



www.viserdata.com

# 工程施工技术

ENGINEERING CONSTRUCTION TECHNOLOGY

月刊

■ 主办单位: Viser Technology Pte.Ltd.

■ ISSN 2972-4058(online) 2972-404X(print)

中国知网 (CNKI) 收录期刊

RCCSE权威核心学术期刊

2025 **8**

第3卷 总第25期

## COMPANY INTRODUCTION

# 公司简介

维泽科技文化有限公司(Viser Technology Pte. Ltd.)成立于新加坡，是一家科技与文化高度融合的创新型企业。我们拥有一支具有较高文化素质、管理素质和业务素质的团队，聚焦于国际开源中英文期刊、体现文化含量与学术价值图书的出版发行。秉承“传播科技文化，促进学术交流”的理念，与国内外知名院校，科研院所及数据库建立了稳定的合作关系。坚持开拓创新，实施“跨越-融合”的发展战略，立足中国、新加坡两地，辐射全球，并于中国设立河北和重庆两个分部。我们将紧紧围绕专业化、特色化的发展道路，不断营造“有情怀，有视野，有梦想”的企业文化氛围，独树一帜，做一家“有血、有肉、有温度”的创新型出版企业。

Viser Technology Pte. Ltd. was founded in Singapore with branch offices in both Hebei and Chongqing, China. Viser focuses on publishing scientific and technological journals and books that promote the exchange of scientific and technological findings among the research community and around the globe. Despite being a young company, Viser is actively connecting with well-known universities, research institutes, and indexation database, and has already established a stable collaborative relationship with them. We also have a group of experienced editors and publishing experts who are dedicated to publishing high-quality journal and book contents. We offer the scholars various academic journals covering a variety of subjects and we are committed to reducing the hassles of scholarly publishing. To achieve this goal, we provide scholars with an all-in-one platform that offers solutions to every publishing process that a scholar needs to go through in order to show their latest finding to the world.



# 工程施工技术

Engineering Construction Technology

2025年·第3卷·第8期（总第25期）

主办单位: Viser Technology Pte. Ltd.

I S S N : 2972-4058 (online)

2972-404X (print)

发行周期: 月刊

出版时间: 8月

数据库收录: 中国知网收录期刊

RCCSE权威核心学术期刊

期刊网址: www.viserdata.com

投稿/查稿邮箱: viser-tech@outlook.com

地 址: 195 Pearl's Hill Terrace, #02-41,

Singapore 168976

学术主编: 朱 强

学术副主编: 魏 忠 高 江

责任编辑: 戚 滕

学术编委: 倪勤盛 陈 鹏 王子红 张耕野

侯明卫 刘 刚 赵 欢 王海军

王永华 洪秋生 刘汉涛 钱 冰

吉咸伟 杨熠卿 宋世超 张 聪

美工编辑: 李 亚 Anson Chee

定 价: SGD 20.00

## 本刊声明

本刊所载的所有文章均不代表本刊编辑部观点; 作者文图责任自负, 如有侵犯他人版权或者其他权利的行为, 本刊概不负连带责任。

版权所有, 未经许可, 不得翻译、转载本刊所载文章。

警告著作权人: 稿件凡经本刊使用, 如无电子版或书面的特殊声明, 即视为作者同意授权本刊及本刊网络合作媒体进行电子版信息网络传播。

## 目 录

### CONTENTS

#### 建筑工程

BIM 技术在超高层建筑多专业协同设计中的集成应用研究 ..... 梁 冰 赵雪宁 马彦奇 左超飞 苗成松 1  
建筑工程的精细化施工管理方法探讨 ..... 汤川鄂 4  
建筑智能化工程中节能幕墙施工技术研究 ..... 王 宣 7

#### 冶金工程

多级形变热处理对 Cu-Fe-P 合金微观组织与性能的影响 ..... 罗文远 段庆阳 王少华 冯泽强 景 洁  
吴慧云 黄家亮 10

#### 工程管理

信息化技术在建筑工程监理中的应用研究 ..... 郑坚和 15  
BIM 技术在建筑工程项目管理中的应用 ..... 曹珍榕 18  
土建工程管理及施工质量控制研究 ..... 李剑男 21  
建筑工程监理的现场管理及质量控制探讨 ..... 郑坚和 24

#### 施工技术

隔震控制技术在建筑设计中的应用 ..... 苏永东 27  
关于花侯路浏阳河桥 0#块施工技术控制 ..... 何华平 30  
基于分布式光伏的住宅建筑屋顶施工技术研究 .....  
唐龙飞 唐陆平 35  
公路路基高边坡锚杆(索)支护施工技术应用 .....  
刘 伟 38

#### 石油化工

液化天然气安全管理中存在的问题及对策 ..... 张智卿 41  
水封油库设计的水文地质及工程地质问题 .....  
常广勋 王婵君 熊 娟 44  
绿色工艺视角下硝酸生产过程能耗优化与减排路径研究 .....  
段 颖 47  
液化天然气(LNG)储运的安全技术及管理措施 .....  
赵小军 50  
基于智能化控制的硝酸生产安全管理与效率提升探索 .....  
杜冬琛 53  
液化天然气装置净化与液化工艺关键技术研究 ... 郭建廷 57

## 节能环保

论环境工程中城市污水处理技术应用分析 ..... 王楠楠 60

## 机电机械

锂电池极片辊压成形过程中的压实密度影响因素和分析  
..... 薛冰军 刘振州 63

华龙一号新燃料升降机轨道辅助安装设备设计研究 .....  
..... 张小龙 田春强 乾 龙 吕 川 郭士芳 67

机械设计中的加工问题及改善措施浅析 ..... 李蓬勃 72

小型辊压机机架结构与稳定性分析 ..... 秦 攀 75

机电工程技术应用及其自动化问题探析 ..... 郭文龙 78

机械设计制造及其自动化的发展与挑战 ..... 张建轩 82

机电工程中智能化技术的应用探究 ..... 牛昭坡 86

数字化技术在冲压模设计与制造中的应用 ..... 陈杏妹 90

小实验用小型辊压机整体结构设计及装配研究 .....  
..... 宋维轩 93

## 能源矿业

几内亚博凯大区红土型铝土矿成矿理论与找矿方法研究  
..... 李桂敏 96

矿山安全监控系统及预警技术应用研究 .....  
..... 张智烽 林永明 100

露天矿边坡爆破对岩体稳定性的影响及控制措施研究 .....  
..... 徐 伟 103

## 勘察测绘

数字化测绘技术在国土空间规划中的应用分析 .....  
..... 杨 柳 唐 丽 106

GIS 和测绘技术在基本农田保护规划中的应用 .....  
..... 王 彤 109

地热资源勘查中水文地质调查的运用分析 ..... 聂龙龙 112

大数据技术在测绘地理信息服务中的应用研究 .....  
..... 王学谦 115

地质矿产勘查新方法与新技术的探索与实践 ... 李鑫元 118

## 建筑设计

商业综合体给排水系统负荷计算与设备选型研究 .....  
..... 王 森 121

传统建筑装饰艺术中琉璃脊饰的文化内涵研究 .....  
..... 宋冰珂 刘文慧 125

# BIM 技术在超高层建筑多专业协同设计中的集成应用研究

梁冰 赵雪宁 马彦奇 左超飞 苗成松

石家庄市城投城市更新有限公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]**超高层建筑设计涵盖结构、机电、暖通等诸多专业, 协同复杂且管理难度大, 而 BIM 技术有着三维可视化、参数化建模和信息集成的能力, 能打破传统专业壁垒, 将各专业模型高效集成并协调起来, 借助协同平台可实现设计数据实时共享和更新, 显著提高设计效率与准确性、减少碰撞冲突与返工率、优化项目管理与资源配置, BIM 集成应用提高了超高层建筑设计质量与施工可控性, 还为精细化管理和全生命周期维护提供技术支撑。

**[关键词]**BIM 技术; 超高层建筑; 多专业协同; 集成应用; 设计优化

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17527

中图分类号: TU17

文献标识码: A

## Research on the Integrated Application of BIM Technology in Multi-disciplinary Collaborative Design of Super High-rise buildings

LIANG Bing, ZHAO Xuening, MA Yanqi, ZUO Chaofei, MIAO Chengsong

Shijiazhuang Chengtou Urban Renewal Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** The design of super high-rise buildings covers many professions such as structure, electromechanical, HVAC, etc., with complex collaboration and difficult management. BIM technology has the ability of 3D visualization, parametric modeling, and information integration, which can break through traditional professional barriers, efficiently integrate and coordinate various professional models. With the help of collaborative platforms, real-time sharing and updating of design data can be achieved, significantly improving design efficiency and accuracy, reducing collision conflicts and rework rates, optimizing project management and resource allocation. BIM integration application improves the design quality and construction controllability of super high-rise buildings, and also provides technical support for refined management and full life cycle maintenance.

**Keywords:** BIM technology; super high-rise buildings; multi-disciplinary collaboration; integrated application; design optimization

### 引言

城市化进程加快, 超高层建筑因具有独特地标性和空间集约优势而成为现代城市建设的常选方向, 不过其设计过程涉及多专业交叉难以协同, 导致设计冲突和资源浪费现象频发, 行业迫切需要解决提升协同效率、保障设计质量的问题, 而 BIM 技术的可视化、集成化、协同化优势能为多专业深度融合提供新思路, 探索其在超高层建筑中的应用价值可有力支撑复杂项目高效设计与管理。

#### 1 超高层建筑设计的多专业协同挑战分析

超高层建筑设计体系很繁杂, 结构、机电、暖通等多个专业都被涉及到且多专业之间交叉频繁、依赖性很强, 这就使得协同设计面临着许多技术和方面的难题, 迫切需要进行系统性的分析和改进。

##### 1.1 设计专业高度集成导致依赖增强

超高层建筑工程项目系统复杂度极高且各专业间逻辑与空间联系紧密, 建筑方案一变, 结构布置、管线排布和消防系统布控就会直接受影响, 各专业同步设计需在同一时间节点完成, 这是高度集成性的要求, 稍有差池便可能引发连锁反应, 并且不同专业设计深度和表达方式有差别, 容易造成理解偏差、接口不清, 从而增加协同设计难度和风险, 在有的实践里, 柱网被结构专业一调整, 机电系统就得重新布

置, 反复修改耗费很多人力和时间, 严重影响项目进度, 要高效协同就得建立明确专业边界、统一表达规范和透明沟通机制, 否则协同工作就会陷入无序和被动调整的循环。

##### 1.2 传统二维图纸限制协同效率

传统设计流程以二维图纸为主要表达载体, 各专业大多各自为政缺乏统一协调平台, 这样设计信息很容易断层、修改反馈周期长且版本常混乱。超高层项目节点繁杂、空间重叠密集, 二维图难以完整表达设计意图, 使得碰撞问题常到施工阶段才发现, 从而造成大量返工和资源浪费, 超高层建筑需要高精度协同, 这种效率低、错误多的设计模式显然满足不了需求, 并且二维图纸可读性差、空间理解困难, 施工团队难以准确把握设计意图, 在施工深化阶段, 设计单位、施工单位和监理之间的协同更需要清晰直观的表达方式, 传统图纸方式支撑不了高效协作, 容易导致沟通不畅和施工误解, 进而计划执行偏差经常出现。

##### 1.3 项目周期长带来的信息传递障碍

超高层建筑设计周期动辄数年且参与单位多、专业团队复杂, 长期协作时人员更替频繁、设计版本多次迭代, 容易使信息传递中断且设计逻辑难以追溯, 各专业软件平台不同、数据接口不统一、协作机制缺乏标准化进一步加重了信息不对称和数据丢失问题, 这些因素不但降低了协同效率,

而且对项目整体质量控制和进度管理也是极大挑战,实践中常存在某一专业所用软件版本与其他专业不兼容、模型合并困难、协同成本增加的情况,不同团队之间传递信息往往依靠邮件或者人工记录而没有统一的数据库和日志系统,导致信息孤岛现象很普遍,没有系统化的协作平台会使数据流通断裂,严重妨碍设计管理的连续性和可追溯性。

## 2 BIM技术的核心功能与协同设计优势

超高层建筑项目复杂,BIM技术具有整合信息、可视化管理和协同设计的能力,能有效提升设计效率、控制风险,是推动多专业深度融合的重要技术手段。

### 2.1 三维可视化提升设计表达效率

BIM技术最显著的功能之一就是能进行三维可视化建模,和传统二维图纸比起来,建筑形态、空间布局和结构构造用三维模型表达更直观,设计意图能更清晰地呈现且沟通起来也更高效率,超高层建筑里,结构、机电、暖通这些系统交织得很复杂且空间重叠程度高,各专业设计人员借助BIM模型,可以直观地观察空间关系、构件尺寸并协调布局,提前发现潜在的碰撞和冲突进而优化设计方案,防止出现设计盲区,三维可视化不但让设计沟通效率提高了,还让建设各方对项目全貌的把控力增强了,给协同决策提供了可靠依据。

### 2.2 信息集成实现数据全流程贯通

BIM技术的核心是模型构建但更关键的在于信息集成,属性信息能被附加到每个构件、系统和节点上从而达到从设计、采购、施工一直到运维的全流程数据贯通,超高层建筑项目周期长且参与方众多导致信息管理困难,依靠BIM平台各专业设计成果能够整合进统一模型且设计数据能实时共享、动态更新以防止信息割裂和重复录入进而提高工作效率,到了后期施工和运维阶段BIM模型还能给出精准的材料信息、施工顺序和维护计划让信息在各阶段无缝流转以达成建筑全生命周期的数字化管理。

### 2.3 协同设计机制优化多方配合流程

基于模型的协同设计模式能得到BIM的支持,各专业可在统一平台同步作业、并行推进从而极大缩短设计周期。传统流程里不同专业常存在“等图”之类的问题,而BIM协同机制靠模型联动、任务分区和版本控制,让建筑、结构、机电等设计工作在同一模型框架下协调开展以提升设计一致性,其平台的变更记录和模型审查功能也让各方增强对设计过程的可控性和透明度。超高层建筑这种协调压力超大的项目,BIM协同可大大降低沟通成本、提高响应速度并为复杂系统的融合提供高效途径。

## 3 BIM在超高层建筑多专业集成中的应用模式

超高层建筑设计里多专业交叉密集协同复杂这一状况因BIM技术构建统一模型平台得以改善,各专业数据借此高效集成并形成系统化信息化精细化的协同设计新模式。

### 3.1 基于统一平台的集成建模模式

超高层建筑项目里,BIM先建立起统一的三维信息模型平台以整合建筑、结构、机电、幕墙等各专业模型,从而使空间与信息同步集成,各专业在BIM平台构件建模时无

需各自独立完成后再合并,这样就不会出现后期反复修改和冲突重叠的情况,而且平台有“模型联动”机制,设计变更能实时反馈到所有相关专业,让信息更新既一致又及时,模型搭建遵循分工协同原则,每个专业按任务划分在相应区域建模,靠着统一命名、分类和模型标准,可使数据格式一致、图层清晰、交叉准确,为多专业融合打下技术基础。

### 3.2 基于碰撞检测的设计冲突预控模式

多专业集成时,碰撞检测是BIM技术的重要应用环节,超高层建筑里结构梁柱、风管、电缆桥架、消防喷淋等构件密集分布且空间资源匮乏,传统设计容易出现空间冲突而造成施工返工,BIM模型的自动碰撞分析功能能在设计阶段预先识别模型中的几何冲突、构件错位与安装障碍并系统生成冲突报告,促使相关专业快速调整设计,在此基础上实施“多轮联合审图机制”,让建筑师、结构工程师、机电顾问等多方共同参与模型评审以逐步优化模型协调性,这种模式使图纸审核与施工阶段的问题发现率有效降低,做到冲突“前置处理”。

### 3.3 基于协同机制的设计过程集成模式

BIM可不只是个技术工具,更是一种新的协同机制,在实际应用里,BIM模型是各专业团队开展“同步建模、同步审查、同步修订”的基础,能让从概念设计、初步设计到施工图设计的全过程协同联动起来,CDE(Common Data Environment)协同平台常被设计单位用来分发任务、上传模型、反馈审阅情况以及管理文档,从而让所有设计成果在一个统一且可追溯的系统里被动态管理,把BIM和项目管理系统对接,设计进度和建模任务也能联动起来,使得设计活动按阶段、节点、专业有序推进,这种协同模式打破了传统“串联式”流程,构建起“并联式”协作体系,大大提高项目响应效率和整体设计质量。

## 4 BIM协同设计对设计质量与管理效率的提升作用

超高层建筑设计里,BIM协同设计靠流程再造与数据贯通,不仅让专业整合效果变好,还能有效提高设计质量和项目管理效率,对工程建设数字化发展起到推动作用。

### 4.1 促进设计成果的高一致性与高精度

传统建筑设计时各专业老是分散干活,相互缺乏实时交流,图纸版本易不统一且构件数据误差大,这容易使现场施工出问题,而BIM协同设计靠统一的模型平台和标准化建模规范,让各专业成果能实时同步且动态联动,建筑、结构、机电等设计团队可在同一平台对模型可视化审查、交叉校核,大大提高设计的一致性和准确性,每个构件的属性信息和几何定位完整,可校对和优化到细节层面,不会出现手工输入误差和信息丢失的情况,在复杂节点的处理上更是如此,BIM模型能模拟施工安装逻辑,提前验证图纸以保证设计方案可行,减少后期返工和质量隐患,这样形成的“高精度、高一致性”设计成果稳稳地为施工和运维阶段提供了保障。

### 4.2 优化设计流程提升团队协同效率

传统的“串行”工作模式被BIM协同设计打破,从

而建立“并行”协作机制，显著提升多专业团队的协同效率。各专业在 BIM 平台上进行角色分工、任务分配和模型联动，实现信息共享与同步建模。平台具备权限控制、版本管理、模型对比和变更追踪等功能，有效提升过程控制与响应效率。设计时，设备位置调整等问题可通过模型内批注快速传达，相关专业即时响应并同步修正，避免重复沟通和数据延误。而且 BIM 支持远程协作和异地团队同步建模，提升资源利用率和整体响应速度。超高层建筑项目团队庞大、周期紧张，BIM 协同机制为优化设计流程和高效配合提供坚实技术支持。

### 4.3 推动设计管理数字化与可视化转型

设计方式被 BIM 协同设计改变且项目管理也被其带来深层次变革，在项目全过程里，设计进度、资源配置、质量控制等关键管理要素被 BIM 平台集成从而使全程数字化管理从计划制定到执行反馈得以实现，通过模型项目管理人员能实时知晓各专业建模进度、版本状态和协同问题处理情况进而构建起数据驱动的监控体系，进度模拟、成本估算等功能还能在平台内叠加从而形成设计与建造的联动闭环进而提升管理决策的科学性与前瞻性，就项目节点管控来说，借助 BIM 模型做关键路径分析与工序模拟会使风险识别、节奏调整、管控精度更容易提高，可视化数据展现让管理人员不深入技术细节也能清楚掌握全局情况从而提高沟通效率和指挥能力，BIM 协同设计推动设计管理从“经验型”变成“数据型”从而让大型复杂项目有了更透明、高效、可控的管理手段。

### 5 集成化应用的实践成效与发展趋势展望

超高层建筑多专业协同设计中对 BIM 技术的集成应用成果显著，工程质量与效率得以提升且引领建筑设计朝着智能化、数据化、全生命周期管理方向不断迈进。

#### 5.1 显著提升项目质量与管理效益

在实际工程里，BIM 集成应用深刻影响项目质量和管理水平，三维建模、数据共享、模型联动使各专业间信息传递精准又高效且设计协调性大大增强，项目在设计阶段就能做碰撞检查、安装模拟、构件排布优化从而使施工阶段的错误率和返工率大幅降低，如某超高层综合体项目靠 BIM 做了数千次碰撞检测提前解决了管线、结构冲突问题，节省了大量施工调整成本，BIM 模型还能支持进度模拟和材料计划编制让施工组织更有序、资源配置更科学，并且模型里的构件信息和系统逻辑给施工现场精确指导提升了施工效率和可控性，管理方面用 BIM 平台综合监控进度、成本、质量使项目管理变得多维度、可视化且大大提高项目执行的透明度和执行力。

#### 5.2 推动数字建造与智能运维融合发展

建筑信息的载体 BIM 不仅在设计与施工阶段发挥服务作用，还延伸到建筑物的运行维护阶段以促使数字化建造和智能运维深度融合，超高层建筑交付之后其 BIM 模型能继续应用在设施管理、能耗监测、设备维护、

应急响应等方面，从而让建筑全生命周期的数据贯通起来以达成可持续管理，BIM 与物联网 (IoT) 系统联动后建筑运营方就能实时得到设备运行状态、环境参数和能耗数据并凭借 BIM 模型定位分析、故障溯源以提高运维效率和响应速度，某地标性高层项目管理方利用 BIM 与智能平台的结合集中监控上百个机电系统进行智慧预警使得运维效率提高了 30%，这种融合应用模式表明 BIM 不再只是设计工具而是成为连接“虚拟建造”与“真实运行”的关键桥梁从而给构建智能建筑生态体系提供技术支持。

### 5.3 面向未来的 BIM 技术发展趋势

未来，BIM 集成化应用会在平台智能化、数据标准化和技术融合等方面不断发展，引入 AI 技术和大数据分析后，BIM 模型的数据洞察与智能决策能力会更强，促使从“被动设计”转变为“智能预测”，IFC 等国际标准的普及会进一步提升跨平台数据互通性，给多方协同提供技术保障，BIM 与 GIS、CIM、数字孪生等技术深度融合拓展其应用边界，实现城市级复杂系统的协同管理，超高层建筑方面，未来 BIM 应用会更重视施工机器人、装配式构件、智能调度等前沿技术的集成以适应建设复杂度不断提高和精细化管理需求日益增长的情况，政策引导和行业规范逐步健全也会推动 BIM 从“项目驱动”转型为“行业制度化”，让 BIM 真正成为建筑全产业链的核心工具和发展引擎。

### 6 结语

在超高层建筑多专业协同设计里，BIM 技术集成应用起来并展现出显著的技术优势和实践价值。利用三维可视化、信息集成和协同建模可有效解决多专业设计冲突、流程低效以及信息割裂等问题，全方位提升设计质量和管理效率。在实际工程当中，BIM 优化设计逻辑和施工组织并为运维管理提供数字支撑，推动建筑项目朝着智能化、精细化方向发展。面向未来，随着技术融合不断深化、行业标准逐步完善，BIM 将在更广层面引领建筑设计模式和管理方式系统性变革，成为高品质、可持续城市空间建设中的重要技术支柱。

#### [参考文献]

- [1]范传祺.基于超高层建筑设计 BIM 技术应用研究[D].安徽:合肥工业大学,2019.
- [2]王玉敬,王玉.BIM 技术在超高层建筑工程设计施工一体化中的应用[J].中国建筑装饰装修,2022,11(9):63-65.
- [3]许珊珊,范书玮,宋亮.BIM 技术在超高层建筑综合管线中的应用研究[J].长春工程学院学报(自然科学版),2022,23(2):21-25.
- [4]李卓朋.基于 BIM 的超高层建筑项目进度管理改善研究[D].天津:天津大学,2022.
- [5]贾宝莹,李云,李岩宾.BIM 技术在某超高层建筑中的应用[J].施工技术(中英文),2023,52(5):65-67.

作者简介:梁冰(1997.6—),毕业院校:南京工业大学,所学专业:建筑与土木工程,当前就职单位:石家庄城投城市更新有限公司,职务:工程二部副部长。

## 建筑工程的精细化施工管理方法探讨

汤川鄂

中电建路桥集团有限公司, 重庆 400000

**[摘要]**建筑工程全过程借助制度化、标准化和信息化手段被精细化施工管理予以科学控制, 目的在于提高工程质量、削减成本和缩短工期, 其核心是优化施工组织、严控质量、强化材料与设备管理以及运用数字化技术达成实时监控, 能有效减少施工误差、提升施工效率与安全水平, 促使建筑企业管理水平和项目综合效益提高, 给现代建筑施工提供可操作的管理路径与实践指导。

**[关键词]**精细化管理; 施工组织; 质量控制; 数字化监控; 建筑工程

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17520

中图分类号: U269

文献标识码: A

## Exploration on Refined Construction Management Methods in Construction Engineering

TANG Chuane

China Electric Power Construction Road and Bridge Group Co., Ltd., Chongqing, 400000, China

**Abstract:** The entire process of construction engineering is scientifically controlled through institutionalization, standardization, and information technology, with the aim of improving project quality, reducing costs, and shortening construction periods. Its core is to optimize construction organization, strictly control quality, strengthen material and equipment management, and use digital technology to achieve real-time monitoring, which can effectively reduce construction errors, improve construction efficiency and safety level, promote the management level of construction enterprises and the comprehensive benefits of projects, and provide operational management paths and practical guidance for modern construction.

**Keywords:** refined management; construction organization; quality control; digital monitoring; construction engineering

### 引言

建筑行业规模持续扩大且工程项目复杂性不断提升, 传统施工管理模式难以满足质量、成本、工期等多重要求, 于是精细化施工管理出现, 其用制度化、标准化、信息化手段精准控制施工全过程, 既重视工程质量安全又注重资源优化配置和效率提高, 有数字化技术支持时施工管理从经验驱动变为数据驱动, 这能给项目管理提供实时决策依据, 深入探讨精细化施工管理方法可指导实际工程实践并提升建筑企业综合管理水平和项目执行效益。

### 1 精细化施工管理的基本理念与实施框架

精细化施工管理这种以科学化、系统化和精确化为核心的现代施工管理模式, 想通过精细控制建筑工程全过程, 达到质量提升、成本优化、工期缩短和安全保障的综合目标。与靠经验、管理方式粗放的传统施工管理不同, 精细化施工管理注重标准化流程、制度化操作和数据化决策, 把施工活动拆成可量化、可监控的环节, 让每个施工环节能追溯、能评估、能优化, 其核心理念是“事前规划、过程控制、事后反馈”, 靠科学制定施工计划、明确岗位职责、优化施工工序和全程监控, 使工程管理不依赖单一经验, 而是靠可执行、可量化的管理体系保证施工效率和质量, 并且精细化管理不仅关注工程建设本身, 还将人员、材料、机械设备和施工环境纳入管理对象, 强调多要素协

调和整体优化, 从而形成系统化的施工管理框架。

精细化施工管理在实施框架方面一般有前期策划、过程控制和后期评估这三个环节。前期策划阶段深入分析工程图纸、施工方案以及技术规范后制定出详细的施工计划与资源配置方案, 明确关键节点和质量控制重点, 从而给后续施工以明确的指导。过程控制阶段作为精细化管理的核心, 优化施工组织、分解工序、明确任务, 就能实现施工活动的精确管理, 施工时借助标准化操作规范和制度化方法对施工人员、材料设备以及施工环境实时监督管理, 以保证各项施工指标符合预定标准。后期评估阶段通过工程验收、数据分析和绩效考核全面评估施工效果, 总结经验教训, 为后续项目的改进提供依据, 进而实现管理闭环。

精细化施工管理理念与框架在理论上具有指导意义且在实际工程里价值显著, 施工管理科学化、系统化后能有效减少施工失误、返工和资源浪费并提高施工效率与材料、设备、人力资源利用率, 精细化管理重视全程监控、信息共享、可追溯性从而对施工安全、工程质量有保障作用且能及时察觉并纠正施工偏差以提升项目整体管理水平, 有数字化技术支持时精细化施工管理从传统经验驱动慢慢变成数据驱动并依靠施工信息系统、BIM 技术、智能监控、物联网手段精准掌控施工全过程且动态优化, 精细化

施工管理不只是一种管理方法更是一种先进管理理念,其科学、系统、信息化的实施框架为建筑企业提供高效、可控、可持续的施工管理路径以促使施工管理朝着智能化、精益化、现代化发展并为工程项目高质量完成提供坚实保障。

## 2 施工组织优化与资源高效配置策略

在精细化施工管理里,提升工程效率与质量的关键环节是施工组织优化,其核心在于高效配置施工现场的各类资源,这要靠科学规划与合理调度才能实现,合理的施工组织能明确各工序的衔接关系且把资源浪费和施工冲突降到最低。要从施工方案与工序设计切入,系统分析施工活动以明确关键节点与重点控制环节,优化作业顺序和施工工序的衔接,避免重复作业与等待时间从而提高整体施工效率,靠施工组织设计和班组管理合理分配施工任务与人员职责,保证每个岗位工作内容清楚进而增强施工团队的协作能力与执行力。施工组织优化不但关注施工过程,还包括施工前的准备工作,像施工场地布置、临时设施搭建、施工机械调度等,为施工营造有序高效的工作环境。

施工管理中材料、机械设备和人力资源是最主要的三类资源,在高效配置资源方面,施工进度和质量直接受它们科学配置的影响,材料管理要依据施工计划和施工节点,合理安排材料的采购、运输、堆放与领用,采用“就近供应、按需配送、分阶段入场”策略,从而既能保证施工连续,又能减少资金占用和仓储成本,机械设备管理依靠施工机械台班计划和设备调度系统,使设备分配合理、使用高效,防止闲置和重复投资,人力资源管理需根据施工阶段工作量和技术要求,合理安排施工人员和专业技术人员,兼顾技能匹配和工作负荷以保证人员效能最大化,建立人员考核和激励机制,提升施工团队积极性和责任意识,促使人力资源高效运用。

精细化施工管理要想实现,施工组织优化就得和资源高效配置有机结合,这很重要,科学调度、合理分工、优化组合,在保证工程质量与施工安全的条件下,能够加快施工进度、降低成本、提升效率。实践中,使用施工管理软件、BIM 技术、物资管理系统、实时监测平台等数字化管理工具和信息化手段,就能全面掌握施工现场材料、设备、人员的使用情况,动态调整优化施工计划,及时发现潜在的资源冲突和瓶颈问题,提供数据支持和决策依据,保障施工活动协调有序。施工组织优化和资源高效配置紧密结合,依靠精细化管理,可以提高施工过程的可控性和管理水平,增强施工项目整体经济效益和执行效率,推动项目管理朝着科学化、精益化、信息化方向发展,这成为精细化施工管理体系里不可或缺的部分,为建筑企业高质量、低成本、高效能施工提供坚实的理论和实践支撑。

## 3 工程质量控制与安全管理方法

精细化施工管理中,工程质量控制与安全管理是重要组成部分,要保障工程质量和施工安全,核心目标就是让

建筑工程符合设计标准、规范要求以及安全生产要求。质量控制需全方位管理,分施工前、施工中、施工后三个阶段,施工前要详细审查设计图纸、施工方案和技术规范以明确工程质量标准和关键控制点,再制定施工质量管理计划,从而使施工有科学依据,施工时按照标准化操作流程进行,严格工序验收和质量检查并实时监控每个环节,确保材料、工艺和施工方法符合规范要求,建立过程记录制度和质量档案使工程具有可追溯性,为后面质量评估和问题分析提供依据,施工后要进行工程验收、竣工检查和质量评估,全面检查施工成果,确保交付使用时工程达到设计和使用要求。

施工质量控制离不开安全管理作重要保障,其关键在于防止事故发生、减少施工风险,施工现场的安全管理包括制度建设、技术措施和人员培训这三方面,在制度建设上要制定完备的安全管理规章制度,像施工现场管理规范、安全操作规程、应急预案以及奖惩机制,从而为施工提供制度上的保障,技术措施方面要运用安全防护设施、监测报警系统还有智能化施工管理手段,控制高空作业、机械设备操作、危险材料使用等环节,降低潜在风险,人员培训方面要重视施工人员安全意识的培养和技能的提高,通过岗前培训、定期安全演练以及技术交底,让施工人员熟知安全操作规范,提升自我防护能力,进而在施工过程中形成安全文化氛围,保障施工现场的安全有序。

实现精细化施工管理的重要实践路径是把工程质量控制与安全管理有机结合起来,若将科学的组织体系、完善的管理制度、标准化操作手段用于施工全过程,质量与安全就能双重保障且施工效率和工程可靠性会显著提高,实际应用时借助数字化技术、BIM 技术、施工管理软件、信息化监控平台对施工过程进行实时监控、采集分析数据,潜在质量问题和安全隐患会被预警并及时处理从而减少施工风险,而且质量控制与安全管理有机结合还能形成持续改进机制,在施工过程中积累数据、总结经验、评估技术使施工工艺不断优化、管理制度不断完善、施工人员技能水平不断提升,这样建筑工程项目就有了高标准、高效率、高安全性、高可控性的施工保障,精细化管理综合目标得以实现,建筑企业长期可持续发展的施工管理模式也有了坚实基础。

## 4 材料设备管理与施工成本控制措施

精细化施工管理中,材料设备管理与施工成本控制不可或缺,因其直接影响工程质量、进度和经济效益。材料管理需从采购、运输、存储一直到使用进行科学管控,要有严格的材料采购制度,管理好供应商,选择有资质、信誉好的供应商以保证材料质量,依据施工计划安排好采购时间和数量,防止材料积压浪费,并且在运输上规划好物流路线和运输方式,使材料按时到达施工现场,避免因运输延误影响工期,施工现场的材料存放要规范科学,做好标识管理、分区堆放、防护措施,这样材料就不会损坏、

丢失或者变质,施工所用材料就能使用且质量稳定。

施工成本控制的重要手段是设备管理,施工设备若能合理配置且高效使用,成本可显著降低且施工效率也能大幅提高,施工时要依据施工工序和项目特点制定设备使用计划并科学调度、高效利用机械设备,记录监控设备使用情况且及时安排维护保养,这样可延长设备使用寿命、减少故障和停机时间以防止因机械问题致使施工延误、产生额外支出,还要建立设备台账和考核制度来量化分析设备使用效率与成本消耗从而给施工管理提供数据支撑,设备采购和租赁方面要结合项目规模和工期需求合理选择自有设备或者租赁方案以降低投资成本和闲置风险让施工成本控制达到最优。

材料和设备的高效管理是施工成本控制措施的依赖因素之一,全过程成本监控要靠精细化管理方法达成,施工单位得建立成本管理制度,明确成本控制目标、责任部门与执行流程,把成本控制融入施工计划、施工组织和进度管理,施工预算、过程成本分析和阶段性审计可及时发现与纠正成本偏差,使项目在预算范围内高效进行,信息化技术和数字化管理平台能用来实时记录与分析材料、设备、人工及其他成本数据,为施工决策提供科学依据,多环节协同与数据驱动的精细化管理,能减少资源浪费、降低施工成本,保障建筑企业高效、可控、经济的施工目标,提高工程经济效益。

### 5 数字化技术在精细化施工管理中的应用与实践

在精细化施工管理中应用数字化技术,施工管理的科学性与效率得到极大提升且工程质量、进度和安全有了有力保障。传统施工管理靠经验与人工监督,存在信息滞后、沟通不畅、控制精度不足的问题。数字化技术一引入施工过程各类信息就能实时采集、分析、共享,施工单位利用 BIM(建筑信息模型)、物联网和施工管理软件这些技术手段可进行全流程数字化管理,从设计、计划到施工、验收都行。BIM 技术除了有三可视化模型,还能把施工进度、成本、材料和设备信息跟模型关联起来精确模拟、动态调整,给施工组织优化和资源配置提供科学依据。

施工现场管理中,数字化技术能让施工活动被实时监控且数据被追踪,通过传感器、RFID 标签、无人机巡检等手段,材料使用情况、设备运行状态、施工人员分布、作业环境数据都能实时采集,从而保证施工过程可控可追溯。施工管理平台将各类数据集中管理,再加上预警和分析系统,便能及时发现质量隐患、安全风险或者资源浪费

问题,也能快速采取措施调整。这种数据驱动的管理方式,能让施工单位精细化管理理念落地,使施工过程可量化、可监控、可优化,减少施工误差和人为疏漏,提高施工效率和工程安全水平。

数字化技术不仅用于施工过程监控,在施工成本控制和决策优化方面也大有用处,施工成本数据如材料、设备、人工等方面,通过数字化平台整合后就能达成施工预算管理、成本分析和动态调整,使管理者制定施工方案有科学依据并优化资源配置。施工管理软件能为项目管理者提供数据可视化报表和分析工具以实时支持其决策,促使施工管理从靠经验转变为靠数据,随着信息化技术发展,人工智能、大数据分析、云计算等技术应用到施工管理中,可实现施工预测、风险分析和管理优化。数字化技术用于精细化施工管理提高了工程管理的精度和效率,为建筑企业实现高质量、低成本、安全可靠的施工目标提供坚实支撑,推动施工管理朝着智能化、科学化发展。

### 6 结语

施工组织优化、资源高效配置、质量与安全控制、材料设备管理以及数字化技术应用,使精细化施工管理科学精准地管理建筑工程全过程;标准化流程、制度化操作和数据化决策显著提高施工效率、工程质量和安全水平,有效控制施工成本并实现资源利用最大化;引入数字化技术使施工管理从经验驱动转变为数据驱动,为实时监控、动态调整和决策优化提供有力支持;综合运用这些管理方法能提升施工项目综合效益,也为建筑企业构建高效、可控、智能的施工管理体系提供实践路径和理论依据。

#### [参考文献]

- [1]李昌利.建筑工程的精细化施工管理方法探讨[J].中国建筑装饰装修,2024(21):132-134.
- [2]魏志强.建筑施工流程中精细化管理理念的深度渗透与实践策略[J].城市建设理论研究(电子版),2025(22):89-91.
- [3]赵影.精细化管理在建筑工程施工管理中的应用研究[J].中国住宅设施,2025(7):117-119.
- [4]樊磊.精细化管理在住宅建筑工程施工中的运用[J].居舍,2025(19):149-152.
- [5]程执宁.建筑工程的精细化施工管理[J].中国住宅设施,2025(4):166-168.

作者简介:汤川鄂(1987.4—),单位名称:中电建路桥集团有限公司,毕业学校:长春工程学院,专业:工程管理专业。

## 建筑智能化工程中节能幕墙施工技术研究

王 宣

中国华冶科工集团有限公司, 北京 102600

**[摘要]**随着智能化以及现代化技术慢慢融入建筑工程当中, 施工技术也在持续升级, 有着工业化、多元化以及现代化等特征。作为工程项目里的关键环节, 施工过程得依据实际状况展开系统性剖析, 以便明确具体的技术细节与施工重点。文章选取节能幕墙在智能建筑中的作用当作切入点, 针对所运用的幕墙施工技术展开研究, 最终得出, 凭借科学的设计方式、先进材料的应用、细致的施工操作以及智能化的管理手段, 能够大幅提升幕墙的节能性能以及施工质量, 并且能让建筑运行能耗得以降低, 从而为智能建筑实现高效、绿色且可持续的运行给予技术方面的有力支撑。

**[关键词]**建筑智能化; 节能幕墙; 施工技术

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17515

中图分类号: TU74

文献标识码: A

### Research on Energy-saving Curtain Wall Construction Technology in Building Intelligence Engineering

WANG Xuan

China Huaye Group Company Limited, Beijing, 102600, China

**Abstract:** With the gradual integration of intelligence and modern technology into construction engineering, construction technology is also continuously upgrading, with characteristics of industrialization, diversification, and modernization. As a key link in engineering projects, the construction process needs to be systematically analyzed based on actual conditions in order to clarify specific technical details and construction priorities. The article selects the role of energy-saving curtain walls in smart buildings as the starting point, and conducts research on the curtain wall construction technology used. Ultimately, it concludes that with scientific design methods, advanced material applications, meticulous construction operations, and intelligent management methods, the energy-saving performance and construction quality of curtain walls can be greatly improved, and the energy consumption of building operation can be reduced, providing strong technical support for the efficient, green, and sustainable operation of smart buildings.

**Keywords:** building intelligence; energy saving curtain wall; construction technology

#### 引言

随着现代建筑技术不断发展, 能源可持续利用变得日益重要起来, 智能建筑慢慢成为了建筑行业发展的主流走向, 在智能建筑体系当中, 幕墙不单单担负着建筑外观装饰以及结构保护的作用, 而且还是达成建筑节能、环境调控以及智能管理的关键构成部分。传统建筑幕墙在隔热、保温以及光环境控制这些方面存在着一定的局限性, 致使建筑能耗有所增加, 室内舒适性也很难得到保障, 而节能幕墙的应用则可有效地解决这一问题。节能幕墙借助采用高性能材料、复合结构以及智能控制系统, 达成对热量、光照以及空气流动的优化调节, 如此一来, 既能降低采暖和空调系统的能耗, 又能提升室内环境质量和使用舒适度。与此随着信息化以及智能化技术的不断发展, BIM (建筑信息模型)、传感器监测以及自动化控制等技术逐步应用于幕墙施工的整个过程, 使得施工精度、质量控制以及能效管理都得到了较为显著的提升。不过, 节能幕墙施工在设计、材料选用、安装工艺以及后期运行管理等诸多方面依旧面临着不少的技术挑战, 像是施工精度要求颇高、材料性能存在很大差异、安装与密封难度较大以及智能化管

理系统的复杂程度较高等情况。鉴于此, 针对节能幕墙施工技术展开系统的研究, 去探索优化设计理念、施工工艺、材料构件选择以及智能化管理策略, 这不仅有利于提高建筑能效和施工质量, 而且还能够为实现绿色、可持续以及智能化建筑给予技术方面的支撑以及实践层面的指导。本研究通过对节能幕墙在智能建筑中的作用以及施工技术特点加以分析, 进而提出系统的优化策略, 以此为未来节能幕墙在高性能建筑中的推广应用给出理论依据以及实践参考。

#### 1 节能幕墙在智能建筑中的作用

节能幕墙于智能建筑而言, 占据着极为关键且无可取代的地位。它的作用绝不仅仅停留在建筑外观美学层面以及结构功能方面, 还进一步深刻地体现在建筑能效的优化、环境适应性的提升以及智能化管理等诸多方面。就能耗控制来讲, 节能幕墙凭借合理选用高性能保温材料、低辐射玻璃以及复合夹层结构, 切实有效地阻止建筑内部热量向外散发或者外界热量向室内渗透, 由此大幅度降低建筑采暖以及空调系统的能源耗费。与此节能幕墙能够与智能遮阳系统、光伏发电组件以及动态透光调节技术相结合, 达

成对自然光、日照角度以及室外温度的实时反馈,确保建筑在不同季节以及不同气候条件之下均能维持室内的舒适度,进而减少对人工照明以及机械通风的依靠。再从智能化管理的角度来讲,现代节能幕墙可以与建筑物联网(包含 BIM、智能传感器以及自动控制系统)紧密融合,借助对温度、湿度、光照、风速等环境参数的实时监测,实现幕墙功能的动态优化以及能源的精准把控。如此一来,不但提升了建筑的运营效率以及管理水平,而且还为实现被动节能与主动调控的有机结合给予了技术方面的有力保障。除此之外,节能幕墙在可持续发展以及绿色建筑领域同样有着不容忽视的重要意义,它能够在很大程度上降低建筑碳排放、减少能源消耗,并且为建筑生命周期内的环境友好型运营给予有力支撑。

## 2 节能幕墙的设计原则

若想让节能幕墙具备节能的作用,首先要了解当地的气候条件和温湿度,再结合建筑的特点,比如高度,朝向等设计布局,而后应用节能施工技术,将室内环境调整到最佳舒适度。节能技术对建筑的采光、遮阳、传热和水密度的要求非常高,这些因素必须进行控制和检测,以满足节能技术的应用条件。在设计节能幕墙时,除了严格遵相关规范和要求之外,更要考虑当地的自然环境,选择最合理和科学的建筑用材。当然,所有的建筑构件,必须与建筑的整体结构相结合,建筑幕墙亦如此,所以,与设计师的充分沟通显得十分必要。只有设计理念与施工技术和谐统一,才能体现建筑的艺术风格,最大限度地提高节能幕墙的节能效果。

## 3 建筑智能化工程中节能幕墙施工中存在的主要问题

在建筑智能化工程当中,节能幕墙施工进度里依旧有一些不可以被无视的问题,这些问题一方面呈现出了行业发展的实际情形,另一方面也给未来的优化以及进步带来了机会。当下,节能幕墙从设计到实际施工常常会存在一定的差距,在部分环节上,由于材料选取以及性能匹配方面,并没有很好地契合建筑节能和智能化融合所提出的高标准要求,施工工艺在精细化以及系统化层面还有待进一步提高。与此部分施工人员针对新型节能材料的应用以及智能化技术的操作,其专业素养有所欠缺,这就致使幕墙施工的整体质量以及节能效果没能完全达成预期所定的目标<sup>[1]</sup>。除此之外,在施工过程当中,协调配合以及智能化管理方面同样存在着一些不足之处,这些不足影响了节能幕墙在智能建筑里本该具备的综合优势。不过,这些问题的存在并不是阻碍,反而是为行业未来的发展明确了方向,它们既指出了节能幕墙施工在质量管理、技术集成以及团队协作等方面所存在的提升空间,也为促使建筑智能化与绿色低碳理念能够深度融合给予了丰富的探索动力。

## 4 节能幕墙施工技术优化策略

### 4.1 施工工艺优化

节能幕墙施工工艺的优化乃是提升建筑整体能效并保证施工质量的关键所在,其关键之处就在于借助科学规划、精细管理以及技术创新等手段,达成施工过程的高效、精准以及可控这一目标。在施工流程层面而言,应当充分运用装配式以及模块化施工的理念,把幕墙构件于工厂当中开展预制以及标准化加工操作,凭借精确的尺寸把控以及高质量的工厂制作方式,缩减现场安装调整所花费的时间以及出现的误差情况,进而提高施工效率以及整体的精度水平。并且,施工工艺的优化还需与建筑智能化管理技术相结合,借助 BIM(建筑信息模型)技术来展开三维建模以及施工模拟工作,针对幕墙安装顺序、构件接口以及吊装方案给予可视化分析与优化处理,提前察觉到可能出现的碰撞或者施工难点,以此降低现场施工的风险。在安装工艺方面,需要对吊装、固定以及密封流程加以优化,运用高精度定位工具以及可调节支撑系统,确保幕墙构件在安装进程当中,其垂直度、水平度以及密封性能均能够符合设计方面的相关要求,尤其是在大型玻璃幕墙或者高层建筑的情况下,对每一个单元的安装精度予以精确控制对于节能效果来讲极为重要<sup>[2]</sup>。与此要综合考虑环境因素以及施工条件,对施工顺序以及作业时间做出优化安排,比如在温湿度较为适宜的条件下开展密封胶施工操作,以此保证密封性能以及耐久性。

### 4.2 材料与构件优化

在节能幕墙施工当中,对材料以及构件加以优化,这无疑是在提升建筑的能效方面起到关键作用的一个环节,同时也是对结构性能予以保障、促使长期运行可靠性得以实现的重要环节。材料优化涵盖的内容并不仅仅是针对幕墙主体材料做出选择,而且还涉及辅助构件、密封材料以及连接件的合理安排配置情况。就幕墙主体材料而言,它应当拥有低热导率这一特性,同时还需要具备较高的隔热性能以及良好的耐候性,举例来讲,倘若选用高性能铝合金型材、复合隔热型材还有高性能节能玻璃,那么便能够有效地将热桥效应以及室内外热量传递都减少掉,进而使得建筑的保温性能得以提高。玻璃的透光率、遮光性以及太阳能热增益系数均属于关键的设计指标范畴,借助采用中空玻璃、Low-E 涂层玻璃或者真空玻璃这类先进的材料,便可以在确保采光效果的最大限度地把热量损失以及过度热增益都降下来。构件优化包含了幕墙单元的标准化以及模块化设计方面的内容,另外还有可拆卸以及可调节性设计的情况,凭借工厂预制的高精度单元,就能够达成现场快速完成安装并且实现精确对接的效果,如此一来便能够减少施工过程中出现的误差,从而提高整体的质量水平。密封构件的优化同样有着极为重要的意义,要是采用高性能密封胶条、气密性接头以及抗老化材料,那么便可以有

效地防止空气出现渗透现象以及水发生渗漏情况,以此来保证幕墙能够长期维持其节能性能<sup>[3]</sup>。连接件和支撑系统的优化务必要兼顾到结构安全以及热工性能这两个方面,比如说使用断桥铝型材、热隔断连接件以及可调节支撑系统,如此这般既能保证幕墙的稳固程度,又能够减少热桥效应,进而提升整体的节能效果。

#### 4.3 智能化管理与监测优化

在节能幕墙施工期间,智能化管理以及监测方面的优化举措,属于能够提升施工质量、确保幕墙性能并达成建筑可持续运行的关键手段之一。把先进的数字化以及信息化技术融入施工的整个过程之中,便能够达成对幕墙安装精度、材料性能还有环境适应性展开实时监控以及动态管理的目的。智能化管理依靠 BIM 也就是建筑信息模型、物联网即 IoT 以及云计算平台,把设计、施工、安装以及后期运维等方面的数据加以整合,进而实现施工过程的可视化呈现、可追踪的状态以及可分析的情况。在施工阶段当中,借助 BIM 模型来模拟幕墙的安装顺序、单元接口以及吊装方案,如此一来便能够提前察觉到潜在的碰撞点以及误差源,对施工方案予以优化,降低返工的几率,提升施工的效率。接着,智能监测系统能够实时收集温度、湿度、风荷载、构件位移以及密封性能等这些关键参数,凭借传感器以及远程数据采集系统把这些数据传送到管理平台,达成施工过程的动态监控效果。比如说,在高层幕墙或者大面积玻璃幕墙施工之时,智能传感器能够监测每一个构件的安装位置以及垂直度,自动形成偏差报告,及时对偏差做出纠正,以此确保整体的精度以及密封性能。施工完成之后的智能监测同样有着重要意义,通过对幕墙热工性能、空气渗透情况、玻璃透光率以及结构应力状态进行长期的监控,可以为建筑节能管理给予数据方面的有力支撑,实现被动节能与主动调控的有机结合。除此之外,智能化管理与监测还能够和施工团队协同配合,借助移动终端以及管理软件来实现信息的共享以及即时反馈,提高施工组织的效率以及现场决策的能力。

#### 4.4 质量控制与安全管理优化

在节能幕墙施工期间,质量控制以及安全管理方面的优化属于核心环节,其对于提升建筑节能性能以及施工安全水平起着决定性的作用。质量控制最初得从设计阶段开始,一直到材料采购以及施工整个过程都要建立起严格的标准化管理体系,借助制定科学合理的施工规范、验收标准以及检测流程,以此来保证幕墙构件尺寸精度、密封性能、结构稳固性还有表面平整度能够契合设计方面的要求。

与此需要联合运用 BIM 技术以及智能监测系统,针对施工的每一个环节展开实时的跟踪以及数据方面的分析,比如凭借传感器去监测安装偏差、螺栓紧固力、密封胶固化状态以及构件受力情况,达成动态控制以及偏差预警的目的,及时察觉并纠正质量隐患<sup>[4]</sup>。在安全管理层面,要充分考量幕墙施工所存在的高空作业、重型构件吊装以及临时支撑等各类风险,依靠科学的施工方案设计、严格的安全操作规程以及把个体防护与机械防护相互融合的举措,尽可能地降低事故发生的概率。还需构建施工现场的安全监督以及责任追踪机制,结合智能化管理系统来实现安全监控视频、施工人员定位与作业状态的实时管理,确保安全管理信息具备透明化以及可追溯的特点。

#### 5 结语

节能幕墙属于智能建筑的关键构成部分,对其施工技术加以优化,对于提升建筑的能源利用效率、改进室内环境的质量以及达成可持续发展的目标而言,有着极为重要的作用。全面且细致地去剖析幕墙的传热相关特性、具体的施工工艺、材料以及构件的选择情况,同时还要考量智能化管理以及监测方面的手段,再加上严格实施的质量控制举措以及安全管理措施,如此一来便能够切实有效地提升幕墙施工的精准度,确保结构的安全无虞,并且能让节能的效果得以明显提升。在实际的工程运用过程当中,经过优化后的施工技术,一方面能够提升施工的效率,另一方面也能提高施工的质量,而且还能够为建筑的长期稳定运行以及智能化管理给予可靠的保障。

#### [参考文献]

- [1]杨良林,陈林.建筑智能化工程中节能幕墙施工技术[C]//《中国建筑金属结构》杂志社有限公司.2024 新质生产力视域下智慧建筑与经济发展论坛论文集(五).国网河南省电力公司商城县供电公司,2024:17-18.
  - [2]陈少将.光伏建筑一体化节能幕墙在建筑智能化工程中的应用[J].电子元器件与信息技术,2023,7(10):79-82.
  - [3]徐珊.可持续发展背景下建筑幕墙的节能与环保设计[J].大众标准化,2024(10):48-49.
  - [4]阮班超,李昂,龙跃,等.建筑幕墙结构设计及优化措施探讨[C]//中国智慧城市经济专家委员会.2023 年智慧城市建设论坛上海分论坛论文集.中建七局第六建筑有限公司深圳分公司,2023:121-122.
- 作者简介:王宣(1975.2—),毕业院校:青岛农业大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:中国华冶科工集团有限公司,职称级别:高级工程师。

## 多级形变热处理对 Cu-Fe-P 合金微观组织与性能的影响

罗文远<sup>1</sup> 段庆阳<sup>1\*</sup> 王少华<sup>1</sup> 冯泽强<sup>1</sup> 景洁<sup>1</sup> 吴慧云<sup>2</sup> 黄家亮<sup>3</sup>

1.太原晋西春雷铜业有限公司, 山西 太原 030081

2.中北大学材料科学与工程学院, 山西 太原 030051

3.运城康道合金科技有限公司, 山西 河津 043399

**[摘要]**Cu-Fe-P 系合金具有低成本, 优异的导电性、力学性能优势, 广泛应用于电子信息领域。为进一步提升其综合性能, 本文以 Cu-Fe-P 系合金中的 C19400 合金为研究对象, 研究了形变热处理工艺对力学性能、导电性及其及微观组织影响规律。结果表明, 合金经 940 °C×2 h (固溶)+冷轧 80%+550 °C×3.5 h+冷轧 50%+550 °C×4 h, 维氏硬度 160.3 HV, 抗拉强度 398.8MPa, 导电率 53.1% IACS, 伸长率 23.68%。显微组织分析显示, 经过多级形变热处理后获得了大量弥散分布的细小的球状 Fe<sub>2</sub>P 和 Fe<sub>3</sub>P 析出相颗粒, 使合金具备良好的导电性同时也具有优异的力学性能, 本研究为 Cu-Fe-P 系合金综合性能的提升及工程应用提供了良好的借鉴和理论指导。

**[关键词]**Cu-Fe-P 合金; 形变热处理; 显微组织; 机械性能

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17500

中图分类号: TG146

文献标识码: A

## The Effect of Multi-stage Deformation Heat Treatment on the Microstructure and Properties of Cu-Fe-P Alloy

LUO Wenyuan<sup>1</sup>, DUAN Qingyang<sup>1\*</sup>, WANG Shaohua<sup>1</sup>, FENG Zeqiang<sup>1</sup>, JING Jie<sup>1</sup>, WU Huiyun<sup>2</sup>, HUANG Jialiang<sup>3</sup>

1. Taiyuan Jinxi Chunlei Copper Industry Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030081, China

2. School of Materials Science and Engineering, North University of China, Taiyuan, Shanxi, 030051, China

3. Yuncheng Kangdao Alloy Technology Co., Ltd., Hejin, Shanxi, 043399, China

**Abstract:** Cu-Fe-P alloy has the advantages of low cost, excellent conductivity, and mechanical properties, and is widely used in the field of electronic information. In order to further improve its comprehensive performance, this paper takes C19400 alloy in Cu-Fe-P system alloy as the research object, and studies the influence of deformation heat treatment process on mechanical properties, conductivity, and microstructure. The results show that the alloy has a Vickers hardness of 160.3 HV, a tensile strength of 398.8 MPa, a conductivity of 53.1% IACS, and an elongation of 23.68% after being subjected to 940 °C× 2 h (solid solution)+cold rolling 80%+550 °C× 3.5 h+cold rolling 50%+550 °C× 4 h. Microstructure analysis shows that a large number of dispersed spherical Fe<sub>2</sub>P and Fe<sub>3</sub>P precipitation phase particles were obtained after multi-stage deformation heat treatment, which endows the alloy with good conductivity and excellent mechanical properties. This study provides good reference and theoretical guidance for the comprehensive performance improvement and engineering application of Cu-Fe-P alloy.

**Keywords:** Cu-Fe-P alloy; deformation heat treatment; microstructure; mechanical properties

C19400 合金是一种典型的 Cu-Fe-P 合金, 其主要由铜 (Cu)、铁 (Fe) 和磷 (P) 元素组成, 因具有较高的强度、良好的电导率和低廉的成本, 被广泛应用制备电连接器等关键部件<sup>[1]</sup>。作为一种典型的析出强化型铜合金, C19400 合金主要强化机制来源于时效过程中弥散析出的 Fe<sub>3</sub>P 和 Fe<sub>2</sub>P 等析出强化相<sup>[2,3]</sup>。这些强化相可以钉扎和阻碍位错运动, 从而显著提高合金的强度, 同时由于其对电子散射作用较弱, 使 C19400 合金在获得高强度的同时仍能保持较高的导电性能<sup>[4-6]</sup>。

形变热处理是提高析出强化型铜合金力学性能和导电率的一种有效手段该工艺通常先对固溶态样品进行冷轧等塑性变形, 使合金基体中形成大量位错、亚晶界等形核缺陷, 为第二相提供大量形核位点; 随后经时效热处理,

使析出相在缺陷处快速形核、弥散分布, 实现强度与导电性能的协同优化<sup>[7-9]</sup>。常见的形变热处理工艺包括单级形变热处理和多级形变热处理。与单级工艺相比, 多级形变热处理通过在不同温度区间分步实施形变与热处理, 在铜合金的纳米结构调控、析出相弥散化更具优势, 因而更有利于导电性和力学性能的提升。如 Sun 等<sup>[10]</sup>对比了单级形变热处理与多级形变热处理对 Cu-1Cr-1Ni-0.6Si 合金性能的影响, 发现经过双级液氮冷轧-时效处理后合金抗拉强度 (783.6MPa) 和导电率 (48.3%IACS) 分别比单级形变热处理提高了 91.3MPa 和 4.9%IACS。

近年来, 国内外学者对多级形变热处理在铜合金中的应用开展了大量研究并取得一定的进展。例如, Qin 等<sup>[11]</sup>对 Cu-1.3Ni-1.2Co-0.7Si-0.3Cr-0.1Mg 合金进行了形变热

处理研究,发现经多级形变热处理后在高密度位错区和亚晶界处析出大量纳米级 $\beta$ -Ni<sub>3</sub>Si、 $\delta$ -(Ni,Co)<sub>2</sub>Si及Cr相颗粒,使合金的具有了良好的导电性和力学性能,其屈服强度为857MPa、电导率46.7%IACS。Xin等<sup>[12]</sup>采用深冷轧制工艺和多级形变热处理制备了Cu-0.4Cr-0.39Zn-0.1Mg-0.07Zr合金,获得纳米变形孪晶和弥散细小的Cr相的特征组织,使合金抗拉强度达635MPa、电导率75.3%IACS。Zhu等<sup>[13]</sup>采用多级形变热处理制备了一种新型的沉淀强化的Cu-0.96Ni-0.22P合金,实现屈服强度630MPa和电导率75.3%IACS的综合性能,显著提升了该类合金的应用潜力。现阶段,有关Cu-Fe-P系合金多级形变热处理研究还在不断持续和完善中,通过调控冷轧变形量和时效工艺参数,可显著影响Fe<sub>3</sub>P和Fe<sub>2</sub>P等析出强化相的形核与长大行为,从而改善时效后合金的组织与性能<sup>[14]</sup>。为此,在保证低生产成本的前提下,探索并优化多级形变热处理工艺以提升Cu-Fe-P合金性能,具有重要科学意义和工程价值。

基于此,本文以C19400为研究对象,开展多级形变热处理的组织演变与性能研究,研究多级形变热处理工艺对C19400硬度,强度以及导电性的影响规律,并阐述多级形变热处理过程中组织演变情况,建立多级形变热处理的微观组织与宏观性能的关联,为C19400多级形变热处理工艺制定和优化提供理论依据和实验支持。

### 1 实验材料与方法

采用中频感应熔炼炉冶炼C19400合金铸锭,其成分如表1所示。铸造后去除宏观缺陷并进行热轧开坯,随后在退火炉中进行固溶处理(940°C, 2h)。对固溶处理后的

试样,进行一次冷轧变形和一次时效热处理,冷轧变形量为80%,时效温度为450°C、550°C、650°C,时效时间为3~5h。然后再进行二次冷轧和二次时效,二次冷轧变形量为50%,二次时效时间为3~5h,具体工艺路线如图1所示。

采用线切割机对加工所需试样。采用维氏硬度计在载荷0.5kgf、保持15s条件下测量试样硬度。采用Sigma2008A型涡流导电仪测量样品电导率。采用电子万能试验机按照GB/T228.1—2021《金属材料拉伸试验第1部分:室温试验方法》的标准测试对合金力学性能。

合金经研磨抛光后,使用腐蚀剂(2g固体氯化铁、3mL浓盐酸和50mL蒸馏水)对试样进行金相腐蚀,然后通过Leica金相显微镜观察金相。使用X射线衍射分析仪进行物相分析,扫描角度范围为20°~90°。使用扫描电子显微镜进行合金微观形貌观察,并利用能谱仪对试样微区成分分析。

表1 C19400合金成分(wt.%)

元素名称	Fe (%)	P (%)	Zn	Cu (%)
C19400	2.1~2.6	0.02~0.04	0.05%~0.2%	Bal

## 2 结果与讨论

### 2.1 固溶处理后合金组织性能

如图2(a)所示,经过940°C×2h固溶处理后,C19400合金组织形貌为等轴晶组织,并且在等轴晶内部和晶界处没有明显的第二相颗粒,这说明经过固溶处理后第二相较为充分的固溶到基体中。图2(b)为固溶后对应的XRD结果,发现其主要特征衍射峰为Cu基体,没有明显的第二相颗粒特征峰,这也说明固溶后基本为单铜基体。

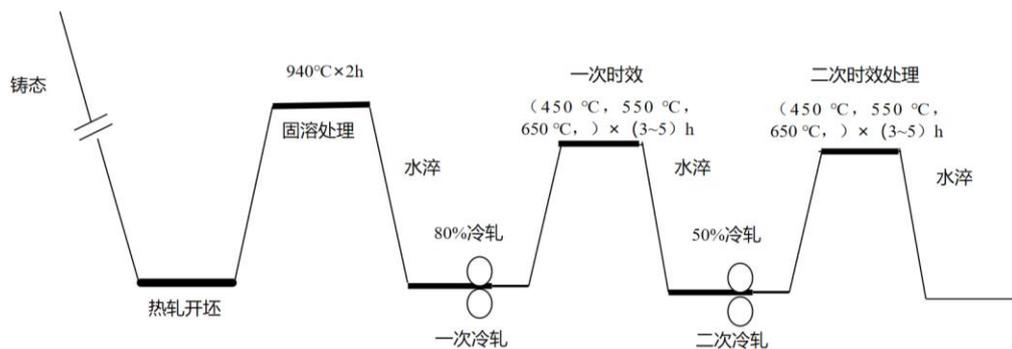


图1 合金热处理工艺示意图

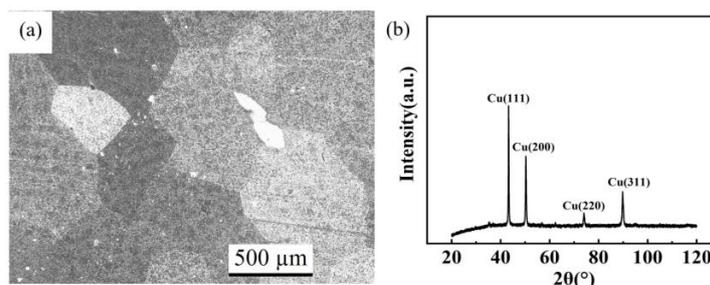


图2 940°C×2h固溶处理 (a) 金相组织; (b) XRD结果

2.2 多级形变热处理对合金的性能影响

2.2.1 冷轧与一次时效处理对 C19400 合金性能的影响

对固溶处理后的 C19400 合金进行 80% 冷轧变形和一次时效热处理。如图 3(a) 所示，在 450°C、550°C 和 650°C 三个温度条件下，硬度随时间的演变规律大体一致，均表现出先升高后降低的趋势。不同温度下的硬度峰值有所差异，其中在 550°C×3.5h 条件下的峰值硬度最高，约为 126.9HV；而在 450°C 和 650°C 条件下，峰值硬度分别为 119.12HV 和 119.63HV。图 3(b) 为相应的导电率结果。可见在上述三种温度下，随着时效时间延长，导电率均呈缓慢上升趋势，但在所选时间范围内增幅相对有限。在时效 5h 时，导电率最大值分别为 53.5%IACS (450°C)、54.7%IACS (550°C) 和 45.5%IACS (650°C)。综合硬度与导电率结果，可以确定各温度下的一次峰时效工艺为：450°C×3.5h、550°C×3.5h 以及 650°C×4h。

2.2.2 冷轧与一次时效处理后析出相形貌分析

图 4 为 C19400 合金在 450°C×3.5h 时效处理后的微观形貌、元素分布及 EDS 分析结果。如图 4(a) 所示，可以看出 C19400 合金在 450°C×3.5h 时效处理后存在大量弥散分布的细小析出相，析出相形貌为棒状或球形颗粒状，

沿晶内和晶界均有分布。如图 4(b)~4(d) 为对应颗粒相元素分布结果，结果表明，析出相主要由 Fe、P 元素组成。如图 4(e、f) 为对图 4(a) 中 A、B 两处典型析出物的 EDS 点分析结果，发现 Fe/P 的原子比接近 3:1，说明这些沉淀颗粒可能是 Fe<sub>3</sub>P。

2.2.3 冷轧和二次时效处理对 C19400 合金性能的影响

在上文确定的一次冷轧及峰值时效工艺后，进行了二次冷轧和二次时效处理。图 5 为 C19400 合金经二次时效处理后的硬度及导电率结果。由图 5(a) 可见，不同温度下二次时效处理后合金硬度的演变规律基本一致，均在时效时间由 3h 延长至 4h 时逐渐升高，并在 4h 达到峰值硬度，分别为 150.1HV (450°C)、160.3HV (550°C) 和 112.3HV (650°C)；当时效时间延长至 5h 时，硬度出现轻微下降，但整体变化幅度较小。图 5(b) 为二次时效处理后合金的导电率结果，可以看出，随时效进程延长，各温度下导电率均呈缓慢上升趋势，在时效 4h 后增幅逐渐趋于平缓，对应导电率分别为 45.7%IACS (450°C)、53.1%IACS (550°C) 和 50.9%IACS (650°C)。综合硬度与导电率的测试结果，选取各温度下 4h 二次时效样品开展室温拉伸试验，以进一步评估并确定最优工艺参数。

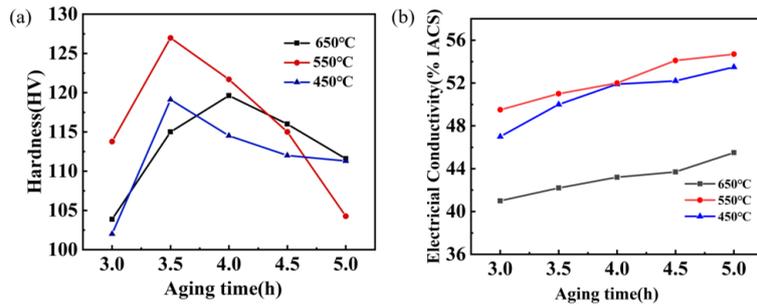


图 3 C19400 合金 80% 冷轧变形+一次时效处理 (a) 硬度; (b) 电导率

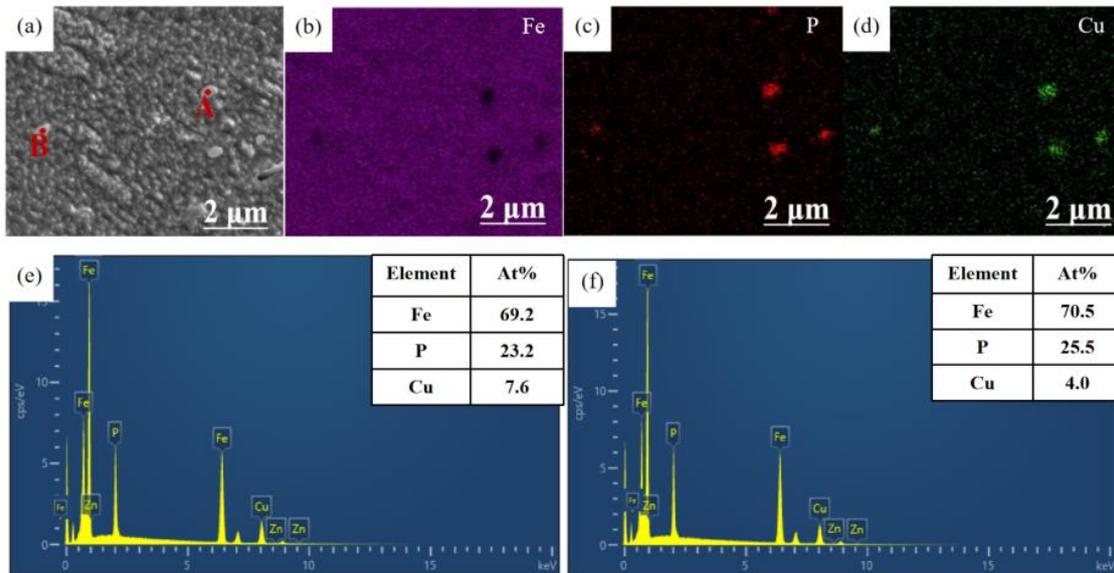


图 4 C19400 合金经过 450 °C×3.5 h 一次时效处理后 (a) SEM 形貌; (b) Fe; (c) P; (d) Cu; (e) A 位置 EDS; (f) B 位置 EDS

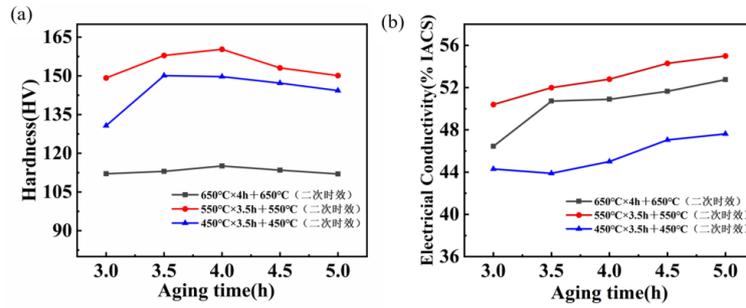


图5 C19400 合金经过不同二次时效处理后 (a) 硬度; (b) 导电率

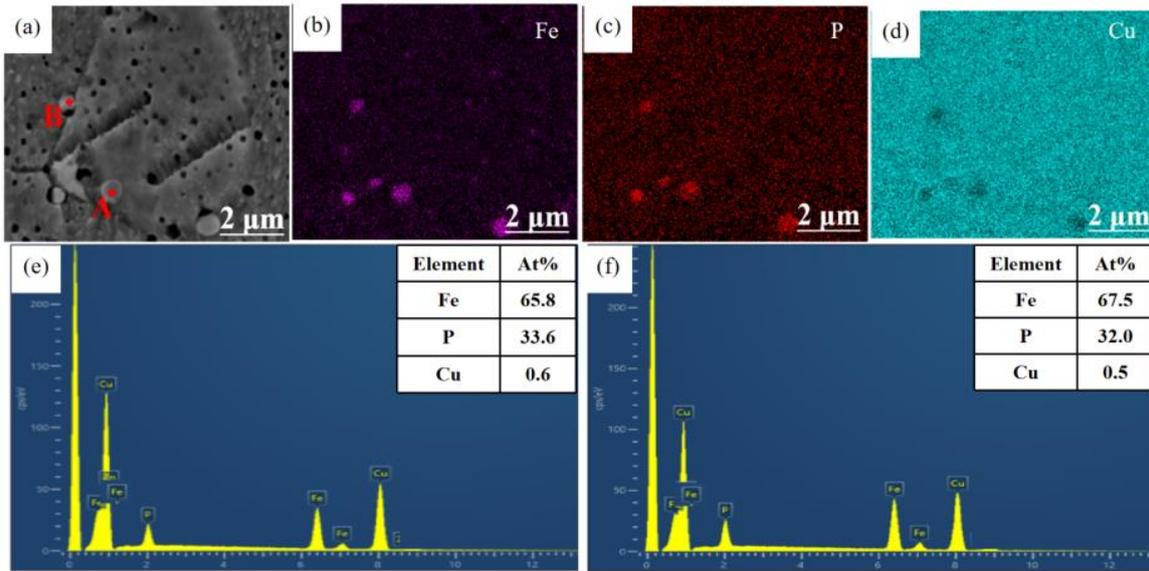


图7 C19400 合金经 550 °C×4 h 二次时效处理 (a) SEM 形貌; (b) Fe; (c) P; (d) Cu; (e) A 位置 EDS; (f) B 位置 EDS

如图 6 为所示, 可以看出二次时效工艺为 550°C×4h 样品的屈服强度与抗拉强度均显著高于其余两组, 且具有相对较高的延伸率, 其力学性能为屈服强度 (248.5MPa), 抗拉强度 (398.8MPa), 延伸率 (25.5%)。综合导电率, 硬度和应力应变曲线结果优化出最佳的工艺路线为: 合金经 940°C×2 h (固溶)+冷轧 80%+550°C×3.5 h+冷轧 50%+550°C×4 h, 可获得最佳综合性能: 维氏硬度 160.3 HV, 抗拉强度 362.7 MPa, 导电率 53.1% IACS, 伸长率 23.68%。

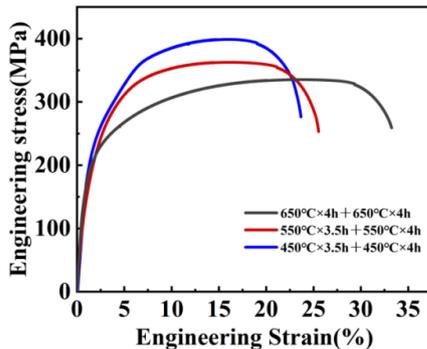


图6 C19400 合金经过不同二次时效处理后力学性能曲线

### 2.2.4 冷轧和二次时效处理后显微组织与断口形貌分析

图 7 为二次时效工艺 550°C×4 h 条件下 C19400 合金试样析出相形貌及 EDS 分析结果。如图 7 (a) 所示: 析出相主要是球形颗粒。图 7 (b) ~7 (d) 为对应颗粒相元素分布结果, 说明二次时效处理后析出相任主要由 Fe、P 元素组成。对图 7 (a) 中 A、B 两处典型析出物的 EDS 点分析结果表明, Fe/P 的原子比接近 2 : 1, 这说明二次时效析出相主要是 Fe<sub>2</sub>P。

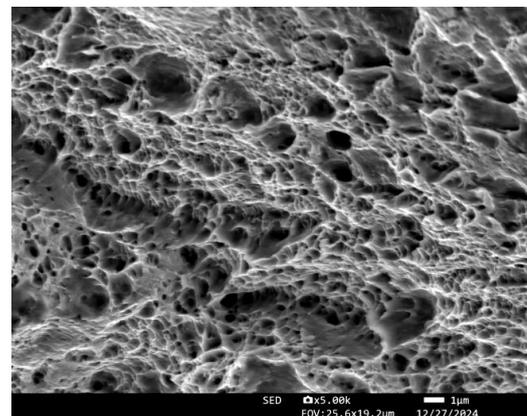


图8 Cu-Fe-P 合金断口 SEM 图

图8展示了合金经多级冷轧变形与二次时效处理后的拉伸断口形貌特征。断口形貌分析表明,该合金主要表现为典型的韧性断裂机制,其特征为断口表面均匀分布的大量等轴韧窝,反映出良好的延展性能<sup>[15]</sup>。

### 3 结论

(1) C19400 合金经过 940°C×2h 固溶处理后,组织呈均匀的等轴晶形貌,晶内及晶界均未见明显第二相颗粒,表明第二相已较为充分固溶于铜基体。

(2) C19400 合金经 940°C×2h (固溶) + 冷轧 80%+550°C×3.5h+冷轧 50%+550°C×4h,可获得最佳综合性能:维氏硬度 160.3HV,抗拉强度 398.8MPa,导电率 53.1%IACS,伸长率 23.68%。

(3) C19400 合金经过多级形变热处理后获得了大量弥散分布的细小的球状 Fe<sub>2</sub>P 和 Fe<sub>3</sub>P 析出相颗粒,使合金在保持较高导电性的同时获得优异的力学性能

(4) C19400 合金经过多级形变热处理后断口形貌呈大量等轴韧窝特征,表明合金主要发生了韧性断裂。

基金项目:太原市“揭榜挂帅”项目:(2024TYJB0113);天津市科学基金(202401);中央引导地方科技发展资金项目:(YDZJSX2024C009)浙江省博士后基金(ZJ2024127)。

#### [参考文献]

[1]吕官丽,苏娟华,周延军,等.退火温度对 Cu-Fe-P 合金性能和第二相特征的影响[J].材料热处理学报,2021,42(9):90-97.

[2]杨春秀,郭富安,向朝建,等.时效态 Cu-Fe-P 合金组织和性能的研究[J].特种铸造及有色合金,2007(12):975-978.

[3]刘勇,陆德平,杨湘杰,等.热处理工艺对 Cu-Fe-P 合金显微硬度及导电率的影响[J].金属热处理,2004(5):35-37.

[4]Cui J G, Zhou R, Yang W D, et al. High strength, high conductivity and excellent softening resistance Cu-Ni-Fe-P alloy[J].Materials Science and Engineering A,2024(882):147278.

[5]Kim H G,Han S Z,Euh K,et al.Effects of C addition and thermo-mechanical treatments on microstructures and properties of Cu-Fe-P alloys[J].Materials Science and Engineering A,2011(530):652-658.

[6]戴姣燕,尹志民,宋练鹏,等.不同处理状态下 Cu-2.5Fe-0.03P 合金的组织与性能演变[J].中国有色金属学报,2009,19(11):1969-1975.

[7]郑济森,张峻嘉,唐天轶,等.形变热处理工艺对 Cu-Fe-P 合金组织与性能的影响[J].材料与冶金学报,2023,22(5):489-494.

[8]宋宇,杨婧钊,周延军,等.不同处理状态下 C19400 铜合金组织、织构和性能演变[J].特种铸造及有色合金,2022,42(9):1175-1181.

[9]Liu K M,Sheng X C, Li Q P, et al. Microstructure and Strengthening Model of Cu-Fe In-Situ Composites[J].Transactions of Nonferrous Metals Society of China,2020,30(6):1294-1303.

[10]Sun X L, Jie J C, Wang T M, et al. Effect of two-step cryorolling and aging on mechanical and electrical properties of a Cu-Cr-Ni-Si alloy for lead frames applications[J].Materials Science and Engineering: A, 2020, 809(2):140521.

[11]Qin L X, Zhou T, Jiang X Y, et al. Microstructure and properties of Cu-Ni-Co-Si-Cr-Mg alloy by multistage thermomechanical treatment[J].Transactions of Nonferrous Metals Society of China,2023,33(12):3739-3755.

[12]Xin Z, Jiang Y B, Wu Z X, et al. Effect of cryogenic rolling and multistage thermo-mechanical treatment on the microstructure and properties of the Cu-0.4Cr-0.39Zn-0.1Mg-0.07Zr alloy[J]. Materials Characterization,2024(207):113557.

[13]Zhu Y Q, Yu Q, Peng L J, et al. Microstructure and properties evolution of a Cu-Ni-P alloy with high strength and high conductivity during thermomechanical treatment[J].Materials Science and Engineering A,2024(893):146098.

[14]曹峰,董琦祎,廖开举,等.形变热处理对 Cu-0.7Fe-0.12P 合金组织和性能的影响[J].粉末冶金材料科学与工程,2015,20(3):464-469.

[15]李建国,黄瑞瑞,张倩,等.高熵合金的力学性能及变形行为研究进展[J].力学学报,2020,52(2):333-359.

作者简介:罗文远(1986.3—),毕业院校:中国计量学院,所学专业:测控技术与仪器,当前就职单位:太原晋西春雷铜业有限公司,职务:总经理,职称级别:高级工程师;\*通讯作者:段庆阳(1981.5—),毕业院校:山西兵器工业职工大学,所学专业:机械自动化,当前就职单位:太原晋西春雷铜业有限公司,职务:科技部部长,职称级别:工程师。

## 信息化技术在建筑工程监理中的应用研究

郑坚和

广东省建筑工程监理有限公司, 广东 广州 510000

**[摘要]**随着建筑行业持续快速发展以及工程项目复杂性不断提高,信息化技术在建筑工程监理方面的应用逐步变成提升监理效率与管理水平的关键手段。不过,信息化技术的推广应用依旧面临不少挑战,针对这些难题,相关企业以及管理部门正积极开展有效技术集成方案与人才培养机制方面的探索,推动信息系统标准化建设以及安全体系完善。文中通过对信息化技术在建筑工程监理中应用现状的分析,深入剖析其面临的主要问题以及应对策略,给建筑工程监理的信息化发展给予理论支撑与实践参考。

**[关键词]**信息化技术; 建筑工程; 工程监理; 技术应用

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17521

中图分类号: TU714

文献标识码: A

### Research on the Application of Information Technology in Construction Project Supervision

ZHENG Jianhe

Guangdong Construction Engineering Supervision Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510000, China

**Abstract:** With the continuous rapid development of the construction industry and the increasing complexity of engineering projects, the application of information technology in construction project supervision has gradually become a key means to enhance supervision efficiency and management standards. However, the widespread adoption of information technology still faces numerous challenges. In response to these difficulties, relevant enterprises and regulatory authorities are actively exploring effective technological integration solutions and talent cultivation mechanisms, promoting the standardization of information systems and the improvement of security frameworks. Through an analysis of the current application status of information technology in construction project supervision, this paper delves into its main challenges and corresponding strategies, providing theoretical support and practical references for the informatization development of construction project supervision.

**Keywords:** information technology; construction engineering; engineering supervision; technical application

#### 引言

随着现代建筑行业快速向前发展,工程项目规模变得越来越大,施工技术以及管理方式也在不断推陈出新,建筑工程监理所起到的作用愈发显得重要起来。传统监理模式因为信息传递不够及时、数据处理效率不高、沟通协作不顺畅等问题,已经很难满足复杂工程项目在质量、安全以及进度方面提出的较高要求了。信息化技术是推动建筑行业实现转型升级的关键力量,依靠其具备的数字化、网络化以及智能化等优势,慢慢变成了提高建筑工程监理水平极为关键的一种手段。借助应用建筑信息模型(BIM)、物联网、大数据分析、云计算等一系列先进技术,监理工作达成了对工程全生命周期的动态管理,并且能够实现精准控制,这在很大程度上提升了监理的效率以及科学性。不过,在信息化技术推广应用的过程当中,依旧面临着系统集成存在困难、技术人才较为匮乏、资金投入不够充足以及数据安全存在风险等诸多挑战。所以说,深入剖析信息化技术在建筑工程监理中的应用现状、存在的各类问题以及与之相对应的对策,对于促使监理工作朝着现代化、智能化方向发展,确保工程质量和安全而言,有着十分重

要的理论价值以及实践意义。本文目的在于全面分析信息化技术在建筑工程监理中的应用现状以及存在的主要问题,同时探讨相应的解决办法,期望能为建筑工程监理的信息化建设给予参考并带来借鉴作用,进而推动建筑行业实现持续健康的发展。

#### 1 信息化技术在建筑工程监理中的重要性

信息化技术于建筑工程监理而言,有着颇为重要的战略层面的意义以及实际应用方面的价值。伴随建筑行业规模持续拓展,工程项目复杂程度也不断攀升,在此情形之下,传统监理方式已然很难契合现代建筑工程针对质量、安全以及进度所提出的高标准要求了。信息化技术借助数字化、网络化以及智能化等手段,大幅度提升了监理工作的效率,并且也使得其准确性得以提高。凭借建筑信息模型也就是 BIM、物联网即 IoT 以及大数据分析等先进技术,监理人员可实时抓取工程现场的各项数据,对施工过程展开动态监控,能够及时察觉并处理潜在的问题,进而切实降低质量方面存在的风险以及安全方面的隐患。与此信息化技术推动了信息的共享与沟通,冲破了传统监理工作当中信息孤岛这样的局面,提升了项目各方协同的效率。信息化手段还给

工程监理给予了科学的数据方面的支撑以及决策方面的依据,对于达成全过程且全方位的监督管理是很有帮助的,可推动建筑工程朝着智能化以及精细化的方向去发展。

## 2 信息化技术在建筑工程监理中应用的挑战

### 2.1 系统集成与操作难度大

系统集成以及操作难度颇高,这当属信息化技术于建筑工程监理环节应用进程中所面临的一项极为凸显的挑战。建筑工程监理涵盖了诸多环节,还牵涉到众多专业系统,怎样把各式各样的信息化平台、各类软件工具还有多种硬件设备妥善整合起来,达成数据能够无缝对接且可共享的状态,着实是一大棘手难题。各个不同系统彼此间存在着接口标准并非统一、数据格式呈现多样化特点以及技术兼容性有所欠缺等诸多问题,如此一来便致使信息孤岛现象变得极为严重,进而对监理效率的提升形成了限制作用<sup>[1]</sup>。信息化系统其自身设计颇为复杂,操作界面以及流程也相对繁琐,这就要求监理人员得具备较高的技术水平以及丰富的操作经验,而这在某种程度上又使得培训以及使用的成本有所增加。特别是在项目现场环境复杂且多变的情形之下,系统的稳定性以及可靠性是难以得到完全保障的,这更是进一步增添了应用的难度。

### 2.2 技术人员短缺与技术应用不普及

目前,在建筑工程监理行业中,既懂建筑专业知识又熟悉信息化技术的复合型人才比较短缺。大部分监理人员长期从事传统监理工作,对信息化技术的了解和掌握程度有限,缺乏主动学习和应用新技术的意识和能力。这使得在推广信息化技术时,难以得到基层监理人员的有效配合。此外,由于建筑工程项目的地域差异和企业规模差异,一些小型建筑企业或偏远地区的项目,受限于资金、技术条件和人才储备,信息化技术的应用程度较低。即使引入了相关技术和设备,也因缺乏专业技术人员进行维护和管理,导致设备闲置或系统运行不稳定,无法充分发挥信息化技术的优势,阻碍了行业整体信息化水平的提升。

### 2.3 项目资金分配的不合理性

项目资金分配的不合理状况可以说是信息化技术于建筑工程监理当中应用所面临的重要挑战之一。信息化系统的构建、维系以及后续的升级,均需持续不断且数量可观的资金作为支撑,这涵盖了硬件设备的采购环节、软件的开发与采购方面、人员培训工作以及系统运维等诸多方面的投入情况。不过,在诸多建筑工程项目着手资金分配的时候,通常会优先去确保施工以及材料费用能够得到充分保障,而对于信息化建设方面则投入不够,如此一来便致使相关资金显得颇为匮乏,进而没办法契合系统正常运转以及更新升级的实际需求。除此之外,项目预算的编制还存在着科学性与前瞻性有所欠缺的问题,资金分配也缺乏合理的规划安排,由此便出现了资源被浪费以及重复投资等情况,最终使得资金的使用效率大打折扣。

### 2.4 数据存储与传输中的风险

随着信息化技术在建筑工程监理方面的广泛运用,数据存储以及传输过程当中所存在的风险愈发明显地显现出来,已然成为限制信息化发展的一个颇为棘手的难题。建筑工程监理牵涉到诸多关键数据,像设计图纸、施工进度、质量检测报告还有安全监控信息等等,这些数据数量众多,并且有着极高的敏感性。数据在存储这个环节当中会面临诸如硬件出现故障、系统发生崩溃以及遭到非法访问这类的风险,很可能会致使数据出现丢失或者损坏的情况,这对监理工作的连续性以及准确性会产生极为严重的影响<sup>[2]</sup>。在数据传输的过程里面,因为施工现场的环境比较复杂,网络条件也不稳定,再加上信息传输的路径多种多样,所以数据特别容易受到网络攻击、篡改、窃取或者传输中断等各方面的威胁,进而对信息的真实性以及完整性造成进一步的影响。与此随着云计算以及物联网技术的应用,数据传输链条变得更为复杂了,安全防护的难度也有了显著的提升。要是数据遭受泄露或者篡改,不但会造成监理决策出现失误,而且还可能引发工程质量方面的问题以及安全事故,最终会给项目带来相当严重的经济损失以及法律风险。

## 3 信息化技术在建筑工程监理中应用的对策

### 3.1 提升信息系统的兼容性与互操作性

提升信息系统的兼容性与互操作性,这是建筑工程监理信息化建设里迫切需要去解决的一个关键问题。因为监理工作的涉及面比较广,涵盖了多个专业领域以及各个环节,所以所采用的信息系统种类繁多,并且来源也较为分散,一般情况下存在着标准不够统一、数据格式多种多样、接口协议彼此之间不兼容等一系列的现象,这就使得信息在各个系统之间很难做到高效的流通以及共享,进而形成了信息孤岛,对监理业务的协同效率以及决策水平都造成了制约作用。要想破解这个瓶颈问题,就需要积极推动建立起统一而且科学的技术标准以及数据规范,这些规范要涉及到数据模型、编码规则、通信协议等诸多层面,以此来保证不同的系统在设计开发的过程当中能够依照同样的标准来行事,从而达成数据的规范化表达以及无障碍交换的目标。与此还应当去推广开放式架构以及模块化设计的思想理念,以此来提升系统的灵活性以及扩展的能力,让其可以适应监理需求的持续变化以及技术的不断迭代更新,方便集成新的技术以及新的功能。中间件技术充当着系统之间数据转换以及协议适配的桥梁角色,它能够实现异构系统的无缝连接以及实时交互,这无疑极大地增强了系统的互操作能力。

### 3.2 提高技术人才的培养与专业化水平

提升技术人才的培育以及专业化的程度,这乃是推动建筑工程监理信息化应用进一步发展的关键保障。伴随信息化技术持续向前推进,其应用范围也在不断拓展,在这

样的形势之下,建筑工程监理对于技术人才的需求呈现出数量增长的态势,并且愈发看重这些人才的专业技能以及综合素质。当下,众多监理人员在信息技术的应用层面存在着知识有所欠缺、操作技能不足等一系列问题,如此一来便很难充分地发挥出信息化工具所具备的效能,进而对监理工作的效率以及质量都产生了影响。所以,务必要强化针对监理技术人才展开的系统培训工作,要将理论知识和实际操作紧密地结合起来,提高他们对于建筑信息模型(BIM)、大数据、云计算、物联网等先进技术的理解与运用能力<sup>[3]</sup>。与此还应当积极推动监理专业人才朝着多元化的方向去培养,把建筑工程管理、信息技术以及数据分析等跨学科的知识相互融合起来,以此来强化其解决复杂工程问题时所具备的综合能力。构建起完善的培养机制,借助高校、培训机构以及企业的各类资源,积极开展岗位技能培训、继续教育以及职业资格认证等相关工作,从而形成一个覆盖范围广泛、层次较为丰富的人才培训体系。还需着重关注创新意识以及团队协作能力的培养,激励技术人员积极主动地去学习新的技术、新的方法,踊跃参与到信息化平台的建设以及优化工作当中,以此提升整体的技术水平以及适应能力。

### 3.3 合理分配建设与维护的资金

合理安排建设与维护资金,是保证建筑工程监理信息化系统能持续稳定地运行并充分发挥作用的重要基础。信息化建设涵盖诸多方面,像初期的软件开发、硬件采购以及系统集成,还有后续的日常维护、升级更新以及技术支持等环节,每一环节都需要持续的资金投入。不过,在实际操作当中,很多项目在资金预算与分配这个过程里常常出现偏差,往往会把资金过度集中在建设阶段,却忽略了维护和运维的长期需求,致使系统在运行期间出现故障频发、更新滞后以及技术支持不足等一系列问题,对信息化系统的使用效果以及监理效率产生了极为严重的影响。要有效地解决这一矛盾,就需要科学地去制定资金预算方案,依据项目的实际需求来合理规划建设和维护资金的比例,既要确保系统能够顺利建设,又要保证维护资金充足并且使用得当。资金分配要体现出对技术升级以及安全保障的重视程度,以此来支持信息系统的持续优化以及风险防控,防止因为资金不足而使得系统老化并出现安全隐患。与此还要建立起透明且规范的资金管理与监督机制,保证资金使用的合理性与合规性,避免资源的浪费以及资金的挪用情况发生。

### 3.4 建立健全安全体系与标准

健全且完备的安全体系以及相关标准,乃是保证建筑工程监理信息化技术应用能够安全可靠的一项重要保障

举措。伴随信息技术得以广泛运用,建筑工程监理在开展相关工作期间会产生并处理诸多数据,而这些数据所涉及的内容涵盖了工程设计、施工进度以及质量安全等诸多关键方面。倘若这些信息不幸遭遇泄露、遭到篡改或者出现丢失等情况,那么其不但会给项目管理带来颇为严重的不利影响,而且还极有可能诱发工程质量方面的事故以及相应的安全风险。所以,务必要去构建起较为完善的信息化安全管理体系,该体系需要包含数据保护、网络安全、访问控制、风险评估以及应急响应等诸多不同方面,进而形成一个具备系统性以及标准化特性的安全保障框架<sup>[4]</sup>。就标准建设这块而言,应当综合考虑国家以及行业层面的相关法律法规,去制定出契合建筑工程自身特点的信息化安全标准以及技术规范,要清楚明确地界定好安全责任、操作流程以及技术要求等方面的内容,以此来切实保障信息系统在整个从设计、开发到部署再到运维的整个过程当中都能够严格遵循安全规范的要求。与此还需进一步加大对安全技术方面的投入力度以及实际应用程度,积极去推广采用诸如加密技术、多因素身份认证、防火墙以及入侵检测等一系列先进的安全防护手段,从而强化针对数据传输环节以及存储环节的有力保护措施。

## 4 结语

信息化技术在建筑工程监理当中的运用,切实提高了监理工作的效率、质量以及管理水准,有力推动了建筑行业朝着数字化与智能化的方向迈进。当下,在系统兼容性、人才培养、资金投入以及数据安全等诸多方面,依旧存在着一定的难题。不过,借助强化技术标准方面的建设工作、完善安全体系构建、对资金配置予以优化以及提升专业人员的素质等举措,信息化技术在未来建筑工程监理领域必定会发挥出更为关键的作用。日后,伴随技术的持续发展以及应用程度的不断加深,建筑工程监理的信息化水平势必能够达成质的突破,进而为确保工程质量、安全以及进度给予稳固的技术助力,推动建筑行业的可持续发展进程。

### [参考文献]

- [1]钱军.信息化技术在建筑工程监理中的应用研究[J].城市开发,2025(8):123-125.
  - [2]高丹.信息化技术在建筑工程经济管理中的应用分析[J].智能建筑与智慧城市,2025(7):92-94.
  - [3]王虹坤.信息化技术在建筑工程质量监督中的应用[J].中国建设信息化,2024(11):52-55.
  - [4]谢彬.信息化管理技术在建筑工程项目中的应用[J].黑龙江科学,2021,12(2):142-143.
- 作者简介:郑坚和(1986.11—),男,籍贯:广东,学历:本科,职位:监理工程师,研究方向:房建专业。

## BIM 技术在建筑工程项目管理中的应用

曹珍榕

连云港市城发商业运营集团有限公司, 江苏 连云港 222100

**[摘要]**近年来, BIM 技术于施工管理方面的运用变得愈发普遍起来, 其不但可以让施工资料变得更加丰富, 而且能够对信息管理予以优化, 同时还达成项目各个环节的系统化以及数字化管理, 进而切实有效地推动施工过程实现更为科学的组织安排以及更加细致的控制操作。在建筑工程展开施工活动的过程中, 要是缺少行之有效的管理举措, 那么这不但会使整体的施工进度出现延误的情况, 而且还极有可能给工程质量带来不利的影响作用。并且传统的管理模式在信息整合、协同沟通以及施工风险控制等诸多方面都存在着不少的欠缺之处, 已经很难去契合现代建筑工程那复杂的施工需求了。所以说, 很有必要针对 BIM 技术在建筑工程管理当中的应用措施展开深入且细致的分析, 盼望着借此能够为提升施工管理的效率、确保工程的质量以及对项目实施加以优化等方面给予科学合理的依据参考。

**[关键词]**BIM 技术; 建筑工程; 项目管理; 技术应用

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17518

中图分类号: TU712

文献标识码: A

## The Application of BIM Technology in Construction Project Management

CAO Zhenrong

Lianyungang Chengfa Commercial Operation Group Co., Ltd., Lianyungang, Jiangsu, 222100, China

**Abstract:** In recent years, the application of BIM technology in construction management has become increasingly common. It not only enriches construction data, but also optimizes information management. At the same time, it can achieve systematic and digital management of various aspects of the project, effectively promoting more scientific organizational arrangements and more detailed control operations in the construction process. In the process of carrying out construction activities in construction projects, if there is a lack of effective management measures, it will not only cause delays in the overall construction progress, but also have a high possibility of adverse effects on the quality of the project. Moreover, traditional management models have many shortcomings in information integration, collaborative communication, and construction risk control, making it difficult to meet the complex construction requirements of modern construction projects. Therefore, it is necessary to conduct in-depth and detailed analysis on the application measures of BIM technology in construction project management, hoping to provide scientific and reasonable reference for improving the efficiency of construction management, ensuring the quality of the project, and optimizing project implementation.

**Keywords:** BIM technology; construction project; project management; technology application

### 引言

随着建筑工程规模变得越来越大, 项目管理的要求也一天比一天复杂起来, 在这样的情况下, 传统那种依靠二维图纸以及凭借经验来开展管理的方式, 已经没办法很好地满足施工过程中对于高效、精确以及协同方面的需求了。在这样的大背景下, BIM 技术作为一款能够把三维建模、信息集成还有数据可视化融合到一起的数字化管理工具, 渐渐地变成了推动建筑工程管理走向现代化的关键手段。BIM 技术可以在项目生命周期的每一个阶段达成信息的集中化管理以及共享, 同时还能把设计、施工、成本、进度以及运维等多个维度的数据有机地整合到一块儿, 以此给决策提供具有一定科学性的依据, 进而提高工程管理的精准程度以及工作效率。在实际的操作当中, BIM 技术凭借着三维立体化的建模功能、工程量的自动计价功能、施工过程的模拟功能、进度与成本的动态管理功能以及竣工档案的数字化功能等等, 一方面优化了施工组织以及资源配置的情况, 另一方面也有效地降低了施工风险, 使得

工期得以缩短, 成本能够得到控制, 并且让工程质量有了提升。本文会全面且细致地探讨 BIM 技术在建筑工程项目管理当中的应用价值以及实践的具体路径, 希望能够为建筑工程管理实现数字化转型以及高效地去落实相关工作给予理论层面的支持以及实践方面的参考。

### 1 BIM 技术在建筑工程管理中的应用价值

#### 1.1 三维立体化渲染

三维立体化渲染算得上是 BIM 技术于建筑工程管理范畴内的一项核心应用, 其借助三维数字建模以及可视化技术, 把二维的设计图纸转变成直观且逼真的三维建筑模型, 进而让项目各个参与方能够在虚拟的环境当中直观地去查看建筑的结构情况、空间布局状况以及材料呈现效果。这样的渲染方式一方面能够精准地反映出设计意图以及构造细节, 另一方面还能够凭借对光照、材质、色彩等方面的模拟来呈现出真实环境的效果, 从而给设计优化、方案比对以及施工决策给予直观的参考依据。在工程刚开始的阶段, 三维立体化渲染能够助力业主、设计师以及施工

方更为妥善地理解并评估方案,减少由于图纸理解存在偏差而引发的设计变更情况出现;在施工正在进行的过程中,它又可以充当施工指导以及沟通方面的辅助工具,以此来提升信息传递的效率,防止出现返工以及资源浪费的现象;而在项目展示以及交付的环节里,它还能够作为可视化的成果去向业主以及相关各方展示建筑成品的实际效果,进一步提升项目的形象以及说服他人的能力。

### 1.2 提高工程量计价的准确率

提高工程量计价的准确率属于 BIM 技术在建筑工程管理方面的重要价值体现。BIM 技术会构建精确至构件级别的三维信息模型,把建筑的结构、构件尺寸、材料种类以及工程工序等相关数据整合到同一平台,达成对工程量的自动化且精细的计算效果。和传统依靠二维图纸靠人工来统计的方法相比较而言,BIM 能够直接从模型当中提取出各个构件的尺寸、面积、体积等方面的信息,如此一来便能降低人工计算出现误差的可能性。并且在设计做出修改或者施工方案进行调整的时候,它还能够自动更新工程量数据,进而保证计价结果和最新的设计能够保持一致的状态<sup>[1]</sup>。除此之外,BIM 技术还能够把工程量和材料价格、人工成本、机械使用费等关联起来,实现对全过程动态成本的有效控制,让计价的过程变得更加透明而且具有可追溯性,防止因为数据存在不一致的情况、信息出现滞后现象或者统计工作有疏漏等问题而造成的预算偏差情况出现。

### 1.3 精确规划

精确规划算得上是 BIM 技术于建筑工程管理方面的重要优势之一。其可将建筑、结构、机电等诸多专业的信息予以集成,进而构建起一个完整的数字模型,此模型囊括了几何尺寸、物理特性、施工工序以及运维信息等内容,能够为项目给予全方位且可视化的规划方面的有力支持。借助 BIM 技术,管理人员可在施工开始之前针对场地布置、施工顺序、资源投入以及设备安置等情况展开模拟与优化操作,如此一来便能提前察觉到潜在存在的设计冲突以及施工干扰情况,从而有效降低施工过程中因方案不够完善而引发的返工以及延误等问题出现的可能性。与此 BIM 所具备的可视化以及数据驱动方面的特性,让规划得出的结果变得更为直观,也更加便于各方之间的沟通交流,有利于业主、设计方以及施工方能够在统一的数字平台之上协同开展决策工作,达成方案的快速比选以及优化目标。

### 1.4 提升工程的经济效益

要提高建筑管理工作水平,要在确保产品质量的条件下缩短周期、增加效率,以降低建筑生产成本。当建筑工程管理成本下降同时减少浪费则可以确保公司效益的最优化,从而推动公司经济效益增长。BIM 技术在建筑行业的运用涵盖了工程项目策划、实施、施工和运营四大阶段,其中还涉及二十多种类别,使工程项目的管理条例更加清晰,也可以精确掌握施工过程管理所需的数据信息,和传统的设计方法比较该技术可以给公司创造更大的利益价值。

## 2 BIM 技术在建筑工程管理中的应用

### 2.1 决策阶段的应用

在决策阶段,BIM 技术可为建筑工程管理给予科学、直观且数据丰富的决策依据,如此一来,方案选择的合理性以及可行性均能得到明显提升。借助构建集成建筑、结构、机电以及环境等诸多专业信息的三维可视化模型,决策者便能够对项目的整体布局、空间关系、材料构成还有施工条件有全面的认识,进而直观地去评估不同方案在功能、美观、成本以及施工可行性等方面所存在的差异。与此 BIM 技术还能够联合成本数据库、进度计划以及能耗分析工具,针对各个方案展开多维度的量化评估,达成对投资回报、工期安排以及可持续性等方面的综合性分析。在这个过程当中,BIM 所具备的碰撞检测功能是能够提前察觉到设计冲突与施工风险的,以此避免在实施阶段出现重大的变更情况以及产生额外的费用。BIM 平台还能够支持多方开展实时协作,使得业主、设计单位、施工方以及咨询机构可以在同一个数字环境当中共享信息、实现快速沟通并且达成一致意见,进而加快决策的效率,并且保证决策的科学性以及前瞻性。

### 2.2 设计阶段的应用

在设计阶段,BIM 技术凭借创建精准的三维信息模型,把建筑、结构、机电等多个专业的设计数据整合到同一平台,达成跨专业的协同设计以及信息共享,进而大幅度提升设计工作的效率与质量。设计人员能够借助 BIM 模型开展可视化展示,让空间布局、构造细节以及材料选择更为直观,方便及时察觉并处理由设计冲突、尺寸不匹配或者功能不合理所引发的问题<sup>[2]</sup>。BIM 的碰撞检测功能于设计阶段可提前辨识结构与管线、设备等之间的干扰,防止施工时出现返工和浪费的情况,还可依靠参数化建模实现设计方案的快速修改与优化,提升设计的灵活性与精确度。BIM 技术能与成本、工期以及能耗分析相融合,针对不同设计方案开展多维度的量化评估,为优化设计给予科学依据。

### 2.3 在质量管理方面的应用

在质量管理领域,BIM 技术把建筑、结构、机电等诸多专业涉及的设计、施工以及运维方面的各类信息都整合进统一的数字化三维模型当中,达成了针对全过程、涵盖全要素的质量控制以及质量追溯。借助 BIM 模型,管理人员可在施工开始之前对各个分部分项工程展开虚拟建造方面的模拟操作,提前将设计冲突、施工难点以及潜在的质量风险给识别出来,从而从源头处降低返工情况以及质量事故发生的可能性。在施工推进的过程里,BIM 能够和施工进度计划、检测数据以及现场监测系统实时地联动起来,把构件安装的具体位置、施工所采用的工艺、材料的规格等相关信息精准地关联到模型里面,如此一来便于对质量状况进行动态的跟踪,并且可以及时地纠正偏差。与此 BIM 平台还支持针对施工过程中产生的质量检测记录、影像资料以及整改信息开展数字化的归档工作,进而实现质量数据的可视化以及长期的质量追溯,这无疑为竣工验收

以及后期的运维工作提供了较为可靠的依据。

#### 2.4 项目规划管理方面的应用

在项目规划管理这块领域当中，BIM 技术凭借构建起能够把建筑、结构、机电等多个专业的相关信息都整合进来的三维数字化模型，达成了针对项目整个生命周期展开的精细化规划以及动态化的管理工作开展。依靠着 BIM 平台，管理人员在项目刚开始筹备的时候，便可以对施工场地该如何布置、施工的先后顺序怎么安排、设备又该怎样安置、材料要如何堆放以及人员的流动路线怎么设定等一系列事宜展开直观且可视化的模拟操作，进而科学合理地去优化施工组织方面的设计工作，以此来降低施工过程中可能出现的各种冲突情况以及资源方面的浪费问题。与此 BIM 技术还能够和进度计划、成本预算还有资源配置等相关数据紧密地关联起来，使得项目的规划不仅仅只是在空间以及时间这两个层面上有所涉及，而且还可以达成对成本、工期以及资源等方面的综合平衡与优化处理。凭借着参数化以及信息化的管理方式，规划方案在遇到设计发生变更或者施工条件出现变化的情况时，就能够实时地做出相应调整，并且同步地将这些调整更新到所有与之相关的各方人员那里，从而保证规划具备及时性以及准确性这两方面的特点。

#### 2.5 施工环节的成本管理

在施工环节展开成本管理的时候，BIM 技术把工程量方面的信息、施工进度以及费用数据加以高度整合，由此达成了对成本实施动态监控以及精细化控制的目的。凭借 BIM 模型，管理人员可在施工开始之前精确地提取出各个阶段所需要的工程量，并且把这些工程量和材料的价格、人工的费用、机械使用的费用等相关数据相互关联起来，进而形成较为精准的预算依据，防止由于估算不够准确而出现的成本超支情况。在施工进程当中，BIM 技术能够实时对工程进度以及资源消耗状况予以跟踪，把实际所产生的成本和预算当中的成本进行对比分析，从而能够及时察觉到偏差并且加以纠正，以此来削减不必要的浪费<sup>[3]</sup>。除此之外，借助 BIM 平台和企业自身的成本管理系统进行对接的方式，可实现对材料从采购、运输、使用一直到库存这一整个过程的信息化管理，如此一来便能减少中间环节出现的损耗以及价格方面存在的波动风险。与此 BIM 所具备的可视化以及模拟功能让不同的施工方案在成本上存在的差异得以直观地呈现出来，这有利于管理层去挑选最为优质的方案，进而提升投资所获得的效益。

#### 2.6 在进度管理上的应用

在进度管理这块领域，BIM 技术把施工计划和三维模型紧密融合起来，达成了对工程进度进行可视化、动态化以及可预测化的管理效果。项目的管理人员能够凭借 BIM 模型把施工任务细化分解至具体的构件、工序以及时间节点上，进而制定出精确的施工进度计划。并且还能

能够在虚拟的环境当中针对不同的施工顺序展开模拟操作以及优化处理，提前去发现那些潜在存在的冲突情况以及延误风险，由此来制定出合理的调整方案。在施工实施的过程里面，BIM 技术可以实时地更新施工进展方面的数据，把这些数据与原本预定的计划相互对照分析一番，清晰直观地呈现出已经完成的以及尚未完成的工程量，助力管理者能够及时察觉到出现滞后的环节并采取相应的补救举措。除此之外，当 BIM 和物联网技术相结合之后，便能够借助传感器以及移动终端来采集施工现场的实际进度相关信息，并且还能自动同步到模型里边，达成进度管理的信息化以及自动化状态，从而削减人工统计所可能出现的误差以及延迟状况。

#### 2.7 在竣工中的应用

在工程竣工阶段，BIM 技术可给建筑工程带来周全、精准并且具备追溯性的竣工管理助力，达成从施工直至交付的数字化闭环状态。借助 BIM 模型，竣工验收人员能够直观查看各个分部分项工程的施工状况、构件安装的具体位置以及质量检测的相关记录，迅速核验实际施工情况与设计图纸是否一致，以此保证竣工质量契合规范以及合同方面的要求。与此 BIM 技术可以把施工过程中所产生的各类数据、检测报告、变更记录还有设备资料统一集中存档起来，进而形成完整的竣工档案，为后续运营、维护以及管理工作给予可信的数字化依据。BIM 平台还能够和运维管理系统实现对接，把建筑的空间信息、设备信息、材料信息以及维护计划整合进模型当中，达成建筑生命周期的持续管理与优化目标。

### 3 结语

BIM 技术于建筑工程项目管理而言，已然发挥出了颇为重要的作用。该技术借助三维建模以及信息集成的方式，达成了针对设计、施工、进度、成本还有质量等方面的精细化管理效果，进而提升了各个参与方协同工作的效率，同时也削减了施工过程中存在的风险，并且对资源配置也进行了优化处理。伴随 BIM 技术持续不断地发展以及广泛地推广开来，其在建筑工程管理当中的应用范围将会变得更为广阔，从而能够为项目实现高效的实施以及高质量的交付给予强有力的保障。

#### [参考文献]

- [1]刘斌,李本奎.BIM 技术在建筑工程项目管理中的应用[J].住宅与房地产,2025(20):59-61.
- [2]张浩山.BIM 技术在建筑工程施工管理中的应用研究[J].现代工程科技,2025,4(12):177-180.
- [3]姜会会.BIM 技术在建筑工程管理中的应用研究[J].砖瓦,2025(4):109-111.

作者简介：曹珍榕，（1991.10—），毕业院校：南京林业大学，所学专业：园林，当前就职单位：连云港市城发商业运营集团有限公司。

## 土建工程管理及施工质量控制研究

李剑男

北京外交人员服务局, 北京 100100

[摘要]文中立足于当下建筑业快速发展的大背景, 将目光聚焦在土建工程管理以及施工质量控制方面所存在的核心难题之上。通过对项目前期论证环节、合同管理环节以及施工过程控制环节等这些关键环节当中普遍存在的各类问题展开系统分析, 并且结合某热力管线工程这一典型案例, 去深入剖析诸如工程量估算出现失误、合同制定较为草率等等具体的管理缺陷, 以及由此产生的连锁反应。在此基础上, 研究有针对性地提出了诸如加强前期论证工作、完善合同体系构建、强化过程中的精细管控举措以及创新监督机制等方面的优化对策, 以此来为提升工程质量的效能给出一条实践层面的可行路径。

[关键词]土建工程; 施工质量; 过程控制

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17517

中图分类号: TU712

文献标识码: A

### Research on Civil Engineering Management and Construction Quality Control

LI Jiannan

Beijing Diplomatic Service Bureau, Beijing, 100100, China

**Abstract:** Based on the rapid development of the construction industry, this article focuses on the core challenges in civil engineering management and construction quality control. Through a systematic analysis of various problems commonly found in key stages such as project pre demonstration, contract management, and construction process control, and combined with a typical case of a thermal pipeline project, this study delves into specific management deficiencies such as errors in quantity estimation and hasty contract formulation, as well as the resulting chain reactions. On this basis, targeted optimization measures such as strengthening preliminary argumentation work, improving contract system construction, enhancing fine control measures during the process, and innovating supervision mechanisms have been proposed to provide a feasible path at the practical level for improving the efficiency of engineering quality management.

**Keywords:** civil engineering; construction quality; process control

我国经济社会发展进程不断加快, 基础设施建设方面所投入的力度也在持续增加, 在“十四五”这个阶段当中, 预测全社会建筑业的总产值将会超出 30 万亿元, 在这样的大背景之下, 工程建设的规模一直在不停地向外扩张, 建设的速度也有了较为明显的提升, 然而与之相伴的是, 工程的质量以及安全事故时常出现, 这给国计民生带来了极为严重的损失, 当下, 怎样去创新工程管理模式, 进一步强化施工全过程的精细化管控措施, 从而提高工程建设的质量, 已经变成业内广泛聚焦的一个热点且棘手的难题。

#### 1 土建工程质量的重要性

工程施工质量控制管理是一项系统性过程, 其中涉及要素与环节相对较多, 且在现代土建工程施工质量控制管理精细化的发展趋向下, 工程施工质量控制更应明确责任主体, 丰富质量控制手段, 提高质量控制成效。从当前工程施工质量控制实际来看, 影响其实施效果的主要因素包括人为因素、材料因素、方法因素、机械设备、环境因素等, 这些不同因素的衍生范围存在显著差异, 应在相关规则要求范围内, 实现质量控制措施的层次化与系统化。近年来, 国家相关部门高度重视土建工程施工质量控制管理

模式与路径的创新, 在质量控制标准规范、过程分析、效果评价等方面制定并实施了具有导向性政策, 为新时期全面突破土建工程施工质量控制局限注入了新鲜动力与活力<sup>[1]</sup>。同时, 各地工程质量控制管理单位同样在创新质量控制理念, 整合工程施工质量控制管理资源要素等方面进行了积极探索, 提高了项目管理事前控制、事中控制与事后控制等环节之间的衔接性与匹配性。尽管如此, 受工程项目特定条件的束缚, 当前其质量管理中依旧存在诸多短板, 质量管理的体系化水平相对不足, 质量控制措施的针对性有待进一步加强。

#### 2 土建工程质量影响因素分析

##### 2.1 项目前期论证不充分

前期论证在工程建设里堪称基石一般的存在, 它的详尽程度以及准确与否, 会直接影响到后续设计以及施工能否顺利推进。要是前期论证做得不够充分, 那通常就会出现诸如关键资料收集得不齐全、现场踏勘的范围不够广、技术方案比选时不够细致、投资估算做得比较粗糙等情况。如此一来, 就很容易引发设计出现偏差、工程量清单不够精准、投资难以把控等一系列相互关联的问题<sup>[2]</sup>。尤其是

在那些场地条件比较复杂或者受到诸多限制的项目当中,要是没能完成完整的踏勘工作,那就极有可能成为极为严重的隐患所在。更为让人感到忧虑的是,有一部分项目即便是在前期就已经发现了疑点,可是在后续的设计环节中,依旧没有能够有效地去复核以及纠正这些疑点,进而致使错误得以延续并且不断被放大。

## 2.2 合同管理风险

合同乃是明确各方所拥有的权利、责任以及利益,同时对工程实施起到规范作用的关键法律文件。合同管理方面存在的风险,大多是因为在制定时过于草率,条款约定不够清晰明确,各方的权责利出现失衡情况,而且对于一些特殊的政策要求,像是中央财政资金管理等方面考虑得不够周全。合同存在倒签现象,支付条款也往往脱离实际,风险分担方式也不够合理,这些问题在实际操作中普遍存在。招标代理机构的选择以及该机构所具备的专业能力同样有着极为重要的意义,其是否能够合理地预估招标周期,能否对合同的关键条款予以准确审核,这将直接对项目能否顺利启动以及按照约定顺利履行产生影响。合同文本在严谨性以及可执行性这两方面都存在不足,这为后续工程的实施埋下了诸多纠纷以及履约困难的隐患。

## 2.3 施工过程控制缺陷

施工属于将蓝图转化为现实的重要阶段,在这个阶段当中,过程控制方面存在的缺陷是最为直接地引发质量问题的环节。具体而言,这里涵盖了技术交底不够清晰明确、施工工艺没有得到严格执行、材料进场时的检验工作在把关上不够严谨、工序验收仅仅停留在形式层面、对于质量通病的防治举措力度不足,还有进度款的支付情况和工程的实际进度出现脱节等情况。由于过程监管呈现出较为粗放的状态,精细化的管控手段有所缺失,并且质量责任追溯体系也存在不完善之处,这就致使许多的质量问题没办法被及时地发现出来,更无法得到有效纠正,最终对工程的整体质量产生了影响。

# 3 施工质量控制优化对策

## 3.1 加强前期论证管理

前期论证环节在很大程度上决定着项目的最终成败,所以务必要将其当作关键环节来对待,给予高度重视。其中,保证踏勘工作的全面性以及真实性是首要任务,特别是在受限场地的情况下,要充分利用无人机航拍、地质雷达探测等现代技术手段开展补充勘查工作,把现场条件彻底弄清楚<sup>[3]</sup>。还要建立起严格的可行性研究报告质量内审以及第三方评估机制,着重对工程量估算的逻辑、技术方案的可行性以及投资估算的合理性进行复核。依据 2025 年住建部所推行的新规要求,重大工程前期论证报告必须要包含不少于 3 个可比技术方案的详细比选论证内容。设计单位应当肩负起复核可研基础数据的责任,一旦发现存在重大偏差的情况,要及时发出预警并且对方案加以修正,

绝不能让错误延续下去。

## 3.2 完善合同管理体系

合同管理需讲究精细化以及具备前瞻性。合同起草要紧密贴合项目特点以及资金来源的特殊要求,明确约定支付条件、时间节点、风险分担还有违约责任等方面内容。严禁出现倒签合同的情况,可以通过设置附条件生效条款来处理前置服务和资金到位之间的时间差问题,比如规定“立项获批并且财政资金下达之后才支付服务费”。选择招标代理机构的时候,要着重关注其专业能力以及同类项目的相关经验,要求其在招标策划阶段就能合理预估时间,保证招标文件留出足够的合同谈判以及开工准备周期。合同里的支付条款,像预付款、进度款的设定,得充分考量项目实际进度安排以及可能存在的审批流程所需时长,提高其可操作性。对于施工合同的关键条款,例如工期、质量、价款、支付等内容,务必要经过严格的法律与商务方面的审查。

## 3.3 强化过程精细化管控

施工过程中的质量控制务必要达成精细化以及动态化的程度。要广泛推行 BIM 技术,将其应用于深化设计方面,同时用于碰撞检查以及施工模拟环节。借助智慧工地平台,将物联网传感器加以集成,以此来实时且细致地监控关键工序的质量状况,像混凝土浇筑时的温度情况、养护期间的湿度状况以及大型设备的运行状态等。还需建立起材料从其产地一直到施工现场的全过程具备可追溯性的系统。要严格按照样板引路制度以及工序举牌验收制度来执行,以此保证质量标准能够直观地传递出去,并且责任明确到具体的人身上。进度款支付申请以及审批流程应当尽可能地朝着线上化以及标准化的方向去努力,并且要和经由监理严格确认过的工程形象进度以及合格工程量紧密地关联起来,防止出现支付滞后或者超前的情况。要引入第三方来进行过程飞检以及评估工作,针对质量风险展开独立的诊断分析。

## 3.4 创新质量监督机制

探索构建融合政府监管、社会监督以及市场信用评价等多方面因素的全新质量监督机制。积极推动工程质量潜在缺陷保险也就是 IDI 的应用实施,借助引入专业的风险管理机构即 TIS 来开展全过程的质量风险评估以及巡查工作,依靠市场方面的力量进一步强化工程质量在过程中的管控力度。对建筑市场主体信用体系予以完善,把工程质量的表现情况和企业的资质、招投标的资格紧密地关联起来。运用信息化的相关手段将关键工序、主要材料的质量信息以及监管的结果都予以公开,从而接受社会公众的监督。搭建起基于大数据分析的工程质量风险预警平台,以此提升工程质量监管工作的精准程度以及主动出击的能力。

## 4 案例分析:某热力管线工程管理失效剖析

### 4.1 前期论证缺失引发的工程量严重偏差

该热力管线工程在处于可研阶段的时候就碰到了很

大的阻碍,因为现场在管理方面有所限制,所以没办法做到对整个区域进行全面且细致的踏勘,设计单位只是盲目地依照存在着重大问题的可研报告来开展相关的设计工作,这就埋下了三方面的隐患。其一,检查室的定位出现了错误,可研报告把本应该建在公寓楼地下室的热力检查室错误地描述成需要在室外重新翻建的独立混凝土结构检查室,这种根本性的错误使得土建工程量被严重地低估了。其二,管线长度存在虚增的情况,为了防止后期概算超出可研估算的风险,项目方在踏勘所得到的管线长度基础之上人为地乘上了一个放大系数,如此一来,立项批复的管线长度就严重地偏离了实际状况,最终施工完成的管线长度和批复长度相比,竟然惊人地缩减了 35.03%。其三,敷设方式发生了变更,原本批复里面包含了需要进行大开挖更换的直埋管路段,但是在实际施工过程中,所有的管线都放在了热力沟里面,只需要开挖工作坑就能够完成更换,施工方式的改变致使土方工程量又有了大幅度的减少。这一连串由于前期论证不够充分而引发的工程量严重“缩水”的情况,直接导致施工合同结算价 1349.98 万元比签约合同价 1753.15 万元下降了 23.00%,在结算阶段的商务谈判也因此变得极为艰难,整个周期远远超过了预期的时间,项目结算定案的工作也无法按时完成。根据 2024 年《市政公用工程结算偏差分析报告》所做的统计显示,行业的平均结算偏差率大概在 8.7%左右,而该案例高达 23%的偏差率远远超过了这个平均水平,这无疑凸显出了前期管理失控所带来的严重后果。

#### 4.2 合同管理草率导致的资金与进度困局

该项目在合同管理这块也暴露出了不少低级错误。由于在立项批复之前没办法申请到财政资金,项目单位便决定等资金下达之后再和可研编制单位补签合同。这种典型的倒签行为,其实是能够通过合同里设置附条件支付条款的方式,合理且合规地予以规避的。项目采取的是公开招标的形式,然而招标代理公司的经验颇为欠缺,既没能精准预估出招标所需的时间,也没能就合同的关键条款给出修改方面的建议。等到招标完成的时候,距离合同所约定的计划开工日期仅仅只剩一周时间了,这就使得合同约定的预付款支付流程在时间安排上压根儿没法操作得了。而且,作为热力工程,其施工是受到供暖期限限制的,一旦错过这个窗口期,就意味着工程会延期。预付款没有按照约定支付到位,再加上施工窗口被关闭,这两重打击直接致使工程没办法按照计划顺利启动起来。合同原本是规定要按月支付进度款的。可在实际的操作过程当中,因为支付审批流程特别冗长,再加上施工单位自身在预算报送方面又出现了延误的情况,在项目实施的这长达 6 个月的时间里,仅仅只是提交了 2 次进度款支付申请。如此一

来,资金支付和工程进度之间严重脱节,不但对施工方的现金流产生了影响,而且还极大地挫伤了施工方的积极性以及其在资源投入方面的力度,进而给工程的推进造成了不小的阻碍。

#### 4.3 案例映射的普适性管理缺陷与优化路径验证

此热力管线案例绝非个案,它清楚地反映出在土建工程管理里普遍存有的两大关键缺陷:前期论证工作敷衍塞责以及合同管理较为粗犷随意。在该案例当中,工程量估算出现极为严重的失真情况,结算价也出现了大幅度的下跌,并且合同支付条款还失去了效力,这些都是上述两大管理方面短板直接产生的结果。这也从反面证实了之前所提优化对策的迫切性以及正确性:只有实实在在地把前期踏勘以及可研复核工作做好,认真细致地去制定并且审核合同条款,同时要保证资金支付等关键合同义务具备可执行性,才能够从根源处避免出现类似的重大偏差以及履约困境。此案例所具有的警示意义颇为重大,其相关教训应当被广泛地汲取。

#### 5 结束语

提升土建工程质量是一项涉及全局且贯穿始终的系统工程。本研究通过深入剖析影响质量的关键因素,尤其是项目前期论证不充分以及合同管理风险所起到的核心作用,并且结合某热力管线工程由于踏勘环节缺失、合同签订草率致使工程量估算出现严重偏差、结算价格大幅降低等一系列连锁问题的典型案例,深刻揭示了管理精细化对于质量控制所具有的基础性意义。研究所提出的对策,比如强化前期论证的深度与准确性、构建精细严谨的合同管理体系、实施施工全过程动态化的精细化管理管控以及推动质量监督机制创新,为破解当前质量管理瓶颈给出了可行的路径。展望未来,只有将精细化管理理念深深植根于工程实践的每一个环节,强化责任的落实,善于利用技术赋能,并且不断完善监管与保障机制,才能够切实筑牢土建工程质量的防线,推动建筑业实现从“量”到“质”的根本性跨越,为国家基础设施建设的高质量发展打下坚实的基础。

#### [参考文献]

- [1]张宝珠.土建工程施工进度和施工质量控制与管理分析[J].中国住宅设施,2023(5):160-162.
  - [2]郭楚云.浅谈土建工程项目施工管理的施工监督及质量控制[J].四川水泥,2019(1):239.
  - [3]曹雪强.土建工程施工进度管理及质量控制措施研究[J].工程技术研究,2022,7(14):129-131.
- 作者简介:李剑男(1988.—),毕业院校:中国矿业大学(北京),所学专业:建筑与土木工程。就单位:北京外交人员服务局,职务:科员,职级:中级工程师。

## 建筑工程监理的现场管理及质量控制探讨

郑坚和

广东省建筑工程监理有限公司, 广东 广州 510000

**[摘要]**建筑工程监理属于极为重要的一环,其对于保障工程质量、确保施工安全以及把控工程进度都起着关键作用,它肩负着协调各个施工方面且监督整个工程实施进程的重要职责。随着建筑行业规模变得越来越大,技术也一天天变得愈发复杂起来,如此一来,现场管理以及质量控制所面临的各种挑战便显得日益突出且严峻。文中全面且细致地梳理了监理工作的基本概念以及具体职责,对现场管理的核心内容以及运用的方法进行了较为详尽的阐述。希望能够推动监理现场管理以及质量控制朝着更加科学化、规范化的方向不断发展,进而为保障建筑工程的安全以及质量给予相应的理论依据以及实践方面的参考。

**[关键词]**建筑工程监理;现场管理;质量控制

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17522

中图分类号: TU712

文献标识码: A

### Discussion on On-site Management and Quality Control of Construction Engineering Supervision

ZHENG Jianhe

Guangdong Construction Engineering Supervision Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510000, China

**Abstract:** Construction project supervision is an extremely important part, which plays a key role in ensuring project quality, ensuring construction safety, and controlling project progress. It shoulders the important responsibility of coordinating various construction aspects and supervising the entire project implementation process. As the scale of the construction industry continues to grow and technology becomes increasingly complex, the various challenges faced by on-site management and quality control become increasingly prominent and severe. The article comprehensively and meticulously outlines the basic concepts and specific responsibilities of supervision work, and provides a detailed explanation of the core content and methods of on-site management. I hope to promote the continuous development of on-site supervision management and quality control towards a more scientific and standardized direction, and provide corresponding theoretical basis and practical reference for ensuring the safety and quality of construction projects.

**Keywords:** construction project supervision; on-site management; quality control

### 引言

建筑工程属于基础设施当中极为重要的组成部分,其质量以及安全状况同社会的稳定状态和公共利益是紧密关联的。工程监理在建设单位和施工单位之间起到桥梁的作用,肩负着保障工程质量、把控工程进度以及落实工程安全等诸多关键职责。近些年来,随着我国建筑市场不断发展,工程项目规模以及复杂程度都在持续提升。特别是在现场管理以及质量控制这两个方面,存在着多头管理、信息化程度不足以及监理权威受到限制等一系列问题。鉴于此,深入分析现存的问题并提出相应的改进策略,目的在于推动我国建筑工程监理水平得以提升,达成科学且高效的现场管理以及质量控制目标。

### 1 建筑工程监理概述

建筑工程监理是由具备相应资质的监理单位依据相关法律法规、工程合同以及各类标准,针对建设工程开展的全程监督管理活动。其主要职责包含了对施工质量、安全生产、进度控制、造价管理等诸多方面的监管,以此来确保工程能够符合设计方面的要求以及规范所设定的标准。监理工作的关键点在于达成建设单位利益的最大化,

对各方关系加以协调,能够在施工过程中及时察觉并妥善处理出现的问题,进而保障工程得以顺利竣工。伴随建筑行业持续向前发展,监理职能也在不断地拓展延伸,既着重于技术质量的监管,同时也加强了对现场管理流程以及信息化手段的应用,促使监理工作朝着科学化、规范化以及信息化的方向去发展进步。有效的监理能够在提升工程质量和安全水平方面发挥作用,还能够助力建设单位节省成本、缩减工期,起到积极的作用。

### 2 现场管理的核心内容与方法

#### 2.1 施工现场组织管理

施工现场的组织管理属于现场管理工作里的核心内容,其主要目的在于借助科学且合理的组织安排方式,促使施工活动能够在规范并且安全的环境当中顺利地展开。有效的现场组织管理要做到明确施工现场各项职责的具体分工情况,要合理地去安排施工班组以及人员的结构构成,并且要确保各个工序之间能够实现顺畅的衔接。具体来讲,得要划定出施工区域范围,设置好安全防护方面的相关设施,以此来保证施工现场的通道可以保持畅通的状态,同时也要让物料的存放达到规范的要求。除此之外,

现场的管理人员还需要制定出详尽的工作计划以及执行方案,从而确保每天所要完成的施工任务都能够清晰且明确,避免出现工作重复或者遗漏的现象。施工现场的协调工作同样是非常重要的,在此期间,监理人员要和施工单位、设计单位还有建设单位进行密切的沟通交流,要及时地去解决施工过程当中技术以及管理方面所出现的问题,防止因为组织方面的混乱而导致工程出现延误的情况或者是发生质量方面的事故。凭借科学的组织管理手段,是能够大幅提升施工的效率的,还能够降低安全隐患的存在,进而保障工程可以顺利地向前推进。

## 2.2 安全管理措施

安全管理在建筑工程现场管理里占据着极为关键的地位,其乃是保障施工人员生命安全以及工程可以顺利推进的根基所在。安全管理所涉及的各项措施包含了从施工筹备阶段一直到施工整个过程当中的风险识别事宜、隐患排查相关工作以及防范控制方面的安排。监理单位应当依照国家有关安全生产的法律法规来制定出科学且合理的安全管理制度,要将各个岗位的安全职责予以明确,以此确保安全管理方面的责任能够切实落实到具体的人身上。与此还需定期去组织开展安全教育培训活动,借此提高施工人员的安全意识,同时也增强他们应急处置的能力。在施工现场应当设置起较为完备的安全防护设施,像防护栏杆、安全网还有警示标志这类设施都要有,通过这些来防止出现坠落、触电等各类事故。除此之外,监理人员得密切留心施工现场存在的危险源,要做好安全检查以及隐患整改方面的工作,要是发现了问题务必要及时地予以制止并且纠正,从而保证安全隐患不会存在任何死角。安全管理还包含着应急预案的制定工作以及相关的演练活动,这样能够提升应对事故的能力,尽力把安全事故给工程带来的影响降到最低限度。

## 2.3 施工进度控制

施工进度控制属于极为关键的管理环节,其重要性在于可确保工程能够依照计划所设定的时间节点顺利达成完工目标。这一环节和项目的整体效益以及建设质量紧密相关联。监理单位要依据工程的实际状况来编制施工进度计划,此计划务必要具备科学性与合理性,要清晰明确各个施工阶段各自对应的时间安排情况以及其中的关键节点所在,从而保证资源的配置能够和施工的节奏实现良好匹配。在施工正式开展的过程当中,监理人员应当定期针对进度的执行状况展开监督工作,以便及时且全面地掌握施工的动态变化情况,一旦发现有可能会对进度产生影响的潜在问题,就要立即采取具有针对性的相关措施去予以妥善解决。要对施工各工序的先后顺序以及彼此间的衔接予以合理协调,防止出现因作业之间发生冲突或者材料供应出现不足等情况而导致工期出现延误的现象。进度控制还需要和质量以及安全管理协同推进,切忌为了追求赶工

而引发质量事故或者是出现安全隐患。除此之外,借助信息化手段的应用,可以实时对进度的状态进行监测,凭借数据分析来为决策提供辅助支持,以此提升进度管理的精准程度。有效的施工进度控制一方面能够确保工程能够按时完成交付任务,另一方面也有助于降低工程成本并且提升施工的整体效率。

## 3 现场管理与质量控制中存在的问题分析

### 3.1 多头管理导致的协调难题

在建筑工程项目当中,多头管理的现象是广泛存在的。这里存在多个管理主体,它们各自按照自己的方式行事,职责方面存在交叉情况,并且彼此间缺乏有效的沟通与协调,如此一来便使得现场管理陷入到混乱且无序的状态之中。建设单位、监理单位、施工单位以及设计单位等诸多方面的管理任务还有决策权限都在现场相互交织在一起,其间缺少一个统一的协调平台,信息反馈的速度也不够及时,对于指令的执行更是难以做到跟进落实。各方所具有的利益诉求各不相同,常常会出现相互之间推卸责任以及争夺管理权限的状况,这无疑对施工效率以及质量保障产生了极为不利的影响。多头管理还很容易形成管理盲区并且出现重复管理的情况,资源的浪费程度颇为严重,工程现场的安全隐患以及质量风险也随之不断加剧。监理作为工程质量和进度的监督者,在多头管理这样的环境下,其原本具有的权威性被大大削弱了,很难再发挥出它本该有的调控作用。要解决多头管理的问题,那就需要去构建起一套科学合理的管理协调机制,清晰明确各方的职责边界所在,强化信息共享以及沟通协作方面的力度,推动管理流程朝着标准化和统一化的方向发展,从而达成工程项目能够实现高效协同管理的目标。

### 3.2 信息化管理水平不足

当前,我国已进入信息时代,工程建设规模越来越大,所用技术越来越复杂,对人员的要求也越来越高。当前,信息化已成为企业最重要的管理工具,但工程监理仅将信息技术应用于招投标、项目成本、预算等方面,忽视了进度、质量、安全控制,降低了工程监理的效率。另外,系统中存储的监理信息只用于监理过程,不能被外部访问。由于市场竞争的压力,公司各部门的信息不能及时传递,造成项目不同阶段监理信息的保存、共享、时序传递等问题,导致监理项目资料不完整,最终结果与工程实际质量存在较大误差。

### 3.3 监理权威受限问题

当前建筑工程监理工作当中,监理权威受到限制的情况普遍存在,并且这已然成为亟待去解决的一个难题。监理单位本应在工程质量和安全方面充当监督者的角色,理应拥有独立且公正的监督地位。然而在实际的现场管理环节里,监理人员往往由于施工单位给予的压力或者存在的利益冲突缘故,没办法有效地去行使自身的监督权力。有

一部分施工单位对于监理所提出的质量安全相关要求根本不予配合,甚至还故意去阻碍监理工作的正常开展,如此一来便使得监理人员在质量控制以及安全监督这些方面都处于一种十分不利的地位。除此之外,监理人员的素质呈现出参差不齐的状态,其专业能力也有欠缺之处,这也进一步对他们的权威性造成了削弱。就制度保障这一层面而言,监理单位的监管职责以及权限并没有得到清晰明确的界定,同时也缺乏相应的法律方面的有力支持,这就致使执法的力度有所不足。监理权威受限这种情况会直接对监理工作的质量以及效果产生影响,甚至有可能引发工程质量方面出现诸多隐患并且安全事故频频发生。要提升监理权威,那就得从强化法律法规的建设工作、完善相关的监管制度、提高监理人员的专业水平以及加大执法的力度等多个不同方面来着手展开行动,以此来切实保障监理工作能够顺利地推进开展下去。

#### 4 提升现场管理及质量控制水平的策略

##### 4.1 完善监理规划与实施细则

完善的监理规划可视为现场管理和质量控制方面的蓝图,其能够为整个监理工作给予方向以及依据方面的指导。监理规划需要全面且细致地分析工程所具有的特点、存在的技术难点还有潜在的风险点,并且要清晰明确地界定出监理的范围、需要重点把控的内容以及各个时间节点<sup>[1]</sup>。要结合具体项目的实际情况,去制定出科学合理的监理工作目标以及实施方案,将各个阶段的任务与职责进一步细化,以此来保证监理工作可以顺利且有序地向前推进。其中包含质量检查、资料管理以及安全监督等诸多内容,要将工作流程以及考核标准进一步细化,从而提高监理工作的执行力。借助完善规划以及细则这两方面的工作,构建起标准化的监理管理体系,以此来保障监理工作的系统性以及连贯性。

##### 4.2 加强施工材料及工序质量控制

建筑工程当中,施工材料属于极为重要的基本构成要素之一,其自身质量的好坏,会对工程最终成品的性能以及寿命产生极为直接的影响作用。所以,监理人员务必要对材料采购渠道给予严格的审核,以此来切实确保所采购的材料能够完全符合国家层面以及行业范畴所规定的各项标准,坚决杜绝出现以次品充当优质品的情况发生<sup>[2]</sup>。对于进入到施工现场的材料,应当实施抽样检测以及复检等相关工作,并且要建立起相应的材料质量台账,进而充分保证材料在使用过程中具备可追溯的特性。与此对于那些关键工序的质量把控,同样不可以被忽视掉。具体而言,监理方面需要进一步强化针对混凝土浇筑工序、钢筋绑扎工序以及防水施工工序等一系列重要工序在实际施工过程当中的监控力度,从而确保这些工序都能够严格按照设计要求以及施工规范的相关规定来予以执行。而对于那些

存在着质量隐患的工序,应当专门制定出具有针对性的控制举措,落实重点旁站以及巡查等工作,一旦发现存在问题,就要及时地加以处理解决。唯有通过对材料以及工序这两个方面都进行严格的把关操作,才能够切实有效地保障整个建筑工程的整体质量处于稳固且可靠的良好状态之中。

##### 4.3 应用 BIM 技术提升管理效率

BIM 技术凭借三维建模、信息集成以及动态模拟等手段,使得建筑工程管理在科学性以及效率方面都得到了大幅度的提升。监理单位若引入 BIM 技术,便能够达成对设计图纸展开可视化的审查这一目的,如此一来,便可以在很大程度上提前察觉到设计冲突以及施工难点,进而有效降低返工情况的发生概率以及质量事故出现的可能性<sup>[3]</sup>。而且, BIM 平台还能够实现施工进度、质量、安全等相关信息的动态更新与实时共享,监理人员借助这个平台,能够对现场的具体情况予以较为精准的把控,从而促使决策效率得以提升。结合移动终端以及云计算, BIM 技术还能够支持远程监控以及数据分析工作。大力推广 BIM 技术的应用,对于实现数字化、智能化的监理而言是十分有益的,也有助于推动建筑工程管理朝着智慧工地的时代迈进。

#### 5 结语

建筑工程监理方面,其现场管理以及质量控制的情况,对于保障工程在安全层面、质量层面以及进度层面都有着极为重要的作用,称得上是关键保障因素。就当下而言,随着建筑行业不断地向前发展,同时技术也在不断取得进步,在这样的大背景之下,监理工作所面临的各种各样的挑战,呈现出日益增多的态势。要想破解这一难题,可以通过对监理规划予以进一步的完善,着力强化针对材料以及工序的控制力度,并且积极去推广 BIM 技术的应用等方式来达成。如此一来,便能够有效地促使现场管理以及质量控制的水平得以提升。在未来的发展进程中,建筑工程监理需要持续深化信息化以及智能化方面的应用,以此来推动管理模式实现创新,进而不断提升自身的综合能力,从而确保建筑工程的质量与安全能够持续不断地得到提升,最终为建设高质量的基础设施贡献出自己的一份力量。

#### [参考文献]

- [1]何玉矛.建筑工程施工现场安全管理与质量控制分析[J].城市建筑空间,2022,29(2):871-873.
- [2]韩涛.建筑工程监理的现场管理及质量控制分析[J].住宅与房地产,2021(31):170-171.
- [3]陈凯.建筑工程监理的现场管理及质量控制探讨[J].工程建设与设计,2024(21):266-268.

作者简介:郑坚和(1986.11—),男,籍贯:广东,学历:本科,职位:监理工程师,研究方向:房建专业。

## 隔震控制技术在建筑设计中的应用

苏永东

成都华丰工程勘察设计有限公司南宁分公司, 广西 南宁 530000

[摘要]我国是多地震的国家,地震灾害给人民的生命财产安全带来了严重的威胁。隔震以及减震技术是提升建筑抗震性能的关键手段,在我国建筑领域一直是很重要的研究课题,而且也对建筑设计以及材料创新提出了较高的要求。所以,强化建筑结构的防震设计,提高建筑物自身的抗震能力就显得格外重要了。文中围绕建筑结构里的隔震减震措施,结合实际经验展开探讨,希望能为相关的研究以及工程应用提供一些参考。

[关键词]隔震控制技术; 建筑结构; 结构设计; 技术应用

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17525

中图分类号: TU352

文献标识码: A

### Application of Seismic Isolation Control Technology in Building Structure Design

SU Yongdong

Nanning Branch of Chengdu Huafeng Engineering Survey and Design Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

**Abstract:** China is a country with frequent earthquakes, and earthquake disasters pose a serious threat to the safety of people's lives and property. Seismic isolation and damping technology are key means to improve the seismic performance of buildings, and have always been important research topics in the field of architecture in China. They also put forward high requirements for building structural design and material innovation. Therefore, it is particularly important to strengthen the seismic design of building structures and improve the seismic resistance of buildings themselves. The article focuses on the seismic isolation and reduction measures in building structures, and explores them based on practical experience, hoping to provide some references for related research and engineering application.

**Keywords:** seismic isolation control technology; building structure; structural design; technology application

#### 引言

随着城市化快速推进以及建筑高度持续升高,建筑结构所面临的地震安全方面挑战变得日益明显起来。传统那种刚性结构设计,在遭遇强震作用之时,常常会比较容易出现较为严重的震害情况,进而致使结构出现损伤状况,甚至还会发生倒塌现象,这无疑会给生命财产安全带来极为严重的威胁。要想切实有效地降低地震灾害所带来的风险,提升建筑自身的抗震性能,隔震控制技术作为一种颇为先进的结构抗震方式,正逐步变成现代建筑设计中的一个极为重要的发展方向。隔震技术是借助于在建筑物的基础部分和上部结构之间去设置隔震装置,以此来大幅度地降低地震能量传向结构时的强度,进而能够有效地缩减结构的地震响应程度以及内部力,进而对建筑及其内部的各项设施起到很好的安全保护作用。本文着重对隔震控制在建筑设计里面的理论根基、设计办法以及应用实践活动展开系统性的探讨,重点针对隔震结构的设计准则、计算分析的具体办法以及相关的结构举措展开细致分析,并且结合当下减隔震技术的发展走向与实际应用案例,进一步深入且透彻地剖析隔震技术在提高建筑抗震性能这个层面上所具有的优势以及面临的一些挑战。经由本文开展的相关研究,期望能够为建筑结构的抗震设计给予科

学方面的指导以及实践层面的参考依据,推动隔震控制技术在工程领域当中实现更为广泛的应用,促使城市建筑的整体安全水准得以提升。

#### 1 建筑设计中概念设计的原则

##### 1.1 简单性

在建筑设计方面,简单性属于概念设计的关键原则之一,其含义在于,在确保能够满足使用功能以及建筑美学要求的基础之上,要让结构形式、受力体系还有构造布置尽量变得规整、清晰且易于被人理解。具备简单性特点的结构体系,它的受力路径是清晰明确的,各个构件之间的连接关系也很直观,这有利于结构在像地震、风荷载这类复杂情况的作用之下呈现出不错的力学性能。与此较为简单的结构对于分析计算的准确性是有利的,能够在一定程度上降低设计以及施工环节当中的不确定性,进而提升施工的效率以及质量控制的程度。结构越是简单,那么其后续的维护管理工作就会越方便,在实际使用的过程当中,其安全性以及可靠性也会更高一些。

##### 1.2 整体性

整体性也是概念设计应用到建筑设计的重要原则之一,建筑结构能够使得惯性力以聚集的状态所存在,而且其也能够把所聚集的惯性力进行传递,从而使得各竖

向抗侧力子结构都可以有惯性力的存在,这就要求所设计的各个建筑子结构所具备的承载力能够以相同的状态所存在,这对于抵御地震自然灾害对于建筑的损害极为有用。

### 1.3 规则性和均匀性

在建筑结构设计进入概念设计这个阶段的时候,规则性以及均匀性便成为了保障结构安全性与可靠性的关键设计准则。这里所说的规则性,指的是结构在平面还有立面上的形状要尽最大可能呈现出对称的状态,而且规整有序,其内部的构件布置也要遵循清晰明确的几何逻辑,如此一来,当结构处于受力状态之下时,便能够展现出稳定且可以预估的反应情况。而均匀性所指的,则是结构的材料分布、刚度分布以及质量分布都要合理并且保持一致,务必要避免出现因为局部刚度发生突变或者质量过于集中这样的情况,进而引发应力集中、结构出现薄弱环节亦或是受力不够均衡等问题<sup>[1]</sup>。拥有良好规则性与均匀性的结构体系,一方面在抗震设计当中,对于结构整体协同发挥作用是有利的;在荷载的作用之下,还能够提升结构响应的均衡程度,降低扭转效应以及局部出现破坏的可能性。与此这样的设计方式还能够使计算模型得以简化,从而进一步提升设计以及施工方面的效率与精度。

### 1.4 优化选型原则

在建筑结构设计进入概念设计这一阶段的时候,优化选型原则在达成结构安全性、经济性以及功能性三者统一这件事上,占据着极为关键的地位。该原则着重指出,要先充分领会建筑功能方面的具体需求,清楚知晓其使用所处的环境状况,并且全面了解相关的工程条件。在此基础之上,再把结构体系、构件类型、材料所具有的特性还有施工工艺等诸多因素都综合起来加以考量,从而从中挑选出最契合项目自身特点的那种结构方案。通过对多种不同结构类型的相关受力性能、造价情况、施工时的难度以及耐久性等方面展开对比分析,进而从中甄选出技术层面较为合理、造价能够得到有效控制、施工起来相对方便并且后续维护也较为容易的结构体系。如此一来,既能促使结构的整体效能得以提升,又可切实有效地对工程成本以及工期加以控制。与此在开展优化选型工作的时候,还得考虑到结构所具备的抗震性能,还要顾及在后期使用过程中结构的可持续性,以此来保证建筑物在整个寿命周期里面都能够具备良好的安全性以及经济性。

## 2 隔震控制在建筑结构设计中的应用

### 2.1 隔震结构设计的方法

隔震结构设计这种方法乃是于传统抗震设计基础之上发展起来的一种较为先进的抗震技术手段,其主要意图是借助于在建筑物的基础以及上部结构这两者之间去设置隔震装置的方式,使得地震波传输入到上部结构当中的能量能够大幅度地得以减少,进而促使结构的地震响应得以降低,让建筑在遭遇地震的时候,其安全性以及稳定性

都能够得到提升。该方法最为关键之处就在于会把结构原本就有的周期人为地延长,使之处于远离地震能量相对集中所在的频段这样一个状态,如此一来便能够避开所谓的共振效应,进而让剪力、弯矩这类关键的受力参数有所减少<sup>[2]</sup>。常用的隔震设计方法涵盖了基于性能的设计法、时程分析法以及反应谱法等,在整个设计的过程当中,务必要综合考量诸如建筑类型、使用功能、场地类别还有地震烈度等诸多因素。设计人员首先得确定隔震层具体的布置位置以及隔震装置的类型,像铅芯橡胶支座、高阻尼橡胶支座、滑动支座等都属于常见的类型,之后再开展隔震参数的选定工作以及结构建模方面的工作,借助动力分析来对隔震系统的位移、加速度等相关指标加以计算,并且要针对隔震层刚度以及阻尼特性展开优化匹配方面的操作,以此来保证隔震装置在受到地震作用的情况下,具备良好的变形能力以及能量耗散能力。

### 2.2 隔震结构的计算分析

隔震结构的计算分析属于实现科学且合理设计的重要环节,其主要意图在于借助理论计算以及数值模拟的方式,精确评估隔震结构于地震作用之下的力学反应以及性能呈现状况。与传统的抗震结构不一样,隔震结构在设计方面得着重关注隔震层所具备的变形能力、能量耗散特性,还有上部结构和基础之间存在的动力耦合关联,所以它的计算分析流程会更加繁杂并且更有系统性。计算分析一般涵盖静力分析、模态分析,以及在地震动作用之下的非线性时程分析,而在这些当中,非线性时程分析乃是隔震结构设计里最具代表性且对精度要求最为严格的分析办法,它可模拟地震整个过程里结构的动力响应情况,精准地反映出隔震装置在不同地震烈度情形下的工作情形。在分析进程之中,要针对隔震装置的力学特性(比如双线性恢复力模型、滑动摩擦模型等)予以合理的建模操作,并且要结合场地地震动的特点来选取有代表性的地震记录作为输入,以此来评估结构的最大位移、层间位移角、基底剪力、加速度响应等一系列关键参数。除此之外,还得考量隔震系统的稳定性、复位能力以及材料非线性等方面的情况,从而保证其在强震作用之下不会出现失效或者遭到破坏的现象。

### 2.3 隔震结构设计步骤

隔震结构设计步骤是保证隔震系统能够安全、可靠且经济地运行的关键流程,一般涵盖多个环节,像初步方案的制定、隔震装置的选择、参数的确定、结构的建模与分析、构造的设计以及施工图的设计等。一开始,在初步方案这个阶段,设计人员要依据建筑的功能用途、重要程度等级、所处地区的地震烈度还有场地的具体情况来决定是不是采用隔震设计以及隔震层应当布置的位置,通常会将其设置在建筑物的底部或者裙房层,以此达成对上部结构起到隔离的效果。接着,挑选合适的隔震装置是非常重要的

的事情,得综合考虑结构的质量、刚度方面的需求以及变形的能力,从铅芯橡胶支座、高阻尼橡胶支座、滑动摩擦支座这些常见的类型当中做出合理的选型,并且还要对装置的滞回性能、耗能的能力以及复位性能展开评估<sup>[3]</sup>。之后,得确定隔震装置那些关键的设计参数,比如水平刚度、等效阻尼比还有最大位移能力,从而确保它在设防地震以及罕遇地震的作用之下都不会出现失效的情况。在建模与分析这个阶段,要构建起包含隔震层的整体结构模型,运用线性或者非线性的动力分析方法对结构在多组地震波输入时的响应加以计算,着重去分析上部结构的层间位移、基底剪力以及地震加速度的控制效果。再之后进入到构造设计阶段,需要重视隔震装置布置的均匀性、连接节点的构造情况、隔震层水平刚度的分布状况以及构件构造方面的细节,以此确保其有很好的施工可行性并且维护起来也较为便利。最终在施工图设计阶段,要完善隔震层的构造做法、施工安装的要求、监测控制的相关措施等内容,形成完整的专业技术文件体系,保障隔震结构在实际工程当中可以高效且可靠地发挥出预期的作用。

#### 2.4 减隔震技术方案的选择

减隔震技术方案的选择在建筑结构设计里属于实现抗震性能目标的关键环节,要综合考量建筑的使用功能、结构形式、场地特性、地震设防烈度、造价控制以及维护管理等诸多因素。在选择方案的时候,一开始得清楚项目所在地区的地震危险性以及场地条件,比如说,在软弱土层区域采用隔震技术来降低地震能量的传递更为适宜,而岩土条件不错且建筑高度不算太高的项目则可以优先去考虑减震技术,以此强化结构耗能的能力。接着,得依据建筑的结构体系还有功能的重要性来判断技术路线,像医院、学校、数据中心这类对地震响应控制要求比较高的关键工程,最好优先选用高效的隔震系统,比如铅芯橡胶支座或者滑动摩擦支座,从而保证关键设备以及人员的安全;而对于普通的民用建筑,那么可以采用阻尼器类的减震系统,像是黏滞阻尼器、摩擦阻尼器、金属屈服型阻尼器等等,同时兼顾经济性以及防震效果。还要对比各类技术方案在结构响应控制效果、施工工艺复杂程度、维护成本、耐久性等方面的实际表现,从中选出综合性价比最高的技术路径。

#### 3 建筑结构设计中的结构措施

在建筑结构设计环节当中,结构措施称得上是极为关键的一种手段,其主要作用在于保障建筑物能够在各类荷载的作用之下,依然能够具备足够的安全性、稳定性以及耐久性。这里所讲的结构措施,涉及的范围颇为广泛,包含了结构体系的选择事宜、构造细节方面的设计考量、材料性能的优化操作,还有构件之间协同工作的诸多方面。若能采取合理的结构措施,那么便能够切实有效地提升结构整体的刚度以及强度,进而让其抗震、抗风等应对极端

荷载的能力得以增强,如此一来,便可以在很大程度上降低结构出现损伤乃至发生倒塌的风险。在开展设计工作的整个过程当中,务必要依据建筑具体的功能需求以及实际的使用环境状况,去科学且严谨地选择与之相适宜的结构体系,像是框架-剪力墙结构、单纯的框架结构又或者是框架-核心筒结构等等,以此来保证结构体系能够实现合理受力,并且做到变形方面的协调一致<sup>[4]</sup>。与此那些细致入微的构造措施,比如对节点连接加以强化、合理地设置抗震墙体、对构件截面尺寸予以把控以及合理安排配筋情况等,这些都对于提升结构整体的性能有着至关重要的决定性作用。材料的选用情况以及性能优化的相关事宜同样属于重要的结构措施范畴之内。现代高性能混凝土以及钢材的应用情况,一方面提高了承载能力,另一方面也使得结构的延性和韧性都得到了相应的改善。并且,在结构设计工作当中,应当着重关注构件之间的协同工作这借助合理的连接方式以及恰当的刚度分配手段,促使结构体系能够针对外部荷载做出整体性的响应,进而达成能量的有效传递与耗散这一目标。

#### 4 结语

随着建筑高度以及复杂性持续提升,地震灾害给建筑结构安全性带来的挑战变得愈发严峻,隔震控制技术作为一款先进的抗震方式,在建筑结构设计当中的应用价值逐渐显现出来。凭借科学合理的隔震设计,不但可以大幅削减结构在地震作用之下的震动反应,保护建筑物及其内部设施的安全,而且能够拉长建筑物的使用寿命,提高整体的经济效益。这篇文章全面阐述了隔震结构设计的基本办法、计算分析以及结构举措,为达成高性能隔震建筑给出了理论依据与实践指引。在未来,随着材料科学、智能控制技术以及工程监测技术不断进步,隔震技术会变得更加成熟并且广泛普及,能为建筑抗震设计带来更多创新契机与发展空间。持续深入地开展隔震控制技术的研究与应用,能够有效推动我国建筑抗震水平的提升,确保人民生命财产安全,促使建筑行业实现可持续发展。

#### [参考文献]

- [1]种慧景.隔震控制在建筑结构设计中的应用[J].中国高新科技,2024(19):158-160.
- [2]陆好雨.隔震控制在建筑结构设计中的应用[J].中国建筑金属结构,2023,22(8):92-94.
- [3]张楠.隔震控制在建筑结构设计中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2024(10):89-91.
- [4]洪善政.概念设计在建筑结构设计中的应用[J].住宅与房地产,2017(27):73-78.

作者简介:苏永东(1990.12—),毕业院校:桂林理工大学,专业:土木工程,现就职:成都华丰工程勘察设计有限公司南宁分公司,职务:建筑结构设计,职称:中级。

## 关于花侯路浏阳河桥 0#块施工技术控制

何华平

和天(湖南)国际工程管理有限公司, 湖南 长沙 410006

**[摘要]**针对花侯路浏阳河桥 0#块大体积混凝土施工过程中所面对的高达 468m<sup>3</sup> 混凝土浇筑作业、7m 高支架体系搭设以及复杂的三向预应力体系等技术挑战, 此文系统阐述施工全流程的关键技术措施, 在支架设计方面, 采用了梁柱式钢管支架优化方案, 选用了直径 630mm、壁厚 8mm 的钢管作为立柱, 配合双拼的 I40b 工字钢作为横向和纵向的主梁, 这种组合设计地确保了支架体系的承载力和整体刚度, 非常地有效; 通过构建墩梁协同工作的临时固结体系, 成功实现了 0#块施工期间墩梁结构的共同受力, 显著提高了结构整体稳定性。对于混凝土施工, 特别采用了分阶段浇筑工艺, 首次浇筑高度被严格控制在 6.15m 以内, 此举主要目的为降低大体积混凝土内部水化热峰值, 从而减小温度裂缝产生的风险, 效果是明显的。预应力施工则严格遵循了纵向、横向再到竖向的张拉顺序, 必须精准控制张拉顺序与张拉力, 这样才能确保预应力体系内部应力获得合理分布, 马虎不得。同时, 采用 60%、80%、100% 的分级预压方法, 有效消除了施工过程中的初始变形, 大大提升了支架最终的受力状态, 压浆作业中引入的真空辅助压浆工艺, 则进一步提高了浆液饱和度和与管壁的黏结效果。借助 MIDAS 有限元建模分析进行的计算结果表明, 支架在最不利荷载组合下的最大应力达到了 146.02MPa, 该值远小于 Q235 钢材 215MPa 的设计强度; 支架竖向变形实测为 6.94mm, 被控制在 9.5mm 的允许变形范围内; 钢管墩的稳定性系数计算得 0.30, 满足现行规范要求。工程实践结果最终验证了各项技术措施的有效性, 为同类型桥梁 0#块施工提供了一套可借鉴的完整技术模式, 值得推广。

**[关键词]**浏阳河桥; 施工技术; 混凝土

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17523

中图分类号: TU74

文献标识码: A

### Regarding the Construction Technology Control of Block # 0 of Huahou Road Liuyang River Bridge

HE Huaping

Hetian (Hunan) International Engineering Management Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410006, China

**Abstract:** In response to the technical challenges faced during the construction of the block # 0 of the Liuyang River Bridge on Huahou Road, including the pouring of concrete up to 468m<sup>3</sup>, the installation of a 7m high support system, and the complex three-dimensional prestressing system, this article systematically elaborates on the key technical measures for the entire construction process. In terms of support design, an optimized scheme for beam column steel pipe supports was adopted, using steel pipes with a diameter of 630mm and a wall thickness of 8mm as the columns, and double spliced I40B I-beams as the horizontal and vertical main beams. This combination design ensures the bearing capacity and overall stiffness of the support system, which is very effective; By constructing a temporary consolidation system for the collaborative work of piers and beams, the joint stress of pier and beam structures during the construction of block # 0 was successfully achieved, significantly improving the overall stability of the structure. For concrete construction, a staged pouring process is particularly adopted, with the initial pouring height strictly controlled within 6.15m. The main purpose of this is to reduce the peak hydration heat inside the large volume concrete, thereby reducing the risk of temperature cracks. The effect is significant. Prestressing construction strictly follows the tensioning sequence of longitudinal, transverse, and then vertical, and requires precise control of the tensioning sequence and tension force to ensure a reasonable distribution of internal stress in the prestressing system. Carelessness is not allowed. At the same time, the use of 60%, 80%, and 100% graded preloading methods effectively eliminates initial deformation during the construction process, greatly improving the final stress state of the support. The vacuum assisted grouting process introduced in the grouting operation further improves the saturation of the slurry and the bonding effect with the pipe wall. The calculation results using MIDAS finite element modeling analysis show that the maximum stress of the bracket under the most unfavorable load combination reaches 146.02 MPa, which is much lower than the design strength of Q235 steel at 215 MPa; The measured vertical deformation of the bracket is 6.94mm, which is controlled within the allowable deformation range of 9.5mm; The stability coefficient of the steel pipe pier is calculated to be 0.30, which meets the current regulatory requirements. The engineering practice results ultimately verified the effectiveness of various technical measures, providing a complete technical model for the construction of the block 0 # of the same type of bridge, which is worth promoting.

**Keywords:** Liuyang River Bridge; construction technology; concrete

花侯路浏阳河桥作为长沙高铁会展新城关键工程, 主桥采用(70+120+70)m 预应力混凝土连续箱梁结构。其

中 0#块施工面临三重技术挑战：一是大体积混凝土浇筑量达 468m<sup>3</sup>，水化热控制难度大；二是支架搭设高度 7m，需承受 1241.6T 荷载，且位于浏阳河汛期施工区，防洪要求严格；三是三向预应力体系交叉作业精度控制复杂。传统施工方法在结构安全、变形控制及工序协同方面存在显著瓶颈。本文基于该工程实践，系统研究梁柱式钢管支架优化设计 φ630×8mm 钢管柱+双拼 I40b 工字钢传力体系、墩梁协同临时固结、混凝土分阶段浇筑工艺及真空辅助压浆等关键技术，通过 MIDAS 建模验证结构可靠性，旨在为同类桥梁 0#块施工提供可复用的技术范式。

### 1 工程概况

花候北路浏阳河桥合丰路-望龙路工程不含涉铁部分位于长沙市高铁会展新城片区西北侧，南起合丰路，北至望龙路。项目由长沙市武广新城开发建设有限责任公司投资建设，设计单位为长沙市规划设计院，施工单位为长沙市市政工程有限责任公司，监理单位为湖南和天工程项目管理有限公司。开工日期为 2020 年 11 月 12 日，竣工日期为 2024 年 4 月 28 日，合同总价约为 3.26 亿元，质量目标为优良。项目主桥为 70m+120m+70m 预应力混凝土连续箱梁桥，桥梁全长 260m、宽 30m，采用双幅布置，中间间距 2cm。主梁采用单箱单室断面，主墩为花瓶墩式矩形墩柱，基础为 9 根直径 2.0m 的钻孔桩。0 号块为关键施工段，混凝土总量达 468m<sup>3</sup>，重约 1241.6T，结构复杂，支架搭设难度大，技术要求高。地处浏阳河段，桥位线与水流垂直，周边地势平坦，属中亚热带湿润季风气候区，雨季集中于 4 月至 9 月，地质稳定，适合桥梁基础施工。桥梁部分墩位处于河道内，常年水深 2~5m，施工需重点考虑防洪通航和雨季施工组织等问题。

### 2 支架体系设计与结构验算

支架系统采用四级传力结构：第一级为承台预埋 500mm×500mm×20mm Q235 钢板，通过 8 块 200mm×200mm×15mm 加劲肋焊接固定；第二级由 25 根 φ630×8mm Q235 钢管柱构成竖向支撑，单节长度 6m，垂直度经全站仪校核偏差≤0.3%，柱顶焊接 δ=20mm 法兰盘，纵横向设置间距 4m 的[16 槽钢剪刀撑形成空间稳定体系；第三级传力构件为横桥向布置的 2 组双拼 I40b 工字钢承重梁，截面模量 2278cm<sup>3</sup>，跨中接头错开 1m 布置；第四级为顺桥向铺设的双拼 I40b 工字钢分配梁，中心间距 77.5cm，与承重梁采用间断焊连接；顶部模板支撑采用双拼[16 槽钢按 30cm 间距布置，上铺 8 号槽钢骨架+6mm 面板的 8.6cm 厚定型钢模，梁底变截面段按设计抛物线方程精确调平（图 1）。

荷载计算包含永久荷载与可变荷载：永久荷载含支架自重钢材容重 76.98kN/m<sup>3</sup>，计入 15% 连接件增重及 0#块有效荷载 6079.58kN 扣除墩身投影区 173.44m<sup>3</sup> 混凝土；可变荷载考虑施工人员、机具及材料堆载，按 2.5kN/m<sup>2</sup> 计得 423.18kN。采用 MIDAS Civil 建立三维杆系模型

进行极限状态验算（图 2）：承载力验算结果表明，在 1.2 倍自重与 1.4 倍活载组合作用下，钢管墩的最大轴应力为-53.84MPa，承重梁的最大剪应力为-76.43MPa，分配梁的最大弯曲应力为 118.56MPa，各项应力均未超过 Q235 钢材的允许应力 215MPa，满足强度要求。正常使用条件下，结构的竖向最大变形为 6.94mm，小于 L/400=9.5mm 的允许变形限值，满足正常使用功能要求。钢管墩的稳定性验算结果为 N/φAf=0.30，符合《钢结构设计标准》GB 50017—2017 的相关规定，结构整体满足安全与使用要求。

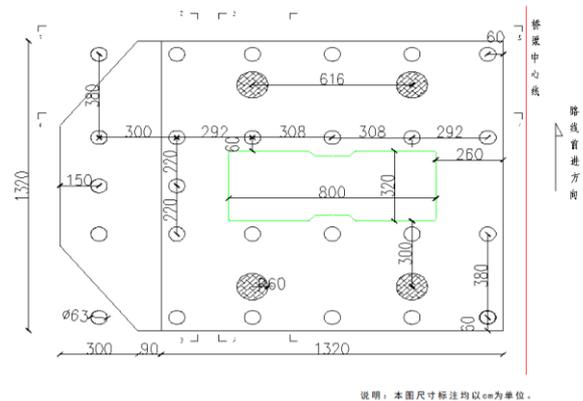


图 1 支架结构构造图

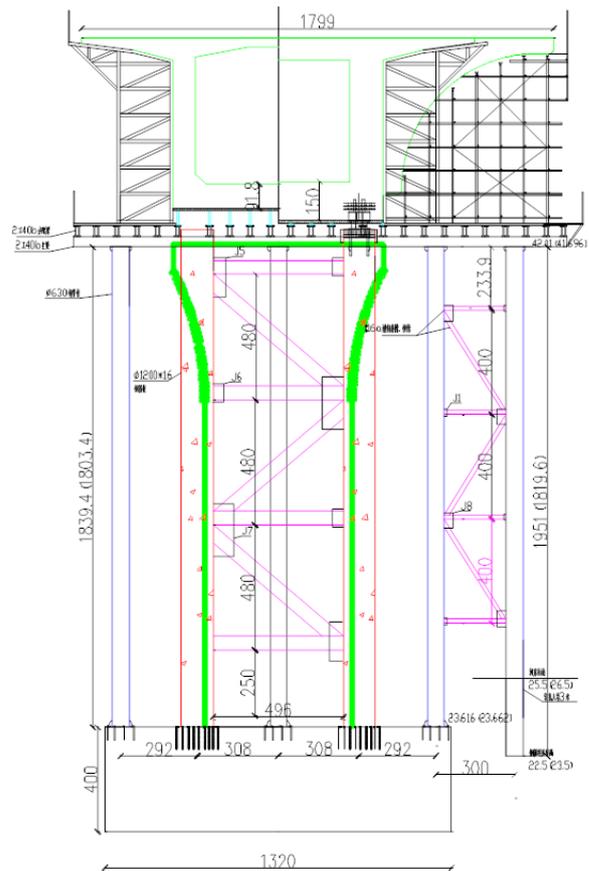


图 2 支架应力分布图

### 3 0#块施工关键技术

#### 3.1 支架搭设与分级预压

支架搭设执行标准化五步流程：第一步采用精度 0.5 秒的全站仪精准定位承台预埋钢板，确保平面位置偏差不得超过 2mm，预埋件与承台主筋通过满焊形成刚性整体；第二步分段吊装直径 630mm 壁厚 8mm 钢管柱，采用二氧化碳气体保护焊分层施焊环缝，每安装一节即用经纬仪双向校正垂直度至不超过 0.3%；第三步安装倾角 45 度的 16 号槽钢剪刀撑，节点板通过 M20 螺栓临时固定后实施围焊；第四步吊装双拼 I40b 承重梁，就位后与法兰盘采用 V 型坡口焊连接，焊缝长度不小于 200mm；第五步铺设顺桥向双拼 I40b 分配梁，端部焊接 200mm 乘 100mm 乘 10mm 加劲肋防止滑移。支架预压采用 1.2 倍有效荷载即 7803.31kN 分级实施：第一级加载至总重 60% 即 4682kN，第二级至 80% 即 6242.6kN，第三级至 100% 即 7803.31kN。监测系统在四分之一跨位置、跨中位置、四分之三跨位置设置三个关键断面，每断面布置 5 个测点，包含支架顶部 3 点加底部 2 点，采用 DSZ2 精密水准仪，精度 0.1mm，与振弦式应变计同步采集数据。变形控制执行严格标准：60% 荷载持荷 12h 后沉降均值不超过 1.8mm 方允许加载下一级；100% 荷载持荷 24h 沉降量不超过 1.0mm 判定合格<sup>[1]</sup>。实测数据显示：非弹性变形均值 2.3mm，弹性变形 4.2mm，依据此结果在底模设置最大值为 8.94mm 的二次抛物线型预拱度。

#### 3.2 临时固结施工与拆除

临时固结的解除施工需要严格按照对称分级同步卸载的原则进行操作，确保施工过程的安全性和结构稳定性。首先需要解除墩外钢管柱支撑体系，采用对称分级的方式逐步松开连接钢管柱顶部尺寸为 800mm × 800mm × 20mm 的传力钢板与承重梁之间的 10.9 级 M24 高强螺栓，每次操作不得超过 2 个相邻支点。在此过程中必须采用高精度监测设备实时监控卸载高差变化，确保相邻支点卸载高差严格控制在 2mm 以内，保持整体结构平衡。荷载的转移必须缓慢渐进进行，直至所有螺栓完全松开，使钢管柱顶部传力钢板与承重梁完全脱离接触。

随后进行墩顶混凝土固结块的破除作业，优先选用水磨钻机在固结块两侧对称打孔，逐步向中心区域破除尺寸为 3.5m 顺桥向乘 8.0m 横桥向乘 1.2m 高的 C55 混凝土块主体部分。当破除至距墩身顶面约 300mm 厚度时必须停止机械作业，剩余表层混凝土应采用人工凿除方式精细操作，特别注意保护墩身混凝土结构和预埋的直径 25mm 钢筋不受损伤。在钢筋处理阶段，需在距离墩身顶面 300mm 处精确切断所有外露的预埋钢筋，其原锚入墩身 500mm，外露 1000mm，切断后立即对钢筋断口及邻近区域实施三级防腐处理：先均匀涂刷三层环氧树脂防腐漆确保完全覆盖，待干后再紧密缠绕聚氯乙烯防腐胶带进行密封包裹。

整个解除过程必须配备电子水准仪对永久支座进行

连续实时位移监测，确保累计位移变化量严格控制在 5mm 以内。当监测数据接近或超过预警值时，必须立即暂停施工，组织技术团队分析原因并制定有效的调整措施，经确认安全后方可继续作业。每个施工环节都需做好详细记录，包括螺栓松开顺序、混凝土破除进度、钢筋处理情况及监测数据等，为后续施工提供完整的技术资料。施工过程中要特别注意各工序的衔接配合，确保临时固结解除过程中结构的受力体系转换平稳可靠。

#### 3.3 混凝土分次浇筑工艺

第一次浇筑底板及腹板下部 6.15m 高度：底板分两层浇筑，每层厚度 300mm；腹板分三层浇筑，每层 400mm。采用直径 50mm 与 30mm 插入式振捣棒分区分层操作。下料口设置在距梁端 1.0~1.5m 处，避免端部钢筋密集区骨料堆积。施工缝处理要求凿除浮浆至露出 75% 骨料面积，浇筑前铺设 20mm 厚同标号水泥砂浆。第二次浇筑顶板及剩余腹板：内模支撑采用  $\Phi 48 \times 3.5$ mm 盘扣式支架，立杆纵距 1.2m、横距 0.9m，顶托调平误差  $\leq 3$ mm。顶板标高控制通过在外腹板焊接纵向间距 3m 的  $\Phi 12$  钢筋标高点，挂设尼龙线调整平整度至  $\leq 3$ mm 每 m。预应力锚区采用直径 30mm 振捣棒在波纹管两侧 150mm 处对称振捣，严禁触碰金属波纹管。顶板混凝土初凝前实施二次抹面：首次木抹粗平，二次铁抹压光，间隔时间 2h。养护采用透水土工布覆盖，自动喷淋系统保持表面湿润，养护周期 14d。

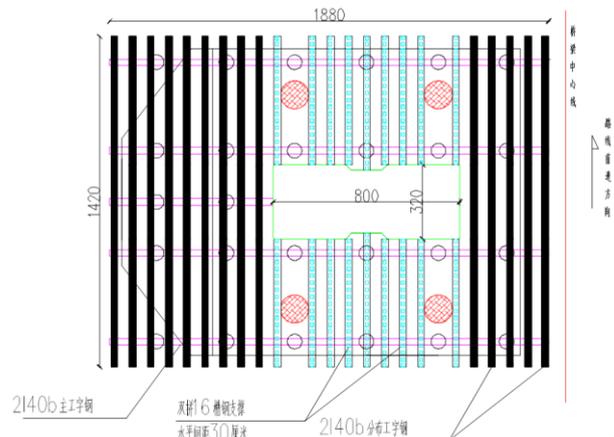


图 3 混凝土浇筑分区示意图

#### 3.4 三向预应力精细化施工

三向预应力体系包含纵向、横向及竖向三个维度的张拉控制：纵向预应力采用  $\Phi 15.2$ mm 高强度低松弛钢绞线，通过 YCW400 型千斤顶实施两端同步分级张拉，控制应力为 0.75 倍抗拉强度标准值即 1395MPa，张拉顺序遵循先长束后短束原则，两端油压表读数偏差严格控制在 5% 以内<sup>[2]</sup>；横向预应力采用扁锚体系单端交错张拉，由 YDC240Q 前卡式千斤顶执行，张拉顺序从桥梁中心线向两侧对称推进，P 型锚具端预先采用 200t 挤压机固定钢绞线；竖向预应力采用抗拉强度 785MPa 的 JL785 级  $\Phi 32$

精轧螺纹钢,通过YC60A千斤顶实施墩顶单端张拉,控制应力为0.9倍抗拉强度即706.5MPa,首次张拉完成后24h复拉以消除螺母空隙导致的预紧力损失。张拉过程中,实际伸长量 $\Delta L$ 按公式校核。

$$\Delta L = \frac{P_p \cdot L}{A_y \cdot E_g} \quad (1)$$

$P_p$ 为预应力筋的平均张拉力, $L$ 为预应力筋的长度, $A_y$ 为预应力筋的截面积, $E_g$ 为预应力筋的弹性模量,偏差值控制在 $\pm 6\%$ 范围内,同时执行严格的断丝控制标准——单束断丝 $\leq 1$ 丝,总断丝数不超过钢丝总量的0.5%。压浆工艺采用真空辅助技术:浆体按重量比P.O42.5水泥:水:减水剂=1:0.4:0.01配制,流动度30~45s,泌水率 $\leq 2\%$ <sup>[3]</sup>;压浆前抽真空至-0.08MPa维持10min验证密封性,随后以0.5~0.7MPa恒压注浆,待出浆口流出均匀浓浆后稳压2min封闭管道,24h内采用C55补偿收缩混凝土封锚,锚具周边涂刷聚氨酯防水涂料。

#### 4 质量技术创新

本工程创新采用支架-固结协同传力体系,通过墩外承台顶21根+翼板下5根共计26根 $\phi 630 \times 8\text{mm}$ 钢管桩分担35%悬臂荷载,单桩最大荷载315kN,使墩顶固结混凝土尺寸由原设计5m $\times$ 10m优化至3.5m $\times$ 8m $\times$ 1.2m缩减40%,降低混凝土用量53m<sup>3</sup>。结合变截面精准调平技术,利用双拼16槽钢按:

$$y(x) = \frac{4f}{L^2} x(L-x) \quad (2)$$

抛物线方程定位底板线形,通过全站仪坐标放样实现梁底高程偏差 $\leq 3\text{mm}$ 。创新竖向预应力复拉工艺:首次张拉至706.5MPa后24小时复拉,预紧力损失率从12%降至5%<sup>[4]</sup>。钢管柱全站仪正倒镜测量垂直度 $\leq 0.3\%H$ ,支座中心横/纵向偏位全站仪坐标校核 $\pm 2\text{mm}/\pm 5\text{mm}$ ;混凝土保护层通过电磁仪初测,允许偏差+5mm/-3mm;预应力控制伸长率按校核。

$$\Delta L = \int_0^L \frac{P(x)}{A_y \cdot E_g} dx \quad (3)$$

其中, $P(x)$ 为张拉过程中沿孔道长度变化的张拉力, $A_y$ 为预应力筋的截面积, $E_g$ 为预应力筋的弹性模量,伸长量偏差控制在 $\pm 6\%$ 范围内;冲击回波仪检测真空压浆密实度 $\geq 95\%$ ,3h泌水试验得泌水率 $\leq 2\%$ ;温度监控通过埋入式热电偶监测芯部温度 $\leq 65^\circ\text{C}$ ,芯表温差 $\leq 15^\circ\text{C}$ ,固结拆除工期由7d缩短至5d,施工效率提升30%。配套制定六项核心验收标准见表1:

表1 质量验收关键指标

项目	允许偏差	检测工具	频率
钢管柱垂直度	$\leq 0.3\%H$	全站仪+钢尺	每柱3个截面
支座中心偏位	横 $\pm 2\text{mm}$ /纵 $\pm 5\text{mm}$	全站仪	每支座
保护层厚度	+5mm/-3mm	钢筋保护层厚度测定仪	每构件8处
压浆密实度	$\geq 95\%$	冲击回波仪	每管道

## 5 合拢段施工控制

### 5.1 边跨合拢施工

边跨合拢施工采用支架现浇法,重点控制配重调节、刚性锁定及混凝土浇筑等关键环节。在配重调节方面,悬臂端采用水袋配重,按合拢段混凝土重量的120%实施分级加载,具体分为60%、80%和100%三个阶段,并通过计算精确控制配重误差不超过2%,配重位置对称布置于梁端1.5m处,确保荷载分布均匀。刚性锁定通过在合拢口两侧预埋20号槽钢锁定骨架,并焊接40mm厚Q345钢板形成临时劲性连接,锁定作业选择 $15 \pm 3^\circ\text{C}$ 的夜间恒温时段进行,以减小温度应力影响,锁定完成后48h内完成混凝土浇筑,确保结构初始受力状态稳定。混凝土浇筑采用C55微膨胀混凝土,控制坍落度为 $180 \pm 20\text{mm}$ ,掺入12%UEA膨胀剂以补偿收缩,浇筑速度严格控制在 $15\text{m}^3/\text{h}$ 以内,同时按照浇筑进度同步等量卸载配重,避免悬臂端产生额外弯矩。

### 5.2 合拢监测

合拢段施工建立应力与变形双控监测体系,确保施工全过程安全可控。应力监测通过在合拢段两侧各5m范围内布置振弦式应变计和倾角仪,纵向间距1m,横向间距3m,实时采集混凝土应变变化数据,控制应变值不超过30微应变,转角偏差 $\leq 0.01^\circ$ ,及时发现并调整异常受力状态。变形监测采用高精度连通管测量系统,控制相邻梁段高差不超过跨径的1/4000,中跨合拢后连续72小时监测线形变化,确保结构稳定性。预应力张拉遵循纵向到横向再到竖向的顺序,张拉过程中同步监测相邻3个块段标高变化,偏差控制在2mm以内,避免局部应力集中导致结构变形。监测数据实时反馈至技术部门,为动态调整施工参数提供科学依据。

## 6 结论

通过增设合拢段专项控制,实现边跨合拢精度 $\pm 3\text{mm}$ 、中跨合拢高差 $\leq L/5000$ 的技术突破。结合原0号块施工技术,形成从悬臂浇筑到体系转换的完整工艺链条成功解决大体积混凝土、高支架及复杂预应力带来的挑战:墩顶固结块,尺寸3.5m乘8m乘1.2m,与墩外26根直径630mm壁厚8mm钢管桩协同受力,分担35%悬臂荷载,混凝土用量减少53m<sup>3</sup>。基于 $y$ 等于 $0.0015x$ 平方方程调平底板线形,梁底高程偏差不超过3mm,仅为规范允许值10mm的30%。工艺优化增效60%到80%再到100%的分级预压结合变形监测设置8.94mm预拱度;竖向预应力24h复拉使预紧力损失率从12%降至5%。制定六项核心指标,如钢管柱垂直度不超过0.3% $H$ 、压浆密实度不低于95%等。MIDAS验算证实支架组合应力146.02MPa小于215MPa,竖向变形6.94mm小于9.5mm限值,稳定性系数0.30满足钢结构设计标准GB50017—2017规范。工效提升30%,为跨河桥梁大

体积 0 号块施工提供了兼具安全性与经济性的解决方案,特别适用于水文条件复杂、结构荷载重大的连续梁桥工程。未来研究可进一步探索智能监测系统在支架实时预警中的应用,特别是在汛期水位暴涨等极端工况下,建立应力变形双控预警机制,将结构安全系数提升至新的水平,同时可考虑将 BIM 技术融入施工全过程管理,实现可视化进度控制与质量追溯,为类似工程提供数字化样板。

#### [参考文献]

[1]许渊泉.钢箱系杆拱梁和预应力混凝土连续箱梁组合结构体系吊索张拉施工技术探讨[J].福建建设科

技,2024(5):87-91.

[2]刘世明,张威,陈平祥,等.超高性能钢壳混凝土连续刚构桥优化设计[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2025(7):1-8.

[3]王辉辉,张大海.预制混凝土箱梁简支变连续负弯矩区的设计研究[J].公路,2025,70(1):246-250.

[4]周玲艳.预应力混凝土变截面连续箱梁桥静载试验研究[J].城市道桥与防洪,2025(2):176-180.

作者简介:何华平(1978.5—),男,从事工程行业,中级,籍贯:湖北石首。

## 基于分布式光伏的住宅建筑屋顶施工技术研究

唐龙飞 唐陆平

华能湖南清洁能源分公司, 湖南 长沙 410000

**[摘要]**随着能源需求持续增长且公众环保意识不断提高,分布式光伏发电作为清洁、可再生的能源形式,正受到越来越多的关注。把光伏系统安装在建筑屋顶上,既能节约土地资源,又能提高建筑的能源利用效率,达成绿色、低碳的能源管理目标。不过,与传统建筑施工相比,分布式光伏住宅屋顶施工存在明显的技术特殊性,需应对诸多施工难题与挑战,通过深入剖析并研究这些问题,希望能为实际施工给予科学的理论依据与操作指引,推动分布式光伏系统在住宅建筑中实现安全、高效的广泛应用。

**[关键词]**分布式光伏;住宅建筑屋顶;施工技术

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17516

中图分类号: TU4

文献标识码: A

### Research on Roof Construction Technology of Residential Buildings Based on Distributed Photovoltaics

TANG Longfei, TANG Luping

Huaneng Hunan Clean Energy Branch, Changsha, Hunan, 410000, China

**Abstract:** With the continuous growth of energy demand and the increasing public awareness of environmental protection, distributed photovoltaic power generation, as a clean and renewable form of energy, is receiving more and more attention. Installing photovoltaic systems on building roofs can not only save land resources but also improve the energy efficiency of buildings, achieving green and low-carbon energy management goals. However, compared with traditional building construction, the construction of distributed photovoltaic residential roofs has obvious technical particularities and needs to deal with many construction difficulties and challenges. Through in-depth analysis and research of these issues, we hope to provide scientific theoretical basis and operational guidance for practical construction, and promote the safe and efficient widespread application of distributed photovoltaic systems in residential buildings.

**Keywords:** distributed photovoltaics; residential building roofs; construction technology

#### 引言

随着全球能源结构逐步转型以及可再生能源快速蓬勃发展起来,分布式光伏发电作为一种绿色、环保且具备可持续性的能源利用方式,在住宅建筑领域已经获得了广泛的应用。分布式光伏住宅屋顶系统一方面能够充分挖掘建筑屋顶空间的利用潜力,达成就地发电以及能源自给自足的目的;另一方面还能够一定程度上降低居民用电方面的成本,减少碳排放量,这对于推动低碳城市的建设工作以及实现碳达峰、碳中和的目标而言,有着不容忽视的重要意义。与此随着我国城镇化进程不断向前推进,建筑能源需求也在持续增长,把光伏发电系统融入到住宅建筑屋顶当中,已然成为提升建筑能源利用效率并且促进可持续发展极为关键的一条途径。不过,在实际的推广进程中,分布式光伏屋顶施工会碰到不少技术和管理方面的挑战,像是屋顶结构在承载能力方面存在差异,防水、防风、防雷的设计较为复杂,光伏组件安装时对精度的要求颇高,电气系统对于安全性与可靠性的要求十分严格,而且施工效率以及后期运维管理的水平呈现出参差不齐的状况等。这些因素不但会对系统的发电效率以及使用寿命产生影

响,还直接牵涉到居民的安全以及建筑整体功能的发挥情况。所以,针对分布式光伏住宅屋顶的施工技术展开深入的研究,全面且细致地剖析基础工程、屋顶结构、光伏组件安装、电气设备安装等方面的施工情况以及施工优化的对策,对于确保工程质量、提升施工效率、促使系统实现长期稳定的运行而言,有着颇为重要的理论价值以及实践方面的意义。本文会结合国内外相关研究成果以及实践经验,对分布式光伏住宅屋顶施工技术的关键环节加以系统梳理,剖析施工过程中存在的各类问题,并且给出具有针对性的优化对策,希望能够为住宅建筑分布式光伏系统的高效、可靠且可持续建设给予科学的指导以及技术层面的参考。

#### 1 分布式光伏建筑屋顶的特点

分布式光伏建筑屋顶有着独特的技术及应用特点,其关键之处在于把光伏发电系统直接集成到住宅建筑屋顶,达成建筑和能源系统的高度融合。这种屋顶能充分借助建筑自身的空间,把屋顶闲置的面积转变为清洁能源发电场,实现能源的就地消纳以及绿色利用,有明显的环境效益与经济价值。分布式光伏屋顶系统在设计及施工方面得考量

建筑结构的承载能力、屋顶坡度、排水、防水、防风还有防雷等安全性能,以此保证系统长期运行时的稳定性和可靠性。并且,因光伏组件分布在屋顶表面,其布局与排布要兼顾光照条件、遮挡因素以及维护的便捷性,在施工过程中需严格依照技术规范和标准。分布式光伏屋顶具备模块化、可扩展且易于运维的特点,能依据建筑功能和用电需求灵活调节系统规模,达成能源管理的智能化与高效化。

## 2 分布式光伏建筑屋顶施工技术

### 2.1 基础工程施工

基础工程施工在分布式光伏住宅屋顶施工里极为关键,它同整个光伏系统的安全性、稳定性以及使用寿命紧密相关,在施工之前,要对屋顶的结构承载能力、平整度还有防水性能展开全面评估,保证屋顶可承受光伏支架以及组件的重量,还能满足长期运行的安全要求。基础施工一般包含屋顶加固处理、防水层完善、支架安装基础处理以及相关施工测量等工作,其中每一个环节都要严格依照设计规范和施工标准来执行。加固处理得依据屋顶结构类型挑选合适的加固材料与方法,以此提高整体承载能力;防水层施工要保障连续性和密封性,避免雨水渗入致使屋顶受损或者光伏系统出现故障;支架基础的定位、固定还有水平调整务必要精确,以确保后续光伏组件的安装角度和排列整齐,同时符合光照利用与排水的要求。

### 2.2 屋顶结构施工

在分布式光伏建筑屋顶施工过程中,屋顶结构施工是非常重要的一个环节,需要专业的施工队伍和技术支持。在施工过程中,应严格按照设计要求和规范进行操作,确保施工的质量和安全性,为后续的光伏组件安装提供稳固的基础。檩条安装:根据设计要求,预制檩条,确保尺寸精度和强度。在屋顶上按照设计图纸确定檩条的位置,并使用专用夹具或焊接方式固定。屋面板安装:根据防水和承重需求,选择合适的屋面板材料。按照设计要求将板材铺设在檩条上,确保板材之间的搭接和密封性<sup>[1]</sup>。光伏支架安装:根据屋顶结构和光伏组件的类型,选择合适的支架类型,如夹具式、导轨式等。按照设计要求,将支架固定在屋顶结构上,并调整支架的水平和垂直度,确保光伏组件的安装平整度。

### 2.3 光伏组件安装

光伏组件的安装属于分布式光伏住宅屋顶施工里的极为关键的环节之一,其质量的好坏会直接影响到系统的发电效率以及长期运行时的安全状况。在正式安装之前,务必要对支架基础展开严格的检查工作,要确认支架是牢固的,其水平度以及倾角都要契合设计方面的要求,与此同时还要确认屋顶的防水层处于完好无损的状态,以此来给组件安装给予可靠的支撑保障。在安装的全过程当中,光伏组件应当依照设计所确定的布局来进行合理的排列组合,从而实现光照利用率的最大化,并且要维持组件之

间存在合理的间距,以便于排水能够顺畅进行并且方便后期开展检修工作。组件固定的时候需要选用那种强度高、耐腐蚀的紧固件,以此来确保组件即便处在风载、雪载等极端的环境之下依旧能够稳定地运行,而且还能有效防止因为出现松动或者错位的情况而引发电气接触出现问题或者是存在安全隐患的现象发生。在布线以及接地这个环节上,应当严格按照电气规范方面的要求来进行操作,要保证线路的布局是合理的,连接是牢固的,并且具备良好的防水、防火性能,同时也方便后期的维护以及故障排查工作的开展。

### 2.4 电气设备安装

电气设备安装属于分布式光伏住宅屋顶施工的关键环节,其质量以及规范性跟光伏系统的安全运行、发电效率还有使用寿命有着直接关联。在施工进程里,要先对逆变器、配电箱、汇流箱以及相关电气组件的位置做出合理安排,保障方便散热、操作以及维护,与此同时还得契合防水、防潮、防雷以及安全距离等方面的技术要求。布线安装得依照电气设计图纸来开展,要让线路保持整齐、固定牢靠,并且选用符合标准的耐候、耐热且防火的电缆,防止因为线路松动、磨损或者老化而引发的短路或者是电气故障。在接地与保护这个环节,应当严格执行接地举措,保证系统具备优秀的安全防护能力,以此来防范雷击、电气漏电或者过载致使的设备损坏以及人员受伤<sup>[2]</sup>。在安装进程当中需同步实施电气测试,像绝缘电阻测试、开路电压与短路电流检测等,确认设备性能能够符合设计要求以及标准规范。

## 3 分布式光伏屋顶施工技术优化对策

### 3.1 提高施工效率的技术措施

提高施工效率是分布式光伏屋顶施工技术优化的关键方面,其目的在于保证施工质量和安全地缩短工期、降低成本并提升整体施工管理水平。为达成这一目标,可从施工组织、技术应用以及流程优化等方面着手。在施工开始之前需开展科学的施工组织与进度规划工作,包含合理安排作业顺序、分工清晰明确、资源调配优化等内容,以此确保各个施工环节能够有序衔接起来,减少等待以及重复作业所花费的时间。要充分借助现代化施工技术和工具,像模块化组件安装、预制支架系统、机械化吊装设备还有智能测量与定位工具等,从而提高施工操作的精准程度和效率,降低人工劳动强度以及施工出现的误差。在施工进程中应当建立起标准化的操作流程以及快速验收机制,针对关键工序和隐蔽工程实施同步监控以及质量检查,防止出现返工以及延误的情况,并且借助信息化管理手段,达成施工数据的实时记录与分析,为调度和决策给予科学依据。对施工人员展开培训,让他们掌握先进的施工技能以及高效的作业方法,同样能够在很大程度上提升团队整体的施工效率。

### 3.2 施工安全与质量管理优化

施工安全与质量管理的优化属于分布式光伏屋顶施工技术提升的关键环节,其关键之处在于借助科学管理以及技术方面的手段,保证施工过程既安全又可靠,工程质量能够稳定地达到相关标准。在施工开始之前,应当建立起较为完善的安管理制度以及质量管理体系,针对施工人员展开系统的培训工作,让他们对安全规范、操作流程还有应急处理措施都较为熟悉,以此来提升他们的风险防范意识以及专业技能水平。在施工具体实施的过程中,得严格按照高空作业防护、防火防雷、防水防滑等一系列安全措施来进行操作,与此要对光伏组件、支架、逆变器以及电气线路的安装整个过程予以全程的监控,从而确保各项施工操作都能够契合技术标准以及规范方面的要求。就质量管理来讲,需要施行全过程的质量控制举措,从材料的验收环节、基础施工阶段、支架安装步骤、组件固定操作一直到电气连接部分,每一个环节都得开展严格的检查并且做好相应记录,及时去发现并纠正那些潜在存在的问题,避免施工缺陷以及隐患不断积累起来<sup>[3]</sup>。除此之外,可以借助信息化手段以及智能检测设备,针对施工现场的作业状态、施工进度以及关键指标展开实时的监测以及数据方面的分析,进而达成动态管理以及科学决策的目标。

### 3.3 新型材料及智能化施工技术应用

新型材料以及智能化施工技术的应用,乃是提升分布式光伏屋顶施工效率与质量的关键途径,其关键之处就在于借助先进材料以及智能技术手段,达成施工的高效化、精准化以及可持续化目标,在材料层面,可选取轻质且强度高的、具备耐腐蚀特性、能够防火防老化的光伏支架材料,还有透光度高、能防紫外线、耐候性较强的组件封装材料,这些新型材料不但可降低屋顶的负荷,提高系统的耐久性,而且还能减少施工的难度以及维护的成本。在施工技术层面,引入智能化施工设备与工具,像是机械化吊装设备、自动化组件安装系统、无人机测量与定位技术以及数字化施工管理平台,如此便能够实现组件的精准布置、支架的快速安装以及施工数据的实时监控,进而大幅提升施工效率并减少人为出现的误差,与此借助建筑信息模型(BIM)技术与施工管理软件,可以在施工之前开展模拟布局、碰撞检测以及工序优化等工作,达成施工全过程的可视化、精细化管理。

### 3.4 后期运维与管理建议

后期运维以及管理属于分布式光伏屋顶施工技术优化的关键环节,其要点在于借助科学维护以及系统化管理手段,确保光伏系统能够实现长期稳定的运行,并且维持较高的发电效率。在开展运维工作的过程当中,需要构建

起完善的巡检相关制度以及监测方面的体系,针对光伏组件、支架结构、电气线路、逆变器还有汇流箱等这些关键设备展开定期的检查以及实时的监控,以便能够及时察觉到出现损坏、发生松动或者性能出现衰减等问题,并且采取有效的举措来加以修复或者进行更换处理<sup>[4]</sup>。与此还能够引入智能运维方面的技术,像远程监控平台、大数据分析工具、故障预警系统以及设备健康评估工具等等,以此达成对光伏系统运行状态的实时精准掌握,并且依据数据驱动来做出科学合理的决策。运维管理同样要留心屋顶的清洁工作、防腐处理、防水措施以及防雷举措等方面,从而保证系统结构以及组件性能不会受到外部环境的影响,进而促使设备使用寿命得以延长。从制度管理这个层面而言,应当建立起规范化的维护流程、操作标准以及责任追究的相关机制,清晰明确运维人员的具体职责以及操作方面的各项要求,以此提高团队所具备的专业能力以及工作效率。

## 4 结语

分布式光伏住宅屋顶施工技术在提升建筑能源利用效率、实现清洁能源发电以及推动绿色低碳发展中发挥着重要作用。通过对施工准备、屋顶结构施工、光伏组件及电气设备安装,以及安全与质量管理等环节的系统研究,能够有效提高施工质量和效率,保障光伏系统的长期稳定运行。结合新型材料和智能化施工技术的应用,还能进一步优化施工流程和管理水平,为住宅建筑分布式光伏系统的广泛推广提供可靠支撑。未来,随着施工技术和管理模式的不断完善,分布式光伏住宅屋顶系统将更高效、更安全地服务于可持续能源发展,为建设绿色建筑和低碳城市贡献积极力量。

### [参考文献]

- [1]李明泽,范鑫.基于分布式光伏的住宅建筑屋顶施工技术[J].居舍,2024(16):57-60.
- [2]高江梅.整县户用屋顶分布式光伏多主体决策优化与评价[D].北京:华北电力大学,2023.
- [3]于瑛,姚星,丑锦帅,等.城镇典型住宅建筑屋顶分布式光伏系统潜能分析[J].太阳能学报,2023,44(7):182-190.
- [4]汤长胜,刘迎.嘉兴模式分布式光伏产业发展研究[J].淮南职业技术学院学报,2019,19(5):119-121.

作者简介:唐龙飞(1991.1—),男,毕业院校:中国地质大学,所学专业:电子信息工程,当前就职:华能湖南清洁能源分公司项目部,项目经理;唐陆平(1993.12—),男,毕业院校:湖南水利水电职业技术学院,所学专业:电力系统自动化技术,当前就职单位:华能湖南清洁能源分公司项目部,项目经理。

# 公路路基高边坡锚杆(索)支护施工技术应用

刘伟

青海省公路工程咨询监理有限公司, 青海 西宁 810000

**[摘要]**公路路基高边坡常因地质条件错综复杂、边坡稳定性不佳而面临安全方面的风险。作为一种高效的边坡加固方式,锚杆(索)支护技术,能极大提升边坡整体稳定性,保证工程安全与质量。依托工程实际,研究了锚杆(索)支护施工的基本原理、工艺流程、关键技术环节和质量把控办法,还剖析了其在复杂地质环境里的应用成效。该技术拥有施工轻松、经济实惠和适应能力强等长处,对公路工程建设有重要推广意义。

**[关键词]**公路路基;高边坡;锚杆支护;锚索支护;施工技术

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17506

中图分类号: U416

文献标识码: A

## Application of Anchor Rod (Cable) Support Construction Technology for High Slope of Highway Roadbed

LIU Wei

Qinghai Highway Engineering Consulting and Supervision Co., Ltd., Xining, Qinghai, 810000, China

**Abstract:** High slopes of highway subgrades often face safety risks due to complex geological conditions and poor slope stability. As an efficient method of slope reinforcement, anchor rod (cable) support technology can greatly improve the overall stability of slopes and ensure engineering safety and quality. Based on engineering practice, the basic principles, process flow, key technical links, and quality control methods of anchor rod (cable) support construction were studied, and its application effectiveness in complex geological environments was analyzed. This technology has the advantages of easy construction, affordability, and strong adaptability, and has important promotion significance for highway engineering construction.

**Keywords:** highway subgrade; high slope; anchor rod support; anchor cable support; construction technology

### 引言

伴随我国交通基础设施建设的迅猛推进,公路工程逐步朝山区与丘陵地区延展,高边坡工程数量持续攀升。因地形和地质条件的制约,高边坡施工过程中极易引发滑坡、塌方这类地质灾害,既危及施工人员安全,又可能引发重大经济损失。为了增强边坡稳定性与抗滑性能,公路路基工程中大量采用锚杆(索)支护施工技术,作为主动加固方法,锚杆与锚索,可使潜在滑动面维持在稳定状态,促成“支护-边坡-地基”共同作用体系。本文借助对施工工艺、技术要点和质量控制的深度剖析,研究该技术在工程中的应用意义与优化途径,为类似工程提供借鉴。

### 1 锚杆(索)支护技术原理

锚杆(索)支护是一种主动对边坡进行加固的施工手段,关键是钻孔后埋设高强度钢筋或钢绞线,随后灌入水泥浆液,让其和周围岩土体紧密结合,形成稳固的整体构造。锚固体系凭借锚固段和稳定岩层间的摩擦力与黏结力,可有效抑制边坡土体或岩体的潜在滑动,基本原理主要在以下几个方面得以体现。锚杆(索)支护可施加持续约束,管控边坡岩土体的位移及变形,杜绝因应力集中造成的裂缝扩展或滑移破坏,增强边坡整体稳固性<sup>[1]</sup>。

在进行锚索张拉的操作期间,能给岩土体施加一定预应力,促使潜在滑动体与深部稳定岩体形成联合作用体,

充分展现“拉住-压紧”的加固效应,提高抗滑能力。该预应力作用不但可改善边坡的受力情形,又能在一定范围内降低土体孔隙中的水压力,从而进一步降低失稳几率。此外,锚杆(索)支护常与喷射混凝土、挡土墙、格构梁等组合运用,构建出复合支护体系,既能在表层实现防护与抗侵蚀功能,又在深部构建稳固的锚固力学结构,进而提升边坡整体安全系数。

### 2 施工工艺流程

#### 2.1 施工测量放样

在锚杆(索)支护施工进度里,测量放样作为整个工艺流程的起始步骤,是保障施工精度与后续工序顺利推进的关键所在。测量人员要按照设计图纸,考虑边坡实际地形状况,利用全站仪、水准仪以及激光测距仪等现代化测量器具,精准确定钻孔的平面位置、入射角度和深度控制线。该过程不但要让钻孔布置与设计要求精准契合,又要依据边坡地质状况对局部做适度调整,保证锚固段能深入稳定岩层或强风化层以下的持力层。

#### 2.2 钻孔施工

钻孔作业是锚杆(索)支护的关键流程,其质量好坏直接影响锚固成效。钻孔作业时应挑选适配的钻机设备,像潜孔钻机或者液压钻机,按照岩土条件改变钻进方式。在坚硬岩层区域,实施冲击回转钻进操作;若处于松散土

层或者破碎带,要选用护壁管辅助钻进,避免孔壁出现坍塌。需严格把控钻孔角度,一般设计成  $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$  的下倾角度,从而让锚固段深入稳定岩体。深度控制由设计锚固长度与持力层埋深决定,一般需越过潜在滑裂面  $2 \sim 3\text{m}$ ,以此提升抗滑稳定性<sup>[2]</sup>。

### 2.3 孔壁清理

孔壁的清理工作对保证锚固效果起着重要作用。钻孔完工后,孔内常常残留大量钻渣、粉末和水分,若清理不彻底,浆液难以渗入孔壁的微裂隙,造成锚固力下滑。因此,清孔宜采取高压水冲洗或压缩空气吹扫的形式,若有必要可搭配机械清理工具,使孔内杂质彻底排出。清孔操作期间,需多次冲洗,直至排出的液体澄清无杂质,且孔内不见明显沉渣,针对深孔或倾斜角度大的钻孔,应实施分段清理并进行循环冲洗,保证孔段整体符合清洁要求。此外,清孔作业时间需与注浆施工紧密配合,杜绝因时间间隔太长引发孔壁坍塌或再次堵塞。若处于气候潮湿、地下水丰富的地段,更要着重做好孔壁清理工作。

### 2.4 锚杆(索)安装

支护体系的稳定性与锚杆(索)的安装状况直接相关。安装前要对锚杆或钢绞线开展质量检查,查看强度、直径、防腐处理等是否契合设计标准。需依照设计的角度和深度,把锚杆匀速送入孔中,避免冲击孔壁导致孔径扩张或钢筋弯折。进行锚索施工时,需借助专用设备将钢绞线分段送入,使各根钢丝均匀排布。为提升耐久性,锚杆(索)表面一般需实施防腐涂层处理或加装塑料护套。要设置定位垫块或者中心架,使锚杆处于居中状态,保证浆液均匀包裹。此外,针对长锚索,需杜绝钢绞线在孔内打结或扭曲现象,必要时可采用分段穿入并逐步校正的办法。安装结束后,需马上开展封口操作,避免泥沙或杂物进入孔洞,干扰注浆质量。

### 2.5 注浆加固

注浆作为关键环节形成锚固力,其工艺好坏直接影响锚固体系承载能力。常见做法是采用分段压浆法,即先从孔底起始注浆,持续向上推进,每完成一段注浆就停止浆液封堵,接着开展上段注浆。此方法能让浆液完全填充孔隙,杜绝空洞出现,注浆压力应依据地层条件加以调控,一般压力值在  $0.5 \sim 1.5\text{MPa}$  区间,若压力过低,浆液就无法充分渗透,过高则会引发孔壁破裂或浆液外溢。浆液配比要做到科学合理,一般选用  $0.45 \sim 0.55$  的水灰比,也能掺入适量外加剂以提升流动性和抗渗能力。在进行注浆作业期间,需实时把控注浆量、压力和返浆情形,保证浆液均匀扩散,面对复杂地层以及渗水较多的孔段,可选用双液浆或速凝浆,来增强锚固成效。完成注浆操作后,需保证充足的养护时长,只有浆液强度达到设计要求才可开展后续工作<sup>[3]</sup>。

### 2.6 张拉锁定

张拉锁定作为关键环节,保障锚索充分展现预应力功

效。注浆养护结束且强度达标后,需利用千斤顶对锚索实施分级张拉,分级张拉的准则是逐次加大拉力,一般分  $3 \sim 4$  个级别,各级分别张拉至设计荷载的  $60\%、80\%、100\%$ ,且在各级拉力下维持一定时长,检测锚索伸长与回缩情况。要是发现异常状况,像回缩幅度过大或者伸长量不够,要马上找出原因并实施补救办法。张拉作业结束后,要用锚具实施锁定,保证预应力可长期稳定地传递到岩土体。锁定时应保证锚具和钢绞线保持同轴,杜绝偏心受力现象,应针对锁定后的锚具开展防腐处理,一般选用密封盖或者环氧灌浆的方式,提升其耐久性。张拉锁定不只是力学行为的达成,还是对整个锚固体系质量的全面检验,需严格依照设计规范执行操作。

### 2.7 防护层施工

防护层施工是锚杆(索)支护的最后一步,既保护锚固体系不被外界侵蚀,又可提升边坡表层整体稳定性。常见的防护手段涵盖喷射混凝土、挂网喷浆以及植被护坡等形式。喷射混凝土工艺较为常见,施工时要先铺设钢筋网片,和锚杆头部焊接或绑扎紧实,接着用湿喷机把混凝土均匀喷到坡面,厚度一般把控制在  $8 \sim 12\text{cm}$ 。能往混凝土中添加速凝剂和纤维材料,来增强早期强度和抗裂能力。针对环境条件要求严苛的区域,可运用植生袋、客土喷播等生态防护手段,促成结构与生态相结合。要精准把控喷射压力与喷层厚度,防止产生空鼓或脱落现象,防护层施工结束后,需开展洒水养护工作,让混凝土充分硬化。

## 3 关键技术要点

### 3.1 勘察与设计优化

勘察及设计优化是公路路基高边坡锚杆(索)支护施工的先决与基础步骤。借助细致的地质勘查与科学合理的设计方案,保证支护体系可有效遏制边坡失稳。要全面调查边坡的地形地貌、岩土体结构、风化状况、地下水分布和潜在滑坡面,常运用钻探、取样、室内试验以及原位测试相结合的方式,得到岩土力学相关参数,涵盖抗剪强度、弹性模量、内摩擦角、黏聚力等。利用这些参数,可开展针对边坡稳定性的极限平衡分析及数值模拟预测,识别潜在的失稳模式及危险区域<sup>[4]</sup>。

在设计优化环节,要按照勘察结果确定锚杆(索)的长度、间距及布置样式,一般情况下,锚固段需深入稳定岩层  $2 \sim 3\text{m}$ ,以确保有足够的支撑力条件;间距需按照边坡高度、岩体的完整性以及潜在滑裂面的特征来明确,既要保障整体的稳定性,又要防止因布置过密导致施工成本攀升。在布置形式上,可采用梅花状、矩形或环形的分布方式,让荷载均匀传递。要结合坡面形态以及水文条件,规划科学的排水与防护体系,防止地下水渗透降低边坡强度。

### 3.2 施工设备选择

施工设备能否合理选择,会直接左右锚杆(索)支护

的施工质量与效率。面对高边坡工况,施工环境繁杂,坡面险峻且作业空间狭小,故而需选用高效、安全且适应性强的设备,选择钻孔设备时,需依据岩土性质挑选适配的钻机。针对坚硬的岩层,可选用潜孔钻机或者液压钻机,达成高效钻进;若面对松散或者破碎的岩土,要选用带有护壁装置的回转钻机,防止孔壁塌陷。面对施工条件不利的狭窄坡面,可挑选轻便型履带钻机,从而保障机动性与稳定性。对于注浆设备而言,注浆设备宜选用高压注浆泵,保证浆液可均匀渗透到孔壁微裂隙,提升锚固成效,注浆系统应当增配压力监测和流量控制装置,从而对注浆过程进行实时调整。

张拉设备的挑选同样极为关键。进行锚索张拉时需运用大吨位千斤顶与精密油泵系统,以实现张拉力分级均匀施加。张拉装置需额外配备压力表和位移计,以监控锚索的伸长与回缩状况,保障张拉力精准传递。在进行设备配置,得兼顾安全与环保两方面,需为高边坡钻机安装防护与防坠装置,保证操作人员的安全;应给施工现场的注浆设备设置防溢系统,杜绝浆液污染周边环境。合理选择施工设备,既能提升施工效率与质量,而且能降低安全隐患,保证锚杆(索)支护施工平稳推进<sup>[5]</sup>。

### 3.3 质量控制措施

质量管控是保障锚杆(索)支护体系长期稳定施展作用的要点。需搭建全流程质量管理体系,从材料入场到最终锁定都得严格把关。材料质量需符合国家标准以及设计要求,锚杆钢筋应拥有充足强度与防腐能力,钢绞线要经过防腐涂层或护套防护,水泥浆液应选用新拌的水泥,防止结块或过期。在施工流程里,要对钻孔、注浆、张拉等关键环节安排专人监控,应实时监测钻孔深度与角度,防止偏差阻碍锚固段进入稳定岩层;需对注浆的压力、流量以及返浆情况加以记录,保证浆液充分填充;需对锚索的伸长量和锁定情形进行检测,防止出现预应力不够或传递不均匀的情况。

此外,要搭建位移与沉降的监测机制。通过布置监测点,实时捕捉边坡表面的位移和沉降改变,及时把握边坡动态稳定情形。若察觉到异常变动,需马上剖析缘由并实施应对举措,像增添临时支护或者变更施工次序。锚固力检测是质量控制的关键部分。可利用现场拉拔试验检验锚杆(索)实际承载能力是否契合设计要求。

施工记录是否完整也是质量控制的核心要素。要构建细致的施工日志,涵盖各孔钻进状况、注浆量、张拉力等参数,为后续工程验收与长期监测提供支撑。

### 3.4 安全管理

公路路基高边坡锚杆(索)支护施工期间,安全管理工作需贯穿始终。鉴于施工环境状况复杂,人员与设备在陡峭坡面集中作业,面临高空坠落、设备倾翻、岩石滚落等诸多安全隐患。因此,要构建一套系统的管理机制,保障施工有序开展。施工区域需配备防护设施,如安全防护网、防护栏和防坠落装置,以此降低坠物或人员滑落事故的发生。针对边坡顶部与坡脚,要构建安全隔离带,严禁无关人员踏入施工危险区域。需构建完备的排水系统,杜绝雨水或地下水侵蚀边坡,诱发失稳。

施工人员应历经严格的安全培训,掌握操作规范与应急方案。尤其是操作钻机、千斤顶和注浆泵等设备时,需专业持证人员上岗,坚决杜绝违规操作。高空作业期间,作业人员必须佩戴安全带与头盔,且安排专人监督。施工现场需构建应急管理体系,若检测到坡体呈现裂缝、位移或者滑动的征兆,要即刻启动应急计划,安排人员疏散,还要实施临时加固手段<sup>[6]</sup>。

## 4 结语

公路路基高边坡的锚杆(索)支护施工技术优势明显,加固效果佳、适用范围宽且经济实惠,是确保高边坡稳定与安全的关键举措。凭借科学设计、精准施工和严密质量把控,能切实预防滑坡与坍塌危险。未来开展推广应用时,要进一步将信息化监测技术与绿色施工理念相融合,达成支护施工的智能化与可持续发展。

### [参考文献]

- [1]刘珏.高速公路扩容工程路基边坡锚杆支护施工技术[J].建设机械技术与管理,2025,38(4):135-137.
- [2]刘绪斌.公路路基挖方高边坡防护工程施工技术研究[J].工程建设与设计,2025(14):126-128.
- [3]郝家伟.锚杆框架梁技术在山区路基高边坡防护中的应用[J].交通世界,2025(19):81-83.
- [4]左小龙.锚杆支护在公路高边坡路基防护施工中的应用[J].汽车画刊,2025(5):116-118.
- [5]欧阳勇.高速公路路基高边坡锚杆框架梁施工技术探析[J].交通世界,2025(14):68-70.
- [6]薛金龙.公路路基边坡锚杆格梁防护技术研究[J].北方交通,2025(1):57-60.

作者简介:刘伟(1990.1—),毕业院校:广西科技大学鹿山学院,所学专业:土木工程,单位名称:青海省公路工程咨询监理有限公司,就职单位职务:专业监理工程师,职称级别:中级工程师(一建公路专业)。

## 液化天然气安全管理中存在的问题及对策

张智卿

巴彦淖尔华油天然气有限责任公司，内蒙古 巴彦淖尔 015000

**[摘要]**液化天然气在全球能源结构转型过程中扮演着至关重要的角色不仅因为其清洁低碳的特性更在于其能够有效平衡能源供需关系，随着我国液化天然气进口量和消费规模持续扩大，供应链各环节安全风险日益复杂多样，使得安全管理面临前所未有的挑战与压力。2025 年国务院安委办专门发布关于加强工业企业自建自用天然气站安全管理的通知，标志着液化天然气安全管理正式进入强监管时代。此文分析液化天然气安全管理的关键问题并提出有针对性的解决方案，对于促进产业安全可持续发展具有重要的现实意义。

**[关键词]**液化天然气；安全管理；设备维护；应急响应；人员培训

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17509

中图分类号: TE88

文献标识码: A

## Problems and Countermeasures in Safety Management of Liquefied Natural Gas

ZHANG Zhiqing

Bayan Nur China Petrol Natural Gas Co., Ltd., Bayan Nur, Inner Mongolia, 015000, China

**Abstract:** Liquefied natural gas plays a crucial role in the global energy structure transformation process, not only because of its clean and low-carbon characteristics, but also because it can effectively balance the energy supply and demand relationship. With the continuous expansion of China's liquefied natural gas imports and consumption scale, the safety risks in various links of the supply chain are becoming increasingly complex and diverse, making safety management face unprecedented challenges and pressures. In 2025, the State Council Work Safety Committee issued a notice on strengthening the safety management of self built and self used natural gas stations by industrial enterprises, marking the official entry of liquefied natural gas safety management into the era of strong supervision. This article analyzes the key issues of liquefied natural gas safety management and proposes targeted solutions, which have important practical significance for promoting the safe and sustainable development of the industry.

**Keywords:** liquefied natural gas; safety management; equipment maintenance; emergency response; personnel training

在液化天然气安全管理活动开展的过程中，需要结合液化天然气这类资源特殊的属性特征，强化液化天然气全过程安全体系建设，注重围绕液化天然气安全使用等方面及时排查可能存在的安全隐患，并针对性制定相关的解决措施，这样才能更好地保证生产和生活有序运营。目前，在液化天然气安全管理方面依然还存在不少的漏洞，比如液化天然气安全管理相关的机制不够完善，液化天然气生产方面存在安全隐患，液化天然气安全管理队伍的技术水平有待进一步提升等等。探究新形势下加强液化天然气安全管理存在的问题及具体的措施，具有重要的社会价值。

### 1 液化天然气安全管理的背景与意义

液化天然气安全管理包含储存、运输、使用以及处置等诸多环节，属于复杂的系统工程范畴，得综合考量技术、设备、人员以及环境等多种多样的因素。我国城镇化进程持续推进，能源结构调整也在不断深入，液化天然气在城市燃气、工业燃料以及发电等领域当中的应用范围快速拓展开来，其消费量也呈现出颇为明显的快速增长态势。这样快速发展的形势在一定程度上满足了能源需求，然而与此也催生出不容忽视的安全隐患。尤其是在 2024 年之后，

多地接连发生燃气事故，这无疑将安全管理当中存在的较为突出的短板与薄弱环节凸显了出来。液化天然气安全管理的重要性在保障公共安全层面有所体现，因其有低温易挥发以及易燃易爆等特性，要是出现泄漏情况，很容易引发火灾爆炸等极为严重的事故，给人民生命财产以及社会稳定带来巨大的威胁。2025 年宣城市住建局所开展的四维发力筑牢燃气安全专项行动可充分说明，安全管理既是企业生产不可逾越的底线要求，又是社会和谐的重要保障<sup>[1]</sup>。强化安全管理有利于推动能源行业实现高质量发展，借助构建规范有序的安全管理体系，可以切实提升行业的运行效率与可靠性，从而为经济发展给予稳定的能源支撑。液化天然气安全管理的意义在于其能够推动绿色低碳转型，它是从化石能源迈向可再生能源的关键过渡桥梁，而其安全性对于能源转型进程以及双碳目标的达成有着直接的影响。国务院安委会 2024 年度省级政府安全生产和消防工作考核巡查组在黑龙江省所发现的相关问题说明，唯有构建起完善的天然气安全管理体系，才能够保障液化天然气在能源体系里充分发挥出它应有的积极作用。所以，对液化天然气安全管理现存的问题展开深入剖析，并且提

出行之有效的对策,这无疑具备着极为重要的理论价值以及实践方面的意义。

## 2 液化天然气安全管理中存在的主要问题

### 2.1 安全管理制度不健全

我国液化天然气安全管理制度存在明显缺陷,监管职责出现交叉情况,同时也有职责空白之处。2025年,国务院安委办所发通报显示,多地自建站存在着没有按照标准规范来设计、没有依据要求去开展建站审批等一系列问题,超过50%的案例牵涉到未批先建或者规避验收的情况。就好比华通能源公司,其旗下的将近40%的加气站都存在着产权方面的瑕疵,部分项目已经运营了7年,可是至今仍未获取到合法用地的相关手续<sup>[2]</sup>。安全管理制度在执行方面存在着极为严重的形式主义相关问题。2024年的时候,福建省的检查组到龙岩市双联液化气有限公司开展检查工作,在此期间发现,该公司的安全生产管理制度和实际的操作情况完全不相符,其制度里面还存在着一些压根儿就不存在的职务以及设施方面的描述内容。而这种所谓的管理制度和实际情况之间出现的“两张皮”现象,径直致使隐患排查工作仅仅停留在了形式层面而已。

### 2.2 设备老化与维护不足

设备老化以及维护工作不到位的情况,已然成为液化天然气安全管理方面所面临的一项颇为严峻的挑战。在2025年的时候,宣城市计划针对老旧管道展开更新改造工作,其涉及的长度达到74.64公里。然而就当前情况来看,仅仅完成了63.45公里的改造任务,这样的进展速度恐怕很难将安全隐患彻底消除干净。而且这种老化方面的问题,在液化气储存环节、充装环节以及终端使用环节等诸多环节当中,都有着广泛的存在。设备维护保养工作不到位的现象在中小燃气企业里普遍存在<sup>[3]</sup>。2025年初,国务院考核巡查组在黑龙江省展开检查时发现,伊春青山燃气有限责任公司的液化气充装台出现防爆套管断裂失爆的情况,致使内部线缆裸露在外。与此该企业在空瓶区存放着百余具未过去功能化处理的液化气钢瓶,并且还未设置可燃气体浓度报警装置。

### 2.3 从业人员专业素质参差不齐

液化天然气行业的从业人员,其专业素质方面存在着十分突出的差异。在2025年的时候,国务院所派出的考核巡查组察觉到,单位的主要负责人以及管理人员对于本行业内重大事故隐患判定的标准并不熟悉,而且对于像危险作业安全费用的提取与使用管理这类基本知识也没有很好地掌握。与此在工人的岗前安全教育档案里,既没有对考核的相关情况予以呈现,也没有如实且详细地记录下培训的具体情况。人员素质方面的问题,在小微企业当中表现得格外明显。在2024年的时候,自治区燃气专家组针对包头市的燃气企业展开检查工作,结果发现有部分企业存在着诸如储罐固定螺栓出现松动情况、管道标识不够清晰明确以

及安全管理资料不太规范等一系列隐患问题,这无疑反映出相关从业人员在专业素养方面存在着一定的欠缺。

## 3 加强液化天然气安全管理的对策建议

### 3.1 完善安全管理制度与标准体系

完善安全管理制度以及标准体系,这无疑提升液化天然气安全管理水准的一项基础性工作。其中最为关键的任务便是要清晰明确监管职责以及责任主体,彻底清除监管方面存在的空白地带以及相互重叠的情况。国务院安委办在2025年所下发的19号文明确指出,各地需要依照“三管三必须”的原则来明确自建站在整个链条上的监管职责,积极开展针对违规建设的排查以及整治行动,并且严格依照《城镇燃气设计规范》等十余项的技术标准来执行相关事宜。这样明确的规定切实有效地化解了长期以来在工业企业自建气站监管主体不明确这一方面所存在的诸多争议。具体而言,发改部门负责核准备案相关事宜,燃气管理部门负责规划并开展安全监管工作,住房和城乡建设部门则承担起消防设计审查以及消防验收的工作,交通运输部门负责对运输车辆进行管理,应急管理部门负责对安全监管工作展开监督检查,市场监管部门负责特种设备以及计量设备的安全监管事宜,工信部门负责提供安全指导并开展摸底排查工作,如此一来便形成了一条完整的监管链条。要强化标准规范体系方面的建设工作,并且需做到及时更新。自2025年10月1日开始施行的新国家标准《城镇燃气设施运行维护和抢修安全技术标准》明确列出了9条用户务必遵守的安全准则,像得遵守安全用气规则,使用合格的燃具;不可以擅自改动燃气管道;禁止擅自拆除、改装、迁移安装燃气设施以及燃气用具;在安装燃气计量仪表、阀门及气化器等设施的专用房间里面,不能有人居住或者堆放杂物等等具体的规定。这样的标准更新对于解决因技术创新而产生的新问题是有帮助的,所以应当建立起定期评估以及修订的机制,以此来确保标准规范能够与技术发展保持同步的状态。强化执法检查以及责任追究的力度是很有必要的。就拿洛阳市来讲,其通过曝光一批在燃气领域的典型违法案例,像孟津区某企业存在利用氟利昂站点违规储存液化石油气并从事非法销售掺混二甲醚的行为这样的案件,进而形成了一定的有效震慑作用。这样严格的执法状态理应成为一种常态。借助跨部门联合执法以及推进信息公开等举措,能够提升违法所要付出的成本,从而推动企业主动去遵守相关的安全规定。与此还应当推行燃气企业的公众责任保险制度,积极鼓励燃气企业针对其在生产经营活动里有可能出现的第三者人身伤亡以及财产损失的情况去购买公众责任保险,同时也鼓励用户购买燃气意外险,以此来构建起风险分担的相关机制。

### 3.2 加强设备技术更新与维护管理

加强设备技术更新与维护管理,是提升液化天然气本质安全水平的重要环节,需大力推动老旧管网更新改造,

可有效消除基础设施老化引发的安全隐患。在更新改造期间,要结合燃气管道老化更新改造,同步开展老旧小区天然气改造,满足用户管道天然气用气需求,从源头提高用户用气安全,这既解决了管网老化问题,又拓展了管道燃气覆盖范围,降低了瓶装液化气的使用风险。强化设备日常维护和检查机制,由专家实地检查包头燃气、中浩燃气、港华燃气、鑫发液化气、蓝火苗液化气等企业,着重检查前期发现的安全隐患问题整改状况,并重新对城镇燃气企业进行排查,保证旧隐患得到治理,有效遏制新出现的安全隐患,帮助企业发现并解决设备维护方面的问题,尤其是储罐固定螺栓松动、管道标识不明确、安全管理资料不规范等细节问题。积极促进技术进步和装备升级,尤其在安全装置和监测设备方面增加投入。针对龙岩市双联液化气有限公司未配置防止设备和管道压力超限的自动切断装置的问题,行业应推广使用先进的安全保护装置,防止类似隐患出现。同时要积极推进瓶改管、气改电等源头治理措施,印发餐饮等场所瓶改管、气改电工作方案,制定燃气管道安装优惠一口价,以亚夏汽车城小吃街为试点,推进餐饮等场所瓶改管、气改电,累计摸排具备改造条件场所 1362 户,完成改造 1105 户,这种技术改造从根本上减少了瓶装液化气使用环节的风险。

### 3.3 强化人员培训与考核机制

强化人员培训以及考核机制,这是提升人因要素方面极为关键的一项举措。需构建起分层分类的培训体系,依据企业主要负责人、安全生产管理人员还有操作人员等不同群体的具体情况,去开展具有针对性的培训内容。尤其当有新标准规范发布出来的时候,应当组织开展专项培训以及相关学习活动,以此来保证从业人员能够及时地掌握最新的要求内容。需要构建起完善的考核评价以及资格认证方面的机制,以此来保证从事相关行业的人员拥有必备的专业素质。对于培训档案管理不够规范这一问题,应当设立统一的培训档案管理与考核的标准,并且针对关键岗位的人员施行持证上岗以及定期复审的制度安排。

### 3.4 构建高效应急响应与预警系统

构建高效的应急响应与预警系统,这可以说是液化天然气安全管理的最后一道防线了。得把应急预案体系给完善起来,演练机制也得健全。强化监测预警技术的应用,提升对风险的早期识别以及预警的能力。伴随物联网、大数据还有人工智能技术不断向前发展,液化天然气安全管理有了更多的技术手段,可用来实现实时监测以及智能预

警。要在关键设备以及重点区域去部署传感器与监控装置,针对温度、压力、浓度以及振动等一系列参数展开连续监测<sup>[4]</sup>。借助数据分析以及模式识别的方式,能够及时察觉到异常情况,并且发出预警。建立起联动协调机制以及信息共享平台,以此来提高应急响应的效率以及效果。液化天然气事故通常会牵涉到多个不同的部门以及领域,所以需要构建起统一的指挥协调机制以及信息共享平台,从而保证在紧急状况之下能够快速做出响应,协同开展作战行动。在应急响应这块儿,要把企业的救援力量、政府的救援力量以及社会的救援力量整合到一起,明确各自的职责分工以及协作流程,定期开展联合演练,提高协同作战的能力,确保在事故发生的时候,能够迅速对事态的发展加以控制,尽可能地减少人员伤亡以及财产损失。

## 4 结束语

液化天然气的安全管理工作属于一项具备长期性以及系统性的重大工程,此项工作务必要依靠政府方面、企业层面以及社会各个层面携手一道付出努力。借助于对法规标准加以完善、强化针对相关设备的管理工作、促使人员素质得以提升以及构建起应急体系等一系列从多个不同维度着手的举措,进而达成全面提高安全管理整体水平的良好成效。当前我国液化天然气安全管理存在诸多困境,如制度有缺憾、设备老化以及人员素质参差不齐等,需依据问题来采取具针对性的举措去处理,未来要更重视“预防为主、综合治理”这一理念,从往后的处置转变为事前的预防与事中的控制,构建起更为安全且可靠的液化天然气供应使用体系。

### [参考文献]

- [1]周美波,王贺,王明月.基于风险分析的 LNG 薄膜罐安全管理研究[J].化工管理,2023(19):112-115.
  - [2]黎润恒,洪汇勇,文元桥,等.LNG 船夜航风险分析与安全管理对策研究[J].航海技术,2024(2):71-74.
  - [3]马菲菲.液化天然气储罐安装过程安全风险研究[D].北京:中国科学院大学(中国科学院大学工程科学学院),2024.
  - [4]黄治豪.浅谈液化天然气储配站安全管理对策[J].轻工科技,2025,41(3):190-193.
- 作者简介:张智卿(1991.10—),男,毕业院校:中国石油大学(华东),学历:本科,所学专业:化学工程与工艺,当前就职单位:巴彦淖尔华油天然气有限责任公司,职务:安全员,职称级别:无。

## 水封油库设计的水文地质及工程地质问题

常广勋 王婵君 熊娟

华商国际工程有限公司, 北京 100069

**[摘要]**水封油库属于石油储存的关键设施,在设计之时务必要全面考量水文地质以及工程地质方面的条件,唯有如此才能切实保障储油的安全性以及环境的稳定性。文章着重围绕水封油库设计环节所涉及到的岩体裂隙呈现出的特征、地下水发挥的作用还有其动态方面的变化展开探讨,深入剖析水文地质特征给水封性能带来的影响机制,另外也对裂隙水处理应遵循的原则以及施工进度里存在的地质问题予以分析。通过细致分类岩体裂隙,深入剖析裂隙渗透性以及毛细作用等相关情况,进而提出较为科学且合理的注浆封堵技术以及湿润维护举措,以此来确保水封效果能够实现长期的稳定状态。与此就施工扰动给地下水系统造成的影响展开探讨,深入研究水位恢复的规律以及动态预测的方法,着重指出地质信息反馈在施工期间动态调整方面所起到的关键作用,为水封油库设计给予理论层面的指导以及工程实践方面的参考,推动储油安全和地质环境实现协调且有序的发展态势。

**[关键词]**水封油库;水文地质;工程地质

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17530

中图分类号: P642

文献标识码: A

### Hydrogeological and Engineering Geological Problems in the Design of Water Sealed Oil Depots

CHANG Guangxun, WANG Chanjun, XIONG Juan

Huashang International Engineering Co., Ltd., Beijing, 100069, China

**Abstract:** Water sealed oil depots are key facilities for petroleum storage. When designing, it is necessary to comprehensively consider hydrogeological and engineering geological conditions in order to effectively ensure the safety of oil storage and the stability of the environment. The article focuses on exploring the characteristics of rock fractures involved in the design of water sealed oil depots, the role of groundwater, and its dynamic changes. It deeply analyzes the impact mechanism of hydrogeological characteristics on water sealing performance, and also analyzes the principles that should be followed in the treatment of fractured water and the geological problems that exist during the construction process. By carefully classifying rock fractures, deeply analyzing the permeability and capillary action of fractures, and proposing more scientific and reasonable grouting and sealing techniques as well as wet maintenance measures, we can ensure that the water sealing effect can achieve long-term stability. This article explores the impact of construction disturbance on the groundwater system, conducts in-depth research on the laws of water level recovery and dynamic prediction methods, and emphasizes the key role of geological information feedback in dynamic adjustment during construction. It provides theoretical guidance and engineering practice references for the design of water sealed oil depots, and promotes the coordinated and orderly development of oil storage safety and geological environment.

**Keywords:** water sealed oil depots; hydrogeology; engineering geology

### 引言

水封油库依靠地下水当作天然的屏障,以此来阻止油品出现外泄的情况,这算得上是在保障石油储存安全方面极为关键的一项技术举措。伴随着石油储存方面的需求不断增多,同时环境保护所制定的标准也在持续提高,水封油库在设计环节当中,水文地质以及工程地质方面存在的各类问题,其重要性便一天比一天更加突显出来。水封油库的设计工作,一方面要依靠针对岩体自身所具有的力学性质展开的相关分析,另一方面更要充分且透彻地去理解在裂隙系统里面地下水的分布情况、运动遵循的规律。岩体裂隙呈现出的发育状况,会对地下水的补给以及排泄能力产生直接影响。除此之外,施工过程中产生的扰动,对于地下水动态所造成的影响同样是不容小觑的,它会对

水封系统的稳定状态产生影响。本文依照当下针对岩体裂隙以及地下水所开展的研究进展实际情况,全面且细致地分析水封油库设计时所涉及到的水文地质方面的特征以及工程地质层面所面临的各种挑战,希望能够为相关的设计工作以及施工活动给予科学方面的依据以及技术层面的支持。

### 1 地下水在水封油库中的作用

储油石洞存在可以导致油品渗漏的裂隙,地下水才成为水封油存必不可少的因素。所谓“隙存水补”,就是正确的理解了“水封”的由来和地下水与水封油库之间的主从关系。可见只有在储油石洞中存在开启的裂隙并与外界相连通时,地下水才是水封油存必不可少的因素。那种认为水封油库非有足够量的地下水分布,甚至认为地下

水愈丰富，水封条件就愈好等观点，显然是片面的。一个好的库址，应该是裂隙越少，水量越少，就愈为优越。

## 2 岩体裂隙的分类与水文地质特征

### 2.1 岩体裂隙的主要类型：毛细裂隙与重力裂隙

岩体裂隙是水封油库地下水运动的关键通道，其类型对水封性能起着决定性作用。毛细裂隙一般宽度很小，大多在毫米级以下，水在其中主要依靠毛细作用来维持流动与存储，这类裂隙有较高的渗透阻力，可有效限制油品渗漏。相比之下，重力裂隙宽度较大，通常达到几厘米甚至数米，具有较强水流通道特性，水在重力裂隙中以自由流动的形式存在，流速较快且方向相对固定。这两者在空间分布和联通性方面存在明显差异，毛细裂隙多呈网状分布，且容易保持湿润状态；而重力裂隙则多集中在断层带或节理带，形成明显的水流通道。在水封油库设计过程中，理解和区分这两种裂隙类型，对于确定注浆封堵范围、维持湿润环境以及控制涌水量极为重要。

### 2.2 裂隙结构参数对渗透性与水封性的影响

裂隙的宽度、长度、连通性以及充填物的性质，这些都属于决定其渗透性和水封性的关键要素。其中，裂隙宽度会对流体的流动阻力产生直接的影响。当裂隙宽度比较小时，凭借毛细力便能够有效地阻止油品出现渗漏的情况；然而要是裂隙宽度过大的话，那就很容易会变成油品向外泄露的通道。至于裂隙的长度还有连通性这两方面的情况，它们能够决定地下水在岩体当中具体的流动路径以及补给的效率。如果裂隙所形成的网络呈现出较长的状态并且连通程度也很高，那么就比较容易构建起一个较为稳定的水流系统，这对于维持水封油库的水压环境是有帮助的。充填物的性质像是泥质、碳酸盐或者是胶结物等，这些都会对裂隙的渗透率以及稳定性有所影响。优质的充填物能够在一定程度上降低渗透性，进而强化水封的效果。在进行相关设计的时候，务必要综合现场勘察所获取的数据，对这些参数展开科学且合理的评估，以此来为裂隙封堵以及水封维护等工作给予相应的指导。

### 2.3 水跃值与毛细作用机制

水跃值乃是体现水位于裂隙当中跃升能力的一项关键指标，其主要受到毛细作用的影响。毛细作用借助水分子彼此间存在的粘附力以及岩体表面所具备的润湿性，促使水在细小的裂隙里能够形成高出自由水面的水柱，进而防止油气出现逆向渗漏的情况。水跃值的高低和裂隙的宽度呈现出反比关系，也就是说裂隙越是细小，那么水跃值就会越高，相应的水封效果也就越好。毛细作用一方面维持着裂隙内部的水压力，另一方面还通过形成稳定且不易变化的水膜来阻止油品进入裂隙，如此便达成了物理层面的油水分离。对水跃值加以准确的测定并合理地加以利用，这在水封油库的设计环节里是控制油气逸散的重要科学依据，能够大幅提升储存石油时的安全性。

### 2.4 裂隙发育对水封稳定性与油品逸散的影响

裂隙系统的发展状况同水封油库的稳固性以及油品出现逸散的风险有着直接关联。要是裂隙网络发育程度颇高，并且连通情况也很不错，那么这便有益于地下水展开循环补给活动，也有助于维持稳定的水压状态，进而强化水封所起到的作用。然而倘若裂隙的宽度以及连通性超出了一定的限度，那么它就会给油品发生渗漏的情况提供相应的路径，进而对水封体系造成破坏。由于裂隙存在非均一性，并且其空间分布也呈现出不规则的特点，所以水封油库在开展设计工作以及实施施工操作的过程中会面临诸多困难与挑战，这就需要针对那些重点裂隙去采取具有差异性的处理办法。过度的开采行为或者施工时的扰动情况很可能会促使裂隙进一步扩展并且连通程度加深，最终致使水封遭到破坏。所以说，精准地评估裂隙的发育状况，妥善地控制水文地质方面的各项参数，这是确保水封油库能够实现长效运行的基本前提。

## 3 涉水裂隙的处理原则与工程对策

### 3.1 含水裂隙的识别与涌水量测定方法

识别含水裂隙并准确测定涌水量是水封油库设计的基础。借助现场钻探、地质雷达以及水文地质试验等技术手段，可以精准定位高渗透性裂隙及断层带。测定涌水量时采用流量计和观测井水位变化相结合的方式，动态监测施工期间涌水的变化情况，以此为注浆封堵和排水设计提供参考依据。涌水量的多少一方面可反映出裂隙的渗透特性，另一方面也决定了泵坑排水设备的选型以及运行参数。科学且准确地识别与测定，对于实现针对性注浆、提高水封效果以及防止油品外泄等方面都十分有益。

### 3.2 注浆封堵技术与差异化裂隙处理策略

注浆封堵属于防止油品出现渗漏以及对地下水流动加以控制的一项关键工程举措，其在技术选取以及实施方案方面务必要结合裂隙的具体类型还有含水的实际条件来展开制定工作。就宽度相对较大且涌水量颇为显著的重力裂隙而言，应当选用具有高流动性并且水化学较为稳定的水泥基或者化学浆液来实施注浆操作，以此来保证裂隙能够实现彻底的封堵效果。而对于毛细裂隙来讲，注浆操作的重点在于对剂量加以控制，要防止出现过度堵塞的情况，以免对地下水应有的补给产生不利影响。差异化的处理策略在考虑裂隙的几何特征之外，还应当留意注浆材料的渗透性能以及其与环境的相容特性，从而切实保障水封系统能够在长期内保持稳定状态并维持生态方面的安全性。注浆的过程当中需要与实时监测相互配合起来，要及时对相关参数做出调整，进而确保封堵能够取得良好的效果。

### 3.3 保持围岩湿润状态的工程保障手段

围岩处于湿润的状态，这可是维持裂隙水封效应的关键所在。在施工进程当中，得凭借合理的排水方面的设计以及注浆封堵的相关举措，以防出现过度排水的情况，进

而致使围岩变得干燥,并且让裂隙产生开裂的现象。等到施工进入到后期阶段以及在投产之前,可以运用循环喷淋的方式以及人工补水的办法,以此来维持围岩处于较为稳定的湿润状态。处于湿润状态的裂隙,其一是能够增强毛细力的作用,其二是可以有效地对油气渗漏加以阻止,同时也能防止裂隙进一步地扩展开来。工程保障方面,还需要合理地去选择施工工艺,尽量减少施工时产生的震动以及对周围环境的扰动,从而把裂隙出现二次扩展的风险降下来,进而确保水封油库整体的地质环境能够保持稳定的状态。

#### 4 地下水动态变化与施工地质问题

##### 4.1 施工扰动对地下水系统的影响

在施工进程当中所开展的爆破作业、开挖操作以及排水行为,会给地下水系统带来颇为显著的扰动情况。其中,爆破所产生的震动有可能致使裂隙出现扩展并且相互连通起来,进而使得水流所经过的路径以及流经的水量都发生相应改变。排水作业往往会使得局部区域的水位有所降低,对原本存在的水压平衡状态造成破坏,如此一来便会对水封所起到的效果产生影响。地下水系统针对这些扰动呈现出的动态响应情况,具体表现为水位会出现急剧下降的情形,并且水流的方向也会发生改变,这两方面的情况给施工安全以及水封的稳定状况都带来了双重方面的严峻挑战<sup>[1]</sup>。要是能够对施工流程予以合理的规划安排,同时科学地去控制排水的量以及爆破所释放出来的能量,那么就能够最大程度地减少对地下水系统产生的那些不利影响,从而确保水封油库可以安全地进行运行操作。

##### 4.2 水位下降与恢复的动态过程

水封油库在施工的时候,地下水水位往往会明显下降,等进入到稳态恢复阶段之后,水位才会慢慢回升起来。水位下降的速度会受到裂隙结构、补给条件以及排水强度等因素的影响,而恢复的过程则要依靠周围含水层的补给速度以及裂隙毛细作用的恢复能力<sup>[2]</sup>。水位的变化和油水界面的稳定有着直接的关系,如果水位过低,就有可能导致油品出现渗漏的情况,恢复的速度慢了又会对后期的运营安全产生影响。所以,通过监测水位变化的曲线,再结合水文地质模型,准确地预测水位的动态情况,这对于保证施工阶段以及运营阶段水封系统的稳定性来说是非常关键的。

##### 4.3 地下水动态预测方法

地下水动态预测主要依靠水文地质参数、裂隙分布以及施工条件等方面的情况来开展相关工作。在具体的操作过程中,会采用数值模拟以及统计分析这两种方法。所构建的模型把水流动力学因素、毛细作用情况以及地下水补

给状况都纳入到考量范围之内,如此一来便能够较为有效地对施工以及运营期间的水位变化大致走向以及地下水流动的具体特性做出预测。就数值模拟方法而言,像有限元以及有限差分这类技术手段会被运用到其中,并且还会和现场实际观测所获取的数据结合起来,进而通过建立起三维裂隙水流模型的方式,精准地呈现出水封油库的地下水动态实际情况<sup>[3]</sup>。而统计分析这边,则是借助历史数据以及水文地质方面的监测手段,以此来揭示出地下水系统所存在的周期性变化规律以及出现的异常波动具体特点。科学且合理的地下水动态预测,一方面能够为施工排水以及注浆封堵等相关事宜给予决策方面的有力支持,另一方面也为实现水封系统在长时间内的安全稳定维护打下了坚实的基础,进而切实保障储油环境能够达成可持续性的管理状态。

#### 5 结语

水封油库在设计以及施工进程当中,水文地质方面的问题还有工程地质相关的问题是始终贯穿于其中的,这些问题会对油库的安全性产生直接影响,同时也会对环保效果起到关键作用。本文全面且细致地分析了岩体裂隙所具有的各类类型以及其相应的特征,还详细阐述了裂隙参数对于水封性能所具备的决定性影响,着重指出了毛细作用以及水跃值在水封机制里所占据的核心地位。就含水裂隙而言,提出了较为科学合理的识别办法以及注浆封堵的相关策略,同时也强调了维持围岩处于湿润状态的重要意义。施工扰动给地下水系统所带来的影响以及其呈现出的动态规律,借助地下水预测手段以及地质信息反馈机制,达成了行之有效的动态控制效果。在未来水封油库的设计环节当中,应当持续不断地深化针对水文地质以及工程地质展开的综合性研究工作,强化在施工期间的动态管理工作,以此来保证水封效果能够实现长期的稳定状态,并且确保油品储存过程中的安全与环保,进而推动石油储存技术朝着更为科学合理且可持续发展的方向不断迈进。

#### [参考文献]

- [1]胡启扬.裂隙岩体地下水封油库水幕钻孔注水渗流机理研究[D].河南:河南大学,2024.
  - [2]江顺利,周金明,周立坚,等.广西北部湾地下水封石洞油库选址地质条件分析[J].中国煤炭地质,2022,34(11):46-50.
  - [3]王者超,张彬,乔丽苹,等.中国地下水封储存理论与关键技术研究进展[J].油气储运,2022,41(9):995-1003.
- 作者简介:常广勋(1979.6—),男,汉,河南,高级,硕士研究生,北京工业大学,油库、冷链物流仓库、棉花库、综合物资库等商物粮行业设计及建设项目管理工作。

## 绿色工艺视角下硝酸生产过程能耗优化与减排路径研究

段颖

唐山中浩化工有限公司, 河北 唐山 063000

[摘要]硝酸生产这个化工环节能耗高且排放也高,行业发展的关键方向是其绿色转型,优化工艺流程、调控反应条件、回收利用余热能显著降低单位能耗,升级催化剂、应用尾气治理技术会减少氮氧化物排放,结合数字化控制和智能监测手段来精细化管理生产全过程能提升资源利用效率也能为碳减排目标提供可行路径,这一研究对推动化工行业低碳转型意义重大。

[关键词]硝酸生产; 能耗优化; 减排路径; 绿色工艺; 智能化

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17514

中图分类号: X783

文献标识码: A

### Research on Energy Consumption Optimization and Emission Reduction Path of Nitric Acid Production Process from the Perspective of Green Technology

DUAN Ying

Tangshan Zhonghao Chemical Co., Ltd, Tangshan, Hebei, 063000, China

**Abstract:** The production of nitric acid is a chemical process with high energy consumption and emissions. The key direction for industry development is its green transformation, optimizing process flow, regulating reaction conditions, and recycling waste heat to significantly reduce unit energy consumption. Upgrading catalysts and applying tail gas treatment technology will reduce nitrogen oxide emissions. Combining digital control and intelligent monitoring methods to finely manage the entire production process can improve resource utilization efficiency and provide feasible paths for carbon reduction goals. This research is of great significance for promoting low-carbon transformation in the chemical industry.

**Keywords:** nitric acid production; energy consumption optimization; emission reduction pathway; green technology; intelligentization

#### 引言

全球“双碳”战略不断推进,化工行业承受着前所未有的节能与减排压力,硝酸生产高能耗、高排放,在绿色转型里是重点环节,要在确保产能和质量的提升能源利用效率、减少污染物排放是行业急需解决的难题,引入绿色工艺有了新思路,流程优化和余热回收可降低能耗,智能化和数字化技术能推动全过程管控,为构建清洁高效的现代化化工体系有力支撑并为化工行业低碳、循环、可持续发展探索出可行路径。

#### 1 硝酸生产过程的能耗特征与减排压力

硝酸生产过程典型地具有高能耗特征,主要能耗集中于氨氧化反应、尾气加压、吸收冷却和相关辅助设备运行等环节,氨氧化阶段涉及 850~930℃高温与 0.7~0.9MPa 高压条件,稳定反应环境需要大量能源且会产生约 2000~2500kJ/molNH<sub>3</sub> 的副产热量,吸收系统中氮氧化物和水反应生成硝酸时,冷却、循环喷淋和尾气压缩操作得持续进行,这既增加电力和冷却水消耗又对热交换器效率、循环水系统提出更高要求,装置产能不断扩大使得吨硝酸综合能耗水平成为衡量企业竞争力和环境绩效的重要指标,行业数据统计,传统工艺吨硝酸能耗一般在 5.5~6.0GJ 之间,若能效控制不好,运行成本会上升且企业可持续发展能力也会直接受影响。

能耗居高不下使硝酸生产过程减排压力巨大,氨氧化与尾气排放是氮氧化物(NO<sub>x</sub>)的主要来源且排放浓度常在 800~1200ppm,治理不好会严重影响区域大气环境,氮氧化物是形成酸雨、臭氧、光化学烟雾的关键前体物且与 PM<sub>2.5</sub> 控制、区域空气质量改善直接相关,近年“双碳”战略和《超低排放行业标准》出台让硝酸行业排放控制要求越来越严且 NO<sub>x</sub> 排放限值已降到 200mg/m<sup>3</sup> 以下,企业既要满足现行排放标准还要考虑碳交易政策下的长期减排目标,排放超标就会面临碳配额不足、碳交易成本增加、环保处罚等经济压力,保障装置稳定运行、产能达标并高效脱除和减排 NO<sub>x</sub> 是行业发展必然要解决的问题。

全球能源结构转型与绿色化发展趋势对硝酸生产有了更高要求,传统靠化石能源驱动的生产模式难以适应低碳发展新形势,提升能效、清洁化转型成提升行业竞争力核心路径,单一设备改造或末端治理措施满足不了未来需求,因此得从工艺系统集成角度推进全流程优化,用余热回收锅炉和汽轮机系统实现能量梯级利用能大幅减少对外部蒸汽和电能依赖,催化剂升级换代(如铑-钨合金网、稀土改性催化剂)在高转化率时可减少副产 NO<sub>x</sub> 生成,引入过程强化技术(像多级吸收塔、优化液气比设计)以及数字化监控平台能动态优化反应效率与排放控制,能耗特征和减排压力的双重挑战给硝酸行业推广绿色工艺提供现实动

力，为未来低碳化和智能化路径探索奠定坚实基础。

## 2 绿色工艺在硝酸生产中的应用与优化路径

在硝酸生产中，绿色工艺逐渐成为能耗优化与减排的关键手段，其应用主要体现在工艺流程的精细化改造、能源回收循环利用、反应条件优化调控等方面，硝酸生产的核心环节氨氧化反应，其操作温度和压力条件直接影响能耗和氮氧化物副产量，新型高效催化剂（像铑-钨合金网、稀土改性催化剂）的使用，既能降低活化能、提高氨转化率，又能减少一氧化二氮（ $N_2O$ ）等温室气体的生成，钨基或者稀土修饰的催化剂在耐硫、抗水汽干扰方面性能好，能明显改善催化剂寿命与选择性，让反应更稳定高效，进而减少不必要的能耗，吸收系统的优化也很重要，配置高效换热器、分布式冷凝器和改进传质设备，可大幅提升传质速率，降低冷却水和电能消耗，让硝酸生产过程的能源利用效率更高。

绿色工艺应用时，能源回收与循环利用是能耗优化的重要途径，硝酸生产会释放大余量余热，充分回收利用这些余热能显著降低总体能耗，像用废热锅炉（WasteHeatBoiler, WHB）回收氨氧化放热能转化成 3.0~3.5MPa 的中高压蒸汽，驱动空压机、汽轮机，或给吸收塔加热提供热源以实现能量梯级利用，行业实证显示，配备高效余热回收装置后，吨硝酸综合能耗可降 12%~15%， $CO_2$  间接排放强度约降 0.25t/tHNO<sub>3</sub>，进一步缓解碳排放压力，而且把工艺和可再生能源深度结合，引入光伏发电、风能供电或者绿色氢能部分取代传统化石能源驱动，让硝酸生产体系在绿色工艺框架下能耗优化和减排路径协同发展，再进一步，引入储能系统，像锂电池、液流电池，平衡可再生能源供给的波动性，配合智能能量管理系统（EMS），削峰填谷的提高能源利用效率，确保硝酸装置不同负荷下稳定运行，给行业绿色、低碳、可持续发展有力支撑。

智能化和数字化深度融合成为推动绿色工艺落地的重要支撑，构建全流程数字孪生模型（DigitalTwin）能使企业在虚拟环境里模拟温度、压力、液气比等关键工艺参数对能耗与排放的动态影响，从而在设计阶段提前优化运行条件，而且 AI 预测模型和大数据分析平台助力系统实时监测和动态调控反应器的能量利用效率、尾气  $NO_x$  排放浓度以及冷却系统负荷，让装置长期处于最佳运行区间，部分采用智能化控制的企业数据表明装置综合能效提升约 5%~8%、 $NO_x$  排放降低 10%~12%、吨硝酸碳排放强度下降约 0.3tCO<sub>2</sub>eq，如此一来绿色工艺在技术、经济和环保方面的优势逐渐凸显，推广绿色工艺既是应对“双碳”战略的必然需求也是行业提升核心竞争力的有效方式，未来过程强化（ProcessIntensification）、智能优化控制（AdvancedProcessControl, APC）和循环经济理念深度融合会让硝酸生产逐步走向更高效、低碳、可持续的发展新阶段，绿色工艺应用效果对表 1 所示。

表 1 绿色工艺应用效果对比

优化措施	能耗降低幅度	排放减少幅度	综合效益提升
高效催化剂应用	8%	10%	工艺更稳定
余热回收系统	12%~15%	8%	降低运行成本
智能化控制平台	5%~8%	≥10%	提高灵活性

## 3 能耗优化与尾气减排的技术策略

硝酸生产过程中，能耗优化和尾气减排特别关键，不但要降低单位产品能耗，还得使氮氧化物等污染物达标排放，以提高经济效益和环境效益。能耗优化方面，氨氧化反应是核心，该反应一般在 850~930°C、0.7~0.9MPa 的高温高压下进行，不但耗能多，而且运行波动时容易浪费能量，工业上为了减少这一环节的能耗，已逐渐推广高效合金催化网（如铑-钨合金网），其选择性提高，氨转化率能超 96%，副反应率能降 2%，从而减少反应中额外的能量损耗，并且反应器结构也可优化，采用径向流反应器和多级分布式进气设计，改善流场分布，使温度梯度更均匀，进而提高热效率，合理安排换热网络并引入余热回收系统，就能实现能源梯级利用，如把氨氧化放出的高温尾气送到余热锅炉产生高压蒸汽，用于驱动压缩机或者给下游吸收塔供能，有实践数据表明，使用高效余热回收后，每吨硝酸综合能耗能从 5.8GJ 降到约 4.9GJ，节能近 15%，运行成本也大幅降低，能源利用率从 82% 提升到将近 90%。

尾气减排的核心任务是治理氮氧化物（ $NO_x$ ），硝酸生产尾气里  $NO$  和  $NO_2$  浓度常达 800~1200ppm，直接排放会严重影响环境并招来严格监管处罚，选择性催化还原（SCR）、选择性非催化还原（SNCR）、尾气多级吸收与深度氧化等工艺成了主流。SCR 工艺注入氨或者尿素，在催化剂作用下可使  $NO_x$  转化成  $N_2$  和  $H_2O$ ，脱除效率 90%，SNCR 在 850~1050°C 温度窗口投加还原剂能再降低  $NO_x$  浓度约 30%~50%。优化尾气吸收系统液气比和吸收塔填料结构可提高吸收效率，使尾气中  $NO_2$  含量降到 200ppm 以下，有些先进企业引入低温等离子体技术和催化耦合反应将没吸收的  $NO_x$  深度氧化进一步转化再回收利用，这些技术综合应用尾气排放浓度一般能降低 30%~40%，部分示范工程削减水平达到 50%，吨酸  $NO_x$  排放能控制在 150mg/m<sup>3</sup> 以内，基本符合国际先进标准，为超低排放目标的实现提供了可行路径。

智能化与数字化技术在能耗优化与尾气治理融合时潜力巨大，构建工艺全流程在线监控与优化系统，通过分布式传感器网络实时采集温度、压力、流量和尾气组分等数据后用大数据分析人工智能算法动态预测和调节，可使反应过程始终处于最佳状态，而且数字孪生模型能在虚拟环境模拟不同操作参数对能耗与排放影响，在实际生产前优化方案从而降低试错成本，应用案例显示数字孪生和 AI 预测模型让生产装置能效提升约 7%~10%、尾气  $NO_x$  排放降低 12%~15%、碳排放强度下降约 0.25t/tHNO<sub>3</sub>，

智能调度系统可全局优化余热回收与电力负荷进而使能源利用率提升 5%，碳排放监测与碳资产管理平台和企业一结合就能将节能减排量转化为可交易的碳配额或者碳信用，让企业有额外经济收益且增强市场竞争力，“双碳”战略不断深入推进，能耗优化与尾气减排技术的系统化和智能化应用不仅体现技术革新价值，还为硝酸行业构建绿色低碳智能可持续发展模式指明方向，为未来在国际市场提升绿色竞争力打下基础。

#### 4 智能化与数字化赋能的绿色转型方向

智能化与数字化赋能为硝酸生产的绿色转型指出新的发展方向，关键在于用先进信息技术实现工艺的精细控制与全过程优化，传统生产模式下能耗与排放管理靠人工监测和经验判断，既滞后又不确定，容易造成能源浪费和排放超标，而工业互联网、边缘计算和大数据平台引入后硝酸生产逐渐具备全流程数据采集、实时监测和智能分析能力，部署分布式传感器网络可对温度、压力、流量、气体成分等关键运行参数进行秒级采集从而构建动态工艺数据库，多变量统计分析和预测性控制方法相结合能让系统为能耗评估与减排决策提供更科学的依据，这种数据驱动的运行方式使生产过程不再单纯依赖经验，而是依靠智能算法与模型预测支持下的精准管控，能源利用率和生产稳定性大大提高。

智能化系统在能耗优化上把大数据挖掘和人工智能算法（像 BP 神经网络、模糊控制与遗传算法优化）相结合，就能快速定位能耗薄弱环节并提出最优调控方案，氨氧化反应温度偏离设定区间时，系统会自动调整进料氨气与空气配比、催化床层温度和操作压力，使反应维持在最佳热力学与动力学区间以避免能量过度消耗。应用数字孪生（DigitalTwin）技术后，企业可在虚拟仿真环境里模拟和优化不同操作工况以提前评估节能与减排效果，从而降低实际运行的试错风险和经济损失，行业实践表明硝酸装置采用数字孪生和 AI 预测模型时能源效率一般能提升 5%~10%、吨硝酸碳排放强度能下降 0.2~0.3tCO<sub>2</sub>eq，经济和环保效益显著提升，而且智能调度系统能依据能源管理系统（EnergyManagementSystem, EMS）优化余热回收、蒸汽分配和电力负荷，实现全厂范围能量梯级利用，推动硝酸生产朝着清洁化、低碳化转型，逐步实现智能电网和绿色能源协同融合。

在尾气治理和绿色转型的路径里，数字化赋能有着不可替代的作用，智能监控平台和在线分析仪（像红外气体分析仪、化学发光分析仪）能对尾气中的 NO 和 NO<sub>2</sub> 浓

度进行秒级连续监测，机器学习（MachineLearning, ML）和趋势预测模型相结合，系统就可以提前识别排放异常，触发自适应调节，像自动优化吸收液循环量、动态调节选择性催化还原（SCR）反应温区或者尿素喷射量，让氮氧化物脱除效率达到最大，有些先进企业还引入区块链碳排放追溯体系，把节能减排成果透明化管理，凭借碳交易市场转化成经济收益，“双碳”目标深入实施，智能化和数字化不只是生产过程优化的工具，更是驱动硝酸行业战略升级的重要手段，构建以数据驱动、智能控制和可追溯管理为核心的绿色工艺体系，硝酸生产会逐步达成高效化、低碳化和可持续发展的深度融合，在行业内成为可复制、可推广的示范样板，给整个化工行业的绿色转型提供坚实支撑和战略引领。

#### 5 结束语

硝酸生产过程绿色转型是应对能耗高和减排压力的必然之举，也是达成“双碳”战略与可持续发展的关键，高效催化剂的使用、余热回收利用、尾气治理技术升级，再加上智能化和数字化平台赋能，企业就能提升能源利用效率，有效控制氮氧化物排放，实现经济效益和环境效益双赢，日后绿色工艺和智能化手段深度融合会不断推动行业创新，在政策支持和市场驱动下逐步完善，有力支撑硝酸生产构建清洁、高效、低碳的发展模式，助力化工行业整体走向绿色可持续发展。

#### [参考文献]

- [1]邓芳利.自动调节控制系统在硝酸铵生产中的应用[J].木工机床,2023(4):19-21.
- [2]周雪蛟.再生铅回收过程中脱硫脱硝技术集成与节能减排效果评估[J].资源节约与环保,2025(6):5-8.
- [3]朱磊,任军.双加压硝酸装置的节能技术研究[J].化工设计通讯,2019,45(9):216-218.
- [4]戴付龙,肖亚冬.硝酸生产中循环水系统节能分析[J].氮肥技术,2022,43(2):36-37.
- [5]卢王奇,文鑫,但光局,等.蒸汽压缩机在硝酸锂蒸发浓缩过程中的节能减排应用研究[J].当代化工研究,2024(8):86-89.
- [6]何玮,科莱恩 EnviCatTMN2O-S 催化剂助力恒力石化硝酸工厂每年减少 69 万 t 二氧化碳当量排放[J].现代化工,2024,44(12):14.

作者简介：段颖（1991.11—），女，河北省唐山市人，汉族，本科学历，化工助理工程师，就职于唐山中浩化工有限公司，从事化工生产（硝酸生产和罐区储运）相关工作。

## 液化天然气(LNG)储运的安全技术及管理措施

赵小军

巴彦淖尔华油天然气有限责任公司, 内蒙古 巴彦淖尔 015000

[摘要]液化天然气属于清洁能源范畴, 其中储运环节有着明显安全风险。此文依据液化天然气独有的低温、易燃特点, 细致剖析储运环节关键风险因素, 广泛探讨涵盖储罐设计、泄漏监测、应急切断以及防火防爆等核心技术举措, 全方位阐述安全管理体系建设、人员培训、设备维护还有应急响应等相关管理方式。

[关键词]液化天然气; 储运安全; 风险防控; 监测技术

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17508

中图分类号: TE88

文献标识码: A

### Safety Technology and Management Measures for Liquefied Natural Gas (LNG) Storage and Transportation

ZHAO Xiaojun

Bayan Nur China Petrol Natural Gas Co., Ltd., Bayan Nur, Inner Mongolia, 015000, China

**Abstract:** Liquefied natural gas belongs to the category of clean energy, and there are obvious safety risks in the storage and transportation process. This article carefully analyzes the key risk factors in the storage and transportation process based on the unique low-temperature and flammable characteristics of liquefied natural gas. It extensively explores core technical measures such as tank design, leak monitoring, emergency shutdown, and fire and explosion prevention. It comprehensively elaborates on the construction of safety management systems, personnel training, equipment maintenance, and emergency response management methods.

**Keywords:** liquefied natural gas; storage and transportation safety; risk prevention and control; monitoring technology

随着我国经济社会的逐渐发展, 清洁能源逐渐成为了当前世界的发展主流。而液化天然气(LNG)作为一种清洁性的能源对于国家节能减排的发展十分关键。2024年我国天然气消费量达到2465亿 $m^3$ , 在一次能源消费中占比升至8.8%, 液化天然气储运设施规模不断扩大, 安全运行压力随之增加。液化天然气具有低温深冷、易气化、易燃易爆等特性, 在储运过程中存在泄漏、火灾、爆炸等多种风险。液化天然气储运中的安全管理工作占据着重要地位, 而就当前的实践情况来看, 储运管理成效虽然有所提升, 但是依然存在一定问题, 需要落实针对性处理, 提升液化天然气运输安全总体水平。

#### 1 LNG 特性及储运风险分析

液化天然气是一种主要由甲烷构成的低温液体, 在常压条件下其沸点低至零下 $162^{\circ}C$ , 密度大约是 $430kg/m^3$ , 并且气液膨胀比可达到600:1的程度。正是这些物理特性, 让液化天然气在储存环节、运输环节以及使用环节之中都存在着诸多风险<sup>[1]</sup>。其低温特性有可能致使材料出现脆化并最终失效的情况, 气化特性则可能诱发超压方面的危险状况, 而它的易燃特性更是有可能引发火灾或者爆炸这类严重的事故。并且这些风险因素彼此之间存在着相互关联以及相互影响的关系, 从而形成了一种极为复杂的安全方面所面临的挑战。

在储存这一环节当中, 液化天然气储罐存在着分层以及翻滚这两种现象。具体而言, 当不同密度以及不同组分

的液化天然气在储罐里面出现分层并且不断积累起来的时候, 处于底层位置的液体因为会吸收热量, 所以它会比上层的液体更早地进入到过热的状态。该底层液体就会在极短的时间之内迅速发生气化, 进而致使大量的气体从中逸散出来, 最终使得罐内的压力骤然间大幅度升高。这样的一种压力方面的突变情况, 是完全可以超出安全阀所具备的排放能力的, 如此一来便极有可能引发机械出现失效状况以及介质产生泄漏问题。

在运输这个环节当中, 槽车还有船舶属于是处于移动状态之中的危险源, 它们所面临的那种风险环境是比较复杂且多变的。就道路运输而言, 其中存在的交通事故、机械方面出现的损伤情况, 还有绝热功能出现失效等一系列问题; 而海上运输同样存在诸多威胁, 像船舶相互之间发生碰撞、遭遇恶劣的天气状况以及遭受海盗的袭击等等, 这些问题全都使得安全管理的难度有了大幅度的提升<sup>[2]</sup>。在2024年的时候, 红海危机不断持续并且还在进一步蔓延开来, 这使得大量的船舶不得不绕行好望角, 如此一来便整体上提升了液化天然气运输市场在吨海里需求方面的情况, 同时也让风险暴露的时间有所增长。

#### 2 LNG 储运安全技术

##### 2.1 储罐设计与材料安全技术

液化天然气储罐属于储存系统当中的核心设备, 其设计情况和整个设施的安全可靠性存在着直接关联。在现代液化天然气储罐的设计当中, 普遍会采用双层容器的结构

形式，其中内罐所选用的材料是耐低温的 9% 镍钢、铝合金或者奥氏体不锈钢，而外罐则采用预应力混凝土，将其作为主要的承力结构以及防护屏障来使用。这样的设计一方面充分考虑到了低温介质的储存方面的实际需求，另一方面也兼顾到了针对外部冲击以及环境影响所提出的防护要求。就全容式液化天然气储罐而言，应当设置安全阀、真空安全阀以及补气阀，而且安全阀与真空安全阀均需设置备用阀，通过这些多重的保障举措，能够有效确保储罐在出现异常工况的时候依然具备良好的安全性。

储罐附件系统在保障安全运行方面起着极为关键的作用。其中，液位测量系统得设置高液位报警、低液位报警以及高液位和低液位报警等，并且要配备自动切断连锁装置；温度监测系统会凭借在储罐不同高度处布置的测温点来实时对液体温度分布加以监控，进而预警可能出现的分层现象；而压力监测系统则负责跟踪罐内压力的变化情况，以此来控制泄放和补充的相关流程<sup>[3]</sup>。这些系统相互协同开展工作，由此便形成了一张针对储罐运行状态的全面监控网络，从而为安全运行给予了数据方面的有力支撑，并且也提供了相应的决策依据。

材料选用属于储罐设计环节里的一项技术难题，得同时顾及低温性能、机械强度以及经济性这几个方面。9% 镍钢有着不错的低温韧性以及强度，不过其焊接工艺颇为复杂，并且成本也偏高。铝合金还有奥氏体不锈钢在加工性能上表现更佳，然而它们的强度相对来说是比较低的。就液化石油气储罐而言，要是采用低合金高强钢的话，那么就要明确标出其可适用的腐蚀介质浓度，在工艺操作方面也要严格把控腐蚀介质的浓度，不可以超出浓度来使用。随着材料技术的不断进步，给储罐安全带来了更多的选择可能，像复合材料以及应用功能性涂层技术在腐蚀防护这个领域已经呈现出很好的发展前景了。

## 2.2 泄漏监测与应急切断技术

液化天然气发生泄漏时的监测工作，这可是预防重大事故的关键所在，说它是第一道防线也不为过。气体检测报警系统务必要把所有可能出现泄漏的地方都涵盖进去，像储罐区、装卸区、工艺装置区以及管道连接处等区域都要涉及。探测器的类型以及布点的策略，得依据液化天然气的密度特性还有可能发生的泄漏场景来加以优化设计才行。那些大型的油气储存企业，可得把气体检测报警系统、紧急切断系统、视频监控系統以及雷电预警系统都配备齐全了。

应急切断系统算得上是控制事故不断扩大的极为关键的一项设施，其能够在察觉到出现异常状况的时候迅速地将危险源予以隔离。此系统包含了传感器、控制单元以及执行机构这几个部分，一般而言，其响应时间是需要在数秒之内把全流程的操作都完成好的。就装卸作业来讲，紧急切断阀应当设置于距离装卸车台超出 10m 并且方便开展操作的地点，并且还须得拥有远程控制以及手动操作这两方面的功能。

智能监测技术在不断发展，给泄漏防控带来了全新的解决办法。中海油气电集团技术研发中心携手康士伯数字公司展开合作，在珠海液化天然气接收站推行数字孪生技术应用试点，由此构建起了接收站的动态运营大脑。该系统凭借以机理模型作为核心所构建的液化天然气接收站工艺数字孪生体，突破了传统技术方案所存在的局限，能够实时接入现场的工艺数据，实现对接收站实际运行状态的动态同步还原。这样一种创新的技术手段，使得泄漏风险识别以及响应的准确性与及时性都得到了大幅度的提升。

## 2.3 防火防爆与低温防护技术

防火防爆技术在液化天然气储运安全方面占据着极为关键的地位。考虑到液化天然气存在火灾危险性这一情况，设施在布局之时务必要将防火间距、通风条件以及应急救援需求等方面都充分考量进去。一般来讲，储罐区往往会布置于远离明火与热源之处，并且在其周围会设置防火堤以及引流沟，以此来对泄漏液体的流向加以控制，同时也能对蒸发范围起到一定的限制作用。就防爆电气设备而言，其选型以及安装工作都应当严格遵循相关的标准要求，从而确保能够在爆炸性环境当中安全地运行。

低温防护技术主要是针对液化天然气那种极为寒冷的特性来开展的，其目的在于防止相关设备出现失效的情况，同时也避免人员遭受伤害。在防护措施当中，保冷层的设计无疑是非常关键的一个技术环节，它能够起到减少外界热量传入的作用，进而维持住低温的环境状态。除此之外，这样的设计还能有效防止设备外表面出现结霜的现象，降低冻伤的风险。在材料的选择方面，得充分考虑到材料在低温环境下性能会发生怎样的变化，务必要避免出现脆性断裂以及密封失效这类情况。对于那些操作人员有可能会接触到的低温表面以及介质，就需要采取相应的隔离举措，并且设置警示标识，同时还要为操作人员配备专门用于防低温的个人防护装备。

工艺安全技术着重于流程方面的优化以及风险的预防工作，借助自动化控制手段来降低人为干预的情况以及操作出现失误的几率。就槽车装车这一情况而言，在传统操作模式当中，当不进行装车作业的时候，低压泵能够较为平稳地运行，并且其启停调整的频次也比较低。而数字孪生系统凭借装车系统的模拟以及智能优化相关技术，达成对装车方案的预测性优化，该系统可以实时抓取当前装车流量所发生的波动变化情况，并且会同步去触发槽车模型以及相应的算法来开展迭代推荐操作，从而使得槽车总管流量的变化趋向于稳定状态。

## 3 LNG 储运安全管理措施

### 3.1 安全管理制度体系建设

安全管理制度体系对于液化天然气储运安全而言，属于基础性的保障要素。我国应急管理部在 2023 年所发布的《油气储存企业安全管理指南试行征求意见稿》，给相关行业给出了颇为详尽的管理框架以及技术方面的具体

要求。企业需要以此作为根基,构建起契合自身特点的安全管理制度体系,将各级职责予以明确,并且清晰界定工作流程,进而达成安全管理的系统化与规范化目标。

风险管理机制作为安全管理制度的关键构成部分,涵盖了危险源辨识、风险评估以及控制措施制定等诸多环节。企业有必要构建起长效机制,按时开展危险源辨识与风险评估方面的工作,以便能够及时察觉并清除事故隐患。就重大危险源而言,得为其建立起专门的档案以及相应的管理方案,并且要上报给相关的监管部门予以备案,从而接受更为重点的监管举措。

### 3.2 人员培训与操作规范

人员的能力以及安全意识在很大程度上决定了安全管理体系能否有效运转。就液化天然气储运设施的操作人员而言,他们得具备相应的专业知识与技能,要清楚知晓物料的具体特性、设备的工作原理以及应急处理程序,并且能够精准地去操作设备以及做好设备设施的维护保养工作。其培训内容务必要将安全知识、操作技能还有应急响应等方面都涵盖进去,同时要运用理论教学、实操训练以及模拟演练等多种不同的方式方法来开展,以此来确保培训所达成的效果以及质量均能够有所保障。

操作规范属于技术文件范畴,其作用在于对作业活动予以指导,务必要涵盖所有关键操作以及异常工况处置相关内容。操作规程得具体细化至每一个作业类别,像进退料环节、装卸作业环节等这些重点环节的技术要求都得明确,硫化氢脱除作业、报警处置等方面所涉及的专项管理要求也需包含在内。操作规范在编制的时候,要以风险分析和技术标准作为基础,确保内容既准确又可靠,表述方式还得清晰且通俗易懂,方便操作人员去理解并切实执行。

### 3.3 设备维护与定期检验

设备完整性乃是保障液化天然气储运安全的物质根基所在,其维护策略务必要依据设备所处的重要程度以及风险等级的不同情况,采用诸如预防性维护、预测性维护以及故障发生后的修复等多种不同方式加以组合运用<sup>[4]</sup>。维护计划务必要将所有关键设备都涵盖进去,像储罐、管道、阀门、泵以及各类仪表等,同时要清晰明确地界定出维护的具体内容、相应的周期以及相关标准。维护记录必须要保证完整且准确无误,从而能够为设备状态的评估以及管理方面的决策给予数据层面的有效支撑。

定期检验算得上是验证设备完整性的一条颇为重要的手段。就压力容器、压力管道这类承压设备而言,依照国家相关法规以及标准规定,是需要开展定期检验工作的。其检验内容务必要涵盖宏观检查、测厚操作、无损检测以及安全附件校验等诸多方面,以此来对设备的实际状况以及剩余寿命展开较为全面的评估。而基于风险的检验策略,则能够对检验资源的分配予以优化,进而促使检验工作的效率与效果得以提升。

### 3.4 应急预案与演练机制

应急预案属于应对突发事件的行动指南范畴,其需将可能发生的各类事故场景都涵盖进去,同时要清晰明确组织职责方面的相关内容、资源调配的具体情况以及处置措施的相关事宜。就液化天然气储运设施来讲,其应急预案务必要包含针对泄漏、火灾、爆炸这类典型事故的响应程序,并且在制定过程中还需充分考虑低温介质以及易燃物质所具有的特性,进而采取那种具有很强针对性的控制措施。而应急资源保障则是确保预案能够有效发挥作用的物质根基所在,它包含了应急队伍、装备物资以及技术支持等诸多方面,对此必须提前做好相应的配置工作,并且要定期开展维护操作,以此来保证这些资源能够处于随时可启用的状态。

演练机制在检验以及完善应急预案方面,称得上是极为重要的手段。其借助模拟事故场景的方式,可对应急响应人员的决策能力予以训练,同时也能让他们的操作技能得以提升<sup>[5]</sup>。演练所采用的形式务必要呈现出多样性,像桌面推演、功能演练还有全面演练等都应包含在内,并且要确保能够涵盖不同层次以及各个环节。演练评估这一环节,在改进应急响应能力方面占据着关键的地位。

## 4 结束语

液化天然气的储运安全其实是一项复杂的系统工程,这里面涉及到技术层面、管理层面以及人员等诸多不同的维度,所以得要采取具有综合性特点的防控举措才行。唯有把先进的安全技术同完善的管理措施很好地结合起来,才能够构建起一个可靠的保障体系,从而去有效应对愈发复杂的那种风险环境。技术创新乃是提升安全水平的关键驱动力量。数字孪生以及智能优化这类技术在实际应用当中,已然为液化天然气储运安全开拓出了全新的解决办法。在未来的发展进程中,得持续强化技术研发以及创新方面的工作,深入探物联网、大数据还有人工智能等技术同安全管理相互融合的方式,进而构建起更为智能化的安全保障体系。

### [参考文献]

- [1]赵耀,李训周,战庭军,等.基于专利分析的LNG领域技术创新策略探讨[J].山东化工,2023,52(22):124-127.
- [2]曹惠兵,马岩,王新宇,等.针对液货舱低温LNG泄漏扩散分析[J].中国水运,2024(5):133-134.
- [3]夏功科.LNG储运的安全技术及管理措施[J].化工设计通讯,2022,48(9):142-144.
- [4]陈廷皓.天然气的液化工艺和储运安全性研究[J].当代化工研究,2022(14):136-138.
- [5]魏洁,乔小伟.液化天然气储运安全技术和措施[J].山东化工,2024,53(1):235-237.

作者简介:赵小军(1986.3—),男,毕业院校:中国石油大学(华东),学历:本科,所学专业:化学工程与工艺,当前就职单位:巴彦淖尔华油天然气有限责任公司,职务:技术员,职称级别:中级工程师。

## 基于智能化控制的硝酸生产安全管理与效率提升探索

杜冬琛

唐山中浩化工有限公司, 河北 唐山 063000

[摘要]硝酸生产属于高危化工过程, 安全和效率问题一直备受关注, 智能化控制把传感器监测、自动化系统、人工智能和大数据技术集成应用起来, 实现工艺动态调节、风险预警以及能效优化, 有助于安全生产的保障以及运行效能的提升, 应根据硝酸生产的特征来探讨智能化控制在安全管理和效率提升方面的作用以及发展路径, 以促使行业绿色高效发展。

[关键词]硝酸生产; 智能化控制; 安全管理; 效率提升; 绿色发展

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17513

中图分类号: X703

文献标识码: A

### Exploration on Safety Management and Efficiency Improvement in Nitric Acid Production Based on Intelligent Control

DU Dongchen

Tangshan Zhonghao Chemical Co., Ltd, Tangshan, Hebei, 063000, China

**Abstract:** Nitric acid production belongs to high-risk chemical processes, and safety and efficiency issues have always been a concern. Intelligent control integrates sensor monitoring, automation systems, artificial intelligence, and big data technology to achieve dynamic process adjustment, risk warning, and energy efficiency optimization, which helps to ensure safety production and improve operational efficiency. The role and development path of intelligent control in safety management and efficiency improvement should be explored based on the characteristics of nitric acid production to promote the green and efficient development of the industry.

**Keywords:** nitric acid production; intelligent control; safety management; efficiency improvement; green development

#### 引言

硝酸生产由于存在高温、高压和强氧化性介质而被看作高危化工环节, 行业发展长期受安全事故与能效不足的制约, “双碳”战略和高质量发展要求提出后, 传统管理模式难以达到安全与效率并重的目标, 而智能化控制靠实时监测、预测分析和自动调节能在保障安全时优化能耗、提升效能, 探索智能化控制在硝酸生产中的应用路径对推动产业绿色转型和持续发展意义重大。

#### 1 智能化控制的理论基础与技术框架

##### 1.1 智能化控制的基本概念与发展历程

在工业生产过程中, 把自动化、信息化和智能化手段引入进来形成智能化控制, 用它能精准调节与优化工艺、设备及运行状态, 不但可实现参数的实时采集与反馈, 而且能借助算法模型进行预测和优化以保持系统稳定与高效。其发展历程大致有三个阶段: 早期靠人工操作, 之后是以 DCS (分布式控制系统)、PLC (可编程逻辑控制器) 为代表的自动化阶段, 近年, 随着人工智能、物联网和大数据发展, 智能化控制进入新阶段, 该阶段强调自适应调节与多目标优化, 给硝酸生产等高危行业带来新机遇。

##### 1.2 传感器网络、DCS/PLC 系统与工业互联网的融合

智能化控制以传感器网络为基础, 用于采集温度、压力、流量、浓度等关键参数, 硝酸生产时传感器需具备高精度、耐腐蚀、抗干扰等特性才能保证监测数据可靠,

DCS 擅长整体协调且 PLC 响应灵活, 二者结合为自动化奠定坚实基础, 在此基础上工业互联网通过边缘计算和云平台使数据互联互通, 从而让生产过程跨区域协同、远程优化成为可能, 推动硝酸生产从自动化走向智慧化。

##### 1.3 化工过程里, 人工智能、大数据、机器学习有哪些应用价值?

化工生产复杂多变, 传统控制方法应对起来较难, 而人工智能在预测和优化方面有价值, 神经网络、模糊控制和强化学习都是常用算法, 依靠这些能让工艺自适应调节, 大数据技术可揭示运行规律和潜在风险, 能识别设备异常的早期信号以提前维护, 机器学习在数据积累过程中能不断更新模型使控制效果更佳, 硝酸生产中原料波动和工况变化频繁特别适合使用它, 将这三者结合起来不但能提高安全性和稳定性, 还能保障节能降耗和效率提升。

##### 1.4 面向硝酸生产的智能控制总体架构

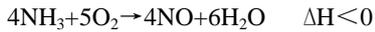
硝酸生产智能控制总体架构可概括为“感知—传输—分析—决策—执行”这样一个闭环, 其中多维感知靠传感器实现且高效传输由工业互联网负责, 分析与预测由大数据与人工智能平台完成之后控制策略得以生成并由 DCS/PLC 执行且形成反馈, 该架构让数据流、信息流和控制流融合起来, 能对温度和压力进行动态调节、及时排除隐患并通过能耗分析与工艺优化来提高经济效益, 以后要是引入数字孪生技术就能进一步把全过程虚拟映射出

来进行可预测管理以推动硝酸生产朝着安全化和绿色化发展。

## 2 硝酸生产过程的安全风险特征与控制需求

### 2.1 硝酸生产的工艺流程与典型安全隐患

氨氧化法常被用于硝酸生产，主要有氨气和空气混合、催化氧化、氮氧化物生成、吸收以及尾气处理等环节，这一过程里，高温下的铂—铑催化剂上氨气（NH<sub>3</sub>）会发生氧化反应：



反应生成的一氧化氮（NO）进一步被氧化成二氧化氮（NO<sub>2</sub>）后在吸收塔中溶入水中生成硝酸（HNO<sub>3</sub>），整个反应过程大量放热且在高压条件下进行，有着典型的温度、压力和化学反应风险。

其主要隐患包括：氨气泄漏与爆炸：氨气属于可燃且有毒的气体，其体积分数在 15.5%~28% 之间时处于爆炸极限，一旦泄漏与空气混合极易引发爆炸事故，并且高温催化存在风险，催化床层温度能达到 800~900℃，要是温度失控就可能发生催化剂烧结和系统损毁，氨氧化反应多在 0.6~1.0MPa 的压力下进行，高压设备疲劳或者被腐蚀极易产生破裂事故，尾气排放有隐患，未被完全吸收的氮氧化物排放出去会污染环境，NO<sub>2</sub> 有强氧化性和刺激性，对操作人员和设备都有害。

### 2.2 高温高压、氧化性介质与副产物风险分析

硝酸生产工艺危险性的体现不只在反应条件苛刻，还和介质特性以及副产物有关。

高温高压：在高温环境下反应速率会加快，若稍有控制不周就可能出现“热失控”的情况进而致使温度急剧上升，依据 Arrhenius 公式：

$$k = A e^{\frac{E_a}{RT}}$$

反应速率常数 k 跟温度成指数关系，温度每升高 10℃ 反应速率就可能提高 1.5~2 倍，硝酸生产催化阶段任何温度不正常都可能快速演变成安全事故。硝酸及其前驱物 NO<sub>2</sub> 是强氧化剂属于氧化性介质，能和有机物或者可燃物剧烈反应，NO<sub>2</sub> 跟烃类接触也许会自燃，设备管道长期接触氧化性介质腐蚀会加快且泄漏风险会增大。硝酸生产时常会产生 N<sub>2</sub>O（一氧化二氮）这个副产物，其温室效应潜能大概是 CO<sub>2</sub> 的 310 倍，这既是环境风险也意味着能源损耗，尾气要是含有高浓度 NO<sub>x</sub> 不但大气质量受影响而且操作人员呼吸系统也会遭到严重危害。

### 2.3 传统安全管理手段的局限性

传统安全管理主要靠人工巡检、常规报警与被动应对，这种模式有明显局限，人工巡检有间隔性，不能连续实时监控，易错过事故早期信号，且阈值触发的报警系统识别不了趋势性异常，像温度在正常区间却持续上升时，常没法及时警示，再者各环节数据分散于子系统，缺乏统一平台，无法做到全流程风险研判，而且应急措施多是事故发

生后的处置，缺乏基于预测模型的主动干预，由于这些不足，传统安全防护有效性有限，适应不了硝酸生产复杂多变的工况环境。

### 2.4 智能化安全管理的切入点与目标

传统安全管理模式存在不足，引入智能化安全管理，其切入点主要有四个方面：其一，传感器网络能进行多维度参数的实时监测，依托大数据平台综合分析，从而可识别潜在风险模式；其二，利用机器学习等方法建立预测模型，能够提前预警设备异常和工艺偏差，用时间序列分析预测压力变化趋势，提前触发调节；其三，存在智能联锁与自动干预机制，异常信号一出现便可马上执行像关闭进料阀、降低温度或者切换备用装置等措施，减少人为滞后反应；其四，确立系统性目标，在保障安全时注重生产效率与能源利用的优化，使安全、经济与环保有机统一，硝酸生产中主要风险参数及其典型数值区间为智能化管理提供定量参考，如表 1 所示。

表 1 硝酸生产中主要风险参数及其典型数值区间

风险因素	控制参数	典型数值范围	风险表现
反应温度	T/℃	800~900	超温导致催化剂烧结、热失控
反应压力	P/MPa	0.6~1.0	超压导致设备爆裂
氨气浓度	%（体积分数）	15.5~28 爆炸极限	泄漏与空气混合易爆炸
NO <sub>2</sub> 浓度	ppm	≤300	超标导致环境与人员中毒
N <sub>2</sub> O 副产物排放	体积分数%	0.5~1.5	环境温室效应、能效损耗

从表格能看出来硝酸生产过程不少参数都处于高风险区间，要是超出控制范围特别容易出事故，而智能化安全管理的目标就是靠多参数协同监测和动态调节让生产过程一直在安全边界里头运行。

## 3 智能化控制在硝酸生产安全管理中的应用路径

### 3.1 实时监测与多参数联动预警机制

硝酸生产时，安全直接与温度、压力、流量、浓度等的波动相关，单一监测难以满足复杂需求，得建立实时监测和多参数联动预警机制，靠传感器网络与在线系统，关键工艺点能被动态监控，信息流通过接入工业互联网形成，核心是综合分析，温度接近上限时，不仅报警被触发，还结合压力和流量交叉判断以避免误报或漏报，就像温度持续升高且压力上升时，系统判定为“热失控”趋势并提前响应，这比传统阈值控制可靠高效。

### 3.2 智能化联锁保护与应急控制系统设计

高危工艺的屏障是联锁保护，传统联锁以硬件逻辑为基础很僵化且难以适应复杂工况，而智能化联锁系统能凭借软件逻辑、动态阈值和多级响应机制快速进行干预，它分为三层，一是快速隔离如关闭进料阀，二是工艺调整切换备用冷却回路，三是应急处置好比停机、尾气分流，应

急控制系统还可按照风险等级分级响应,低等级提示人工,高等级自动控制,这样既能减少误动作带来的损失又能保证危险情况下快速进行处置。

### 3.3 风险预测与动态调控算法的构建

硝酸生产复杂多变,仅靠被动报警与联锁难以避免事故,于是得引入风险预测与动态调控,智能算法学习历史与实时数据建立预测模型推演运行趋势,就像预测到吸收塔温度缓慢升高时系统能提前调节进料或者冷却防止隐患扩大,其优势是提前介入主动修正工艺参数让系统处于安全区间,算法还能兼顾安全、能耗和产量达成多目标平衡。

### 3.4 安全生产数据平台与可视化决策支持

智能化安全管理以实现透明化与科学化决策为目标,通过数据平台对工艺参数、设备记录和环境数据进行集中采集、存储与分析以形成全方位信息体系,可视化决策系统用三维流程图、动态曲线和风险分布图直观呈现生产状态,异常出现时自动标记且生成处置建议来辅助管理层快速决策。

## 4 智能化控制促进硝酸生产效率提升的机理

### 4.1 工艺参数优化与自动调节的作用机理

硝酸生产效率要提升的关键在于精准控制工艺参数,传统模式下多靠人工经验调节而响应滞后且有偏差,智能化控制能实时采集温度、压力、浓度和流量并结合算法动态优化且调节在毫秒级就能完成,氨氧化反应温度在 $880^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 时催化剂活性和产率最好而要是偏离超 $10^{\circ}\text{C}$ 转化率会下降 $2\%\sim 3\%$ ,闭环控制可让条件稳定于最优区间从而提升收率。

### 4.2 能耗监控与节能降耗策略

硝酸生产能耗挺高的,尤其是压缩空气与冷却系统,可通过智能化控制构建能耗监测平台,实时统计电力、蒸汽和冷却水的情况并自动调整策略。空压机满负荷时每小时电耗约 $350\text{kWh}$ ,若负荷降低 $10\%$ ,一年可省电 $30\text{万kWh}$ 且二氧化碳排放减少 $260\text{t}$ ,动态阀门调节、余热回收、冷却水优化配置等可进一步降低消耗并延长设备寿命,实现经济和环保效益双赢。

### 4.3 生产过程全生命周期的优化与调度

传统调度依靠固定计划难以应对原料波动和市场变化,而智能化控制重视全生命周期的优化,借助预测性分析和多目标算法对原料利用、装置运行和检修周期进行统筹管理,提前 $30\text{天}$ 进行预防性检修能使非计划停机率从 $12\%$ 降到 $5\%$ ,且产能高峰期时智能调度也可合理分配负荷,减少瓶颈,提升资源利用率与设备完好率。

### 4.4 智能化控制对产品质量稳定性的保障

硝酸在市场上有没有竞争力和它的浓度与纯度稳定性直接相关,智能化控制能精准调节吸收塔温度、塔压还有循环水流量以使硝酸浓度稳定在 $55\%\sim 68\%$ 这个范围里,要是波动超过 $\pm 1\%$ 则下游能耗和成本会增加不少,靠质量追踪和 $\text{SPC}$ 方法系统可以实时监测且有问题能快速

调整,用了这个之后合格率从 $96\%$ 提到了 $99\%$ 、不合格率降了一半,市场稳定性和经济收益都有保证了,智能化控制在硝酸生产效率提升中的关键指标如表2所示。

表2 智能化控制在硝酸生产效率提升中的关键指标

控制环节	优化前数值	优化后数值	提升效果
反应温度波动范围	$\pm 15^{\circ}\text{C}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	转化率提高约 $2\%\sim 3\%$
空压机能耗(kWh/h)	350	315	每年节约约 $30\text{万kWh}$
非计划停机率	12%	5%	装置运行稳定性显著增强
硝酸产品合格率	96%	99%	产品稳定性提升

## 5 基于智能化控制的硝酸生产优化对策与发展方向

### 5.1 构建多层次智能控制体系

硝酸生产时全流程复杂,单一层级控制搞不定,得建个涵盖装置级、车间级和企业级的多层次智能控制体系,装置级着重对温度、压力、流量这些核心工艺参数实时控制以让反应稳定,车间级要整合不同装置数据达成整体工艺优化如吸收塔和冷却系统之间自动协调,企业级需引入大数据与云计算平台综合管理能耗、排放、产能等宏观指标,实践显示多层次控制模式能让装置综合利用率提高 $3\%\sim 5\%$ 且生产过程更灵活、适应性更强。

### 5.2 推进安全管理与效率提升的融合策略

高危行业里,人们常把安全和效率当成对立目标,但在智能化控制框架下这两者能融合,引入风险预测模型后,安全控制不只是防范事故还能靠动态调节来减少能耗与损失,就像系统预测到吸收塔温度有上升趋势时会自动提前启动冷却措施,这既能避免安全事故又能稳定反应速率提升效率。

### 5.3 建立行业标准与智能化平台

硝酸生产里智能化控制的应用当下还存在标准缺和平台散的状况,由于各企业设备接口、数据格式、安全规程不统一,智能化改造的成本高且兼容性差,建立包括传感器性能要求、数据通信协议、控制系统接口、应急联锁逻辑这些内容的统一行业标准相当关键,要推动建设跨企业、跨区域的智能化平台以实现数据共享和经验交流。

### 5.4 未来发展趋势:绿色化、智能化与自主化的深度结合

未来,“三化融合”会成为硝酸生产发展的趋势,在绿色化方面,“双碳”战略下,硝酸生产需进一步削减能源消耗和氮氧化物排放,借助智能化控制,如余热回收、氮氧化物分级吸收等手段,碳排放强度能降低 $20\%$ ;在智能化方面,人工智能、数字孪生、边缘计算将更多融入硝酸生产,构建起虚实结合的管控模式,用数字孪生对生产装置进行全周期仿真,把故障预测准确率提高到 $90\%$ ;

在自主化方面,核心传感器、控制器和工业软件自主可控是这一行业长远发展的关键,当下部分关键部件进口依赖度超 60%,以后要加快自主研发,确保供应链安全与产业稳定。

## 6 结束语

硝酸生产安全和效率的双重提升方面,智能化控制给出了系统化解决方案,通过多参数监测、智能联锁、风险预测、全生命周期优化等手段的运用,不仅有效降低了事故风险,还提升了能源利用率和产品质量。以后随着标准化平台建设、绿色低碳目标不断推进,硝酸生产会逐渐走向数字化、智能化、自主化深度融合,从而促使行业高质量可持续发展。

## 【参考文献】

- [1]张建飞.稀硝酸生产设备动力运行机组油封气系统的优化研究[J].河南化工,2025,42(5):49-51.
- [2]邢睿渊.工业硝酸尾气中的 NO<sub>x</sub> 特性分析及控制研究[J].山西化工,2024,44(12):247-248.
- [3]尹连伟,李德军.硝酸铵生产、储存过程的安全技术探讨[J].氮肥技术,2023,44(3):34-38.
- [4]戴晓恒.固体硝酸铵储存安全设计要点探讨[J].硫磷设计与粉体工程,2023(6):34-37.

作者简介:杜冬琛(1993.7—),男,河北省唐山市人,汉族,本科学历,化工助理工程师,就职于唐山中浩化工有限公司,从事化工生产(硝酸生产和罐区储运)相关工作。

## 液化天然气装置净化与液化工艺关键技术研究

郭建廷

巴彦淖尔华油天然气有限责任公司, 内蒙古 巴彦淖尔 015000

[摘要]液化天然气技术作为实现天然气资源跨区域调配以及高效利用的关键手段,其装置运行所呈现出的可靠性以及经济性状况,会直接影响到整个产业链的综合效益。伴随着中国液化天然气项目发展速度的不断加快,装置工艺的优化以及创新已然成为了行业关注的重中之重。液化天然气装置主要由净化单元、液化单元以及储存单元这三个部分构成,其中,净化单元对于确保装置能够实现长期且稳定的运行而言,有着极为重要的决定性作用。天然气当中所含有的酸性气体、水分、汞等各类杂质,在处于低温环境的状态下,极有可能引发设备出现腐蚀情况以及管道发生堵塞问题,所以务必要借助严格的预处理工艺,将这些杂质的含量降低至标准限值之下。

[关键词]液化天然气;深度净化;混合制冷剂;分子筛脱水;能效优化

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17510

中图分类号: TE624

文献标识码: A

### Research on Key Technologies for Purification and Liquefaction Process of Liquefied Natural Gas Plant

GUO Jianting

Bayan Nur China Petrol Natural Gas Co., Ltd., Bayan Nur, Inner Mongolia, 015000, China

**Abstract:** Liquefied natural gas technology, as a key means of achieving cross regional allocation and efficient utilization of natural gas resources, the reliability and economic performance of its equipment operation will directly affect the comprehensive benefits of the entire industry chain. With the continuous acceleration of the development speed of liquefied natural gas projects in China, the optimization and innovation of equipment processes have become a top priority in the industry. The liquefied natural gas plant mainly consists of three parts: purification unit, liquefaction unit, and storage unit. Among them, the purification unit plays an extremely important and decisive role in ensuring the long-term and stable operation of the plant. Various impurities such as acidic gases, moisture, mercury, etc. contained in natural gas are highly likely to cause equipment corrosion and pipeline blockage in low-temperature environments. Therefore, it is necessary to use strict pretreatment processes to reduce the content of these impurities below the standard limit.

**Keywords:** liquefied natural gas; deep purification; mixed refrigerant; molecular sieve dehydration; energy efficiency optimization

通过 LNG 技术能够将天然气以液态的方式加以存储,以方便将天然气进行运输。一般将气态的天然气通过深冷处理技术到 $-162^{\circ}\text{C}$ ,在常压下就可以使得气态天然气变为液态,  $625\text{m}^3$ 的气态天然气经过液化处理之后,可以变为  $1\text{m}^3$  体积的液态天然气,效果十分明显,这样可以大大降低天然气的体积,对于天然气后期在管道中的存储及运输都非常有利,经过多次对天然气的循环处理,就可以使液化天然气的各项指标符合要求。

#### 1 液化天然气装置工艺概述

液化天然气装置因处理规模以及应用场景方面存在不同,所以在工艺流程的选择上有着明显差异。大型装置一般会采用并联多系列的设计方式来提升单线的效率,而中小型装置往往更倾向于模块化设计,以此来缩减建设周期。其核心工艺涵盖了原料气预处理、深度净化、低温液化还有产品储存这四个部分。现代装置设计着重于流程的简化以及设备的整合工作,原本传统的级联式液化流程正逐步被单一制冷系统所取代。这样的演进过程,一方面使

得设备的数量有所减少,另一方面也降低了相应的投资成本,并且还让控制系统的复杂程度降低了 50% 以上。国内有一个大型项目引进了单循环混合制冷剂液化工艺,由此实现了每天能够处理  $50\text{万 m}^3$  天然气的的能力,这也很好地展示了先进工艺所具备的技术优势。模块化设计理念在装置建设方面得到了较为广泛的运用。具体而言,把整个装置划分成多个具备不同功能的模块,并且在工厂内部完成预制以及测试等相关工作之后再进行现场组装。这样的设计方式能够大幅度地缩短施工所花费的周期,同时也能让装置的质量具有更好的可控性,尤其适合在偏远地区以及海上平台这样的环境下开展相关建设工作。

#### 2 天然气净化关键技术研究

##### 2.1 脱酸工艺技术

酸性气体主要涵盖二氧化碳以及硫化氢这两种成分,这些成分在液化操作进程中会发生结晶析出的情况,进而引发设备出现腐蚀状况以及通道产生堵塞等问题,所以务必要借助脱酸工艺把它们浓度降低到极为低下的程度。

在国内外,普遍被采用的脱酸技术包含化学吸收法、物理吸附法还有膜分离法等多种不同的方案,在这些方案当中,醇胺法化学吸收技术由于其具备良好的处理效果且工艺成熟度颇高,因此在液化天然气装置里得到了广泛的运用。甲基二乙醇胺溶液作为一款新型的脱酸溶剂,展现出了极为出色的选择性吸收特性以及较低的再生能耗优势,当下正逐步地取代传统的乙醇胺以及二乙醇胺溶液。固体吸附脱酸技术属于一种新兴的工艺方案,在中小型液化装置方面呈现出独特的优点<sup>[1]</sup>。此项技术运用特种分子筛或者金属有机框架材料当作吸附剂,凭借变压吸附原理有选择性地捕获酸性气体分子。国内一家企业所开发的模块化净化系统采用了固体吸附脱酸单元,并且与真空解吸再生方式相结合,可将二氧化碳脱除到百万分之五十以下的程度,并且不用化学溶剂,使得工艺流程得以大幅简化。该系统采取先泄压而后真空解吸的再生办法,先是把脱酸吸附塔内部的压力泄放到常压状态,接着借助真空泵抽走吸附的二氧化碳,解吸出来的气体能够输送到燃料气系统去实现回收利用。

## 2.2 脱水工艺技术

水分存在时,液化装置低温区易结冰堵塞,引发设备故障甚至停产,脱水工艺关乎其稳定运行。分子筛吸附脱水技术脱水效果好、运行稳定,在液化天然气装置中很主流。常用分子筛材料如XA型、XA型沸石,有规整晶体结构和均一孔径分布,能选择性吸附水分子,让天然气组分通过。三塔循环操作模式属于现代分子筛脱水系统所具备的先进特点,其凭借对吸附再生和冷吹状态之间切换的巧妙安排,达成了连续脱水以及分子筛再生的协调运转状态。某项专利技术阐述了一种颇具创新性的脱水脱汞办法,该办法把原料气分成两个部分来分别加以处理:其中一部分进入到分子筛干燥塔内开展脱水脱汞作业,另一部分则充当再生气,用来促使分子筛完成再生过程。这样的设计一方面免去了对外部再生气源的需求,另一方面也提升了脱水系统的整体工作效率,尤其契合偏远地区以及海上平台的应用实际环境。再生气的加热以及控制情况,会对分子筛再生效果起到决定性的作用<sup>[2]</sup>。一般而言,再生气电加热器得把气体加热到250~300℃这般高温程度,之后再让其进入到待再生的分子筛床层当中,以此来解析附着的水分。等再生这一流程完成之后,是需要开展冷吹操作的,通过此举使得分子筛床层的温度能够降低到正常的操作条件所对应的水平,防止高温气体进入到后续的工艺单元里面。在国内的某个项目当中,采用了再生气流量调节阀来控制再生气和原料气二者之间的压差,进而对再生气体量与能耗之间的平衡关系加以优化,最终达成脱水系统高效运行的目标。

## 2.3 脱汞及杂质脱除技术

汞及其化合物在天然气里的含量虽说极少,可是对于铝制设备而言,其腐蚀作用却十分突出,会致使液化装置的关键设备出现应力腐蚀开裂的情况,进而引发严重的安全事故。脱汞工艺一般是在脱水工序完成之后才去安排的,如此一来便能够防止水分对脱汞剂的吸附性能产生影响。

载硫活性炭算得上是最常被使用的脱汞吸附剂,它表面所负载的硫元素会和汞进行化学反应,最终生成较为稳定的硫化汞化合物,通过这样的方式便能够实现汞的高效去除。对汞含量加以监测,这对于确保装置可以安全地运行而言,有着颇为重要的意义。在现代的液化天然气装置当中,一般都会配备有在线汞分析仪,借助它来实时对经过净化之后的天然气里面的汞浓度展开监测。冷原子吸收测汞仪具备检测极为低浓度汞含量的能力,其测量所能够达到的精度甚至能够达到纳克这样的级别,从而给装置的安全状况给予了一种可靠的保障。一旦检测出汞含量出现了超出标准的情况,系统便会自动把原料气切换到备用的脱汞塔那边去,或者是将其送回分子筛干燥塔重新来一番处理,以此来保证最终的产品气质量是完全符合相关标准方面的要求的。重烃组分同样属于需重点留意的杂质范畴,它于低温状况下会出现凝固并析出的情况,进而致使换热设备产生堵塞问题,同时传热效率也会出现下滑状况<sup>[3]</sup>。重烃分离一般会采用将低温冷凝和分离相互结合起来的方式,借助降温手段让重烃组分得以冷凝液化,随后在分离器当中达成气液分离的效果。国内某一液化装置运用重烃洗涤塔来脱除重烃组分,以此确保液化单元进料气的质量能够满足相应的要求。经过净化处理后的天然气得经过粉尘过滤器以及碳粉过滤器实施最终的过滤操作,把可能携带的固体颗粒还有吸附剂粉末去除掉,接着再进入到液化单元去接受相应的处理。

## 3 天然气液化关键技术研究

### 3.1 液化流程分类与特点

天然气液化流程依照其制冷方式可划分成三种类型,分别是级联式液化流程、混合制冷剂液化流程以及膨胀机制冷流程。就级联式液化流程而言,它是运用多种纯组分制冷剂来展开阶梯式的制冷操作,虽说此种流程的制冷效率颇高,然而其系统的复杂程度也相应地较高。混合制冷剂液化流程则是把多种不同的制冷剂组分混合到一起形成单一的制冷剂,如此一来,系统的构造得以简化,不过要想实现配比的优化便显得较为复杂了。而膨胀机制冷流程是凭借高压气体在膨胀过程中所产生的冷量来达成制冷目的,其流程相对来说是比较简单的,只是液化率方面会处于一个比较低的水平。国内有一调峰装置引入了单循环混合制冷剂液化工艺,其每天可处理50万m<sup>3</sup>的天然气。此工艺运用由氮气、甲烷、乙烯以及异戊烷组合而成的混合制冷剂,借助两级压缩以及冷却的方式来达成制冷循环,使得设备数量缩减30%以上,仪表数量减少的程度更是超过了50%,如此一来,维护成本得以大幅降低,操作的复杂程度也有了明显下降。

### 3.2 混合制冷剂液化工艺

混合制冷剂液化工艺在现代装置里属于主流的技术趋向,其关键核心之处就在于对制冷剂组予以优化配比以及对循环参数展开高效设计。混合制冷剂是由氮气、甲烷、乙烷、丙烷等多种组分按照特定比例相互混合而形成的,在液化这个过程当中,各个组分会发挥出不一样的制

冷效果,进而达成从环境温度一直到-162℃这样的温区范围的全覆盖。相关研究明确指出,最为理想的制冷剂配比应当是甲烷占比 22.1%、氮气占比 11.5%、乙烯占比 35.9%、丙烷占比 15.8%以及异戊烷占比 14.7%,在这样的配比情况之下,液化单元所对应的比功耗能够降至最低程度。通过响应面分析可以发现,氮气、甲烷还有乙烯这几种成分之间存在的交互作用其显著性是比较强的,并且这些组分所占的比例对于整个系统的性能而言会产生决定性的重大影响。丙烷预冷混合制冷剂工艺把级联式与混合制冷剂工艺的的优点都结合了起来,其先是凭借丙烷制冷循环来完成预冷环节,随后再依靠混合制冷剂达成深冷液化的效果。如此一来,该方案能够大幅度地将混合制冷剂压缩功耗降下来,进而提升整个系统的运作效率。在 2025 年的时候,杭州中泰深冷技术股份有限公司所开发出的三重制冷方案,其综合单位液化能耗要比丙烷预冷混合制冷剂工艺以及常规级联式工艺都要低一些。

### 3.3 膨胀机制冷液化工艺

膨胀机制冷液化工艺依靠高压气体膨胀时产生的温降效应来达成天然气液化的目的,它具备流程简练、设备布局紧凑以及启动速度较快等诸多优势,尤其契合中小型液化装置以及调峰型应用场合的实际需求。该工艺往往无需借助外部制冷剂,而是凭借原料气自身所具有的压力能来生成冷量,如此一来便能让系统的构成得以简化,操作与维护起来也更为便捷。不过膨胀机制冷工艺的液化率相对来说是比较低的,大致处于百分之十五到百分之二十五这样的区间范围之内,其具体数值会依据原料气的压力状况以及组成条件而有所不同。国内有一套每天能够处理两千立方米的微型天然气液化装置,其运用膨胀机制冷这一工艺,顺利达成了分布式液化方面的功能。此装置凭借着管网所具备的压力能,借助气体膨胀机来达成温降的效果,进而把部分天然气实现液化并予以储存,而剩余的气体则可返回到管网当中,或者当作燃料气来加以使用。这样的一种小型液化装置,给解决偏远地区天然气利用方面存在的问题给出了相应的技术方案,促使液化天然气生产呈现出分散化以及本地化的态势。膨胀机制冷工艺在优化方面,重点聚焦于提升液化率以及削减能耗这两个层面。运用多级膨胀、回流冷凝这类技术手段,能够切实有效地提升系统的液化率。国内有一研究团队所研发出来的带有预冷功能的膨胀机制冷工艺,其做法是先把原料气预冷到零下四十摄氏度,之后再开展膨胀操作,如此一来,液化率得以提升至百分之三十以上,工艺的经济性也得到了颇为显著的改进。还有一种优化的方案,那就是借助外部冷源,像是液氮或者混合制冷剂,来对原料气实施预冷处理,以此方式来削减膨胀过程中出现的不可逆损失,进而促使系统焓效率得以提高。

### 3.4 液化过程能效优化

液化过程的能耗大多集中在压缩机、制冷剂冷却以及换热设备这些环节上,在这些环节当中,压缩机组所耗费

的能量所占的比例超过了百分之七十。运用多级压缩加上级间冷却的技术,能够较为明显地降低压缩功耗,让压缩的过程尽量接近等温压缩的状态。相关研究显示,三级压缩和二级压缩相比,可以让压缩机的焓损失减少百分之十八点九。换热设备属于能耗优化方面的又一个关键环节,其中主低温换热器在设计以及运行层面,对于系统的能效会产生颇为重<sup>[4]</sup>。焓分析方法属于一种行之有效的热力学评估工具,其在液化过程的能效优化方面起着颇为关键的作用。借助对该系统各个不同环节的焓损失分布加以计算的方式,便能够精准地识别出能效方面的瓶颈所在之处以及后续的改进方向。相关研究清晰地表明,液化装置的焓损失大多集中在像压缩机、换热器还有节流阀等诸多部位,而在这些部位当中,压缩机所占的焓损失比例更是高达 73.9%。

## 4 结束语

液化天然气装置所涉及的净化以及液化工艺技术属于多学科交叉且极为复杂的范畴,其中涵盖了热力学、材料学、控制工程等诸多专业的知识,并且需要将这些知识综合起来加以运用。本文针对脱酸、脱水、脱汞等一系列净化工艺,对其各自的技术特点展开分析,同时就混合制冷剂液化、膨胀机制冷等液化工艺的优化路径展开深入探讨,以此为中国液化天然气装置的技术升级工作给予一定的参考借鉴。甲基二乙醇胺脱酸技术在能耗方面有着明显的优势,而分子筛脱水脱汞的一体化设计能够提升净化的效率,混合制冷剂配比的优化会对液化系统的能效起到决定性的作用。现代的装置正朝着模块化设计以及智能化控制的方向去发展,借助流程的简化以及设备的集成来降低投资以及运营方面的成本。未来液化天然气装置技术的发展会更侧重于环境适应性以及运行灵活性方面,其能适应不一样的气质条件以及负荷变化的要求。将可再生能源同液化过程相结合乃是十分重要的一个发展方向,通过借助可再生能源来给予部分压缩动力或者制冷需求,以此使得液化过程的碳足迹得以降低。

### [参考文献]

- [1]董颖,赵春立,王国付,等.液化天然气冷能和核工业余热利用的联合动力循环[J].高校化学工程学报,2025,39(4):692-699.
- [2]戴志向,尹涛,韩传军,等.液化天然气槽车低温快速连接装置设计及密封性能分析[J].润滑与密封,2025,50(8):172-178.
- [3]汪文诚,黄高新.港口液化天然气罐箱堆场设计研究[J].中国港湾建设,2025,45(8):91-96.
- [4]王阳.LNG 液化工厂冷剂系统余能利用改造方案[J].山西化工,2022,42(9):76-77.

作者简介:郭建廷(1988.12—),男,毕业院校:中国石油大学(华东),学历:本科,所学专业:化学工程与工艺,当前就职单位:巴彦淖尔华油天然气有限责任公司,职务:技术员,职称级别:中级工程师。

# 论环境工程中城市污水处理技术应用分析

王楠楠

江苏润环环境科技有限公司, 江苏 南京 210000

**[摘要]**随着城市化进程加快,城市污水排放量不断增加,对水环境造成严重压力。本篇文章围绕城市污水处理技术的应用展开分析,重点探讨传统处理工艺、生物处理技术及新型处理方法的应用现状与效果。通过对各类技术的对比研究,指出提升处理效率和降低环境影响的关键措施,为城市水环境管理提供参考。研究结论表明,结合传统与新型技术的综合处理方案可实现污水处理的高效、节能与可持续发展。

**[关键词]**城市污水; 污水处理技术; 生物处理; 环保; 可持续发展

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17499

中图分类号: X703

文献标识码: A

## Discussion on Application Analysis of Urban Sewage Treatment Technology in Environmental Engineering

WANG Nannan

Jiangsu Runhuan Environmental Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

**Abstract:** With the acceleration of urbanization, the amount of urban sewage discharge continues to increase, causing serious pressure on the water environment. This article analyzes the application of urban sewage treatment technology, focusing on the current status and effectiveness of traditional treatment processes, biological treatment technologies, and new treatment methods. By comparing various technologies, key measures to improve treatment efficiency and reduce environmental impact are identified, providing reference for urban water environment management. The research conclusion indicates that a comprehensive treatment plan combining traditional and new technologies can achieve efficient, energy-saving, and sustainable development of sewage treatment.

**Keywords:** urban sewage; wastewater treatment technology; biological processing; environment protection; sustainable development

### 引言

随着城市人口越来越密集,加上工业不断发展,城市中排放的污水量也在迅速增加,污水不仅污染了水体,还严重影响人们的生活和生态系统的健康,研究并应用高效的污水处理技术,成了城市环境工程中的一项重要工作。这篇文章主要从传统污水处理工艺、生物处理技术以及新型污水处理方法这三个角度,仔细研究了城市污水处理技术的实际应用情况,文章也探讨了技术优化和未来发展的方向,希望能给城市水环境治理提供一些有用的参考。

### 1 传统污水处理工艺的应用分析

#### 1.1 格栅与沉砂池技术

格栅以及沉砂池是城市污水处理过程之中所开展第一道工序,其发挥作用极为关键。格栅恰似一个带有不同大小缝隙筛子,能够去拦截水中较大固体杂物,树枝塑料袋布条以及其他漂浮垃圾,此步骤可以有效防止后续管道泵站以及处理设备被堵塞,从而保障污水能够顺利流动以及处理过程能够正常进行。此外,它还能够减轻后续处理环节负担,进而提高整个污水处理系统运行效率以及安全性,为后续沉砂池初沉池以及生物处理奠定良好基础<sup>[1]</sup>。

沉砂池处于格栅后面,它利用东西会自己沉下去的原理,将水流进来速度降低,水中的砂子、小石子、泥巴等重的东西就沉到底部,这样后面处理环节的负担就减轻。

沉砂池能有效去除砂粒、泥土和一些无机物,让接下来的生物处理或者化学处理更有效,它用起来挺简单,维护费用也不高,在大部分城市污水处理厂广泛应用。不过要注意,格栅和沉砂池主要是对付看得见的固体垃圾,如溶解的有机物、肥料盐还有微生物等污染物,它们就有点力不从心。

#### 1.2 初级与二级沉淀池

初级沉淀池是城市污水处理过程中关键环节所在,其主要是借助重力作用,让水中悬浮固体颗粒逐步下沉至底部,进而极大程度减少污水中固体含量。如此一来,这个过程便能够为后续开展生物处理或者深度处理提供相对而言更为清洁水质,以此提高整体处理效率。初级沉淀池具有结构较为简单操作比较方便特性,并且其安装以及维护成本较低,它适用于各类城市污水处理厂,不但经济实用,同时还能够有效保障污水处理系统稳定运行以及长期使用寿命。

二级沉淀池一般和生物处理一起用,微生物在水中工作,把有机污染物吃掉、分解掉,沉淀池能把微生物抱团形成的絮状物和还没分解完的悬浮物也沉下来,水中化学耗氧量(COD)和生化耗氧量(BOD)这两个指标就明显下降了。这种方法对付氮、磷这类营养物质效果不太好,水中的氮磷太多的话,容易造成水体富营养化的问题<sup>[2]</sup>。

### 1.3 活性污泥法

活性污泥法是传统污水处理的核心技术,属于二级处理,它的关键就是利用微生物。微生物能吃污水中的有机污染物,在曝气池中,我们往水中加氧气,这些微生物就能把有机污染物分解成二氧化碳、水和新的微生物细胞,污水中的COD和BOD就能显著降低,这个方法效率高,适应性也强,能应付不同水质和水量的波动。

活性污泥法实际用起来也有些复杂。污泥有时候会膨胀,这样沉淀效果就变差,处理后的水质就不稳定。这个方法需要耗费大量电力,主要因为往水中打气需要不少电力。活性污泥系统操作和管理起来要求比较高,得仔细控制好污泥的浓度、回流比例还有打气时间这些参数,这样才能让系统长期稳定地工作。

## 2 生物处理技术的应用现状

### 2.1 生物滤池技术

生物滤池是一种常见的生物处理技术,它的主要原理是利用微生物在滤料表面形成生物膜,这些微生物通过新陈代谢分解污水中的有机污染物。污水流过滤池时,滤料上的微生物能有效吸收和分解溶解性有机物,这降低了污水的化学需氧量(COD)和生化需氧量(BOD)。这种技术结构简单,容易建设和维护,它非常适合中小型城市或乡镇污水处理厂使用<sup>[3]</sup>。

生物滤池的优点包括节能和占地少。由于微生物主要附着在固定滤料表面,曝气和循环系统的能耗较低,整体运行成本比传统活性污泥法更经济。滤料的多孔结构提供了丰富的生物附着表面,这让系统能在较小空间中实现较高的有机物去除效率,因此,在土地资源有限的城市区域很有优势。生物滤池在低温水体处理上有局限,微生物活性会随着温度下降而减弱,这导致污水处理效率降低,尤其在冬季或寒冷地区表现明显。这种技术对进水水质波动比较敏感,需要配合调节池或缓冲措施来确保生物膜稳定和出水水质达标。

### 2.2 序批式活性污泥法(SBR)

序批式活性污泥法(SBR)是一种间歇式生物处理技术,它的主要特点是通过周期性进水、反应、沉淀和排水等阶段控制污水处理过程。在反应阶段,微生物在充分曝气条件下分解污水中的有机污染物,通过硝化与反硝化反应去除水中的氮,这实现了有机物与营养盐的同步去除。由于SBR采用间歇式运行模式,它能在同一反应池中完成多种处理功能,这避免了传统连续流系统中不同工艺段的复杂布置。

SBR技术非常灵活,它能根据进水水质、流量及污染物浓度的变化灵活调整,可以调整曝气时间、反应时间和停留周期,这适应不同城市或工业污水的处理要求,因此,它在中小型城市污水处理及水质要求高的场合广泛应用。SBR系统占地面积小,它便于对现有设施进行改造和

扩容,能实现自动化控制,降低人工操作强度。SBR运行管理相对复杂,它对操作人员的专业水平要求较高,间歇式运行需要精准控制进水量、曝气强度和时间节点,任何环节的失误都可能导致出水水质不达标或处理效率下降<sup>[4]</sup>。

### 2.3 膜生物反应器(MBR)

膜生物反应器(MBR)技术是一种先进污水处理工艺,它把膜分离技术与传统活性污泥法结合。通过在活性污泥系统中加入膜组件,MBR能在反应池中高效分离固液,这实现了对悬浮物和微生物的完全截留,从而获得高质量出水。该技术可显著降低水中的COD、BOD及悬浮颗粒物含量,它还能在一定程度上去除氮磷等营养物质,这满足对水质要求严格的城市区域和工业废水处理需求。

MBR技术的另一大优势是占地面积小,由于膜分离具有高度固液分离效率,它减少了二沉池等传统沉淀设施的占地需求,这使系统布局更紧凑,为此它适合土地资源有限或改造现有污水处理厂的场合。MBR系统易于实现自动化运行,操作人员工作量较低,管理便捷,适应性强。MBR技术在实际应用中存在挑战,膜污染是主要问题之一,污泥或水中微粒容易附着在膜表面,导致透水率下降和膜寿命缩短,这需要定期膜清洗和更换,膜组件的曝气及循环运行能耗较高,这增加了系统运行成本。

## 3 新型污水处理方法的探索与应用

### 3.1 人工湿处理技术

人工湿是一种将自然湿生态系统予以模拟污水处理技术,借助植物微生物以及基质之间协同作用,达成对水体中污染物有效去除。植物在该系统中,不但能够吸收水中诸如氮磷等养分,而且还会通过光合作用释放出氧气,从而为根际微生物营造适宜生存环境。微生物在分解有机物降解污染物以及转化氮磷元素这些方面发挥着核心作用,而比如砾石、沙石或者人工填料等湿基质,则为微生物附着提供相应空间,同时具备过滤悬浮物以及调节水流功能。经由这种多层次多环节协同作用,人工湿能够实现污水生物净化以及养分削减,进而改善水质<sup>[5]</sup>。

人工湿具备节能环保优势。与传统机械化污水处理设施相比较而言,人工湿系统不需要高能耗曝气设备,并且也不依赖大量药剂添加,能够凭借自然生态过程来完成水质净化。同时,人工湿能够设计成景观化系统,和公园河道或者城市绿相结合,不但发挥水处理功能,还提升了周边生态环境以及景观质量。这种生态化设计方式为小型城镇社区以及污水回用项目提供了经济且可持续解决方案。

不过,人工湿在实际应用过程中也存在一定局限性。由于其处理效果高度依赖植物生长以及微生物活性,其受季节变化影响颇为明显。在冬季低温状况下,微生物活性减弱,植物生长缓慢,系统污染物去除能力就会相应下降。除此之外,对于水量大或者污染物浓度高工业废水,人工湿处理能力或许不足,需要和其他处理工艺结合使用。因

此,在设计以及运行过程中,需要依据当气候条件污水水质以及流量特征进行合理规划,以此确保系统在全年都能够稳定运行<sup>[6]</sup>。

### 3.2 高级氧化技术

高级氧化技术(Advanced Oxidation Processes, AOPs)是一类借助强氧化剂或者催化剂在水中产生活性自由基(羟基自由基)水处理技术,这些自由基拥有极高氧化能力,能够迅速对水中难降解有机物分子发起攻击,将其分解成低分子甚至无害小分子物质,进而显著提高污水处理效率。与传统物理或生物处理方法相比,高级氧化技术在去除色度异味毒性物质以及难生物降解污染物这些方面表现尤为突出,能够处理常规生物工艺难以去除有机污染物。

除此之外,高级氧化技术能够与生物处理工艺进行有效结合,达成污水深度净化。在联合工艺中,AOPs常常作为预处理或者后处理环节来使用:作为预处理,它能够降解大分子难降解物质,让水质更加适宜后续生物处理,提高生物工艺效率;作为后处理,它能够去除生物处理后残留有机污染物,进一步降低水中COD、色度以及有害物质,实现近乎零排放水质标准。这种灵活组合方式,使高级氧化技术在工业废水城市高标准再生水处理以及重点排放区域水治理中具备重要应用价值。高级氧化技术投资以及运行成本相对较高,需要配置专业设备氧化剂或者催化剂,并且对操作条件(如pH、温度反应时间)有着严格要求,这同样限制了其在大规模或低成本场景中广泛应用。因此,该技术更适合水质要求严格排放标准高工业领域或者重点污染排放区域,如制药化工印染以及污水回用项目。在设计和运行过程中,需要根据水质特点污染物类型以及处理目标合理选用氧化方法和工艺参数,以确保系统高效稳定运行,同时兼顾经济性。

### 3.3 资源化与回用技术

污水资源化处理是以资源回收作为核心理念一种污水处理方式,着重于在污水处理过程中实现氮磷等营养元素回收利用。通过科学处理工艺,可以把污水中氮磷等物质转化为可用肥料或者化工原料,达成对资源二次利用。同时,该方法重视沼气捕集与利用,将污水处理过程产生有机物通过厌氧消化产生沼气,当作能源回收使用,既降低了能源消耗,又减少了温室气体排放,形成“废物-资源-能源”良性循环<sup>[7]</sup>。

在水回用方面,污水资源化能够通过深度净化工艺,使处理后水质达到可回用标准,供工业农业灌溉以及景观绿化等非饮用用途使用。如此一来,不但缓解了水资

源紧缺问题,还降低了淡水消耗量,实现水资源可持续利用。通过氮磷回收沼气利用和水回用综合措施,污水处理不但解决了污染问题,更实现了资源化和能源化价值,兼顾了环境保护和经济效益。污水资源化处理作为未来城市污水治理重要发展方向,契合“减量化资源化、无害化”现代环保理念。与传统以污染物去除为主处理方式相比,资源化处理更注重循环利用以及经济效益,同时有助于实现碳减排目标以及可持续发展战略。尽管如此,该技术在实际应用中需要依据污水水质处理规模以及使用需求进行合理设计,并结合先进监测与控制手段,确保资源化效果以及运行稳定性。随着技术进步和政策支持,污水资源化处理有望成为城市污水管理主流模式,为建设绿色低碳城市提供有力保障。

### 4 结语

综上所述,城市污水处理技术正呈现出日益多样化态势,传统方法依旧发挥着基础保障作用,能够有效去完成初级净化任务;生物处理技术表现较为突出,能够高效且稳定去除水中有机污染物;而新型技术则在深度净水以及资源回收方面展现出极大程度潜力。把这些技术当作有机结合来使用,便可以建设出更加节能高效智能污水处理系统。在未来,这类系统不但能够改善城市水环境,同时还能够促进水资源合理利用以及城市可持续发展。

#### [参考文献]

- [1] 闫凌云,王孔川,闫晓华.环境工程中城市污水处理技术应用分析[J].清洗世界,2025,41(5):93-95.
- [2] 曹琦.环境工程中城市污水处理技术的应用优化[J].低碳世界,2023,13(2):37-39.
- [3] 孙浩议.环境工程中城市污水处理技术的应用探析[J].大众标准化,2021(4):38-40.
- [4] 许明.环境工程中城市污水处理技术的应用探析[J].冶金管理,2020(13):150-151.
- [5] 甄晓夏.环境工程中城市污水处理技术的应用[J].资源节约与环保,2020(6):66.
- [6] 彭翠.环境工程中城市污水处理技术的应用[J].科学技术创新,2020(16):140-141.
- [7] 钱康.环境工程中城市污水处理技术运用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2023(9):130-132.

作者简介:王楠楠(1997.6—),女,毕业院校:江苏联合职业技术学院,所学专业:环境工程技术,当前工作单位:江苏润环环境科技有限公司,职务:环评技术员,职称级别:初级。

## 锂电池极片辊压成形过程中的压实密度影响因素和分析

薛冰军 刘振州

邢台纳科诺尔精轧科技股份有限公司, 河北 邢台 054001

**[摘要]**在锂电池极片辊压成形时, 压实密度是电池性能的关键影响因素之一, 通过系统分析不同材料性质、辊压工艺参数和环境因素来探索它们对压实密度的影响规律。实验发现, 材料的颗粒分布、黏度、湿度等直接影响极片压实效果, 辊压工艺里辊速、辊距、辊压压力调整能显著改变压实密度且优化工艺条件利于提升电池能量密度和循环稳定性, 环境温度和湿度变化也会在一定程度上影响成形质量, 这一研究给锂电池极片生产工艺优化提供科学依据以促使电池生产效率提高性能改善。

**[关键词]**锂电池极片; 辊压成形; 压实密度; 工艺参数; 环境因素

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17519

中图分类号: TM912

文献标识码: A

### Factors and Analysis of Compaction Density in the Roll Forming Process of Lithium Battery Electrode Sheets

XUE Bingjun, LIU Zhenzhou

Xingtai Naknor Technology Co., Ltd., Xingtai, Hebei, 054001, China

**Abstract:** In the roll forming process of lithium battery electrode sheets, compaction density is one of the key influencing factors on battery performance. By systematically analyzing different material properties, roll forming process parameters, and environmental factors, the influence of these factors on compaction density is explored. Experiments have found that the particle distribution, viscosity, humidity, and other factors of the material directly affect the compaction effect of the electrode sheet. Adjusting the roller speed, roller distance, and roller pressure in the rolling process can significantly change the compaction density and optimize the process conditions to improve the energy density and cycling stability of the battery. Changes in environmental temperature and humidity can also affect the forming quality to a certain extent. This study provides a scientific basis for optimizing the production process of lithium battery electrode sheets to promote the improvement of battery production efficiency and performance.

**Keywords:** lithium battery electrode sheet; roll forming; compaction density; process parameters; environmental factors

#### 引言

新能源技术核心的锂电池在电动汽车、储能系统等应用领域应用广泛且电池性能直接取决于极片质量, 在生产过程中极片的辊压成形工艺极为关键且压实密度是影响电池容量、循环寿命和热稳定性的关键要素, 如何合理调节辊压工艺、优化材料特性、控制环境条件来提高压实密度已变为行业重点关注的问题, 探索这些影响因素的内在规律可使锂电池生产效率得以提升、电池性能也能显著改善进而推动锂电池在更多领域的应用, 深入剖析辊压成形时压实密度的影响因素对优化锂电池生产工艺有着重要的现实意义。

#### 1 锂电池极片辊压成形工艺原理

##### 1.1 辊压成形的基本概念

辊压成形工艺靠压力让极片材料经两辊间的狭窄间隙被压缩从而提高其密度并规范形状。锂电池极片原料(活性材料、导电材料、黏结剂等都在其中)需先混合均匀制成浆料或者糊状物再用涂布工艺涂覆到金属箔基底上由辊压设备里的两辊或者多辊压机来成形, 辊压成形要精确控制辊距、辊速等参数以使极片成形时厚度和密度达到期望值为后续电池制造工艺提供理想的极片。

辊压过程重点在于用高压压实极片材料, 间歇性或连续性辊压设备常被采用, 精确控制压力、辊距就能调节极片压实程度, 并且压实密度增加时, 极片机械强度跟着提升, 这对电池充放电性能、循环稳定性有着深远影响, 辊压成形不只是物理成形过程, 也是影响电池性能的重要环节。

##### 1.2 辊压成形中的主要工艺参数

辊压成形时, 极片压实密度受工艺参数调控影响很大, 辊速即辊压机里辊子的转动速度, 它直接关系到极片通过辊压间隙的时间, 辊速快时极片受压时间就短, 从而能减少因过度压实产生的材料应力不均, 而辊速慢时成形时间就长, 材料压实会更均匀, 压实密度的均匀性也就提高了。如图1所示。

辊压机两辊之间的距离即辊距, 辊距的调节会直接影响压实密度的变化, 辊距小则压实密度高, 但若过小材料可能被过度压缩从而产生裂纹或者脱落, 辊距大则压实密度或许不足进而影响电池的循环性能, 辊压压力也是关键因素, 高压力能增加极片的压实密度, 但要注意压力过高材料可能破损或者变形从而影响电池的可靠性。

### 1.3 极片压实密度的定义与测量方法

极片辊压时的单位体积质量即极片的压实密度，一般靠极片质量和体积的关系来界定，压实密度是评估极片成形质量的重要指标，其高低直接关系到电池的能量密度、功率密度和使用寿命，压实密度高些往往孔隙率就小些，从而能提高极片的导电性能和电池的循环稳定性。

压实密度的测量有直接测量法与间接测量法这两种，直接测量法会精确测定极片质量和体积以算出密度，电子天平、卡尺等是这种方法常用的仪器，间接测量法靠的是评估电池性能，从电池充放电曲线分析压实密度对电池性能的影响，压实密度的均匀性也是衡量成形工艺效果的重要标准，往往统计分析多个采样点的密度值来评估其一致性和稳定性，锂电池生产中，让压实密度均匀对提升电池整体性能非常关键。

## 2 压实密度影响因素分析

### 2.1 材料性质对压实密度的影响

极片辊压过程中材料黏度是重要影响因素之一，黏度高的浆料辊压时流动性差且很难均匀分布于极片表面，这或许会让压实密度不均匀，而材料黏度过低，压实过程中可能产生较多气泡和孔隙造成密度不足，辊压时得把黏度控制在 1000~3000MPa·s 这一适当范围以确保材料在辊间均匀流动。

压实密度受颗粒大小的显著影响，较小颗粒比表面积较大，压实过程中孔隙易被其填充从而使密度得以提高，

而较大颗粒压实时可能无法充分填充孔隙，压实密度就会较低，要优化压实效果，应把颗粒粒径控制在 10-40 μm 之间且颗粒分布也要尽量均匀，防止出现大颗粒集中区域影响整体密度。

### 2.2 辊压工艺参数的影响

辊压成形过程中，辊速、辊距和辊压压力是最为关键的工艺参数，辊速快慢对材料通过辊压间隙的时间有直接影响进而影响极片压实效果，辊速较高时压实时间往往较短使得材料可能得不到充分压实从而压实密度较低，一般来说辊速控制在 0.1~0.5m/s 之间压实密度会比较理想。

控制压实密度时调整辊距很关键，辊距小会使材料压缩比加大从而提高压实密度，但辊距过小极片表面或许不平整且材料也许会破碎，理想的辊距一般在 0.1~0.3mm 之间，辊压压力也很关键，压力高可有效提高压实密度，压力过大则材料受损且极片稳定性降低，不同材料性质下辊压力大多控制在 50~150MPa 之间。

### 2.3 温度与湿度对辊压成形的影响

辊压成形过程中材料的流动性受环境温度和湿度的显著影响，高温环境下材料黏度会降低、流动性增强，这有助于材料更均匀地填充辊压间隙且压实密度也能提高，但温度过高时材料挥发性成分可能流失从而成形质量受影响，辊压成形时温度在 20~30°C 这个范围一般能确保较好的成形效果。如图 2 所示。

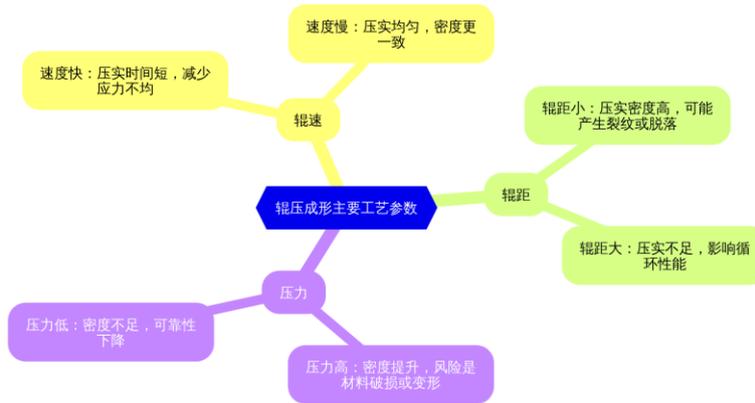


图 1 辊压成形中的主要工艺参数

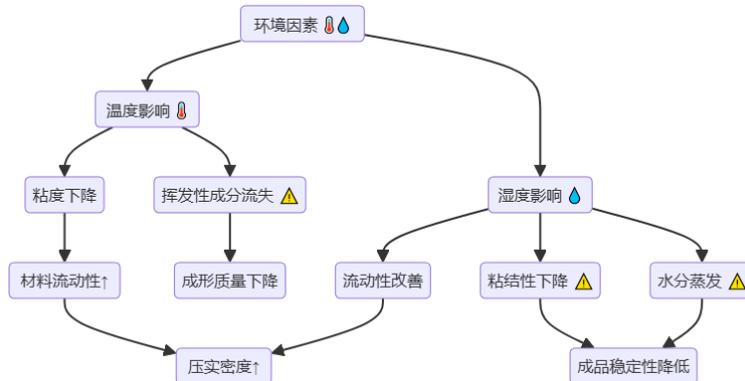


图 2 温度与湿度对辊压成形的影响

材料的流动性和压实密度同样受湿度的一定影响,湿度较高时浆料的流动性得以提高从而更容易进入辊压间隙且压实效果也会提高,要是湿度过高材料的黏结性可能降低或者出现水分蒸发的情况从而成品的稳定性就会受到影响,为保证成形过程的稳定性湿度一般控制在 40%~60% 之间。

### 2.4 极片厚度和质量控制

极片的压实密度直接受其厚度影响,辊压时不同厚度的极片压实效果不同且辊压较厚极片时材料受压不均,压实密度易较低,辊压前往往得合理控制厚度,通常极片厚度需控制在 50~150 $\mu\text{m}$  之间以确保压实效果均匀。

生产过程里质量控制非常重要,尤其是极片厚度控制。采用高精度在线测量仪器(像激光测量仪器、在线厚度传感器之类的)就能实时监控极片厚度以保证成品达到设计要求,若有自动化控制系统则能精确调节辊距和辊压压力,进一步优化压实密度。质量控制时要定期取样检测极片密度均匀性,用气体排放法或者阿基米德法测定其体积和质量,这样每一批次产品质量才稳定。

## 3 实验研究与结果分析

### 3.1 实验设计与方法

高纯度  $\text{LiCoO}_2$  被实验选作正极材料,再结合导电炭黑与聚合物黏结剂制成符合锂电池极片的浆料,用涂布机把浆料涂覆于铝箔基底上且厚度大概 50 $\mu\text{m}$ ,实验采用单辊辊压设备,其辊宽 150mm、辊速在 0.1~1.0m/s 之间、辊距为 0.1~0.3mm,由于要研究辊压工艺对压实密度的影响,设置不同的辊速(0.1、0.5、1.0m/s)、辊距(0.1、0.2、0.3mm)和辊压压力(50、100、150MPa)来做实验,并且每组实验都重复三次以确保数据可靠可比。

实验里,不同工艺参数组合下的极片样品被拿来测压实密度测试,通过气体排放法测定极片的体积和质量来算出各组样品的压实密度,并且在实验过程中也测量了每组样品的机械强度以分析压实密度对极片性能的影响,用高精度电子天平(精度 0.0001g)和卡尺(精度 0.01mm)进行实验数据的采集和分析。

### 3.2 实验结果与分析

在不同工艺参数条件下,获得的压实密度结果如下表 1 所示:

表 1 不同工艺参数条件压实密度

辊速 (m/s)	辊距 (mm)	辊压压力 (MPa)	压实密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
0.1	0.1	50	2.1
0.5	0.1	50	2.3
1.0	0.1	50	2.4
0.5	0.2	100	2.5
0.5	0.3	150	2.6

实验数据表明,辊速增加时压实密度会逐渐增加,这意味着辊速较高有利于材料在辊压时流动和填充从而提

高压实密度,辊压压力大些、辊距小些对压实密度的提升作用也很明显,辊距 0.2mm、辊压压力 150MPa 的时候压实密度能达到  $2.6\text{g}/\text{cm}^3$  为最高,辊压压力和辊距是影响压实密度的关键因素,适当把压力增大、辊距减小材料的压实效果就能有效提高。

对不同工艺参数下的数据加以统计分析,得出了优化工艺的结论:适当提高辊速、辊压压力并缩小辊距范围是提高压实密度的有效手段。

### 3.3 实验数据的误差分析

实验数据可能出现误差,这误差的来源有材料均匀性、设备精度、操作人员误差以及环境因素等,材料方面其黏度和颗粒分布或许会让样品辊压时分布不均从而影响压实密度,得保证每批次浆料混合均匀且操作流程要标准化,再说设备,实验用设备精度也会左右结果,辊压机辊距调节精度( $\pm 0.01\text{mm}$ )和压力调节精度( $\pm 5\text{MPa}$ )可能造成偏差,要减少这种误差就得定期校准设备让精度合格。

实验结果也会在一定程度上受环境温度和湿度变化的影响,温度高或湿度低时,浆料流动性可能改变从而影响成形质量,因此要减少这种影响,实验需在恒温且湿度稳定的环境中进行;操作人员测量极片体积和质量时会有人为因素影响,如读数有误差或仪器使用不当,采集数据时要保证设备精准且对测量结果进行多次校准和确认以提高实验结果的可靠性。

## 4 优化方案与工业应用建议

### 4.1 工艺优化建议

实验结果表明,优化辊压成形工艺首要靠调节辊速、辊距和辊压压力来精准把控压实密度,实验发现辊压压力大些、辊距小些对提升压实密度效果显著,实际生产建议采用精密可调的辊压设备,要保证辊距在 0.1~0.3mm、辊压压力适当加大(一般控制在 100~150MPa),并且辊速得保持在 0.5~1.0m/s,这样能让物料有充足时间通过辊压设备,防止辊速太快造成压实不均匀。

材料的预处理相当关键,控制原料的颗粒度和黏度就能有效提升压实密度,颗粒小些尤其有助于孔隙的更好填充从而让结构变得均匀,生产时得加强材料粒度分布的控制以保证颗粒平均粒径处于 10~40 $\mu\text{m}$  之间,并且优化浆料黏度让它保持在 1000~3000MPa $\cdot\text{s}$  之间,这样才能确保压实效果达到最佳。

### 4.2 压实密度与电池性能关系的优化

锂电池整体性能受压实密度影响很大,压实密度提高会使电池内部孔隙率降低且能量密度与充放电效率提高,要优化电池容量和循环稳定性就需让压实密度适中,压实密度过高会使材料脆性增加进而影响电池循环寿命,优化辊压成形工艺在提高压实密度的同时保持极片柔韧性就能避免材料过硬致使电池膨胀或破裂这种情况。

电池性能的关键还受压实密度均匀性的影响,压实密度均匀能有效防止电池局部有电解液滞留或者气泡形成,

可降低电池内阻、提高电性能,生产时得靠高精度质量控制手段确保每片极片压实密度一致来提升电池整体性能,而生产中的在线检测技术和自动化控制系统能对这事儿有效保障。

#### 4.3 实际应用中的挑战与展望

在实际生产中,辊压成形工艺工业化应用的推进面临着不少技术挑战,由于辊压成形工艺中压实密度要精确控制,需要有高度精密的设备和技术来支持,这对设备的稳定性和控制精度提出了较高要求,并且大规模生产时设备的稳定性、效率和精度控制相当关键,而采用先进的自动化控制系统和在线质量检测设备就能对辊压过程实时监控调整,从而保证产品的一致性和质量。

在工业化应用中材料的处理和预处理工艺是难点,大规模生产时确保原材料一致性与浆料均匀性是提高压实密度和电池性能的关键,可引入高效混合和分散设备,精准控制原料加入量与混合时间以保证材料均匀,温度湿度等环境因素可能影响成形质量,工厂要有良好温湿度控制系统以确保成形工艺稳定。

技术不断发展,未来辊压成形工艺在电池生产里会被更广泛应用且高能量密度电池和大规模储能系统对其需求与日俱增,不断优化工艺参数并把智能制造和自动化控制结合起来,辊压成形工艺在提升锂电池性能、降低生产成本、提高生产效率方面会起到愈发重要的作用。

#### 5 结语

分析锂电池极片辊压成形过程压实密度的影响因素

可揭示材料性质、辊压工艺参数、环境因素、极片厚度等对压实密度的显著影响。实验结果显示,适当调节辊速、辊距、辊压压力等工艺参数并优化材料的粒度和黏度有助于提高压实密度,进而改善锂电池的能量密度、循环稳定性、功率密度等性能。辊压成形工艺优化后电池整体性能提升且能为大规模生产提供高效、稳定的技术支持,不过实际生产中还面临设备精度、材料处理一致性、环境控制等技术难题。将来持续改进工艺技术并与自动化与智能化控制系统相结合,辊压成形工艺在锂电池制造中的作用会更重要,从而为电池性能提升和生产效率优化提供强劲动力。

#### [参考文献]

- [1]谢欣兵.锂电池极片辊压过程力学行为与结构研究[D].山西:太原科技大学,2024.
- [2]张俊鹏.锂离子电池极片辊压变形微结构演化与性能调控基础研究[D].秦皇岛:燕山大学,2023.
- [3]谢欣兵,杨凯悦,杜晓钟.锂电池极片辊压过程力学行为与结构[J].储能科学与技术,2024,13(5):1699-1706.
- [4]李敬一.电池极片辊压入口感应加热温度场研究[D].秦皇岛:燕山大学,2023.
- [5]吴涵.基于 EDEM 的锂电池极片辊压工艺分析与优化[D].石家庄:河北科技大学,2024.

作者简介:薛冰军(1981.9—)男,汉族,河北省邢台市宁晋县人,中级工程师,2012年6月毕业于河北工程大学机械设计及理论专业,硕士研究生,主要从事辊压机设计研究及辊压机的跨行业应用研究。

## 华龙一号新燃料升降机轨道辅助安装设备设计研究

张小龙 田春强 乾龙 吕川 郭士芳  
中国核工业二三建设有限公司, 广东 汕尾 516500

**[摘要]**新燃料升降机安装在燃料厂房乏燃料水池池壁上, 新燃料升降机的主要功能是将新燃料组件从燃料厂房+18.3m 平台运输至乏燃料贮存水池中, 通过乏燃料水池吊车和燃料组件抓举将新燃料组件放置到乏燃料贮存格架中储存。新燃料升降机轨道安装耗时较长, 安装前需在轨道安装位置搭设脚手架平台, 在安装过程中需要反复安装拆卸轨道。针对新燃料升降机轨道安装过程中的耗时和质量安全问题, 研发一套轨道辅助安装设备, 以解决升降机轨道的安装问题。

**[关键词]**核电站; 升降机轨道; 辅助安装

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17507

中图分类号: TL4

文献标识码: A

### Design and Research on Track Auxiliary Installation Equipment for Hualong No.1 New Fuel Elevator

ZHANG Xiaolong, TIAN Chunqiang, QIAN Long, LYU Chuan, GUO Shifang  
China Nuclear Industry 23 Construction Co., Ltd., Shanwei, Guangdong, 516500, China

**Abstract:** The new fuel elevator is installed on the wall of the spent fuel pool in the fuel building. The main function of the new fuel elevator is to transport the new fuel components from the fuel building+18.3 meters platform to the spent fuel storage pool, and place them in the spent fuel storage rack for storage through the spent fuel pool crane and fuel component grab. The installation of the new fuel elevator track takes a long time, and a scaffolding platform needs to be erected at the track installation position before installation. During the installation process, the track needs to be repeatedly installed and disassembled. Develop a set of track auxiliary installation equipment to address the time-consuming and quality safety issues during the installation process of new fuel elevator tracks, in order to solve the installation problems of elevator tracks.

**Keywords:** nuclear power plants; elevator track; auxiliary installation

#### 引言

新燃料升降机是燃料操作与贮存系统(PMC 系统)的一项重要设备, 安装在燃料厂房的乏燃料水池中, 新燃料升降机主要由上部构件、轨道、燃料舱和卷扬机组成。新燃料升降机的燃料转运主要依靠卷扬机通过钢丝绳拉动燃料舱, 完成燃料舱在轨道中的上、下转运, 进而完成燃料的上、下转运, 新燃料升降机是燃料组件水上和水上转运的交界设备。

#### 1 新燃料升降机轨道介绍

新燃料升降机轨道由上、中、下三段轨道组成, 轨道安装后全长为 13.7m。轨道在调整前按下、中、上将轨道就位并装成整体, 通过千斤顶调节轨道的直线度和垂直度。当轨道的直线度和垂直调整合格后才能对基板进行点焊和焊接, 轨道在调整过程中由于没有有效的方法进行固定, 故而在调整轨道直线度和垂直度时会发生调整一段轨道时其余两段轨道的位置会发生变化, 导致现场需耗费大量时间反复调整三段轨道, 而当焊接轨道基板时由于空间受限, 必须将调整合格后的轨道拆除, 待轨道基板焊接打磨完成后重新安装轨道, 还需反复调整轨道的直线度和垂直度耗费大量的人力和时间。

#### 2 新燃料升降机轨道安装过程中出现的问题

升降机轨道安装过程中需要多次吊离和调整轨道, 轨道安装过程中还需要为轨道焊接、打磨、调整人员提供一

个操作平台。在安装时需从水池底+4.56m 搭设脚手架到+18.3m 平台, 安装完成后也需拆除脚手架平台, 耗费人工成本和时间成本巨大, 其中脚手架平台需要搭设 8 层, 受每层平台高度及空间影响, 在施工过程中为了配合测量进行新燃料升降机轨道直线度和垂直度调整需对搭设的脚手架平台部分区域进行反复的拆装, 施工人员在安装和焊接过程中操作难度大, 增加了质量和安全风险。

基于以上问题, 研发一套可微调轨道位置、可整段移动轨道、可为调整轨道和焊接基板人员提供站立平台的辅助设备, 此设备可保证轨道安装调整轨道时的操作便捷, 也可保障轨道安装阶段的质量和安全性, 最终形成一套性能稳定可靠, 安全性高的自动化机械设备。在保证安全性和质量的前提下, 以较低的成本投入, 较高的工作效率实现轨道安装的作业。

#### 3 主要研究内容

为了能够在整体安装三段轨道的情况下对每段轨道可独立地进行调整同时又不会影响其余轨道的位置, 在轨道安装设备主臂设计为两段组装形式, 整体结构分为三部分, 第一部分为行走支撑底架, 第二部分为移动式车身, 第三部分为设备主臂, 作业平台单独独立出来为其做出一套升降机构, 可将整个机构升到需求高度后再单独升降作业平台。同时在升降轨道上安装多组夹爪用于固定和

调整轨道。主要研究内容如下：

### 3.1 设计方案的制定

根据现场实际需求及施工区域工况，进行辅助安装设备的设计方案、图纸等文件制定与编制。

### 3.2 轨道安装辅助设备的样机制造

根据轨道安装辅助设备设计方案开展样机制造工作，

完成样机制造。

### 3.3 轨道安装辅助设备的性能试验及模拟试验验证

轨道安装辅助设备在制作完成后，进行样机性能测试，验证满足设计要求。轨道安装辅助设备在制作完成后，进行样机的模拟试验，验证轨道安装辅助设备是否满足相关使用要求。

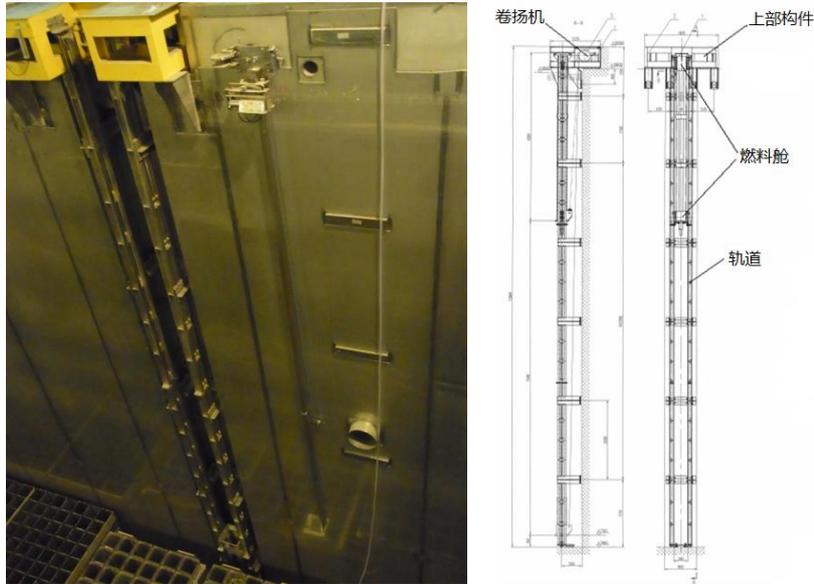


图1 新燃料升降机整体示意图

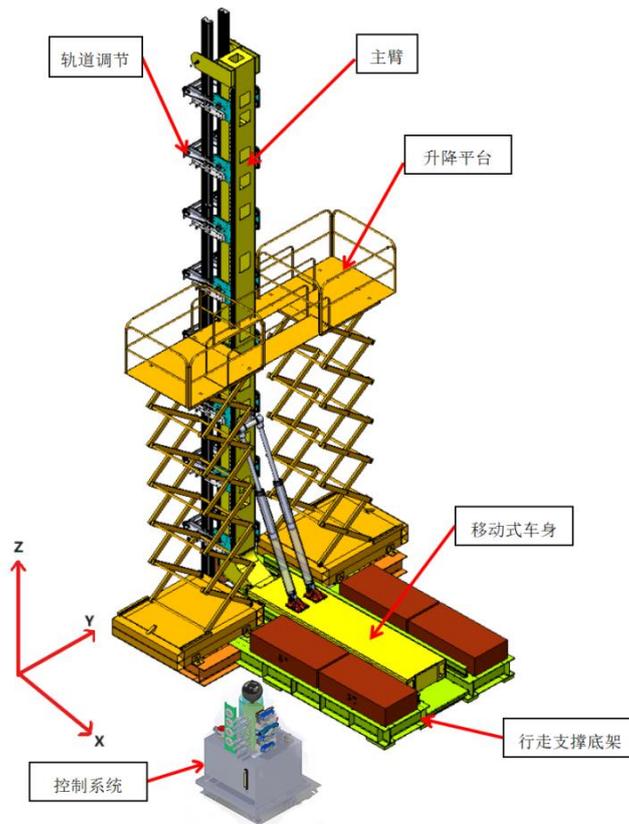


图2 新燃料升降机轨道辅助安装设备整体示意图

## 4 轨道辅助安装设备整体设计

### 4.1 设备使用区域条件分析

新燃料升降机轨道安装辅助设备需通过燃料厂房吊装口吊装到轨道安装作业区域,因吊装通过空间尺寸和吊装设备受限,所以辅助设备整体需要拆分为几部分进行吊装运输,重量最大的一部分不超过 9t,吊装到位后再由现场人员进行组装调试后投入使用。

### 4.2 主臂装置设计

主臂由上下两部分构成,上下两部分采用了优质钢材拼接,并在主臂上预留了观察孔,方便全站仪对轨道的打点测量作业。主臂上下两部分通过法兰和高强度螺栓连接,为了保证主臂自身安装的精度,在主臂下部分的连接法兰外侧增加了限位挡块。



图3 主臂外观示意图

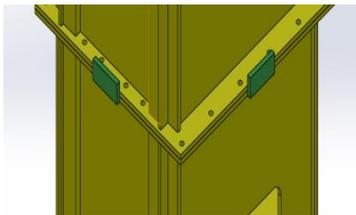


图4 法兰连接限位挡块示意图

主臂底部有升降叉,将升降叉插入轨道大底板下方后依靠伺服电机驱动可抬起整套轨道,实现轨道的上下运行,并在主臂两侧安装多套直线导轨,通过轨道调节装置把轨道与主臂进行连接,防止升降运动时轨道发生偏移。

主臂下面部分为翻转形式,由翻转油缸顶起主臂进行翻转动作,翻转动作通过控制系统进行设定翻转角度,由传感器反馈实时的角度信息状态,并在主臂上安装了机械式的角度指示器,可以让现场操作人员能够准确及时地了解主臂的翻转角度等状态。

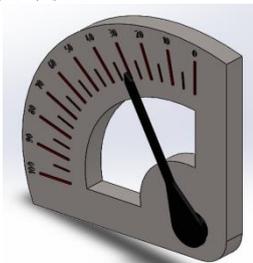


图5 机械式角度指示器示意图

主臂上各部件采用高精度加工,确保直线导轨的安装精度及翻转、升降运动的平滑稳定。

### 4.3 轨道调节装置设计

轨道调节装置的导轨布置在主臂两侧,防止对全站仪测量时的干扰,整体结构采用丝杆调节机构,可实现 X、Y 双轴调节功能,丝杆及导轨等相关零件安装在主臂前端,调节丝杆机构共八组,对应于八套侧支撑的调整。X、Y 轴调节机构与侧支撑位置相互对应,燃料轨道升降机构采用底托形式,依靠底部叉托起轨道底部大底板,装置由伺服电机驱动,滚珠丝杆模组进行导向从而实现轨道升降。调节装置与基础外壁接触部件加装了柔性材料,防止与基础外壁接触面过小从而对基础外壁造成损伤。

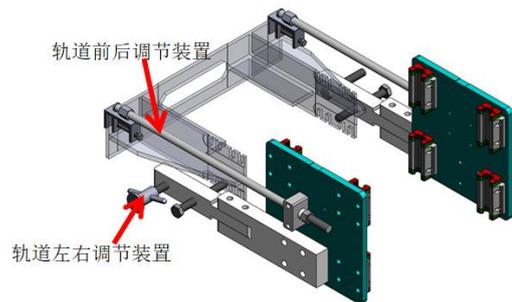


图6 轨道调节装置示意图

### 4.4 升降平台装置设计

升降平台由两台可移动式升降车及中间连接平台组成,但是为保证升降平台的稳定性,作业时需将可移动式升降平台固定在行走支撑底架上,升降平台采用剪刀叉形式,两侧平台可独立升降,升降平台负载 300kg,中间连接平台负载 200kg,四周加装防护栏和传感器,确保升降平台在防护门关闭状态下进行升降,确保人员高空作业时的安全。

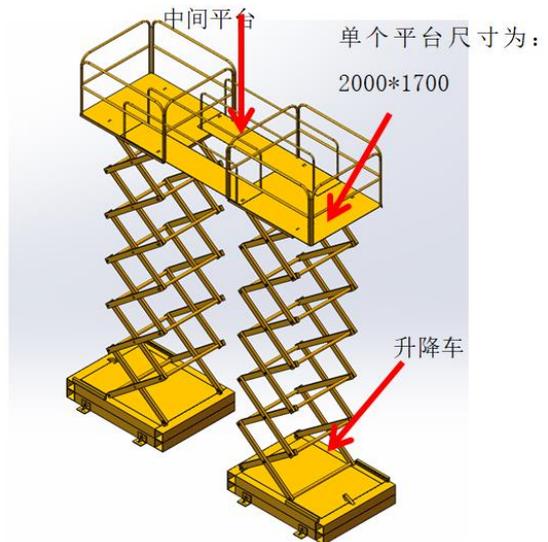


图7 升降平台示意图

升降平台具有紧急保护措施,在设备断电或者液压系

统失效时,设备处于自锁状态不会发生下降,在保证安全的情况下也可操作紧急下降按钮降下平台;升降平台防护门处设有传感器,在高空作业时防护门在不关闭的情况下无法操作升降平台的升降操作。

#### 4.5 移动式车身设计

移动式车身采用优质型材拼接完成,行走机构采用液压系统前推形式,确保设备运行时可控速度及稳定性,行走轮采用多个高负载轴承轮,确保车身运行的平稳。移动式车身与主臂连接处采用销轴连接,内部并安装有无油轴承,减小翻转时的摩擦力。

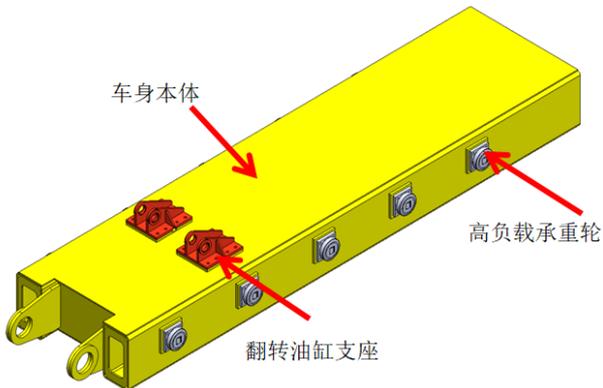


图8 移动式车身示意图

#### 4.6 行走支撑底架设计

行走支撑底架由液压行走装置、升降平台底座及配重块组成。

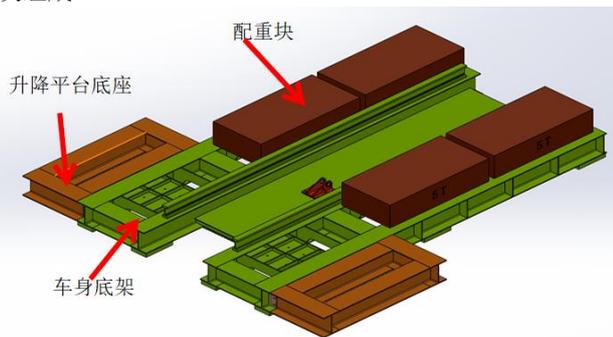


图9 行走支撑底架示意图

液压行走装置分别在支撑底架上安装了四套,每套液压行走装置都可进行 X、Y、Z 三个方向的运动,并可获取传感器的数据以实现自动调平等功能。

(1) 通过分布在支撑底架上的姿态传感器(倾角传感器、静力水准仪等)来感知支撑底架的水平度等参数,反馈给控制系统中相应的算法进行处理,得出需要调整高度数据,然后通过液压装置控制顶升进行调整。调整过程需要一次或多次,直至最后姿态传感器反馈的数据达到设定要求(自动调平精度:支撑行走底架水平度 $\leq 1\text{mm}$ )。

(2) 在支撑底架上布置多个水平检测仪,以便人工去核准整体的水平度。

(3) 升降平台底座因吊装作业空间受限,所以采用螺栓连接的形式与支撑底架进行连接,在吊装时可进行拆卸以方便吊装作业。

(4) 因作业场地限制,行走支撑底架无法与地面进行固定,所以在行走支撑底架上安装可拆卸的配重块来稳定整体设备。

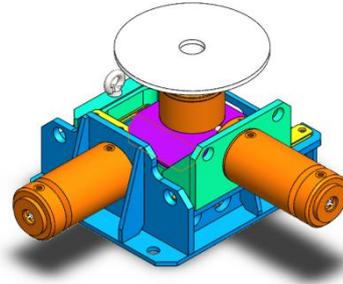


图10 液压行走装置示意图



图11 倾角传感器示意图

#### 4.7 控制系统设计

控制系统由液压装置、电控系统、触摸式操作系统及各类传感器组成液压装置为整套设备提供动力,其中可控制液压行走装置各方向的移动、主臂的翻转、轨道的升降及移动式车身的运动。

电控系统和触摸式操作系统为液压装置提供自动化控制,在与各类传感器的搭配下,可实现对整套设备的控制及状态显示,并可实现自动底架调平、主臂翻转角度控制、移动式车身的移动行程控制、轨道升降行程控制等。

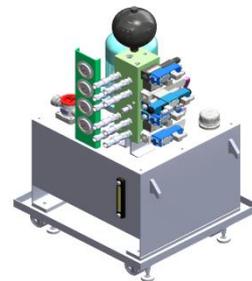


图12 控制系统示意图

### 5 设计难点及解决措施

如何保证轨道的安装精度、便于操作与移动、实时状态显示及安装现场空间受限为首要问题。

根据现场轨道安装的精度、安装人员的施工难度及现场工况等定制专项的轨道安装辅助设备。该设备由液压装置、电控系统、各类传感器及触摸式程序控制屏来进行设备的驱动和控制,通过整体设备模块化的设计来解决实现现场作业空间受限的问题,其中轨道调节装置可对轨道的直线度及垂直度进行精准的调整以满足轨道的安装精度。

通过辅助设备改进了轨道的安装工艺,实现有效降低核电工程安装成本,降低施工风险及缩短安装工期,提高工作质量的目标。

### 6 经济效益、应用场景分析

相较于目前行业内传统的人工安装调整,采用该专用辅助设备可大幅度提高轨道安装的工作效率和降低人力资源投入,缩短轨道安装的施工工期,为后续设备的施工顺利开展提供保障。

新燃料轨道安装辅助设备的应用提升公司施工的机械化水平,增强企业的核心竞争力,改变现有的生产模式,

降本增效,实现企业的现代化生产和技术装备的革新。

### 【参考文献】

- [1] 中华人民共和国国家标准. 钢结构设计标准:GB50017-2017[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017:10-11.
  - [2] 陈绍蕃. 钢结构稳定设计指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
  - [3] 周洋, 袁巍, 战蓉洁. 压水堆核电站新燃料升降机起升机构优化设计[J]. 科技视界, 2019(3):33-34.
  - [4] 李均. 中广核“新燃料升降机的研制”通过鉴定验收[J]. 电力勘测设计, 2014(4):24.
  - [5] 李雷, 陈祖盼, 曹艳芳. CAP1000 新燃料升降机结构优化设计[J]. 起重运输机械, 2016(3):80-82.
  - [6] 李雷. 压水堆核电站新燃料升降机运行模式与控制流程研究[J]. 起重运输机械, 2017(4):49-52.
- 作者简介: 张小龙(1985.4—), 男, 本科, 中级工程师, 中国核工业二三建设有限公司, 研究领域: 机械工程。

## 机械设计中的加工问题及改善措施浅析

李蓬勃

邢台纳科诺尔精轧科技股份有限公司, 河北 邢台 054001

**[摘要]**机械设计属于产品制造的关键基础环节,其加工质量会对产品性能以及使用寿命产生直接的影响。在机械设计的实际操作当中,加工过程里存在着各式各样的问题,像是加工精度不够、表面质量没有达到标准等等。这些问题一方面限制了制造水平得以提升,另一方面也对企业竞争力产生了影响。文章针对机械设计里的加工问题展开较为系统的分析,对其成因展开较为深入的探讨,并且结合现代制造技术以及管理方式,给出了一些切实可行的改进办法,像优化设计方案、合理挑选加工工艺参数之类。借助理论分析和实践相结合的方式,希望能够给机械设计加工质量的提升给予一定的参考以及借鉴作用。

**[关键词]**机械设计;加工问题;改善措施

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17505

中图分类号: TH16

文献标识码: A

### Brief Analysis of Processing Problems and Improvement Measures in Mechanical Design

LI Pengbo

Xingtai Naknor Technology Co., Ltd., Xingtai, Hebei, 054001, China

**Abstract:** Mechanical design is a key foundational link in product manufacturing, and its processing quality has a direct impact on product performance and service life. In the practical operation of mechanical design, there are various problems during the machining process, such as insufficient machining accuracy, surface quality not meeting standards, and so on. These issues not only limit the improvement of manufacturing level, but also have an impact on the competitiveness of enterprises. The article conducts a systematic analysis of machining problems in mechanical design, explores their causes in depth, and combines modern manufacturing technology and management methods to provide some practical and feasible improvement methods, such as optimizing design schemes and selecting machining process parameters reasonably. By combining theoretical analysis with practice, we hope to provide some reference and inspiration for improving the quality of mechanical design and processing.

**Keywords:** mechanical design; processing problems; improvement measures

### 引言

随着制造业持续快速地发展,机械产品对于精度、质量以及效率的要求一天比一天高。机械设计在产品制造当中属于极为关键的一个环节,它的加工质量已然变成影响最终产品性能的决定性因素。不过,在机械设计以及加工的过程里面,依旧存在着不少的问题,比如说设计方案并没有充分地把加工工艺给考虑到,工艺参数的设置也不够合理,设备还有技术也都相对落后等等。这些问题对机械加工的质量以及效率造成了极为严重的制约。就这些问题而言,对其根源展开深入细致的分析,并且提出科学且合理的改进办法,这不但是提升机械设计制造水平必不可少的一条途径,而且还是推动制造业技术不断取得进步以及实现产业升级的重要保障所在。本文依据机械设计加工环节当下的实际情况,全面且有条理地去梳理加工过程当中存在的那些问题以及它们形成的原因,同时结合现代的技术手段以及管理方面的经验,给出一系列行之有效的改善策略,以此来助推机械设计加工质量能够得到全方位的提升。

### 1 机械设计中的常见加工问题分析

#### 1.1 加工精度不足

加工精度不够的情况,在机械设计加工领域里算得上

是最常见的问题之一,并且它所带来的影响也是非常严重的。在加工的时候,要是零件的尺寸、形状还有位置出现偏差,而且超出了设计所规定的公差范围,那么就会直接致使产品没办法符合技术方面的要求,进而对装配精度以及使用性能都造成了一定的影响。加工精度不足的具体表现,就是加工出来的零件尺寸存在过大的误差,几何形状出现失真的情况,还有表面粗糙度没有达到标准等等。加工精度之所以会不足,很大程度上是因为在设计阶段并没有充分去考量加工的难易程度以及设备的能力,再加上工艺规划也不合理,如此一来便使得加工过程当中误差没有办法得到有效且妥善的控制。除此之外,加工设备本身存在的精度方面的限制,还有刀具会出现磨损以及热变形这类物理方面的因素,同样会对加工精度起到不利的作用。操作人员在技能方面有所欠缺,同时检测手段也不是很完善,这又进一步促使加工误差不断积累起来。加工精度不足这种情况,不但会让返工的次数增多,报废率也随之提高,而且还使得生产周期变得更为漫长,最终导致生产效率以及经济效益都出现了下降的情况。

#### 1.2 表面质量不达标

表面质量作为评判机械零件加工质量的一项关键指

标,其优劣会直接对零件的疲劳寿命、摩擦性能以及美观程度产生影响。当表面质量未能达标时,往往呈现出诸如表面粗糙度超出合理范围、存有划痕、裂纹、烧伤或者夹杂物等种种缺陷。而这些缺陷一旦出现,便有可能致使零件在实际使用进程中出现应力集中的情况,进而引发提前损坏乃至彻底失效的后果。表面质量问题的形成,常常与设计阶段未能恰当地选取材料以及加工方法有关,就好比有些材料很难借助传统的加工工艺去达成理想的表面状况。除此之外,加工设备所处的状态、切削参数挑选得不够合理、润滑冷却条件欠佳等诸多因素,同样能够引发表面缺陷的产生。操作方式不妥以及工装夹具在设计上存在缺陷,会让工件无法稳固地被夹持住,从而产生振动以及变形的现象,使得表面质量进一步遭受恶化的状况。所以,要想提升机械零件的可靠性以及使用寿命,那么改善其表面质量便成了极为关键的一个环节。

### 1.3 工艺参数选择不合理

合理地选择工艺参数在很大程度上能够确保机械加工的质量以及效率得以保障,这里所涉及的指标涵盖了切削速度、进给量、切削深度等诸多方面。要是将工艺参数设置得不够合理,那么通常就会致使加工精度出现下滑的情况,同时刀具的磨损程度也会不断加剧,并且工件的表面质量同样会变得不尽如人意。就好比说,当切削速度设定得过高的时候,就会引发工件产生过热以及变形的现象,而且切削力也会随之增大,进而使得机床出现振动情况,加工误差也会相应地增加;而要是进给量设定得过大的话,就极有可能会对刀具以及工件表面造成损害,倘若进给量设定得过小,那么又会使加工效率降低。工艺参数选择不合理还会影响到润滑以及冷却的效果,进而致使切削区域的温度有所升高,如此一来便会对加工质量以及设备的使用寿命都产生影响。因为设计阶段对于加工工艺缺少较为细致的研究,又或者是缺乏系统性的试验以及数据方面的有力支撑,所以工艺参数往往没办法处于最优的状态,这无疑对加工水平的提升起到了制约的作用。

### 1.4 材料性能与加工适应性问题

在机械设计领域当中,材料的选择情况会直接影响到零件所具备的性能以及加工时的难度程度。要是材料性能和加工适应性之间无法实现良好的匹配,那么加工过程中往往会出现诸多问题。像那些强度较高、硬度较大或者具有耐腐蚀特性的材料,尽管其自身性能表现得颇为出色,然而它们的加工难度却相当大,加工所需的成本也比较高,而且在加工环节里还容易产生刀具磨损速度较快、切削力偏大以及加工变形等一系列的问题。与之相对而言,如果材料本身的性能水平比较低,那就很难去满足实际使用的各项要求了。材料所具有的热导率、塑性、脆性等物理化学方面的特性,对于加工过程当中的变形状况、残余应力情况以及表面质量等方面都会有着明显的影响作用。一旦

做出不合理的材料选择,那么加工工艺就很难得到有效的优化,如此一来便使得加工难度有所增加,同时也加大了加工的风险,最终使得生产效率以及产品质量都受到了一定程度的降低。

## 2 机械设计加工问题成因探讨

### 2.1 设计阶段考虑不充分

在机械设计阶段,倘若未能充分考量加工的实际需求以及工艺方面的限制情况,那么后续的加工环节便极有可能冒出不少问题。设计人员通常会把更多关注点放在产品的功能以及结构性能方面,然而却常常忽略了加工过程中实际存在的诸多难点以及工艺的可行性,如此一来,便致使设计方案和加工条件之间出现了脱节的现象。举例来讲,像复杂曲面、狭窄间隙以及非标准形状这样的设计,无疑加大了加工的难度,而且缺乏针对工艺参数以及设备能力的充分评估,这就使得加工很难达成预期的精度和质量水准。在设计当中,若基准的选取不够合理,那么也会对零件的定位以及装夹产生影响,进而对加工的稳定性以及精度造成影响。除此之外,在设计阶段忽视材料特性以及加工适应性的情况,使得材料选择难以契合加工的需求,从而增加了加工的风险以及成本。从整体上而言,设计阶段对于加工的考虑存在不足之处,这无疑为机械加工问题产生的一个重要根源所在。

### 2.2 加工工艺规划不合理

合理的工艺规划乃是确保机械加工质量以及效率得以实现的根基所在。不合理的工艺规划会呈现出诸如工序安排不够科学、加工路径设计欠妥当、加工方法选取不恰当等一系列情况。在开展工艺规划工作的时候,若缺少针对零件结构特征以及加工设备能力展开的综合性分析,那么就很容易致使加工流程出现重复、存在冗余或者缺失关键环节等状况,进而对加工效率以及产品质量产生影响。举例来讲,加工顺序安排得不合理,极有可能引发零件发生变形的情况,这对后续工序的加工精度会造成影响。工艺参数设定要是没有依据工件材料以及设备特性来加以优化,那就会使得刀具磨损程度不断加剧,加工表面也会变得较为粗糙。并且还存在着缺乏行之有效的工艺验证与调整机制这一情况,如此一来,加工过程中所出现的问题便很难被及时地察觉并予以纠正。工艺规划的不合理之处对机械设计加工水平的提升形成了极为严重的制约作用。

### 2.3 设备与技术水平限制

机械加工设备以及技术水平在很大程度上对加工精度、效率以及质量起着决定性作用。部分制造企业或者车间所使用的设备较为陈旧,其自动化程度以及数控水平都较低,这无疑对加工能力的提升形成了限制。设备精度存在不足的情况,又或者维护工作做得不够到位,就很容易引发诸如振动、跑偏等一系列问题,进而对零件加工质量产生影响。传统加工技术很难契合现代高精度、多样化

零件的需求,这就致使加工误差以及缺陷频繁出现。与新技术以及先进设备的引入是需要与之配套的技术培训以及管理支持的,要是缺乏在这方面的投入,同样会对设备的有效利用造成影响。技术更新的速度较为缓慢,如此一来加工工艺以及设备能力便无法与设计需求相匹配,这更是进一步加剧了加工方面的问题。设备与技术水平存在的限制已然成为机械设计加工问题难以取得突破的关键瓶颈所在。

#### 2.4 质量检测与反馈机制不完善

完善的质量检测以及反馈机制在确保机械加工产品品质方面起着极为关键的作用。当下不少企业所采用的质量检测方式较为单一,且检测频次偏低,如此一来便很难及时察觉到加工环节出现的各类缺陷与偏差,进而致使这些问题不断累积直至后期变得难以修正。并且这些企业的检测设备其精度以及自动化程度都存在局限性,这就使得检测结果的准确性与可靠性很难得到有效保障。与此企业的质量反馈机制还不够健全,检测所获取的信息没能及时传达给设计与工艺相关部门,缺少有效的闭环管理举措,如此便让加工缺陷难以从根本上得以解决。缺乏数据分析以及追溯体系的存在,同样对质量持续改进的推进形成了阻碍。企业质量检测与反馈机制存在的种种不足,会直接对产品质量的稳定性以及企业竞争力的提升产生影响。

### 3 机械设计中加工问题的改善措施

#### 3.1 优化设计方案,提高加工适应性

优化设计方案乃是应对机械设计加工难题的关键办法。于设计阶段务必要周全考量加工工艺方面的要求以及设备所具备的能力,秉持设计制造一体化的观念,尽可能削减复杂的结构以及难以加工的特征,以此提升零件在加工环节的适应程度。借助标准化设计还有模块化设计的方式,对零件结构予以简化,进而降低加工时的难度。与此要恰当地选取基准以及定位的方式,保证加工进程当中的稳定性以及精度得以维持<sup>[1]</sup>。设计人员需要强化和加工部门之间的沟通交流,把材料性能以及工艺特点结合起来去开展设计方面的优化工作,防止因设计上提出过高的要求而致使加工难以达成目标。凭借计算机辅助设计以及仿真技术,提前对加工难点以及变形风险做出评估,以此来引导设计做出相应的调整,从而增强设计方案在加工方面的友好程度。

#### 3.2 合理选择和优化加工工艺参数

合理挑选并优化加工工艺参数,这可是保证加工质量以及效率的重要举措。得综合考量材料特性、加工设备的能力还有工艺目标等方面情况,借助实验以及数据方面的分析来确定最为适宜的切削速度、进给量以及切削深度,防止因参数设置不妥当而致使工件出现变形状况、刀具产生磨损以及表面存在缺陷等问题。运用先进的工艺规划软件以及智能控制系统,对加工参数予以实时的监控并且做出相应调整,以此提升加工的稳定性与一致性。强化针对工艺参

数的标准化以及规范化管理举措,制定出科学合理的工艺流程以及操作标准,降低人为操作时出现失误的几率<sup>[2]</sup>。定期去开展工艺优化相关研究工作,结合新材料以及新技术的情况,不断地提升工艺参数的合理性以及先进程度。

#### 3.3 完善质量检测与反馈体系

完善的质量检测与反馈体系对于加工质量的持续改进而言极为关键。需引进高精度且功能多样的检测设备,以此达成对加工尺寸、形位公差以及表面质量的全方位监测目的。运用自动化检测技术以及数字化管理平台,以此提升检测的效率并保证数据的准确性。要完善检测的具体流程,制定出详尽的检测标准与规范,从而确保检测结果具备可靠性与一致性<sup>[3]</sup>。建立起快速的反馈机制,把检测数据及时反馈给设计以及加工部门,进而形成闭环的质量管理模式。依靠大数据分析以及智能算法来开展质量趋势方面的分析以及故障预测工作,实现质量管理所具有的预防性与智能化特点。强化对员工质量意识的培养,推动所有人员都参与到质量管理当中,以此保障检测体系能够有效运行起来。

### 4 结语

在机械设计领域当中,加工方面所存在的问题可称得上是影响最终产品质量以及制造效率极为关键的因素之一。就加工精度存在欠缺、表面质量未能达到标准要求、效率处于较低水平等一系列在实际生产中较为常见的问题而言,对其具体成因展开详尽分析之后,本文相应地给出了一些改善举措,像是优化设计方案、恰当选择工艺参数以及进一步完善质量检测等方面的做法。这些举措一方面从技术角度实实在在地解决了加工环节所遇到的各种难题,另一方面也从管理层面促使生产效能得以提升。在未来的发展进程中,伴随智能制造以及数字化技术不断向前推进,机械设计加工势必会变得更加精准、更为高效并且更具智能化的特点。企业需要持续不断地推进技术方面的革新工作,同时着力于人才的培养事宜,不断地对加工体系加以完善,从而促使机械设计加工的水平能够迈上一个新的台阶,进而达成制造业实现高质量发展的目标。

#### 【参考文献】

- [1]李由.机械设计中的加工问题及改善措施浅析[J].工程机械,2024,55(1):172-175.
  - [2]汪立俊.机械设计与机械加工中常见问题及改善措施分析[J].内燃机与配件,2020(14):100-101.
  - [3]朱斌.机械设计加工中常见问题及优化措施[J].南方农机,2021,52(8):135-136.
- 作者简介:李蓬勃(1997.5—),男,汉族,籍贯:河北省邯郸市武安市(现居住河北邢台市)学历:本科毕业日期:2021年6月毕业于河北水利电力学院所在单位:邢台纳科诺尔精轧科技股份有限公司,职务:机械工程师,现主要从事辊压机收放卷设计。

## 小型辊压机机架结构与稳定性分析

秦攀

邢台纳科诺尔精轧科技股份有限公司, 河北 邢台 054001

**[摘要]**小型辊压机是常用于实验或者小批量压制工艺的一种设备,它有着结构紧凑以及功能灵活的特点,在材料加工、科研实验等诸多领域都有广泛应用。机架作为辊压机极为关键的支撑结构,其设计质量会对整机的工作性能以及结构稳定性产生直接影响。文章依据小型辊压机的实际功能需求,对其机架设计需求展开系统分析,给出合理的结构设计方案,还运用有限元方法针对机架实施静力学和模态分析,进而推进稳定性方面的研究工作。研究结果说明,经过优化之后的机架结构具备不错的受力性能以及稳定性,可切实保障设备运行时的可靠性与安全性。

**[关键词]**小型辊压机; 机架结构设计; 稳定性分析

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17504

中图分类号: TH122

文献标识码: A

## Structural Design and Stability Analysis of Small Roller Press Frame

QIN Pan

Xingtai Naknor Technology Co., Ltd., Xingtai, Hebei, 054001, China

**Abstract:** A small roller press is a commonly used equipment for experimental or small batch pressing processes. It has the characteristics of compact structure and flexible function, and is widely used in many fields such as material processing and scientific research experiments. As a crucial support structure for the roller press, the design quality of the frame will directly affect the overall performance and structural stability of the machine. Based on the actual functional requirements of a small roller press, this article conducts a systematic analysis of its frame design requirements, provides a reasonable structural design scheme, and uses finite element method to conduct static and modal analysis on the frame, thereby promoting research on stability. The research results indicate that the optimized rack structure has good stress performance and stability, which can effectively ensure the reliability and safety of equipment operation.

**Keywords:** small roller press; rack structure design; stability analysis

### 引言

小型辊压机在材料成形、科研试验、微型制造等范畴有着关键作用,因其结构紧凑、操作灵活,越来越多地出现在实验室和小型加工场景里。机架作为承载载荷、固定机构且确保设备整体结构稳定的要素,其设计会直接影响到辊压机的整体性能以及使用寿命。所以,针对小型辊压机机架结构展开合理设计以及稳定性分析,有十分重要的工程应用价值。本文会围绕小型辊压机机架的设计需求、结构优化、有限元分析以及稳定性研究这四个方面展开深入探讨,目的是为相关设备的结构设计给予理论依据以及工程参考。

### 1 小型辊压机机架设计需求分析

#### 1.1 小型辊压机工作原理

小型辊压机的关键工作原理在于,其会借助一对或者多对呈平行方式布置的压辊来给材料施加压力,进而促使材料产生塑性变形,或者实现压实成型的效果。具体来讲,是通过电机驱动传动装置,以此带动主动辊开始旋转,然后再依靠所产生的摩擦力进一步带动被动辊一同运动起来。而夹持在两辊之间的材料,在如此强大的压力作用之下,便会发生相应的变形情况,最终达成压延或者是压实

的目的。此设备自身结构较为紧凑,其工作空间也是相对有限的,所以对于机架而言,不但要能够承受周期性的载荷,而且还得具备较高的刚性以及稳定性,唯有如此,才能够确保在压制过程当中能够维持一定的精度,并且保障操作的安全性。

#### 1.2 机架设计基本要求

机架属于整个设备的关键支撑架构,得符合相当的刚度以及强度方面的要求,务必要保证在承载着高载荷并且处于复杂工况的情形之下不会出现明显的变形情况或者产生失稳状况。就结构设计来讲,要妥善地去分布那些受力的各个部件,防止出现应力集中的情况,以此来促使整体的抗疲劳性能得以提升。机架还应当具备不错的可制造性以及装配性,从而能够契合不同的工艺以及生产方面的各类需求。在朝着小型化发展的这样一个前提条件之下,其结构布局应当尽最大可能地做到紧凑一些,把所占的面积减少下来,进而提高空间的利用效率,并且方便后续的维护操作以及升级事宜。

#### 1.3 受力分析与载荷特性

小型辊压机在工作的时候,会受到复杂的载荷作用,

像辊压力、摩擦力、驱动扭矩以及设备自重等等。其中，辊压力是最主要的载荷来源，它有比较强的冲击性还有周期性的特点，这就要求在设计机架的时候，得有不错的动态响应性能。传动系统产生的扭矩以及转动惯量也会给机架带来一些影响，在启动和停止的时候，特别容易引发结构局部应力出现波动情况。所以，精准地去分析各类载荷的分布状况以及它们的传递路径，这可是实现结构合理化并且达成优化设计的一个关键环节。

## 2 机架结构设计方案

### 2.1 设计原则

机架结构设计要遵循这样的原则：强度得足够，刚度需合理，稳定性要可靠，并且制造起来也得简便。在能够满足基本的承载功能之外，还得把结构轻量化以及装配便利性考虑进去。在设计的时候务必要防止出现结构冗余以及无效加固的情况，要保证受力路径是连续的，受力也是均匀的。对于那些关键的连接部位，应当选用高强度的连接件或者加强筋结构，以此来提升整体结构对抗冲击的能力以及疲劳寿命。

### 2.2 结构方案比较与选择

小型辊压机的使用环境以及功能需求，给出了三种机架结构设计方案，分别是：一体式框架结构、分体式组合结构还有模块化装配结构。对这三种方案从加工制造难度、力学性能、结构稳定性以及经济性等方面来综合比较，发现一体式框架结构在制造成本和工艺难度上都比较高，不过它的整体刚度比其他方案要好很多，能更有效地对抗运行时产生的振动和冲击，适合那些对机架稳定性要求较高的应用场合。与之相比，分体式组合结构在装配灵活性和运输便捷性方面表现得比较突出，方便设备的拆卸和维护，但是因为存在多个连接部件，所以结构整体的刚性和稳定性就比较差，容易成为潜在的薄弱环节。模块化装配结构侧重于生产的标准化和模块互换性，方便实现批量生产和快速组装，不过其复杂的连接设计不但增加了制造和装配的难度，还可能影响结构的整体刚度。综合考虑机械性能、生产工艺和经济效益之后，最终选定了一体式框架结构作为小型辊压机机架的设计基础，以此来确保机架有优异的结构稳定性和良好的承载能力。

### 2.3 材料选用与性能分析

材料选取于机架设计而言极为关键，它关乎机架结构性能、使用寿命以及整体经济效益，为使机架有足够承载力且抗疲劳性能优异，本文主要采用 Q235B 结构钢作机架主体材料，此钢材机械性能好，强度较高，韧性良好，可焊接性与成形性能佳，利于后续制造加工，Q235B 材料资源多、价格适中，能控制制造成本，提升工程经济性，对于机架关键连接区与高应力集中部位，为增强结构抗疲劳性能与抗腐蚀能力，选用高强度低合金钢如 Q345 作局部加固材料，Q345 钢比普通结构钢强度高，耐腐蚀性与

韧性优，可延长机架寿命，降低维护频次，经对这两种材料性能对比及实际应用验证，确定该材料组合方案既满足机架力学性能严苛要求，又兼顾制造工艺性与经济性，体现结构设计科学合理性。

## 3 有限元分析与仿真

### 3.1 建立有限元模型

要精准剖析机架于实际工况之中的受力变形特性，便运用 ANSYS 软件针对设计结构展开建模以及仿真方面的分析工作。依照实际的几何尺寸还有结构所具有的特点，把机架简约为壳单元和实体单元相互混合而成的模型，并且为其做好合理的网格划分事宜。为了让仿真的精度得以提升，在应力出现集中的区域去设置加密网格，从而能够更为准确地对高应力梯度区域的响应特性予以捕捉。凭借合理的几何建模以及单元划分操作，进而给后续的分析环节给予可靠的根基保障。

### 3.2 载荷与边界条件设定

在有限元仿真的操作当中，载荷的设置是参照实际的工作环境来进行的，这其中涵盖了垂直压辊载荷、水平侧向摩擦力以及扭转载荷这几方面的内容。就边界条件而言，给机架底部设置了完全约束，以此来模拟它和地基那种刚性连接的状态，在辊轴支撑点会施加与之相应的集中载荷，同时还会施加驱动扭矩。为了让模拟的状态能够更加接近实际运行时的情形，还会在连接螺栓处施加预紧力来进行模拟，进而提升整个模拟的精度。这样的设置能够保证仿真所得到的结果和实际的情况达成高度的一致，有着比较强的工程参考价值。

### 3.3 应力、变形分析

从仿真的结果来看，在处于最大工作载荷的情况之下，机架结构所呈现出来的最大应力，主要是聚集在辊轴支撑所在的区域以及各个关键的连接节点之处。这些部位因为要承受相对较大的集中载荷，并且还存在着结构转折的情况，所以就变成了典型的应力集中区。通过运用 ANSYS 有限元来进行仿真分析能够看出，尽管这些区域存在着一定程度上的应力有所提升的现象，然而其最大的应力值却始终没有超出所选取材料的屈服强度所处的范围，这就说明整体结构有着比较高的强度裕度以及可靠性。就结构整体而言，其变形的趋势也是比较理想的，变形量大多集中在侧梁所在的区域以及受载比较集中的那一端，其中最大的位移值是小于 0.3mm 的，这一数值远远低于设计所允许的变形限值，从而有效地确保了设备在运行过程当中能够保持应有的精度以及稳定性。再进一步去对比在不同加载条件以及边界条件之下的应力与位移分布所得到的结果，可以发现结构的响应表现出了很好的一致性与稳定性，并且没有出现明显的局部屈曲或者异常变形的区域，而且也没有引发潜在的共振风险，这无疑为后续开展优化设计给出了清晰明确的方向以及定量方面的参考依据。

### 3.4 模态分析

为了避免设备在运行期间出现结构共振方面的相关问题,针对机架结构展开了模态分析的操作,借此来获取该结构的固有频率以及振型特征,进而对整体的抗振性能加以评估。模态分析属于一种颇为重要的结构动力学分析方法,其能够将结构在自由振动状态之下的固有响应特性揭示出来,对于判断潜在存在的共振风险而言有着不容忽视的重要意义。经由有限元仿真的途径可以知晓,机架的前五阶固有频率全都明显地高于设备实际的工作频率范围,这就意味着在正常的工况状况之下,机架结构是不会与外部激励频率出现重合情况的,如此便能够有效地防止共振情况的发生。在这其中,第一阶振型呈现的是侧向弯曲模态的特点,其主要集中于顶部横梁所在的区域,由此可以看出结构局部存在着刚度变化的趋势;而高阶模态所呈现出的则是整体扭转或者局部复杂变形的相关特征。就整体结构的振动响应情况来看,其是比较分散的,并且没有观察到那种明显的低频共振趋向,这也就进一步地验证了机架设计所具备的合理性以及抗振稳定性。模态分析所得到的结果,为结构设计在动态性能方面的评估给予了可靠的依据,同时也为后续有可能实施的振动抑制措施以及结构优化的方向提供了基础数据层面的支持以及理论方面的参考内容。

## 4 机架稳定性分析

### 4.1 稳定性分析理论基础

结构稳定性称得上是关键指标,它能够体现该结构面对外力作用时抵御失稳的能力。就机架结构而言,在承受着相当大的轴向压力或者呈现出较为复杂的载荷情况之时,很可能会因为临界载荷超出限定而冒出诸如屈曲、侧移亦或是整体失稳等种种问题。依照欧拉屈曲理论以及极限平衡分析法,并且把实际的几何尺寸和边界条件也综合考量进去,便能够对机架处在不同载荷作用之下所呈现出来的临界稳定状态予以预测<sup>[1]</sup>。本文把线性屈曲理论当作基础,同时搭配上非线性数值模拟,进而着手展开针对结构稳定性的相关分析。

### 4.2 屈曲与失稳分析

运用 ANSYS 软件里的线性屈曲分析模块,针对机架在压辊载荷作用之下所呈现出来的临界屈曲载荷展开了仿真的计算操作,其主要目的在于对机架整体结构所具备的稳定性裕度予以评估。经仿真得出的结果显示,该结构的最小屈曲载荷大概相当于正常工作载荷的 2.7 倍左右,这无疑说明在当下的结构设计状况以及材料选型条件之下,机架拥有着相对较高的稳定性安全系数,是能够有效地抵御由于外力作用所引发起来的屈曲失稳方面的风险的<sup>[2]</sup>。就屈曲模式分析所得出的结果来看,在临界状态的时候,该结构主要是呈现出顶部框架区域朝着外侧发生整体侧向屈曲的情况,这一变形的趋势和之前在模态分析当中所提到的第一阶振型特征基本上是一致的,进而也证实了结构动力学响应和屈曲失稳形式之间存在着极高

的相关性。再者说,通过对不同区域的应变情况以及形变轨迹展开分析之后可以发现,结构的拐角过渡区还有主要连接节点在屈曲的过程当中应力集中表现得十分突出,这属于典型的结构薄弱环节。这些区域因为存在几何形状的突变并且受力情况也比较复杂,所以特别容易成为引发局部失稳的起始之处,所以在后续的设计环节当中应当借助于设置加强筋、对局部结构予以优化或者提升连接刚度等办法来对其进行强化处理,以此进一步增强整体结构的抗屈曲能力以及稳定性可靠性。

### 4.3 稳定性安全性评估

在屈曲分析相关工作的基础之上,再充分结合材料所具有的强度特性、结构本身的刚度状况以及载荷的具体分布情形,去较为全面且细致地对机架结构的稳定性安全系数展开评估考量。经过这样一番操作之后所呈现出的结果说明,整体结构的稳定性安全系数大致处于 2.5 至 3.2 这样的区间范围之内,而这显然是能够符合国家机械设计规范当中所明确规定的各项安全方面的要求的<sup>[3]</sup>。通过针对不同设计方案之间的稳定性进行对比分析,进而发现,经过优化处理之后的结构,不仅能够一定程度上把重量给减小下来,而且还能够让稳定性得以切实提升,从而也就为小型设备结构设计给出了行之有效的应对策略。

## 5 结语

文章针对小型辊压机机架结构设计以及稳定性分析展开了较为系统的探究工作。从设计方面的需求出发,再到结构方案的确定,最后经过有限元仿真的操作以及稳定性分析的过程,对机架的结构性能以及工程应用特性展开了较为详尽的探讨。借助于结构方面的优化举措以及对材料进行合理的选用方式,所设计出来的机架结构拥有不错的强度、刚度以及稳定性。通过有限元仿真这一手段,能够对结构在实际工况之下的应力变形状况予以验证。而模态分析以及屈曲分析的结果则说明该机架具备相当高的抗振能力以及抗失稳的能力。此项研究给小型压制设备结构设计给予了理论层面的依据以及实践方面的指导,后续还可以进一步结合动态载荷以及疲劳寿命等方面内容来开展更为深入的优化以及拓展相关工作。

### 【参考文献】

- [1]葛惠溪,赵文杰,陈红涛,等.辊压机上机架的改造和应用[J].新世纪水泥导报,2023,29(1):47-48.
- [2]陈代彦.HFCG 辊压机关键部件的安装与维护[J].中国水泥,2020(8):89-92.
- [3]周丹红.辊压机减速机振动大的原因分析及处理[J].水泥,2024(2):73-74.

作者简介:秦攀(1991—),就职于邢台纳科诺尔精轧科技股份有限公司,河北省沙河市人,现任职机械设计工作,2015年7月毕业于燕山大学机械设计制造及其自动化专业,最高学历本科,现主要从事辊压机设计工作。

# 机电工程技术应用及其自动化问题探析

郭文龙

世源科技工程有限公司, 北京 100089

**[摘要]**机电工程技术乃是现代工业得以发展的关键支柱所在,其发展所达到的水平会在很大程度上直接对机械制造领域、智能生产环节以及工业整体效率的提升产生影响。当下,在信息技术和自动化技术相互融合程度不断加深的这样一种大背景之下,机电工程在设备结构方面的优化、材料的应用情况、生产过程的控制以及能源管理等多个层面都收获了颇为显著的成效。本论文把机电工程技术及其自动化应用当作研究的对象,全面且细致地去分析它在提升工业生产的质量、提高生产效率以及智能化水平等方面所起到的作用,同时深入探讨自动化技术在实际应用过程当中存在的那些问题,并且还给出了未来的发展方向以及相应的优化策略。研究得出的结果显示,信息技术与智能自动化协同向前发展,这已然成为推动机电工程技术不断取得进步的关键驱动力量,对于达成工业的高效、绿色并且可持续发展的目标有着不容忽视的重要意义。

**[关键词]**机电工程;技术应用;自动化

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17501

中图分类号: TP273

文献标识码: A

## Exploration into the Application of Mechanical and Electrical Engineering Technology and Its Automation Issues

GUO Wenlong

Shiyuan Technology Engineering Co., Ltd., Beijing, 100089, China

**Abstract:** Mechanical and electrical engineering technology is a key pillar for the development of modern industry, and the level of its development will directly affect the improvement of mechanical manufacturing, intelligent production processes, and overall industrial efficiency to a large extent. In the current context of deepening integration between information technology and automation technology, mechanical and electrical engineering has achieved significant results in optimizing equipment structure, material application, production process control, and energy management at multiple levels. This paper takes electromechanical engineering technology and its automation application as the research object, comprehensively and meticulously analyzing its role in improving the quality, efficiency, and intelligence level of industrial production. At the same time, it deeply explores the problems that exist in the practical application of automation technology, and also provides future development directions and corresponding optimization strategies. The research results show that the coordinated development of information technology and intelligent automation has become a key driving force for the continuous progress of mechanical and electrical engineering technology, and has significant importance in achieving the goals of efficient, green, and sustainable industrial development.

**Keywords:** mechanical and electrical engineering; technology application; automation

### 引言

机电工程技术属于机械、电子、控制以及信息技术等诸多学科相互融合形成的综合性技术体系,在现代工业生产当中占据着极为关键的地位。伴随制造业朝着智能化、数字化的方向不断转型,传统机械设备和自动化系统的结合变得日益紧密,达成了生产过程的精准控制以及高效协同。本文从机电工程技术与自动化的意义、应用实践、存在的问题以及未来的发展方向这四个层面展开较为系统的分析,目的在于给工业生产的优化、效率的提升以及可持续发展给予相应的理论依据与实践方面的参考。

### 1 机电工程技术

在当下的工业生产过程中,机械设备都在采用新型的材料,以此来完善设备的整体结构,并进行有效的技术深化,在很多零部件中可以采用非金属材料,这样可以有效

降低设备制造成本,并且实现更高的运行效率,也能有效降低能源消耗,因此成为当下最主要的研发目标。另外需要注意该技术中,对于传感设备的应用相对广泛,所以要注意提高传感器的使用效果,以及精准度和灵敏度,确保传感器的运行稳定,并在工业生产中发挥出关键作用。准确来说机电工程技术与信息技术有相应的关系,尤其是自动化的应用实施,而且信息技术也是未来的主要发展方向与优化方向,可以从根本上促进机电工程技术的提升。

### 2 机电工程技术与自动化的重要性

#### 2.1 提升工业生产质量

机电工程技术以及自动化于工业生产质量的提升而言,有着颇为显著的作用。借助对机械结构设计予以优化的操作、针对零部件材料做出改进的行为以及让传感器精度得以提升的举措,设备在运行时所具备的稳定性以及加工时

所能达到的精度均获得了进一步的强化，如此一来便确保了产品在整个生产流程当中呈现出的一致性以及可靠性。而当自动化系统被引入进来之后，生产环节便可以依照程序来达到精确的控制，并且能够实现实时的监控，每一处工序都能够落实高精度的操作，进而将因人而因素而引发的质量波动减少掉。与此该系统还能够对生产数据展开实时的分析工作，能够在第一时间察觉到潜在存在的各类问题并随即加以调整，以此方式促使生产过程的科学性以及可控性都得以提升。这样的技术层面以及管理层面双双获得的提升，使得工业产品的质量在效率方面以及精度方面都得到了明显的强化，进而为企业在市场当中赋予了较为稳固的竞争优势。

### 2.2 提高生产效率与智能化水平

机电工程技术以及自动化技术，在提高生产效率与智能化程度方面所具有的价值是十分显著的。智能化的生产系统于单位时间当中能够完成更多的生产任务，而且还能够凭借减少设备出现停机情况以及对生产流程加以优化等举措，促使生产资源的利用效率得以提升。自动化技术借助程序控制还有数据驱动的方式达成生产过程的高效衔接，使得生产环节可以灵活地对市场需求以及生产计划的调整做出回应。智能化设备能够依据实时数据自主地去优化运行参数，如此一来便减少了人为的干预，提高了生产的自动化水平，并且在确保效率的还降低了能耗以及生产成本。这样一种集成化且智能化的生产模式，赋予了工业系统较高的响应能力以及较高的柔性，从而为企业在复杂且多变的市场环境里维持竞争力给予了有效的保障。

## 3 机电自控技术的应用

### 3.1 空调新风系统自动控制的应用

#### 3.1.1 自控系统图

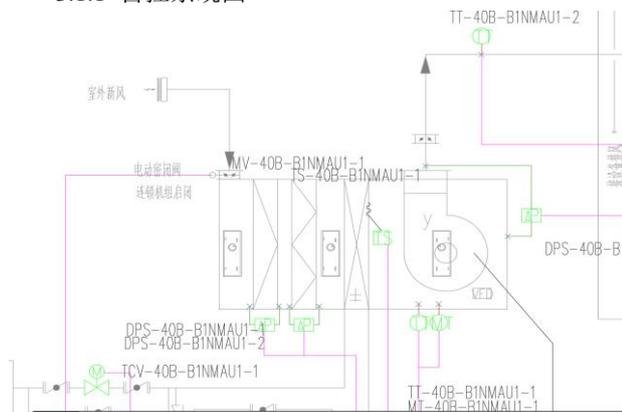


图1 自控系统

#### 3.1.2 监控信号

(1) 室外温湿度 MT、室外露点计算值 Td、送风湿度 MT、送风露点 Td、送室内温湿度 MT、室内露点计算值 Td。(2) 盘管后温湿度：一热盘管后温度 TT、二热盘后温湿度 TT、一冷盘后温度 TT、加湿后温湿度 MT、加湿后露点 Td。(3) 变频风机：本地/远程状态、启动命令、停止命

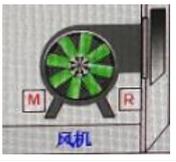
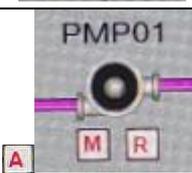
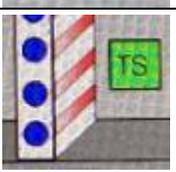
令、运行状态、故障状态、频率调节、频率反馈、MODBUS 通讯（电流、功率、变频器温度等）。(4) 加湿阀：本地/远程状态、打开命令、关闭命令、开到位反馈、关到位反馈。

(5) 电动开关风阀：打开命令、关闭命令、开到位反馈、关到位反馈。(6) 电动调节水阀：开度调节、开度反馈。(7) 过滤器报警：初效过滤器、中效过滤器、风机两侧压差。(8) 低温报警：防冻开关报警。(9) 防冻泵：本地/远程状态、启动命令、停止命令、运行状态、故障状态。

### 3.1.3 控制逻辑

#### (1) 开关机操作

表1 开关机前检查下表设备状态与“状态图例”所示一致

设备	图控操作状态	控制柜转换开关状态	报警否	状态图例
风机	M (手动)	R (远程)	无	
风阀	A (自动)	/	无	
防冻泵	A(自动)	R (远程)	无	
水阀	A(自动)	/	无	
防冻开关	/	/	无	

注：控制柜转换开关状态 L (本地) R (远程)，图控操作状态 M (手动) A (自动)。

开机：在风机弹窗中设置预启动及运行频率→点击启动→风机启动到预启动频率后→程序自动打开新风阀→风阀全开反馈收到→风机频率升至设定值运行→操作并检查机组所有设备均在 A (自动) R (远程) 或 A (自动) 状态→水阀开始自动调节。(预启动频率设置 0，则功能为阀门开启反馈收到后，启动变频器)

关机：将风机调整在 R (远程) M (手动) 状态→点击停机→风机正常停机后→风阀自动关闭→水阀自动关闭 (防冻功能不受停机影响)。

### (2) 一冷后温度控制

一冷后温度  $TT$  作为前两到水阀  $PID$  调节的  $PV$  值。风机在运行中如需更换被控量,  $CV$  输出为切换前输出值, 继续调节。

当  $SP > PV$  时, 关一冷阀门至开度下限 → 开一热阀门至开度上限。

当  $SP < PV$  时, 关一热阀门至开度下限 → 开一冷阀门至开度上限。

### (3) 湿度控制

出风计算露点或房间平均露点  $Td$  作为二冷水阀  $PID$  调节的  $PV$  值。风机在运行中如需更换被控量,  $CV$  输出为切换前输出值, 继续调节。

当  $SP > PV$  时, 关二冷阀门至开度下限。

当  $SP < PV$  时, 且一热阀  $CV$  输出至下限(冬季 LCH 冷水机组不开), 开二冷阀门至开度上限。

### (4) 送风温度/房间平均温度控制

送风温度  $TT$ 、房间计算平均温度  $TT$  通过选择框勾选, 选中的温度平均值  $TX$  作为二热水阀  $PID$  调节的  $PV$  值。风机在运行中如需更换被控量,  $CV$  输出为切换前输出值, 继续调节。

①当  $SP > PV$  时, 开二热阀门至开度上限; ②当  $SP \leq PV$  时, 关二热阀门至开度下限。

### (5) 集管出口分支电动开关风阀控制

①一键手、自动功能; ②一键开、关阀功能(此功能需要先将所有风阀切至  $M$  状态); ③当所有风阀在  $A$  状态, 本组空调有一台运行, 则所有风阀开启; 所有空调停机后, 风阀不自动关闭; ④当所对应房间发生气体泄漏, 值班人员根据实际情况判定是否关闭此房间所对应风阀。

### (6) 房间电动调节风阀控制

设定自动切换区间: 低温设定值及延时; 高温设定值及延时; 每个房间的调节阀根据房间内温度  $PV$  调节开度; 开度具备开度上、下限功能。

①当室外温度  $PV <$  低温设定值, 达到延时条件: 房间温度  $SP > PV$ , 则增大调节阀开度; 否则动作相反; ②当室外温度  $PV >$  高温设定值, 达到延时条件: 房间温度  $SP > PV$ , 则减小调节阀开度; 否则动作相反; ③当低温  $<$  室外温度  $<$  高温设定值, 并达到延时条件。

a. 房间温度  $SP > PV$ , 且房间温度-运行机组出风温度平均值  $> 0$  (差值设置死区), 则减小开度

b. 房间温度  $SP > PV$ , 且房间温度-运行机组出风温度平均值  $< 0$  (差值设置死区), 则增大开度

c. 房间温度  $SP < PV$ , 且房间温度-运行机组出风温度平均值  $> 0$  (差值设置死区), 则增大开度

d. 房间温度  $SP < PV$ , 且房间温度-运行机组出风温度平均值  $< 0$  (差值设置死区), 则减小开度

### (7) 防冻功能, 此功能优先级最高, 不受开关机影响

①当室外温度  $\leq$  低限  $8^{\circ}C$  (可调), 强制开启一热水阀  $CV$  防冻保护开度 (可调), 同时防冻泵开启。②当一热

后温度  $\leq$  低限  $10^{\circ}C$  (可调), 强制开启一热水阀  $CV$  防冻保护开度 (可调), 同时防冻泵开启。③当防冻开关触发报警, 且一热后温度  $\leq$  防冻低限  $10^{\circ}C$  (可调), 强制开启一热水阀  $CV$  防冻保护开度  $100\%$ , 同时防冻泵开启; 温度传感器通道故障, 防冻开关直接接管报警停机功能。人工现场确认无异常或排除故障后, 依据本策略开机顺序执行开机任务。④防冻泵异常停机连锁风机停机 (使能开关)。⑤防冻泵条件自动停泵 (延时  $0 \sim 22d$ ), 增加自动停泵使能。

### (8) 分组连锁运行

①连锁使能: 一台设备停机后, 热备机 (选择累计运行时间最短机组) 自动启动②连锁使能、取消: 自由选择组内机组开启台数。

#### 3.1.4 单设备功能

##### (1) 风机

①风机频率 ( $Hz$ ) 下限 ( $0-50$  可调) 及上限 ( $0 \sim 50$  可调)。②风机  $M$  (手动)  $A$  (自动) 切换。③启动、停机命令。④状态反馈。⑤手动输入运行频率, 频率反馈错误。⑥读取本次及累计运行时间 ( $h$ , 精确到小数点后  $1$  位)。⑦报警: 风机启动失败报警、风机停机失败报警、风机远程异常停机、风机远程异常启动、风机本地停机、风机本地启动、变频器故障。⑧故障复位。⑨通讯。

##### (2) 防冻泵

①风机  $M$  (手动)  $A$  (自动) 切换。②启动、停机命令。③状态反馈。④读取本次及累计运行时间 ( $h$ , 精确到小数点后  $1$  位)。⑤报警: 防冻泵启动失败报警、防冻泵停机失败报警、防冻泵远程异常停机报警、防冻泵远程异常启动报警、防冻泵本地停机报警、防冻泵本地启动报警、防冻泵过载报警。⑥故障复位。

##### (3) 水阀

①水阀开度 (%) 下限 ( $0 \sim 100$  可调) 及上限 ( $0 \sim 100$  可调)。②水阀  $M$  (手动)  $A$  (自动) 切换。③手动输入开度。④开度反馈。⑤死区范围设置。⑥报警: 调节阀反馈异常故障提示 (差值可调)、调节阀反馈断线。⑦容错: 断线开度  $CV$  保持。⑧故障复位。

##### (4) 开关式风阀

①风阀  $M$  (手动)  $A$  (自动) 切换。②打开、关闭命令。③开、关到位反馈。④报警: 风阀关闭失败报警、风阀打开失败报警、风阀到位故障、故障及报警延时 ( $s$ )。⑤容错: 程序下载及故障, 不自动触发关阀命令。⑥故障复位, 故障使能、风阀故障关闭连锁风机关闭使能。

##### (5) 比例式风阀

①风阀开度 (%) 下限 ( $0 \sim 100$  可调) 及上限 ( $0 \sim 100$  可调)。②水风阀  $M$  (手动)  $A$  (自动) 切换。③手动输入开度。④开度反馈。⑤死区范围设置。⑥报警: 调节阀反馈到位故障、调节阀反馈断线。⑦容错: 断线开度  $CV$  保持。⑧故障复位。

##### (6) 温湿度仪表

①测量数值反馈。②仪表量程设置、校正值设置。③

报警：断线报警、高高报警、高报警、低低报警、低报警。  
④报警使能。⑤通道错误剔除功能，参与控制的仪表剔除后被控设备保持当前输出，所有勾选取消后，平均值保持最后显示值，被控设备保持当前输出，并提示无参考值。

#### (7) 防冻开关

①状态反馈。②报警：防冻开关报警。③报警停机使能，防冻开关使能状态抓到 NMAU 界面。

#### (8) 过滤器压差

①状态反馈。②报警：滤网压差报警，报警延时(s)。③报警使能。

#### (9) 风机压差

①状态反馈。②报警：风机压差报警，报警延时(s)。③报警使能、报警停机使能。

### 4 自动化技术的相关问题

#### 4.1 技术体系的完善与优化

技术体系的完善，乃是工业自动化应用得以持续且高效发展的重要根基，它和整个生产系统的稳定性、可靠性以及经济效益紧密相关。工业自动化系统一般包含多种硬件以及软件平台，涉及到机械结构、电子控制、传感技术还有信息处理等诸多方面的技术综合集成，其复杂的特性决定了各个环节之间的兼容性、协调性以及响应速度，对于设备的运行效率和生产质量有着决定性的影响。在实际的生产应用里，因为生产环境复杂且多变，设备型号以及工艺要求存在明显差异，所以不同的系统在数据传输速度、控制逻辑优化以及信息处理能力等方面或许会存在一定的局限，这使得自动化系统的响应时间变长、操作效率降低，甚至对生产精度产生影响。为了应对这些挑战，企业在技术体系建设过程中要开展系统优化与升级工作，像是采用模块化设计、标准化接口、先进的控制算法以及高性能的数据处理平台，以此达成各个组成部分之间的高效协同以及信息互通。与此借助持续监测系统运行状态、分析生产数据并且进行动态调整的方式，可进一步提高自动化系统的稳定性、适应性以及智能化程度，保证生产流程即便处在高负荷以及复杂工况之下，依旧能够维持顺畅、高效且可靠的状态，为企业提升整体的生产效率以及经济效益给予稳固的技术支撑。

#### 4.2 机电设计标准的协调与统一

机电设计标准达成统一，在自动化系统展开扩展以及进行升级这件事上，有着颇为重要的意义。不同的企业还有行业，其在机电设计、接口规范以及控制协议这些方面都存在着不一样的情况，这就使得设备在需要升级或者要进行扩展的时候，很难能够实现那种无缝对接的状态。如此一来，不光是让系统集成的难度大大增加了起来，而且还将自动化技术能够应用的范围以及功能可以拓展的程度给限制住了。要是能够制定出统一且具备可操作性的设计标准以及接口规范，那么企业就能够把设备兼容性方面的问题给降下去，同时还能让生产系统的灵活性以及适应性得以提高，从而促

使工业自动化的整体水平能够有所提升。

### 5 机电工程技术与自动化的发展方向

#### 5.1 智能化与柔性化趋势

在当代的工业生产领域当中，智能化以及柔性化已然变成了机电工程技术发展进程里的核心指向所在。智能化所呈现出的主要特点在于生产设备以及系统能够凭借数据采集工作、实时的监测操作以及信息分析环节，达成自主的优化状态以及做出相应决策，进而促使生产效率得以提升，加工精度同样获得提高。借助智能控制这一系统，机械设备能够在不一样的工况情形之下，自动地去对自身的运行参数做出调整，以此来实现针对复杂工艺流程的精准化管理，而且在生产开展的过程之中，还能够持续不断地对操作策略予以优化，从而减少人为方面的干预情况以及生产环节出现的误差状况<sup>[1]</sup>。与此柔性化设计方面所秉持的理念着重强调的是生产系统可以迅速地去适应多品种、小批量以及具备个性化特点的生产需求，让设备以及生产线能够在不同的任务之间达成快速的切换效果，进而使得整体的生产灵活性以及响应能力都得到提升。智能化与柔性化相互有机地结合起来，不但强化了工业系统在复杂环境下所具有的适应性以及可靠性程度，而且还为企业在市场需求呈现出多样化态势、生产模式处于多变情况的背景之下，保持住竞争优势给予了稳固有力的保障。

### 6 结语

机电工程技术与自动化于现代工业生产当中，有着无可取代的重要作用。它的应用范围广泛，涵盖了机械制造、智能生产以及数控系统等诸多领域。在提高生产质量、提升生产效率以及增强智能化水平等方面，都凸显出了十分突出的优势。虽然在技术体系的完善工作以及设计标准的统一事宜等方面，存在着一定的困难与挑战，但是凭借着持续不断的优化举措以及勇于创新的精神，这些问题是能够得到妥善解决的。在未来的发展进程中，智能化与柔性化的趋势走向、人工智能与信息技术的相互融合以及绿色低碳与可持续发展的理念践行，将会成为机电工程技术与自动化发展的重要核心方向。伴随技术的不断更新迭代以及持续创新，机电工程技术与自动化将会为工业生产给予更为高效、更加智能且更为环保的解决办法，进而为企业增强核心竞争力以及推动产业转型升级给予稳固可靠的技术助力。

#### [参考文献]

- [1]彭荆海.机电工程技术应用及其自动化问题分析[J].新型工业化,2021,11(8):19-20.
  - [2]王凤安.电气工程技术应用及其自动化问题研究[J].中国设备工程,2023(2):199-201.
  - [3]陈广其.机电工程技术应用及其自动化问题研究[J].当代化工研究,2020(21):171-172.
- 作者简介：郭文龙（1988.11—），男，毕业院校：广西大学，所学专业：焊接技术与工程，当前就职单位：世源科技工程有限公司，职务：工程师，职称级别：中级职称。

# 机械设计制造及其自动化的发展与挑战

张建轩

纳科诺尔精密轧制设备有限公司, 河北 邢台 054000

**[摘要]**机械设计制造及其自动化是一个发展很长时间的学科,它所涉及的学科种类比较多,但最主要的还是以机械类的产品进行设计和制造,最后通过电气化的方式运行。在工业 4.0 与智能制造的全球浪潮下,机械设计制造及其自动化技术已成为制造业转型升级的核心驱动力。文章主要阐述现代化的自动化制造更加智能与效率化,能够极好的满足大家需求,在我国各行各业中广泛应用。机械设计作为衡量一个国家自动化发展程度高低的标准以及未来发展趋势的指向,针对其开展深入研究有极大价值。

**[关键词]**机械设计制造; 自动化; 发展

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17503

中图分类号: TH12

文献标识码: A

## The Development and Challenges of Mechanical Design, Manufacturing, and Automation

ZHANG Jianxuan

Naknor Precision Rolling Equipment Co., Ltd., Xingtai, Hebei, 054000, China

**Abstract:** Mechanical design, manufacturing, and automation is a discipline that has been developing for a long time. It involves a variety of disciplines, but the most important one is still to design and manufacture mechanical products, and finally operate them through electrification. Under the global wave of Industry 4.0 and intelligent manufacturing, mechanical design, manufacturing, and automation technology have become the core driving force for the transformation and upgrading of the manufacturing industry. The article mainly elaborates that modern automated manufacturing is more intelligent and efficient, which can greatly meet everyone's needs and is widely used in various industries in China. Mechanical design, as a standard for measuring the level of automation development in a country and a direction for future development trends, has great value in conducting in-depth research on it.

**Keywords:** mechanical design and manufacturing; automation; development

### 引言

机械设计、制造和自动化作为现代工业的核心支柱,经过数百年的技术迭代,已经从蒸汽机时代的机械化生产发展到集成人工智能、物联网和大数据的智能系统。这一领域不仅承载着人类对效率和准确性的永恒追求,而且在应对全球气候变化和资源限制等挑战方面发挥着关键作用。2025 年,全球制造业正在经历第四次工业革命的深刻洗礼。作为世界上最大的制造业国家,中国在机械设计、制造和自动化方面的发展水平直接影响着“中国制造 2025”战略的有效性。本文将从技术演进、产业转型趋势、核心挑战和应对策略四个维度系统分析该领域的现状和未来。

### 1 机械设计制造和自动化特性

机械设计制造及其自动化专业旨在培养适应社会发展需要,具备较扎实的自然科学基础和宽厚的机械专业知识以及较强的实践能力,具有创新意识、国际视野、团队合作精神 and 良好的沟通能力,具有较好的人文社会科学素养、较强的社会责任感、良好的职业道德,能在机械工程领域从事机械产品研发、设计、制造、项目管理等工作的复合型工程技术人才。

机械设计作为传统工科专业中重要的一种,对于国家

经济的发展与技术发展有着重要意义,随着时间的流逝,人类文明的不断进步,科学技术在不断的发展,机械设计制造的技术也在不断的发展当中。但是,随着外界经济环境的快速发展,机械设计制造技术水平也面临着新的挑战和压力,只有不断地更新发展,使得机械设计制造能够与时俱进,才能满足社会发展的需求,不会被时代所淘汰。鉴于当时的科技限制,传统的机械设计制造技术存在着一定的缺陷和不足,不能更好地适应现代工业水平的发展需求,近年来随着技术不断发展,出现的自动化技术则很好地弥补了传统机械设计制造技术的不足之处。自动化技术是现代科学技术的结晶,是基于传统技术的发展,并且广泛的应用在机械设计制造过程中的一项新技术。

### 2 机械设计制造及其自动化的发展前景

随着全球制造业朝着智能化以及数字化的方向展开深度转型,机械设计制造及其自动化技术展现出了多元化的诸多发展路径。在这当中,机械制造的微型化还有虚拟化已然成为两个有着明显影响力并且有清晰趋势的重要发展方向,其不但拓宽了技术所能应用的边界范围,而且还为未来制造业的革新给予了关键性的支撑。

#### 2.1 机械制造微型化

机械制造微型化属于当下精密工程技术发展所处的

前沿范畴,其关键目标是要达成产品以及功能单元在尺寸方面尽可能的小型化,在结构层面更为精密化,并且在性能维度能够实现高效化。这样的发展趋势多亏了机电系统也就是 MEMS、纳米技术还有超精密加工等相关技术取得的突破进展,在诸多行业当中都呈现出了颇为可观的应用潜力。

在航空航天领域、生物医疗行业以及电子信息范畴当中,微型化设备实实在在地发挥着无可取代的重要作用。就好比说,微创手术机器人,它依靠自身极为精巧的那种结构,居然能够在人体内部顺利地那种难度颇高的各项操作。微型传感器也是被广泛地应用到了智能设备方面以及环境监测环节里,通过它的运用,能够精准地完成数据的采集工作,并且还能高效地实现数据的传输任务。相较于传统的机械而言,微型机械有着诸多十分突出的优点,比如说它体积小、能耗比较低、响应速度特别快、集成的程度也很高等等,这些优点既能让材料得以节约,也能让能源得到节省,同时还大幅度地提升了系统所具备的灵活性以及功能性。

虽然在微结构的设计方面、微尺度制造的工艺层面以及材料的选择环节等都面临着诸多的技术挑战,不过随着多学科交叉融合程度的持续加深,机械制造朝着微型化方向的发展必定会进一步促进高科技产业不断向前迈进,而且还会成为未来高端装备实现创新的关键突破点所在。

## 2.2 机械制造虚拟化

机械制造虚拟化乃是借助数字化建模、仿真技术以及虚拟现实(VR)、数字孪生(Digital Twin)等较为先进的手段,在计算机所构建的环境当中达成产品从设计到测试再到制造,甚至涵盖其全生命周期的管理与优化相关事宜。它彻底转变了传统那种“设计-试制-修改”式的物理迭代模式,使得开发效率以及资源利用率都获得了大幅度的提升。

利用 CAD/CAE/CAM/CAPP 这类软件工具,工程师可在虚拟空间构建产品三维模型,开展结构分析、动力学仿真、工艺规划等工作,数字孪生技术能让物理实体和虚拟模型实时联动,预测设备运行状态并进行智能维护,如此一来,产品研发周期得以大幅缩短,开发成本降低,也利于个性化定制与柔性生产实现。

虚拟化技术的发展已然达到相当成熟的程度,这无疑为智能制造的实现筑牢了根基。在往后的日子里,伴随算力不断得以提升以及算法持续获得优化,虚拟制造将会愈发朝着实时化、集成化以及智能化的方向发展,进而逐步演变成成为现代制造业里极为重要且不可或缺的核心工具之一。

## 3 机械设计制造及其自动化的发展现状

(1) 模块化因当前我国还未存在与机械设计制造业相关的国际标准,这便使得所生产出的产品呈现多元化。所以,我国诸多机械制造企业在生产各类机械产品时,若想保障达到标准是比较困难的,但是其存在的价值依据具有研究性。比如对动力单元进行统一研究,从而对单元的

图像处理功能以及测距识别功能加以控制,以此来提高产品的开发规模以及研发水平。

(2) 网络化在当前任何行业的发展都是无法避免运用互联网技术的。只有加大对互联网技术的应用力度,才会使得网络技术与自动化技术充分得到有机融合,从而使机械制造的工作效率达到最佳,这是未来机电发展的主要趋势,也是社会发展所需,合理运用智能技术与互联网技术,才会使得我国机械设计制造业在发展上开辟新高度。

(3) 智能化是以控制理论作为基础,并在此基础上通过对各式全新的思想和方式手段吸收,将一些人工智能以模拟的方式实现,以此增加机器行为推理、判断力,强化逻辑思维并对此开展自主决策能力,以此有效实现控制的目标。

### 3.1 技术应用现状

#### 3.1.1 自动化技术

说明自动化技术在工业生产各环节广泛应用,如汽车制造中自动化生产线实现高效生产,以及其对提高生产连续性、稳定性和安全性的作用。

#### 3.1.2 数字化设计与制造技术

介绍 CAD、CAE、CAM 等数字化技术在产品设计、分析、制造中的应用,提高设计精度与效率,缩短产品研发周期。

#### 3.1.3 机器人技术

阐述工业机器人在不同行业的应用场景,如搬运、焊接、装配等,分析其对提升生产自动化、智能化水平的贡献。

### 3.2 产业发展现状

#### 3.2.1 产业规模与布局

分析全球及我国机械设计制造及其自动化产业的规模增长情况,阐述产业在国内外的区域布局特点与形成原因。

#### 3.2.2 企业发展情况

探讨大型企业在技术创新、市场拓展方面的优势与引领作用,分析中小企业在细分领域的特色发展与面临挑战。

### 3.3 人才培养现状

#### 3.3.1 高校专业设置与人才培养模式

介绍高校机械设计制造及其自动化专业的课程设置、实践教学环节与人才培养目标,分析现有模式的优点与不足。

#### 3.3.2 人才供需情况

分析行业对专业人才的需求数量、技能要求与当前人才供给在数量、质量上的匹配情况,指出人才供需存在的矛盾。

## 4 机械设计制造及其自动化的发展趋势

### 4.1 智能化发展趋势

阐述人工智能、机器学习、深度学习等技术在机械制造中的应用,如智能加工中心、智能机器人实现自主决策与优化,分析智能化对提升生产效率、产品质量和企业竞争力的作用。

## 4.2 集成化发展趋势

说明机械、电子、计算机、控制、传感器等多技术的深度融合与集成,构建智能制造系统,实现生产全过程数字化、智能化管理,分析集成化对提高生产协同性和资源利用率的意义。

## 4.3 绿色化发展趋势

探讨在环保意识增强背景下,机械制造业采用节能技术、环保材料、绿色工艺,降低能源消耗与污染物排放的发展趋势,分析绿色化对可持续发展的重要性。

## 4.4 服务化发展趋势

介绍机械制造业从单纯产品制造向提供产品全生命周期服务转变的趋势,如设备维护、故障诊断、远程监控等服务,分析服务化对拓展企业业务、提升客户满意度的作用。

## 5 机械设计制造及其自动化面临的挑战

### 5.1 技术创新挑战

#### 5.1.1 关键核心技术依赖进口

分析我国在高端数控系统、精密传感器、高性能驱动器关键核心技术上对国外的依赖现状,阐述其对产业安全与发展的制约。

#### 5.1.2 技术创新投入不足

探讨企业在技术研发投入上的不足情况,分析研发资金短缺、创新激励机制不完善等因素对技术创新能力提升的阻碍。

#### 5.1.3 技术创新人才短缺

说明行业对高水平技术创新人才的需求与短缺现状,分析人才培养体系与产业需求脱节、人才流失等问题对技术创新的影响。

### 5.2 人才培养挑战

#### 5.2.1 高校人才培养与企业需求脱节

分析高校课程设置重理论轻实践、教学内容滞后于行业发展等问题,导致培养的人才无法满足企业对实践能力和创新能力的要求。

#### 5.2.2 职业教育发展不完善

阐述职业教育在教学资源、师资力量、教学质量等方面存在的不足,分析其对培养高素质技能型人才的制约,以及对产业升级的影响。

### 5.3 产业结构挑战

#### 5.3.1 产业低端化问题突出

分析我国机械制造业在全球产业链中处于中低端位置的现状,阐述产品附加值低、技术含量不高、市场竞争力弱等问题。

#### 5.3.2 产业集中度低

探讨我国机械制造业数量多、规模小、布局分散,产业集中度低的问题,分析其对资源优化配置、技术创新协同和产业整体竞争力提升的阻碍。

### 5.4 市场竞争挑战

#### 5.4.1 国际竞争压力大

分析国外先进机械制造业企业在技术、品牌、市场份额等方面的优势,阐述其对我国企业在国际市场竞争中的压力,以及我国企业面临的贸易壁垒、知识产权纠纷等问题。

#### 5.4.2 国内市场竞争激烈

说明国内机械制造业企业数量众多、产品同质化严重的竞争现状,分析价格战等不正当竞争行为对行业健康发展的影响。

## 6 应对机械设计制造及其自动化挑战的对策建议

### 6.1 加强技术创新

#### 6.1.1 加大关键核心技术研发投入

建议政府加大对关键核心技术研发的资金支持,设立专项科研基金;鼓励企业增加研发投入,提高研发投入占销售收入的比重;引导产学研合作,整合各方资源,共同攻克关键核心技术难题。

#### 6.1.2 完善技术创新激励机制

提出建立健全知识产权保护制度,保障创新者权益;完善科技成果转化机制,提高科技成果转化率;设立创新奖项,对在技术创新方面做出突出贡献的企业和个人给予奖励。

#### 6.1.3 加强技术创新人才培养与引进

建议高校优化专业设置与课程体系,加强实践教学环节,培养具有创新能力的高素质人才;企业加强与高校、科研机构合作,开展人才定制培养;制定优惠政策,吸引海外高端技术创新人才回国发展。

### 6.2 优化人才培养体系

#### 6.2.1 深化高校教育改革

建议高校加强与企业合作,开展产学研合作教育,建立实习实训基地,使学生在实践中提高专业技能和创新能力;及时更新教学内容,将行业最新技术和发展动态融入教学;加强师资队伍建设,鼓励教师参与企业实践和科研项目。

#### 6.2.2 推动职业教育发展

提出加大对职业教育的投入,改善教学条件,加强师资队伍建设和建立职业教育与普通教育互通机制,为学生提供多元化发展路径;加强职业教育与企业的合作,开展订单式培养,提高人才培养的针对性和实用性。

### 6.3 调整产业结构

#### 6.3.1 推动产业高端化发展

建议企业加大技术创新投入,提高产品技术含量和附加值,向高端装备制造、智能制造等领域转型升级;加强品牌建设,提升品牌知名度和美誉度;政府制定产业政策,引导资源向高端产业集聚。

#### 6.3.2 提高产业集中度

提出鼓励企业通过并购、重组等方式做大做强,培育

具有国际竞争力的大型企业集团；加强产业园区建设，引导企业向园区集聚，实现产业集群发展，提高产业协同效应和资源利用效率。

#### 6.4 提升市场竞争力

##### 6.4.1 拓展国际市场

建议企业加强国际市场调研，了解国际市场需求和竞争态势，制定国际化发展战略；加强品牌推广，提高产品在国际市场的知名度和认可度；积极应对贸易壁垒和知识产权纠纷，维护企业合法权益。

##### 6.4.2 规范国内市场竞争秩序

提出政府加强市场监管，打击不正当竞争行为，维护公平竞争的市场环境；加强行业自律，发挥行业协会作用，制定行业规范和标准，引导企业诚信经营。

#### 7 结论

概括机械设计制造及其自动化发展历程、现状、趋势与面临挑战，总结提出的应对挑战的对策建议，强调技术创新、人才培养、产业结构调整和市场竞争力提

升对该领域发展的重要性。展望该领域在智能化、集成化、绿色化、服务化等趋势下的美好发展前景，提出持续关注技术进步、加强国际合作、解决现存问题，以推动机械设计制造及其自动化不断发展，为国家制造业发展做出更大贡献。

#### [参考文献]

- [1]张宝坤,王淑霞,王艳.机械设计制造及其自动化的发展方向[J].化工装备技术,2011(4):48-54.
  - [2]谢乃冰.浅析机械设计制造及其自动化的特点与优势[J].山东工业技术,2016(24):33.
  - [3]张英.基于 CDIO 理念我国机械设计制造及其自动化专业本科课程体系研究[D].浙江:浙江大学,2025.
- 作者简介：张建轩（1999—），男，民族：汉，河北省南官市人，现职称（职务）：机械工程师，2021年6月毕业于唐山学院车辆工程专业，最高学历：本科，现主要从事的工作或研究的方向：锂电辊压机及其配套设备的设计研发工作。

## 机电工程中智能化技术的应用探究

牛昭坡

邢台市纳科诺尔精轧科技有限公司, 河北 邢台 054001

[摘要]中国的智能技术正在迅速发展。应用领域包括制造、冶金、机械、电力等行业。智能技术正在进入重工业领域,以提高工业生产力和生产效率,提高工业智能化和自动化水平,促进第二产业的转型和现代化,促进我国社会经济发展。因此,未来智能技术的应用应更多地关注其关键组成部分和优先要素,以及其具体实施措施和方法的科学性。

[关键词]机电; 智能技术; 应用措施

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17502

中图分类号: TP18

文献标识码: A

### Exploration on the Application of Intelligent Technology in Mechanical and Electrical Engineering

NIU Zhaopo

Xingtai Naknor Technology Co., Ltd., Xingtai, Hebei, 054001, China

**Abstract:** Chinese intelligent technology is rapidly developing. The application areas include manufacturing, metallurgy, machinery, power and other industries. Intelligent technology is entering the field of heavy industry to improve industrial productivity and production efficiency, enhance industrial intelligence and automation levels, promote the transformation and modernization of the secondary industry, and promote Chinese socio-economic development. Therefore, in the future, the application of intelligent technology should pay more attention to its key components and priority elements, as well as the scientificity of its specific implementation measures and methods.

**Keywords:** electromechanical; intelligent technology; application measures

#### 引言

随着时间的推移和全球化的加速,机械设计体系制造业的发展市场逐步扩大到全球规模,与先进科技的联系越来越紧密。机械制造业的发展将推动机械设计和制造的数字化智能的发展带来了更多的变革和创新。为人们创造更舒适、更高效的生活方式。在机器生产过程中,机器的设计影响其生产随着智能和数字技术的不断发展,质量将产生重大影响开发需要设计师更新他的思维并利用先进的技术为企业带来了更大的经济效益。与此同时,数字和智能技术的应用将促进机械设计和制造该行业正在走向智能,效率和可持续发展。与此同时,整个行业对数字和智能人才的要求也越来越高。

#### 1 机电概述

##### 1.1 智能技术的概念分析

近年来,人工智能一直在增长。从人类的角度来看,最初是1956年,特别是用机器人来完成对人类的危险高难度的工作,随着技术的不断创新和提高,智能化这些想法逐渐发展并应用于各个行业。电气工程、智能化学该技术主要是根据人类思维对机电设备的控制和操作进行编程,计算机智能处理您的数据内容以实现自动控制生产加工。近年来,中国在智能技术方面取得了突破性进展。结合自动化税务系统,可以更有效地降低劳动力成本。其生产和加工的质量和效率得到保证,智能技术也是我国的

未来电气工程行业的发展趋势。

##### 1.2 机电自动化和机电智能化

机电自动化与机电一体化智能化是一种相互支持的关系,代表自动化和智能化机电工业的进步和发展、产品的生产和加工、自动化足够提高他们的生产效率,智能可以保证他们的生产质量,更好地促进他们的产业发展。可持续发展。机器自动化的智能生产技术也需要不断的创新和研究用于各种机电设备、产品性能、生产计划等。生产调试设备和相应的技术控制改进,以促进自动化智能化生产系统的控制得到改善。

##### 1.3 电气工程的特点

机电是我国工业发展的核心内容,机电的智能化发展促进了生产加工效率的提高,也可以足以保证生产质量,生产加工也能达到电力线运行。机电元件在生产中建立智能控制管理系统可以实时监控生产过程。效率和质量得到保证。智能操作减少了生产人员的工作量为生产人员提供更多安全保障。

#### 2 智能化技术在机电工程中的应用

##### 2.1 应用智能控制器

传统的机电控制器需要合理的控制只有通过对象的控制,才能进行机械和电气生产过程,而智能控制的产生是按顺序进行的。该领域取得了新的技术突破。智能控制可提高生产和加工效率产品控制的精度也可以智能控制

控制器的上升时间,它还可以自动调整和控制生产和加工的进度,实现智能控制。此外,智能控制还可用于控制电气设备,相关人员可根据要求进行调整实际加工和生产中的数据参数为例,以及控制系统对智能的调整化学监管与控制。

## 2.2 优化设计过程中的应用

电子设备生产自动化程序设计计算非常复杂,需要支持多种相关技术和设备。执行任务的难度很高,这对设计师来说是一个艰难的考验。此外,传统的设计方案过时了,方案的可行性很低,这将花费大量的建筑资金时间和精力,应用智能技术可以优化施工过程,有效降低施工成本花费的时间可以提高设计方案的可行性和实用性。在机电学中使用智能技术至关重要。

## 2.3 为机器实施智能故障检测

长期生产中的机械设备在加工和使用过程中经常发生老化、磨损,影响机械运行的稳定性。更有可能造成故障,妨碍正常运行,影响生产和加工产品的质量对公司经济利益的影响。传统的机械故障检测是手动的逐步的故障排除和维护需要大量的时间,人力和资源,故障的位置已经确定精度低,无法及时修复,无法有效修复机器功能问题是智能技术可高效检测和准确识别机器故障识别故障位置还可以提供高效的维护解决方案,并节省大量的故障排除时间这提高了维护的质量和效率。机械和电气工程应用中的智能技术发展趋势。

# 3 智能技术的应用特点

## 3.1 非人道操纵

传统机电控制技术相比之下,智能技术是不人道的。物业。智能技术使人们能够操作从机器到机器的转换不用人手,只需要技术人员。预设机器的切换时间提升速度、机器和设备等参数它们可以不可管理地操作。明智的设置数据和设置开关的技术更高的精度,机器的反应速度更快、更灵活。

## 3.2 高精度变电站

变电站属于电力系统里极为重要的一环,它在电压变换、电能分配以及调控等方面发挥着关键作用,其运行的精准程度以及稳定状况会实实在在地影响到电网的整体效能以及用电的安全性。就传统变电站的运行管理来讲,大多依靠人工按期开展巡检工作,同时借助仪表来实施监测,如此一来,效率往往不高,而且数据容易出现滞后的状况,误判的风险也客观存在。不过随着智能技术跟机电工程不断融合,在物联网、大数据分析以及远程监控系统等得到应用之后,变电站正一步步地从原先依靠“人为判断”的模式朝着“智能决策”的模式去转变。

智能变电站会布置多种类型的传感器来实时采集有关电压、电流、温度以及设备振动等方面的数据,并且依靠通信网络把这些数据上传到中央控制系统。该系统的内

部有算法模型,其能够对所采集的数据展开实时分析,以此来识别出异常的状态并且及时发出预警。就好比说,通过对变压器绕组温度加以连续不断的监测,就能够提前察觉到过热方面的隐患,防止因为绝缘出现老化情况而引发故障。除此之外,智能系统还能够支持远程程序化的操作,像是自动完成开关的切合操作、无功补偿的调节操作等等,如此一来,不但降低了人工直接操作时存在的风险,而且还使得响应的速度以及控制的精度都得到了较为显著的提升。

高精度变电站的建设属于一项系统工程,其构建不单单要依靠智能硬件,而且得借助统一的数据平台以及标准化的通信协议,以此来防止出现“信息孤岛”的情况。并且,鉴于电力系统所具有的复杂性与多变性特点,智能算法务必要拥有在线学习以及自适应调整的能力,唯有如此,才能够在实际运行过程当中不断实现优化,达成真正能够称得上是“智能运维”的状态。

## 3.3 开发智能技术

应用和开发智能技术机电工业的重要趋势也是中国工业部门技术创新的重要趋势智能技术的应用是行业硬件能力和性能的提高有利于提高机械和电气工程生产和加工的速度和精度。此外,智能技术性能也应该灵活发展,税收制度的范围应该更广泛,更灵活能够满足各种工业机电设备的使用和制造需求,从而促进中国工业部门的整体发展和进步。

## 3.4 开发智能技术功能

智能技术的发展主要是正是计算机软件的改进推动了机电学智能技术的改进,在界面设计方面,窗口和图形的功能范围更全面,更直观在地面上显示不同系统的控制指令有助于控制操作员对软件智能的理解知名度和灵活的应用既保证了工作效率也保证了质量。第二:计算机器的视觉智能技术得到了改进,从单个文本转换为图像,图像和其他形式。该表达式为操作员提供了更全面的智能操作。

## 3.5 在机械和电气工程领域开发智能技术架构

智能机械和电气工程能源技术架构的发展正在逐步走向集成,采用 CPU 芯片支持可以在一定程度上提高自动化控制软件的效率和质量。他的该系统还采用 LED 技术显示它,使其更容易控制智能技术系统。观察和监督。此外,智能互联网技术和电机包装技术可以提高生产线的效率,产品性能和质量更稳定技术智能控制架构的发展更加标准化,更有利于机电行业产业发展与管理。

# 4 数字化和智能化机械设计与制造的发展趋势

## 4.1 整合数字化和智能

数字化和智能技术是相辅相成的,适当的整合可以最大限度地提高效益机械制造公司需要加快数字和智能技术的整合集成和实现数字化制造和智能制造的完整过程管理将数字和智能技术集成到企业中可以提高业绩的好

处数字化和智能化水平。另一方面,企业必须加强提高技术知识和能力,以提高数字和智能技术的应用通过扩展数字和智能交叉融合的应用领域,从而逐渐达到最大效率。

#### 4.2 政府支持数字和智能技术

建立一个完整的系统鼓励企业通过遵守技术标准和法规来加强研发和创新吸引优秀的技术人才,以减少数字和智能技术的成功我是本同时,工业协会和研究机构可以加强研发和创新。满足行业需求的全新、不断进步的数字化和智能化转变产品,提升行业的数字化和智能技术水平。

#### 4.3 加快数字和智能技术的应用

加快企业实施数字化和智能化的关键在于促进技术的实际应用。最大限度地提高生产效率。因此,企业必须在根据个人需求和市场需求,合理选择数字化和智能化技术解决方案和加强技术的实际研究和应用推广,以在生产中实施和应用数字和智能技术。

#### 4.4 人力资源在智能化转型中的关键角色

在机电工程迈向智能化的进程里面,“人”这一因素依旧稳稳地处在核心的位置之上。智能化并非是要把人力给取代掉,相反,它是针对人员的技能结构以及工作重心给出了全新的定义。那些从事传统机电操作的人员,得要从那种重复性的劳动当中解放出来,进而转向诸如设备管理、系统维护还有异常处理这类有着更高价值的工作内容。

企业要清晰明确智能时代员工所扮演的角色:操作人员得拥有与机器协同工作的能力,要能理解智能系统的基础逻辑以及操作流程;维护人员应当掌握故障诊断以及大数据分析工具的运用方法,可以从系统发出的报警信息里迅速锁定问题所在;技术决策者需要具备数字化的思维方式,要把数据反馈融入到生产管理的整个流程当中,以此推动持续不断的优化进程。

企业需增加人力资源投入,制定涵盖智能设备操作、数据分析基础、人机交互界面使用等内容的系统培训计划,并引入跨领域复合型人才,比如了解机电控制的软件工程师、懂得人工智能算法的运维人员等,借助人才结构升级推动企业智能化发展。

### 5 机械设计与制造中数字化与智能应用的优化策略

为系统推动机电工程领域的数字化与智能化转型,需从数据、标准、安全、人才四方面制定科学策略:

(1) 构建起高质量的数据治理体系。数据作为数字化的基础,其质量会直接影响到智能系统的有效性,企业应当建立起完整的数据生命周期管理机制,要将采集、清洗、标注、存储以及分析这些环节都涵盖进去。尤其在设计阶段的时候,需要依靠 PDM/PLM 等产品数据管理系统,以此来达成设计参数、仿真结果还有试验数据的一致性以及可追溯性,从而给后续的智能生产给予可靠的输入。

(2) 推动技术标准化以及实现互联互通。当下机电

行业里的智能装备还有软件系统品牌众多,而且接口也各不相同,这种情况对数据的流动以及系统集成造成了极为严重的制约。企业需要主动去参与到制定内部数据以及通信协议标准的相关事宜当中,要积极采用像 OPCUA、MTConnect 这类国际通用接口,以此来推动各类设备与系统能够实现无缝对接。与此行业组织应当牵头着手建立起机械制造数据字典以及模型标准,进而促进产业链上下游之间达成信息共享,并且推动协同制造的开展。

(3) 强化网络以及数据安全方面的保障能力。随着系统相互连接的程度不断加深,网络安全已然变成了智能化推进进程其中的一个极为重要的前提条件。企业需要去构建起纵深防御的体系,针对那些关键的控制系统,要施行物理层面的隔离操作以及逻辑层面的防护举措,并且还要定期组织开展漏洞扫描以及渗透测试等相关工作。与这对于像核心工艺参数、设计图纸这类较为敏感的数据,应当实施加密存储的方式以及严格的访问控制手段,以此来保证企业在充分享受到数字化所带来的种种便利之时,能够有效地降低技术方面存在的风险。

(4) 建立分层化的人才培养与引进机制。企业需分别从顶层设计、技术实施和生产操作三个层次建立人才团队。重点加强对现有员工数字技能的提升培训,鼓励与高校、科研机构开展联合项目,共同培养具备机械工程与信息技术双背景的复合型人才。在政策允许条件下,可积极引进高端算法工程师、系统架构师等关键人才,为智能化转型提供核心智力支持。

### 6 机电工程智能化技术未来发展方向

随着人工智能、数字孪生以及 5G 等新一代技术逐渐走向成熟,机电工程的智能化进程将会朝着更为纵深的程度以及更加宽泛的范畴不断迈进。其一是基于数字孪生理念所开展的全生命周期管理相关工作。具体而言,凭借构建起高度逼真的虚拟模型这一举措,可实时将物理设备的实际运行状态予以映射呈现出来,进而达成对故障进行预测、对能效加以优化以及实现自我决策等目的,由此能够颇为有效地提升设备自身的可靠性程度以及生产环节的效率水平。人机协作正朝着柔性化以及自适应的方向不断发展,在下一代工业机器人身上,其将会拥有视觉识别还有力觉感知的能力,进而可与人一道去完成像精密装配、个性化定制这类复杂的任务,并且由此构成所谓的“自适应生产单元”。绿色智能制造会变成智能技术极为重要的使命所在。凭借智能调度以及优化算法的应用,达成对能源还有资源进行细致化管理的目标。如此一来,在促使产能得以提升的过程中,能够最大程度地将碳排放降下来,进而推动机电工程朝着可持续发展的方向不断迈进。

### 7 结论

智能技术已然变成推动机电工程领域提升质量并提高效率、达成产业升级的关键核心驱动力。它在变电站

监控方面、设备故障预测方面以及生产流程优化等方面所开展的应用,使得系统的可靠性、精度以及自动化水平都得到了颇为显著的提升。不过,要完全实现智能化转型,依旧面临着系统集成方面的难题、数据治理方面的困难、安全防护方面的阻碍以及人才短缺等诸多挑战。

在未来的发展进程中,企业应当运用系统化的思维模式,把技术的应用情况、管理方面的创新举措以及人力资源的建设事宜有机地结合起来。在推动设备朝着智能化方向发展、促使生产具备柔性化特点之时,企业务必要对数据标准化以及网络安全给予极高的重视程度,并且构建起契合企业自身实际情况的智能推进途径。唯有借助多方展开协同合作以及持续不断地开展创新活动,机电工程才能够切实有效地发挥出智能技术所蕴含的巨大潜力,进而达成高质量、绿色化并且具有可持续性的良好发展态势。

#### [参考文献]

- [1]肖远见.机电一体化系统在机械工程中的应用[J].科技创新与应用,2017(5):139-140.
  - [2]冯挺.现代工程机械中机电一体化技术的应用情况探究[J].科技创新与应用,2017(4):150.
  - [3]孙占涛,杜立红,关爱如等.机械设计制造的数字化与智能化发展思考[J].现代工业经济和信息化,2023,13(2):41-43.
  - [4]林园园.机电工程技术应用及其自动化问题研究[J].计算机产品与流通,2018(4):267.
- 作者简介:牛昭坡(1997.9—),男,民族汉,河北省沙河市人(籍贯),(职务)电气工程师,最高学历,专科,现主要从事的工作:电气程序设计和电路图绘制、产品选型,方向:电气自动化。

## 数字化技术在冲压模设计与制造中的应用

陈杏妹

广州城建职业学院, 广东 广州 510900

**[摘要]**随着我国社会经济的飞速发展,数字化技术应用在国内各个行业中,制造业也随着数字化技术的普及迎来了良好的发展机遇,在新时期的发展背景下,数字化技术在冲压模具设计与制造中的作用越来越大,使得制造业的中模具的加工效率与设计精度都得到了提升,模具的损坏概率大大地降低,并提高了冲压模具的生产效率。文中对数字化技术在冲压模具设计与制造中存在的优势与具体技术应用做出分析,以期能为相关人员提供参考。

**[关键词]**数字化技术; 冲压模具; 设计与制造

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17496

中图分类号: TG385.2

文献标识码: A

### The Application of Digital Technology in Stamping Die Design and Manufacturing

CHEN Xingmei

Guangzhou City Construction College, Guangzhou, Guangdong, 510900, China

**Abstract:** With the rapid development of Chinese social economy, digital technology has been applied in various industries in the country, and the manufacturing industry has also ushered in good development opportunities with the popularization of digital technology. In the new era of development, digital technology plays an increasingly important role in the design and manufacturing of stamping molds, which has improved the processing efficiency and design accuracy of molds in the manufacturing industry, greatly reduced the probability of mold damage, and improved the production efficiency of stamping molds. The article analyzes the advantages and specific technical applications of digital technology in stamping die design and manufacturing, in order to provide reference for relevant personnel.

**Keywords:** digital technology; stamping molds; design and manufacturing

冲压模具是模具行业的重要组成部分,应用于生活中的各行各业如汽车及摩托车的生产制造等。因此冲压模具的设计与制造是世界各国都较为重视的技术核心领域,其技术与制造的发展是能够衡量一个国家发展制造水平的标准,是工业发展与国家经济发展的基础,并且能够促进领域中各个行业的整体发展。近几年来,在我国经济与科技发展的带动下,数字化技术在制造业中得到了广泛的应用,给制造业的发展带来了前所未有的提升,使冲压模具制造变得自动化、智能化,并且随着数字化技术的不断发展,冲压模具的设计与制造业也不断地提升,从而使得国内各个行业的发展与经济得到提高,形成了良性的发展循环。

#### 1 数字化技术在冲压模具设计与制造中的优势

##### (1) 提高模具的加工效率

使用数字化技术进行冲压模具的设计与制造,能够提高模具的加工效率,彻底地改变传统的模具加工方式。过去我国的模具加工与制造方法较为单一,在加工的过程中受到种种局限,使得模具加工的效率较低,且产生废品的几率过高,这种生产模式与成品加工速度,与我国制造业发展的需求相差甚远。

随着数字化技术的发展与应用,模具制造的加工方式,转变为使用数控机床进行三维空间式的模具结构加工,这

种加工方式能够大幅度地提升模具加工的效率与精度,实现模具最终成品与设计的高度一致。三维空间的加工方式,可以对磨具进行高度精确的分化,保证模具的各个部分的加工过程都能够得到精细化的控制,大量地减少了加工过程中的错误出现,并且使用数字化技术选择切割的刀具时,能够根据模具的具体部位进行精确的选择,最大化地满足模具加工需求,避免产生不必要的花费,且能够提高模具加工的效率。

##### (2) 提升模具设计精度

在进行冲压模具的设计工作时,需要技术人员对冲压件的冲裁力做详细的计算,技术人员的计算方式是根据自身的工作经验进行的,一旦技术人员计算出现误差,就会使整个模具的制造质量出现问题,给企业带来经济上的损失。

在数字化技术应用之后,使用计算机作为模具设计的辅助设备,能够有效地解决这一问题,随着仿真模拟技术手段的发展,利用参数化的设计方式,对冲压模具进行参数化的控制,使冲压模具的设计变得简单、快捷,且通过科学、合理的设计,使得模具的设计精度较高,降低了模具设计成本的同时也能够提高模具制造的质量,减少企业的损失,提升经济效益。

##### (3) 降低模具装配损坏的可能

冲压模具的装配方法主要有四种,分别为互换装配法、

分组装配法、修配装配法及调整装配法,在进行模具装配时需要结合制造时的情形,灵活地选择合适的装配方法,保证模具能够合理的装配,减少模具损坏的可能。

互换装配法是在不需要更换零件,将模板进行交换之后,模具制造的质量仍然能够达到设计标准,并且可以通过对零件细节的控制保证模具质量;分组装配法是先将零件制造的环公差进行扩大,在加工的时候要按照经济精度进行,之后将零件重新进行组装,且要保证每组零件的精度与配合性质都能够满足设计需求;修配装配法是指在装配的过程中,将一些指定的零件预留或者修去,然后在按照相应的标准进行装配,达到装配需求的精度;调整装配法是在装配的过程中将零件的相对位置进行调整、改进,使其能够达到模具制造精度的标准。将这四种装配方式,进行合理的选择使用,能够有效地提高模具制造的质量,节约企业在冲压模具制造上的成本,提高企业的经济效益,增加企业的市场竞争力。

## 2 应用在冲压模具设计与制造中的关键数字化技术

### (1) 冲压成型 CAE 技术

CAE 技术是现代计算机中的一种辅助工程技术,主要的作用是能够将各种有效的细节进行连接,再将数据信息进行汇总。冲压成型的 CAE 技术是将计算机的数字化技术,与冲压模具成型的规律进行结合,实现模具制造的自动化,并控制模具制造的精度,提高模具的质量,这是当前冲压模具设计与制造过程中,较为常见的数字化制造技术。

目前,我国使用的 CAE 冲压成型技术的软件系统,能够对模具的冲压成型的过程,进行仿真的材料变化模拟,技术人员通过对仿真模拟的结果进行观察,找到成型模具存在的问题,分析出冲压成型过程中不合理的部分,然后对冲压模具的参数进行适当的调整,提高模具设计的精度,为后续的模具制造工作提供保障。

### (2) 快速设计技术

在过去我国的冲压模具实际与制造使用的都是 CAD 技术,这种技术在进行绘图设计与造型层次安排时,更加依赖于设计人员的自身经验,导致在模具设计的过程中设计人员无法及时地发现模具的质量缺陷,只有模具设计完成,进行样品制造之后才能发现设计存在的缺陷,不仅仅增加了模具设计的时间,对模具制造的质量以及企业的利益都会产生一定的影响。

使用数字化的 UG 软件,能够对产品的设计及制造过程提供数字化的造型和验证手段,有效地解决由于设计缺陷带来的一系列问题。设计人员在进行模具设计时,可以将不同规格的模具分类,再使用该软件进行设计,与此同时还能对模具中的不同零件的参数进行处理,并生成对应的模板,将模板储存到软件的结构库中还能随时对其调用,提高冲压模板的设计效率与精度。另外,该软件还能够根据不同的模板需求,将结构库中的模板进行组装,实现模

具的快速设计。

### (3) 高速加工技术

高速加工技术也是数字化技术的一种,传统的数控加工方式单一且效率低下,已经不能够满足国内制造业的模具需求量,由此出现了高速加工技术。高速加工技术能够对模具的结构面进行加工,且在加工的过程中能够有效控制模具的参数化,并缩短模具制造的时间。高速加工技术在对模具的细节部分加工时,还能够使用小刀具进行,减少了刀具的损耗,节约了企业的制造成本,另外,高速加工技术能够对淬火钢进行直接的加工,减少了很多繁琐的加工环节,从而提高了模具的制造效率。

### (4) 数字化装配技术

数字化的装配技术,是现在自动装配中的一种关键技术,能够在线对磨具中的上下模座导向及导柱进行精度的测量、比对,并对其进行记录,如果出现误差,数字化技术能够对其进行及时的调整,确保模具的装配符合要求,制造的成品满足产品的需求标准。

### (5) 逆向工程与 3D 打印技术

在冲压模的设计过程中,逆向工程发挥着非常重要作用。面对复杂曲面或实物样件时,通过三维扫描仪快速、精准地获取点云数据,并重构出高精度的数字化模型。这样可以有效避免手动测绘的误差。如在汽车尾翼产品开发过程中,通过逆向工程技术,可快速精准呈现该产品的 CAD 三维结构模型,再应用 CAE 仿真技术对产品结构进行成形优化,减低后续产品的成形可能存在的缺陷风险,为冲压模具的结构设计提供可靠的工艺结构支撑。同时在对旧模具进行复制、改型或修复时,通过该技术可以快速地获取原始数据,缩短设计周期。在冲压模具的制造过程中,3D 打印技术尤其是金属增材制造技术的应用实现了制造工艺的革新。通过 3D 打印技术直接生产制造冲压模具中难以采用传统方法进行加工的零部件。减低模具的生产制造难度,大幅缩短模具生产周期。此外,对于试制阶段或小批量生产的零件,可直接打印整体模具镶块或关键零部件,避免繁冗的数控编程与电火花加工,加速产品的上市。

## 3 数字化技术在冲压模具设计与制造中的具体应用

### (1) 构建数字化管理体系

冲压模具设计与制造的各个环节中,都能够应用到数字化技术,在数字化技术的使用过程中,也能够促进数字化管理体系建设的完善度。构建完善的数字化管理体系,在冲压模具的设计与制造过程中能够起到优化的作用,将冲压模具设计中的各种数据与知识进行管理和共享,同时还可以建立企业内部专属的冲压模具设计与核心的模具制造技术,提升企业在市场上的竞争优势,提高企业的经济效益,促进企业的健康持续发展。

### (2) 冲压模具设计与制造的项目管理

在过去的冲压模具设计与制造的项目管理中,都是在

接到订单以后,根据具体的订单要求进行模具的设计,然后制造样品,再进行模具调试,合格之后才能进入生产环节,这些诸多且繁杂的环节,需要工作人员对数据采集之后进行管理控制,但是很多项目中包含的模具种类高达几十甚至几百个,并且全部都要进行设计、制造与调试,使得模具制造的项目管理工作进度缓慢,工序繁杂,且生产质量也无法得到保证。

使用数字化技术的制造执行系统,能够建立冲压模具的管理平台,对其进行统一的管理,并且能够同时对其它的技术环节进行监控,在该系统平台上完成订单管理、生产设计、投入量产与物资跟踪等一系列的项目管理工作,在保证冲压模具生产效率的同时也提高了企业的项目管理水平。

### (3) 冲压模具设计与制造的数据管理

通过数字化技术的计算机辅助工艺设计软件,能够对冲压模具设计与制造的所有产品数据进行管理,使用数字化的软件系统,还可以对企业中制造的,不同的冲压模具,构建相对应的物料清单结构数据库,并且将这些数据与结构信息都进行统一的保存,保证冲压模具中的数据与结构都能够保持关联,实现数据保存的网络同步化,从而确保模具数据的安全性 with 统一性,进一步提升模具设计与制造的工作效率。

### (4) 冲压模具设计与制造的经验管理

数字化技术的应用,能够在模具设计与制造的过程中,总结制造经验,对模具的设计方案进行统一的搜集,将制造工艺与冲压模具的参数数据进行保存,将这些数据资料实行统一的管理模式,从而形成企业内部独有的资料,通过这些经验与知识,增加企业模具设计的特色,提高企业模具制造的质量与效率。

通过数字化技术还能够对企业自身的生产过程、管理经验与文化理念进行总结、提炼,并加强与其他企业之间,制造技术的交流与管理模式的沟通,分享成功与失败的经验,使冲压模具设计与制造技术能够大范围的提升,实现企业之间的共同进步,更好地为消费者提供服务,并为国内的制造水平提升作出贡献。

## 4 结语

综上所述,随着科学技术的发展,冲压模具的设计与制造,将数字化技术进行了广泛的应用,使用计算机辅助系统,对冲压模具设计与制造的效率、精度、质量,都得到了很大的提高。现今,数字化技术已经成为了模具制造行业中不可缺少的主要技术,为模具的设计与制造做出了巨大的贡献,并且也促进了企业中各项管理体系的构建,使得模具的设计与制造能够顺利地展开,并提升了企业在市场经济中的核心竞争力。

基金项目:2023 年度粤高职自动化教指委自动化类专业教育教学改革项目(粤高职自动化教指[2023]4 号);2023 年度广州城建职业学院校级科研项目

(2023XKZY13)。

### [参考文献]

- [1]吕建中.数字化技术在冲压模具设计与制造中的应用分析[J].科学技术创新,2020(7):161-162.
  - [2]潘露.数字化技术在冲压模具设计与制造中的应用研究[J].现代制造技术与装备,2019(8):108-109.
  - [3]李国兵,杨红娟.数字化技术在冲压模具设计与制造中的应用与探究[J].现代制造技术与装备,2018(11):46-47.
  - [4]赵烈伟.数字化技术在冲压模具制造中的应用[J].时代汽车,2018(9):112-116.
  - [5]魏健民.浅谈数字化技术在冲压模具设计与制造中的应用[J].科学技术创新,2018(19):152-153.
  - [6]王昌福.浅谈数字化技术在冲压模具设计与制造中的应用[J].南方农机,2018,49(9):207-208.
  - [7]许铁涛,郭迎春,宗珂,等.数字化技术在冲压模具设计与制造中的应用[J].现代制造技术与装备,2018(2):57-58.
  - [8]黄湘兰.数字化技术在冲压模具设计与制造的应用[J].锻造与冲压,2024(8):44-46.
  - [9]田浩亮.数字化技术在冲压模具设计与制造中的应用[J].集成电路应用,2024,41(1):166-167.
  - [10]王臻.数字化技术在冲压模具设计与制造中的应用[J].现代工业经济和信息化,2022(2):12.
  - [11]黄佳锐.数字化技术在冲压模具设计与制造中的应用[J].内燃机与配件,2021(13):182-183.
  - [12]姚鸿俊.数字化技术在冲压模具设计与制造中的应用[J].现代制造技术与装备,2021(6):57.
  - [13]许荣.数字化技术在冲压模具设计与制造中的应用[J].现代制造技术与装备,2021(4):57.
  - [14]王跃.数字化技术在冲压模具设计与制造中的应用研究[J].现代工业经济和信息化,2021(2):11.
  - [15]黄红端.数字化技术在冲压模具设计与制造中的应用[J].大众标准化,2021(2):151-152.
  - [16]韩方恒.数字化技术在冲压模具设计与制造中的应用分析[J].江西电力职业技术学院学报,2020,33(12):18-19.
  - [17]梁远君.数字化技术在冲压模具设计与制造中的应用研究[J].机电信息,2020(35):89-90.
  - [18]周立华.数字化技术在冲压模具设计与制造中的应用分析[J].湖北农机化,2020(9):86-87.
  - [19]吕建中.数字化技术在冲压模具设计与制造中的应用分析[J].科学技术创新,2020(7):161-162.
  - [20]潘露.数字化技术在冲压模具设计与制造中的应用研究[J].现代制造技术与装备,2019(8):108-109.
- 作者简介:陈杏妹(1980.2—),女,汉族,广东广州人,讲师,广州城建职业学院,研究方向:机械设计与制造及其自动化。

## 小实验用小型辊压机整体结构与装配研究

宋维轩

邢台纳科诺尔精轧科技股份有限公司, 河北 邢台 054001

[摘要]随着实验教学以及材料加工小试平台对于实验设备的轻量化、精准化需求持续提升,小型辊压机在实验应用场景里凸显出重要的价值。文章针对小实验用小型辊压机的整体结构设计以及装配工艺展开了一系列的探究,依据对辊压成形原理所作的剖析,明晰其在小规模材料压制方面所存在的技术需求,由此提出具备针对性的结构设计方案。对像辊筒、传动系统、机架这类关键零部件展开合理的设计与选型,结合装配工艺流程的优化设计,构建出一套具有良好工作稳定性与装配可行性的实验型辊压机结构体系。

[关键词]小型辊压机;结构设计;关键部件;装配工艺

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17493

中图分类号: TQ17

文献标识码: A

### Research on the Overall Structure Design and Assembly of a Small Roller Press for Small Experiments

SONG Weixuan

Xingtai Naknor Technology Co., Ltd., Xingtai, Hebei, 054001, China

**Abstract:** With the continuous increase in the demand for lightweight and precise experimental equipment in experimental teaching and material processing small trial platforms, small roller presses have highlighted their important value in experimental application scenarios. The article systematically explores the overall structural design and assembly process of a small roller press used in small experiments. Based on the analysis of the principle of roller forming, the technical requirements for small-scale material pressing are clarified, and a targeted structural design scheme is proposed. Reasonably design and select key components such as rollers, transmission systems, and frames, and optimize the assembly process to construct an experimental roller press structure system with good working stability and assembly feasibility.

**Keywords:** small roller press; structural design; key components; assembly process

#### 引言

小型辊压机是材料整形与实验教学领域常用设备,其结构设计合理与否直接影响使用性能和实验效果。传统工业级辊压设备因体积大、能耗高、控制精度低,难以满足精细实验需求。开发适用于实验场景的小型辊压机很有价值。本文从结构设计、关键零件优化、装配工艺、性能测试四方面探讨小型实验辊压机制作过程,提升其实验适用性和制造经济性,为实验教学设备开发提供依据。

#### 1 小型辊压机工作原理与总体设计

##### 1.1 辊压机工作原理分析

辊压机主要是依靠一对朝着相反方向旋转的辊筒来对物料施加挤压操作,进而达成对材料形状或者密度加以改性的目的。辊筒相互之间所存在的间隙调节情况,会对物料受到的压力程度以及最终形成的压制厚度起到把控的作用。在实验的具体场景当中,所需要处理的材料大多属于低强度样品,所以与之相对应的辊筒直径、线速度还有接触压力等各项参数就应当是比较温和的那种状态,只有这样才能避免出现材料或者设备遭到损坏的状况。电机借助传动系统来驱动那两个辊筒按照一定的速度朝着相反的方向进行旋转,在此期间,物料会凭借重力或者是人工送料的方式进入到辊筒之间并受到压力从而完成成

形的过程。在这个过程中,由于材料会受到垂直方向的压应力以及相应程度的剪应力的作用,所以能够形成一种密度比较高的且形状可以被人为控制的压制效果。小型辊压机务必要具备结构较为紧凑、调节起来比较方便、传动过程比较平稳等一系列特点,唯有如此才能够契合多变的实验需求。

##### 1.2 小型实验用辊压机的功能需求

小型辊压机,其要满足像占地面积不能大、操作起来要简单、控制精度得高以及安全性能要强这些基本的要求。它有能对小批量的试样实施连续或者间歇式的压制、可调节辊距来适配不同厚度与硬度的材料、有可视化控制与力学反馈的功能、拆装起来方便,以便于不同实验模块能够快速更换等功能。并且,为了确保设备的使用寿命以及实验的稳定性,在设计的时候需要考虑到辊筒材料的耐磨性、传动机构的可靠性还有整体的刚性与抗震性等方面。控制系统还得同时兼顾自动与手动调节的功能,以满足多样化的实验操作场景。

##### 1.3 整体结构设计方案比选

为了契合实验方面的需求,在初步构思的阶段,提出了三种整体结构方面的设计方案。其一是直立式的对称布置结构,其二是卧式的分体式结构,其三是采用一体化模

块组合式的结构。针对这三种方案,从空间利用率、装配复杂程度、结构稳定性以及成本等诸多维度展开对比分析之后,最终确定将直立式的对称布置结构作为本设计的主体方案。该结构把辊筒、机架以及传动系统都垂直地布置起来,如此一来,结构显得较为紧凑,受力情况也较为合理,而且便于进行相关操作,同时还能够有效地对装配误差加以控制。电机处在底部的位置,借助减速机构来将动力传递到辊轴上,调节机构则位于上部,能够通过手轮或者电动推杆来控制辊距,整体而言,这样的结构布局对于提高系统的稳定性以及实验操作的安全性都是很有利的。

## 2 小实验用小型辊压机关键零部件结构设计

### 2.1 辊筒结构设计与计算

辊筒属于辊压机极为关键的部件,它的结构以及所用材料会直接影响到压制性能以及使用寿命。在设计环节,选用高碳铬轴承钢 GCr15 当作辊筒的材料,这种材料有着较高的硬度,同时还有着十分出色的耐磨性能。针对辊筒表面,通过热处理淬火的方式使其硬度达到 HRC58 及以上,以此来确保它在持续不断的压制操作当中能够维持形状的稳定状态。就尺寸设计而言,依照最大试样的宽度以及压制力来对辊筒的直径和长度展开相应的计算,最终确定辊筒的直径为 80mm,有效长度则为 120mm。借助对辊筒所承受的正向压应力以及剪切应力展开分析,运用筒支梁模型来开展强度方面的校核工作,并且还引入了安全系数 1.5,从而保证在极限载荷的情况之下也不会出现塑性变形或者疲劳破坏等状况。

### 2.2 传动系统设计与选型

传动系统得把电动力给减速、增矩,并且要同步输出,得保证辊筒能对称反向旋转起来。本设计用的是电动机、蜗轮蜗杆减速器以及同步齿轮组合成的三级传动方案。挑选了 0.75kW 的单相交流电机当作动力来源,借助蜗轮蜗杆减速器来完成初步的降速还有转向操作,之后依靠齿轮对把动力传递到两个辊筒轴上,达成反向等速旋转的效果。鉴于设备运行期间转速稳定性和传动效率方面的情况,把蜗轮减速器的传动比设定为 15:1,齿轮的模数以及齿数是依据辊筒轴径来选定搭配的。整个系统采取封闭式的结构,起到防尘防油的作用,并且在联轴器还有轴承座的位置设计了缓冲以及限位装置,以此来降低震动以及传动误差。

### 2.3 机架结构设计与受力分析

机架属于设备的支撑以及安装方面的基础,其结构所具备的刚度还有稳定性对于整机性能而言有着保障的作用。在本设计当中,机架选用的是矩形钢管焊接而成的结构,再结合加强筋以及底板一起,从而构建出一个较为稳定的承载框架。依照在辊压过程里所产生的集中载荷以及扭矩情况,去着手建立有限元模型,进而针对机架整体展开静力分析。经过分析得出的结果显示,在处于最大工作载荷的状态之下,结构发生的变形程度是小于 0.2mm 的,

这样的情况是能够满足精度方面的要求的。在设计的过程中,对于振动传导的具体路径以及装配连接的方式都给予了充分的考量。通过将橡胶减震垫和螺栓连接相互组合起来的方式,以此来提升整体所具有的抗震性能,同时也能提高模块化装配的工作效率。

### 2.4 导向与调节机构设计

为了保证在辊筒压制过程中能够维持平行度以及达成同步性,设计环节特别引入了双导向柱的结构形式,同时也加入了丝杠调节装置。具体来讲,将导向柱安置在辊筒的两侧位置,并且借助线性轴承和支架相互连接起来,如此一来便能够实现高精度的线性运动效果。对于调节机构而言,可以选用梯形丝杠和手轮组合成的形式,当然也可以根据实际情况选配电动升降推杆,以此来实现电控调节的目的,其调节精度能够达到 0.1mm 这样的程度。在设计时还特意设置了刻度尺以及限位器,从而能够确保操作过程既直观又安全可靠。调节的部分还设有锁紧机构,目的是防止因振动而引发的位移变化情况出现,进而提升压制的一致性水平。

### 2.5 润滑与安全保护结构设计

润滑系统运用的是集中式的油杯润滑方式,油杯是分别安置在轴承座以及齿轮箱的顶部的,如此一来便于定期给相关部位加注润滑油,进而能够有效地减少出现摩擦以及磨损的情况。为了进一步提升操作时的安全性,特意设计出了多级的安全防护结构,这里面包含了透明防护罩、急停按钮、限位开关等诸多方面。具体来讲,防护罩是采用聚碳酸酯这种材料来制作的,如此便能够在不妨碍人们进行观察的前提之下,切实有效地防止飞屑伤到人;急停按钮被设置在主控面板上那十分醒目的位置,倘若一旦发生任何异常情况,就能够迅速地将电源切断掉,以此来保障人员以及设备都能够处于安全的状态之中。

## 3 装配设计与工艺流程

### 3.1 装配总体方案与原则

小型辊压机在进行装配设计的时候,需要依照模块化、标准化以及可维护性的相关原则来开展工作,如此一来便能够促使装配效率得以提升,进而让整机的可靠性也获得增强。其整个装配流程是以机架当作基础,然后按照一定的顺序依次对动力源、传动系统、辊筒组件以及调节装置加以安装,并且要借助工装夹具给予辅助,以此来保证各个部件位置能够实现精准的对位处理。要是想让装配具备更高的一致性以及更强的可控性,在装配方案当中就需要引入关键尺寸控制点以及装配间隙公差方面的设定,从而确保在结构装配完成之后,其平行度、同轴度还有辊距精度都能够符合设计所提出的要求。与此在装配的过程之中,务必要留心对传动件的初始间隙做出调整操作,同时也得把控制好轴承的预紧力,通过这样的方式来避免在后续运行的过程中出现异常磨损或者发生位移等情况。

### 3.2 装配流程与步骤设计

装配流程包括基础结构组装、传动系统安装、辊筒组件配合、调节机构连接以及整体调试等五个步骤。把已经焊接完成并且经过检验确认合格的机架稳固地固定在装配平台上,同时安装好减震垫并做好水平方面的调整工作。接着安装电机以及减速器,然后借助联轴器来连接传动轴,以此完成传动路径的搭建。第三步是安装两组辊筒组件,在此过程中要保证轴承座与支撑座的装配尺寸以及对称性都符合要求。第四步安装导向柱、丝杠还有调节手轮,并且针对升降运动展开相应的调试操作。最后开展整体紧固方面的检查工作以及手动空载试运转,等到确认没有出现干涉情况以及异响之后,再接入电源实施初步的通电测试。

### 3.3 装配工艺规程与工装夹具设计

为了保障装配流程的准确性和高效性,特意设计了专门针对辊筒以及导向系统的装配定位夹具和调整工装,在工艺规程里,针对每一个关键工序都制定了相应的操作标准,清晰地明确了操作顺序、扭矩控制的具体范围还有需要开展的检测项目。各个部位在连接的时候采用的是标准紧固件,并且借助扭矩扳手来施加预紧力,以此来避免因人为方面出现的误差而致使连接出现松动或者材料遭到破坏的情况发生。就传动链条与齿轮啮合间隙的调整而言,还设置了将检验规矩和游标量具搭配起来使用的方法,从而提升装配精度所具有的一致性以及重复性。

## 4 结构强度分析与性能测试

### 4.1 有限元分析与建模方法

为保障小实验用小型辊压机于工作之时的安全性以及稳定性,运用有限元分析(FEA)技术针对机架与关键零部件展开结构强度以及刚度方面的仿真分析。起初借助三维建模软件搭建起整体结构模型,着重对辊筒、机架还有传动系统予以细化处理操作。运用实体单元来开展网格划分工作,务必要让关键受力部位的网格密度足够高,从而能够捕捉到应力集中所产生的效应。将边界条件设置成可模拟实际工作期间机架固定支撑的状态,并且施加最大预估的工作载荷,以此来呈现实际的压力环境状况<sup>[1]</sup>。凭借线性静力分析来计算变形情况以及应力分布状况,尤其要留意最大应力有没有超出材料的屈服强度,同时变形是否符合结构刚度方面的要求。有限元分析的结果显示,所设计的结构能够达到安全使用的标准,可以有效地承受工作载荷,进而保障设备运行时的稳定性以及使用寿命。

### 4.2 关键部件强度校核

依据有限元分析所得到的结果,针对辊筒、机架还有传动轴等这些关键部件展开了细致的强度校核工作。辊筒属于主要用来承载压缩力的部件,在此部件上,其最大的应力集中情况出现于辊筒和轴相互连接的那个地方。不过经过相关计算可以发现,该处的最大应力是远远低于材料

的屈服极限的,而且其安全系数也能够符合设计方面的要求<sup>[2]</sup>。就机架而言,借助有限元模拟得出的数据来看,其最大位移是小于0.2mm的,如此便切实保障了整体结构的稳固性以及加工时的精度。在传动轴这一部分,重点针对扭转应力以及弯曲应力进行了校核。选取了高强度合金钢作为材料,并且还配合着合理的截面尺寸,如此一来便有效地防止了可能出现的疲劳损伤以及过载破坏等情况,进而确保了传动系统能够在长时间内保持可靠的运行状态。

### 4.3 整机调试与性能测试

完成结构装配之后,便着手开展了整机调试以及性能测试相关工作。调试所涉及的内容涵盖了对辊筒间隙调节灵活性的测试、针对传动系统平稳性的检测以及对安全防护装置有效性展开的验证<sup>[3]</sup>。在性能测试环节,运用标准试样来实施压制试验,期间需详细记录下辊筒的转速情况、压力反馈状况以及压制后的厚度数据,以此来确认设备可以达成预期的压制效果,并且具备重复性精度。在整个测试进程当中,设备的运行状态较为平稳,没有出现异常的振动或者噪声现象,辊距调节也十分精准,完全符合预先设定的设计指标。最终的测试结果清晰地说明,此次装配设计是合理的,结构强度也是足够的,该装置完全能够满足实验室开展小批量材料成形工作的需求。

## 5 结语

文章针对小实验用小型辊压机的整体结构设计以及装配展开了较为系统的探究。通过对工作原理加以分析并明确功能需求之后,制定出了一套较为合理的整体结构设计方案,并且着重完成了关键零部件的相关设计以及计算工作。依照模块化装配的理念,设计出了科学的装配工艺流程以及工装夹具,使得装配精度以及效率都得到了提升。运用有限元的方法对结构强度以及刚度进行了验证,同时结合整机的调试情况以及性能测试结果,证实了设计方案具备科学性与可行性。此次研究取得的成果,一方面给小型辊压机的实验应用给予了可靠的技术支撑,另一方面也为后续小型化、模块化辊压设备的研发打下了较为坚实的基础。未来的工作将会把重心放在智能控制系统的集成以及结构轻量化优化方面,以此来进一步提高设备的性能以及应用范围。

### [参考文献]

- [1]黄金成,石海川,孙登建.辊压机辊轴断裂行为仿真分析与结构优化[J].水泥工程,2025,38(2):53-55.
- [2]龙珍珠,李现国.辊压机用密封方案的优化选型分析[J].水泥,2024(1):87-89.
- [3]左洪川,吴玉辉.辊压机扭矩支撑板结构与优化[J].水泥工程,2022(6):10-12.

作者简介:宋维轩(1996—),男,籍贯:河北省邢台市信都区,职务:机械工程师,(助理工程师)2019年6月毕业于河北农业大学现代科技学院最高学历,本科,工作:机械工程师。

# 几内亚博凯大区红土型铝土矿成矿理论与找矿方法研究

李桂敏

中国水利水电第十一工程局有限公司几内亚分公司, 河南 郑州 450001

**[摘要]**几内亚博凯大区位于西非热带湿润气候带,是全球红土型铝土矿分布最为集中的地区之一。文中依托中国水利水电几内亚铝土矿在建项目,选取博凯大区博法省某矿区作为研究对象,基于742份样品(连续185d)及其X射线荧光(XRF)测试结果,结合野外地质观察、地貌-水文解译与植被指示等信息,系统分析了红土型铝土矿的成矿条件、作用机制与成矿模式,提出适用于研究区的找矿判据与勘探技术路线。研究表明:在热带强风化—强淋滤作用下,硅优先迁移、铝铁残留富集,矿体多赋存于低矮、开阔而平缓的山顶与台地残积壳中;陡坡和河谷两侧受侵蚀与搬运作用强,难以保存厚层富铝风化壳,品位 $>43\%$   $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的矿石显著稀少。植被方面,酸性土壤上的灌木丛与腰果树分布与富铝残积壳具有一定空间耦合,可作为半定量线索,但不可替代地质—物化探验证。综合提出“遥感与DEM优选-地表地球化学与pH快速筛查-浅探槽/浅钻验证-资源量估算”的四步找矿技术路线。该研究为研究区乃至西非类似地区的红土型铝土矿找矿预测与资源评价提供实践参考。

**[关键词]**红土型铝土矿;成矿模式;地貌控制;植被指示;XRF;几内亚博凯

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17511

中图分类号: TD4

文献标识码: A

## Research on the Mineralization Theory and Exploration Methods of Red Soil Bauxite in the Bouquet Region of Guinea

LI Guimin

Guinea Branch of Sinohydro Bureau 11 Co., Ltd., Zhengzhou, He'nan, 450001, China

**Abstract:** The Bouquet region of Guinea is located in the tropical humid climate zone of West Africa and is one of the regions with the most concentrated distribution of red clay bauxite in the world. Based on the ongoing project of China Water Resources and Hydropower Guinea Bauxite, this article selects a mining area in Bofa Province, Bouquet Region as the research object. Based on 742 samples (185 consecutive days) and their X-ray fluorescence (XRF) test results, combined with field geological observation, geomorphological hydrological interpretation, and vegetation indication information, the mineralization conditions, mechanism, and mode of red soil type bauxite are systematically analyzed, and prospecting criteria and exploration technology routes applicable to the research area are proposed. Research has shown that under strong tropical weathering and strong leaching, silicon preferentially migrates and aluminum and iron residues accumulate. Ore bodies are mostly found in low, open, and flat mountain tops and platform residual crusts; The steep slopes and valleys on both sides are strongly eroded and transported, making it difficult to preserve thick layers of aluminum rich weathered crust. Ore with a grade  $>43\%$   $\text{Al}_2\text{O}_3$  is significantly rare. In terms of vegetation, the distribution of shrubs and fruit trees on acidic soil is spatially coupled with aluminum rich residual shells, which can serve as semi quantitative clues but cannot replace geological physical and chemical exploration verification. A four step mineral exploration technology route is proposed, which includes remote sensing and DEM optimization, rapid screening of surface geochemistry and pH, preliminary exploration of trenches/shallow drilling verification, and resource estimation. This study provides practical reference for prospecting, prediction, and resource evaluation of red clay bauxite deposits in the research area and similar regions in West Africa.

**Keywords:** red clay bauxite; ore-forming model; geomorphic control; vegetation indication; XRF; Bouquet, Guinea

### 引言

铝土矿是电解铝工业的关键原料,全球红土型铝土矿约占已探明铝土矿资源的绝大部分。几内亚由于具有稳定的陆块、广袤的准平原地貌以及长期热带湿润气候,为红土化作用提供了持续且强烈的外营力条件,形成了规模宏大的红土型铝土矿带。尽管区域找矿实践较为活跃,但矿体赋存受控因素叠加、空间非均质性强、露头受覆盖限制等现实问题,使得高效圈定高品位( $>43\%$   $\text{Al}_2\text{O}_3$ )矿段仍面临挑战。

### 1 本文旨在

归纳研究区红土型铝土矿的成矿地质条件与演化路

径,构建“源-运-聚”成矿模式。

提炼地貌、水文与植被的找矿指示意义。

基于742份样品的化学组成信息,提出高效、低扰动的找矿技术路线。

讨论方法的适用性与局限性,为后续资源评价与矿业开发提供依据。

### 2 研究区概况

#### 2.1 区位与交通

研究区位于几内亚西北部博凯大区博法省,距首都科纳克里约145km,区内交通以地方公路为主,便于开展地

面地质与工程勘探工作。

## 2.2 地形地貌

整体地貌为低山一丘陵与宽缓台地相间分布,分水岭多呈低矮而平坦的“帽状”山顶,局部发育铁质结壳(ferricrete)。沟谷切割较浅但分布广泛,河谷两侧多为新近沉积物覆盖区。

## 2.3 气候水文

属热带季风一雨林气候,年降水集中于雨季,气温全年较高。强烈的化学风化与淋滤作用促使硅从风化壳中迁移,下部土层及沟谷区常见铁锰氧化物淋积。地下水位受地貌与季节性降水共同控制,台地顶部排水适中,有利于厚层风化壳保存。

## 2.4 区域地质与母岩

基底以变质一火成岩系为主,夹有不同程度风化的硅铝质母岩(如长英质花岗岩、片麻岩与泥质一粉砂质沉积岩)。母岩中长石、云母等硅铝酸盐矿物丰富,为铝土矿的物质来源。区域构造总体稳定,利于风化壳长期持续发育。

## 3 数据与研究方法

### 3.1 样品与测试

研究依托在建项目,收集与制备来自研究区的742个地表与浅层样品,时间跨度185d。采用X射线荧光光谱仪(XRF)测试主量元素,重点关注 $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $TiO_2$ 以及灼减(LOI)等关键性指标。测试前进行仪器校准与标准物质比对,并设置平行样、重复样以控制精度与准确度。野外同步记录取样点地貌位置(台地/山顶/坡面/沟谷)、植被类型(灌木/腰果树/草地等)、土壤颜色与结构等信息。

### 3.2 遥感与地形分析

获取研究区多时相卫星影像与数字高程模型(DEM),开展:

地貌单元划分(山顶/台地、缓坡、陡坡、沟谷):基于DEM数据,利用GIS技术提取地形参数(高程、坡度、坡向、曲率等),将研究区划分为不同的地貌单元(山顶/台地、缓坡、陡坡、沟谷)。

铁质结壳及裸地识别:利用遥感影像的光谱特征,识别铁质结壳发育区和基岩裸露区。

植被覆盖度与类型解译:计算归一化植被指数(NDVI),结合纹理特征分析,区分不同的植被类型;

排水网络与分水岭提取:基于水文分析工具,提取研究区的排水网络与分水岭边界,分析水文条件对铝土矿分布的控制作用。

### 3.3 地表地球化学与土壤pH筛查

在遥感-DEM优选的有利区开展地表地球化学测量与快速pH筛查,识别酸性土壤发育区与铁铝富集的潜在残积壳。对关键部位布设样带,采用网格采样方式,采集地表土壤样品,初步判断铝富集区与矿化范围,开展系统

化网格采样。

## 3.4 浅层工程验证

针对优选靶区布设浅探槽与手持浅钻(或轻便冲击取样),揭露风化剖面结构(铁帽-铝土层-斑状层-半风化层-基岩)及矿层厚度与连续性。必要时采集剖面系统样进行分层测试与矿物学鉴定(如赤铁矿/针铁矿、三水铝石/水软铝石/高岭石相对含量)。

## 3.5 统计与综合集成

将化探数据与地貌一植被一剖面信息集成,基于阈值判别(如 $Al_2O_3 > 43%$ 、 $SiO_2$ 低、 $Fe_2O_3$ 适中)与空间叠加,圈定中一高品位有利区,提出工程验证与资源量估算方案,采用统计分析方法,研究元素之间的相关关系,揭示成矿作用过程中的元素迁移富集规律。最终形成一套适用于研究区的综合找矿技术方法。

## 4 成矿地质条件与作用机制

### 4.1 母岩物质基础

研究区母岩以富铝硅酸盐矿物为主,风化过程中易释放Al,而K、Na、Ca、Mg等碱(碱土)金属随溶液迁移被淋失。Al与Fe的难溶性使其在近地表残留富集,逐步形成含铝风化壳,为后续矿化提供基础。

研究区内高质量铝土矿( $Al_2O_3 > 43%$ )通常发育在长英质母岩之上,这与长英质岩石中铝含量较高且易风化的特点有关。而基性岩发育区往往形成高铁铝土矿,工业价值相对较低。母岩成分的差异是控制铝土矿质量与规模的重要因素之一。

### 4.2 气候控制与化学风化

高温强降水导致化学风化与淋滤强烈,硅酸盐矿物分解,Si以可溶形态迁移,Al与Fe以氢氧化物/氧化物形态残留,并可在后期再沉淀为三水铝石等铝矿物。长期、稳定的外营力是形成厚层富铝风化壳的关键。

化学风化过程遵循着元素迁移序列,主要元素按迁移能力从强到弱依次为:Ca、Na、Mg、K、Si、Fe、Al。这种迁移序列导致了下部层位元素的带出和上部层位Al、Fe、Ti等元素的相对富集。长期、稳定的热带气候是形成厚层富铝风化壳的关键因素,铝土矿的形成可能需要数百万年的持续风化作用。

### 4.3 地形地貌的分带作用

矮缓山顶/台地:排水适中、侵蚀作用弱,风化壳保存完整,易形成连续的富铝层。野外观察与样品特征显示,大于43% $Al_2O_3$ 的样品多见于此类地貌单元。这些部位风化作用充分,元素迁移彻底,往往形成厚度大、品位高的优质铝土矿。

陡坡:物质易搬运、风化壳难以堆置增厚,矿体不易形成或保存。这些区域风化产物不断被侵蚀搬运,无法形成稳定的风化剖面,铝土矿化程度低。

河谷两侧:受冲刷与沉积覆盖作用,原位残积壳被剥

失或被覆盖,高品位矿石显著稀少。但在某些情况下,河谷中可能发育由侧向迁移形成的再沉积型铝土矿,但规模一般较小,工业价值较低,一般不作为工业化生产的对象。

#### 4.4 水文条件与再分配

中高地下水位与良好排水共同塑造垂向淋滤格局:可溶组分向下迁移,Fe在氧化-还原微环境下可能发生局部再分配,使铝在特定层位相对富集。台地顶部与分水岭区的缓慢径流有利于矿层稳定,这些区域地下水运动以垂向渗流为主,促进了元素的垂向分异和铝的富集。而地势低洼处地下水流动缓慢,常出现还原环境,可能导致已富集的铁锰再次迁移,不利于矿体的保存。

#### 4.5 土壤化学与植被耦合

酸性土壤促进硅酸盐分解与Si的淋失,腐殖质的积累可增强局部酸化。灌木丛与腰果树适应酸性贫养环境,其空间分布与富铝残积壳存在一定耦合关系,可为找矿提供半定量线索,但需与地质与物化探结果综合判定。

#### 4.6 成矿模式(源—运—聚)

基于野外观察和实验分析,本研究建立了研究区红土型铝土矿的“源-运-聚”成矿模式:

**源(Source):** 硅铝质母岩提供铝的物质来源,母岩中的铝硅酸盐矿物在风化作用下分解,释放出Al、Fe等元素。

**运(Transfer):** 热带强风化—强淋滤条件下,活性元素(如Si、Ca、Na、K、Mg)以离子形式随水体迁移流失,而难溶元素(Fe与Al)则在地表残留。

**聚(Accumulation):** 在低矮平缓山顶与台地残积壳中,残留的Al、Fe元素不断富集,形成连续或近连续的富铝层,局部受铁质结壳保护,最终形成具有经济价值的铝土矿体。

### 5 找矿判据与技术方法

#### 5.1 地貌与空间判据

综合研究结果表明,地貌特征是铝土矿分布的最主要控制因素之一。在研究区内开展铝土矿勘查时,应优先考虑以下地貌判据:

- (1) 优先锁定矮平缓山顶、宽缓台地与分水岭。
- (2) 回避陡坡与沟谷两侧。
- (3) 关注铁质结壳与红—褐色强风化带的连续分布。
- (4) 以DEM派生坡度( $<5^\circ$ )、曲率(近0)等指标筛选一级有利区。

#### 5.2 植被与土壤指示

植被和土壤特征可作为铝土矿找矿的辅助判据,主要包括:

- (1) 灌木丛、腰果树较为繁茂且土壤呈酸性(pH偏低)的区域可优先踏查。
- (2) 土色偏红褐、结构致密、含铁结核丰富的土层有利于富铝。
- (3) 植被—土壤线索仅作辅助手段,须与地质—化

探联合验证。

#### 5.3 地球化学与矿物学指标

地球化学特征是评价铝土矿质量的直接指标,研究区内有效的评价指标包括:

以 $Al_2O_3-SiO_2-Fe_2O_3$ 三元组合为核心判据:高 $Al_2O_3$ 、低 $SiO_2$ 、适中 $Fe_2O_3$ 的样品更可能对应可采铝土层;必要时结合 $TiO_2$ 与LOI评估矿物学组成(如三水铝石含量)与工业属性(烧结/拜耳法适应性)。

#### 5.4 工程地质与剖面识别

通过浅探槽与浅钻等工程手段揭露风化剖面,是评价铝土矿资源潜力最直接有效的方法。研究区典型风化剖面自上而下一般为:

**顶部铁帽/铁结壳:** 主要由赤铁矿和针铁矿组成,厚度一般0.5~2m。

**下伏富铝铝土层:** 多呈土状、粉土状或块状,主要含三水铝石和高岭石,厚度2~10m不等。

**斑状层/混合层:** 部分风化的母岩碎块与风化物质的混合带。

**半风化层:** 母岩的结构尚存,但矿物已开始风化变化。

**基岩:** 未风化的原生母岩。

剖面厚度与连续性是资源量估算与采矿方式选择的关键参数。

#### 5.5 技术路线(四步法)

基于研究成果,本文提出了一套适用于研究区的铝土矿找矿“四步技术路线”:

**第一步: 遥感-DEM 优选。** 以地貌(坡度—曲率)、植被(覆盖度/纹理)与铁质结壳识别等特征,初步圈定铝土矿找矿有利区。

**第二步: 地表地球化学与pH快速筛查。** 按网格系统采样,配合便携式仪器初判Al、Si、Fe特征与土壤酸度,缩小靶区范围。

**第三步: 浅层工程验证。** 在优选靶区实施探槽与浅钻,获取剖面、厚度与品位约束。

**第四步: 综合评价与资源量估算。** 将化探—工程—地貌信息融合,进行矿体建模与资源量估算,提出采矿建议(露天开采、剥离厚度极薄或无需剥离)。

### 6 结果与综合讨论

#### 6.1 主要认识

通过对研究区742份样品的测试分析和野外调查,本研究获得以下主要认识:

(1) 研究区红土型铝土矿形成受母岩物质、热带气候、地貌与水文共同控制,符合“强风化-强淋滤-残留富集”的典型模式。

(2)  $>43\%$   $Al_2O_3$ 的高品位矿石主要出现在低矮而平缓的山顶—台地残积壳,陡坡与河谷两侧显著贫化。

(3) 灌木丛与腰果树在酸性土壤上的繁茂生长与富

铝残积壳具有空间耦合,可作为踏勘线索,但不可替代工程验证。

(4)“遥感-化探-工程”的渐进式技术路线能在低扰动、相对低成本条件下有效提升圈定效率与准确度。

### 6.2 方法优势与局限

优势:流程清晰、投资强度可控、易于快速复查与滚动圈定;数据类型互补,便于综合解释。

局限:植被-土壤指示具有区域性与季节性差异;沟谷区可能存在次生重力搬运或再沉积铝土矿小透镜体,需以工程验证避免遗漏;XRF的元素分析需结合矿物学相鉴定,防止因LOI与晶水差异带来的误判。

### 6.3 对采矿与环境的启示

研究表明,矮平缓山顶一台地上的浅埋矿体适合露天开采,剥离厚度薄、边坡稳定性好。基于研究成果,本文提出以下采矿与环境建议:

重视雨季水土保持与排水系统设计,降低泥水径流对下游沟谷的影响。

生态恢复使用乡土灌木与经济树种(如腰果)进行分区重建。

运输道路选线避开河谷敏感区,减少对居民点与耕地

的扰动。

## 7 结论

研究区红土型铝土矿成矿遵循“母岩供源-热带强风化与淋滤-地貌与水文控制残留富集”的基本规律,矿体优选赋存于矮平缓山顶一台地残积壳中。

陡坡与河谷两侧因侵蚀与沉积覆盖,难以保存厚层富铝风化壳,高品位矿体显著稀少。

酸性土壤上的灌木丛与腰果树可作为半定量找矿线索,但必须与地貌-化探-工程验证联合使用。

提出的“四步技术路线”能高效圈定 $>43\% \text{Al}_2\text{O}_3$ 潜在高品位矿段,为资源量估算与采矿方案设计提供依据。

研究框架与方法对几内亚及西非类似地貌-气候背景区具有可推广性。

### [参考文献]

[1]陈毓川,刘建宁,王登红.铝土矿成因类型与找矿标志[J].矿床地质,2002,21(3):257-266.

[2]刘建宁,王登红.几内亚铝土矿地质特征与成因分析[J].世界地质,2004,23(2):182-190.

作者简介:李桂敏(1989.12—),女,民族:汉,籍贯:河南省安阳市人,学历:硕士研究生,研究方向:地球化学。

# 矿山安全监控系统及预警技术应用研究

张智烽 林永明

青海山金矿业有限公司, 青海 海西州 816100

**[摘要]**随着矿山开采作业变得越来越复杂,传统的依靠人工进行巡检以及按照固定周期开展检查的方式,已经很难契合现代安全管理方面的需求了。矿山安全监控系统把信息技术、物联网还有大数据分析综合起来,能够达成对生产现场以及环境状态的实时监控、数据采集、智能分析以及预警响应的目的,从而在事故尚未发生之时便及时将隐患识别出来,进而提升安全管理水平。聚焦于矿山安全监控以及预警技术,全面且细致地剖析了高清视频监控、环境参数监测、智能行为识别以及远程应急指挥等一系列关键技术,同时对预警系统的架构以及应用效果展开了深入探讨,并且还对其在安全效益、管理效率以及智能化发展层面所具备的优化空间予以了评估,从而为矿山安全管理走向现代化给予理论层面以及实践层面的参考依据。

**[关键词]**矿山安全; 监控技术; 预警技术

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17498

中图分类号: TE58

文献标识码: A

## Research on the Application of Mine Safety Monitoring System and Early Warning Technology

ZHANG Zhifeng, LIN Yongming

Qinghai Shanjin Mining Co., Ltd., Haixi Prefecture, Qinghai, 816100, China

**Abstract:** With the increasing complexity of mining operations, the traditional methods of relying on manual inspection and conducting inspections according to fixed cycles are no longer suitable for the needs of modern safety management. The mining safety monitoring system integrates information technology, the Internet of Things, and big data analysis to achieve real-time monitoring, data collection, intelligent analysis, and early warning response of production sites and environmental conditions. This enables the timely identification of hidden dangers before accidents occur, thereby improving the level of safety management. Focusing on mining safety monitoring and early warning technology, a comprehensive and detailed analysis was conducted on a series of key technologies such as high-definition video surveillance, environmental parameter monitoring, intelligent behavior recognition, and remote emergency command. At the same time, the architecture and application effects of the early warning system were deeply explored, and the optimization space in terms of safety benefits, management efficiency, and intelligent development was evaluated, providing theoretical and practical reference for the modernization of mining safety management.

**Keywords:** mine safety; monitoring technology; early warning technology

### 引言

矿山生产风险颇高且复杂程度不低,其作业环境恶劣不堪,流程也多种多样,若稍有疏忽,就极有可能引发严重的事故。传统的依靠人工巡检以及定期检查来开展的安全管理工作存在着诸多盲区,信息更新往往滞后。随着信息技术、物联网还有人工智能不断取得发展,矿山安全监控系统慢慢变成了提高管理水平的一项重要途径。借助于在关键区域去部署高清摄像设备、环境传感器以及数据采集终端,该系统能够达成对生产现场、人员行为、设备运行还有环境参数展开实时监测以及智能分析的目标。预警技术能够在潜在风险还没有演变成事故之前发出警报,给管理者给予科学决策方面的依据。本文主要是针对矿山安全监控系统以及预警技术的关键技术、应用实践以及优化策略加以分析,从而为矿山安全管理走向现代化给予理论层面以及实践方面的参考内容。

### 1 矿山安全监控系统概述

矿山安全监控系统,是现代矿山安全生产管理中的重

要组成部分。依托于先进的信息技术、物联网技术以及大数据分析技术,通过在矿山的关键区域和重点部位部署高清摄像头、各类传感器等监控设备,构建起全方位、立体化的监控网络。系统不仅能够实时捕捉并清晰显示矿山的现场画面,让管理者随时掌握矿山的生产状况和环境变化,更重要的是,还能够借助智能分析算法,对监控数据进行深度挖掘和智能分析,自动识别出潜在的安全隐患和违规行为。在传统的矿山安全管理中,往往依赖于人工巡检和定期的安全检查来发现安全隐患,但该方式存在诸多局限性。而矿山安全监控系统的引入,则彻底改变了这一状况。系统能够 24h 不间断地对矿山进行监控,及时发现并报告任何异常或违规行为,从而大大提高了矿山安全管理的时效性和准确性。系统检测到潜在的安全隐患或违规行为,即发出预警信号。使得管理者能够迅速响应,采取必要的措施来消除隐患或纠正违规行为,从而有效防止事故的发生,保障矿山的安全生产。管理者通过信息数据,深入了解矿山的生产状况、安全状况以及存在的问题和风险,为

制定科学、合理的安全管理决策提供依据。

## 2 矿山安全监控关键技术

### 2.1 高清视频监控

高清视频监控属于矿山安全监控系统里极为重要的一部分,它所起到的作用并不仅仅是能实时地将生产现场的图像给捕捉下来,而且还能够凭借智能分析算法去识别出异常的情况,进而达成对矿山作业环境以及人员行为展开动态管理的目的。高清视频设备一般都有着高分辨率这样的特性,其对于低光照的适应能力是比较强的,并且远程控制起来也比较方便,在矿井那种复杂的环境下依旧能够稳定地运行。当对关键作业区、运输通道、井下工作面还有设备操作区域实施全面布控的时候,该系统就能够把高清视频数据实时地传送到监控中心,以此来实现对作业整个过程的动态监控。在实际的应用当中,高清视频监控不但能够给出清晰的现场画面,而且还能与行为分析、图像识别等人工智能技术相结合,针对违规操作、人员异常行为以及潜在危险场景展开自动识别并且做好记录,从而为安全管理给予直观且可追溯的依据,切实提高矿山安全管理的可视化程度。

### 2.2 环境参数监测与传感器技术

矿山作业环境复杂且多变,其中瓦斯浓度、粉尘含量、温湿度变化以及水文条件等环境参数,都和矿山的安全运行有着直接的关联。环境参数监测技术会于矿山各个关键节点去部署多种传感器,如此便能对这些关键指标展开实时采集以及监测,进而构建起一套全方位的环境监控体系。传感器技术涵盖了气体传感器、粉尘检测器、水位传感器还有温湿度探测器等等,可于第一时间察觉到异常的环境变化情况。监测所获取的数据会经由数据采集与传输系统汇聚到中心平台,再结合历史数据来加以分析,从而给管理者给予准确的安全预警依据。凭借传感器技术,矿山安全管理已经从以往单纯依靠人工巡检的状态,慢慢转变成智能化、实时化的管理模式,达成了对井下作业环境的动态把控,也为事故的预防以及应急响应给予了稳固的技术支撑。

### 2.3 智能行为识别与数据分析

智能行为识别与数据分析技术,经由对矿山监控数据展开深度挖掘的方式,达成了针对人员操作行为、设备运行状态以及生产环节的智能监控目的。该系统能够凭借人工智能算法来自动识别出作业人员所存在的违规操作情况、危险行为以及异常状态,进而可及时地发出相应的警示信息。与此设备运行数据在经过实时采集以及与历史数据加以比对之后,是能够对设备故障以及潜在危险做出预测的,这便为维护决策提供了相关的依据。大数据分析技术可将视频数据、传感器数据以及生产管理系统数据予以整合,以此实现对矿山整体安全状况展开综合评估的目标。借助数据建模以及风险预测手段,管理者一方面能够知晓当前的安全状态,另一方面还能够在事前发现那些潜在的风险点,进而开展科学的调度工作以及资源的合理配置事宜。此项技术的应用,促使矿山安全管理从原本的被动监

控状态转变为了主动预防的状态,其显著提高了安全管理在精准性方面以及效率方面的表现。

### 2.4 远程应急指挥与信息管理

远程应急指挥与信息管理技术属于矿山安全监控系统的保障环节,其关键作用在于借助统一平台来整合监控数据,达成对安全事件的快速应对以及科学调度,该系统可把井下监控数据、环境监测信息还有人员以及设备状态实时汇总起来,给管理者呈现全局视图,方便制定应急方案并做出指挥决策,在突发事件出现时,远程指挥系统能够凭借可视化界面迅速确定事故区域,分析事件原因,调动资源展开应急处置,信息管理模块针对安全事件的全过程予以记录与分析,为后续的安全管理以及制度优化给予数据支持。依靠远程应急指挥与信息管理,矿山安全管理达成了“监控-预警-响应”的闭环机制,使得事故发生的几率和影响程度大幅度降低,同时提高了矿山安全管理的整体效率与科学性。

## 3 矿山安全预警技术及应用

### 3.1 预警技术原理

矿山安全预警技术的关键之处就在于,其会针对矿山监控系统所采集的各种各样的数据展开实时的分析以及风险评估工作,进而于事故发生之前便能够及时地发出预警信号。其预警原理主要涵盖阈值判断法、趋势预测法还有模型分析法这几种。其中,阈值判断法是依据各类环境参数以及设备运行数据所设定的安全上限与下限,来实时对出现的异常情况予以报警提示;而趋势预测法则会通过历史数据展开动态分析的方式,去发现那些潜在的危险变化趋势,进而提前给出预警信息;至于模型分析法,则是依靠数学建模以及人工智能算法,对矿山各个生产环节、各类环境条件以及人员行为等各方面加以综合分析,以此达成对复杂风险的系统性预测目标。这些不同的技术相互融合在一起,便构建起了一套多层次且全方位的安全预警体系,能够让管理者在潜在风险还没有演变成成为事故之时,便采取行之有效的干预举措,从而降低事故发生的概率以及可能造成的损失程度。

### 3.2 预警系统技术架构

#### 3.2.1 数据采集与传输

预警系统得以运行的基础,在于其具备高效且可靠地采集以及传输数据的能力。在矿山内部所部署的各类传感器、高清视频监控设备等其他诸多监控终端,会持续不断地去采集有关环境参数、人员活动状况以及设备运行状态等方面的信息。这些所采集到的信息又会通过有线或者无线网络的方式,传送到中心处理平台那里。为了确保数据能够保有实时性并且完整无缺,该系统往往会采用冗余数据传输的方式,同时还会运用边缘计算技术,针对那些关键数据给予优先处理,并且开展本地分析工作,如此一来便能有效降低出现网络延迟以及数据丢失的风险情况。凭借着这样高效的采集与传输数据的机制,预警系统就能够

给后续的数据处理环节以及智能分析操作给予准确且可靠的、作为基础的数据方面的有力支撑。

### 3.2.2 数据处理与智能分析

数据处理以及智能分析在预警系统里属于极为关键的环节,其主要任务是要把所采集来的大量数据转变成能够实际操作的安全方面的信息。该系统会先针对原始数据展开清洗工作,并且对其进行标准化处理,借此来清除掉其中的异常值以及噪声。随后再借助机器学习算法还有数据挖掘技术去对数据开展模式识别、异常检测以及风险评估等相关操作。智能分析能够全面综合地考量环境参数、设备状态以及人员行为彼此之间的关联性,以此来预测潜在危险事件出现的可能性以及其可能达到的严重程度。与此历史数据不断地进行积累,模型也持续地开展训练,如此便能持续对风险预测的准确性加以优化,进而为矿山的安全生产工作给予科学且可靠的决策方面的依据。

### 3.2.3 智能预警与响应机制

智能预警与响应机制依靠对分析结果加以判断,达成自动报警以及应急指挥的闭环式管理。当系统察觉到环境参数超出限定范围、人员操作出现异常或者设备运行存在异常情况时,会依据预先设定的规则以及智能模型立刻发出预警信号,并且同时启动相关的应急响应流程。这些响应举措涵盖调度现场的管理人员、启动设备保护方面的机制、调整作业的相关安排,还要向上级管理平台汇报风险方面的信息。智能预警与响应机制在实施之后,可以大幅度缩减事故响应所花费的时间,减少人为决策滞后的状况给安全管理所带来的影响,进而切实有效地降低矿山事故的发生比率,提升矿山安全的管理水准。

## 3.3 预警技术应用实践

在实际运用层面,矿山安全预警系统于生产现场、井下作业区域以及关键设备环节均得到了广泛的部署安排。借助该系统所集成的视频监控功能、环境参数监测手段以及智能行为识别技术,管理者可实时且全面地掌握矿山各个作业环节的安全状况<sup>[1]</sup>。一旦系统察觉到瓦斯浓度出现异常的上升情况或者设备运转存在异常状况,其预警机制便会即刻向管理者发出警示信号,并且会触发相应的应急处理措施,以此来阻止事故进一步地蔓延扩大。与此凭借对预警数据以及处置记录展开细致的分析,企业便能够对自身的安全管理成效加以评估,进而从中发现管理上存在的薄弱环节,并且对操作流程予以优化改进。这样的实践实例切实有力地证明了预警技术在提高矿山安全管理水平、降低事故发生频次以及确保生产连续性方面所具备的实际应用价值。

## 4 安全效益与系统优化

### 4.1 安全水平提升与管理效率

矿山安全监控系统以及预警技术在实际应用当中,矿

山安全管理的整体水平得到了较为显著的提升。该系统借助实时监控、智能分析以及主动预警等功能,能够在第一时间发现潜在的风险隐患,进而降低安全事故的发生频次,有效提高矿山作业环节的安全性<sup>[2]</sup>。管理者可凭借此系统获取到精准且详实的现场数据,如此一来便能大幅缩减人工巡检以及现场盯守方面的工作量,达成安全管理工作的智能化与高效化目标。这种由数据驱动的管理模式,一方面加快了安全响应的速度,另一方面也让安全决策更有科学依据,更加可靠,有力地推动了矿山安全管理从单纯依靠经验的状态朝着数字化、智能化的方向去转变。

### 4.2 系统集成与平台优化

要让监控系统和预警技术高效地运行起来,那么系统集成以及平台优化这两方面就显得格外重要了。把视频监控、传感器网络、数据处理平台还有应急指挥系统等整合到一起,进而打造出一个统一的信息管理平台,如此一来,各类数据便能够彼此之间实现互联互通,并且可以共享着去使用<sup>[3]</sup>。与此平台优化涉及到了算法优化、数据存储结构方面的调整以及用户界面的改进等诸多内容,其目的在于提升系统的运行效率以及可操作的程度。系统集成加上平台优化,一方面能够确保监控数据具备完整性以及准确性,另一方面还能够强化矿山安全管理的整体协同性,达成信息资源最大程度的利用效果,从而促使企业的安全管理水平以及决策能力得以提升。

## 5 结语

矿山安全监控系统以及预警技术成功突破了传统人工巡检所存在的种种局限,达成了对生产现场还有环境的实时监控、智能分析以及主动预警。借助高清视频监控、环境参数监测、智能行为识别以及远程应急指挥等手段,该系统可及时察觉安全隐患并且快速做出相应反应,以此来保障生产的安全性与连续性。伴随技术不断向前发展,矿山安全监控与预警将会进一步朝着智能化、集成化以及数字化的方向迈进,从而为企业给予更为科学、更为可靠且更具可持续性的安全管理方案。未来的研究应当将目光聚焦于系统的优化、智能分析算法的改进以及预警效果的量化方面,以此持续为矿山安全管理的创新给予有力支撑。

### [参考文献]

- [1]宋维,黎恩贵.矿山安全监控系统及预警技术应用研究[J].世界有色金属,2025(12):229-231.
  - [2]殷仁全.矿山安全监控技术与预警系统研究[J].中国金属通报,2025(3):73-75.
  - [3]张秉鹏.基于人工智能与5G技术的矿山安全智能监控系统应用[J].山西焦煤科技,2024,48(8):34-36.
- 作者简介:张智烽(1999.12—),毕业院校:辽宁科技大学,所学专业:机械设计制造及其自动化,当前就职单位:青海山金矿业有限公司,职务:机电技术员。

## 露天矿边坡爆破对岩体稳定性的影响及控制措施研究

徐 伟

易普力股份有限公司, 湖南 长沙 410221

[摘要]露天矿开采时, 边坡爆破作业会显著影响岩体结构稳定性并与矿山安全和经济效益直接相关, 此文依据岩体力学理论剖析在爆破荷载下岩体破裂与裂隙扩展机制、探究爆破参数设计给边坡稳定性带来的影响, 经数值模拟和工程实例对比之后提出有效的控制爆破扰动技术措施, 研究结果能给露天矿爆破作业提供理论支持与实践指导以提高边坡稳定性和作业安全程度。

[关键词]露天矿; 边坡爆破; 岩体稳定性; 爆破参数; 控制技术

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17494

中图分类号: TD824

文献标识码: A

### Research on the Influence and Control Measures of Slope Blasting in Open-pit Mining on Rock Stability

XU Wei

Explosives Corporation Limited, Changsha, Hunan, 410221, China

**Abstract:** During open-pit mining, slope blasting operations significantly affect the stability of rock mass structure and are directly related to mining safety and economic benefits. Based on the theory of rock mechanics, this article analyzes the mechanism of rock mass fracture and crack propagation under blasting loads, explores the impact of blasting parameter design on slope stability, and proposes effective control blasting disturbance technical measures after numerical simulation and engineering case comparison. The research results can provide theoretical support and practical guidance for open-pit mining blasting operations to improve slope stability and operational safety.

**Keywords:** open-pit mining; slope blasting; rock mass stability; blasting parameters; control technology

#### 引言

矿产资源开发规模不断扩大使得露天矿边坡安全性愈受人关注, 边坡稳不稳定不但关联着矿山能否正常生产和经济效益好不好, 更与人员安全、生态保护有关, 开采初期爆破是必不可少的工序且会扰动岩体结构引发滑坡、塌方之类的地质灾害, 本文想从力学角度研究爆破影响边坡岩体稳定性的机制并提出有效的控制办法以构建安全、高效、绿色的露天开采技术体系。

#### 1 边坡岩体结构与稳定性基础

##### 1.1 岩体结构分类与特征

边坡稳定性的关键因素之一是岩体结构, 人们通常按岩体完整性和节理发育程度把岩体分成完整岩体、节理岩体、破碎岩体这三类, 其中完整岩体内部缺陷很少, 整体力学强度高, 边坡稳定性强, 在工程里适合当作主要承载体; 露天矿里大量存在节理岩体, 其节理、裂隙、断层这些结构面发育得很广泛, 容易出现剪切破坏、滑移破坏这类失稳模式, 结构面的空间组合关系、几何特征和强度参数对边坡稳定性起决定性作用, 特别是节理面的倾向、倾角和间距等掌控着潜在滑移面的形成与发展; 岩体的风化程度、岩性类型(像花岗岩、砂岩、片麻岩之类)以及岩层分布状况, 对岩体结构稳定性也有重要影响, 而且岩体中结构面的闭合程度、充填物性质还有地下水作用, 会使摩擦系数和抗剪强度改变, 进而影响岩体整体稳定性。

##### 1.2 边坡稳定性评价理论

露天矿安全作业的基础环节是边坡稳定性评价, 人们主要用极限平衡分析法、岩体力学法和数值模拟方法对其进行系统研究, 极限平衡法把坡体结构简化, 假设出潜在滑面, 算出剪应力与抗剪强度的比值借此确定边坡安全系数, 瑞典条分法、摩尔-库仑法、简化毕肖普法等都是常见的极限平衡方法且不同的边坡条件适用不同的方法, 岩体力学法以岩石物理力学性质和本构关系为依据, 分析边坡受力状态和变形破坏过程从而揭示出边坡稳定的内在机制, 计算机技术发展起来之后, FLAC3D、UDEC、ANSYS 等数值模拟方法在复杂地质条件下的边坡稳定性分析中被广泛应用, 能模拟不同工况和爆破扰动条件下的变形、位移和破坏过程, 为边坡设计和优化提供重要依据, 边坡安全系数、变形趋势和破坏概率是评价结果的主要参考指标, 为工程风险的控制提供技术支撑。

##### 1.3 外部扰动因素对稳定性的影响

在自然条件与工程活动的双重作用下, 边坡岩体的稳定性极容易被外部扰动因素(如水文地质条件改变、地震振动、工程爆破扰动等)影响, 地下水的浸润不但会让岩体结构面摩阻力下降, 还会增加岩体自重、产生渗透压力, 引发滑移或者软化破坏且在雨季或者排水不好的时候这种情况更明显, 地震荷载通过周期性振动改变岩体应力状态, 促使结构面裂隙扩展和接触损伤, 造成坡体失稳滑动,

爆破扰动在露天矿里是最常见、最强烈的人为干扰,其爆破产生的应力波对岩体有短时强冲击作用,破坏岩体结构的完整,让节理扩展和剪切变形更严重,使本来就处于临界状态的边坡快速失稳,边坡开采的时候,边界条件不断变化(台阶高度、坡角调整等),力学环境也会因此改变,这对边坡长期稳定性有影响。

## 2 边坡爆破对岩体稳定性的作用机制

### 2.1 爆破荷载传播特性

爆破荷载属于一种高强度、短时间且瞬态释放的能量载荷,主要靠冲击波与应力波在岩体里传播,炸药爆轰瞬间产生的高温高压气体在爆破孔中产生强烈冲击波,冲击波沿岩体孔壁朝外传播,先使近场区域的岩体被压碎破裂,变成反射波和剪切波继续往远场传播,应力波在岩体里传播时,虽然岩石介质不连续、结构面的散射、吸收和反射作用会使应力波能量不断削减,但它对边坡稳定仍有很深的影响,应力波传播速度一般在2000~6000m/s,其强度与炸药类型、装药结构、爆破参数等密切相关,在节理发育或者结构疏松的岩体里,爆破荷载容易顺着结构面传播,造成局部应力集中,使微裂隙扩展,而起爆顺序和延时设计也会影响波形叠加,让边坡局部区域遭受多重冲击,增加失稳风险。

### 2.2 岩体损伤演化规律

爆破荷载作用下,岩体的损伤演化是从微裂隙萌生、扩展到宏观裂缝贯通的非线性破坏过程,高应力冲击时爆心区形成压碎圈,裂缝接着向外扩展,破裂带和振动区随之形成,应力波传播还会让岩体出现剪切滑移、张拉破坏等多种结构损伤。节理岩体里天然裂隙众多,爆破对微观结构的扰动会使节理面错动与扩展加剧,进而使岩体整体剪切强度降低。爆破循环不断进行,累积损伤让岩体结构逐渐变弱,破坏原有完整性,诱发局部塑性区朝着临界破坏区发展、滑动面形成或者扩展。爆破扰动过程中,岩体的动力学特性、弹性模量、泊松比等一直在变,损伤演化具有空间不均匀性与时间耦合性,并且如果爆破设计不合理,容易产生多次加载叠加效应,边坡频繁被扰动难以恢复初始强度,从而加快边坡失稳的累积过程。

### 2.3 爆破诱发边坡失稳类型

边坡受爆破扰动时,常见失稳类型有局部崩塌、层间滑动、结构面剪切滑移和整体滑坡等,边坡顶部或自由面附近,爆破应力波反射产生拉应力区,岩块易脱落崩塌,岩体节理发育或有松动带处更显著,并且爆破扰动沿倾斜节理面传播,剪应力超抗剪强度时会引发层间滑移破坏,产生小规模塌落或剪切滑移,大型边坡频繁受爆破振动,结构面连接强度会退化,滑面剪切破坏逐渐发展,可能最终整体滑坡,爆破也许诱发“临界状态转移”,稳定边坡受扰动后进入临界不稳定状态,遇降雨、卸荷或持续爆破就迅速失稳,还有爆破时序设计不合理时,局部荷载可能重复叠加,产生振动放大效应,使局部边坡强烈响应甚至

失控滑移。

## 3 爆破参数设计对边坡稳定性的影响分析

### 3.1 爆破孔距与装药结构

爆破能量释放方式和岩体扰动范围受爆破孔距与装药结构这两个关键因素影响且边坡稳定性也直接受其影响,露天矿爆破时合理设计孔距能有效管控爆破能量集中与扩散避免能量过度集中使岩体破坏过度或能量过于分散让爆破效果不好,孔距设计得综合考虑岩性强度、节理裂隙发育程度和开采工艺要求一般按最小抵抗线原则布孔网还得考虑台阶高度和孔径匹配,孔距太小爆破重叠效应也许会增强边坡区域岩体反复被破坏结构完整性就下降而孔距太大爆破连续性会降低残留大块岩石产生施工难度增加,装药结构合理安排药卷长度、间隔和装药方式(像柱状装药、分段装药、定向装药)对爆破效果调节作用明显,边坡控制性爆破常采用分段装药与缓冲装药结构,这样能量在不同深度梯次释放对岩体冲击力减缓主爆区能量向坡面过度传递得以避免边坡扰动和裂隙扩展减少稳定性得到保障。

### 3.2 爆破顺序与起爆方式

爆破过程中应力波的传播路径与时序直接被爆破顺序与起爆方式决定,这对边坡结构的扰动程度有着关键影响,合理的爆破顺序能引导应力波定向释放,降低关键结构面所受作用强度并避免波峰叠加导致局部应力集中的情况,采用由内向外、由深至浅的爆破顺序,岩体就会朝着自由面塌落,减少边坡背部的反向破坏作用,而延时爆破是控制波峰重叠和振动响应的有效方式,精准控制起爆时间间隔可使应力波传播错开,减弱叠加效应,降低爆破振动对边坡的整体扰动,又因电雷管、毫秒雷管、导爆索等起爆方式不同,延时精度与能量释放方式也不一样,高精度电子雷管技术在现代露天矿控制爆破里被广泛应用,实现了毫秒级精准控制,优化了爆破振动波形,保护了边坡安全。

### 3.3 药量控制与爆破能量管理

炸药用量是决定爆破能量释放总量和作用强度的关键参数,边坡的扰动程度和岩体稳定性与药量控制的科学性直接相关,实际工程里,单孔装药量和单位炸药消耗量得依据岩石硬度、断裂发育程度、台阶尺寸等因素精确计算,药量过大时,应力波容易超限传播,边坡结构面会松动、滑动或者崩塌,严重的话大规模边坡失稳都可能发生,药量不足,爆破效率就降低了,会产生很多孤石和残块,后续机械剥离难度和安全隐患就增加了,要在保证爆破效果的基础上,用限药爆破、柔性装药、空腔装药这些技术手段,把能量集中释放和作用范围控制住,爆破能量管理也包含起爆效率、能量利用率、能量方向调控这些内容,靠能量导向装置、炮孔衬垫这些辅助手段能提高爆破能量定向传递的效果,减少无效破坏,建立爆破参数和边坡响应的关系模型,结合监测数据动态调整,让爆破扰动最小

化，这是现代矿山边坡安全控制和绿色开采的重要方向。

#### 4 爆破扰动控制技术与工程实践

##### 4.1 预裂爆破与光面爆破技术

预裂爆破和光面爆破这两种重要技术手段能控制爆破扰动，保持边坡的完整性与美观性，主爆孔外缘布置预裂孔且预裂孔提前或同步起爆是预裂爆破的操作方式，这样爆破应力波会先沿预定裂缝路径传播以形成连续的裂缝带，隔断主爆产生的应力波向边坡方向的扩散从而减少边坡扰动，这是预裂爆破的目的，这种方法常被用于保护边坡边界以防止超挖和岩体结构松动，预裂孔参数设计为小直径、间距密集、装药集中度低来实现连续裂缝和均匀破坏。光面爆破在预裂爆破的基础上对孔距、装药量与起爆顺序进一步优化，使得边坡成型面整齐平滑且裂隙和剥落很少，最终边坡的成型和稳定控制常用这种爆破方式，这两种爆破都属于控爆技术体系中的精细化爆破措施，坡面质量、岩体完整性、开采安全性提升效果都很显著，在实际工程当中要综合考虑岩体条件、边坡角度与台阶高度等因素来合理选择预裂和光面爆破方式，这是实现边坡稳定与控制爆破能量传递的核心手段。

##### 4.2 实时监测与反馈调控系统

智能矿山和数字化开采不断发展，在爆破扰动控制里实时监测与反馈调控系统成了重要部分，布设振速监测仪、裂缝计、测斜仪等传感设备就能实时采集分析爆破引发的地震波振速、岩体变形、裂缝扩展等参数，监测数据经无线传输系统传至控制中心从而实现远程分析预警，在边坡区域设多点监测网络可及时捕捉爆破后岩体微变形和位移趋势以识别潜在失稳风险，监测结果还能评估爆破设计效果、验证药量控制、起爆顺序等参数设置是否合理进而为后续爆破方案优化提供数据支持，现代反馈系统与大数据、人工智能技术相结合实现边坡响应模式的预测和趋势研判并形成“爆前预测—爆中监测—爆后反馈”闭环控制体系，动态调整爆破参数和施工策略就能有效避免高风险区域爆破诱发失稳，提升边坡管理智能化精细化水平从而为矿山作业安全提供强有力技术保障。

##### 4.3 控爆设计优化与绿色矿山建设

实现绿色矿山建设与可持续发展，控爆设计优化是关

键路径之一，其旨在保障安全和开采效率的最大程度减少对边坡、生态和环境的负面影响。从爆破方案源头开始进行优化设计，药量、孔距、装药结构和起爆时序应合理匹配以减少爆破能耗以及粉尘、振动、噪声等有害效应。新型环保炸药、低毒起爆器材和智能爆破控制系统的推广使用进一步提升能量利用率，减少无效破坏和资源浪费。边坡控爆时结合地质模型和数值模拟技术做爆破效果预测和动态仿真选出最优参数组合以实现精准爆破。控爆设计要考虑生态保护要求，避开重要植被、地表水体或者生态敏感区域，保证边坡稳定且不影响周边环境和基础设施。典型工程实践显示，采用多参数耦合优化和全过程动态监控相结合的控爆策略后，边坡稳定性提高且后续支护和修复成本降低，这是现代绿色矿山建设的重要方向。

#### 5 结语

露天矿边坡岩体稳定性受爆破影响，本研究对其影响机制加以系统分析并深入探讨了从爆破荷载传播、岩体损伤演化到失稳类型这些方面，基于此将爆破参数优化和扰动控制技术相结合提出不少可行的控爆措施，使边坡安全和作业质量得以提升，数字化、智能化技术在发展，实时监测与反馈系统于边坡稳定控制中会起更大作用，研究成果对矿山安全、高效、绿色开采的实现有着重要现实意义和应用价值。

#### [参考文献]

- [1] 闫广柱.露天矿山边坡稳定性分析及预警预报[D].安徽:安徽理工大学,2024.
- [2] 武文雅.越南生权露天矿爆破振动对边坡稳定性影响研究[D].江苏:中国矿业大学,2023.
- [3] 于金江.齐大山露天铁矿东帮边坡稳定性研究[D].辽宁:辽宁工程技术大学,2023.
- [4] 李青霖.多工况下马脑壳露天金矿高陡边坡稳定性研究[D].重庆:重庆大学,2022.
- [5] 俞志斌.深凹露天矿山高陡边坡稳定性浅谈[J].福建建材,2022(5):41-43.

作者简介:徐伟(1983.10—),武汉科技大学,采矿工程,就单位:易普力股份有限公司,担任部门副职,职称级别:爆破工程中级工程师。

# 数字化测绘技术在国土空间规划中的应用分析

杨柳<sup>1</sup> 唐丽<sup>2</sup>

- 1.广西自然资源勘测设计有限公司, 广西 南宁 530000
- 2.南宁市自然资源信息集团有限公司, 广西 南宁 530000

**[摘要]**数字化测绘技术通过多技术耦合创新, 构建起地理空间智能感知体系, 为国土空间规划提供了全流程技术支持。从技术革新维度解析高精度空间数据生产体系、多源异构数据融合机制及动态响应网络构建等核心突破, 揭示其在空间基底重构、规划方案推演、实施效能评估等环节的技术传导逻辑。通过全要素空间建模框架与时空关联分析模型的协同应用, 该技术有效提升了规划方案的空间适配性与管控时效性, 为构建可感知、能学习、自适应的智慧规划技术框架奠定方法论基础。研究阐明该技术如何通过感知-分析-决策闭环优化国土空间治理范式, 对推动规划学科从经验判断向数据驱动转型具有理论指导价值。

**[关键词]**数字化测绘; 国土空间规划; 地理信息系统

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17526

中图分类号: TP3

文献标识码: A

## Application Analysis of Digital Surveying and Mapping Technology in National Spatial Planning

YANG Liu<sup>1</sup>, TANG Li<sup>2</sup>

1. Guangxi Natural Resources Survey and Design Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China
2. Nanning Natural Resources Information Group Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

**Abstract:** Digital surveying and mapping technology, through multi technology coupling innovation, has built a geographic spatial intelligent perception system, providing full process technical support for national spatial planning. Analyze the core breakthroughs of high-precision spatial data production system, multi-source heterogeneous data fusion mechanism, and dynamic response network construction from the perspective of technological innovation, and reveal their technical transmission logic in spatial base reconstruction, planning scheme deduction, and implementation efficiency evaluation. Through the collaborative application of the full element spatial modeling framework and spatiotemporal correlation analysis model, this technology effectively improves the spatial adaptability and control timeliness of planning schemes, laying a methodological foundation for constructing a perceptible, learnable, and adaptive intelligent planning technology framework. The research elucidates how this technology optimizes the paradigm of territorial spatial governance through a perception analysis decision loop, which has theoretical guidance value for promoting the transformation of planning disciplines from empirical judgment to data-driven.

**Keywords:** digital surveying and mapping; national spatial planning; geographic information system

### 引言

国土空间规划作为国家空间治理的核心工具, 正面临数据精度不足与动态响应滞后的双重挑战。数字化测绘技术通过高精度三维建模与多源数据融合机制, 构建起全域实时感知体系, 为破解传统规划静态化、碎片化问题提供技术突破口。其时空关联分析能力可精准量化资源承载与开发建设的动态平衡, 支撑生态安全与高质量发展的协同决策。从技术特性、方法体系与实践维度, 系统解析该技术如何重构规划数据基底、优化分析模型、建立动态反馈机制, 进而探讨其在优化国土空间治理中的关键作用, 为构建智慧化规划技术框架提供理论支撑。

### 1 数字化测绘技术优势与特点

#### 1.1 高精度与高效率

数字化测绘技术的高精度与高效率特性源自传感设备与计算模型的深度融合创新。新型固态激光雷达通过多回波信号处理技术, 可穿透茂密植被获取地表真实高程信

息, 解决传统光学测量在森林、城市建筑群的穿透性局限。高分辨率多光谱传感器结合自适应曝光算法, 在逆光、雾霾等恶劣环境下仍能保持地物边缘的清晰辨识度, 确保复杂场景下的数据完整性。数据处理环节采用卷积神经网络架构, 通过预训练的地物特征识别模型, 实现点云数据中道路标线、建筑轮廓的自动化提取与拓扑关系重建, 消除人工勾绘的个体经验差异。在作业模式层面, 无人机群组协同测绘系统依据地形复杂度自主规划航摄路径, 结合5G网络实现测量数据的实时回传与云端处理, 形成外业采集与内业建模的同步作业闭环。该技术体系尤其适用于地质灾害应急测绘场景, 可在数小时内完成滑坡体三维形变场建模, 为抢险救灾决策提供厘米级精度的空间基准。生成的多细节层次(LOD)模型支持规划方案的虚拟现实交互式审查, 使决策者能够直观评估建筑间距、天际线形态等空间关系, 显著提升规划成果的空间协调性。全流程自动化技术将传统测绘中离散的工序整合为智能流水线,

大幅降低人为操作引入的系统误差风险,为国土空间规划的精准实施奠定技术基础。

### 1.2 动态监测与实时更新

数字化测绘技术的动态监测与实时更新机制依托于多维度感知网络的构建与智能分析模型的创新。地面位移监测站与地基合成孔径雷达的组网观测,结合高分辨率卫星影像的周期性覆盖,形成立体化监测体系,实现对地表形态演变的全天候感知。该技术框架突破传统单源监测的局限,通过多传感器时空基准统一算法,将毫米级形变监测结果与亚米级地表覆盖变化信息进行空间关联,精准捕捉违规建筑加层、地下工程越界等隐蔽性空间变异。智能解译系统引入迁移学习技术,基于历史审批数据训练用地性质异常识别模型,在时序影像流中自动标记未批先建、生态红线侵占等违法图斑,并生成空间坐标定位信息。在此基础上,构建规划实施动态评估指数体系,通过空间叠置分析量化国土开发强度与资源承载力的匹配度偏差,为规划调整提供量化依据。多源异构数据通过区块链技术实现跨部门的安全共享与版本追溯,确保规划管控指令在土地审批、建设监管等环节的精准传导。这种技术体系推动空间治理模式从结果管控转向过程干预,通过建立空间演变预测模型预判城市蔓延趋势,提前布局基础设施供给方案,有效提升国土空间开发保护的主动性与前瞻性。

### 1.3 多源数据融合能力

数字化测绘平台的多源数据融合能力通过构建跨维度的数据治理框架,实现了自然资源与社会经济要素的空间化重构。该技术体系攻克了多模态数据整合的核心难题,针对遥感影像与激光点云的空间基准差异,采用特征不变性变换算法实现亚像素级配准精度;对于非空间属性数据,开发地理语义解析引擎,将工商注册、人口普查等结构化信息映射至标准地理网格单元。融合架构依托区块链技术建立数据溯源机制,确保规划、市政、生态等部门数据的版本一致性,同时通过三维体素建模技术整合地下空间权属信息与地表建筑功能属性,形成全要素城市信息模型(CIM)。在分析层面,空间关联规则挖掘算法揭示出公共服务设施布局与人口热力分布的空间失配问题,辅助确定教育医疗资源的优化配置方案。时空知识图谱技术的引入,使得系统能够自动识别轨道交通建设与地质脆弱区的空间冲突,生成开发避让建议方案。这种融合能力推动了规划决策支持系统从二维平面分析向四维时空推演的跨越,其构建的多目标优化模型可同步评估规划方案的经济效益、生态影响与社会公平性,为国土空间精细治理提供多维决策依据。

## 2 数字化测绘技术体系的关键技术

### 2.1 地理信息系统

地理信息系统(GIS)作为数字化测绘技术体系的核心支撑平台,通过构建多源空间数据的智能治理框架,为

国土空间规划提供了全流程决策支持。GIS技术通过标准化数据接口整合数据库、电子表格等异构数据源,运用空间插值算法与拓扑校验工具,将属性信息转化为具有地理坐标系的矢量图层,生成1:500至1:50000等多比例尺专题地图。其空间关系建模能力体现在对构筑物密度、人口热力分布、水系网络拓扑等要素的空间关联规律揭示,通过核密度分析、网络分析等算法为公共服务设施布局提供量化依据。三维地理编码技术融合地表高程模型与地下管线埋深数据,构建城市地质体素模型,支持轨道交通选线中的地质风险模拟。在数据处理层面,GIS通过时空权重模型解析城镇扩张与生态退化的空间传导效应,结合多准则决策算法测算不同开发强度对区域生态安全格局的影响阈值。与建筑信息模型(BIM)的系统集成打通了宏观规划与微观设计的壁垒,实现历史街区建筑立面改造方案的三维合规性审查。这种技术体系正推动规划管控从二维平面向立体空间治理转型。

### 2.2 全球定位系统

全球定位系统(GPS)基于卫星三角定位原理,通过接收器同步解算四颗及以上卫星的伪距与载波相位观测值,利用最小二平差算法确定测站三维坐标,其静态测量精度可达毫米级。在国土空间规划中,GPS技术通过建立连续运行参考站(CORS)网络,为无人机航测与移动测绘设备提供实时差分改正数,将城乡控制网建设效率提升80%以上。其动态定位能力支撑智慧城市部件普查,通过车载GPS与惯性导航组合系统,实现行道树、路灯等市政设施的空间位置与属性信息同步采集。在工程放样阶段,GPS-RTK技术将规划图纸坐标直接导入手持终端,通过激光导向实现道路中线与建筑红线的现场标定,精度误差控制在±2cm以内。相较于传统全站仪测量,该技术使外业人员配置减少50%,数据采集效率提升3倍,特别适用于大型线性工程跨区域坐标统一传递。随着北斗三号全球组网完成,其星基增强服务(SBAS)进一步拓展了复杂地形区的信号覆盖,为国土空间规划实施监测提供全天候定位基准。

### 2.3 遥感技术

遥感技术的革新正在重构国土空间规划的感知范式,其技术突破体现在多尺度观测能力的协同提升与智能解译体系的深度耦合。高光谱遥感的光谱解析机制依托数百个离散波段的光谱响应特征,有效辨识土壤重金属迁移路径与植被生理胁迫的隐性关联,为污染地块修复规划提供分子级诊断依据。合成孔径雷达系统通过相位干涉测量技术,穿透云层并突破昼夜成像限制,持续获取活动断裂带毫米级形变场数据,支撑地质灾害易发区的空间避让策略制定。激光雷达技术的多回波特性突破植被遮蔽限制,通过点云分类算法重建真实地形表面模型,解决山地、湿地等复杂地貌区域的规划基底数据缺失难题<sup>[1]</sup>。智能解译系

统引入时空注意力机制,基于时序遥感影像构建城市空间扩展的时空演变模型,通过阴影三维重构技术反演建筑密度与容积率空间分异特征。在夜间空间监测领域,基于微光传感与热红外辐射反演的技术融合,揭示城市能耗热点的空间分异规律,为低碳基础设施布局提供新型观测维度。当前遥感技术正从数据获取层面向空间认知服务转型,其构建的空天地一体化监测网络产出地表覆盖变化产品、生态安全指数等衍生数据集,直接驱动规划方案的环境影响模拟与空间冲突预警。该技术体系在历史城区风貌管控中展现独特价值,通过高分辨率影像纹理分析识别违建屋顶改造行为,为空间形态保护提供技术监管手段,全面赋能国土空间治理的精准化与智慧化进程。

### 3 数字化测绘技术在国土空间规划中的应用分析

#### 3.1 空间数据获取与处理

空间数据获取与处理技术的演进正推动国土空间规划进入全要素数字化时代,其技术突破体现在多源传感设备的协同采集与智能处理流程的深度融合。无人机集群通过预设航摄规则库自主规划飞行航线,搭载多光谱相机与激光雷达同步获取地表覆盖类型与三维结构信息,解决传统单传感器数据采集的视角局限问题。车载移动测量系统集成全景相机与惯性导航单元,在道路巡检过程中实时捕获街景立面纹理与市政设施空间分布,构建城市街坊级高精度实景模型。在复杂地形区域,地基激光扫描仪通过多站点云配准技术重建地质露头三维结构,为边坡治理规划提供厘米级地形数据基底<sup>[2]</sup>。数据处理环节采用深度残差网络架构,通过迁移学习策略训练出适应不同地貌特征的语义分割模型,实现点云数据中植被郁闭度、建筑退线等规划要素的自动化提取。在此基础上,构建拓扑关系校验规则库,自动识别道路中线偏移、用地边界重叠等空间逻辑错误,确保规划基础数据的几何精度与拓扑一致性。生成的多细节层次(LOD)模型通过IFC标准接口对接规划仿真平台,支持建筑群日照时长计算、天际线视域分析等精细化模拟需求,其标准化数据输出格式实现与国土空间规划一张图系统的无缝衔接。这种技术体系不仅重构了规划基础数据生产流程,更通过建立数据质量追溯机制,为规划实施监督提供可信度验证依据,全面赋能国土空间治理的数字化转型。

#### 3.2 自然资源调查与动态监测

自然资源调查与动态监测技术通过构建多源异构数据融合引擎与智能诊断模型,革新了国土空间治理的监管范式。高光谱成像光谱仪通过解析地物特征光谱曲线,构建矿物成分诊断模型,精准辨识非法采矿活动遗留的光谱异常区域,突破传统目视解译的认知局限。合成孔径雷达

(InSAR)技术通过相位差分干涉测量,捕捉地表毫米级形变场特征,为地质灾害隐患区规划避让提供动态决策依据。激光雷达(LiDAR)点云分类算法穿透植被冠层重建真实地形表面,结合多期数据对比分析地表非法取土的空间分布模式。智能监管系统采用迁移学习策略,基于历史违法案例库训练空间形态异常检测模型,结合三维地形变异指数构建破坏行为特征图谱,实现疑似违法图斑的自动筛选与空间定位<sup>[3]</sup>。在生态修复工程实施阶段,多源传感网络实时采集土壤墒情、植被覆盖度等生态参数,通过构建生态系统恢复力评估指标体系,动态优化修复工程的实施强度与空间布局方案。该技术体系深度集成自然资源确权登记数据库,当监测到产权边界内出现未批建设项目时,自动触发空间合规性审查流程并生成执法决策树。这种技术框架建立感知-诊断-处置-评估的全链条治理机制,推动自然资源监管从被动响应向主动防控转型,为统筹生态安全与资源高效利用提供智能化技术基底。

### 4 结语

数字化测绘技术的全流程革新重构了国土空间治理的技术范式,其核心价值在于建立了数据感知-智能分析-决策支持-实施反馈的闭环治理链条。通过高精度空间信息生产体系与动态监测网络的深度融合,系统性增强了规划方案的空间适配性与实施过程的可控性。多源数据融合引擎构建起自然资源与社会经济要素的时空关联图谱,为国土空间用途管制提供多维决策依据。随着数字孪生建模技术与区块链存证机制的深度融合,规划管控正从平面图纸管理转向立体空间治理,实现地上地下空间资源的精准确权与协同配置。在技术演进层面,人工智能驱动的空间推理模型将持续优化规划方案的韧性设计能力,而5G边缘计算技术将推动规划监管向实时响应模式转型。这种技术变革不仅重构了国土空间治理的工具箱,更催化了规划学科从经验判断向数据驱动决策的方法论革新,为构建可感知、能学习、自适应的国土空间智慧治理体系奠定技术基底。

#### [参考文献]

- [1]段培鸿,郭瓦,段滕琦.数字化测绘技术在国土空间规划中的应用分析[J].中国战略新兴产业,2025(8):131-133.
  - [2]丁旭强.数字化测绘技术在工程测量中的运用研究[J].居业,2025(3):205-207.
  - [3]李晓.数字化测绘技术在工程测量中的运用[J].城市建设理论研究(电子版),2024(18):162-164.
- 作者简介:杨柳(1987.11—),毕业院校:中南民族大学,所学专业:法学,当前就职单位:广西自然资源勘测设计有限公司,职务:无职称级别:中级工程师。

## GIS 和测绘技术在基本农田保护规划中的应用

王彤

广西壮族自治区国土测绘院, 广西 南宁 530000

**[摘要]**基本农田对于国家粮食安全以及生态安全而言,有着极为重要的保障作用,其保护情况以及是否能够合理利用,和社会经济能否实现可持续发展紧密相关。伴随信息技术以及空间科学不断发展,地理信息系统也就是 GIS,还有测绘技术,在基本农田保护规划方面的应用变得越来越普遍了。大幅提升了农田资源调查所具备的精度,同时也让效率得到了提升,给农田质量的评价工作、动态监测事宜、科学规划的相关内容以及精细化管理方面,都给予了较为坚实的支撑。文中较为详细地阐述它们在精准开展边界测量、进行空间数据管理、针对农田质量展开监测以及为规划决策给予支持等多个方面发挥出来的具体作用。研究得出的结论显示, GIS 和测绘技术相互深度融合之后,保护规划的科学性以及可操作性都得到了明显提升,促使管理模式从原本的静态状态朝着动态监测的状态去转变,进而为落实耕地保护红线以及保障粮食安全提供了较为可靠的技术保障。

**[关键词]**GIS; 测绘技术; 基本农田; 保护规划

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17524

中图分类号: TP2

文献标识码: A

### Application of GIS and Surveying Technology in Basic Farmland Protection Planning

WANG Tong

Guangxi Land Surveying and Mapping Institute, Nanning, Guangxi, 530000, China

**Abstract:** Basic farmland plays an extremely important role in ensuring national food security and ecological security. Its protection and rational utilization are closely related to whether the social economy can achieve sustainable development. With the continuous development of information technology and spatial science, the application of geographic information systems (GIS) and surveying technology in basic farmland protection planning has become increasingly common. The accuracy of farmland resource investigation has been greatly improved, while the efficiency has also been enhanced, providing solid support for the evaluation of farmland quality, dynamic monitoring, scientific planning, and refined management. The article elaborates in detail on their specific roles in precise boundary measurement, spatial data management, monitoring of farmland quality, and providing support for planning decisions. The conclusion drawn from the research shows that after the deep integration of GIS and surveying technology, the scientificity and operability of protection planning have been significantly improved, promoting the transformation of management mode from the original static state to the dynamic monitoring state, thereby providing a more reliable technical guarantee for implementing the red line of farmland protection and ensuring food security.

**Keywords:** GIS; surveying and mapping technology; basic farmland; protection plan

### 引言

基本农田于国家粮食生产而言,乃是极为重要的一项基础所在。它自身拥有着比较不错的质量,并且产量也相对稳定。然而伴随着城镇化进程不断加快,耕地便开始面临着诸多挑战,像是会被占用、会出现碎片化情况以及质量也会有所下降等等。传统的那种单纯依靠人工去开展调查并且凭借纸质地图来实施保护的方式,已经没办法契合当下的现代需求了。GIS 技术能够把多种来源的空间数据加以整合起来,进而达成对农田资源进行可视化呈现以及开展综合分析的目的。而测绘技术则是能给予高精度且实时的边界以及地形数据方面的有力支撑。当这两者相互结合起来之后,便切实有效地提升了保护规划所具有的科学性以及工作效率,从而实现了对于农田资源展开动态的监控以及实现长效的管理目标。本文全面且细致地对 GIS 与

测绘技术在基本农田保护规划里面所起到的作用以及具体的应用情况展开探讨,希望能够为相关领域给予一定的理论层面以及实践层面的参考依据。

### 1 GIS 和测绘技术概述

#### 1.1 GIS 技术

地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 是一种用于捕获、存储、分析和处理地理空间数据的技术。它通过整合地理信息与相关属性数据,为用户提供对空间信息的可视化分析和决策支持。GIS 的核心在于将地理位置与相关信息结合,使用户能够在地图上直观地查看和分析数据。GIS 技术广泛应用于城市规划、环境管理、资源调查、交通运输、农业等多个领域。在城市规划中, GIS 可以帮助规划人员分析土地使用、人口分布、基础设施等信息,以支持可持续发展的决策。交通运输领域则利用 GIS 进行路

线优化、交通流量分析等。GIS 的基本组成包括硬件、软件、数据和人员。硬件方面，GIS 系统需要计算机、服务器及其他存储设备。软件则包括地理信息系统应用程序，用户可以利用这些软件进行数据处理、分析和可视化。数据是 GIS 的核心，包含地理空间数据（如矢量和栅格数据）和属性数据（如人口、气候等信息）。近年来，随着技术的发展，GIS 也在不断演变。云计算、移动技术和大数据分析的融合，使得 GIS 能够实时处理和分析海量的地理信息，提升了其在各种应用场景中的灵活性和响应速度。

## 1.2 测绘技术

测绘技术乃是凭借现代测量仪器、各类传感器以及计算机技术来开展工作的，其可针对地物、地貌还有空间位置展开采集活动，并且对其进行相应的处理操作，最终予以表达呈现，由此形成了一套具备综合性的技术体系。该技术体系包含了地形测量、工程测量、航空摄影测量以及卫星定位测量等诸多不同的手段，能够获取到极为精准的空间位置方面的信息，同时也能够取得地理形态相关的数据。在基本农田保护规划这一领域当中，测绘技术主要被用于精准地确定农田的边界所在，另外还要去测量地块的实际面积大小，要对地形的起伏情况展开分析，而且要对土地利用方面所发生的各种变化加以监测。传统意义上的测绘工作是以人工来进行测量的，其在效率方面以及所能涉及的覆盖范围上都存在着一定的限制。而现代的测绘技术就不一样了，它是借助全球卫星导航系统(GNSS)、无人机航测以及激光雷达(LiDAR)等一系列的手段来开展工作的，如此一来便使得数据获取的精度有了很大的提升，获取的速度也得以加快。测绘数据所具有的高精度这一特性，让它自然而然地成为了 GIS 分析当中的基础输入内容，进而能够确保在农田保护规划里边划定边界以及进行面积计算时都能够达到较高的准确性。与此测绘技术所具备的三维建模功能以及数字地形分析功能，还能够为农田排水的设计工作、灌溉布局的相关事宜以及土壤保护方面的各项措施给予科学层面的依据，进而达成对农田资源进行立体化且全方位管理的目标。

## 2 GIS 和测绘技术在基本农田保护规划中的作用

### 2.1 精准边界测量与定位

基本农田保护规划最为关键的一项任务就是要清晰明确农田具体所在的空间位置以及其边界范围。唯有借助精准的测绘手段并且加以准确定位，才能够切实保障各项保护举措得以有效施行。把 GIS 也就是地理信息系统和测绘技术相互结合起来运用，如此一来便能够把具备高精度的测绘所获取的数据同其本身所具备的空间分析相关功能紧密且有机地融合到一起，进而达成对农田边界进行精确无误识别以及准确标绘的目的。测绘技术能够凭借 GNSS 定位系统还有无人机开展航测的方式，较为快速地采集到农田的空间位置方面的数据信息，而后把这些数据导入到 GIS 平台当中，以此来实现数据的可视化呈现以及后续的数据管理工作。在整个这个过程当中，农田的边

界线不但会被以数字化的形式予以存储保存，而且还可以和行政区划数据、土地利用现状等相关数据一道展开叠加式的分析操作，从而充分确保在划定边界时能够体现出科学合理的特性。这样一种高精度的边界测量工作，一方面能够对防止农田遭到非法的占用或者被挤占到起到积极作用，另一方面还能够为针对农田开展分级管理以及制定相关的补偿政策等方面提供较为可靠的数据方面的有力支撑。

### 2.2 空间数据管理与分析

农田保护规划会牵涉到数量颇多的空间数据，像遥感影像、土地利用类型、土壤质量指标以及水资源分布等方面的数据都有涵盖。GIS 技术赋予了极为强劲的空间数据管理与分析方面的效能，其能够把从不同源头获取来的且呈现出不同格式的数据予以整合起来，进而构建起一个统一的空间数据库。借助 GIS 所具备的叠加分析、缓冲区分析还有网络分析等诸多功能，规划人员得以从多个不同的角度去对农田的空间分布状况、周边的环境情况以及实际的利用情形展开综合性的评估。举例来讲，把土壤肥力相关的数据和灌溉的具体条件相互结合起来考量，便能够划定出需要优先加以保护的那些高质量农田区域；将交通网络的情况以及市场的分布状况相互关联起来分析，就能够对农产品的流通路径做出相应的优化处理。这样的依托 GIS 所开展的空间数据管理工作，一方面使得信息的利用效率得以提升，另一方面也为农田保护规划给予了科学且可量化的决策方面的依据。

### 2.3 农田质量动态监测

基本农田的质量会对粮食产量以及农业可持续发展产生直接影响，其变化的情况和耕地资源的长期利用还有生态环境的稳定有着紧密联系。借助 GIS 和测绘技术相互融合的方式，能够达成对农田质量展开连续的、精确的、可视化的动态监测目的。测绘技术具备周期性且精度高的特点，能够获取农田的地形、地貌、植被覆盖以及土壤状况等相关数据，进而形成空间信息的基础支撑力量。GIS 平台针对这些数据开展多时相、跨年度的时序分析操作，以此来识别并且量化农田质量的变化趋势以及影响因素。举例来讲，遥感监测能够在第一时间察觉到土壤出现退化、盐碱化、水土流失或者被非农建设占用等各类问题，并且结合地理位置精准定位具体受到影响。

### 2.4 规划支持与决策辅助

农田保护规划属于综合性且系统性的工作范畴，其涉及到土地利用、生态保护以及农业生产等诸多方面。GIS 以及测绘技术能够给予可视化并且可量化的空间信息，以此为规划赋予强有力的决策方面的支持。于 GIS 平台之上，规划人员是能够模拟不同保护措施给农田资源所带来的影响的，同时还能评估各类方案的可行性以及成本效益情况。举例来讲，借助 GIS 开展情景分析工作，便能够预测城镇扩张针对农田所存在的潜在威胁，并且能够提前着手规划保护缓冲区。结合测绘数据展开三维分析操作，可对农田水利设施的布局予以优化，进而提升土地利用的效率。这样一

种以数据当作基础的决策辅助方式,能够颇为有效地提高规划的科学性以及前瞻性,降低决策所面临的风险。

### 3 GIS和测绘技术在基本农田保护规划中的应用

#### 3.1 基本农田边界划定

在开展基本农田保护相关工作期间,边界划定无疑属于其中的基础性环节,而其划定的准确性会直接影响到保护政策实际的执行成效。把GIS和测绘技术相互结合起来之后,能够让边界划定工作的开展变得更为高效,同时在精确度方面也得以提升。借助无人机航测以及卫星遥感这类手段来获取高分辨率的影像,接着再运用测绘技术去开展地面控制点的相关测量工作,如此一来便能够实现影像与实地位置的高度精准匹配,进而形成精确无误的边界线。GIS平台具备将这些边界数据同土地利用的现状情况、行政区划的具体状况以及地形等相关信息进行叠加分析的能力,以此来保证划定范围具备科学性以及合理性。数字化后的边界数据是能够长期予以保存的,并且还能做到实时更新,这为后续的监管工作以及规划调整事宜提供了相应的数据基础。

#### 3.2 农田质量评价体系建设

对农田质量展开科学评价,是实施有效保护以及合理利用的基础前提。其评价得综合考量诸多方面,像土壤肥力、地形坡度、土壤质地这类自然条件,当然还要把灌溉水源的稳定情况及其覆盖范围、交通的通达程度、农田基础设施完备的程度以及周边生态环境的实际状况等等多种因素都涵盖进去<sup>[1]</sup>。GIS技术可帮大忙,它能把来源不一样、类型也各不相同的各类数据整合到一起,还能进行标准化处理,进而于统一的空间信息平台之上构建起多维度的农田质量数据库。借助构建加权评分、分级指数或者层次分析等空间分析模型的方式,对各个地块开展综合的质量计算与相互比较,如此一来便能形成一套科学且系统的农田质量评价体系。测绘技术在这个过程中起到极为关键的作用,它所给出的高精度地形测量方面的成果、土壤理化性质调查所得的数据以及灌溉、道路等基础设施的具体精确位置与属性相关信息,使得评价结果更有客观性、更为细致精准并且具备更强的操作可行性。凭借GIS所具有的强大可视化功能,评价结果能够以分级地图、热力图或者空间分布图这样的形式直观地展现出来,这样一来,既方便去识别高质量和低质量农田各自的空间分布状况,又能为政府制定差异化的保护政策、对土地利用格局加以优化、开展农田改良相关工程以及实施生态修复措施给予强有力的技术。

#### 3.3 动态监测与变化识别

农田保护是一项长期的工作,要持续对农田状况加以监控。GIS以及测绘技术可达成对农田范围、利用方式、质量变化的动态监测目的,借助多时相数据的对比,能迅速识别出变化区域<sup>[2]</sup>。比如,遥感数据可呈现出农田被非法占用、荒废或者转为建设用地的情形;GNSS定位与无人机影像能够及时察觉到边界变化或者地块形态的改变。

这些变化数据经过GIS平台展开分析之后,能够生成变化分布图以及趋势图,助力管理部门快速采取应对举措。

#### 3.4 规划实施监管

规划能否有效落实,一方面要看设计阶段是否科学合理,另一方面在实施过程中得靠严格的监管以及动态的管理才行。GIS还有测绘技术,在规划实施监管这块儿起到关键作用。要是搭建起一个集成化的农田保护监管平台,那就能把边界数据、土地利用变化的情况、农田质量监测的结果以及相关的环境信息等实时整合起来,而且还能不断更新,进而形成一个既直观又能动态呈现的可视化管理界面,如此一来,监管人员开展全面监控就方便多了<sup>[3]</sup>。测绘技术所给出的高精度空间数据,能确保监管信息既准确又及时,这不就让监管部门可以依据最新的空间数据迅速去开展执法检查、确定问题所在以及进行现场调查了吗?尤其是在碰到有人非法占用、擅自改变用途或者破坏基本农田这类行为的时候,系统能够很快锁定具体地块的位置,然后结合无人机航拍的数据以及现场测量的数据,把相关证据给采集起来,执法的效率以及科学性可就大大提升了。除此之外,这个依托GIS以及测绘技术构建起来的监管体系,不但实现了信息的共享以及联动,而且还促使农田保护从传统的那种被动管理模式朝着主动预警以及智能调控的方向转变,为构建起长效且规范的农田保护机制奠定了稳固的技术基础,有效保障了基本农田保护规划得以切实落实,同时也有力推动了农业可持续发展目标的达成。

### 4 结语

GIS以及测绘技术给基本农田保护规划带来了全面的技术支撑,在精准确定边界、评定质量、开展动态监测以及实施监管等方面所起到的作用也已经被充分验证了。这两者相互融合,一方面提高了规划的科学性以及执行力度,另一方面促使农田保护工作朝着信息化、智能化的方向去发展。在未来,随着遥感分辨率不断得到提升、人工智能分析能力逐步增强以及大数据平台日益普及,GIS与测绘技术在农田保护当中将会发挥出更加重要的作用,达成对耕地资源的全生命周期管理,进而助力国家粮食安全以及生态文明建设目标得以实现。

#### [参考文献]

- [1]柯昌玉,王建春.GIS和测绘技术在基本农田保护规划中的应用[J].新农民,2024(26):40-42.
- [2]张克智.测绘技术在高标准基本农田建设中的应用[J].大众标准化,2023(3):100-101.
- [3]刘建良,柯昌玉.利用GIS和测绘技术对基本农田保护区的动态监控研究[J].新农民,2025(1):70-72.

作者简介:王彤(1992.11—),毕业院校:湖北国土资源职业学院,所学专业:地理信息系统与地图制图技术,当前工作单位:广西壮族自治区国土测绘院,职务:技术员,职称级别:工程师。

## 地热资源勘查中水文地质调查的运用分析

聂龙龙

河北省煤田地质局环境地质调查院, 河北 石家庄 050085

**[摘要]**地热资源属于清洁可再生资源范畴, 凭借其稳定供应能源这一特性, 已然收获了相当多的关注目光。水文地质调查在地热资源的勘查活动当中, 占据着极为关键的地位。其较为系统化的调查内容以及颇具科学性的方法手段, 给地热资源的识别工作、相关评价事宜以及后续开发事宜都提供了基础层面的有力保障。本文会阐述水文地质调查所涉及的基本理论内容以及相应的方法, 接着依据地热资源勘查的实际具体需求情况, 对水文地质调查在多个方面的应用实践展开分析, 这些方面包括地热异常区的识别、含热水层空间分布状况的了解、地热水补给以及流动路径的分析、水温场还有水化学特征的识别以及动力学模型的构建等等。同时, 针对当下阶段水文地质调查工作里存在的技术方面的一些瓶颈问题, 还会提出像引入数字化以及智能化技术这类的优化策略。通过针对水文地质调查展开较为全面细致的分析, 以此来推动地热资源勘查技术不断向前发展进步, 达成地热资源能够得到科学合理的开发并且实现可持续利用的良好目标。

**[关键词]**地热资源; 水文调查; 地质调查; 运用

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17529

中图分类号: P314

文献标识码: A

### Application Analysis of Hydrogeological Survey in Geothermal Resource Exploration

NIE Longlong

Environmental Geological Survey Institute of Hebei Coalfield Geological Bureau, Shijiazhuang, Hebei, 050085, China

**Abstract:** Geothermal resources belong to the category of clean and renewable resources, and have gained considerable attention due to their stable supply of energy. Hydrogeological survey plays a crucial role in the exploration of geothermal resources. Its systematic investigation content and scientific methods provide a strong foundation for the identification, evaluation, and subsequent development of geothermal resources. This article will elaborate on the basic theoretical content and corresponding methods involved in hydrogeological surveys. Then, based on the specific needs of geothermal resource exploration, it will analyze the practical application of hydrogeological surveys in multiple aspects, including the identification of geothermal anomaly areas, understanding of the spatial distribution of hot water layers, analysis of geothermal water supply and flow paths, identification of water temperature fields and hydrochemical characteristics, and construction of dynamic models. At the same time, in response to some technical bottlenecks in the current stage of hydrogeological survey work, optimization strategies such as introducing digital and intelligent technologies will also be proposed. By conducting a comprehensive and detailed analysis of hydrogeological surveys, so as to promote the continuous development and progress of geothermal resource exploration technology, and achieve the good goal of scientific and rational development and sustainable utilization of geothermal resources.

**Keywords:** geothermal resources; hydrological survey; geological survey; application

### 引言

随着全球能源结构逐步转型升级, 地热能作为一种具备低碳环保优势的清洁能源, 正逐渐变成能源开发的关键方向。地热资源要实现高效利用, 应精准掌握其资源特征才行, 而水文地质调查是地热勘查工作的基础, 肩负着识别地下热水系统以及其动力特征的重任。它既要地下水赋存环境展开综合性解析, 又要揭示地下水和地热能之间的动态关联, 构建热储系统的整体框架。当下, 地热资源勘查所面临的复杂地质环境以及多样化的水文条件, 使得水文地质调查对精度的要求更高, 并且需要多学科协同配合。所以深入剖析水文地质调查的内容、方法以及其在地热资源勘查中的具体运用情况, 对于提高勘查质量、优化资源开发方案有着极为重要的意义。本文围绕水文地质调查的理论基础以及实际应用, 全面分析其在地热勘查中的

作用以及存在的问题, 目的是给未来地热资源的科学勘查与合理开发提供理论方面的支撑以及实践层面的指导。

### 1 地热资源勘查概述的概念

从概念上来看, 地热资源的勘查具体指的是, 针对某一地理区域内地下分布地热资源的情况, 进行全面、科学地排查。这种综合性的地质工作, 要求涵盖地球化学、地球物理和地质等多个学科的交叉操作, 勘查的过程也要依据不同的工作程度, 分为前期调查、预可行勘查、可行性勘查和开采等诸多阶段。具体来说, 勘查的主要内容包括: 查明地下热储层的岩石特征、岩层性质以及空间分布规律, 结合常温含水层之间的水力联系, 深入探测地热流体的温度状态和物理化学性质等, 进而对利用地热资源的可行性进行科学的分析与评价, 明确温泉地热资源的具体形成条件, 界定资源可开发利用区域的合理范围和开发深度, 并结合这些科学的

数据,准确地计算出地热资源的处理量或热力值,提出开发建议和可持续利用的综合性建议。确保资源有效利用的同时,使生态环境不遭到破坏,切实实现高质量开发的目的。

## 2 水文地质调查的基本内容与方法

### 2.1 水文地质调查的理论基础

水文地质调查属于一门交叉学科,把地质学、水文学、地球物理学还有环境科学的关键理论融合到了一起,其根本在于对地下水的形成、赋存、流动以及它和地质环境之间相互作用能够有完整的理解。地下水是地热系统的一个重要构成部分,它的流动规律以及物理化学特性可直接体现出热能的分布状况以及迁移的路径。水文地质调查借助对含水层的岩性特点、渗透性以及连通性的分析,再结合地下水水位、水温还有水化学方面的数据,来揭示地下水系统的空间结构以及动态演变的情况。从理论层面来讲,水文地质调查着重于构建地下水流动的闭合系统模型,精准地模拟水-岩相互作用以及热质运输的过程,以此给地热系统的识别与评价给予科学方面的依据。随着数值模拟以及遥感技术不断向前发展,水文地质调查理论也逐渐朝着动态、多尺度以及多参数集成的方向去演进,这使得对复杂地热系统的解析能力得到了大幅度的提升。

### 2.2 地下水系统与含水层特征研究

地下水系统划分以及含水层特征解析,在地热资源勘查中属于水文地质调查的关键环节。含水层的空间分布状况、储水性能情况以及水力联系状态,对热储的补给能力以及排泄能力起到决定作用。借助钻探操作、抽水试验开展以及水位观测实施,并且结合水文地质参数测定工作,便可以识别出不同含水层彼此间存在的水力连通性以及流动模式。与此水化学分析能给出水体来源判定依据以及流动路径判断依据,助力区分热水和常温地下水系统。针对含热水层的温度剖面以及动态变化展开监测,可进一步将地热水体的热力特征以及稳定性揭示出来。上述这些研究成果,为地热系统开发方案的制定以及资源可持续管理打下了稳固的基础。

## 3 水文地质调查在地热资源勘查中的应用实践

### 3.1 地热异常区的识别与初步圈定

地热异常区的识别在地热资源勘查工作里属于极为关键的首个环节,要想后续开展详尽勘探以及制定开发规划,那么准确地将异常区圈定出来便有着不容小觑的指导价值。借助水文地质调查这一手段,经由系统性地去测量地下水的温度、矿化度还有水化学特性,如此一来便能够把地下水跟地热流体二者之间存在的联系以及它们在分布上呈现出来的差异给揭示出来。把地表热泉、蒸汽喷口等这类地热现象的空间分布情况综合起来考量,这样便可以大体上描绘出潜在地热异常区大概处于怎样的范围之内。水文地质测绘能够对地下含水层的空间构造以及水流的方向予以揭示,这对于我们去判断地热流体具体的活动路径以及热能释放的具体位置是很有帮助的。同时,凭借钻孔测温以及地球物理勘查所获取到相关数据,还能够

进一步地让异常区的边界变得更加清晰明确,进而确定热储所处的深度区间以及其热力强度到底是怎样的状况。这样一种依托水文地质综合参数来对异常区加以识别的方法,切实有效地提升了地热资源勘查工作的科学程度以及准确程度,从而避免了资源出现盲目开发的不利情形。

### 3.2 含热水层的空间分布与水文地质特征

含热水层在地热资源当中充当着主要的储存体角色,所以对其空间分布以及水文地质特征展开精准的解析工作,是保障地热资源得以合理开发利用的重要基础所在。水文地质调查会借助地层剖面分析这一手段,同时开展抽水试验,并运用水文地球化学相关的方法,如此一来便能够获取到含热水层的关键参数,像它的厚度、渗透性还有封闭性等等这些都涵盖其中。热水层往往存在于那些断裂裂隙发育情况较好或者孔隙结构比较优良的岩层里面,在这种情况下,它和周围冷水层之间所形成的水力联系以及二者维持的动态平衡状况,将会对地热资源能否实现稳定的供应产生极为直接的影响。水文地质调查还会着重留意含热水层的补给来源情况以及更新速度方面的信息,只有这样才能确保在对资源进行开发的时候不会出现水温降低或者水量枯竭这类不利的局面。把地下水流程和温度场结合起来进行叠加分析的操作,是能够清楚明确地弄明白含热水层的流体循环具体路径以及热储类型到底是怎样的,进而为科学且客观地去评估热储所具有的潜力以及开发能够持续的寿命给予十分坚实的依据支撑。

### 3.3 地热水补给、径流与排泄条件分析

地热水的补给、径流以及排泄,这些过程对于维持地热系统的动态平衡而言极为关键,它们直接对热储层的能量持续性以及开发潜力产生决定性影响。借助水文地质调查,也就是通过针对区域降雨情况、地表水的渗透状况以及侧向水流状态展开监测的方式,可将地热水的主要补给形式及其强度充分揭示出来。补给区域是否稳定,这与热储层水量能否得到补充以及地热流体循环效率的高低有着密切关联。要确定径流路径,就得依靠含水层的渗透性能以及地下水的具体流向,凭借水力坡度的测量以及水位的监测,便能较为精准地描绘出热水在地下的具体流动轨迹。排泄条件包含了地热水的自然出露情况、因蒸发而发生的散失情形以及向邻近含水层出现的流失状况,其呈现的形式多种多样,并且变化起来也颇为复杂。综合运用水位动态方面的监测数据、水温梯度的相关信息以及水化学示踪所获取的资料展开分析,就能够构建起地热水完整的水文循环系统,进而对地热资源的合理开发利用以及环境保护规划起到辅助作用。

### 3.4 地下水温度场、水化学特性与热储类型识别

地下水温度场以及其水化学特性的细致分析,属于判断地热系统性质和热储类型极为关键的环节。不同种类的地热系统,像导热型、对流型又或者混合型,在温度分布情况以及水化学成分方面会呈现出明显的差异。借助钻孔测温数据展开空间插值操作并绘制出地下水温度等值线,可

直观地呈现出热能在地下具体的分布状况。水样所具有的离子组成情况、同位素比值状况以及微量元素方面的特征,可反映出水体的来源情况、循环路径走向以及其与岩石相互作用的程度。把温度数据和水化学数据综合起来考虑,便能够较为科学地划分热储类型,识别热能的主要供给机制以及流动模式,进而给地热开发给予科学且合理的指导依据。这样一种多参数综合判别的方式,使得地热资源评估的准确性得以提升,同时也让开发具备了更强的可持续性。

### 3.5 地热系统水文地质动力学模型构建

借助前面所提及的调查成果,去构建水文地质动力学模型,这一做法对于达成地热系统定量分析以及预测而言,是极为关键的一个步骤。该模型把地下水补给边界、含水层的各项参数、流动的具体路径、温度呈现出的变化情况以及排泄的相关机制等诸多因素都综合起来予以考量,并且借助数值模拟的相关手段来将地热系统的动态演变过程清晰地揭示出来。像 MODFLOW 还有 FEFLOW 这类常用的模拟软件,在不同的开发情形之下,是能够对水位所发生的变动情况、温度出现的衰减状况以及水化学演变的具体趋势做出预测的<sup>[1]</sup>。动力学模型一方面为评估地热系统具备的可持续开采能力给予了科学层面的依据,另一方面也给优化井位的布局安排、设计热能回灌的方案以及制定分阶段开展开发工作的计划提供了决策方面的有力支持。凭借动态模拟的方式,研究人员可以预估在开发进程当中有可能会出现的各种风险以及所带来的环境方面的影响,进而切实保障地热资源得以高效地加以利用,同时也能够对生态环境起到保护的作用。

## 4 水文地质调查在地热勘查中的问题与对策

### 4.1 勘查精度与手段的局限性

当前水文地质调查在地热资源勘查方面依旧存在一些问题,比如勘查精度不够高以及技术手段受到限制等。因为地热系统本身的复杂程度较高,并且地下环境是没办法直接去观察到的,所以像钻探、水位观测以及化学分析这些传统的勘查方法,尽管能够获取到基础数据,但是会受到样本数量以及空间分布方面的限制,很难完整地反映出地下水文地质系统的实际情况<sup>[2]</sup>。在部分区域,地质条件较为复杂,断裂带比较密集,而且水文环境的变化也比较剧烈,这就进一步加大了对勘查数据进行解释的难度。地球物理探测以及遥感技术虽说已经取得了一定进展,不过它们的分辨率以及精度还是不能够完全满足对深部热储系统进行识别的需求。勘查数据出现误差积累以及信息缺失的情况,这在一定程度上限制了对地热资源规模以及质量做出准确评估的能力,从而也对开发决策的科学性以及合理性产生了影响。

### 4.2 优化路径:数字化技术与智能化手段引入

当前存在诸多问题,要想提升水文地质调查水平,引入数字化技术以及智能化手段便成了必不可少的途径。数字化技术能够达成数据采集、存储、处理以及分析整个流

程的信息化管理,进而让数据的准确性以及实时性得以提高。借助理信息系统也就是 GIS、遥感还有三维建模技术,可以将地下水文地质结构以及地热异常分布直观地展示出来,助力决策者做出精准的判断<sup>[3]</sup>。并且运用人工智能以及机器学习技术,可以从海量且多维度的数据当中提取出关键特征,实现对地热系统的动态模拟以及预测。像无人机遥感、水文自动监测站以及高精度地下探测设备这类智能化仪器,明显提高了调查的效率以及深度。具体来讲,运用高分辨率地球物理探测技术,比如三维地震成像以及电法等,来对断裂构造展开细致的勘测工作,与此把多时相遥感影像同自动水文监测数据相结合,以此动态地去捕捉水文参数在时空方面的变化情况,这样做对于构建复杂断裂带及其所处水文环境的三维动态模型是很有帮助的。借助机器学习算法针对多源且异构的数据展开融合分析以及模式识别的操作,可以有效地识别出那些隐藏着的水文动力学规律,进而提升我们对于复杂系统予以理解以及做出预测的能力。通过搭建起跨学科并且能够实现多数据融合的数字平台,达成数据的共享以及协同分析的目的,如此一来便能够大幅提高在复杂地质水文环境之下开展勘查解释工作的准确性以及科学性,进而确保地热资源评估具备可靠性以及开发决策有合理性。

## 5 结语

水文地质调查属于地热资源勘查的关键基础部分,其肩负着呈现地下水系统构造、动态特性以及该特性与地热流体相互影响的重要使命。凭借系统的理论指引以及科学的调查途径,水文地质调查切实助力了地热异常区域的辨别、含水层分布状况的剖析以及地热系统水文动力学模型的搭建工作。不过当下阶段的勘查活动依旧存在精度不够、多学科协同受到限制以及技术装备滞后的诸多问题。所以务必要积极引入数字化以及智能化技术,强化跨学科数据融合,提高技术人员的综合能力并且提升装备现代化程度。唯有持续对调查手段以及管理机制加以优化,才能够促使地热资源勘查朝着精细化方向发展,达成热能的高效运用以及生态环境的可持续保护目标。在未来的日子里,水文地质调查会在地热能源开发方面发挥出更为重要的作用,给绿色低碳能源转型给予稳固的保障。

### [参考文献]

- [1]何健.地热资源勘查中水文地质调查的运用分析[J].中国战略新兴产业,2025(11):67-69.
  - [2]姚伟.地热资源勘查中水文地质调查的运用[J].内蒙古煤炭经济,2022(10):178-180.
  - [3]陆宇,姜星.地热资源勘查中水文地质调查的运用[J].中国资源综合利用,2024,42(5):74-77.
- 作者简介: 聂龙龙(1989.2—), 毕业院校: 河北地质大学, 所学专业: 地下水科学与工程, 当前工作单位: 河北省煤田地质局环境地质调查院, 职务: 无, 职称级别: 工程师。

## 大数据技术在测绘地理信息服务中的应用研究

王学谦

河北宝宇测绘服务有限公司, 河北 保定 071000

[摘要]随着大数据技术不断发展,其在测绘地理信息领域的应用越来越广泛。测绘地理信息工作涉及大量地形地貌特征的测量与分析,在复杂地形环境下,传统测量技术常常出现效率低、精度受限等问题。大数据技术能高效处理和智能分析海量地理信息,提升数据处理速度和精度,还能为地理位置服务提供精准支持,让测绘管理部门及时掌握最新动态信息。文中阐述大数据技术在测绘地理信息中的应用优势,探讨其在具体应用领域的实践及应用策略,希望能给相关从业人员和研究者提供参考。

[关键词]大数据技术;测绘地理信息;技术应用

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17512

中图分类号: P208

文献标识码: A

### Research on the Application of Big Data Technology in Surveying and Mapping Geographic Information Services

WANG Xueqian

Hebei Baoyu Surveying and Mapping Service Co., Ltd., Baoding, Hebei, 071000, China

**Abstract:** With the continuous development of big data technology, its application in the field of surveying and mapping geographic information is becoming increasingly widespread. The work of surveying and mapping geographic information involves the measurement and analysis of a large number of terrain and geomorphic features. In complex terrain environments, traditional surveying techniques often suffer from problems such as low efficiency and limited accuracy. Big data technology can efficiently process and intelligently analyze massive amounts of geographic information, improve data processing speed and accuracy, and provide precise support for geographic location services, allowing surveying and mapping management departments to timely grasp the latest dynamic information. The article elaborates on the advantages of big data technology in surveying and mapping geographic information, explores its practical applications and application strategies in specific fields, and hopes to provide reference for relevant practitioners and researchers.

**Keywords:** big data technology; surveying and mapping geographic information; technology application

### 引言

随着信息技术以及数字化发展进程不断加快,大数据技术在各个行业当中的运用变得愈发普遍,在测绘地理信息服务领域更是凸显出极大的潜力与价值。测绘地理信息涵盖空间数据的采集、处理、分析以及应用等方面,其数据量颇为可观、类型繁杂且更新频次较高,传统数据处理方式很难契合现代城市管理、资源规划以及环境监测对于数据精度与实时性所提出的高标准要求。大数据技术借助对海量、多源且异构的地理信息数据展开快速整合、分析以及可视化处理等一系列操作,不但可提高数据处理的效率,而且能为城市规划、基础设施建设、环境保护、应急管理以及智慧城市建设给予科学决策方面的有力支撑。与此伴随智能分析、云计算、物联网以及人工智能等技术的融合运用,测绘地理信息服务已从单纯的提供数据逐步朝着智能化、动态化、预测性以及决策支持的方向去发展,这使得其应用价值与服务能力都得到了很大程度的拓展。在这样的大背景之下,针对大数据技术在测绘地理信息服务中的应用展开相关研究,既具备理论层面的意义,有利于推动测绘信息化与数字化的发展进程,又拥有现实方面

的价值,能够为政府管理、企业运营以及社会服务给予技术方面的有力支撑以及数据方面的可靠保障,进而助推实现城市可持续发展以及智慧管理的相关目标。

### 1 大数据技术在测绘地理信息中的应用优势

#### 1.1 有利于相关部门加强科学规划与管理

大数据技术于测绘地理信息方面的运用,可大幅提升相关部门在科学规划以及管理层面的能力。借助对海量地理数据展开收集、存储、分析以及可视化处理等一系列操作,政府及管理机构便能够更为精准地掌握城市土地利用、人口分布、交通流量、环境变化等诸多维度的信息,进而为城市规划、资源配置还有基础设施建设给予科学依据。与此大数据还能够达成实时监测与动态分析的效果,使得管理部门能够及时察觉到潜在的问题,像是交通拥堵、环境污染或者灾害隐患等情况,并且采取具有针对性的举措来实施调控以及优化决策。

#### 1.2 促进测绘地理信息企业发展

大数据技术于测绘地理信息领域所开展的应用情况,为企业的发展开拓了相当广阔的可发展空间,并且赋予了其全新的发展动力。企业借助大数据技术,针对海量的地

理信息数据展开收集工作,而后对其进行整合处理,再进一步实施深度剖析。如此一来,企业便能够更为精准地把控市场需求的状况、土地利用的实际情形以及区域发展的整体趋势,进而对自身的业务布局做出优化调整,同时也完善服务方案的相关内容。与此大数据技术还推动了测绘产品以及服务方面的创新进程,像提供定制化的地图服务、开展空间数据分析以及给出可视化解决方案等,这些举措都有助于提升企业的竞争力,强化其市场响应的能力。企业凭借数据共享平台以及智能分析工具,可以提升数据处理效率,有效降低运营成本,进一步增强自身的科研能力以及技术实力,最终实现在激烈市场竞争环境下的可持续发展,促使测绘地理信息产业整体水平得以提升。

### 1.3 推动数字城市的建设

测绘地理信息与信息化技术相结合,对城市规划建设决策具有重要作用。在测绘数据处理过程中,应用大数据技术,能够快速准确地构建数字城市,全面展示城市目前的发展状况,协助绘制数字城市未来的发展蓝图<sup>[1]</sup>。利用大数据技术分析测绘地理信息数据,可充分利用其在智能决策方面的优势,分析当前城市发展过程中面临的问题,并结合城市发展的特点,提出相应的参考意见,完善发展过程中的短板。由此可见,大数据技术对加快数字城市建设有推动作用,能为数字城市建设作出贡献。

## 2 大数据在测绘地理信息中的应用

### 2.1 在智能城市建设中的应用

在智能城市建设进程里,大数据技术同测绘地理信息加以深度融合,给城市的精细化管理、科学决策以及可持续发展给予了强有力的支撑。当对城市空间数据、人口分布状况、交通流量情况、能源消耗程度、环境监测数据还有公共设施使用情形等诸多维度的信息展开实时采集、整合以及分析操作时,管理者便能够全方位地掌握城市运行的实际状态,精准识别出潜在存在的各类问题以及未来的发展趋势,达成对城市运行的动态化监控以及预测目标。比如,把地理信息系统和大数据分析相互结合起来,就能够对交通信号控制予以优化处理,合理地规划公共交通线路,还能预测到可能出现的交通拥堵状况以及出行方面的具体需求,进而促使交通效率得以提升。在城市规划这个层面上,通过分析土地利用情况、人口密度以及环境承载力等相关因素,可以科学且合理地开展功能分区工作、设施布局安排以及绿色空间规划事宜,有效避免出现盲目开发以及资源浪费的不良情况。在公共安全与应急管理方面,借助整合地理信息以及实时监测数据的方式,能够快速且准确地识别出灾害风险所在的区域范围,制定出相应的应急预案,并且实现快速的响应行动,以此来提升城市的韧性水平。除此之外,大数据还能为智能能源管理、环境质量评估以及市政服务优化等方面提供有力支持,让城市治理变得更加精细、高效并且更具智能化的特点。

### 2.2 在地理信息服务与城乡规划中的应用

在地理信息服务以及城乡规划领域当中,大数据技术的应用切实提高了规划的科学性,并且使得管理精度得以提升。借助对土地利用、人口分布、基础设施、环境资源还有社会经济活动等诸多来源的数据加以收集、整合以及分析,规划部门便能够全方位地知晓城乡空间格局以及其动态方面的变化情况,进而为制定合理的发展规划给予数据层面的有力支撑。就好比在城市扩展以及新区开发期间,大数据能够对土地承载力、交通流量还有人口增长趋势展开分析,由此科学地确定建设规模与功能布局。而在乡村振兴以及农村规划方面,联合地理信息数据,可对耕地质量、水资源分布以及生态环境状况做出评估,进而优化农业生产布局与基础设施配置。除此之外,大数据还能够达成对规划执行效果的动态监测目的,凭借空间分析以及可视化的方式,能够及时察觉到偏离规划目标的相关问题,从而为政策调整以及决策给予相应的依据。

### 2.3 在大数据地理信息划分中的应用

在大数据地理信息划分领域,借助大数据技术针对海量空间数据展开科学分类以及结构化管理工作,这无疑是在提升测绘地理信息应用效率以及精度方面极为重要的手段。就不同类型的地理信息来讲,像地形地貌、土地利用、人口分布、交通网络还有环境资源等等,对其实施分层、分级以及标签化处理之后,便能够形成较为清晰的数据体系,如此一来,也方便了数据的存储、调用以及分析操作。与此大数据技术还能够把时间维度与空间维度结合起来,达成动态更新以及多维关联分析的目的,进而让各类地理信息可以准确地反映出实际情况以及变化趋势,给城市管理、资源规划以及环境监测给予可靠的依据<sup>[2]</sup>。就好比在城市规划当中,能够凭借地理信息划分的结果对功能区、绿地、水系以及交通设施予以科学的布局安排;在应急管理和灾害防控方面,通过针对关键区域以及高风险区域展开精细化划分的操作,便能够迅速定位到问题所在之处,并且制定出具有针对性的相关措施。除此之外,经过标准化以及智能化处理的地理信息划分还能够助力数据共享以及跨部门协作事宜,提升测绘信息服务所具有的综合价值以及决策支撑的能力,最终为城市建设、城乡规划以及生态管理提供具备科学性、精准度以及高效性的数据根基。

### 2.4 在构建大型数据处理平台中的应用

在构建大型数据处理平台期间,大数据技术同测绘地理信息相互融合的程度颇深,这给高效且有序地管理以及应用海量空间数据给予了极为关键的支撑作用。去搭建一个把数据采集、存储、处理、分析以及可视化等环节都整合到一起的综合平台,如此一来便能够达成让卫星影像、无人机航拍、地面传感器以及各类测绘设备所涉及的数据都能统一接入并加以管理的目的,进而切实保障数据具备

完整性、准确性以及时效性。与此大数据处理平台可针对地理信息展开高性能的计算操作以及智能化的分析工作,能够对复杂空间查询予以支持,还能助力三维建模、地理模拟以及趋势预测等相关事宜,进而为城市规划、资源管理、环境监测以及应急决策等方面提供具有科学性的依据。该平台还能够实现将多源数据进行融合,并且开展关联分析,把静态数据和实时动态数据相结合,由此形成一个能够实时更新的空间信息数据库,最终促使决策的精度得以提升,响应速度也变得更快速。

### 3 大数据技术在测绘地理信息中的应用策略

#### 3.1 建立统一的平台,实现信息共享

在测绘地理信息的应用方面,构建起统一的数据平台并且达成信息共享,这无疑是一项能够提高数据利用效率以及决策科学性的重要策略。去建设一个具备数据采集、存储、管理、分析以及可视化等多项功能且融为一体的统一平台,那么不同部门、企业还有研究机构便可以达成对测绘数据的集中化管理以及标准化处理,如此一来便能冲破信息孤岛的限制,推动资源实现整合与共享。这个统一平台不但能够针对海量地理信息做到高效的存储以及快速的调用,而且凭借数据标准化以及接口规范,还能够实现跨部门、跨区域的数据相互流通以及协同应用,进而促使城市管理、资源规划、环境监测以及应急响应在效率和精度方面都得以提升。除此之外,该平台还能够联合大数据分析、云计算以及人工智能等技术,针对空间数据展开深度挖掘以及智能分析,以此来支撑决策预测以及科学规划相关事宜。

#### 3.2 加大新科技手段的应用

在测绘地理信息的应用领域当中,加大新型科技手段的运用情况,这无疑成为了提升数据采集、处理以及分析方面能力的关键途径所在。凭借大数据、人工智能、云计算、物联网、无人机以及高分辨率遥感等一系列技术手段,测绘行业得以更为高效且精准地去获取并处理数量庞大的空间数据。比如说,无人机和遥感技术能够迅速获取到高精度的地形以及地表相关信息,物联网传感器网络可以实时对环境变化加以监测,而人工智能与机器学习技术则可针对复杂的空间数据展开智能分析、模式识别以及趋势预测等工作。与此云计算平台的应用使得数据存储与处理具备了更强的弹性以及可扩展性,进而实现了跨区域、跨部门的数据共享与协同分析<sup>[3]</sup>。除此之外,引入三维建模、虚拟现实(VR)以及增强现实(AR)等技术之后,能够把测绘数据以一种更为直观的方式进行可视化呈现,从而为城市规划、基础设施建设、环境管理以及应急决策等方

面给予更加直观且科学有力的支持。

#### 3.3 动态更新地理信息,逐步完善数据库

在测绘地理信息的应用方面,动态更新地理信息并且逐步完善数据库,这无疑是一项能够保障数据准确性以及时效性的关键策略。城市在不断建设发展,人口处于持续流动状态,环境也在发生变化,而且自然灾害时有发生,在这样的情况下,地理信息环境就呈现出极高的动态性以及复杂的特性。传统的那种静态数据,根本没有办法满足现代管理以及决策方面的需求<sup>[4]</sup>。所以,通过建立起动态更新的机制,把卫星遥感、无人机航测、物联网传感器以及社会经济数据的实时采集相互结合起来,如此一来便能够及时地获取到地表出现的变化、土地利用做出的调整、基础设施建设所取得的进展等一系列相关信息,进而达成地理数据的持续更新以及补充的目的。与此构建起完善的数据库体系,把新采集到的数据同历史数据加以整合,实行标准化的管理以及智能分析,这样做一方面能够提升数据调用的效率,另一方面还能够为空间分析、趋势预测、风险评估以及规划决策给予可靠的依据。

### 4 结语

大数据技术在测绘地理信息服务方面的运用,其一是让地理信息数据的采集、处理以及分析效率有了明显提升,其二也给城市规划、资源管理、环境监测还有智慧城市建设带来了稳固的技术依靠。借助构建统一的数据平台、加大新科技手段的应用力度、动态更新地理信息并且完善数据库这些举措,测绘地理信息服务可达成数据共享、精细化管理以及科学决策的目的,从而有效提升管理效率与服务质量。往后,伴随大数据、人工智能、云计算等技术不断向前发展,测绘地理信息服务会在智能化、动态化以及可持续发展层面发挥出更为重要的作用,进而为城市治理、生态保护以及社会发展筑牢数据根基与技术保障。

#### [参考文献]

- [1]吴上.大数据技术在测绘地理信息服务中的应用研究[J].科技资讯,2025,23(13):32-34.
- [2]何结灵,苏德亮.大数据技术在测绘地理信息服务中的应用[J].中国高新科技,2024(17):105-107.
- [3]李竞,孙亮.大数据技术在测绘地理信息中的应用[J].中国信息界,2025(3):113-115.
- [4]郭党五.探析大数据技术在测绘地理信息中的应用[J].通讯世界,2024,31(10):163-165.

作者简介:王学谦(1992.6—),毕业院校:唐山学院,所学专业:工程管理,当前就职单位:河北宝宇测绘服务有限公司,职务:职工,职称级别:工程师。

## 地质矿产勘查新方法与新技术的探索与实践

李鑫元

河北省地质矿产勘查开发局第三地质大队(河北省张承地区生态环境保护与修复技术创新中心),河北 张家口  
075000

[摘要]地质矿产勘查在矿业发展中占据着极为关键的地位,其对于确保资源的稳定供应、促进经济向前发展以及达成生态环境的保护等均有着不容小觑的作用。本文着重针对地质矿产勘查方面的新方法以及新技术展开相应的探索活动与实践操作,目的就在于提高勘查工作的效率以及精度,强化可持续发展的实力,进而为我国矿产资源能够得到科学合理的开发与利用给予技术层面的有力支撑以及理论方面的有益参考。

[关键词]地质矿产勘查;新方法与新技术;探索与实践

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17497

中图分类号: P624

文献标识码: A

### Exploration and Practice of New Methods and Technologies in Geological and Mineral Exploration

LI Xinyuan

The Third Geological Brigade of Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration (Hebei Zhangcheng Ecological Environment Protection and Restoration Technology Innovation Center), Zhangjiakou, Hebei, 075000, China

**Abstract:** Geological and mineral exploration plays an extremely crucial role in the development of the mining industry, as it significantly contributes to ensuring stable resource supply, promoting economic growth, and achieving ecological conservation. This paper focuses on exploring new methods and technologies in geological and mineral exploration, aiming to enhance the efficiency and accuracy of exploration work, strengthen the capacity for sustainable development, and provide robust technical support and valuable theoretical references for the scientific and rational exploitation and utilization of mineral resources in China.

**Keywords:** geological and mineral exploration; new methods and technologies; exploration and practice

#### 引言

全球资源需求一直处在不断增长的态势之中,与此能源结构也在不断地进行调整,在这样的情况之下,矿产资源在国家经济发展进程当中、在产业升级整个过程当中以及在战略安全相关方面所占据的地位变得日益凸显出来。可是,浅部那些比较容易被识别出来的矿体正在逐步地走向枯竭,这就导致勘查工作所面临的地质条件变得更加复杂起来,而且所存在的不确定性也更高了,传统的地质矿产勘查方法在效率方面、在精度方面以及在环境适应性方面都明显地呈现出了一定程度的局限性。在这种大背景之下开展相关工作,去探寻并应用新方法与新技术就成为了地质勘查领域极为重要的一个发展方向。近些年来,像遥感探测技术、高精度地球物理技术、人工智能与大数据相关技术、三维成像技术、先进的光谱分析技术以及激光扫描测量技术等等这些技术都在不停地快速发展着,它们给矿产资源勘查带来了全新的手段以及全新的思路。这些技术不但能够在宏观的层面上迅速地去识别出成矿远景区,而且还在微观的层面上能够达成对矿体空间形态以及成矿要素的一种精细化的解析,进而切实有效地提升找矿工作的效率以及找矿的成功率。与此把多源信息加以集成并且进行智能化的解译,这更是进一步推动了矿产勘查从依靠经验来驱动的状态朝着依靠数据来驱动的方向去转

变,让勘查所取得的成果变得更加科学化、更加精准化以及更加可视化了。可以毫不夸张地说,地质矿产勘查当前正处在一个由传统模式快速朝着现代智能化模式去转型的关键阶段,对于新方法与新技术展开探索并且付诸实践,这既关系到资源保障能力的提升与否,同时也为实现绿色勘查以及可持续发展给予了强有力的支撑。

#### 1 矿产资源的重要性

矿产资源在国家经济社会发展中扮演着极为重要的角色,其重要性在能源供给、工业原材料保障以及战略安全等方面均有体现。矿产资源是能源生产的根本载体,像煤炭、石油、天然气这类资源为电力、交通、工业等诸多领域给予了源源不断的动力,是现代社会得以正常运转所不可或缺的关键支撑。矿产资源在工业化以及城镇化进程里是必不可少的基础原料,钢铁、建材、有色金属、稀土等在机械制造、基础设施建设以及新兴产业发展当中有着无可取代的作用。矿产资源的储量以及开发水平和国家战略安全、国际竞争力存在着直接关联,在新能源、新材料、国防工业等战略性行业里面,高纯度稀土、锂、钴、镍等关键矿产已然成为世界各国争相争夺的焦点所在。可以讲,矿产资源既关乎国民经济的可持续发展,又对国家的产业升级以及地缘政治格局产生影响,所以强化矿产资源勘查并加以科学利用有着十分重要的作用。

## 2 地质矿产勘查新方法与新技术的优势

地质矿产勘查的新方法以及新技术呈现出诸多方面的明显优势。其一,在数据精度以及分辨率方面达成了飞跃式的提升。其中,遥感以及高精度地球物理手段能够在大范围尺度上迅速识别出异常体,而三维成像以及高分辨率成像技术则可更为精准地刻画出地下构造以及矿体几何形态,进而大幅度削减了勘查所存在的不确定性以及盲钻率。其二,勘查效率有了明显的提高。无人机遥感、激光扫描还有自动化地面测量可覆盖更加广阔的区域,并且能够缩短现场作业的时间周期,降低了人工操作的密集程度。其三,成本与风险均得到了优化。采用非侵入式并且少钻探的调查策略,减少了勘查方面的支出费用以及对环境造成的扰动,与此还提升了作业的安全性。其四,多源数据融合加上人工智能、大数据分析,使得海量且具有不同结构的信息(如遥感、地球物理、地球化学、钻探资料等)能够被高效地整合起来并进行智能解析,增强了对异常的识别能力、预测建模的准确性以及资源量估算的可靠性<sup>[1]</sup>。其五,新技术能够在复杂地质条件以及偏远、极端环境下开展勘探工作,拓展了传统方法难以触及的目标区域。这些方法推动了从依靠经验驱动的勘查模式逐步转变为由数据驱动、模型驱动的模式,能够为相关决策给予更具量化依据的支持,促使勘查周期得以缩短、发现率得以提升以及矿产资源开发具备可持续性。

## 3 地质矿产勘查现状分析

当前地质矿产勘查的状况呈现出复杂且多样的特点。其一,伴随矿产资源消耗的速度不断加快,浅部那些容易被发现的矿体大多已被开发利用,于是勘查目标慢慢转向深部以及隐伏矿体,如此一来地质条件变得更加复杂了,对于技术以及设备的要求也有了明显的提升。其二,传统勘查手段在精度、效率以及数据处理能力等方面都存在着一定的局限性,通常很难跟上现代矿产资源需求增长的速度。除此之外,受到全球经济形势、市场价格波动以及能源转型趋势等诸多因素的影响,矿产勘查出现了投资波动比较大的情况,勘查资金相对来说也比较紧张,在部分地区的勘查投入不够充足,进而致使找矿的进展较为缓慢。从技术层面来讲,虽然遥感、地球物理、地球化学等方法已经得到了较为广泛的运用,但是整体的水平和发达国家相比仍然存在一定的差距,尤其是在多源数据集成、三维建模以及智能化分析等方面急需进一步强化。与此勘查活动愈发受到生态保护以及土地利用限制等因素的影响,绿色勘查的理念不断地被提出来并且逐渐应用到实际工作当中,这也让勘查必须在资源开发和环境保护这两个方面去寻找平衡点。

## 4 地质矿产勘查新方法与新技术

### 4.1 遥感技术在地质勘查中的应用

遥感技术已然变成现代地质矿产勘查里极为重要且不可或缺的一种基础手段。借助多种不同来源、多个不同时期的卫星影像以及航空影像(这里面也包含了无人机影

像),再加上主动或者被动传感器所获取的数据,便可以在宏观的尺度之上,迅速地在地表以及近地表的地质信息予以识别并且加以描绘。多光谱以及高光谱遥感能够凭借矿物还有风化产物所具有的光谱特征,达成对含矿物相以及蚀变带的识别目的,并且还能制作出其量化分布的图表。热红外影像对于识别岩性方面的差异以及热异常区域有着一定的帮助作用。合成孔径雷达(SAR)在穿透云雾以及获取高精度的地形与构造信息这些方面,有着独特的优势,所以常常会被用来提取断裂、褶皱这类线性构造,同时也可用于变形监测相关工作。高分辨率影像再加上数字高程模型(DEM),能够支撑起地貌形态学方面的分析、径流汇的划分以及剖面的建模操作,进而为构造解译以及露头定位给出极为重要的依据。无人机遥感把近距离高分辨成像以及光谱仪器结合起来,便能够在局地的尺度范围内,实现快速的采样以及对精细目标的确认,如此一来,便能让现场识别的效率得到大幅度的提升<sup>[2]</sup>。随着影像处理算法、光谱解混、时序分析以及基于机器学习/深度学习的自动化识别方法等方面不断发展,遥感数据与地球物理资料、地球化学资料以及钻探资料相互融合的应用方式也日渐趋于成熟,进而能够用于划分目标的优先级,降低盲钻的发生率,最终提高找矿的成功概率。

### 4.2 高精度地球物理勘查技术的发展及应用

高精度地球物理勘查技术通过测量地下各种物理场的变化,如电磁场、重力场、地形变等,来推断地下岩石的性质、结构、构造和矿产资源的分布。这种技术在地质矿产勘查中发挥着至关重要的作用,为地质工作者提供了深入了解地下构造、预测隐伏矿体和划分勘查区域的有力工具。磁法勘查是地球物理勘查技术中的重要组成部分。它利用岩石和矿石的磁性差异,通过测量地磁场的微弱变化来探测地下矿体或地质构造。这种方法在寻找铁矿、磁性岩体以及研究地质构造等方面具有显著优势。电法勘查则利用岩石和矿石的电性差异,通过测量地下电场或电磁场的变化来揭示地下地质结构。电法勘查技术包括电阻率法、激发极化法等多种方法,它们在寻找金属矿、非金属矿以及研究水文地质条件等方面具有广泛应用。重力法勘查则是通过测量地球重力场的变化来推断地下岩石的密度分布。这种方法在探测盐类矿床、石油天然气储层以及研究区域地质构造等方面具有独特优势。高精度地球物理勘查技术的应用不仅提高了勘查的精度和效率,而且为地质矿产勘查提供了更多的信息来源和解析手段。

### 4.3 人工智能与大数据在矿产勘查中的应用

人工智能以及大数据技术在矿产勘查方面的应用,正对传统找矿模式产生着极为深刻的影响。其最为关键的优势,就在于能够针对数量庞大且情况复杂的多源数据展开高效的处理工作,并且能够进行颇为智能的分析。矿产勘查会涉及到像遥感、地球物理、地球化学、钻探、地质测绘等诸多类型的各类数据。这些数据不但体量颇为可观,

而且格式呈现出多种多样之态势,更重要的是,它们之间的信息关联性极其复杂。传统的那些方法,在面对如此复杂的情况时,很难充分地去挖掘出其中所存在的潜在规律。然而人工智能算法,尤其是机器学习以及深度学习模型,却能够在多维数据当中精准地识别出与成矿有关的异常特征,还有其相应的空间分布模式,进而促使预测的精度以及可靠性得以提升。与此大数据平台能够对数据予以集成、存储以及可视化呈现,这便使得跨尺度、跨学科的信息融合以及综合解释变得更为便捷,进而为矿产远景区的优选以及成矿预测提供了较为科学的依据<sup>[3]</sup>。人工智能还能够达成勘查流程的智能化,比如说像自动化开展的遥感影像解译工作、对地球物理异常体的识别操作以及三维成矿预测建模这类事情,其不仅让工作效率得到了显著的提高,而且还降低了因人为主观因素而产生的偏差情况。

#### 4.4 地下资源三维成像技术在矿产勘查中的应用

地下资源三维成像技术在矿产勘查方面的应用,重点在于对复杂地质体以及隐伏矿体的空间结构展开精细解析,并且予以可视化呈现。其核心思路是借助先进的地球物理探测方式、钻孔相关资料以及地球化学方面的数据,凭借高性能计算以及建模软件,把多源数据融合起来,构建出真实且直观的三维地下模型。这项技术可突破传统二维剖面勘查所存在的局限,达成对矿体形态、规模、延伸方向以及赋存状态的立体化描绘,进而大幅提升找矿的精度以及预测的可靠性。比如,地震波三维成像可揭示深部构造与断裂体系的情况,高密度电法以及电磁成像能够用于探测地下导电异常体,而重磁数据三维反演对于识别深部岩体与矿化体分布特征是有帮助的。当这些不同类型的数据在统一的坐标系之下完成集成之后,便能够形成针对矿区地下空间的全景化认知。三维成像不但有助于确定钻探的具体位置、优化钻孔的布局、降低盲探的风险,而且还能为资源量的估算以及矿山开发方案的设计给予科学的依据。

#### 4.5 先进光谱分析技术在矿藏勘查中的实践经验

先进光谱分析技术在矿藏勘查领域积累的实践经验清晰地说明,它于矿物识别、蚀变带划分以及成矿预测等方面有着独特的优点。此技术借助分析矿物针对不同波长电磁波所呈现的吸收与反射特性,能够迅速且不会对矿物造成破坏地获取到矿物的组成以及含量方面的信息。尤其是高光谱与近红外光谱,在识别像黏土矿物、碳酸盐矿物还有铁氧化物这类与成矿紧密关联的矿物组合的时候,表现得极为出色<sup>[4]</sup>。在实际开展勘查工作的过程中,光谱技术能够应用于野外便携式的设备,以此来对岩石、矿物以及土壤样品展开原位检测,进而达成快速判定蚀变强度以及分带特征的目的。与此大规模的机载以及卫星高光谱数据则可以用于提取区域矿化异常并优选潜在在矿区,如此一来便能有效地缩小勘查的范围,提升找矿的效率。结合实

验室的精密光谱分析手段,可以针对样品实施定量检测,以此来对现场快速测量所得结果加以补充以及验证,进而形成一个涵盖多尺度、多层次的光谱数据体系。

#### 4.6 激光扫描测量技术在地质构造解译中的应用

激光扫描测量技术于地质构造解译的应用,重点在于其能精准、快速且三维化地获取地形地貌以及构造特征相关数据。借助地面激光扫描、机载激光雷达以及无人机所搭载的激光系统,短时间内便能获取到范围广、密度高的点云数据,进而构建出分辨率高的数字高程模型以及三维地形模型,这为构造线性特征、断裂带分布情况、岩层产状以及褶皱形态的识别与分析给予了可靠依据。激光点云数据的精度可达到厘米级乃至毫米级,能够揭示出传统测绘手段难以捕捉到的微地貌变化,像断层擦痕、节理裂隙发育状况以及边坡微形变等情况,使得构造解译的精细化程度得以大幅提升。并且,该技术可针对复杂地形以及难以抵达的区域开展无接触式测量,降低了野外工作的风险,提高了数据获取的效率以及完整性。在实际应用过程中,激光扫描常常会与影像、遥感以及地球物理资料联合使用,以此达成对构造特征的多源综合解译;借助点云数据的时间序列分析,还能实现对构造活动以及地质灾害的动态监测。

#### 5 结语

随着矿产资源勘查的需求不断增加,而且地质条件变得越来越复杂,传统的方法已经很难满足现代勘查的要求了。本文针对遥感技术、高精度地球物理、人工智能与大数据、三维成像、光谱分析以及激光扫描等新的方法和技术展开了探讨。实际应用的情况说明,这些技术可以提升勘查的效率和精度,让资源预测变得更加优化,促使勘查朝着数字化和智能化的方向发展,从而为矿产资源的合理开发利用以及可持续利用给予了重要的支撑。

#### [参考文献]

- [1]刘晓龙.地质矿产勘查新方法与新技术的探索与实践[J].内蒙古科技与经济,2025(12):149-151.
- [2]王明,胡学敏,刘佩林.地质矿产勘查存在的困难分析与建议[J].四川水泥,2017(12):292.
- [3]康维海.国土资源部地质勘查司中国地质矿产经济学会助力青海地质勘查举办新理论新技术新方法培训班[J].青海国土经略,2017(2):52.
- [4]李同选.金属矿产勘查中的新技术与新方法[J].中外企业家,2016(21):215.

作者简介:李鑫元(1992.7—),毕业院校:中国矿业大学银川学院,所学专业:资源勘查,当前就职单位:河北省地质矿产勘查开发局第三地质大队(河北省张承地区生态环境保护与修复技术创新中心),职务:无,职称级别:矿产地质工程师。

# 商业综合体给排水系统负荷计算与设备选型研究

王 森

河北建筑设计研究院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]商业综合体给排水系统的设计对于保证建筑功能的正常运行至关重要。通过分析商业综合体的使用性质、功能分区以及人口流动等因素,进行科学的负荷计算,可以为设备选型提供理论支持。合理的负荷计算有助于优化系统的运行效率,减少能源消耗,提升系统的可持续性。同时,设备选型应根据流量、扬程、节能效果等多个因素进行权衡,以确保给排水系统在满足需求的同时具备较好的经济性和长期稳定性。

[关键词]商业综合体;给排水系统;负荷计算;设备选型;智能化管理

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17528

中图分类号: TU892

文献标识码: A

## Research on Load Calculation and Equipment Selection of Water Supply and Drainage System in Commercial Complex

WANG Sen

Hebei Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** The design of water supply and drainage systems in commercial complexes is crucial for ensuring the normal operation of building functions. By analyzing the usage nature, functional zoning, and population mobility of commercial complexes, scientific load calculation can provide theoretical support for equipment selection. Reasonable load calculation helps optimize the operational efficiency of the system, reduce energy consumption, and enhance the sustainability of the system. At the same time, equipment selection should be balanced based on multiple factors such as flow rate, head, and energy-saving effect to ensure that the water supply and drainage system has good economy and long-term stability while meeting demand.

**Keywords:** commercial complex; water supply and drainage system; load calculation; equipment selection; intelligent management

### 引言

随着商业综合体规模的不断扩大,建筑功能需求逐渐多样化,给排水系统的设计面临着更高的要求。合理的负荷计算和设备选型不仅是确保系统高效运行的关键,还直接关系到能源节约和运营成本的控制。然而在实际设计过程中,尤其是在大型商业综合体的前期阶段,往往尚未完成招商工作,商铺的功能定位和空间分隔尚不明确,导致用水量与排水量难以准确预估。这种不确定性给负荷计算带来较大挑战,可能造成设计裕量过大或设备选型失衡,影响系统经济性与后期运营效率。因此,有必要借鉴已建成并正常运营的类型商业综合体项目,通过对其实际用水量和排水量数据的分析,验证设计阶段的负荷预测精度,为今后类似项目的给排水系统负荷计算和设备选型提供科学依据和实践参考,提升设计的合理性和可靠性。

### 1 商业综合体给排水系统负荷计算的基本原理

#### 1.1 负荷计算概述

给排水负荷是指建筑物或区域在某一时刻所需的用水量和排水量,通常包括用水负荷和排水负荷两大类。用水负荷主要涉及建筑物的供水需求,而排水负荷则关注污水和废水的排放需求。其计算受到多种因素影响,如建筑面积、使用功能、人口密度及使用频率等。例如,办公楼、

商业区、餐饮区等不同功能区域在用水量与排水量上存在显著差异,因此需根据具体功能进行精确计算。

然而,在商业综合体设计初期,由于招商尚未完成,商业区与餐饮区的具体业态和布局常常无法明确,导致水量负荷难以准确估算。这种不确定性使得设计中的用水量与排水量常依赖经验值或参考规范估算,存在较大的偏差风险。为此,可通过调研多个已建成并投入使用的商业综合体,收集其运营期间水泵运行数据、排水管道负载情况及相关设备运行参数,进一步对比其与设计阶段预测值之间的差异,从而为类似项目的负荷计算提供更可靠的依据,提高设计的科学性与实用性<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 用水量与排水量计算方法

在给排水系统设计中,用水量和排水量的计算是基础工作,需根据建筑性质和功能进行分类处理。居住区与商业区的计算逻辑存在明显差异,特别是在商业综合体中,需关注客流高峰、功能复杂、使用频率高等特征。

给水量计算公式:

$$Q = q \times N \quad (1)$$

其中:  $Q$  为设计日用水量 (L/d);

$q$  为人均日用水量 (L/人·d);

$N$  为计算人数或相应的服务人数 (人)。

对于商业区,还可结合商铺数量、营业面积和运营时长进行调整,采用单位面积法或营业时段法进行换算。

排水量计算公式:

排水设计一般基于用水量,并考虑排水系数、系统负荷等修正因素,常用如下计算公式:

$$Q_d = Q \times f \quad (2)$$

其中:  $Q_d$  为设计排水量 (L/d);

$Q$  为设计用水量 (L/d);

$f$  为排水系数 (通常取 0.8~1.0, 根据功能区不同进行调整)。

此外,在大型商业综合体的排水设计中,还需综合考虑排水高峰系数、排水管网流速限制和污水提升设备的承载能力,以确保系统在高峰时段稳定运行。通过规范公式与实际情况相结合,设计人员可以更准确地评估系统容量需求,减少设计偏差<sup>[2]</sup>。

### 1.3 负荷计算中的常见问题及解决方案

在给排水负荷计算过程中,高峰用水与排水负荷的波动性是商业综合体设计中最难把握的问题之一。由于商业综合体集办公、购物、餐饮、娱乐于一体,其高峰时段的水需求可能会在短时间内剧烈上升,若估算不准确,极易导致设备选型偏差,进而影响系统运行的稳定性与经济性<sup>[3]</sup>。

以北京某大型商业综合体 A 为例,设计阶段根据规范和经验数据选用了 3 台 75m<sup>3</sup>/h 的变频供水泵组,设计高峰流量为 180m<sup>3</sup>/h。然而在投入运营后,实际高峰时段最大流量仅为 130m<sup>3</sup>/h,供水设备经常处于低负载运行状态,导致频繁启停,能耗浪费严重。

而另一个广州的商业项目 B,在设计阶段未充分考虑餐饮区集中营业时段的排水集中性,仅按常规比例布设了排水立管和污水提升设备,结果在实际运营中餐饮高峰期污水量远超设计值,导致排水管道多次发生回流和局部溢流,最终不得不追加一台污水提升泵并加装排水缓冲罐以改善系统。

上述案例表明,负荷计算不应仅依赖规范经验,更应结合实际运营模型进行动态模拟,并通过同类已建项目的实地调研与数据分析,对设计参数进行修正与优化,确保设备选型既满足高峰需求,又避免资源浪费,从而提升系统整体运行效率与可靠性。

## 2 商业综合体给排水系统设备选型

### 2.1 泵站与管道系统选型

泵站的选型主要依据所需的流量和扬程来确定。流量需求决定了水泵的数量和规格,而扬程则影响水泵的类型及其功率选择。通常,商业综合体的水泵需要具备较高的启动能力和较大的流量调节范围,以应对高峰期的需求。管道系统的选型则需考虑管道材料的耐腐蚀性、抗压性和使用寿命,常见的管道材料包括钢管、PVC 管、HDPE 管等。管径选择时,必须综合考虑流量、流速、管道长度

以及安装成本等因素,确保水流通畅且不造成能源浪费。此外,泵站的布置应遵循合理的布局原则,避免长距离输送带来的压力损失,并进行系统优化设计,以提高整体运行效率和可靠性<sup>[4]</sup>。

### 2.2 水箱与水泵设备的选型

水箱与水泵设备的选型是给排水系统设计中的关键环节,必须确保其供水能力和调节能力能够满足建筑在各类工况下的负荷需求。水箱的容量通常依据建筑规模、用水性质以及高峰时段的用水量来确定。若容量设置过大,不仅造成投资浪费,还可能导致水质滞留影响卫生安全;反之,容量偏小则容易在高峰期出现供水不足。

例如,在上海某大型商业综合体项目中,设计阶段按规范计算配置了一个 120m<sup>3</sup> 的生活水箱,考虑到商场日最大用水量和消防补水要求。然而在实际运行中发现,因该项目内餐饮区比例高且客流集中于中午和傍晚两个时段,导致用水峰值短时激增,水箱的调节能力一度不足,后期通过增加次级调节箱并优化水泵启停策略予以解决。

水泵的选型则应综合考虑设计流量、扬程以及运行能效等因素。以上述项目为例,初期配置的两台 75m<sup>3</sup>/h 变频水泵在实际运行中存在启停频繁的问题,后调整控制策略为变频+定频组合运行模式,使得系统在低负荷时由变频泵单独运行,高峰期由两泵联合运行,显著提高了能效比并延长了设备寿命。

因此,在设计过程中应重视水箱与水泵的协调配合,结合不同工况进行动态模拟分析,合理选择设备容量与控制逻辑,以保障系统稳定、高效运行。

### 2.3 污水处理与雨水回收设备选型

污水处理设备的选型标准通常依据处理水量、污水成分以及处理技术要求来确定。常见的污水处理设备包括格栅、沉淀池、过滤器、活性炭吸附器等,设备的选择需要根据系统设计负荷和污水性质来决定,以确保处理效果和速度达到要求。雨水回收系统的设计与选型主要依赖于雨水收集量的估算以及使用要求,设备包括雨水收集池、过滤装置、储水箱、输水泵等,选型时需考虑环保和经济效益。对于商业综合体而言,雨水回收系统不仅能缓解供水压力,还能达到节水和环保的目标。在设备选择时,还应符合相关环保要求,如水质净化标准、噪声控制、能源消耗等,以实现绿色建筑和可持续发展的目标。

## 3 商业综合体给排水系统设计优化

### 3.1 系统设计中的节能与环保策略

在商业综合体给排水系统的设计中,节能与环保是核心考虑因素。节水措施包括采用高效节水设备、回收利用雨水及废水、合理规划用水点等,符合绿色建筑标准,如安装节水型马桶、自动感应水龙头、节水喷头等,从源头减少水资源的浪费。系统的节能设计也是优化的重要方面,选用高效能泵站和管道保温措施可以有效减少能源消耗

和传输损失。此外,环保设备的选择尤为关键,如污水处理装置、雨水回收系统的选择需要符合环保标准,确保排放符合要求,减少对环境[5]。

### 3.2 智能化管理与监控系统的应用

随着智能化技术的不断发展,商业综合体给排水系统的管理也逐渐向智能化方向发展。智能水表和远程监控系统可以实时监测水流量、压力、用水量等数据,并将信息传输到管理平台。数据采集和负荷调节系统通过精确的实时数据分析,可以自动调整水泵的运行状态和水流分配,以应对不同时间段的负荷变化。系统智能化不仅可以提高水资源的使用效率,还能够预防故障、及时发现系统异常,减少人工干预,提高管理的精确性与效率。此外,智能化优化方法能够预测未来用水趋势,进一步优化设备运行和能源分配,降低运行成本。

### 3.3 设计优化中的成本控制

给排水系统设计中的成本控制对项目预算和长期运营具有重要影响。设备选型直接影响设计成本和后期维护费用,必须在满足性能要求的前提下合理选择设备,以达到预算控制的目的。系统设计时需综合考虑设备的初期投资、运行成本、能效、维护费用等因素进行全面权衡。例如,虽然高效节能的设备初期投资较高,但其长期运营成本较低,能够实现更高的节能效果,降低长期运营支出。与此同时,还需要分析系统的长期运营与维护成本,考虑设备的使用寿命、备件更换周期、维修费用等因素,确保系统在全生命周期内的经济性和稳定性。合理的成本控制不仅能够减少初期投资,还能降低运营风险,提升经济效益。

## 4 商业综合体给排水系统案例分析

### 4.1 案例背景介绍

某大型商业综合体位于城市中心,总建筑面积达到50万 $m^2$ ,包含多个商场、办公楼、餐饮区及娱乐设施。该综合体每天的客流量高,建筑功能复杂,水需求具有显著的波动性,尤其是在高峰时段。设计初期由于招商尚未完成,商铺的具体功能与空间分隔尚未明确,给水系统设计只能依据经验数据和规范估算需求。设计阶段选用了3台流量为 $80m^3/h$ 、扬程为60m的变频泵组,以满足可能出现的最大负荷需求。然而在实际运营过程中,发现部分区域如办公楼用水远低于预期,实际日高峰流量仅达设计值的70%左右,且系统运行水压偏高,导致部分末端阀门需常态限流调节。系统设计面临的难点主要在于如何应对各区域水需求的不确定性,以及在高峰负荷下如何确保水压与流量的稳定。此外,系统还需兼顾污水处理、雨水回收及节能环保等要求。针对上述问题,设计团队通过调整泵组运行策略与分区供水布局,提升了整体系统的运行效率与适应能力。

### 4.2 负荷计算与设备选型过程

负荷计算的具体方法首先根据建筑物的功能划分进

行,针对办公区、商场、餐饮区等各功能区域分别进行用水量与排水量的计算。以商场为例,得出了每个时间段内的用水负荷,并结合实际运行数据进行了优化调整。为提高计算的准确性,设计团队调研了多个已建成商业综合体的运营情况,对比分析了设计负荷与实际用水差异,从而得出更加贴合实际的负荷计算模型。设备选型则依据负荷计算结果展开,优先匹配水泵、管道、储水箱等关键设备。水泵选型综合考虑流量、扬程及能效比,最终选用了节能型泵,并配置了变频控制系统以适应不同时间段的负荷波动。管道材料采用PVC和HDPE管道,以降低能耗、减少腐蚀、延长使用寿命。在系统优化过程中,还结合典型案例中高峰负荷运行表现,调整了泵站配置与备用泵运行策略,确保系统在高负荷下依然平稳运行。该设计思路为今后商业综合体的给排水系统设计提供了有力的参考与指导。

### 4.3 实施效果与经验总结

在实际工程中,通过设计与运行阶段的对比,进一步验证了负荷计算与设备选型的重要性。某商业综合体在设计阶段,考虑用水高峰需求,配置了3台额定流量为 $80m^3/h$ 、扬程为65m的变频水泵。运营后数据显示,日均最大用水流量仅为 $160m^3$ ,运行水泵仅需两台即可满足需求,第三台长期处于备用状态,表明设计裕量偏大,导致初始投资和能耗略高。

另一项目则在设计阶段选用了2台额定流量为 $60m^3/h$ 、扬程为55m的泵组。运营初期因餐饮业集中投入使用,实际高峰流量一度达到 $130m^3/h$ ,原系统无法满足需求,最终增加一台 $75m^3/h$ 的水泵并调整运行策略,才解决供水瓶颈问题。

通过这两个案例可见,水泵选型应建立在充分调研、合理预估负荷的基础上,并考虑多场景模拟和运行冗余,避免设备选型过大或不足。经验表明,结合典型项目运营数据进行修正,是优化设计、提高系统经济性与适应性的有效手段。

## 5 商业综合体给排水系统发展趋势与未来展望

### 5.1 绿色建筑与可持续设计趋势

绿色建筑标准对给排水系统的影响日益显著,要求建筑项目在设计与施工过程中注重水资源的高效利用与环保。对于商业综合体来说,给排水系统的设计需符合节水、节能和低碳的原则,水资源管理成为关键。水资源管理的核心在于通过雨水回收、废水处理和回用技术,实现水的闭路循环,降低对市政供水的依赖。与此同时,环保技术的应用也在不断发展,例如高效节水设备、智能水表和绿色污水处理技术等,为实现可持续发展提供了技术保障。绿色建筑不仅关注建筑本身的节能效果,还通过优化给排水系统的设计,使整个建筑的水资源消耗得到最小化。

### 5.2 智能化与信息化技术的应用前景

随着智能技术的快速发展,商业综合体给排水系统的

智能化管理成为未来发展的重要趋势。智能给排水系统通过智能水表、传感器及物联网技术实时监控水流量、压力和用水情况,使得管理人员能够及时掌握系统的运行状态并进行优化调节。这种系统不仅可以提高水资源的利用效率,还能够预测并应对用水负荷的波动,从而降低系统故障的风险。信息化管理通过大数据分析和云计算技术,进一步优化了给排水系统的运行,能够精确地分析用水趋势、设备运行状态及维护周期,提高管理的精准性与效率。未来,物联网和大数据技术的广泛应用将使给排水系统更加智能化和自动化,为商业综合体提供高效、节能的水管理解决方案。

### 5.3 挑战与应对策略

尽管商业综合体给排水系统在绿色设计和智能化管理方面有着广阔的发展前景,但也面临着复杂多变的设计需求与技术难题。例如,在高层商业综合体中,如何平衡不同区域的水压需求、如何应对高峰期用水负荷的波动以及如何确保系统的长期稳定性,都是设计过程中亟待解决的问题。为了平衡成本与效益,设计师需要在选型时综合考虑设备的初期投资、运行成本以及维护费用,确保系统在保证性能的同时控制预算。未来,面对不断变化的环境和需求,商业综合体的给排水系统设计应更加灵活与智能,通过技术创新不断优化系统功能与运行效率。同时,随着绿色建筑和智能化技术的持续发展,设计方案将更加侧重于节能环保、低成本和高效能,为应对未来的挑战提供更

好的解决策略。

### 6 结语

商业综合体给排水系统的设计与优化是确保建筑正常运行的重要环节。通过对负荷计算方法的研究与设备选型原则的探讨,结合实际案例分析,本文展示了有效的设计方案与实际成效。未来,随着智能化技术的应用和绿色建筑标准的不断推进,给排水系统将更加注重节能、环保和智能化管理,进一步提高系统的运行效率和可持续性,为商业综合体的长远发展提供有力支持。

### [参考文献]

- [1]李东飞.北京某大型商业综合体给排水系统设计总结[J].给水排水,2022,58(3):90-97.
  - [2]戚玉丽,戚凯锋,冯佳颖,等.商业综合体项目建筑给排水设计要点探讨[J].工程建设与设计,2024(3):52-54.
  - [3]杜定勇.大型超高层商业综合体给排水设计分析[J].新城建科技,2024,33(10):72-74.
  - [4]李玉龙,赵雨.大型商业综合体建筑给排水设计策略[J].建材发展导向,2024,22(21):124-126.
  - [5]范国涛,赵林.可持续发展理念下的商业综合体给排水系统优化策略[J].中国建筑金属结构,2025,24(1):170-172.
- 作者简介:王森(1993.9—),女,汉族,毕业学校:河北科技大学,现工作单位:河北建筑设计研究院有限责任公司。

## 传统建筑装饰艺术中琉璃脊饰的文化内涵研究

宋冰珂 刘文慧

山东理工大学美术与设计学院, 山东 淄博 255000

[摘要]中国古建筑中的屋顶琉璃脊饰相当多元,作为中国传统建筑装饰艺术的重要组成部分承载了数千年的华夏文明,它不仅拥有精湛的工艺,独特的艺术美,还折射出丰富的中国传统文化内涵,其出现与演变,既映射出营造技术层面的演进提升,亦折射出各朝代审美取向与文化制度层面的嬗变。中国传统建筑的文化思想常通过装饰构件呈现,其中屋顶脊饰尤为典型,深刻反映了装饰艺术与传统思想文化的关联。在古代哲学与皇权思想影响下,琉璃脊饰既服务于王权维护,彰显等级秩序,又融入了吉祥、驱邪等美好寓意。此艺术传统延续至今仍持续演变发展,被大众所广泛认同,且深度影响着现代建筑实践。

[关键词]琉璃脊饰;传统文化;装饰艺术

DOI: 10.33142/ect.v3i8.17495

中图分类号: TU986

文献标识码: A

### Research on the Cultural Connotation of Glass Ridge Decoration in Traditional Architectural Decoration Art

SONG Bingke, LIU Wenhui

School of Fine Arts and Design, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong, 255000, China

**Abstract:** The roof glazed ridge decoration in ancient Chinese architecture is quite diverse. As an important component of traditional Chinese architectural decoration art, it carries thousands of years of Chinese civilization. It not only has exquisite craftsmanship and unique artistic beauty, but also reflects rich traditional Chinese cultural connotations. Its emergence and evolution not only reflect the evolution and improvement of construction technology, but also reflect the changes in aesthetic orientation and cultural system of various dynasties. The cultural ideas of traditional Chinese architecture are often presented through decorative components, among which the roof ridge decoration is particularly typical, deeply reflecting the connection between decorative art and traditional cultural ideas. Under the influence of ancient philosophy and imperial power, the glazed ridge decoration not only serves the maintenance of royal power, highlights hierarchical order, but also incorporates beautiful meanings such as auspiciousness and exorcism. This artistic tradition continues to evolve and develop to this day, widely recognized by the public, and deeply influencing modern architectural practices.

**Keywords:** glass spine decoration; traditional culture; decorative art

### 引言

屋脊通常位于传统大型建筑主殿的至高之处,且位置显著,通常装饰有走兽等琉璃饰件。这些琉璃饰件多经由拼合、简化等手法,塑造出并非现实存在的意象性动物形象。它们不仅起到加固屋脊、防止雨水侵蚀的实用功能,更被赋予了独特的象征意义,且具有美学性。作为中国传统文化的产物,琉璃脊饰在各殿屋脊上的布局、色彩、数目、造型、文化含义等方面也均不尽相同。

### 1 琉璃脊饰综述

#### 1.1 琉璃脊饰的溯源

屋脊古称“甍”。《释名·释宫室》:“屋脊曰甍。甍,蒙也,在上覆盖屋也。”又有“雕甍”,是指有雕刻装饰的屋脊。雕甍就是脊饰。<sup>[1]</sup>

脊饰在汉代(公元前200年)就已经具体地存在着,而其形态更可追溯至公元前6000年的龙图腾文化(辽宁葫芦岛市杨家洼遗址)。<sup>[2]</sup>若要理解中国古建脊饰,须先辨屋顶样式,再论脊饰细节。中国大部分地区的古建筑为了防雨皆采用起坡的屋顶,创造了庑殿、歇山、硬山、悬

山、攒尖、单坡等不同的屋顶形式。<sup>[3]</sup>这些屋顶的两坡相交处是防雨的薄弱环节,需重点加固,筑成凸起的“脊”。根据其所在位置不同,主要可分为正脊(屋顶最上端的横脊)、垂脊(随坡下垂之脊)、戢脊(歇山屋面转角45°之脊)。北魏时期发现有关屋脊的瓦件,重要建筑的正脊开始使用板瓦叠砌的方法,叠瓦脊历经隋唐至宋代,仍是重要建筑的筑脊方法。<sup>[4]</sup>宋《营造法式》卷十三“瓦作制度 垒屋脊”条中规定:“殿阁:若三间八椽或五间正椽,正脊高三十一层,垂脊低正脊两层……正脊于线道瓦上,厚一尺至八寸,垂脊减正脊二寸。”<sup>[5]</sup>这里大型殿阁建筑正脊叠瓦为三十一层,垂脊比正脊低两层,殿阁最高可达三十七层,随房屋的等级而递减,一般民舍仅为三层。正脊断面呈梯形,两侧按十分之二收分,中填灰泥,上部以筒瓦合脊结顶。元代开始出现预制的脊筒子构件,代替了叠瓦脊的做法,并且在脊筒上增加许多花饰,多为龙、兽、花卉枝叶等。随着屋脊做法的演变,脊端及脊身的处理也在变化,并突出了它的装饰性,进一步美化具有东方特色的中国式屋面。脊部装饰重点集中在脊端的吻兽、脊上的走

兽及脊身上的花饰等几处。脊饰的各部件都是在泥坯上塑出形象,然后入窑烧制而成,成为位于屋顶屋脊部位具有一定功能作用的建筑装饰构件。

琉璃脊饰的出现与使用既与木构建筑防火、防雨有关,也与建筑等级有关。<sup>[6]</sup>早在古代有一种说法认为,最初琉璃是西汉张骞通使西域后,渐渐传入中国。明人撰《大学衍义补》,持了这一观点:“臣尝因是而考古今之所谓宝者,三代以来中国之宝,珠、玉、金、贝而已(贝俗谓海介虫),汉以后西域通中国,始有所谓木难、琉璃、玛瑙、珊瑚、琴瑟之类,虽无益于世用犹可制以为器焉。”<sup>[7]</sup>琉璃这时还被看作宝物,而非一般应用之物。在中国文献中,两晋时期已有对琉璃用作建筑材料的记载,《晋书》所述:“屋宇皆以珊瑚为椽栳,琉璃为墙壁,水精为柱础。”<sup>[8]</sup>北魏时已开始使用琉璃瓦装饰屋顶,《南齐书》提到北魏献文帝拓跋宏:“自佛狸至万民,世增雕饰。正殿西筑土台,谓之白楼。常游览观其上。台南又有伺星楼。正殿西又有祠屋,琉璃为瓦。”<sup>[9]</sup>这里的佛狸,即指魏太武帝,万民指魏献文帝。两人之间的时间跨度,从424年至471年。显然,这一时间段内,北魏帝室宫殿建筑已开始使用琉璃瓦。在唐代初期阶段的宫殿建筑中,琉璃瓦顶的使用方式较为常见,《旧唐书》提及臣子苏世长针对唐高祖大规模建造宫殿一事提出批评意见:“又尝引之于披香殿,世长酒酣……但见倾宫鹿台琉璃之瓦,并非受命帝王爱民节用之所为也。若是陛下所作此,诚非宜。”高祖深然之。”<sup>[10]</sup>可看出唐初帝王宫殿在建筑营造中,已出现于屋顶覆以琉璃瓦的做法。到了北宋时期,中原琉璃瓦制作技术已经十分发达,在宫殿或者寺观这类建筑中,采用琉璃瓦覆盖屋顶的这种做法十分常见,北宋时期位于开封的佑国寺塔,它是目前现存并且已知的最早的高层砖筑琉璃塔,这座塔的造型极为优美,其琉璃面砖制作相当精致,从中可反映出宋代在琉璃烧制以及镶嵌方面的技术已具有相当高的水准。

《营造法式》卷十三的“瓦作制度”设有“用鸱尾”以及“用兽头”等相关章节,卷十五的“窑作制度”则专门设置了“琉璃瓦”等内容章节,针对“琉璃”瓦以及琉璃鸱尾、琉璃套兽、螭伽、蹲兽等装饰构件进行了专门的描述,由此可知北宋时期琉璃制作技术已趋向成熟,在高等级建筑中包括琉璃瓦在内的各种装饰瓦件的应用相当普遍。

## 2.2 琉璃脊饰的分类

琉璃脊饰作为中国古建屋顶构件的一种,依其所在屋脊结构,可分为正脊脊饰、垂脊脊饰与戗脊脊饰。

### (1) 正脊脊饰

正脊,即为沿前后屋面交汇线所筑的屋脊,是屋顶最主要的脊线。正脊往往是沿桁檩方向,且在屋面最高处。<sup>[11]</sup>正脊脊饰的装饰位置主要集中在正脊的一线三点之处,一

线具体指的是正脊这条屋脊线,一般会施以浮雕装饰,三点则是指正脊的两端以及中间位置,会装饰立体雕塑样式的吻饰和脊刹,从远处看如同突出的点,故而称作一线三点式装饰,其中位于两端的吻饰大多装饰螭吻或鳌鱼这类动物形象,脊刹大多装饰宝珠、阁楼、宝塔等器物形象。

### (2) 垂脊脊饰

垂脊在特指屋脊位置时有其专门的称谓,只要是和正脊或者宝顶相交的脊都可统一称作垂脊<sup>[11]</sup>,它主要发挥排水的功能,垂脊的脊饰大多是以人、兽的形象作为主要内容,采用植物纹样的情况较少,在殿屋顶中,垂兽是垂脊装饰中重要的构件,一般处在垂脊中段比较靠前的地方,把垂脊划分成兽前和兽后两个部分。兽前部分大多装饰着一列垂兽,其排列顺序是:骑凤仙人、龙、凤、狮子、天马、海马、狻猊、狎鱼、獬豸、斗牛、行什等,垂兽的数量大多蕴含着特定的文化内涵。兽后部分则大多不作装饰,此种布局使垂脊在视觉上疏密有致,体现出传统建筑装饰的构图章法。

### (3) 戗脊脊饰

戗脊又叫金刚戗脊,是歇山屋面上与垂脊相交的脊。<sup>[11]</sup>戗脊所呈现出的装饰情况,与正脊、垂脊存在差异。在官式歇山顶建筑中,戗脊的装饰包含戗兽以及蹲兽等元素,然而在部分民间建筑中,戗脊的装饰却被设计成如卷草、祥云、竹子等各种各样的纹样。<sup>[12]</sup>

## 3 琉璃脊饰与中国传统文化内涵

### 3.1 脊饰布局

中国古代建筑在规划布局时,采用阴阳互补、藏风聚气的协调平衡方式,借助模拟宇宙或社会生活中的其他实物形状,以此暗示一定的文化美学意蕴,借助建筑物与天象星宿的照应,使其契合自然,实现一种自然的建筑师实用意识以及天人合一背景下人与自然的和谐理念,正是这种理念造就了中国古建筑构造的基本形态。

中国古建筑的发展历程起始于穴居以及巢居,而后逐渐演进至地面房屋阶段,房屋的“私密性”很早受到了重视,正如“宫墙之高足以别男女之礼也”所述,基于此便出现了围墙,当房屋空间不足时,人们会在两侧的围墙处加建“庑廊”,并在“堂”的东西两侧增建厢房,如此一来便逐渐演变成四合院,其布局方式实际上是随着建筑的诞生而形成。<sup>[13]</sup>四合院的布局呈现出中轴对称的特点,注重风水,秉持负阴抱阳的理念,营造出藏风聚气的优良环境,形成良好的生态以及局部小气候,屋顶的琉璃脊饰在布局方面同样遵循中轴对称原则,这种布局形式把人们的社会风俗融入到自然环境之中,天、地、人为统一体,既契合功能与技术需求,又体现了中华民族以“中”为尊的传统理念。

### 3.2 脊饰色彩

汉代时期,中国已构建起色彩体系与风水理论、阴阳五行学说之间紧密且系统的内在逻辑。梁思成曾讲道:“从

世界各民族的建筑来看,中国古代的匠师可能是最敢于使用颜色、最善于使用颜色的了。”<sup>[14]</sup>在一定程度上,建筑色彩已成为一种符号象征,其呈现出的文化意象丰富多样,成为中国传统文化的一种关键承载形式。

在中国封建文化中,颜色的形成蕴含着特定象征意义的底蕴与内涵,统治者基于维护政权的需求,将颜色政治进行理论化,并使其具有地位等级之分,原本《易经》中“天玄而地黄”的说法,只是一个涉及方位与色彩的概念,即阴阳五行学说中位置与色彩的象征性,即金、木、水、火、土与位置的对应关系。天苍地“黄”,黄色处于中央成为中央正色,黄色成为表达皇权的一种方式,“坐镇中枢,统治天下”,黄袍成为皇帝专用的服装,历代宫殿因专为帝王所用,也以黄色作为主要色调,另外红色表示富贵荣华,大多也为皇家所使用,一般平民住宅,只能使用灰色,颜色由此便带上了政治伦理、地位尊卑的色彩。

统治阶级为维护封建礼制,规定所有房屋在规模、样式、色彩以及装饰方面,均要依照“礼制”执行。<sup>[15]</sup>故脊饰的形制与色彩须严格遵守等级规制,不可滥用。色彩在琉璃装饰中有着明确的等级制度。黄色作为等级最高的颜色,黄琉璃为皇家独有,用在皇家的最高等级的建筑物上,如故宫太和殿屋顶即全部覆以黄色琉璃瓦,吻兽、垂兽等琉璃脊饰均为单纯的黄色。绿色琉璃多用于宫廷内的一般殿堂、城门、庙宇和王府;蓝色琉璃为天的颜色,只用于与隆重祭祀有关的建筑。此外,紫、翡翠等色则多用于离宫与园林,形成清晰的身份标识体系。清代雍正朝开始,为了表示对儒学的尊重,特许文庙可以使用全黄琉璃装饰屋顶。琉璃脊饰颜色与等级制度相结合,能让建筑在呈现富丽堂皇、气势雄浑之时,依旧维持和谐、统一,不逾越礼制。

### 3.3 脊饰数字

在中国古老的传统文化范畴之内,数是一种“先于天地已然存在,后于天地仍可确立”的自在存在之物,它有着与天地共同存续的特性,蕴含着自然法则的特定含义,东汉时期的马融认为:建筑数字文化源自《周易》,在建筑所特有的语言体系中,人们借助数字传达某种愿望、某种理念、某种象征意义,或者代表某种具有形象的物或者抽象的概念,将数的元素融入到建筑语言之中。<sup>[16]</sup>

数的概念在古建筑尤其是宫殿建筑中普遍应用。《易经》依据阴阳二分的原理,规定奇数对应天,属于阳性,象征吉祥、幸福、和谐以及美满,偶数对应地,属于阴性,具有阴冷和不祥的意味,北京天坛的圜丘作为祭天的场所,其几何尺寸严格采用阳数,圜丘中央砌有一块圆形石板,称作“太极石”,这块石头的四周砌着9块扇形石板,构成第一重,第二重砌18块,第三重砌27块……一直到第九重为81块,都是9的倍数,不断重复强调“九”数的意义。太和殿有9开间,进深5间,72根巨柱都是9或9的倍数,或者奇数,天安门正面宽9间,门上装有9路门

钉,即纵横各9排,故宫房间为9999间半,暗含“九五”至尊的意思,“九”是奇数中最大的数,中国传统文化把“九”看作纯阳之数,是最尊贵的数字,代表“天”。人间的帝王以“天子”自居,与皇帝有关的数字多用“九”,以显示最高级别,整个故宫建筑从数的角度体现了阴阳相合,天地对应,在所用琉璃脊兽的数目上,根据建筑规模和等级不同而数目有所不同,多为一、三、五、七、九等单数,建筑等级越高,琉璃脊兽的数量也会随之增加,并且排列有序,秩序感强,组织匀称和谐,比如北京故宫太和殿用了十个琉璃脊兽象征天底下只有皇帝才能“十全十美”,借助数字这种无形的语言体现了皇权的至高无上。<sup>[17]</sup>

### 3.4 脊饰造型

琉璃脊饰不仅是一种建筑构件,更是一种精神产品,作为一种文化载体,古人借脊饰之形,彰身份,托祝愿。故而脊饰设计具有防火功能、防腐功能以及驱邪作用,其还大多传达出屋主对于吉祥、幸福的祈求以及美好的愿望。其文化寓意主要体现在三个方面:一是镇火避灾,传统木结构建筑易遭火灾,因而在屋脊上安置一系列与水相关的神兽形象,藉由其象征性的禳灾力量以抵御火灾。如鸱吻被认为能喷水降雨,押鱼、斗牛等海中异兽则象征兴云布雨,共同构建了建筑上的防火信仰体系。二是驱邪镇宅,面对未知自然与社会中的灾异,古人常通过宗教与符号寻求心理安定。在居所中设置具有镇煞辟邪功能的脊饰,成为安抚心灵、抵御邪祟的重要方式。诸如镇煞的狮子、辟邪的狻猊、辨正驱恶的獬豸等,均为常见的具有镇宅、意义的脊饰形象。三是吉祥寓意,借助各类经意象化加工的脊饰形象,表达对吉祥与幸福的追求。如象征祥瑞的骑凤仙人,彰显尊贵的龙和风,代表着忠勇与智慧的海马、天马,以及寓意着灵巧聪慧的行什之类,皆反映了古人祈愿吉祥降临的美好心理。这些脊饰共同构成了中国传统建筑中物质与精神交织的文化景观。

### 4 琉璃脊饰对当代建筑的启示

琉璃脊饰作为一种具有瓦作特征的建筑构件,不仅起到保护屋顶的作用,也具有极高的装饰价值。同时,受传统文化影响在体现等级的同时,又赋予其吉祥、驱邪等美好寓意。那些呈现出各种不同形态、有的蹲踞有的跳跃的脊兽,让屋脊之间的过渡衔接变得越发自然,还增添了建筑雄伟壮丽、威严崇高的气势,它们奇特的造型以及文化寓意,为中国传统建筑增添了神秘且庄重的艺术魅力,这样的传统一直延续至今仍在演变发展,并且得到了广泛的认可。不少设计将传统脊饰元素通过现代手法重新诠释,融入当代建筑,为建筑注入生机与活力,呈现出生动、神奇、富丽堂皇的美感。脊饰作为非物质文化遗产,它的内涵和外延,随着时代的发展而不断丰富和扩展的,值得我们探索、挖掘其背后的哲学思想、审美观念与精神追求等历史文化信息,用来服务当下。在中外文化交融的背景下,建筑师应协调好人与自然、

建筑的关系,打造中国特色当代建筑。

## 5 结语

若对本文的叙述做一个总结,大体归纳在三个主要基本方面。(1)在装饰方面:这些琉璃构件在外型上看起来玲珑有致华丽非凡,集众多技艺为一体,其造型、色泽及工艺均可代表当时琉璃制造的最高水平;(2)在功能方面:保护屋顶,防火、防雨;(3)在文化方面:中国古建筑的琉璃脊饰有深远的文化渊源,哪怕一个小小的构件都有其自身要表达的神秘思想,其蕴含的丰富文化内涵更是耐人寻味,从而呈现出异彩纷呈的文化特色。琉璃脊饰在布局、色彩、数字、造型等方面体现了契合自然、君权至上、乾坤阴阳及求吉纳祥思想的传统文化内涵。一个民族所拥有的文化,会对该民族各个层面的意识形态产生决定性作用,而这种意识形态又在如建筑、民俗、礼乐等具体行为方面起着主导掌控的功效。

### [参考文献]

- [1]魏克晶.中国大屋顶[M].北京:清华大学出版社,2018.
- [2]吴庆洲.中国建筑脊饰[M].台湾:锦绣出版社,2003.
- [3]潘谷西.中国建筑史[M].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [4]孙大章.中国古代建筑装饰[M].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [5]李诚.营造法式[M].重庆:重庆出版社,2018.
- [6]王贵祥.土木,砖瓦,石铁,琉璃,彩画与中国建筑历史年轮[J].中国建筑史论汇刊,2020(1):19.
- [7]丘濬.大学衍义补[M].江苏:江苏大学出版社,2018.
- [8]房玄龄.晋书[M].北京:中国科学出版社,2022.
- [9]萧子显.齐书[M].北京:中华书局,1996.
- [10]刘昉.旧唐书[M].北京:现代教育出版社,2011.
- [11]刘大可.中国古建筑瓦石营法[M].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [12]李玉姣.明清琉璃脊饰的装饰特征研究[D].江西:景德镇陶瓷大学,2020.
- [13]李允铎.华夏意匠—中国古典建筑设计原理分析[M].天津:天津大学出版社,2006.
- [14]梁思成.建筑历史和理论[M].南京:江苏人民出版社,1981.
- [15]夏晋.以“礼”论中国传统建筑装饰的等级特征[J].理论月刊,2006(6):94.
- [16]李玲,李俊.中国古建筑和谐理念研究[M].北京:中国社会科学出版社,2017.
- [17]刘文良,邢美艳.中国皇家脊兽的思想及美学意蕴探析[J].民族论坛,2011(8):89.

作者简介:宋冰珂(2005.11—),女,汉,山东菏泽人,山东理工大学在读,研究方向:环艺设计;刘文慧(1990.4—),女,汉,河北张家口人,韩国忠南大学工学博士,山东理工大学美术与设计学院讲师,研究方向:建筑设计、环艺设计。

Viser Technology Pte. Ltd.

公司地址

195 Pearl's Hill Terrace, #02-41, Singapore 168976

官方网站

[www.viserdata.com](http://www.viserdata.com)

