 屈金坡, 叶会师. 某大型冶金露天矿山安全文化建设与实践 [J]. 现代矿业, 2021, 37(05): 231-232+249.
- [4] 何媛媛, 张潇, 殷鹰, 等. 浅析特种设备检验机构安全文化及评价体系构建 [J]. 西部特种设备, 2020, 3(06): 64-72.
- [5] 宋继红. 我国特种设备安全监察法规制度体系刍论 [J]. 中国市场监管研究, 2021, (11): 5-8+47.
- [6] 邓联合, 郭郑民, 彭建良, 等. 特种设备安全管理, 须在“特”上做文章 [J]. 中国设备工程, 2019, (11): 25-27.
- [7] 陈锐, 高永强, 钱剑雄. 特种设备技术法规评估方法研究与实践 [J]. 中国质量与标准导报, 2022, (03): 98-102.
- [8] 陈祖志, 艾景奇, 刘德宇, 等. 特种设备安全防护及其功能安全保障关键技术研究 [J]. 中国特种设备安全, 2020, 36(11): 1-7+19.
- [9] 胡素峰, 张绪鹏, 储昭武, 等. 特种设备法规文件体系图谱表达研究 [J]. 中国特种设备安全, 2018, 34(06): 1-4.
- [10] 庄淑淳. 特种设备安全法规标准体系现状与发展 [J]. 中国标准化, 2018, (10): 248-249.

消防工程主要施工技术实践研究

汤亭亭

上海常磐佳消防工程有限公司，上海 201403

摘 要： 进行消防工程主要施工技术实践探究，通过资料搜集、理论分析，阐述消防工程施工背景，讨论中国核建上海科创园建设项目-E（19-05）、F（21-05）地块消防工程的基本情况，围绕施工准备技术、管道安装技术、镀锌钢管连接口防渗漏技术、支吊架施工技术、消火栓系统施工技术展开了深入探索，规范施工流程，提升施工效果。得出如下结论：探索消防工程推进中涉及的主要施工技术，确定各类技术的施工要点，一定程度上实现了技术的灵活应用，保障了施工质量，对消防工程的稳定、安全使用极其重要。

关 键 词： 消防工程；施工技术；实践

Research on Main Construction Technology Practices in Fire Protection Engineering

Tang Tingting

Shanghai Changpanjia Fire Protection Engineering Co., Ltd. Shanghai 201403

Abstract： This article explores the main construction technology practices in fire protection engineering. Through data collection and theoretical analysis, it elaborates on the background of fire protection engineering construction and discusses the basic situation of the fire protection engineering for the China Nuclear Construction Shanghai Science and Technology Innovation Park Construction Project – Plots E (19-05) and F (21-05). The article conducts an in-depth exploration focusing on construction preparation techniques, pipeline installation techniques, anti-leakage techniques for galvanized steel pipe connections, support and hanger construction techniques, and fire hydrant system construction techniques, aiming to standardize the construction process and improve construction effectiveness. The following conclusions are drawn: Exploring the main construction technologies involved in the advancement of fire protection engineering and determining the key points of various technologies has achieved flexible application of technologies to a certain extent, ensured construction quality, and is extremely important for the stable and safe use of fire protection engineering.

Keywords： fire protection engineering; construction technology; practice

引言

进入新时期后，城市化进程进一步加快，开始出现更多的高楼大厦，与此同时，对消防工程的具体要求也在逐步提升，为保障整体施工效果，有必要探索消防工程中涉及的施工技术，确定技术要点内容，提升施工标准，从根本上提升施工质量。就目前实际研究成果而言，消防工程类型复杂，设计施工技术多样，需结合工程实际特征加以针对性探究，在技术研究中总结经验，提升施工水平。

一、消防工程施工背景分析

围绕中国核建上海科创园建设项目-E（19-05）、F（21-05）地块消防工程，探究其涉及的施工技术。19-05地块由地上E01（E1办公）、E02（E2办公）、E03（E3办公）及地下E04（地下车库）组成共四个子项组成，21-05地块由地上F01（F1办公）、F02（F2办公）、F03（F3办公）及地下F04（地下车

库）组成共四个子项组成。E1、E2、E3、F1、F2及F3为多层公共建筑，消防建筑高度均为22.80m，建筑耐火等级为二级，地下车库均为地下二层，主要功能为机动车库，非机动车库、配套用房（用作办公）及设备用房，建筑耐火等级一级。E地块基地面积9242.9㎡，地上建筑面积18485.8㎡，其中商业面积2772.8㎡，办公面积15713㎡，地下建筑面积13792㎡；F地块基地面积9355.1㎡，地上建筑面积18710.2㎡，其中商业面积2806.5㎡，

作者简介：汤亭亭(1988.09-)，男，汉族，本科学历，湖北省，一级建造师，研究方向：建筑设备。

办公面积 15713 m²，地下建筑面积 14212 m²。

二、消防工程主要施工技术实践

1. 施工准备技术

(1) 项目组织管理：执行项目经理责任制，由项目经理总揽整个施工技术实践流程，下辖技术负责人、商务主管、安全主管、质量主管，责任层层分担，确保各类施工技术推进的稳定性、高效性。

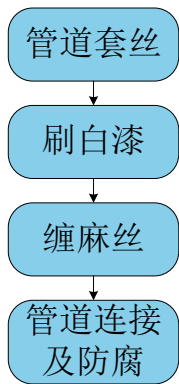
(2) 设置工程管理目标：包括：工期目标，计划开工日期以招标人书面通知为准，工期 243 日历天；质量目标，质量要求达到现行国家验收标准的合格等级；安全目标，无重大安全事故；环保目标，实现“四节一保、绿色施工”。

(3) 机具设备准备：3 台 TQ100—A 套丝机；5 台 BX300 电焊机；3 台 Φ400 砂轮切割机；2 台 EQ3025 台钻；2 套气焊工具；4 套压力案子；5 台热熔机；2 把 0~300mm 游标卡尺；5 只 L=500mm 水平尺；6 只 H-D510 测量仪；10 把 5m 钢卷尺。

2. 管道安装技术

(1) 内外热浸镀锌无缝钢管沟槽连接：按照沟槽口清洁、涂润滑剂、上橡胶圈、拧紧螺母、安装卡箍、管道连接的顺序展开。在施工时注意，保持管端面、管身 90°，检查管身上无毛刺，管端 50mm 区间内光滑整洁；卡箍内缘嵌入管道端部的环形沟槽之中，让被连接的两根管道在卡箍之中固定^[1]。

(2) 内外热浸镀锌无缝钢管螺纹连接：按照如图 1 所示流程，完成施工，在施工时注意：保持外观规整、清洁，缺丝、断丝处少于 10% 螺纹全扣数；在拧紧后，在管螺纹根部布置 2~3 扣得外露螺纹，再清理其他多余麻丝，进行防腐处理。



> 图 1 内外热浸镀锌无缝钢管螺纹连接图

3. 镀锌钢管接口防渗漏技术

(1) 螺纹接口施工技术：整体施工过程中保证螺纹光滑、端正，不出现断丝、毛刺、乱扣等问题。管径 15—32mm 管套二次，40—50mm 套三次，70mm 以上套 3—4 次，完成螺纹加工后，再拧入 3 扣，最后螺纹留出距连接件处 1 ~ 2 扣。安装管螺纹时，选择适宜管钳子，若用大规格管钳上小口径管件，可能造成管件损坏，反之可能造成管件上不紧，此外还需考虑管件方向、位置等，彻底拧紧再检查。

(2) 法兰接口技术：法兰安装时保持螺栓孔平行，要求水平

管道最上方的 2 个眼呈水平状；安装在垂直管道上靠近墙的两个眼的连线与墙平行；法兰对平、找正，维持两片法兰对接面平行，各个孔眼对正。完成以上操作后，用法兰尺再次检查，操控法兰尺两端分别紧靠管皮、紧贴法兰面，分三点焊住。操控塞尺从两个 90° 方向测出法兰端面间隙，控制垂直偏差 ≤ ± 1mm。完成找平找正工作后再焊接，两面焊接法兰盘^[2]。

(3) 机械沟槽连接：在安装时按照先装大口径、总管、立管、后装小口径、分管的流程展开，严禁分段装、跳装，否则难以保证安装质量，且可能影响管路正常使用^[3]。

4. 支吊架施工技术

(1) 支架选型：支吊架管道包括单管支架、双管支架、三管支架、四管支架，不同支架的结构、管径、单管重等参数有着根本性不同，因此需结合消防工程实际设置相关参数指标，提升施工质量。以单管支架为例，其相关参数如表 1 所示：

表 1 单管支架参数表

公称管径 /mm	单管重	锚栓		支架角钢	型钢	圆钢管卡	钢板厚度
	保温 / 不保温	数量	规格	规格	规格	规格	规格
40	30	M8	4	L40*4	L40*4	8	8
	25	M8	4	L40*4	L40*4	8	8
50	40	M8	4	L40*4	L40*4	8	8
	30	M8	4	L40*4	L40*4	8	8
65	60	M8	4	L40*4	L40*4	10	8
	50	M8	4	L40*4	L40*4	10	8
80	70	M8	4	L40*4	L40*4	10	8
	60	M8	4	L40*4	L40*4	10	8
100	100	M8	4	L50*5	L50*5	10	8
	90	M8	4	L50*5	L50*5	10	8
125	140	M10	4	L50*5	L50*5	12	10
	120	M10	4	L50*5	L50*5	12	10
150	180	M10	8	L50*5	L50*5	12	10
	160	M10	8	L50*5	L50*5	12	10
200	310	M10	8	L63*6	L63*6	16	10
	290	M10	8	L63*6	L63*6	16	10

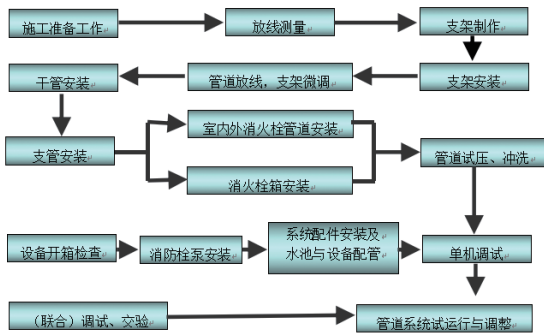
(2) 管道支吊架间距设置：结合表 1 数据，设置管道支吊架间距，如表 2 所示，以此来保证管道支吊架合理性，提升施工安全，保障工程质量。

公称直径 /mm	保温层最大间距 /mm	不保温层最大间距 /mm
40	3	4.5
50	3	5
65	4	6
80	4	6
100	4.5	6.5
125	6	7
150	7	8
200	7	9.5

(3) 确定安装要点: 空心楼板不适宜增加载荷, 可选择柱上或者梁上搭建支吊架; 若必须布置在空心楼板上时, 复核楼板载荷是否达到施工标准, 若未达到, 严禁施工: 为保障安全, 在复核楼板载荷时, 选择大一号钢板, 四角在空心板接缝处打穿孔穿上螺栓固定, 支架焊在钢板上; 垂直主梁方向设置副梁, 在副梁上生根作业^[4]。

5. 消火栓系统施工技术

(1) 确定施工流程: 结合工程特征与要求, 确定施工流程, 如图2所示, 要求施工团队严格按照流程开展作业, 提升施工效果。



> 图2 消火栓系统施工流程图

(2) 控制施工要点: ①安装室内消火栓时, 结合建筑整体框

架、结构等确定布置位置, 严禁擅自改动。②保持室内消火栓的栓口朝外, 能正常打开, 阀门中心与地面间距不小于1.1m, 距离箱后内表面100mm。③连接消火栓水龙头、快速接头, 再配置专门夹头, 结合箱内构造在箱内挂钩上布置水龙头。④保持消火栓密封、严实, 不会泄漏; 在消防栓柜内壁布置防火层, 提供完整的消防栓使用手册^[5]。⑤消防栓柜的门通过内置蝶形铰链连接箱体部分, 标注英文、日文、中文, 提升适用性; 结合墙体构造, 按照暗装、半明装或者明装形式布置室内消火栓箱箱体, 避免影响到建筑相关结构的灵活使用, 并能恰如其分地发挥消防设施作用。

三、结语

综上, 文章就消防工程主要施工技术实践展开了探讨, 以上提出的各类施工技术具备较大的可行性, 一定程度上解决了消防工程施工不规范、不严谨等问题, 为消防工程树立了典范, 其中的一些理论成果能直接用于相关工程施工参考。但文章也有一些不足之处, 如提出的技术条例多是围绕中国核建上海科创园建设项目-E(19-05)、F(21-05)地块消防工程展开的, 对于是否适用于其他消防工程, 还需在实践中予以验证, 确保施工技术的应用能发挥积极的作用。

参考文献

[1] 陈明锋. 建筑消防工程施工的重要性及管理措施研究 [J]. 消防界 (电子版), 2024(4):121-123.
[2] 蔡金铿. 浅谈建筑电气消防工程施工管理 [J]. 居业, 2024(7):184-186.
[3] 史永君. 消防电气安装工程施工控制技术探究 [J]. 河南建材, 2024(5):86-87.
[4] 卢锋泉. 消防工程中的新技术与应用 [J]. 新潮电子, 2024(6):172-174.
[5] 蒋紫怡, 王朔, 刘照博, 等. 高层民用建筑消防工程改造设计与施工常见问题解决措施 [J]. 消防界 (电子版), 2024(5):78-80.

顶驱扭摆系统研发与应用

肖伟鸿, 刘伟刚, 丁锐, 张海洋, 杨凯

中石化江汉石油工程有限公司工程技术服务中心顶驱技术服务中心, 湖北 潜江 433121

摘 要 : 本文介绍了顶驱扭摆系统在钻柱减摩阻方面的原理及其研发应用, 并通过具体案例说明了其在定向井施工中的高效性和稳定性。顶驱扭摆系统通过旋转钻柱实现减摩阻, 降低钻柱轴向送进方向的阻力, 从而减少摩擦力。研发方案包括集成多种扭摆系统经验, 优化编程, 确保系统具有控制顶驱旋转和调整参数等功能。焦页 33-Z4HF 井应用表明, 扭摆系统能有效防止滑动钻井托压, 并可根据井深和钻具组合调整扭摆参数。

关 键 词 : 扭摆系统; 顶驱; 降摩阻

Research and Application Of Top Drive Torsion Pendulum System

Xiao Weihong, Liu Weigang, Ding Rui, Zhang Haiyang, Yang Kai

Sinopec Jiangnan Petroleum Engineering Co., Ltd. Engineering Technology Service Center Top Drive Technology Service Center, Qianjiang, Hubei 433121

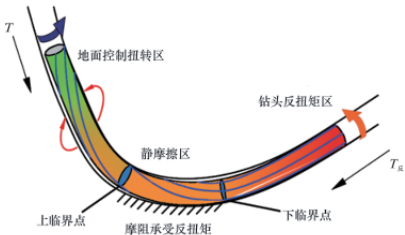
Abstract : This article introduces the principle and research and development application of the top drive torsion pendulum system in reducing friction in drill string, and illustrates its efficiency and stability in directional well construction through specific cases. The top drive torsion pendulum system reduces friction by rotating the drill string, lowering the resistance in the axial feed direction of the drill string and thus reducing friction. The research and development plan includes integrating multiple torsion pendulum systems, optimizing programming, and ensuring that the system has functions such as controlling top drive rotation and adjusting parameters. The application of Jiaoye 33-Z4HF well shows that the torsion pendulum system can effectively prevent sliding drilling pressure and adjust the torsion pendulum parameters according to the well depth and drilling tool combination.

Keywords : torsion pendulum system; top drive; friction reduction

一、顶驱扭摆钻柱减摩阻的原理

扭摆钻柱减摩阻技术一开始是由美国 Noble 公司的 Eric Maidla 和 March Haci 提出的。Maidla 等人指出, 该技术减摩阻依据的是摩擦力的分解原理^[1]。摩擦力始终与物体的运动方向或者运动趋势方向相反, 当钻柱被扭转起来时, 钻柱存在两个方向的运动: 一个是周向的旋转运动, 另一个是轴向的送进运动。显然, 前者的速度要远远高于后者, 所以摩擦力更多地以摩扭矩的形式体现, 轴向送进方向的阻力自然就变小了。当然, 除了摩擦力按速度方向分解之外, 钻柱转动起来后, 还存在从静摩擦到动摩擦的转变, 并且钻柱通过转动甩离井壁, 这也会降低摩擦系数^[2]。研究认为, 一般静摩擦系数比动摩擦系数大约打百分之 25。

当前, 涪陵页岩气在水平井段及曲线井段, 由于钻具刚度、井眼轨迹摩阻大等要素的影响, 滑动托压现象频发, 这直接导致了定向钻井速度的提升受到制约。



二、顶驱扭摆系统研发方案

1. 国内外顶驱扭摆技术发展

斯伦贝谢公司的 Slider 系统是国际上具有代表性的顶驱扭摆系统之一。该系统自 2004 年实现商业化以来, 在中东地区及美国页岩气领域累计已应用超过 800 口水平井, 并取得了良好的应用成效。

国内代表是由胜利石油工程公司研发的滑动钻进钻柱双向扭转自动控制技术有效改善了滑动钻进过程中的托压难题, 实现了降阻提速的效果, 该技术已在中国石油渤海钻探和海洋工程公司安装配套 12 部钻机, 应用效果得到甲方认可, 显示了其广泛的应用前景和实际效益^[3]。

该技术具有可靠性高、可重复使用、维护成本低等特点, 为破解滑动钻进托压难题提供了一种优选解决方案。目前, 钻井轨迹控制领域主要采用旋转导向和滑动导向两种技术。旋转导向以其卓越的性能著称, 能够实现较高的钻速和更为精准的导向, 但其高昂的价格和对井下温度、地层条件等工况的高度依赖, 使得其综合性价比在某些情况下不尽如人意。与传统的旋转导向系统和井下降阻提速工具相比, 顶驱扭摆技术进行降阻更具有性价比。

2. 设计思路

为应对滑动钻井中的挑战, 准备研发一套扭摆控制系统。该

作者简介: 肖伟鸿 (2000.06-), 男, 汉族, 江西新余人, 大专学历, 研究方向: 防止钻井定向拖压相关专业领域。

系统依托顶驱装置，在确保安全扭矩的前提下，实现钻柱的自由往复摆动，将上部钻柱的滑动状态转换为往复的周向运动^[4]。这一突破性技术有效降低了钻柱在滑动钻进过程中的轴向摩擦阻力，提升了钻进效率，同时延长了水平井的水平段长度，并减少了钻头脱压的发生频率，实现了高效钻井。

该系统主要应用于定向钻井，通过正反向往复转动钻柱，减少钻柱与井壁的摩擦，确保钻头对底层的钻压更加稳定。系统配备人机交互界面，即触摸屏，操作人员可通过输入所需参数，轻松完成顶驱的正反向往复转动操作。

系统的核心在于通过编码器精确定位钻柱的转动角度。在主电机上安装编码器，并采用皮带式传动系统，以延长编码器的使用寿命。外挂式集成的扭摆系统，其控制箱上设有触摸屏，用于数据输入和反馈，同时增加了 PLC 输入模块，用以接收高精度绝对值编码器信号，提升定位精度。通过汇总市场上各家扭摆系统的应用经验，重新规划编程思路，并由顶驱中心人员进行程序验证、优化和参数标定^[5]。

系统采用独立控制箱设计，对顶驱的部分功能进行控制。扭摆系统具备必要的软硬件接口，可以通过旋钮释放或接管对顶驱的控制。硬件部分将人机交互界面与地面控制箱集成在一起，仅需通过电缆与顶驱控制箱连接，并将编码器信号通过电缆连接至扭摆控制箱，便可以通过人机界面进行参数设定，校准转速、扭矩及编码器精度，并通过角度扭摆界面进行调试。硬件接口采用总线通讯、数字信号、模拟信号等形式，包括转速手轮、钻井扭矩手轮、正转、反转旋钮、编码器信号等。软件部分通过触摸屏进行人机交互，输入顶驱转速、扭摆扭矩、正转反转角度、角度偏移等参数，并反馈当前角度、实际顶驱转速、实际钻井扭矩等信息。

该扭摆系统能够控制顶驱正向及反向旋转，并连续完成正反向旋转循环。在顶驱正反向旋转循环扭摆过程中，可以实时调整相对零点，有效调整工具面。系统运行时，能够实时调整旋转角度，正反向旋转角度可以分别设置，包括转速设定值、角度设定值、扭矩设定值、相对零点、保持时间等参数^[6]。

系统具备紧急停止功能，可在任意状态下通过关闭扭摆系统电源紧急停止顶驱并释放对顶驱的控制权。系统运行时，不会使工具面发生非预期的改变，通过编码器能够精准找到相对零点，避免了因长时间扭摆导致的角度偏移情况。

3. 使用前准备

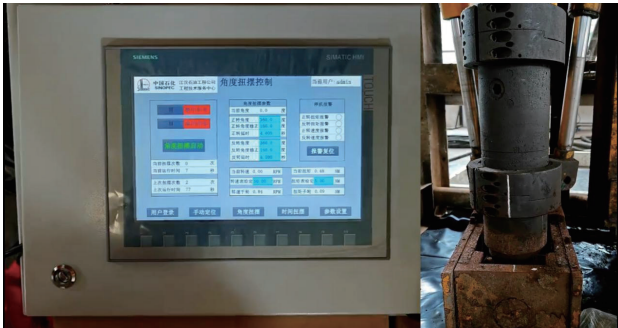
顶驱液压泵保持运行状态，保证制动器在扭摆过程中正常运行，避免出现制动失效，顶驱模式选择处于“钻井”位置，顶驱方向选择处于“停止”位置，顶驱刹车旋钮处于“自动”位置；顶驱钻井扭矩给定手轮处于零位；顶驱钻井速度给定手轮处于零位。

4. 操作使用

井队通过设定正反转角度、转速、扭矩，直接控制地面钻柱在给定的扭矩范围内按设计好的速度和模式顺时针、逆时针往复旋转钻柱，井队司钻通过软件调整地面钻柱旋转扭矩范围，使得在钻柱所受的摩擦阻力减小的同时确保井下动力钻具工具面稳

定。在摇摆过程中为修正工具面的角度，司钻可以通过角度偏移的功能对工具面进行修正。

5. 厂内调试



在厂内进行天意及景宏 DQ50 III -A、DQ50BS-JH 两种型号的顶驱进行调试，在未接钻具的情况下，顶驱运行平稳，在运行过程中未出现异常响动及震动，实际的转速、扭矩与触摸屏上设定值一致，实际扭摆角度与触摸屏上显示的当前角度一至，且经过 60 多次扭摆后零点未出现误差的情况，扭摆系统停止、运行时，顶驱保护机制不受影响如变频器急停、刹车制动等功能^[7]。

三、扭摆系统现场应用

1. 应用井情况

涪陵页岩气田焦石坝区块，三开时长水平段井普遍存在滑动钻井托压情况，这次选用焦页 xx-xxHF 井进行扭摆系统试验应用，井深 5080m，水平段长 2396m（2694m-5090m）。

表 1 焦页 xx-xxHF 井井深结构设计数据

开次	钻头尺寸 (mm)	井段 (m)	套管外径 (mm)	套管下深 (m)
导管	609.6	30	406.4	30
一开	346.1	352	273.1	350
二开	250.8	2332	193.7	2330
三开	171.5	5090	114.3	5080

2. 应用情况

应用井段：3889-4863.4m。共使用扭摆系统进行 21 次定向，完成 147.7m 滑动钻进。

钻具组合：Φ171.5mmPDC 钻头 + φ135mm×1.5° 螺杆 + φ164mm 扶正器 + 浮阀 + φ101.6mm 无磁承压钻杆 ×1 根 + 定向悬挂 + 101.6mm 无磁承压钻杆 ×1 根 + 101.6mm 加重钻杆 ×8 根 + 171mm 微扩孔器 + φ101.6mm 加重钻杆 ×4 根 + 小 101.6mm 钻杆 ×258 根 + 101.6mm 加重钻杆 ×15 根 + WMT40×ST39 + 114.3mm 钻杆 + 顶驱。

进行定向时前期干拉过程中就将扭摆系统打开，下压通过“角度偏移”功能来修正工具面，该功能在扭摆过程中效果显示慢，需要一定时间等待，定向前两米需要低钻压钻进 4-6T，后期等泵压压差稳定后再加压至 8-12T，定向过程中全程使用扭摆系统效果最好。定向过程中随时根据工具面摆动情况调整工具面，随着井深的增加，调整增加正反转角度，达到最佳摆动降低摩擦阻的效果^[8]。

3. 应用效果分析

在使用扭摆系统作业期间，定向效果显著，工具面维持了良好的稳定性。在一次扭摆过程中遇到了托压现象，但通过对参数的精细调整，该问题被迅速解决，且在后续操作中未再发生。随着井深的增加，为了提升钻井效率，我们适当提高了顶驱转速，从10转每分钟 (r/min) 增至25转每分钟，并且将正反转扭摆角度从500度扩展至900度。

随着扭摆速度的提升，我们发现最大扭摆深度有所增加，这有助于改善载荷的传递效果。然而，为确保安全，我们需要注意避免扭摆深度过大，以免静摩擦区减小，从而干扰工具面^[9-10]。实践证明，过小的扭摆角度会导致钻压不稳定，不利于钻进作业；而适度增大扭摆角度不仅能使钻压更趋稳定，还能有效降低摩擦阻，对提高钻进效率极为有利。

四、结论

在该井进入水平段施工阶段后，由于井下地质条件复杂，轨迹调整变得频繁，导致定向施工过程中容易出现拖压现象，这对钻井进度和安全性构成了挑战。然而，随着扭摆系统的投入应用，这些问题得到了有效解决，确保了水平段定向施工的顺利进行。

扭摆系统的应用带来了一系列积极的变化。通过持续的正反转旋转钻柱，该系统能够有效减轻由于钻柱静止不动而导致的滑动钻井“托压”现象。这种创新方法不仅提高了钻井速度，还显著提升了滑动钻井的效率，特别是在长水平段水平井或大位移井的施工中，这一优势尤为明显。

在滑动钻进过程中，扭摆系统利用顶驱装置控制上部钻柱进行精确的往复扭摆，巧妙地将静摩擦转变为动摩擦。这一转变不仅降低了滑动钻进中钻柱的轴向摩擦阻力，还成功消除了滑动钻进过程中的托压现象，从而提高了钻井效率。此外，这种扭摆动作有助于维持钻压的稳定性，减少了因摩擦引起的钻压波动，为钻井过程的平稳进行提供了有力保障。

扭摆系统的设计考虑了现场操作的便捷性，通过人机交互界面，操作人员可以轻松输入所需参数，实现对顶驱正反向往复转动的精确控制。这种智能化的操作方式，不仅提高了作业效率，还降低了操作难度，使得井队能够更加专注于钻井过程的其他关键环节。

综上所述，扭摆系统的引入不仅优化了定向钻井的施工效果，还提升了钻井作业的整体性能，特别是在处理复杂井段时，展现了其独特的技术优势，为石油工程的高效、安全施工提供了强有力的技术支持。

参考文献

[1] 丁恒, 易先中, 周元华, 等. 地面钻柱扭摆导向钻井的理论建模及应用研究 [J]. 石油机械, 2024, 52 (10):37-46.

[2] 刘伟, 杨晓峰, 张华. 钻柱扭摆滑动钻井技术在四川油气田的应用 [J]. 钻采工艺, 2018, 41(01):10-12+1.

[3] 袁鑫伟. 顶驱扭摆钻柱减摩阻技术研究 [J/OL]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2018(12)[2018-01-01].<https://www.cqvip.com/doc/journal/2435720866>.

[4] 李乾. 滑动钻进中顶驱扭摆减阻控制技术 [D]. 中国石油大学 (北京), 2016.

[5] 袁鑫伟. 顶驱扭摆钻柱减摩阻技术研究 [J/OL]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2018(12)[2018-01-01].

[6] 丁文军, 王全勇, 肖仰德, 等. 高31-平10井优快钻井技术 [J]. 石油石化物资采购, 2023, (03):97-99.

[7] 卢建, 李庆永, 王建民. 扭摆技术在渤海湾定向施工提速应用可行性分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(06):154-156.

[8] 周余, 石庆丽, 金梦, 等. 浅谈钻机顶部驱动技术发展趋势 [J/OL]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2022(07)[2022-01-01].

[9] 韩烈祥. 基于静摩擦扭矩释放的快速滑动定向钻井技术 [J]. 天然气工业, 2015, 35(11):60-65.

[10] 易先中, 吉源强, 盛拥军, 等. 自动滑动钻井控制系统研究进展 [J]. 石油机械, 2013, 41(9):12-15.

原位聚合改性 EPDMNR 并用胶的性能探讨

王月红¹, 刘恒发¹, 陈丙瑞², 王硕³, 啜东琦¹

1. 衡水市综合检验检测中心, 河北 衡水 053000

2. 衡水市质量和标准化研究院, 河北 衡水 053000

3. 恒为检验检测认证(河北)集团有限公司, 河北 衡水 053000

摘 要： 本研究对三种乙丙橡胶(6537、5890、K980)及天然橡胶(NR)进行了FTIR谱图与热重分析。FTIR谱图显示,乙丙橡胶样品结构相似,均含有甲基侧基特征吸收峰;而天然橡胶则因主链双键上的烯氢基团展现出独特吸收峰。热重分析揭示,天然橡胶热降解温度区间为353.23℃-421.82℃,热失重率97.26%;乙丙橡胶热降解温度较高,为457.14℃-500.89℃,热失重率99.67%。分析表明,天然橡胶因主链柔性及低分子量杂质含量,热稳定性较低;而乙丙橡胶作为高纯度合成橡胶,主链饱和,热稳定性显著优越,本研究为橡胶材料的性能评估与应用提供参考。

关 键 词： 原位聚合; EPDM; NR; 并用胶

Discussion on the Performance of In-situ Polymerization Modified EPDMNR Combined with Adhesives

Wang Yuehong¹, Liu Hengfa¹, Chen Bingrui², Wang Shuo³, Chuai Dongqi¹

1. Hengshui Comprehensive Inspection and Testing Center, Hengshui, Hebei 053000

2. Hengshui Institute of Quality and Standardization, Hengshui, Hebei 053000

3. Hengwei Inspection Testing and Certification (Hebei) Group Co., Ltd. Hengshui, Hebei 053000

Abstract： In this study, FTIR spectra and thermogravimetric analysis were performed on three types of ethylene propylene diene rubber (6537, 5890, K980) and natural rubber (NR). FTIR spectra showed that the EPDM samples were similar in structure and contained characteristic absorption peaks of methyl side groups. Natural rubber, on the other hand, exhibits a unique absorption peak due to the olefinic group on the double bond of the backbone. The thermogravimetric analysis revealed that the thermal degradation temperature range of natural rubber was 353.23℃-421.82℃, and the thermogravimetric rate was 97.26%. The thermal degradation temperature of ethylene propylene rubber is relatively high, which is 457.14℃-500.89℃, and the thermal weight loss rate is 99.67%. The analysis shows that natural rubber has low thermal stability due to the flexibility of the backbone and the content of low molecular weight impurities. As a high-purity synthetic rubber, ethylene propylene rubber has a saturated backbone and significantly superior thermal stability, which provides a reference for the performance evaluation and application of rubber materials.

Keywords： in-situ polymerization; EPDM; NR; and with glue

EPDM 因其出色的物理性质,特别是在耐低温、耐腐蚀、耐氧化及硫化能力上的卓越表现,成为增强树脂韧性与耐低温特性的重要研究对象^[1]。当前,对 EPDM 的改性探索主要集中在其与树脂的复合以强化树脂韧性,而针对其补强橡胶的研究相对较少^[2]。在 EPDM 的改性探索中,两大趋势尤为明显:一是 EPDM 与其他橡胶的并用,二是通过与树脂混合来提升整体性能。尽管混合策略能一定程度上改善某些性能,但 EPDM 与其他聚合物的相容性问题常导致共混材料的物理性能不尽人意^[3]。为解决此难题,越来越多的研究尝试接枝改性以提升相容性,但方法可控性较差,难以实现大规模应用,且可能腐蚀生产设备。因此,一种新颖的原位聚合策略被采用,利用树脂的独特特性来强化 EPDM,旨在提高 EPDM 与天然橡胶(NR)并用胶的综合性能,以此来规避传统方法局限,为 EPDM 的改性开辟新思路和新方法,为相关领域研究提供参考和启示。

作者简介:

王月红(1984.04-),女,汉族,衡水市景县人,硕士研究生,高级工程师,质量工程技术,衡水市综合检验检测中心;

刘恒发(1983.07-),男,汉族,本科,中级工程师,现就职单位:衡水市综合检验检测中心,研究方向:标准化;

陈丙瑞(1982-),男,汉族,硕士研究生,正高级工程师,衡水市质量和标准化研究院,工程橡胶产品检测,实验室管理,标准化研究;

王硕(1990.06-),女,汉族,硕士研究生,恒为检验检测认证(河北)集团有限公司,研究方向:质量标准化;

啜东琦(1988.08-),男,汉族,本科,电气工程标准化、计助理工,衡水市综合检验检测中心。

一、理论基础

（一）原位聚合法原理及特点

乙烯-丙烯-二烯共聚物（EPDM）因其优异的耐低温、耐腐蚀、耐氧化和硫化性能，在橡胶工业中得到了广泛应用。为进一步提升 EPDM 的性能，需对其进行改性，天然橡胶（NR）具有良好的物理机械性能和加工性能，将 EPDM 与 NR 并用，可以综合两者的优点，得到性能更为优异的并用胶。原位聚合法作为一种有效的改性手段，在 EPDM/NR 并用胶的制备中显示出独特的优势。

原位聚合法是一种在橡胶基体中直接进行单体聚合的方法，通过将单体（如甲基丙烯酸甲酯 MMA、苯乙烯 St 等）与橡胶共混，并在引发剂的作用下，使单体在橡胶基体中发生聚合反应，生成聚合物及交联网状结构。原位聚合法不仅能提高橡胶的交联密度，还能改善橡胶与其他材料的相容性。该方法的特点为橡胶基体中形成均匀的聚合物网络，避免传统共混方法可能出现的相分离问题。此外，原位聚合反应通常较为温和，易于控制，且能在不破坏橡胶基体原有结构的前提下，实现对其性能的改性^[4]。

（二）单体种类与用量对 EPDM/NR 并用胶性能影响

单体种类和用量对原位聚合改性 EPDM/NR 并用胶的性能具有重要影响，当甲基丙烯酸甲酯（MMA）单体用量适中时，能够显著提高并用胶的撕裂强度和拉伸伸长率。当 MMA 用量（以 EPDM 质量为 5g 计）为 10mL 时，并用胶的撕裂强度和拉伸伸长率达到最大值。因 MMA 自由基与 EPDM 侧链中的双键反应，形成以 MMA 为交联点的网状结构，起到交联剂的作用，从而增强胶料的合理性能。当 MMA 用量过大时，虽然并用胶的拉伸强度和硬度继续增加，但拉伸伸长率和撕裂强度却明显下降。随着 MMA 用量增加，单体间的直接接触几率增大，所形成的聚合物结构在较大应变下较易破坏，导致性能下降。与 MMA 不同，苯乙烯（St）单体对 EPDM/NR 并用胶的性能影响呈现出负面效应。随着 St 用量的增加，并用胶的硬度和强度性能均明显下降，因 St 的聚合反应与 EPDM/NR 基体相容性较差，导致相分离和性能劣化。

原位聚合改性 EPDM/NR 并用胶的结构对其性能具有决定性影响。通过原位聚合法，可在 EPDM/NR 基体中形成均匀的聚合物网络，其能够提高胶料的交联密度，并改善物理机械性能。原位聚合改性后的 EPDM/NR 并用胶具有更高的拉伸强度和撕裂强度与良好的耐低温性能和耐老化性能，在聚合物网络下，增强了胶料内部的相互作用力，使其能够承受更大的外力作用而不易破坏。同时，聚合物网络的均匀分布也提高了胶料的整体性能稳定性。此外，原位聚合改性还能够改善 EPDM/NR 并用胶的加工性能。由于聚合物网络的形成增加了胶料的黏度，使其在加工过程中更易于塑炼和混炼，有助于提高生产效率。同时，聚合物网络的均匀分布也有助于减少加工过程中的能耗和废品率。

（三）原位聚合改性 EPDM/NR 并用胶应用前景

原位聚合改性 EPDM/NR 并用胶因其优异的物理机械性能和加工性能，在橡胶工业中具有广泛的应用前景。例如，在汽车工业中，可以用于制造各种密封件和减震件；在航空航天工业中，可以用于制造高强度、耐高温的橡胶制品；在建筑材料工业中，可用于制造防水

卷材和密封条等。随着人们对环保和可持续发展的日益关注，原位聚合改性 EPDM/NR 并用胶的环保性能也备受瞩目。通过选择合适的单体和引发剂，以及优化聚合反应条件，可以制备出低毒、无害、可回收的环保型橡胶制品，满足人们对绿色、环保产品的需求。

综上所述，原位聚合改性 EPDM/NR 并用胶具有独特的原理和优势，其性能受单体种类和用量的影响显著。通过深入研究其结构与性能关系，可进一步拓展其应用领域，为橡胶工业可持续发展注入新活力。

二、材料与方法

（一）实验原材料

EPDM 材料，具体型号为 6537、5890 和 K980，三种乙丙橡胶为样品，源自美国杜邦公司的生产线；天然橡胶 NR，型号为科塔亚姆 ISNR5，由印度橡胶研究所出品。苯乙烯（简称 St），品质达到分析纯级别，生产商为天津市东丽区的天大化学试剂制造厂。甲基丙烯酸甲酯（MMA），同样以分析纯规格供应，产地为天津市登峰化学试剂制造公司。1,4-二羟基苯（即对苯二酚），分析纯，出自杭州双林化工试剂生产企业。氧化锌及促进剂二硫化二吗啉（DM），化学纯级别，由焦作市的化工三厂提供。硬脂酸，化学纯标准，产自天津市泰兴化学试剂制造厂。防老剂 4010，化学纯，由北京某化工厂生产。硫化促进剂四甲基二硫代秋兰姆（TMTD），化学纯，由上海景惠化工企业供应。炭黑原料，来源于青州博奥炭黑有限责任公司。硫磺，化学纯级别，洛阳市某化学试剂制造厂出品。

（二）基本配方

EPDM 与 NR 的共混比例为 100 份，配以 34 份炭黑作为增强剂，同时加入 3.75 份氧化锌和 1.1 份硬脂酸以改善加工性能。此外，配方中包含了 1.1 份防老剂 4010 以提高耐老化性，1.5 份硫磺作为交联剂，以及 1.1 份促进剂 DM 和 0.52 份促进剂 TMTD 来加速硫化过程。

（三）试样制备

复合材料制备步骤如下：

步骤一：利用减压蒸馏技术对 MMA 和 St 单体进行提纯处理，以确保原料的纯净度。

接着，将 5g 的 EPDM 橡胶切割成细小的颗粒，随后将其沉浸于已经提纯的 MMA 或 St 单体溶液中，密封容器并静置，使 EPDM 颗粒充分吸收并膨胀于单体之中。

然后，在常温条件下，使用开炼机将天然橡胶（NR）与预处理后的 EPDM 按照预定的比例进行塑炼，直至两者混合均匀，形成并用胶。

随后，向塑炼后的并用胶中依次加入溶胀后的 EPDM、引发剂 AIBN（其质量与单体体积的比例为 0.005）、硬脂酸、氧化锌、防老剂 4010、促进剂 DM、促进剂 TMTD 以及炭黑，进行充分的混炼。在混炼的最后阶段，加入硫磺作为交联剂。

最后，将制备好的试样采用模压硫化工艺进行硫化处理，硫化条件设定为 150℃ 下保持 30min。

通过上述步骤，可以制备出性能优异的复合材料。

（四）性能测试

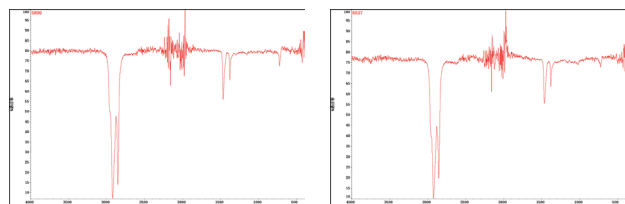
依据 GB/T528-1998 与 GB/T529-1999 标准，橡胶复合材

料的拉伸及撕裂特性在电子拉力测试装置上进行了评估,测试样本的厚度为2mm,横截面宽度设定为4mm,拉伸速度维持在500mm/min。至于邵尔 A 硬度值的测定,则是遵循 GB/T531-1999 标准,借助 XHS 型号邵氏硬度计完成。

三、结果与讨论

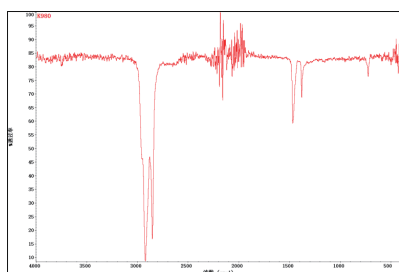
(一) FTIR 图谱分析

从图1、2、3中可知,三种乙丙橡胶6537、5890和K980样品的 FTIR 谱图近乎相同,推测三者结构相似。三种橡胶侧基上都有甲基 $-CH_3$,谱图中均出现了甲基的特征吸收峰。如 $2925cm^{-1}$ 为甲基 $-CH_3$ 的对称伸缩振动峰 $\nu_s(-CH_3)$, $2850cm^{-1}$ 为甲基 $-CH_3$ 的不对称伸缩振动峰 $\nu_{as}(-CH_3)$, $1456cm^{-1}$ 为甲基 $-CH_3$ 的不对称变形振动峰 $\delta_{as}(-CH_3)$, $1375cm^{-1}$ 为甲基 $-CH_3$ 的对称变形振动峰 $\delta_s(-CH_3)$ 。



> 图1 6537样品 FTIR 示意图

> 图2 5890样品 FTIR 示意图

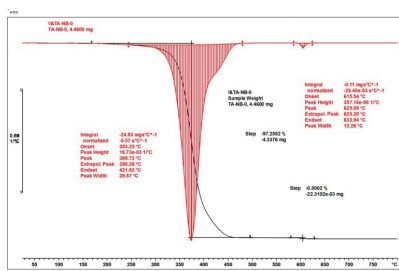


> 图3 K980样品 FTIR 示意图

天然橡胶除了有以上红外吸收峰外,还因为主链上有双键,双键上有一个烯氢 $=C-H$ 基团。因此在 $3076cm^{-1}$ 出现了烯氢的伸缩振动峰 $\nu_{(=C-H)}$, $1646cm^{-1}$ 出现了烯基 $C=C$ 的伸缩振动峰 $\nu_{(C=C)}$ 。NR 在储存过程中容易氧化,烯基 $C=C$,可以氧化成 $C=O$,在 $1715cm^{-1}$ 还出现了含氧基团羰基 $C=O$ 的伸缩振动峰 $\nu_{(C=O)}$ 。因此,从红外光谱图上可以轻易地辨别出天然橡胶和 EPDM 乙丙胶。

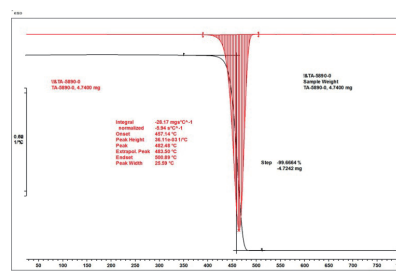
(二) TGA 曲线分析

NR 的起始热降解温度为 $353.23^{\circ}C$,终止热降解温度为 $421.82^{\circ}C$,热失重率为 97.26%。结果如图4所示。



> 图4 NR 的 TGA 曲线图

EPDM 的起始热降解温度为 $457.14^{\circ}C$,终止热降解温度为 $500.89^{\circ}C$,热失重率为 99.67%。结果如图5所示。



> 图5 氮气保护气氛下纯 EPDM (5890) 的 TGA 曲线图

从两图中的曲线可知,NR 和纯 EPDM 的热分解曲线不相同。显而易见,EPDM 的热稳定性要好于 NR。分析其原因,NR 主链重复单元结构的化学式为柔性较好的顺式 1,4- 聚异戊二烯,热稳定性较低,同时 NR 中顺式 1,4- 聚异戊二烯的含量一般在 92~95%,其余为一些低分子量物质如脂肪、蜡类、甾醇和甾醇酯等,也进一步降低了 NR 的热降解温度,因此其热降解温度区间为 $353.23 \sim 421.82^{\circ}C$;而 EPDM 为合成橡胶,纯度很高,主链上为饱和碳键,因此其热降解温度较高,为 $457.14 \sim 500.89^{\circ}C$ 。

四、结论

运用树脂材料通过原位聚合技术对 EPDM 实施增强处理,此工艺具备流程简洁、腐蚀性低及易于规模化生产等优势。对乙丙橡胶6537、5890和K980的红外光谱分析揭示了它们结构的相似性,特别是甲基侧基的存在,通过特征吸收峰的确认,如甲基的对称与不对称伸缩振动峰及变形振动峰,进一步证实了这一点。相比之下,天然橡胶的红外光谱不仅展现了甲基的特征峰,因主链双键的烯氢与烯基 $C=C$ 振动峰而独具特色^[5]。此外,天然橡胶在储存中因氧化产生的羰基 $C=O$ 峰,成为其与乙丙橡胶区分的关键。热重分析则清晰地描绘了天然橡胶与乙丙橡胶在热稳定性上的差异^[6]。天然橡胶因主链结构柔性较高及含有低分子量杂质,热降解温度区间相对较低。而乙丙橡胶作为合成橡胶,纯度高且主链饱和,展现出更高的热降解温度,充分反映了天然橡胶与合成橡胶在物理性质与稳定性上的本质区别^[7]。通过对红外光谱与热重分析的综合研究,不仅深入理解了橡胶材料的化学结构,还准确评估了其热稳定性,为橡胶材料的选择与应用提供了科学依据。

参考文献

- [1] 朱建康,李茂东,王良旺,等. 仿生多巴胺原位聚合改性氟化石墨烯对水性环氧树脂涂层耐腐蚀性能的影响[J/OL]. 表面技术, 1-22[2025-01-05].
- [2] 刘敏琪,柴玉梅,李允峰,等. 原位聚合 AMPs 吸水树脂改性 NHL 对砂岩裂隙灌浆性能的影响[J]. 重庆大学学报, 2024, 47 (10): 172-180.
- [3] 冯冰涛,王晓珂,张萌,等. 原位聚合制备连续玻璃纤维增强尼龙6复合材料的改性和性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2024, 40 (1): 25-33.
- [4] 庄慧超,王海瑞,郎秀瑞,等. 用原位聚合制备改性氧化石墨烯/热塑性聚氨酯弹性体纳米复合材料(英文)[J]. 合成橡胶工业, 2023, 46 (5): 422.
- [5] 孙浩玉,谭雷,马倩,等. 海绵表面原位点击分散聚合改性及其分离油水混合物/乳液研究[J]. 石油化工, 2023, 52 (9): 1220-1227.
- [6] 蒋芳芳,云虹,彭莉,等. 原位聚合聚苯胺改性 NiFe-LDH 复合涂层的防护性能研究[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2023, 43 (2): 312-320.
- [7] 王璇,王明枝,曹金珍. 原位聚合酯化改性欧洲赤松的尺寸稳定性[J]. 北京林业大学学报, 2022, 44 (3): 129-139.

工程造价数字化转型：现状、挑战与发展趋势展望

丁涛

湖北锦记建设咨询有限公司，湖北 武汉 430000

摘要： 本文概述了工程造价数字化转型的现状，包括技术应用、企业转型和数据平台建设，并分析了面临的挑战，如人员适应、数据安全、业务流程、资金投入和系统兼容。同时，展望了工程造价数字化转型的发展趋势，包括技术创新、业务拓展、行业整合和国际化发展。

关键词： 工程造价；数字化转型；BIM 技术；云计算；大数据

Digital Transformation of Engineering Cost: Current Status, Challenges, and Development Trends Outlook

Ding Tao

Hubei Jinji Construction Consulting Co., Ltd. Wuhan, Hubei 430000

Abstract： This article provides an overview of the current status of digital transformation in engineering cost, including technology application, enterprise transformation, and data platform construction. It analyzes the challenges faced, such as personnel adaptation, data security, business processes, capital investment, and system compatibility. Additionally, it explores the development trends of digital transformation in engineering cost, including technological innovation, business expansion, industry integration, and international development.

Keywords： engineering cost; digital transformation; BIM technology; cloud computing; big data

引言

在数字化时代背景下，工程造价的数字化转型已成为必然趋势。数字化转型对于提高行业效率、推动行业发展具有重要意义。一方面，通过数字化技术可以实现工程造价数据的快速处理和精准分析，从而提高造价编制的准确性和效率，减少人工错误和重复劳动，降低成本。另一方面，数字化转型能够促进工程造价各参与方之间的信息共享和协同工作，打破信息孤岛，提高沟通效率和协作能力，进而推动整个建筑行业的良性发展。例如，利用建筑信息模型（BIM）技术，可以实现设计、施工和运维的全生命周期管理，为工程造价的精确计算提供有力支持，同时也方便各参与方在同一平台上进行信息交流和协同工作。

一、工程造价数字化转型的现状

（一）技术应用现状

工程造价数字化转型是坚持市场导向，坚持深化改革与创新发展的重要技术支撑。推进工程造价数据、信息交换等标准制定，加快构建高质量数字化市场监管平台、建设项目监管平台、交易监管平台的集成和一体化应用，破除碎片化发展。开展《工程造价信息发布管理办法》研究与制定，建立多层级的信息发布机制，提高工程造价咨询机构诚信意识，营造诚实守信的市场环境^[1]。

BIM 技术深度融入工程造价领域，基于建筑信息构建数字化转型，涵盖可视化、协调性等多元特性，实现施工全程可视化与造价动态管控。湖北武汉的绿地中心运用了 BIM 技术建造，自设计环节起，助力设计师精准算量、选型，削减设计失误衍生

成本。施工中，BIM 模型赋能进度与质量把控，造价人员依此实时调整造价。运维阶段，其为设施运维给予信息依托，助力降本增效。

与此同时，云计算为工程造价赋予超强算力与存储力，造价人员摆脱本地硬件束缚，随时随地处理海量数据，其弹性扩展特性确保项目高峰时段的高效运算。大数据在工程造价转型中举足轻重，收集、剖析海量造价数据，深挖规律趋势，以历史成本数据建模，为新项目投资估算领航。物联网技术赋予工程造价实时采集数据的能力，施工现场传感器、摄像头等采集环境、设备与人员数据，回传至造价管理系统，让造价管理愈发精细精准。

（二）企业转型现状

武汉作为重要的区域中心城市，建筑行业发展活跃，众多企业在数字化转型方面进行了尝试和实践，一些企业在工程项目中利用 BIM 模型进行工程量计算、设计方案优化以及施工过程中的

造价动态管控。在武汉的大型商业建筑项目中，企业通过 BIM 技术实现了各专业之间的协同设计，提前发现并解决了设计冲突，减少了施工阶段的变更成本，提高了造价管理的准确性。不少企业开始将造价数据存储和计算迁移到云端，提升了数据处理效率和便捷性，使造价人员能够更加灵活地开展工作。一些企业还搭建了工程造价在线协作平台，通过整合各方资源，实现了项目流程的标准化和智能化。

（三）数据平台建设现状

武汉作为华中地区的重要枢纽城市，近年来在数字化建设方面取得了令人瞩目的成就。武汉市着力打造的以国有资金投资工程项目造价数据库为核心的大数据服务平台，已成为推动当地工程造价行业数字化转型的关键力量。在平台搭建体系阶段，严格遵循国家及行业相关标准，高度重视造价数据标准的规范制定，确保数据的准确性和一致性。该平台的数据来源广泛且可靠，兼具真实性与稳定性。借助武汉强大的数字政务协同能力，平台与规划、建设、财政等多部门实现了高效的在线协同对接，能够实时动态收集工程全生命周期的造价数据，包括项目立项、设计、施工、竣工结算等各个阶段的关键信息，形成了一个完整闭环的数据链条，确保数据的实时性和完整性。平台发布的造价指标经过了严格的筛选、智能匹配算法运算以及专家评审把关。

二、工程造价数字化转型面临的挑战

（一）人员层面

工程造价的数字化转型给从业者带来了显著挑战。从工作形式适应层面来看，长期习惯于传统模式的人员，如今不得不直面新技术浪潮。像 BIM、云计算、大数据这类前沿数字化工具，已然成为行业新标配。他们不仅要投入大量精力学习工具操作，更要扭转固有思维，以契合数字化流程，学习成本颇高。例如，过去依靠手工计算工程量，如今需借助 BIM 模型精准提取，思维需从个体计算向协同数据处理转变。从岗位变革冲击方面而言，数字化转型进程中，部分岗位岌岌可危。那些重复性高、计算简单的任务，如基础造价核算，已被智能软件高效完成。相关人员原有工作被取代，若不主动求变，职业发展将陷入困境，只能被迫探寻新方向，如向复合型造价管理人才转型，既懂传统造价精髓，又能熟练驾驭数字化技术，为项目提供深层次的造价决策支持^[3]。

（二）数据安全层面

在工程造价领域大步迈向数字化转型的当下，数据安全已然成为重中之重。随着各类数字化技术深度渗透，海量工程造价数据时刻处于存储、传输与处理的动态流程之中，数据的安全防护及隐私保障迫在眉睫。置身数字化浪潮，工程造价数据时刻遭受着泄露、篡改、滥用等诸多风险的威胁。这些数据涵盖项目预算、成本核算、利润预估等核心敏感信息，仿若企业的“命门”所在。一旦出现安全疏漏，致使数据外流，企业在激烈的市场角逐中必将陷入被动，不仅商业机密不保，更可能直接干扰项目的有序推进，延误工期、增加成本，甚至引发合作信任危机。

（三）业务流程层面

在数字化浪潮汹涌来袭的当下，传统造价模式愈发显得力不从心，其业务流程与方法已滞后于行业发展步伐，亟待重新梳理、优化，以契合数字化转型大势。往昔，传统造价模式下各个环节仿若“孤岛”，彼此相对独立，信息流通梗阻严重。这直接催生了数据反复录入、差错频出、效率低迷等弊病。以项目前期投资估算环节为例，因欠缺精准数据佐力与高效分析利器，估算结果常与实际偏差较大，给项目决策蒙上阴影。施工过程中，人工主导的造价监控方式，难以及时察觉并解决成本超支隐患^[4]。

数字化转型恰为破局关键，其核心在于打破传统流程壁垒，借由搭建统一数字化平台，整合投资估算、设计概算、施工预算、竣工结算等全阶段造价数据，让数据流一脉相承。如此，项目各阶段人员皆可实时抓取精准造价信息，动态、精准管控工程造价。同时，BIM 技术携手造价软件，实现工程量自动计算与造价秒速生成，效率与准度双提升。

（四）资金投入层面

工程造价的数字化转型需要企业在资金投入方面给予大力支持。一方面，系统建设是数字化转型的基础，企业需要投入资金构建诸如建筑信息模型（BIM）系统、云计算平台、大数据分析系统等一系列数字化系统，以满足工程造价数据的处理、存储和分析需求^[5]。这些系统的建设不仅需要购买相关的软件和硬件设备，还需要支付系统开发、测试、维护以及升级等费用。另一方面，设备更新也是不可或缺的一部分，随着数字化技术的快速发展，原有的一些设备可能无法满足新的工作要求，企业需要及时更新计算机、服务器、数据采集设备等硬件设施，以确保数字化系统的稳定运行和高效性能。如此大规模的资金投入，对于企业的资金实力和资源调配能力无疑是一种巨大的考验，只有具备较强资金实力和良好资源调配能力的企业，才能更好地推动工程造价数字化转型的顺利进行。

（五）系统兼容层面

在工程造价数字化转型过程中，不同数字化系统之间存在兼容性和集成性问题。由于各类数字化技术不断涌现且各自发展，如 BIM 系统、云计算平台、大数据分析系统以及物联网应用等，这些系统在数据格式、接口标准、运行环境等方面存在差异，导致它们之间难以直接实现高效的数据流通和协同工作^[6]。例如，一个企业可能同时使用多种造价管理软件和数据采集设备，但这些设备和软件所产生的数据格式不同，无法直接共享和整合，从而影响了数据的利用效率和工作协同性。

三、工程造价数字化转型的发展趋势展望

（一）技术创新趋势

随着科技的不断进步，人工智能、大数据等前沿技术在工程造价数字化转型中的应用将不断深化。通过人工智能的机器学习 and 数据分析能力，能够对海量的工程造价数据进行深度挖掘和学习，从而实现更精准的成本预测和风险评估^[7]。例如，利用人工智能算法对历史项目数据和市场动态数据进行分析，预测未来项目

的成本变化趋势，为项目决策提供科学依据。大数据技术则可以进一步整合和分析多源数据，包括项目的基本信息、施工过程数据、市场价格波动等，为智能决策提供全面的数据支持，帮助工程造价人员做出更准确、更合理的决策，提高项目的经济效益和管理水平。

（二）业务拓展趋势

从项目各参与方角度来看，数字化平台的持续发展将为工程造价业务拓展带来显著变化。一方面，其将进一步推动全业务流程的电子化、数字化进程，使得从项目的投资决策、设计规划、施工建设到运营维护等各个环节，都能在数字化平台上实现高效协同与信息共享。例如，业主方可以通过平台实时监控项目的造价动态，施工方能够及时更新施工进度及成本信息，咨询方则可快速提供专业的造价咨询服务，各方之间的沟通与协作将更加便捷流畅，有效避免信息不对称和重复工作，从而大幅提升项目整体性推进效率^[8]。另一方面，数字化平台还将助力实现造价咨询成果的共享，各参与方所产生的造价数据和成果都能在平台上进行整合与共享，形成一个全面、准确的造价信息数据库。

（三）行业整合趋势

行业管理部门借助数字化手段，能够有效整合各方资源和数据，进而形成统一的行业标准和规范，推动工程造价行业的整合与协同发展。通过搭建网络平台，集成各个业务子系统，可将分散在不同企业、不同项目中的数据汇聚起来，实现数据的集中管理和共享^[9]。例如，建立统一的数据采集加工中心，能够保障数据来源符合市场行情，形成最新、最准确的数据信息，为各方市场主体提供更优质的服务。同时，制定统一的行业标准和规范，有

助于打破企业之间的信息壁垒，促进不同企业之间的业务协同，提高整个行业的工作效率和质量，推动工程造价行业向更加规范化、标准化、智能化的方向发展。

（四）国际化发展趋势

在全球化背景下，中国工程造价咨询企业的国际化发展趋势日益显著。随着“一带一路”倡议的推进以及全球建筑市场的不断融合，中国工程造价咨询企业拥有了更广阔的国际市场空间和发展机遇，促使其加强国际化合作与交流。通过与国际知名企业的合作，能够引进先进的管理经验和技术方法，提升企业的国际化水平和综合竞争力^[10]。同时，积极参与国际项目的招投标和建设，有助于拓展国际市场份额，树立中国工程造价咨询企业的良好品牌形象。例如，在一些海外基础设施建设项目中，中国企业凭借其在工程造价领域的专业优势和数字化技术应用能力，为项目提供了高质量的造价咨询服务，赢得了国际市场的认可。

四、结束语

工程造价数字化转型正迅速发展，以 BIM 技术、云计算、大数据和物联网为核心的技术应用，推动了造价管理的动态化、精细化。同时，多地造价大数据平台建设，促进了数据的高效利用。然而，转型面临人员技能更新、数据安全、业务流程重构、资金投入和系统兼容等挑战。未来，技术创新将深化，业务流程将全面数字化，行业将走向整合，国际化发展将增强。面对机遇与挑战，工程造价行业需积极适应，推动数字化、智能化进程，满足现代建筑行业需求。

参考文献

[1] 吴振全, 于利贤. 工程造价数字化转型供给侧能力建设 [J]. 中国建设信息化, 2023, (02): 36-39.

[2] 董添. 青矩技术董事长陈永宏: 数字化转型推动工程造价咨询业务快速发展 [N]. 中国证券报, 2023-12-05(A07).DOI: 10.28162/n.cnki.nczjb.2023.005929.

[3] 张睿, 祝军超, 张媛, 等. 三维数字化技术赋能工程造价精准管控 [J]. 中国电力企业管理, 2023, (33): 60.

[4] 陈静. 公路工程造价管理数字化转型影响因素及对策研究 [D]. 昆明理工大学, 2023.DOI: 10.27200/d.cnki.gkmlu.2023.002654.

[5] 徐恩利, 汤佩豫, 方欣, 等. 数字化转型背景下工程造价信息数据库的构建研究 [J]. 建设监理, 2023, (07): 46-48+77.DOI: 10.15968/j.cnki.jsjl.2023.07.005.

[6] 李成栋, 杨海欧, 姜辉. 工程建设数字化转型标准体系研究 [J]. 工程造价管理, 2023, (03): 12-20.DOI: 10.19730/j.cnki.1008-2166.2023-03-012.

[7] 蒋卓伟. 数字化转型背景下 Z 企业成本管理优化研究 [D]. 上海财经大学, 2023.DOI: 10.27296/d.cnki.gshcu.2023.002050.

[8] 李奕呈. 工程造价咨询企业数字化转型浅析 [J]. 铁路工程技术与经济, 2022, 37(04): 5-8+40.

[9] 青静娴, 王春. 新时代推进工程咨询行业数字化转型发展策略研究 [J]. 中国战略新兴产业, 2022, (05): 152-154.

[10] 朱学文, 万正东, 黄琰, 等. 电网企业基于数字化转型的精准造价管控模式探讨 [J]. 工程造价管理, 2022, (03): 28-32.DOI: 10.19730/j.cnki.1008-2166.2022-03-028.

输电线路施工中的技术创新与应用

吴炫津

浙江省送变电工程有限公司，浙江 杭州 310000

摘 要： 输电线路作为电力通信的重要组成部分和电力系统的关键设施，其施工技术的创新与应用对于提高通信效能、改善通信质量、保障电力系统的安全稳定运行具有重要意义。近年来，随着科技的不断发展，输电线路施工技术不断创新，包括机械化施工、智能化施工、绿色施工等多个方面。本文重点介绍了输电线路施工中的技术创新与应用，包括采用大型机械设备进行机械化施工，运用现代信息技术实现智能化管理，以及采用新型环保材料和施工工艺减少污染等。这些技术创新不仅提高了施工效率和质量，还降低了人力成本和环境污染，为电力行业的高质量发展提供了有力支撑。

关 键 词： 输电线路；施工技术；机械化；智能化；绿色施工

Innovation and Application of Construction Techniques in Transmission Line Projects

Wu Xuanjin

Zhejiang Province Power Transmission and Transformation Engineering Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang 310000

Abstract： Transmission lines serve as a crucial component of electric power communication and a key facility in the power system. The innovation and application of construction techniques for transmission lines are of great significance in enhancing communication efficiency, improving communication quality, and ensuring the safe and stable operation of the power system. In recent years, with the continuous development of technology, construction techniques for transmission lines have undergone continuous innovation, encompassing mechanized construction, intelligent construction, green construction, and other aspects. This paper focuses on the innovation and application of construction techniques in transmission line projects, including the adoption of large-scale mechanical equipment for mechanized construction, the use of modern information technology to achieve intelligent management, and the employment of new eco-friendly materials and construction processes to reduce pollution. These technological innovations have not only improved construction efficiency and quality but also reduced labor costs and environmental pollution, providing strong support for the high-quality development of the power industry.

Keywords： transmission lines; construction techniques; mechanization; intelligentization; green construction

引言

随着全球能源需求的不断增长和电力行业的快速发展，输电线路作为电力传输的主要通道，其重要性日益凸显。然而，传统的输电线路施工技术已难以满足当前高效、环保、智能的电力建设需求。因此，技术创新与应用在输电线路施工中显得尤为重要。本文将围绕输电线路施工中的技术创新与应用进行深入探讨，旨在为推动电力行业的高质量发展提供理论参考和实践指导。

一、输电线路施工技术的机械化创新

在输电线路施工的广阔领域中，机械化技术的革新与应用无疑为行业的快速发展注入了强大的动力。这一技术的广泛应用不仅显著提升了施工效率，更在保障施工质量和安全方面发挥了无

可替代的作用。以下从机械化技术的具体应用、对施工效率的提升、对施工质量的保障以及对施工安全性的增强四个方面，深入剖析输电线路施工技术的机械化创新。

（一）机械化技术的具体应用

在输电线路施工的各个环节中，机械化技术均展现出了其独

作者简介：吴炫津（1998.08-），汉族，本科，团员，现就职于浙江省送变电工程有限公司，助理工程师，研究方向：输电线路专业，基建施工。

特的优势。在基础施工阶段，挖掘机、装载机等大型设备能够快速完成基坑开挖、土方回填等作业，大大缩短了施工周期。在杆塔组立环节，大型起重机凭借强大的起重能力和精准的操作控制，能够轻松应对各种复杂地形和气候条件下的杆塔安装任务。^[1]而在导线架设过程中，牵引机、张力机等设备的运用，则确保了导线铺设的平整度和紧密度，有效避免了因导线松弛或张力不均导致的安全隐患。此外，在后续的线路维护和检修工作中，机械化技术的应用同样至关重要，它能够帮助施工人员快速定位并修复故障点，确保输电线路的稳定运行。

（二）对施工效率的提升

机械化技术的引入，极大地提升了输电线路施工的效率。传统的人工施工方式不仅耗时费力，而且难以保证施工质量。而机械化施工则能够利用先进的机械设备和高效的施工流程，快速完成各项施工任务。^[2]例如，在杆塔组立过程中，大型起重机的使用可以显著减少人工搬运和组装的时间，从而加快施工进度。同时，机械化施工还能够实现施工过程的连续性和自动化，避免了因人工操作不当而导致的施工延误。这种效率的提升不仅有助于缩短工期，降低施工成本，还能够为电力行业的快速发展提供有力保障。

（三）对施工质量的保障

机械化施工在保障输电线路施工质量方面同样发挥着重要作用。机械化设备通常具备高精度的操作控制系统和完善的施工参数设置，能够确保施工过程中的各项技术指标达到设计要求。例如，在导线架设过程中，张力机能够精确控制导线的张力，确保导线铺设的平整度和紧密度符合规范要求。^[3]同时，机械化施工还能够减少人为因素对施工质量的影响，避免了因操作不当而导致的施工质量问题。这种对施工质量的严格把控，不仅有助于提升输电线路的可靠性和耐久性，还能够为电力行业的安全稳定运行提供有力支撑。

二、输电线路施工技术的智能化创新

在信息技术日新月异的今天，智能化技术正以前所未有的速度渗透到输电线路施工的各个领域，为施工过程的优化、效率的提升以及安全性的增强提供了强有力的支持。以下从智能化技术在施工监测与预警、施工质量控制、施工资源调度以及施工安全管理四个方面的应用，深入探讨输电线路施工技术的智能化创新。

（一）施工监测与预警的智能化

智能化技术在输电线路施工监测与预警方面的应用，实现了对施工过程的实时、精准监控。通过物联网技术，可以将施工现场的各种传感器、摄像头等设备连接起来，形成一个庞大的信息网络，实时采集施工过程中的各种数据。这些数据经过大数据分析和处理，可以及时发现施工过程中的异常情况，如设备故障、材料质量问题等，从而提前发出预警，避免潜在的安全隐患。^[4]例如，利用无人机搭载高清摄像头进行线路巡检，可以实现对施工线路的全面、快速检查，及时发现线路上的缺陷和隐患，为施工

质量的保障提供有力支持。

智能化监测与预警系统还能够根据历史数据和实时数据，对施工过程进行预测和模拟，为施工决策提供更加科学的依据。^[5]通过模拟施工过程，可以预测可能出现的问题和风险，从而提前制定应对措施，确保施工过程的顺利进行。这种智能化的监测与预警机制，不仅提高了施工效率，还大大降低了施工过程中的安全风险。

（二）施工质量控制的智能化

智能化技术在施工质量控制方面的应用，实现了对施工质量的全程跟踪和精准评估。通过智能监控系统，可以实时监测施工过程中的各项质量指标，如混凝土强度、钢筋焊接质量等，确保施工质量符合设计要求。^[6]同时，智能监控系统还可以对施工质量进行数据分析，发现施工过程中的质量问题，并及时反馈给施工人员，以便他们及时采取措施进行整改。

智能化技术还可以实现对施工质量的远程监控和评估。通过远程监控系统，可以实时查看施工现场的情况，对施工过程进行远程指导和监督。这种远程监控和评估的方式，不仅提高了施工质量的可控性，还降低了施工过程中的质量风险。

（三）施工资源调度的智能化

智能化技术在施工资源调度方面的应用，实现了对施工资源的精准配置和高效利用。通过大数据分析和人工智能技术，可以对施工过程中的各种资源需求进行预测和规划，确保施工资源的充足供应和合理利用。^[7]同时，智能化技术还可以实现对施工资源的实时监控和调度，根据施工进度变化及时调整资源配置，避免资源的浪费和短缺。

智能化资源调度系统还可以根据施工过程中的实际情况，对施工计划进行动态调整和优化。通过实时监测施工进度和资源消耗情况，可以及时发现施工计划中的问题和不足，从而及时调整施工计划，确保施工过程的顺利进行。这种智能化的资源调度方式，不仅提高了施工效率，还降低了施工成本。

（四）施工安全管理的智能化

智能化技术在施工安全管理方面的应用，实现了对施工安全风险的精准识别和有效防控。通过智能监控系统，可以实时监测施工现场的安全状况，发现潜在的安全隐患和违规行为，并及时发出预警和提醒。同时，智能化技术还可以对施工过程中的安全风险进行数据分析，发现安全风险的变化趋势和规律，为施工安全风险的防控提供更加科学的依据。

智能化技术还可以实现对施工人员的安全培训和教育。通过虚拟现实、增强现实等技术手段，可以模拟施工过程中的各种安全风险场景，让施工人员身临其境地感受安全风险带来的危害和后果，从而提高他们的安全意识和防范能力。^[8]这种智能化的安全培训和教育方式，不仅提高了施工人员的安全素质，还降低了施工过程中的安全风险。

三、输电线路施工技术的绿色创新

在环保理念逐渐成为全球共识的今天，输电线路施工技术的

绿色创新显得尤为重要。绿色施工不仅关乎环境保护，更是电力行业可持续发展的重要一环。通过采用新型环保材料和施工工艺，可以有效降低施工过程中的能源消耗和环境污染，提升输电线路施工的可持续性。以下从绿色材料的应用、施工工艺的优化、环保管理体系的建立以及绿色施工技术的推广四个方面，深入探讨输电线路施工技术的绿色创新。

（一）绿色材料的应用

绿色材料是输电线路施工绿色创新的基础。传统施工材料往往在生产、使用和废弃过程中对环境造成较大影响。而绿色材料则以其低污染、可降解、资源节约等特点，成为输电线路施工中的优选。例如，使用生物基或可降解材料替代传统塑料、橡胶等材料，可以显著降低施工废弃物对环境的污染。同时，绿色材料往往具有更好的环境适应性，能够在恶劣环境下保持稳定的性能，减少因材料老化、腐蚀等原因导致的环境污染。

在绿色材料的选择上，应注重材料的环保性能和经济效益的平衡。通过深入研究材料的生命周期评价，了解材料在生产、使用、废弃等各个环节对环境的影响，选择环保性能优异且经济可行的材料。^[9]此外，还应积极推动绿色材料的研发和应用，鼓励企业加大绿色材料研发投入，提升绿色材料的性能和产量，满足输电线路施工对绿色材料的需求。

（二）施工工艺的优化

施工工艺的优化是输电线路施工绿色创新的关键。通过改进施工工艺，可以减少施工过程中的能源消耗和污染物排放。例如，采用机械化施工替代人工施工，可以显著降低施工过程中的能耗和噪音污染。同时，通过优化施工流程，可以减少施工过程中的材料浪费和废弃物产生。

在施工工艺的优化过程中，应注重技术创新和精细化管理。通过引入先进的施工技术和设备，提高施工效率和精度，降低施工过程中的能耗和污染。同时，加强施工过程的精细化管理，确保施工过程中的每一个环节都符合环保要求。此外，还应积极推动施工工艺的标准化和规范化，提高施工工艺的通用性和可复制性，便于绿色施工技术的推广和应用。

（三）环保管理体系的建立

环保管理体系是输电线路施工绿色创新的保障。通过建立完善的环保管理体系，可以确保施工过程中的环保措施得到有效执行。环保管理体系应包括环保目标的设定、环保措施的制定、环保责任的落实以及环保效果的评估等环节。

在环保管理体系的建立过程中，应注重制度的完善和执行的力度。通过制定严格的环保规章制度，明确施工过程中的环保要求 and 责任分工。同时，加强环保监管和执法力度，确保施工过程中的环保措施得到有效执行。此外，还应积极推动环保管理体系的认证和评估工作，提高环保管理体系的权威性和有效性。^[10]

（四）绿色施工技术的推广

绿色施工技术的推广是输电线路施工绿色创新的重要一环。通过加强绿色施工技术的宣传和推广，可以提高施工企业和施工人员的环保意识，推动绿色施工技术在输电线路施工中的广泛应用。

在绿色施工技术的推广过程中，应注重宣传教育的力度和形式的创新。通过举办培训班、研讨会等活动，提高施工企业和施工人员的环保知识和技能水平。同时，利用媒体、网络等渠道，广泛宣传绿色施工技术的重要性和应用效果，提高公众对绿色施工技术的认知和接受度。此外，还应积极推动绿色施工技术的示范项目和应用案例的建设和推广，为绿色施工技术的广泛应用提供有力支撑。

四、结论

综上所述，输电线路施工中的技术创新与应用是推动电力行业高质量发展的关键所在。通过机械化、智能化、绿色化等技术的不断创新与应用，可以显著提高输电线路施工的效率和质量，降低人力成本和环境污染，为电力行业的可持续发展注入新的活力。未来，随着科技的不断进步和电力行业的持续发展，输电线路施工技术的创新与应用将呈现出更加广阔的前景和更加丰富的内涵。

参考文献

[1] 汪以文, 杨少春, 单长孝, 张志争, 张文涛. 架空输电线路张力架线施工技术应用研究 [J]. 科技创新导报, 2021(28): 38-40.
[2] 商志伟, 叶丽莎. 三维设计技术在输电线路设计中的应用研究 [J]. 低碳世界, 2023(11): 70-72.
[3] 丁旭. 电力工程中输电线路施工技术及管理概述 [J]. 科学技术创新, 2019(16): 60-61.
[4] 陈彬. 斜线式施工升降机在输电线路大跨越工程施工中的应用 [J]. 电力设备管理, 2022(24): 193-196.
[5] 王永超. 新型输电线路施工技术应用研究 [J]. 电力设备管理, 2024(11): 201-203.
[6] 彭志刚. 电力工程输电线路的施工技术探讨 [J]. 科学与信息化, 2024(8): 70-72.
[7] 陈新昌. 电力工程输电线路施工管理方法及价值 [J]. 科海故事博览, 2024(28): 88-90.
[8] 童有超. 110 kV 电力输电线路施工方法及技术分析 [J]. 科技资讯, 2024(18): 75-77.
[9] 杨少宾, 杨庭栋. 电力工程 110kV 输电线路施工技术要点探析 [J]. 电力设备管理, 2024(14): 214-216.
[10] 赵磊. 电力工程建设中输电线路施工管理的实践 [J]. 大众标准化, 2024(13): 68-70.

变频节能技术在煤矿机电设备中的应用研究

赵晓凡

陕西小保当矿业有限公司 陕西 神木 719300

摘 要： 在当今全球能源形势日益严峻、能源供应愈发紧张的大背景下，节能技术的研发与广泛应用已然成为各个行业高度关注的焦点。煤矿行业作为能源消耗大户，其机电设备数量众多、运行时间长，能耗问题显得尤为突出。传统的煤矿机电设备在运行过程中，常常处于高负荷、高能耗的状态，不仅造成了大量能源的浪费，也增加了煤矿企业的运营成本。而变频节能技术凭借其显著的节能优势，犹如一道曙光，为解决煤矿机电设备的高能耗问题提供了全新的思路和有效的方法。基于此，以下对变频节能技术在煤矿机电设备中的应用进行了探讨，以供参考。

关 键 词： 变频节能技术；煤矿机电设备；应用研究

Research on the Application of Frequency Conversion and Energy Saving Technology in Coal Mine Electromechanical Equipment

Zhao Xiaofan

Shaanxi Xiaobaodang Mining Co., LTD. Shenmu, Shaanxi 719300

Abstract： In the context of the increasingly severe global energy situation and the increasingly tight energy supply, the research and development and extensive application of energy-saving technology has become the focus of high attention in various industries. As a large energy consumer, the coal mining industry has a large number of mechanical and electrical equipment and a long operation time, and the energy consumption problem is particularly prominent. During the operation, traditional coal mine mechanical and electrical equipment is often in a state of high load and high energy consumption, which not only causes a lot of energy waste, but also increases the operating cost of coal mining enterprises. The frequency conversion energy saving technology, with its remarkable energy saving advantages, is like a dawn, providing a new idea and effective method to solve the problem of high energy consumption of coal mine mechanical and electrical equipment. Based on this, the application of frequency conversion energy saving technology in coal mine electromechanical equipment is discussed for reference.

Keywords： frequency conversion and energy saving technology; coal mine mechanical and electrical equipment; application research

引言

煤矿生产过程中，机电设备扮演着至关重要的角色，但传统机电设备往往存在一些问题。随着科技的不断进步，变频节能技术应运而生。该技术能够根据设备的实际运行需求，动态调整电机的转速，从而实现节能目的。深入研究变频节能技术在煤矿机电设备中的应用，有助于推动煤矿行业的绿色、可持续发展，提升煤矿企业的市场竞争力。

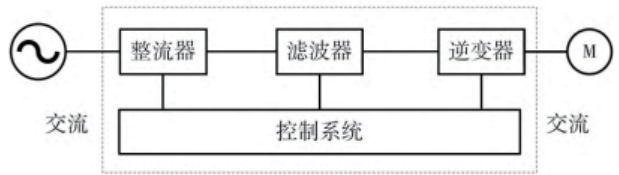
一、变频节能技术的工作原理

变频节能技术的核心机制遵循交流至直流再转交流的转换路径，其运作原理详见图1所示。传统电动机系统普遍依赖固定频率的电力供应，这种模式在实际操作中限制了电机转速与输出功率的灵活调节^[1]。相比之下，变频节能技术具备根据实际负载

需求动态调整电源频率的能力，使得电机能在各种负载条件下以最优转速和功率运行，进而显著提升能源利用效率。进一步阐述，变频节能技术通过精确控制电机的输入频率，实现了对电机转速的精细调节。这种调节不仅适应了不同的工作负载，还有效减少了能源浪费。例如，在轻负载情况下，变频器可以降低电机的运行频率，从而减少能耗；而在重负载时，则适当提

作者简介：赵晓凡（1992.06-），男，汉族，陕西合阳，大学本科、工学学位，助理工程师，研究方向：煤矿机电研究工作。

高频率，确保电机提供足够的动力输出^[2]。这种智能调节机制，不仅优化了电机的性能，还延长了设备的使用寿命，减少了维护成本。

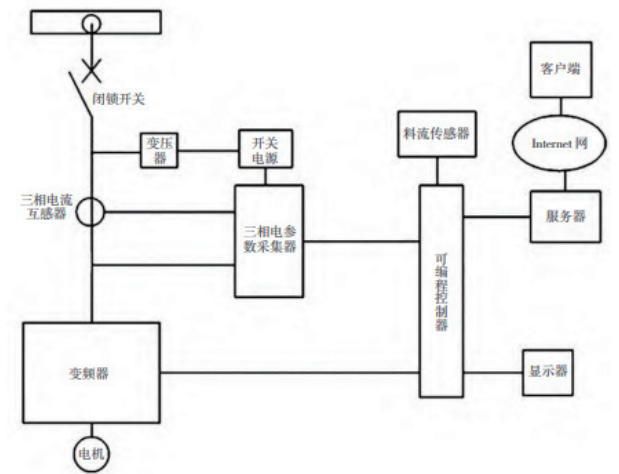


> 图1 交—直—交型变频器原理

二、变频节能技术在煤矿机电设备中的应用研究

（一）在皮带机上的应用

在煤矿行业中，皮带机作为一种关键的机电设备，其结构主要包括主动滚筒、从动滚筒、输送带、托辊和张紧装置等机械部件，以及一个电动机和机械式变速箱。其基本工作原理是通过电动机的启动，驱动输送带以恒定速度运转，从而实现物料的连续输送。然而，传统的皮带机在运行过程中存在明显的局限性：无法根据实际负载变化调节输送速度，导致工作效率低下和能源消耗过高。为了解决这一问题，现代技术引入了变频节能方案，旨在通过智能调节皮带机的运行模式，优化能源利用效率^[3]。变频技术的核心在于通过改变电动机的输入频率，实现对输送带速度的精准控制。这种调节方式不仅能够适应不同的负载需求，还能有效降低设备的能耗，延长设备使用寿命。通过图2所示的工作流程可以看出，变频节能技术的应用使得皮带机的工作模式从单一的固定速度转变为动态可调模式。这种改进不仅提升了设备的灵活性和适应性，还为煤矿行业带来了显著的经济效益和环境效益^[4]。

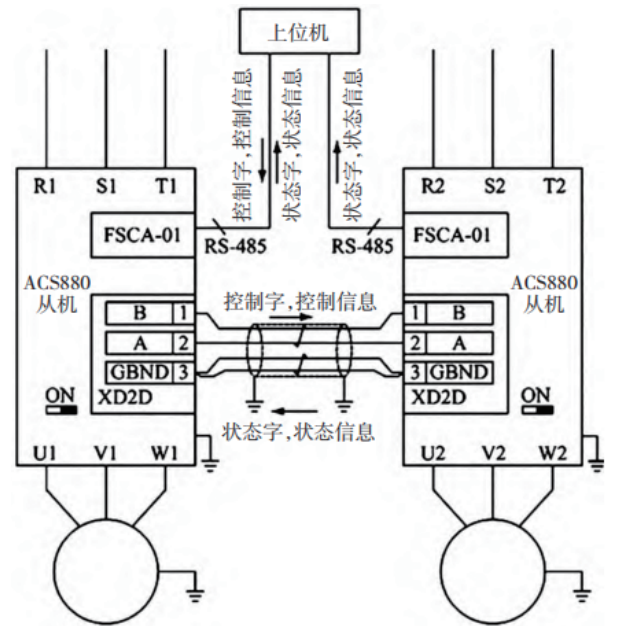


> 图2 皮带机变频技术

（二）在采煤机上的应用

采煤机作为煤矿开采的核心设备，其运行效率直接影响着煤矿的生产效益。该设备主要由切割滚筒电动机、牵引电动机等多个电动单元构成，这些单元需要在复杂多变的工况下保持稳定运行。传统的采煤机动力系统多采用直接启动（DOL）或星三角启动方式，这种启动方式存在明显缺陷：启动瞬间会产生高达额定

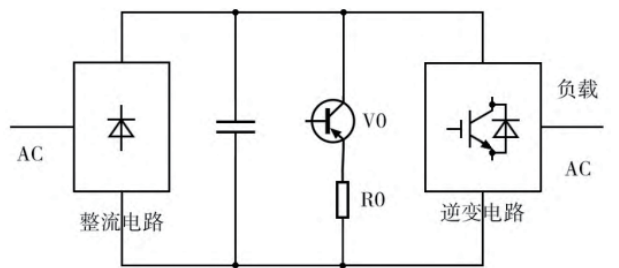
电流6-8倍的冲击电流，不仅对电网造成严重干扰，还可能导致设备损坏^[5]。在全负荷运行工况下，传统系统难以实现精确的转速调节，导致能源浪费和效率低下，这些问题直接影响着煤矿的安全生产和经济效益。针对上述问题，变频节能技术在采煤机上的应用提供了创新性解决方案。该技术主要通过切割电机和牵引电机的精确调速控制，实现了以下突破：1. 软启动功能，显著降低启动电流；2. 全工况范围内的无级调速能力；3. 功率因数提升与能耗优化；4. 设备运行稳定性增强具体技术方案。如图3所示，该方案不仅提升了设备性能，更为煤矿的安全生产和节能降耗提供了可靠保障^[6]。



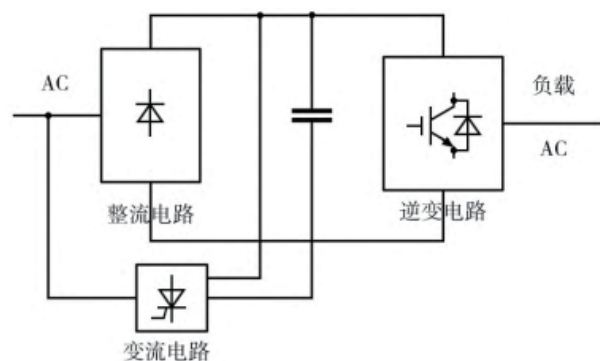
> 图3 采煤机变频技术

（三）变频技术在矿井提升机中的应用

在煤矿作业中，矿井提升机的稳定运行至关重要。任何故障不仅可能导致生产中断，还可能引发安全事故。为了应对这些挑战并实现能源效率的提升，变频技术被广泛应用于矿井提升机中^[7]。这项技术不仅能够根据实际工况动态调整提升机的运行速度，还能有效降低能耗，延长设备寿命，从而显著提升系统的整体可靠性。变频器通过调整主电机定子侧的电源频率来实现速度的精确控制。这种调速方式确保了无论提升机运行在高速还是低速状态，其机械性能都能保持稳定，同时转差功率的消耗也维持在较低水平，从而实现了更高的能效。与传统的串电阻调速系统相比，这些技术提供了更灵活和高效的控制方案^[8]。



> 图4 串电阻的交流变流电路



> 图5利用变流器实现再生反馈的交流变流电路

三、变频节能技术在煤矿机电设备中的应用趋势

（一）智能化与自动化程度不断提高

随着人工智能、物联网等先进技术的飞速发展，变频节能技术在煤矿机电设备中的应用将朝着智能化与自动化方向不断迈进。未来，变频系统将具备更强大的自诊断、自调节和自适应能力^[9]。例如，通过内置智能传感器，能实时监测机电设备的运行状态、负载变化等关键参数。当设备运行出现异常或负载波动时，变频系统能自动分析并调整运行频率，确保设备始终处于最佳节能运行状态。同时，还能实现远程监控和操作，工作人员可通过手机或电脑终端随时随地掌握设备运行情况，进行远程调控，大大提高生产效率和管理水平，减少人工干预带来的误差和风险^[10]。

（二）与其他节能技术深度融合

变频节能技术未来将与其他节能技术如高效电机技术、能量回收技术等深度融合，形成更为完善的煤矿机电设备节能体系。比如，与高效电机技术结合，能进一步提高电机的能效转换率，降低电机本身的能耗。而与能量回收技术配合，可将机电设备在制动、减速等过程中产生的多余能量进行回收再利用，回馈到电网或用于其他设备的运行。这种多技术的协同应用，将极大地提升煤矿机电设备的整体节能效果，为煤矿企业带来更显著的经济效益和环保效益^[11]。

（三）向高性能、高可靠性方向发展

煤矿生产环境复杂恶劣，对机电设备的性能和可靠性要求极高。未来，变频节能技术将不断优化和升级，以满足煤矿行业的特殊需求。一方面，研发高性能的变频控制器，提高其抗干扰能力、响应速度和控制精度，确保在复杂的电磁环境和工况条件下稳定运行。另一方面，通过采用更先进的材料和制造工艺，提升变频设备的散热性能、防护等级和使用寿命。例如，开发新型散热材料和散热结构，使变频设备在高温、高尘等恶劣环境下也能保持良好的散热效果，保证设备的长期稳定运行，为煤矿生产提供可靠的保障^[12]。

四、结束语

变频节能技术在煤矿机电设备中的应用具有显著的节能效果和经济效益。它不仅有助于降低煤矿企业的能源消耗和生产成本，还能提升设备的运行效率和稳定性。未来，应进一步加强对该技术的研究和推广，为煤矿行业的可持续发展提供有力支持。

参考文献

- [1] 陈浩. 变频节能技术在煤矿机电设备中的应用研究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2024, 14(11): 153-154+203.
- [2] 李增彪, 孙远航. 煤矿机电设备变频节能技术应用研究 [J]. 中国煤炭, 2024, 50(S1): 411-414.
- [3] 张卫辉, 蔡建建. 变频节能技术在煤矿机电设备中的应用探微 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (17): 172-174.
- [4] 姜德生, 胡兵, 王正强. 变频控制技术在煤矿机电设备检测中的应用分析 [J]. 中国机械, 2024, (20): 84-87.
- [5] 孔德胜, 任俊峰. 煤矿机电设备中应用变频节能技术的实践探究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (07): 148-150.
- [6] 宋科. 煤矿机电设备中变频节能技术的应用分析 [J]. 电子测试, 2021(03): 103-104.
- [7] 周志刚. 煤矿机电设备中变频节能技术的应用 [J]. 当代化工研究, 2021(13): 143-144.
- [8] 黄安庭. 浅谈煤矿机电设备变频节能技术的应用 [J]. 电子世界, 2021(14): 152-153.
- [9] 王宇伟. 探讨我国煤矿机电设备中变频节能技术的应用 [J]. 矿业装备, 2021(05): 280-281.
- [10] 王军辉. 煤矿机电设备中变频节能技术的思考 [J]. 科技风, 2020(01): 150.
- [11] 张海滨. 基于变频节能技术的乳化液泵应用分析 [J]. 煤炭科学技术, 2017(S2): 107-109.
- [12] 赵长岭; 张玉昌; 孙丙川. 煤矿机电设备中变频节能技术的应用 [J]. 中国科技投资, 2021(03): 2.

公路桥梁设计及其抗震优化分析

张雨

北京交科公路勘察设计研究院有限公司, 北京 100000

摘要： 随着交通事业的蓬勃发展，公路桥梁作为交通网络的关键节点，其安全性与稳定性至关重要。地震灾害对公路桥梁结构构成严重威胁，如何在设计阶段有效提升公路桥梁的抗震性能成为亟待解决的问题。本文深入探讨公路桥梁设计的要点，详细分析抗震设计理论与方法，剖析现存抗震设计问题，并提出全面的抗震优化策略，旨在为提高公路桥梁的抗震能力、保障交通生命线的安全提供理论依据与实践指导。

关键词： 公路桥梁设计；抗震优化；抗震性能；结构安全

Design and Seismic Optimization Analysis of Highway Bridges

Zhang Yu

Beijing Jiaoke Highway Survey and Design Research Institute Co., Ltd. Beijing 100000

Abstract： With the vigorous development of transportation, highway bridges, as key nodes of the transportation network, are crucial in terms of safety and stability. Earthquake disasters pose a serious threat to the structure of highway bridges, and how to effectively improve the seismic performance of highway bridges during the design phase has become an urgent problem to be solved. This article delves into the key points of highway bridge design, analyzes seismic design theories and methods in detail, dissects existing seismic design issues, and proposes a comprehensive seismic optimization strategy. It aims to provide a theoretical basis and practical guidance for improving the seismic capacity of highway bridges and ensuring the safety of transportation lifelines.

Keywords： highway bridge design; seismic optimization; seismic performance; structural safety

一、公路桥梁设计要点

（一）结构选型

公路桥梁的结构选型是设计的首要环节，不同的结构形式具有不同的力学性能和抗震特点。常见的桥梁结构类型包括梁式桥、拱式桥、斜拉桥和悬索桥等。梁式桥结构简单、受力明确，适用于中小跨度桥梁，但其抗震性能相对较弱。拱式桥依靠拱圈传递荷载，具有较大的跨越能力，但对地基条件要求较高，在地震作用下拱脚处易产生较大的水平推力。^[1] 斜拉桥和悬索桥则适用于大跨度桥梁，通过拉索将主梁的荷载传递到索塔，结构较为复杂，抗震设计需考虑多种因素。在选择结构形式时，需综合考虑桥梁的跨度、地质条件、地形地貌、交通需求以及抗震要求等因素，确保结构形式既能满足使用功能，又具有良好的抗震性能。

（二）荷载计算

准确计算作用在公路桥梁上的荷载是保证桥梁结构安全的基础。荷载主要包括恒载、活载以及地震作用等。恒载是指桥梁结构本身的自重以及附属设施的重量，其计算相对较为简单，可根据结构尺寸和材料容重进行计算。活载则包括车辆荷载、人群荷载等，需要根据相关规范和实际交通流量进行确定。地震作用是一种动态荷载，其计算较为复杂，需要考虑地震的震级、震中距、场地条件以及桥梁结构的动力特性等因素。^[2] 目前，常用的地震作用计算方法有反应谱法、时程分析法等。在进行荷载计算时，应严格按照相关规范和标准进行，确保荷载取值的准确性和合理性。

（三）材料选择

公路桥梁所选用的材料直接影响桥梁的结构性能和抗震能力。在材料选择上，应优先选用强度高、延性好、耐久性强的材料。对于混凝土材料，应选用高强度等级的混凝土，并控制其水灰比、水泥用量等参数，以提高混凝土的密实性和抗裂性能。钢材则应选用屈服强度高、屈强比小、可焊性好的钢材，以确保在地震作用下钢材能够充分发挥其塑性变形能力，吸收地震能量。此外，还应考虑材料的耐腐蚀性和抗疲劳性能，以保证桥梁在长期使用过程中的安全性和稳定性。^[3]

（四）构造设计

合理的构造设计是保证公路桥梁结构整体性和抗震性能的重要措施。在构造设计中，应注重加强结构的连接部位，如桥墩与基础的连接、梁与桥墩的连接等，确保在地震作用下各构件之间能够协同工作，不发生相对位移或破坏。同时，应设置必要的伸缩缝、防震缝等构造措施，以适应桥梁在温度变化、混凝土收缩徐变以及地震作用下的变形要求。此外，还应合理布置钢筋，增强构件的抗弯、抗剪和抗扭能力，提高结构的延性和耗能能力。^[4]

二、公路桥梁抗震设计理论与方法

（一）抗震设计基本原理

公路桥梁抗震设计的基本原理是通过合理的结构设计和构造措施，使桥梁在地震作用下能够保持结构的完整性和稳定性，避免发生严重破坏或倒塌。具体来说，就是要使桥梁结构具有足够

的强度、刚度和延性,以抵抗地震产生的惯性力和变形。强度是指桥梁结构能够承受地震作用而不发生破坏的能力;刚度是指桥梁结构在地震作用下抵抗变形的能力;延性则是指桥梁结构在地震作用下能够产生较大的塑性变形而不丧失承载能力的能力。在抗震设计中,应综合考虑强度、刚度和延性的要求,通过优化结构设计和构造措施,使桥梁结构在地震作用下能够有效地吸收和耗散地震能量,保障桥梁的安全。^[5]

(二) 抗震设计方法分类

(1) 基于强度的设计方法:基于强度的设计方法是早期常用的抗震设计方法,该方法主要通过计算地震作用下桥梁结构的内力,然后根据材料的强度设计值进行构件的设计。这种方法认为,只要结构的强度满足要求,就能够保证桥梁在地震中的安全。然而,这种方法忽略了结构的延性和变形能力,在实际地震中,即使结构的强度满足设计要求,也可能由于过大的变形而导致破坏。

(2) 基于延性的设计方法:基于延性的设计方法是目前广泛应用的抗震设计方法,该方法强调通过提高结构的延性来抵抗地震作用。在设计过程中,通过合理的结构选型和构造措施,使桥梁结构在地震作用下能够产生较大的塑性变形,从而吸收和耗散地震能量。这种方法认为,结构的延性比强度更为重要,在地震作用下,结构可以通过塑性变形来调整内力分布,避免局部应力集中导致的破坏。

(3) 基于性能的设计方法:基于性能的设计方法是一种更为先进的抗震设计方法,该方法以满足不同的性能目标为设计依据,根据桥梁的重要性、使用功能以及地震风险等因素,确定不同的性能水准,并针对每个性能水准进行结构设计。这种方法能够使设计人员更加明确地控制桥梁在地震中的性能表现,实现个性化的设计目标。例如,对于重要的交通枢纽桥梁,可以设定在罕遇地震作用下结构不发生倒塌、可快速修复的性能目标;而对于一般的公路桥梁,则可以设定在设防地震作用下结构基本完好、不影响正常使用的性能目标。^[6]

三、公路桥梁抗震设计现存问题分析

(一) 地震动参数取值不合理

地震动参数的取值直接影响公路桥梁抗震设计的结果。在实际设计中,部分设计人员对地震动参数的取值不够重视,没有充分考虑场地条件、地震活动性以及桥梁结构的特点等因素。例如,在一些地震活动频繁的地区,地震动参数的取值应适当提高,以确保桥梁结构在地震中的安全性。然而,一些设计人员仍然按照常规的地震动参数取值进行设计,导致桥梁结构的抗震能力不足。此外,对于一些复杂场地条件,如软土地基、断层附近等,地震动参数的取值也需要进行特殊处理,但部分设计人员对此认识不足,导致设计结果与实际情况存在偏差。^[7]

(二) 结构计算模型不准确

准确的结构计算模型是保证公路桥梁抗震设计可靠性的关键。在结构计算过程中,部分设计人员对结构计算模型的建立不

够严谨,没有充分考虑结构的实际受力情况和边界条件。例如,在对桥梁结构进行有限元分析时,一些设计人员对结构的连接方式、约束条件等进行了不合理的简化,导致计算结果与实际情况不符。此外,对于一些复杂的桥梁结构,如大跨度斜拉桥、悬索桥等,结构的非线性行为较为明显,需要采用考虑非线性因素的计算模型进行分析。然而,部分设计人员仍然采用线性计算模型进行设计,无法准确反映结构在地震作用下的真实响应。

(三) 构造措施不完善

构造措施是保证公路桥梁抗震性能的重要手段,但在实际设计中,部分设计人员对构造措施的重视程度不够,构造措施设计不完善。例如,在桥墩与基础的连接部位,一些设计人员没有设置足够的锚固钢筋或采取有效的连接措施,导致在地震作用下桥墩与基础之间容易发生相对位移或破坏。在梁与桥墩的连接部位,一些设计人员没有设置可靠的限位装置或耗能装置,无法有效地限制梁体的位移和吸收地震能量。此外,在钢筋的布置和混凝土的浇筑等方面,一些设计人员也没有严格按照规范要求进行设计和施工,影响了结构的抗震性能。^[8]

四、公路桥梁抗震优化策略

(一) 强化抗震概念设计

(1) 合理选择桥型:在进行公路桥梁设计时,应充分考虑场地条件、地震活动性以及桥梁的使用功能等因素,合理选择桥型。对于地震活动频繁的地区,应优先选择抗震性能好的桥型,如连续梁桥、连续刚构桥等。同时,应避免采用对抗震不利的结构形式,如带铰的结构、悬臂结构等。

(2) 优化结构布置:合理的结构布置能够提高桥梁结构的整体抗震性能。在结构布置时,应尽量使结构的质量和刚度分布均匀,避免出现质量和刚度突变的情况。同时,应设置必要的防震缝和伸缩缝,将结构划分为相对独立的抗震单元,减小地震作用下结构的扭转效应和鞭梢效应。此外,还应合理布置桥墩和基础,确保结构的受力明确、传力路径清晰。

(3) 提高结构整体性:加强结构的整体性是提高桥梁抗震性能的重要措施。在设计中,应注重加强结构各构件之间的连接,如采用可靠的连接方式、设置足够的锚固钢筋等。同时,应合理布置横隔板和纵梁,增强结构的空间受力性能和整体性。此外,还应加强桥梁与两岸接线的连接,确保在地震作用下桥梁与接线能够协同工作。^[9]

(二) 精确确定地震动参数

(1) 开展详细的地震地质勘察:在进行公路桥梁抗震设计前,应开展详细的地震地质勘察工作,了解场地的地质条件、地震活动性以及地震地质构造等信息。通过地震地质勘察,可以获取准确的地震动参数,为抗震设计提供科学依据。

(2) 采用合理的地震动参数取值方法:根据场地条件和桥梁结构的特点,选择合适的地震动参数取值方法。对于一般场地条件,可以采用规范推荐的地震动参数取值方法;对于复杂场地条件,如软土地基、断层附近等,应采用专门的地震动参数取值方

法,如考虑场地效应的地震动参数取值方法、基于地震危险性分析的地震动参数取值方法等。

(3) 考虑地震动的不确定性:地震动具有一定的不确定性,在进行地震动参数取值时,应充分考虑这种不确定性。可以采用概率方法或不确定性分析方法,对地震动参数进行合理的估计和取值,以确保桥梁结构在不同地震动作用下都具有足够的抗震能力。

(三) 建立准确的结构计算模型

(1) 合理简化结构模型:在建立公路桥梁结构计算模型时,应在保证计算精度的前提下,对结构进行合理的简化。对于一些次要构件和复杂的结构细节,可以进行适当的简化处理,但要确保简化后的结构模型能够准确反映结构的实际受力情况和变形特征。^[10]

(2) 考虑结构的非线性行为:对于大跨度桥梁和复杂桥梁结构,在地震作用下结构的非线性行为较为明显,应采用考虑非线性因素的计算模型进行分析。例如,在进行有限元分析时,可以采用非线性材料本构模型、考虑几何非线性和接触非线性等因素,以准确反映结构在地震作用下的真实响应。

(3) 模型验证与校准:建立结构计算模型后,应进行模型验证与校准工作。可以通过与实际工程的监测数据、试验结果或已有研究成果进行对比分析,对模型的准确性和可靠性进行验证。如果模型计算结果与实际情况存在较大偏差,应及时对模型进行调整和改进,确保模型能够准确反映结构的抗震性能。

(四) 完善构造措施设计

(1) 加强桥墩与基础的连接:在桥墩与基础的连接部位,应设置足够的锚固钢筋,并采用可靠的连接方式,如灌浆套筒连接、焊接连接等。同时,应加强基础的设计和施工,确保基础具

有足够的承载能力和稳定性,能够有效地将桥墩传来的地震力传递到地基中。

(2) 优化梁与桥墩的连接:在梁与桥墩的连接部位,应设置可靠的限位装置和耗能装置,如橡胶支座、阻尼器等,以限制梁体的位移和吸收地震能量。同时,应加强梁与桥墩之间的连接构造,确保在地震作用下梁与桥墩能够协同工作,不发生相对位移或破坏。

(3) 合理布置钢筋和混凝土:在钢筋的布置上,应根据构件的受力特点和抗震要求,合理布置钢筋的数量、间距和位置,确保构件具有足够的抗弯、抗剪和抗扭能力。在混凝土的浇筑上,应严格控制混凝土的配合比、浇筑质量和养护条件,确保混凝土的强度和密实性满足设计要求。此外,还应加强混凝土的耐久性设计,提高混凝土的抗腐蚀能力和抗疲劳性能。

五、结论

公路桥梁的抗震设计是保障桥梁安全的重要环节,直接关系到人民生命财产安全和社会经济的稳定发展。通过对公路桥梁设计要点的分析,以及对抗震设计理论、方法和现存问题的研究,提出了一系列针对性的抗震优化策略。在实际设计过程中,应强化抗震概念设计,精确确定地震动参数,建立准确的结构计算模型,完善构造措施设计,以提高公路桥梁的抗震性能。同时,随着科学技术的不断发展,应不断探索和应用新的抗震设计理念、方法和技术,为公路桥梁的抗震设计提供更加可靠的保障。只有这样,才能确保公路桥梁在地震灾害中保持安全稳定,保障交通生命线的畅通。

参考文献

- [1] 王雪玮, 康斌锴, 徐胜乐. 公路桥梁设计及其抗震优化分析[J]. 内蒙古公路与运输, 2023, (06): 35 - 38.
- [2] 张超, 李明. 公路桥梁抗震设计方法对比研究[J]. 交通科技, 2022, (05): 42 - 45.
- [3] 刘畅, 王伟. 基于性能的公路桥梁抗震设计探讨[J]. 建筑结构学报, 2021, 42 (09): 180 - 188.
- [4] 赵强, 孙悦. 公路桥梁结构选型与抗震性能关系研究[J]. 桥梁建设, 2020, 50 (03): 88 - 93.
- [5] 陈丽, 吴刚. 地震动参数对公路桥梁抗震设计的影响分析[J]. 地震工程与工程振动, 2019, 39 (04): 125 - 133.
- [6] 周明, 郑华. 公路桥梁材料选择与抗震性能优化[J]. 材料科学与工程学报, 2018, 36 (06): 985 - 989.
- [7] 杨阳, 郭峰. 公路桥梁构造设计中的抗震措施研究[J]. 工程建设与设计, 2017, (22): 102 - 105.
- [8] 何健, 刘敏. 基于抗震概念设计的公路桥梁设计要点[J]. 公路交通科技, 2016, 33 (07): 85 - 90.
- [9] 宋文, 李华. 公路桥梁结构计算模型的准确性分析[J]. 土木工程学报, 2015, 48 (08): 100 - 107.
- [10] 王强, 张悦. 公路桥梁桥墩与基础连接的抗震设计[J]. 桥梁世界, 2014, 21 (05): 32 - 37.

高精度传动系统中轴承和联轴器的匹配策略

章俊杰, 魏巍, 冯卫国, 岳国艳

襄阳宇清传动科技有限公司, 湖北 襄阳 441000

摘要： 高精度传动系统中轴承和联轴器之间的配合是非常关键的。本文对两者的特点进行了解剖，明确了匹配的必要性，揭示了目前存在的如精度适配不良和负载分配不均衡的问题，有针对性地提出了选择依据工况和优化安装调试的匹配策略。通过算例表明，合理的匹配能够增强系统的稳定性，减小振动和噪声，对传动系统的精密运行起到了保证作用，有利于相关行业生产精度和生产效率的提高。

关键词： 高精度传动；轴承；联轴器；匹配策略

Matching Strategy of Bearings and Couplings in High-Precision Transmission Systems

Zhang Junjie, Wei Wei, Feng Weiguo, Yue Guoyan

Xiangyang YUQING Transmission Technology Co., Ltd. Xiangyang, Hubei 441000

Abstract： The cooperation between bearings and couplings in high-precision transmission systems is very critical. This paper analyzes the characteristics of both, clarifies the necessity of their, and reveals existing problems such as poor accuracy matching and uneven load distribution. Targeted selection criteria based on working conditions and optimized installation and debugging matching strategies are proposed. Through examples, it is shown that reasonable matching can enhance system stability, reduce vibration and noise, and ensure the precise operation of the transmission system, which is conducive to improving production accuracy and efficiency in related industries.

Keywords： high-precision transmission; bearings; couplings; matching strategy

引言

随着现代制造业向着高精度和高效率的方向迈进，例如精密机床，航空航天设备和半导体制造装备等等，对于传动系统的精度提出了越来越苛刻的要求。轴承是支撑旋转部件最关键的部件，联轴器承担着将不同轴段联接起来传递扭矩的任务，两者共同工作于传动链上。一旦匹配不合适，不但会使传动精度下降，诱发振动，发热甚至使设备的使用寿命缩短，从而严重地影响到系统的整体性能。所以深入探讨它们的匹配策略对于保证高精度传动具有重要的意义。

一、轴承与联轴器的特点

（一）轴承的类型与特性

常用的轴承包括滚珠轴承，滚子轴承和滑动轴承。滚珠轴承的滚动摩擦和启动力矩都很小，适合在高速轻载工况下使用，就象一个高速的小型电主轴一样，速度可以达到几万转/分，使用精密的滚珠轴承就可以满足它的快速启停和稳定旋转的需要；滚子轴承具有较强的承载能力，常被应用在重载情况下，例如在大型轧钢机传动轴支承中，圆柱滚子轴承能够承受较大的径向力并确保轧辊平稳旋转。滑动轴承拥有出色的阻尼性质，能够显著地减少振动，在某些对振动高度敏感的高精度测量设备的低速旋转轴上应用，可以确保测量的准确性^[1]。

（二）联轴器的结构与功能

联轴器有很多种，刚性联轴器构造简单、不具有补偿位移能力、却能够准确地传递扭矩、在同轴度要求很高的单轴传动印刷

设备上、保证印版滚筒和橡皮滚筒之间严格地同步工作；弹性联轴器内含有弹性元件，它能补偿某些轴向，径向及角向的位移，象泵类联接在电机上，由于安装基础不同或工作热胀冷缩等原因，弹性联轴器可以在缓冲冲击和降低瞬间扭矩突变给相连部件造成的破坏的同时吸收位移和保护设备。

（三）精度指标差异

轴承精度主要集中于尺寸精度和旋转精度等方面，如P4级的高精度角接触球轴承径向跳动可以控制到微米级以保证机床主轴切削过程中刀具轨迹的准确性；联轴器的精度主要集中于同轴度补偿精度及扭矩传递精度等方面，例如膜片式联轴器可以在容许角向偏差范围内几乎无损地将电机稳定输出扭矩传递到负载端并保持动力传输精度。

（四）材料特性对性能影响

轴承材料大多为高碳铬钢和陶瓷，其中高碳铬钢具有良好的耐磨性和高的承载能力，在一般的工业齿轮箱轴承中经常使用，

作者简介：章俊杰（1987.05-），男，汉族，湖北襄阳，本科，机械工程师，研究方向：联轴器和轴承设计和加工。

对一般的工作条件有较强的适应性；陶瓷材料具有硬度大，质量轻，耐高温等特点，在航空发动机的高速轴承部位使用陶瓷球与钢制套圈配合使用，降低了旋转部件的惯性，增强了耐热性，有利于高转速平稳工作。联轴器的材质、金属材质的刚性足以实现重载刚性连接；弹性联轴器采用橡胶和聚氨酯等弹性材料，通过它们的弹性变形来达到位移补偿和缓冲的目的，就象汽车发动机和变速器之间的橡胶联轴器一样，既要考虑缓冲吸振又要考虑灵活传动^[2]。

（五）适用转速范围

轴承转速受材料强度，润滑条件和结构形式等因素的限制，深沟球轴承通常适合在中低转速下使用，如果要在高速下使用，则需要对其内部结构进行优化和润滑改进，例如，高速磨床主轴用油气润滑专用深沟球轴承，加宽了转速上限；联轴器的转速适用性因型号而异，在高速运转的情况下由于齿面的啮合冲击不应转速太高，膜片联轴器依靠的是轻、薄、强度大的膜片，具有良好的动平衡性能，能与高速动力传输相适应，在燃气轮机发电机组的轴系连接中具有优异的性能。

（六）安装与维护特性

轴承的安装需要严格的控制配合公差，清洁度等，否则会影响旋转精度和使用寿命，而机床主轴轴承的组装往往是在无尘车间内，按照热装或者冷装的过程进行准确的作业；在进行维护的过程中，需要周期性地检查润滑和磨损情况，同时风力发电机的主轴轴承也需要定期进行补脂，并通过振动监测来判断磨损的程度。联轴器的安装应确保最初的同轴度，同时弹性联轴器还要注意弹性元件的老化问题，例如工业泵中使用的弹性柱销联轴器等，经常观察柱销橡胶的弹性情况，并及时更换，以防止传动失效。

二、高精度传动系统中轴承和联轴器匹配的必要性

（一）保障传动精度稳定性

精密数控加工中心中刀具与工件之间的准确运动取决于传动精度。如果轴承和联轴器配合不理想，例如轴承径向游隙太大，联轴器不能补偿对应的位移等，都将导致刀具切削轨迹的偏差积累，被加工件尺寸出现超差现象、形位精度是不可控的，唯有两者准确契合，实现轴旋转支撑至扭矩传递各个环节的协同配合，才能够保证微米级的加工精度的长久稳定性^[3]。

（二）提高系统动态响应特性

自动化生产线上高速搬运机器人在运行过程中经常启停和变速。配套较好的轴承和联轴器配合可以使机械臂关节轴对控制指令迅速准确地做出反应，实现轴承的低摩擦助力起加速和联轴器刚度的合理性、阻尼特性对加减速冲击的抑制作用避免了振动拖影现象的发生，达到了高速高效柔性运行的目的，符合现代智能制造对快速节拍的要求。

（三）延长设备使用寿命

大型矿山破碎机传动系统工作环境较为恶劣，负载冲击较大。适配后的轴承能够均匀承载，联轴器起到缓冲吸振和分散冲

击能量的作用，避免了应力集中对轴颈和键槽等零件造成损伤，减小了疲劳磨损和降低了维修频次，本实用新型使得该装置在重载和长时间的工作中能够维持可靠的工作状态，提高了总体的服役年限并节省了运营成本。

（四）降低系统振动与噪声

电梯曳引系统中轿厢的顺畅运行与乘坐体验密切相关。高精度配对轴承及联轴器，轴承转动顺畅，联轴器光滑传动，可有效减弱不平衡，不对中所诱发的震动，从根本上减少了结构噪声和电机运转噪声的扩散，创造了宁静舒适的乘梯环境并提高了建筑设备的质量^[4]。

（五）适应复杂工况多样性

海洋平台采油设备承受着海水腐蚀，风浪冲击和温度变化的复杂运行条件。特制耐腐蚀轴承配合可补偿大位移万向联轴器不仅可应对平台晃动引起的轴向剧烈变化，还可对高湿高盐环境中的旋转部件进行可靠支承，保证采油作业连续平稳进行，保证了能源开采效率。

三、高精度传动系统中轴承和联轴器匹配现存问题

（一）选型依据不充分

有的企业对新设备的传动设计没有考虑到工况全貌。比如正在兴起的3D打印设备中，一些研发团队只是根据电机功率来选择联轴器，并没有结合打印头经常更换方向，低速高精度运动等特性来选择适合于低摩擦高精度轴承和高柔性联轴器，造成打印层纹较粗，定位精度不高，成品质量很难达到预期^[5]。

（二）精度适配失衡

在光刻机这类超精密设备的研究和开发过程中，虽然对关键部件的精度进行了严格的控制，但是对传动链中的轴承和联轴器的精度匹配却疏于管理。采用超高精度轴承但配以低精度联轴器时，轴系的微小偏差会在多级传动的作用下放大，导致曝光台位置不准确，从而影响芯片的光刻分辨率并阻碍半导体产业的升级。

（三）负载分配不均

在多轴联动的工业机器人中，各个关节的负载会随着运动的进行而实时改变。如果轴承，联轴器的选择没有考虑动态负载的特点，往往会发生一些关节轴承快速过载磨损的情况，同时联轴器由于缺乏过载保护，弹性元件提前失效，从而降低了机器人的作业精度和可靠性，提高了维护成本^[6]。

（四）安装调试协同性差

电厂的大型发电机组的安装过程中，每个轴系部件都是通过不同的队伍进行安装的。轴承的安装没有留出联轴器热胀补偿的数量，在调试过程中发现轴系热态对中心不理想，出现振动超标现象；或者联轴器找正只注重两个端面的平行而忽略了轴承预紧力的作用，运转后轴承受力不均匀，降低了使用寿命并影响了机组并网发电的过程。

（五）技术标准更新滞后

伴随着新能源汽车电驱动系统向高集成和高转速方向发展，

原有的轴承和联轴器配套标准已经很难适应其要求。按传统标准选择的组件在新系统带来的高频电磁干扰环境中暴露了许多问题。其中轴承电蚀问题日益严重，同时联轴器信号传输受到扰动，不仅会影响动力输出稳定性，造成汽车运行时动力可能中断、抖动等现象也极大地限制着新能源汽车产业技术革新和推迟全产业朝着更高性能和更高效能方向发展^[7]。

四、高精度传动系统中轴承和联轴器的匹配策略

（一）基于工况精准选型

对设备的工作负载谱进行了分析，例如起重机在起升，变幅和回转等各种工况下的负载扭矩和转速的变化范围；综合考虑操作环境温度，湿度和腐蚀介质等因素，化工反应釜的搅拌轴系中，选用耐腐轴承和密封较好的联轴器；根据系统的动态特性，象振动冲击频率一样，给高速冲床选择高刚性联轴器和高阻尼轴承以保证零件在起动，平稳运行至制动等各个环节的适配^[8]。

（二）构建精度匹配体系

以精密光学仪器为例，由光学元件的加工精度反推传动精度要求，根据误差分配原则对轴承旋转精度，联轴器同轴度的精度级别进行了细化，利用高精度的检测手段对关键尺寸进行监测，例如激光干涉仪测量轴承径向跳动，三坐标测量仪检测联轴器的形位公差等，以保证各零件精度梯次的合理性，并协同保证终端的精度。

（三）优化负载分配设计

以重型锻造压力机驱动为研究对象，采用有限元分析对各轴段进行受力仿真，对轴承承载能力进行了合理配置，并根据负载冲击特性选择了抗冲击性能较好的联轴器；介绍了弹性支撑和液压缓冲的配套设备，对轴承负载进行实时调整，在遇到过载的情况下联轴器弹性元件的变形协调一致，平衡了应力并增强了系统的抗疲劳强度。

（四）规范安装调试流程

为风电齿轮箱高速轴系的安装制定了详细的 SOP 方案。首先，利用激光对中仪精确地调整轴承座的同轴度至微米级别，然后在装配轴承时进行温度和热量的控制，并根据联轴器的特性进行精确校正，同时记录冷态的相关数据；在调试过程中对振动，温度进行了监测，并进行了热态复查配对，微调了轴承的预紧情况，确保了由静态装配向动态运行的顺利转换和轴系的稳定运行^[9]。

（五）强化环境适应性措施

户外通信基站天线转台是保证通信顺畅的关键步骤，它的稳定性非常重要。为了抵抗室外恶劣环境的侵袭，转台接合处专门设计有密封轴承和防尘罩，从根本上减少部件损耗的风险。考虑到室外温变幅度较大和紫外线照射强等困难，我们精心选择了耐候性好的橡胶或者金属波纹管联轴器等，这些联轴器灵活地适应环境的变化，保证了动力的准确传递。而且在高湿环境中，轴承内充填的专用润滑脂有效地隔离了水汽侵蚀。与此同时，运维团队还经常进行详细保养，深度清理和各方面护航部件的工作，使

通信信号无论在何种天气情况下均能够平稳传递，为畅通信息架起了桥梁。

（六）推行全寿命周期成本管理

在如今充满竞争的商业环境中，一个企业要想获得可持续发展就必须构建一个精细成本核算模型。以轨道交通车辆转向架传动部件的选择为例，企业有必要对各种牌号轴承和联轴器进行严格比较。一方面对其质量可靠性进行了检验并了解了其对复杂工况的耐受程度；另一方面要注意维护周期的长短并清楚多长时间要进行检修保养。尽管优质品牌产品采购价格偏高，但其故障发生率、使用寿命长。从多个方面权衡考虑，筛选出最具性价比的部件组合才能有效保证车辆全寿命周期高效运行并获得最大收益。

（七）跟踪技术标准更新

在科技高速发展的今天，行业协会和企业研发部门，始终密切关注前沿技术发展。它们在新标准的制定过程中，为整个产业的增长提供了强大的推动力。以新能源和人工智能深度结合的智能物流仓储设备为例，根据新出炉的机电耦合传动标准研发团队可以有针对性地甄别和采纳适配新工况的承载。像是具有可自适应调节能力的智能轴承和抗电磁干扰特性突出的联轴器，为装备在新技术涌动的大潮中提供了全方位的保障^[10]。

五、结语

在高精度传动系统中，轴承和联轴器之间的配合是一个复杂而又至关重要的工程环节。深刻认识两者的特点，直面存在的匹配难题，以科学选型，精细安装调试和全维度优化策略确保传动的精度，可靠性和寿命以满足多元工况的要求。这既有助于高端装备制造业打破精度瓶颈，也促进了新能源和半导体等新兴产业的发展，同时也为全球科技产业向更高的精度和智能化方向发展打下了坚实的传动基础。

参考文献

- [1] 赵志刚. 高精度伺服传动系统的传动误差分析及优化措施[J]. 工程机械文摘, 2024, (02): 30-35.
- [2] 何芸. 大型重载高精度传动系统关键技术研究及应用. 浙江省, 浙江通力传动科技股份有限公司, 2023-03-11.
- [3] 李西建. 大扭矩高精度大传动比传动系统精度分析和设计仿真[D]. 燕山大学, 2004.
- [4] 赖天华. 高精度伺服传动系统的设计与实践——双传动链传动的伺服传动系统的设计与探讨[J]. 电子机械工程, 1997, (04): 60-63.
- [5] 范又功. 高精度伺服系统中的谐波齿轮传动[J]. 制造技术与机床, 1994, (02): 19-20.
- [6] 靳峥. 面向指向精度的大口径天线传动系统故障机理分析与误差预测[D]. 西安电子科技大学, 2023.
- [7] 侯宇. 滚动轴承可靠性评估关键力学参量测试技术及其应用研究[D]. 北京交通大学, 2022.
- [8] 王子斌. 齿轮传动系统响应仿真与试验及模型修正研究[D]. 南京航空航天大学, 2018.
- [9] 梁明轩. 变速器系统非线性动力学特性与参数优化研究[D]. 东北大学, 2014.
- [10] 杨政. 消除齿轮系统精密装配关键参数及其动力学性能影响研究[D]. 国防科学技术大学, 2014.

桥梁隧道工程中的喷锚支护施工技术研究

王靖宇

中交一公局第六工程有限公司, 天津 300450

摘 要： 桥梁隧道工程建设规模不断扩大, 施工环境日趋复杂, 对支护技术提出更高要求。喷锚支护凭借快速施工、适应性强等优势在桥隧工程中得到广泛应用, 其施工质量直接关系到围岩稳定性控制和工程安全。优化喷锚支护施工工艺, 涉及混凝土配合比、锚杆布置、施工工序等诸多方面, 还关系到新材料、新技术的应用, 以及支护效果的动态监测评估。本文旨在系统阐述喷锚支护施工技术在桥梁隧道工程中的应用, 分析关键技术并探讨发展趋势, 为推动喷锚支护技术的创新发展提供有益参考, 以促进桥隧工程建设水平的提升。

关 键 词： 桥梁隧道工程; 喷锚支护; 施工技术; 围岩稳定

Research on the Construction Technology of Spray Anchor Support in Bridge and Tunnel Engineering

Wang Jingyu

CCCC First Highway Engineering Co., Ltd. Sixth Engineering Co., Ltd. Tianjin 300450

Abstract： The construction scale of bridge and tunnel engineering is constantly expanding, and the construction environment is becoming increasingly complex, which puts forward higher requirements for support technology. Spray anchor support has been widely used in bridge and tunnel engineering due to its advantages of fast construction and strong adaptability. Its construction quality directly affects the stability control of surrounding rock and engineering safety. Optimizing the construction process of spray anchor support involves many aspects such as concrete mix ratio, anchor rod layout, construction process, etc. It also relates to the application of new materials and technologies, as well as the dynamic monitoring and evaluation of support effects. This article aims to systematically expound the application of spray anchor support construction technology in bridge and tunnel engineering, analyze key technologies, and explore development trends, providing useful references for promoting the innovative development of spray anchor support technology and improving the construction level of bridge and tunnel engineering.

Keywords： bridge and tunnel engineering; spray anchor support; construction technology; stability of surrounding rock

引言

桥梁隧道工程建设事关国计民生, 对促进区域经济社会发展、完善现代综合交通运输体系具有重要意义。随着桥隧工程向复杂环境、极端条件不断拓展, 支护技术面临前所未有的挑战。喷锚支护以其高效性、适应性、经济性的独特优势, 在桥梁隧道施工中得到广泛应用, 已成为围岩控制和结构防护的首选工艺。新时期如何进一步强化喷锚支护的理论基础, 创新完善施工工艺, 使其在保障工程安全、提升建设品质中发挥更大作用, 值得深入研究。

一、喷锚支护施工技术概述

(一) 喷锚支护的作用原理

喷锚支护是桥梁隧道工程中常用的初期支护方式, 其通过喷射混凝土和锚杆的共同作用来加固围岩、控制变形。喷锚支护具有如下作用原理: 喷射混凝土能迅速覆盖在开挖面上, 填充岩体裂隙, 提高岩体整体性和强度; 同时喷层能起到封闭围岩、防止风化的作用^[1]。锚杆通过注浆锚固, 可将喷层与围岩牢牢连接, 使

二者共同承载, 约束围岩变形。此外, 喷层和锚杆还能改善围岩应力状态, 减小应力集中, 防止围岩松动破坏。综合来看, 喷锚支护充分发挥了喷射混凝土和锚杆的各自优势, 二者相辅相成, 共同提高了围岩稳定性。

(二) 喷锚支护技术的特点

喷锚支护技术具有施工速度快、初期强度高、适应性强等特点。喷射混凝土能在数小时内凝结硬化, 快速形成支护, 封闭围岩, 从而有效缩短施工工期。同时, 喷层能在早期达到较高强

简介: 王靖宇 (1994.10-), 男, 汉族, 河南省扶沟县, 大学本科, 助理工程师, 研究方向: 土木工程。

度,及时阻止围岩变形,避免围岩松动滑落,是其他支护方式难以比拟的。此外,由于喷锚支护不需要大型模板,施工极为灵活方便,能适应各种不规则开挖断面,满足桥隧工程的特殊需求。再者,喷锚支护材料利用率高,作业机械化程度高,能有效节约工程成本,减轻作业人员劳动强度。正是由于喷锚支护的诸多优势,其已成为桥梁隧道工程支护施工的首选技术。

二、桥梁隧道工程中喷锚支护施工技术的必要性

(一) 复杂环境下的有效支护手段

桥梁隧道工程往往面临地质条件复杂、施工环境恶劣的挑战,这对工程支护技术提出了更高要求。喷锚支护技术凭借其独特优势,成为应对复杂环境的有效支护手段。首先,喷射混凝土能迅速填充围岩孔隙,防止岩体风化,并与锚杆协同作用,快速形成封闭支护,控制围岩松动变形^[2]。其次,喷锚支护不受断面形状限制,施工灵活,能适应各种不规则开挖面,满足桥隧工程复杂多变的支护需求。此外,恶劣环境下,喷锚支护机械化程度高,可远距离操作,大大改善了作业条件,保障了施工人员的安全。

(二) 确保施工进度与工程质量的必由之路

喷锚支护具有施工速度快、作业灵活的特点,喷射混凝土能与开挖同步进行,无需等待支护结构成型,大幅缩短了施工工期。同时,喷射机械化程度高,可实现远距离、全方位作业,弥补了空间受限区域的支护难题,显著提高了施工效率。此外,喷锚支护能快速形成封闭有效的初期支护,及时阻止围岩松动变形,为后续施工创造安全条件^[3]。喷层可在数小时内达到较高强度,有效约束围岩位移,防止过大变形影响衬砌施工质量。锚杆则通过注浆锚固,深入围岩增强整体稳定性,进一步提升支护效果。可见,喷锚支护技术在保障桥隧工程施工进度的同时,也为工程质量提供了坚实保障。

(三) 降低工程成本的经济之选

在桥梁隧道工程建设中,成本控制始终是备受关注的重点,喷锚支护所需的原材料主要为水泥、砂石骨料、速凝剂等,这些材料便于采购和运输,且用量相对较少,可有效降低材料成本。同时,喷锚施工高度机械化,劳动强度低,单位工程量所需人工费用大为减少。此外,得益于喷锚支护的快速施工特性,平面不规则的洞室断面可实施贴壁式支护,无需设置大型支撑系统或新砌隧道衬砌,施工工序简化明显,也由此缩短了总工期。而工期缩短意味着机械台班、人工工时等费用的节约。

三、桥梁隧道工程中的喷锚支护施工技术的应用

(一) 喷射混凝土配合比的优化设计

喷射混凝土性能的优劣直接关系到喷锚支护的施工质量和支护效果,而合理的配合比设计是确保喷射混凝土性能的关键。桥梁隧道工程中,喷射混凝土配合比设计需要综合考虑原材料特性、环境条件、设计要求等多方面因素,通过系统的试验研究和

优化调整,制定科学合理的配合比方案。

首先,在原材料选择方面,应根据工程所处环境条件和性能要求,选用强度等级适宜、与外加剂相容性好的水泥,并优选品质优良、级配合理的砂石骨料。尤其要重视骨料的级配优化,采用双掺或多掺技术,改善骨料级配,提高混凝土和易性和粘聚性,减少干喷回弹^[4]。

其次,在外加剂选用方面,应根据施工工艺需求,科学选择速凝剂、减水剂等外加剂品种和掺量。优选与水泥相容性好、能显著改善混凝土性能的高效外加剂,并通过适量掺加、优化组合,达到提高混凝土流动性、粘聚性,加快强度发展,改善干喷性能的目的。

再者,在配合比优化方面,应在满足设计强度和耐久性要求的前提下,通过科学试配,优化水胶比、砂率、掺合料用量等关键参数,使混凝土性能达到最佳平衡。对于喷射混凝土,要重点优化和易性、粘聚性、泵送性等新拌性能指标,兼顾早期强度和后期强度发展。必要时,还需开展现场试喷,评估混凝土实际喷射性能,并据此进一步完善配合比。

最后,喷射混凝土配合比设计还应与所采用的施工工艺相匹配。例如,采用湿喷工艺时,要特别注重混凝土的流动性和泵送性;采用干喷工艺时,要更加重视混凝土的粘聚性和抗离析性。同时,还应结合工程规模、施工强度等因素,合理确定混凝土拌合物的工作性能保持时间,避免发生早凝或离析现象。

(二) 锚杆体系的合理布置与构造

在桥梁隧道工程喷锚支护施工中,锚杆体系的合理布置与构造至关重要。锚杆参数的选择需综合考虑围岩类型、地应力状况、开挖方法等因素,以发挥锚杆加固围岩的最佳效果。对于围岩较为破碎、完整性差的区段,宜采用预应力锚杆或带锚托盘的树脂锚杆,并通过缩小排距、优化角度,增强锚杆对围岩的约束作用^[5]。对于较完整的围岩,可采用普通锚杆,合理控制锚杆长度和间距,达到较好的支护效果。锚杆施工还应与开挖进度密切配合,及时跟进作业,避免围岩应力卸荷引发的松动变形。

锚杆的构造需满足强度、刚度和耐久性要求。锚杆材质可选用热轧带肋钢筋、抗腐蚀钢筋或玻璃纤维筋等,并采取电镀等防腐措施。锚杆端部须设置专用连接件,确保锚杆与托盘可靠连接。对于永久性锚杆,要采用满足设计年限的封锚保护措施。锚杆注浆也是影响支护效果的关键因素。注浆材料应具有良好的流动性、凝结硬化性能与耐久性。注浆压力和用量须严格控制,以形成均匀密实的注浆体。对于易漏浆围岩,可采用阻塞剂控制钻孔漏浆。

桥梁隧道工程中锚杆体系的合理布置与构造须在设计阶段充分论证,在施工阶段精细管控,并与喷射混凝土形成联合支护,才能充分发挥喷锚支护体系对围岩稳定性控制的积极作用,为工程安全提供有力保障^[6]。

(三) 新材料、新工艺在喷锚支护中的应用

桥梁隧道工程喷锚支护施工技术的创新发展离不开新材料、新工艺的持续研究与应用。在喷射混凝土材料方面,以超高性能混凝土为代表的新型高强韧性材料备受关 注^[7]。这类材料通过优化

骨料级配、掺入高性能外加剂、复合纤维等，大幅提高了混凝土的抗压强度、抗拉强度和韧性，显著增强了喷层的抗裂性、抗冲刷性和耐久性，在复杂环境条件下展现出良好的适用性。部分纤维增强材料还具有可喷射性能，可直接用于隧道初期支护，减少施工工序，提高支护效率。

在锚杆材料方面，新型高强度锚杆钢材料不断涌现，热轧螺纹钢钢筋强度等级已发展到 HRB600 乃至更高，同时兼具良好的延性和焊接性能，能充分满足高应力或大变形环境下锚杆施工的要求^[8]。自凝混凝土锚固剂、复合树脂锚固剂、聚合物水泥砂浆锚固剂等新型锚固材料，具有凝结硬化快、流动性好、锚固力高等优点，为提高锚杆锚固质量、适应不同地质条件提供了更多选择。喷锚支护施工工艺与装备也实现了革新升级。湿喷机器人采用自动化数控系统，通过激光扫描、高精度定位等技术实现喷射轨迹、角度与厚度的精确控制，并结合视觉识别、机器学习算法，能够自主优化喷射操作，提高了混凝土喷层质量的均匀性，有效减少材料回弹损失^[9]。新型干喷设备配备除尘、除湿、加热等装置，改善了粉料输送性能，降低了施工粉尘污染，提升了施工环境品质。

（四）喷锚支护效果的动态监测与评估

喷锚支护效果的动态监测与评估是桥梁隧道工程喷锚支护施工不可或缺的重要内容。在喷锚施工过程中，需采用多点位、高精度的监测手段，全面获取围岩变形、支护结构应力、锚杆轴力等关键信息。利用自动化监测系统实现数据采集、无线传输、智

能分析，并结合数值模拟技术，能够深入揭示围岩变形机理与支护结构工作特性，为支护效果评估提供可靠依据^[10]。当监测数据出现异常时，必须及时启动预警机制，采取有针对性地补强加固措施，确保工程安全。另一方面，支护效果评估应贯穿于施工全过程，根据监测数据和现场条件，动态优化支护参数，实现喷锚支护效果的量化分析与反馈控制。建立健全喷锚支护效果的动态监测和科学评估体系，将现代信息技术与传统工程施工深度融合，是保证桥梁隧道工程安全高效建设、提升喷锚支护水平的关键举措。

四、结束语

综上所述，桥梁隧道工程喷锚支护施工技术是确保工程安全、提高施工效率的关键。本文从喷锚支护的作用机理出发，系统阐述了其在复杂环境下的适应性和必要性，重点探讨了喷锚支护施工的关键技术，包括喷射混凝土配合比优化、锚杆体系合理布置、支护效果动态监测评估，以及新材料新工艺的创新应用等，力求从材料、结构、工艺、检测、信息化等多维度全面解析喷锚支护技术的发展脉络。可以预见，随着现代科技和桥隧工程建设需求的不断进步，喷锚支护技术必将朝着材料高性能化、结构优化集成化、施工智能精细化、监测评估动态化的方向持续演进，为我国桥梁隧道工程建设提质增效，推动交通基础设施建设迈向更高水平。

参考文献

[1] 罗臣智. 公路桥梁隧道工程中的喷锚支护施工技术研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2021.
[2] 高亚鹏. 兰张三四线大岭沟明挖隧道黄土深基坑支护结构及地层变形规律研究 [D]. 兰州交通大学, 2023.
[3] 高云龙. 高原铁路隧道软岩大变形施工技术研究 [J]. 价值工程, 2023, 42(5):75-77.
[4] 王立昌. 水利工程隧道初期支护施工技术研究 [J]. 建筑机械, 2024(11).
[5] 曾令霞, 杨学兵. 公路桥梁隧道工程中喷锚支护施工技术 [J]. 中国地名, 2023(2):0181-0183.
[6] 李鳌. 东华山隧道机械化开挖施工及安全措施讨论 [J]. 低碳世界, 2024, 14(5):160-162.
[7] 王立昌. 水利工程隧道初期支护施工技术研究 [J]. 建筑机械, 2024(11).
[8] 肖明清, 徐晨, 崔岚, 等. 基于总安全系数法的喷锚组合支护承载能力试验研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2024(10).
[9] 侯勇, 易祖辉, 邹顺青, 等. 早高强单层喷锚衬砌在隧道支护中的应用研究 [J]. 交通节能环保, 2024, 20(3):13-16.
[10] 王海亭, 王征, 王壮壮, 等. 砂页岩缓倾地层隧道锚杆支护参数研究 [J]. 铁路技术创新, 2024(1):96-104.

公路工程业主进度管理的影响因素与应对措施

周林平

浙江省青田县交通运输局, 浙江 青田 323900

摘 要： 公路工程作为基础设施建设的重要组成部分，其进度管理对于工程的顺利完成和经济效益的发挥具有至关重要的作用。然而，在实际的工程管理中，业主方的进度管理面临着诸多影响因素，这些因素可能导致工程进度延误、成本增加等问题。本文旨在探讨公路工程业主进度管理的影响因素，并提出相应的应对措施。

关 键 词： 公路工程；业主进度管理；影响因素；应对措施

Construction and Application of Life-Cycle Cost Management Model for Highway Engineering

Zhou Linping

Qingtian County Transportation Bureau, Qingtian, Zhejiang 323900

Abstract： With the continuous development of the national economy and society, the demand for infrastructure construction is increasing, among which highway engineering is an important component, highlighting the significance of its cost management. Traditional project cost management models often limit themselves to the construction phase, neglecting cost management throughout the entire life cycle of a project, from decision-making, design, to operation and maintenance. To address this challenge, the life-cycle cost management model emerges at the right time. This paper aims to explore the construction and application of the life-cycle cost management model for highway engineering, achieving effective control and optimization of project costs by comprehensively considering the costs at various stages of the project.

Keywords： highway engineering; life cycle; cost management; cost control

公路工程作为基础设施建设的重要组成部分，其进度管理直接关系到工程建设的顺利进行和经济效益的发挥。然而，在实际的工程管理中，业主方的进度管理面临着诸多挑战和影响因素。本文旨在深入探讨公路工程业主进度管理的影响因素，并提出相应的应对措施，以期为公路工程的顺利推进提供有益参考。

一、公路工程业主进度管理的影响因素

（一）资金因素

资金，作为公路工程建设的基石，其充足性、流动性和使用效率直接关系到工程进度管理的成效。资金短缺或资金链断裂，无疑会成为工程进度推进的巨大障碍。因此，深入剖析资金因素对公路工程业主进度管理的影响，并提出有效的应对策略，对于确保工程按期完成具有重要意义。^[1]

资金短缺往往源于项目初期预算不足、融资困难或投资回报预期不佳等。这会导致施工队伍无法按时进场、关键设备无法采购、材料供应不足等一系列连锁反应，进而严重拖延工程进度。此外，即使资金总量充足，但如果资金分配不合理或使用效率低下，同样会对工程进度产生不利影响。^[2] 例如，资金未能及时到位，可能导致施工单位无法按计划开展施工活动；资金分配过于集中或分散，也可能造成资源浪费或施工瓶颈。

（二）技术因素

技术难题和施工技术水平是影响公路工程进度的另一关键因

素。随着公路工程建设规模的扩大和复杂度的提高，技术难题的解决和施工技术水平的提升变得尤为重要。

技术难题的解决需要时间和资源，这往往会对工程进度产生直接影响。例如，遇到复杂的地质条件时，需要进行详细的勘探和分析，以确定合理的施工方案；遇到特殊的交通组织需求时，需要制定详细的交通疏导方案，以确保施工期间交通畅通。这些工作都需要耗费大量的时间和精力，从而可能导致工程进度延误。

（三）材料因素

材料，作为公路工程建设不可或缺的物质基础，其供应的及时性和质量直接关系到工程进度管理的成效。材料供应不足或质量不达标，将直接导致工程施工受阻，进而影响工程进度。

材料供应的及时性，是确保工程进度顺利推进的关键因素之一。在公路工程建设过程中，往往需要大量的建筑材料和设备，如钢筋、水泥、砂石料、机械设备等。如果材料供应不及时，将严重影响施工计划的执行，导致工程进度延误。^[3] 此外，材料供应的质量也是至关重要的。如果材料质量不达标，将直接影响工

作者简介：周林平（1979.12—），汉族，大学本科，现就职于青田县交通运输局，担任青田县交通运输局乡村公路指导中心主任一职，研究方向：公路工程项目管理。

程质量，甚至可能导致工程返工或重建，从而进一步拖延工程进度。

（四）人为因素

人为因素，包括施工人员的素质、管理能力以及业主方的决策效率等，对公路工程进度管理具有重要影响。施工人员的技能水平和管理能力直接影响工程施工的质量和速度，而业主方的决策效率则关系到工程进度的推进速度。

施工人员的素质和管理能力，是确保工程进度和质量的关键因素之一。如果施工人员技能水平不高或管理能力不足，将导致施工效率低下、质量不稳定等问题，从而影响工程进度。此外，业主方的决策效率也是影响工程进度的重要因素。如果业主方决策效率低下，将导致施工计划无法及时得到批准和执行，从而影响工程进度。^[4]

（五）环境因素

环境因素，包括自然环境和社会环境，都会对公路工程进度产生影响。自然环境因素如恶劣天气、地质灾害等，可能导致施工受阻或延期；社会环境因素如政策变化、社会动荡等，也可能给工程进度带来不确定性。

二、公路工程业主进度管理的应对措施

（一）加强资金管理：构建稳健的公路工程资金保障体系

在公路工程业主进度管理中，资金管理是确保工程顺利推进的核心环节。业主方需构建一套完善的资金管理制度，以应对资金短缺、资金链断裂等潜在风险，确保资金能够及时到位并合理分配。^[5]

首先，业主方应制定详细的资金预算计划，根据工程规模、施工难度、材料价格等因素，合理估算工程所需资金，并预留一定的资金缓冲，以应对突发情况。同时，业主方应建立严格的资金审批流程，确保每一笔资金的支出都经过严格的审核和批准，避免资金浪费和挪用。

其次，业主方应加强与金融机构的合作，拓宽融资渠道，降低资金成本。通过与银行、信托、基金等金融机构建立长期合作关系，业主方可以获得稳定的资金来源，确保工程资金充足。此外，业主方还可以考虑引入社会资本，通过 PPP（政府和社会资本合作）等模式，吸引更多的资金投入，共同推动公路工程建设。^[6]

在资金分配方面，业主方应根据施工进度和实际需求，合理分配资金。对于关键施工环节和急需材料，应优先保障资金供应，确保施工顺利进行。同时，业主方还应加强对资金使用情况的监管和评估，及时发现和解决资金使用中的问题，提高资金使用效率。

（二）提升技术水平：推动公路工程技术创新与升级

技术水平的高低直接关系到公路工程施工的效率和速度。业主方应鼓励技术创新，提高施工技术水平，以应对复杂多变的地质条件和施工环境。

首先，业主方应加大对技术研发的投入，引进国内外先进的技术和设备，提升施工效率和施工质量。^[7]同时，业主方还应加强

与高校、科研机构等合作，共同开展技术研究和创新，推动公路工程技术进步。

其次，业主方应加强对施工人员的培训和教育，提高其技能水平和技术素养。通过组织技术交流会、培训班等活动，让施工人员掌握最新的施工技术和方法，提高施工效率和质量。此外，业主方还应建立激励机制，鼓励施工人员积极参与技术创新和研发工作，推动施工技术的不断升级。

在施工技术应用方面，业主方应推广先进的施工技术和管理经验，如预制构件技术、智能化施工技术等，提高施工效率和施工质量。同时，业主方还应加强对施工过程的监管和评估，确保施工技术符合规范和要求，避免施工质量问题的发生。

（三）优化材料管理：构建高效的公路工程材料供应体系

材料供应的及时性和质量对工程进度具有重要影响。业主方应建立完善的材料采购和供应体系，确保材料供应的及时性和质量。

首先，业主方应加强对材料市场的调研和分析，了解材料价格、供应渠道等信息，制定合理的材料采购计划。同时，业主方还应建立与供应商的长期合作关系，确保材料供应的稳定性和可靠性。

其次，业主方应加强对材料质量的监管和检测。通过建立严格的质量检测标准和流程，对采购的材料进行严格的检测和验收，确保材料符合施工要求。同时，业主方还应加强对施工过程中材料使用情况的监督和检查，及时发现和解决材料质量问题。^[8]

在材料库存管理方面，业主方应根据施工进度和实际需求，合理安排材料采购和库存。避免材料积压或短缺导致施工受阻。同时，业主方还应加强对库存材料的保管和维护，确保材料的质量和性能不受影响。

（四）提高人员素质：打造高效的公路工程施工管理团队

施工人员的素质和管理能力直接影响工程施工的质量和速度。业主方应加强对施工人员的培训和管理，提高其技能水平和管理能力。

首先，业主方应建立完善的培训体系，对施工人员进行定期的技能培训和安全教育。通过组织培训班、技术交流会等活动，让施工人员掌握最新的施工技术和安全知识，提高施工效率和质量。同时，业主方还应加强对施工人员的考核和评估，确保其技能水平和管理能力符合工程要求。^[9]

其次，业主方应加强对施工管理团队的建设和管理。通过建立高效的施工管理团队，明确各岗位职责和分工，确保施工过程的顺利进行。同时，业主方还应加强对施工管理团队的培训和考核，提高其综合素质和管理能力。

在施工人员管理方面，业主方应建立完善的激励机制和奖惩制度。通过设立奖励基金、晋升机会等措施，激发施工人员的积极性和创造力。同时，对于违反施工规定和操作规程的行为，业主方应给予相应的处罚和警告，确保施工过程的规范和安全。

（五）加强风险管理：构建全面的公路工程风险防控体系

在公路工程业主进度管理中，风险管理是确保工程顺利推进的重要保障。业主方应建立完善的风险管理制度，对可能影响工

工程进度的风险因素进行识别和评估，并制定相应的应对措施和预案。

首先，业主方应加强对风险因素的识别和评估。通过建立风险清单和风险评估模型，对可能影响工程进度的风险因素进行全面梳理和分析。同时，业主方还应加强对风险因素的监测和预警，及时发现和解决潜在风险。

其次，业主方应制定详细的风险应对措施和预案。针对不同类型的风险因素，制定相应的应对措施和预案。如对于资金短缺风险，可以调整施工计划、寻求外部资金支持等；对于技术难题风险，可以加强技术研发和创新、引进先进技术和管理经验等。同时，业主方还应建立应急响应机制，确保在突发情况下能够及时应对和恢复施工。

在风险管理过程中，业主方还应加强与政府和相关部门的沟通协调。及时了解政策变化和社会动态，确保项目能够顺利推进。^[10]同时，业主方还应积极参与社会公益活动和社会责任项目，提升企业形象和社会认可度，为工程项目的顺利推进创造良好的外部环境。

三、加强沟通与协作

在公路工程进度管理中，加强沟通与协作至关重要。业主方应加强与施工单位、设计单位、监理单位等各方之间的沟通与合作，共同解决工程进度中的问题和困难。通过建立良好的沟通机制和协作模式，确保工程进度得到顺利推进。

（一）构建多方沟通平台，促进信息共享

在公路工程进度管理中，构建一个高效、透明的多方沟通平台是加强沟通与协作的基础。业主方应主动牵头，搭建起施工单位、设计单位、监理单位等多方参与的沟通桥梁，确保各方能够及时、准确地获取工程进度、质量、安全等方面的信息。

这一平台可以是一个定期的工程进度协调会议，也可以是线上的信息共享系统。通过会议，各方可以面对面地交流工程进度、遇到的问题以及解决方案，确保信息的实时性和准确性。而线上信息共享系统则可以实现工程数据的实时更新和查询，让各方能够随时随地掌握工程进度和相关信息。

在构建沟通平台的过程中，业主方应注重平台的易用性和实用性，确保各方能够轻松上手并充分利用平台进行沟通与协作。同时，业主方还应加强对平台的维护和更新，确保平台的稳定性和安全性。

（二）强化团队协作意识，提升工作效率

加强沟通与协作不仅需要良好的信息平台，更需要各方具备强烈的团队协作意识。业主方应积极推动团队协作文化的建设，通过培训、宣传等方式，提升各方对团队协作重要性的认识。

在团队协作中，业主方应倡导开放、包容、互信的工作氛围，鼓励各方积极发表意见和建议，共同为工程进度的推进贡献力量。同时，业主方还应加强对团队协作的考核和激励，对于在团队协作中表现突出的单位和个人给予表彰和奖励，激发各方的积极性和创造力。

在团队协作中，业主方还应注重资源的整合和共享。通过整合各方的人力、物力、财力等资源，实现资源的优化配置和高效利用。同时，业主方还应加强对资源的监管和评估，确保资源的合理使用和避免浪费。

通过强化团队协作意识，各方可以更加紧密地配合和协作，共同应对工程进度中的问题和困难。这不仅可以提高工作效率，还可以增强团队的凝聚力和战斗力，为工程进度的顺利推进提供有力保障。

（三）建立问题解决机制，确保工程进度

在公路工程进度管理中，难免会遇到各种问题和困难。为了确保工程进度的顺利推进，业主方应建立一套高效的问题解决机制。

这一机制应包括问题的收集、分析、解决和反馈等环节。业主方应鼓励各方积极发现和上报问题，确保问题能够得到及时的处理和解决。同时，业主方还应加强对问题的分析和研究，找出问题的根源和解决方案。

在问题解决过程中，业主方应充分发挥各方的专业优势和技术力量，共同制定解决方案并付诸实施。同时，业主方还应加强对解决方案的监督和评估，确保解决方案的有效性和可行性。

四、结论

综上所述，公路工程业主进度管理面临着诸多影响因素和挑战。为了有效应对这些挑战，业主方需要加强资金管理、提升技术水平、优化材料管理、提高人员素质以及加强风险管理等方面的工作。同时，加强沟通与协作也是确保工程进度顺利推进的关键。通过这些措施的实施，业主方可以更有效地控制工程进度，提高工程建设的质量和效益。

参考文献

- [1] 郝绍森. 公路工程项目管理关键问题分析 [J]. 绿色环保建材, 2019(11): 104, 107.
- [2] 蒲建林, 王凤恩, 武丽, 刘国利, 李贝贝. 建筑工程进度管理的影响因素与应对措施 [J]. 中外企业家, 2021(9): 76.
- [3] 夏茜. 公路工程项目管理进度影响因素与控制措施 [J]. 工程技术 (全文版), 2017(12): 135.
- [4] 陶龙飞. 公路工程项目业主应如何加强项目建设管理 [J]. 运输经理世界, 2023(6): 65-67.
- [5] 伏永祥. 公路工程项目业主加强项目建设管理的措施分析 [J]. 林业科技情报, 2023(4): 132-134.
- [6] 王骏. 关于公路工程业主方项目管理现状及对策 [J]. 汽车博览, 2023(23): 150-152.
- [7] 徐梅. 工程计量及合同管理在公路工程中的应用 [J]. 运输经理世界, 2023(28): 37-39.
- [8] 魏杰, 侯玉, 张静晓. 业主方视角下高速公路智慧建造框架与应用 [J]. 施工技术 (中英文), 2023(1): 153-158.
- [9] 陈辉. 公路工程管理中进度管理的创新策略探究 [J]. 中华建设, 2023(2): 28-30.
- [10] 蒋明举. 公路工程管理中质量与进度的合理控制研究 [J]. 运输经理世界, 2023(14): 56-58.

工业固体废物治理与减量化管理的探索与实践

冯小洁

唐山市环境规划科学研究院（唐山市生态环境宣传教育中心），河北 唐山 063000

摘 要： 工业的快速发展使得工业固体废物的产生量不断增加，而其对环境造成了严重的污染和破坏。针对于此情况，本文深入探讨了工业固体废物治理与减量化管理的重要性，同时还分析了当前工业固体废物治理面临的问题。结合国内外先进经验的研究，为当前问题提出了一系列工业固体废物治理与减量化管理的探索与实践措施，旨在为提高工业固体废物治理水平以及实现可持续发展提供有益的参考。

关 键 词： 工业固体废物；治理；减量化管理；探索实践

Exploration and Practice of Industrial Solid Waste Treatment and Reduction Management

Feng Xiaojie

Tangshan Research Institute of Environmental Planning (Tangshan Ecological Environment Publicity and Education Center), Tangshan, Hebei 063000

Abstract： With the rapid development of industry, the amount of industrial solid waste is increasing, which has caused serious pollution and damage to the environment. In view of this situation, this paper deeply discusses the importance of industrial solid waste management and reduction management, and also analyzes the current problems faced by industrial solid waste management. Combined with the research of advanced experience at home and abroad, a series of exploration and practical measures for the treatment and reduction management of industrial solid waste are put forward, aiming at providing useful reference for improving the treatment level of industrial solid waste and realizing sustainable development.

Keywords： industrial solid waste; governance; reduction management; exploration and practice

引言

工业固体废物治理与减量化管理已成为当前环境保护工作的重要任务之一。而经过加强工业固体废物治理与减量化管理，不仅可以减少固体废物对环境的污染，同时还可以提高资源利用效率，最终则能够实现可持续发展。

一、工业固体废物治理与减量化管理的重要性

（一）保护环境

工业固体废物中含有大量的有害物质，如重金属、有机物、放射性物质等。对其如果不加以治理和处置，就会对土壤、水体、大气等环境造成严重的污染和破坏。因此需要通过加强工业固体废物治理与减量化管理，来有效地减少固体废物的产生量和排放量，进而降低对环境的污染风险。

（二）节约资源

工业固体废物中含有大量的可回收利用资源，如金属、塑料、纸张等。而加强工业固体废物治理与减量化管理，可以通过回收利用这些资源，实现资源的循环利用，达到减少对自然资源的开采和消耗与节约资源^[1]。

（三）促进可持续发展

因为可持续发展要求在满足当前经济发展需求的同时，不损害

未来世代满足其自身需求的能力。而工业固体废物治理与减量化管理可以减少对环境的污染和破坏，以及节约资源，从而为经济社会的可持续发展提供保障。所以基于当前社会环境而言，加强工业固体废物治理与减量化管理是实现可持续发展的重要举措。

二、当前工业固体废物治理面临的问题

（一）法律法规不完善

目前我国关于工业固体废物治理的法律法规还不够完善，其中还存在一些漏洞和不足之处。例如对于工业固体废物的定义、分类、管理范围等方面的规定还不够明确；对于工业固体废物产生者、运输者、处置者等各方的责任和义务规定还不够具体；对于工业固体废物违法行为的处罚力度还不够大等。

（二）监管力度不足

工业固体废物治理一般会涉及到多个部门，如环保、发改、

工信、住建等部门。但现阶段各部门之间的职责分工还不够明确，且协调配合还不够紧密，因而导致监管力度不足。此外由于监管手段落后、监管人员不足等原因，也使得对于工业固体废物的监管难以做到全面、及时、有效。

（三）技术水平落后

我国在工业固体废物治理方面的技术水平还比较落后，主要体现在缺乏先进的处理处置技术和设备。当前我国主要采用填埋、焚烧等传统的处理处置方式，但这些方式不仅占用大量的土地资源，其还会产生二次污染。而对于一些新型的工业固体废物，如电子废物、废旧电池等，也还缺乏有效的处理处置技术^[2]。

（四）企业责任意识不强

现阶段一些企业对工业固体废物治理的重要性认识不足，其在工作缺乏环保意识和社会责任感。在生产过程中为了降低成本，这些企业往往会忽视对工业固体废物的管理和处置，随意排放、倾倒工业固体废物，而此做法给环境造成了严重的污染和破坏。

（五）公众参与度不高

公众对工业固体废物治理的认识还比较有限，并且其参与度也不高。原因在于在日常生活中，公众对工业固体废物的产生、排放、处理处置等环节缺乏关注和监督，同时其也很少参与到工业固体废物治理的行动中来。

三、工业固体废物治理与减量化管理的探索与实践

（一）完善法律法规

1. 细化工业固体废物分类标准

表 1：工业固体废物分类示例

行业	工业固体废物类型	特征	危害程度	管理措施
化工行业	危险废物	含有大量有害物质	高	严格按照危险废物管理规定进行处置
机械制造业	一般工业固体废物	相对危害较小		

对不同行业、不同性质的工业固体废物进行详细分类，其中要明确各类固体废物的特征和危害程度。例如将化工行业产生的危险废物与机械制造业产生的一般工业固体废物区分开来，并且为其分别制定针对性的管理措施。同时还应建立动态的分类调整机制。此机制要随着工业技术的发展和新型废物的出现，及时更新相关分类标准，进而确保法律法规能够涵盖所有类型的工业固体废物。

2. 明确责任主体及法律义务

确定工业固体废物产生企业、运输企业、处理处置企业等各环节的责任主体，并且明确其在固体废物产生、收集、运输、储存、利用和处置过程中的法律义务。并且要规定企业必须建立健全工业固体废物管理制度，其中包括台账记录、申报登记、内部管理流程等，从而确保废物的全过程管理有法可依。

3. 完善监管执法依据

（1）制定详细的工业固体废物监管执法程序 and 标准，以此明

确监管部门的职责、权限和执法方式，并确保监管执法的规范性和有效性。

（2）建立健全工业固体废物环境影响评价制度，其中要求新建、改建、扩建项目必须对工业固体废物的产生、处理处置进行环境影响评价，还要对其制定相应的防治措施。

（3）完善工业固体废物污染环境损害赔偿制度，应在当中明确赔偿范围、赔偿标准和赔偿程序，重视为受到固体废物污染损害的单位和个人提供法律救济途径。

（二）强化监管力度

1. 建立多部门协同监管机制

明确环保、发改、工信、住建、交通等部门在工业固体废物治理中的职责分工，并建立部门间的信息共享和协调联动机制。另外还应定期召开联席会议，在会议当中共同研究解决工业固体废物治理中的重大问题，如跨区域固体废物转移、危险废物处置设施建设等。

表 2：各部门在工业固体废物治理中的职责

部门	职责
环保部门	负责工业固体废物的环境监管
发改部门	参与工业固体废物处理设施建设规划等
工信部门	推动工业企业清洁生产等
住建部门	参与工业固体废物处理设施建设等
交通部门	负责工业固体废物运输监管

2. 加强日常监管和专项检查

加大对工业固体废物产生企业的日常监管力度，即需要定期检查企业的固体废物管理制度执行情况、台账记录、污染防治设施运行情况等。除此针对重点行业、重点区域和重点企业应开展专项检查，如化工园区、电子垃圾处理企业等，确保能及时发现问题和解决存在的问题。

同时应跟随时代发展，在实践中建立工业固体废物监管信息平台，以实现从固体废物产生、运输、处理处置全过程的实时监控和信息化管理。

3. 提高监管执法能力

（1）加强监管执法队伍建设，需要增加监管人员数量，以及提高监管人员的专业素质和业务能力。

（2）配备先进的监管执法设备，如便携式检测仪器、无人机等，借此提高监管执法的效率和准确性。

（3）建立健全监管执法考核评价机制，以此机制为标准对监管部门和监管人员的工作进行定期考核评价，进而激励监管部门和监管人员认真履行职责^[3]。

（三）推进技术创新

1. 研发先进的处理处置技术

加大对工业固体废物处理处置技术研发的投入，应注重鼓励科研机构、高校和企业开展联合攻关，促使其研发适合我国国情的先进处理处置技术。其重点应关注研发高附加值、低污染的资源化利用技术，如废旧塑料、废旧金属的回收利用技术以及工业废渣的综合利用技术等。同时还需要积极探索新型的无害化处理技术，如高温熔融、等离子体处理等技术，进而提高危险废物的

处理处置水平。

2. 推广应用先进的技术装备

建立工业固体废物处理处置技术示范工程,助力推广应用先进的技术装备和处理工艺,如焚烧炉、填埋场防渗系统、危险废物固化设备等。为此要制定鼓励政策,以引导企业采用先进的技术装备和处理工艺,从而提高工业固体废物的处理处置效率和质量。还要加强对技术装备的研发、生产和应用的监管,确保企业使用技术装备的安全可靠、环保达标。

3. 加强国际技术交流与合作

一方面要积极引进国外先进的工业固体废物处理处置技术和管理经验,与其合作开展国际合作项目,借此机会提高我国工业固体废物治理的技术水平。另一方面还应组织国内企业和科研机构参加国际学术交流会议和技术展览,促使各个企业均能了解国际前沿技术动态,拓展自己的国际合作渠道。

(四) 加强企业责任意识

1. 加强企业内部管理

企业要建立健全工业固体废物管理制度,并且在制度中要明确各部门和岗位的职责,如此才能加强对固体废物产生、收集、运输、储存、利用和处置等环节的管理。同时还应加大对员工的培训力度,通过提高员工的环保意识和业务水平,来确保员工在实践中能进行正确操作和管理工业固体废物。

2. 推进清洁生产和循环经济

企业要积极推行清洁生产,从源头上减少工业固体废物的产生量。据此可通过改进生产工艺、优化原材料使用、提高资源利用率等措施,来降低固体废物的产生强度。除此还应发展循环经济,即加强对工业固体废物的资源化利用。而此时企业要积极开展资源综合利用项目,努力将工业固体废物转化为可再利用的资源,以提高资源利用效率。

3. 加强信息公开和社会监督

企业要按照法律法规的要求接受社会公众的监督,及时地向社会公开工业固体废物的产生、处理处置等信息。政府可以建立企业环境信用评价制度,即将企业的固体废物管理情况纳入环境信用评价体系。其中对环境信用良好的企业给予激励政策,而对环境信用不良的企业进行联合惩戒^[4]。

(五) 促进公众参与

1. 加强宣传教育

(1) 开展多种形式的宣传教育活动,来提高公众对工业固体废物治理的认识和关注度。对此可通过电视、报纸、网络等媒体,向公众宣传工业固体废物的危害、治理方法和重要意义。

(2) 组织开展环保志愿者活动,借助活动鼓励公众参与工业固体废物的分类收集、监督举报等工作,进而提高公众的环保意识和参与热情。

(3) 加强对中小学生的环境教育,可以将工业固体废物治理知识纳入学校教育内容,以此培养学生的环保意识和责任感。

2. 拓宽公众参与渠道

首先可以建立健全公众参与机制拓宽公众参与渠道。如设立举报电话、电子邮箱、微信公众号等,便于公众举报工业固体废物违法违规行为。其次可以邀请公众代表参加工业固体废物治理的决策过程,如听证会、座谈会等,从中听取公众的意见和建议,进而提高决策的科学性和民主性。在此应鼓励公众参与工业固体废物处理处置设施的建设和运营监督,以提高设施的运营效率和环境安全性。

3. 建立激励机制

建立公众参与工业固体废物治理的激励机制,对于积极参与的公众给予表彰和奖励。例如设立环保志愿者奖、举报奖励等,均能激发公众的参与热情。并且应鼓励社会组织和企业开展环保公益活动,要为公众参与工业固体废物治理提供平台和支持。除此还应加强对公众参与工业固体废物治理的法律保障,以确保公众的合法权益不受侵犯。

四、结语

实践之中工业固体废物治理与减量化管理是一项长期而艰巨的任务,其需要政府、企业、公众等各方共同努力。对此可通过完善法律法规、强化监管力度、推进技术创新、加强企业责任意识以及促进公众参与等措施,来有效地提高工业固体废物治理水平。最终实现工业固体废物的减量化、资源化和无害化,为保护环境、节约资源、促进可持续发展做出自己的贡献。

参考文献

-
- [1] 朱益明. 工业固体废物填埋处置设施的建设与管理研究 [D]. 江苏省: 南京农业大学, 2007.
- [2] 许冠英, 罗庆明, 温雪峰, 等. 广东固体废物分类管理的探索与实践 [C] // 中国环境科学学会. 2010中国环境科学学会学术年会论文集 (第四卷). 中国上海市上海市, 2010: 242-245.
- [3] 金镜, 何立山, 沈梦兰, 等. 工业固体废物填埋处置设施的建设与管理研究 [J]. 资源节约与环保, 2018, 33(06): 136-136.
- [4] 罗锦程. 以色列固体废物管理探索与实践——以西里资源回收园为例 [J]. 世界环境, 2020, (03): 40-42.

电力用户满意度对电力营销的影响分析

朱鹏飞¹, 周黎²

1. 武汉市供电公司青山供电中心, 湖北 武汉 430000

2. 武汉供电公司, 湖北 武汉 430000

摘要： 电力用户满意度是衡量电力服务质量和用户对电力公司服务认可度的重要指标，它直接关系到公司的市场竞争力和可持续发展能力。针对于此本文首先分析了电力用户满意度的理论基础，随后阐述了提升电力用户满意度对电力营销的重要性，并针对实际开展中存在的问题，提出了相应的优化策略，期望能为电力用户的满意度提升与电力营销效果提供帮助。

关键词： 电力用户；用户满意度；电力营销

Analysis of the Impact of Electricity User Satisfaction on Electricity Marketing

Zhu Pengfei¹, Zhou Li²

1. Qingshan Power Supply Center of Wuhan Power Supply Company, Wuhan, Hubei 430000

2. Wuhan Power Supply Company, Wuhan, Hubei 430000

Abstract： Power user satisfaction is an important indicator for measuring the quality of power services and the recognition of power company services by users. It directly relates to the company's market competitiveness and sustainable development capabilities. In response to this, this article first analyzes the theoretical basis of power user satisfaction, then elaborates on the importance of improving power user satisfaction for power marketing, and proposes corresponding optimization strategies for the problems that exist in practical implementation, hoping to provide assistance for improving power user satisfaction and the effectiveness of power marketing.

Keywords： electricity users; user satisfaction; electricity marketing

引言

在当今社会电力作为基础能源，供应的稳定性和服务质量直接影响着国民经济的发展和人民生活水平的提高。随着市场经济的发展和电力体制改革的深入，电力用户对电力服务的要求越来越高，用户满意度已成为电力企业关注的焦点。电力用户满意度不仅反映了用户对电力产品和服务的满意程度，而且是电力企业市场定位、服务创新和品牌建设的重要依据。因此，深入分析电力用户满意度对电力营销的影响，对于电力企业制定科学合理的营销策略，提高市场竞争力，实现可持续发展具有重要意义。

一、电力用户满意度的理论基础

（一）用户满意度的定义与内涵

用户满意度是指当用户在使用完企业生产的产品或服务后，用户自身的期望指数与实际体验感官之间的匹配程度。当用户完成消费后的实际体验超过期望时，用户就会感到满意；反之则会感到不满意。用户满意度的这一理论基础主要来源于市场营销和消费者行为学，其中最著名的模型之一是卡多佐（Cardozo）在1965年提出的期望不一致模型（Expectancy Disconfirmation Model）。该模型认为，用户满意度是用户期望与实际性能之间的差异函数。如果实际性能超出期望，用户满意度会提高；如果实际性能低于期望，用户满意度则会降低。

电力用户满意度则特指用户在使用电力产品和服务过程中的

满意程度。电力作为一种特殊商品，其用户满意度不仅涉及电力供应的可靠性、稳定性、价格等因素，还包括客户服务、账单透明度、响应速度等多个维度^[1]。

（二）用户满意度的测量方法

当前，电力用户的相关满意度理论基础主要建立在服务质量和客户满意度的研究之上。现在常用的用户满意度的测量方法首先是问卷调查。电力企业在用户满意度调查中通过设计如供电可靠性、服务质量、价格合理性、账单清晰度、客户服务态度等层面的问题，收集用户对电力服务的直接反馈。问卷通常采用李克特量表，让用户对每一项服务给出从“非常不满意”到“非常满意”的评分。除去调查问卷之外深度访谈和焦点小组讨论也是重要的测量手段。企业在实施中一般通过与用户的面对面交流来更深入地了解用户对电力服务的具体意见和建议，以及他们对服务改进的期望。这

作者简介：朱鹏飞（1979.11-），男，汉族，湖北省武汉市，本科，高级工程师，研究方向：配电运行及电力营销。

种方法有助于挖掘问卷调查中可能无法触及的深层次问题。

（三）用户满意度的影响因素

对于当前的大多电气相关企业而言，进行电力用户满意度调查时主要涉及服务质量、价格、可靠性、响应性、保证性和移情性等关键因素。在这些因素中，服务质量是影响用户满意度的核心因素之一。而电力供应的稳定性和连续性直接影响用户的日常生活和生产活动，若电力在日常供应中断频繁或电压不稳定，用户满意度自然会降低。与此同时价格因素也不容忽视。电力价格的合理性直接关系到用户的经济负担。如果电力价格过高，即使服务质量良好，用户也可能因为经济压力而感到不满。而可靠性是用户对电力服务的基本要求。电力公司必须确保在各种天气和条件下都能提供稳定的电力供应^[2]。

二、提升电力用户满意度对电力营销的意义

（一）增强客户忠诚度

提升电力用户满意度对于当前的电力公司开展电力营销具有至关重要的意义，尤其是在增强客户忠诚度方面。在具体的提升策略应用中，电力公司需要通过提供稳定与可靠的电力供应来满足用户的基本需求。这就要求电力公司不仅要在电力日常运行中减少停电次数和持续时间，还要确保电力质量符合标准，避免电压波动等问题。其次电力公司应通过优化客户服务流程，提供快速响应和高效解决问题的能力，从而提升用户的整体体验。

（二）促进口碑传播与推荐

随着近几年电力市场竞争的不断加剧，使得当前企业提升电力用户满意度对电力营销的意义愈发显著。这是因为对于电力企业而言，一个满意的用户不仅会成为忠实的客户，更会通过口碑传播成为企业最有力的推荐者。所以为了促进口碑传播与推荐内容，电力公司需要在服务质量和用户体验上下足功夫。例如某电力公司推出了一项智能电网服务，通过安装智能电表，用户可以实时监控自己的用电情况，并通过手机应用进行电费查询和支付。这种便捷的服务大大提高了用户满意度。公司还定期向用户发送用电建议和节能小贴士，帮助用户降低电费支出，进一步增强了用户的忠诚度。用户在体验到这些便利后，很自然地会在亲朋好友间推荐这项服务，从而形成正面的口碑传播^[3]。

（三）降低客户流失率

在电力公司降低客户流失率层面，进行电力用户满意度提升同样具有现实意义。通过提高用户满意度，电力公司能够减少客户流失，保持稳定的客户基础，这对于公司的长期发展至关重要。在企业用户满意度的提升过程中，一个对于企业满意的客户更有可能成为公司的忠实客户，同时他们不仅会持续使用公司的服务，而且还会通过口碑推荐吸引新客户。这种正面的口碑效应可以显著降低公司的营销成本，同时提高市场竞争力。除此之外电力公司提升用户满意度还有助于减少客户投诉和负面反馈，从而降低公司处理客户问题的成本。当客户对电力服务感到满意时，他们遇到问题时更愿意与公司合作寻找解决方案，而不是直接选择离开。

（四）提高企业品牌形象与市场竞争力

针对当前复杂的市场环境，电力行业正面临着前所未有的挑战和机遇。而传统电力企业不仅要应对传统能源成本的波动，还要适应新能源并网、储能技术的应用以及电力市场化改革带来的影响。所以电力公司在这样的背景下，提升电力用户满意度显得尤为重要。提升用户满意度能够提高用户满意度有助于提升企业品牌形象与市场竞争力。在竞争日益激烈的市场环境中，电力企业通过提供优质的客户服务、创新的电力解决方案和高效的故障处理机制，能够充分在用户群体中树立良好的企业形象。例如某电力公司通过建立24小时客户服务热线和在线服务平台及时响应用户需求，有效解决了用户的各类问题，最终在问题迅速解决后赢得了用户的广泛赞誉。这不仅提升了企业的品牌形象，还增强了其其在市场中的竞争力。

三、开展电力营销时提升电力用户满意度的阻碍

（一）服务质量不稳定与响应速度慢

在当前企业的电力营销过程中，提供产品时服务质量不稳定和响应速度的缓慢已经逐渐成为提升用户满意度的主要障碍之一。对于一个电力公司来说，若不能提供一致且高质量的服务将直接影响用户的体验。例如当电力产品发生故障用户在报修时，若维修人员的专业技能参差不齐或服务态度不一，就会直接导致用户对电力公司的整体印象大打折扣。除此之外若是故障发生时的响应速度慢，也意味着用户在遇到紧急问题时不能得到及时的帮助，这不仅影响用户的日常生活，还可能造成安全隐患。

（二）电力价格透明度不足与费用争议

对于当前的一些电力企业而言，存在用户满意度提升中的电力价格透明度不足以及由此产生的费用争议问题。该问题的产生原因往往较为多样，一方面是由于市场上的电力价格形成机制复杂，因用户对电费的计算方式理解不足导致价格信息不够透明。而另一方面这是存在一些电力企业未能提供清晰的费用明细，使得用户在电费支出上存在疑虑。这些因素不仅损害了用户的利益，也影响了企业的形象与信誉。费用争议频发，进一步加剧了用户的不满情绪，成为电力企业提高用户满意度必须正视和解决的问题。

（三）电力供应不稳定与停电问题频发

随着经济的快速发展和城市化进程的不断加速，社会对于电力需求日益增长，其中电力供应的稳定性成为了社会关注的焦点。然而在近年来的电力企业产品提供中，电力供应不稳定与停电问题频发严重阻碍了电力营销的开展，同时这一现象也影响了电力用户的满意度。具体而言当前的电力供应不稳定主要表现在电压波动和频率不稳定上。这是因为电压波动会导致家用电器使用寿命缩短甚至损坏，而频率不稳定则会影响工业生产中的精密设备运行，造成生产效率下降。这些问题在发生时不仅增加了用户的维修成本，还降低了用户对电力服务的信任度。

（四）缺乏个性化服务与用户需求理解不足

在当前电力企业的电力营销过程中，去提升用户满意度是至

关重要的。然而在当前企业的提升过程中存在一些阻碍因素，其中之一就是缺乏个性化服务与用户需求理解不足。这是因为大多数的电力公司往往采用“一刀切”的服务模式，未能充分考虑不同用户群体的特定需求。例如工业用户和居民用户对电力的需求差异很大，工业用户可能更关注电力供应的稳定性和成本效益，而居民用户可能更关心电费的透明度和便捷的支付方式。如果电力公司不能提供差异化的服务，就很难满足这两类用户的不同需求^[4]。

四、开展电力营销时提升电力用户满意度的优化策略

（一）提升服务团队的专业技能和服务意识

在如今电力企业开展电力营销时，实施提升电力用户满意度的优化策略时不仅需要关注技术层面的改进，更需要在服务团队的专业技能和服务意识上下功夫。针对于此企业应定期对服务团队进行专业技能培训，进一步去充分确保他们对电力系统的运行原理、故障排查、维修流程等有深入的了解。企业可以通过模拟演练、案例分析等方式，去提高团队的应急处理能力和问题解决效率。除此之外企业还需要重点去强化服务团队的服务意识。在服务团队的相关培训中应树立以用户为中心的服务理念，主动在服务前了解用户需求，从而针对性的提供个性化服务方案。通过建立用户反馈机制，及时收集用户意见和建议，不断优化服务流程，提升服务质量^[5]。

（二）建立透明的费用争议解决机制

随着近些年来电力市场的不断发展和电力用户需求的日益多样化，使得当前企业去提升电力用户满意度已经成为了电力营销工作的核心目标。所以为了更好的实现这一目标，建立透明的费用争议解决机制显得尤为重要。这就要求企业在具体的实施过程中，应公开费用的计算方式和标准，确保用户能够清晰了解自己的电费构成。企业可以通过建立一个透明的费用信息平台，用户可以随时查询到自己的用电量、电价以及各项附加费用，从而提高费用的透明度和用户的信任度。

（三）加大电网建设和维护投入

电力公司为了解决电力供应不稳定与停电问题频发的问题，

开展电力营销时提升电力用户满意度的优化策略之一是加大电网建设和维护投入。在这一策略的实施过程中，公司需要重新对现有电网进行彻底的检查和评估，以此来识别出薄弱环节和潜在的风险点，随后根据检查结果然后制定出相应的升级和改造计划。这其中应包括更新老旧的输电线路和变电站设备，采用更先进的技术和材料，以提高电网的稳定性和传输效率。除此之外电力公司应做到与时俱进加大投资智能电网技术，可以通过安装智能电表和传感器，实现对电网运行状态的实时监控和数据分析。这不仅有助于快速发现并解决故障，还能通过需求响应管理优化电力分配，减少不必要的浪费和负荷峰值。

（四）定期进行用户需求调查

为了更好地了解电力用户的需求和期望，电力公司还需要应定期开展用户需求调查。在具体的实施过程中，电力公司的这些调查可以通过多种方式实施。通过在线问卷、电话访问、面对面访谈以及社交媒体互动这些调查，电力公司能够收集到用户对电力服务的直接反馈，包括但不限于供电稳定性、电费透明度、客户服务质量和响应速度等方面。调查结果应被详细分析，以识别用户满意度的潜在问题和改进领域。例如如果大量用户反映电费计算不透明，电力公司可以考虑优化计费系统，提供更清晰的账单说明。如果用户普遍对客户服务的响应时间不满意，公司则需要加强客服团队的培训和资源配置。

五、结语

综上所述，电力用户满意度的提升对于电力企业而言，不仅是提高客户忠诚度、促进口碑传播、降低客户流失率和增强企业品牌形象的关键，也是应对市场竞争、提升市场竞争力的重要手段。然而，在实际操作中，电力企业面临着服务质量不稳定、价格透明度不足、供应不稳定和缺乏个性化服务等挑战。为了克服这些障碍，电力企业需要采取一系列优化策略，包括提升服务团队的专业技能和服务意识、建立透明的费用争议解决机制、加大电网建设和维护投入以及定期进行用户需求调查。通过这些措施，电力企业能够更好地满足用户需求，提升用户满意度，从而在激烈的市场竞争中脱颖而出，实现可持续发展。

参考文献

[1] 王健, 张绪霞, 李海东, 等. 电力企业桌面终端与外设一体化运维模式探索与应用 [J]. 山东电力高等专科学校学报, 2024, 27(05): 70-74.
[2] 赵永嘉. 基于机器学习的短期电力负荷预测及考虑用户响应的分时电价研究 [D]. 南昌大学, 2024.DOI: 10.27232/d.cnki.gnchu.2024.003105.
[3] 代业明, 李永恒, 齐尧. 基于用户行为和需求调峰的电力市场交易机制研究 [J/OL]. 系统工程理论与实践, 1-20[2024-11-26].http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2267.N.20240515.1239.019.html.
[4] 王成龙. 面向用户隐私保护与满意度的新能源消纳促进算法研究 [D]. 黑龙江大学, 2024.DOI: 10.27123/d.cnki.ghlju.2024.001241.
[5] 邓昭, 殷果, 白寒. 基于扎根理论和结构方程模型的外卖电动车设计方法 [J]. 机械设计, 2024, 41(01): 211-217.DOI: 10.13841/j.cnki.jxsj.2024.01.034.

林业产业数字化转型：现状、挑战与创新路径

吴长飞¹, 方万力², 季雅玲³, 刘晨曦⁴

1. 龙泉水上垟镇林业工作站, 浙江 丽水 323700

2. 钱江源—百山祖国家公园龙泉保护中心, 浙江 丽水 323700

3. 龙泉水八都镇林业工作站, 浙江 丽水 323700

4. 龙泉水小梅镇林业工作站, 浙江 丽水 323700

摘要： 本研究分析了林业产业数字化转型的现状、挑战与创新路径。研究发现，数字化技术在林业资源管理、生产、加工和流通环节得到广泛应用，提升了效率与质量。然而，转型面临技术难题、人才短缺、政策不足和市场不确定性等挑战。为应对这些挑战，提出了技术创新、人才培养、政策支持和市场培育等策略。案例分析展示了企业 A 和 B 在数字化转型中的成功经验，为其他林业企业提供了借鉴。

关键词： 林业产业；数字化转型；现状分析；挑战；创新路径

Digital Transformation of the Forestry Industry: Current Status, Challenges, and Innovation Paths

Wu Changfei¹, Fang Wanli², Ji Yaling³, Liu Chenxi⁴

1. Forestry Workstation, Shangyang Town, Longquan City, Lishui, Zhejiang 323700

2. Qianjiangyuan-Baishanzu National Park Longquan Protection Center, Lishui, Zhejiang 323700

3. Forestry Workstation, Badu Town, Longquan City, Lishui, Zhejiang 323700

4. Forestry Workstation, Xiaomei Town, Longquan City, Lishui, Zhejiang 323700

Abstract： This study analyzes the current status, challenges, and innovation paths of digital transformation in the forestry industry. The research finds that digital technology has been widely applied in forestry resource management, production, processing, and circulation, improving efficiency and quality. However, the transformation faces challenges such as technical difficulties, talent shortages, inadequate policies, and market uncertainties. To address these challenges, strategies such as technological innovation, talent cultivation, policy support, and market cultivation are proposed. Case studies demonstrate the successful experiences of companies A and B in digital transformation, providing references for other forestry enterprises.

Keywords： forestry industry; digital transformation; current status analysis; challenges; innovation paths

引言

在全球数字化浪潮的推动下，林业产业积极寻求转型。传统林业经营模式粗放，面临资源管理低效、生态保护难题以及产业竞争力薄弱等问题。随着物联网、大数据、人工智能等技术兴起，林业迎来转型升级契机。我国森林资源复杂，传统人工巡查与纸质记录难以满足管理需求。数字化技术，如卫星遥感、无人机监测等，能实时获取森林动态信息，助力科学决策。同时，通过预警和预测模型，可有效防控灾害。此外，数字化转型还能延伸产业链，发展林业电商等新业态，提升产业竞争力。

一、林业产业数字化转型的现状分析

（一）数字化技术在林业资源管理中的应用

遥感技术在森林资源监测中作用关键，其具备宏观、快速、动态监测能力，能捕捉大面积森林的光谱信息与地形地貌，为全面监测森林资源提供便利。在某大型国有林区，高分辨率卫星遥感影像与 GIS、GPS 相结合，构建了高效的森林资源动态监测体系。通过对比不同时期卫星影像，可精准监测森林面积变化，

及时察觉非法盗伐、森林火灾、病虫害等问题，并迅速应对。此外，借助分析植被光谱特征和计算植被指数（如 NDVI），还能监测森林植被生长状况，评估森林健康程度。同时，GIS 技术在林业资源规划中不可或缺。在某国有林场，GIS 建立了森林资源地理信息数据库，凭借空间分析功能实现森林资源精细化管理与科学规划。结合遥感影像和地面调查数据，GIS 提升了森林资源清查的效率与准确性，为林业生产规划提供决策支持，兼顾资源利用效率与生态保护效果。

物联网技术（IoT）具体指的是通过红外感应、射频识别等信息传感技术，并按照相应的网络协议，将所有物品与互联网连接在一起，从而进行信息通信和交换，实现物品的智能化识别、监控、定位、追踪和管理。但在林业管理中，由于林业资源具有空间分布宽阔、时间周期较长等特征，因此林业数据收集起来较为麻烦，且难以保证数据信息的及时性和完整性^[1]。在某国家级自然保护区，基于物联网的森林生态监测系统通过部署多种传感器，实现了对森林生态环境的实时、全方位监测。这些传感器能够采集气象、土壤、水文、生物等多方面的数据，为森林火灾预警、病虫害防治和生态系统研究提供了重要支持。

（二）林业生产环节的数字化转型

林业机械化与自动化作业的推广，极大提升了林业生产效率。在某大型国有林业企业，智能采伐机器人精准作业，自动化运输系统高效运输木材，作业效率整体提高超50%，人力成本降低30%。精准林业技术整合GPS、GIS、遥感及智能传感器，为生产提供精准支持。某知名林场运用无人机巡查、土壤传感器监测等技术，使森林抚育和施肥管理更科学，林木生长速度提高20%，木材产量增加15%，肥料使用量减少30%^[2]。数字化育苗与种植管理也取得进展。某大型种苗基地借助智能化温室系统和大数据、物联网技术，优化种苗生长环境，提升种苗质量与成活率，实现种植区域实时监测管理，提高土地利用率，增加单位面积林木产量，有力推动林业向数字化、智能化转型。

（三）林产品加工与流通的数字化变革

木材加工企业的数字化升级是林业产业转型的关键部分，从生产设备智能化改造到管理流程数字化重塑，意义重大。以菏泽市宁丰木业为例，该企业运用智能化技术升级生产线，引入国际一流的智能生产线与先进设备，实现生产流程数字化自动控制。这不仅大幅提升生产效率与产品质量、降低人力成本，还能迅速响应市场需求，增强市场竞争力，为同行提供了良好借鉴。林产品电商平台的兴起为林产品销售流通开拓新径。莱屯镇“红色直播间”通过电商销售赤松茸等农产品，增加农民收入、壮大村集体经济^[3]。供应链数字化管理也在不断革新，如木头云仓数字化系统利用云计算、大数据、物联网等技术，全面升级木材行业管理。该系统在采购、存储、出库等环节实现实时监控、数据共享与协同运作，优化供应链流程。通过智能算法和数据分析，企业能科学制定采购计划、预警存储风险、精确追踪出库，提升运营效率与效益，降低成本，有力支撑林业产业可持续发展。

二、林业产业数字化转型面临的挑战

（一）技术层面的挑战

在林业产业数字化转型的道路上，数据采集与处理、技术集成与兼容性，以及数字化技术应用的成本压力，构成了三大难题。某大型国有林区因其复杂的地形和恶劣的气候条件，数据采集工作困难重重，传统的传感器故障频发，无人机采集也因强电磁干扰而难以精准控制，导致数据量大且格式多样，处理分析困难，加之通信信号薄弱，数据传输时效性大打折扣，这些问题都

影响了数据的准确性和决策支持系统的有效性。同时，技术集成与兼容性问题在林业科研项目中尤为突出，不同厂家的传感器设备通信协议和数据格式不统一，遥感数据与地理信息系统的集成也因参数不匹配而产生偏差，这些问题不仅增加了项目成本，还延长了实施周期^[4]。

（二）人才与知识层面的挑战

在林业产业数字化转型进程中，人才短缺、员工技能培训不足及认知匮乏成为主要障碍。当下，我国林业行业急需的数字化与林业复合型人才缺口超70%，严重影响企业转型项目推进。某大型林业企业引入的先进监测系统，就因无人熟练操作而效能受限。偏远地区人才匮乏更严重，基层林场数字化清查依赖外部专家，成本增加、效率降低。同时，员工数字化技能不足，致使企业推行自动化系统和数字化设备时问题频发，急需科学合理地培训。但目前培训效果欠佳，阻碍转型步伐。此外，部分从业者和管理者对数字化转型认知不足，未意识到其对企业发展的深远影响，持观望态度，不愿投入资源，在市场竞争中渐处劣势。

（三）政策与市场层面的挑战

在林业产业数字化转型进程中，政策、市场、行业标准方面存在诸多挑战。政策支持不足，部分扶持力度小，如某林业企业引入物联网监测系统，政策补贴仅覆盖小部分成本，让企业推进转型时压力大且犹豫^[5]。同时，政策实施细则不明，某林业电商企业申请专项补贴就因流程不清晰而失败，影响转型积极性。市场需求不稳定，消费者对林业数字化产品和服务认知、接受度低，像某森林旅游个性化推荐系统需求未达预期，企业销售困难。而且宏观经济波动也有影响，经济不景气时，林业机械设备制造企业订单量剧减，转型放缓。

三、林业产业数字化转型的创新路径

（一）技术创新驱动转型

在林业产业数字化转型的浪潮中，大数据与人工智能、区块链、数字孪生技术正重塑林业运作模式，带来新机遇。某大型国有林业企业借助大量传感器实时采集森林环境及林木生长数据，运用大数据分析技术强化森林资源监测与管理。人工智能算法助力精准防治病虫害，智能采伐系统优化木材生产管理，提升资源利用率。企业还通过大数据分析市场动态，灵活调整产品结构，增强市场竞争力。区块链技术在林业供应链中构建了透明、可追溯的信任机制。木材从采伐到销售的各环节信息均实时记录在区块链上，确保数据不可篡改、产品可追溯，既增强了消费者对林产品的信任，又提升了供应链协作效率、降低交易成本^[6]。

（二）人才培养与引进策略

为解决林业数字化专业人才短缺的问题，多家林业企业积极与高校建立合作关系，制定专门的林业数字化人才培养方案，开设针对性强的专业课程，并结合实际需求，提供丰富的实践机会，通过这种校企合作模式，成功培养了一批专业人才，他们在企业的数字化转型中发挥了关键作用。同时，企业还通过内部培训提升员工数字化能力，设计全面系统的培训计划，采用线上与

线下相结合的培训方式，显著提高了员工的数字化技能，为企业的数字化转型奠定了坚实的人才基础。此外，企业认识到吸引外部数字化人才的重要性，通过提供有竞争力的薪酬福利、明确的职业发展规划和良好的企业文化，成功吸引了众多优秀数字化人才加入，他们的加入为企业带来了新的技术和理念，推动了企业数字化项目的开发，提升了企业的核心竞争力，促进了企业的可持续发展^[7]。

（三）政策支持与市场培育

为推动林业产业数字化转型，政府应加大政策支持力度，制定针对性强的政策措施，如设立专项财政补贴资金，提供设备购置补贴和技术研发补贴，出台税收优惠政策，减免企业所得税和增值税，以降低企业转型成本，激发企业积极性。同时，政府需加强政策引导和规范作用，制定长期规划和战略目标，为转型提供清晰方向。在法规建设方面，应及时修订完善相关法律法规，确保数据安全和林产品电商交易的规范性，为数字化转型提供法律保障。此外，培育市场需求是关键，通过宣传推广、拓展应用领域和产业融合，提高社会对林业数字化的认知度和接受度，激发潜在需求，创造市场机遇。

四、案例分析：成功转型的林业企业经验借鉴

（一）企业 A 的数字化转型实践

企业 A 是一家历史悠久的大型国有林业企业，业务覆盖林业全产业链，却深受传统经营模式弊端的困扰，如资源管理低效、生产盲目、设备老化等。为实现可持续发展，企业 A 开启数字化转型之路^[8]。企业 A 构建森林资源数字化管理系统，融合遥感、

GIS、物联网技术，实现森林资源实时监测，提升管理效率。在生产环节，引入智能采伐设备、自动化运输系统，运用精准林业技术，提高了采伐、运输及资源利用效率。木材加工和林产品流通方面，数字化升级生产线，引入数控设备，搭建电商平台与供应链数字化管理系统，提升产品质量与生产效率，拓宽销售渠道^[9]。

（二）企业 B 的创新发展模式

企业 B 是一家专注林业生态旅游开发的民营企业，依托丰富森林资源和独特景观，开启数字化转型，目标是打造全方位、个性化的旅游服务平台。企业 B 搭建林业生态旅游大数据平台，实时收集游客行为和景区环境数据，据此分析游客偏好，开发特色旅游产品。同时，其智能化服务系统让游客能通过手机应用便捷完成预订和行程规划，智能客服机器人随时提供帮助，极大提升了游客满意度^[10]。此外，企业 B 运用 VR 和 AR 技术打造沉浸式体验中心，游客借此可身临其境地感受森林美景，还能通过 AR 深入了解景区自然和文化。

五、结束语

本研究深入探讨了林业产业数字化转型的现状、挑战与创新策略。数字化技术大幅提升了林业资源管理、生产、加工和流通环节的效率与质量。面临技术难题、人才缺口、政策不足和市场不确定性等挑战，研究提出技术创新、人才培养、政策支持和市场培育等解决方案。未来，林业数字化将走向智能化、融合化和国际化。尽管研究取得进展，但需扩展调研范围，深化技术应用分析，关注社会文化影响，以提供更全面的理论与实践指导。

参考文献

- [1] 范吉平. 智慧林业管理技术在西北地区林业资源管理中的科学应用 [J]. 智慧农业导刊, 2022, 2(06): 10-12. DOI: 10.20028/j.zhnydk.2022.06.004.
- [2] 李雪峰. 辽宁森林资源信息化建设成果及发展历程 [J]. 辽宁林业科技, 2022, (03): 62-64+67.
- [3] 林聪聪, 王柯, 王豪翔, 等. 基于数字汇流的森林资源管理“一张图”平台的信息化探索 [J]. 林业勘察设计, 2022, (01): 20-24+28.
- [4] 曹建斌. 新技术在林业资源管理中的应用 [J]. 中国高科技, 2022, (03): 61-62.
- [5] 刘泽锁. 森林资源信息管理系统的建立和运用 [J]. 农业开发与装备, 2020, (02): 68+86.
- [6] 王雅越. 简析森林资源管理与生态林业发展 [J]. 新农业, 2022, (24): 48-49.
- [7] 龙成. 森林资源管理与生态林业的发展路径探究 [J]. 河南农业, 2022, (35): 34-36. DOI: 10.15904/j.cnki.hnny.2022.35.002.
- [8] 刘飞海. 基于智慧林业巡检管理服务平台的林业信息化管理变革与创新 [J]. 智慧农业导刊, 2022, 2(24): 14-16. DOI: 10.20028/j.zhnydk.2022.24.005.
- [9] 都玲玲. 森林资源管理在林业产业发展中的意义探究 [J]. 中国林业产业, 2022, (12): 62-63.
- [10] 张迎臻. 林业资源保护和森林防火管理措施探讨 [J]. 新农业, 2022, (23): 31-32.

公路工程施工中土石混填路基施工技术的运用

孙雪莲

吉林省松原市前郭县公路事业发展中心, 吉林 松原 138000

摘 要 : 针对公路工程中路基稳定性与承载能力的关键问题, 本研究以某省道公路建设项目为实例, 详细介绍了土石混填路基施工技术在公路工程施工中的具体运用, 并深入探讨了质量控制措施。旨在为公路工程施工提供可靠的技术参考, 提升公路工程的整体质量、稳定性与安全性, 延长公路使用寿命, 推动公路建设行业的高质量发展。

关 键 词 : 公路工程; 土石混填路基; 施工技术; 质量控制

Application of Soil-Rock Mixed Fill Subgrade Construction Technology in Highway Engineering Construction

Sun Xuelian

Jilin Songyuan Highway Development Center, Qianguo County, Songyuan, Jilin 138000

Abstract : Addressing the key issues of subgrade stability and carrying capacity in highway engineering, this study takes a provincial highway construction project as an example to introduce the specific application of soil-rock mixed fill subgrade construction technology in highway engineering construction and deeply explore quality control measures. The aim is to provide a reliable technical reference for highway engineering construction, improve the overall quality, stability, and safety of highway engineering, extend the service life of highways, and promote the high-quality development of the highway construction industry.

Keywords : highway engineering; soil-rock mixed fill subgrade; construction technology; quality control

引言

公路作为交通基础设施的核心构成, 其重要性不言而喻。它不仅是连接区域经济的纽带, 更是促进社会交流与发展的关键支撑。在公路工程施工体系中, 路基作为公路的基础部分, 其稳定性和承载能力直接决定了公路的整体性能和服役寿命。土石混填路基施工技术, 凭借其就地取材、降低成本、缩短工期等显著优势, 在公路建设领域得到了广泛应用。然而, 该技术在实际应用过程中, 也面临着诸如材料组成复杂多样、施工工艺要求严格、质量控制难度较大等诸多挑战。因此, 深入且系统地研究土石混填路基施工技术的运用及质量控制措施, 对于保障公路工程质量、推动公路建设行业的健康可持续发展具有至关重要的现实意义。

一、工程概况

某省道公路项目全长4.2km, 路基宽度30m。其施工区域处于山地与平原的交界地带, 地形地貌呈现出显著的起伏特征, 地势条件较为复杂。这种特殊的地形条件给路基施工带来了诸多难题。针对路基填筑高度超过15m的路段, 项目特别设计了边坡防护措施。边坡采用分级设置, 每级高度间隔为8m, 宽度2.5m, 通过这种科学合理的设计, 有效增强了边坡的稳定性, 避免因土体滑落等问题影响公路的正常使用和安

全。该公路项目的路基施工采用了土石混填技术。在材料选用方面, 严格将粗粒料的含量控制在60% ~ 80% 的范围内。经过大量的试验检测以及丰富的工程实践验证, 这一含量范围能够确保路基具备良好的稳定性和承载能力, 为公路的长期稳定运行奠定了坚实的基础。

二、土石混填路基施工技术在公路工程施工中的具体运用

(一) 施工前准备

施工前的准备工作是整个工程顺利开展的重要前提和基础。在材料准备环节, 对土石混填材料进行严格筛选。从附近经过详细考察选定的料场选取土石材料, 依据相关标准和设计要求, 确保粗粒料的单轴抗压强度不低于30MPa, 最大粒径不超过15cm, 细粒土的含水量控制在最佳含水量 $\pm 2\%$ 的范围内, 塑性指数在12~18之间^[1]。同时, 对不同规格和来源的材料进行分类存放, 并设置明显的标识, 防止材料混

杂。施工设备的准备同样至关重要。根据工程规模和施工工艺要求, 配备了适量且性能优良的设备。共投入5台挖掘机, 型号为卡特彼勒320, 斗容量1.2m³; 3台装载机, 型号为柳工856H,

额定载重量5t；10辆自卸汽车，载重量20t；2台推土机，功率165kW；1台平地机，工作宽度3m；3台压路机，其中2台振动压路机，激振力350kN，1台静碾压路机，自重18t。施工前，对所有设备进行全面细致的检查和调试，针对压路机的压实功能进行严格测试，将振动频率调整在30Hz—40Hz之间，振幅控制在0.8mm—1.2mm之间，以满足不同压实阶段的需求。

测量放线工作为后续施工提供了精准的位置依据。使用高精度测量仪器，如GPS接收机和全站仪，精确测定路基中心线、边线以及各个控制点的位置。将测量误差严格控制在平面位置 $\pm 5\text{mm}$ ，高程 $\pm 10\text{mm}$ 以内。根据测量结果，在施工现场设置牢固且明显的标记，如木桩、石灰线等，方便施工人员进行操作。同时，对测量数据进行反复核对和校验，确保测量精度满足工程要求^[2]。

（二）路基填筑

路基填筑作为土石混填路基施工中的核心环节，其操作过程的严谨性和科学性直接关系到整个公路工程的稳定性和耐久性。在填筑过程中，必须严格遵循分层填筑的原则，以确保每层填筑的均匀性和密实度。具体而言，依据前期试验段所得出的精确参数，每层填筑的厚度被严格控制在30—40cm之间，而实际施工中，为了寻求最佳平衡，平均填筑厚度被设定为约35cm。这一厚度的选择既保证了填筑材料的充分压实，又避免了过厚导致的压实困难。填筑作业从路基的最低处开始，逐层向上进行，每一层都经过精心的摊铺和压实，直至达到设计高度^[3]。在填筑工作正式开始之前，对基底的处理同样至关重要。基底上的杂草、树根、腐殖土等杂物必须被全面彻底地清除，以确保基底表面的清洁和平整。随后，使用重型压路机对基底进行压实作业，压实度需达到95%以上，从而确保基底的承载力完全满足设计要求，为后续的填筑工作打下坚实的基础。

此外，在填料的运输和卸料过程中，也需要进行周密的规划和组织。自卸汽车被用作主要的运输工具，将土石混合料从料场运至施工现场。卸料时，需严格按照预先规划好的卸料点进行，同时控制卸料高度不超过2m，以避免对填料造成不必要的冲击和损伤。在实际操作中，根据地形和施工条件的不同，灵活选择进占法或后退法进行卸料。在地形平坦开阔的区域，采用进占法可以显著提高施工效率，据统计，施工效率可提高约20%；而在地形复杂或靠近边坡的区域，则更适合采用后退法，以确保填料位置的准确性和摊铺厚度的均匀性^[4]。

（三）摊铺与压实

1. 摊铺

摊铺作业是确保路基平整度和压实效果不可或缺的关键步骤，其细致入微的操作直接关系到后续压实工作的顺利进行及最终路基的质量表现。在摊铺前，首要任务是利用推土机对卸料后的土石混合料进行初步推平，这一过程要求混合料表面大致平整，平整度误差需严格控制在 $\pm 5\text{cm}$ 以内，为后续精整作业奠定良好基础。紧接着，平地机登场，它按照精心设计的坡度和标高进行精确整平作业，坡度误差需保持在 $\pm 0.5\%$ 以内，而标高误差则需严格控制在 $\pm 3\text{cm}$ 以内。为确保整平质量，每20m设置一个检测点，实时监测平整度和标高，一旦发现偏差，立即进行调整，确保摊铺后的表面平整均匀，

无局部凹凸不平现象^[5]。对于难以机械整平的区域，将安排人工配合进行处理，通过细致的手工操作，进一步提升表面平整度。

2. 压实

压实作业则是土石混填路基施工中的决定性环节，其质量直接关系到路基的整体稳定性和耐久性。采用重型压路机进行压实作业，遵循先轻后重、先慢后快、先边缘后中间的科学碾压原则^[6]。在静压阶段，碾压速度控制在1.5—2.0km/h，而在振动碾压阶段，速度则提升至2.5—3.5km/h。通常，先进行1—2遍的静压作业，使土石混合料初步稳定，随后进行4—6遍的振动碾压，根据现场压实度检测结果，平均振动碾压次数约为5遍，以达到预期的压实效果。最后，再进行1—2遍的静压作业，以消除表面轮迹，提升路面美观度。在碾压过程中，每1000m²设置一个检测点，通过检测压实度、沉降差等关键指标，全面评估压实质量是否达到设计要求。压实度检测采用灌砂法，设计压实度要求不低于96%，而实际检测结果显示，平均压实度高达97.5%，远超设计标准。沉降差则严格控制在5mm以内，通过精确控制碾压参数和增加检测频率，确保路基压实质量无懈可击，为后续公路工程的顺利进行奠定坚实基础。

（四）排水与沟渠施工

一个设计精良、功能全面的排水系统，无疑是确保路基长期稳定性的关键要素。在路基施工整个流程中，排水与沟渠的施工被同步推进，以确保排水系统的有效性和及时性。在路基的两侧，精心规划的边沟起到了至关重要的作用。这些边沟采用了梯形断面设计，底宽被精确设定为0.8m，顶宽则拓宽至1.2m，深度则统一为1m，坡度被设计为1:1.5，这样的设计有助于水流更加顺畅地排出。为了确保边沟的强度和耐久性，采用了浆砌片石进行砌筑，所选用的片石强度等级不低于MU30，而砂浆的强度等级也达到了M7.5的标准。此外，边沟的底部和侧面还进行了2cm厚的水泥砂浆抹面处理，这一细节确保了边沟表面的平整光滑，进一步提升了排水的效率^[7]。

在路基的内部结构中，排水盲沟的设置同样至关重要。纵向排水盲沟每隔50m便设置一道，而横向排水盲沟的间距则更短，每隔30m便有一道。这些排水盲沟内部填充了透水性极佳的材料，如粒径在20mm至50mm之间的碎石和砾石。更为巧妙的是，盲沟中间还铺设了一层单位面积质量不小于300g/m²的土工布，这层土工布如同一道天然的屏障，有效防止了泥土的堵塞，确保了排水的畅通无阻。排水盲沟的主要功能在于及时排出路基内部的积水，从而降低路基的含水量，增强其整体的稳定性。此外，在路基与边坡的交界处，还巧妙地设置了截水沟。这些截水沟采用了矩形断面设计，底宽为0.6m，深度为0.8m，坡度为1:1.2。它们如同一道坚固的防线，有效地拦截了山坡上流淌的地表水，防止了其对接路基边坡的冲刷和侵蚀，进一步提升了路基的稳定性。

三、土石混填路基施工技术施工质量控制与管理

（一）质量控制要点

1. 材料质量控制机制

材料质量是保证路基质量的基础。在材料采购环节，全面考

察供应商，综合评估其生产能力、质量保证体系和信誉，筛选出优质供应商。要求供应商提供完整的材料质量证明文件，如检验报告、合格证等，确保材料来源可靠。对进场的土石混填材料严格检验，每批次抽样检测。检测内容涵盖粗粒料的强度、粒径分布，以及细粒土的含水量、塑性指数等关键指标。一旦发现不符合要求的材料，坚决退回，杜绝用于工程施工。在材料存放时，采取有效防护措施，如搭建防雨棚、设置排水坡等，防止材料因受潮、淋雨等因素影响质量^[9]。

2. 施工工艺的精细化管理

施工工艺的合理性直接影响路基的施工质量。在施工过程中，必须严格按照施工方案和技术规范操作。对每一道施工工序严格把关，确保施工工艺符合要求。例如在路基填筑时，精准控制分层填筑的厚度、压实度等参数；在摊铺和压实时，严格遵循规定的操作流程和技术要求，控制好摊铺平整度和压实遍数^[9]。加强施工现场的监督和管理，安排专业技术人员旁站监督，及时发现并纠正施工中出现的問題，保证施工工艺的严格执行。

3. 现场检测与验收

现场检测是及时发现质量问题的重要手段。在施工过程中，定期对路基的各项指标进行检测。使用专业的检测仪器和设备，按照规定的检测频率进行检测，确保检测数据的真实性和可靠性。对于检测不合格的部位，及时返工处理，直至达到设计要求。在路基施工完成后，组织相关人员进行全面验收，验收内容包括路基的外观质量和各项技术指标。外观质量要求路基表面平整、边线顺直、无明显轮迹和松散现象；各项技术指标需达到设计规定的标准，验收合格后方可进行下一道工序施工。

（二）质量管理措施

1. 构建全面的质量管理制度体系

建立健全且完备的质量管理制度体系，是确保工程质量稳步提升的关键性保障。首要任务是制定详尽且明确的质量目标与质量计划，为工程质量的达成提供清晰的指引。在此基础上，进一步明确各部门及具体人员的质量职责，确保责任到人，形成全员参与、共同负责的良好局面。为了有效监控施工过程中的每一道工序，需建立严格的质量检验制度，实行“三检制”原则，即自

检、互检与专检相结合^[10]。自检环节由施工班组内部自行完成，互检则由不同施工队之间交叉进行，而专检则由项目部专业的质量管理人员负责执行，以此形成多层次的检验体系，确保每一道工序都符合质量标准。此外，还需建立质量奖惩制度，通过表彰质量工作表现突出的部门和个人，以及处罚质量问题严重的部门和个人，以此激励全员积极参与质量管理工作，切实提升整体质量意识。

2. 强化施工人员培训与管理机制

施工人员的专业素质和技能水平，对工程质量具有直接且深远的影响。因此，必须加大对施工人员的培训力度，定期组织技术培训和安全教育培训。技术培训内容应涵盖土石混填路基施工技术的精髓、质量控制的关键要点以及施工规范的详细解读，通过理论授课与现场实操相结合的方式，全面提升施工人员的技术水平和实践能力。安全教育培训则着重于施工安全知识的普及与操作规程的讲解，旨在增强施工人员的安全意识，降低施工过程中的安全风险。同时，还需加强对施工人员的管理，建立严格的考勤制度和考核制度，将考勤记录与工资收入相挂钩，把考核结果作为晋升和奖励的重要依据，以此激发施工人员的积极性和责任心，确保他们能够严格按照施工要求进行作业，为工程质量的稳步提升奠定坚实基础。

四、结语

通过对某省道公路建设项目中土石混填路基施工技术的具体运用及质量控制措施的深入研究，充分表明土石混填路基施工技术在公路工程中具有良好的应用效果。通过严格的施工前准备、科学的路基填筑、合理的摊铺与压实以及完善的排水与沟渠施工，能够有效确保路基的稳定性和承载能力。同时，通过实施有效的质量控制要点和质量措施，能够有力保证工程质量达到设计要求。在今后的公路工程施工中，应进一步推广和应用土石混填路基施工技术，并不断总结经验，持续改进施工工艺和质量控制方法，以不断提高公路工程的整体质量、稳定性和安全性，推动公路建设行业的高质量发展。

参考文献

- [1] 李华，刘聪. 山区高填方土石混填路基施工技术研究 [J]. 交通建设与管理，2022, (05): 174-175.
- [2] 刘岩. 土石混填路基施工关键技术探讨 [J]. 交通世界，2023, (36): 28-30.
- [3] 李丁. 红黏土土石混填路基压实及施工控制探析 [J]. 交通世界，2022, (30): 126-128.
- [4] 蔡志瑞. 公路路基工程中的土石方填筑施工技术 [J]. 交通世界，2022, (12): 76-77.
- [5] 洪林燕. 公路工程土石混填路基施工技术 [J]. 交通世界，2024, (Z1): 95-97.
- [6] 陈亮. 公路施工中的土石混填路基施工技术分析 [J]. 运输经理世界，2023, (26): 22-24.
- [7] 卫香娟. 研究公路施工中的土石混填路基施工技术 [J]. 黑龙江交通科技，2021, 44(08): 17-18.
- [8] 庄锦祥. 市政道路土石混填路基施工技术研究 [J]. 江西建材，2022, (09): 228-230.
- [9] 刘建业. 公路工程路基填料质量控制 [J]. 工程技术研究，2020, 5(14): 134-135.
- [10] 陈近民. 土石混填路基强夯施工技术分析 [J]. 工程技术研究，2019, 4(12): 98-99.

浅谈城市水工环地质调查评价工作

吴琼

江苏省地质局第一地质大队，江苏 南京 210041

摘 要： 随着城市化进程的加速，城市规模不断扩大，城市水工环地质条件对城市发展的影响日益凸显。城市水工环地质调查评价工作通过对城市水文地质、工程地质和环境地质条件的综合研究，为城市规划、建设、资源开发与环境保护提供科学依据。本文深入探讨城市水工环地质调查评价的内容、方法、面临的问题及应对策略，旨在提升城市水工环地质调查评价工作的质量和水平，促进城市可持续发展。

关 键 词： 城市；水工环地质；调查评价；可持续发展

A Brief Discussion on Geological Survey and Evaluation of Urban Hydrogeology, Engineering Geology, and Environmental Geology

Wu Qiong

First Geological Brigade of Jiangsu Geological Bureau, Nanjing, Jiangsu 210041

Abstract： With the acceleration of urbanization, the scale of cities continues to expand, and the impact of urban hydrogeology, engineering geology, and environmental geology conditions on urban development is becoming increasingly prominent. The geological survey and evaluation of urban hydrogeology, engineering geology, and environmental geology provide a scientific basis for urban planning, construction, resource development, and environmental protection through comprehensive research on urban hydrogeology, engineering geology, and environmental geology conditions. This article delves into the content, methods, problems faced, and response strategies of geological survey and evaluation of urban hydrogeology, engineering geology, and environmental geology, aiming to improve the quality and level of geological survey and evaluation work and promote sustainable urban development.

Keywords： urban; hydrogeology, engineering geology, and environmental geology; survey and evaluation; sustainable development

引言

城市是人类活动的集中区域，其发展依赖于良好的地质环境条件。水文地质条件影响着城市的水资源开发利用与地下水环境安全，工程地质条件关系到城市各类工程建设的稳定性和安全性，而环境地质条件则与城市生态环境质量及居民生活健康密切相关。开展城市水工环地质调查评价工作，能够全面了解城市地质背景，揭示潜在的地质问题，对于保障城市基础设施建设、合理开发利用地下水资源、保护生态环境以及促进城市可持续发展具有不可替代的作用。

一、城市水工环地质调查评价的内容

（一）水文地质调查评价

（1）地下水水位与水量监测：通过设置地下水监测井，定期监测地下水水位的动态变化，掌握其年内和年际变化规律。同时，利用相关水文地质参数和方法，计算地下水的补给量、排泄量和储存量，评估城市地下水资源的可开采量，为水资源合理利用提供数据支持。^[1]（2）地下水水质分析：采集地下水水样，对水中的化学组分、微生物含量等进行检测分析。确定地下水的水质类型，评价其是否符合生活饮用水、工业用水等不同用途的水质标准，分析地下水污染的来源和程度，为地下水污染防治提

供科学依据。（3）水文地质条件与水资源开发利用关系研究：分析城市水文地质条件对水资源开发利用的影响，如含水层的分布、厚度、渗透性等因素对地下水开采的影响。研究不同水资源开发利用方式（如集中开采、分散开采等）对区域水文地质条件的反馈作用，评估水资源开发利用的合理性和可持续性。

（二）工程地质调查评价

（1）岩土体工程性质测试：对城市不同区域的岩土体进行采样，通过室内试验和现场原位测试，获取岩土体的物理力学性质参数，如密度、含水量、压缩性、抗剪强度等。这些参数是工程建设中地基设计、基础选型和稳定性分析的重要依据。（2）地质构造与地震活动调查：研究城市区域内的地质构造特征，包括褶皱、断

层等构造的分布、规模和活动性。^[2]调查历史地震活动情况,评估地震对城市建设的潜在影响,为城市抗震设防提供基础资料。(3)工程地质分区与适宜性评价:根据岩土体工程性质、地质构造和地形地貌等因素,对城市进行工程地质分区。针对不同的工程地质分区,评价其对各类工程建设(如高层建筑、桥梁、地下工程等)的适宜性,为城市规划和工程选址提供科学指导。

(三) 环境地质调查评价

(1) 地质灾害调查与评估:对城市可能存在的地质灾害,如滑坡、崩塌、泥石流、地面沉降、岩溶塌陷等进行详细调查。分析地质灾害的形成条件、分布规律和发育现状,评估其对城市居民生命财产安全和基础设施的威胁程度,制定相应的地质灾害防治措施。(2) 土壤环境质量调查:采集城市土壤样品,分析土壤中重金属、有机污染物等的含量,评价土壤环境质量状况。研究土壤污染的来源和传播途径,为土壤污染修复和环境保护提供依据。(3) 城市生态地质环境综合评价:从生态系统的角度出发,综合考虑水文地质、工程地质和环境地质等因素对城市生态环境的影响。评价城市生态地质环境的现状和变化趋势,提出改善城市生态地质环境的建议和措施,促进城市生态系统的平衡和稳定。^[3]

二、城市水工环地质调查评价的方法

(一) 资料收集与整理

广泛收集城市区域内已有的地质、水文、气象、环境等方面的资料,包括地质勘察报告、水文监测数据、气象记录、环境监测报告等。这些资料是了解城市地质环境的基石,通过对其系统整理与分析,能初步把握城市地质环境的基本轮廓,为后续实地工作明确方向。例如,从过往地质勘察报告中可获取地层分布、构造特征等基础信息,水文监测数据则能反映地下水动态变化的历史情况,为实地调查提供数据参考与研究线索。

(二) 野外调查

(1) 地质测绘:采用地质填图的方法,对城市地表地质现象进行详细观察和记录,绘制地质图件,包括地质构造图、地层分布图、岩土体分布图等。地质测绘如同为城市地质结构绘制“素描”,通过实地的细致观察,能直观展现地质结构和地层分布特征,帮助地质工作者从宏观角度把握城市地质格局。^[4](2) 水文地质调查:实地调查地下水露头、泉点、井等,观察地下水的出露特征和动态变化。调查地表水与地下水的补排关系,了解河流、湖泊等水体对地下水的影响。同时,对地下水开采井进行调查,了解地下水开采现状和存在的问题。通过这些实地调查,能获得第一手水文地质信息,准确把握地下水的实际状况。(3) 工程地质调查:对城市不同区域的地形地貌进行实地观察,分析其对工程建设的影响。调查各类工程建设场地的地质条件,包括地基岩土体的类型、分布和工程性质,以及场地的稳定性和适宜性。工程地质调查为城市工程建设提供直接的地质依据,确保工程选址和建设的安全性、合理性。(4) 环境地质调查:调查城市地质灾害的分布情况,对滑坡、崩塌、泥石流等灾害点进行实地考察,分析其形成原因和发展趋势。对土壤污染、地下水污染等

环境问题进行实地调查,确定污染范围和程度。环境地质调查直接关系到城市生态安全和居民生活健康,为制定有效的环境保护和灾害防治措施提供关键依据。

(三) 室内试验与测试

(1) 岩土体物理力学性质试验:在野外采集的岩土体样品,在实验室进行物理力学性质试验,如颗粒分析、液塑限试验、压缩试验、剪切试验等,获取岩土体的各项物理力学参数。这些参数是工程建设中地基设计、基础选型和稳定性分析的重要依据,能精确量化岩土体的工程特性。^[5](2) 水质分析试验:对采集的地下水和地表水水样进行化学分析,检测水中的阳离子、阴离子、重金属、有机物等成分的含量,评价水质状况。水质分析试验能准确判断水的质量,为水资源合理利用和水污染防治提供科学数据。(3) 土壤分析试验:对土壤样品进行分析,测定土壤的酸碱度、有机质含量、重金属含量等指标,评估土壤环境质量。土壤分析试验有助于了解土壤的健康状况,为土壤污染修复和土地合理利用提供支持。

(四) 物探与遥感技术应用

(1) 地球物理勘探:利用地球物理方法,如电法勘探、地震勘探、重力勘探等,探测地下地质结构和地质体的分布情况。地球物理勘探能在不破坏地质体的前提下,快速获取地下深部信息,为地质调查提供重要的数据支撑,有效弥补了直接观测的局限性。^[6](2) 遥感技术应用:利用卫星遥感和航空遥感数据,对城市区域的地形地貌、地质构造、植被覆盖、水体分布等进行宏观监测和分析。遥感技术凭借其大面积、多时相的监测优势,能快速提供城市地质环境的整体概况和动态变化信息,助力地质工作者从宏观视角把握城市地质环境的演变趋势。

(五) 数值模拟与分析

(1) 水文地质数值模拟:建立城市水文地质模型,利用数值模拟方法,模拟地下水的流动、溶质运移等过程。通过数值模拟,可以预测地下水资源的变化趋势,评估水资源开发利用方案的合理性和环境影响。水文地质数值模拟为水资源科学管理提供了有力工具,能在虚拟环境中对不同方案进行预演和评估。(2) 工程地质数值模拟:运用有限元、有限差分等数值方法,对工程建设中的地基沉降、边坡稳定性、地下洞室围岩稳定性等问题进行模拟分析。数值模拟可以为工程设计和施工提供科学依据,优化工程方案。工程地质数值模拟能提前发现工程建设中可能出现的地质问题,为工程的安全稳定建设提供保障。(3) 环境地质数值模拟:建立地质灾害预测模型和环境质量评价模型,利用数值模拟方法,预测地质灾害的发生概率和影响范围,评估环境质量的变化趋势。通过数值模拟,可以提前制定地质灾害防治措施和环境保护对策。环境地质数值模拟为城市环境安全提供了预警和决策支持,有助于提前采取措施应对潜在的环境风险。^[7]

三、城市水工环地质调查评价工作面临的问题

(一) 调查精度与深度不足

随着城市建设的快速发展,对水工环地质调查评价的精度和

深度要求越来越高。然而，目前部分城市的水工环地质调查工作仍存在调查精度不够、深度不足的问题。例如，在水文地质调查中，对一些复杂的含水层结构和地下水补排关系认识不够深入；在工程地质调查中，对深部岩土体的工程性质了解有限，影响了工程建设的安全性和稳定性。^[8]

（二）多源数据融合与管理困难

城市水工环地质调查涉及地质、水文、气象、环境等多个领域的的数据，数据来源广泛、类型多样。如何有效地整合和管理这些多源数据，实现数据的共享和协同应用，是当前面临的一个重要问题。目前，由于数据标准不统一、数据格式不一致等原因，导致多源数据融合难度较大，影响了调查评价工作的效率和质量。

（三）调查评价技术方法有待创新

随着科学技术的不断进步，新的地质调查技术和方法不断涌现。然而，部分城市在水工环地质调查评价工作中，仍然采用传统的技术方法，对新技术、新方法的应用不够积极。例如，在地质灾害监测中，一些城市尚未充分利用卫星遥感、无人机监测、物联网等先进技术，导致地质灾害监测的时效性和准确性不足。

（四）专业人才短缺

城市水工环地质调查评价工作需要具备地质、水文、工程、环境等多学科知识的专业人才。然而，目前相关专业人才相对短缺，尤其是既掌握专业知识又具备实践经验的复合型人才更为匮乏。人才短缺问题制约了城市水工环地质调查评价工作的深入开展和技术水平的提升。

四、解决城市水工环地质调查评价工作问题的策略

（一）提高调查精度与深度

加大对城市水工环地质调查工作的投入，采用先进的调查技术和设备，提高调查精度和深度。例如，在水文地质调查中，运用高精度的地下水监测设备和同位素技术，深入研究地下水的运动规律和补排关系；在工程地质调查中，采用深部钻探、地球物理测井等技术，获取深部岩土体的详细信息，为工程建设提供更

可靠的地质依据。^[9]

（二）加强多源数据融合与管理

建立统一的数据标准和规范，对多源数据进行标准化处理。开发数据管理平台，实现多源数据的集中存储、管理和共享。利用大数据技术和数据挖掘算法，对多源数据进行深度分析和挖掘，提取有价值的信息，为城市水工环地质调查评价提供数据支持。

（三）推进调查评价技术方法创新

积极引进和应用新的地质调查技术和方法，如卫星遥感、无人机监测、物联网、地理信息系统（GIS）、全球定位系统（GPS）等。加强与科研机构和高校的合作，开展技术研发和创新，探索适合城市水工环地质调查评价的新技术、新方法，提高调查评价工作的效率和质量。^[10]

（四）加强专业人才培养

加强高校相关专业的建设，优化课程设置，培养适应城市水工环地质调查评价工作需求的专业人才。同时，加强对在职人员的培训和继续教育，定期组织专业技术培训和学术交流活动，提高在职人员的业务水平和综合素质。通过人才培养和引进，打造一支高素质的城市水工环地质调查评价专业人才队伍。

五、结论

总之，城市水工环地质调查评价工作是城市规划、建设和管理的重要基础，对于保障城市安全、促进城市可持续发展具有重要意义。通过全面开展水文地质、工程地质和环境地质调查评价，运用科学的调查方法和技术手段，能够深入了解城市地质环境条件，为城市发展提供科学依据。尽管当前城市水工环地质调查评价工作面临一些问题，但通过提高调查精度与深度、加强多源数据融合与管理、推进技术方法创新以及加强专业人才培养等策略，可以有效解决这些问题，提升城市水工环地质调查评价工作的水平，为城市的高质量发展提供有力保障。在未来的城市发展中，应持续重视和加强城市水工环地质调查评价工作，不断适应城市发展的新需求，为城市的可持续发展保驾护航。

参考文献

- [1] 刘磊. 浅谈城市水工环地质调查评价工作[J]. 价值工程, 2020, 39 (09): 248-250.
- [2] 殷跃平. 关于水工环地质调查工作的思考[J]. 中国地质调查局, 2016 (4): 197-198.
- [3] 刘成勇, 肖敏. 试议水工环地质调查工作的思考[J]. 河南省地矿局第二地质环境调查院, 2014 (5): 426-430.
- [4] 李水章. 浅谈水工环地质调查工作的现状和发展方向[J]. 江西省地质局第八地质大队, 2015 (10): 193.
- [5] 陶锦芳. 水工环地质勘测技术及运用分析[J]. 湖南省矿产资源调查所, 2018 (187): 1-10.
- [6] 马青艳. 浅析水工环地质勘探在矿山勘查中的应用价值[J]. 云南地质工程勘察设计院有限公司, 2024 (11): 68-70.
- [7] 汪维毅. 水工环地质勘探在矿山勘查中的应用价值分析[J]. 有色金属设计, 2021, 48 (04): 69-71.
- [8] 徐晓亮. 浅析水工环地质勘探在矿山勘查中的应用价值[J]. 冶金管理, 2022 (11): 68-70.
- [9] 李向全, 刘玲霞, 王振兴等. 城市地下水环境质量评价方法及应用[J]. 水文地质工程地质, 2019, 46 (1): 34-39.
- [10] 王涛, 李爱军, 孙恒等. 城市地质灾害风险评估与防治对策研究[J]. 地质灾害与环境保护, 2020, 31 (2): 73-78.

防雷击电磁脉冲技术在建筑物中的应用研究

——以阿里云谷园区防雷装置安全检测项目为例

王子

上海市避雷装置检测站有限公司，上海 200030

摘 要： 随着现代建筑物中电气和电子系统的广泛应用，防雷击电磁脉冲技术变得至关重要。本文以阿里云谷园区防雷装置安全检测项目为背景，深入研究了防雷击电磁脉冲技术在建筑物中的应用。通过对相关标准规范的解读，分析了雷电电磁脉冲的产生、传播和危害机制。结合阿里云谷园区的实际检测情况，详细阐述了防雷装置的设计、安装和检测要点，包括接闪器、引下线、接地装置、防雷等电位连接和电涌保护器等。同时，针对检测过程中发现的问题，提出了相应的改进措施和建议。本研究为提高建筑物的防雷击电磁脉冲能力，保障人员和设备的安全提供了理论依据和实践指导。

关 键 词： 防雷击电磁脉冲；建筑物；安全检测；阿里云谷园区

Research on the Application of Lightning Protection Electromagnetic Pulse Technology in Buildings ——Taking the Lightning Protection Device Safety Inspection Project in Aliyun Valley as an Example

Wang Zi

Shanghai Lightning Protection Device Testing Station Co., Ltd. Shanghai 200030

Abstract： With the widespread application of electrical and electronic systems in modern buildings, lightning protection electromagnetic pulse technology has become crucial. This article takes the lightning protection device safety inspection project in Aliyun Valley as the background to deeply study the application of lightning protection electromagnetic pulse technology in buildings. Through interpreting relevant standards and specifications, this paper analyzes the generation, propagation, and hazard mechanisms of lightning electromagnetic pulses. Combining the actual inspection situation in Aliyun Valley, it elaborates on the design, installation, and key inspection points of lightning protection devices, including lightning rods, down conductors, grounding devices, lightning protection equipotential bonding, and surge protectors. Simultaneously, corresponding improvement measures and suggestions are proposed for the problems found during the inspection process. This study provides a theoretical basis and practical guidance for improving the building's ability to resist lightning electromagnetic pulses and ensuring the safety of personnel and equipment.

Keywords： lightning protection electromagnetic pulse; building; safety inspection; Aliyun valley

引言

在当今信息化时代，建筑物中的大量电气和电子设备因成为雷电电磁脉冲的重要目标而面临巨大威胁，如设备损坏、数据丢失，甚至火灾、爆炸等严重事故，这使得加强建筑物的防雷击电磁脉冲能力成为建筑防雷领域的重要任务。本研究旨在深入探讨该技术在建筑物中的应用，通过对阿里云谷园区防雷装置安全检测项目的分析来总结经验教训，从理论层面来看，能进一步完善防雷击电磁脉冲技术的理论体系，为相关研究提供参考，还能深入分析雷电电磁脉冲的传播规律和危害机制，为制定更科学合理的防雷措施提供理论依据；在实践方面，可通过对阿里云谷园区防雷装置的检测和评估，发现问题和不足并提出改进措施，提高园区的防雷安全水平，同时为其他建筑物的防雷设计、施工和检测提供借鉴和参考，推动防雷行业的发展。

一、防雷击电磁脉冲技术概述

（一）相关概念

1. 雷电电磁脉冲（LEMP）：雷电流经电阻、电感、电容耦合产生的电磁效应，包含闪电电涌和辐射电磁场。

2. 防雷区（LPZ）：划分雷击电磁环境的区域，根据雷电电磁

脉冲的强度和影响范围，将建筑物划分为不同的防雷区。

3. 电涌保护器（SPD）：用于限制瞬态过电压和分泄电涌电流的器件，是防雷击电磁脉冲的重要措施之一。

（二）基本原理

防雷击电磁脉冲技术的基本原理是通过合理的防雷装置设计和布局，将雷电电磁脉冲引入大地，同时采用电涌保护器等措施

作者简介：王子（1989.05-），男，汉族，上海人，毕业于上海交通大学计算机科学与技术专业，获得工学学士学位，电气工程师，研究方向：建筑防雷技术。

来保护建筑物内的电气和电子设备，避免其受到损害。具体原理包括屏蔽原理、接地原理、等电位连接原理和电涌保护原理：屏蔽原理利用金属屏蔽体减少电磁脉冲对内部设备的影响；接地原理通过接地装置将雷电电流引入大地，释放电荷并降低电位差，防止雷电反击事故；等电位连接原理将建筑物内的金属构件、电气设备和电子设备等进行等电位连接，使它们处于相同电位水平，避免电位差引起的放电现象；电涌保护原理则是电涌保护器在遇到雷电电磁脉冲时迅速动作，将过电压和电涌电流限制在设备能够承受的范围内，从而保护设备^[1]。

二、阿里云谷园区防雷装置安全检测项目概述

（一）项目背景

阿里云谷园区是一个集云计算数据中心、研发中心、办公区域等为一体的综合性园区，园区内建筑物众多，电气和电子设备密集。为了保障园区的安全运行，提高建筑物的防雷击电磁脉冲能力，特开展了本次防雷装置安全检测项目。本检测项目针对阿里云计算有限公司的多个建筑物及相关设施进行防雷检测。涵盖一号楼至十号楼、自行车车棚等，检测内容包括接闪器、引下线、接地装置、防雷等电位连接和电涌保护器等。依据 GB/T 21431-2023 等标准，采用实地检测和仪器测量的方法。



> 图1 阿里云谷园区

（二）检测内容和方法

1. 检测内容

本次检测主要包括对建筑物的接闪器、引下线、接地装置、防雷等电位连接和电涌保护器，涵盖装置的类型、规格、安装位置和连接方式等，确保符合设计要求和标准规范；运用专业仪器设备测量结合观察检查从而得到防雷装置的各项数据和电气参数，如接地电阻、过渡电阻、电压保护水平、标称放电电流、雷电流相关参数等，以评估其性能和有效性；通过雷电流注入法和空间辐射法，检测雷击直接建筑物的 LPS 后建筑物内部的脉冲磁场大小，测量建筑物结构（如墙体、格栅形屏蔽网等）对雷电电磁脉冲磁场的衰减作用。这些检测内容相互配合，全面评估了建筑物的防雷状况。

2. 检测方法

一是测量。检测人员满怀专业素养地抵达现场后，经过一系列的安全交底、技术交底、工作交底，有条不紊地展开检测工作。他们凭借精湛的技艺，熟练地运用接地电阻测试仪和等电位连接测试仪，以一丝不苟的态度精准地获取防雷装置的接地电阻和过渡电阻等测量数据。这些数据犹如一把把精准的钥匙，是评估防雷装置连接性能的关键依据。它们清晰地反映出防雷装置的工作状态和防护能力，为后续的评估和决策提供了坚实的基础，确保防雷装置能够有效地发挥其保护作用。



> 图2 露天检测现场

二是检查。检查包括观察检查和查阅资料。检测人员通过观感质量进行现场检查，包括防雷装置的类型、材料和规格、安装工艺和现状、锈蚀情况、连接方式等，从而得到一系列的观察数据。检测人员还可以查阅防雷装置的施工记录、设计图纸、产品质量文件等档案资料来获取信息。

三是结论判定。在获取数据后，检测人员对其进行深入分析和处理。将这些数据与设计要求和相关标准规范仔细对比，从而全面评估防雷装置的性能和安全性。通过这样的严谨分析，能够及时发现防雷装置可能存在的问题和隐患。例如，若数据显示接地电阻不符合标准，或者电磁干扰超过限值，就可以迅速采取措施进行整改，确保防雷装置能够有效抵御雷电袭击，为相关设施和人员提供可靠的安全保障。

三、防雷装置检测结果分析

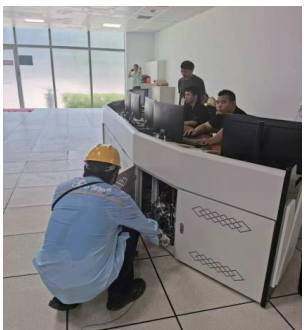
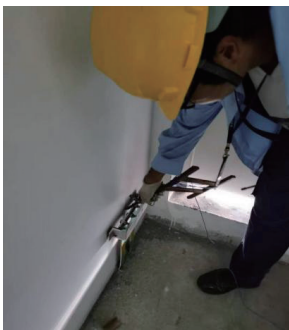
（一）防雷装置基本情况

通过对阿里云谷园区各建筑物防雷装置的全面检查和测量，发现大部分防雷装置的设计和安装基本符合相关标准规范要求。在接闪器方面，屋顶采用自然或金属屋面，部分设置专设的接闪带或接闪杆，类型和位置合理，材料规格符合要求且表面无锈蚀、固定牢固。引下线采用自然或人工接地体，部分有专用引下线，材料规格合格、连接牢固，布置符合规范，断接卡设置合理。接地装置采用自然和人工接地体相结合，接地电阻值达标，材料和施工质量良好，焊接牢固且防腐处理到位^[2]。

（二）检测数据与电气参数

1. 接地电阻及过渡电阻情况

本次对阿里云谷园区各建筑物防雷装置的检测涵盖了接地电阻、SPD 相关参数和雷电流相关参数等方面。在接地电阻方面，通过测量发现，一号楼至十号楼的东南角、西南角、东北角和西



> 图3 室内检测现场

北角立面铝扣板的接地电阻均在 0.40Ω 至 0.50Ω 之间。在过渡电阻方面,一号楼至十号楼区域内屋面设备—接闪器,配电间、消防泵房、计算机房等内部设备—基准点之间的过渡电阻均小于 0.2Ω 。这表明接地装置和防雷等电位连接的连接性能完全符合规范要求,能够有效地将雷电流引入大地。

2. SPD 相关参数

在 SPD 相关参数方面,SEP-F15型 SPD 在屋面强电间配电柜1和配电柜2中的电压保护水平 U_p 为 $1.5kV$ 、标称放电电流 I_n 为 $15kA$,SEP-80型 SPD 在1F强电间配电柜1和配电柜2中的电压保护水平 U_p 为 $2.0kV$ 、标称放电电流为 $20kA$ 。同时,部分建筑物电源进线及主要机房的弱电系统电源处 SPD 内部串联电子元件,对泄漏电流、压敏电压、绝缘电阻的检测不适用。

3. 雷电流相关参数

在雷电流相关参数方面,首次正极性雷击时,二类防雷建筑物的雷电流幅值 I 为 $150kA$,波头时间 T_1 为 $10\mu s$,半值时间 T_2 为 $350\mu s$,电荷量 Q 为 $75C$;首次负极性雷击时,二类防雷建筑物的雷电流幅值为 $75kA$,波头时间为 $1s$,半值时间 T_2 为 $200\mu s$,电荷量 Q 根据不同防雷建筑物类别有所不同;首次负极性以后雷击时,二类防雷建筑物的雷电流幅值为 $37.5kA$,波头时间为 $0.25\mu s$,半值时间 T_2 为 $100\mu s$,电荷量 Q 也根据不同防雷建筑物类别有所不同。

(三) 电磁环境监测结果

1. 电场和磁场强度

通过对建筑物内部的电场强度以及磁场强度进行细致的监测和分析,研究结果显示,在大多数情况下,这些场强的数值都保持在国际公认的安全标准之内。这意味着在日常使用中,无论是居住者还是各种电子设备,都不会受到来自这些电磁场的潜在危害,确保了人们的生活环境和工作环境的安全性。

2. 射频干扰强度

在对建筑物内部的射频干扰情况进行细致的监测过程中,我们发现尽管存在一些区域的射频干扰水平较高,但这些干扰水平仍然处于所有相关设备能够承受的范围之内。因此,可以肯定的是,这些射频干扰并不会对设备的正常运行造成任何负面影响。

四、防雷击电磁脉冲技术应用中存在的问题

(一) 防雷装置设计方面

部分建筑物存在防雷分区不合理的问题,其防雷分区不够明确,致使一些区域的防雷措施难以有效实施,极易受到雷电电磁脉冲的侵袭;同时,一些建筑物的接闪器设置位置存在不合理之处,无法有效地拦截雷电流,从而存在雷击风险;此外,部分建筑物的引下线布置也不合理,其布置间距不均匀,导致引下线之间产生屏蔽效应,对防雷效果产生了不良影响^[5]。

(二) 防雷装置安装方面

在防雷装置的安装过程中,存在一些严重问题。施工质量方面,存在焊接不牢固、接地体埋设深度不够等情况,这些问题严重影响了防雷装置的性能和可靠性;材料质量也存在问题,部分防雷装置的材料,如接地体材料电阻率过高,以及电涌保护器性能不稳定等,都对防雷效果产生了负面影响。

(三) 电涌保护器选择和安装方面

部分建筑物的电涌保护器存在诸多问题。选型方面不合理,不能有效保护设备免受雷电电磁脉冲的损害;安装位置也存在不当之处,无法及时有效地发挥保护作用;在使用过程中,维护管理不到位,缺乏定期检测、清洁等有效措施,导致电涌保护器的性能下降,进而影响了防雷效果。

五、防雷击电磁脉冲技术改进措施和建议

(一) 防雷装置设计优化

为了增强建筑物的雷电防护效能,必须执行以下措施:基于建筑物的结构特征、使用功能以及雷电活动的规律性,科学地划分防雷区域,确保各区域的防雷措施得以切实执行;依据建筑物的几何形态与尺寸参数,优化接闪杆的布局位置与形态设计,以提高其拦截雷电的效率;根据建筑物的结构布局及防雷区域划分,合理规划引下线的布置位置与间距,减少引下线间的屏蔽效应,从而提升雷电防护系统的整体效能。

(二) 加强防雷装置安装管理

为了提高施工质量,我们必须加强对防雷装置安装施工过程的管理,确保每一个环节都严格按照设计要求和施工规范来进行,从而保证施工质量的高标准。在材料质量控制方面,我们同样需要严格把关。必须选择那些符合质量要求的防雷装置材料,通过细致的检验和筛选,确保每一批次的材料都达到规定的质量标准,从而为整个防雷系统的安全稳定运行打下坚实的基础。

(三) 电涌保护器选择和安装

为确保电涌保护器能有效保护建筑物内电气和电子设备免受雷电电磁脉冲的损害,需要做好以下工作:根据设备的类型、重要性和使用环境合理选型,选择合适的类型、规格和参数;正确安装,将安装位置尽量靠近被保护设备,并严格按照产品说明书的要求进行安装;加强维护管理,定期对电涌保护器进行检测、清洁和维护,以保证其性能稳定可靠。

六、结论

本研究以阿里云谷园区防雷装置安全检测项目为例,对防雷击电磁脉冲技术在建筑物中的应用进行了深入研究。通过对防雷装置的检测和分析,发现了在防雷装置设计、安装和电涌保护器选择和安装方面存在的问题,并提出了相应的改进措施和建议。本研究为提高建筑物的防雷击电磁脉冲能力,保障人员和设备的安全提供了理论依据和实践指导。同时,随着科技的不断发展和雷电防护技术的不断进步,我们应不断加强对防雷击电磁脉冲技术的研究和应用,不断完善防雷措施,提高防雷安全水平。

参考文献

- [1] 周雪君; 魏雪. 大型变电所防雷设计技术评价要点分析. 第31届中国气象学会年会, 2014.
- [2] 张同友. 青藏高原主体大气实验站防雷工程设计研究. 2015年电磁脉冲与雷电防护技术研讨会, 2015.
- [3] 于洪涛. 广播电视发射台节传自动化3D虚拟呈现技术. 数字传媒研究, 2023(10).
- [4] 苏利军. 广播电视发射台监控系统技术研究. 数字传媒研究, 2023(11).
- [5] 李世林主编. 电气装置和电气设备的电击防护技术[M]. 中国标准出版社. 1999.

试析装配式砼建筑效益——以 A 项目为例

闫海龙

北京建筑大学 城市经济与管理学院, 北京 100044

摘 要：通过对装配式砼建筑发展状况及文献研究，提出现阶段装配式砼建筑发展乏力问题。以北京市装配式砼 A 项目为例，以项目设计、构件生产、运输、吊装、灌浆连接、施工场地需求、信息管理方式与传统现浇砼建筑效益对比为基础，提出制约装配式建筑发展的技术、经济、管理、人才、协同问题，从政府推动、创新研究、人才培养、BIM 技术应用、信息共享、产业链协同层面，提出解决现阶段装配式砼建筑发展动力不足的建议。

关 键 词： 装配式；建筑；效益

Analysis of the Benefit of Prefabricated Building -- Taking a Project as an example

Yan Hailong

School of Urban Economics and Management, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044

Abstract： Based on the research of the development status and literature of prefabricated concrete buildings, the development weakness of prefabricated concrete buildings is put forward. Taking the prefabricated concrete A project in Beijing as an example, based on the comparison of project design, component production, transportation, hoisting, grouting connection, construction site requirements, information management methods and traditional cast-in-place concrete building benefits, this paper puts forward some technical, economic, management, talent and collaborative problems that restrict the development of prefabricated buildings. From the aspects of government promotion, innovation research, personnel training, BIM technology application, information sharing and industrial chain collaboration, the paper puts forward some suggestions to solve the lack of development power of prefabricated concrete buildings at this stage.

Keywords： prefabricated; building; benefit

引言

装配式砼结构建筑，是指以工厂生产的预制砼构件为主要构件，经施工现场装配、连接，结合部分以现浇而形成的砼结构建筑。其基本特征主要是设计标准化、生产工厂化、施工装配化、装修一体化和管理信息化。装配式砼建筑是传统现浇砼建造模式向新型建筑工业化转变的重要实施手段。装配式砼建筑因其低碳、环保、节能的特点，契合我国“十三五”规划纲要提出的必须牢固树立和贯彻落实创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念。

2017 北京市人民政府发布《北京市人民政府办公厅关于加快发展装配式建筑的实施意见》京政办发（2017）8 号及《北京市发展装配式建筑 2017 年工作计划》，北京建筑市场在政府的大力推广下，装配式建筑在 2017 年至 2019 年呈现了井喷式发展。但因 2020 年疫情，及 2022 中国房地产行业的急转直下原因，装配式砼建筑发展明显放缓，甚至装配式砼建筑发展优势受到了质疑，装配式砼建筑发展阶段动力不足。

目前已有部分学者对装配式建筑可持续发展做了探索研究。例如：石振武从绿色供应链全生命周期角度，构建装配式建筑绿色供应链结构模型，并建立装配式建筑可持续发展评价指标体系进行研究；陈大川通过促进产业链与创新链深度融合，建设产业链全过程一体化信息平台，健全产业链标准化体系进行研究；许彬通过 BIM 技术在精细化施工管理中的应用进行研究等等。

现阶段专家、学者对装配式砼建筑施工技术、管理、可持续发展评价体系研究较多，但鲜有对现阶段装配式砼建筑发展乏力原因及解决方案进行研究。本文通过研究北京装配式砼结构 A 项目，就装配式砼建筑设计、施工遇到的问题，提出解决建议，希望对解决现阶段装配式砼建筑发展动力不足问题有所帮助。

A 项目位于北京市亦庄开发区，2017 年 8 月，北京某开发商通过招拍挂取得该项目土地使用权，该项目总建设用地面积为 76286.2 平方米，地上总建筑面积为 181981 平方米，容积率为 2.4，绿化率 30%。项目需做装配式砼结构建筑，装配率应不低于 50%。其预制率应不低于 40%。项目总投资 108 亿。

一、装配式砼建筑与现浇砼设计差异对项目效益的影响

（一）装配式砼建筑与传统现浇砼建筑设计对比

在北京建筑市场，政府推广装配式砼建筑处于起步阶段，在设计过程中比传统砼建筑设计增加了装配式构件深化设计工作，延长了设计周期。构件拆分受建筑产品平、立面影响，存在较多异形部位。复杂节点构件深化设计时需变化原设计构件尺寸或配筋，才能满足钢筋排布和叠放顺序问题。设计标准化不足，致使构件规格型号过多，难以归并，增加后期模具加工工作量。装配节点设计可参考图集不多，未经实践检验，可靠度性不足，如外窗防水节点。专业装配式设计人员缺乏，设计经验不足^[1]。以上这些设计原因，影响了设计质量及周期，进而影响了项目效益。

（二）因设计原因，对项目效益的影响

因装配式构件深化设计及外审，大约造成项目开盘销售时间推迟一个月，该项目前期取地资金70亿，按年利率6%计算，一个月财务费用3500万，深化设计费用10元/㎡，增加181万，合计3681万。按该项目18万可售面积，可售面积成本增加204.5元/㎡。该项目含地下室总计32万平方米，按建造面积平均增加115元/㎡。另外，设计经验不足造成设计质量问题，引起工程整改，费用增加、工期延长，也会影响项目效益。

二、装配式砼建筑与现浇砼建筑施工差异对效益的影响

（一）装配式砼构件与现浇砼生产、运输效益对比

传统现浇混凝土建筑为混凝土搅拌站生产混凝土，混凝土运输车运送至施工现场，现场支模浇筑；装配式建筑为工厂生产预制构件，专用构件运输车运送至施工现场，然后吊装安装。工厂流程化生产，浪费少，污染降低，但实际效益受构件标准化设计水平及工厂生产管理影响，现阶段构件工厂化生产效益还未完全显现，还需在精益化生产方面积极改进^[2]。构件专用运输车相较于混凝土泵车一般运输灵活性较差，易受道路情况及交通管制影响。现阶段，工厂化生产的环境效益以取得明显成效^[3]，但经济效益未达到预期目标。

（二）装配式砼建筑与现浇砼建筑项目塔吊布置及选型差异

对于装配式砼建筑与传统现浇建筑，垂直运输机械均选用塔吊，但塔吊选用规格的差异较大，费用差距也比较大。装配式建筑塔吊布置，除了考虑传统施工需考虑的群塔施工内容，还要特别关注建筑物最远端重量最大的构件重量，该重量决定了塔吊选型，配置规格远超传统施工塔吊选型。该项目西区塔吊选型如图1、表1所示。

表1 A项目西区塔吊统计表

楼号	塔吊编号	规格型号	使用臂长 (米)	设计臂长 (米)	最远端起吊 重量(T)
1#	1号塔	ST60/15	40	60	3.6
2#	2号塔	ST60/15	40	60	3.6



>图1: A项目西区塔吊布置平面图

楼号	塔吊编号	规格型号	使用臂长 (米)	设计臂长 (米)	最远端起吊 重量(T)
3#	3号塔	ST60/15	40	60	3.6
4#	4号塔	ST60/15	45	60	3.1
5#	5号塔	ST70/27	50	70	5.5
6#	6号塔	ST70/27	40	70	7.3
7#	5号塔	ST70/27	50	70	5.5
8#	7号塔	ST60/15	40	60	3.6
9#	8号塔	ST60/15	45	60	3.1
办1#	9号塔	ST70/27	50	70	5.5

（三）塔吊选型的差异，对项目效益的影响

从图表中可以看出，市场现状塔吊设备与吊装需求不匹配，所有塔吊需截大臂使用，才能同时满足最远端起吊能力和群塔施工塔臂长度与相邻塔身安全距离的要求。总包单位多年统计数据，类似传统现浇砼项目塔吊费用综合单价约45元/㎡，本项目西区地上95000㎡，地下43000㎡，合计138000㎡。经测算（见表2），本装配式砼建筑项目建面单方111元/㎡，因此增加的措施费综合单价66元/㎡。

表2 A项目西区塔吊综合单价表

塔吊型号	数量	月租费	塔吊综合单价 (含司机、指挥)	使用时间 (月)	建面单方 (元/㎡)
ST60/15	6	70000	108000	15	111
ST70/27	3	80000	125000	15	

（四）装配式建筑砼预制构件现场堆放要求与现浇砼现场场

地要求对对项目效益的影响

装配式构件存放场地需求比传统现浇砼项目面积较大，每栋楼场地需求高规格的构件堆放场地不小于160平米，且要求在塔吊起重半径内。堆放场地加上运输构件汽车路线要求，地下室顶

板支撑模板体系，在预制构件吊装完成前无法拆模。且地下室也无法进入穿插施工，车库顶板后浇带也需临时加固处理。场地面积大，硬化规格高及车库支撑体系延迟拆除，成本均会增加，影响效益^[4]。应用预制砼路面，多项目循环使用，可以降低成本，提高效益。

（五）施工预制外墙板与现浇外墙施工对项目效益的影响

预制外墙体构件一般是构件中最重的，需用专用的模数化平衡吊装梁吊装，吊装要求精度高，需技术水平高的塔吊司机。吊装前需要做充足准备，过程需塔吊司机、塔吊信号工、操作工人协调一致才能完成，且安全风险高。灌浆操作复杂，专用灌浆设备缺乏，灌浆压力需现场实验确定，灌浆设备压力调整不灵活，主要依靠工人经验；灌浆料受温度影响较大，不易冬施，影响工程进度。工期延长，现浇砼结构普遍可达5天/层，装配式砼结构至少7天/层。预制构件的墙、板灌浆连接增大了实验工作量，灌浆料留置试块、灌浆套筒留置试件，检验任务繁重，需专人完成。工人普遍未经装配式施工专业培训，效率低，质量合格率低。以上问题会增加施工难度，延长施工时间，增加劳动量，均会增加建造成本，影响项目效益^[5]。

三、装配式砼建筑与传统现浇砼建筑各指标对比

因装配式砼建筑与现浇砼建筑在设计及施工方面存在诸多不同，这也照成了两者在各类指标及利益分配方面的不同，从而影响了装配式砼建筑经济效益的显现^[6]。

（一）从主要材料含量分析对比

对于同类型现浇砼建筑，该项目建设单位20年企业内部统计数据，含钢量为52kg/ m²，本项目含钢量为56kg/ m²，增加了4kg/ m²；现浇砼含量统计数据为0.39m³/ m²，本项目砼含量0.44m³/ m²，含量增加了0.05m³/ m²。因主要材料的含量指标增加，影响了装配式砼建筑效益。

（二）从成本角度分析对比

该项目建设单位内部统计数据，传统现浇砼结构实体工程综合单价750元/ m²，该项目1200元/ m²，增加450元/ m²；措施费传统砼结构综合单价45元/ m²，该项目111元/ m²，增加了66元/ m²，其他机电安装及内、外装修基本持平，合计装配式砼结构项目综合单价增加516元/ m²。加上增加装配式深化设计费、税

金及工期延长增加的财务成本^[7]，从建造面积口径，可得出建设单位因采用装配式增加成本约631元/ m²；从可售面积口径，可得出建设单位因采用装配式增加成本约720.5元/ m²，影响了装配式砼建筑效益。

四、建议及结论

引导和培育装配式砼建筑发展及效益提升，需政府做更多的引领，产业链企业密切协同，及数字化技术的应用等，建议如下：

（1）针对设计标准化不足问题，鼓励高校进行装配式建筑相关的课体研究，培养专业化装配式设计及管理人才。

（2）针对缺乏专业技术工人缺乏问题，可安排职业技术学校培养合格装配式产业工人。

（3）针对建设单位成本增加问题，对采用装配式的建设单位给与税收优惠及金融扶持政策^[8]，比如给建设单位容积率优惠政策，开发贷利率优惠政策等。

（4）针对构件厂问题，行业主管部门根据装配式发展规模，宏观调控构件厂新建或扩充产能速度，定期在信息平台公布各构件厂产能，并鼓励引导企业精益生产^[9]，确保装配式构件市场平稳发展及效益提升。

（5）对于吊装、灌浆设备不匹配问题，建议行业主管部门联合机械行业主管部门，制定装配式建筑相关机械、设备标准，并给与一定的研发支持。

（6）针对信息交流不畅问题，对于装配式建筑，因产业链中加入了设计深化、构配件生产、构配件运输单位，造成信息沟通量增加，建议各参建方共享使用建筑信息模型（BIM）数字管理平台^[10]，提升沟通效率，并且建设单位应尽到协同组织责任。

综上所述，加速专业化人才培养，提高设计标准化，加强产业链企业信息共享和沟通，扶持构件厂精益化生产，促进配套吊装设备完善，均是提高装配式建筑效益的有效方式。装配式砼建筑是我国建筑产业化、工业化转型，绿色、智能、高质量发展进而实现建筑现代化的重要途径，是实现行业低碳发展的重要途径，是房地产业及建筑业共同努力实现新质生产力的实践和创新，是未来房地产和建筑行业的发展方向。

参考文献

[1] 石振武, 王金茹. 绿色供应链视角下装配式建筑可持续性评价研究 [J]. 工程管理学报, 2020, 34(2): 32 -37. DOI:10.13991/j.cnki.jem.2020.02.007.

[2] 许彬, 李家豪, 张国兴, 等. 数字建造技术下装配式建筑精细化施工管理研究 [J]. 河北建筑工程学院学报, 2023, 41(1): 163-169. DOI:10.3969/j.issn.1008-4185.2023.01.030.

[3] 陈大川, 罗阳, 刘政轩, 等. 装配式建筑产业链高质量发展存在的问题及对策研究 [J]. 建筑经济, 2023, 44(6): 5-13. DOI:10.14181/j.cnki.1002-851x.202306005.

[5] 尹祥燕. 装配式建筑成本控制分析 [J]. 砖瓦, 2022(3): 43-45. DOI:10.3969/j.issn.1001-6945.2022.03.015.

[6] 刘威. 装配式建筑效益分析与研究 [J]. 中国房地产业, 2018(20): 152. DOI:10.3969/j.issn.1002-8536.2018.20.140.

[7] 龙源. 基于全寿命周期的装配式建筑效益分析 [J]. 重庆建筑, 2018, 17(8): 7-9. DOI:10.3969/j.issn.1671-9107.2018.08.07.

[8] 邸惠龙. 装配式建筑效益分析及建造成本分析 [J]. 建筑工程技术与设计, 2019(30): 1047. DOI:10.12159/j.issn.2095-6630.2019.30.1011.

[9] 王建伟. PC 构件装配式建筑效益分析与研究 [J]. 文摘版: 工程技术 (建筑), 2016, 0(2): 263.

[10] 温董瑶, 吕哲琦, 孙恒, 等. 装配式建筑增量效益经济评价研究 [J]. 项目管理技术, 2024, 22(2): 87-92. DOI:10.3969/j.issn.1672-4313.2024.02.016.

EPC 总承包供应链管理与发展分析

常明智

中化学城市建设(成都)有限公司, 四川 成都 610000

摘 要 : EPC 工程总承包模式广泛运用于大型工业项目、房建市政等建设工程领域, 这种模式下总包方承担着较多的项目责任, 为了确保达成项目目标和任务, 需要工程总承包企业从项目管理的每个环节探究提高管理的效率。采购管理作为 EPC 项目管理中协调沟通、控制成本质量及进度的重要组成部分, 在施工工程中起到了衔接的重要角色。根据 EPC 项目采购管理的特点, 从供应链管理的视角, 分析项目管理中内部、外部的关系, 探究 EPC 总承包工程项目供应链管理的发展趋势。

关 键 词 : EPC 工程总承包; 供应链管理; 采购管理

EPC General Contract Supply Chain Management and Development Analysis

Change Mingzhi

China Chemical City Construction (Chengdu) Co., LTD. Chengdu, Sichuan 610000

Abstract : EPC engineering general contracting mode is widely used in large industrial projects, housing construction, municipal construction and other construction engineering fields. Under this mode, the general contractor undertakes more project responsibilities. In order to ensure the achievement of project objectives and tasks, the engineering general contracting enterprises need to explore and improve the efficiency of management from every link of project management. As an important part of coordination and communication, cost quality control and progress, procurement management plays an important role in construction projects. According to the characteristics of EPC project procurement management, from the perspective of supply chain management, the internal and external relationship in project management is analyzed, and the development trend of supply chain management of EPC general contracting projects is explored.

Keywords : EPC project general contracting; supply chain management; procurement management

引言

随着建筑业市场的发展总承包制度逐步完善, 2017 年国务院发布国家标准《建设项目工程总承包管理规范》, 在经历了 20 余年的发展之后, EPC 总承包的范围逐步扩大, 涉及到化工、建筑、市政等多个行业; 随着政府对工程总承包模式的积极推行, 对于工程总承包企业而言, 把控项目的话语权也不断增强, 能够从全局层面运营管理整个工程项目, 同时也面临着诸多的挑战和机遇。在 EPC 施工总承包中, 需要进行勘察设计和采购; 施工, 调试及其他关键步骤深度融合、环环相扣, 设备材料采购管理是贯穿整个项目管理的重要环节。它的经营范围也从单一的购买环节向整个工程的整个过程转变。

将供应链管理的思想应用于制造行业, 能够有效地减少设备和材料的采购成本, 满足项目需要, 提高管理效率, 为项目的成功进行提供保障。

一、EPC 总承包工程项目采购管理的特点

EPC 总承包工程项目中的采购主要是指设备材料的采购。采购管理内容主要有采购策划方案的编制、招采流程、排产进度催交、出厂检验、运输交付、开箱检验与安装调试、变更增补、仓库管理等一系列流程。

EPC 总承包工程项目采购管理特点:

1. 内容的可控性。相对于传统的基于设计的采购管理, EPC 的采购管理与设计管理、施工管理的深度结合, 能够在符合工程

施工需要的前提下, 对装备的技术参数、规格型号、使用数量等进行更加具有灵活性和效率的调节与优化, 达到高品质的降低成本的目的。

2. 合作的延续性。与短期一次性交易的传统采购管理相比, EPC 工程的长期性要求, 使其能够持续地进行下去。在对供应商进行筛选的过程中, 不仅要对单一的工程进行博弈, 还要将其与企业的长期协作能力、声誉等因素结合起来, 从而实现对企业成本的控制和质量的提升。

3. 过程的重合性。相对于传统的按项目按序进行的采购管

作者简介: 常明智 (1990.12—), 男, 汉族, 宁夏石嘴山人, 硕士, 工程师, 研究方向: 控制工程。

理, 由于工程项目的平行和交叉, 使得工程总承包企业的采购工作在时间和内容上都存在重合。应建立集中式与西式两种模式, 即对重合的工序实行集中采购, 节约工期、节约费用, 又对非重叠工序的分散采购作出合理安排, 在降低存货的前提下, 满足工程需求^[1]。

二、EPC 工程总承包采购的供应链管理思路

2023年国资委印发《关于中央企业在建设世界一流企业中加强供应链管理的指导意见》中明确了供应链管理的重要性, 一是要强化企业治理制度与治理能力, 二是推进企业高水平发展的必由之路, 三是为创建国际先进企业奠定坚实的基石与保证。作为国有企业, 需要基于建设世界一流企业的要求, 打造供应链核心能力, 建设成与世界一流企业相适应的供应链管理体系。推进中央企业的 SCM 系统转型, 积极创建精益、协同和国际化; 现代供应链的智能化和绿色化, 使其整体的风险反应能力得到了充分的提升, 恢复力不断加强。在战略层次上, 供应链管理就是要以企业发展的战略为基础, 对企业内外的资源进行整合, 使目标市场和顾客的需求与期待得到最大程度的满足, 从而达到企业自己的战略目的。

对于 EPC 工程总承包项目, 供应链是以建设工程项目为中心, 以提高工程质量和建设效率为目标, 以配置资源为手段, 实现工程开发设计、采购供应、施工生产、验收交付、运营管理、服务等全过程计划协同的网链结构。供应链管理是要规划、组织、协调和控制供应链中的各个活动, 把供应链中的各个环节企业作为一个有机的整体来看待, 追求实物流、资金流和信息流的整合与同步, 注重各个环节企业之间以强强联手的形式来构建策略性的合作伙伴, 从而减少了全产业链的总体费用, 提升了顾客的满意度^[2-3]。工程总承包供应链如图 1 所示。

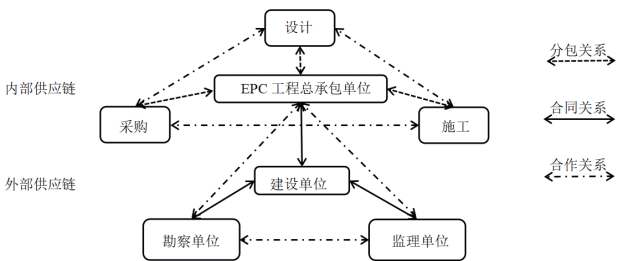


图 1 EPC 工程总承包供应链

按照分包合同关系及协作关系, 把工程总承包单位、设计与施工分包方、设备材料供应商构成了项目总承包的内在供应链; 与建设公司、勘察公司、监理公司等以一种总包方的契约关系或合作方式构成了一个项目的外部供应链。EPC 工程总承包单位以项目目标为核心, 把供应链上的业主、分包商、供应商等各方企业作为不可分割的整体, 对资金流、信息流、物流有效控制, 通过招标投标、设计、采购、施工; 安装调试、试运行、验收移交等多个方面进行深入的协作, 通过对整个过程进行管理, 能够使质量得到更好的保证, 降低成本, 缩短工期, 实现项目目标, 实现经济效益和社会效益。

三、供应链管理思路下 EPC 总承包采购管理过程

针对 EPC 总承包的特征, 提出了一种新的“供应链”概念。相对于传统的采购, 供应链管理思路下, 在对项目的采购计划进行优化的基础上, 采购经理们更加关注的是, 在构建和配置供应链信息平台、维护信息、更新数据以及使用过程中^[4]。

1. 采购计划的编制。根据施工和施工进度表, EPC 总包方将经设计(部门)、施工分包(部门)等对其进行了调整和优化, 并将其提交给采购主管部门。由采购管理部对每个项目的采购方案进行汇总, 并通过供应链信息化的方式对供应商进行选择, 并将其作为一个优先选择的对象。同时, 对于工程需要相同时期的装备和材料, 也要进行集中采购。同时, 根据项目现场的实际情况, 对相似需求期的设备和材料, 结合市场趋势和库存管理, 在权衡价格成本、时间成本、通信成本后, 选择集中或分散采购。

2. 采买活动的组织。采购主管部门根据综合、最优的采购方案, 对有意向参加竞标的企业进行资格预审, 邀请招标(询价), 评审, 签订采购合同。对于战略合作伙伴, 双方在框架协议和战略合作协议基础上, 结合特定的工程条件, 分别作出明确的规定。非策略型供应商, 除进行常规游戏式协商外, 还需寻找与之建立长久的联合可能性及资源途径, 不断更新、充实供应链资讯采购平台中的供应商资料库。

3. 采购合同的执行。根据合约条款执行生产计划, 催货, 出厂检验, 发货验收; 安装调试, 更改添加, 存货管理, 工程结算等。在履行采购契约的时候, 各个项目部会依据供应商的质量标准、服务水平以及合作声誉等, 通过履约评估的方式向采购主管和企业管理层进行反馈, 以此来对供应链的信息采购平台进行升级和补充, 并能够根据工程的实际供应状况适时、适量地对采购计划做出适当的调整和优化。

4. 供应链信息采购平台的维护。在对项目部、财务管理部门以及公司管理部门等部门搜集到的供应商的履约评估资料进行汇总、整合, 对供应链的信息采集平台进行不断的升级与维护, 使其能够将供应链的信息资源以一种真正、高效的方式展现出来。为后续项目采购策划选择提供参考^[5]。

四、EPC 总承包工程项目供应链管理的发展趋势

2020年世界级领先的全球管理咨询公司麦肯锡公司发布了建筑业未来发展的预测报告, 指出了未来建筑业工程总承包发展的 9 大趋势: ①基于产品的方法; ②专业化; ③供应链和价值链的控制与协调; ④整合; ⑤注重品牌化; 以客户为中心; ⑥技术与设施投资; ⑦人力资源投资; ⑧国际化; ⑨可持续性。其中基于产品的方法即工业化, 在建筑业工程建设最近几年内已经逐步实现, 这些预期转变, 与已经发生过转变的车、船、飞机制造业和农业有着相似之处。

目前工程建设生态系统是一个高度复杂的、分散的、基于项目的建设过程, 未来的 EPC 总承包工程项目会有一个更加标准化、更统一和集成化的建设过程。供应链是社会分工的网状结

构,建筑业工程总承包发展趋势必然会对供应链的发展产生重要影响和变化。

1. 工业化促进供应链管理的智能化。从过去的分散落后的手工业生产,逐渐向基于现代化科技的大工业生产转变,这就是建筑行业的转型。建筑产业化是一种以部件预制化生产和装配式建造为生产模式的生产模式,它具有设计规范化、部件部品化、施工自动化和管理信息化等特点,可以将设计、生产、施工等整个 EPC 总承包的整个产业链进行整合,从而达到产品节能、环保、全生命周期的最大程度上实现产品的节能、环保、全生命周期的价值最大化。连接 BIM 和建筑管理系统的渠道和接口可以更好地融入价值链。在工业化的过程中,供应商可以通过在物流、需求预测和库存管理中使用先进的分析技术,实现从供应商到模块化建筑工厂再到项目现场的准时交货,从而在未来 EPC 总承包工程项目中扮演物流枢纽的角色^[6]。

2. 数字化是供应链发展的必由之路

面对 EPC 总承包工程项目未来发展的趋势,建设发展数字化供应链是必由之路。随着互联网技术的发展,应用人工智能、物联网、机器人流程自动化和云端协作网络等技术,打造可预测战略询源、自动化采购执行与前瞻性供应商管理,从而实现降本增效,显著降低合规风险,将采购管理部门打造成企业新的价值创造中心,是建筑业平台建设发展的目标。

3. 供应链绿色化是可持续发展的必然要求

绿色供应链的理念首先出现在制造行业。绿色供应链作为一

种将环保与资源利用相结合的新型经营方式,在建筑行业中得到了广泛的运用。基于绿色建筑设计、建造等方面的理论,结合供应链管理技术,从项目前期策划到可行性研究到立项,涵盖了整个项目的整个生命周期内所有参与人和使用人;调查,设计,招标,工程实施;从工程完工到完工,从完工到运行保养,再到最后的拆卸和废弃,都是最少的环境负面影响和最大的资源利用率。在消费水平不断提高的同时,人们对环境保护的重视程度也不断提高,因此,对于工程项目的施工企业来说,需要将其作为一个整体来看待,将其对环境的冲击与对资源的利用结合起来。负责产品管理,规划设计,设备材料的采购;在运输、建设生产、使用和回收等各个方面都要进行最佳化,将资源进行合理地分配和分配,最大限度地减轻企业在生产和经营活动中产生的环保负荷,减轻自己的发展对环保造成的影响;增强公司“绿色”的核心能力。

4. 供应链全球化是发展的必然趋势

EPC 总承包企业的国际化,不可避免地导致了供应链的全球化。在把目光投向国内市场的同时,也要把自己的供应链体系扩展到全世界,把最好的资源集中起来。面对不断变化的外部环境所产生的新矛盾和新挑战,总承包企业要顺应时代的潮流,加大供应链补短板、保障安全的能力,通过制订并落实好面向全国市场的供应链管理策略与解决方案,以国际化的眼光来构建和整合全球供应链,培养全球资源分配和供应链风险预防的能力。

参考文献

- [1] 王卓甫,丁继勇. 工程总承包管理理论与实务 [M]. 北京:中国水利水电出版社, 2014.
- [2] 李路曦,王青娥. 基于供应链管理的 EPC 项目物资采购模式 [J]. 科技进步与对策, 2012(18):66-68.
- [3] 张月平. 浅析采购目标的实现 [J]. 招标与投标, 2016 (11).
- [4] 江思定,张宏伟,于俭. 供应链管理环境下采购管理的博弈论分析 [J]. 商业研究, 2003(13):76-78.
- [5] 张强. 浅析 EPC 总承包项目中的采购成本控制 [J]. 中国市场, 2013(10):60-61.
- [6] 郝生跃,乔凤羽. 供应链管理思想在工程总承包项目中的应用研究 [J]. 物流技术, 2006(6):43-46.

窄带物联网（NB-IoT）技术的研究与实现

林健

泰山科技学院，山东 泰安 271000

摘 要： NB-IoT 具有低功耗、低成本、广覆盖的特点，能够满足大量低成本、低速率的物联网设备连接需求，对于智慧城市建设、工业自动化等领域具有重要作用。针对于此本文首先分析了物联网的地位与相关技术概念，随后针对当前研究内容与实现方式进行阐述，并针对应用中存在的阻碍提出相应的优化策略。通过抗干扰技术研究与促进产业链协同发展等策略的实施，期望能为 NB-IoT 技术的实现提供帮助。

关 键 词： 物联网；NB-IoT 技术研究；NB-IoT 技术实现

Research and Implementation of Narrow-Band Internet of Things (NB-IoT) Technology

Lin Jian

Taishan University of Science and Technology, Tai'an, Shandong 271000

Abstract： NB-IoT has the characteristics of low power consumption, low cost and wide coverage, which can meet the needs of a large number of low-cost and low-rate Internet of Things devices, and plays an important role in smart city construction, industrial automation and other fields. In view of this, this paper first analyzes the status of the Internet of Things and related technical concepts, and then elaborates on the current research content and implementation methods, and puts forward corresponding optimization strategies for the obstacles existing in the application. Through the implementation of anti-interference technology research and promoting the coordinated development of the industrial chain and other strategies, it is expected to provide help for the realization of NB-IoT technology.

Keywords： Internet of Things; NB-IoT technology research; NB-IoT technology implementation

引言

随着全球信息化和智能化的发展趋势，物联网技术已成为推动社会进步和经济发展的重要力量。NB-IoT 作为物联网技术中的一种，其独特的技术优势使其在众多物联网技术中脱颖而出。然而 NB-IoT 技术在实际应用中也面临着诸如频谱资源限制、网络覆盖不均、设备成本和功耗控制等挑战。

一、物联网在当今社会 and 科技发展中的重要地位

在近些年来的科技发展和社会进步中，使得当今物联网已经在社会中占据了举足轻重的地位。在应用中物联网可以通过将各种设备、传感器、机器和日常物品连接到互联网，进而帮助实现了数据的实时收集、交换和分析，从而极大地提高了工作效率^[1]。

二、窄带物联网（NB-IoT）技术概述

（一）NB-IoT 的概念

窄带物联网（NB-IoT）技术是它一种具有低功耗的广域网通信技术，专为满足客户低带宽、低功耗、长距离通信的需求而设计。NB-IoT 利用授权的蜂窝网络频段，提供比传统蜂窝技术更广泛的覆盖范围，同时保持较低的设备成本和能耗。这种技术

特别适合于智能抄表、资产跟踪、环境监测等物联网应用。

（二）NB-IoT 的网络架构

1. 核心网

核心网是窄带物联网（NB-IoT）网络架构中的关键组成部分，它主要负责处理设备与网络之间的数据传输、会话管理、安全性和移动性管理等核心功能。核心网普遍采用基于 IP 的网络技术，用来确保与现有移动通信网络的兼容性，同时核心网还支持设备的高效连接和数据传输^[2]。

2. 基站

基站在窄带物联网中的功能则是负责无线信号的发送和接收，保障设备之间拥有良好的通信。窄带物联网技术专为低功耗广域网设计，适用于需要长期运行且数据传输量不大的物联网应用。基站通过低频段的无线电波与连接的设备进行通信，这些设备可以是智能仪表、传感器、追踪器等。

作者简介：林健（1989.08-），男，汉族，山东省泰安市泰山区，硕士研究生，研究方向：电子信息工程。

3. 终端设备等组成部分。

终端设备是直接连接到物联网的传感器或设备当中，负责收集数据并将其发送到网络。这些设备通常需要设计为低功耗，进而支持设备的长期运行而无需频繁更换电池。

（三）NB-IoT 的关键技术

1. 窄带物理层技术

窄带物联网（NB-IoT）的物理层技术是稳定运行中的关键技术之一，需要在设计时允许设备在非常低的带宽下进行通信，从而实现低功耗广域网（LPWAN）通信。NB-IoT 利用了蜂窝网络的授权频段，确保了通信的可靠性和安全性。窄带物联网物理层技术特是超低功耗设计。这需要设计者通过优化调制解调器和睡眠模式，来保障设备能够在电池供电的情况下运行数年^[9]。

2. MAC 层协议

MAC 层协议在 NB-IoT 中负责管理设备与基站之间的无线资源分配和数据传输。NB-IoT 的 MAC 层协议设计得非常精简，以适应物联网设备的低功耗需求。它往往在设计时会考虑多种调度策略，其中包括基于竞争的随机接入和基于调度的专用接入。在随机接入过程中设备可以无需事先预约资源直接发送数据，这大大降低了设备的能耗和延迟。

3. 网络覆盖增强技术

现如今在物联网技术快速发展的背景下，NB-IoT 网络覆盖增强技术的需求也日益凸显，以确保在各种复杂环境下都能提供稳定可靠的通信服务。具体而言 NB-IoT 网络覆盖增强技术主要包括功率增强与多天线技术等几个方面。功率增强技术是通过提高发射功率和接收灵敏度来扩大网络覆盖范围。例如通过引入功率放大器（PA）和低噪声放大器（LNA）来提升终端设备的发射和接收能力。

三、窄带物联网（NB-IoT）技术的研究

（一）性能研究

窄带物联网（NB-IoT）技术是当前的一种新兴的低功耗广域网（LPWAN）技术，专门为物联网（IoT）设计，常用于实现设备的远程连接和数据传输。NB-IoT 技术的性能研究主要集中在覆盖范围、连接密度、数据传输速率和成本效益等方面。其中覆盖范围是 NB-IoT 技术的一个显著优势。这是由于 NB-IoT 技术在设计时使用了低频段的无线电波，使得 NB-IoT 能够提供比传统蜂窝网络更广泛的覆盖范围，甚至在地下室和地下设施中也能保持良好的连接。

（二）功耗研究

当前研究人员在进行 NB-IoT 技术的功耗研究时，首先需要进行特别关注的是设备在不同工作状态下的能耗情况。NB-IoT 设备的工作状态可以分为活跃状态、休眠状态和待机状态。在活跃状态下的设备进行数据传输时，此时的能耗相对较高。研究人员为了降低这部分能耗通常会优化通信协议，减少数据包的大小和传输频率，以及采用更高效的编码和调制技术。在休眠状态下，设备关闭大部分功能，仅保留必要的时钟和唤醒机制，以等待唤醒信号^[10]。

（三）兼容性研究

为了确保 NB-IoT 技术能够与现有的通信系统和设备无缝对接，研究人员加大兼容性方面的研究显得尤为重要。首先研究人员必须确保 NB-IoT 技术能够在现有的 GSM、LTE 甚至 5G 网络架

构中运行，这意味着它需要与现有的基站、核心网以及运营支持系统（OSS）兼容。针对于此研究人员为了实现这一点，会在 NB-IoT 技术应用中使用 LTE 的子载波间隔和带宽，进而确保了其在 LTE 频谱上的部署。例如 NB-IoT 可以利用 LTE 网络中的未使用资源块（RBs），在不干扰现有 LTE 服务的情况下进行数据传输。

四、窄带物联网（NB-IoT）技术的实现

（一）硬件实现

对于窄带物联网（NB-IoT）技术的硬件实现，主要的核心在于研究人员设计出低功耗、高覆盖、低成本的终端设备。在 NB-IoT 的设计模块中，通常需要集成到各种物联网设备中。例如智能表计、环境监测器、资产追踪器等这些模块的应用必须能够适应不同的工作环境，同时保持长时间的稳定运行。在硬件设计方面，NB-IoT 模块通常包括射频前端、基带处理单元、电源管理模块以及天线设计。射频前端负责信号的收发，需要具备高灵敏度和低噪声特性，以确保在恶劣的无线环境下也能保持通信的稳定性。基带处理单元则负责信号的调制解调、编解码等处理工作，其性能直接影响到模块的通信效率和功耗。

（二）软件实现

在软件层面的窄带物联网（NB-IoT）技术实现往往涉及多个关键组件，其中较为重要的板块包括网络协议栈、设备管理与安全机制等。首先网络协议栈是 NB-IoT 设备与网络通信的核心，它负责处理数据的封装、传输、接收和解封装。协议栈的设计必须高效，以适应 NB-IoT 低功耗和低数据速率的特点。而设备管理是软件实现的另一个重要方面。NB-IoT 设备需要远程配置、监控和维护，这通常通过设备管理协议如 TR-069 或 OMA-DM 来实现。这些协议允许网络运营商对设备进行远程固件更新、诊断和配置，确保设备的长期稳定运行。安全机制是 NB-IoT 技术中不可或缺的一部分。由于 NB-IoT 设备通常部署在开放环境中，因此必须确保数据传输的安全性。这包括使用加密技术保护数据的机密性和完整性，以及实现设备身份验证和授权机制，防止未授权访问^[11]。

（三）系统集成与测试

研究人员在完成窄带物联网（NB-IoT）技术的软件实现后，接下来进行的系统集成与测试阶段是确保整个系统稳定运行的关键步骤。研究人员需要将重点放在 NB-IoT 模块与应用服务器进行集成。这涉及到确保模块能够通过网络与服务器进行有效通信，同时保证数据传输的安全性和可靠性。在集成过程中，开发者需要编写相应的接口代码，以确保数据格式和协议的兼容性。当研究人员集成完成后就需要进入测试阶段，测试分为单元测试、集成测试和系统测试。单元测试主要针对软件的最小可测试部分进行检查和验证，确保每个模块的功能符合预期。集成测试则关注于模块间的交互，确保不同模块协同工作时能够正常运行^[12]。

五、窄带物联网（NB-IoT）技术的应用场景

（一）智能抄表领域

对于窄带物联网（NB-IoT）技术智能抄表领域的应用，其为城市公共事业管理带来了革命性的变化。在城市管理的应用之

下,工作人员通过 NB-IoT 技术可以实现对水、电、气等资源使用的实时监控和远程抄表,极大地提高了抄表的准确性和效率。NB-IoT 设备具有低功耗、广覆盖和低成本的特点,使得它们非常适合部署在城市各个角落的计量表上。

（二）智能交通领域

在城市的交通系统中,NB-IoT 技术的应用正变得越来越广泛。例如 NB-IoT 传感器可以安装在交通信号灯上,达到实时监控交通流量并自动调整信号灯的时序的目的,从而帮助城市优化交通流。此外这些传感器还可以用于智能停车系统,帮助司机快速找到空闲停车位,减少因寻找停车位而产生的额外交通压力。

（三）环境监测领域

随着全球气候变化和环境问题的日益严峻,环境监测变得越来越重要。窄带物联网(NB-IoT)技术因其低功耗、广覆盖和高连接数的特点,在环境监测领域展现出了巨大的应用潜力。NB-IoT 设备可以部署在偏远和难以到达的地区,实现对空气质量、水质、土壤状况等环境参数的实时监测^[7]。

六、窄带物联网(NB-IoT)技术发展面临的挑战与对策

（一）面临的挑战

1. 频段资源有限

尽管窄带物联网(NB-IoT)技术在低功耗广域网(LPWAN)领域具有巨大潜力,但在实际应用中研究人员发现仍面临诸多挑战,频段资源有限是其中的一个主要问题。该问题的产生原因是由于 NB-IoT 依赖于现有的蜂窝网络频段,而这些频段已经被 2G、3G 和 4G 等传统移动通信技术广泛使用。随着物联网设备数量的激增,频段资源变得越来越紧张,这限制了 NB-IoT 网络的扩展性和覆盖范围^[8]。

2. 信号干扰问题

针对于不同的应用场景,使得 NB-IoT 技术在工作授权和非授权频段时,它可能会受到来自其他无线通信系统的干扰。例如 GSM、LTE、Wi-Fi 等这种干扰可能会导致通信质量下降,数据传输速率降低,甚至连接中断。而在城市环境中,高楼大厦和各种电子设备密集,信号干扰尤为严重。

3. 标准和规范方面的挑战

在近些年随着物联网(IoT)技术的快速发展,而窄带物联网(NB-IoT)作为其中的一个重要分支,因其低功耗、广覆盖和低成本的特点,受到了广泛关注。然而随着技术的不断推进,NB-IoT 技术发展也面临着一系列挑战,其中标准和规范方面的挑战尤为突出。这是因为 NB-IoT 技术的国际标准化进程尚未完全成熟。虽然 3GPP 已经发布了多个版本的标准,但随着技术的演进和市场需求的变化,标准的更新和迭代速度需要加快来适应快速发展的市场环境^[9]。

（二）对策建议

1. 频谱资源管理策略

研究人员为了应对频段资源有限的问题,提出了多种窄带物联网(NB-IoT)技术发展的对策建议。其中进行频谱资源管理策略是关键。可以通过动态频谱共享技术提高频谱的利用率,允许

NB-IoT 设备在未被占用的频段上进行通信。此外频谱拍卖和分配机制的优化能够确保频谱资源的合理分配,避免资源浪费。

2. 抗干扰技术研究等。

为了确保 NB-IoT 网络的稳定性和可靠性,研究人员加强抗干扰技术的研究至关重要。这是由于 NB-IoT 工作在低频段,可能会受到其他无线通信系统的干扰,因此需要开发高效的干扰检测和抑制算法。此外可以考虑采用动态频谱接入技术,通过智能地选择工作频率来避开干扰^[10]。

3. 加强国际国内标准制定的协调统一

随着 NB-IoT 技术的快速发展,全球各国和地区对物联网应用的需求日益增长,加强国际国内标准制定的协调统一显得尤为重要。这就要求相关部门应积极参与国际标准化组织的工作,推动我国在 NB-IoT 领域的技术提案和标准建议得到国际认可。其次加强与国际标准的对接,确保我国标准与国际标准的兼容性和互操作性,从而促进全球物联网产业的互联互通。

4. 促进产业链协同发展的策略

近些年来窄带物联网(NB-IoT)技术成为推动智慧城市建设、工业自动化和远程监控等应用的重要力量。针对于此相关部门为了进一步促进 NB-IoT 技术的发展,应出台更多支持政策鼓励产业链上下游企业加强合作。例如可以提供税收减免、研发资金支持等激励措施,促进企业加大在 NB-IoT 技术研发和应用创新上的投入。

七、结语

综上所述,窄带物联网(NB-IoT)技术在智能抄表、智能交通、环境监测等多个领域展现出了巨大的应用潜力和价值。然而,频段资源有限、信号干扰问题以及标准和规范方面的挑战,仍需我们共同面对和解决。通过频谱资源管理策略与抗干扰技术研究等策略,相关部门可以有效应对这些挑战,推动 NB-IoT 技术的持续发展和广泛应用。相信在不远的未来,将随着技术的不断进步和市场的不断成熟,NB-IoT 技术必将在智慧城市建设、工业自动化、远程监控等领域发挥更加重要的作用,为社会带来更加便捷、高效和智能的生活方式。

参考文献

- [1] 唐浩文,魏哲,胡绪焱,等.基于物联网云计算技术的智慧桩系统研究[J].电气自动化,2024,46(05):62-65.
- [2] 郑文静.基于NB-IoT技术的气象数据传输控制系统设计[J].工业仪表与自动化装置,2024,(05):48-54.DOI:10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2024.05.010.
- [3] 黄丽,龚志鹏.车辆涉水智能无线报警装置[J].中南民族大学学报(自然科学版),2024,43(06):759-764.DOI:10.20056/j.cnki.ZNMDZK.20240605.
- [4] 吉用华,张晨,张更新.面向高吞吐量的NB-IoT低轨卫星物联网资源调度[J].太赫兹科学与电子信息学报,2024,22(09):933-943+951.
- [5] 朱虎,杜琳.基于物联网技术的高速公路机电设备远程监控研究[J].智能物联技术,2024,56(05):145-148.
- [6] 伍思琪.基于NB-IoT技术的城市节水监督管理平台设计[J].江西通信科技,2024,(03):36-39+42.DOI:10.16714/j.cnki.36-1115/tn.2024.03.007.
- [7] 郝亚平.基于滑动聚类的窄带物联网特征级异构数据融合方法[J].微型电脑应用,2024,40(07):234-237.
- [8] 吴宇航.星地融合窄带物联网下行共享信道研究[D].北京邮电大学,2024.
- [9] 汪祺.基于物联网节点和三维重建的作物生长环境和状态观测[D].南昌大学,2024.DOI:10.27232/d.cnki.gnchu.2024.001561.
- [10] 张爱英.基于物联网的智能水培温室控制系统研究[D].临沂大学,2024.DOI:10.44252/d.cnki.glydx.2024.000084.

仪器仪表自动控制系统的精度与稳定性研究

李德杨

中海石油（中国）有限公司上海分公司，上海 200050

摘 要： 随着科学技术的不断进步，仪器仪表自动控制系统在现代工业生产、交通运输、环境监测、医疗卫生及农业生产等领域中发挥着越来越重要的作用。该系统通过采集、处理和传输各种参数信息，实现对被控对象的高精度控制和稳定调节。然而，在实际应用中，仪器仪表自动控制系统的精度与稳定性问题一直是制约其应用效果的关键因素。本文深入分析了影响仪器仪表自动控制系统精度与稳定性的主要因素，包括传感器精度、信号转换误差、处理器性能以及噪声和温度干扰等。同时，本文还探讨了提高仪器仪表自动控制系统精度与稳定性的有效方法，旨在为解决实际应用中遇到的问题提供理论支持和实践指导。通过本文的研究，我们期望能够进一步推动仪器仪表自动控制系统的优化和发展，提高其在实际应用中的可靠性和效率。

关 键 词： 仪器仪表；自动控制系统；精度；稳定性

Research on Accuracy and Stability of Instrumentation Automatic Control Systems

Li Deyang

CNOOC (China) Co., Ltd. Shanghai Branch, Shanghai 200050

Abstract： With the continuous advancement of science and technology, instrumentation automatic control systems are playing an increasingly important role in modern industrial production, transportation, environmental monitoring, healthcare, agricultural production, and other fields. These systems achieve high-precision control and stable regulation of controlled objects by collecting, processing, and transmitting various parameter information. However, in practical applications, the accuracy and stability of instrumentation automatic control systems have always been key factors limiting their effectiveness. This paper deeply analyzes the main factors affecting the accuracy and stability of instrumentation automatic control systems, including sensor accuracy, signal conversion errors, processor performance, as well as noise and temperature interference. Meanwhile, this paper also discusses effective methods to improve the accuracy and stability of instrumentation automatic control systems, aiming to provide theoretical support and practical guidance for solving problems encountered in practical applications. Through the research in this paper, we hope to further promote the optimization and development of instrumentation automatic control systems and improve their reliability and efficiency in practical applications.

Keywords： instrumentation; automatic control systems; accuracy; stability

引言

仪器仪表自动控制系统作为现代工业和科技发展的基石，其重要性不言而喻。从工业生产线上的自动化控制，到环境监测中的精准数据采集，再到医疗卫生领域的精密诊断，都离不开高精度和高度稳定的仪器仪表自动控制系统。然而，在实际应用中，系统的精度与稳定性往往受到多种因素的影响，如传感器精度、信号转换误差、处理器性能以及环境噪声和温度干扰等。因此，开展仪器仪表自动控制系统的精度与稳定性研究，对于提升系统性能、保障生产安全和提高生活品质具有重要意义。

一、影响因素分析

（一）传感器精度：系统“眼睛”的精准度

传感器，作为仪器仪表自动控制系统的“眼睛”，其精度是衡量系统数据采集准确性的重要指标。传感器精度的高低直接决

定了系统能否获取到真实、可靠的数据，进而影响到整个系统的性能表现。

传感器精度的不足，会导致系统误差的增大。这种误差可能源于传感器的设计缺陷、制造工艺的不完善，或是长期使用后的磨损和老化^[1]。当传感器无法准确感知被测量参数的真实值时，系

作者简介：李德杨（1989.09-），汉族，党员，本科毕业，现就职于中海石油（中国）有限公司上海分公司，工程师，研究方向：仪器仪表与自动控制。

统所接收到的数据就会偏离实际，从而引发一系列的控制误差。这种误差的累积，不仅会降低系统的控制精度，还可能导致系统无法正常工作，甚至引发安全事故。

为了提高传感器的精度，我们需要从多个方面入手。一方面，可以优化传感器的设计，采用更先进的材料和工艺，提高传感器的灵敏度和稳定性。另一方面，可以通过校准和测试，对传感器进行精确的调整和修正，确保其输出数据与实际测量值保持一致。此外，还可以通过引入冗余传感器和数据融合技术，提高系统的容错能力和数据可靠性^[2]。

在实际应用中，我们还需要注意传感器的选用和配置。不同的传感器适用于不同的测量环境和被测参数，因此需要根据实际需求进行选择 and 配置。同时，还需要定期对传感器进行检查和维护，及时发现并解决问题，确保传感器的长期稳定运行。

（二）信号转换误差：数据传输的“隐形障碍”

信号转换误差是影响仪器仪表自动控制系统精度的另一个重要因素。在系统中，模拟信号与数字信号之间的转换是不可避免的^[3]。然而，这种转换过程中可能出现的误差，却会对系统的精度产生显著影响。

模拟信号与数字信号之间的转换误差主要源于采样率、量化误差和分辨率等因素。采样率不足会导致信号失真，量化误差则会导致数据精度的损失，而分辨率则决定了系统能够分辨的最小信号变化量。此外，信号传输过程中的衰减和干扰也是导致转换误差的重要原因。这些干扰可能来自电源波动、电磁干扰或线路损耗等。

为了减小信号转换误差，我们需要采取一系列措施。首先，可以提高采样率和分辨率，以捕捉更多的信号细节和变化。其次，可以采用更先进的量化算法和编码技术，提高数据转换的精度和效率^[4]。此外，还可以通过加强信号传输过程中的保护措施，如使用屏蔽电缆、增加滤波器等，来减少外部干扰对信号的影响。

在实际应用中，我们还需要注意信号转换电路的设计和选型。不同的电路和器件具有不同的性能和特点，需要根据实际需求进行选择和优化。同时，还需要对信号转换过程进行实时监测和诊断，及时发现并解决问题，确保系统的正常运行和数据准确性。

（三）处理器性能：系统响应的“加速器”

处理器的运算速度和数据处理能力是影响仪器仪表自动控制系统响应速度和精度的重要因素。高性能的处理器能够更快地处理数据，减少误差积累，提高系统的稳定性和可靠性。

处理器的性能主要受到其架构、频率、缓存大小以及指令集等因素的影响。架构的优劣决定了处理器的运算效率和功耗比；频率的高低则直接决定了处理器的运算速度；缓存的大小则影响了处理器的数据访问速度和效率；而指令集的丰富程度则决定了处理器能够执行的任务类型和复杂度。^[5]

为了提高处理器的性能，我们需要采用更先进的处理器架构和技术。例如，采用多核处理器、并行处理技术或异构计算等技术手段，可以显著提高处理器的运算速度和数据处理能力。此

外，还可以通过优化算法和代码，提高程序的执行效率和响应速度。^[6]

在实际应用中，我们还需要注意处理器的散热和功耗问题。高性能的处理器往往伴随着较高的功耗和发热量，因此需要采取有效的散热措施和功耗管理策略，确保处理器的长期稳定运行和系统的可靠性。

（四）环境干扰：系统稳定的“隐形敌人”

环境噪声和温度变化等外部因素也是影响仪器仪表自动控制系统的精度和稳定性的重要因素。这些干扰因素可能来自电源波动、电磁干扰、机械振动、温度变化等。它们会对系统的传感器、信号转换电路和处理器等关键部件产生不良影响，导致系统误差增大、性能下降甚至失效。^[7]

为了减小环境干扰对系统的影响，我们需要采取一系列防护措施。首先，可以加强系统的屏蔽和接地设计，减少电磁干扰对系统的影响。其次，可以采用更稳定的电源和滤波技术，降低电源波动对系统的影响。此外，还可以通过引入温度补偿和传感器校准等技术手段，提高系统对温度变化的适应能力。

在实际应用中，我们还需要注意系统的安装和使用环境。避免将系统安装在振动大、电磁干扰强或温度变化剧烈的环境中。同时，还需要定期对系统进行检查和测试，及时发现并解决问题，确保系统的长期稳定运行和精度可靠性。

二、提高精度与稳定性的方法

（一）优化传感器设计：提升数据采集的基石

传感器作为仪器仪表自动控制系统的前端设备，其性能直接决定了系统数据采集的准确性和可靠性。因此，优化传感器设计是提高系统精度与稳定性的关键一步。

在传感器设计过程中，我们首先需要关注其测量范围和精度。通过采用更先进的材料和技术，如新型传感材料、微纳加工技术等，可以显著提升传感器的灵敏度和精度。同时，优化传感器的结构设计，如采用差分测量、温度补偿等设计，可以进一步减小误差，提高测量准确性。^[8]

此外，传感器的稳定性和可靠性也是设计过程中需要重点考虑的因素。通过采用冗余设计、故障自诊断等技术，可以提高传感器的容错能力和可靠性。同时，加强传感器的防护设计，如采用防水、防尘、抗震等措施，可以确保传感器在各种恶劣环境下仍能稳定工作。

在传感器选型方面，我们需要根据系统的实际需求进行综合考虑。不同传感器具有不同的特点和适用范围，如光电传感器适用于高速、高精度的测量，而热敏传感器则适用于温度测量。因此，在选型时，我们需要根据测量参数、精度要求、工作环境等因素进行综合考虑，选择最适合的传感器类型。

（二）提高信号转换精度：确保数据传输的精准

信号转换是将传感器采集到的模拟信号转换为数字信号，以供处理器进行后续处理的过程。提高信号转换精度对于保证系统数据传输的准确性和稳定性至关重要。

在信号转换过程中，我们需要关注采样率、量化误差和分辨率等关键因素。通过提高采样率，可以捕捉更多的信号细节，从而提高信号转换的精度。同时，采用更先进的量化算法和编码技术，可以减小量化误差，提高数据转换的准确性。此外，增加分辨率可以进一步提高系统对微小信号变化的分辨能力。^[9]

除了关注信号转换过程中的技术因素外，我们还需要加强信号传输过程中的保护措施。例如，采用屏蔽电缆、增加滤波器等手段，可以有效减少外部干扰对信号的影响。同时，加强信号传输线路的维护和检查，及时发现并解决问题，也是确保信号传输稳定性的重要措施。

（三）选用高性能处理器：加速数据处理与决策

处理器作为仪器仪表自动控制系统的核心部件，其性能直接决定了系统的响应速度和数据处理能力。选用高性能处理器是提高系统精度与稳定性的重要途径。

在处理器选型方面，我们需要关注其运算速度、数据处理能力、功耗以及可靠性等因素。通过采用多核处理器、并行处理技术或异构计算等技术手段，可以显著提升处理器的运算速度和数据处理能力。同时，选用低功耗、高可靠性的处理器可以降低系统的能耗和故障率，提高系统的稳定性和可靠性。

在处理器应用过程中，我们还需要关注其散热和功耗管理问题。高性能处理器往往伴随着较高的功耗和发热量，因此需要采取有效的散热措施和功耗管理策略。例如，采用热管散热、风扇散热等技术手段，可以降低处理器的温度，提高其稳定性和寿命。同时，通过优化算法和代码，降低处理器的功耗，也是提高系统整体能效的重要措施。

（四）加强环境适应性设计：应对复杂多变的外部环境

仪器仪表自动控制系统往往需要在各种复杂多变的外部环境中工作。因此，加强环境适应性设计是提高系统精度与稳定性的重要保障。

在环境适应性设计过程中，我们需要关注系统的抗干扰能力、温度适应性以及防护等级等因素。通过采用屏蔽、接地、滤波等技术手段，可以提高系统的抗干扰能力，减少外部干扰对系统的影响。^[10]同时，采用温度补偿、温度控制等技术手段，可以提高系统对温度变化的适应能力。此外，加强系统的防护设计，如采用防水、防尘、抗震等措施，可以确保系统在各种恶劣环境下仍能稳定工作。

在环境适应性设计过程中，我们还需要关注系统的可靠性和维护性。通过采用冗余设计、故障自诊断等技术手段，可以提高系统的可靠性和容错能力。同时，加强系统的维护性设计，如采用模块化设计、易于拆卸和更换的部件等，可以降低系统的维护成本和难度，提高系统的整体性能和稳定性。

三、结论

综上所述，仪器仪表自动控制系统的精度与稳定性研究对于提升系统性能、保障生产安全和提高生活品质具有重要意义。通过深入分析影响因素并提出有效的解决方法，我们可以不断优化系统性能，推动仪器仪表自动控制系统的进一步发展。未来，随着科技的进步和应用的深入，我们期待看到更多创新性的解决方案和研究成果，为人类社会带来更多的便利和福祉。

参考文献

- [1] 肖潇. 仪器仪表自动校准系统的设计[J]. 农机使用与维修, 2023(4): 27-30.
- [2] 门亚杰. 自动化仪表与控制系统的智能化研究[J]. 中国仪器仪表, 2024(8): 52-55.
- [3] 牛育谦, 杨艺媛. 基于 MIDI 控制器的软音源插件自动控制系统研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2023(5): 129-133.
- [4] 祝治年. 自控仪表设备工程中的安装与调试分析[J]. 石油石化物资采购, 2023(4): 196-198.
- [5] 谈太良. 基于 PLC 的大型仪器仪表自动化控制系统设计[J]. 中国设备工程, 2022(9): 142-144.
- [6] 唐忠奎, 朱大明. 工业自动化仪器仪表控制系统设计及开发[J]. 天津化工, 2022(1): 128-131.
- [7] 化东洋. 工业自动化仪器仪表控制系统设计及开发[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(5): 177-179.
- [8] 张广岭. 仪器仪表中自动化控制的探究[J]. 中国金属通报, 2022(2): 49-51.
- [9] 王伊凡, 宋程蛟. 探析自动化仪器仪表的控制技术[J]. 科学与信息化, 2022(19): 137-139.
- [10] 谭阳. 自动化控制技术在仪器仪表中的应用[J]. 化工设计通讯, 2022(4): 171-174.

基于深度学习的自动化设备控制系统研究与开发

黄晓阳, 彭云根, 宋满才
郑州富士康科技集团, 河南 郑州 450000

摘要： 随着智能手机市场的快速发展, 手机组装防水膜的自动化设备需求日益增长。本论文聚焦于一款用于手机组装防水膜的自动化设备控制系统, 深入研究机械手贴合深度学习功能以及 CCD 相机算法深度学习功能 (通过优化光源曝光、抓边逻辑及相机软件算法实现)。详细阐述系统架构设计、数据采集与预处理方法、深度学习模型构建与训练过程, 以及系统测试与性能评估结果。实验表明, 该控制系统显著提升了设备贴合精度、良率和产能效率, 为手机组装行业提供了高效、精准的自动化解决方案, 对推动行业技术进步具有重要意义。

关键词： 深度学习; 自动化设备控制; 机械手贴合; CCD 相机算法; 手机组装

Research and Development of an Automated Equipment Control System Based on Deep Learning

Huang Xiaoyang, Peng Yungen, Song Mancai
Foxconn Technology Group, Zhengzhou, Henan 450000

Abstract: With the rapid development of the smartphone market, there is an increasing demand for automated equipment for the assembly of waterproof membranes in mobile phones. This paper focuses on an automated equipment control system for the assembly of waterproof membranes in mobile phones, with a deep dive into the deep learning capabilities of robotic arm alignment and CCD camera algorithms (achieved through optimizing light source exposure, edge-grabbing logic, and camera software algorithms). The system architecture design, data acquisition and preprocessing methods, deep learning model construction and training process, as well as system testing and performance evaluation results are elaborated. Experimental results show that the control system significantly improves equipment alignment accuracy, yield, and production efficiency, providing an efficient and precise automated solution for the mobile phone assembly industry and being significant in driving technological advancements in the industry.

Keywords: deep learning; automated equipment control; robotic arm alignment; CCD camera algorithms; mobile phone assembly

引言

在智能手机行业蓬勃发展的今天, 手机的防水性能成为消费者关注的重要指标之一。手机组装防水膜的工艺质量直接影响手机的防水效果和整体性能。传统的手机组装防水膜工艺主要依赖人工操作, 这种方式存在诸多弊端。近年来, 由于互联网的高速发展和大数据时代的来临, 人工智能随之大热, 而推动人工智能迅猛发展的正是深度学习的崛起。大数据时代需要迫切解决的问题是如何将极为复杂繁多的数据进行有效的分析使用, 进而充分挖掘利用数据的价值并造福人类。深度学习作为一种实现机器学习的技术, 正是解决这一问题的重要法宝, 它在处理数据过程中发挥着重要作用并且改变了传统的机器学习方法, 已被广泛应用于语音识别、图像识别和自然语言处理等研究领域。

自动化设备在手机组装领域的应用逐渐成为趋势。自动化设备能够按照预设程序精确执行操作, 大大提高了生产效率和产品质量的稳定性。然而, 现有的自动化设备控制系统在应对复杂的手机组装防水膜工艺时, 仍存在一定的局限性。例如, 机械手的贴合精度在面对不同型号手机外壳和防水膜时可能出现波动, CCD 相机在图像识别和定位方面的准确性和速度有待进一步提高。

一、自动化设备控制系统总体设计

在手机组装防水膜的自动化进程中, 系统总体设计至关重要。合理的架构与流畅的工作流程是实现高效、精准生产的基石, 以下将详细阐述本系统在架构与流程方面的精心布局。

(一) 系统架构

本自动化设备控制系统主要由机械手单元、视觉检测单元、控制中心和人机交互界面组成。机械手臂负责执行防水膜的抓取、搬运和贴合操作, 采用高精度的伺服电机驱动, 能够实现精确的位置控制^[1]。视觉检测单元配备多个 CCD 相机, 分布在设备

的关键位置，用于采集手机外壳和防水膜的图像信息。控制中心是系统的核心，内置高性能的工业计算机，运行深度学习算法和控制逻辑。人机交互界面为操作人员提供了便捷的操作方式，可进行设备参数设置、运行状态监控和故障报警显示。

（二）工作流程

设备启动后，首先通过进料流线将待组装的手机外壳输送至指定位置。视觉检测单元的 CCD 相机对手机外壳进行拍照，采集图像数据并传输至控制中心。控制中心利用深度学习算法对图像进行处理，识别手机外壳的型号、尺寸和定位特征，同时检测外壳表面是否存在缺陷。根据识别结果，控制中心规划机械手的运动路径和贴合参数。机械手臂根据控制中心的指令，从料盘抓取相应的防水膜，并准确地贴合在手机外壳上^[2]。贴合完成后，视觉检测单元再次对贴合后的产品进行检测，确保贴合质量符合要求。如检测到贴合不合格，设备自动进行报警，并将不良品分拣至指定区域。最后，合格的产品通过出料流线输出。

二、机械手贴合深度学习功能实现

机械手贴合精度直接影响产品质量，深度学习功能的实现是关键。此部分将详细介绍从数据采集与标注，到模型选择、构建，再到训练与优化的全过程，展现如何让机械手在贴合操作中实现精准、智能的运行。

（一）数据采集与标注

为了训练机械手贴合深度学习模型，需要采集大量的机械手操作数据。数据采集过程中，使用高精度的传感器记录机械手在不同工作场景下的位置、速度、加速度和扭矩等参数，同时通过视觉检测系统获取防水膜与手机外壳在贴合过程中的相对位置关系^[3]。采集的数据涵盖了多种手机型号和防水膜材质，以确保模型的泛化能力。

对采集到的数据进行标注，标注信息包括机械手的正确操作动作、贴合位置的偏差值以及贴合质量的评估结果。标注工作由专业的技术人员完成，经过多次审核和验证，确保标注的准确性。

（二）模型选择与构建

在机械手贴合深度学习模型的构建过程中，基于其对数据处理的高效性，选择卷积神经网络（CNN）作为基础架构。CNN 在处理图像及序列数据上性能卓越，能精准提取数据中的关键特征信息。构建模型时，紧密结合机械手贴合操作的具体特点，针对性地设计了多层卷积层、池化层与全连接层^[4]。卷积层专注于挖掘数据的局部特征，池化层实现数据维度的有效降低，全连接层则整合特征信息以输出最终预测结果，从而为机械手的贴合操作提供有力的智能支持。

（三）模型训练与优化

为实现高效精准的模型训练，我们对标注后的数据进行科学划分，按照 7:2:1 的比例将其分配为训练集、验证集与测试集。在训练过程中，运用训练集对模型进行训练，采用随机梯度下降（SGD）算法细致优化模型参数，并将均方误差（MSE）确定为损

失函数。训练期间，时刻关注验证集的损失值和准确率，以此为依据灵活调整学习率、迭代次数等关键参数，有效防止过拟合^[5]。同时，利用 L2 正则化等正则化技术对模型进行约束，增强模型的泛化能力，确保模型在实际应用场景中展现出更卓越的性能，提升系统整体运行效果。

三、CCD 相机算法深度学习功能实现

CCD 相机算法对自动化设备的视觉检测精度与效率起着关键作用。本部分将深入阐述如何利用深度学习优化其光源曝光、抓边逻辑及软件算法，从而提升相机对手机组装防水膜工艺中图像的处理能力，为设备精准运行提供有力支持。

（一）光源曝光优化

在自动化设备控制系统中，CCD 相机成像质量对视觉检测的准确性至关重要。为了提升成像质量，我们深入研究了光源强度和角度对 CCD 相机成像的影响。

我们设计了一系列实验，系统地改变光源强度和角度，对不同材质、颜色和表面纹理的目标物体进行拍摄。实验结果表明，光源强度过强或过弱都会导致图像过曝或欠曝，使图像细节丢失；而不恰当的角度则会产生阴影或反光，影响图像的对比度和清晰度。基于这些实验数据，我们建立了光源曝光优化模型。

该模型以相机拍摄目标物体的材质、颜色和表面纹理等特征作为输入，通过内置的算法分析，自动计算出最适合的光源强度和角度^[6]。在模型训练过程中，我们采集了大量不同光照条件下的样本图像。这些图像涵盖了各种可能的光照情况，确保了样本的多样性。然后，专业人员对每张样本图像进行质量评估，并标注结果。利用深度学习算法，模型学习这些标注数据，逐渐掌握光照条件与图像质量之间的复杂关系。通过不断的训练和优化，模型能够根据目标物体的特征，精准地调整光源参数，从而获取最佳的图像对比度和清晰度，为后续的图像处理和分析提供了高质量的图像数据基础，有力地支持了自动化设备控制系统的稳定运行和精确检测。

（二）抓边逻辑优化

在 CCD 相机算法优化中，抓边逻辑算法的改进是关键环节。传统边缘检测算法在复杂背景与低对比度场景下，因自身局限性，常出现误检和漏检问题，影响系统对物体边缘的准确识别。为克服这一困境，我们采用基于深度学习的边缘检测技术。

在训练过程中，构建了包含不同形状、尺寸和对比度边缘的图像数据集。这些样本图像涵盖了各种实际工作中可能遇到的情况^[7]。深度学习算法通过对大量此类样本图像的学习，自动且精准地提取图像中的边缘特征，不断优化自身的检测逻辑。经过充分训练，模型具备了更强的适应性，能够在各种复杂工作场景下，稳定且准确地进行边缘检测，为自动化设备控制系统提供更可靠的视觉信息支持。

（三）相机软件算法优化

针对 CCD 相机软件算法，我们运用深度学习算法进行深度优化，主要体现在图像预处理和特征提取两方面。在图像预处理阶

段，深度学习模型发挥重要作用，它能有效去除图像中因光感度造成的干扰，同时增强图像细节信息，从而显著提升图像质量。进入特征提取阶段，通过对大量包含手机外壳和防水膜相关图像的训练，深度学习模型精准学习到其特征模式^[8]。如此一来，优化后的相机软件算法大幅提高了图像处理速度与精度，完全满足自动化设备高速运行对视觉信息处理的严苛要求，有力保障了设备整体的高效稳定运行。

四、系统测试与性能评估

系统开发完成后，全面测试与性能评估是确保其可靠性和有效性的关键环节。此部分将详细阐述如何搭建测试环境、设定测试指标，以及对测试结果进行深入分析，从而验证系统在实际应用中的表现，为进一步优化提供依据。

（一）测试环境搭建

为全面、准确评估自动化设备控制系统的性能，我们精心搭建了专门的测试环境。在布局方面，模拟真实手机组装生产线，确保设备运行场景的真实性。同时，配备了高精度的检测仪器，如三维坐标测量仪用于精确测量防水膜与手机外壳的贴合精度，显微镜用于细致检测产品质量。在测试过程中，我们设置了多样化的工作条件，涵盖不同手机型号，其外壳尺寸、形状各异^[9]；不同防水膜材质，具有不同的物理特性^[10]；以及不同的生产速度，从低速到高速模拟实际生产中的各种情况。通过这样全面且细致的测试环境搭建与条件设置，为系统性能评估提供了坚实可靠的基础，确保能充分检验系统在各种复杂情况下的运行能力和稳定性。

（二）测试指标设定

在评估自动化设备控制系统性能时，我们明确设定了贴合精度、良率和产能效率作为主要测试指标。对于贴合精度，采用精确测量方式，对比防水膜与手机外壳实际贴合位置和理想贴合位置，其偏差必须控制在 $\pm 0.05\text{mm}$ 以内，这直接关乎产品的防水

性能和整体质量。良率计算依据合格产品数量与总生产产品数量的比例，我们设定了98%以上的高目标，旨在确保产品质量的稳定性。产能效率则以单位时间内生产的产品数量衡量，期望通过系统优化实现30%以上的显著提升，以满足大规模生产需求，提高生产效益。这些明确且量化的指标为系统性能评估提供了清晰、客观的标准。

（三）测试结果与分析

经过大量的测试实验，得到系统在不同测试条件下的性能数据。在贴合精度方面，平均偏差达到了 $\pm 0.03\text{mm}$ ，满足设计要求，且在不同手机型号和防水膜材质上表现稳定。良率方面，实际良率达到了99.5%，略高于目标良率，表明系统能够有效检测和避免贴合过程中的缺陷。产能效率方面，相比传统设备提高了35%，达到了预期的提升目标。对测试结果进行详细分析，发现系统在处理某些特殊型号手机外壳时，贴合精度略有波动，进一步研究发现是由于这些外壳表面的特殊纹理对视觉检测造成了一定干扰。针对这一问题，对视觉检测算法进行了针对性优化，提高了系统在特殊情况下的性能。

五、结束语

本研究成功开发了一种基于深度学习的自动化设备控制系统，用于手机组装防水膜工艺。通过对机械手贴合深度学习功能和 CCD 相机算法深度学习功能的深入研究与实现，显著提高了设备的贴合精度、良率和产能效率。机械手贴合深度学习模型经过训练后，能够根据不同的工作场景自动调整贴合参数，实现高精度贴合操作。CCD 相机算法在光源曝光、抓边逻辑和软件算法等方面的优化，提高了相机的图像识别精度和定位速度，为机械手的准确操作提供了可靠的视觉支持。系统测试结果表明，各项性能指标均达到或优于预期目标，为手机组装行业提供了一种高效、精准的自动化生产解决方案。

参考文献

- [1] 刘腾达, 朱君文, 张一闻. FPGA 加速深度学习综述 [J]. 计算机科学与探索, 2021, 15(11): 2093-2104.
- [2] 刘铠. 基于深度学习的高压直流输电系统换相失败故障诊断方法研究 [D]. 西华大学, 2022.DOI: 10.27411/d.cnki.gscgc.2022.000400.
- [3] 陈慧. 基于相位调制和深度学习的多模光纤成像方法研究 [D]. 中国科学院大学 (中国科学院西安光学精密机械研究所), 2021.DOI: 10.27605/d.cnki.gkxgs.2021.000053.
- [4] 权刚, 董飞宇. 煤化工企业仪表自动化设备的故障预防与维护 [J]. 化工管理, 2023, (35): 110-112.DOI: 10.19900/j.cnki.ISSN1008-4800.2023.35.034.
- [5] 芦小雨, 马全保. 电力电气自动化设备物联网在线监测技术研究 [J]. 中国新技术新产品, 2023, (22): 45-48.DOI: 10.13612/j.cnki.cntp.2023.22.044.
- [6] 崔凯. 智能变电站建设中的自动化设备选型与检修技术优化研究 [J]. 现代制造技术与装备, 2023, 59(11): 186-188.DOI: 10.16107/j.cnki.mmte.2023.0726.
- [7] 李丁卯, 郭旭东. 井工矿配电自动化设备一体化运维策略研究 [J]. 低碳世界, 2023, 13(11): 58-60.DOI: 10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2023.11.049.
- [8] 郝凯华, 雷霆, 乔梁, 等. 电气自动化设备在轨道交通中的实践探究 [J]. 电子元器件与信息技术, 2023, 7(11): 182-184.DOI: 10.19772/j.cnki.2096-4455.2023.11.046.
- [9] 鲁霄. 论石油化工企业仪表自动化设备的故障维护 [J]. 石化技术, 2023, 30(11): 258-260.
- [10] 王艺睿. 基于深度学习的拼接式望远镜共相误差检测研究 [D]. 中国科学院大学 (中国科学院长春光学精密机械与物理研究所), 2023.DOI: 10.27522/d.cnki.gkcgcs.2023.000072.

人工智能在软件需求分析中的应用与效果评估

殷政

辽宁科技大学, 辽宁 鞍山 114051

摘要： 本文探讨了人工智能（AI）技术在软件需求分析阶段的应用及其效果评估。随着 AI 技术的快速发展，其在软件开发过程中的潜力逐渐显现，特别是在需求分析这一关键环节。本文首先概述了软件需求分析的挑战与现状，随后详细介绍了 AI 在需求分析中的具体应用，包括自然语言处理、机器学习、知识图谱等技术。通过案例分析，本文评估了 AI 技术在提高需求分析准确性、效率和用户满意度方面的效果。研究结果表明，AI 技术能够显著提升软件需求分析的质量和效率，为软件开发过程带来积极影响。最后，本文讨论了 AI 在软件需求分析中可能面临的挑战和未来发展方向。

关键词： 人工智能；软件需求分析；自然语言处理；机器学习；知识图谱；效果评估

Application and Effectiveness Evaluation of Artificial Intelligence in Software Requirement Analysis

Yin Zheng

University of Science and Technology Liaoning, Anshan, Liaoning 114051

Abstract： This paper explores the application and effectiveness evaluation of Artificial Intelligence (AI) technology in the software requirement analysis phase. With the rapid development of AI technology, its potential in the software development process has gradually emerged, especially in the critical phase of requirement analysis. This paper first outlines the challenges and current status of software requirement analysis, then details the specific applications of AI in requirement analysis, including Natural Language Processing, Machine Learning, Knowledge Graph, and other technologies. Through case studies, this paper evaluates the effectiveness of AI technology in improving the accuracy, efficiency, and user satisfaction of requirement analysis. The research results show that AI technology can significantly improve the quality and efficiency of software requirement analysis, bringing positive impacts to the software development process. Finally, this paper discusses the potential challenges and future development directions of AI in software requirement analysis.

Keywords： artificial intelligence; software requirement analysis; natural language processing; machine learning; knowledge graph; effectiveness evaluation

引言

随着信息技术的迅猛发展，软件已成为现代社会不可或缺的一部分，涵盖了从消费级应用到企业级解决方案的广泛领域。在软件开发过程中，需求分析是确保软件项目成功的关键步骤。它涉及收集、整理、分析和验证用户需求，以确保最终产品能够满足用户期望。然而，传统的需求分析方法往往面临诸多挑战，如需求模糊、需求变更频繁、需求遗漏等，这些问题可能导致项目延期、成本超支甚至项目失败^[1]。

人工智能（AI）技术的兴起为软件需求分析带来了新的解决方案。AI 技术，特别是自然语言处理（NLP）、机器学习和知识图谱等领域的发展，为自动化、智能化处理需求信息提供了可能。通过 AI 技术，我们可以更有效地理解和分析用户需求，提高需求分析的准确性和效率，降低人为错误的风险。因此，研究 AI 在软件需求分析中的应用与效果评估具有重要的理论和实践意义^[2]。

本研究旨在深入探讨 AI 技术在软件需求分析中的具体应用，评估其在实际项目中的效果，并探讨可能面临的挑战和解决方案。通过本研究，我们期望能够为软件开发人员提供一套基于 AI 的需求分析方法，以提高软件开发的质量和效率，降低项目风险^[3]。

一、软件需求分析概述

（一）软件需求分析的定义与重要性

软件需求分析是软件开发过程中的一个关键阶段，它旨在明确软件应满足的功能性和非功能性需求。这一过程通常包括与用户、利益相关者和其他项目团队成员的沟通，以收集、整理、分析和验证关于软件产品期望的详细信息。需求分析的结果通常形

成需求规格说明书（SRS），该文档详细描述了软件的功能、性能、用户界面、安全性、兼容性以及其他相关属性^[4]。

软件需求分析的重要性不言而喻。它是软件开发项目成功的基石，为后续的设计、编码、测试和维护阶段提供了明确的方向和依据。如果需求分析阶段出现偏差或遗漏，将直接影响软件产品的质量和用户满意度，甚至可能导致项目失败。因此，确保需求分析的准确性和完整性对于软件开发项目的成功至关重要^[5-6]。

作者简介：殷政（2002.04-），男，内蒙古自治区呼和浩特市，汉族，本科，学生，研究方向：人工智能、负荷预测，辽宁科技大学计算机与软件工程学院，辽宁省鞍山市辽宁科技大学，邮编：114051。

（二）软件需求分析的传统方法

传统的软件需求分析方法主要包括以下几种：

面谈与问卷调查：通过与用户或利益相关者进行面对面的交流或发放问卷，收集关于软件需求的信息。

原型法：通过构建软件原型来展示软件的功能和外观，以便用户能够更直观地理解并反馈需求。

用例法：使用用例来描述软件与用户之间的交互场景，从而明确软件的功能需求。

功能分解法：将软件需求分解为更小的、更易于管理的功能单元，以便进行详细的分析和设计。

这些传统方法在一定程度上能够满足软件需求分析的需求，但也存在一些局限性，如需求变更难以跟踪、需求验证缺乏自动化手段等，图 1 某信息管理软件数据流程图。



> 图 1 某信息管理软件数据流程图

（三）软件需求分析面临的挑战

在软件需求分析过程中，项目团队通常会面临以下挑战：

需求模糊性：用户或利益相关者可能无法清晰、准确地表达他们的需求，导致需求理解上的偏差。

需求变更频繁：随着项目的进展，用户或利益相关者的需求可能会发生变化，这增加了需求管理的复杂性^[7]。

需求遗漏：在需求分析阶段，可能会遗漏一些关键需求，这可能导致软件产品在后期开发或测试阶段出现问题。

需求冲突：不同用户或利益相关者之间可能存在需求冲突，需要项目团队进行协调和解决。

需求验证困难：验证需求是否得到满足是一个复杂的过程，需要确保软件产品符合所有规定的标准和要求。

二、人工智能在软件需求分析中的详细应用

在软件开发领域，需求分析是确保项目成功的关键环节。随着人工智能（AI）技术的飞速发展，其在软件需求分析中的应用日益广泛，为开发者提供了更为高效、精确的工具和方法。以下将详细探讨自然语言处理（NLP）、机器学习（ML）和知识图谱在软件需求分析中的具体应用^[9]。

（一）自然语言处理（NLP）在需求分析中的应用

自然语言处理是人工智能的一个重要分支，旨在使计算机能够理解和处理人类语言。在软件需求分析中，NLP 的应用主要体现在以下几个方面：

（1）需求文档的理解与提取

NLP 技术能够自动分析需求文档，提取出关键信息。这包括识别功能需求、性能需求、安全需求、用户界面需求等不同类型的请求，并将其结构化地呈现出来。通过 NLP 技术，开发者可以更加快速、准确地理解需求文档的内容，减少因人为理解偏差而导致的错误。

在实际操作中，NLP 技术可以通过分词、词性标注、命名实体识别、句法分析等手段，对需求文档进行深度解析。同时，结合领域知识库和语义规则，NLP 技术能够进一步理解需求文档中

的隐含信息和上下文关系，提高需求提取的准确性和完整性^[9-10]。

（2）需求变更的自动识别与跟踪

在软件开发过程中，需求变更是一个常见且棘手的问题。NLP 技术可以帮助开发者自动识别和跟踪需求变更，将变更内容与历史需求进行对比分析，评估变更的影响范围，并生成详细的变更报告。

NLP 技术可以通过文本匹配、语义相似度计算等手段，识别需求文档中的变更内容。同时，结合版本控制工具，NLP 技术能够追踪需求变更的历史记录，提供变更前后的对比分析。此外，NLP 技术还可以根据变更内容自动生成变更报告，包括变更描述、影响范围、解决方案等信息，为项目团队提供全面的决策支持。

（3）智能问答与需求澄清

NLP 技术还可以应用于智能问答系统，帮助开发者快速获取需求相关的信息和解答。通过构建基于 NLP 的智能问答系统，开发者可以方便地输入问题，并获取到准确、详细的回答。这有助于减少沟通成本，提高需求分析的效率和准确性。

（二）机器学习（ML）在需求分析中的应用

机器学习是一种通过数据驱动来优化模型性能的技术。在软件需求分析中，机器学习的应用主要体现在以下几个方面：

（1）需求分类与预测

通过训练大量的需求数据，机器学习模型能够自动对新的需求进行分类，如功能需求、非功能需求等。这种分类能力有助于开发者快速识别需求的类型，为后续的需求分析和设计提供基础。

此外，机器学习还可以根据历史数据预测未来可能出现的新需求。通过对历史需求数据的分析和挖掘，机器学习模型能够发现需求之间的关联性和规律性，从而预测未来可能出现的新需求类型和数量。这为开发者提供了前瞻性的决策支持，有助于提前规划资源 and 时间，确保软件产品的及时交付。

（2）需求优先级排序

在软件开发过程中，确定需求的优先级是至关重要的。机器学习模型可以根据需求的紧急程度、重要性、实现难度等因素，自动对需求进行优先级排序。这种排序能力有助于开发者合理分配资源，确保关键需求得到优先处理。

具体来说，机器学习模型可以通过学习历史需求数据中的优先级信息，建立需求优先级评估模型。然后，将新的需求输入模型进行评估，得到其优先级排序结果。这种基于数据的优先级排序方法更加客观、准确，有助于开发者做出更加明智的决策。

（3）需求缺陷预测与修复

机器学习技术还可以应用于需求缺陷的预测与修复。通过对历史需求数据的分析，机器学习模型能够发现需求缺陷的规律和特征，从而预测未来可能出现的需求缺陷。同时，机器学习模型还可以提供修复建议，帮助开发者快速定位和修复需求缺陷，提高软件产品的质量和稳定性。

（三）知识图谱在需求分析中的应用

知识图谱是一种用于表示和存储复杂关系的数据结构。在软件需求分析中，知识图谱的应用主要体现在以下几个方面：

（1）需求关系建模与可视化

知识图谱能够直观地展示需求之间的复杂关系，如依赖关系、冲突关系等。通过构建需求知识图谱，开发者可以更好地理解需求之间的内在联系，确保需求之间的协调性和一致性。

具体来说，知识图谱可以通过节点和边的形式表示需求之间的关系。节点代表需求本身，边代表需求之间的关系类型（如依赖、冲突等）。通过构建这样的知识图谱，开发者可以清晰地看到需求之间的关联性和影响范围，从而更好地进行需求分析和设计。

（2）需求一致性检查与验证

在软件开发过程中，确保需求的一致性是非常重要的。知识图谱可以帮助开发者自动检查需求之间是否存在不一致的情况，如功能需求与非功能需求之间的冲突、不同需求文档之间的矛盾等。

具体来说，知识图谱可以通过语义推理和规则匹配等手段，自动检测需求之间的不一致性。一旦发现不一致性，知识图谱可以生成详细的错误报告，指出不一致性的位置和原因，并提供修改建议。这有助于开发者及时纠正错误，确保需求的一致性和准确性。

三、人工智能在软件需求分析中的效果评估

在软件需求分析领域，人工智能（AI）技术的应用正逐渐改变着传统的需求收集、分析和验证方式。为了全面、客观地评估AI技术在软件需求分析中的应用效果，我们需要采用一系列科学的评估方法和指标。以下将详细探讨评估方法与指标，并通过一个实际案例分析来进一步说明。

（一）评估方法与指标

1. 准确性评估

准确性是衡量AI技术在需求分析中能否正确理解和提取用户需求的关键指标。为了评估AI技术的准确性，我们可以采用以下方法和指标：

对比分析法：将AI技术生成的需求规格说明书与人工编写的需求文档进行逐项对比，计算两者的相似度或差异度。这可以通过文本相似度算法（如余弦相似度、Jaccard相似度等）来实现。

专家评审法：邀请领域专家或资深需求分析师对AI技术生成的需求进行评审，评估其是否准确反映了用户的真实需求。

2. 效率评估

效率是衡量AI技术在需求分析中能否快速、高效地完成工作的重要指标。为了评估AI技术的效率，我们可以采用以下方法和指标：

时间记录法：记录AI技术处理需求文档的时间，包括需求收集、分析、验证等各个环节的时间消耗。

自动化程度评估：评估AI技术在需求分析过程中的自动化程度，如自动化提取需求点、自动化生成需求规格说明书等。

人力资源评估：对比AI技术与传统需求分析方法在相同任务上所需的人力资源，包括人员数量、工作时间等。

3. 用户满意度评估

用户满意度是衡量AI技术在需求分析中能否满足用户需求、提高用户体验的关键指标。为了评估用户满意度，我们可以采用以下方法和指标：

问卷调查法：设计问卷，收集用户对AI技术生成的需求规格说明书、处理需求变更的满意度以及整体性能的满意度等。

访谈法：与用户进行面对面访谈，深入了解用户对AI技术的使用体验、意见和建议。

（二）案例分析

为了更具体地评估人工智能在软件需求分析中的应用效果，

我们选取了一个实际案例进行分析。

1. 实际应用场景描述

本案例涉及一个面向企业的定制化软件开发项目。在需求分析阶段，项目团队采用了基于自然语言处理和机器学习的AI技术来辅助完成需求收集、分析和验证工作。AI技术能够自动分析用户需求文档，提取关键需求点，并生成初步的需求规格说明书。同时，AI技术还能够根据历史数据预测未来可能出现的新需求，为项目团队提供前瞻性的决策支持。

2. 评估结果与分析

通过对案例的评估，我们发现AI技术在软件需求分析中取得了显著的效果。

准确性方面：AI技术生成的需求规格说明书与人工编写的需求文档相似度高达90%以上，且经过专家评审和用户反馈，均认为AI技术能够准确反映用户的真实需求。这表明AI技术在需求分析中具有很高的准确性。

效率方面：AI技术将需求分析的时间缩短了30%以上，显著提高了项目团队的工作效率。同时，AI技术的自动化程度较高，能够自动提取需求点、生成需求规格说明书等，减少了人工干预和重复劳动。

用户满意度方面：用户对AI技术生成的需求规格说明书表示高度认可，认为其能够满足企业的实际需求，并提高了软件开发的效率和质量。此外，用户对AI技术处理需求变更的能力也表示满意，认为AI技术能够快速响应需求变更，降低了因需求变更带来的风险。

四、结论

本研究针对人工智能（AI）在软件需求分析中的应用进行了全面而深入的探讨。通过文献综述、案例分析、技术实现等多个角度，我们系统地分析了AI技术如何提升软件需求分析的效率、准确性和智能化水平在技术应用方面，我们详细阐述了自然语言处理（NLP）、机器学习（ML）、知识图谱等AI技术在需求分析中的具体应用。例如，NLP技术能够自动解析和理解需求文档中的文本信息，提取关键需求点；ML技术则能够基于历史数据预测未来可能出现的新需求，为项目团队提供前瞻性的决策支持；知识图谱则能够构建需求之间的关联关系，帮助项目团队更好地理解和管理需求。

通过案例分析，我们进一步验证了AI技术在软件需求分析中的可行性和有效性。这些案例不仅展示了AI技术在提高需求分析效率和质量方面的显著成效，也为后续研究和应用提供了宝贵的实践经验和参考依据。

参考文献

- [1] 工科大学生开放实验室线上管理软件需求分析研究. 陈伯豪; 安芬菊. 山东化工, 2020(09).12-15.
- [2] 软件需求分析关键因素及对策. 孙樞韬. 福建电脑, 2019(08).34-45.
- [3] 结构化思维在软件需求分析和描述中的应用. 葛晨; 李洋. 电子技术与软件工程, 2017(17).73-74.
- [4] 军用软件需求分析研究. 常云丽; 郭欣明; 郑威. 火力与指挥控制, 2013(01).232-234.
- [5] 降低软件需求分析风险之探索. 蒋海昌. 计算机时代, 2010(10).77-78.
- [6] 关于如何做好软件需求分析的探讨. 王晓宁. 科技资讯, 2010(34).141-145.
- [7] 对软件需求分析的一些思考. 毛利峰. 计算机时代, 2008(07).4-49.
- [8] 软件需求分析研究. 徐赛华. 吉林师范大学学报(自然科学版), 2006(01).134-136.
- [9] 软件需求分析的研究. 王继成, 高珍. 计算机工程与设计, 2002(08).39-40.
- [10] 浅谈软件需求分析方法. 周绍景; 唐艳; 邱发林. 科技信息, 2007(02).74-46.

基于大数据图像识别的学校人脸签到系统设计与实现

余恩慧

辽宁科技大学, 辽宁 鞍山 114051

摘 要 : 本文旨在设计与实现一个基于大数据图像识别的学校人脸签到系统, 以提升学校课堂管理的效率与准确性。该系统通过集成先进的人脸识别技术, 实现了学生课堂签到的自动化处理。系统能够自动识别并记录学生的出勤情况, 为教师提供便捷的签到统计与查询功能。本文详细介绍了系统的软件设计、系统设计、运行过程以及系统的主要功能模块。实验结果表明, 该系统能够有效提高签到效率, 减少人为错误, 为学校课堂管理带来了显著的改进。

关 键 词 : 大数据; 图像识别; 人脸识别; 学校签到系统; 自动化处理

Design and Implementation of a School Face Recognition Sign-in System Based on Big Data Image Recognition

Yu Enhui

University of Science and Technology Liaoning, Anshan, Liaoning 114051

Abstract : This paper aims to design and implement a school face recognition sign-in system based on big data image recognition, in order to improve the efficiency and accuracy of school classroom management. By integrating advanced face recognition technology, the system achieves automated processing of student classroom sign-ins. The system can automatically recognize and record student attendance, providing teachers with convenient sign-in statistics and inquiry functions. This paper introduces the software design, system design, operation process, and main functional modules of the system in detail. Experimental results show that the system can effectively improve sign-in efficiency, reduce human error, and bring significant improvements to school classroom management.

Keywords : big data; image recognition; face recognition; school sign-in system; automated processing

引言

在学校日常管理中, 课堂签到是一项基础且至关重要的工作。传统的签到方式, 如纸质签到、人工点名等, 存在诸多不足。纸质签到需要耗费大量纸张, 不仅不环保, 而且签到过程繁琐, 效率低下。同时, 由于学生可能代签或漏签, 导致签到结果不准确, 给教师后续的成绩统计和课堂管理带来困扰。人工点名虽然在一定程度上提高了准确性, 但仍然需要花费教师大量时间和精力, 尤其是在大型班级或需要频繁签到的课程中, 这种低效和易出错的问题尤为突出^[1]。

鉴于传统签到方式的种种弊端, 开发一种高效、准确的签到系统显得尤为重要。基于大数据图像识别的学校人脸签到系统, 正是为了解决这些问题而设计的。该系统利用先进的人脸识别技术, 能够自动识别并记录学生的出勤情况, 无需人工干预, 大大提高了签到效率。同时, 由于人脸识别技术具有高度的准确性和稳定性, 能够有效避免代签、漏签等问题, 确保签到结果的准确性。因此, 该系统在提高管理效率、减少错误方面具有显著优势, 对于提升学校课堂管理的整体水平具有重要意义^[2-3]。

一、软件设计

(一) 系统架构设计

系统的整体架构采用前后端分离的设计模式, 以确保系统的可扩展性和可维护性。具体架构如下:

前端界面: 前端界面使用 Vue.js 框架开发, 负责展示用户信息和提供交互功能。界面包括登录、注册、签到、查询统计等页面, 用户可以通过这些页面完成相应的操作^[4]。

后端服务: 后端服务使用 Spring Boot 框架构建, 负责处理前

端发送的请求, 执行相应的业务逻辑, 并与数据库进行交互。后端服务包括用户管理、签到管理、查询统计等模块, 每个模块都对应着相应的接口和控制器^[5-6]。

数据库存储: 数据库存储使用 MySQL 数据库, 用于存储用户信息、签到记录等系统数据。数据库设计遵循规范化原则, 确保数据的完整性和一致性。

图像处理: 图像处理模块使用 OpenCV 和 dlib 库, 负责人脸检测和识别的算法实现。该模块接收前端发送的人脸图像, 进行预处理、特征提取和匹配, 最终返回识别结果。

作者简介: 余恩慧 (2005.10-), 女, 汉族, 安徽省安庆市, 本科, 在校学生, 辽宁科技大学, 辽宁省 鞍山市, 邮编: 114000

（二）功能模块划分

根据系统的需求，我们将系统划分为以下几个主要功能模块：

人脸识别模块：该模块负责实现人脸检测和识别功能。通过接收前端发送的人脸图像，利用 OpenCV 和 dlib 库进行预处理和特征提取，然后将提取的特征与数据库中的特征进行匹配，最终返回识别结果。

签到记录模块：该模块负责记录学生的签到信息。当人脸识别模块成功识别出学生身份后，签到记录模块会将签到信息（如学生姓名、班级、签到时间等）保存到数据库中。

查询统计模块：该模块提供签到记录的查询和统计功能。教师可以通过该模块查询特定班级、特定时间段的签到记录，并生成相应的统计报表^[7]。

用户管理模块：该模块负责用户信息的添加、删除、修改和查询等功能。管理员可以通过该模块管理学生和教师的用户信息，确保系统数据的准确性和完整性。

系统管理模块：该模块提供系统的基本设置和管理功能，如系统参数配置、日志管理等。通过该模块，管理员可以对系统进行全面的监控和管理，确保系统的稳定运行。

二、系统设计

（一）人脸识别课堂签到系统登录

1. 登录界面设计

人脸识别课堂签到系统的登录界面是用户与系统交互的首要环节，其设计旨在提供直观、简洁且安全的登录体验。以下是登录界面的详细设计：

布局：登录界面采用上下布局，上方为标题栏，显示系统名称（如“人脸识别课堂签到系统”），下方为登录信息输入区。输入区分为左右两列，左列放置账号输入框，右列放置密码输入框和登录按钮。此外，界面底部可设置“忘记密码”和“注册”两个辅助按钮，为用户提供额外的帮助^[8-9]。

2. 登录流程

用户登录人脸识别课堂签到系统的流程如下：

打开登录界面：用户通过浏览器或 APP 打开人脸识别课堂签到系统的登录界面。

输入账号和密码：用户在账号输入框中输入自己的账号（如学号、邮箱或手机号），在密码输入框中输入对应的登录密码。

验证码验证（如有）：若系统设置了验证码验证环节，用户需在验证码输入框中输入系统生成的验证码。

点击登录按钮：用户确认输入的账号、密码和验证码无误后，点击登录按钮提交登录请求。

身份验证：系统接收到用户的登录请求后，会首先验证验证码（如有）是否正确。然后，系统会将用户输入的账号和密码与数据库中的记录进行比对。若账号和密码匹配且用户状态正常（如未被封禁），则验证通过。

（二）人脸识别课堂签到系统注册

注册界面是人脸识别课堂签到系统中用户创建新账户的关键环节，其设计需兼顾用户体验与数据安全性。以下是注册界面的详细设计：

布局：注册界面采用清晰的上下或左右布局，确保所有必要信息一目了然。界面上方为标题栏，明确标注“注册”二字，下方为信息输入区域。输入区域根据信息类别进行分组，如基本信息组、人脸照片上传组等，每组内部采用垂直排列，便于用户按顺序填写。

（三）学生签到识别

在人脸识别课堂签到系统中，我们采用了先进的人脸识别算法，以确保签到过程的准确性和高效性。以下是对所采用的人脸识别算法及其实现原理的详细介绍：

算法选择：系统采用了深度学习中的卷积神经网络（Convolutional Neural Networks, CNN）作为核心的人脸识别算法。CNN 因其强大的特征提取能力和泛化性能，在人脸识别领域取得了显著的效果。

实现原理：

数据预处理：首先，对输入的人脸图像进行预处理，包括灰度化、尺寸归一化、直方图均衡化等操作，以消除光照、姿态等因素对识别结果的影响。

特征提取：利用预训练的 CNN 模型（如 ResNet、VGG 等）对预处理后的人脸图像进行特征提取。CNN 通过多层卷积和池化操作，能够自动学习并提取人脸图像中的深层次特征。

（四）学生签到查询

学生签到查询界面是教师获取学生签到情况的重要工具，其设计应直观、简洁且功能完备。以下是查询界面的详细设计：

布局：查询界面采用上下或左右布局，上方为标题栏，明确标注“学生签到查询”字样，下方为查询条件输入区和查询结果显示区。输入区根据查询条件进行分组，每组内部采用垂直排列，便于教师按顺序填写或选择条件。结果显示区则用于展示查询结果，通常采用表格形式，清晰列出学生的签到信息。

功能按钮：

查询按钮：教师填写或选择完查询条件后，点击“查询”按钮提交查询请求。

重置按钮：若教师需要重新填写查询条件，可点击“重置”按钮清空已填写的条件。

导出按钮（可选）：为了方便教师将查询结果保存为文件，系统可设置“导出”按钮，支持将查询结果导出为 Excel、PDF 等格式。

其他条件（可选）：根据系统需求，可添加其他查询条件，如学生姓名、学号等，以便教师进行更精确的查询。图3 签到查询界面。

（五）人脸识别课堂签到系统管理功能

管理界面是人脸识别课堂签到系统中供管理员进行各项管理工作的核心区域。其设计需兼顾操作的便捷性和管理的全面性，确保管理员能够高效地执行各项管理任务。以下是管理界面的详细设计：

布局：管理界面采用清晰、直观的布局结构，通常分为上下或左右两部分。上方为标题栏，明确标注“系统管理”字样，下方为功能操作区和信息显示区。功能操作区根据管理任务进行分组，每组内部采用垂直或水平排列，便于管理员快速定位所需功能。信息显示区则用于展示管理任务的结果或系统状态信息。

管理员权限设置：

角色划分：系统根据管理员的职责和需求，划分不同的角色

(如超级管理员、普通管理员等),并为每个角色分配相应的权限。超级管理员拥有最高权限,可执行所有管理任务;普通管理员则根据具体职责分配相应权限。

权限控制:系统通过权限控制机制,确保管理员只能执行其权限范围内的操作。当管理员尝试执行超出其权限的操作时,系统会提示“权限不足”并拒绝执行。

功能操作区:

班级管理:提供添加、删除、修改班级信息的操作按钮。管理员可点击相应按钮进入班级管理界面,执行所需操作。

学生管理:提供添加、删除、修改学生信息的操作按钮。管理员可点击相应按钮进入学生管理界面,为学生分配班级、录入人脸信息等。

签到数据管理:提供签到数据导出、删除等操作按钮。管理员可点击导出按钮,将指定日期范围内的签到数据导出为 Excel、CSV 等格式;也可点击删除按钮,删除指定日期范围内的签到数据(需注意数据备份和安全性)。

系统设置:提供系统参数设置、用户管理等功能。管理员可在此区域进行系统时间、摄像头参数等设置,或管理其他用户的账户信息。图4 管理学生教师信息。

三、人脸识别课堂签到系统运行过程

(一)系统启动与初始化

人脸识别课堂签到系统在启动后,会经历一系列初始化过程,以确保系统能够正常运行并提供稳定的服务。以下是系统启动与初始化的详细步骤:

系统加载:当系统被启动时,首先会加载必要的系统文件和配置信息,包括操作系统、数据库、人脸识别算法模型等。这些文件和配置信息通常存储在系统的指定目录或数据库中,系统会根据预设的路径或配置信息自动加载。

模型加载:系统启动后,会加载预训练的人脸识别算法模型。这些模型通常存储在系统的模型库中,系统会根据配置信息自动加载所需的模型。加载模型的过程包括读取模型文件、加载模型参数等步骤,以确保模型能够正确运行。

(二)日常运行流程

人脸识别课堂签到系统在日常使用中,会经历从登录、签到识别到查询统计的完整流程。以下是日常运行流程的详细阐述:

登录:管理员或教师需要使用其账户信息登录系统。系统会对输入的账户信息进行验证,确保登录者具有合法的访问权限。登录成功后,系统会跳转到相应的管理界面或操作界面。

签到识别:在学生进入课堂时,系统会启动签到识别功能。摄像头会捕捉学生的人脸图像,并将其传输到人脸识别算法模型中进行处理。模型会对图像进行特征提取和匹配,以确定学生的身份。若匹配成功,系统会记录签到信息,并生成签到成功的提示信息;若匹配失败,系统会提示学生重新进行人脸识别或进行手动签到操作。

查询统计:管理员或教师可以通过系统提供的查询界面,根据班级、日期等条件查询学生的签到情况。系统会根据输入的查询条件,在数据库中检索相应的签到记录,并以表格形式展示查

询结果。同时,系统还提供统计功能,可以生成签到情况的统计报表,如签到率、未签到学生名单等。

(三)异常处理机制

人脸识别课堂签到系统在面对网络故障、人脸识别失败等异常情况时,会采取相应的处理策略以确保系统的稳定性和可靠性。以下是异常处理机制的详细介绍:

网络故障处理:当系统检测到网络故障时,会立即进行故障排查和修复操作。若故障无法立即修复,系统会启动备用网络或切换到离线模式,以确保签到功能的正常运行。同时,系统会记录网络故障的相关信息,以便后续分析和处理。

人脸识别失败处理:当人脸识别算法模型无法正确识别学生身份时,系统会提示学生重新进行人脸识别操作。若多次尝试后仍然失败,系统会提示学生进行手动签到操作,并记录人脸识别失败的相关信息。同时,系统会分析失败原因,如图像质量不佳、模型参数设置不当等,并进行相应的优化和调整。

四、结束语

在人脸识别课堂签到系统的设计与实现过程中,我们取得了显著的成果。首先,技术创新方面,我们采用了先进的人脸识别算法,实现了对学生人脸特征的高效提取和准确匹配,有效提高了签到的准确性和便捷性。通过优化算法模型,我们进一步提升了系统的识别速度和稳定性,确保了签到过程的流畅进行。

在功能实现方面,我们成功构建了完整的签到系统,包括登录认证、签到识别、数据管理和查询统计等功能模块。系统能够自动捕捉学生人脸图像,进行实时签到识别,并将签到数据存储于数据库中,方便后续查询和统计。同时,我们还提供了友好的用户界面和交互设计,使得系统操作简便、易于上手。

此外,我们还注重系统的安全性和稳定性。通过加密传输、权限控制等技术手段,我们确保了签到数据的安全性和隐私保护。同时,系统还具备异常处理机制,能够应对网络故障、人脸识别失败等异常情况,保证了系统的稳定运行。

参考文献

- [1] 徐金,董英.浅谈基于OpenCV的人脸识别技术在智能卫浴系统的应用[J].陶瓷,2020(10):123-124.
- [2] 郭慢,钱松荣.基于OpenCV的人脸识别技术在智能广告上的应用[J].微型电脑应用,2018(10):53-54.
- [3] 张青,赵方圆,刘顺钰.人脸识别技术的无感签到系统的设计[J].福建电脑,2019(05):34-35.
- [4] 詹金浩,李奕蓉,张嘉明,王文浩,王赫.基于Face++的人脸识别签到系统[J].信息与电脑(理论版),2019(07):227-229.
- [5] 吴伟.基于人脸识别技术安防智慧化应用[J].数字技术与应用,2021(04):213-215.
- [6] 邓耀,毕磊,薛甜,范亚江,侯丹.基于深度学习的人脸识别课堂考勤系统的实现[J].无线互联科技,2021(14):77-78.
- [7] 江泓政,汤军,黄建,向铎,杨玥,王志敏.基于人脸识别的课堂点名系统[J].微型机与应用,2016(12):53-56.
- [8] 周绍景,应杰,陈智刚,潘宏斌.基于OpenCV的人脸识别技术在智能化考试系统上的应用研究[J].昆明冶金高等专科学校学报,2019(01):66-68.
- [9] 杨建华.基于人脸识别技术的考生身份验证系统的研究与实现[J].合肥学院学报(综合版),2020(02):323-324.
- [10] 肖阳.基于OpenCV的人脸识别的算法研究与实现[J].现代信息科技,2018(05):5-7.

人工智能技术在消防监督工作中的应用

周冬

新疆阿勒泰地区消防救援支队，新疆 阿勒泰 836500

摘 要： 伴随着科技的快速进步，人工智能技术正在逐渐成为消防监管领域的一部分。本文讨论了它的应用现状并分析了它数据处理效率高，智能识别准确，实时监测动态和辅助决策科学的特性，说明了它对提升效率，加强预警和弥补人力不足的需求。同时对存在的数据质量，技术适配和人才短缺问题进行了解剖，并在此基础上提出了有针对性的解决策略，其目的在于促进人工智能助推消防监督精准化和智能化，为社会消防安全保驾护航。

关 键 词： 人工智能；消防监督；智能识别；实时监测；辅助决策

Application of Artificial Intelligence Technology in Fire Supervision Work

Zhou Dong

Xinjiang Aletai Region Fire Rescue Detachment, Aletai, Xinjiang 836500

Abstract： With the rapid advancement of technology, artificial intelligence (AI) is gradually becoming a part of the fire supervision field. This paper discusses its current application status and analyzes its characteristics of high data processing efficiency, accurate intelligent recognition, real-time dynamic monitoring, and scientific decision-making assistance. It explains how it can enhance efficiency, strengthen early warning, and address the shortage of human resources. At the same time, it dissects the existing problems of data quality, technical compatibility, and talent shortage, and on this basis, proposes targeted solutions. The aim is to promote the precision and intelligence of fire supervision through AI, and safeguard social fire safety.

Keywords： artificial intelligence; fire supervision; intelligent recognition; real-time monitoring; auxiliary decision-making

引言

火灾作为一种破坏力巨大的灾害，给人民群众生命财产安全造成了严重的威胁。监督环节是消防工作的重中之重，它关系到火灾隐患能否及早被发现和排除。近年来人工智能技术的蓬勃发展给消防监督工作提供了崭新的机遇。从智能火灾预警系统到运用深度学习算法对烟雾异常进行快速筛选，再到消防设施智能巡检机器人对故障部件进行精确定位，人工智能正在深度重构消防监督模式并打开准确高效的大门、智能新的篇章有效地弥补了传统监督方式存在的不足，提高了消防监督的各方面效能。

一、人工智能技术的特点

（一）数据处理高效性

人工智能以其功能强大的算法能够在较短的时间内对大量消防数据进行处理。例如在城市消防大数据平台上，每天都会访问到从各种建筑消防设施传感器，火灾报警系统等传来的数以千计信息。深度学习算法对其进行快速甄别，归类，对实时温度，烟雾浓度和电气线路电流电压数据进行危险等级的排序，并在数秒内给出消防监督人员关键信息简报，人工智能技术极大地节约了手工梳理资料时间，使隐患排查更加及时^[1]。

（二）实时监测动态性

在物联网和传感器网络的支持下，人工智能对消防场景进行了动态的实时监控。在高层建筑内，遍布各个楼层，机房和配电

室等场所的传感器全天候地进行数据采集，并通过无线方式传送到云端 AI 分析系统。当气温出现异常上升和可燃气体泄漏等情况时，系统会即时触发报警，监控画面也会实时跳到异常情况区，整个过程都会被动态追踪，时刻把握火灾风险的动态变化，就像为建筑装上了一根“智慧神经”。

（三）辅助决策科学性

人工智能对火灾发展态势进行仿真和分析，从而为消防决策的制定提供科学支持。面对某大型化工园区存在的火灾隐患排查工作，工艺流程复杂，储罐管线众多使得风险评估工作举步维艰。采用智能风险评估模型对园区布局，物料特性和气象条件进行输入，迅速模拟出不同情景下火灾爆炸的潜在影响区域、最佳疏散路线有助于消防监督员有针对性地制定科学，合理的防控策略。

作者简介：周冬（1990.11-），男，汉族，新疆乌鲁木齐市人，本科，研究方向：消防监督。

（四）学习进化能力

人工智能系统具有自我学习的能力和不断优化的性能。例如消防机器人通过日常巡检训练，积累新型消防设备的外观，故障特征感知，遇有陌生异常自动进行反馈记录，知识图谱更新等；智能火灾预警算法针对每一次误报和漏报案件复盘并对参数权重进行调整，下一次在遇到相似情景下识别和判断更准确，满足了越来越复杂多样的消防监督需求^[2]。

（五）协同联动性

消防应急响应中，人工智能推动了多部门多装备的协同联动。在起火的一瞬间，消防指挥中心的 AI 系统会自动告知周围的消防站，医疗急救和交通管理，并与大楼内部的消防设施同步联动，例如电梯迫降，防排烟系统开机，消防卷帘门落地等，各个环节密切配合，构成了高效的救援链，突破了信息孤岛的束缚，最大限度地提高了应急处置的效率。

二、人工智能技术应用于消防监督的必要性

（一）提升监督效率

传统的消防监督主要依靠人工巡检的方式，在庞大的建筑场所面前显得捉襟见肘。在一个中等规模的城市里，数以万计的高层建筑难以进行一年内的全面人工检查。引入 AI 智能巡检的方法，比如无人机携带热成像仪和高清摄像头在建筑物外立面和屋顶消防设施进行高空巡查等，每天可以完成数百个项目的巡检，AI 智能巡检对消火栓的无水 and 疏散指示受损情况进行了快速定位，并结合大数据分析产生检查报告，大大缩短了检查周期，使监督的覆盖面和频次得到了显著提高。

（二）增强早期预警能力

火灾的初期扑救是关键，多争 1 秒就要少损失 1 分。智能烟雾报警器利用先进的光电感应和 AI 算法能够在烟雾刚刚产生且浓度很低的情况下敏锐地捕捉到并分辨出烹饪烟雾和蒸汽的误报情况并提前几分钟发出警报；在经常发生电气火灾的老旧小区中，智能电气火灾监控系统对线路漏电和过载情况进行实时监控，出现异常情况时马上通知住户及消防部门，把火灾扼杀于摇篮之中，切实减少火灾发生率和损失规模。

（三）弥补人力不足短板

消防监督员人数有限、专业人才匮乏，很难适应不断增长的监管需要。偏远地区的消防大队辖区面积大，群众长期奔走途中。在智能远程监控系统的部署下，监督员可以对企业消防中控室的运行状况，消防水池的水位进行远程实时的观察，线上督促纠正，减少了不必要的出差，将工作重点放在关键隐患排查上，以减轻人力紧张的问题，达到精准监管的目的。

（四）适应复杂消防场景

现代建筑构造复杂，功能丰富，例如大型的商业综合体将购物，餐饮，娱乐等融为一体，其内部防火分区与疏散通道相互交织在一起，常规的检查手段难以向死角纵深发展。AI 驱动智能巡查机器人体型较小，能穿梭于狭窄通道和地下管廊中，并携带各种传感器对火灾隐患进行全方位检测；在化工，易燃易爆等地

方，机器人不惧风险，替代人工进入高危区对易燃易爆气体的泄漏进行准确监控，确保特殊场景下的消防安全。

（五）助力消防执法规范化

消防执法要求严谨公正，证据确凿。人工智能记录的高清监控视频、精准检测数据作为执法证据链关键环节，让违规行为无所遁形。例如企业擅自停用消防设施，智能监控完整拍下操作过程、时间节点，执法人员依此精准处罚，避免争议，提升执法公信力，同时倒逼社会单位自觉落实消防主体责任^[3]。

（六）推动消防管理智慧化升级

消防监督是一项系统工程，需要各方面的通力合作。人工智能大数据平台集成了消防部门，社会单位和社区物业的多数据，可为优化城市消防规划和应急预案奠定基础。为了推动消防管理智慧化升级我们对区域火灾的高发期，种类及薄弱环节进行了分析，并有针对性地配置了消防资源，例如在火灾频发的老旧城区新增微型消防站和消防水源等，成功地从“事后扑救”模式转向了“事前防范，精准治理”的智能消防管理方式。

三、人工智能技术在消防监督中的现存问题

（一）数据质量参差不齐

一方面消防物联网装备种类繁多，各厂家数据格式，传输协议也不尽一致，造成数据聚合后兼容性较差，比如有些温度传感器的数据准确到小数点之后，有些只有整数，在整合分析时容易出现错误。另一方面是一些陈旧的建筑消防设施年久失修，传感器收集到的数据存在较大偏差，如烟雾报警器由于长时间不标定、误报等现象频繁发生，质量不高的数据输入使得人工智能模型“学偏”，不能准确决策甚至发出错误的报警。

（二）技术适配性不足

不同的建筑类型和消防场景，对于人工智能技术的需求是不一样的。例如古城镇木质建筑的防火问题，已有的智能图像识别大多是对现代建筑的外观特征进行优化，很难准确识别出古建筑中存在的细微裂缝和虫蛀等潜在火源；在化工园区的复杂过程环境中，传统的气体泄漏检测 AI 算法不能适应各种混合易燃易爆气体的扰动，误判率较高，且缺少对特殊场景进行深度自定义的特殊技术，限制了其应用效果。

（三）专业人才短缺

消防领域懂得人工智能技术，复合型人才匮乏。基层消防监督员对消防法规，传统检查流程比较熟悉，在 AI 系统失效，算法优化等情况下束手无策；科研院校人才培养偏重于理论而实践操作和消防业务相结合较少，致使所研制系统缺乏实用性。与此同时，由于人才培养周期长，费用大，对行业的吸引力受限，很难迅速形成专业团队来支持技术落地和运维。

（四）隐私与安全风险

消防监督中涉及到大量的单位，居民的敏感部位，比如建筑平面图，消防设施布局 and 人员居住信息。人工智能系统在受到网络攻击时数据泄露会造成严重的后果，不法分子可以通过消防通道的布置来谋划作案，也可以借用居民信息进行欺诈。并且，AI

算法存在“黑箱”特性，难以完全确保决策过程透明、可控，若被恶意篡改，预警、调度指令错误发出，危及救援行动^[4]。

（五）成本投入压力

引进人工智能设备和系统的费用很高。一套智能消防机器人的采购价就高达几十万元人民币，各大城市消防部门都面临着大批量分配经费的压力；AI大数据平台的建设需要服务器集群，专业软件采购和持续运维等环节，且年度支出相当可观。对中小微企业来说，加装智能电气火灾监控和消防物联网设备同样是一个不小的包袱，经费掣肘使得一些先进技术迟迟无法普及和应用覆盖面有限^[5]。

四、人工智能技术在消防监督中的优化策略

（一）强化数据治理

建立统一的消防数据标准规范涉及数据格式，传输协议和采集频率，需要物联网设备厂商按照执行以保证数据的一致性；建立数据清洗，标定机制，对陈旧的建筑消防设施传感器进行定期标定，并采用大数据算法进行异常数据识别和校正，构建优质的消防数据资源池，为人工智能的培训提供准确的“原料”，打牢技术应用基础^[6]。

（二）深化场景定制研发

鼓励产学研结合，面向古建，化工等消防特殊场景成立专项研发团队。对古建防火机理进行深入剖析，采用高分辨率图像采集和AI模型训练相结合的方法对木质结构隐患进行准确识别；化工园区引进激光光谱分析和气体溯源前沿技术，将AI深度学习与混合气体泄漏检测算法相融合并进行优化，研发出适配各种场景的“专精特新”人工智能系列产品，以提高隐患识别准确性^[7]。

（三）加速人才培养与引进

消防部门联合高校和职业院校共同设置“消防加人工智能”复合式专业课程，并将实习实训植入消防第一线，以培养实用型人才；向全社会高薪聘请具有AI项目从业经验工程师，丰富技术研发和运维队伍；定期举办消防监督员AI技术培训提高实操技

能，以人才赋能打通技术落地的“最终的距离是一公里”，确保系统平稳运行^[8]。

（四）筑牢安全防护屏障

使用多重网络安全防护技术例如防火墙，入侵检测和数据加密来确保AI系统不受攻击；我们引入了区块链技术将敏感的消防数据进行加密存储和分布式管理以保证数据的完整性和无法篡改；对算法进行审计、阐释AI决策逻辑、构建异常预警机制、对算法的运行情况进行实时监控、在检测到篡改时即时回溯修复、从各方面守护信息安全和决策的可靠性^[9]。

（五）创新多元投入机制

政府建立智慧消防专项财政资金对消防部门采购智能设备和搭建平台进行补助；鼓励金融机构为消防物联网企业研发信贷产品、提供利率优惠、减轻资金压力；探索消防数据运营的商业化模式，授权具备资质的企业在确保安全的同时发掘数据的潜在价值并反哺技术研发投资，通过多元投资促进技术推广^[10]。

（六）完善法规政策体系

立法机关加快步伐修改消防法规，对智能监控数据成为执法证据进行了条件，过程的界定，并对数据所有权进行了界定；推出AI辅助决策的责任规范并对失误情况中技术提供方和使用方的责任界限进行细分；制定AI消防产品准入标准和规范市场秩序，使人工智能参与消防监督有法可依，执法必严，为技术的良性发展保驾护航^[10]。

五、结语

人工智能技术给消防监督带来了磅礴的力量，虽然目前面临着不少挑战，但是从加强数据治理，深化定制研发和培养专业人才的战略上突破困境，可望逐渐克服。今后，在科技不断迭代，法规日臻完善，投入不断增加的情况下，人工智能势必将深入融合到消防监督的各个环节中，为保卫人民群众生命财产安全提供坚实的盾牌，有助于消防事业走向智能化，精准化的新纪元，为防火减灾战场绽放夺目的光彩。

参考文献

- [1] 陈璨. 人工智能技术在消防监督工作中的应用[J]. 高科技与产业化, 2024, 30(10): 17-18.
- [2] 李志杰. 基于人工智能技术的消防监督工作分析[J]. 水上安全, 2024, (05): 58-60.
- [3] 刘川博. 消防监督工作中人工智能技术运用研究[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(33): 189-192.
- [4] 游静兰, 吴甦. 人工智能技术在消防监督工作中的探析[J]. 电子世界, 2017, (18): 27-28.
- [5] 杨明东. 基于人工智能技术的消防监督工作初探[J]. 消防界(电子版), 2016, (05): 25.
- [6] 谢克强. 人工智能辅助技术在消防工作中的应用前景展望[C]//中国消防协会. 2023中国消防协会科学技术年论文集——三等奖. 广东省汕头市消防救援支队, 2023: 4. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.083434.
- [7] 刘江龙. 关于大型商业综合体消防安全隐患智能预警监测管理系统的研究[J]. 科技与创新, 2023, (23): 141-143. DOI: 10.15913/j.cnki.kjycx.2023.23.043.
- [8] 李崇智, 马宏东, 韩针针. 智慧消防技术在消防安全管理中的具体应用[J]. 今日消防, 2023, 8(10): 78-80.
- [9] 江璇. 消防装备智能化自动控制技术研究[J]. 消防界(电子版), 2023, 9(22): 31-33. DOI: 10.16859/j.cnki.cn12-9204/tu.2023.22.027.
- [10] 刘里宁. 智慧物联网消防监督监管平台设计[J]. 中国高新科技, 2023, (17): 30-32. DOI: 10.13535/j.cnki.10-1507/n.2023.17.07.

智能技术在仪器仪表自动化设备中的应用创新

谢宗琦

宁夏回族自治区中卫市宁夏瑞泰科技股份有限公司, 宁夏 中卫 755000

摘 要： 智能技术是一门先进性的科学，其涉及到诸如语言识别和机器人以及图像识别等很多方面的研究内容。作为产业变革的核心驱动力，智能化在仪器仪表设备自动化设备中发挥着越来越重要的作用，极大的提高了生产的效率和质量。本文就从智能技术在仪器仪表自动化设备中应用实际技术的角度出发，对实际的应用进行分析。

关 键 词： 人工智能；仪器仪表；发展

Application Innovation of Intelligent Technology in Instrumentation Automation Equipment

Xie Zongqi

Zhongwei City, Ningxia Hui Autonomous Region Ningxia Ruitai Technology Co., LTD. Zhongwei, Ningxia 755000

Abstract： Intelligent technology is an advanced science, which involves many aspects such as language recognition, robot and image recognition. As the core driving force of industrial change, intelligence plays an increasingly important role in the automation equipment of instrumentation equipment, which greatly improves the efficiency and quality of production. This paper analyzes the practical application of intelligent technology in instrumentation automation equipment from the point of view.

Keywords： artificial intelligence; instruments and meters; development

我国仪器仪表行业从现阶段来看还是比较依赖传统技术的，虽然很多企业已经走了改变的意识，但是因为种种原因，很难取得突破性的进展。而仪器仪表自动化设备是未来产业革新的关键，是提高生产力的核心动力，有了智能技术的加入，能够得到更好的发展，因此对智能技术在仪器仪表自动化设备中应用创新进行分析是很有必要的。

一、仪器仪表自动化设备领域用到的智能化关键技术

（一）传感器融合感知技术

在未来的先进制造领域以及智慧工厂的生产中，传感器融合技术是其中非常重要的一项尖端技术，融合了分析和控制、交互和监测等技术是很多设备中必不可少的。传感器融合感知技术主要是针对性检测技术的开发，比如振动和图像、温度和应变、噪音和压力风方面的参量，然后在这个基础上和互联网技术充分结合起来，利用互联网技术中的数据采集和分析以及处理等方面的技术，实现对仪器仪表设备更加精细化、更加智能化的处理。在未来的发现方向上，有以下几个方面可以进行重点化的研究：一是多传感器之间的融合监测技术；二是数据方面的融合分析技术；三是平台系统中的自诊断技术；四是系统执行技术；五是系统反馈技术。传感器融合感知技术应用范围广，只要有仪器仪表设备的使用，都能够看到它的身影。

（二）高度融合的 MEMS 单片集成工艺与 IC 工艺

MEMS 技术随着时代的发展，和微电子 IC 技术形成了双子

星式的发展轨迹，彼此之间的融合越来越深入，甚至可以实现现在一个芯片上将微传感器和集成电路以及执行器都集成在一起，也就是说 MEMS 结构能够和 CMOS 电路能做到同一块芯片上。MEMS 单片集成制造简单来说就是在 IC 在生产过程中，电路板 CMOS 插入一些 MEMS 的工艺达到单片集成的效果。这样能够有效解决在单片集成电路中，存在的二维电路结构的问题和机械结构的问题。随着未来技术的发现 MEMS 和 IC 工艺的高度融合能够让电路板在完成基本电路处理任务外，还具备其他像信息获取和处理以及执行等多种多样的功能。

（三）便携式连续监测系统

这类监测系统是基于现阶段人们越来越重视健康的环境下发展起来的，主要是对人体各项参数进行持续性的检测。这种监测系统的作用有很多，通过人体在运动中的各种参数，能够不断优化运动训练的方式；通过人体营养参数的监测，能够实现更加科学合理的饮食方案；通过人体疾病的参数监测，能够采取更加合理、更加有针对性的治疗方案。为了更好的开发这种系统，人们可以进行柔性 MEMS 技术的开发，这种技术和人体比较契合，然后将各种传感器和通信处理系统自己数据处理分析系统都在柔

性芯片集成，能够持续的降低可穿戴、植入式人体参数连续监测系统的成本，实现对人体参数持续性的监测，并智能性分析得到的数据，进而提出针对性的建议让人们提高身体素质。相信在未来，这项技术一定能够得到普及，所有的人类都能够享受它的功能。

（四）基于微流控芯片的痕量检测技术

随着集成流路方面技术的发展进步，使微生物定量检测方面的技术也得到了极大的发展。这和电子学类似，大规模集成电路的不断发展，使电子学得到了革命性的发展。而由于集成流路技术因为应用越来越广泛，也有效促进了生命科学领域的发展和革命。在现阶段，能够精准定量检测生物分子中每百微升几百个分子甚至是每百微升1个分子是非常困难的，而在集成流路芯片痕量生物分子定位研究的基础上，开展智能检测方面的研究，进而研究能够进行高灵敏度的精准检测软件是一个方向。这样研究出来的仪器不仅能够突破传统检测仪器的限制，而且也具备准度高的特点，也势必会成为未来精准医疗的基本技术之一。

（五）万物互联手持式微型检测仪器

手持式微型检测仪器也就是危险性检测分析仪器，主要的目的就是能够实现快速检测，随着万物互联的发展，手机在检测领域完全可以化身为迷你分析仪器，手机上自带传感器，在连接之后，能够接收大量的数据，并通过大数据的分析和处理，刑冲一中在线快速检测，而且还能够形成中全新的检验模式，形成一种全新的安全监控模式。事实上在这一领域的发展，对我国的高端制造产业发展是极为有利的，这涉及到数据库平台，也涉及到数据和互联传输的标准，还涉及到小型化的分析仪器等等，对我国的发展有重要意义^[1]。

（六）极端环境条件下的质谱分析技术

在分子定量定性的分析中，质谱仪器是最为精准的监测意思，不到检测到零度高，而且检测的速度也非常快，在广泛的检测领域，发挥着越来越重要的作。但是如果在特定的环境下比如极端环境或者是特定的尺度下，质谱仪器是很难发挥作用的，因为需要相当高的操作环境。但是随着人们对于海洋地下越来越深入的探索，高精端的质谱仪器就成了必然的选择，尤其是在一些高强度，高磁场，高温，高压，高速度或者是高振动等环境中，针对性的质谱仪器会发挥更大的作用，发展这类测量技术是我国在高精度仪器发展方向，也势必会成为我国未来对于海洋天空大地资源开发的重要技术之一。

二、智能技术在仪器仪表自动化设备中的应用

（一）多源自供电低功耗连续传感器

这类传感有一个非常明显的特点，就是能够自供电的进行远程遥感采集，在物理信息采集领域，优势尤为明显，它能够依靠自己的供电系统不间断的长期的，稳定的对压力和温度以及湿度等参数进行监测。这种探测器的能源供给方式主要是靠光电效应和热电效应，以及化学能转换的方式实现的，在野外的探测和环境检测方面效果奇佳。针对信息传送方面，主要是采用无线的方

式进行回传，这样的，方式是为了避免有可能遇到的线路问题。

（二）太赫兹检测仪器

太赫兹波是一种电磁辐射波，这种辐射波介于微波和红外线辐射波之间，在能量上要比X射线数量级还要低，因此，它的存在不会对任何生物组织造成破坏或影响。这种技术从某种程度上来说才是真正的无损检测技术。事实上，太赫兹光谱搭配成像仪器使用，能够应用的范围是非常广泛的，在食品安全和临床检测、药品分析和油气分析、化妆品和违禁品、食品添加剂和医疗分析，等领域都得到广泛的应用。

（三）高通量全集成基因检测技术

基因检测技术发展迅速，近年来在疾病风险评估、疾病诊断、个体化医疗、身份鉴定、食品安全等领域的应用呈现飞跃式发展，其更快、更准、更灵敏的检测性能带来的社会效益巨大。我国把基因检测技术用于临床检验方面的规模和水平处于世界前列。目前，基因检测更大规模推广使用的瓶颈在于样品交叉污染风险和样品前处理复杂，国家应重点支持基于一次性全集成芯片的全集成基因检测系统，实现样品进、结果出的全自动流程。

（四）高分辨率的雷达卫星传感器

高分辨率雷达卫星遥感在我国的应用前景是非常广阔，水利和林业、国土和海洋、地质和环境等领域随处可见它的身影，尤其是在自然灾害应急监测和海洋监测、地表覆盖及沉降监测和地壳转移等领域，应用效果非常突出。高分辨率雷达卫星遥感系统，的优点在于能够全天24小时监测，而且模式也比较多样化，有效的补充延伸了传统的光学遥感的不足。嗯，事实上，我国对于民用雷达，卫星数据或者是民用雷达的使用还没有做到开展或普及，这个课题也是非常重要的一环，有必要进行深入的研究。

三、智能化在仪器仪表自动化设备中发挥的作用

（一）智能化监测与控制：

仪器仪表自动化设备中能够通过先进的传感技术，对生产制造中的实时参数进行监测，比如，生产过程中设备的温度、流量和压力等参数。然后通过数据的收集和分析，再经过智能算法的处理后，能够及时的发现生产制造过程中出现的异常参数，并根据设定的数值对设备进行自动调节，从而实现智能化生产，有效提高的生产的效率^[2]。

（二）智能化的生产调节

智能化在仪器仪表中的自动化生产设备中主要的效果就是能够实现更加智能化，自动化的生产和加工。不管是控制阀门的自动化，还是传感器调节的自动化，亦或者是数据记录的自动化和报警系统的自动化、智能化，都能够仪器仪表设备显得更加智能高效，更加的精准安全。

（三）远程监控与智能管理

有了物联网技术的加持，智能化技术已经能够让仪器，仪表设备实现监控的远程化和管理的智能化，工作人员可以通过互联网对生产过程实时的监控和远程的调节。这样一来，不但提高了生产的效率和应对故障的反应速度，真正意义上的实现现代化智

能管理模式。

（四）安全性与稳定性的提高

智能化的应用能够使仪器仪表设备，在运行的过程中，及时的将异常数据，反映出来，甚至自动开启报警系统，管理人员也可以通过远程的监控和智能的调节及时的发现异常问题。这样一来，在整个的自动化设备生产过程中都能够保证生产的安全进行，有效的避免安全事故的发生。

（五）PLC 实现生产流程自动化

PLC 作为设备的核心控制系统，它的目的是能够，在已经设定好的逻辑程序中，保证设备能够按照生产的顺序进行生产和加工。智能化充分提高了它的可靠性和灵活性，使整个生产流程变得更加自动化，也极大的提高了生产效率和产品的质量。

四、智能技术在仪器仪表中应用趋势及特点

（一）体型缩小功能变多

仪器仪表设备以后重要的发展方向就是微型化，对于仪器仪表设备来说，有智能化技术的支持，除了能够和传统仪器仪表的功能进行融合之外，还能够在生物技术和医疗技术等方面发挥重要的作用。另一个发展方向就是功能多样化，这是必不可少的，任何技术发展到最后功能都会越来越多，智能化的加入不仅会改善设备的各项性能，而且也能够使各种测量功能逐步完善起来。

（二）虚拟仪器

虚拟仪器是一个全新的发展阶段，代表着智能化和仪器仪表设备的高度融合，是未来智能测量仪器发展的方向，测量仪器主要是用来进行数据的采集和分析的。对于虚拟仪器来说，关于数据的采集和分析是通过 PC 机软件完成的，PC 机软件和数据采集

硬件组合在一块就是虚拟仪器。虚拟仪器主要是通过一个类型的硬件加上多种软件，从而实现一种能够有很多功能的测量仪器^[3]。

所以，软件是虚拟仪器的核心，所以智能仪器在后面会越来越重要，对比传统，智能化仪表仪器，其智能点主要表现在一下几个方面：一是操作自动化，二是监测自动化，三是数据自动化，四是人机对话能力，五是远程了编程操作能力。因此智能化的应用能够实现更快捷、更精准的运行，而且在实际工作中的使用，仪器仪表的分辨率、测试速度等都会得到显著提高。和传统仪器仪表的使用进行对比，智能仪器仪表在计算机技术支持下，其可以在处理、分析及控制等工作中发挥更为明显的作用，并且也可以为仪器仪表的智能化发展奠定基础。所以，人工智能技术在仪器仪表表中的使用，不仅可以进一步提高产品质量及性能，还可以给用户提供更优质的服务和全新的体验，对于促进仪器仪表行业的智能化转型来说具有重要意义。

五、结束语

总而言之，在科学技术快速发展背景下，仪器仪表在人们生产生活中的作用得到了进一步凸显。因此，为更好地满足社会发展需求，应积极加强人工智能技术在仪器仪表发展中的融合与渗透，通过发展智能仪器仪表，进一步提高生产活动效率及智能。经过多年以来的发展，智能仪器仪表的生产和制作方面获取了一定的优异成果。并且，现阶段我国智能仪器仪表产量在逐年提高，逐渐和世界接轨。但需要注意的是，和发达国家进行对比，我国的智能仪器仪表发展水平仍比较落后，在未来发展中仍须对其进行不断与探索及研究，为其提供更多的人力、物力及财力支撑，推动我国仪器仪表事业的持续性和稳定性发展。

参考文献

-
- [1] 孙柏林, 刘哲鸣. 人工智能技术在仪器仪表中的发展与应用 [J]. 仪器仪表用户, 2017, 24(12):6.
- [2] 张凯. 智能自动化仪器仪表中工业领域的应用和发展 [J]. 市场周刊: 商务营销, 2019, 000(082):P.1-1.
- [3] 余里江. 浅谈现代测量仪器仪表中的智能设计理念 [J]. 建筑工程技术与设计, 2018.

计算机视觉中的物体跟踪技术及其改进研究

张婷玮, 龙艳彬, 邓凯文
辽宁科技大学, 辽宁 鞍山 114051

摘要： 本文深入研究了计算机视觉中的三维物体跟踪技术及其改进方法。首先，概述了三维物体跟踪技术的理论基础，包括其数学原理、关键技术和应用领域。接着，详细探讨了三维物体跟踪的评估方法，为算法的性能比较提供了统一的标准。在此基础上，本文重点分析了现有的三维物体跟踪算法，包括基于视觉特征的传统位姿求解方法和基于学习的位姿估计方法。同时，还介绍了其他相关算法，如统计分割模型、能量函数优化以及加速策略等，这些算法在提升跟踪精度和实时性方面发挥了重要作用。通过对比实验，本文在 RBOT 数据集上验证了多种三维物体跟踪算法的性能，并分析了取得高精度的原因。

关键词： 计算机视觉；三维物体跟踪；位姿求解；学习算法；评估方法；RBOT 数据集

Research on Object Tracking Technology and Its Improvement in Computer Vision

Zhang Tingwei, Long Yanbin, Deng Kaiwen
University of Science and Technology Liaoning, Anshan, Liaoning 114051

Abstract： This paper conducts an in-depth study on 3D object tracking technology and its improvement methods in computer vision. Firstly, it summarizes the theoretical foundation of 3D object tracking technology, including its mathematical principles, key technologies, and application areas. Then, it discusses in detail the evaluation methods of 3D object tracking, providing a unified standard for comparing the performance of algorithms. Based on this, the paper focuses on analyzing existing 3D object tracking algorithms, including traditional pose estimation methods based on visual features and learning-based pose estimation methods. Additionally, it introduces other related algorithms such as statistical segmentation models, energy function optimization, and acceleration strategies, which play crucial roles in improving tracking accuracy and real-time performance. Through comparative experiments, this paper verifies the performance of various 3D object tracking algorithms on the RBOT dataset and analyzes the reasons for achieving high accuracy.

Keywords： computer vision; 3D object tracking; pose estimation; learning algorithm; evaluation method; RBOT dataset

前言

随着计算机视觉技术的迅猛发展，三维物体跟踪技术作为其中的重要分支，已经广泛应用于机器人导航、自动驾驶、增强现实、虚拟现实以及视频监控等多个领域。三维物体跟踪技术能够实时、准确地获取物体的三维位置、姿态以及运动轨迹，为后续的决策与控制提供关键信息。因此，深入研究三维物体跟踪技术，不仅有助于推动计算机视觉领域的发展，还对于提升相关应用的智能化水平具有重要意义^[1]。

近年来，国内外学者在三维物体跟踪技术方面取得了显著的研究成果。传统方法主要依赖于视觉特征，通过特征提取、匹配以及位姿求解等步骤实现物体的跟踪。这些方法在特定场景下表现出色，但在复杂环境中容易受到光照变化、遮挡、噪声等因素的影响，导致跟踪精度下降甚至失败。为了克服这些挑战，基于学习的位姿估计方法应运而生。这些方法利用深度学习等先进技术，从大量数据中学习物体的特征表示和运动模式，从而实现了对物体的精确跟踪。然而，目前基于学习的方法仍面临训练数据不足、模型泛化能力有限等问题，需要进一步完善和优化^[2]。

一、三维物体跟踪理论基础

（一）三维物体跟踪的基本概念

三维物体跟踪是指利用计算机视觉技术，在连续的视频帧或图像序列中，实时、准确地获取并跟踪目标物体的三维位置、姿态以及运动轨迹的过程。这一技术通过捕捉和分析物体的视觉特征，如形状、颜色、纹理、边缘等，以及利用这些特征在时空上的连续性，实现对物体的持续跟踪。^[3]

（二）三维物体跟踪的数学原理

三维物体跟踪的数学原理主要涉及投影几何、矩阵运算、优化算法以及概率统计等领域。首先，投影几何是三维物体跟踪的基础，它描述了三维空间中的物体如何投影到二维图像平面上，以及如何通过二维图像信息反推出三维空间中的物体信息。其次，矩阵运算和优化算法在三维物体跟踪中起着至关重要的作用，它们用于处理图像特征提取、匹配以及位姿求解等复杂计算。

作者简介：张婷玮（2004.03-），女，辽宁省普兰店市，汉族，高中，学生，研究方向：视觉检测方向。

（三）三维物体跟踪的关键技术

三维物体跟踪的关键技术包括特征提取与匹配、位姿求解与优化、目标检测与跟踪以及数据关联与融合等。特征提取与匹配是三维物体跟踪的第一步，它通过提取物体的视觉特征，并在连续帧之间进行匹配，以实现持续跟踪。位姿求解与优化则是根据匹配的特征点，利用几何约束和优化算法，计算出物体的三维位置和姿态信息。^[4-5]

（四）三维物体跟踪的应用领域

三维物体跟踪技术具有广泛的应用领域，包括但不限于机器人导航、自动驾驶、增强现实、虚拟现实以及视频监控等。在机器人导航领域，三维物体跟踪技术可以帮助机器人实时感知周围环境，实现自主导航和避障。在自动驾驶领域，该技术可以实时监测道路中的车辆、行人等障碍物，为自动驾驶系统提供关键信息。^[6]

二、三维物体跟踪的评估方法

（一）评估方法的实现步骤

评估三维物体跟踪算法时，通常需要遵循以下步骤：

1. 数据集准备：选择包含各种场景和挑战的公开数据集，如RBOT数据集，确保数据集的多样性和代表性。
2. 算法实现：根据评估需求，实现或获取待评估的三维物体跟踪算法。
3. 参数设置：对算法进行必要的参数调整，以确保其在特定数据集上的最佳性能。
4. 性能评估：在数据集上运行算法，并收集位置误差、姿态误差等评估指标的数据。

（二）评估方法的优缺点分析

评估三维物体跟踪算法的优缺点主要取决于所选评估指标和数据集的特性。

优点：客观性和可比较性：通过选择合适的评估指标和数据集，可以确保评估结果的客观性和可比较性，为算法的性能改进提供可靠的依据。^[9]

三、三维物体跟踪算法

三维物体跟踪算法是计算机视觉领域的重要研究方向，旨在通过连续的视频帧或图像序列，实时、准确地获取并跟踪目标物体的三维位置、姿态以及运动轨迹。^[10]

（一）基于视觉特征的传统方法

这类方法主要依赖于从图像中提取的视觉特征，如点特征、线特征、面特征等，通过特征匹配和几何约束来求解物体的位姿。

1. 特征提取与匹配

特征提取是三维物体跟踪的第一步，旨在从图像中提取出具有稳定性和区分性的特征点。常用的特征提取算法包括SIFT（尺度不变特征变换）、SURF（加速鲁棒特征）等。

特征匹配则是将当前帧中的特征点与前一帧或参考帧中的特征点进行匹配，以建立特征点之间的对应关系。常用的匹配算法包括暴力匹配（Brute-Force Matching）、FLANN（快速最近邻搜索库）等。图1局部统计分割模型。

2. 位姿求解与优化

在得到匹配的特征点对后，需要利用几何约束来求解物体的位姿。常用的位姿求解方法包括PnP（Perspective-n-Point）算法、ICP（Iterative Closest Point）算法等。PnP算法通过已知的三维特征点和对应的二维投影点，利用非线性优化算法求解物体的位姿。ICP算法则通过迭代的方式，不断调整物体的位姿，使得三维点云与二维图像中的特征点之间的误差最小。

位姿求解后，还需要进行位姿优化，以提高位姿估计的精度和鲁棒性。常用的优化方法包括BA（Bundle Adjustment）算法、LM（Levenberg-Marquardt）算法等。这些算法通过最小化重投影误差或其他形式的误差函数，对位姿进行迭代优化，得到更加准确的位姿估计结果。

位姿求解后，还需要进行位姿优化，以提高位姿估计的精度和鲁棒性。常用的优化方法包括BA（Bundle Adjustment）算法、LM（Levenberg-Marquardt）算法等。这些算法通过最小化重投影误差或其他形式的误差函数，对位姿进行迭代优化，得到更加准确的位姿估计结果。

（二）基于学习的位姿估计方法

随着深度学习技术的不断发展，基于学习的位姿估计方法逐渐成为三维物体跟踪领域的研究热点。这类方法通过构建深度学习模型，从图像中直接学习物体的位姿信息。

1. 深度学习模型的构建与训练

深度学习模型的构建是基于学习的位姿估计方法的关键步骤。常用的深度学习模型包括卷积神经网络（CNN）、循环神经网络（RNN）等。这些模型通过多层卷积层或循环层，从图像中提取出深层次的特征表示，用于后续的位姿估计。

在模型构建完成后，需要进行模型训练。训练过程中，需要准备大量的包含物体位姿信息的图像数据，并利用这些数据对模型进行训练。训练过程中，通常采用监督学习的方式，通过最小化预测位姿与实际位姿之间的误差，来优化模型的参数。常用的损失函数包括L2损失、交叉熵损失等，图2扇形统计分割模型。

2. 位姿估计的实现与优化

在模型训练完成后，可以利用训练好的模型进行位姿估计。位姿估计的实现过程中，需要将待跟踪的图像输入到模型中，模型会输出预测的位姿信息。为了提高位姿估计的精度和鲁棒性，还可以采用一些后处理技术，如位姿平滑、滤波等。

四、其他相关算法

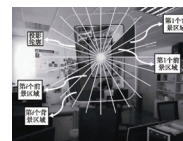
在三维物体跟踪领域，除了基于视觉特征的传统位姿求解方法和基于学习的位姿估计方法外，还有许多其他相关算法和技术被广泛应用和研究。这些算法和技术为三维物体跟踪提供了更多的可能性和解决方案。以下将详细介绍统计分割模型、能量函数优化方法以及加速策略在三维物体跟踪中的应用。

（一）统计分割模型在三维物体跟踪中的应用

统计分割模型是一种基于概率统计原理的图像分割方法，通过计算图像中像素点属于不同类别的概率，实现对图像的分割。在三维物体跟踪中，统计分割模型可以用于从复杂背景中分离出目标物体，为后续的位姿求解和跟踪提供准确的图像输入。



> 图1局部统计分割模型



> 图2扇形统计分割模型

常见的统计分割模型包括高斯混合模型（GMM）、马尔可夫随机场（MRF）、条件随机场（CRF）等。这些模型通过引入先验知识和图像特征，构建出图像像素点之间的统计关系，并利用这些关系进行图像分割。在三维物体跟踪中，可以将统计分割模型与位姿求解算法相结合，实现对目标物体的精确分割和跟踪。

例如，可以利用高斯混合模型对图像进行背景建模，将目标物体从背景中分离出来。然后，利用分离出的目标图像进行特征提取和匹配，进而求解目标物体的位姿。这种方法可以有效提高目标物体在复杂背景中的识别精度和跟踪稳定性。

（二）加速策略在三维物体跟踪中的实现

三维物体跟踪算法通常需要处理大量的图像数据和复杂的计算任务，因此算法的运行效率成为了一个重要的考虑因素。为了提高三维物体跟踪算法的运行效率，可以采用多种加速策略。

常见的加速策略包括并行计算、GPU 加速、算法优化等。并行计算通过将计算任务分配给多个处理器或线程，实现计算任务的并行处理，从而提高算法的运行效率。GPU 加速则利用图形处理器（GPU）的强大计算能力，对算法中的大规模计算任务进行加速处理。算法优化则通过改进算法的数据结构和计算流程，减少不必要的计算量，提高算法的计算效率。

在三维物体跟踪中，可以采用并行计算和 GPU 加速等策略对算法进行加速。例如，可以将特征提取、匹配以及位姿求解等计算任务分配给多个处理器或 GPU 进行并行处理，从而缩短算法的运行时间。此外，还可以通过优化算法的数据结构和计算流程，减少不必要的计算量，进一步提高算法的运行效率。

五、三维物体跟踪算法在 RBOT 数据集上的跟踪结果

三维物体跟踪算法在各类应用场景中扮演着至关重要的角色，而评估这些算法的性能则需要依赖具有代表性和挑战性的数据集。RBOT 数据集作为三维物体跟踪领域的一个重要基准，为算法的性能评估提供了丰富的实验素材。本节将详细介绍在 RBOT 数据集上进行的三维物体跟踪实验设计、实验结果与性能分析，以及取得高精度可能的原因。

（一）实验设计与数据集介绍

实验设计是确保算法性能评估准确性和可靠性的关键步骤。在本次实验中，我们选择了 RBOT 数据集作为测试平台，该数据集包含了多种复杂场景下的三维物体跟踪任务，涵盖了不同的光照条件、遮挡情况、运动模式等，为算法的性能评估提供了全面的挑战。

RBOT 数据集不仅提供了高质量的图像序列，还包含了精确的三维物体标注信息，包括物体的位置、姿态、尺寸等，这为算法的精确评估提供了有力支持。在实验设计中，我们遵循了数据集提供的评估标准，确保了实验结果的客观性和可比较性。

（二）实验结果与性能分析

在 RBOT 数据集上进行的三维物体跟踪实验取得了显著的结果。通过对比不同算法在数据集上的表现，我们可以发现一些有趣的现象和规律。

首先，基于深度学习的位姿估计方法在实验中展现出了强大的性能。这些方法通过从大量数据中学习物体的特征表示和位姿

信息，能够在复杂场景下实现高精度的跟踪。相比之下，传统的基于视觉特征的位姿求解方法在某些挑战性场景下可能表现不佳，如光照变化剧烈或物体遮挡严重时。

其次，实验结果显示，算法的优化和加速策略对于提高跟踪效率至关重要。通过采用并行计算、GPU 加速等技术手段，可以显著降低算法的运行时间，提高实时性。这对于需要快速响应的应用场景尤为重要。

（三）取得高精度的原因探讨

在 RBOT 数据集上取得高精度跟踪结果的原因是多方面的。首先，深度学习模型的强大学习能力为算法提供了坚实的基础。通过训练大量标注数据，模型能够学习到物体的复杂特征表示和位姿信息，从而在测试时实现高精度的跟踪。

其次，算法的优化和加速策略对于提高精度也起到了重要作用。通过优化算法的数据结构和计算流程，减少不必要的计算量，可以进一步提高算法的精度和效率。同时，采用 GPU 加速等技术手段可以显著加快算法的计算速度，使得算法能够在更短的时间内完成复杂的计算任务。

六、总结

本研究聚焦于三维物体跟踪算法，深入探讨了基于视觉特征的传统位姿求解方法和基于学习的位姿估计方法，并在 RBOT 数据集上进行了实验验证。通过对比分析，我们揭示了不同算法在复杂场景下的性能表现，并探讨了取得高精度跟踪结果的关键因素。

在研究过程中，我们发现基于深度学习的位姿估计方法在三维物体跟踪中展现出了强大的性能优势。通过训练大量标注数据，深度学习模型能够学习到物体的复杂特征表示和位姿信息，从而在测试时实现高精度的跟踪。此外，算法的优化和加速策略也对于提高跟踪效率和精度起到了重要作用。

在 RBOT 数据集上的实验结果显示，我们的算法能够在多种复杂场景下实现稳定、高精度的三维物体跟踪。这不仅验证了算法的有效性和可靠性，也为后续的研究工作提供了坚实的基础。

参考文献

- [1] 一种新的三维物体的渐变算法. 陈传波; 郑运平; 姜正强. 计算机工程与科学, 2006(12):54-56.
- [2] 基于优化算法的从线画图精确重构三维物体. 邹常青; 刘健庄. 计算机辅助设计与图形学学报, 2012(12):78-79.
- [3] 三维物体表面轮廓测量中实用相位展开算法的研究. 葛晶; 许增朴; 于德敏; 王永强. 微计算机信息, 2006(30):432-435.
- [4] 基于形态学的任意三维物体变形的算法及实现. 刘文予, 陈都, 万菲, 朱光喜. 中国图象图形学报, 1998(06):23-25.
- [5] 一种用单幅图像与三维物体的匹配方法. 黄振华, 于潜. 浙江大学学报(自然科学版), 1990(01):45-47.
- [6] 三维物体的重建方法分析. 王瑞洁. 数字通信世界, 2022(02):78-79.
- [7] 基于深度学习的三维物体重建方法研究综述. 郁钱; 路金晓; 柏基权; 范洪辉. 江苏理工学院学报, 2022(04):67-68.
- [8] 基于深度学习的三维物体重建研究. 李赛赛. 电脑知识与技术, 2020(31):89-90.
- [9] 环视图表示下的无监督三维物体检索. 匡振中; 杨结; 俞俊. 计算机辅助设计与图形学学报, 2021(05):89-90.
- [10] 基于李代数表征的三维物体空间姿态检测. 李海伦; 江浩; 孙鹏伟. 山东科技大学学报(自然科学版), 2019(06):102-105.

电力主网监控中智能告警系统的优化与应用研究

陈潇楠

国网福建省电力有限公司龙岩供电公司, 福建 龙岩 364000

摘 要： 随着电力系统的不断发展和智能化进程的推进，电力主网监控中的智能告警系统变得至关重要。本文深入研究了电力主网监控中智能告警系统的现状，分析了其存在的问题，并提出了一系列优化措施。通过对智能告警系统的算法改进、数据处理能力提升以及与其他系统的融合应用等方面的研究，提高了告警系统的准确性、及时性和可靠性。同时，结合实际案例分析了优化后的智能告警系统在电力主网监控中的应用效果，为电力系统的安全稳定运行提供了有力保障。

关 键 词： 电力主网监控；智能告警系统；优化措施；应用效果

Optimization and Application Research of Intelligent Alarm System in Power Grid Monitoring

Chen Xiaonan

Longyan Power Supply Company, State Grid Fujian Electric Power Company, Longyan, Fujian 364000

Abstract： With the continuous development of the power system and the advancement of intelligence, the intelligent alarm system in power grid monitoring has become crucial. This paper delves into the current status of intelligent alarm systems in power grid monitoring, analyzes its existing problems, and proposes a series of optimization measures. Through research on algorithm improvement, data processing capability enhancement, and integration with other systems of the intelligent alarm system, the accuracy, timeliness, and reliability of the alarm system are improved. Meanwhile, combined with practical cases, the application effect of the optimized intelligent alarm system in power grid monitoring is analyzed, providing a strong guarantee for the safe and stable operation of the power system.

Keywords： power grid monitoring; intelligent alarm system; optimization measures; application effects

引言

随着经济的快速发展和社会的不断进步，对电力的需求持续增长，这促使电力系统的规模不断扩大。与此同时，为了满足日益多样化的用电需求以及适应各种复杂的运行环境，电力系统的复杂性也在日益增加。在这样的背景下，对电力主网的监控要求变得越来越高。

电力主网作为整个电力系统的核心部分，承担着电能传输和分配的重要任务。其稳定运行对于保障电力供应的可靠性和安全性至关重要。然而，传统的告警系统在面对如今海量的监控数据时，逐渐暴露出诸多问题。一方面，由于传统告警系统在数据分析和处理能力上的局限性，往往存在告警不准确的情况^[1]。误报和漏报现象时有发生，这不仅给运行人员带来了不必要的困扰，还可能导致对真正的故障和异常情况未能及时发现和处理，从而埋下安全隐患。另一方面，传统告警系统在数据处理速度和告警生成机制上相对滞后，难以满足现代电力系统对告警及时性的要求。当电力主网发生故障时，若不能及时发出告警信息，运行人员就无法迅速采取相应的措施，这可能会导致故障范围扩大，影响电力系统的稳定运行，甚至造成严重的经济损失和社会影响。

鉴于此，开发和优化智能告警系统成为了当前电力领域的一个重要研究方向。智能告警系统通过引入先进的数据分析算法、提升数据处理能力以及采用智能化的告警处理技术，可以有效地提高告警的准确性和及时性，更好地满足现代电力系统对主网监控的需求。它能够及时准确地发现电力主网中的故障和异常情况，为运行人员提供有效的决策支持，从而保障电力系统的安全稳定运行。

一、电力主网监控中智能告警系统的现状分析

（一）现有智能告警系统的组成和工作原理

目前，电力主网监控中的智能告警系统主要由数据采集模

块、数据分析模块、告警生成模块和告警展示模块等组成。数据采集模块负责采集电力主网中的各种运行数据，如电压、电流、功率等；数据分析模块对采集到的数据进行分析处理，提取出故障和异常特征；告警生成模块根据分析结果生成相应的告警信

作者简介：陈潇楠（1992.01—），男，汉族，福建龙岩人，电力工程师，本科，研究方向：电力监控。

息；告警展示模块将告警信息以直观的方式展示给运行人员^[2]。

（二）现有智能告警系统存在的问题

1. 告警准确性不高

由于电力主网中的运行数据具有高度的复杂性和多样性，这使得现有的智能告警系统在数据分析和故障诊断方面面临着巨大的挑战。电力主网的运行数据来源广泛，包括各种传感器、监测设备以及不同类型的电力设备所产生的数据。这些数据不仅数量庞大，而且种类繁多，涵盖了电压、电流、功率、频率等多个参数，同时还包括设备的运行状态、环境参数等信息。如此复杂多样的运行数据，对智能告警系统的数据分析能力提出了极高的要求。然而，现有的智能告警系统在数据分析和故障诊断方面存在一定的局限性。部分智能告警系统所采用的数据分析算法可能不够先进，无法有效地处理复杂多变的电力主网运行数据。例如，一些传统的数据分析方法可能在面对大规模数据和复杂数据关系时，表现出分析速度慢、准确性不高等问题^[3]。故障诊断模型可能不够完善，难以准确地识别各种类型的故障和异常情况。由于电力主网中的故障类型多种多样，且故障特征可能会受到多种因素的影响，如设备老化、环境变化等，这使得故障诊断变得更加困难。

这些局限性导致告警准确性不高。例如，误报和漏报现象时有发生。误报会让运行人员在没有实际故障的情况下进行不必要的检查和处理，浪费了人力和时间资源。而漏报则可能导致严重的故障未能及时发现和处理，给电力系统的安全稳定运行带来极大的风险。

2. 告警及时性不足

在电力主网发生故障时，时间就是生命。需要及时发出告警信息，以便运行人员能够迅速采取相应的措施，防止故障扩大，保障电力系统的安全稳定运行。然而，现有的智能告警系统在数据处理和告警生成过程中存在一定的延迟，导致告警及时性不足。

这种延迟主要源于以下几个方面。首先，数据采集和传输环节可能存在延迟。电力主网中的数据采集设备可能由于性能限制或网络传输问题，无法及时将运行数据传输到智能告警系统中。其次，数据处理速度可能不够快。当面对海量的电力主网运行数据时，现有的智能告警系统可能需要较长的时间来进行数据分析和处理，从而导致告警生成的延迟。最后，告警通知机制可能不够高效。即使智能告警系统生成了告警信息，但如果通知运行人员的方式不够及时、直接，也会影响告警的及时性^[4]。

3. 缺乏智能化的告警处理能力

当电力主网中出现多个告警信息时，情况往往会变得非常复杂。现有的智能告警系统往往缺乏智能化的告警处理能力，难以对告警信息进行有效的筛选和分类，给运行人员的故障处理带来了极大的困难。由于电力主网的复杂性，不同类型的故障和异常情况可能会同时发生，导致多个告警信息同时出现^[5]。这些告警信息可能来自不同的设备、不同的监测点，具有不同的严重程度和影响范围。如果智能告警系统不能对这些告警信息进行有效的筛选和分类，运行人员就很难快速确定哪些告警信息是关键的，

需要优先处理；哪些告警信息是次要的，可以稍后处理。现有的智能告警系统可能缺乏对告警信息的关联分析能力。在实际运行中，不同的告警信息之间可能存在着一定的关联关系。例如，一个设备的故障可能会引发其他设备的连锁反应，产生多个相关的告警信息^[6]。如果智能告警系统不能识别这些关联关系，就无法为运行人员提供全面的故障信息，影响故障处理的效率和准确性。

4. 与其他系统的融合度不高

电力主网监控是一个复杂的系统工程，涉及多个系统的协同工作。其中，调度自动化系统、继电保护系统等都是电力主网监控中不可或缺的组成部分。然而，现有的智能告警系统与这些系统的融合度不高，难以实现信息共享和协同工作，影响了电力主网的监控效果。

智能告警系统与调度自动化系统的融合度不足^[7]。调度自动化系统负责对电力主网的运行状态进行实时监测和控制，而智能告警系统则负责在故障发生时发出告警信息。如果这两个系统不能实现有效的融合，就无法实现信息的共享和协同工作。例如，当智能告警系统发出告警信息时，调度自动化系统可能无法及时调整运行方式，以应对故障情况。这会影响电力主网的可靠性和稳定性。智能告警系统与继电保护系统的融合度也不高。继电保护系统是电力主网中的重要保护装置，负责在故障发生时迅速切断故障电路，保护电力设备的安全。如果智能告警系统与继电保护系统不能实现有效的融合，就无法实现故障诊断和保护动作的协同工作。例如，当继电保护系统动作时，智能告警系统可能无法及时分析故障原因，并发出相应的告警信息，这会影响故障处理的效率和准确性。智能告警系统与其他监控系统（如视频监控系统等）的融合度也有待提高。

二、电力主网监控中智能告警系统的优化措施

（一）改进告警算法

案例：在某大型电力公司的主网监控中，曾经发生过一起难以判断的故障。传统的故障诊断方法无法准确确定故障类型和位置。后来，该公司引入了支持向量机算法。通过对大量历史故障数据的训练，系统能够快速准确地对新出现的故障进行分类^[8]。在一次实际故障中，智能告警系统通过支持向量机算法判断出是某一特定型号的变压器出现了内部绝缘故障。维修人员根据这一准确的诊断结果，迅速定位并更换了故障变压器，避免了更大范围的停电事故。

引入机器学习、深度学习等先进的数据分析算法，提高智能告警系统对电力主网运行数据的分析能力和故障诊断准确性。例如，使用支持向量机（SVM）、人工神经网络（ANN）等算法对电力主网中的故障进行分类和预测。通过对电力主网历史运行数据的分析，优化告警阈值的设置，提高告警的准确性和及时性。同时，采用动态阈值调整技术，根据电力主网的实时运行状态自动调整告警阈值。建立完善的告警规则库，对不同类型的故障和异常情况制定相应的告警规则。通过对告警规则的不断优化和更新，提高智能告警系统的适应性和灵活性。

（二）提升数据处理能力

案例：一家大型区域电力公司在主网监控中采用了高速传感器和数据采集卡。在一次突发的电力故障中，高速数据采集系统迅速捕捉到了故障瞬间的关键数据，包括电压、电流的瞬态变化等。这些数据为后续的故障分析提供了极其重要的依据。维修人员能够根据这些精确的数据快速确定故障原因，原来是某一线路上的短路故障导致了电压瞬间下降和电流急剧增大。通过及时的维修，避免了故障的扩大和对用户的长时间停电影响。

采用高速数据采集技术，提高智能告警系统对电力主网运行数据的采集速度和精度。例如，使用高速传感器、数据采集卡等设备，实现对电力主网中各种运行数据的实时采集。采用分布式存储技术和数据库管理系统，优化智能告警系统对电力主网运行数据的存储和管理^[9]。提高数据的存储容量和查询速度，为数据分析和告警生成提供有力支持。采用并行计算技术，提高智能告警系统对电力主网运行数据的处理速度。例如，使用多核处理器、分布式计算平台等设备，实现对大规模数据的并行处理。

（三）增强智能化的告警处理能力

案例：在某电力主网监控中心，智能告警系统采用了聚类分析算法对告警信息进行筛选和分类。在一次大规模的设备故障事件中，系统同时收到了大量的告警信息。通过聚类分析，将相似的告警信息进行合并，发现是由于一个关键变电站的设备故障引发了一系列连锁反应。运行人员根据合并后的告警信息，迅速确定了故障的根源，集中力量进行维修，大大提高了故障处理效率。

采用智能化的告警信息筛选和分类技术，对电力主网中的告警信息进行有效的筛选和分类。例如，使用聚类分析、关联规则挖掘等算法，将相似的告警信息进行合并，提高运行人员的故障处理效率^[10]。根据告警信息的严重程度和影响范围，对告警信息进行优先级排序。优先处理严重的告警信息，提高故障处理的及时性和有效性。采用智能化的告警信息自动确认和消除技术，减少运行人员的工作量。例如，通过对电力主网运行数据的实时监测，自动确认和消除误报的告警信息。

（四）加强与其他系统的融合应用

案例：在某大型电力网络中，智能告警系统与调度自动化系统实现了深度融合。当智能告警系统检测到主网中的一个重要变电站出现故障时，立即向调度自动化系统发出告警信息。调度自动化系统根据告警信息自动调整了电网的运行方式，将负荷转移到其他变电站，避免了大面积停电事故的发生。这种融合应用提高了电力主网的可靠性和稳定性，为用户提供了更加可靠的电力供应。

实现智能告警系统与调度自动化系统的深度融合，实现信息共享和协同工作。例如，当智能告警系统发出告警信息时，调度自动化系统可以自动调整运行方式，提高电力主网的可靠性和稳定性。加强智能告警系统与继电保护系统的融合应用，提高故障诊断和处理的准确性和及时性。例如，当继电保护系统动作时，智能告警系统可以自动分析故障原因，并发出相应的告警信息。与其他监控系统（如视频监控系统、环境监测系统等）进行融合应用，实现全方位的电力主网监控。例如，当智能告警系统发出告警信息时，可以联动视频监控系统，查看现场情况，为故障处理提供更加直观的信息。

三、结论

本文深入研究了电力主网监控中智能告警系统的优化与应用，取得了显著成果。一方面，分析了现有智能告警系统的问题并提出优化措施，涵盖改进告警算法、提升数据处理能力、增强智能化告警处理能力以及加强与其他系统融合应用等。另一方面，通过实际案例验证了优化措施的有效性与可行性。然而，研究仍存在不足，未来可从提高准确性和及时性、加强融合应用、开展可靠性稳定性研究以及结合新技术拓展应用领域和功能等方面深入探索。总之，电力主网监控中智能告警系统的优化与应用是持续发展完善的过程，随着电力系统智能化进程推进，智能告警系统必将在保障电力主网安全稳定运行中发挥关键作用。

参考文献

- [1] 林成法, 夏曙光, 汪文煌, 等. 基于水电站的智能告警系统技术研究与应用 [J]. 电气技术与经济, 2024, (09): 93-95+98.
- [2] 李兴, 路勇, 吴天宇. 智能电网中基于深度学习的故障告警方法研究 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2024, 36 (05): 37-39.
- [3] 万明楼, 肖贵银, 李冲, 等. 某水电站智能监控及辅助决策系统设计与实现 [C] // 中国水力发电工程学会自动化专业委员会. 中国水力发电工程学会自动化专委会换届大会暨2023年全国水电厂智能化应用学术交流会论文集. 雅砻江流域水电开发有限公司, 2023: 4.
- [4] 黄健文, 丁奕, 朱林. 智能告警收敛系统的设计与实现 [J]. 电信工程技术与标准化, 2023, 36 (03): 70-75.
- [5] 杨方滢. 智能电网的调度监控技术应用 [J]. 电子技术, 2022, 51 (11): 256-257.
- [6] 何世伟. 智能监控告警系统的研究与应用 [D]. 东华大学, 2016.
- [7] 徐瑞. 智能监控告警系统设计与实现 [D]. 东南大学, 2022. DOI:10.27014/d.cnki.gdnau.2022.004239.
- [8] 庞世一, 邢林林, 杨振睿, 等. 基于深度学习的电网监控智能告警识别系统 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2022, 34 (08): 90-92.
- [9] 常润梅, 孟利青. 监控中心智能告警处理系统 [J]. 长江信息通信, 2021, 34 (07): 164-167.
- [10] 袁静, 李大伟, 陆绍雯, 等. 智能监控应用平台告警关联大数据分析算法研究 [J]. 电信工程技术与标准化, 2019, 32 (05): 80-84.

基于智能传感技术的变电检修设备状态监测研究

傅军

国网福建省电力有限公司上杭县供电公司, 福建 上杭 364200

摘 要 : 随着电力系统的不断发展和智能化水平的提高, 变电检修设备的状态监测变得至关重要。本文深入研究了基于智能传感技术的变电检修设备状态监测方法, 分析了智能传感技术在变电检修设备状态监测中的应用优势, 提出了一套完整的变电检修设备状态监测系统方案。通过对智能传感器的选型、安装和数据处理等方面的研究, 实现了对变电检修设备的实时监测和故障诊断。同时, 结合实际案例分析了该状态监测系统在变电检修中的应用效果, 为提高变电检修设备的可靠性和安全性提供了有力支持。

关 键 词 : 智能传感技术; 变电检修设备; 状态监测; 故障诊断

Research on Condition Monitoring of Substation Maintenance Equipment Based on Smart Sensing Technology

Fu Jun

State Grid Fujian Electric Power Company, Shanghang County Power Supply Company, Shanghang, Fujian 364200

Abstract : With the continuous development of the power system and the improvement of intelligence level, condition monitoring of substation maintenance equipment has become crucial. This paper conducts an in-depth study on the condition monitoring method of substation maintenance equipment based on smart sensing technology, analyzes the application advantages of smart sensing technology in condition monitoring of substation maintenance equipment, and proposes a complete set of condition monitoring system solutions for substation maintenance equipment. Through research on the selection, installation, and data processing of smart sensors, real-time monitoring and fault diagnosis of substation maintenance equipment are achieved. At the same time, combined with actual cases, the application effect of the condition monitoring system in substation maintenance is analyzed, which provides strong support for improving the reliability and safety of substation maintenance equipment.

Keywords : smart sensing technology; substation maintenance equipment; condition monitoring; fault diagnosis

引言

随着经济的快速发展和社会的不断进步, 对电力的需求持续增长, 这促使电力系统规模不断扩大, 电力负荷也在持续攀升。在这样的背景下, 变电设备作为电力系统中的关键环节, 其安全稳定运行对于整个电力系统的可靠性而言变得至关重要。变电设备承担着电压变换、电能分配等重要任务, 一旦出现故障, 可能会对电力系统的正常运行造成严重影响, 甚至引发大面积停电事故, 给社会生产和生活带来巨大损失。传统的变电检修方式主要依靠定期巡检和预防性试验。定期巡检通常由运维人员按照预定的时间周期对变电设备进行现场检查, 查看设备的外观、运行状态等。预防性试验则是在一定的时间间隔内对变电设备进行一系列的电气试验, 以检测设备的绝缘性能、电气参数等是否符合要求^[1]。

这种传统的检修方式存在一定的局限性。一方面, 定期巡检和预防性试验难以实时掌握设备的运行状态。由于巡检和试验的时间间隔相对较长, 在这期间设备可能会出现一些突发的故障或异常情况, 而这些情况无法及时被发现。例如, 设备在两次巡检之间发生了局部过热、绝缘老化等问题, 可能会逐渐恶化, 最终导致设备故障。另一方面, 这种方式容易导致设备故障的漏检和误检。定期巡检和预防性试验主要依靠人工观察和传统的测试仪器, 对于一些潜在的故障隐患可能难以发现。同时, 由于测试条件和方法的局限性, 也可能会出现误判的情况, 将正常的设备误判为故障设备, 或者将故障设备误判为正常设备。随着智能传感技术的不断发展, 为变电检修设备的状态监测提供了新的手段和方法。智能传感技术利用先进的传感器和通信技术, 可以实时采集变电设备的各种运行状态参数, 如温度、湿度、压力、电流、电压等。

一、智能传感技术在变电检修设备状态监测中的应用优势

（一）智能传感器的特点和分类

智能传感器是一种具有信息处理功能的传感器，它能够对被测量的信号进行采集、处理和传输，具有高精度、高可靠性、高稳定性等特点。智能传感器可以分为物理量传感器、化学量传感器和生物量传感器等不同类型，根据不同的应用需求选择合适的智能传感器进行状态监测^[2]。

（二）智能传感技术在变电检修设备状态监测中的优势

智能传感器在变电检修设备状态监测中具有诸多显著优势。其实时性强，能够实时采集变电检修设备的温度、湿度、压力、电流、电压等运行状态参数，并通过无线传输技术将数据迅速传输到监测中心，从而实现对设备的实时监测。准确性高，得益于先进的传感技术和信号处理技术，能够准确地测量设备的运行状态参数，极大地提高了状态监测的准确性。可靠性高，具有自诊断、自校准和自修复等功能，可及时发现传感器的故障并进行修复，有效提高了传感器的可靠性和稳定性^[3]。安装方便，体积小、重量轻，可直接安装在变电检修设备上，轻松实现对设备的在线监测。智能化程度高，能够与其他智能设备进行通信和交互，进而实现设备的智能化管理和控制，为变电检修设备的高效运行和管理提供了有力保障。

二、基于智能传感技术的变电检修设备状态监测系统方案

（一）系统总体架构

基于智能传感技术的变电检修设备状态监测系统主要由智能传感器、数据采集终端、数据传输网络、监测中心和应用平台等组成。智能传感器负责采集变电检修设备的运行状态参数，数据采集终端将传感器采集到的数据进行处理和存储，数据传输网络将数据传输到监测中心，监测中心对数据进行处理和分析，应用平台为用户提供状态监测和故障诊断等服务。

（二）智能传感器的选型和安装

1. 智能传感器的选型原则

在变电检修设备的状态监测中，智能传感器的选型至关重要。需综合考虑变电检修设备的类型、运行环境以及监测需求等多方面因素。不同类型的变电检修设备，如变压器、断路器、隔离开关等，具有各自独特的运行特性和故障模式。例如，变压器对温度、油中溶解气体等参数的监测需求较高；断路器则需重点关注触头温度、机械特性等^[4]。运行环境方面，可能面临高温、高湿度、强电磁场干扰等复杂情况。在高温环境下，传感器应能稳定工作且不影响精度；强电磁场中，需具备良好的抗干扰能力。监测需求决定了传感器的性能要求，若需实时监测，应具备高速数据采集和传输能力。智能传感器的选型应遵循高精度，确保数据准确；高可靠性，减少故障发生；高稳定性，保证数据一致性；低功耗，降低运行成本；安装方便，提高部署效率。

2. 智能传感器的安装位置和方法

在变电检修设备状态监测领域，依据主变的结构与运行特性来精准确定智能传感器的安装位置和方式，是整个监测流程中的关键步骤。主变作为变电系统的核心设备，具有独特的构造和复杂的运行机制。

主变的绕组在运行时，电流引发热量积聚与电磁力作用，严重影响其机械性能。为此，可采用高灵敏光纤温度传感器，紧密缠绕于绕组层间关键发热点，精准捕捉温度细微变化，预防过热故障；同时，在绕组端部支架固定高精度 MEMS 振动传感器，实时将电磁力引发的振动位移信号转换为电信号，供运维人员提前察觉绕组松动等隐患。铁芯作为磁通传导核心，磁场变化关键且机械紧固随工况改变，在轭部或接缝处安装霍尔效应磁场传感器监测磁场，在夹装装置配备应变片式应力传感器，依电阻变化判断紧固情况，确保磁化正常与结构稳定^[5]。触头作为电路开关关键部位，其接触与动作可靠性直接关联主变运行，在接触部位设薄膜压力传感器监测压力防接触不良，在操作机构装激光位移和高速摄像设备，精确测量行程与速度，及时发现卡滞磨损问题，保障触头动作精准可靠。总之，主变传感器安装要停电操作，综合考虑多因素选位，确保安装牢固、信号稳定，为变电系统安全稳定运行筑牢根基。

（三）数据采集和传输

1. 数据采集终端的功能和特点

数据采集终端在变电检修设备状态监测中扮演着关键角色。它负责采集智能传感器所获取的数据，这些数据涵盖了变电检修设备的各种运行状态参数。数据采集终端不仅要进行数据采集，还需对数据进行处理，如去除噪声、校准等，以提高数据质量^[6]。同时，它要具备数据存储功能，以便后续分析和查询。此外，通信接口能将数据传输到监测中心。数据采集终端应具有高可靠性，在复杂的变电环境中稳定运行，减少数据丢失和错误。高稳定性确保长期工作而性能不变。低功耗则降低能耗，符合可持续发展要求。

2. 数据传输网络的选择和构建

数据传输网络在变电检修设备状态监测系统中起着重要的桥梁作用。它的任务是将数据采集终端采集到的关于变电检修设备的各种数据准确、及时地传输到监测中心。在选择数据传输网络时，既可以考虑有线网络，其具有传输稳定、速度快等优势，适合对数据传输可靠性要求高的场景；也可以选择无线网络，它具有部署灵活、不受布线限制的特点，适用于一些难以布线或者需要灵活调整监测位置的情况^[7]。需根据实际的变电检修环境、成本预算等因素来选择合适的网络构建方式。

（四）监测中心和应用平台

1. 监测中心的功能和组成

监测中心负责对数据采集终端传输过来的数据进行处理和分析，实现对变电检修设备的状态监测和故障诊断。监测中心应具有数据存储、数据分析、故障诊断、报警处理等功能，同时应具有高可靠性、高稳定性、高安全性等特点。

2. 应用平台的功能和特点

应用平台为用户提供状态监测和故障诊断等服务，用户可以

通过应用平台实时查看变电检修设备的运行状态参数，接收故障报警信息，进行故障诊断和处理等操作。应用平台应具有友好的用户界面、强大的功能和高可靠性等特点。

三、基于智能传感技术的变电检修设备状态监测系统的 应用案例分析

（一）案例背景介绍

以某地区的重要枢纽变电站为例，该变电站规模宏大，占地面积广阔，拥有多台大型变压器、高压开关设备、继电保护装置等关键变电检修设备。其结构复杂，包括多个电压等级的变电区域，以及配套的控制楼、配电室等设施。在运行特点方面，该变电站承担着区域内大量的电力负荷输送任务，运行电压高、电流大，对设备的可靠性要求极高。同时，由于地处工业区域附近，周边环境存在一定的电磁干扰和粉尘污染等不利因素^[8]。

基于智能传感技术的变电检修设备状态监测系统在该变电站得到了广泛应用。该系统通过智能传感器对各类变电检修设备的运行状态进行实时监测，包括温度、湿度、压力、电流、电压等关键参数，为设备的安全稳定运行提供了有力保障。

（二）状态监测系统的实施过程

1. 智能传感器的安装和调试

根据变电站的实际情况，首先对各类变电检修设备进行详细的分析，确定需要监测的关键部位和参数。例如，对于变压器，选择在绕组、铁芯等部位安装温度传感器和局部放电传感器；对于高压开关设备，在触头处安装温度传感器和机械特性传感器。在安装过程中，严格遵循安装规范，确保传感器能够准确地测量设备的运行状态参数，同时不影响设备的正常运行。例如，采用非接触式安装方式，避免对设备造成损伤；合理布置传感器的位置，确保能够全面监测设备的关键部位。安装完成后，进行严格的调试工作。通过模拟不同的运行状态和故障情况，对传感器的性能进行测试和调整，确保传感器能够准确地采集数据，并将数据传输到数据采集终端^[9]。

2. 数据采集终端和数据传输网络的构建

构建数据采集终端时，选择具有高性能的数据采集设备，能够同时接收多个智能传感器的数据，并进行快速处理和存储。数据采集终端具备数据采集、数据处理、数据存储、通信接口等功能，能够满足变电站复杂环境下的数据采集需求。在数据传输网络的构建方面，综合考虑变电站的布局 and 通信需求，选择有线和无线相结合的方式。对于关键设备和数据量大的区域，采用有线网络传输，确保数据的稳定性和可靠性；对于一些难以布线的区域，采用无线网络传输，提高系统的灵活性和可扩展性。在构建过程中，严格保证数据的准确性和实时性。采用先进的数据校验和纠错技术，确保数据在传输过程中不会出现错误；优化网络拓扑结构，减少数据传输的延迟，提高系统的响应速度。

3. 监测中心和应用平台的建设

监测中心是状态监测系统的核心部分，建设过程中采用高性能的服务器和存储设备，能够对大量的数据进行快速分析和处

理。监测中心具备数据存储、数据分析、故障诊断、报警处理等功能，能够实时监测变电检修设备的运行状态。应用平台则为用户提供了直观、便捷的操作界面。用户可以通过应用平台实时查看变电检修设备的运行状态参数，接收故障报警信息，进行故障诊断和处理等操作。应用平台具备友好的用户界面、强大的功能和高可靠性，能够满足不同用户的需求^[10]。在建设过程中，注重系统的稳定性和可靠性。采用冗余设计和备份机制，确保系统在出现故障时能够快速恢复；加强系统的安全防护，防止数据泄露和恶意攻击。

四、结论

本文围绕基于智能传感技术的变电检修设备状态监测展开深入探究，收获了许多方面成果，不仅剖析了智能传感技术在其中的应用优势，还精心构建出一套完备的状态监测系统方案，且凭借对智能传感器选型、安装及数据处理等关键环节的钻研，达成了对变电检修设备的实时监测与故障诊断，同时结合实际案例解析应用效果，有力支撑了变电检修设备可靠性与安全性的提升；然而研究尚存不足，后续可从进一步提升智能传感器性能与可靠性、削减成本及功耗，强化其与其他先进技术融合以提升系统智能化水平，开展系统可靠性、稳定性研究来增强抗干扰与容错能力，以及结合大数据、云计算等新技术拓展应用领域和功能等方面深入探索。总之，基于智能传感技术的变电检修设备状态监测将持续发展完善，伴随智能传感技术和电力系统智能化的持续推进，其必将在保障变电检修设备安全稳定运行方面发挥愈发关键的作用。

参考文献

- [1] 艾纪军. 智能电网背景下变电一次设备检修技术发展趋势及优化运用研究 [C] // 中国电力设备管理协会. 全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集 (一). 国网长沙供电公司, 2024: 3.
- [2] 徐宝军, 李新海, 凌霞, 等. 变电设备智能检修系统设计与实现 [J]. 电力安全技术, 2021, 23 (07): 59-64.
- [3] 任江波, 赵子根, 刘景立, 等. 变电站多功能带电智能检修平台的设计与研究 [J]. 应用科技, 2021, 48 (03): 104-110.
- [4] 郑健. 智能模块化变电站检修作业车设计研究 [D]. 沈阳航空航天大学, 2019. [5] 关超. 智能技术在电网输电变电检修中的应用研究 [J]. 中国新技术新产品, 2019, (20): 33-34.
- [5] 汪亮. 基于智能传感技术的电力电缆实时监测与评估系统 [J]. 办公自动化, 2024, 29 (21): 94-96.
- [6] 刘川, 王春乐, 汪川东, 等. 智能传感技术在提高施工安全与产品质量中的作用 [J]. 产品可靠性报告, 2024, (10): 88-90.
- [7] 郭亚光. 基于智能传感技术的台区线损自动化管理系统设计 [J]. 自动化应用, 2024, 65 (22): 1-3. DOI:10.19769/j.zdhy.2024.22.001.
- [8] 李君. 智能传感技术在桥梁结构健康监测中的应用研究 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2024, (11): 167-169. DOI:10.13655/j.cnki.ibci.2024.11.053.
- [9] 王艺静, 刘程林, 周志雄. 基于人工智能技术的中小学生学习行为精准监测 [J]. 体育教学, 2024, 44 (11): 84-85.
- [10] 唐啸. 智能传感技术在电力工程全过程管理中的应用 [J]. 集成电路应用, 2024, 41 (11): 234-235. DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2024.11.109.

基于人工智能的变电运维故障诊断新方法

陆珺

国网福建省电力有限公司上杭县供电公司，福建 上杭 364200

摘要： 本文聚焦于电力系统变电运维故障诊断领域，深入探讨基于人工智能的创新方法。详细阐述了深度学习、机器学习、专家系统、多传感器信息融合以及自然语言处理等技术在变电运维故障诊断中的应用原理与优势。通过对这些方法的理论分析，展示了其在提升故障诊断准确性、及时性和可靠性方面的巨大潜力，为推动电力系统智能化运维发展提供了理论支持与实践指导，有助于保障电力系统的安全稳定运行。

关键词： 人工智能；变电运维；故障诊断；深度学习；信息融合

New Method for Fault Diagnosis of Substation Operation and Maintenance Based on Artificial Intelligence

Lu Jun

State Grid Fujian Electric Power Company, Shanghang County Power Supply Company, Shanghang, Fujian 364200

Abstract： This article focuses on the field of fault diagnosis for substation operation and maintenance in the power system, and deeply explores innovative methods based on artificial intelligence. It elaborates on the application principles and advantages of technologies such as deep learning, machine learning, expert systems, multi-sensor information fusion, and natural language processing in fault diagnosis for substation operation and maintenance. Through theoretical analysis of these methods, it demonstrates their great potential in improving the accuracy, timeliness, and reliability of fault diagnosis, providing theoretical support and practical guidance for promoting the development of intelligent operation and maintenance of the power system, and helping to ensure the safe and stable operation of the power system.

Keywords： artificial intelligence; substation operation and maintenance; fault diagnosis; deep learning; information fusion

引言

电力系统作为现代社会的关键基础设施，其稳定运行对于经济发展和社会生活的正常运转至关重要。变电运维作为电力系统中的核心环节，负责变电站内各类设备的运行维护和管理，确保电力的可靠传输与分配。然而，变电设备在长期运行过程中不可避免地会出现各种故障，传统的故障诊断方法主要依赖人工巡检、定期试验以及基于经验的简单数据分析，这些方法存在着效率低下、准确性不高、对复杂故障诊断能力有限等诸多弊端^[1]。

随着信息技术的飞速发展，人工智能技术在各个领域展现出强大的应用潜力，变电运维故障诊断也迎来了新的发展机遇。人工智能技术能够对海量的设备运行数据进行快速处理和深度分析，挖掘数据背后隐藏的故障特征和规律，从而实现对变电设备故障的精准诊断和提前预警。本文将详细介绍基于人工智能的变电运维故障诊断新方法，从理论层面剖析其应用原理和优势，以期为电力系统的智能化运维提供有益的参考和借鉴。

一、深度学习在变电运维故障诊断中的应用

深度学习是人工智能领域的重要分支，通过构建具有多个层次的神经网络模型，能够自动从大量数据中学习复杂的特征表示和模式规律。在变电运维故障诊断中，深度学习算法展现出了卓越的性能。

卷积神经网络（CNN）是一种广泛应用于图像处理领域的深

度学习模型，在变电运维中可用于对设备外观图像、红外热像图等进行分析。例如，通过对变电站内设备的外观图像进行采集和预处理后，输入到 CNN 模型中，模型能够自动提取设备表面的特征信息，如设备外壳的裂缝、变形、锈蚀以及绝缘子的污秽、破损等异常情况^[2]。CNN 的卷积层通过卷积核在图像上滑动，提取不同尺度的局部特征，池化层则对特征进行下采样，减少数据量的同时保留关键信息，全连接层最终对特征进行分类，判断设备

是否存在外观故障以及故障的类型和严重程度。

循环神经网络（RNN）及其变体（如 LSTM 和 GRU）适用于处理时间序列数据，变电设备的运行参数（如电压、电流、温度、功率等）随时间变化形成的时间序列数据蕴含着设备运行状态的丰富信息。RNN 能够记忆序列中的历史信息，并利用这些信息对当前时刻的状态进行预测和判断。在变电运维故障诊断中，RNN 模型可以根据设备运行参数的历史数据，学习到正常运行状态下的参数变化规律和趋势，当出现故障时，能够及时捕捉到参数的异常变化，如电流的突变、温度的异常升高、功率的波动等，并通过对这些异常变化模式的识别，诊断出可能的故障原因，如变压器绕组短路导致电流增大、冷却系统故障引起温度上升等。

二、机器学习在变电运维故障诊断中的应用

机器学习算法涵盖了众多经典的分类和回归方法，在变电运维故障诊断中也发挥着重要作用。

支持向量机（SVM）是一种常用的二分类和多分类机器学习算法，其基本思想是在高维空间中寻找一个最优的超平面，将不同类别的样本数据尽可能地分开^[3]。在变电运维故障诊断中，SVM 可以根据设备的运行特征数据（如电气参数、机械振动参数、绝缘油色谱分析数据等）进行训练，构建故障分类模型。通过对大量已知故障类型和正常运行状态下的样本数据进行学习，SVM 能够确定一个最优的分类超平面，将新的设备运行数据映射到该超平面上，判断其所属的类别，即设备是否正常运行或属于哪一类故障情况。例如，对于变压器故障诊断，可将变压器的油中溶解气体含量、绕组绝缘电阻、铁芯接地电流等参数作为输入特征，利用 SVM 模型对变压器的正常、过热、放电等故障状态进行分类诊断。

决策树算法是一种基于树形结构的分类和回归方法，通过对数据集的特征进行逐步划分，构建一棵决策树模型，每个内部节点表示一个特征测试，每个分支代表该特征测试的一个输出，叶节点则表示最终的分类结果。在变电运维故障诊断中，决策树可以根据设备的运行参数和故障特征之间的逻辑关系，构建故障诊断决策树^[4]。例如，对于断路器故障诊断，可根据断路器的分合闸时间、行程、操作机构的压力等参数，通过决策树的层层判断，确定断路器是否存在拒动、误动、机械故障或电气控制故障等具体故障类型。决策树算法具有直观易懂、计算效率高、能够处理多类别分类问题等优点，在变电运维故障诊断中得到了广泛应用。

三、专家系统在变电运维故障诊断中的应用

专家系统是一种基于知识和推理的人工智能系统，它将领域专家的经验知识和专业知识以规则、框架、语义网络等形式表示出来，并通过推理机制模拟专家的思维过程，对实际问题进行求解和诊断。

在变电运维故障诊断中，专家系统首先需要构建知识库，知识库中包含了变电设备的结构原理、运行特性、常见故障类型、故障原因、故障现象以及相应的处理措施等知识^[5]。这些知识可以通过领域专家的经验总结、设备技术手册、历史故障案例分析等途径获取，并以一定的知识表示形式存储在知识库中。例如，对于变压器故障诊断专家系统，知识库中会包含变压器的绕组结构、铁芯材料、冷却方式等基本信息，以及绕组短路、铁芯多点接地、绝缘老化、冷却系统故障等常见故障的原因、现象和处理方法等知识。

当接收到变电设备的运行数据和故障信息时，专家系统的推理机根据知识库中的知识和推理规则进行推理诊断^[6]。推理机可以采用正向推理、反向推理或混合推理等策略。正向推理是从已知的事实和数据出发，按照一定的规则逐步推导出结论；反向推理则是从目标问题出发，反向寻找支持该问题的证据和条件；混合推理则结合了正向推理和反向推理的优点，先通过正向推理确定可能的故障范围，再通过反向推理进一步验证和细化故障诊断结果。例如，当监测到变压器的油温升高、瓦斯继电器动作等故障现象时，专家系统通过正向推理，在知识库中查找与这些现象相关的故障原因，如可能是绕组过热、铁芯故障或冷却系统故障等，然后再通过反向推理，进一步核实这些故障原因是否与当前的设备运行参数和其他相关信息相符合，最终确定最有可能的故障原因和相应的处理措施^[7]。

四、多传感器信息融合在变电运维故障诊断中的应用

变电运维中，为了全面、准确地监测设备的运行状态，通常会布置多种类型的传感器，如温度传感器、振动传感器、电流传感器、电压传感器、气体传感器、声音传感器等。这些传感器从不同的角度采集设备的运行信息，然而，单一传感器的数据往往具有局限性，可能受到环境干扰、传感器自身精度等因素的影响，导致故障诊断的准确性不高。

多传感器信息融合技术通过对来自多个传感器的信息进行综合处理和分析，充分发挥各传感器的优势，提高故障诊断的可靠性和准确性。信息融合的层次主要包括数据层融合、特征层融合和决策层融合。

数据层融合是指直接对来自多个传感器的原始数据进行融合处理，例如将多个温度传感器在不同位置采集到的温度数据进行加权平均、卡尔曼滤波等方法的处理，得到一个更准确的温度估计值，用于判断设备的温度状态是否异常。数据层融合能够保留原始数据的全部信息，但对传感器的同步性和数据量要求较高，计算复杂度也相对较大。

特征层融合是先对各传感器的数据进行特征提取，然后将提取的特征向量进行融合^[8]。例如，对于变压器的故障诊断，分别从振动传感器数据中提取振动频率、幅值等特征，从油中溶解气体传感器数据中提取气体含量、气体比例等特征，然后将这些特征向量组合成一个新的特征向量，再通过模式识别算法进行故障诊断。特征层融合在一定程度上减少了数据量，同时保留了数据的

关键特征信息，提高了故障诊断的效率和准确性。

决策层融合是指各个传感器独立进行决策判断，然后将这些决策结果进行融合。例如，温度传感器判断设备温度是否过高，振动传感器判断设备是否存在机械故障，电流传感器判断设备的电气性能是否正常等，最后通过投票法、贝叶斯推理等方法将这些独立的决策结果进行综合，得出最终的故障诊断结论。决策层融合具有较强的灵活性和容错性，对传感器的依赖性相对较小，但可能会因为各传感器的决策误差而影响最终的诊断结果。

五、自然语言处理在变电运维故障诊断中的应用

变电运维过程中会产生大量的文本数据，如设备的检修记录、故障报告、运行日志、操作票等，这些文本数据中蕴含着丰富的设备运行信息和故障线索。自然语言处理技术通过对这些文本数据的分析和理解，能够辅助故障诊断人员快速获取关键信息，提高故障诊断的效率和准确性。

文本分类是自然语言处理中的一项重要任务，在变电运维故障诊断中可用于对故障报告、检修记录等文本进行分类^[9]。例如，将故障报告按照设备类型（变压器、断路器、互感器等）、故障性质（电气故障、机械故障、绝缘故障等）、故障严重程度（轻微故障、一般故障、严重故障等）等进行分类，便于故障诊断人员快速定位和查找相关的故障案例和处理经验。文本分类方法通常采用基于机器学习的分类算法，如朴素贝叶斯、支持向量机、深度学习中的文本卷积神经网络等，通过对大量标注好的文本数据进行训练，构建分类模型，实现对新的文本数据的自动分类。

命名实体识别是从文本中识别出具有特定意义的实体名称，如设备名称、故障部件、故障原因、故障时间等。在变电运维故障诊断中，通过命名实体识别技术可以从故障报告和检修记录中提取出关键的实体信息，例如“变压器 A 的绕组在 2023 年 5 月 10 日发生短路故障”，从中识别出“变压器 A”“绕组”“短路故障”“2023 年 5 月 10 日”等实体，这些实体信息对于故障诊断和分析具有重要的参考价值。命名实体识别方法主要包括基于规则的方法、基于统计机器学习的方法（如隐马尔可夫模型、条

件随机场等）以及基于深度学习的方法（如 BiLSTM - CRF 模型）等。

此外，自然语言处理技术还可以实现文本的自动摘要生成、语义理解和问答系统等功能。例如，通过自动摘要生成技术对冗长的设备运行日志进行摘要提取，快速概括出关键的运行状态信息和异常事件；利用语义理解技术对故障描述文本进行语义分析，挖掘文本背后的深层含义和故障关联关系；构建变电运维故障诊断问答系统，方便运维人员通过自然语言提问的方式获取故障诊断的相关知识和建议，提高运维工作的效率和智能化水平^[10]。

六、结论

基于人工智能的变电运维故障诊断新方法为电力系统的安全稳定运行提供了强有力的技术支持。深度学习、机器学习、专家系统、多传感器信息融合以及自然语言处理等技术在变电运维故障诊断中的应用，极大地提高了故障诊断的准确性、及时性和可靠性。深度学习算法能够自动学习设备运行数据中的复杂特征和故障模式，机器学习算法通过对历史数据的学习构建有效的故障分类和预测模型，专家系统利用领域专家的知识和经验进行推理诊断，多传感器信息融合技术综合多个传感器的数据实现更全面准确的故障判断，自然语言处理技术则从文本数据中挖掘出有价值的故障信息，辅助运维人员进行故障诊断。

然而，这些人工智能方法在实际应用中仍面临一些挑战，如数据质量和数据量的要求较高，模型的训练和优化需要大量的计算资源和专业知识，不同方法之间的融合和协同工作还需要进一步深入研究等。未来，随着人工智能技术的不断发展和完善，以及电力系统智能化建设的推进，基于人工智能的变电运维故障诊断方法将不断优化和创新，为电力系统的高效可靠运行提供更加坚实的保障，推动电力行业向智能化、自动化方向迈进。同时，还需要加强电力行业与人工智能领域的跨学科合作，培养既懂电力专业知识又掌握人工智能技术的复合型人才，以更好地适应电力系统智能化发展的需求。

参考文献

- [1] 王若愚. 数字化技术在变电运维工作中的运用探究 [J]. 中国战略新兴产业, 2024, (33): 75-78.
- [2] 郑凯. 智能化变电运维中的技术体系分析 [J]. 电子技术, 2024, 53 (10): 106-107.
- [3] 吉云飞. 智能变电运维中的安全策略分析 [J]. 集成电路应用, 2024, 41 (10): 288-289.
- [4] 樊建鹏. 智能变电运维技术在电力工程中的实践 [J]. 电力设备管理, 2024, (17): 188-190.
- [5] 王珂, 王璐昕. 电网变电运维操作事故预防措施研究 [J]. 自动化应用, 2024, 65 (S2): 164-166.
- [6] 马西跃. 电力系统中的变电运维技术及其应用分析 [J]. 光源与照明, 2024, (11): 51-53.
- [7] 王若愚. 数字化技术在变电运维工作中的运用探究 [J]. 中国战略新兴产业, 2024, (33): 75-78.
- [8] 孔德鑫. 变电运维中的风险与应对策略分析 [J]. 集成电路应用, 2024, 41 (11): 332-333.
- [9] 李春晓. 变电运维中的安全策略分析 [J]. 集成电路应用, 2024, 41 (11): 370-371. DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2024.11.176.
- [10] 黄洪彬. 变电运维中的隐患风险与对策分析 [J]. 集成电路应用, 2024, 41 (11): 378-379.

柔性电子组装自动化系统的设计与实现路径

贾恩会, 彭云根, 桑瑞娟

鸿富锦精密电子(郑州)有限公司, 河南 郑州 450000

摘要： 本文聚焦柔性电子组装自动化系统的设计与实现路径。阐述相关理论与技术基础，说明柔性电子的概念、特点及应用领域，自动化系统的组成与原理，以及传感器、执行器、通信网络和智能控制算法等关键支撑技术。系统设计总体架构分为控制层、执行层和感知层协同工作；硬件系统涵盖机械结构、传感器、执行器及电气控制设计；软件系统包括架构、功能模块、人机交互界面及数据库设计。

关键词： 柔性电子；自动化系统；硬件系统；实现路径；软件系统

Design and Implementation Path of a Flexible Electronic Assembly Automation System

Jia Enhui, Peng Yungen, Sang Ruijuan

Hongfujin Precision Electronics (Zhengzhou) Co., Ltd. Zhengzhou, Henan 450000

Abstract： This article focuses on the design and implementation path of a flexible electronic assembly automation system. It elaborates on relevant theoretical and technical foundations, explains the concept, characteristics, and application areas of flexible electronics, the composition and principles of automation systems, as well as key supporting technologies such as sensors, actuators, communication networks, and intelligent control algorithms. The overall architecture of the system design is divided into a control layer, an execution layer, and a perception layer that work together; the hardware system covers mechanical structure, sensors, actuators, and electrical control design; the software system includes architecture, functional modules, human-computer interaction interfaces, and database design.

Keywords： flexible electronics; automation system; hardware system; implementation path; software system

引言

柔性电子正引领着新一轮的技术创新浪潮。凭借其独特的柔韧性、可拉伸性以及轻薄等特性，突破了传统刚性电子的诸多限制，为电子设备的设计和应用带来了全新的可能性。从可穿戴的健康监测设备到智能物联网传感器，柔性电子的应用场景日益广泛，展现出巨大的发展潜力。

一、柔性电子组装相关理论与技术基础

(一) 柔性电子概述

柔性电子是将有机或无机材料电子器件制作在可延性塑料或薄金属基板上的新兴电子技术。突破了传统刚性电子器件的限制，具备独特的柔韧性、可拉伸性和轻薄等特点，宛如赋予了电子器件“灵动的身躯”。强调电子器件在保持高性能的同时，能够适应各种复杂的形状和动态环境^[1]。

在医疗健康领域，柔性电子传感器可以制成可穿戴的健康监测设备，实时监测人体的生理参数，如心率、血压、血糖等；在智能穿戴领域，柔性显示屏的出现让智能手表、智能手环等设备的显示更加灵活多样；在物联网领域，柔性电子可以作为传感器节点，广泛应用于环境监测、智能家居等场景，实现物与物之间的智能连接。与传统电子产品相比，柔性电子产品是将功能组件集成在柔性

基体上，获得柔性的结构，有着广泛的应用前景和发展机会^[2]。

(二) 自动化系统基础

自动化系统通过自动控制技术，对生产过程、设备运行等进行自动监测、控制和调节。主要由控制器、传感器、执行器和被控对象等部分组成。

控制器是自动化系统的“大脑”，它接收传感器传来的信号，经过分析和处理后，向执行器发出控制指令。传感器就像系统的“眼睛”，负责实时监测被控对象的各种参数，如温度、压力、位置等，并将这些信息转化为电信号传送给控制器。执行器则是系统的“手脚”，根据控制器的指令对被控对象进行操作，实现对生产过程的控制^[3]。

(三) 关键支撑技术

柔性电子组装自动化系统中，多种关键支撑技术发挥着重要作用。传感器技术是获取信息的关键，在柔性电子组装过程中，高精

度传感器用于检测电子元件的位置、姿态、尺寸等参数，像视觉传感器通过图像识别技术精确识别电子元件位置和形状，为后续装配提供准确数据。执行器技术负责电子元件的操作，如抓取、放置、焊接等，柔性电子组装需要高精度、高速度的执行器，例如气动机械手、电动伺服机械手等，确保电子元件准确装配^[4]。通信与网络技术实现自动化系统中各个部件间实时的数据传输与通信，保障控制器与传感器、执行器间可靠通信，促使系统协同工作，工业以太网、无线通信技术等在其中得到广泛应用。智能控制算法对于提升柔性电子组装自动化系统性能与适应性至关重要，神经网络、模糊控制、遗传算法等，可根据系统运行状态和实时数据自动调整控制策略，实现对复杂生产过程的优化控制。

二、柔性电子组装自动化系统设计

（一）系统总体架构设计

为实现高效、稳定组装，柔性电子组装自动化系统的总体架构设计需要综合考虑系统的功能需求、性能要求以及未来的扩展性。该系统总体可分为控制层、执行层和感知层三层，各层之间相互协作，共同完成柔性电子的自动化组装任务。

控制层负责对系统的整体运行进行规划、协调和控制。接收来自感知层的数据信息，依据预设的工艺参数和控制策略，向执行层发送指令。主要由工业计算机和控制系统软件组成^[5]。工业计算机具备强大的数据处理能力和稳定的运行性能，能够快速处理复杂的控制算法。控制系统软件则提供了友好的用户界面，方便操作人员进行参数设置、任务调度以及系统监控等操作。

实现柔性电子组装具体操作的是执行层，主要由各种执行机构组成，包括机械手臂、输送装置、焊接设备等。机械手臂负责精确抓取和放置柔性电子元件，其运动精度和速度直接影响组装的质量和效率。输送装置用于将基板和元件输送到指定位置，确保物料的顺畅供应。焊接设备则根据控制层的指令，对组装好的元件进行焊接，保证连接的可靠性。

感知层负责实时采集系统运行过程中的各种信息，包括元件的位置、姿态、焊接质量等。主要由各类传感器组成，如视觉传感器、力传感器、温度传感器等。视觉传感器通过图像识别技术，能够精确获取元件的位置和姿态信息，为机械手臂的操作提供准确的引导。力传感器可以实时监测机械手臂在抓取和放置元件过程中的受力情况，避免因用力过大而损坏元件^[6]。温度传感器则用于监测焊接过程中的温度变化，确保焊接质量的稳定性。

（二）硬件系统设计

柔性电子组装自动化系统的物理基础就是硬件系统，其设计的合理性和可靠性直接影响系统的整体性能。硬件系统设计主要包括机械结构设计、传感器选型与布局、执行器选型与控制以及电气控制系统设计等方面。

机械结构设计需要充分考虑柔性电子组装的工艺要求和操作流程，确保各部件之间的运动协调和稳定性。输送装置的设计要保证物料的平稳输送，避免在输送过程中出现元件的偏移或损坏^[7]。

根据不同的测量需求，选择合适的传感器类型和精度等级。

在布局上，要确保传感器能够准确获取所需的信息，并且避免相互干扰。例如，视觉传感器应安装在能够清晰观察到元件位置和姿态的位置，力传感器则要安装在机械手臂的关键受力部位。

根据系统的任务要求和性能指标进行执行器的选型与控制。例如，选择合适的机械手臂型号和规格，确保其负载能力、运动速度和精度满足组装要求。同时，要为执行器配备可靠的驱动装置和控制系统，实现对执行器的精确控制。

将各个硬件部件有机连接起来，实现系统的协同运行是电气控制系统设计的基本要求。其包括电源电路、控制电路、通信电路等设计，电源电路要为各个硬件部件提供稳定的电源供应，控制电路则负责将控制层的指令转化为执行器能够识别的信号，通信电路实现各部件之间的数据传输和通信。

（三）软件系统设计

软件系统是柔性电子组装自动化系统的灵魂，赋予了系统智能化和自动化的能力。主要包括软件架构设计、功能模块设计、人机交互界面设计以及数据库设计等方面。

软件架构设计通过确定软件系统的整体结构和模块划分，为后续的功能开发提供框架支持。将软件系统分为应用层、业务逻辑层和数据访问层^[8]。应用层主要负责与用户进行交互，提供操作界面和功能入口；业务逻辑层实现系统的核心业务功能，如任务调度、工艺控制等；数据访问层负责与数据库进行交互，实现数据的存储、查询和更新。

根据系统的功能需求，划分为多个功能模块，每个模块负责实现特定的功能。例如，任务管理模块负责对生产任务进行创建、编辑和调度；工艺参数设置模块用于设置柔性电子组装的工艺参数，如焊接温度、焊接时间等。

人机交互界面要注重用户体验，界面应简洁明了、操作方便。提供直观的图形化界面，方便操作人员进行参数设置、任务监控和设备控制等操作^[9]。同时，要具备良好的可视化效果，能够实时显示系统的运行状态和生产数据。

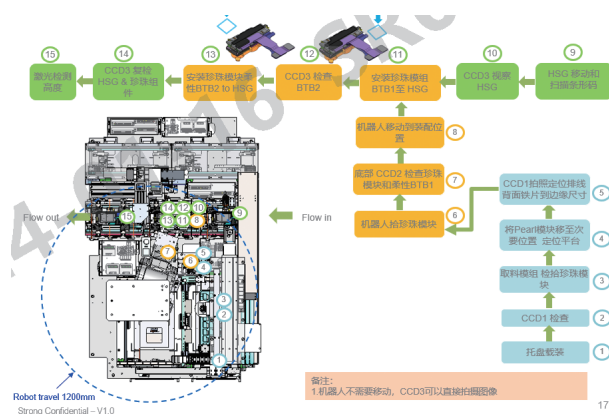
数据库用于存储系统运行过程中产生的各种数据，如工艺参数、生产记录、设备状态等。选择合适的数据库管理系统，设计合理的数据库结构，确保数据的安全性、完整性和高效性。通过数据库，系统可以实现对历史数据的查询和分析，为生产决策提供支持。

三、柔性电子组装自动化系统实现路径

（一）硬件系统实现

硬件系统实现是柔性电子组装自动化系统落地的基础，涵盖多个关键环节，从机械结构的加工制造到各类传感器与执行器的安装调试，以及电气控制系统的布线与测试，每一步都至关重要。如图1-1所示。

根据传感器的选型和布局设计，将视觉传感器、力传感器等准确安装在相应位置。在安装过程中，要注意传感器的安装角度和方向，确保其能够准确获取所需的信息。安装完成后，进行传感器的校准和调试工作，通过标准样品对视觉传感器进行标定，使其能够准确识别电子元件的位置和姿态；对力传感器进行校



> 图 1-1 PMA-S1 组装珍珠模组设备动作流程简示

准，确保其测量的准确性。对于执行器，如气动或电动机械手，要按照说明书进行正确的安装和连接。在调试过程中，测试执行器的动作精度、速度和力度等参数，通过调整控制参数，使其满足柔性电子组装的要求。

布线过程中，要注意电缆的走向和固定，避免电缆相互干扰或受到机械损伤。同时，要对电气控制柜进行合理的布局 and 安装，确保各个电气元件的散热和维护方便。完成布线后，进行电气系统的测试工作，包括电源测试、接地测试、绝缘测试等，确保电气系统的安全性和可靠性。

（二）软件系统实现

选择适合项目需求的软件开发平台和编程语言，如基于 C++ 或 Python 语言的开发环境。安装必要的开发工具和库，如用于图形化界面开发的 Qt 框架、用于数据处理和算法实现的 OpenCV 库等。配置开发环境的参数，确保开发工具的正常运行和代码的高效编译。

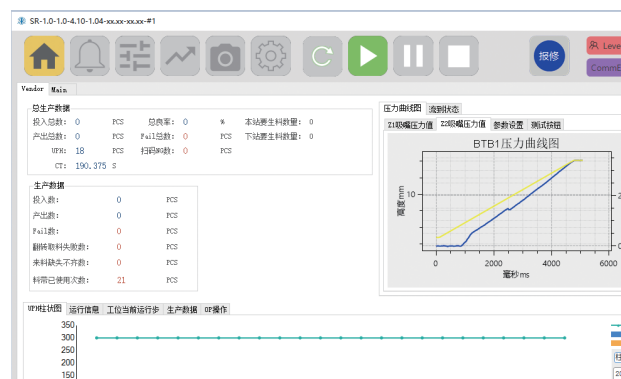
根据功能模块设计，逐步实现各个功能模块的代码编写。任务管理模块要实现生产任务的创建、编辑、调度和跟踪功能，通过数据库操作实现任务信息的存储和查询；工艺参数设置模块提供友好的用户界面，允许操作人员设置各种柔性电子组装的工艺参数，并将参数保存到数据库中；设备监控模块实时读取传感器的数据，监测设备的运行状态，出现异常情况时及时发出报警信号^[10]。

人机交互界面直接影响操作人员的使用体验，是软件系统实现的重要环节。采用图形化界面设计工具，设计简洁、直观的用户界面。界面布局要合理，将常用的功能按钮和操作区域放在显眼位置，方便操作人员进行操作。使用清晰的图标和文字提示，引导操作人员完成各种任务。

（三）系统集成与调试

在硬件与软件集成过程中，首先要确保硬件设备与软件系统之间的通信正常。通过接口设计，实现软件系统对硬件设备的控制和数据采集。例如，软件系统通过串口或网络接口向执行器发送控制指令，同时接收传感器采集的数据。在集成过程中，要对硬件设备进行初始化配置，确保其能够正确响应软件系统的指令。然后，进行系统的联合调试，逐步验证各个功能模块的协同工作情况。如图 1-2 所示。

系统联调与优化是一个反复测试和调整的过程。在联调过程中，模拟实际的生产场景，对系统进行全面测试。检查系统在



> 图 1-2 PMA-S1 组装珍珠模组 设备运行状态①总生产状态 ②模组运行状态③压力曲线图及流程图

不同工况下的运行稳定性，如连续长时间运行、不同类型产品的组装等。针对测试过程中发现的问题，进行分析和优化。

以手机排线的柔性组装实现为例，手机排线的尺寸小巧且形状特殊，机械结构的设计需高度精确且灵活。针对手机排线的不同型号和规格，提供丰富的工艺参数设置选项。模拟实际的手机排线组装生产场景，对系统全面的联合调试。通过反复的测试和优化，确保系统在不同工况下都能够稳定、高效地运行，满足手机排线柔性组装的生产要求。

四、结束语

本文围绕柔性电子组装自动化系统的设计与实现路径展开深入探讨。阐述柔性电子组装相关理论与技术基础的。总体架构上，控制层、执行层和感知层协同工作，构建起高效运行的框架；硬件系统设计涵盖机械结构、传感器、执行器到电气控制，确保系统的物理支撑稳固可靠；软件系统设计赋予系统智能化灵魂，分层架构、功能模块、人机交互界面以及数据库管理，全方位提升系统的自动化水平与用户体验。

参考文献

- [1] 刘肖勇, 刁雯蕙, 王之康. 柔性电子器件实现“乐高式”高效稳定组装 [N]. 广东科技报, 2023-02-24(004).DOI:10.28252/n.cnki.ngdkj.2023.000042.
- [2] 董亮, 冯宇航, 王彬开, 等. 转印技术在柔性电子组装领域的应用进展 [J]. 数字印刷, 2022,(06):14-22.DOI:10.19370/j.cnki.cn10-1304/ts.2022.06.002.
- [3] 高妙苗. 楼宇自动化系统设计与应用分析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023,(34):211-213.DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202334070.
- [4] 刘睿哲. 500 kV 智能变电站电气自动化系统的设计研究 [J]. 江西电力职业技术学院学报, 2023,36(11):19-21.
- [5] 谭彬. 基于 AGV 机器人的自动化装配生产线设计与优化 [J]. 科技创新与应用, 2023,13(32):50-53.DOI:10.19981/j.cnki.cn13-1581/G3.2023.32.013.
- [6] 马乐. 新能源发电并网调度自动化系统设计要点 [J]. 中国新技术新产品, 2023,(21):7-9.DOI:10.13612/j.cnki.cntp.2023.21.046.
- [7] 石文昭. 基于 Hadoop 的自动化设备监管系统设计 [J]. 信息记录材料, 2023,24(11):178-180.DOI:10.16009/j.cnki.cn13-1295/tq.2023.11.025.
- [8] 韩露. 新疆金沟河流域的水利水情自动化监测系统设计 [J]. 四川水利, 2023,44(05):56-58+93.
- [9] 曾含耀. 基于物联网技术的商用车配件仓储自动化管理系统设计与实施 [J]. 汽车与配件, 2023,(18):56-58.
- [10] 杨子润, 陈康, 周亚军, 等. 基于计算机技术的电气自动化控制系统设计研究 [J]. 中国新通信, 2023,25(18):56-58.