



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 **5**

第3卷 总第22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5期(总第22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: 5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: 111 North Bridge Rd, #21-01 Peninsula Plaza,

Singapore 179098

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 李笑宇 刘汉涛

钱 冰 吉威伟 杨熠卿 宋世超

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

- 装配式建筑钢结构无损检测技术研究..... 王 雷 1  
山地建筑结构适应地形的设计方案探讨..... 封晓宣 5  
建设项目抗震设防监管机制的优化路径研究... 朱 涛 8  
绿色建筑暖通系统中的自然通风与机械通风耦合设计 ..  
..... 李晓寒 11  
装配式建筑连接节点施工质量控制要点分析.....  
..... 刘曜恺 14  
关于 BIM 技术在装配式建筑施工阶段中的应用.....  
..... 徐华中 17  
高效节水器具在公共建筑中的应用效果评估. 于 晴 20

#### 市政工程

- 市政工程 BIM 技术应用关键影响因素研究... 王志国 23  
天然气输气管道隐蔽工程质量控制技术的应用与发展趋势 ..  
..... 邱志宇 26  
污水处理厂提标改造中的工程风险管理研究. 刘 旭 29

#### 材料工程

- 新型石墨秸秆复合保温材料的性能及工程应用研究....  
..... 倪顺年 任成伟 33

#### 工程管理

- 浅析工程监理在建筑工程施工中的作用 .... 梁德江 37  
土木工程施工中的质量控制与安全管理 .... 张 辉 40  
基于信息技术的建筑工程管理新模式 ..... 惠述清 44

#### 施工技术

- 隧道场景中的智能边缘控制技术及应用 .....  
郑 磊 任光粤 徐丹圃 杨先锐 陈信言 周文斌 47  
建筑土木工程施工中的基坑支护技术应用探讨 .....  
..... 田彦虎 50  
提高热力管道施工技术水平的有效手段 .... 邢双虎 53  
高陡边坡潜在崩塌体结构特征及稳定性评价方法.....  
..... 盛海峰 56

浅析高铁站房结构设计要点 ..... 周天平 59  
绿色施工技术在上海五建办公大楼项目中的集成应用与  
效益分析 ..... 范孝俊 63

## 石油化工

恒定拉力螺栓副在无泄漏工厂创建工作中的重要作用 ..  
..... 惠红鲸 刘 闯 金圆圆 孙源智 67  
基于 STAAD PRO 对低压储罐的罐顶设计 .... 张 璐 70

## 节能环保

浅谈节能环保理念在住宅建筑施工技术中的应用.....  
..... 刘建伟 74

## 机电机械

高原地区铁路线路维修机械低温作业适应性分析.....  
..... 宋莉莎 77  
原子层沉积 TiN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 多层纳米涂层的制备及层结构对性  
能的影响..... 田程浩 唐思文 张文静 种鑫鹏 80  
五轴高速铣削数控机床加工金属铝蜂窝的经济性工艺研  
究..... 王宏涛 85  
智能技术在机械制造自动化中的应用.....  
..... 王 刚 李 戈 88  
医院机电安装工程中 BIM 技术协同施工管理的应用研究  
..... 杨顺法 91

## 能源矿业

金矿建设工程智能化通风系统构建与节能效益分析....  
..... 王亚州 李积财 张希科 94  
露天采矿边坡控制性爆破施工技术研究..... 王应明 97

## 勘察测绘

基于无人机影像的地形测绘精度提升方法研究.....  
..... 陶家祥 100  
金铜多金属矿水工环地质特征综合研究——以新疆和静  
县乌龙沟-虹桥一带为例..... 孔维英 104  
无人机倾斜摄影测量在城乡规划测图中的实施路径....  
..... 张 阳 108  
基于遥感技术在机场净空管理的技术研究... 赵 芮 111

## 建筑设计

环保节能理念在建筑给排水设计中的应用探析.....  
..... 崔晓晗 114  
轻钢结构住宅体系的设计与应用研究..... 李润泽 117  
设置筒仓的单跨工业建筑结构设计方案的探讨.....  
..... 马 凯 120  
可持续建筑材料在建筑设计中的选择与应用.....  
..... 胡志健 123  
建筑暖通设计中的节能策略与实践研究..... 张明跃 126

# 装配式建筑钢结构无损检测技术研究

王雷

河北天博建设科技有限公司, 河北 保定 071000

[摘要]随着装配式建筑技术的快速发展, 钢结构作为其核心组成部分, 在提高施工效率、保障建筑安全性方面发挥着重要作用。然而, 钢结构在施工过程中容易出现焊接缺陷、腐蚀和应力集中等问题, 这些问题直接影响建筑物的结构稳定性与耐久性。文中分析当前技术的应用状况与挑战, 并提出相应的改进措施和发展方向, 以期为未来钢结构检测技术的优化提供理论支持。

[关键词] 装配式建筑; 钢结构; 无损检测技术

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16481

中图分类号: TU391

文献标识码: A

## Research on Nondestructive Testing Technology for Prefabricated Building Steel Structures

WANG Lei

Hebei Tianbo Construction Technology Co., Ltd., Baoding, Hebei, 071000, China

**Abstract:** With the rapid development of prefabricated building technology, steel structure, as its core component, plays an important role in improving construction efficiency and ensuring building safety. However, steel structures are prone to welding defects, corrosion, and stress concentration during construction, which directly affect the structural stability and durability of buildings. The article analyzes the current application status and challenges of technology, and proposes corresponding improvement measures and development directions, in order to provide theoretical support for the optimization of steel structure detection technology in the future.

**Keywords:** prefabricated building; steel structure; nondestructive testing

### 引言

装配式建筑因其施工效率高、环境友好、可持续性强, 正日益成为现代建筑工程发展的重要方向。在这一建筑模式中, 钢结构作为核心构件之一, 凭借优异的力学性能与便捷的装配性, 已在各类工程项目中得到广泛推广。然而, 钢结构本身的质量水平直接影响到建筑整体的安全性与使用寿命, 因此, 如何有效开展质量监测, 及时发现结构隐患, 已成为工程技术领域亟待解决的关键问题。目前, 常用的传统检测手段普遍存在流程繁琐、操作破坏性强、检测效率低等不足之处, 难以适应当前对施工进度、结构完整性以及质量管控提出的更高要求。与此相比, 无损检测技术因具备在不损伤结构的前提下识别内部缺陷的能力, 逐渐成为钢结构质量检验的主要技术路径。通过应用如超声波、射线、磁粉等无损检测方法, 焊接质量问题、腐蚀状况及裂纹分布得以快速准确地识别, 从而提升了整体结构的安全保障水平。尽管无损检测技术在钢结构工程中展现了显著优势, 但在装配式建筑的实际应用过程中, 仍面临一系列制约因素。检测精度不足、适用环境受限、成本控制困难等问题, 制约了其推广的深度与广度。为此, 开展系统研究并探索更契合装配式建筑特性的无损检测方案, 已成为提升建筑施工质量、保障结构安全性以及延长建筑使用周期的重要手段。

### 1 装配式建筑钢结构的施工特点

装配式建筑中钢结构的施工特点, 主要体现在施工效

率高、设计标准统一以及具备良好的可持续发展潜力等方面。在具体实施过程中, 该类型结构常采用“工厂预制+现场拼装”的建造模式, 从而显著缩短了整体工期。通过在生产车间对钢构件进行批量化、标准化制造, 不仅提升了构件的尺寸精度与质量一致性, 而且有效降低了现场施工对环境与气候条件的依赖, 减轻了外部因素对施工进度的影响。装配式钢结构强调构件的标准化设计与模块化拼装, 每一构件均依据统一技术规范加工, 同时具备灵活组合的特点, 使得结构布置方式能够根据实际建筑需求快速调整。此模式在提升建造效率的同时, 有效减少了建筑材料浪费与施工过程中的环境污染, 体现了良好的绿色建造属性。现场施工量较小, 依赖技术工人的程度得以降低, 管理流程得以简化, 这有助于控制施工过程中潜在的安全隐患。与此同时, 这种结构体系具有较好的适应能力, 广泛应用于多种建筑形式中, 尤其在高层建筑及复杂结构体系中, 展现了突出的稳定性与较强的承载性能, 进一步拓展了其工程应用的广度与深度。

### 2 装配式建筑钢结构无损检测技术应用

#### 2.1 钢结构焊缝无损检测技术

##### 2.1.1 超声波检测

在钢结构焊缝的无损检测技术中, 超声波检测因其适用性广泛而被大量采用。该技术依赖于高频声波在焊缝材料中传播时的物理特性, 声波遇到缺陷时所产生的反射或

折射现象被分析,以识别焊缝内部是否存在裂纹、气孔或夹杂物等异常情况。当超声波信号射入焊缝后,一旦遇到结构不连续的区域,声波便会发生明显变化,接收装置可通过回波的强度、传播时间及频率变化,进一步判断缺陷的位置和性质,从而对焊缝质量作出评估。与其他常见的检测手段相比,超声波检测在探测深度、灵敏度以及适应不同工况方面展现出了显著优势。不仅深层和浅表的缺陷能够有效识别,且为钢结构焊接质量的精准判断提供了重要的数据支持。该技术还适用于形状复杂或尺寸较大的焊缝结构,具备现场实时检测的能力,检测过程直观,结果的可视化程度高,便于操作者及时分析和判断。然而,检测的准确性在很大程度上依赖于操作人员的专业水平及设备的性能表现。较强的技术能力与丰富的实践经验,操作者需要具备,才能保障检测过程的有效实施与最终结果的科学性<sup>[1]</sup>。

### 2.1.2 射线检测

射线检测作为钢结构焊缝无损检测中的关键技术之一,常采用X射线或 $\gamma$ 射线对焊缝内部结构进行透视成像,以识别隐藏的缺陷问题。该技术的基本原理在于:当高能射线穿透钢材时,射线会因材料的密度、厚度差异或内部缺陷的存在而发生不同程度的吸收或散射,进而在感光材料或数字成像系统中形成影像,通过图像分析即可识别焊缝中是否存在裂纹、气孔、夹杂物等结构异常。具有良好穿透性能,这种检测方式,尤其适用于较厚钢板或形状复杂部位的内部质量评估。借助其成像直观、精度高的优势,射线检测在焊接接头质量控制中被广泛应用,并可为工程安全提供可靠的技术保障。尽管该技术具备高可视化和精密诊断的特点,但在实际操作中,较高的技术规范与安全管理要求被提出。由于涉及放射性源的使用,检测过程中存在一定的辐射风险,专业的技术人员必须配备,并制定完善的防护措施。

### 2.1.3 磁粉检测

磁粉检测是一种主要针对钢结构焊缝表面及近表面缺陷的无损检测手段,常用于识别如裂纹、夹杂、气孔等微小结构异常,尤其在表层质量控制中发挥着重要作用。该技术基于磁场泄漏原理,即在对钢构件施加外部磁场后,若焊缝表面存在不连续性结构,磁力线会在缺陷区域发生异常变化,并形成局部磁场泄漏。此时,撒布在表面的磁粉会聚集于这些磁场异常位置,从而显现出可视化的缺陷痕迹,供操作者进行判读和分析。磁粉检测因操作简便、成本较低以及检测效率较高而受到工程实践中的广泛青睐,尤其适用于现场快速评估,无需复杂的前期处理便可实施,节省了大量人力与时间。其检测效果在识别浅层裂纹、表面划痕等问题方面尤为显著,为焊缝的初步质量把关提供了可靠依据。

### 2.1.4 渗透检测

渗透检测是一种广泛应用于钢结构表面质量评估的无损检测技术,主要用于识别如裂缝、针孔及其他极细微的表面缺陷。该技术的检测机制依赖于渗透液的毛细作用,通过将液态渗透剂均匀施加在构件表面,使其自动渗入存在开口缺陷的部位。渗透完成后,表面多余的渗透剂需要被清除,并喷涂显像剂。显像剂将渗透液从缺陷中“吸出”,并在表面形成清晰可见的标记,从而直观地展示出缺陷的具体位置与形态。该检测方式因操作流程简洁、成本投入较小、检测分辨率高等特点,特别适合用于非磁性材料或磁粉检测不适用的场景。在处理形状复杂或边角繁多的构件时,渗透检测展现出了较强的适应性与有效性,能够对微小裂纹或表层微孔进行精准识别。

## 2.2 钢结构腐蚀无损检测技术

### 2.2.1 电化学方法

电化学检测技术是一种常见的无损手段,主要用于评估钢结构在服役过程中所遭受的腐蚀状况。该方法基于电化学反应原理,通过监测钢材表面或周边环境电流、电位、电阻等参数的变化,反映出腐蚀过程的动态特征。在检测过程中,通常通过施加外部电流或电压以激发钢结构与其接触介质之间的电化学反应,再通过对相关电化学数据(如腐蚀电流密度、电极电位等)的解析,判断腐蚀的程度与速率。这种检测方式因灵敏度高、精度优良而著称,能够实现对腐蚀进展的连续监控,适用于大面积钢结构系统的腐蚀状态评估。应用范围涵盖多种电化学手段,如极化曲线测试、电阻率分析、工作电极测试等。极化技术可直接测得腐蚀速率,并通过腐蚀电流强度的变化反映腐蚀程度;而电阻率测量则通过判断材料电阻的波动趋势,推定腐蚀的存在与发展<sup>[2]</sup>。该技术的一个显著优势是其非破坏性操作特点,在不影响结构正常使用的情况下,长期观测即可开展,尤其适合如桥梁、输油管道等对连续性要求较高的工程设施使用。

### 2.2.2 超声波检测

超声波检测作为无损检测技术中的一种常用手段,广泛应用于钢结构腐蚀状况的评估中。该方法依赖于超声波在金属内部传播时的物理特性,通过分析声波在钢材中传播过程中遇到缺陷或腐蚀区域所产生的反射、散射或能量衰减现象,来判断结构的完整性与腐蚀程度。检测过程中,高频声波信号由探头发出,一旦声波在传播中遇到如裂纹、空洞、减薄等不连续界面,便会产生回波,返回至接收装置。通过对这些回波信号的波形、强度和传输时间进行综合分析,钢材内部异常的位置、范围与性质便可确定。在腐蚀检测领域,超声波技术尤其擅长测量构件壁厚的变化情况,从而推断出材料的腐蚀深度及其发展趋势。其显著优势在于检测过程高效、数据准确,且不会对被检测结构

造成任何损伤。该方法不仅能够揭示肉眼难以察觉的细微腐蚀损伤，还能发现隐藏于构件内部的潜在缺陷。

### 2.2.3 涡流检测

涡流检测是一种基于电磁感应原理、常用于评估钢结构腐蚀状况的无损检测技术。该方法利用电磁探头发出交变电流，在钢材表面及其近表层区域激发出涡流。当材料表面存在裂纹、锈蚀、腐蚀坑等缺陷时，局部电磁特性发生改变，进而导致涡流的分布和强度产生扰动。通过分析这些异常信号的响应特征，缺陷的位置、尺寸及其性质便可判断。此项检测技术响应速度快、灵敏度高，特别适用于表面或近表面腐蚀的快速筛查，即使是极细小的裂缝或微小的腐蚀区域也能被及时发现。相比传统检测方式，涡流探头在检测过程中能够实现非接触操作，既避免了对表面条件的严格要求，也提升了在不规则结构或难以接触部位上的应用便利性。

### 2.2.4 射线检测

射线检测通过射线穿透钢结构，根据射线在腐蚀缺陷处的吸收和散射程度来评估内部腐蚀情况。然而，射线检测需要使用放射源，这使得其操作成本较高，并伴随一定的安全风险。因此，在进行钢材腐蚀状态检测时，应谨慎选择该方法，并严格遵守相关的安全制度和规定，以确保操作的安全性。

### 2.2.5 红外热像检测

红外热像检测作为一种利用物体表面温度分布差异来识别钢结构腐蚀情况的无损检测手段，其核心原理在于通过红外热像仪扫描钢材表面，捕捉因热传导特性变化而引发的温度异常。钢结构某一部分发生腐蚀时，热导率与热容量往往会偏离正常区域，从而引起局部温度与周边区域之间产生差异。这些微小的温度变化能够迅速被红外设备感知，并以图像形式直观呈现，从而辅助技术人员精准定位潜在缺陷位置<sup>[3]</sup>。非接触式测量特点使得该检测方法能够在不干扰结构本体的前提下，高效覆盖大面积区域，尤其适用于结构复杂、空间受限或高空部位的检测作业。红外热像检测在多种环境条件下均可开展，特别在低温或伴随热循环的工况下，较强的适应性得以展现，能够有效揭示因温差引发的腐蚀现象。

## 2.3 钢结构应力与缺陷无损检测技术

钢结构的应力与缺陷无损检测技术在装配式建筑中的应用至关重要，特别是在保障结构安全性和延长建筑使用寿命方面。通过这些技术，结构的状态可在不造成任何破坏的情况下实时监测，潜在的缺陷，如裂纹、腐蚀、疲劳损伤及变形等，可以及时发现并定位。常见的无损检测方法包括超声波检测、声发射检测、激光扫描技术以及磁共振成像等。超声波检测技术通过向材料内部发射高频声

波，遇到裂纹或空洞时，声波在介质中的传播会发生反射或折射，从而揭示隐藏的缺陷。声发射检测则通过监测钢结构在使用过程中因应力集中或裂纹扩展而产生的高频声波信号，有效预测可能发生的结构破坏或疲劳失效。激光扫描技术则能够精准测量钢结构表面的微小变形与偏差，点云数据通过获取后，用于构建三维模型，从而评估应力分布和结构变形，进而判断整体健康状况。磁共振成像技术则利用磁场扫描钢结构，特别适用于发现早期的腐蚀或微裂纹，高效检测表面及内部缺陷。

## 3 装配式建筑钢结构无损检测技术发展建议

### 3.1 提高人员技术水平

提升装配式建筑钢结构无损检测技术应用效果的关键，在于提高相关人员的技术水平。随着无损检测技术的不断创新以及钢结构复杂性的提升，对检测人员的专业能力和实践经验提出了更高要求。不同无损检测方法的原理、适用范围、操作技巧及其局限性，必须被技术人员深入理解，从而能够在实际工作中灵活应对多样的检测挑战<sup>[4]</sup>。为确保技术水平的不断提高，定期开展培训和技能考核显得尤为重要。通过持续的学习和技能训练，最新的技术设备不仅能够被检测人员掌握，还能紧跟行业发展趋势，从而增强问题分析与解决的能力。此外，加强与工程设计、施工以及其他技术部门的沟通与合作，对于确保检测工作的顺利进行，亦至关重要。

### 3.2 制定完善的检测制度

完善的检测制度，是提升装配式建筑钢结构无损检测技术有效性的关键保障。一个科学且规范的制度，能够确保无损检测过程的标准化、系统化及高效性，从而提升检测质量，确保结构的安全与稳定。各种无损检测技术的适用范围及操作流程，应在制度中清晰界定，覆盖从原材料进场到结构竣工的整个过程，确保每个环节都有明确的标准可供遵循。此外，合理的质量控制措施与检验标准，应包括在检测制度内，详细规定检测设备、操作人员资质、检测频次及数据记录等方面，以确保所有环节得到充分重视与实施。对于不合格项的处理流程，也应作出明确规定，若发现问题，迅速采取措施进行修复或替换，并形成整改报告，确保问题得以有效解决。检测制度的完善，还需根据施工环境及现场实际情况灵活调整检测频率和方法，以适应不同的检测需求及外部条件。最后，建立定期检查与评估机制至关重要，检测工作应进行审查与总结，优化操作流程，不断提升检测质量。

## 4 结语

随着装配式建筑行业的迅猛发展，钢结构的广泛应用，对建筑质量与安全提出了更高的要求。在这一背景下，作为确保钢结构质量的重要手段，无损检测技术，在提升建筑的安全性、稳定性及延长使用寿命方面，起着至关重要

的作用。通过及时检测和评估钢结构焊缝、腐蚀及其他缺陷问题,工程事故的发生可以有效减少,建筑物的长期安全得到保障。尽管无损检测技术在钢结构应用领域取得了显著进展,仍然面临一些技术瓶颈和挑战,亟需进一步的创新与完善。随着技术的不断发展以及行业需求的提升,装配式建筑钢结构的无损检测技术,在未来的建筑行业中,将发挥更加重要的作用,为建筑的质量与安全,提供更为坚实的保障。

#### [参考文献]

- [1] 葛德,李俊杰. 装配式建筑钢结构无损检测技术研究[J]. 张江科技评论,2024(7):141-143.
- [2] 玉剑兵. 装配式建筑钢结构无损检测技术研究[J]. 江西建材,2023(3):102-103.
- [3] 朱峰. 探讨无损检测技术在建筑工程检测中的应用[J]. 建材与装饰,2019(36):54-55.
- [4] 王子平,朱永恒. 加强装配式钢结构质量控制[J]. 建筑技术,2018,49(1):157-158.

作者简介:王雷(1988.6—),毕业院校:河北建筑工程学院 专业:土木工程专业,当前就职单位:河北天博建设科技有限公司,职称级别:工程师。

## 山地建筑结构适应地形的设计方案探讨

封晓宣

河北建筑设计研究院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]** 山地建筑结构设计需充分考虑地形复杂性, 以实现建筑物与自然环境的和谐共生。本论文探讨了在山地环境中如何通过创新的设计方法来适应地形特点, 提升建筑的稳定性和安全性, 同时兼顾环境保护和美观需求。首先分析了山地建筑面临的挑战, 如地质条件复杂、施工难度大等, 然后介绍了几种典型的适应地形的设计方案, 包括阶梯式布局、悬臂结构及轻型材料的应用。合理利用地形特征并结合现代工程技术, 不仅可以提高建筑的安全性能, 还能减少对环境的影响, 促进可持续发展。

**[关键词]** 山地建筑; 地形适应; 结构设计; 环境保护; 可持续发展

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16469

中图分类号: TU986

文献标识码: A

### Discussion on the Design Scheme of Mountain Architecture Structure Adapting to Terrain

FENG Xiaoxuan

Hebei Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** The structural design of mountainous buildings needs to fully consider the complexity of terrain in order to achieve harmonious coexistence between buildings and the natural environment. This paper explores how innovative design methods can be used in mountainous environments to adapt to terrain characteristics, improve building stability and safety, while also considering environmental protection and aesthetic needs. Firstly, the challenges faced by mountainous architecture, such as complex geological conditions and high construction difficulty, were analyzed. Then, several typical design schemes adapted to terrain were introduced, including stepped layout, cantilever structure, and the application of lightweight materials. Reasonably utilizing terrain features and combining them with modern engineering technology can not only improve the safety performance of buildings, but also reduce their impact on the environment and promote sustainable development.

**Keywords:** mountain architecture; terrain adaptation; structural design; environmental protection; sustainable development

#### 引言

山地建筑作为人类探索和利用自然资源的重要方式之一, 在近年来受到了越来越多的关注。面对复杂的地形条件, 传统的建筑设计理念和技术往往难以满足实际需求。特别是在保护生态环境成为全球共识的今天, 如何在破坏自然景观的前提下, 建造既稳固又美观的建筑物, 成为了建筑师和工程师们共同面临的课题。本文旨在探讨山地建筑结构如何更好地适应地形, 通过分析现有案例和技术手段, 为未来类似项目提供参考。文中将详细讨论不同设计方案的优点及其适用场景, 并强调技术创新在应对复杂地形中的关键作用。

#### 1 山地建筑结构设计面临的主要挑战

在山地环境中进行建筑结构设计时, 设计师们面临诸多复杂挑战。地形的多变性和地质条件的不均匀性是其中最为突出的问题。山地地区通常伴随着陡峭的坡度、岩石裸露以及土壤层薄等特征, 这些因素直接制约了基础的选择与施工方式。在斜坡上建设建筑物时, 传统的浅基础往往难以满足承载力的要求, 而深基础则可能遭遇坚硬岩层或地下水带来的施工难题。由于地形变化大, 不同位置的

地基承载能力差异显著, 这就要求设计师必须对每个具体的建造地点进行详细的地质勘查, 以便制定出合适的地基处理方案。复杂的地形也增加了运输和施工的难度, 如何将建筑材料安全有效地运抵施工现场, 并确保施工过程中的安全性, 是每一个项目都必须面对的实际问题。

建筑设计还需考虑山地环境下的气候条件及其对建筑物的影响。山区常见的强风、暴雨以及温差变化等因素, 不仅考验着建筑结构的稳定性, 还对其防水、保温性能提出了更高要求。特别是在高海拔地区, 极端天气频发, 这使得建筑不仅要抵御自然力量的侵蚀, 还要保证内部环境的舒适度。为应对这些问题, 设计师需要采用更加先进的技术和材料, 如高性能混凝土、耐候钢材以及高效的隔热材料等, 来提升建筑物的整体性能。考虑到山地建筑大多位于生态敏感区域, 设计过程中还必须兼顾环境保护, 避免因施工和运营活动对周边生态系统造成不可逆的破坏。通过合理规划建筑布局, 减少土方开挖量, 并利用植被覆盖等方式进行生态修复, 可以有效降低对环境的负面影响。

实现山地建筑与周围自然景观的和谐共存是另一个重要方面。在设计过程中, 应充分尊重原有地形地貌, 尽

量保留自然元素,使建筑成为景观的一部分而非对立面。比如,采用阶梯式布局或悬臂结构等设计方案,可以让建筑物更好地融入山体轮廓之中,既减少了对自然地形的改造,又提升了视觉美感。选用本地材料作为建筑材料,不仅可以减少长途运输带来的碳排放,还能增强建筑的地方特色和文化认同感。在山地环境下进行建筑设计时,需综合考虑技术、经济、环境及美学等多方面因素,才能创造出既安全实用又美观环保的建筑作品。

## 2 地形适应性设计的基本原则与策略

在山地建筑的设计过程中,理解和遵循地形适应性设计的基本原则是实现成功项目的关键。核心在于尊重自然环境,最大限度减少对原始地貌的改变。这要求设计师在构思初期就进行详尽的现场勘查,深入了解地质条件、水文特征以及生态状况等多方面信息。通过精确的数据分析和模拟,可以预测不同设计方案对地形的影响程度,从而选择最合适的施工方法。在面对陡峭山坡时,避免大规模削坡填方,转而采用轻介入式设计策略,如架空结构或悬臂式平台,不仅能够减轻对土地的压力,还能有效利用空间,增加建筑的独特性和美观度。

为了确保建筑物与山地环境和谐共存,必须采取一系列具体的设计策略来应对各种挑战。一种有效的做法是将建筑与地形紧密结合,使建筑物顺应自然起伏,而不是强行改造地形以适应建筑。比如,阶梯状布局可以很好地适应坡地地形,既解决了排水问题,又降低了风荷载的影响。使用环保材料和技术也是提升建筑可持续性的重要手段之一。高性能保温隔热材料的应用,不仅能提高建筑能效,还能减少能源消耗;而绿色屋顶和垂直绿化则有助于恢复被破坏的生态环境,促进生物多样性。这些措施共同作用,使得建筑不仅是人类居住和工作的场所,也成为生态系统的一部分,实现了人与自然的和谐共生。

在实施地形适应性设计时,还需要考虑长期维护成本和操作便利性。设计不仅要着眼于当前的需求满足,还要预见未来可能的变化和发展趋势。这就需要引入智能化管理系统,实时监控建筑的各项性能指标,及时发现并解决问题,确保建筑的安全稳定运行。考虑到山地地区交通不便的特点,建筑材料的选择应优先考虑耐久性强、维护需求低的产品。通过合理规划和精细设计,可以大大降低后期维护成本,延长建筑使用寿命。地形适应性设计不仅仅是技术上的挑战,更是一种理念的体现,它强调的是如何在尊重自然的前提下,创造既安全舒适又美观环保的人居环境。

## 3 阶梯式布局在山地建筑中的应用研究

阶梯式布局在山地建筑中的应用,为解决复杂地形条件下的建筑设计难题提供了创新思路。通过将建筑物按照地形的自然坡度分层布置,不仅能够有效减少对原始地貌的大规模改造,还能显著提高建筑群的整体稳定性。这种

设计方式充分利用了地形本身的高低差,使得每一层建筑都能获得良好的视野和采光条件。在一些山区住宅项目中,采用阶梯式布局可以确保每户人家都能享受到充足的日照,同时避免了相互之间的视线干扰。阶梯结构还有助于优化排水系统的设计,通过合理规划各层级间的排水路径,能够有效防止雨水积聚造成的损害,提升建筑的安全性能。

在具体实施过程中,阶梯式布局要求设计师精确测量地形数据,并据此制定详细的施工方案。由于山地地形变化多端,每一层建筑的基础处理都可能需要不同的技术手段。对于坡度较大的区域,可能需要采用深基础或桩基来保证结构稳定;而在相对平缓的地段,则可以考虑使用浅基础以降低成本。为了适应不同层次间的高度差,还需要特别关注楼梯、坡道等垂直交通设施的设计,确保其既方便居民日常出行,又能与整体建筑风格相协调。值得注意的是,在材料选择上也需考虑到运输难度,优先选用当地可获取的建材,既能节省成本,又能减少对环境的影响。

阶梯式布局还体现了现代建筑设计中强调的可持续发展理念。通过合理利用地形,不仅可以减少土方工程量,降低对自然资源的消耗,还可以通过植被覆盖等方式进行生态修复,增强环境友好性。比如,在一些高端度假村项目中,设计师巧妙地将建筑嵌入山坡之中,屋顶绿化与周边自然景观融为一体,既美化了环境,又提升了居住体验。另外,阶梯式布局有助于引入自然通风和被动式太阳能设计,进一步提高建筑能效,减少运营过程中的能源消耗。阶梯式布局不仅是应对山地复杂地形的有效策略,更是实现人与自然和谐共生的重要途径。

## 4 悬臂结构及轻型材料的选择与实践

悬臂结构在山地建筑中的应用为解决复杂地形下的设计难题提供了独特的解决方案。通过将部分建筑物伸出支撑结构之外,悬臂结构能够在不增加基础负荷的前提下扩展使用空间。特别是在面对陡峭的山坡或狭窄的地块时,这种技术能够最大化利用有限的土地资源。在一些山地住宅项目中,设计师采用悬臂式阳台和露台的设计,不仅增加了户外活动的空间,还赋予了建筑更加轻盈、现代的外观。由于悬臂结构减少了对地面的直接干预,有助于保护自然地貌,减少对生态环境的影响。这种结构形式也提高了建筑的灵活性,使得设计师可以根据具体需求调整各部分的位置和大小,实现更加个性化的空间布局。

选择合适的材料对于成功实施悬臂结构至关重要。在山地环境中,考虑到运输条件的限制以及施工难度,轻型且高强度的材料成为了首选。碳纤维增强复合材料(CFRP)、玻璃纤维增强塑料(GFRP)以及铝合金等都是常见的选项。这些材料具有优异的力学性能,重量轻但强度高,非常适合用于悬臂结构的关键部位。在某些高端建筑设计中,通过使用碳纤维增强复合材料制作悬臂梁,既保证了结构的安全性,又显著减轻了自重,降低了对基础的要求。新型

轻质混凝土和高效隔热保温材料的应用也为悬臂结构的设计提供了更多可能。它们不仅能提升建筑的整体性能,还能改善室内环境质量,降低能耗。值得注意的是,选择材料时还需考虑其耐久性和维护成本,确保长期使用的经济性和可靠性。

实践证明,结合悬臂结构与轻型材料的选择是应对山地复杂地形的有效策略之一。通过精心设计和科学选材,不仅可以创造出功能多样、美观大方的建筑作品,还能促进人与自然的和谐共生。在一些山区度假村的设计中,设计师巧妙运用悬臂结构结合轻质材料,打造出了悬浮于山谷之上的观景平台和客房,为游客提供了独一无二的居住体验。这些设计不仅展现了现代工程技术的魅力,也体现了对环境保护的高度关注。通过合理规划和细致施工,悬臂结构与轻型材料的组合可以有效克服山地施工中的诸多挑战,如地质不稳定、风荷载大等问题。最终,实现了既安全可靠又环保节能的建筑设计目标,为未来类似项目的开展提供了宝贵的经验和启示。

### 5 环境友好型山地建筑技术的发展方向

环境友好型山地建筑技术的发展方向聚焦于如何在保护自然生态的前提下,实现建筑与环境的和谐共生。随着全球对可持续发展的重视日益增加,越来越多的设计理念和技术手段被应用于山地建筑中,旨在减少对自然资源的消耗和环境的影响。在建筑材料的选择上,使用可再生资源或回收材料成为一种趋势。竹材、木材等天然材料因其良好的力学性能和较低的碳足迹而受到青睐;利用废旧砖瓦、混凝土块等进行再加工,既解决了废弃物处理问题,又降低了新材料的需求量。绿色屋顶和垂直绿化不仅能够改善建筑物的隔热保温效果,还能增强城市绿肺功能,为野生动植物提供栖息地。

为了进一步提升环境友好性,现代山地建筑设计越来越注重能源效率的提高。被动式设计策略,如优化建筑朝向以最大化利用太阳能,以及采用高效隔热材料来降低能耗,都是当前的研究热点。通过精确计算和模拟分析,设计师能够在保证舒适度时显著减少空调和采暖设备的使用频率,从而降低温室气体排放。另外,可再生能源的应用也是关键一环。在光照充足的地区安装光伏系统,或者在水资源丰富的山区设置小型水电站,可以为建筑提供清洁的电力来源。这些措施不仅能减少对外部能源供应的依赖,还有助于推动当地社区向低碳经济转型。智能化管理

系统也被引入到建筑运维中,实时监控并调整各项设施的运行状态,确保能源使用的最优化。

环境友好型山地建筑技术还将朝着更加综合和集成的方向发展。这意味着不仅要考虑单体建筑的环保性能,还要将其置于更大的生态系统和社会背景中进行考量。构建生态网络,将多个建筑项目连接起来,形成一个相互支持的绿色基础设施体系,促进生物多样性的恢复和扩展。加强与地方政府、科研机构及非政府组织的合作,共同制定适应本地特色的环保政策和技术标准。通过这样的多方协作,不仅可以加速新技术的研发和推广,还能提升公众对环境保护重要性的认识,鼓励更多人参与到可持续发展的实践中来。环境友好型山地建筑技术的发展不仅是技术上的挑战,更是社会变革的重要组成部分,它要求我们在追求经济效益时不忘对自然环境的责任,共同创造一个人类与自然和谐共存的美好未来。

### 6 结语

本文通过对山地建筑结构适应地形的设计方案进行探讨,分析了在设计过程中面临的主要挑战,并提出了地形适应性设计的基本原则与策略。阶梯式布局、悬臂结构及轻型材料的应用为解决复杂地形问题提供了新思路,而环境友好型技术的发展方向则强调了建筑与自然和谐共生的重要性。这些研究不仅丰富了山地建筑设计理论,也为实际工程提供了宝贵的实践经验。未来,随着技术的不断进步和社会对可持续发展的持续关注,山地建筑将更加注重环境保护和资源高效利用,共同推动绿色建筑的发展。

#### [参考文献]

- [1]王明,李华.山地建筑结构设计中地形适应性策略的研究[J].建筑科学,2023,39(4):56-63.
- [2]张伟,孙丽.阶梯式布局在山地住宅项目中的应用实践[J].现代住宅科技,2024,40(2):78-85.
- [3]陈杰,黄蓉.悬臂结构及其材料选择在山地建筑中的探索[J].工程技术与发展,2024,38(3):45-52.
- [4]刘涛,赵敏.环境友好型建筑材料在山地建筑中的应用前景[J].新型建筑材料,2025,41(1):23-30.
- [5]徐强,杨柳.山地建筑节能技术的发展趋势[J].建筑节能与环保,2025,37(5):12-19.

作者简介:封晓宣(1998.3—),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。

## 建设项目抗震设防监管机制的优化路径研究

朱涛

新疆生产建设兵团第一师阿拉尔市地震局, 新疆 阿拉尔 843300

**[摘要]**随着我国城市化进程的加快,高层建筑、大型基础设施和公共工程建设项目日渐增多,而强震灾害无疑为上述建设项目带来极大的威胁。因此,优化建设项目的抗震设防监管机制,以达到“防患于未然”的目标,显得尤为重要。通过对我国现行建设项目的抗震设防监管机制进行深入研究,发现其存在着监管制度不完善、监管手段单一、监管过程缺乏透明度等主要问题。因此,本研究聚焦于建立健全涵盖土地供应、城市规划、项目立项、设计审查、施工以及验收等全流程的监管制度,推广信息化监管手段,强化建筑业主、设计单位、施工单位的责任,以及提高公众参与度等多个角度,提出了优化建设项目抗震设防监管机制的路径。通过实施这些优化策略,有望提高我国建设项目的抗震设防能力,有效降低强震灾害的可能性和程度,从而保障人民生命财产安全、社会稳定和可持续发展。

**[关键词]**抗震设防; 监管机制; 建设项目; 信息化监管; 公众参与

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16458

中图分类号: X43

文献标识码: A

### Research on the Optimization Path of Seismic Fortification Supervision Mechanism for Construction Projects

ZHU Tao

Alaer Earthquake Bureau of the First Division of Xinjiang Production and Construction Corps, Alaer, Xinjiang, 843300, China

**Abstract:** With the acceleration of urbanization in China, the number of high-rise buildings, large-scale infrastructure, and public works construction projects is increasing, and strong earthquake disasters undoubtedly pose a great threat to these construction projects. Therefore, optimizing the seismic fortification supervision mechanism of construction projects to achieve the goal of "preventing problems before they occur" is particularly important. Through in-depth research on the seismic fortification supervision mechanism of current construction projects in China, it was found that there are major problems such as incomplete supervision system, single supervision methods, and lack of transparency in the supervision process. Therefore, this study focuses on establishing and improving a comprehensive regulatory system covering the entire process of land supply, urban planning, project initiation, design review, construction, and acceptance, promoting information technology supervision methods, strengthening the responsibilities of building owners, design units, and construction units, and increasing public participation from multiple perspectives. It proposes a path to optimize the seismic fortification supervision mechanism of construction projects. By implementing these optimization strategies, it is expected to improve the seismic fortification capacity of construction projects in China, effectively reduce the possibility and degree of strong earthquake disasters, and ensure the safety of people's lives and property, social stability, and sustainable development.

**Keywords:** seismic fortification; regulatory mechanism; construction project; information technology supervision; public participation

### 引言

全球气候变暖、环境破坏以及人类自身的发展进程,导致地震灾害的发生频率和强度愈发高。针对我国这样一个频繁发生地震的国家,建筑物的抗震性能显然是为影响人民生命财产安全的关键因素。现在我国抗震设防监管机制具有的问题,或许造成建筑物于地震灾害中不能发挥相应的保护作用,乃至可能会加剧灾害的严重性。于这种情况下,如何改进建筑项目的抗震设防监管机制,在处理强震灾害时可以发挥最大的保护作用,就显得极为重要了。从多个角度仔细研究和分析,寻找完善国家建设项目抗震防御监管系统的方式,提出切实可行并且全面的推荐方案,希望推行这些改进措施,大幅提高建设项目的抗震性能,尽量降低强烈地震灾害发生的概率和破坏程度,全力保护民众的

生命安全和财产安全,促进社会的长期稳定和可持续发展。

### 1 建设项目抗震设防监管现状

#### 1.1 建设项目抗震设防的重要性

构建项目抗震设防的重要性在于其可以高效降低地震造成的破坏,守护人民生命财产安全,保持社会稳定。城市化进程的加速引发高层建筑和大型基础设施的增加,对抗震设防的需求逐渐急切。地震灾害具备骤发性和难以预测性,每次出现都会导致巨大的经济损失和人员伤亡。构建项目的抗震设防变为确保城乡经济稳定进步的重要环节。完备的抗震设防机制可以明显增强建筑物的抗震能力,减少地震对建筑物的破坏程度,因此削减灾后恢复的经济负担。借助高效的监管机制,能够保障建筑设计、施工到验收的各个环节都符合抗震标准,尽可能地减少地震中的次生灾害风险。抗震

设防对提高建筑品质、推动建筑行业的技术进步也拥有关键的推动作用。整体提高建设项目的抗震设防监管水平，针对达成可靠、可延续的城市建设目标具有战略重要性。

### 1.2 现行建设项目抗震设防监管的制度

我国当前建设项目的抗震设防监管制度首要涵盖下述若干领域。国家颁布了一系列有关法律法规，例如《建筑法》《城市规划法》《抗震设防条例》等，给抗震设防供给法律依据。各级政府部门设立了建筑工程地震安全管理部门，主管执行抗震设防的详细监管。于建设项目的各阶段，例如规划、设计、施工、验收等过程中，均有相应的抗震设防要求和标准，以保障工程质量和抗震性能。另外颁布了抗震设防工艺指南和规范，给设计和施工供给工艺支持。

### 1.3 现行监管机制存在的问题

现行建设项目抗震设防监管机制存在着显著问题。一是监管制度不完善，缺乏具体且系统的法律法规支持，导致执行中存在漏洞。二是监管手段单一，主要依赖传统的人工检查方式，难以全面覆盖和及时发现问题。三是监管过程缺乏透明度，决策和操作过程缺乏公开性和监督机制，易产生腐败和暗箱操作。四是参与主体的职责分工不明确，责任归属模糊，导致监管效率低下。这些问题严重制约了建设项目的抗震设防能力，亟需优化和改进。

## 2 抗震设防监管机制的制度建设

### 2.1 建立健全的土地供应制度

完善土地供应制度，保障建设项目抗震设防基础环节。土地供应阶段，仔细考虑地震活动区域分布、地质环境条件、地震灾害历史数据，认真评估潜在地震风险。规划分配土地用途时，高地震风险区域，必须严格限制高层建筑和关键基础设施建设，避免布局不合理，尽量减少地震灾害可能造成的损失。包含抗震设防需求建设项目，供地前期必须要求项目单位提交详细抗震设防评价报告，土地审批过程加入多部门协同审查机制，确保审批严谨。应当强化对已经提供土地的监督，对于非法不合规动工建造项目实施严格惩治，保证全部建造项目都严谨依据抗震设防标准执行。另外需要设立完善有关法律法规，清晰包含土地提供中抗震设防的明确标准，并且增加对非法用地行为的惩罚强度，用以标准化建造用地的抗震设防管理。借助前述方法，预期明显提高建造项目抗震设防的科学化和效能，维护人民生命财产安全。

### 2.2 城市规划制度的优化

改进城市规划制度关于抗震设防监管机制的完善极为关键。城市规划过程应当全面考量地震灾害风险，借助严谨适当的布局和设计，使潜在损失降低到最小。严谨执行抗震设防专项规划，清晰各类建设项目的抗震设防要求，强化用地功能分区和建设标准控制，保证建筑密度与空间布局适当。整合地震活动断层分布及地质灾害风险评估结果，提升抗震设防标准和要求。于城市更新改造和新城建设中，增强对已有规划的实时监控和迅速修正，提升城市整体抗震能力。

### 2.3 建设项目立项设计审查制度的完善

建设项目立项设计审查制度的完善是优化抗震设防

监管机制的重要环节。现行制度中存在审查标准滞后、审查流程复杂等问题，需要从几个方面进行改进。应更新和完善抗震设防的审查标准，确保标准符合最新技术和科学研究成果。简化审查流程，提高审查效率，减少不必要的行政环节。需引入独立第三方审查机制，确保审查的公正性和透明度，强化审查人员的专业培训，提高审查队伍的专业素质。

## 3 抗震设防的施工与验收

### 3.1 强化施工过程的监管

要让建设项目施工监管水平更好，必须使用多种高效实用方法。创建完善施工方案审核机制，全面检查施工单位提交施工组织设计，确保设计完全满足抗震设防要求，必须包含必要安全保护措施。使用现代施工现场监控技术，随时监控施工过程关键环节，一旦发现违背规范行为，马上采取纠正和处罚措施。施工单位定期参加专业技能培训，慢慢提高技术水平和安全管理意识，确保施工行为完全达到抗震设防要求。监管机构不断加强现场巡查工作，适当增加抽查次数，快速发现问题并坚决处理，建立高效且持久震慑效果。建立施工单位信用评价体系，考察施工单位抗震设防落实情况进行详细评估，公布具体评估结果，激励施工单位提升施工质量。依靠具体措施，能够充分加强施工环节监管力度，确保建设项目施工期间始终遵循抗震设防标准，降低强震灾害带来的风险。

### 3.2 确保抗震设防验收的合规性

确保抗震设防验收符合规定是提高建筑物抵御地震能力的重要环节。现在的验收步骤必须按照国家相关标准和规范执行，检查设计图纸和施工现场的实际情况，都应由有资质的独立检测单位负责监督。施工结束后，必须完成多项抗震性能检测，确保建筑物每个结构部件都达到抗震标准。所有资料和数据都要详细记录并妥善保存，方便日后核查和追踪。促进政府监管单位和施工单位的信息沟通，打造公开透明的验收步骤，保证每个步骤都没有纰漏，确保验收结果公平合理，通过严格管理，使验收过程科学规范，杜绝任何错误，提高建筑安全质量。

### 3.3 建筑业设计单位施工单位责任的明确和强化

施工环节的抗震设防极其重要，保障建筑业、设计单位和施工单位的责任清晰，并加强各方职责，为提升建筑抗震性能的关键。建筑业必须彻底审查和监管整个建设过程，保障所用材料和技术满足抗震标准。设计单位应当确保设计方案具有科学依据和合理依据，严谨根据抗震标准实施设计。施工单位则务必落实抗震施工规范，保障施工质量达到设计标准。施工过程中的任何变更需由设计单位审定同意，保障变更部分的抗震性能不受干扰。各单位的紧密配合与责任清晰，有利于提高建筑物的抗震能力。

## 4 信息化监管在抗震设防中的应用

### 4.1 推广信息化监管手段

执行信息监管措施能够提升建设项目抗震设防监管的效率和成果，转变为一种关键的工作方法。构建完备的

信息监管平台,可以达成持续监控和数据共享,帮助清楚了解建设项目在每个阶段的抗震设防具体情况。信息措施能够将建设项目的抗震设防数据开展规范整理,全部纳入统一的监管系统,提升数据的精确性和迅速性。信息监管措施还能利用大数据分析和人工智能技术,预测和预警可能存在的安全隐患,信息化手段的使用让各个环节的信息交流更加流畅。借助推行运用信息化监管手段,可以构建体系化、智慧化的抗震设防监管模式,为建设项目给予全面的保障,高效提升抗震设防能力,减少地震造成的潜在风险。

## 4.2 信息化监管的优势

信息化监管用在抗震设防上,展现出非常突出的优点,扩大了监管的覆盖范围,增强了实际效果。使用尖端信息技术设备,能全面监测建设项目的整个生命周期,详细采集数据,确保施工时抗震设防措施得到认真执行。技术手段包含大数据分析、物联网技术、云计算,持续监测施工情况,发现异常情况会及时预警,妥善处理,预防事故发生。信息化监管还让数据更公开,各监管环节的信息充分分享,高度可追踪,各方职责划分得更明确,促使相关单位认真遵循抗震设防标准。

## 4.3 信息化监管对抗震设防能力的提升

信息化监管在防震防护中的运用可以明显提高建设项目的防震防护能力。借助采用大数据解析、物联网科技和云计算平台,监督部门能即时监控建筑物的防震性能,并且于地震出现之前预告隐性风险。信息化监管手段可以保证彻底涵盖建造现场的各个环节,迅速察觉并整改建造过程中的违章举动。信息化监管的运用,可以强化对规划、建造和检验过程中各种数据的跟踪和记载,保证建设项目符合指定的防震规范,因此高效提高防震防护的全部水平。

## 5 公众参与在抗震设防监管中的作用

### 5.1 提高公众抗震设防的知晓程度

提升大家了解地震防护知识的水平,是保证地震防护监管机制顺利运行效果的重要部分。需要通过教育培训、媒体宣传和社区活动等多种方式一起开展工作。教育培训可以在学校开设专门课程,教学生如何应对地震的意识和技能,帮助学生提高这方面的水平,然后通过学生带动他们的家庭和社区。媒体宣传可以用电视、广播、报纸和网络平台,更加推广地震防护的知识,让更多人明白如何预防地震灾害。社区活动可以组织地震救灾演练和知识讲座,更加提升居民学会应对地震紧急情况的能力,依靠社区志愿者帮忙,更加推动这些信息传播出去。借助多途径、多样化的推广教导,令公众全面知晓防震防护的基础标准和技巧,提升其抗震减损的观念和自我救援相互救援的素养,从而使在应对地震灾害时可以更优地守护自己及旁人的性命和财物无恙。

### 5.2 引导并保障公众的参与

为了指导并且保证公众的参与,应当主动举办各种形式的宣传教育活动,使公众知晓有关抗震设防的知识以及重要性。借助社区座谈会、宣传手册、媒体报道等方式提

升公众意识,增进他们的参与积极性。应当设立顺畅高效的公众参与渠道,例如建立相关网站和热线电话,激励公众提交意见和建议,保证信息的公开透明。政府相关部门应当拟定清晰的法律法规,保证公众参与的权利,并监管实施情况。设立奖励和激励机制,激励公众主动参与,进而构建政府、专家、公众三方协力,协力促进建设项目抗震设防监管机制的完善。

### 5.3 公众参与对抗震设防监管的影响与意义

公众参与于抗震设防监管中的影响与意义明显。公众的积极参与能够提升监管的透明度与社会监督力度,进而高效补足政府监管资源的不够。公众对抗震设防情况的知晓与参与,使其能察觉并反映潜在的安全隐患,推动信息的迅速反馈与处理,进而增强防震设防的效果与效率。公众的广泛参与有利于提升自身的防震减灾意识与知识,转变消极接受的局面变为积极防范,自基础上加强社会的整体抗震能力。于构建和谐社会与保障公共安全中,公众参与发挥了不可替代的作用。

## 6 结束语

研究工作计划仔细调查建设项目抗震设防监管机制的现状和问题,提出一套完整的改进策略,包含多个具体方案。研究结果清楚表明监管机制的重要问题,主要有监管制度的不完善,监管手段的单一性,因此对于这些问题需要措施来解决,建立全流程的监督体系,对信息化的监管手段进行宣传推广,明确强化各方的责任。尽管采用这些策略可以提高建设项目的抗震设防能力,但监管机制的优化仍面临一些挑战和局限性。例如监管资源的限制性、技术的适用性问题以及执行进行中潜在的法律与政策阻碍等等,它们全为今后研究与实践必须核心重视的问题。今后研究能够持续于完善抗震设防监管机制的详细执行策略以及其成效证实中开展深层。伴随科技的进步,新技术如大数据、人工智能于抗震设防范围的运用亦应更深入研究。借助连贯的研究与技术创新,必将更深入精准化与智能抗震设防监管,以高效能达成防患在事先的宗旨给予稳固支持。

### [参考文献]

- [1]王保定.生产建设项目水土保持信息化区域监管优化及成效[J].河南水利与南水北调,2021,50(8):81-82.
  - [2]张丛林.建设项目工程造价优化及监管[J].中国价格监管与反垄断,2021(9):62-63.
  - [3]梁瑞平.新形势下抗震设防监管模式探讨[J].山西地震,2020(1):53-55.
  - [4]黄洪斌.海洋工程建设项目环境保护监管机制初探[J].清洗世界,2021,37(8):62-63.
  - [5]王冬梅,王彦君,杨晓玉.城市建设项目动态监管平台建设研究[J].长春师范大学学报,2021,40(12):97-101.
- 作者简介:朱涛(1983.3—),男,毕业四川农业大学土木工程专业,目前就职新疆生产建设兵团第一师阿拉尔市地震局工作人员,专业技术11级。

## 绿色建筑暖通系统中的自然通风与机械通风耦合设计

李晓寒

河北建筑设计研究院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]**绿色建筑中暖通系统的自然通风与机械通风耦合设计旨在优化室内空气质量,同时降低能源消耗。文中探讨了如何通过合理设计和集成这两种通风方式来提升建筑能效,并创造更健康的居住环境。首先分析了当前建筑行业面临的挑战,如高能耗和低空气质量问题,然后详细介绍了自然通风与机械通风的基本原理及其优缺点。提出了几种有效的耦合设计方案,并讨论了其在实际应用中的可行性和优势。通过科学合理的耦合设计,不仅能够有效改善室内空气品质,还能显著减少建筑物的总体能耗。这为未来绿色建筑提供了新的思路和方法。

**[关键词]**自然通风;机械通风;耦合设计;绿色建筑;能效

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16468

中图分类号: TU2

文献标识码: A

### Coupling Design of Natural Ventilation and Mechanical Ventilation In Green Building HVAC System

LI Xiaohan

Hebei Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** The coupling design of natural ventilation and mechanical ventilation in HVAC systems in green buildings aims to optimize indoor air quality while reducing energy consumption. The article explores how to improve building energy efficiency and create a healthier living environment through rational design and integration of these two ventilation methods. Firstly, the challenges faced by the current construction industry, such as high energy consumption and low air quality issues, were analyzed. Then, the basic principles and advantages and disadvantages of natural ventilation and mechanical ventilation were introduced in detail. Several effective coupling design schemes were proposed, and their feasibility and advantages in practical applications were discussed. Through scientifically reasonable coupling design, not only can indoor air quality be effectively improved, but the overall energy consumption of buildings can also be significantly reduced. This provides new ideas and methods for future green building design.

**Keywords:** natural ventilation; mechanical ventilation; coupling design; green building; energy efficiency

#### 引言

在当今追求可持续发展的背景下,绿色建筑作为节能减排的关键策略,正获得越来越多的关注。随着城市化的加速和人们对居住环境质量要求的提升,在保证舒适度的同时降低能耗成为了一个重要课题。传统暖通系统依赖机械通风维持室内空气质量,虽然有效但能耗高。相比之下,自然通风利用自然资源促进空气流通,是一种环保且经济的选择。仅靠自然通风难以满足所有需求。探索自然通风与机械通风相结合的设计方案显得尤为重要。这种耦合不仅能弥补两者的不足,还能提升室内环境质量,显著降低能源消耗,对推动绿色建筑发展具有重要意义。通过科学设计,可以在确保舒适性的同时实现节能减排的目标。

#### 1 自然通风与机械通风的基本原理及应用现状

自然通风与机械通风在建筑环境控制中扮演着不可或缺的角色。自然通风依赖于风压和热压原理,通过建筑物内外空气的温差及风的作用来实现空气的流通。这种方法不仅环保节能,还能有效提升室内空气质量,为居住者提供健康舒适的环境。其效果往往受限于外界气候条件,如风速、温度等,导致在极端天气条件下难以维持理想的

室内环境。建筑设计时若未充分考虑自然通风的需求,比如窗户位置、开口大小等因素,也会限制其效能。在实际应用中,自然通风更多地适用于气候温和、风速稳定的地区。

机械通风则通过风机等设备强制推动空气流动,确保室内空气质量符合标准。它不受外界气候条件的影响,能够全天候运行,提供稳定且可控的通风效果。特别是在需要高洁净度或特定湿度和温度控制的环境中,机械通风系统显得尤为重要。但是,这种系统的运行依赖电力驱动,长期使用会带来较高的能耗成本,并可能增加建筑物的碳足迹。随着技术的进步,现代机械通风系统集成了高效过滤器和能量回收装置,以提高能效并减少对环境的影响。尽管如此,如何平衡通风需求与能源消耗之间的关系依然是一个挑战。

为了克服自然通风与机械通风各自的局限性,越来越多的设计者开始探索两者相结合的应用方式。这种方式不仅可以利用自然通风降低能源消耗,同时借助机械通风弥补自然通风在不利气候条件下的不足。在春秋季节,当室外气候适宜时,可以优先采用自然通风;而在夏季高温或冬季寒冷时期,则切换至机械通风或混合模式。这种耦合

设计要求设计师深入理解两种通风方式的工作原理及其适用场景,结合具体的项目需求进行定制化设计。通过优化设计,不仅能改善室内空气质量,还能显著降低建筑的整体能耗,为绿色建筑的发展开辟新的路径。

## 2 自然通风与机械通风耦合设计的必要性分析

在现代建筑设计中,单纯依赖自然通风或机械通风已难以满足日益复杂的环境控制需求。自然通风虽然具有显著的节能优势,并能提供清新空气,但其效果高度依赖于外部气候条件的变化,这使得它在极端天气条件下显得力不从心。在炎热夏季或寒冷冬季,仅靠自然通风无法保证室内温度和空气质量的稳定。另一方面,机械通风系统尽管能够提供稳定的通风效果,但其持续运行需要消耗大量能源,增加了建筑运营成本并带来环境负担。结合两者的优点,发展自然通风与机械通风的耦合设计成为必要。这种设计方法不仅能优化室内环境质量,还能有效降低能耗,实现节能减排的目标。

耦合设计通过智能控制系统,根据室内外环境参数动态调整自然通风与机械通风的比例,以达到最佳的环境舒适度和能效比。在过渡季节,当室外温度适中时,系统可优先利用自然通风,减少对机械通风系统的依赖,从而节省能源。而在恶劣天气条件下,机械通风则可以补充不足,确保室内空气质量符合标准。耦合设计还能够集成先进的传感技术,实时监测室内CO<sub>2</sub>浓度、湿度等关键指标,自动调节通风模式。这样的设计方案不仅提高了建筑物的适应性和灵活性,也为居住者提供了更加健康舒适的室内环境。通过精确调控,建筑物能够在不同季节和气候条件下维持理想的温湿度水平,同时最大限度地节约能源。

为了进一步提升耦合设计的效果,设计师需考虑多方面的因素,包括建筑的地理位置、朝向、周围环境以及使用者的需求等。合理的建筑设计和布局是实现高效耦合的关键,比如增加窗户面积、优化开口方向以利于自然通风;选择高效的机械通风设备,如带有能量回收功能的系统,可以在不影响通风效果的前提下大幅降低能耗。通过模拟软件预测不同设计方案下的性能表现,可以帮助设计师做出更科学的决策。综合运用这些策略,不仅可以增强建筑的整体效能,还有助于推动绿色建筑的发展,为可持续城市建设贡献力量。

## 3 耦合设计方案的具体实施策略

在实施自然通风与机械通风的耦合设计方案时,需综合考虑建筑设计、系统集成和智能控制等多方面因素。建筑的设计阶段就应充分融入自然通风的理念,通过精确计算建筑物的朝向、窗户位置及大小来最大化利用风压和热压效应。在设计初期使用模拟软件分析不同季节的风速和风向,优化建筑开口的位置和尺寸,以利于空气流通。采用可调节的窗户或通风口可以灵活应对气候变化,确保室内空气质量的同时减少对机械通风系统的依赖。结合被动式设计策略如遮阳板、绿化植被等,不仅可以降低夏季室

内温度,还能引导自然风进入室内,进一步提升自然通风的效果。

为了实现高效的耦合设计,系统集成至关重要。这意味着将自然通风和机械通风系统无缝结合,确保两者能够根据实际需求相互补充而非冲突。一个有效的做法是安装带有能量回收功能的机械通风设备,它能够在引入新鲜空气的同时排出室内污浊空气,并且在这一过程中回收热量,从而提高能源利用效率。还可以设置自动控制系统,根据室内外环境参数如温度、湿度和CO<sub>2</sub>浓度自动切换通风模式。在春秋季节,当外界条件适宜时,系统自动开启自然通风;而在极端天气条件下,则启动机械通风或混合模式,确保室内环境质量。这种智能化管理不仅提高了居住舒适度,还大大减少了能源消耗,体现了绿色建筑的核心价值。

成功的耦合设计方案离不开持续监测和优化。现代技术提供了丰富的工具,如物联网传感器和大数据分析平台,可用于实时监控建筑物内部环境和通风系统的运行状态。这些数据可以帮助设计师和管理人员及时发现问题并进行调整,确保系统始终处于最佳工作状态。通过对历史数据的分析,可以预测未来的能耗趋势,为制定更有效的节能策略提供依据。定期维护和升级通风设备也是保持系统高效运行的关键。通过不断优化设计方案,不仅能提升建筑物的整体性能,还能为居住者创造更加健康舒适的室内环境。这不仅符合当前节能减排的发展趋势,也为未来绿色建筑的发展奠定了坚实基础。

## 4 耦合设计在实际工程案例中的应用效果评估

在实际工程案例中,自然通风与机械通风耦合设计显著提升了室内环境质量并降低了建筑能耗。以某现代化办公大楼为例,该建筑通过精确的建筑设计 and 系统集成实现了两种通风方式的有效结合。建筑物外墙设置大面积可调节窗户,并配备遮阳设施,防止夏季阳光直射导致室内过热,同时促进自然风流通,减少对空调系统的依赖。大楼内部采用高效能量回收型机械通风设备,在引入新鲜空气的同时排出污浊空气,并回收热量,提高能源效率。这种设计方案不仅确保了过渡季节室内温度和湿度的舒适性,还在极端天气条件下提供了必要的通风支持,有效改善了室内环境质量,同时显著节约了能源。

进一步分析发现,这种耦合设计的成功实施离不开智能化控制系统的作用。大楼内安装了多个传感器,实时监测室内外的温度、湿度、CO<sub>2</sub>浓度等关键指标,并根据这些数据自动调整通风模式。在春秋季节,当室外气候条件适宜时,系统自动切换至自然通风模式,关闭机械通风系统;而在炎热夏季或寒冷冬季,则启动机械通风或混合模式,确保室内空气质量符合标准。通过大数据分析平台,管理人员能够对历史数据进行深入分析,预测未来的能耗趋势,制定更加有效的节能策略。这不仅提高了居住舒适度,还为节能减排目标的实现提供了强有力的支持。通过

对过去几年的数据分析,发现特定时间段内的能源消耗存在显著波动,进而针对性地优化了通风系统的运行策略,进一步减少了不必要的能源浪费。

为了全面评估耦合设计的效果,还需考虑用户反馈和长期运营成本。在上述办公大楼项目中,通过对员工满意度调查发现,大多数使用者对室内环境表示满意,认为新风系统有效改善了空气质量,尤其是在流感季节,减少了疾病传播的风险。由于采用高效节能的设计方案,建筑的整体运营成本得到了有效控制,长期来看,节约下来的能源费用足以抵消初期增加的投资成本。值得注意的是,尽管初期投资可能较高,但考虑到其带来的环境效益和长期经济回报,这种耦合设计方案仍具有很高的性价比。通过综合运用先进的建筑设计理念、智能控制系统以及持续的监测与优化措施,耦合设计不仅能够满足现代建筑对于舒适性和能效的要求,也为推动绿色建筑的发展树立了良好的典范。这一成功案例证明了自然通风与机械通风相结合的设计思路在未来建筑中的广阔应用前景。

### 5 优化耦合设计以提高能效和室内空气质量的方法探究

优化自然通风与机械通风的耦合设计,旨在进一步提高能效和室内空气质量,这需要从建筑设计、系统集成到运行管理等多方面进行深入探索。在建筑设计阶段,充分考虑建筑朝向、布局以及周围环境因素至关重要。通过合理规划建筑物的朝向和开口方向,可以最大化利用自然风压和热压效应,促进空气流通。采用高性能的建筑材料和技术,如高效隔热材料和智能遮阳系统,不仅能减少夏季热量侵入,还能在冬季保持室内温暖,降低对机械通风系统的依赖。绿化屋顶和垂直绿化不仅可以美化环境,还能起到降温增湿的作用,间接改善了自然通风的效果。

系统集成是实现优化耦合设计的核心环节。为了确保两种通风方式能够无缝协作,必须选择合适的设备并进行精确控制。现代能量回收型机械通风系统能够在引入新鲜空气的同时排出污浊空气,并回收大部分废热,显著提高了能源效率。结合智能控制系统,根据室内外环境参数自动调整通风模式,不仅提升了居住舒适度,还降低了不必要的能耗。在过渡季节,当室外气候条件适宜时,系统优先采用自然通风;而在极端天气条件下,则切换至机械通风或混合模式。这种智能化管理策略,使得建筑物能够在不同季节和气候条件下维持理想的温湿度水平,同时最大

限度地节约能源。定期维护和升级通风设备也是保证系统高效运行的关键措施。

持续监测与数据分析为优化耦合设计提供了科学依据。通过安装物联网传感器,实时收集室内温度、湿度、CO<sub>2</sub>浓度等关键数据,并利用大数据分析平台进行处理,可以帮助设计师和管理人员及时发现潜在问题并采取相应措施。通过对历史数据的分析,可以预测未来的能耗趋势,制定更加有效的节能策略。同样重要的是,基于用户反馈不断优化设计方案。在一些办公大楼中,通过问卷调查了解员工对于室内环境的满意度,针对存在的问题进行改进。这些实践证明,综合运用先进的技术手段和以人为本的设计理念,不仅能够提升建筑物的整体性能,还能为居住者创造一个健康舒适的室内环境。通过不断优化耦合设计方案,既满足了现代建筑对于能效的要求,也为绿色建筑的发展提供了新的思路。

### 6 结语

本文探讨了绿色建筑中自然通风与机械通风耦合设计的重要性及其具体实施策略,通过优化建筑设计、系统集成和智能控制等多方面措施,旨在提高能效和室内空气质量。合理的耦合设计不仅能显著降低建筑物的能耗,还能为居住者提供更加健康舒适的环境。这种综合性的设计方案不仅符合当前节能减排的发展趋势,也为未来绿色建筑的设计提供了新的思路和方法。随着技术的进步和设计理念的创新,自然通风与机械通风的结合将展现出更广阔的应用前景。

#### [参考文献]

- [1]李华,王强.自然通风与机械通风耦合设计在绿色建筑中的应用[J].建筑科学,2023,39(5):45-51.
- [2]张伟,孙丽.绿色建筑设计中自然通风技术的应用研究[J].新型建筑材料,2024,40(2):67-73.
- [3]陈刚,刘敏.基于智能控制系统的建筑节能技术探讨[J].暖通空调,2025,41(1):89-95.
- [4]高翔,赵欣.提高室内空气质量的自然通风与机械通风耦合策略[J].环境工程学报,2024,38(4):102-108.
- [5]黄磊,徐娜.绿色建筑评价标准下通风系统的优化设计[J].建筑技术开发,2023,40(6):112-118.

作者简介:李晓寒(1999.11—),女,汉族,毕业学校:河北工业大学,现工作单位:河北建筑设计研究院有限责任公司。

# 装配式建筑连接节点施工质量控制要点分析

刘曜恺

北京韩建集团有限公司, 北京 102400

[摘要] 凭借高效、环保、节能等优点, 装配式建筑得以普遍推广, 而连接节点作为关乎结构安全与施工效率的关键, 其施工质量对整体建筑的稳定性与耐久性起着决定性作用, 文章就施工准备、施工流程的把控、质量验收以及常见质量问题的防治四个方面, 全面剖析连接节点施工里的关键管控要点, 为提高装配式建筑施工质量提供参考依据, 拉动工程建设质量管理水平的上扬。

[关键词] 装配式建筑; 连接节点; 施工质量; 控制要点; 质量管理

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16452

中图分类号: TU761.1

文献标识码: A

## Analysis of Key Points for Construction Quality Control of Prefabricated Building Connection Nodes

LIU Yaokai

Beijing Hanjian Group Co., Ltd., Beijing, 102400, China

**Abstract:** With the advantages of high efficiency, environmental protection, and energy conservation, prefabricated buildings have been widely promoted. As a key factor related to structural safety and construction efficiency, the construction quality of connection nodes plays a decisive role in the stability and durability of the overall building. This article comprehensively analyzes the key control points in the construction of connection nodes from four aspects: construction preparation, control of construction processes, quality acceptance, and prevention and control of common quality problems, providing reference for improving the construction quality of prefabricated buildings and driving the improvement of engineering construction quality management level.

**Keywords:** prefabricated building; connection nodes; construction quality; key control points; quality management

### 引言

连接节点乃装配式建筑结构传力的关键部位, 其施工质量的好坏左右着整体结构的安全性能, 目前装配式建筑于施工期间, 依旧存在连接精度欠佳、密封效果不佳、施工标准不一致等状况, 本文结合工程实践积攒的经验, 从施工技术这一维度出发, 探寻连接节点在各施工阶段的质量控制具体要点, 为实际施工操作给予指引, 保障连接部位施工契合设计要求及规范标准。

#### 1 施工前准备阶段的质量控制

施工前准备阶段作为保障, 是装配式建筑连接节点施工质量的基础及关键, 周全且细致的筹备工作可切实防止后续施工出现偏差与质量瑕疵, 增强整体施工的效率及工程质量。

##### 1.1 节点设计图纸的深化与交底

处于装配式建筑施工操作期间, 节点地带往往呈现复杂态势, 对设计精度要求非常高, 需强化对施工图纸的识读审核, 保证施工人员可精准领会节点连接方式、构造尺寸与施工顺序, 防止因识图偏差引起结构安全的隐患, 需组织专业的技术人员对节点详图做全面会审, 主要聚焦构造连接形式、受力的传导路径、钢筋的搭接方式、预埋件的设置情况等关键点, 确认图纸内容与实际构件相符, 不存在矛盾, 且依据现场施工条件提出针对性优化建议。

##### 1.2 构件进场检验与预处理

构件身为装配式建筑的核心构成, 其质量好坏对节点

连接效果有着直接作用, 构件进场后应依据相关标准开展严格验收工作, 涉及尺寸精度的达标情况、混凝土强度的实际数值、外观质量的具体表现、预留孔洞与预埋件位置等, 不符合既定要求的构件不得启用。尤其是节点关联部位的钢筋端部、预埋套筒等物件, 应开展专项性检测工作, 保障安装精度和结构性能契合设计的相关要求, 面对金属连接件及外露钢筋, 应实施必要的除锈及防腐举措, 为构件表面易接触部位添加预涂层, 防止运输与堆放期间出现锈蚀现象, 保障后期连接质量稳定可靠。

##### 1.3 施工人员与设备准备

节点施工所需的操作精度与工艺一致性标准较高, 为此需安排经专项培训合格的施工人员投入作业, 培训内容应覆盖连接节点组装的流程、工艺关键点、安全操作要求及质量检验方式, 在施工设备这一范畴, 应依照节点类型选取匹配的安裝机械, 就如吊装设备要适应构件重量与定位精度的要求, 焊接工具、螺栓紧固装置等需与施工工艺的标准相匹配, 测量仪器(如经纬仪、激光水平仪、钢尺等)需提前校验妥当, 保证在施工放线、定位、对位等关键阶段给予准确的数据支撑, 杜绝由仪器误差引发的施工偏差。

#### 2 节点安装过程中的控制要点

在实施施工活动期间, 应着重管控定位对位、连接件的施工质量以及现场临时的支护与防护手段, 保障节点施工符合设计跟规范要求。

## 2.1 定位与对位精度控制

放线是保障节点安装精度的根基,在施工现场,需采用全站仪、激光测距仪等高精度设备进行放线工作,精准复查轴线与标高精度,保障各构件定位点误差不超出 $\pm 3\text{mm}$ 界限,应采用双人复核制度对节点位置进行放线,需把关键测点明确标识,设置控制桩,防止施工扰动造成位置上的偏移。

就套筒灌浆连接而言,能借助钢筋卡具及楔形垫块作微调,达成钢筋轴线重合误差在 $\pm 2\text{mm}$ 以内的要求;就钢结构螺栓连接而言,孔位错位需控制在 $1.5\text{mm}$ 以内,需借导向销钉之力辅助定位,且要实施预对位方面的检查,构件若有错位、旋转、扭曲等情形,要在节点固定前完成调整。

就偏差控制相关事宜,节点拼装后,中心线的偏差须 $\leq 5\text{mm}$ ,接缝宽度偏差需满足 $\leq 3\text{mm}$ 的要求,节点高差不得超出 $\pm 5\text{mm}$ ,若察觉存在超限情形,应马上开展调整或返修行动,使节点安装达到规范的标准。

## 2.2 连接件安装技术要求

节点强度与耐久性的保证离不开连接件施工工艺,采用高强螺栓或普通螺栓进行螺栓连接,拧紧操作的顺序需从中间开始,朝着两侧依次对称开展,须采用力矩扳手控制力矩值,高强螺栓初拧应达到设计值的 $60\%$ ,终拧要控制到 $100\%$ 设计值,若以 $M20$ 螺栓来说,终拧力矩应控制在 $320\sim 350\text{N}\cdot\text{m}$ 范围,紧固完毕后需进行防松相关处理,诸如采用弹簧垫圈和防松胶。

应选用埋弧焊、气保焊或手工焊进行焊接节点部位的作业,焊缝高度应达到设计要求及以上,一般多为 $\geq 6\text{mm}$ ,焊缝长度误差不可超出 $\pm 5\text{mm}$ 范围,焊缝外观应呈现出平滑均匀样,禁止有夹渣、未焊透、咬边等形式的缺陷,于焊后 $24$ 小时内开展超声波或磁粉检测为宜,要求达到 $100\%$ 合格率。

就灌浆套筒连接这一操作,施工的时候需采用高强无收缩灌浆料,应把水料比控制在 $0.13$ 到 $0.15$ 间,浆体流动度达到 $\geq 300\text{mm}$ 为宜,灌浆操作结束 $24$ 小时进入初凝阶段, $72$ 小时后强度应当达到 $30\text{MPa}$ 以上水平,套筒内钢筋插入深度应契合设计要求,大多情形下不小于 $10$ 倍钢筋直径 $d$ ,同时要保证插入后既无晃动现象,也无空隙存在。如图1所示。

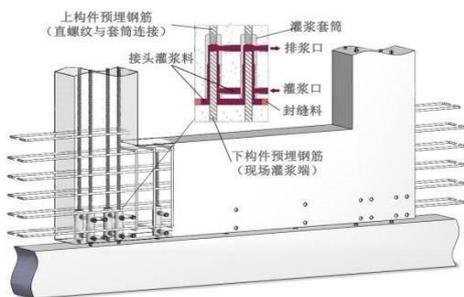


图1 灌浆套筒连接要点

节点施工安排中要杜绝长时间的间歇现象,连续开展施工可维护混凝土灌浆与钢筋锚固的完整度,倘若施工安排要求间歇,应对已竣工的节点采用临时保护办法,阻止

灰尘、雨水、杂物进入衔接部位,守护后续施工质量水平。

## 2.3 防护与临时支撑措施

为避免节点于定位及连接过程中出现位移,须设置必要的临时固定手段,一般用到的方法有钢丝拉固、短杆焊接限位以及临时支撑架加固,当节点初步安装完成,支撑稳定状态需维持至少 $12$ 小时,需待节点强度达到设计要求后才可拆除。就防护措施而言,应针对节点处设置防护罩或用塑料布进行掩蔽,尤其在灌浆养护的时候,需防止高温、强风、雨水等不利环境来干扰,防尘布可抑制灰尘杂质进入连接缝的现象,提升连接的紧密性与长久稳定性。

面对特殊的气候条件,施工应采用针对性的举措,低温( $\leq 5^\circ\text{C}$ )下开展施工工作,要预热钢筋至 $20^\circ\text{C}$ 以上,应保证灌浆料温度在 $15\sim 30^\circ\text{C}$ 之间,用保温材料覆盖节点表面;若处于高温( $\geq 35^\circ\text{C}$ ),作业要避开中午的高温时段,采取喷水操作实现降温,杜绝接缝开裂以及灌浆早期干裂现象;若逢雨天施工,要全面封闭节点区域,查验连接部位无积水后继续作业。

## 3 节点施工后的质量验收管理

连接节点作为装配式建筑结构里核心的传力节点,整体结构安全与耐久性的保障,离不开对其施工质量的验收工作,符合规范的验收流程、严格苛刻的检测标准与完善可靠的复查机制,是达成节点高质量交付的关键支撑。

### 3.1 外观与尺寸检查

待节点施工完成后,首先开展的是外观和构造的检查事项,检查所涉内容为构件接缝的密实性、钢筋连接的可见部分、节点处整体的平整度等,焊缝部分要做到焊道连续、成型规整均匀,杜绝咬边、气孔、未焊透等相关缺陷,焊缝高度应契合设计要求,一般是 $\geq 6\text{mm}$ ,应将焊缝长度的偏差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内;应检查螺栓连接处的螺栓是否齐全、安装方向是否规整、防松装置是否完好无损,螺纹应在螺栓端部露出 $2\sim 3$ 扣。

节点尺寸检查重点包含构件连接部位的轴线偏移情况、标高差大小、拼缝宽度数值及错台量多少,依照《装配式混凝土结构技术规程》作出的规定,节点拼缝的偏差不得超过 $\pm 3\text{mm}$ ,节点标高偏差应不超 $\pm 5\text{mm}$ 这一范围,错台高度不宜超过 $2\text{mm}$ ,就有饰面层要求的相关节点而言,脱模线应展现平整清晰的面貌,倘若存在较为突出的错缝、裂缝或麻面现象,要实施返修操作。

### 3.2 隐蔽工程验收制度

节点施工里诸多关键的连接构造,诸如焊接缝、套筒灌浆、钢筋锚固等构造,归属于隐蔽工程范畴,需在封闭之前完成验收事宜,节点开始封闭之前,施工单位需预先开展报验,由项目管理人员、专业监理工程师主导验收,必要时设计单位一同参与验收,涵盖诸如连接件位置、灌浆饱满度、钢筋插入深度、焊缝完整性之类内容。

验收应附带详细的流程记录,涉及验收的时间、验收相关人员、检查的各项内容、检验方式及结果等,所有隐

蔽节点都得进行影像资料留档,拍摄内容需囊括节点全貌、细节的特写以及测量数据等,保证后续追溯有迹可循,要将影像资料上传至施工质量管理体系达成归档,以备查验。

应与第三方检测机构携手配合,开展节点关键部位的抽检,诸如焊缝超声波探伤检测、套筒灌浆强度测定等,抽检比例要在10%及以上才行,关键部位须采用100%比例检测,检测结果须契合相关规范要求,才可完成封闭。

### 3.3 质量评估与复检机制

节点质量验收可按照“检验批—分项—分部”的顺序逐层推进实施,节点属于结构分项工程构成范畴,可独自划分成检验批,每批节点数量宜控制在30个以内,需按照不同节点类型(像柱-梁、墙-楼板情形)分别制定验收规范。

针对验收当中发现的不合格情形,要马上登记在册,施工单位要制定整改措施并推进整改实施,整改完成后,由起初的验收人员再次验收,保证问题彻底消除,当复检合格,便可开启下一工序,就关键节点的不合格情况,应安排专题分析会,查明起因并对责任进行追溯。在项目开启结构验收阶段前夕,需实施专项节点质量评估活动,包含节点构造的完整性、连接性能以及工艺稳定性等相关指标,结合第三方给出的检测数据做综合判定,最终作成节点质量评估报告,用作项目整体结构质量评价的关键参照。

## 4 常见质量问题防控措施

### 4.1 节点错位与偏移

测量定位误差、吊装时的摆动干扰或对接操作失误,往往会引发节点错位,该类问题不只会影响构件连接的质量,甚至可能造成饰面错缝以及受力失衡,为防范这一问题出现,应在安装作业前设置控制点及导向装置,采用高精度全站仪开展放线测量作业,把轴线复核误差控制在±3mm以内,需配置多点同步操控吊具,保障构件平稳地达成就位。如表1所示。

表1 节点允许偏差控制数据表

检查项目	允许偏差范围
节点轴线位置偏差	≤±5mm
节点拼缝宽度	≤±3mm
构件标高偏差	≤±5mm
节点错台高度	≤2mm

若偏移情况产生,可按照偏差的程度实施调整行动,像用垫片进行矫正、执行局部二次灌浆修补等操作手段,若有严重错位现象,要实施返工处理,由技术负责人牵头开展分析工作。

### 4.2 焊接质量不达标

节点焊接中,像气孔、夹渣、咬边、焊瘤及未焊透等都是常见缺陷,此类缺陷会削弱连接的强度与耐久性,应恰当设置焊接顺序,采用以“分道分层”为特点的焊接工艺,对焊件进行施焊前,先开展预热,尤其在钢板厚度超过20mm

情形下,必须预热处理,以此杜绝冷裂纹出现。如表2所示。

表2 推荐使用以下焊缝检测手段

检测方法	检测对象	精度等级	检测比例
超声波检测(UT)	焊缝内部缺陷	B级	节点主焊缝100%
磁粉检测(MT)	表面裂纹、气孔	A级	关键节点100%
外观检查	焊缝成形、咬边	—	所有焊缝

### 4.3 螺栓连接失效风险

螺栓连接为装配式建筑连接节点中普遍的结构形式,其紧固质量直接与节点受力性能及结构稳定性相挂钩,处于施工进行阶段时,螺栓出现失效,多是拧紧力矩控制未把控好导致的,要是力矩欠缺,螺栓连接容易出现松动现象,引起节点刚度的波动;倘若力矩超出合理范围,或会造成螺纹滑扣、螺栓断裂等一系列问题,以M20规格的高强螺栓做个例子,终拧力矩需把控在320~350N·m的范围以内,操作需采用校验合格的数显或扭矩扳手进行。

施工时必须严格遵照“初拧+终拧+二次紧固”的三级拧紧次序,初拧应按照对称次序完成好,需在初拧完成后的30分钟内开展终拧工序,二次紧固要在2小时内完成把控,杜绝构件自重、温湿度的变化引起预紧力的降低,完成连接后应做好防护工作,推荐采用双螺母拧紧或弹簧垫圈之类的防松手段,给外露的螺纹刷防锈油脂,防止锈蚀引发强度的下降。

## 5 结语

装配式建筑连接节点施工质量,对结构安全性与耐久性的保障起着重要基础作用,经由施工前的完备准备、安装期间的精细调控、施工结束后的严格审核以及对常见问题的预防处置,可显著提升节点施工的质量层级,节点施工要求技术操作实现标准化,还得让全过程管理走向规范,从人员培训环节、设备匹配事宜到质量追溯,各环节都需从严执行把控,伴随施工技术持续优化,标准落实稳妥到位,将为装配式建筑高质量发展打造坚实的后盾,推动建筑工业化进程扎实迈进。

### [参考文献]

- [1]沈江. 聚焦装配式建筑施工质量控制要点,助力建筑行业实现转型升级[J]. 楼市, 2025(3): 37-39.
- [2]王世福. 装配式混凝土结构施工质量控制要点与技术研究[J]. 房地产世界, 2025(1): 146-148.
- [3]莫智谋. 装配式建筑工程施工质量控制与监理对策分析[J]. 新城建科技, 2024, 33(9): 185-187.
- [4]王志勇, 李昀阳. 浅谈装配式混凝土结构施工质量控制及技术管理[J]. 中国建筑装饰装修, 2024(16): 187-189.
- [5]张小明. 装配式建筑工程施工质量控制与监理对策[J]. 陶瓷, 2024(5): 234-236.

作者简介: 刘曜恺(1991.2—), 男, 黄淮学院, 大专, 建筑工程技术, 北京韩建集团有限公司, 技术员。

## 关于 BIM 技术在装配式建筑施工阶段中的应用

徐华中

安徽建工交通航务集团有限公司, 安徽 阜阳 236000

**[摘要]** 随着时代的不断发展, 我国建筑行业也迎来了新的发展机遇。装配式建筑是一种新型的建筑模式, 其施工技术水平和质量要求较高, 在施工阶段中应用 BIM 技术, 可以有效提高施工质量, 降低施工成本。本篇文章首先对 BIM 技术进行概述, 其次对 BIM 技术在装配式建筑施工中的具体应用进行探索, 包含在施工前期工作和施工过程中的应用, 实践证明, BIM 技术在装配式建筑工程施工中的应用优势明显, 希望可以为相关工程人员提供参考。

**[关键词]** 装配式建筑; BIM 技术; 施工; 应用

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16446

中图分类号: TU17

文献标识码: A

### The Application of BIM Technology in the Construction Stage of Prefabricated Building

XU Huazhong

Anhui Construction Engineering Traffic and Shipping Group Co., Ltd., Fuyang, Anhui, 236000, China

**Abstract:** With the continuous development of the times, Chinese construction industry has also ushered in new development opportunities. Prefabricated building is a new type of building model that requires high levels of construction technology and quality. Applying BIM technology during the construction phase can effectively improve construction quality and reduce construction costs. This article first provides an overview of BIM technology, and then explores the specific application of BIM technology in prefabricated building construction, including its application in pre construction work and construction processes. Practice has proven that BIM technology has obvious advantages in prefabricated building construction, and it is hoped that it can provide reference for relevant engineering personnel.

**Keywords:** prefabricated building; BIM technology; construction; application

随着我国建筑行业的不断发展, 装配式建筑的应用逐渐增多, 对于建筑行业发展来说是一种新的发展模式, 能够在一定程度上实现建筑行业的绿色发展, 对于建筑行业未来的发展有一定的促进作用。装配式建筑和传统的施工模式存在一定差异性, 在施工前期需要做好充分的准备工作。BIM 技术作为一种新型技术, 在装配式建筑施工过程中的应用具有重要的价值, 要求施工单位充分了解 BIM 技术的应用优势和功能, 保证装配式建筑工程的整体施工质量和经济效益。

#### 1 BIM 技术概述

BIM 技术是一种新型的信息技术, 主要是基于数据信息的集成化, 利用计算机技术进行数据处理和分析, 以可视化的形式进行表达。BIM 技术主要包括了模型、数据信息两个部分。其中模型主要是指项目的设计模型、施工模型以及运营模型, 在项目建设过程中对施工模型进行不断优化, 可以实现资源共享, 对于资源利用率的提升有重要意义。数据信息主要是指项目中建筑项目数据信息、结构设计信息以及环境影响等内容, 通过对 BIM 技术的不断应用, 能够提升工程建设的信息化水平。

#### 2 BIM 技术在装配式建筑施工前期中的应用

##### 2.1 在施工准备阶段的应用

BIM 技术在装配式建筑施工准备阶段发挥着至关重

要的作用, 主要体现在以下两个方面: 第一, 设计协同与优化在整个装配式建筑施工过程中占据核心地位, 利用 BIM 平台进行构件设计和标准化, 能够确保构件之间的兼容性与可互换性, 从而减少现场安装的复杂性, 同时结构拆分与预制构件设计的一体化设计, 能够有效避免设计方案中的冲突和返工, 实现更加高效的施工进度。此外, 多专业团队的协同设计使得各个专业人员可以共享数据和模型, 以避免冲突并促进设计方案的优化与调整。第二, 施工方案模拟与优化涵盖了从施工流程模拟到施工方案优化的全过程, 通过模拟施工环境, 如预制构件的安装顺序, 不仅可以提前预见潜在的问题, 还能优化施工场地的布局, 减少施工现场的混乱。施工机械和人员配置的模拟, 帮助施工方合理安排资源, 避免人力和机械的浪费, 而施工进度计划优化则是基于 BIM 模型的动态信息, 不断调整和更新, 确保施工进度符合项目进度计划和成本预算。

##### 2.2 构建用于装配的标准化族库

构建用于装配式建筑施工的标准化族库是 BIM 技术应用的重要环节。第一, 需求分析。分析项目需求, 确定所需的预制构件类型和规格。第二, 制定族库标准。确定族库的命名规则、分类体系、参数设置等标准, 制定构件的尺寸、材质、连接方式等。第三, 收集和整理。收集相关的国家标准、行业规范、设计图纸等资料, 整理已有的

预制构件信息和数据。第四,创建族文件。根据标准设置族参数,包括几何参数、物理属性、材质信息,使用 BIM 软件创建族文件。第五,族库的测试与验证。对创建的族文件进行测试,确保其在 BIM 模型中的正确性和适用性,验证构件的几何尺寸、材质信息、连接方式等是否符合设计要求。通过对标准化族库中数据结构进行优化能够提高 BIM 技术应用水平和效率。

### 2.3 在预制场管理中的应用

BIM 技术作为一种先进的信息技术,在构件预制场管理方面展现了其独特的应用价值,这种技术通过高度精确和详尽的三维建模与信息集成,极大地提升了对预制构件生产流程的精细化管理水平。具体工作中,BIM 技术为预制场管理者提供了一个高效的工具,使得他们能够创建一个详尽的预制构件库,可以优化其生产计划,同时该系统可以通过技术交底、生产任务布置等手段,有效地提高生产效率,同时保证产品的质量。在预制构件的生产阶段,BIM 技术同样发挥着至关重要的作用,它可以用于分析设计与实际生产之间的潜在干涉问题,通过三维模型模拟,对模具安装和生产流程进行深入研究,以优化生产方案,确保施工过程更加顺畅,避免不必要的返工和成本增加。

### 2.4 检查预制组件的预装配

在装配式建筑施工前需要对预制构件进行预装配,并且要确保预制构件能够顺利安装,但是传统的预制构件装配方式存在一定的局限性,通过 BIM 技术可以对预制构件进行提前预装配,在进行装配之前需要对预制组件进行检查,避免在安装过程中出现问题。另外,在检查预制组件时可以对预制构件的规格、数量等进行检查,在检查过程中需要注意预制组件的整体质量,避免出现问题,影响装配式建筑施工效果<sup>[2]</sup>。

### 2.5 BIM 技术在施工模拟与优化中的应用

装配式建筑与传统建筑在施工方面较大的区别,其施工过程复杂,涉及到的专业较多,施工过程中存在很多不确定因素。通过 BIM 技术模拟施工,可以对装配式建筑进行施工模拟,帮助管理人员掌握装配式建筑的施工规律和特点,从而有效提高施工质量。例如,在某工程项目中,BIM 技术在施工模拟中主要应用到了以下几个方面:

(1) 碰撞检测。利用 BIM 技术对工程进行模拟可以发现在项目施工过程中存在的碰撞问题,及时发现碰撞点并进行调整;(2) 进度控制。通过 BIM 技术模拟完成进度计划后,可以在此基础上对工程进度进行跟踪、监督和管理,可以有效减少工程中的停工现象和返工现象;(3) 资源配置。通过 BIM 技术对装配式建筑进行模拟之后可以发现,如果需要大型的吊装作业时需要增加临时设施、临时支撑等,通过 BIM 技术可以实现对各种资源的合理配置。通过 BIM 技术对装配式建筑进行模拟之后,可以发现工程中存在的成本浪费现象,并可以及时对资源进行调整

和优化,从而有效提高工程效益。

## 3 BIM 技术在装配式建筑施工阶段中的应用策略分析

### 3.1 BIM 技术在施工进度管理工作中的应用

BIM 技术通过构建精确的 BIM 模型,整合 4D 施工进度模拟功能,为施工进度提供了一种全新的管理模式,这种管理模式不仅能够确保施工计划的科学性与准确性,而且还能根据实际情况进行及时的调整,以适应不断变化的施工环境和条件。通过 BIM 技术强大的模拟功能,可以对进度计划进行反复地测试与验证,确保每一步施工都符合既定目标,即便面对不可预见的问题,施工计划也能保持其稳定性和可操作性。BIM 技术还引入了遗传算法这一先进的计算工具,用于生成预制构件的装配序列,通过对这些序列的优化,可以大大提高施工效率并缩短建造周期。不仅如此,BIM 技术的实时更新功能使得工程人员能够随时掌握项目进度状态,对进度偏差进行实时量化分析,如果发现偏差可以迅速采取措施进行调整,保证施工计划的顺利执行。

### 3.2 BIM 技术在资源管理中的应用

施工管理的方法和手段直接影响着项目的实际效益,传统的项目管理方法和手段存在着一些显著问题,如现场材料管理、现场设备管理等方面,这些问题的出现严重影响了项目的实际效益。而 BIM 技术的出现,有效解决了传统工程项目管理中存在的问题,通过 BIM 技术进行资源管理,可以有效提高资源利用效率。还可以对施工材料进行统一规划和安排,并在施工过程中根据施工进度灵活调整和使用,保证了施工材料的使用效率,可以对施工现场进行动态调整,根据实际情况合理分配资源。比如,以广州市一处高层建筑项目为例,该项目通过运用 Revit 和 BIM4D 平台,实现了周转材料、工具及设备 and 劳动力的可视化模拟,平台生成了详细的物料需求计划,并根据实际情况进行了纠偏和优化,同时通过对劳动力需求计划与现场实际数据的跟踪对比,进一步实现了资源的智能动态管理。此外,通过将三维模型、进度文件和计价文件集成到基于 BIM 的施工资源管理平台中,可以创建 4D 信息模型,这种模型不仅便于工程量的动态查询,还能够指导施工资源的优化配置,以及成本的跟踪对比,这样一来,施工资源管理不再局限于静态的计划安排,而是变成一个动态、灵活且高效的过程,这种动态管理方式极大地提升了资源的利用效率,并有效避免了因资源供应不足或冲突而导致的潜在风险。

由于工程项目建设中需要使用大量的材料,因此要保证材料运输过程中的安全性和稳定性,传统的物流运输方式存在一定的局限性,在施工过程中经常会出现材料无法按时到场和丢失等情况。采用 BIM 技术进行资源管理时,可以通过 BIM 技术对施工现场进行模拟,分析施工过程中需

要使用哪些物资以及物资数量、种类等,并通过模拟结果对施工现场进行优化,同时,还可以利用BIM技术对现场临时用电、用水、机械设备等进行模拟和分析,使建筑工程项目能及时采取应对措施,提高了建筑工程项目资源利用率。传统工程项目管理过程中存在着信息孤岛问题,即在工程项目建设过程中各部门之间缺乏有效沟通,这种情况下会导致各部门之间工作效率低下、信息交流不畅等问题发生,BIM技术应用于资源管理后,可以利用其三维模型的优势对建筑工程项目进行模拟和分析,通过三维模型可以将相关数据信息有效传递给各个部门或人员,各部门或人员可以在三维模型的帮助下对工程项目进行快速、准确的了解和分析,从而提高了资源利用效率。

### 3.3 BIM技术在工程协作与沟通中的应用

在工程协作与沟通中应用BIM技术,可以实现工程信息资源共享,并对其进行有效利用,提高工程协作与沟通效率。BIM技术可以帮助建筑企业建立完善的沟通机制,使各个施工单位之间形成良好的工作关系,并明确项目的具体要求,施工过程中各个单位之间应建立良好的沟通机制,在施工过程中遇到问题时可以及时进行沟通和交流,并通过BIM技术实现工程信息资源共享并对其进行有效利用<sup>[4]</sup>。在施工过程中各个单位之间应建立良好的协作关系,并明确各自的工作内容和责任,当出现问题时可以通过BIM技术及时解决问题。BIM技术是一种先进的信息技术手段,其应用可以实现工程信息资源共享,在工程项目实施过程中应用BIM技术可以实现工程信息资源共享,并将各单位之间的协作关系明确下来,通过BIM技术,工程信息资源可以得到有效利用,使不同单位之间能够进行有效协作和沟通。另外,通过BIM技术还可以提高各单位之间的工作效率和工作质量,从而降低施工成本。

### 3.4 BIM技术在工程质量控制中的应用

在装配式建筑施工过程中应用BIM技术,可以有效提高工程质量控制水平,装配式建筑是一种新型的建筑模式,其施工工艺复杂,技术要求较高,在工程建设过程中,为了保证工程质量,需要加强对施工过程的控制和管理,因此需要利用BIM技术建立工程施工模型,对整个工程的施工方案进行模拟和优化。利用BIM软件工程能够以三维视角对施工过程进行模拟,这不仅可以帮助他们提前预见到潜在的质量问题,还能据此优化施工方案,避免施工错误地发生,这种前瞻性的规划确保了施工流程的合理性和高

效性,进而提高了建筑的质量与安全性。通过BIM模型的精确数据,施工人员能够获得所需的构件信息,这些信息包括构件的尺寸、材料规格以及连接方式等,这样能够更加精确地执行设计要求,减少施工偏差,从而保证了工程的精确度和一致性。基于BIM模型,工程人员可以轻松识别出需要特别关注的质量控制点,并在模型上设置相应的监测点,这些控制点可以作为实时监测和检查的依据,如果出现异常情况,系统会立即报警并触发后续处理程序,确保问题能够得到及时且有效的解决。BIM平台为设计、施工、监理等多个参与方提供了一个共享资源的平台,设计人员和建筑师可以将设计意图准确传达给施工方,施工单位则可以在此基础上提出更符合实际需求的施工方案,同时监理团队也能利用该平台获取实时更新的信息,从而更加高效地监督工程进展,减少沟通障碍,降低因信息不对称而产生的误解和错误,保证装配式工程的整体施工质量。

## 4 结语

综上所述,BIM技术在装配式建筑施工中的应用,不仅有利于提高工程建设质量,而且能够有效缩短工程建设周期,降低工程建设成本。BIM技术作为一种新的工程管理模式,已经得到了我国政府的高度重视和大力支持,随着建筑行业对信息化要求不断提高,BIM技术将会得到更广泛的应用,相信在不远的将来BIM技术会成为装配式建筑施工管理模式中不可或缺的一部分。

### [参考文献]

- [1] 韦奇,陈华平,李雪麟,等. BIM技术在装配式建筑绿色施工中的应用研究[J]. 建筑技术开发,2024,51(11):79-82.
  - [2] 张奇,金嘉宏. BIM技术在装配式建筑施工安全管理中的应用研究[J]. 房地产世界,2024(18):149-151.
  - [3] 李欢. BIM技术在装配式建筑施工成本控制中的应用研究[J]. 四川水泥,2024(9):79-82.
  - [4] 陈静,陈海明. BIM技术在装配式建筑施工组织设计中的应用[J]. 建筑安全,2024,39(8):53-56.
  - [5] 毕思远. BIM技术在装配式建筑模块化施工中的应用研究[J]. 房地产世界,2024(11):143-145.
- 作者简介:徐华中(1988.8—),性别:男,民族:汉,籍贯:安徽安庆市,学历:在职研究生,职称:工程师,主要研究方向:装配式建筑施工、建筑施工技术、建筑装饰施工、深基坑支护及防水等。

## 高效节水器具在公共建筑中的应用效果评估

于 晴

河北建筑设计研究院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]** 高效节水器具在公共建筑中的应用效果评估旨在探讨这些器具对水资源节约的实际影响及其推广价值。通过案例分析与数据对比, 本研究发现高效节水器具不仅能够显著降低公共建筑的用水量, 还能在长期内减少运营成本并提升环境可持续性。在公共建筑中合理配置高效节水器具对于促进水资源的高效利用至关重要。器具的选择、安装及维护需要综合考虑多种因素, 以确保其节水效果的最大化。本研究强调了制定相关政策和标准的重要性, 以支持高效节水器具在公共建筑中的广泛应用。

**[关键词]** 高效节水器具; 公共建筑; 水资源节约; 环境可持续性; 运营成本

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16465

中图分类号: TU4

文献标识码: A

### Evaluation on the Application Effect of High-efficiency Water-saving Appliances in Public Buildings

YU Qing

Hebei Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** The evaluation of the application effect of high-efficiency water-saving appliances in public buildings aims to explore the actual impact of these appliances on water resource conservation and their promotion value. Through case analysis and data comparison, this study found that efficient water-saving appliances can not only significantly reduce the water consumption of public buildings, but also reduce operating costs and improve environmental sustainability in the long run. Reasonable allocation of efficient water-saving appliances in public buildings is crucial for promoting the efficient utilization of water resources. The selection, installation, and maintenance of appliances need to consider multiple factors comprehensively to ensure the maximization of their water-saving effect. This study emphasizes the importance of developing relevant policies and standards to support the widespread use of efficient water-saving appliances in public buildings.

**Keywords:** efficient water-saving appliances; public buildings; water resource conservation; environmental sustainability; operating costs

#### 引言

高效节水器具的应用已成为应对全球水资源紧张问题的重要策略之一。随着城市化进程的加快和人口的增长, 公共建筑作为耗水大户, 其节水潜力巨大。如何有效提高公共建筑中的水资源利用率, 成为当前亟待解决的问题。研究表明, 采用高效节水器具可以大幅度减少用水量, 但其实际应用效果受多种因素的影响。不同类型的建筑结构、使用模式以及用户习惯等都会对节水效果产生重要影响。深入研究高效节水器具在公共建筑中的应用效果, 不仅有助于提升水资源利用效率, 也为政策制定者提供了科学依据。本文将围绕高效节水器具的应用现状、面临的挑战及其对公共建筑节能效果的影响进行详细探讨。

#### 1 公共建筑中水资源使用的现状与挑战

公共建筑作为城市水资源消耗的重要组成部分, 其用水模式与效率直接影响到城市的可持续发展。在当前的背景下, 许多公共建筑面临着严重的水资源浪费问题。传统的卫生器具如水龙头、马桶和淋浴设备等, 由于技术限制或老化问题, 导致水资源利用率低下。这些设备不仅耗水量大, 而且维护成本高, 进一步加剧了资源的浪费。一些公共建筑缺乏有效的水资源管理机制, 无法对实际用水情

况进行精确监控和分析, 使得节水措施难以有效实施。提高公共建筑中水资源使用的效率, 已成为实现城市水资源可持续利用的关键环节。

现代公共建筑的设计与运营过程中, 水资源管理的重要性日益凸显。在实际操作中, 多种因素制约了高效节水目标的达成。一方面, 建筑设计初期未充分考虑节水需求, 导致后续改造难度加大; 另一方面, 用户对于节水器具的认知度和接受度不高, 习惯性使用传统高耗水设备。不同类型的公共建筑(如学校、医院、办公楼等)因其功能差异, 对水资源的需求也各不相同, 这增加了制定统一节水策略的复杂性。部分地区的水资源价格偏低, 未能充分体现水资源的真实价值, 间接削弱了公共建筑采用节水措施的积极性。这些问题的存在, 要求我们在推动公共建筑节能节水工作中必须采取综合性、系统性的解决方案。

为了应对上述挑战, 引入并推广高效节水器具成为提升公共建筑水资源利用效率的有效途径之一。通过应用诸如低流量水龙头、双档冲水马桶、感应式洁具等先进节水设备, 可以显著减少公共建筑的日常用水量。借助智能水表、远程监控系统等现代技术手段, 能够实现公共建筑用水情况的实时监测与管理, 为精准施策提供数据支持。

值得注意的是,除了技术层面的改进外,加强节水宣传教育,提高公众节水意识也是不可或缺的一环。只有当社会各界共同参与,形成合力,才能真正实现公共建筑水资源使用的优化与可持续发展目标。

## 2 高效节水器具的技术特点及其选择原则

高效节水器具的设计融合了多种先进技术,以实现水资源的最大化节约。低流量水龙头通过优化水流通道和增加空气注入技术,在保证使用舒适度的同时大幅减少了用水量;双档冲水马桶则根据不同需求提供大小两种冲水量选择,有效降低了卫生间的耗水量。感应式洁具能够在使用者离开后自动关闭水源,避免了因人为疏忽造成的水资源浪费。这些器具不仅在技术层面实现了对传统高耗水设备的革新,还通过智能化管理系统的集成,如智能水表、远程监控等,进一步提升了水资源利用效率。它们的应用使得公共建筑在不影响正常使用功能的前提下,显著减少了日常运营中的水资源消耗。

选择合适的高效节水器具需要综合考量多方面因素。一方面,要根据建筑物的具体用途及用户群体特点进行选型。比如学校、医院等人流密集场所,需优先考虑耐用性和易维护性较强的节水设备;而在办公楼或商业中心,则可侧重于美观与功能性兼具的产品。另一方面,考虑到不同地区的水质条件差异,选用适合当地水质环境的节水器具也至关重要。硬水地区可能需要安装软水处理装置以延长节水器具使用寿命,而部分地区还需关注器具是否具备防堵塞性能。投资成本与预期回报也是决策过程中不可忽视的因素之一。尽管高效节水器具初期投入较高,但其长期节水效益及较低的维护费用往往能在短时间内弥补这一差距,并为建筑运营带来可观的成本节约。

除了技术和经济因素外,政策导向和社会责任意识同样影响着高效节水器具的选择与应用。许多地方政府出台相关政策鼓励采用节水措施,甚至对安装高效节水器具给予补贴支持,这无疑促进了此类设备的普及推广。随着公众环保意识的提高,越来越多的企业和机构主动寻求绿色建筑认证,将高效节水作为提升企业形象的重要举措之一。在这种背景下,选择符合国家标准和行业规范的节水器具不仅有助于满足法规要求,还能体现组织的社会责任感。通过科学合理地选择高效节水器具,可以在保障公共建筑正常运行的实现经济效益与环境保护的双赢局面。

## 3 高效节水器具在公共建筑中的实施策略

在公共建筑中成功实施高效节水器具需要一套全面而细致的策略,以确保从规划到执行再到后续维护的每个环节都能有效推进。制定详细的用水审计计划是这一过程的重要起点。通过用水审计,可以准确识别建筑物内的高耗水区域及设备,为节水改造提供数据支持。在大型商业综合体或教育机构中,卫生间和餐饮区往往是主要的水资源消耗点,针对这些区域进行专项审计显得尤为关键。审

计结果还能帮助确定节水潜力最大的领域,从而指导后续节水器具的选择与安装工作。在此基础上,结合建筑物的具体使用情况和用户需求,设计个性化的节水方案,以达到最佳节水效果。

在具体实施阶段,必须注重项目管理和多方协作。这包括建立跨部门团队,确保建筑设计、设施管理、财务和技术等各方面的专业人员能够紧密合作。在新建项目中,应将节水设计纳入建筑的整体规划,确保节水措施与建筑美学、功能布局相协调;对于既有建筑,则需在不影响正常运营的前提下,合理安排施工时间表和工序,减少对使用者的影响。加强供应商管理也是实施策略中的重要一环。选择具有丰富经验和良好信誉的供应商,不仅能保证节水器具的质量,还可以获得专业的技术支持和售后服务。值得注意的是,实施过程中要充分考虑用户的接受度和适应性,通过开展培训和宣传活动提高用户对新设备的认知和使用技巧,避免因操作不当导致的节水效果打折扣。

为了确保高效节水器具的长期效益,建立健全的监测与评估机制至关重要。利用智能计量系统实时监控用水量变化,不仅可以及时发现潜在问题,如漏水或设备故障,还能根据实际使用情况进行调整优化。通过对比节水改造前后的用水数据,可以量化节水成效,并为后续改进提供依据。定期维护保养是保持节水器具性能的关键。制定科学合理的维护计划,包括定期检查、清洁和更换易损件等,可以延长设备使用寿命,维持其高效的节水能力。通过综合运用上述策略,不仅能够在公共建筑中实现显著的节水目标,还能够促进资源节约型社会的建设,推动可持续发展进程。

## 4 高效节水器具应用效果的实证分析

通过对多个公共建筑项目中高效节水器具应用效果的实证分析,可以清晰地看到这些器具在实际操作中的表现和带来的显著效益。在一所大型医院内,更换传统卫生洁具为低流量马桶和感应式水龙头后,该医院的月度用水量减少了约30%。这种减少不仅直接降低了运营成本,还间接减轻了污水处理压力,进一步节省了相关费用。数据表明,经过节水改造后的教育机构,其水资源利用效率有了明显提升,这主要得益于新安装的高效节水设备以及智能计量系统的引入,使得管理方能够精确掌握各个区域的用水情况,并据此进行优化调整。高效节水器具的应用不仅能带来即时的节水效果,还能为长期资源管理和成本控制奠定坚实基础。

在对不同类型公共建筑的实际案例研究中发现,不同环境下的节水成效有所差异,但总体趋势向好。比如,办公楼通过采用双档冲水马桶和自动关闭型水龙头,成功将人均日用水量从原先的较高水平降至合理范围。这类改造对于高人流量、使用频繁的场所尤为重要,因为它们直接影响到整体节水目标的达成。一些商业综合体在实施节水

措施时,结合了雨水收集系统和废水再利用技术,形成了一个完整的水资源循环利用体系。这一体系不仅提高了水资源的重复利用率,也增强了建筑物的整体环保性能。上述实例充分证明了高效节水器具在实际应用中的灵活性和适应性,同时也展示了如何根据具体需求选择合适的节水方案以达到最佳效果。

为了全面评估高效节水器具的应用效果,还需关注用户反馈和社会效益。研究表明,尽管初期可能会遇到部分用户的不适应或质疑,但随着使用的深入,大多数用户逐渐认可并接受了新的节水设备。良好的用户体验不仅体现在便捷性和舒适度上,还包括对环境保护贡献的认识。高效节水器具的应用还带动了相关产业的发展,促进了技术创新和市场竞争力的提升。从社会层面来看,这一举措有助于提高公众的节水意识,推动全社会形成节约用水的良好风尚。综上所述,高效节水器具在公共建筑中的应用效果是多方面的,既包括经济上的收益,也有助于实现环境和社会的可持续发展目标。

### 5 推动高效节水器具普及的政策措施

推动高效节水器具的普及需要一系列切实可行的政策措施作为支撑,以确保这些技术能够广泛应用于公共建筑中。在政策层面,政府可以通过制定强制性标准和激励措施来促进节水器具的应用。设定公共建筑用水效率的最低标准,要求新建或翻新项目必须采用符合规定的高效节水设备。针对既有建筑,可以出台改造补贴政策,鼓励业主更新老旧设施。这种做法不仅能直接减少水资源浪费,还能带动相关产业的发展,创造更多的就业机会。通过财政补贴、税收减免等方式,降低高效节水器具的采购成本,使得更多单位和个人愿意主动选择这些环保产品。建立严格的市场准入机制,确保市场上流通的节水器具质量可靠,性能达标。

除了经济激励和技术规范外,加强宣传教育也是推动高效节水器具普及的重要手段。提高公众对水资源紧缺性的认识,增强社会节水意识,是实现长期节水目标的关键。政府部门和社会组织可以联合开展多种形式的宣传活动,如节水宣传周、公益广告等,向公众普及高效节水器具的优点及其对环境保护的重要性。在学校教育中融入节水知识,培养青少年的节水习惯,从源头上提升全社会的节水素养。对于公共建筑管理者而言,定期举办培训班和技术交流会,分享成功的节水案例和经验,有助于提升其管理水平和能力。只有当社会各界形成共识,认识到节约

用水不仅是个人责任,更是社会责任时,才能真正实现高效节水器具的大规模应用。

为了进一步巩固节水成果,还需建立健全监督评估体系,确保各项政策措施的有效落实。这包括设立专门的监管机构或部门,负责对公共建筑节水工作的日常检查和指导。利用现代信息技术,如物联网、大数据等,构建智能化监控平台,实时跟踪各建筑物的用水情况,及时发现问题并采取相应措施。建立科学合理的绩效评估机制,将节水成效纳入公共建筑管理者的考核指标,激发其积极性和主动性。值得注意的是,在推进高效节水器具普及的过程中,应充分考虑地域差异和发展不平衡的问题,因地制宜地制定政策,确保所有地区都能公平受益。通过上述多管齐下的策略,有望在全国范围内营造良好的节水氛围,推动高效节水器具的广泛应用,为实现水资源的可持续利用贡献力量。

### 6 结语

本文通过对高效节水器具在公共建筑中的应用效果进行全面评估,探讨了其技术特点、实施策略及普及措施。合理选用和科学安装高效节水器具不仅能够显著降低公共建筑的水资源消耗,还能带来可观的经济效益和社会效益。制定相关政策与标准,加强公众教育以及建立健全监督评估体系对于推动高效节水器具的广泛应用至关重要。未来的研究应继续关注新技术的发展及其在不同场景下的应用效果,以期为实现水资源可持续利用提供更加坚实的理论与实践支持。

#### [参考文献]

- [1]李华,王强.高效节水器具在公共建筑中的应用与挑战[J].建筑节能,2023,41(5):78-84.
  - [2]张伟,孙丽.公共建筑中水资源管理现状分析与对策研究[J].水资源保护,2024,39(2):34-40.
  - [3]陈刚,刘洋.高效节水设备的选择原则及其经济效益评估[J].给水排水,2022,48(6):102-108.
  - [4]赵敏,杨帆.公共建筑节水技术的应用实例与实证分析[J].城市发展研究,2023,30(4):56-62.
  - [5]黄涛,郭翔.推动高效节水器具普及的政策建议与发展路径[J].环境科学研究,2024,27(3):23-29.
- 作者简介:于晴(2000.6—),女,汉族,毕业学校:合肥工业大学,现工作单位:河北建筑设计研究院有限责任公司。

# 市政工程 BIM 技术应用关键影响因素研究

王志国

中国电建集团港航建设有限公司, 天津 300000

[摘要]随着信息化建设的不断深入,建筑信息模型(BIM)技术在市政工程中的应用日益广泛,已成为推动工程数字化转型的关键手段之一。BIM技术在市政工程中不仅提升了设计与施工协同效率,还在项目管理、成本控制及质量监管等方面展现出显著优势。然而,实践中仍面临着多种影响应用效果的因素,包括技术能力、管理模式、人员素质及政策支持等。文章从BIM技术的应用现状出发,深入分析其在市政工程中应用的关键影响因素,并提出相应的优化对策,以期BIM技术在市政领域的推广与应用提供可行性建议和技术支撑。

[关键词]BIM技术;市政工程;影响因素;技术管理;信息化应用

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16482

中图分类号: TU99

文献标识码: A

## Research on Key Influencing Factors of BIM Technology Application in Municipal Engineering

WANG Zhiguo

PowerChina Harbour Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

**Abstract:** With the continuous deepening of information technology construction, the application of Building Information Modeling (BIM) technology in municipal engineering is becoming increasingly widespread and has become one of the key means to promote the digital transformation of engineering. BIM technology not only improves the efficiency of design and construction collaboration in municipal engineering, but also demonstrates significant advantages in project management, cost control, and quality supervision. However, in practice, there are still various factors that affect the application effectiveness, including technical capabilities, management models, personnel quality, and policy support. Starting from the current application status of BIM technology, this article deeply analyzes the key influencing factors of its application in municipal engineering, and proposes corresponding optimization measures, in order to provide feasible suggestions and technical support for the promotion and application of BIM technology in the municipal field.

**Keywords:** BIM technology; municipal engineering; influencing factors; technical management; information technology application

### 引言

市政工程作为城市基础设施建设的重要组成部分,其施工过程复杂、参与单位多、周期长,急需高效的信息化管理手段。BIM技术以其可视化、协同化、模拟化等特征,为市政工程提供了全面的技术支撑。然而,在实际推广过程中,BIM技术的应用效果受到多种因素的制约。本文旨在系统梳理BIM在市政工程应用中的主要障碍与影响因素,挖掘技术与管理之间的协同瓶颈,为提升BIM实际应用水平提供理论与实践参考。

### 1 BIM技术在市政工程中的应用现状

#### 1.1 市政工程BIM应用领域与发展趋势

近年来,随着信息技术的不断发展,BIM(Building Information Modeling)技术在市政工程领域的应用范围日益广泛,已从初期的建筑设计逐步扩展至市政基础设施的全过程管理。市政工程中涵盖了给排水、道路、桥梁、隧道、电力管线等多个专业领域,BIM技术的多维信息集成能力可实现不同专业之间的高度协同与信息共享,显著提高工程建设效率与管理水平。当前,BIM在市政工程的应用主要集中在设计优化、施工模拟、造价管理、施工协

同与运营维护五大领域。未来,随着智慧城市和数字孪生技术的发展,BIM将与GIS、物联网、人工智能等技术深度融合,推动市政工程向智能化、数字化方向转型,成为构建城市基础设施信息模型与全生命周期管理体系的核心工具。

#### 1.2 当前BIM技术在项目管理中的应用模式

在实际工程管理过程中,BIM技术通过构建三维数字模型,实现了工程信息的可视化表达与全过程动态控制。BIM在设计阶段可用于碰撞检测、方案比选与施工图纸自动生成,在施工阶段则可辅助施工组织设计、进度管理、质量控制及现场技术交底。同时,借助BIM+项目管理平台,实现施工现场与管理端的数据联通,为项目各参与方提供统一的信息源,减少沟通成本与协调障碍。在运营阶段,BIM模型可继续用于设施巡检、故障追踪与维护计划制定,为城市基础设施的可持续运行提供保障。目前,市政工程项目普遍采用“BIM+GIS+项目管理平台”的集成模式,结合施工进度计划、成本数据和现场反馈信息,构建多维可视化管理系统,实现信息一体化与管理协同化。

#### 1.3 应用成效与存在的问题分析

BIM技术在市政工程项目中的应用已初见成效,特别

在施工组织优化、成本控制、进度管理和质量提升等方面具有明显优势。例如，通过模型预演和碰撞检查，显著减少施工错误与返工率；通过 BIM 与成本数据库联动，实现精准造价控制；通过可视化进度管理，提升项目执行效率与管控能力。然而，在实际推广过程中仍存在诸多问题与挑战。首先，不同专业 BIM 模型的标准不统一，影响模型数据融合与信息共享；其次，部分企业缺乏具备实际操作能力的 BIM 人才，BIM 团队建设滞后；再次，BIM 软件与其他管理系统的接口不完善，系统集成度不高，难以实现真正的全过程协同。项目管理团队对 BIM 的理解和重视程度参差不齐，导致 BIM 应用仅停留在形式化阶段，未能充分发挥其管理价值。因此，需要从技术标准制定、人才队伍建设和平台集成等方面入手，提升 BIM 技术在市政工程中的实际应用水平。

## 2 影响 BIM 应用效果的技术因素

### 2.1 软件平台的兼容性与适配能力

当前市政工程项目中常用的 BIM 软件平台主要包括 Revit、Navisworks、Civil 3D 等，不同软件之间在数据格式、建模逻辑与运行环境方面存在差异，导致信息交换效率较低。由于市政工程涉及多专业、多系统协同设计与施工管理，若软件平台之间缺乏良好的兼容性，往往出现模型无法共享、格式转换失败、数据丢失等问题，严重影响项目的信息流通与决策支持。不同阶段使用的软件工具功能侧重不同，例如设计阶段侧重模型构建，施工阶段侧重进度与资源管理，而运维阶段则强调可视化和数据更新。若软件平台无法适应项目生命周期的不同需求，其实际应用价值将大打折扣。因此，提高 BIM 平台间的互操作性与插件适配能力，成为提升技术落地效率的关键。应推动行业统一接口协议的制定与推广，促进 BIM 软件之间的信息集成与协同操作。

### 2.2 数据建模的标准化与精度控制

BIM 建模的准确性和完整性直接决定了模型在项目管理中的实用性。在市政工程项目中，由于构筑物类型多样、设计复杂，模型建构往往面临精度把控难、数据结构不一致等问题。如果模型在早期阶段未能按照统一标准进行建模，将影响后续的施工模拟、数量统计、成本测算等核心功能。另一方面，部分项目单位在建模过程中追求速度，忽视模型构件的参数化、分类管理与属性定义，导致后期数据调用困难，无法支持自动化分析与运维对接。为提升建模标准化程度，需制定明确的模型构件库标准与分类体系，统一命名规则和几何精度要求。同时，应加强对设计单位建模质量的审核与评估，确保模型满足项目不同阶段的应用需求，真正实现“构件即数据、模型即平台”的技术目标。

### 2.3 系统集成与信息共享的技术障碍

BIM 技术的核心在于打通设计、施工、运维等环节的

信息壁垒，实现工程信息的集中管理与高效共享。然而，现实项目中存在系统孤岛现象，BIM 平台与项目管理系统、进度控制软件、预算控制平台等常常各自为政，缺乏统一的接口标准与数据交互机制，导致信息重复录入、版本冲突与数据滞后等问题频发。信息传输过程中的数据加密、安全存储与权限管理等技术环节尚未完善，增加了协同管理的复杂性。在数据共享方面，不同单位间对 BIM 数据的开放程度存在差异，部分单位出于保密或责任规避考虑，不愿共享模型源数据，进一步削弱了协同效率。为克服这些技术障碍，需构建统一的 BIM 数据中台，推动标准化接口开发，实现各类系统之间的数据贯通。同时，应加强信息安全机制设计，确保数据传输的安全性与可控性，保障项目数据资产的可靠流转。

## 3 管理因素对 BIM 技术实施的影响

### 3.1 企业管理层对 BIM 技术的认知与支持

BIM 技术的有效应用离不开企业管理层的高度重视与战略引导。在市政工程实践中，企业管理者对 BIM 技术的认知水平直接影响其推广范围、实施深度及资源配置效率。若企业高层能够深刻理解 BIM 的技术优势、经济回报及其在企业信息化、智能化发展中的关键作用，并将其作为企业发展战略的重要组成部分，不仅有助于建立清晰的技术发展方向，还能推动内部管理模式与技术平台的全面升级。目前，一些技术领先的施工企业已经将 BIM 列为企业数字化转型的重点工作，设立独立的 BIM 技术中心或数字工程部，配备专业人才团队、专项资金和实施机制，为 BIM 落地应用提供了稳定保障。相反，若企业管理层仅将 BIM 视为短期工具或应付业主需求的展示手段，往往导致投入不足、执行松散，甚至造成资源浪费。因此，企业应通过开展高层 BIM 培训、参与行业交流、制定 BIM 战略规划等方式，不断增强高层的认知深度与参与意愿，进而推动 BIM 在组织内部真正落地生根，成为提升管理水平和工程质量的核心引擎。

### 3.2 项目组织结构与协同管理机制

BIM 技术的高效运行依赖于跨部门、多专业的协同合作。在传统市政工程项目管理中，设计、施工、监理、业主单位之间的信息沟通往往存在滞后，职责边界不清、信息孤岛严重，难以形成统一高效的协同管理机制。若在 BIM 实施过程中仍沿用传统的分工方式，将严重制约模型数据的流通效率和管理价值，导致信息更新滞后、模型失真及决策支持能力下降。因此，项目需在组织结构上进行系统重构，设立专职 BIM 管理岗位或组建跨专业的 BIM 实施团队，确保模型从设计、施工到运维的各阶段均有明确责任主体。同时，还需配套建立完善的沟通协调机制，包括定期组织 BIM 协调会议、推行现场问题数字化反馈机制、部署在线协同工作平台，实现实时问题跟踪与跨单位协作响应。

### 3.3 BIM 实施过程中的项目管理策略

BIM 技术的实施需要贯穿项目的全生命周期,从前期策划到设计建模、施工管理再到后期运维,均需制定科学的实施策略。首先,在项目启动阶段应编制详细的 BIM 实施方案,包括目标设定、实施计划、职责分工、模型交付标准与审查机制。该方案不仅为项目团队提供操作指南,也为后续监督与评估提供依据。其次,在项目执行过程中,应加强 BIM 实施的过程管理,如模型版本控制、进度同步检查、信息一致性验证等,防止因管理疏漏导致数据失效或误用。针对市政项目节点多、周期长的特点,应建立动态调整机制,根据项目进展及时优化模型内容与管理策略。最后,项目收尾阶段还需对 BIM 实施效果进行评估,总结经验与不足,为后续项目提供可复制的管理模板。科学的项目管理策略不仅可提升 BIM 技术应用效果,也有助于形成企业 BIM 管理的长效机制。

## 4 其他关键因素及优化建议

### 4.1 专业人才培养与团队协作能力

BIM 技术的应用不仅依赖于先进的软硬件系统,更关键的是具备实践能力的专业人才。市政工程项目涉及结构、道路、给排水、电力等多个专业模块,对 BIM 操作者提出了高复合性的能力要求,既要掌握建模技能,又需理解工程管理逻辑。目前,许多项目单位存在 BIM 人才数量不足、专业不匹配、技能偏弱等问题,限制了 BIM 在项目中的深入应用。因此,提升 BIM 人才培养质量势在必行。一方面,应加强高校相关专业的课程设置,注重理论与实训结合,推动 BIM 教学与行业需求对接;另一方面,企业应加大内部培训与实战演练力度,提升员工建模能力与项目协同意识。同时,应建立以 BIM 项目经理、建模工程师、数据分析师等为核心的多角色协作团队,通过明晰分工与高效沟通,构建适应大型市政项目需求的 BIM 人才结构,推动项目整体效率的提升。

### 4.2 政策法规与行业标准的支持作用

BIM 技术的大规模推广应用离不开政策引导与制度保障。近年来,国家及地方政府陆续发布了一系列关于 BIM 应用的指导性文件,对其在工程设计、施工和运维中的角色予以明确肯定。然而,从实施效果来看,现行政策尚存在执行不力、覆盖面窄、标准缺失等问题,难以满足市政工程多样化、复杂化的管理需求。首先,行业内缺乏统一的 BIM 模型交付标准与评估体系,不同项目单位对 BIM 成果要求不一,导致资源浪费与沟通障碍。其次,部分地方在项目招标、审图和验收环节未将 BIM 应用纳入强制性指标,导致企业对 BIM 的投入动力不足。因此,亟需完善相关法规标准体系,出台具有可操作性的强制性标准,

并将 BIM 成果纳入工程验收、备案及运营评估中,形成从设计到运维全流程的合规化、标准化管理模式,推动行业 BIM 应用的规范化与制度化。

### 4.3 BIM 推广路径与技术应用优化建议

为了提升 BIM 技术在市政工程中的普适性与实效性,需要从推广策略和技术路径两个层面进行系统优化。在推广策略方面,建议政府牵头建立区域性 BIM 公共服务平台,集中资源开展标准发布、模型托管、数据交换等服务,降低中小企业应用门槛。同时,可通过示范工程、财政补贴等方式,引导行业形成良性发展生态。在技术路径方面,应加强 BIM 与 GIS、物联网、云计算等技术的融合应用,拓展其在运维、监控和应急响应中的深度功能。针对市政工程中地下管网密集、施工环境复杂等特点,可推广基于 BIM 的时空信息管理系统,实现多源信息的动态集成与可视化管控。还应探索 BIM 与移动终端结合的现场应用模式,如 AR 辅助施工、智能识别与远程协同等功能,提升现场执行效率与模型实用性。通过技术与推广双轮驱动,方能推动 BIM 在市政工程中高质量、可持续发展。

## 5 结语

BIM 技术为市政工程带来了深远的变革,但其全面应用仍面临众多挑战。通过系统分析影响 BIM 实施的关键因素,发现技术基础、管理机制和外部环境共同制约其推广效果。未来,需在提升技术适配性的同时,加强管理体系建设与人才队伍培育,同时积极响应政策引导,构建统一标准体系,推动 BIM 技术在市政工程中实现高质量发展。唯有多方合力,才能真正释放 BIM 技术在市政工程全生命周期管理中的潜力。

### [参考文献]

- [1]孟瑶.市政工程 BIM 技术应用关键影响因素研究[J].工程技术研究,2024,9(21):82-84.
- [2]陈金祥.市政工程 BIM 技术应用关键影响因素分析及对策[J].建筑技术开发,2021,48(14):36-37.
- [3]朱银乐.市政工程 BIM 技术应用关键影响因素分析及对策[J].城市道桥与防洪,2020(11):189-193.
- [4]陈成鹏.济南市某市政工程 BIM 技术应用效益评价研究[D].山东:山东建筑大学,2024.
- [5]张军娟.BIM 技术在市政工程档案管理中的应用研究[J].兰台内外,2023(36):32-33.

作者简介:王志国(1973.4—),单位名称:中国电建集团港航建设有限公司,毕业学校和专业:专科,山东工业大学(现山东大学)机械制造工艺及设备。本科,德州学院,工程管理。

# 天然气输气管道隐蔽工程质量控制技术的应用与发展趋势

邱志宇

中石油昆仑燃气有限公司贵州分公司, 贵州 贵阳 550000

**[摘要]**我国天然气需求持续增长, 天然气输气管道是能源战略安全的重要基础设施, 隐蔽工程质量控制对保障天然气输气管道运行安全、延长服役寿命起到至关重要的作用。文中分析当前主流控制技术应用情况, 涉及非开挖施工、智能检测、腐蚀防护、数字化管理等, 提出多技术融合、优化标准体系、智能决策等策略, 还展望了智能化、绿色化、高韧性材料、全球协同等发展趋势。

**[关键词]**天然气输气管道; 隐蔽工程; 质量控制; 智能检测; 腐蚀防护; 数字化管理

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16450

中图分类号: X322

文献标识码: A

## Application and Development Trend of Quality Control Technology for Hidden Engineering of Natural Gas Pipeline

QIU Zhiyu

Guizhou Branch of PetroChina Kunlun Gas Co., Ltd., Guiyang, Guizhou, 550000, China

**Abstract:** The demand for natural gas in China continues to grow, and natural gas pipelines are important infrastructure for energy strategic security. Quality control of concealed engineering plays a crucial role in ensuring the safe operation and extending the service life of natural gas pipelines. The article analyzes the current application of mainstream control technologies, including non excavation construction, intelligent detection, corrosion protection, digital management, etc. It proposes strategies such as multi technology integration, optimized standard system, intelligent decision-making, and also looks forward to the development trends of intelligence, greenness, high toughness materials, and global collaboration.

**Keywords:** natural gas transmission pipelines; concealed engineering; quality control; intelligent detection; corrosion protection; digital management

天然气输气管道的隐蔽工程部分一般都会埋设在地下, 其施工质量跟天然气输气管道运行的安全性和稳定性有着直接关联。要是出现质量问题, 通常很难及时察觉到, 而且修复起来花费也相当高。传统用于质量控制的手段已经很难满足当下长距离、高压、高钢级管道的管理方面的需求。伴随着新材料、新技术以及信息技术持续发展, 依据全生命周期构建起来的隐蔽工程质量控制体系慢慢形成, 正在朝着智能化、系统化、标准化的方向发展。

### 1 隐蔽工程质量控制理论体系

#### 1.1 全生命周期管理模型

天然气输气管道隐蔽工程质量控制需贯穿设计、施工、运行维护等各个阶段。设计阶段建立风险预控机制, 借助地质雷达探测、路径优化算法预判施工难点隐患。施工过程构建动态监控体系, 实时监测焊接参数、回填密实度、防腐层完好性。运维阶段依靠智能诊断系统, 依据历史数据预测故障、评估健康状况, 增强隐患处置的主动性、预见性。

#### 1.2 关键指标体系构建

科学且能够量化的指标体系, 构成了质量控制的根本基石, 在材料这个层面上, 得留心像 X80 钢的氢脆指数以及低温冲击韧性这类性能指标, 就焊接质量来讲, 要依照国家或者行业标准当中的缺陷等级标准, 来全面且综合地

去考量焊缝的可靠性, 在防腐层完整性这块, 应当借助电火花检测技术来设定恰当合理的阈值, 以此来切实保障绝缘性能。在整个指标体系构建的进程里, 务必要把工程的实际状况和地质条件相互结合起来加以考虑, 从而保证该指标体系具备适用性及可靠性。

#### 1.3 风险量化分析模型

风险管理的科学性依靠合理的量化模型来支持。故障树分析法能够对质量问题可能出现的原因以及其逻辑路径予以系统识别, 进而构建起隐患传播的链条。蝴蝶结模型把事前防控和事后缓解相结合, 这种方法已经在天然气输气管道腐蚀风险控制方面得到了广泛的应用<sup>[1]</sup>。蒙特卡洛模拟技术借助大量的随机样本进行迭代操作, 可以预测天然气输气管道出现失效的概率, 从而给工程管理提供具有一定量化的决策依据。

### 2 主要核心质量控制技术

#### 2.1 非开挖施工技术质量控制

非开挖技术在城市高密度区域以及环境敏感区域的应用范围不断拓展, 其在河道、道路还有铁路下穿工程方面尤为适用。对于 HDD 施工出现的轨迹偏差这一问题, 在工程实施过程中逐步运用高频陀螺测斜手段、地磁干扰修正方法以及三维轨迹可视化控制系统, 以此来提升钻头的

定位精准度。与此借助机器学习算法对路径调整策略加以优化,能够有效地将偏斜率降下来,进而确保穿越作业的精度。在顶管施工环节,鉴于软弱地基以及地下水复杂工况的存在,通常会选用泥水平衡或者土压平衡顶管机,与此还会配合着去布置高密度沉降监测点以及裂缝计,进而构建起数据反馈的闭环机制。沉降数据借助无线传输系统能够实时上传到控制平台,再结合有限元模拟来提前对异常变形区域加以识别,达成预警响应和现场应急的联动效果,为保障地下设施以及地表建筑的结构安全给予强有力的技术支持。

## 2.2 智能检测与监测技术

在隐蔽工程质量管理方面,检测手段已经从周期性的检测方式逐步朝着实时化以及自动化的方向转变。就当下而言,主流的智能内检测器可不简单,它把 MFL 技术以及 UT 技术都集成到了一起,而且还把涡流检测模块以及激光测径模块给融合了起来,进而构建起了一套多物理场协同探测的体系。该检测器还配备了高分辨率的传感器以及高速的数据采集系统,能够针对壁厚出现的损失情况、微裂纹状况以及焊缝存在的缺陷展开高精度的定位操作,并且还能对其进行量化分析,如此一来,隐患识别率便得到了大幅度的提升。DAS 以及 DTS 系统于长距离天然气输气管道之中,有着颇为显著的优势。其借助光纤当作传感介质,可达成对微小变形、突发泄漏或者温差异常等状况的早期察觉<sup>[2]</sup>。此项技术能够应用于高落差、冻土、滑坡带这类复杂环境当中,并且能够在无源的情形下完成对天然气输气管道沿线的全覆盖式监测,还具备耐腐蚀、抗电磁干扰等诸多优势,已然成为新建天然气输气管道工程当中的标准配置项目之一。

## 2.3 先进材料与焊接技术

高钢级管道材料的运用促使天然气输气管道系统朝着高压力以及高强度的方向不断发展。为了能够应对氢致开裂等相关问题,当下采用了控冷控氢一体化的技术手段,在冶炼的具体过程之中对含氢量加以控制,并且还引入像 Nb、Ti 这类微量元素来实现晶粒的细化处理,从而从源头方面去提升材料所具备的抗氢脆的能力。在焊接领域,全自动焊接装备通常会采用多通道熔深实时监控、激光跟踪以及焊缝成形图像识别等功能,以此来达成多道次的同步控制。尤其是在山地和海底天然气输气管道相关场景下,这类设备在稳定性以及适应性方面都得到了较为明显的提升,已然成为了高强度钢焊接的标准工艺。并且,自动焊接记录具有可追溯的特点,能够给焊接质量的数据化管理给予相应的技术支持。

## 2.4 腐蚀防护与修复技术

为了提高隐蔽工程的防腐寿命,天然气输气管道防腐层往往采用三层 PE 结构或者 FBE 涂层,这两种防腐方式都拥有较高的附着力以及较强的耐化学腐蚀能力。在天然气输气管道开始敷设之前以及整个施工进度当中,常常会配合运用电火花检测、高频绝缘检测等各类手段,以此来

对防腐层的完整性实施实时的质量把控操作。在阴极保护这运用了电位—电流复合反馈机制,进而达成在不同地质电阻率条件下对电位进行自适应调整的目的。新型的参比电极拥有更长的使用寿命,并且具备更强的稳定性,能够胜任多年期运行状态的监控工作。在修复领域当中,复合材料包覆修复技术已然达成了针对腐蚀减薄部位实现快速增强这一目的。碳纤维和环氧树脂组合在一起所形成的整体,拥有着不错的承压性能以及灵活多变的适配能力,通常情况下会被应用于管道出现局部受损状况的区域进行非停输修复操作,如此可使停运时间有所减少,并且还能大幅度降低经济损失以及施工风险。

## 2.5 数字化质量管理技术

随着工业互联网不断发展起来,数字化管理技术也开始逐步贯穿于天然气输气管道隐蔽工程的整个周期当中。在设计这个阶段,会运用 BIM 平台来开展三维建模以及管线冲突的预判工作,并且结合 GIS 数据,还能够达成施工路径的规划、环境影响的评估以及资源调度方面的优化效果。在施工阶段的时候,移动端的质量采集终端和智能监控系统相互联动起来,进而形成了一个完整的采集—上传—审核—归档的流程闭环,如此一来便能够达成现场质量数据实时留痕的效果。而在质量验收阶段,数字孪生模型能够凭借对施工实况以及设计数据加以对比的方式,给予可视化审查以及虚拟演练相应的支持,尤其是在穿越段、转弯段等这些关键部位,其发挥出来的价值是颇为重要的。借助信息化平台所提供的有力支持,项目管理人员能够依据相关数据展开分析,进而制定出更为科学合理的管理策略,达成从依靠经验驱动到依靠数据驱动的转变,切实实现对隐蔽工程质量进行管理时的可视性、可控性以及可追溯性。

## 3 质量控制技术优化策略

### 3.1 多技术融合创新

面对复杂地质状况以及高精度方面的严格要求,质量控制技术正加速朝着融合发展的方向迈进。把 AI 和无损检测技术相互结合起来,能够达成对内检测图像以及声发射信号的自动识别,并且还能完成缺陷分类工作,如此一来,便能让识别的效率以及精度都得以提升。在实际开展的项目当中,借助 AI 所给予的辅助,采用超声导波加上图像识别这样的方式,已经成功地识别出了微裂纹、气孔等这类微缺陷,其准确率更是提升了超过 30%。将地质雷达、三维激光扫描和 BIM 系统相互结合起来的做法,同样已经在针对隐蔽段路径进行精准建模方面得到了应用。区块链技术还被应用于质量数据的分布式存证方面<sup>[3]</sup>。在设备验收环节、施工巡检过程以及责任追溯事宜当中,凭借“多节点+智能合约”这样的结构形式,能够切实保证关键质量数据不被篡改,并且实现全流程的透明状态,进而为工程质量信任体系的建设工作奠定了相应的数字方面的基础。

### 3.2 标准体系动态完善

现行的标准大多属于静态通用的模式,在面对不同地

区存在的地质、水文等各种各样的条件时,往往难以妥善加以应对。构建起数据驱动加上反馈优化这样一种动态的标准体系,能够凭借历史项目的相关数据来对焊接参数、防腐层的厚度以及基础处理规范等方面做出优化,进而形成一个智能化的参数库。区域标准要结合典型地质状况,像冻土、盐渍土这类情况,去提出有差异性的指标,并且在制定标准的过程中引入现场反馈的相关机制。推动我国的标准和 ISO、API 等国际标准相接轨,达成跨国项目在质量控制技术方面的兼容互认,这对于提升我国天然气输气工程在国际上的竞争力以及标准主导能力是有帮助的。

### 3.3 智能决策系统开发

隐蔽工程所涉及的多源异构数据情况颇为复杂,在此背景下构建智能决策系统显得极为关键。把 SCADA 数据、分布式传感器以及历史缺陷模型加以集成起来,如此一来便能够对深度神经网络、随机森林等多种算法展开相应的训练工作,进而将其应用于风险识别以及失效预测等方面。在某个位于西北地区的长输项目当中,凭借依据多源数据所构建而成的 AI 模型,成功地在事前便识别出了存在高风险的那些段落,同时也达成了预警联动的效果。部署边缘计算节点以及轻量化的 AI 模块,能够提高本地的处理效率,降低响应延迟。结合知识图谱来构建复杂环境下质量推理的逻辑,让系统拥有更强的自适应能力和决策能力,达成故障识别—策略建议—执行反馈的全流程闭环管理。

### 3.4 全产业链协同管理

隐蔽工程的质量控制有必要达成从材料采购一直到运行运维这样一个全链条的协同状态。借助一体化的数据平台,将设计图纸、施工日志、巡检记录以及运行数据之间的关联打通,进而实现信息的相互连通与共享,强化各个环节之间的联动效果。流程管理方面,需明确各个阶段的质量控制标准以及 KPI 评价指标,引入价值流图来识别风险隐患。在材料、设备以及外包环节,要构建供应链质量协同体系,推动质量责任共担。运用数字孪生技术模拟施工过程、预测潜在隐患,以此辅助现场做出实时决策。构建起协同管理加上数字支持以及预警联动这样一个系统,进而达成在设计阶段、施工阶段及运维阶段整个全周期质量管理的闭环效果,由此来促使隐蔽工程质量的可控性以及安全稳定性得到全方位的提升。

## 4 技术发展趋势研究

### 4.1 智能化与无人化技术深化

未来隐蔽工程质量控制会更多地依靠无人化作业以及智能系统来开展相关工作。凭借基于自主导航算法所打造的巡检机器人集群,其能够在长达数公里的天然气输气管道之上达成连续性的检测目标,同时还能精准地完成故障识别方面的任务。结合数字孪生平台去构建起的全生命周期管理体系,能够实现从最初的设计阶段一直到后续的运维整个过程中的自主决策功能,进而对项目质量进行有效地调控。

### 4.2 绿色低碳技术突破

应对碳达峰、碳中和的目标,绿色低碳技术正逐步在天然气输气管道建设领域渗透开来。生物基防腐材料有着很好的可降解特性以及环境友好属性,这使其成为传统防腐涂层的一种替代趋势所在。在碳捕集与封存管道的设计环节当中,对于材料的兼容性提出了更高的要求,这就需要从选材方面、内涂层方面以及防腐系统等方面去全方位地加以优化。

### 4.3 高韧性管道技术发展

随着高原冻土、地震活跃区等极端工况下天然气输气管道工程数量不断增多,迫切要去开发那些具备适应性的新材料以及合理的结构设计<sup>[4]</sup>。自适应高韧性材料能够在低温、高地应力等这样的环境之下维持稳定的性能状态,而自修复防腐涂层技术会依靠微胶囊释放的机制,在损伤出现之后自动地对缺陷加以填补,以此来提高天然气输气管道的耐久性程度。

### 4.4 全球化标准体系构建

跨国天然气输气管道项目不断增多,需要建立起统一的质量控制框架。借助签署多边合作协议的方式,去构建起质量控制协议框架体系,并且依靠云平台来开展数据共享以及质量同步监测方面的相关工作,以此达成国际间的数据互信以及协同管理的目标,这无疑为实现全球天然气基础设施的互联互通提供了技术层面的有力保障。

## 5 结语

天然气输气管道隐蔽工程质量控制对于保障国家能源安全以及基础设施稳定运行而言,属于极为关键的一个环节。本文围绕理论体系、核心技术、优化策略以及未来发展等四个不同方面来开展相关研究,清晰地指出了当下质量控制所遵循的技术路径以及其后续的演化走向。今后,需要进一步强化智能化、绿色化、标准化等方面的建设工作,着手构建起一套以数据作为驱动核心的全生命周期质量管理体系,从而促使隐蔽工程能够达成高质量且可持续的发展状态,进而为天然气输气管道工程提供坚实的质量保障。

### [参考文献]

- [1]王帅,何斌,张海明.埋地管道沉降对管道支架的影响及临界沉降量研究[J].化工设备与管道,2025,62(2):105-113.
  - [2]杨宏伟,朱赞,王佳晨,等.基于离子液体改性的掺氢管道抗氢脆复合涂层[J].化工进展,2025,11(2):11-12.
  - [3]延旭博.人工智能技术在长输天然气运行中的应用[J].山西电子技术,2024,11(4):14-17.
  - [4]李雪融.基于模型的天然气管道系统鲁棒隐蔽攻击策略研究[D].黑龙江:东北石油大学,2023.
- 作者简介:邱志宇(1983.7—),毕业院校:黑龙江科技学院(2003年9月~2007年7月),所学专业:土木工程,当前就职单位:中石油昆仑燃气有限公司贵州分公司,职称级别:助理工程师。

## 污水处理厂提标改造中的工程风险管理研究

刘旭

成都衡泰全过程工程咨询集团有限公司, 四川 成都 610213

**[摘要]**四川省德阳市某污水处理厂的设计规模为 20000 吨/日, 建设用地面积为 1.08 公顷, 要求出水水质由一级 A 标准提升至《四川省岷江、龙江流域水污染物排放标准》。污水处理厂提标改造涉及技术升级和工艺优化, 并新建高效沉淀池、反硝化深床滤池及鼓风机房、污泥储池及污泥浓缩脱水间、中间提升泵房、加药间配电、变配电间单体建筑, 在提升改造的过程中, 面临诸多工程风险。通过对改造项目中可能出现的风险进行识别、评估与控制, 能够有效降低项目实施中的不确定性, 确保项目顺利推进。对风险进行分类管理, 结合现场情况进行科学分析, 能够制定出针对性的应对措施, 提升项目的可控性和执行效率。

**[关键词]**污水处理厂; 提标改造; 工程风险; 风险管理; 水质标准

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16472

中图分类号: TU746

文献标识码: A

### Research on Engineering Risk Management in the Upgrading and Renovation of Wastewater Treatment Plants

LIU Xu

Chengdu Hengtai Full Process Engineering Consulting Group Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610213, China

**Abstract:** The design scale of a sewage treatment plant in Deyang City, Sichuan Province is 20,000 tons per day, with a construction land area of 1.08 hectares. The effluent quality is required to be upgraded from Grade A standard to the "Sichuan Province Minjiang and Longjiang River Basin Water Pollution Discharge Standard". The upgrading and renovation of sewage treatment plants involves technological upgrades and process optimization, as well as the construction of high-efficiency sedimentation tanks, denitrification deep bed filters and blower rooms, sludge storage tanks and sludge concentration and dewatering rooms, intermediate lift pump rooms, dosing rooms, power distribution rooms, and transformer rooms. In the process of upgrading and renovation, there are many engineering risks faced. By identifying, assessing, and controlling potential risks in renovation projects, uncertainty in project implementation can be effectively reduced, ensuring smooth progress of the project. Classifying and managing risks, conducting scientific analysis based on on-site conditions, can develop targeted response measures, improve project controllability and execution efficiency.

**Keywords:** sewage treatment plant; upgrading and renovation; engineering risk; risk management; water quality standards

### 引言

随着城市化进程的不断加快, 污水处理的需求日益增长, 污水处理厂提标改造已成为提升水质标准和应对环境压力的重要手段。改造过程中, 不仅要考虑先进技术的应用, 还必须面对工程实施中的各类风险, 诸如施工安全风险、成本超支、工期延误以及技术难题等。有效的风险管理能够帮助项目组在复杂的改造过程中保持稳定进展, 并确保最终目标的实现。对污水处理厂提标改造中的工程风险进行科学管理, 不仅提升了项目的执行效率, 更为未来环保工作提供了可借鉴的经验。

### 1 污水处理厂提标改造的工程背景与挑战

#### 1.1 污水处理厂提标改造的背景

随着城市化进程的加速和环保要求的提高, 污水处理厂承担着越来越重要的角色。本项目既有污水处理厂出水质量无法达到《四川省岷江、龙江流域水污染物排放标准》要求, 对原有污水处理设施进行技术升级和工艺优化, 并增加单体建筑, 以达到更高的水质标准和处理能力。污水

处理厂提标改造是响应国家“绿色发展”战略和“水污染防治”行动计划的重要举措, 旨在改善水环境质量, 保障生态系统的健康发展。

#### 1.2 改造过程中面临的技术挑战

污水处理厂提标改造项目采用: AAO 生化池+高效沉淀池+反硝化深床滤池+消毒处理, 以满足更严格的排放标准。污水处理厂提标改造面临着工艺适配性的问题。旧有设备与新技术的兼容性、改造过程中设备安装与调试的难度, 以及新技术应用的稳定性, 都是在改造过程中必须解决的关键问题。此外, 由于既有污水处理厂设备升级, 导致停工停产协调, 改造过程中需要精确调整各项参数, 以确保水质达标且运行成本得到控制。

#### 1.3 工程管理与执行难题

除了技术层面的挑战, 工程管理也是污水处理厂提标改造中的一大难题。改造项目涉及多个环节, 从设备采购到施工安装, 再到技术调试与运营交接, 每一环节都可能出现意外风险。特别是在既有污水处理厂的基础上进行改

造时,如何在保证正常运行的同时进行施工、设备更新和调试,成为了项目执行中的重要考量因素。项目周期长、协调难度大,容易受到外部因素(如天气、材料供应、施工工人不足等)的影响,进而导致工程延期、成本超支等问题。

## 2 污水处理厂改造中的主要风险识别与分类

### 2.1 技术风险

在污水处理厂提标改造中,技术风险是一个不可忽视的因素。由于改造项目涉及到新技术和新设备的引入,因此技术的不成熟或适应性差可能导致处理效果达不到预期目标。比如,在引进先进的处理工艺时,存在工艺设备与现有设施的不兼容问题,导致系统无法稳定运行。某些新技术在特定条件下可能表现出优越性,但在实际应用过程中可能受到环境、气候等因素的影响,表现不稳定,从而影响污水处理厂的整体性能。

此外,技术人员的经验和能力也是技术风险的重要来源。如果改造过程中涉及的设备和工艺较为复杂,缺乏经验的技术人员可能会因操作不当或缺乏调试经验,导致系统不能高效运行,进而影响水质达标和运营成本的控制。因此,如何确保技术选型的科学性和可行性,避免技术应用中的不确定性,是确保改造成功的关键之一。

### 2.2 工程管理风险

工程管理风险是污水处理厂提标改造过程中不可避免的风险之一。项目施工过程中可能会面临工程进度的延误,特别是在多个环节紧密配合的情况下。改造项目涉及的施工环节众多,设备采购、安装、调试等环节密切相关,而每个环节的延误都可能导致整体项目的推迟,进而增加项目成本。

施工中的质量管理也是工程管理风险的一部分。污水处理厂的提标改造往往需要进行大规模的结构调整与设备更换,在施工过程中若未能进行严格的质量检查与控制,可能导致后期出现故障或需要重新施工,增加了工程风险。

此外,由于项目中涉及到原有设施的改造,施工现场的安全管理问题也尤为重要。本项目有限空间作业较多,管理人员需提前有效识别,比如:各个单体新建初期的基坑工程,高效沉淀池、反硝化深床滤池、污泥储池、中间提升泵房等池体内作业,应按照《四川省有限空间作业安全管理规定》(当地管理规章)执行。充分评估的施工环境、机械设备故障、人员安全等因素可能导致的安全事故,杜绝一切安全事故发生。

### 2.3 财务风险

财务风险在污水处理厂提标改造项目中同样不容忽视。改造项目通常需要投入大量资金用于设备采购、技术升级和施工建设,而项目的资金投入存在一定的不确定性。本项目采用国际贷款,采用欧元计费,申请周期长,先国内审核,再由国际贷款机构审核,由于国际汇率、市场价

格波动、进口设备成本变化等因素,项目预算可能出现超支情况,给项目的后续实施带来压力。

因此,承包方在财务管理中应有效地控制资金使用和风险评估,避免资金周转困难,影响项目的最终效果和可持续建设。

### 2.4 环境风险

污水处理厂的提标改造不仅涉及技术和资金的问题,还涉及环境风险。改造过程中不可避免地会产生施工噪音、废水排放、空气污染等对周围环境的影响。尤其是在城市中心或居民区附近的污水处理厂,环境保护要求尤为严格。施工期间,若未能严格按照环保规定进行管理和控制,可能会对周围的生态环境和居民的生活质量产生负面影响。

## 3 工程风险评估方法及其应用实践

### 3.1 风险识别与定性评估

在污水处理厂提标改造项目中,首要的风险评估方法是风险识别与定性评估。这一方法主要通过专家小组讨论、历史数据分析和现场勘查等手段,识别可能影响项目的各类风险因素。通过对工程环境、技术应用、施工过程等各方面的系统分析,列出潜在的风险点。本项目存在如下风险点:危险性较大的分部分项工程中的基坑工程以及模板工程及支撑体系,超过一定规模的危险性较大分部分项工程中的模板工程及支撑体系,起重机械及吊装工程,脚手架工程,高处作业,临时用电,有限空间作业等。采用定性评估对风险的性质、发生概率及可能造成的后果进行初步判断。

在污水处理厂改造过程中,识别实施过程中可能遇到的难题,如生化池改造需在不停产或半停产状态下进行实施;粗格栅设备更换,有限空间作业时,有毒有害气体可能引发中毒或爆炸等问题。在定性评估的基础上,还需评估各类风险的优先级,确定哪些风险对项目的实施影响最大,从而为后续的风险控制提供依据。

### 3.2 风险量化评估与模型应用

与定性评估相辅相成,风险量化评估通过具体的数据和数学模型对识别出的风险进行量化分析。常用的风险量化方法包括概率分析、敏感性分析和蒙特卡洛模拟等。这些方法通过数学模型将风险因素的发生概率与可能的影响量化,使得管理人员能够在预算和时间框架内合理分配资源。

在污水处理厂的提标改造项目中,风险量化评估可以帮助项目团队预测可能的成本超支和时间延误。例如,通过蒙特卡洛模拟,项目管理团队可以模拟不同风险场景下的项目进展,预测项目完成的概率和时间,帮助决策者制定更加科学的预算和调度计划。此外,敏感性分析可以帮助团队识别最为关键的风险因素,确保应对措施能够优先应对高风险问题。

### 3.3 风险控制与应对策略的制定

在风险评估的基础上,制定有效的风险控制与应对策

略至关重要。通常,通过采取风险规避、风险转移、风险减轻、风险自留等策略,可以有效降低潜在风险对项目的影响。例如,针对设备采购中的供应风险,采用风险转移方式,通过选择多个供应商并与其签订有保障的合同,减少单一供应商的风险。而对于技术风险,可以通过增加技术培训、技术预验收等方式,确保改造工艺能够顺利过渡到实际应用阶段。

另外,在应对突发性风险时,项目团队应建立应急预案,如施工现场可能遇到的自然灾害、设备故障等,提前制定应急响应方案,确保项目能在出现突发事件时保持稳定进展。

### 3.4 风险监控与反馈机制

风险评估并非一次性的工作,而是一个贯穿项目始终的过程。在项目实施过程中,建立有效的风险监控与反馈机制,能够及时发现新风险并进行调整。项目管理团队应定期对项目进度、预算、技术应用等方面进行评估,确保风险控制措施的有效性。

此外,项目团队还应根据实际情况不断完善风险评估模型,修正原有预测,并根据监控数据调整风险管理策略。通过这种动态的风险管理方法,能够及时应对变化的环境因素,确保改造项目能够在可控的风险范围内顺利进行。

## 4 污水处理厂提标改造中的风险控制策略与实施效果

### 4.1 风险规避策略的实施

在污水处理厂提标改造项目中,风险规避策略的实施是预防和减少潜在风险的关键手段。通过对项目中各类风险的识别和分析,制定出一系列避免风险发生的措施。例如,在技术选择上,改造项目应选择成熟且经过验证的污水处理工艺,避免因新技术的不稳定性而带来技术实施风险。此外,采购环节也应选择可靠的供应商和设备,确保设备符合国家环保标准,避免因设备故障导致项目进度延误。

针对工程管理风险,合理安排施工计划、优化施工方案,避免过于紧凑的工期安排导致质量控制难度增加,从而导致工程延期或超支。在施工过程中,制定管理制度,严格落实制度流程,责任到人,加强对工地现场的监督和检查,及时发现和消除潜在的安全隐患,确保施工人员的安全和工程的顺利推进。通过这些规避措施,可以有效降低项目中的不确定因素,确保改造工作顺利进行。

### 4.2 风险转移与共享策略

风险转移是另一种重要的风险控制策略。在污水处理厂提标改造项目中,部分风险可以通过与合作方的合同约定来转移。例如,设备采购和施工过程中,项目方可通过签订保险合同、担保协议等方式,将设备故障、施工延误等潜在风险转移给供应商和承包商。这样,一旦发生风险事件,项目方可以通过合同条款要求相关责任方承担风险,减少项目方的损失。

此外,风险共享策略也可以在某些情况下有效应用。例如,本工程项目将土建工程与安装工程采用联合体总承包形式,通过联合合作的方式,将风险和成本分担。这样,在技术实施过程中,如果遇到问题,联合体共同承担责任和风险,提高了风险应对能力。

### 4.3 风险减轻与应急预案策略

除了规避和转移风险,风险减轻策略也是不可或缺的,是指把不利风险事件发生的可能性和(或)影响降低到可以接受的临界值范围内,也是绝大多数情况应用的风险应对措施。在污水处理厂提标改造过程中,采取有效的风险减轻措施能够降低风险发生后的影响。例如,本项目对新进场作业人员进行安全三级教育、技术交底,每日班前教育,提高作业人员安全意识。通过加强人员培训,提高操作人员和技术人员的能力,减少因操作不当引发的故障;定期进行三方联合安全检查,排查现场安全隐患,并督促整改落实。

为了应对突发性风险,制定详细的应急预案也非常重要。例如,在污水处理厂提标改造过程中,进行防火、防汛等应急演练是确保施工安全和连续性的关键环节,是必不可少的。针对这些突发风险,本项目制定应急预案,包括人员调度、关键物资与配置、应急抢险、灾后恢复等方面的应对措施,确保能够快速恢复项目进度并将损失降到最低。通过及时的风险响应和有效的应急预案,可以确保污水处理厂提标改造项目在面对各种突发事件时,保持较高的执行效率。

### 4.4 风险自留

在工程建设项目管理中,风险自留作为一种重要的风险应对策略,其核心是将特定风险可能造成的损失通过预先安排的资金和进度储备进行内部消化。根据风险控制主动性差异,可分为主动自留(经科学评估后的理性选择)与被动自留(因风险识别不足导致的无奈承担)风险自留就是将可能的风险损失留给自己承担。主动风险自留,包括预算储备、时间储备。比如,本工程项目留有预备费,针对设计变更、工程量偏差等可预见但难以量化的风险预留的费用,以及建设期内人工、材料、机械台班价格上涨的专项费用。而时间储备就是在关键路线上设置一段时差或浮动时间,工序越复杂、进度要求越紧,任务越含糊,关键路线上的时差或浮动时间也应该越长。

## 5 结束语

污水处理厂提标改造是提升城市水环境质量和满足日益严格环保要求的关键步骤。在改造过程中,面对技术、工程管理、财务等多方面的风险,科学的风险识别与评估显得尤为重要。通过合理的风险控制策略,如风险规避、转移、减轻与自留,不仅能够确保项目的顺利实施,还能提高水处理厂的运行效率和可持续发展能力。成功的风险管理不仅促进了项目按时完成,还为未来类似项目提供了

宝贵的经验与参考。污水处理厂的提标改造不仅有助于改善水质,也为环境保护、社会经济可持续发展做出了积极贡献。

#### [参考文献]

- [1] 向伟,简浩,岳中秋,等.深度处理技术在城镇污水处理厂提标改造中的工程应用[J].中国资源综合利用,2025,43(2):275-277.
- [2] 郭琦,任艳玲.MBBR工艺在某污水处理厂提标改造后运行效果分析[J].山西化工,2025,45(3):249-251.
- [3] 官晓梅,陈文平,赵学峰.多级AO+MBR工艺在污水处理厂高排放标准提标改造中的应用[J].中国资源综合利用,2025,43(3):275-277.
- [4] 吴晋旭.徐州市区奎河污水处理厂PPP工程风险管理研究[D].徐州:中国矿业大学,2023.
- [5] 李保康,张文刚,韩争胜,等.西安市某高校污水处理厂一期提标改造案例研究[J].广东化工,2025,52(5):100-103.

作者简介:刘旭(1993.7—),男,四川省成都市,汉族,大学本科,工程师,就职于成都衡泰全过程工程咨询集团有限公司,从事建筑市政领域方向的工作。

## 新型石墨秸秆复合保温材料的性能及工程应用研究

倪顺年 任成伟

浙江浙建九建工程建设有限公司, 浙江 舟山 316000

**[摘要]** 本篇文章系统研究新型石墨秸秆复合保温材料, 该材料的特性以农业废弃物秸秆为基材, 利用石墨改性技术制备新型的复合保温材料。研究人员从原料预处理、制备工艺优化到材料微观结构解析, 分析新型石墨秸秆复合保温材料的物理性能、热工性能、防火耐久特性及环保效益。结合建筑节能需求探讨新型石墨秸秆复合保温材料在墙体保温、屋面隔热及特殊环境下的工程应用路径, 提出配套的施工工艺改进方案。

**[关键词]** 石墨改性; 秸秆基复合材料; 保温性能; 环保材料; 建筑节能; 工程应用

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16454

中图分类号: TQ165

文献标识码: A

### Research on the Performance and Engineering Application of New Graphite Straw Composite Insulation Materials

NI Shunnian, REN Chengwei

Zhejiang Zhejian Jiujian Engineering Construction Co., Ltd., Zhoushan, Zhejiang, 316000, China

**Abstract:** This article systematically studies a new type of graphite straw composite insulation material. The characteristics of this material are based on agricultural waste straw, and a new type of composite insulation material is prepared using graphite modification technology. Researchers analyzed the physical properties, thermal performance, fire resistance and durability characteristics, as well as environmental benefits of a new type of graphite straw composite insulation material, from raw material pretreatment and preparation process optimization to material microstructure analysis. Exploring the engineering application path of new graphite straw composite insulation materials in wall insulation, roof insulation, and special environments based on the energy-saving needs of buildings, and proposing corresponding construction process improvement plans.

**Keywords:** graphite modification; straw based composite materials; thermal insulation performance; environmentally friendly materials; building energy efficiency; engineering application

我国建筑领域使用的传统保温材料资源消耗较高, 面临防火性能不足的困境。我国农业每年产生超过 9 亿吨农作物秸秆, 如何将其资源化利用是行业关注重点。本文分析将石墨改性技术与秸秆纤维复合工艺相结合, 开发出兼具优异保温性能与环保特性的新型建材, 破解农业废弃物处理与建筑节能技术升级的双重难题。

#### 1 新型石墨秸秆复合保温材料的制备与表征

##### 1.1 原材料选择与预处理体系构建

研究人员选用稻壳与玉米秸秆作为主要生物质原料, 使用三级破碎工艺获得长度 3~8mm 的纤维束。针对秸秆表面蜡质层阻碍界面结合的行业难题, 开发出碱处理-超声波协同改性工艺。在 2mol/L 氢氧化钠溶液中, 将纤维束放置于 60℃ 条件下处理 2 小时, 配合 40kHz 超声波震荡去除纤维束表面的有机物, 提升纤维比的表面积。石墨选型聚焦于 500 目可膨胀石墨, 材料独特的鳞片状结构在复合过程中形成导热网络, 经 XRD 分析证实改性后石墨层间距扩大至 0.34nm, 为热传导提供通道。

##### 1.2 梯度复合成型工艺创新

研究人员采用真空热压成型技术实现材料微观结构可控构筑, 秸秆纤维与石墨质量比为 7:3 时, 在 120℃、

0.6MPa 条件下热压 25 分钟, 研究人员获得最佳界面结合强度。根据材料的特性设计三段式升温曲线, 分别为室温至 80℃ 缓慢升温段、80~120℃ 快速成型段、120℃ 恒温保压段, 避免了生物质材料热降解问题, 制得样品密度控制在 0.38~0.42g/cm<sup>3</sup> 范围内满足轻质建材要求。

##### 1.3 跨尺度微观结构解析

研究人员使用 SEM 观察发现石墨鳞片在秸秆纤维网络中呈三维贯穿分布, 形成“桥接+导热”的双功能结构。经过 BET 测试表明新型石墨秸秆复合保温材料的孔隙率达 82%, 介孔 2~50nm 占比较高。此种分级孔隙结构保障了材料的低热导率, 赋予材料良好的透气性。石墨表面含氧官能团与秸秆纤维羟基形成氢键作用, 界面结合能提升至 4.2J/m<sup>2</sup>。

#### 2 新型石墨秸秆复合保温材料的性能研究

##### 2.1 物理性能多维优化

新型石墨秸秆复合保温材料的热压温度提升至 120℃ 时, 秸秆纤维中的半纤维素发生适度热塑化, 在压力作用下形成纤维间机械啮合结构。配合 0.6MPa 的成型压力能够保证纤维网络充分交织, 避免纤维网络因压力过大导致石墨鳞片过度取向。新型石墨秸秆复合保温材料的密度梯

度分析显示,材料表层密度略高于芯层,此种材料的非均质结构能保障轻量化,使材料表面的硬度提升抵抗安装过程中产生的机械损伤。新型石墨秸秆复合保温材料中的秸秆纤维经碱处理后表面蜡质层被选择性去除,暴露出更多亲水性羟基。研究团队创新采用硅烷偶联剂梯度接枝工艺,在纤维表面形成单分子层修饰,继而通过石墨鳞片的物理阻隔作用,构建化学疏水+物理屏蔽的双重防护体系<sup>[1]</sup>。接触角测试表明新型石墨秸秆复合保温材料表面水接触角从处理前的 42° 提升至 108°, 形成稳定的疏水界面。

新型石墨秸秆复合保温材料具有优异的抗冻融性能,研究人员采用压汞法结合低温氮吸附测试揭示材料具有独特的双峰孔隙分布特征。材料中的 3~10nm 的微孔为气体分子提供容留空间,50~200nm 的中孔构成水分迁移通道。此种分级孔隙结构在冻融循环过程中发挥关键作用,冰晶在微孔中形成时中孔网络为体积膨胀提供缓冲空间,避免材料产生破坏性内应力。研究人员调整石墨鳞片的取向度,使材料面内热膨胀系数降至  $1.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , 与建筑主体结构钢材的热膨胀系数实现匹配<sup>[2]</sup>。在 -40°C 至 80°C 温区范围内,材料线的膨胀量仅为 0.18mm/m, 避免了因温差导致的接缝开裂问题, 如表 1 所示。

**表 1 新型石墨秸秆复合保温材料物理性能参数表**

测试项目	测试条件	优化后材料性能	传统秸秆材料	行业标准要求
表观密度	GB/T 6343-2009	0.41g/cm <sup>3</sup>	0.58g/cm <sup>3</sup>	≤0.60g/cm <sup>3</sup>
24h 吸水率	23°C 清水浸泡	3.8%	12.6%	≤10.0%
冻融质量损失率	25 次循环 (-20°C~20°C)	1.2%	8.7%	≤5.0%
简支梁冲击强度	GB/T 1043.1-2008	8.2kJ/m <sup>2</sup>	3.5kJ/m <sup>2</sup>	≥5.0kJ/m <sup>2</sup>
面内热膨胀系数	-40°C~80°C	$1.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$4.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$\leq 5.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
垂直板面抗拉强度	JG/T 158-2013	0.18MPa	0.12MPa	≥0.10MPa

### 2.2 热工性能突破性提升

新型石墨秸秆复合保温材料内部的可膨胀石墨经高温处理形成蠕虫状结构,在热压成型中沿压力方向择优取向,形成连续导热通道。微观 CT 重建显示石墨鳞片呈三维贯穿式分布,避免传统颗粒填充导致的界面热阻。优化后的配方材料在常温下热导率低至 0.041W/(m·K),与气凝胶类高端保温材料处于同一数量级。动态热机械分析揭示在 -20°C 至 60°C 温区范围内,新型石墨秸秆复合保温材料材料储能模量变化率较低。经过 100 次的温度骤变后新型石墨秸秆复合保温材料热阻衰减率控制在 8% 以内,利用界面过渡层缓冲热应力。石墨鳞片表面官能团改性后在 8~13 μm 远红外波段形成高反射界面,配合材料内部孔隙的多次散射效应构建反射-散射-吸收的立体阻热体系<sup>[3]</sup>。红外热像仪监测表明在夏季太阳辐射强度 800W/m<sup>2</sup>

条件下,材料表面温度较普通保温板低 12°C。冬季夜间辐射散热试验证实材料长波辐射发射率低至 0.15,有效抑制室内热量流失。使用激光扫描共聚焦显微镜观测材料表面形成微米级凹凸结构,此种材料的仿生表面在自然对流条件下使边界层厚度增加至 3.2mm,较光滑表面提升 2.3 倍。研究人员设置 5m/s 风速条件下材料对流换热系数仅为 2.8W/(m<sup>2</sup>·K),较传统保温材料降低 41%。墙面综合温度波动幅度减小至 3°C,改善室内热舒适性,如表 2 所示。

**表 2 新型石墨秸秆复合保温材料热工性能参数表**

测试项目	测试条件	优化后材料性能	传统秸秆材料	行业标准要求
常温导热系数	GB/T 10294-2008	0.041W/(m·K)	0.093W/(m·K)	≤0.060W/(m·K)
湿热态导热系数	85%RH, 25°C	0.045W/(m·K)	0.112W/(m·K)	-
太阳辐射反射比	ASTM G173-03	0.82	0.45	≥0.70
冬季夜间辐射发射率	8~13 μm 波段	0.15	0.88	≤0.20
冷热循环热阻衰减率	100 次循环 (-20°C~60°C)	7.8%	32.5%	≤15%
表面换热系数	5m/s 强制对流	2.8W/(m <sup>2</sup> ·K)	4.7W/(m <sup>2</sup> ·K)	≤5.0W/(m <sup>2</sup> ·K)

### 2.3 防火耐久性能突破

可膨胀石墨在受热时迅速膨胀形成蠕虫状炭层,该结构在材料表面构筑起致密隔热屏障。可膨胀石墨的材料热释放速率峰值仅 85kW/m<sup>2</sup>,火焰在材料表面传播速度低于 0.1m/min,接触明火 30 秒后自动熄灭,未产生熔融滴落物。研究人员对石墨表面官能团改性,捕获材料燃烧产生的挥发性有机物。烟密度测试表明材料燃烧烟密度等级低至 18,达到 GB 8624-2012 标准 B1 级要求。可膨胀石墨燃烧产物中氰化氢、一氧化碳等有毒气体浓度低于传统有机保温材料,在 30m<sup>3</sup> 烟气毒性测试舱内材料燃烧产生的烟雾透光保持率较高。针对紫外线辐射导致材料降解的问题,研究人员采用纳米二氧化钛光催化防护技术。可膨胀石墨材料经过 1000 小时氙灯照射后,材料表面色差 ΔE 值仅为 1.2,远低于行业标准的 5.0 限值。可膨胀石墨的秸秆纤维经碱处理后破坏了真菌孢子萌发所需的营养基质,配合载银磷酸锆抗菌剂的缓释效应,材料的防霉等级维持 0 级标准<sup>[4]</sup>。在黑曲霉、黄曲霉混合菌种作用下材料质量损失率控制在 0.3% 以内,表面未出现可见菌落。研究人员采用原位拉伸试验机观测发现,在持续应力作用下石墨鳞片发生滑移重排,有效释放内部应力集中。在 0.4MPa 的恒定载荷作用下可膨胀石墨材料的应变增量在 1000 小时内控制在 0.15mm 内。经 50 次冻融循环与动态

加载后,可膨胀石墨材料疲劳寿命仍达 200 万次,远超建筑结构安全使用要求,如表 3 所示。

表 3 新型石墨秸秆复合保温材料防火耐久性能参数表

测试项目	测试条件	优化后材料性能	传统秸秆材料	行业标准要求
热释放速率峰值	ISO 5660-1	85kW/m <sup>2</sup>	225kW/m <sup>2</sup>	≤150kW/m <sup>2</sup>
烟气毒性指数	GB/T 20285-2006	3.2	12.8	≤10
紫外老化色差 ΔE	1000h 氙灯照射	1.2	7.8	≤5.0
湿热循环强度保持率	85%RH, 60℃×500h	87%	52%	≥75%
冻融质量损失率	25 次循环 (-20℃~20℃)	1.1%	8.3%	≤5.0%
防霉等级	GB/T 2423.16-2008	0 级	2 级	≤1 级

### 2.4 全生命周期环保评估

新型石墨秸秆复合保温材料实现了农业废弃物的资源化闭环,每立方米产品能够消纳稻壳与玉米秸秆 1.2 吨,相当于将 5 亩农田的秸秆副产物转化为建筑功能材料。设计的原料预处理流程利用碱回收技术实现 95% 的化学试剂循环利用,使单位产品废水排放量降至 0.3m<sup>3</sup>。真空热压成型工艺的单位产品能耗控制在 15kWh/m<sup>3</sup>,生产线余热回收系统使综合能效提升,石墨鳞片干燥工序的废热利用率达 91%。研究人员设计清洁生产方案,利用布袋除尘与活性炭吸附组合工艺,使挥发性有机物排放浓度低于 10mg/m<sup>3</sup>,颗粒物排放控制在 5mg/m<sup>3</sup> 以下。废弃处置阶段的环境友好性通过材料可降解特性得以保障,堆肥试验显示在 60 天标准降解条件下,新型石墨秸秆复合保温材料失重率超过 90%,残留物主要为腐殖质类物质<sup>[5]</sup>。在工业堆肥环境中材料 28 天生物降解率达 65%,满足 EN 13432 标准要求。从农田到建筑,再回归自然的物质循环模式使新型石墨秸秆复合保温材料全生命周期碳足迹降至 -1.8kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>3</sup>,实现负碳排放效应,如表 4 所示。

表 4 新型石墨秸秆复合保温材料全生命周期环保指标

评估阶段	关键指标	优化后材料性能	传统建材指标	行业标杆值
原料获取	秸秆消纳量	1.2 吨/m <sup>3</sup>	-	-
	运输距离	≤80km	≥300km	≤150km
生产制造	单位产品能耗	15kWh/m <sup>3</sup>	28kWh/m <sup>3</sup>	≤20kWh/m <sup>3</sup>
	废水排放量	0.3m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	1.2m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	≤0.5m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
工程应用	建筑综合能耗降低率	38%	15%	≥30%
	TVOC 释放量	0.5mg/(m <sup>2</sup> ·h)	3.2mg/(m <sup>2</sup> ·h)	≤1.0mg/(m <sup>2</sup> ·h)
废弃处置	60 天生物降解率	90%	5%	≥85%
	全生命周期碳足迹	-1.8kg CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>3</sup>	12.5kg CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>3</sup>	≤0kg CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>3</sup>

## 3 新型石墨秸秆复合保温材料的工程应用研究

### 3.1 场景化应用方案开发

新型石墨秸秆复合保温材料在气候分区适配方面形成了差异化的解决方案体系,如严寒地区开发出双层错缝拼装工艺,利用内外层板材石墨取向的垂直排布,构建双向导热通道,使墙体综合热阻提升至 5.2(m<sup>2</sup>·K)/W。在夏热冬冷地区采用“外保温+内隔热”的复合系统,利用新型石墨秸秆复合保温材料热惰性特性,使室内温度波幅衰减至 3℃。在材料表面涂覆亲水性纳米涂层,使冷凝水形成均匀水膜,避免传统保温层常见的结露滴落现象。研究人员针对高层建筑研发出轻量化单元式构件,单块板材重量控制在 25kg 以内,配合专用吊装设备实现 80m 高度精准就位。在装配式建筑领域开发出榫卯式连接节点,使构件安装精度达到 0.2mm,较传统干挂工艺提升 3 倍<sup>[6]</sup>。在沿海高盐雾区域采用热镀锌锚栓与防腐密封胶组合防护,经 500 小时盐雾试验后连接件腐蚀面积控制在 2% 以内。针对化工园区腐蚀性环境开发出氟碳涂层防护体系,使材料耐化学介质性能达到 GB/T 1763-2008 标准 1 级要求。设计高海拔应用方案调整石墨鳞片层间距,使材料在低压环境下仍保持 0.045W/(m·K) 的低导热系数。

### 3.2 施工工艺创新实践

施工队使用的干法作业技术提升了施工效率,使用 Z 型企口连接结构使板材拼接精度达到 0.5mm 以内。单层 100 m<sup>2</sup> 墙面施工周期缩短至 8 小时,研究人员设计的无尘切割系统利用负压吸附与金刚石锯片组合,使施工粉尘浓度控制在 2mg/m<sup>3</sup> 以下,满足 GBZ 2.1-2019 工作场所所有有害因素限值要求。研究人员研发的膨胀式尼龙锚栓采用三段式结构设计,前端倒刺结构提供初始抓握力,中段弹性胀管适应材料微变形,尾部防松垫片确保长期稳定性。拉拔试验显示单个锚栓抗剪强度达 1.2kN,该锚固系统经受住了 12 级台风模拟荷载考验,板材位移量控制在 0.3mm 以内,验证新型石墨秸秆复合保温材料在极端天气下的结构安全性。

表 5 新型石墨秸秆复合保温材料施工工艺性能参数表

工艺类型	关键指标	创新工艺性能	传统工艺指标	行业标杆值
干法作业	单层施工周期 (100 m <sup>2</sup> )	8 小时	13 小时	≤10 小时
	施工粉尘浓度	2mg/m <sup>3</sup>	15mg/m <sup>3</sup>	≤5mg/m <sup>3</sup>
锚固系统	单锚抗剪强度	1.2kN	0.75kN	≥1.0kN
	允许环境风速	12m/s	6m/s	≥10m/s
喷射成型	最大单次喷射厚度	15mm	8mm	≥12mm
	低温施工适用温度	-10℃	5℃	≥0℃
智能装备	板材安装垂直度偏差	1mm/m	3mm/m	≤2mm/m
	远程监管工地数量	10 个	3 个	≥8 个

施工人员使用的高压无气喷射设备使用 30MPa 压力使浆料获得 80m/s 的初始速度,配合专用喷枪的雾化效果实现单次喷射厚度 15mm 的均匀覆盖。在大桥墩柱保温工程中,喷射工艺使复杂曲面施工效率提升 3 倍,材料与基材黏结强度达到 0.18MPa,超过 JGJ 144-2019 标准要求,如表 5 所示。

#### 4 结论

本研究构建分析我国石墨改性秸秆基复合保温材料的完整技术体系,该材料在热工性能、耐久性及环保指标方面取得突破性进展。新型石墨秸秆复合保温材料能够灵活适配不同气候区建筑需求,后续要重点推进新型石墨秸秆复合保温材料的耐候性长效监测,开发智能建造装备,为农业废弃物高值化利用开辟新路径,助力建筑领域碳中和目标实现。

#### [参考文献]

- [1]谢庆,张玉锦,段祺君,等.氟化改性石墨烯纳米片对环氧树脂复合材料沿面耐压性能的影响[J].中国电机工程学报,2023,43(16):6525-6534.
- [2]阎宗尧,乔鸿超,王育奎,等.纳米二氧化硅改性氧化石墨烯/水性聚氨酯复合材料的制备及性能[J].塑料工

业,2024,52(9):63-68.

[3]张云嫦,青颖,张婧,等.石墨相氮化碳改性材料的光催化性能测试与结构表征[J].中国测试,2024,50(1):89-93.

[4]李双喜,党杰,王子起,等.硅烷偶联剂改性氧化石墨烯/氢氧化镁复合材料在高温高载工况下的摩擦特征[J].化工进展,2024,43(12):6862-6872.

[5]周奇,文博,谢志勇.微晶石墨改性用作锂离子电池负极材料[J].功能材料,2023,54(2):7.

[6]邓鹏,杨洋,郭荣鑫,等.石墨烯/多壁碳纳米管复配改性对天然橡胶复合材料应变传感性能的影响[J].高分子材料科学与工程,2023,39(6):146-153.

作者简介:倪顺年(1981.2—),男,毕业院校:重庆大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:浙江浙建九建工程建设有限公司,职务:副总经理、总工程师,职称:高级工程师;任成伟(1993.2—),男,毕业院校:西北工业大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:浙江浙建九建工程建设有限公司,职务:技术质量科主管,职称:工程师。

## 浅析工程监理在建筑工程施工中的作用

梁德江

安徽恒信建设工程管理有限公司, 安徽 合肥 230601

**[摘要]**我国建筑工程行业发展迅速, 在各类工程项目的实施过程中, 众多人员的共同努力是项目顺利完成的保障。而其中, 工程监理发挥了至关重要的作用。作为一个独立的部门, 工程监理由建设单位委派, 负责对工程项目进行全面管理。如果缺乏有效的工程监理, 项目在实施过程中往往会面临各类问题和风险。本论文分析了工程监理在建筑工程施工中的关键作用, 并提出一些关于工程监理在质量控制方面的浅见, 以期提升工程质量管理水平提供参考。

**[关键词]**工程监理; 建筑工程; 工程施工; 作用

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16480

中图分类号: F284

文献标识码: A

### Brief Analysis of the Role of Engineering Supervision in Construction Projects

LIANG Dejiang

Anhui Hengxin Construction Project Management Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230601, China

**Abstract:** The construction industry in China is developing rapidly, and the joint efforts of numerous personnel are the guarantee for the smooth completion of various engineering projects. And among them, engineering supervision played a crucial role. As an independent department, the engineering supervision is appointed by the construction unit to be responsible for the comprehensive management of the engineering project. If there is a lack of effective engineering supervision, projects often face various problems and risks during implementation. This paper analyzes the key role of engineering supervision in construction projects and proposes some insights on quality control in engineering supervision, in order to provide reference for improving the level of engineering quality management.

**Keywords:** engineering supervision; construction projects; engineering construction; role

#### 引言

在建筑工程施工中, 工程监理作为确保项目顺利实施的核心环节, 承担着至关重要的责任。随着建筑行业的持续发展, 工程项目的规模不断扩大, 施工内容愈加复杂, 施工过程中所面临的风险和挑战也在逐步增多。在这样的背景下, 工程监理的职能已远不止于传统的质量、进度和安全控制, 其职责已扩展至项目管理、资源协调以及风险预防等多个方面。通过严格的监理工作, 可以确保施工单位在执行过程中严格遵守设计要求、技术标准和相关法律法规, 施工中的问题可以及时发现并加以纠正, 从而保障工程的质量与安全。通过采用科学的管理方法和先进的技术手段, 监理单位能够有效提升施工质量、优化进度、降低成本, 同时提高施工现场的安全性。本文的目的是探讨工程监理在建筑施工中的多重职能, 分析其在保障施工质量、确保施工安全、控制施工进度以及降低成本方面的作用, 并进一步提出如何通过优化监理工作来推动建筑工程的高质量发展。

#### 1 工程监理在建筑工程施工中的作用

##### 1.1 提升施工质量

在建筑工程施工中, 工程监理在提升施工质量方面发挥着至关重要的作用。施工前, 施工图纸、施工方案以及材料设备需经过监理单位的严格审核, 以确保各项准备工

作符合国家规范和设计要求, 从源头上杜绝设计不合理或材料不合格所带来的质量隐患。在施工过程中, 监理人员对每个施工环节进行全程监督, 尤其是对关键工序、重要部位和隐蔽工程实施重点检查, 确保施工工艺的规范性与程序的严谨性。同时, 通过建立科学的质量管理体系, 监理单位对施工单位的质量行为进行规范, 引导其及时发现并纠正问题, 防范质量事故的发生。此外, 监理单位还承担着工程质量验收的职责, 确保每道工序在合格后方可进行下一步施工, 从而形成质量可控、闭环管理的有效模式。

##### 1.2 保证施工安全

在建筑工程项目实施过程中, 安全生产无疑是最为关键的要素, 它不仅关乎施工人员的生命安全, 还涉及到构建一个安全的施工环境。工程监理的核心任务是环境监理, 旨在通过有效的监理措施, 充分发挥监理工作的优势, 精准应对施工过程中遇到的难点与重点, 从而确保施工人员的安全<sup>[1]</sup>。此种管理方式有助于提升建筑施工的安全水平, 推动建筑行业的绿色和可持续发展。通过科学合理的监理工作, 不仅能确保建筑工程的高质量完成, 还能为社会的和谐稳定做出积极贡献。

##### 1.3 控制施工进度

在建筑工程施工过程中, 进度控制作为工程监理的关键职责之一, 发挥着至关重要的作用。通过科学审查施工

计划与动态管理,监理单位确保每个施工阶段按照既定时间节点有序推进,从而避免因进度失控而引发的工期延误及资源浪费。在施工前,施工单位编制的进度计划将被监理单位进行评估,进度计划的合理性与可行性将被判断,并结合工程的实际情况,制定出详细的进度控制措施。在施工过程中,监理人员会定期检查施工现场的实际进展,并与进度计划进行对比分析,滞后的部分会被及时发现,并提出整改意见。与此同时,施工单位的施工组织及资源配置将得到监理的协助调整,以优化工序衔接,从而提高施工效率。对于关键线路和重要节点,监理将采取重点监督措施,确保施工过程中不出现瓶颈或延误。进一步地,信息化技术,如进度管理软件,也被监理单位利用,施工进度将实时被跟踪并进行数据分析,从而使得进度控制更加精准和高效。

#### 1.4 降低施工成本

在建筑工程施工中,工程监理在降低施工成本方面发挥着至关重要的作用。通过科学、规范的管理方式,施工资源的投入与使用得以有效控制,从而避免因管理不当、施工返工或材料浪费而带来的成本增加。在施工前期,设计图纸、施工方案及预算清单将接受监理单位的全面审核,及时识别其中的不合理之处,优化意见将被提出,从源头上减少设计缺陷所引发的施工变更及不必要的费用支出。施工过程中,材料的进场验收、使用及储存将受到监理人员的严格把控,确保材料的质量合格、数量准确,杜绝材料浪费与不合格材料的使用,从而有效降低工程成本。同时,合理安排施工进度、协调施工单位之间的工作关系、优化资源配置等措施,也通过监理单位得以落实,从而提高施工效率,减少停工待料、重复作业等非计划性成本的发生。

#### 2 建筑工程施工中工程监理质量管理存在的问题

在建筑工程施工过程中,工程监理的质量管理面临着许多挑战,制约了其职能的有效发挥。一个普遍存在的问题是监理工作责任不明确,许多项目在监理合同或职责划分上存在模糊之处,导致在实际工作中,监理单位难以清晰地界定职责,进而影响了管理与监督的实施。特别是在出现质量问题时,责任主体往往难以界定。另一方面,监理体系的不健全也是当前监理管理中的一大短板。部分工程项目的监理组织架构不科学,缺乏系统化的管理流程与标准化的作业制度,从而造成监理工作的执行力不足,监管效果不理想。此外,监理领域法制的不完善也影响了质量管理的发展。现有的法律法规对监理权责的界定不够具体,监理单位行为规范及违法责任追究机制缺乏明确规定,使得部分监理行为缺乏约束力,甚至出现了形式化、流于表面的情况。最后,监理人员素质参差不齐的问题依然较为突出<sup>[2]</sup>。部分监理人员专业技能不足、工作经验有限,缺乏足够的责任心与职业道德,导致在实际工作中,难以

独立判断与处理技术性问题,甚至在面对施工单位的压力时妥协,放松对质量的监督,从而影响了监理工作的权威性与有效性。

#### 3 通过工程监理优化建筑施工质量的具体措施

##### 3.1 在工程准备阶段做好施工管理

在工程准备阶段,做好施工管理工作是优化建筑施工质量的基础性举措。此阶段的关键意义在于通过系统性审查、规划与组织,为整个施工过程奠定科学、有序且可控的管理基础。工程监理应积极参与图纸会审与技术交底,全面了解设计意图,识别设计中的不合理之处或不明确的内容,并提出切实可行的修改建议,从而避免因设计问题引发施工偏差或质量事故。施工单位编制的施工组织设计、进度计划、施工方案及质量控制计划等,需经过监理单位的详细审核,确保这些技术文件具备可操作性及针对性,从而避免管理上出现形式化、模板化的现象。在人员、材料及机械设备等准备工作方面,监理需严格按照施工合同及相关规范,对进场人员的资质、材料质量证明文件及设备运行状态进行严格检查,确保不合格人员、材料或设备不被允许进入施工现场。此外,监理单位还需协助建设单位完善施工现场的临时设施、安全文明施工方案、环保措施及应急预案,从而为项目顺利推进及施工质量保障创造有利的条件与环境。

##### 3.2 做好安全制度的完善工作

完善安全制度是工程监理优化建筑施工质量的关键保障措施之一。它不仅确保施工过程的安全有序进行,而且直接影响施工质量的稳定性及整个项目的控制力。在项目启动前,工程监理应与建设单位及施工单位密切合作,共同建立健全安全管理制度体系,涵盖施工现场的安全操作规程、岗位责任制、隐患排查机制及应急处理预案等多个方面,确保制度的全面覆盖、执行的严格标准与操作流程的明确。在施工阶段,监理人员需根据制度要求进行动态安全巡查与全过程监督管理,尤其在高风险作业、特殊工序及关键节点上,现场控制及技术指导应得到强化,从而杜绝违章操作与管理漏洞,从源头上减少因安全隐患引发的质量事故。此外,安全教育培训与技术交底活动应定期组织或由监理参与,以提升施工人员的安全意识与操作技能,确保安全制度不仅仅是纸面上的规定,而是真正落实到施工现场。完善的安全制度同样是施工单位规范管理工作、落实质量管理责任的重要依据。通过将安全管理与质量管理深度融合,能够实现“安全促进质量、管理保障目标”的良性循环,从而提升施工安全与施工质量,提供强有力的制度保障,推动建筑工程的高质量完成。

##### 3.3 做好工程施工现场的施工管理及指导

在建筑工程施工中,施工现场管理与指导是确保施工质量的核心环节,直接影响到项目的进度、质量及安全。工程监理在这一过程中发挥着关键作用,不仅负责对施工

现场各项工作的全面监督与管理,还需提供及时有效的技术支持与指导。监理人员应深入施工现场,对各施工工序进行严格的质量控制,确保施工单位严格按照设计图纸、施工规范及相关技术标准执行,尤其是在结构、机电、装修等关键环节,监理需加强监管,确保每个工序的质量都达到要求<sup>[3]</sup>。在现场管理方面,工作协调、施工进度安排的优化,以及人力、物力与机械设备等资源的合理调配,监理需负责,以避免因资源浪费或不合理安排而引发质量问题。此外,施工过程中可能出现的质量风险,如高温、降雨、强风等恶劣天气对施工进度与质量的影响,需时刻关注,且提前制定应急预案,确保在特殊情况下施工能够有序推进。监理人员还需在施工过程中发挥技术指导作用,及时为施工单位提供技术支持,解答施工中遇到的难题,指导施工人员正确操作,确保施工质量保持稳定与可控。同时,加强与施工方的沟通与反馈也需由监理负责,问题应及时识别并推动整改,防止施工中的质量问题蔓延或扩大。

### 3.4 优化隐蔽施工效果

优化隐蔽施工效果是建筑施工质量管理中至关重要的措施之一,直接影响着工程的长期稳定性与安全性。隐蔽工程通常指的是在施工过程中被覆盖或无法直接检查的部分,如电气管线、给排水管道、结构节点等。由于一旦这些隐蔽部分施工完成并被覆盖,后续检查变得极为困难,因此,其质量的优劣往往决定了建筑物的使用安全与耐久性。在这一过程中,工程监理的作用不可或缺。施工前,监理人员应对隐蔽工程的设计方案、施工工艺及质量标准进行充分审查,确保设计符合相关规范,施工方法科学且合理。施工阶段,施工单位按照设计要求进行操作时,监理要严格监督,尤其在关键节点和特殊工序的施工过程中,每一个环节必须符合技术规范,以避免产生质量隐患。隐蔽工程完成后,专家与施工单位应组织验收,并确认所有隐蔽部分均达到施工标准与质量要求,监理需积极参与其中。必要时,监理应对隐蔽工程进行检查记录,并拍照存档,为后期的质量追溯提供依据。此外,涉及隐蔽工程的各种材料也需符合质量标准与验收要求,监理必须确保施工单位妥善存放并合理使用这些材料,从而避免材料的劣化或质量不合格。

### 3.5 推进信息化手段在监理中的应用

推动信息化手段在工程监理中的应用,已成为优化建筑施工质量管理的关键环节。随着信息技术的不断进步,传统监理模式逐步向数字化与智能化转型,信息化技术的引入,为施工质量控制提供了坚实的技术支持与数据保障。

通过建立统一的工程管理平台,监理单位可将施工进度、质量、安全等各类数据进行集成,从而实现对项目全过程的实时监控。此平台能够及时上传并更新施工现场的数据,涵盖工人出勤、材料消耗、进度情况及质量检查结果等,监理人员可随时获取准确、全面的信息,以便做出更为科学高效的决策。建筑信息模型(BIM)及项目管理软件等信息化工具的应用,有助于将施工图纸、工艺流程、质量标准等进行三维建模与可视化展示,为监理人员提供直观而精确的施工过程分析。通过这一方式,潜在的设计缺陷或施工问题能够被提前识别,进而采取措施进行及时调整,从而防止质量隐患的出现<sup>[4]</sup>。此外,物联网技术和传感器设备的应用,能够实时监测施工现场的温度、湿度、压力等环境数据,使得监理人员可以精准掌握施工现场的环境状况,确保这些环境因素不会对施工质量产生不良影响。信息化手段还为施工质量提供了更加完善的数据记录与追溯机制,通过数字化方式存档所有的检查、验收与整改记录,为未来的质量追溯与审计提供了便捷的依据,确保每一项施工活动都能够做到透明、可追溯。

## 4 结语

通过分析工程监理在建筑施工中的作用,可以看出,其在确保施工质量、保障安全、控制进度与成本等方面,发挥了至关重要的作用。通过规范的管理流程,工程监理不仅提升了施工过程的可控性与透明度,而且为项目的顺利推进提供了强有力的保障。随着建筑行业的不断发展,工程监理的职能与方法,必须持续进行优化与创新,以应对日益复杂的项目需求及技术变革。展望未来,提升监理人员的专业素养,并推动信息化技术的广泛应用,将成为进一步提升建筑工程质量和效益的关键所在,为行业的健康可持续发展,提供坚实的基础。

### [参考文献]

- [1]王斌.工程监理在建筑工程施工中的作用及质量控制[J].江苏建材,2024(2):156-157.
  - [2]黄小妹.工程监理在建筑工程施工中的作用[J].居业,2023(11):144-146.
  - [3]问刘峰.建筑工程施工中工程监理的作用及提升措施[J].中国建筑装饰装修,2022(3):183-184.
  - [4]唐育树.浅析工程监理在建筑工程施工中的作用[J].现代物业(中旬刊),2019(1):175.
- 作者简介:梁德江(1966.10—),男,毕业于河北煤炭建筑工程学院,工业与民用建筑专业,当前就职于安徽恒信建设工程管理有限公司,副总经理,高级工程师。

## 土木工程施工中的质量控制与安全管理

张 辉

中国水利水电第十一工程局有限公司, 河南 郑州 450000

**[摘要]**近年来, 各类先进施工技术在建筑工程中的广泛应用, 为行业的稳定发展提供较大助力。土木工程施工中, 施工质量关系到广大居民的生命财产安全, 需要注重各个环节的管理。但就目前工程质量管理情况来看, 施工材料质量不达标、安全管理漏洞多等问题屡见不鲜, 影响了施工作业有序进行。本篇文章主要围绕土木工程现状, 以施工质量控制和安全管理为切入点, 以具体工程项目为研究对象, 从多角度出发, 提出切实可行的质量控制和安全管理措施, 保证现存问题在有效解决的同时, 工程效益能实现最大化。

**[关键词]** 土木工程; 质量控制; 安全管理

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16463

中图分类号: TU4

文献标识码: A

## Quality Control and Safety Management in Civil Engineering Construction

ZHANG Hui

Sinohydro Bureau 11 Co., Ltd., Zhengzhou, He'nan, 450000, China

**Abstract:** In recent years, the widespread application of various advanced construction technologies in construction projects has provided significant assistance for the stable development of the industry. In civil engineering construction, the construction quality is related to the safety of the lives and property of residents, and it is necessary to pay attention to the management of each link. However, based on the current situation of engineering quality management, problems such as substandard construction material quality and numerous safety management loopholes are not uncommon, which have affected the orderly progress of construction operations. This article mainly focuses on the current situation of civil engineering construction, taking construction quality control and safety management as the starting point, and specific engineering projects as the research object. From multiple perspectives, practical and feasible quality control and safety management measures are proposed to ensure that existing problems are effectively solved while maximizing engineering benefits.

**Keywords:** civil engineering; quality control; safety management

### 引言

土木工程期间, 涉及的内容和专业较多, 工程规模大, 施工阶段会应用大量施工材料、设备以及人员, 需要各部门相互协调与配合, 保证施工作业顺利进行。但由于被管理、环境、技术等多方面因素制约, 导致工程施工时经常出现质量和安全事故, 影响了工程的综合效益。因此, 相关人员应该立足工程项目实际, 合理制定施工质量控制和安全管理措施, 保证工程项目能有条不紊地推进。

### 1 工程概况

以某大桥工程为例, 项目采用主线桥与匝道立交分跨施工方式。大桥上部构造为变截面单箱单室, 垂直腹板, 箱梁利用三向预应力体系。预应力管道采用 PE 波纹管, 真空压浆工艺。主梁应用对称挂篮悬臂浇筑法施工。大桥下部结构的主桥桥墩采用薄壁箱型单墩, 墩身内部设置隔板, 桥墩利用翻模法施工。项目在管理方面, 精心挑选管理人员, 根据现场情况与施工要求对机构职位进行优化, 利用科学的方法指导施工组织, 确保项目能有序推进, 具体如表 1 所示为项目规模和成功率之间的关系, 足以见得管理和技术人员在工程建设中发挥的价值。

表 1 工程项目规模与成功率关系

人数	时间/月	项目成功率
6	6	55%
12	9	33%
25	12	25%
40	18	15%
250	24	8%
500	36	0

### 2 土木工程中的质量控制

#### 2.1 施工材料与设备的质量控制

在项目建设期间, 施工材料和设备是关键, 尤其是材料, 其质量与工程安全性、耐久性有直接联系。因此, 为促进施工质量的提升, 应该重点检查材料以及设备的质量。

(1) 控制好施工材料质量。在购买施工材料过程中, 对材料供应商进行调研, 仔细审查供应商的资质、信誉、材料质量等, 与信誉好、品质佳的供应商建立合作关系。材料进入施工现场前, 材料的质量检验是关键, 不仅要材料的性能标准、出厂质检报告认真检查, 也要采取随机抽查的方式, 对钢筋、混凝土原材料等重点检查<sup>[1]</sup>。在条件允许的情

况下,可以通过测试的方式检验材料性能,确保进入施工现场的材料质量均能达到相关标准。在施工前,全面、细致地检查材料,做好材料的储存、转运等工作,将钢筋等材料存放在合适的环境中,以免施工期间出现质量问题。

(2) 选择合适的机械设备。工程施工过程中,机械设备在其中发挥重要作用,若想促进施工质量,保证施工作业安全,需要立足工程项目实际,选择与施工要求相匹配的设备。在选取设备期间,应该将重点放在质量上,及时淘汰、更新损坏或者老旧的机械设备<sup>[2]</sup>。在本项目中,应用的机械设备如表 2 所示。

表 2 项目施工设备表

名称	规格	单位	数量	备注
千斤顶	300t	套	10	2 台备用
卷扬机	3t	台	4	升降设备用
检索力仪	——	台	1	——
精密水压仪	——	台	2	配套齐全
对讲机	——	台	至少 1.5	——

## 2.2 建立健全的施工质量管理机构和责任制

在施工期间,需要以国家相关规范和标准为基准,结合项目建设要求,建立健全的质量控制体系,制定与项目相匹配的质量控制措施和机制。具体而言,可以组建项目经理部,具体结构如图 3 所示。其中,项目经理部要将优质工程建设作为质量控制的核心,对施工阶段各个环节以及工序密切监督,确保施工质量能达到设计要求。

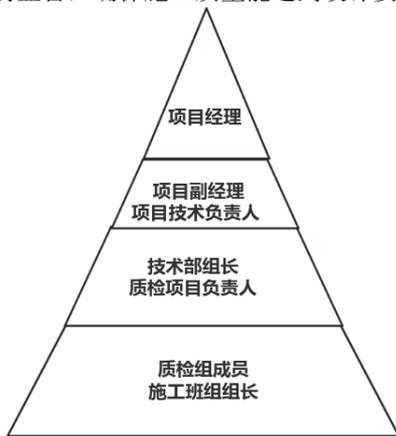


图 1 项目经理部组织结构图

(1) 项目经理。主要负责传达、贯彻企业制定的工程施工质量方针、目标,全面负责工程质量,包括施工进度、质量安全等多个方面<sup>[3]</sup>。在质量管理期间,认真审查施工材料采购计划,对检查中发现的质量不达标的材料及时处理。密切监督和管理各班组的施工过程,需要以工程设计规范和流程操作,严禁出现随意施工等情况。同时,将施工期间所需的许可证办理好,为后续施工打下良好基础。定期检查各个班组的自检记录,客观评定分项工程质量验收结果。

(2) 技术部门负责人。以施工设计、施工方案为基准,严格按照要求执行。施工期间的各类资源需及时提交,诸如材料采购计划等,同时对材料认真审查。重点审核的放线成果,交接校验组织过程,高质量完成隐蔽工程的审核、验收工作。各分包工程的质量计划、技术交底也要严格审核。针对不达标的产品,应客观评价,合理制定处理办法。

(3) 生产副经理。主动配合项目经理开展的各项工工作,不仅要负责施工现场各行政工作,也要对各施工团队间的关系科学处理与协调。针对项目经理开展的质量控制工作,需要主动参与,积极协调<sup>[4]</sup>。

(4) 技术质量组。将施工期间的检查检验、监督工作做到位。对于没有达到施工要求的内容,制定详细的检查报告,为后续问题的处理提供可靠依据。做好施工材料、设备的检验工作,根据材料性质、设备类型等,科学制定管理措施。施工期间产生的各类技术文件,应该及时收集和整理,保证施工工作的开展能有据可依。

(5) 生产安全组。以施工要求为基准,对施工过程、管理、计划等灵活调整,认真检查施工期间各个班组的自检、互检工作。

## 2.3 分项工程的施工质量控制

在本项目中,包含的分项工程较多,包括测量放线、钢筋工程等,需要加强分项施工过程的质量控制,以促进工程整体质量的提升。

(1) 测量放线质量控制。为确保测量精度达到既定要求,应使用标准。先进的测量仪器和设备,严格遵照流程操作。结合施工现场情况、设计图纸开展轴线布设、定位工作,利用极坐标法放样各个控制点,并安排人员保护。在测量期间,对建筑物垂直控制,依靠轴线引导上下贯通线<sup>[5]</sup>。

(2) 钢筋工程质量控制。钢筋材料进入现场前进行检测、试验,各项性能达到标准后方可出现在施工现场。在钢筋绑扎过程中,以规范要求为基准,选择合适的锚固长度。针对接头、梁柱交接位置,应该对绑扎的质量重点检查。施工结束后,安排技术人员检查和验收,达到设计要求后方可开展后续施工作业。

(3) 模板工程质量控制。施工前绘制模板结构安装内容,支模前由技术人员复核,而后组织施工人员按照图纸完成施工工作。以模板施工质量要求为依据,对模板平整度、垂直度等仔细检查,把控好偏差,不能超过既定范围。针对支好的模板,对标高、尺寸、轴线等复核,明确是否与设计要求一致,提升工程的稳定性。

(4) 混凝土工程质量控制。为确保施工质量达到既定要求,在混凝土施工阶段,应该控制好质量。在本项目中,以商品混凝土为主,且全部来自一家供应商。在施工中,生产部副经理负责协调和管理。为避免施工期间出现质量问题,应该在施工前将现场的杂物清理干净,浇水润湿模板。在混凝土浇筑环节,以规范要求为依据,严格遵照流

工程施工,保证各工序能无缝衔接,加快施工进度。在振捣时,利用振捣棒等设备辅助,将混凝土振实,使密实度满足设计要求。施工后立即养护,及时浇水,控制好混凝土内外温差。如果是现浇板,底面可以利用自然养护的方式。

### 3 土木工程施工中的安全管理

#### 3.1 做好安全技术交底工作

项目在施工前,安全管理人员、施工人员等应该从项目实际出发,将施工期间可能出现的各道工序的技术交底工作做好。技术顾问需要明确重点工程,与管理人员等进行技术交底。在施工环节,以相关规定和要求为依据,分项分包主体合理开展安全技术交底。班组管理人员则要向施工人员进行安全技术交底。在本项目中,应用的拉索为镀锌钢丝,直径为 7mm,共有两种规格,具体如表 3 所示。

表 3 拉索规格

参数	85	91
钢丝束直径/mm	71.5	71.5
拉索直径/mm	86	86
钢丝束面积/mm	3275	3506
标称破断荷载/kN	5239	5604
单位长质量 (kg/m)	25.8	27.6

#### 3.2 合理应用安全管理新模式

在工程施工安全管理期间,企业可从项目实际出发,采用全新的管理模式,保证安全风险与隐患能及时发现,提升安全管理水平和效果。在本项目中,共采取两种安全管理模式,具体分析如下:

(1) 自愿协议安全管理模式。在安全管理期间,需要施工各方以及职能部门主动参与,积极协调与配合。同时,以企业和政府为主导,在对各方面因素综合考量的基础上,完成安全管理投资,由此形成均衡、透明、公正的收益分配机制。通常情况下,无论是建筑企业还是职能部门,均要比较分析项目安全管理支出、收益等内容,采用博弈的方式对收益灵活分配,保证风险在得到遏制的同时,投入的成本能够降低,实现效益最大化。利用自愿协议安全管理模式,各方能够积极配合,依照合同中的规定完成安全管理投入,确保各方利益能得到维护,具体内容如图 2 所示。

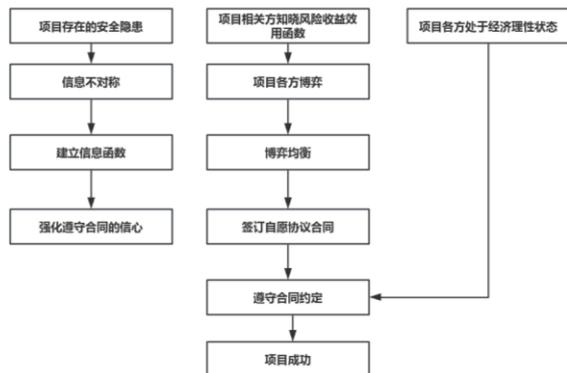


图 2 土木工程项目安全管理自愿协议模式形成过程

(2) “社区参与”安全管理模式。为提升施工安全管理有效性,本项目在施工期间,还加强了“社区参与”安全管理模式的运用。此模式是以社区参与理论为基础,使工程形成一个完整的社区系统,以社区为核心,由政府职能部门等多个参与方共同建立组织结构,确保安全管理工作能工作顺利实施。其中,安全管理委员会主要由施工各方组合而成,安全社区管理由行业安全协会等组织组成,通过对社区安全管理委员会各项职责、权限的合理划分,使各参与方的职责作用充分发挥,保证安全管理工作在顺利推进的同时,管理效果和水平能进一步提高。

#### 3.3 建立完善安全管理制度

(1) 权责分配制度。本项目在施工过程中,参与主体较多,包括业主单位、勘测单位等,为保证各方利益实现最大化,避免施工期间出现弄虚作假的问题,需要建立完善的责任分配制度,对各参与方的职责、权限明确规定,使其职能充分发挥。在施工期间,勘测、设计以及施工单位作为重要主体,需要对安全规章制度、规范严格落实。对此,在项目实施阶段,应该对各单位合理引导,加大管理力度,明确相关生产职责、权限,满足安全施工要求,从源头遏制施工风险。监理及检测单位则要将相应工作落实好,做好项目的监督及管理工作,明确各方主体的职责,保证参与方能严格依照要求操作。

(2) 建立健全的安全责任保险制度。本项目在施工过程中,也要结合施工要求和建设情况,制定完善的安全责任保险制度,将安全生产责任险、公众责任险涵盖在内。同时,根据施工特点建立无责任工伤保险机制,确保受到伤害的施工人员以及家属在没有责任证明或没有追究责任的情况下能获取相应赔偿,将损失降到最小。针对保险公司,在工伤保险费用设定时,以安全责任保险制度为基准,对施工企业安全业绩情况、信誉等合理评估,确保企业能对安全管理工作高度重视,主动参与安全管理活动。

(3) 建立业绩评估制度。完善、合理的安全绩效分析、评定运行机制对安全管理工作的顺利推进有促进作用,也能有效降低事故发生概率。因此,本项目在建设期间,主动向其他国家以及地区安全业绩评估制度的制定、实施借鉴与学习,同时结合国内现状,制定合适的安全绩效评估制度,同时加大执行力度,确保安全管理工作能有序进行,提升施工安全水平。

#### 3.4 加强安全管理方法创新

在以往工程项目安全管理中,多以项目实际需求为基础制定相应措施,并对人员进行相应培训。在本项目实施阶段,对上述方法进行了优化,通过对项目细致划分的方式,明确各参与方施工期间存在的不确定性因素,并对管理因素统一整理,最后对参与施工的人员展开安全教育和培训,提升安全管理有效性。在工程建设期间,存在的管理风险因素较多,具体如表 4 所示。为有效规避风险因素,还要引进先进的管理技术,诸如加强信息化手段的运用,

搭建数学模型,全面了解施工现场情况,对安全管理情况做出准确、科学的判断,从而针对性地制定管理措施。

表4 安全管理因素分析表(部分)

序号	安全管理风险因素
1	库房管理制度不健全
2	设备没有整齐摆放
4	材料摆放不牢固
4	作业时对面有人走动
5	安全防护措施私自拆改
6	作业结束后没有将安全隐患消除

#### 4 结束语

综合而言,土木工程施工作业在开展过程中,应该认识到质量控制和安全管理的重要性,并从工程项目实际出发,针对性地制定应对措施。在质量控制方面,需要严格检查材料以及设备质量,对分项工程施工环节的质量加强控制,为工程整体质量的提升提供保障。在安全管理方面,

强化管理模式、方法以及技术的创新,将安全风险和隐患遏制在源头,提升管理有效性。

#### [参考文献]

- [1]唐辉. 土木工程施工中的质量控制[J]. 科技与创新,2025(7):165-167.
  - [2]陈龙瑞. 浅析土木工程施工管理中存在的问题及对策[J]. 中国设备工程,2025(6):7-9.
  - [3]贾蝶. 土木工程施工中的质量控制与安全管理[J]. 大众标准化,2025(3):31-33.
  - [4]柴玉娇. 土木工程施工质量控制与安全管理分析[J]. 产品可靠性报告,2024(12):37-38.
  - [5]王佳. 土木工程施工质量控制与安全管理分析[J]. 大众标准化,2024(12):66-68.
- 作者简介:张辉(1989.11—),男,毕业院校:河北工程大学,专业:土木工程,单位:中国水利水电第十一工程局有限公司,职务:项目安全总监,职称:中级工程师。

# 基于信息技术的建筑工程管理新模式

惠述清

枣阳市政府投资审计中心, 湖北 襄阳 441200

[摘要] 随着信息技术发展迅速, 建筑工程管理模式发生重大变化。传统管理方式难以适应建筑项目复杂、信息量大以及多方协同的要求。信息技术如 BIM、大数据等的应用, 给建筑工程管理带来新方向。分析传统模式局限, 探讨新型模式构建, 助力行业转型。

[关键词] 信息技术; 建筑工程; 管理模式

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16455

中图分类号: TU71

文献标识码: A

## A New Model of Construction Project Management Based on Information Technology

HUI Shuqing

Zaoyang Municipal Government Investment Audit Center, Xiangyang, Hubei, 441200, China

**Abstract:** With the rapid development of information technology, the management mode of construction projects has undergone significant changes. Traditional management methods are difficult to adapt to the requirements of complex construction projects, large amounts of information, and multi-party collaboration. The application of information technology such as BIM and big data has brought new directions to construction project management, so as to analyze the limitations of traditional models, explore the construction of new models, and assist in industry transformation.

**Keywords:** information technology; architectural engineering; management model

### 引言

建筑工程管理对于达成项目目标以及获取相应效益而言极为关键, 其具备的科学性会在很大程度上直接对质量、成本以及进度产生影响。不过, 传统的管理模式存在着诸如信息更新滞后、协同合作不够充分、所能提供的技术支持也比较有限等一系列问题, 这些问题的存在着对管理的效率以及实际效果形成了制约作用。伴随着信息技术被广泛地运用起来, 特别是像 BIM、数据分析、云平台协作还有移动终端等技术或者平台被引入到建筑工程管理当中之后, 建筑工程管理正在经受着一场变革, 行业管理模式也在逐步地得以重构。去深入探讨信息技术在建筑工程管理里面的集成应用情况, 进而提出未来全新的管理新模式, 其主要目的在于促使智能化、信息化以及精细化的程度都能够得到提升, 以此来推动整个行业朝着高质量的方向去发展。

### 1 建筑工程中的管理价值

建筑工程中的管理不单是指对施工中的技术进行规范, 其中还包括建筑工程中工程质量, 各项参数的确定。对于施工的企业来说, 其建筑工程管理中的质量把控会直接决定着施工的进度以及施工的周期性, 同时对企业来说经济效益会带来一定的影响, 从长远来看决定着行业口碑的建设。结合我国建筑现阶段水平, 我国建筑工程中对施工技术的管理也进行了创新与变革, 施工技术的管理也是行业先进技术的发展。同时结合实际建筑工程存在着

复杂性, 因而在具体施工不可能单靠一个工种需要多个工种协助合作, 同时这对于施工工程管理的模式提出了更高的要求。因此施工单位必须加快建筑工程中管理模式的改变与创新, 并结合企业自身的发展状况, 应该提高对施工过程中杂志的管理, 结合实际的生产工作实践经验, 对管理模式进行变革以期能够为企业经济效益。

### 2 传统建筑工程管理模式的局限性

#### 2.1 管理流程分散、协同效率低下

在传统的建筑工程管理领域当中, 项目所涉及的各个参与方往往会借助线下召开的会议、纸质形式的文档, 又或者多个并非统一的信息平台来展开沟通以及协同合作。这样一种呈碎片化状态的管理方式, 使得管理流程明显缺乏整体性的连贯性以及标准化的规范, 同时也缺失有效的统一协调方面的机制。因为各方在信息传递方面存在滞后情况, 所以沟通时出现误差的频次颇高, 在项目的各个不同阶段之间, 往往并不存在有效的衔接与反馈相关机制, 如此一来便对信息的及时传递与有效处理造成了影响, 使得整体的工作效率以及响应速度都出现了降低的情况。并且还有一种更为严重的状况, 那就是各专业的团队在施工环节、设计环节、采购环节以及运营环节等诸多环节之中, 常常是各自独立行动, 各行其是, 缺少一个能够实现统一的信息协调平台。这不但致使资源配置呈现出低效且不合理的情形, 而且还进一步加剧了问题响应的不及时程度, 最终对项目管理的系统性以及可控性形成了制约作用, 进

而对项目的顺利推进以及整体质量也产生了影响。

## 2.2 信息孤岛严重，数据难以共享

建筑工程项目涵盖了诸多专业以及众多组织机构，每一环节均会产生数量可观的异构信息，像设计图纸、施工日志、材料采购记录、设备运行数据等等都在其中。在传统的管理模式当中，各个部门以及各单位往往采用的是封闭式或者定制化的管理系统，而这些系统彼此之间缺少互联互通的机制以及标准接口，这就致使项目数据被分割开来储存，进而形成了极为严重的“信息孤岛”状况。这样的一种信息隔离情况，一方面使得不同系统相互之间的数据很难实现流通与共享，另一方面也加大了信息出现重复录入、版本冲突以及错误传播等风险发生的几率，对数据的时效性、完整性以及准确性造成了颇为严重的影响。与此由于缺乏统一的数据平台以及信息标准，跨专业的协同作业以及跨阶段的资源调度受到了限制，管理者想要及时且全面地掌握工程的动态以及关键节点是比较困难的，如此一来便难以做出科学且精准的管理决策。这不但对工程的整体进度以及质量控制产生了影响，而且大幅度降低了决策的效率，进一步使得项目管理的系统性、智能化水平以及可控性有所削弱，对建筑工程朝着精细化、智能化的方向发展起到了制约作用。

## 2.3 管理手段落后，缺乏智能化支持

虽然部分建筑施工企业于传统管理模式之下已然着手采用计算机辅助系统，不过这些系统的功能多数依旧仅仅停留在进度控制、成本核算这类基础性工作的层面，并没有切实有效地拓展至全过程、全要素以及全生命周期的智能化管理领域。在实际的操作环节当中，管理者大多还是依靠经验判断以及人工汇总数据，如此这般的方式很难去应对复杂项目里海量信息的处理以及动态调度方面所面临的诸多挑战。缺少智能化的支持，一方面致使管理效率变得极为低下，另一方面又使得人为错误出现的概率有所增加，进而也就产生了潜在的风险与隐患。并且，传统管理手段常常没办法满足项目日渐复杂的精细化要求，还缺乏行之有效的预警以及快速响应机制，难以做到及时地发现并解决各类问题，这就让项目在执行的过程当中面临着相当大的不确定性，对项目的顺利推进以及最终的成果都产生了不小的影响。

## 3 信息技术在建筑工程管理中的集成应用

### 3.1 建筑信息模型（BIM）技术的应用

建筑信息模型(BIM)技术借助创建具备多维度特性、能够实现可视化的数字模型，并且该模型还具有信息化特点，顺利达成了建筑工程从设计阶段一直到施工阶段，再到运维阶段的无间隙衔接以及信息的顺畅贯通。BIM技术在项目设计阶段，其精准度以及工作效率都得到了提升，在施工阶段更是把构件预制功能、碰撞检测功能以及施工模拟功能等发挥得淋漓尽致，大幅降低了施工过程中出现

返工以及产生误差的情况，节约了相当多的时间与成本。BIM模型其实是一个动态数据库，它可以实时对项目数据进行更新以及管理操作，从而给项目各个参与方给予一个统一的数据平台，这样一来便有效地消除了传统管理模式里常常存在的信息孤岛方面的诸多问题，推动了多专业之间、多组织之间展开高效的协同合作。把项目计划、进度控制以及现场管理等诸多要素都集成到BIM平台当中，使得工程的可控性以及可预测性有了大幅度的提升。BIM技术的应用，已然成为信息化建筑管理领域里的核心技术支撑，对于提高工程管理水平、保证项目能够按时并且按质量完成而言，给予了极为有力的技术层面的保障。

### 3.2 云计算、大数据与物联网技术支持

云计算、大数据以及物联网技术综合运用给建筑工程管理带来了全面的技术支撑与保障。其中，云计算凭借其提供的高性能且可高度扩展的基础平台，促使大量数据可以实现高效存储、处理以及实时访问，这就为异地协同工作、远程监控还有管理营造了不错的条件。而大数据技术依靠对项目各个环节数据展开实时采集并加以分析，能从中识别出施工过程中存在的潜在风险点以及关键趋势，助力管理者开展科学的风险预测与决策，进而提升工程的可控程度与精确程度。物联网技术借助传感器、RFID这类设备达成对施工现场的设备、材料、环境以及人员的动态感知，由此构建起一个感知—传输—分析—反馈的闭环管理体系。通过将这三项技术深度融合起来，一方面提升了项目执行过程的透明度以及可追溯性，另一方面也让工程管理的自动化以及智能化水准有了明显提高，进一步促进建筑工程管理模式朝着现代化转型，提升了管理效率以及项目执行的精准程度。

### 3.3 智能终端与移动平台的集成化使用

随着移动互联网技术快速发展起来，智能终端以及移动平台在建筑工程管理方面所起到的作用变得日益重要，其应用范围也变得越来越广泛，已然成为不可或缺的关键要素。借助部署移动App、平板终端这类智能设备，项目管理人员便能够达成对施工现场展开远程巡检、完成任务调度、开展数据采集与获取反馈等目的，如此一来，管理的灵活性得以显著提升，响应速度也大幅加快，在应对突发问题的时候，更是体现出极为高效的特性。移动平台身为信息传递与反馈方面极为重要的媒介，成功突破了传统管理模式施工和管理后台之间存在的信息壁垒，保证决策依据能够更为实时、准确且完整。这样顺畅的信息流通，让项目管理者可以及时知晓现场的动态情况，进而开展快速的决策以及做出相应的调整。集成化的移动应用系统不但能支持施工图纸的浏览、施工任务的下发、问题的上报以及流程审批等相关功能，而且还有助于促进各方展开协作、协调以及沟通，对项目各个环节的执行效率予以优化，切实有效地实现项目流程的闭环管理。这些技术

综合集成起来加以使用,进一步提升了建筑工程项目的管理水平,有力地推动了项目能够顺利推进并且高效地实施。

#### 4 基于信息技术的建筑工程管理新模式构建

##### 4.1 数字化全生命周期管理体系

数字化全生命周期管理体系属于新型建筑工程管理模式的重要组成部分,其依靠信息技术来开展相关工作,包含了建筑项目从设计环节一直到施工环节,再到竣工验收环节,最后到运营维护环节的整个完整过程。借助以BIM(建筑信息模型)作为核心的数字平台,项目的各类相关信息能够在统一的架构之下达成高效的集成以及共享状态,并且贯穿于项目的全生命周期当中<sup>[1]</sup>。该体系一方面提供了从规划设计阶段一直到资产管理阶段的全过程可视化、精细化以及可控化的服务,另一方面也保证了各个阶段的管理目标以及执行过程都能够得到实时的采集与反馈,进而为科学决策以及动态优化给予了稳固的数据方面的支撑。在整个这个过程当中,生命周期管理最为关键的特点就是在项目前期阶段就开始全面地介入到管理逻辑之中,把施工的可实施性以及后期运维的效率都纳入到设计的考量范围之内。通过这样的方式,可以有效地防止后期因为设计不够周全或者施工难度过大的情况出现,进而导致出现重工以及成本浪费等现象,能够大幅度地提升项目的整体效益以及可持续发展的能力。

##### 4.2 信息共享与协同工作机制设计

基于信息技术的新管理模式关键在于冲破传统管理里的信息壁垒,搭建起一个统一的数据共享与协同工作的平台。项目各方经由接入同一信息系统,达成项目数据的实时更新与同步,如此一来便避免了信息重复输入、版本混乱以及数据不一致等诸多问题<sup>[2]</sup>。这一协同工作机制是以角色权限控制为基础的,可保证各参与方在保障数据安全的情况下高效地流通信息,进而让设计、施工、采购、监理等各个环节都能够实现无缝的协同操作以及及时的反馈闭环。通过对工作流程予以标准化与自动化处理,管理者可以实时知晓工程的进展状况、资源的配置情形以及各类问题的处理进度,有效提高了整体管控效率与响应速度。与此这一机制还能加快信息的流转以及决策的落实,为项目的高效推进给予了强有力的保障,减少了由于沟通不畅和信息滞后所引发的延误与风险。

##### 4.3 智能决策支持与绩效评估体系

信息化管理新模式借助数据驱动手段,很好地发挥了

智能决策支持系统的长处,达成了更为科学且高效的项目管理效果。该系统针对工程进度、成本、质量、安全等关键数据展开集成与实时分析,同时结合数据可视化呈现方式、预测模型以及人工智能(AI)算法,给项目管理者送上智能化的决策提议与趋势预判。这些工具让管理者可以迅速找出潜在问题,采取必要的应对办法,实时对资源配置做出调整,优化施工安排,避免可能出现的风险<sup>[3]</sup>。而且,智能管理体系并非仅仅用于决策支持,还融入了绩效评估功能。系统可依据预先设定的评估指标自行生成项目执行报告,剖析各个环节的表现状况,指出项目执行进程中存在的不足之处与改进余地。这一智能化的评估机制助力项目管理的持续改进与优化,进而形成一个以数据作为基础的闭环管理体系,保证项目各项管理目标得以高效达成,推动项目管理朝着精细化和智能化方向发展。

#### 5 结语

建筑工程管理已然迈入了以信息技术当作核心驱动力的新时期。传统的管理方式在应对愈发复杂的项目需求的时候,显现出了颇为明显的不足之处。信息技术与建筑管理相互融合的程度不断加深,这给建筑管理赋予了以往从未有过的技术方面的有力支撑,同时也开拓了相应的发展空间。凭借着构建起数字化、智能化以及协同化这样的新型管理模式,一方面管理效率得以提升,另一方面工程质量也获得了提高,而且企业还由此收获了更为可观的经济效益以及更强的竞争优势。在往后的日子里,伴随技术持续向前演进以及行业标准一步步趋于完善,建筑工程信息化管理会在更为宽广的领域当中充分展示出它那巨大的潜力,进而促使建筑行业达成高质量且可持续的发展状态。

#### [参考文献]

- [1] 李雅鹏. 基于信息技术的建筑工程管理新模式[J]. 居业, 2025(3): 172-174.
- [2] 周心雪. 建筑工程管理现状及管理优化措施[J]. 住宅与房地产, 2025(11): 35-37.
- [3] 屈岗, 席锋, 林景祥, 等. 基于BIM的建筑工程施工质量新模式构建分析[J]. 中国建筑装饰装修, 2024(7): 85-87.

作者简介: 惠述清(1977.2—), 毕业院校: 湖北文理学院, 所学专业: 土木工程, 当前就职单位: 枣阳市政府投资审计中心, 职务: 主任, 职称级别: 中级。

## 隧道场景中的智能边缘控制技术的应用

郑磊 任光粤 徐丹圃 杨先锐 陈信言 周文斌  
贵州黔程慧通科技发展有限公司, 贵州 贵阳 550000

**[摘要]**随着城市交通系统向智能化、自动化方向发展,隧道场景的安全性与运行效率日益受到关注。文中围绕智能边缘控制技术在隧道中的应用展开研究,分析其在数据实时处理、设备联动控制、安全预警等方面的技术实现路径。通过构建分布式边缘计算架构,有效提升隧道运行环境感知能力与响应速度,降低运维成本。研究结果表明,边缘控制技术可显著提升隧道系统的智能化水平,为智慧交通基础设施提供技术支持。

**[关键词]**边缘计算;隧道控制;智能感知;实时响应;设备联动

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16479

中图分类号: TN911

文献标识码: A

### Intelligent Edge Control Technology and Application in Tunnel Scenes

ZHENG Lei, REN Guangyue, XU Danpu, YANG Xianrui, CHEN Xinyan, ZHOU Wenbin  
Guizhou Qiancheng Huitong Technology Development Co., Ltd., Guiyang, Guizhou, 550000, China

**Abstract:** With the development of urban transportation systems towards intelligence and automation, the safety and operational efficiency of tunnel scenes are increasingly receiving attention. The article focuses on the application of intelligent edge control technology in tunnels, analyzing its technical implementation path in real-time data processing, equipment linkage control, safety warning, and other aspects. By building a distributed edge computing architecture, the tunnel operation environment awareness and response speed can be effectively improved, and the operation and maintenance costs can be reduced. The research results indicate that edge control technology can significantly improve the intelligence level of tunnel systems and provide technical support for smart transportation infrastructure.

**Key words:** edge computing; tunnel control; intelligent perception; real time response; equipment linkage

#### 引言

隧道交通作为城市交通网络的重要组成部分,其运行安全与效率直接影响整体交通质量。传统隧道控制系统存在响应滞后、数据处理延迟等问题,难以满足复杂多变的环境需求。智能边缘控制技术凭借其分布式、低时延、高实时性等特点,在隧道自动化控制系统中展现出广泛的应用前景。本文将探讨边缘计算技术在隧道场景下的具体实现与关键优势。

#### 1 智能边缘控制系统架构设计

##### 1.1 边缘节点部署策略

在隧道场景中,边缘节点的部署策略对整个智能控制系统的响应速度、稳定性以及数据处理效率具有决定性作用。由于隧道内部环境封闭、空间狭长,信号传输路径复杂,因此边缘计算单元的布局必须充分结合隧道的长度、断面结构、通风区段划分以及功能区属性等因素进行科学设计。通常采用“分区部署+重点覆盖”相结合的方式,在隧道出入口、通风井、变电室、监控中心、应急通道等关键部位优先设置边缘节点,确保数据就地处理、控制就近执行,最大限度降低控制指令的延迟与丢包率。同时,部署过程中还需综合考虑电源稳定性、防尘散热、设备抗震能力及通信冗余等技术指标,保证节点在高湿、高温、

高噪等环境中长期稳定运行。为提高系统的高可用性和容错能力,建议配置双节点冗余架构或引入热备机制,在主节点发生故障时,备用节点可自动接管控制任务,实现“无缝切换”,有效避免因单点故障引发的系统瘫痪,确保隧道运行始终处于智能可控状态。如图1所示:



图1 隧道场景

##### 1.2 数据采集与预处理机制

智能边缘控制系统在隧道场景中面对着庞杂且高频的数据输入,因此对数据处理效率和处理质量提出了更高要求,必须建立一套高效、稳定的数据采集与预处理机制。隧道内部布设有多种类型传感器设备,包括温湿度传感器、烟雾探测器、CO与NO<sub>x</sub>气体浓度传感器、红外探测器、

高速摄像头等,这些设备所采集的数据具有来源多样、采样频率不一致、格式复杂等特点。边缘节点需具备多协议适配和数据融合能力,能够实时完成多源数据的同步采集、时间戳校正与初步分类。在数据预处理阶段,系统需执行一系列智能算法操作,如异常值识别与过滤、信号去噪、格式转换与标准化、缺失数据补全等,以剔除无效信息并提升数据质量,从而保障边缘计算模块后续分析与判断的准确性。同时,为减轻网络压力与云端存储负载,边缘系统还应具备临时缓存与数据压缩功能,将低频或冗余数据进行边缘端压缩存储,仅在设定周期或触发条件下进行上报,从而实现“本地优先、云端支撑”的高效数据管理模式。

### 1.3 控制中心与边缘节点协同方式

边缘控制系统在隧道智能化运行中并非独立运作,而是与上层控制中心形成高度协同的体系架构。系统整体采用“边缘先行、云端统筹”的协同控制模式:云端控制中心主要负责全局运行策略的制定、关键参数的统一设定以及系统资源的优化调度,而边缘节点则承担前端数据的实时处理、本地事件的快速响应及设备的自主控制任务。为实现这一协同机制,系统需构建低延迟、高可靠的双向通信链路,使边缘节点能够实时接收上级指令,同时将运行状态、故障告警、数据摘要等内容回传至控制中心,实现数据闭环与动态决策调整。为增强系统在突发情况下的稳定运行能力,应设计具备容错能力的分层控制策略,即在网络中断、中心离线等异常条件下,边缘节点可基于本地缓存的策略和模型独立执行控制任务,保障关键功能不中断。此外,系统应集成智能任务调度机制与负载均衡算法,动态分配计算资源与控制优先级,避免因节点压力过大或指令冲突而导致控制失效,确保隧道系统运行的连续性、稳定性与高效性。

## 2 关键控制技术与智能算法集成

### 2.1 基于 AI 的环境感知算法

隧道内部环境封闭、通风不畅,且常伴有车流密集、温湿波动、照明条件变化等复杂因素,传统依赖单一传感器或人工监控的感知方式,往往难以及时识别突发事件,导致应急响应滞后。为提升系统的智能化与自动化水平,智能边缘控制系统集成了先进的 AI 环境感知算法。通过在隧道关键区域部署高分辨率摄像头、多模态传感器(包括温湿度、气体浓度、红外、噪声等),系统能够实时采集多源异构数据。利用卷积神经网络(CNN)结合 YOLO、SSD 等目标检测模型,系统可快速准确地识别烟雾蔓延、明火、水体渗漏、车辆聚集、异常停留等关键事件,并分类判断其严重程度。AI 算法具备持续学习与自适应更新能力,可在边缘节点上完成模型微调与场景适配,显著提升在低光、高湿、强干扰等极端环境下的识别准确性。通过“数据采集—智能识别—实时反馈”的闭环机制,实现了对隧道环境的全天候、全要素、全覆盖感知,为后续控制响应提供了坚实的数据基础。

### 2.2 边缘侧控制逻辑执行引擎

边缘节点在隧道智能系统中不仅需完成实时数据采集与处理,更需承担对复杂控制逻辑的快速执行任务。为实现高效、可靠的现场控制响应,系统配置了嵌入式控制逻辑执行引擎,其核心由规则引擎、推理模块以及联动控制调度器三大功能单元构成。规则引擎基于预设控制策略,可识别多条件触发事件,如“当 CO 浓度超过设定阈值且通风设备处于空闲状态时,自动启动排风系统”,具备逻辑判断、优先级判定与控制指令生成等能力。推理模块则在面对数据缺失或冲突时,利用模糊逻辑与知识图谱进行智能判断,保障系统在非理想状态下仍可维持控制决策的准确性与连续性。联动控制调度器用于多设备协调操作,如在火灾预警状态下联动启动风机、照明、广播与门禁设备,快速响应紧急事件,构建多系统联动的应急响应机制。该执行引擎采用模块化结构设计,便于在不同类型的隧道节点中灵活部署与参数化配置,具备良好的扩展性、通用性及后期运维便捷性,满足复杂场景下的智能控制需求。

### 2.3 实时响应与预警算法设计

在突发事件的快速处置中,响应速度直接决定了事故控制的效率与损失程度,是衡量边缘控制系统实用性与智能水平的重要指标。为显著提升应急响应能力,系统构建了一套高效的实时响应与智能预警算法体系。该体系基于时间窗策略与事件优先级模型,能够对复杂环境下的多源异常数据进行快速综合判断。例如,在火灾预警方面,系统不仅分析烟雾浓度,还结合温升速率、红外图像变化、视频动态检测等多维度数据,融合形成决策依据,进而按照设定的风险等级,自动启动相应级别的预警流程与联动控制策略。预警算法具备自学习能力,可通过历史数据训练,动态调整报警门限与判定参数,有效降低误报与漏报率。同时,信息发布机制支持多种形式,包括本地声光报警、语音广播、引导指示灯联动,以及通过短信、APP 等方式进行远程提醒,确保各类人员在最短时间内获取准确预警信息。

## 3 典型应用场景与系统集成实践

### 3.1 通风与照明智能控制

隧道通风与照明系统是保障行车安全与运行环境舒适度的关键子系统。传统控制模式多采用定时或人工方式,缺乏对实时环境的响应能力。而在智能边缘控制系统中,通风与照明控制实现了高度智能化与自适应调节。边缘节点可实时接收 CO、NO<sub>x</sub> 浓度、能见度、光照强度等传感器数据,并结合交通流量分析结果,通过内嵌算法判断是否需要启动通风风机或调整照明亮度。系统支持分区控制,可针对不同路段独立调节,有效降低能耗。例如,当检测到车流量密集但空气质量良好时,系统仅提升局部亮度而不启用通风设备,从而实现节能运行。此外,边缘系统还可根据历史运行数据建立模式库,自动优化照明与通风策略,提高运行效率。

### 3.2 火灾与有害气体智能预警

隧道空间封闭,一旦发生火灾或有毒气体泄漏,极易造成重大安全事故。因此,火灾与有害气体智能预警是边缘控制技术的重要应用场景。系统部署有烟雾探测器、红外温度传感器、火焰识别摄像头及气体浓度监测装置,并由边缘节点实时采集并融合这些多源数据。通过 AI 模型对比变化趋势和异常指标,系统可在火情初期即做出判断,并根据事件等级自动触发排风、喷淋、语音广播和应急照明等控制流程。对于有毒气体如 CO、NO<sub>x</sub> 等的监测,系统设置多级报警阈值,一旦检测浓度超限,将立即联动启动风机加快换气,同时将信息通过图形界面及远程推送向运维中心反馈。该机制具有毫秒级响应能力,极大提高了事故早期响应效率,保障了通行安全。

### 3.3 车辆与人员流动动态管理

隧道中车辆与人员的流动管理直接关系到交通秩序与施工安全。边缘控制系统通过部署智能视频监控设备、RFID 读卡器及红外传感器等,实现对车辆通行状态、车速、停车行为以及作业人员位置的实时感知与动态跟踪。系统可对车辆异常停留、倒车、超速等行为进行自动识别,并根据行为类型自动发出声光警示或远程通知管理中心。同时,系统支持车流统计与预测,可为交通调度提供决策支持。在施工场景中,通过佩戴定位标签或智能头盔的方式,系统可实现人员轨迹监控与作业区域划定,一旦发现人员进入禁区或长时间停留在高风险区域,系统将立即发出预警。通过边缘算法快速处理前端图像与位置信息,避免因延迟导致的隐患扩大,显著增强隧道安全管理能力。

## 4 系统运行效果分析与未来优化方向

### 4.1 实际运行效率评估指标

为全面评估智能边缘控制系统在隧道场景中的应用成效,需从响应时间、控制准确率、预警成功率、能耗降低比例等多个维度进行量化分析。通过对某城市地下隧道项目进行为期三个月的监测,如表 1 所示:

表 1 关键运行指标数据

指标名称	传统系统平均值	边缘系统运行值	提升幅度
平均事件响应时间	3.2 秒	0.8 秒	缩短 75%
控制命令执行成功率	92.3%	98.7%	提升 6.4%
异常预警识别准确率	85.5%	96.2%	提升 10.7%
照明与通风能耗降低率	—	19.4%	能耗显著下降

数据表明,边缘控制系统在事件响应速度、智能控制准确性及预警识别能力方面均显著优于传统集中式控制系统,尤其在多点设备协同响应场景下优势更为明显。同时,通过智能调节策略,系统实现了能源成本的有效控制。

### 4.2 典型故障场景下系统表现

在隧道实际运行中,系统可能面临断网、节点失效、

电力波动等突发故障场景。为验证边缘系统的鲁棒性与独立控制能力,测试模拟了“边缘节点失去与云端连接”及“本地传感器单点失效”两类典型异常。结果显示,边缘系统依托本地存储的策略库与容错机制,能在通信中断时自主完成风机控制、照明调节与预警广播任务,控制精度未出现明显下降。此外,系统设有健康监测与自诊断模块,能在节点或设备发生异常时主动上报错误并切换至备用逻辑路径,保障控制链不中断。相比传统系统对中心控制的强依赖,边缘系统展现出更强的稳定性与自愈能力,适应复杂环境能力更强。

### 4.3 技术发展趋势与系统优化方向

随着 AIoT、5G 及新型传感技术的持续进步,边缘控制系统正朝着更高性能、更强感知、更精细控制方向演进。未来系统可进一步集成 5G 高速通信,实现边缘-云-端之间毫秒级同步,为多隧道协同控制提供网络基础。同时,AI 算法将从静态模型转向在线训练模式,使系统能根据现场情况动态调整控制策略,提升系统智能等级。软硬件架构方面,边缘设备将趋于模块化与标准化,便于快速部署与维护。此外,未来系统将引入数字孪生技术,构建虚拟隧道运行模型,结合仿真与实际数据联动,实现“预测控制”和“智能决策”的闭环控制体系。通过这些优化路径,边缘控制将在智慧交通、应急响应、低碳运行等方面发挥更大作用。

## 5 结束语

智能边缘控制在隧道场景中的应用,有效解决了传统控制模式中存在的延迟高、集中负载大等问题。通过分布式处理和智能响应机制,提升了隧道运行的安全性与智能化水平。未来,随着 AI、5G、物联网等技术的进一步发展,边缘控制系统将具备更强的数据处理能力与自适应控制能力,为城市智慧交通建设提供有力支持。

### [参考文献]

- [1] 郭浩鑫. 智能网联单轨捷运系统编组协同运行智能控制研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2024.
- [2] 马英博. 基于图像信息的盾构隧道表面病害自动检测系统研究[D]. 长沙:中南大学,2023.
- [3] 陈再励. 基于人体表征与场景理解的隧道施工风险识别评估与管控方法研究[D]. 北京:中国地质大学,2022.
- [4] 陈庆国. 基于数字图像处理技术的隧道交通智能视频监控[D]. 重庆:重庆大学,2004.
- [5] 李佳玉,江若飞,王荣波,等. 基于知识图谱的隧道智能施工系统构建研究[J]. 铁道技术标准(中英文),2024,6(8):23-31.

作者简介:郑磊(1988.3—),男,学士学位,中级工程师,目前就职于贵州黔程慧通科技发展有限公司,主要从事公路机电、交通信息化、大数据、建筑智能化方向的工作。

# 建筑土木工程中的基坑支护技术应用探讨

田彦虎

宁夏回族自治区第四建筑工程有限责任公司, 宁夏 固原 756000

**[摘要]** 基坑支护技术是现代建筑工程安全实施的关键支撑体系, 其科学选型与精准控制决定着工程结构稳定性与全周期效益。文章系统解析支护技术的力学响应特征与环境适配机理, 阐明不同工艺的适用边界与协同作用机制, 创新性提出地质智能判识、多目标优化决策与风险动态管控的集成方法体系, 构建“勘察-设计-施工-监测”全链条技术路径, 为复杂城市环境下基坑工程的绿色建造与智能运维提供理论范式与实践指南。

**[关键词]** 建筑土木工程; 基坑支护; 支护技术; 技术应用

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16471

中图分类号: TU74

文献标识码: A

## Discussion on Application of Foundation Pit Support Technology in Civil Engineering Construction

TIAN Yanhu

Ningxia Hui Autonomous Region No. 4 Construction Engineering Co., Ltd., Guyuan, Ningxia, 756000, China

**Abstract:** Excavation support technology is a key support system for the safe implementation of modern construction engineering. Its scientific selection and precise control determine the stability and full cycle benefits of the engineering structure. The article systematically analyzes the mechanical response characteristics and environmental adaptation mechanisms of support technology, clarifies the applicable boundaries and collaborative mechanisms of different processes, innovatively proposes an integrated method system for geological intelligent identification, multi-objective optimization decision-making, and risk dynamic control, and constructs a "survey-design-construction-monitoring" full chain technical path, providing theoretical paradigms and practical guidelines for green construction and intelligent operation and maintenance of foundation pit engineering in complex urban environments.

**Keywords:** architecture and civil engineering; excavation support; support technology; technical application

### 引言

城市化进程的加速催生了密集的高层建筑群与复合型地下空间开发, 这使得基坑工程面临深度持续增加、环境约束日趋严苛、地质条件愈发复杂的多重挑战。现代基坑支护体系需在有限施工场地内实现力学稳定、环境扰动最小化与资源集约化的三重目标, 其设计逻辑已从单一承载力控制转向“安全-经济-生态”多维协同优化。当前工程实践中, 支护选型与地层特性的适配偏差、动态施工荷载的预判不足, 以及传统经验决策的局限性, 常导致支护结构效能冗余或局部失效风险。本文突破传统“结构-土体”二元分析范式, 将水文地质条件、环境敏感度、施工扰动效应纳入系统考量, 通过耦合数值模拟、智能监测反馈与风险概率评估, 揭示不同支护技术的空间效应传递规律与失效演化机制。研究成果将形成融合地质智能判识、多目标优化算法与全周期风险管控的决策框架, 为复杂工况下的支护技术选择提供理论支撑, 推动基坑工程从“被动防御”向“主动适应”的智能化转型, 助力城市地下空间开发的安全可持续发展。

### 1 建筑土木工程基坑支护施工特征及重要性

基坑支护体系作为临时性工程结构, 其设计与施工需遵循“动态适应、协同优化”原则, 贯穿于土方开挖至地下结构完工的全生命周期。支护结构的力学响应具有显著

时空差异性——随着开挖深度增加, 土体应力路径改变引发支护荷载重分布, 需通过动态设计调整预应力和支护刚度。在复杂城市环境中, 支护体系需兼顾地下管线避让、既有建筑保护及交通疏解等多重约束, 形成“结构-土体-环境”协同作用机制。技术特征上表现为多学科融合性, 需综合岩土力学、结构工程、流体力学等理论, 结合数值仿真与现场监测数据迭代优化方案。其重要性不仅体现在工程安全层面, 更延伸至社会经济效益维度: 科学支护可降低土方回填量 30%以上, 缩短工期 15%~20%, 并通过控制地面沉降保护周边建筑使用功能。在生态层面, 新型可回收支护构件的应用减少建筑垃圾产生, 推动绿色施工技术发展。随着智能传感与 BIM 技术的集成应用, 支护体系正从被动承载体向具备自感知、自适应的智能结构演进, 为数字孪生技术在土木工程中的深度应用提供实践载体。

### 2 建筑工程施工中常用的基坑支护施工技术

#### 2.1 排桩支护

排桩支护以钢筋混凝土灌注桩或预制桩的等距布设为核心, 形成空间协同受力的挡土体系。施工中采用旋挖钻机或冲击钻成孔, 通过泥浆护壁工艺保障桩体垂直度, 桩端嵌入稳定岩层以增强抗拔承载力。桩间通过喷射混凝土或砌筑挡板形成连续支护面, 顶部设置钢筋混凝土冠梁实现桩体刚性连接, 优化整体抗弯性能。针对地下水位波

动区,常与高压旋喷桩止水帷幕组合应用,形成“挡土-截水”双重防护体系。该技术对周边土体扰动较小,可有效控制基坑开挖引起的地表沉降,尤其适用于邻近地铁隧道、历史建筑等敏感区域的深基坑工程。施工中需重点控制桩位偏差、桩身完整性及冠梁节点连接质量,通过超声波检测与低应变法评估桩体缺陷。在软土地层中,可间隔设置预应力锚杆优化桩体受力状态,形成排桩-锚索复合支护结构,提升深基坑支护的经济性与安全性。

## 2.2 钢板桩支护

钢板桩支护通过热轧型钢的锁口咬合形成连续挡土墙体,其施工效率与可回收性在临时性工程中具有显著优势。U型或Z型截面的钢板桩通过高频振动锤或静压设备贯入土层,锁口结构的密闭性可有效阻断浅层地下水渗透。该技术适用于砂土、粉土等自立性较好的地层,尤其适合河道围堰、管沟支护等短期工程。施工中需重点控制桩体垂直度与锁口咬合紧密性,采用全站仪实时监测桩身偏斜,并通过注浆填充锁口间隙以提升止水性能。在邻近敏感建筑区域,优先选用静压沉桩工艺减少振动传导,同步布设土体位移传感器与建筑物倾斜监测点,动态调整沉桩顺序与速率<sup>[1]</sup>。钢板桩回收时需采用专用拔桩设备,避免因锁口变形导致二次利用效能降低。对于存在承压水或深层软土的地层,可结合内支撑体系优化受力状态,或通过注浆加固桩端持力层提升抗倾覆稳定性。

## 2.3 土钉墙支护

土钉墙支护通过植入土体的加筋杆件与喷射混凝土面层形成复合重力式挡墙,其核心机理在于激活土体自稳能力。施工中采用分层开挖、分段支护的作业流程:每层开挖后立即钻孔植入钢筋或钢绞线土钉,注入水泥浆形成加固体,随后挂设钢筋网并喷射混凝土形成刚性面层。该技术适用于黏性土、粉质黏土等具有自立性的地层,尤其适合较浅或中等深度的基坑工程。施工需严格控制开挖步距与支护时序,避免暴露时间过长引发局部塌落。土钉长度、倾角及水平间距的设计需通过极限平衡法与数值模拟综合确定,并在现场开展抗拔力试验验证参数合理性。在富水地层中,需增设排水管或结合轻型井点降水措施,防止孔隙水压力削弱土钉锚固效果。土钉墙的经济性优势显著,但其变形控制能力相对较弱,故在邻近重要设施或变形敏感区域需设置预应力锚杆补强。

## 2.4 深层搅拌桩支护

深层搅拌桩支护通过专用搅拌机械将水泥浆液与地基土体强制混合,形成连续搭接的水泥土加固墙体。施工时采用双轴或三轴搅拌桩机,通过钻杆叶片旋转切削土体并注入水泥浆,在竖向连续搅拌过程中形成均匀的水泥土柱体。该技术对淤泥、饱和软黏土等流塑性地层具有显著改良效果,其形成的止水帷幕可有效阻断潜层承压水渗透路径。施工过程中需精确控制钻头提升速率与搅拌次数,

确保土体破碎程度与浆液渗透范围的均匀性。针对含砂夹层或有机质土层,需调整固化剂掺入比例或添加外掺剂(如膨润土、粉煤灰)以优化桩体抗渗强度。在邻近地下管线的区域,采用跳打施工工艺减少累计挤土效应,通过测斜仪监测桩体垂直度偏差。桩体养护期间需避免机械振动干扰,待水泥土龄期达到设计强度后,通过钻孔取芯与无侧限抗压试验验证桩身质量<sup>[2]</sup>。该技术的局限性在于难以穿透硬塑黏土或密实砂层,此时需结合高压旋喷注浆工艺进行补强。

## 2.5 地下连续墙支护

地下连续墙支护是一种在建筑工程深基坑施工中常用的支护技术。其基本做法是利用挖槽机械沿基坑周边轴线开挖出狭长而深的槽段,随后吊放钢筋笼并灌注水下混凝土,从而形成一道连续的钢筋混凝土墙体。该墙体具备良好的截水、防渗和承重性能。为了确保地下连续墙能有效发挥挡土、挡水和支撑作用,施工过程中需重点控制导墙施工、槽段开挖、泥浆护壁以及水下混凝土灌注等关键环节。科学管理和精细施工能够充分体现其支护刚度大、变形小、抗侧压能力强等技术优势。

## 2.6 挡墙+内撑支护

挡墙与内撑支护体系通过刚性挡土结构与水平支撑构件的协同作用,形成三维空间受力网络,有效改善传统悬臂式支护的侧向变形缺陷。挡墙通常采用地下连续墙或排桩结构承担主要土压力,内撑构件则根据基坑平面形状选择钢支撑、混凝土支撑或组合式桁架体系,其布置需结合基坑几何特征进行拓扑优化——对撑式布局适用于狭长基坑,角撑与环形支撑则利于复杂多边形基坑的受力均衡。施工中严格遵循“分层开挖、先撑后挖”原则,每层土方开挖后立即架设预应力支撑并施加设计轴力的30%~50%作为预加载,通过液压千斤顶动态调整消除支撑与围檩间的安装间隙。钢支撑凭借轻质高强特性可实现快速安装,但需通过温度补偿算法抵消昼夜温差引起的轴力波动;混凝土支撑虽施工周期较长,但其整体刚度优势可显著抑制深层土体位移。支撑轴力监测系统采用光纤光栅传感器或液压轴力计实时采集数据,结合有限元反演分析预测荷载变化趋势,当监测值偏离设计阈值时,通过智能张拉设备实施多级补偿加载。针对开挖过程中土压力重分布现象,建立“监测-预警-调控”动态响应机制:在软土地层中采用伺服控制系统实现支撑轴力自适应调节,在岩质地层中则通过可拆卸式预应力锚杆补充受力。

## 3 建筑工程施工中基坑支护施工技术的应用要点

### 3.1 加强现场勘察工作

基坑支护工程的现场勘察需构建“多维度、全周期”的立体化勘察体系,涵盖地质结构、水文条件、环境约束等多重参数的综合解析。采用地质雷达、静力触探与标准贯入试验等原位测试手段,精准识别土层分布特征与力学行为,结合室内三轴试验测定土体抗剪强度与固结特性,

重点探明软弱夹层、透镜体及溶洞等隐蔽性地质缺陷的空间展布规律。针对地下水影响,布设分层水位监测井与渗透试验孔,分析承压水头变化与渗流路径,利用数值反演技术预测降水开挖对周边含水层的扰动范围。引入无人机倾斜摄影与激光雷达扫描技术,建立厘米级精度的地表微地形模型,同步整合既有地下管线、邻近建筑基础等环境数据,构建“地质-水文-环境”耦合的三维可视化分析平台。勘察成果需与支护设计动态交互——通过有限元软件模拟不同支护方案下的土体应力应变响应,结合 BIM 模型预演开挖工序对周边设施的变形影响,实现勘察数据向设计参数的精准转化。

### 3.2 选用合适支护技术

基坑支护技术的科学选型需构建“地质适配-环境兼容-经济优化”三位一体的决策框架。在基础地质适配层面,针对流塑状淤泥地层优先选用深层搅拌桩形成重力式挡墙,而在岩土互层区域则采用地下连续墙穿越软弱夹层锚入稳定基岩。环境兼容性评估需量化分析振动敏感度、变形控制阈值与地下水位波动幅度——邻近地铁隧道时采用刚度较高的灌注桩+内支撑体系,历史建筑保护区则选用静压植入的钢板桩减少施工扰动。经济性优化通过全寿命周期成本分析法,综合比较临时支护拆除成本、材料回收率及工期压缩效益,例如可回收锚杆与装配式支撑的应用可显著降低工程废弃率。技术比选过程中,引入机器学习算法对历史工程数据进行特征挖掘,建立支护形式与地层参数、环境约束的关联模型,辅助生成候选方案集<sup>[3]</sup>。对于特殊工况(如坑中坑、异形基坑),采用排桩-锚索-内撑复合支护体系,通过拓扑优化算法确定最优支撑布局。数值模拟阶段运用离散元-有限元耦合方法,再现土体渐进破坏过程与支护结构协同作用机理,重点验证极端工况(暴雨入渗、机械振动)下的体系鲁棒性。

### 3.3 把握施工技术要点

基坑支护施工需构建“精细化控制-动态调整-全周期验证”的技术管理体系。排桩支护的成桩质量通过全站仪实时监测垂直度偏差,采用自动纠偏系统调整钻机姿态,确保桩体空间定位精度满足结构协同受力要求。土钉注浆施工中,通过智能压力监测设备控制注浆流量与压力梯度,采用分段后退式注浆工艺保障浆液在锚固段的均匀扩散,避免注浆不足或浆脉集中现象。分层开挖工序遵循“时空效应”理论,根据土层特性动态调整每层开挖深度与暴露时间——在流塑性地层中采用分条开挖法,配合速凝早强材料缩短支护间歇期;岩质地层则通过预裂爆破技术减少对保留岩体的扰动。预应力锚杆施工需建立“初张拉-锁定-补偿张拉”的多级调控机制,采用荷载传感器监测锁定力衰减趋势,结合土体蠕变本构模型计算二次张拉时机

与补偿量值。对于钢支撑体系,通过液压伺服系统实现预应力施加的毫米级精度控制,并采用温度应变补偿算法消除昼夜温差引起的轴力波动。施工顺序优化方面,优先施作角部支撑形成空间刚度核心区,随后对称扩展中部支撑网络,避免局部应力集中导致的体系失衡<sup>[4]</sup>。全过程引入数字孪生技术,通过 BIM 模型与现场监测数据的实时映射,动态验证施工参数合理性,例如在锚杆钻孔偏位时,基于模型反演重新计算锚固角度对支护效能的敏感性。

### 3.4 强化施工过程管控

施工过程管控需构建“感知-分析-决策-执行”的全链条闭环管理体系。部署智能传感网络实时捕捉支护结构位移、支撑轴力及地下水水位变化,结合边缘计算设备实现监测数据的本地化预处理与异常信号识别。通过 BIM+GIS 平台构建数字孪生体,动态映射基坑变形趋势与周边环境影响,利用机器学习算法预测潜在风险演变路径。建立三级预警响应机制:一级预警触发数据复核与人工巡检,二级预警启动专家会诊与方案预调整,三级预警立即执行支撑补强或土体加固。引入智能注浆机器人、预应力自动张拉设备等智能化施工装备,通过预设工艺参数确保应急措施的实施精度。同步完善施工日志区块链存证系统,实现人员操作、材料验收及监测数据的不可篡改追溯,形成覆盖“设计-施工-运维”的全生命周期质量档案。

## 4 结语

基坑支护技术的创新融合是工程安全与可持续建设的核心。未来应聚焦智能材料研发与数字孪生技术集成,构建自感知、自适应支护体系,发展低碳可回收结构体系与智能建造装备,通过边缘计算与 AI 协同实现风险自主预警,为高密度城市空间开发提供韧性支撑。

### [参考文献]

- [1]哈志刚,杜娜.建筑土木工程施工中的基坑支护技术应用探讨[J]//《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(二).平凉天正基础工程有限责任公司;甘肃金正信工程项目管理咨询有限公司;2024:26-27.
  - [2]戴志超.建筑工程施工中深基坑支护施工技术应用研究[J].广东建材,2023,39(12):94-96.
  - [3]张志荣.基坑支护技术在建筑工程施工中的应用[J].江西建材,2021(9):155-156.
  - [4]魏海昆.深基坑支护技术在建筑土木工程施工中的应用分析[J].科技创新导报,2020,17(20):139-140.
- 作者简介:田彦虎(1977.12—),毕业院校:宁夏大学,所学专业:土木工程,当前就职单位名称:宁夏回族自治区第四建筑工程有限责任公司,就职单位职务:经理,职称级别:中级。

## 提高热力管道施工技术水平有效手段

邢双虎

石家庄环网供热有限公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]**在城市基础设施建设中,热力管道作为集中供热系统的关键组成部分,其施工技术水平直接关乎供热系统的运行稳定性与能源利用效率。当前,随着城市化进程加速以及对节能环保要求的提升,热力管道施工面临着更高挑战。因此,此文深入探讨提高热力管道施工技术水平有效手段,通过分析热力管道施工技术的定义与分类,剖析影响施工技术水平的技术、管理、人员等因素,从技术手段、管理手段、人员培养手段等方面提出具体措施,旨在为提升热力管道施工质量、保障供热系统高效运行提供理论支持与实践指导。

**[关键词]**热力管道; 施工技术; 管理; 人员培养

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16470

中图分类号: TU832.2

文献标识码: A

### Effective Means to Improve the Construction Technology Level of Thermal Pipelines

XING Shuanghu

Shijiazhuang Huanwang Heating Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** In urban infrastructure construction, thermal pipelines are a key component of centralized heating systems, and their construction technology directly affects the operational stability and energy utilization efficiency of the heating system. Currently, with the acceleration of urbanization and the increasing demand for energy conservation and environmental protection, the construction of thermal pipelines is facing higher challenges. Therefore, this article explores in depth the effective means of improving the construction technology level of thermal pipelines. By analyzing the definition and classification of thermal pipeline construction technology, analyzing the factors such as technology, management, and personnel that affect the construction technology level, specific measures are proposed from the aspects of technical means, management means, and personnel training methods, aiming to provide theoretical support and practical guidance for improving the construction quality of thermal pipelines and ensuring the efficient operation of heating systems.

**Keywords:** thermal pipeline; construction technology; management; personnel training

### 引言

热力管道作为城市供热的动脉,承担着将热源产生的热能安全、高效地输送到各个用户端的重要使命。其施工质量的优劣,不仅影响供热系统的正常运行,还与能源浪费、环境污染以及用户的生活质量息息相关。随着城市规模的不断扩大和居民对供热品质要求的日益提高,传统的热力管道施工技术已难以满足新形势下的需求。因此,研究如何提高热力管道施工技术水平,具有极为重要的现实意义。

### 1 热力管道施工技术概述

#### 1.1 热力管道施工技术定义

热力管路施工技术是热力管路工程在进行施工时,对管路的敷设、连接、保温、防腐等工序施工的相应的技术和方法的总称。作为一门综合性技术,其主要任务是保证管道能够在复杂条件下安全地完成输送热能的工作,在执行输送热能这一工作内容时,是根据工程设计、工程计划,最终完成管道的施工制作、安装,直至最后验收,是一项系统的工作<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 热力管道施工技术分类

热力管道施工技术可以从不同角度进行分类,按照敷

设方式可以分为架空敷设、地沟敷设与直埋敷设三类。其中架空敷设是把管道架设在支架上的敷设方式,安装和维修方便、造价相对便宜等优点,但是占地面积大、破坏城市美观。地沟敷设是把管道敷设于地沟内的敷设方式,包括通行地沟、半通行地沟及不通行地沟三种,此敷设方法能有效保护管道,但是施工成本高、维护相对困难。直埋敷设是直接管道埋地的敷设方式,占用空间少、施工周期短、保温效果好等优点,近年来比较常用。按照连接方式可分为焊接连接、法兰连接及螺纹连接。其中焊接连接其连接强度高、密封性好等优点,一般情况下被用作连接大多数热力管道;法兰连接其具有安装与拆卸方便等优点,常用于那些需要经常检修的地方;螺纹连接一般用于管径较小、压力较小的管道。

### 2 影响热力管道施工技术水平的因素分析

#### 2.1 技术因素

首先,施工技术的先进性直接影响施工水平。部分施工单位仍采用传统落后的施工技术,在管道焊接、保温处理等关键环节,无法达到高精度要求,导致管道质量隐患增加。如传统焊接技术无法保证焊缝的均匀性和强度,容

易出现渗漏问题。其次,技术标准不统一也带来诸多困扰。不同地区、不同项目执行不同的技术标准,使得施工过程中技术要求混乱,施工人员难以把握准确的施工尺度,影响工程质量的一致性。最后,新技术的应用推广不足。一些新型的管道材料、施工工艺虽然已研发出来,但由于缺乏有效的推广机制和施工人员培训,难以在实际工程中得到广泛应用,限制了整体施工技术水平的提升<sup>[2]</sup>。

## 2.2 管理因素

施工组织管理混乱问题。施工中如各部门、各工种间缺少协调、沟通等,会使得施工中的施工顺序、施工资源分配不合理等问题发生,从而出现施工进度滞后,施工质量得不到保障的问题,如由于材料供应部门没有及时提供施工所需管材等问题使得施工中断;施工质量控制、施工安全管理不到位问题,有些施工单位的质量检测体系不完善,对施工中的部分施工关键步骤和隐蔽工程等没有严格的施工质量检测;有些施工单位安全管理制度不完善,安全培训、安全防护措施等未落到实处,增大施工过程中的安全风险和质量隐患等。

## 2.3 人员因素

施工人员技术能力参差不齐是首要问题。部分施工人员未经过系统专业培训,对先进施工技术和工艺掌握不足,在实际操作中难以保证施工质量。如在复杂管道焊接工艺中,技术不熟练的工人容易出现焊接缺陷。管理人员管理能力不足也影响施工。管理人员缺乏科学的管理方法和丰富的管理经验,无法合理安排施工任务、协调各方资源,难以对施工过程进行有效的监督和控制。最后,缺乏有效的人才激励机制。施工单位对优秀施工及管理人才的激励措施不到位,导致人才积极性不高,人才流失严重,不利于施工技术水平的持续提升和技术团队的稳定发展。

## 3 提高热力管道施工技术水平的技术手段

### 3.1 引入先进的施工技术

为进一步提高热力管道施工技术水平,应积极应用施工新技术。一方面要推广应用智能化焊接技术,智能化焊接设备可对焊接参数加以控制,并确保焊缝质量的一致性,焊接速度快,不易出现因人为操作而造成的焊接缺陷。如智能化焊接设备可借助弧焊机器人进行复杂工况下的管道焊接作业,高质量完成热力管道焊接。另一方面要积极应用新技术、新材料进行热力管道保温,如纳米气凝胶保温材料具有非常低的导热系数,保温效果更好,其保温效果远远好于传统保温材料;与此同时还要应用高效的保温施工技术,确保高质量的保温施工,进一步提高保温效果,减少能源浪费<sup>[3]</sup>。

### 3.2 升级既有的施工技术

对既有的施工技术进行升级,是提高热力管道施工技术水平的重要途径。首先,针对传统焊接技术,可通过改进焊接工艺参数和操作方法来提升焊接质量。如优化手工

电弧焊的电流、电压和焊接速度等参数,提高焊缝的强度和致密性。其次,对管道防腐技术进行升级。研发新型防腐涂料,增强其耐腐蚀性和附着力,同时改进防腐施工工艺,如采用静电喷涂技术,使防腐涂层更加均匀,延长管道使用寿命。最后,对管道敷设技术进行优化。针对直埋敷设技术,改进管道的固定方式和补偿装置,更好地适应管道的热胀冷缩,减少管道变形和损坏的风险。

## 3.3 完善技术规范及标准

编制和完善技术规程及标准,对于保障热力管道施工技术水平不断提升发挥基础性作用。一方面,编制统一、明晰的技术规程。行业主管部门组织专家,结合国外先进经验和国内实际情况,制定热力管道施工各个环节的详细技术规程,并明确规定施工工艺、施工质量、检验标准等,为施工过程明确工作标准。定期对规程标准进行更新。随着材料、施工等科学、技术的不断进步,将新技术、新材料编入技术规程体系,及时废除落后的技术和材料标准,有效保证规程标准的先进与适宜。此外,组织施工单位相关人员进行技术标准及规程的培训学习,使其将规程标准真正吃透,理解熟悉,从而在实际施工中严格执行技术标准,促进提升施工技术水平的统一与稳定。

## 4 提高热力管道施工技术水平的管理手段

### 4.1 优化施工组织管理

优化施工组织管理是提高热力管道施工技术水平的关键环节<sup>[4]</sup>。首先,合理规划施工流程。在施工前,对整个工程进行详细的施工组织设计,明确各施工阶段的任务、顺序和时间节点,确保施工过程有条不紊地进行。如合理安排管道敷设、焊接、保温等工序的先后顺序,避免工序之间的冲突和干扰。其次,加强各部门、各工种之间的协调与沟通。建立有效的沟通机制,定期召开施工协调会议,及时解决施工过程中出现的问题。如材料供应部门与施工部门密切配合,确保材料按时、按量供应,避免因材料短缺导致施工停滞。最后,科学配置施工资源。根据施工进度和实际需求,合理调配人力、物力和财力资源,提高资源利用效率。

### 4.2 加强质量控制及安全管理

强化质量控安全与管理是热力管道施工技术水平实现的必要保证。一方面健全质量控制体系,严抓质量关。从原材料选购、施工到竣工验收等各个环节全严把质量控制关。严格把好原材料质量检测关,确保所购买的管材、管件等材料符合满足设计需要。在施工阶段全严格控制好关键工序和隐蔽工程的质量,施行落实质量责任制,将质量责任落实到个人具体落实。另一方面是强化安全管理。编制完整安全管理制度,加强对施工作业人员的安全培训,提升施工人员的安全意识与自我保护能力,安全防护意识,安全防护也是在施工现场设置显著的安全警示标志,配置必要的安全防护设施,对施工现场定期进

行安全检查与隐患排查，并且发现及时，消除安全隐患，施工做到施工过程安全无事故，为施工技术的实现提供安全稳定可靠的施工环境，为热力管道施工技术的实现创造安全稳定的施工环境。

### 4.3 引入先进的项目管理模式

引入先进的项目管理模式有助于提升热力管道施工技术水平。其一，采用项目全生命周期管理模式。从项目的规划、设计、施工到运营维护，进行全过程的管理和控制。在项目规划阶段，充分考虑施工技术的可行性和先进性；在施工阶段，加强对施工过程的精细化管理；在运营维护阶段，及时反馈施工技术存在的问题，为后续项目提供改进依据。其二，运用信息化项目管理手段。借助项目管理软件，实现对施工进度、质量、安全等信息的实时监控和管理。通过信息化平台，方便各参与方之间的信息共享和沟通协作，提高项目管理效率。其三，推行精益项目管理理念。以减少浪费、提高效益为目标，优化施工流程，提高施工质量和效率，充分发挥施工技术的优势，提升热力管道施工项目的整体管理水平<sup>[5]</sup>。

## 5 提高热力管道施工技术水平的人员培养手段

### 5.1 提升施工人员技术能力

提升施工人员技术能力是提高热力管道施工技术水平的核心。首先，开展系统的技术培训。根据施工人员的岗位需求和技术水平，制定针对性的培训计划，涵盖管道焊接、敷设、保温等关键施工技术。邀请行业专家和技术骨干进行授课，通过理论讲解、实际操作演示等方式，使施工人员熟练掌握先进的施工技术和工艺。其次，鼓励施工人员参加技术交流活动。组织施工人员参加行业技术研讨会、技能竞赛等活动，拓宽其技术视野，学习借鉴同行的先进经验和技能，激发其提升技术能力的积极性。最后，建立施工人员技术考核机制。定期对施工人员进行技术考核，将考核结果与薪酬待遇、岗位晋升挂钩，促使施工人员不断自我提升技术能力，确保施工一线人员具备扎实的技术功底，为高质量的热力管道施工提供人力支持。

### 5.2 加强管理人员管理能力培养

加强管理人员管理能力培养对提高热力管道施工技术水平起着重要的推动作用。其一，开展管理知识培训。组织管理人员参加项目管理、质量管理、安全管理等相关知识培训课程，学习先进的管理理念和方法，提升其综合管理素质。其二，培养管理人员的沟通协调能。通过组织沟通技巧培训、团队协作拓展等活动，提高管理人员与施工人员、各部门之间的沟通协调能，确保施工过程中信息畅通，管理指令能够有效执行。其三，提升管理人员的应变决策能力。通过案例分析、模拟演练等方式，让管

理人员在应对施工过程中的突发问题和复杂情况时，能够迅速做出科学合理的决策，保障施工顺利进行，充分发挥管理对施工技术应用保障作用。

### 5.3 构建施工及管理人才激励机制

构建施工及管理人才激励机制是稳定和提升热力管道施工技术团队的重要举措。一方面，建立物质激励机制。对在施工技术创新、工程质量提升、安全管理等方面表现突出的施工及管理人员，给予奖金、奖品等物质奖励，提高其工作积极性。另一方面，完善职业发展激励机制。为施工及管理人员提供广阔的职业发展空间，如设立技术专家岗位、管理晋升通道等，让优秀人才能够在企业中实现自身价值，增强其归属感和忠诚度。另外，营造良好的企业文化氛围。通过表彰优秀人才、宣传先进事迹等方式，营造尊重人才、鼓励创新的企业文化环境，激发施工及管理人才的工作热情和创造力，为提高热力管道施工技术水平提供持续的人才动力。

## 6 结论

综上所述，提高热力管道施工技术水平是一项综合性工程，涉及技术、管理和人员等多个层面。通过引入先进施工技术、升级既有技术、完善技术规范及标准，为施工技术提供坚实的技术支撑；优化施工组织管理、加强质量控制及安全管理、引入先进项目管理模式，构建良好的管理保障体系；提升施工人员技术能力、加强管理人员管理能力培养、构建人才激励机制，打造高素质的人才队伍。只有全方位、系统性地推进这些有效手段，才能切实提高热力管道施工技术水平，确保热力管道工程质量，为城市供热系统的安全、稳定、高效运行奠定坚实基础，满足城市发展和居民生活对供热的需求，促进城市的可持续发展。

### [参考文献]

- [1]李亚兴. 市政工程热力管道直埋敷设施工技术分析[J]. 四川建材, 2025, 51(1): 117-119.
  - [2]王永超. 大直径热力管道顶管过路施工关键技术探究和实践[J]. 建设科技, 2024(1): 114-116.
  - [3]吴海晓. 焊接技术在热力管道安装中的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(23): 193-195.
  - [4]李琳. 供热管道防腐保温技术探究[J]. 四川建材, 2024, 50(12): 232-234.
  - [5]俞天霞. 市政工程热力管道施工技术措施研究分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(33): 94-96.
- 作者简介：邢双虎（1986.10—），男，本科学历，毕业院校：中国人民解放军信息工程大学，所学专业：信息技术应用与管理，当前就职单位：石家庄环网供热有限公司，职称级别：助理工程师。

# 高陡边坡潜在崩塌体结构特征及稳定性评价方法

盛海峰

勤工建设集团有限公司, 浙江 杭州 311200

**[摘要]**高陡边坡潜在崩塌体往往是地质构造、风化作用及外部扰动等因素协同作用的产物,呈现出结构繁杂、失稳隐匿性高的特性,极大威胁到工程建设及运营的安全,确切鉴别崩塌体结构特征,科学评估其稳固性,是强化边坡灾害防控水平的要害,采取现场调查、结构分析和数值模拟等手段的综合运用方式,可精准辨别潜在崩塌体且完成风险判定,为边坡治理给予技术辅佐,有着良好的工程应用价值及推广空间。

**[关键词]**高陡边坡;潜在崩塌体;结构特征;稳定性评价;数值模拟

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16457

中图分类号: P642

文献标识码: A

## Structural Characteristics and Stability Evaluation Method of Potential Landslide Mass on High and Steep Slopes

SHENG Haifeng

Qingong Construction Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 311200, China

**Abstract:** Potential landslide bodies on high and steep slopes are often the product of the synergistic effects of geological structures, weathering, and external disturbances, presenting complex structures and high instability concealment, which greatly threaten the safety of engineering construction and operation. Accurately identifying the structural characteristics of landslide bodies and scientifically evaluating their stability is the key to strengthening the level of slope disaster prevention and control. The comprehensive application of on-site investigation, structural analysis, and numerical simulation can accurately identify potential landslide bodies and complete risk assessment, providing technical assistance for slope treatment, and has good engineering application value and promotion space.

**Keywords:** high and steep slopes; potential landslide mass; structural features; stability evaluation; numerical simulation

### 引言

交通、水利、矿山等工程区域中高陡边坡广泛分布着,受地质构造、风化作用及人为活动破坏影响,极易生成潜在崩塌的岩体,让工程安全与人员生命面临威胁,现阶段相关研究在识别技术、结构面参数解析与失稳机制研究方面取得一定进展,然而稳定性评价仍然存在方法单一、适应性能差等问题,以遥感技术、地质勘查及数值模拟相融合,创建多源信息融合的结构分析及稳定性评定体系,有利于提升高陡边坡灾害预测及治理能力。

### 1 潜在崩塌体的识别与分布特征

#### 1.1 潜在崩塌体识别标准与分类方法

开展边坡稳定性分析,前提是要准确识别潜在崩塌体,其识别手段主要有地形地貌识别、工程地质综合鉴别以及多源信息融合技术,地形地貌识别法主要是对遥感影像和数字高程模型(DEM)进行解译,判别断崖、滑移痕迹、陡坎这类典型地貌特征,可初步判断潜在的不稳定地带。工程地质综合判别法则整合地层岩性、结构面特质、水文地质情形及人类工程活动等要素,借助调查分析跟专家经验判定相协同的办法,划分潜在的崩塌体,伴随技术革新的步伐,采用遥感影像、三维激光扫描(LiDAR)与无人机电测绘等手段进行高精度识别已成普遍现象,达成了对边

坡微小形变、结构裂隙还有表层扰动特征的自动提取与识别,有效增进了识别的精准度和工作效率。

#### 1.2 高陡边坡崩塌体的形成机制

高陡边坡潜在崩塌体的形成机制显现出复杂多样的状况,关键受控于地质构造、风化破碎作用,还有地震、降雨等外部诱因,诸如断层、节理、褶皱的地质构造,在岩体中构建出天然的弱面,为滑移破裂营造了力学范畴的薄弱地带,于长期自然演化进程中,风化破碎作用改变了岩体结构的完整程度,造成岩石强度减弱,继而形成疏松又不稳定的崩塌岩体,降雨入渗会引起孔隙水压力攀升,造成结构面抗剪强度下降,地震依靠振动加速了裂隙的拓展和结构的扰动,极有机会诱发瞬间崩塌,上述因素一般以复合作用形式展现,共同作用影响边坡的稳定情形。

#### 1.3 潜在崩塌体的空间分布规律

地貌类型、地质结构及工程活动与潜在崩塌体空间分布紧密相连,处在山地丘陵、峡谷陡坡等地貌单元之间,基于坡角大,岩性表现为破碎状态,崩塌体的分布十分密集,以交通沿线、库岸边坡及矿区露天开采区为典型的高风险区域,中上部坡段为崩塌体主要集中处,受地形高差及重力作用方面的影响;就水平方向上的分布而言,沿着断裂带、层间软弱面和边坡开挖带,呈带状或者斑块状聚集成

布开来,按照典型工程区域实例的统计分析说明,潜在崩塌体在结构复杂、岩性急剧变化及扰动强烈的区域更集中,呈现显著的地带分布规律与工程敏感属性,这些分布规律对灾害预警及防控区域的划分有着极为重要的指导价值。

## 2 崩塌体结构特征分析

### 2.1 结构面的几何特性

结构面几何形态在很大程度上对崩塌体稳定性起控制作用,含有节理裂隙走向、所呈倾角、间距状况等参数,岩体的完整性及其潜在滑动方向由这些几何特征决定,尤其当处于高陡边坡的时候,节理面在空间上的组合往往会生成不利于稳定的破裂面。节理走向与边坡坡面间夹角越趋相近,其失稳的潜在风险越高,结构面交汇状况也对崩塌模式起到关键影响,典型例子里,楔形体往往是由两组倾向汇聚的节理面构成的,受重力影响,沿交线方向极易丧失稳定性,交错组合的多组节理或许会形成孤立块体,存在滚落、滑移的潜在风险,结构面空间上的组合样式,抉择了潜在崩塌体的几何轮廓和破裂的路径,作为结构稳定性分析的关键基础。

### 2.2 结构面力学属性与弱面识别

结构面力学性质直接影响其抗剪强度和对潜在滑移的把控能力,诸如摩擦系数、黏聚力、剪切强度等是常见参数,经由现场剪切试验、实验室岩样测试也或反演分析取得,因长期处于风化、水化及剪切作用中,也许会产生强度减小的软弱夹层及劣化条区,就像泥化层、页岩层抑或断层泥带,这些区域往往呈现出高含水量、低强度以及高压缩性的特点,成为左右崩塌体稳定性的关键薄弱之处,借助岩芯观察、钻探揭露以及地球物理手段来辅助辨认这些弱面,可以增进潜在崩塌体稳定性评估的精确性,防止常规判别方法产生的识别遗漏。

### 2.3 潜在崩塌体结构类型划分

就结构面组合样式和岩体结构特性而言,潜在崩塌体可归类为块体状、层状、楔状三种典型类型,块体状结构多存在于节理发育、交错密集的岩体里面,易造就孤立存在的滑移块体,其失稳形式主要是滑移、翻倒及滚落;层状结构体现出顺层岩体、沉积岩中软硬交替出现的结构,呈现明显的剪切以及沿层滑移特性;两组或多组交汇节理交汇后构成了楔状结构的楔体,在重力的作用下沿交线方向出现滑移,各结构类型的破坏模式差异显著可见,需根据具体几何形态及力学条件开展分类鉴别与稳定性分析,结构类型的划分可促进对崩塌体成因的明晰,同时为制订具有针对性的治理手段提供了支撑。

## 3 高陡边坡稳定性影响因素分析

### 3.1 自然因素分析

持续或突发的多种自然因素作用影响高陡边坡的稳定性,而降雨、地震以及风化作用的影响尤为显著,作为诱发边坡失稳的常见外在因素,降雨入渗位列其中,大量

雨水渗进坡体以后,不仅可加大岩体孔隙水压力,弱化结构面的抗剪能力,也有可能性引发裂隙扩展及浅表土层软化,进而让整体稳定性出现下滑。作为突发性极为强烈、破坏力极大的因素,可依靠振动扰动快速激发岩体内能的释放,诱发结构面错移、节理张开以及坡体整体的滑动,尤其在节理充分发育、结构呈松散状态的区域,这种瞬间的效应极易触发坡体的崩塌失稳,作为长期自然演化进程的风化剥蚀作用,会逐步削弱岩石的强度,催生风化带与松散的层面,引起结构面的形变与黏结性能的退变,最终积累为触发滑坡、崩塌的风险源头。

### 3.2 工程扰动因素分析

工程活动会因人为因素,对高陡边坡结构稳定性造成改变,尤其在基础设施建设紧凑的地区,这种表现愈发突出,边坡开挖的时候,往往会伴随大量卸荷扰动,原应力平衡状态被冲破,引发坡体结构松弛与位移集聚,若在开挖角度、深度和支护节奏方面控制不合理,容易引发滑动、崩落等现象。因道路及隧道施工而产生的振动与掏空效应,也会引起岩体内部节理结构的扰动,引起裂隙张开、结构面的剪切强度减弱,破坏整体的连贯状态,即使爆破作业能提高施工效率,但产生的高频震动波在短时间内可造成节理扩展、岩体裂解,甚至引发潜在滑动面瞬间失去稳定,工程扰动因素不但造成边坡物理形态变化,还破坏其结构完整性,进一步加剧了结构应力失衡与破坏扩展势头,施工设计当中必须高度重视。

### 3.3 结构-应力协同机制

从本质上说,边坡稳定性是岩体结构和应力场相互作用的产物,应力传递路径的走向由岩体结构决定,各异的结构组合形式催生应力集中或衰减的区域,若节理面走向与应力主方向呈现一致,结构面较易充当应力释放的地带,出现滑裂及剪切破坏情形。面对复杂的地质环境时,较易出现局部应力的集中区,就像结构面交汇的位置点、软弱夹层的边界等,极易成为失稳的起始开端,多类应力源同时施加效力,似地应力、开挖扰动应力与地震动力共同叠加起来,会激起耦合作用显现,极大地降低了岩体的整体稳固性,结构系统跟应力耦合机制方面的分析,有益于把握边坡从稳定转变为失稳的演化路线,为后续的精准确判与有效控制提供理论支撑,统筹权衡自然、工程及结构因子的共同作用,是开展边坡稳定性评价的核心要点。

## 4 潜在崩塌体稳定性评价方法

### 4.1 经验判别法

经验判别法因操作简便、反应迅速,广泛用于工程中的边坡稳定性初判。常见方法有RMR、Q系统和Bieniawski判别法,主要依据节理密度、岩体完整性、地下水情况及结构面条件进行定性和半定量分析,尤其在勘察资料不足时,该法能提供有价值的参考方向。其侧重于地质经验积累,结合现场裂隙状态、坡面变形、滑带泥及软弱带走向

等信息进行判断。尽管结果存在主观性与不确定性,但在边坡众多、工期紧张的工程中具有重要的实用价值,可初步筛选潜在崩塌体。

#### 4.2 极限平衡与力学模型法

极限平衡分析(LEA)方法成为边坡稳定性评价的经典理论依托,设想滑体达到极限平衡之态,构建力学模型以分析滑体在重力、抗剪力与外荷载施加下的稳定性,诸如瑞典条分法、Bishop法、Janbu法等为常用模型,该方法能较精准地算出安全方面的系数,确定潜在滑动面的位置及其形态,尤其对层状岩体、顺层边坡结构具有适用性。除进行整体稳定分析以外,运动学视角下的岩体块体稳定性分析同样是关键内容之一,着重分析各类结构体(如块体、楔体、板体)在节理管控之下的位移态势、滑移路径与破坏形式,该法基于结构面参数,适用于地质信息完整区,通过构建模型评估边坡对自然与工程扰动的响应,支撑设计治理。

#### 4.3 数值模拟与智能化方法

伴着计算技术与人工智能的发展,数值模拟与智能化方法渐渐成为边坡稳定性评价的关键趋势,基于有限差分(FLAC3D)、离散元(UDEC)等相关软件平台,能对复杂地质结构、应力变化及破坏演化进程进行模拟,达成对潜在崩塌体的动态化分析。这类方法能顾及结构面非线性特性、多应力场耦合、地下水流动等多样的影响因素,拥有较高精度与良好的可视化呈现能力,凭借多场耦合分析操作,还可预计裂隙扩展、滑裂面发展及变形区的演变进程,揭示潜藏的失稳原理,借助支持向量机(SVM)、随机森林(RF)等机器学习算法构建起的边坡风险预测模型,也愈发被重视起来。多源数据融合技术结合遥感、激光点云与传感监测,构建边坡稳定性综合评价体系,融合传统力学与数据驱动方法,提升预测精度与管理效率,已成复杂边坡智能化分析趋势。

### 5 应用实例分析与方法验证

#### 5.1 典型工程案例选取与背景介绍

将四川雅安至康定高速公路某段边坡当作典型工程案例,开展潜在崩塌体结构的分析与稳定性评价验证,该路段途经龙门山断裂带地质繁杂的区域,以震旦系变质岩、二叠系砂岩与页岩互层为主构成地层,可见多组构造裂隙发育之象,岩体风化现象十分显著。基于多年降雨以及震后扰动影响,在边坡中部存在着多个潜在崩塌体,部分地段能看到明显的裂隙张开以及轻微变形迹象,体现了高陡边坡的典型特质,按照前期勘察资料及遥感解译的相关结果,选定一段高度约76米、坡度近乎75°的边坡区域作为分析目标。

#### 5.2 结构特征识别与稳定性分析过程

借助无人机三维激光扫描与现场测绘相结合之法,构建起高精度数字地形模型与结构面分布图示,辨识出主控

节理群体走向为N40°E,倾角近似60°,有一组与它近乎垂直的剪切裂隙相伴,依照识别得到的结果,采用FLAC3D搭建三维数值模型,对自然工况以及极端降雨条件下边坡的响应状况展开模拟。同时把极限平衡法跟块体运动学分析法结合起来,计求出潜在滑移体的安全系数,然后评估结构面存在的联动滑移风险,采用引入岩体质量指标(RMR)、剪切强度折减法(SSR)和设定变形监测阈值的方式,把边坡稳定性等级加以量化,由此把风险等级分作中等偏高,推荐采用介入手段。

#### 5.3 评价结果验证与安全建议

把评价结果与近两载现场监测数据做对比确认,囊括边坡位移监测、裂缝张开速率的相关情况及地下水水位变动,显示出模型预测区域跟实测不稳定点高度一致,误差维持在5%以内,证实此方法的有效性与精度可靠,就分析得到的结果而言,推出锚杆加固与钢筋网喷护相组合的支护规划,在节理关键交汇处安装锁脚锚索,加大整体抗滑力度,还建议在雨季前后加强对监测频率的把控,投放地表裂缝位移监测探头,实施动态性预警工作,以本案例为基础构建的分析方法对类似高陡岩质边坡有良好适应性,能为西南山区高速公路及水电工程提供可套用的技术模式与治理办法。

### 6 结语

由于结构复杂、致灾隐蔽性突出,高陡边坡潜在崩塌体,给工程安全构成极大威胁,借助对其结构特征做系统剖析,知晓了节理几何参数、力学属性及其类型划分的关键作用,把经验判别、力学模型跟智能化手段相联合,构建出融合多方法的稳定性评判体系,实际案例的验证结果显示,该方法具备较强的适用性以及工程指导意义,往后需提升多时相监测技术与人工智能在边坡预警中的融合应用程度,强化对崩塌灾害智能识别与动态评估水平。

#### [参考文献]

- [1]朱磊.近水平岩层高陡边坡崩塌机理及风险评价方法研究[D].西安:长安大学,2021.
  - [2]赖渊平,于正兴.尾矿坝渗流对露天采场高陡边坡稳定性影响分析[J].矿产勘查,2024,15(1):36-42.
  - [3]刘惠洋,张东亮,李光,等.复杂断层构造高陡边坡稳定性计算分析[J].有色金属(矿山部分),2025,77(1):38-44.
  - [4]周创兵,姜清辉,姚池,等.水利水电工程高陡边坡变形与稳定性研究进展及挑战[J].水力发电学报,2025,44(1):1-17.
  - [5]王东红.软弱夹层对高陡边坡稳定性的影响及勘察方法优化[J].工程机械与维修,2025(2):79-81.
- 作者简介:盛海峰(1976.11—),工作单位:勤工建设集团有限公司。

## 浅析高铁站房结构设计要点

周天平

中国铁路上海局集团有限公司嘉兴车务段, 浙江 嘉兴 314000

**[摘要]** 中国的高铁事业从 2000 年开始至今一直处于蓬勃发展阶段, 目前中国高铁无论是里程数还是建造技术和管理水平均处于世界领先地位, 高铁已成为中国的一张靓丽名片。随着《新时代交通强国铁路先行规划纲要》推行, 近些年来我国高速铁路网建设的快速发展, 使得人们的出行得到了极大的改善, 各地方的既有铁路车站已不能满足快速增加的客流需要, 基于此, 全国各地的高铁车站新建及改扩建应运而生, 高铁站房设计技术也日新月异, 已积累了丰富的经验, 需要总结和提高, 为今后大型高铁乃至机场、体育场馆等大型公共建筑的设计提供借鉴。本论文针对高铁站房结构设计中的技术要点和注意事项进行分析探讨。

**[关键词]** 高铁站房; 结构设计; 技术要点和注意事项

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16445

中图分类号: TU248.1

文献标识码: A

## Brief Analysis of the Key Points of Structural Design for High-speed Railway Station Buildings

ZHOU Tianping

Jiaxing Depot of China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Jiaxing, Zhejiang, 314000, China

**Abstract:** Chinese high-speed rail industry has been in a booming stage since 2000. Currently, Chinese high-speed rail is at the forefront of the world in terms of mileage, construction technology, and management level. High-speed rail has become a beautiful business card for China. With the implementation of the "Outline of the Railway Pilot Plan for a New Era of Transportation Power", the rapid development of Chinese high-speed railway network construction in recent years has greatly improved people's travel. Existing railway stations in various places can no longer meet the rapidly increasing passenger flow needs. Based on this, new construction, renovation and expansion of high-speed railway stations have emerged across the country. The design technology of high-speed railway station buildings is also advancing rapidly, and rich experience has been accumulated, which needs to be summarized and improved to provide reference for the design of large-scale high-speed railways, airports, sports venues and other large public buildings in the future. This paper analyzes and discusses the technical points and precautions in the structural design of high-speed railway station buildings.

**Keywords:** high-speed railway station building; structural design; technical points and precautions

### 引言

中国的高铁事业从 2000 年开始至今一直处于蓬勃发展阶段, 目前中国高铁无论是里程数还是建造技术和管理水平均处于世界领先地位, 高铁已成为中国的一张靓丽名片。随着《新时代交通强国铁路先行规划纲要》推行, 近些年来我国高速铁路网建设的快速发展, 使得人们的出行得到了极大的改善, 各地方的既有铁路车站已不能满足快速增加的客流需要, 基于此, 全国各地的高铁车站新建及改扩建应运而生, 高铁站房设计技术也日新月异, 已积累了丰富的经验, 需要总结和提高, 为今后大型高铁乃至机场、体育场馆等大型公共建筑的设计工作提供借鉴。

作者参与了近些年来既有铁路龙游站站房改扩建工程、沪昆铁路义乌高架站房建设工程、九景衢铁路常山站站房改扩建工程等大中型高铁站房新建及改扩建工程的设计咨询工作。结合相关经验, 对高铁站房结构设计中的技术要求和注意事项进行分析探讨。

### 1 高铁站房的特点

高铁站房具有以下特点: (1) 平面尺寸大, 最大平面

尺寸超过 500m。(2) 楼盖及屋盖柱距大, 楼盖最大柱距超过 60m, 大部分超过 20m; 屋盖柱数量减少, 屋盖跨度加大, 最大跨度超过 100m, 一般也超过 40m, 大跨度楼盖和屋盖给结构设计带来较大的挑战。(3) 建筑形态复杂, 大型高铁站房建筑面积大, 一般位于省会城市, 建筑设计必须体现省会大城市的文化和历史, 是省会城市乃至全省的一张名片, 往往也是城市中新城的中心。(4) 建筑功能复杂, 为满足城市交通无缝衔接, 一般将高铁车站建筑与国铁、地铁合建; 对结构设计而言, 高铁站房建筑除大跨度、复杂建筑结构外, 结构荷载种类繁多, 既有一般的建筑荷载, 也有铁路桥梁荷载(包括动力荷载); 车站结构设计要满足建筑结构、铁路行业等相关标准的规定, 设计方法和设计规定差异较大。以下三个大中型枢纽站房概况如表 1 所示。

根据表 1 站房概况所示, 除常山站规模较小外, 其余站房主体区域基本上均采用钢筋混凝土组合结构(部分大跨度框架梁采用预应力结构), 屋盖均采用空间网架或网桁结合的结构形式。

表1 站房概况

站名	站房建筑面积 (m <sup>2</sup> )	平面尺寸 (m)	站房结构	屋盖结构
义乌站	75000	128×380	钢管混凝土柱+预应力混凝土框架梁(钢箱梁)	正交空间管桁架结构+空间网架
龙游站	15000	163×55	钢筋混凝土柱(局部为型钢混凝土框架柱)+钢筋混凝土框架梁(局部为型钢混凝土框架梁)	箱型桁架结构+空间网架
常山站	6000(不包含前部换乘大厅)	108×45	钢筋混凝土框架	钢筋混凝土屋盖

## 2 高铁站房结构设计要点

### 2.1 站房结构设计、研究的基本思路、技术路线和目标

结构设计应首先满足建筑使用功能的要求,同时应注重创新,创新的根本目的是获得良好的经济效益和社会效益。结构设计一方面要满足规范的要求,同时创新不可避免地存在突破规范的问题,需要开展相关的科研工作。为了确保工程安全,结构创新设计应遵循理论分析与结构试验、结构监测相结合的技术路线。

### 2.2 站房屋盖结构设计

站房屋盖设计应注意以下几个要点<sup>[3]</sup> (1) 应考虑结构合理受力、建筑形态、建筑采光、施工组织、建筑运维等因素,大跨度屋盖结构一般采用空间网格结构,为一种或几种类型空间网格组合的结构。充分利用各种空间结构的受力特性,发挥其材料特长,使结构合理受力,传力路径直接,是确保屋盖结构“安全、经济、适用和美观”的基本要求。(2) 屋盖结构选型应充分利用建筑形态,将结构合理受力与建筑形态巧妙结合,达到“结构即建筑”的设计目标。(3) 屋盖荷载作用效应:对大平面屋盖结构而言,除恒载外,应特别关注温度作用和风荷载。降低温度作用主要是降低结构的边界约束或减小屋盖平面尺寸;而屋盖体形、刚度对风荷载影响较大。(4) 复杂空间钢结构在各种荷载工况、不同初始缺陷下的弹塑性全过程分析是非常重要的,对于新型结构形式,必要时需进行结构试验确定其承载力,确保结构安全、可靠。

### 2.3 站房高架层(含商业夹层)楼盖结构设计

站房楼盖设计应注意以下几个要点<sup>[4]</sup> (1) 柱距大于20m 高架层楼盖,一般采用型钢混凝土或预应力混凝土、钢桁架楼盖,由于受建筑层高和下部列车限界的限制,再加上荷载较大,楼盖结构高度受限,楼盖竖向刚度较弱,需充分考虑人行荷载和列车振动荷载作用下楼盖舒适度,采取必要的减振措施。(2) 与屋盖一样,大平面必然导致温度作用效应较大,如何降低温度作用对结构安全和经济性极为重要。

### 2.4 站房结构健康监测

大型高铁站房结构受力复杂,人员聚集度高,铁路运营安全责任重大,需在运营阶段进行结构关键部位的健康监测。健康监测内容的目标主要是对结构的安全性进行评价与预警;对荷载的长期效益以及结构的老化、病变进行定期的综合性诊断;建立结构的健康档案,为建筑的日常运行与维护提供可靠依据;通过监控中心再现结构的当前

受力状态,向管理者提供相关信息。

## 3 高铁站房结构设计注意事项

### 3.1 规范的更新

站房结构设计时应考虑现行规范的条文更新。为适应国际技术法规与技术标准通行规则,2021 年住房和城乡建设部印发了《工程结构通用规范》《建筑与市政工程抗震通用规范》《建筑与市政地基基础通用规范》《混凝土结构通用规范》等9 本全文强制的结构通用规范,强制性工程建设规范实施后,现行相关工程建设国家标准、行业标准中的强制性条文同时废止。现行工程建设地方标准中的强制性条文应及时修订,且不得低于强制性工程建设规范的规定。现行工程建设标准(包括强制性标准和推荐性标准)中有关规定与强制性工程建设规范的规定不一致的,以强制性工程建设规范的规定为准。

《工程结构通用规范》(GB 55001—2021)<sup>[1]</sup>第 3.1.13 条建筑结构的作用分项系数、4.2.2 条民用建筑楼面均布活荷载标准值的调整及《建筑与市政工程抗震通用规范》(GB 55002—2021)第 4.3.2 条地震作用的分项系数的调整对站房结构设计影响较大。

根据几本通用规范中房屋建筑结构荷载的分项系数、车站的活荷载标准值及地震作用的分项系数的标准较之前的规范均有所提高,结合以上几处站房工程预算费用的对比分析,执行《工程结构通用规范》(GB 55001—2021)<sup>[1]</sup>、《建筑与市政工程抗震通用规范》(GB 55002—2021)<sup>[2]</sup>后站房结构的建设费用增加约 8%~10%。

### 3.2 施工阶段的不利情况。

站房结构设计时应充分考虑施工阶段的各种不利情况因素。根据《工程结构通用规范》(GB 55001—2021)<sup>[1]</sup>第 3.1.5 条要求:结构设计时选定的设计状况,应覆盖正常施工和使用过程中的各种不利情况。各种设计情况均均应进行承载能力极限状态设计,持久设计状况尚应进行正常使用极限状态设计。

以既有铁路龙游站站房改扩建工程为例,为避免施工期间塔式起重机的倾覆影响既有线路的运营及施工场地的限制,塔式起重机的摆设位置在施工屋面期间无法覆盖整个空间网架提升,给施工屋面造成了一定的困难。经设计单位与施工单位的反复协商后,在二层候车室未施工的区域增设移动的小型起吊设备,用以辅助塔式起重器提升空间网架。二层候车室未施工的区域活荷载标准值进行了相应的提高,相关的楼板、楼面梁及框架柱配筋也进行了加强。



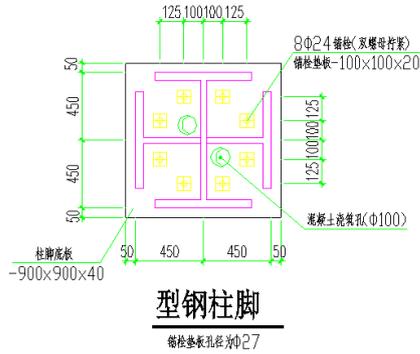


图2 埋入式型钢柱脚节点详图

### 3.4 站房结构健康监测

大型高铁站房结构受力复杂,需在运营阶段进行结构关键部位的健康监测。

以沪昆铁路义乌高架站房建设工程为例,监测范围为新建高架站房(杭长、沪昆场部分)及整体钢屋盖结构,监测时间从站房和屋盖钢结构拼装施工开始到运营阶段,总时间为36个月。

监测总体目标:监测系统可自动计算、并可实时查询结构关键指标(应力、挠度、温度、风速风向和加速度等);监测系统可实时预警、评估结构安全,从而达到降低运营风险和节约专业检测评估成本的目的。

监测内容:结合高铁站房的结构特点,确定健康监测的内容、参数和限值标准。主要为重要结构构件的挠度、应变、加速度和温度;屋面结构的风速风向、挠度、应变、

加速度等内容。



图3 监测内容图例

### 4 结束语

综上所述,高铁站房结构设计应结合站房建筑的特点,需对一些大跨度的楼盖、屋盖的结构形式作出不断地研究和创新,同时应特别注意规范的更新内容、施工阶段的不利情况、组合结构节点设计及结构健康监测等设计中关键的注意事项,以达到“安全、经济、适用、绿色、美观、耐久”的目标。

#### [参考文献]

[1]中华人民共和国住房和城乡建设部.工程结构通用规范:GB55001-2021[S].中国建筑出版传媒有限公司,2021:4-9.

[2]住房和城乡建设部.建筑与市政工程抗震通用规范:GB55002-2021[S].中国建筑出版传媒有限公司,2021:9-20.

[3]周德良.大型高铁站房结构设计关键技术[Z].

作者简介:周天平,男,工程师,主要从事工程管理、设计方案咨询、审查等工作。

# 绿色施工技术在上海五建办公大楼项目中的集成应用与效益分析

范孝俊

上海建工五建集团有限公司, 上海 200063

[摘要]文中主要以上海五建办公大楼项目绿色施工技术体系为研究对象,对项目整体创新性集成应用情况,如深基坑伺服支撑、水资源梯级利用等多项关键技术进行梳理。项目通过构建“资源循环-智能监测-协同管理”三位一体实施模式,实现节约成本131.7万元,形成了可复制于城区复杂环境下的绿色施工整体实施方案。项目数据表明,该绿色施工技术可使综合建造成本降低4.2%,为其他类似项目提供了重要实践参考。

[关键词]绿色施工;深基坑工程;资源循环;智能监测;经济效益

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16478

中图分类号: TU17

文献标识码: A

## Integrated Application and Benefit Analysis of Green Construction Technology in the Shanghai Fifth Construction Office Building Project

FAN Xiaojun

Shanghai Construction No. 5 Construction Group Co., Ltd., Shanghai, 200063, China

**Abstract:** The article mainly takes the green construction technology system of the Shanghai Fifth Construction Office Building project as the research object, and sorts out the overall innovative integrated application of the project, such as deep foundation pit servo support, water resource cascade utilization and other key technologies. The project achieved a cost savings of 1.317 million yuan by constructing a three in one implementation model of "resource recycling-intelligent monitoring-collaborative management", forming a green construction overall implementation plan that can be replicated in complex urban environments. Project data shows that this green construction technology can reduce overall construction costs by 4.2%, providing important practical references for other similar projects.

**Keywords:** green construction; deep foundation pit engineering; resource recycling; intelligent monitoring; economic benefits

### 1 背景绪论

#### 1.1 绿色施工技术的发展现状和重要性

绿色施工技术是指在工程施工过程中,采用环保、节能、减排的技术措施和方法,实现资源高效利用和环境保护的新型施工模式。通过“四节一环保”的核心理念,以科学管理以及新技术应用,最大限度节约资源、减少对环境负面影响。在国际上,发达国家绿色施工起步早,技术成熟,已形成完整体系。在国内,随着可持续发展理念深入人心,绿色施工逐渐受到重视,发展迅速且潜力巨大。它不仅是建筑行业实现低碳转型的关键,也是提升企业竞争力、保障生态环境、促进经济高质量发展的必然要求。

#### 1.2 国家政策对绿色施工技术的支持

国家和地方政府对绿色施工技术大力支持。国务院印发《2030年前碳达峰行动方案的通知》,要求推广绿色低碳建材和绿色建造方式。住建部开展绿色建造试点工作,在国内各地选取项目试点,给予各类补助以及支持。为绿色施工相关技术的应用提供了良好的政策环境。

### 2 工程概况与实施挑战

#### 2.1 项目基本情况

上海五建办公大楼项目位于普陀区大渡河路与金沙江路交叉口,总建筑面积22,960.36m<sup>2</sup>,地下3层(深度

17.04m),地上12层钢框架结构。项目毗邻运营中地铁15号线及220kV高压线,周边环境敏感系数达1级(图1)。基坑采用800/1000mm厚地下连续墙围护,设置四道支撑体系,其中B区采用带轴压伺服系统的钢支撑。项目具有三大典型特征:

(1) 环境敏感:紧邻运营地铁15号线(水平净距1.8m)及220kV高压线(垂直净空19.5m)。

(2) 技术复杂:基坑支撑体系多样,整体工程新技术应用广泛。

(3) 绿色标准:目标获得LEED铂金级、WELL铂金级双认证。



图1 项目区位示意图

表1 项目主要技术参数

项目	参数
基坑面积	4058m <sup>2</sup>
围护结构	800/1000mm 地连墙
钢支撑规格	∅609×16mm
水资源利用率	35.7%

2.2 核心实施难点

(1) 地铁保护要求：基坑东侧与地铁结构共墙，允许变形量≤2mm。

(2) 资源约束：场地利用率仅 72%，传统施工机械受限高压线安全距离（需保持 6m 净空）。

(3) 环境标准：噪声昼间≤65dB(实测峰值 69.8dB)，扬尘浓度 PM10<0.5mg/m<sup>3</sup>。

3 绿色施工技术体系构建

3.1 技术框架设计

建立“四节一环保”技术体系，重点突破深基坑支护、资源循环、数字化管控三大领域。



图2 技术体系架构图

3.2 关键技术应用

3.2.1 深基坑绿色支护技术

(1) 分坑施工+伺服钢支撑系统

深基坑伺服支撑系统由智能伺服油缸、支撑轴力监测传感器、控制系统等组成。

智能伺服油缸可根据监测数据自动调整轴力，支撑轴力监测传感器实时反馈支撑轴力数据，控制系统则对数据进行分析处理并发出控制指令。

在上海五建办公大楼项目中，首先根据基坑地质条件和周边环境，对整体支撑方案进行详细设计，确定支撑布置和参数。然后，精准安装伺服支撑系统，确保各部件连接牢固。在施工过程中，实时监测轴力变化，系统自动调整以保持支撑稳定，有效控制了基坑变形，保障了基坑施工的安全与质量。

方案中，通过将基坑划分为A、B两区（A区 3,557m<sup>2</sup>，B区 501m<sup>2</sup>），采用差异化支护策略。B区采用∅609×16钢管支撑（带3000kN油压伺服系统），支撑轴力动态调控精度达±5%。相较传统混凝土支撑：

◎减少混凝土用量 120m<sup>3</sup>（节约率 23.1%）。

◎钢材节约 3.2t（表1）。

◎围护结构最大水平位移控制在 18.3mm（设计限值 25mm）。

表2 支护体系技术经济对比

技术指标	传统支撑	伺服支撑	节约率
混凝土用量(m <sup>3</sup> )	520	400	23.1%
钢材用量(t)	28.5	25.3	11.2%
施工周期(天)	45	32	28.9%
变形控制(mm)	4.2	1.8	57.1%

3.2.2 可回收预应力地连墙技术

在西侧 A2-3 槽段应用可回收无黏结预应力技术，单幅地墙节约钢筋 0.78t。通过预埋 HDPE 套管实现预应力筋 100%回收，材料重复利用率达 85%。



图3 可回收无黏结预应力筋图

3.2.3 资源循环利用系统

(1) 封闭降水循环系统

设置3套100m<sup>3</sup>/h泥水分离设备，建立三级水循环体系：

- A. 施工降水→沉淀池→冲洗用水（利用率 62%）。
  - B. 混凝土养护用水→回收水箱→降尘喷洒（利用率 35%）。
  - C. 生活污水→MBR 处理→绿化灌溉（利用率 18%）。
- 累计节约市政用水 16,231 吨，循环水总量 25,378 吨，综合水耗降至 3.8m<sup>3</sup>/万元产值。

(2) 建筑垃圾再生技术

采用移动式破碎筛分机组（处理能力 50t/h），将拆除混凝土转化为 5~20mm 再生骨料。用于施工便道基层铺设，减少外运费用 12.8 万元。

表3 建筑垃圾资源化统计

材料类型	产生量(t)	再利用量(t)	利用率	替代天然材料(t)
混凝土碎料	412	256	62.1%	189
废旧钢材	50	40	80.0%	36
木质模板	101	65	64.4%	52

3.2.4 数字化管理平台

构建 BIM+IoT 智慧工地系统，实现：

A. 实时监测：部署 32 个应变传感器（采集频率 1 次/10min）。

B. 智能预警: 建立三级报警机制(70%、85%、95%阈值)。

C. 碳排放管控: 施工阶段碳排放强度  $58\text{kgCO}_2/\text{m}^2$  (行业均值  $72\text{kg}$ )。



图4 数字化管理平台图

## 4 实施效果分析

### 4.1 经济效益

通过绿色施工措施累计节约 131.7 万元, 主要来源于:

(1) 直接节约: 材料费 87.2 万元 (占比 66.2%)。

(2) 间接效益: 工期缩短 45 天 (节约管理费 44.5 万元)。

表4 经济效益汇总表

项目	节约量	经济效益(万元)	ROI	投资回收期(年)
节水	41,609 吨	20.5	3.8 : 1	1.1
节能	169,816kWh	38.8	4.2 : 1	0.9
节材	钢材 71.8t	40.4	5.1 : 1	0.8
技术优化	工期缩短 45 天	32.0	/	/

注: ROI=效益/投入成本

上海五建办公大楼项目在绿色施工技术的应用下, 取得了显著的经济效益。

从成本节约角度看, 深基坑伺服支撑技术减少了传统支撑方式的材料消耗和人工费用, 水资源梯级利用系统降低了水费支出, 其他如智能监测技术减少了质量问题的返工成本, 资源循环利用也节省了材料采购成本。

节能, 节材, 节水以及技术优化等措施为项目累计节约的资金约占项目总产值的 0.7%。

### 4.2 环境效益

该项目在环境效益方面也取得了一定的成绩。

在节能减排上, 主要通过各种新技术应用以及相关的技术优化, 减少了能源消耗。部分区域采用了可再生能源供应电力, 进一步降低了碳排放。

水资源的梯级利用大幅减少了新鲜水资源的消耗, 降低了污水排放量。

在环境保护方面, 严格的扬尘控制措施、噪音控制手段等, 有效改善了施工过程中对周边环境造成的不良影响。

施工废弃物的分类处理和资源循环利用, 减少了垃圾填埋量和对土地资源的占用, 对保护城市生态环境起到了积极作用, 为上海市的绿色发展贡献了力量。

(1) 噪声控制: 昼间 64.2dB (标准 70dB), 夜间 52.3dB

(标准 55dB)。

(2) 扬尘浓度: PM10 均值  $0.43\text{mg}/\text{m}^3$  (低于上海市标准 14%)。

(3) 碳减排: 减少碳排放  $1,286\text{tCO}_2$  (相当于种植 7,300 棵乔木)。

表5 典型施工阶段环境监测数据

监测点	施工阶段	PM10 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	噪声 (dB)
东侧围挡	土方开挖	0.68	69.2
南侧道路	结构施工	0.35	63.5
北侧高压线区域	支护施工	0.41	67.8

## 5 技术创新与推广价值

### 5.1 技术突破

(1) 高压线下施工装备改造

研发成槽机截杆技术, 将机械高度从 18m 降至 13.5m, 顶部加装绝缘保护装置, 实现距 220kV 高压线 6m 安全施工。为类似有净空控制要求或者高压线保护需求的项目提供了有效的借鉴。

(2) 深基坑水资源梯级利用

突破传统的基坑降水以及项目用水, 节水模式。围绕着“降水-冲洗-养护-降尘-灌溉”五级用水, 建立了水资源梯级利用系统, 系统设计遵循“按质用能、梯级利用”的原则。

在上海五建办公大楼项目中, 首先对施工现场的水资源进行全面调查, 包括雨水、生活污水、施工废水等不同来源的水。

然后, 根据水质和水量的差异, 将水资源分为高、中、低三个等级。高水质水用于生活饮用和混凝土养护等, 中水质水用于冲洗车辆和道路, 低水质水用于绿化灌溉和降尘等。

通过设置雨水收集池、污水处理设施和水循环管道等, 实现水资源的循环利用。雨水收集池收集雨水, 经简单处理后用于低水质用途; 生活污水和施工废水经污水处理设施净化后, 用于中水质用途, 有效提高了水资源的利用效率, 减少了水资源浪费。

比传统模式节水 40%。

(3) 在定型化设备优化, 加强周转使用率上卓有成效, 获得实用新型专利 2 项(ZL2018 2 1907065.4) (ZL2019 2 2460541.3)

### 5.2 管理模式创新

在上海五建办公大楼项目中, 构建了“资源循环-智能监测-协同管理”三位一体模式。

在资源循环方面, 对施工废弃物分类处理, 可回收材料回收再利用, 不可回收材料无害化处理, 实现资源高效循环。

智能监测上, 利用 BIM 技术和物联网技术, 实时监测施工环境指标、质量指标等, 及时发现并解决问题。

协同管理则是通过整合各方资源, 加强各部门沟通协

作,形成整体合力。通过 BIM 平台集成设计、施工、运维数据,减少设计变更 23 次通过该模式,实现了资源利用效率的最大化、施工过程的智能化以及管理的高效协同,为绿色施工提供了有力保障,推动项目绿色施工水平迈向新高度。

### 5.3 行业推广价值

技术成果已应用于我司后续承建的多个项目:

平均节约成本 6.2% (最高达 9.1%)。

缩短工期 8~15 天/万 m<sup>2</sup>。

上海五建办公大楼新建工程项目获评 2021 年度上海市绿色施工样板工程以及中施企协绿色施工评价二星。

项目作为绿色施工的标杆工程,树立了良好的行业示范效应,推动了建筑行业绿色施工技术的应用和普及,促进了建筑行业的可持续发展。提升了企业形象,增强了企业的社会责任感和品牌影响力,为企业在市场上赢得了更多的认可和信任,对提升整个社会的绿色发展意识和环保理念具有重要的推动作用。

### 6 结论与展望

本项目在绿色施工技术应用中积累了宝贵经验。通过集成创新实现:

(1) 构建复杂城区深基坑绿色施工技术体系。

(2) 形成“资源循环-智能监测-协同管理”三位一体实施模式。

(3) 验证绿色技术经济可行性 (ROI>3:1)。

绿色施工技术在未来工程中的应用前景广阔。随着政策支持力度不断加大,如“双碳”目标下相关规划与方案的出台,以及新兴技术如基坑气膜技术的涌现,绿色施工技术将更加多样化、智能化。绿色建筑标准全面执行的要求,也将促使绿色施工技术广泛应用。不过,仍需完善相

关标准规范,提高施工单位认知与能力,加强技术研发与成本控制,推动绿色施工技术不断创新与进步,实现建筑行业的可持续发展。

但在项目推进绿色施工过程中,也发现了如绿色施工领域定额损耗现行标准缺项率较高,区域性建筑垃圾再生利用中心较少等问题,是未来有待进一步发展的领域。

#### [参考文献]

[1] 住房和城乡建设部关于发布国家标准. 建筑工程绿色施工评价标准 GB/T50640-2020[S]. 北京: 住房和城乡建设部, 2020: 2-3.

[2] 上海市住房和城乡建设管理委员会. 上海市绿色建筑“十四五”发展规划[S]. 上海: 上海市人民政府, 2021: 3-4.

[3] 王建国. 智慧工地系统在绿色施工中的应用研究[D]. 上海: 同济大学, 2021.

[4] 住建部. 建筑业 10 项新技术(2017 版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.

[5] 张宏伟. 深基坑伺服支撑系统力学特性研究[J]. 岩土工程学报, 2020, 42(2): 1-6.

[6] 陈伟, 赵明, 刘强. 建筑废弃物资源化利用技术路径研究[J]. 环境工程, 2023, 41(2): 78-83.

[7] 王亮, 李娜. 绿色施工经济效益分析模型构建及应用[J]. 建筑经济, 2022, 43(4): 56-61.

[8] 张建平, 李恒, 王勇. BIM 技术在绿色施工中的应用研究[J]. 施工技术, 2021, 50(12): 1-5.

作者简介: 范孝俊(1986.1—), 毕业院校: 江南大学, 所学专业: 工程管理, 当前就职单位: 上海建工五建集团有限公司第二工程公司, 职务: 总经理, 职称级别: 高级工程师。

## 恒定拉力螺栓副在无泄漏工厂创建工作中的重要作用

惠红鲸 刘闯 金圆圆 孙源智

中国石油天然气股份有限公司抚顺石化分公司, 辽宁 抚顺 113000

[摘要]近代石油化工管理提升工作主推“无泄漏工厂创建工作”,通过全力创建“无泄漏工厂”来强化内部管理,全面提高设备基础管理水平及各项工作有序进行,杜绝泄漏污染,实现标准化装置,不断改进争先创优。

[关键词]无泄漏;恒定拉力;恒定拉力螺栓副;紧固工具;试验方法

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16462

中图分类号: X322

文献标识码: A

### The Important Role of Constant Tension Bolt Pairs in the Creation of Leak Free Factories

HUI Hongjing, LIU Chuang, JIN Yuanyuan, SUN Yuanzhi

PetroChina Fushun Petrochemical Branch, Fushun, Liaoning, 113000, China

**Abstract:** The main promotion of modern petrochemical management improvement work is the creation of "leak free factories", which strengthens internal management by fully creating "leak free factories", comprehensively improves the level of equipment basic management and orderly progress of various work, eliminates leakage pollution, achieves standardized equipment, and continuously improves and strives for excellence.

**Keywords:** leak free; constant tensile force; constant tension bolt pair; tightening tools; test method

#### 引言

基层厂设备管理分动设备和静设备两大专业,静设备泄漏管理工作主要指静设备本体泄漏和紧固结构泄漏,而“无泄漏工厂创建工作”主要指静设备泄漏管理工作中的紧固结构泄漏管理工作。螺栓紧固件广泛应用于、风电设备、核电设备、汽车装配及诸多行业的常用紧固结构。符合使用工况的紧固方案变得尤为重要,气动扳手、电动扳手、液压扳手等大功率紧固工具的问世打破了传统螺栓紧固方案(如:使用加力套管、大锤敲击等)的壁垒,实现了新式紧固防松方案,提高紧固效率节约了施工时间,降低了劳动强度。然而现今装配精度高、温差变化大、存在高频振动源等因素的石油化工装置,气动扳手、电动扳手、液压扳手等大功率紧固工具施工预紧力离散程度大,泄漏事故时有发生,尤其易发生在高温高压法兰、温差变化大的法兰。

恒定拉力螺栓副通过提高预紧精度,解决气动扳手、电动扳手、液压扳手等大功率紧固工具施工预紧力离散程度大的问题,独特的结构设计保证了防松效果,实现了“无泄漏工厂创建工作”管理上的突破。

#### 1 “无泄漏工厂创建工作”实施方案

##### 1.1 组织机构及目标

成立相应组织机构。负责对无泄漏工厂创建做总体规划、决策部署和推进工作;负责方案的审核、落实,对活动的开展进行检查、考核、评比,确保方案得到有效实施。

##### 1.2 设立实施目标

①完善本车间所属各岗位设备专项记录,认真贯彻巡检工作要求。

②整理完善设备软件资料(动、静设备一台一档、各

类台账及统计)。

③实现静密封点滚动式零泄漏率,现场五不漏(水、电、汽、油、物料不泄漏)。

##### 1.3 工作共分为4个阶段

1.3.1 第一阶段为“贯彻思想,明确任务”阶段  
无泄漏工厂创建就是“滚动式消除静设备泄漏”。

1.3.2 第二阶段为“数据采集”阶段

组织机构全体人员定点定时巡检或检查,排查现场问题,进行数据统计。针对现场静设备跑冒滴漏数据采集,全体成员日常定时定点巡检,并填写“静密封漏点挂牌及阀门内漏记录”。同时采用先进技术(例如LDAR检测)进行,静密封漏点及阀门内漏累计筛查XXX处。

1.3.3 第三阶段为“整改实施”阶段

针对问题,分两大类进行整改,一类问题不涉及资金利用维护单位力量进行整改实施,另一类问题涉及资金,需提报上级机关待审批后进行整改。

1.3.4 第四阶段为“持续改进”阶段

A 对照标准及时下发问题项,视问题情况进行相应的考核,督促及时整改。

B 各岗位设备专项记录和现场巡检工作持续认真贯彻,按实施方案中四个阶段循环持续进行。

##### 1.4 第四阶段(无限循环阶段)

“无泄漏工厂创建”工作已进入第四阶段(无限循环阶段)。

#### 2 现场泄漏问题分析

静设备现场泄漏治理重在法兰或密封面等连接处的紧固件泄漏,而紧固件泄漏重在紧固方案如何实施。

### 2.1 预紧力离散程度大

法兰或密封面等连接处的紧固件是设计部门按相关标准选取螺栓。

施工单位施工前,根据公式进行计算选取扭矩进行紧固施工:

$$T_s = KdF$$

式中:  $T_s$ —拧紧扭矩,  $N \cdot M$ ;

$K$ —转矩系数(查表获取);

$d$ —螺纹公称直径,  $mm$ ;

$F$ —预紧力, 螺栓最大拉伸力的 70%~80%。

$K$  是由查表而来,只考虑到接触面、材质等因素,未考虑所使用的紧固工具、紧固件造成的影响,不同的工具、紧固件会对  $K$  值造成不同大小的影响,如果忽略会造成误差,实际螺栓受到的拉力离散度较大,而在计算中一般都假设为一致。

### 2.2 紧固方法错误

传统紧固施工常作业方式使用加力套管、大锤敲击等进行紧固作业,目前各行各业尤其是装配精度高、温差变化大、存在高频振动源等因素的石油化工、风电、核电等易发生泄漏风险的行业均已逐渐淘汰这种紧固技术,改为使用能够有效提供扭矩数据的扭矩扳手、电动扳手、液压扳手等紧固方案,但施工过程中因为螺栓螺母质量、作业条件等诸多原因导致螺栓预紧力存在较大差异,因为预紧力不达标、防松效果差等原因出现的隐患、事故时有发生。

### 3 设备现场工作具体实施—恒定拉力紧固技术

恒定拉力精确预紧紧固技术的主要核心技术包括:通过恒定拉力紧固工具确保拧紧力矩恒定,通过恒定拉力螺栓副确保反作用力矩恒定,通过紧固施工方案试验系统确定施工参数恒定。

#### 3.1 恒定拉力紧固工具

恒定拉力紧固工具主要包括:

a 扳手本体:气动、电动或液压扳手,用于输出拧紧力的工具;

b 动力端:用于传导作用力,驱动螺母旋转;

c 固定端:与扳手本体相连,紧固过程中不随动力端旋转,用于与“恒定拉力螺栓副”中的咬合垫圈产生反作用力臂,实现“正反作用力臂同轴异向旋转”。

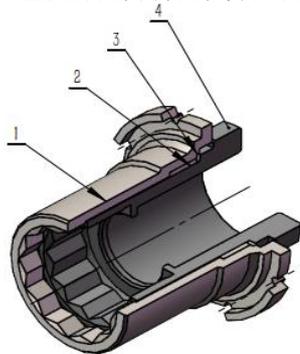


图1 恒定拉力紧固工具套筒示意图

序号	工件名称
4	动力端
3	平垫
2	铜套
1	固定端

图2 恒定拉力螺栓副组装示意图

#### 3.2 恒定拉力螺栓副

##### 3.2.1 紧固原理

①恒定拉力紧固工具的内套驱动螺母拧紧。

②恒定拉力紧固工具的外套卡紧恒定拉力螺栓副的咬合垫圈,垫圈下端的端面齿在拧紧力作用下受压,与装置法兰面的咬合力增大,形成与拧紧力矩同轴恒定的反力矩传递回与固定端相连的扳手。

③咬合螺母咬入法兰面,紧固过程中避免螺栓“连轴”运动,造成力臂偏转。

##### 3.2.2 防松原理

完成紧固后,通过螺母下端齿、垫圈下端齿分别与垫圈、法兰咬合,形成稳定的螺母-垫圈-法兰系统,其中任何一处都无法发生松动。

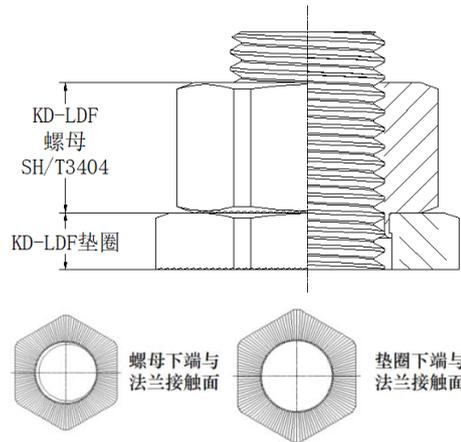


图3 恒定拉力螺栓副咬合面示意图

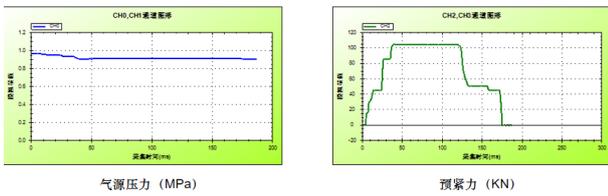
#### 3.3 紧固施工方案试验系统

组成:包括恒定拉力紧固工具、咬合垫圈、压力传感器、动力源(电、液、气等)传感器、计算机等。

原理:通过恒定拉力紧固工具、恒定力臂垫圈实现“正反作用力臂同轴异向旋转”,消除了传统紧固试验系统中存在的偏载,保证实验精度。

压力传感器、动力源传感器实时监测紧固过程中预紧力、动力源的变化,将数据传输至计算机,精确模拟紧固施工过程中预紧力、动力源之间的变化关系。

实验结束后,通过试验系统给出的紧固施工参数不再仅仅是传统的“扭矩”,而是可以直接得到紧固施工时所需工具动力源数据,将紧固施工精确化,提高预紧力精度,解决预紧力离散度过大的问题,避免出现盲目加载扭矩超出螺栓屈服强度或预紧力不足等事故出现。



使用气动扳手紧固→拆卸作业时的数据

图4 紧固施工方案试验系统实验数据图

#### 4 经济效用分析

以石油化工企业3.5蒸汽减温减压器法兰为例：

工作介质操作条件：

工作温度：380℃。

工作压力：3.5Mpa。

工作介质：蒸汽。

法兰螺栓：M30×180mm 双头螺柱 12套。

泄漏及处置情况：温度交变载荷作用下频繁泄漏，导致安装卡具注胶维持生产。

潜在风险：高温烫伤、停机停产。

采用恒定拉力紧固技术后，杜绝装置停工，避免装置直接经济50元以上。同理，本车间相同高风险、中风险、易泄露法兰点位共XXX个，每年可降低资金损伤2万元以上。

#### 5 结论

建设无泄漏工厂的工作中，完善及优化管理的先期目标达成后，选取紧固件和紧固施工是保证无泄漏的重要条件之一，紧固施工不能盲目施加拧紧扭矩，既要保证螺栓预紧力达标，又要保证螺栓预紧力精度，同时开工后的设备、设施运转期间还必须保证紧固件的防松效果，紧固件作为一种基础零配件又必须考虑成本问题。

“恒定拉力精确预紧紧固技术”施工前通过紧固施工方案试验系统模拟施工环境，确定气动扳手、电动扳手、液压扳手等紧固工具的动力源参数，确定紧固件的预紧力等施工参数，不依赖公式计算，有效简化、精准地施工。

“恒定拉力精确预紧紧固技术”采用“正反作用力臂同轴异向旋转”的加载方式，紧固施工时作用力-作用力臂-反作用力-反作用力臂同轴旋转，作用力矩与反作用力矩始终保持大小相等、方向相反，法兰等连接面各处螺栓预紧力大小均匀，螺栓预紧力精度误差小，有效消除偏载，保证连接部位平行闭合。

咬合螺母、咬合垫圈下端面的独特的结构设计，紧固施工时只有动力端螺母旋转，螺栓组不跟转，不发生“连轴转”，螺栓组其他部件不需打扳手等降低施工效率的额外操作，极大提高施工效率，劳动强度低。紧固完成后，咬合螺母、咬合垫圈的下端面咬合齿同时保证了防松效果，可以有效保证设备设施的运转安全。

综上所述，采用恒定拉力精确预紧紧固技术建设无泄漏工厂，可有效提高安全生产系数，减少隐患和事故的发生，提产增效、节支降耗，经济效益可观。

#### [参考文献]

- [1] 周少瑛. 一种无偏载恒定拉力精确紧固方法：CN113565850B[P]. 2022-09-20. [Z].
- [2] 周子翹. 确定紧固施工方案的试验系统：CN109029962B[P]. 2024-08-13. [Z].
- [3] 周子翹. 一种定力扭矩套筒扳手：CN207448340U[P]. 2018-06-05. [Z].

作者简介：惠红鲸，(1971.1—)，男，工程师，目前就职于中国石油天然气股份有限公司抚顺石化分公司，设备主管岗位，一直从事厂设备管理工作；刘闯(1983.2—)，男，助理工程师，就职于中国石油天然气股份有限公司抚顺石化分公司，运行工程师岗位，长期从事脱蜡脱油装置设备管理工作；金圆圆(1978.9—)，男，技师，中国石油天然气股份有限公司抚顺石化分公司，班长岗位，长期从事脱蜡脱油装置生产工作；孙源智(2004.2—)，男，本科，长沙理工大学，给排水专业，从事设备设计工作。

# 基于 STAAD PRO 对低压储罐的罐顶设计

张璐

上海惠生海洋工程有限公司, 上海 201210

[摘要] 罐顶是低压储罐的重要组成部分, 在设计时, 应满足其强度、稳定性和经济合理的要求。文中采用 STAAD PRO 三维计算软件对低压储罐的罐顶进行结构建模、受力分析, 期望能够为广大化工设计技术人员提供参考。

[关键词] 低压储罐; 罐顶计算; STAAD PRO 三维计算软件

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16460

中图分类号: TE972

文献标识码: A

## Design of Tank Roof for Low Pressure Storage Tanks Based On STAAD PRO

ZHANG Lu

Wison Offshore & Marine Limited, Shanghai, 201210, China

**Abstract:** The tank roof is an important component for a low-pressure storage tank, and when designing it, the requirements of its strength, stability and economic rationality shall be met strictly. In this paper, the STAAD PRO 3D calculation software is adopted to conduct structural modeling and stress analysis for the roof of the low-pressure storage tank, and it is expected to provide a reference for the majority of chemical design technicians.

**Keywords:** Low-pressure storage tank; Calculation of the tank roof; STAAD PRO 3D calculation software

### 引言

低压储罐的本体设计主要是由罐顶、罐顶与罐壁连接结构、罐壁、罐底和地脚螺栓锚固等几个重要部分组成。本文主要以某中东项目的低压储罐为例, 简述了罐顶部分的设计。储罐罐顶分为自支撑式和非自支撑式。国内外, 大部分中小型储罐(储罐直径不超过 40m)的罐顶通常是采用自支撑式的带加强肋的球壳拱顶。设计压力为 40/-0.5kPa(g) 的 3700m<sup>3</sup> 低压自支撑式圆筒形拱顶储罐, 设计依据 API 620 和 API 650 标准, 同时利用 STAAD PRO 三维计算软件对罐顶加强肋的应力、变形进行了分析计算, 从而满足罐顶强度和稳定性要求。

### 1 计算实例

该储罐的设计条件: 内径 ID=17800 mm; 高度 H=15100 mm; 设计液位高度 Hd=14600 mm; 设计压力: 内压 Pi=40 KPa, 外压 Pe=-0.5 KPa; 设计温度 T=90℃; 材料 ASTM A516 Gr. 70; 腐蚀余量 C=1.5 mm; 储存介质比重 G=0.714; 基本风速 ASCE7-05, 45.28 m/s; 地震条件 ASCE7-10, group II, Site Class-D, Ss=0.204, S1=0.058。罐顶活动载荷 P1=-1 KPa, 罐顶固定载荷 P1a=-2.8KPa。

### 2 罐顶及罐壁连接处计算

在内压或者外压的作用下, 罐顶与罐壁连接处, 罐顶的薄膜应力向内拉罐壁的边缘, 该拉力导致连接处存在圆周压缩力, 罐顶和罐壁边缘部分存在抵抗, 抵抗部分对应于图 1 中 Wh 和 Wc 部分, 如下图 1。

初步计算中, 罐顶与罐壁连接处采用常用的角钢连接, 如图二。经核算, 在内、外压工况下, 假设的角钢连接型式的有效截面积 Aav 与要求值 Ac 相差较大, 即使增大角

钢尺寸, 仍难以满足需求。故更换成图三结构, 通过增加罐壁及罐顶边缘板的局部厚度来增加有效截面积。不同壁厚的罐壁, 优先采用内径对齐, 保证罐壁内部齐平, 焊脚方便打磨。但是本设备, 罐壁顶端壁厚 20mm(假设)与下端壁厚 7mm, 壁厚相差较大, 考虑到受力弯矩, 中径对齐对于抗弯截面是最好的方式, 故采用中径对齐。

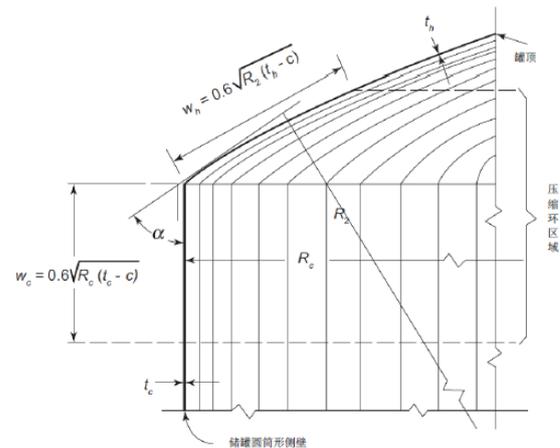


图 1 罐顶与罐壁连接处

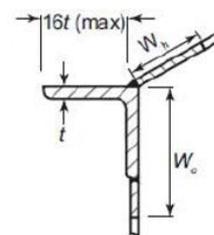


图 2 罐顶与罐壁连接-包边角钢

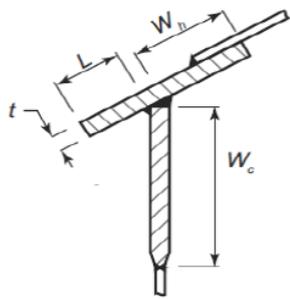


图3 罐顶与罐壁连接-加厚钢板

假设罐顶与罐壁连接处：罐顶壁厚  $t_h=40$  mm，罐壁厚度  $t_c=20$  mm，压缩环组成的板宽度计算如下：

$$W_h = 0.6\sqrt{R_2(t_h - c)} = 376.9 \text{ mm} ; \quad W_c = 0.6\sqrt{R_c(t_c - c)} = 243.5 \text{ mm}.$$

压缩环区域内有效净截面积  $A_{av}=W_h*(t_h-c)+W_c*(t_c-c)+L*t_h=29015.4 \text{ mm}^2$ 。

a. 在外压工况下， $P_e=-0.5$  KPa：

其中， $T_1=R_2/2*(P+(W+F)/A_t)$ ，其中  $W/A_t$  即为罐顶固定载荷  $P_1$ ， $F/A_t$  即为罐顶活载荷  $P_{1a}$ 。

$$\text{即 } T_1 = R_2/2*(P_e+P_1+P_{1a}) = -38.27 \text{ N/mm} ; \\ T_2=R_2*P_e-T_1=29.37 \text{ N/mm}.$$

作用在压缩环区域内任何截面积的总圆周力计算如下：

$$Q=T_2*W_h+T_2S*W_c-T_1R_c*\sin \alpha = 594163.6 \text{ N}$$

压缩环区域内净截面积应不小于以下公式之一要求的面积：

$$A_c=Q/15000=9.61 \text{ mm}^2 \text{ 或 } A_c=Q/St_s E=3002 \text{ mm}^2, \text{ 即 } A_c=5853.83 \text{ mm}^2$$

其中，材料 ASTM A516 Gr. 70，最大允许拉伸应力  $St_s=145$  MPa， $E=0.7$ 。

b. 在正压工况下， $P_i=40$  KPa：

$$T_1=R_2/2*(P_i - P_{1a})=331.08 \text{ N/mm}; \quad T_2=R_2*P_i-T_1=380.08 \text{ N/mm}$$

作用在压缩环区域内任何截面积的总圆周力计算如下：

$$Q=T_2*W_h+T_2S*W_c-T_1R_c*\sin \alpha = -2333990.5 \text{ N}$$

压缩环区域内净截面积应不小于以下公式之一要求的面积：

$$A_c=Q/15000=155.6 \text{ mm}^2 \text{ 或 } A_c=Q/St_s E=3002 \text{ mm}^2, \text{ 即 } A_c=22995 \text{ mm}^2$$

其中，材料 ASTM A516 Gr. 70，最大允许拉伸应力  $St_s=145$  MPa， $E=0.7$ 。

经过验证，要求的有效面积  $A_c <$  净有效面积  $A_{av}$ ，即罐顶与罐壁连接处的假设壁厚合理，满足强度要求。

### 3 罐顶板计算

分别计算出罐顶中心处和边缘处的经向和纬向单位力，罐顶壁厚  $t_r=T_1/S_a+C$  或  $t_r=T_2/S_a+C$ ，取大者。

a. 由于罐顶中心是球形结构，所以该处的经向和纬向单位力是相同的。

$$\text{最大拉伸力： } T_1=T_2=R_2/2*(P+(W+F)/A_t) = R_2/2*(P_i - P_{1a}) = 332.61 \text{ N/mm}$$

$$\text{最大压缩力： } T_1=T_2=R_2/2*(P+(W+F)/A_t) = R_2/2*(P_e+P_1+P_{1a}) = -37.9 \text{ N/mm}$$

b. 罐顶边缘处。

$$\text{最大拉伸力： } T_1=R_2/2*(P+(W+F)/A_t) = 330.93 \text{ N/mm}$$

$$T_2=R_2/2*[P_i - 2P_{1a} * [\cos 30^\circ - 1 / (1 + \cos 30^\circ)]] = 359.36 \text{ N/mm}$$

$$\text{最大压缩力： } T_1=R_2/2*(P+(W+F)/A_t) = -39.67 \text{ N/mm}$$

$$T_2=R_2/2*(P+(W+F)/A_t) = -5.37 \text{ N/mm}$$

汇总情况如下表 1，极端工况为  $1P_{1a}+1P_1+1P_e$ ，即罐顶活载荷+固定载荷+外压工况，此时壁厚至少为 29 mm，才能满足强度要求。

表 1 罐顶中心和边缘处应力汇总表

载荷工况	T1 (N/mm)	T2 (N/mm)	Sa (MPa)	Treq (mm)	决定工况
1	-37.90	-37.90	-1.49	26.92	$1P_{1a}+1P_1+1P_e$
2	-39.67	-5.37	-2.68	3.50	$1P_{1a}+1P_1+1P_e$
3	332.61	332.61	101.50	4.78	$1P_{1a}+1P_i$
4	330.93	359.36	101.50	5.04	$1P_{1a}+1P_i$

注：treq 不包含腐蚀余量。

计算得出的罐顶板厚度过厚，储罐为大型设备，不仅需要大量的板材，成本过高，经济价值低，而且过厚的罐顶对储罐的罐壁也是极大的载荷。所以通常采取较薄的顶板，同时在顶板内侧或者外侧设置加强肋，以增强罐顶的强度和稳定性。针对本储罐，使用 PV Desktop 计算软件进行初步计算，在 7mm 球壳钢板的基础上，至少需要罐顶内部设置 7 圈经向加强肋，和 52 根从最高点向外辐射的纬向加强肋，规格为 45x10 扁钢。该种加强肋型号和布置方式会产生大量的焊接工作，并且该罐顶部有多个尺寸超过 24 寸的法兰、人孔及一些小管口法兰，管口难以避开内部的加强肋，出现大量干涉问题。事实上，经过实际放样，30 大管口的确没有足够的放置空间。所以加强肋的型号与布置需要进一步优化。但是，目前无法在 PV Desktop 软件中指定加强肋型钢的型号及布置方式，来进行顶板强度的核算。可以根据 API 650 标准进行设计，加强肋的间距应满足如下要求：

$$b = t_r \sqrt{1.5F_y/p} \leq 2100 \text{ mm}, \text{ 其中，罐顶板的最小屈服强度 } F_y=260 \text{ MPa}, \text{ 腐蚀后的顶板厚度 } t_r=5.5 \text{ mm}, p=\text{Max}(P_1+P_{1a}+0.4P_e, P_{1a}+P_e+0.4P_1) = 1.203 \text{ kPa}. \text{ 即最少要求的加强筋数量 } N = \pi D/b = 27, \text{ 经核实，实际 32 根加强筋满足顶板的强度需求。}$$

### 4 罐顶加强肋计算

而加强肋的稳定性可根据 API 650 标准要求按 ANSI/AISC 360 设计标准来进行验证，使用许用强度设计方案 ASD 来确定。鉴于该储罐承受较低的内外载荷、自身固定载荷、活动载荷，以及地震、风载荷，可以将罐顶内

部的加强肋看成一个完整的钢结构。假设，所有的载荷通过顶板的传递全部由钢结构来承受，按受弯构件计算应力和变形。同时，假设罐顶 7mm 钢板只起到密封作用，在设计中不考虑球壳钢板的承载能力。钢结构稳定性可以使用 STAAD PRO 进行建模分析，同时另一个好处是可以将罐顶平台建立在罐顶上，同时分析平台和罐顶的稳定性。本文仅分析罐顶自身的稳定。

按照 ASCE 标准和 API 620 标准，罐顶承受不同的外载荷工况，具体工况组合如下列表 2：

表 2 罐顶外载荷工况汇总表

ASCE 标准	API 620 标准
1PIa	1PIa+1Pi
1PIa+1PI+1Pe	1PIa+1PI+0.4Pe
1PIa+1PI+1Pe+1Pi	1PIa+Pe+0.4PI
1PIa+0.75PI+0.75Pe	1PIa+1WL+0.4Pe
1PIa+0.75PI+0.75Pe+0.75Pi	1PIa+1WL+0.4Pi
1PIa+1WL	1PIa+1EQ+0.4Pi
1PIa+0.7EQ	1PIa+1Pt
1PIa+0.75PI+0.75Pe+0.75WL	
1PIa+0.75PI+0.75Pe+0.75Pi+0.75WL	
1PIa+0.75PI+0.75Pe+0.75(.7EQ)	
1PIa+0.75PI+0.75Pe+0.75Pi+0.75(.7EQ)	
0.6PIa+1WL	
0.6PIa+0.7EQ	
1PIa+1PI+1Pe+1Pt	
1PIa+0.75PI+0.75Pe+0.75Pt	
1PIa+0.75PI+0.75Pe+0.75Pt+0.75WL	
1PIa+1Pt	

其中 WL 为风载荷，EQ 为地震载荷，该设备在中东地区，无雪载荷。

为同时满足上述所有的载荷工况，假设使用下列型号的槽钢，向中心辐射的加强肋为 32 根 HEB 400，环向位置：半径 3319mm 位置为 HEB 320，半径 6838mm 位置为 HEB320。根据储罐的设计数据建立出模型，如图四，对钢梁划分节点，并施加上面所述的外载荷工况，进行分析计算，得出钢梁受拉、受压下的应力和变形分析。

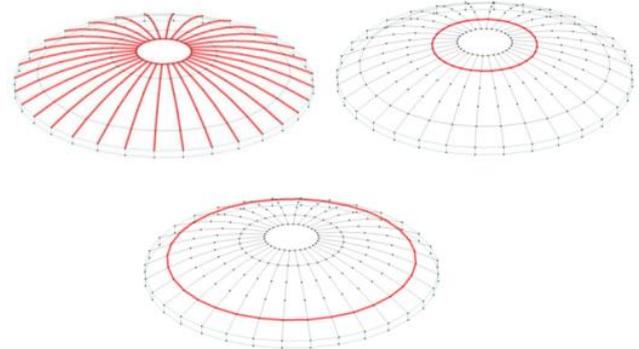


图 4 经向、纬向半径 3319mm 和半径 6838m 处加强筋分布图

所有节点的位移最大值和最小值汇总表如表 3。

根据上表，实际产生的最大位移是垂直位移节点 143，位移值为 25.117mm。允许挠度=L/300=25.550mm（此处 L=7665mm）。实际挠度值<允许挠度值，计算合格。所以选择的型钢及布置方式，在位移这个因素里是合格的，且余量适中。

对钢梁进行压弯构件计算，应变汇总表如表 4。因此得出实际的最大应力比 Ratio=0.825，即实际应力比值小于允许值 1.0，根据该计算结果，满足使用要求。钢梁采用轧制型钢，故宽厚比不用核算。

表 3 罐顶节点位移汇总表

	节点	L/C	X	Y	Z	合成	r X	r Y	r Z
			(mm)	(mm)	(mm)		角度	角度	角度
Max X	25	209 1DL+1PI	9.208	1.048	0	9.267	0	0	-0.035
Min X	9	209 1DL+1PI	-9.208	1.048	0	9.267	0	0	0.035
Max Y	143	209 1DL+1PI	0.34	25.117	-0.822	25.133	0	0	0
Min Y	175	201 1DL+1LL+1PE	-0.04	-3.863	0.098	3.865	0	0	0
Max Z	17	209 1DL+1PI	0	1.048	9.208	9.267	0.035	0	0
Min Z	1	209 1DL+1PI	0	1.048	-9.207	9.267	-0.035	0	0
Max r X	17	209 1DL+1PI	0	1.048	9.208	9.267	0.035	0	0
Min r X	1	209 1DL+1PI	0	1.048	-9.207	9.267	-0.035	0	0
Max r Y	222	209 1DL+1PI	0	0	0	0	-0.001	0	-0.001
Min r Y	224	209 1DL+1PI	0	0	0	0	-0.001	0	0
Max r Z	9	209 1DL+1PI	-9.208	1.048	0	9.267	0	0	0.035
Min r Z	25	209 1DL+1PI	9.208	1.048	0	9.267	0	0	-0.035
Max Rst	143	209 1DL+1PI	0.34	25.117	-0.822	25.133	0	0	0

加强肋的计算主要考察两部分,即在外载荷下,罐顶钢结构的变形和应力需要满足规范要求。按上述的计算过程可以得知,按假设的参数,应力控制在合理的范围内,余量适中,因此本设计方案合理。

表4 罐顶钢梁应变汇总表

属性	梁	实际应力比	允许应力比	L/C	Ax (cm <sup>2</sup> )	Iz (cm <sup>4</sup> )	Iy (cm <sup>4</sup> )	Ix (cm <sup>4</sup> )
1	CHEB400	0.723	1	309	178.26	52640.9	9215.42	348.202
2	CHEB400	0.825	1	309	178.26	52640.9	9215.42	348.202
3	CHEB400	0.747	1	309	178.26	52640.9	9215.42	348.202
...	...	...	...	...	...	...	...	...
516	CHEB320	0.491	1	309	144.165	27742.3	7680.59	227.414
517	CHEB360	0.734	1	309	162.285	39205	8556.96	290.167
518	CHEB320	0.491	1	309	144.165	27742.3	7680.59	227.414
519	CHEB360	0.734	1	309	162.285	39205	8556.96	290.167

注:因篇幅限制,此表格不显示所有梁节点的应力比情况。

### 5 结论

①本文以立式低压储罐为研究对象,综合考虑操作压力(包括内压及外压)、风载、地震载荷等多种工况组合,按照 API 650 标准,通过手工计算结合 STAAD PRO 钢结构

设计软件,建立三维模型,进行有限元分析、设计和结果验证,对钢结构受力情况有一个整体的把握,为低压储罐罐顶的稳定性评价提供了依据。

②本文中使用了 STAAD PRO 钢结构设计软件,也给我们提供了新的思路,市面上的分析设计软件很多种,设备强度和稳定性计算并不局限于 ANSYS 软件,可以基于项目特点和经济效率,以及设备的特性,选择一款合适的计算软件来满足设备计算,从而达到设备安全、成本经济的目的。

### [参考文献]

[1]陈寿标.基于 STAAD PRO 的钢煤斗有限元三维计算分析[J].福建建筑,2009(3):50-54.  
[2]马爱霞.基于 STAAD/Pro 对工程项目中重要结构件的力学分析[J].价值工程,2020(23):100-101.  
[3]徐书根,赵延灵,蒋文春,等.带加强筋的储罐罐顶稳定性和强度有限元分析[J].化工机械,2012(4):475-477.  
[4]API 620-2021 Design and Construction of Large, Welded, Low-pressure Storage Tanks[Z].

作者简介:张璐(1992.1—),女,上海,汉族,本科学历,工程师,就职于上海惠生海洋工程有限公司,主要从事化工设备设计工作。

## 浅谈节能环保理念在住宅建筑施工技术中的应用

刘建伟

河北省绿色住宅信息化技术创新中心, 河北 石家庄 051430

**[摘要]**随着全球环境问题的日益严重,节能环保理念已成为建筑行业发展的方向,尤其是在住宅建筑施工中。此文探讨了节能环保理念在住宅建筑施工技术中的应用,分析了其在降低能耗、减少污染、提高建筑质量等方面的重要意义。结合我国当前住宅建筑施工的现状,提出了提高施工单位节能意识、加强绿色施工材料的使用以及合理应用节能环保施工技术的策略,旨在推动施工单位在实际施工过程中实现节能环保目标,推动住宅建筑行业向可持续发展转型。通过此文的分析,希望能为住宅建筑施工技术的绿色化和节能化提供参考与借鉴,助力我国建筑行业实现更高层次的可持续发展。

**[关键词]**节能环保理念;住宅建筑施工;施工技术;技术应用

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16523

中图分类号: TU201.5

文献标识码: A

### Brief Discussion on the Application of Energy Conservation and Environmental Protection Concepts in Residential Building Construction Technology

LIU Jianwei

Hebei Province Green Housing Information Technology Innovation Center, Shijiazhuang, Hebei, 051430, China

**Abstract:** With the increasingly serious global environmental problems, the concept of energy conservation and environmental protection has become an important direction for the development of the construction industry, especially in residential building construction. This article explores the application of energy-saving and environmental protection concepts in residential construction technology, and analyzes their significant importance in reducing energy consumption, pollution, and improving building quality. Based on the current situation of residential construction in China, strategies have been proposed to enhance the energy-saving awareness of construction units, strengthen the use of green construction materials, and apply energy-saving and environmental protection construction technologies in a reasonable manner. The aim is to promote construction units to achieve energy-saving and environmental protection goals in the actual construction process and drive the transformation of the residential construction industry towards sustainable development. Through the analysis in this article, we hope to provide reference and inspiration for the greening and energy-saving of residential construction technology, and help China's construction industry achieve higher levels of sustainable development.

**Keywords:** energy-saving and environmental protection concept; residential construction; construction technology; technical application

### 引言

在全球能源危机与环境污染问题日益严峻的背景下,节能环保理念的普及已成为建筑行业发展的必然趋势。作为主要的能源消耗领域,住宅建筑的施工过程对能源需求及环境影响巨大。如何将节能环保理念有效融入住宅建筑施工技术中,已成为推动建筑绿色发展、减少资源浪费与环境污染的重要途径。节能环保不仅要求在建筑设计阶段充分考虑能源的高效利用,还需在施工过程中采用先进的节能技术与环保材料,从而最大限度地减少对环境的负面影响。合理应用绿色施工技术,诸如优化建筑保温、选用节能门窗、推广太阳能等可再生能源的应用,不仅能够有效降低建筑能耗,还能显著改善居住环境的舒适性与健康性。通过这些措施,建筑行业能够朝着低碳、绿色、可持续发展的方向迈进。本文将深入分析节能环保理念在住宅建筑施工技术中的具体应用,探讨其在降低能源消耗、减少污染排放与提升建筑质量等方面的关键作用,并提出应在实际施工过程中采纳的策略与技术,以期绿色建筑的普及

与实践提供理论依据与技术参考。

### 1 节能环保理念在住宅项目中的应用价值

#### 1.1 降低住宅建筑施工的能源消耗

在住宅建筑施工过程中,能源消耗主要来自建筑材料的生产、运输、施工机械设备的运行以及建筑使用阶段的能耗。节能环保理念的融入,可有效减少能源消耗并提高施工效率。在建筑材料的选择上,低能耗、可再生或循环利用的绿色建材,如高性能保温材料、透水砖、新型节能混凝土等,被采用时,能够有效降低建筑生产过程中能源的浪费。施工过程中,先进的节能技术,如装配式建筑技术、智能施工管理系统以及高效节能的机械设备,若得以应用,则能够显著减少能源浪费。此外,在建筑设计及使用阶段,通过合理优化建筑布局,结合被动式节能设计以及自然通风、采光技术,配合太阳能、风能等可再生能源的应用,不仅能减少住宅建筑的整体能耗,还能提高能源的利用效率。

#### 1.2 明显改善生态环境质量

将节能环保理念融入住宅建筑施工技术中,能够显著

改善环境质量。从多个方面来看,这种理念的应用带来了积极影响。首先,采用节能环保建筑材料和施工技术,有助于减少建筑垃圾和有害物质的排放,从而降低施工对环境的负面影响。其次,建筑本身的节能设计及设备的合理使用,可有效减少能源消耗,降低碳排放,进一步减少对环境的污染。此外,绿色建筑设计的实施,如引入绿色植物、优化自然采光与通风等,不仅能提高室内空气质量,还能提升住宅的舒适度与健康性<sup>[1]</sup>。因此,将节能环保理念融入住宅建筑施工技术,不仅有助于改善生态环境质量,还能提升居住舒适度和健康性,推动可持续发展并保护环境,具有深远的意义。

### 1.3 降低建筑施工对生态环境的污染

在住宅建筑施工过程中,传统的施工方法通常会对生态环境造成多种污染,诸如大气污染、水污染、噪声污染以及固体废弃物污染。通过引入节能环保理念,这些负面影响可有效减少,从而推动绿色施工。采用低排放、环保型建筑材料是关键举措之一,例如,低挥发性有机化合物(VOC)涂料、无毒无害的保温材料等,被使用时,有助于减少有害气体的排放,从而改善空气质量。优化施工工艺同样重要,例如,在土方作业和混凝土施工中,通过喷雾降尘或覆盖裸露土壤等方式,粉尘污染可有效减少。此外,推广节水技术也是减少环境污染的重要手段,循环水系统与雨水回收利用系统的应用,不仅能减少施工废水的排放,还能有效防止水资源的污染。在施工过程中,合理安排施工时间,限制高噪声设备的使用,并优化施工流程,噪声污染对周边环境的影响可得以有效减轻。

## 2 节能环保理念在住宅建筑施工技术中的应用原则

在住宅建筑施工技术中落实节能环保理念时,需要遵循经济适用性、因地制宜以及绿色可持续发展的原则,以确保施工过程既符合环保要求,又具备经济可行性,并能带来长远的效益。经济适用性原则要求,在选择节能环保技术和材料时,综合考虑成本控制,以保证在降低能耗和减少污染的同时,建设成本不会显著增加,从而确保项目的经济可行性。因地制宜原则强调,根据不同地区的气候、地质条件及资源状况,节能技术应合理选用。例如,在寒冷地区,高效保温体系的推广,在高温地区,遮阳和自然通风等技术的采用,均能最大程度提升节能效果。此外,绿色可持续发展原则要求,在建筑全生命周期内,资源浪费应尽量减少,碳排放应降低,并积极推动可再生能源技术的应用,如太阳能光伏发电与雨水收集再利用等措施,从而提升建筑的整体环保性能。

## 3 住宅建筑施工现状

### 3.1 缺乏较强的节能意识

目前,住宅建筑施工过程中,节能环保意识仍显不足。节能环保的重要性,许多施工单位及从业人员未能充分认识,工程进度与成本控制常被更多关注,节能措施的实施则被忽视。部分企业缺乏系统化的节能管理机制,传统的

高能耗、高污染施工方式依旧被采用<sup>[2]</sup>。例如,能耗较高的机械设备被过度依赖,建筑材料的节能性能被忽视,以及在施工现场管理中,缺乏有效的节能减排措施。这些问题在一定程度上,节能环保理念的落实被制约。

### 3.2 施工材料的环保性较低

在住宅建筑施工中,所使用的材料环保性较差,仍有大量高能耗、高污染的传统建筑材料,这不仅增加了施工过程中碳排放,还对生态环境造成了一定的破坏。许多建筑项目依赖传统的水泥、砖石、钢材等材料,而这些材料的生产过程中,往往伴随着大量能源消耗和污染物的排放,如二氧化碳、粉尘以及废水等。部分施工材料中,可能含有有害化学成分,例如挥发性有机化合物(VOC)涂料或含甲醛的黏合剂,这些物质可能对施工人员及居民的健康产生不利影响。此外,由于环保材料在市场上的推广力度有限,部分施工单位对绿色建材的认知较为不足,以至于可再生材料和低碳环保材料的应用比例仍然偏低。

## 4 节能环保理念融入住宅建筑施工技术中的策略

### 4.1 提高施工单位的节能意识

在住宅建筑施工过程中,提升施工单位的节能意识,是推动节能环保理念实现的关键。作为建筑工程的核心执行者,施工单位的管理层与施工人员的环保意识,将直接影响节能技术与绿色施工措施的实施。应充分认识到节能环保对降低能源消耗、减少污染、提高建筑质量以及增强市场竞争力的重要作用,施工单位必须转变传统的高能耗施工模式。为了加强这一认知,节能环保知识应通过宣传和培训提高全员意识,定期组织管理人员及施工人员参与节能技术培训、环保法规学习及绿色施工案例的分享,从而增强对节能技术与环保标准的理解与掌握。节能考核机制应由施工单位建立,将节能环保目标纳入施工管理体系,并通过激励措施鼓励施工人员在日常工作中积极采用节能技术与环保材料。

### 4.2 加强绿色施工材料的应用

加强绿色施工材料的使用,是推动住宅建筑节能环保的关键策略之一,能够显著提升建筑能源效率,减少对环境的负面影响,并增强建筑的综合可持续性。绿色施工材料通常具有较低的环境负担,具备低污染、低能耗、可再生或可循环利用等特点。具有优异保温隔热性能的材料,如聚氨酯泡沫、挤塑聚苯板(XPS)、高效节能玻璃等,一经选择,可有效提高建筑外墙、屋顶及门窗的保温效果,减少热量损失,从而降低空调和供暖系统的能源消耗,达到节能减排的效果。同时,低VOC(挥发性有机化合物)排放的环保涂料、低污染的环保水泥以及再生建筑材料等绿色材料,也被广泛应用,这些材料有助于减少施工过程中的空气和水源污染,并对建筑使用后的室内环境健康产生积极影响。值得关注的是,绿色施工材料的应用不仅限于选择环保材料,还需在施工过程中合理配套与科学使用,以确保其节能效果得以最大化<sup>[3]</sup>。例如,在墙体施工时,

保温层厚度应合理设计,并选择适宜的材料组合,确保施工中的材料得到正确应用,避免因施工不当导致资源浪费与环境负担的增加。此外,绿色施工材料的选择还应注重其耐久性及生命周期表现,材料的耐久性越强、使用寿命越长,建筑的整体能效与环保效果也将更加突出。通过加强绿色施工材料的应用,不仅能够提升建筑的能源效率,还能为业主提供更健康、舒适的居住环境,推动住宅建筑行业朝着环保、低碳与可持续发展的方向发展。

### 4.3 加强节能环保施工技术的合理应用

#### 4.3.1 门窗节能施工技术

在住宅建筑施工中,合理应用门窗节能施工技术,对于提升建筑整体能效及减少能源消耗,具有至关重要的作用。作为建筑围护结构的关键部分,门窗的保温隔热性能直接关系到建筑的能源损耗及室内舒适度。在材料选择方面,应优先选用高性能的节能门窗,如中空玻璃、Low-E 低辐射玻璃、真空玻璃及断桥铝合金窗框等,这些材料在隔热、保温及隔音方面表现出色,能有效减少冬季热量流失与夏季热量传导,从而显著降低空调与暖气系统的能耗。在门窗安装过程中,节能施工规范必须严格遵循,确保密封处理得当,门窗框与墙体之间的缝隙应避免,从而减少空气渗透并提高建筑的气密性。低导热系数的密封材料,如硅胶密封条或高性能发泡胶,可被采用,进一步增强门窗的密封效果。在建筑设计阶段,门窗的朝向与尺寸配置也可通过优化来提升节能效果。例如,在寒冷地区,南向窗户的面积应适当增加,以充分利用冬季太阳能进行自然采暖;而在炎热地区,西向窗户的数量应减少,并通过设置外遮阳板、百叶窗或 Low-E 玻璃镀膜等措施,太阳辐射热的进入可减少,从而提高室内的舒适性与能源利用效率。

#### 4.3.2 外墙节能施工技术

在住宅建筑施工中,外墙节能施工技术的合理应用,对于提升建筑整体能效与降低能源消耗,起着至关重要的作用。作为建筑物的主要围护结构,外墙的保温隔热性能直接决定了室内温度的稳定性以及建筑在采暖和制冷过程中的能耗。在材料选择方面,应采用高性能的保温隔热材料,如挤塑聚苯板(XPS)、膨胀聚苯板(EPS)、发泡聚氨酯及无机保温砂浆等,这些材料具有较低的导热系数及优异的耐久性,能显著减少热量传导,提升建筑围护结构的保温效果。在外墙保温施工方法上,外墙外保温、外墙内保温或夹心保温等方案均可选择,其中,外墙外保温技术因其较小的热桥效应及施工和维护的便捷性,已被广泛应用<sup>[4]</sup>。在施工过程中,必须确保保温层与基层墙体的牢固黏结,使用抗裂砂浆及耐碱玻纤网格布进行加固,从而防止保温层的脱落与开裂,增强建筑的耐久性与安全性。此外,为进一步提升节能效果,还可在外墙饰面层使用反射性涂料或光伏幕墙技术,以减少太阳辐射热对建筑的影响,同时结

合绿色植物墙、雨水收集系统等生态设计元素,建筑能耗进一步降低,推动建筑朝着更加环保和节能的方向发展。

#### 4.3.3 太阳能节能施工技术的应用

太阳能节能技术在住宅建筑中的应用,具有显著的节能和可持续发展意义。作为一种清洁、可再生的能源,太阳能已被广泛应用于建筑行业,特别是在降低能源消耗和促进环保方面,展现出独特的优势。在施工过程中,太阳能光伏系统的安装是常见的应用方式之一。太阳能被转化为电能,从而为建筑内部照明、家电以及其他电力需求提供能源,减少了对传统能源的依赖,降低了碳排放。另一个广泛应用的技术是太阳能热水系统,通过太阳能热水器收集太阳辐射热量,建筑的热水由此提供,替代了传统的电加热或燃气加热方式。这不仅有助于节约能源,还能有效降低运营成本。此外,太阳能技术的应用应与建筑设计相结合,进行合理布局,以确保设备的最大效能。例如,在屋顶设计时,太阳能设备的安装空间应预留,并通过南向斜屋顶的角度来优化太阳辐射的吸收,确保光伏发电系统的高效运行。与此同时,太阳能技术还可以与建筑外立面、窗户或遮阳系统相结合,光伏幕墙或太阳能窗玻璃的发展将是这一技术的进一步拓展。

### 5 结语

节能环保理念在住宅建筑施工中的应用具有深远的影响,不仅能够有效减少能源消耗和环境污染,还能提高建筑的舒适度与居住健康水平,并推动建筑行业向绿色转型迈进。通过增强施工单位的节能意识、推广绿色施工材料的广泛应用以及合理采用节能环保技术,建筑项目的可持续发展得以促进,资源浪费得以减少,建筑的长期使用价值也因此提升。随着节能环保技术的持续创新和相关政策的逐步推动,住宅建筑行业将迎来一个更加绿色、低碳的发展时代。不断深化节能环保理念的应用,不仅为居民提供更高品质的居住环境有助于,也将为实现全球环境保护和可持续发展目标作出重要贡献。

#### [参考文献]

- [1]陈泽羽.节能环保理念在住宅建筑施工技术中的应用[J].中国建筑金属结构,2023,22(10):187-189.
- [2]杜东富.节能环保理念融入住宅建筑施工技术中的策略[J].科技创新与应用,2023,13(3):141-143.
- [3]云斌,李静.探析节能环保理念在建筑施工技术中的应用[J].皮革制作与环保科技,2021,2(7):26-27.
- [4]奚晶.住宅建筑施工技术中融入节能环保理念实践探究[J].居舍,2023(15):31-34.

作者简介:刘建伟(1986.10—),男,毕业院校:青海大学昆仑学院,所学专业:土木工程,当前就职单位:河北省绿色住宅信息化技术创新中心,职务:副主任,职称级别:中级。

## 高原地区铁路线路维修机械低温作业适应性分析

宋莉莎

兰州石化公司化工储运部, 甘肃 兰州 730000

**[摘要]**高原地区铁路线路维修机械在低温环境下运行面临诸多挑战, 包括动力系统效率下降、液压系统响应迟缓、润滑性能变差及材料脆化等问题。通过对典型机械设备运行特性分析, 结合低温气候条件, 探讨适应性改进措施, 如优化保温设计、选用低温润滑材料、强化电控系统抗寒能力等, 以提升机械在寒冷环境下的作业效率与可靠性。结果表明, 针对性技术改造能有效缓解低温影响, 为高原铁路线路养护提供技术支持。

**[关键词]**高原铁路; 线路维修机械; 低温环境; 适应性改进; 抗寒技术

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16477

中图分类号: TH69

文献标识码: A

### Adaptability Analysis of Low-temperature Operation of Railway Line Maintenance Machinery in High-altitude Areas

SONG Lisha

Chemical Storage and Transportation Department of Lanzhou Petrochemical Company, Lanzhou, Gansu, 730000, China

**Abstract:** Railway line maintenance machinery in high-altitude areas faces many challenges when operating in low-temperature environments, including decreased power system efficiency, delayed hydraulic system response, poor lubrication performance, and material brittleness. By analyzing the operating characteristics of typical mechanical equipment and combining them with low-temperature climate conditions, adaptive improvement measures are explored, such as optimizing insulation design, selecting low-temperature lubricating materials, and strengthening the cold resistance of electrical control systems, in order to improve the operational efficiency and reliability of machinery in cold environments. The results indicate that targeted technological transformation can effectively alleviate the impact of low temperatures and provide technical support for the maintenance of high-altitude railway lines.

**Keywords:** plateau railway; line maintenance machinery; low temperature environment; adaptive improvement; cold resistant technology

#### 引言

随着高原铁路运输网络的不断扩展, 线路维修机械在极端气候条件下的运行需求日益突出。高寒环境对机械设备性能造成显著影响, 严重时甚至威胁线路维护作业的安全与效率。传统机械在设计上多未充分考虑高原低温特性, 导致运行故障频发。因此, 提升铁路维修机械的低温作业适应性, 不仅是保障运输畅通的重要环节, 也是推动高原铁路现代化运维管理的关键所在。

#### 1 高原低温环境对线路维修机械的影响特征

高原地区冬季常年处于严寒状态, 低气压、低温、风雪等极端气候条件严重影响铁路线路维修机械的正常运行。深入分析环境因素对设备各系统的影响特征, 是提升机械低温作业适应能力的的关键前提。

##### 1.1 动力系统受温度制约显著

高原低温环境对动力系统的影响主要表现为启动困难、运行功率下降和燃油雾化不良。柴油发动机在低温下压缩终温不足, 导致点火延迟, 启动时间显著延长, 甚至出现无法启动现象。同时, 机油黏度随温度降低而增加, 使润滑性能减弱, 机械磨损加剧, 启动阻力加大。此外, 燃油在低温中容易结蜡, 造成喷油系统堵塞或喷油雾化不

充分, 影响燃烧效率, 进而降低输出功率。这些问题直接削弱了维修机械在高原地区作业的可靠性与稳定性。

##### 1.2 液压系统运行迟滞问题突出

液压系统在高原低温环境下普遍表现出响应迟缓、动作不协调等问题。其主要原因是液压油在低温中黏度大幅升高, 导致流动性下降, 系统压力建立缓慢, 执行元件动作不灵敏。此外, 液压管路和密封件在严寒环境中容易发生材料硬化、脆裂等现象, 造成泄漏风险增加和运行不稳定。部分液压元件如泵、阀等的启闭延迟、控制滞后, 进一步影响维修作业的精准性与效率。低温对液压系统的负面作用已成为制约高原铁路机械运维能力的重要因素。

##### 1.3 材料性能与电控系统易受影响

高原严寒环境下, 维修机械的金属结构与非金属材料在低温状态下常表现出脆化倾向, 易发生疲劳损伤、断裂等问题, 尤其是在频繁受力或交变载荷作用下更为明显。同时, 塑料部件如管道护套、电缆外皮等在低温中容易老化、硬化, 导致裂损或性能下降。电控系统方面, 低温环境可能引起传感器信号传输失真、电池容量骤减、控制模块响应迟缓, 造成设备指令执行不及时、误动作增多等现象。此外, 高原地区电磁干扰强烈, 也会影响电控系统的

稳定运行。因此，材料与电控系统的低温适应性是保障设备正常作业的基础。

## 2 铁路维修机械低温作业中常见故障类型与表现

在高原地区寒冷严酷的自然条件下，铁路线路维修机械常发生多种运行故障。低温不仅影响机械性能，还加剧设备老化与失效频率，识别典型故障类型及表现特征，有助于精准制定维护对策，提升运行可靠性。

### 2.1 启动困难频率高

铁路维修机械在高原低温环境下最常见的问题之一是启动困难。柴油发动机的启动性能在严寒条件下显著下降，主要因燃油系统、润滑系统与电瓶系统综合影响所致。首先，低温导致柴油流动性差，容易形成蜡状沉积，喷油不畅，喷油雾化不充分，从而降低燃烧效率，造成点火失败或启动时间大幅延长。其次，机油黏度增大，冷车状态下润滑效果变差，使发动机内部机械部件运转阻力加剧，启动所需扭矩上升，电瓶放电能力也随温度降低而减弱，无法提供足够的电力，形成“打不着火”的现象。部分车辆在长时间停放后，蓄电池电压难以维持，需依靠外接启动电源。频繁的启动失败不仅降低作业效率，还会对发动机系统产生额外损伤，加速部件老化。

### 2.2 液压动作响应迟缓

液压系统的响应速度与液压油性能密切相关，而低温会极大降低液压油的流动性，形成“粘滞启动”现象。表现为执行机构启动缓慢、动作不协调、响应延迟等。比如，在高原早晨初启时，机械臂、千斤顶、液压钳等设备无法迅速展开，甚至出现卡滞。更严重的情况是液压油在管道中流动阻力大增，压力建立不稳定，容易造成液压泵或控制阀因超负荷运行而损坏。加之高原地区温差大、昼夜变幅显著，液压密封圈因材料性能变化易产生漏油、失压现象，进一步削弱系统效能。长期运行中，液压元件在低温环境频繁受冷热交替应力作用，密封性能和疲劳寿命急剧下降。液压系统失效不仅造成操作精度下降，还严重威胁作业安全。

### 2.3 电控与传感故障多发

高原铁路线路维修机械普遍配备电控系统以实现自动化与精确控制，但在低温条件下，该系统容易出现失灵、滞后或误动作等故障。常见问题包括传感器响应延迟、测量数值漂移、电缆线路硬化甚至断裂。尤其是温度传感器、压力传感器及位置传感器等关键部件，工作状态对温度极为敏感，在低温下可能反馈错误数据，引起控制系统判断失误，进而造成设备动作异常。此外，电池性能退化在寒冷气候中尤为明显，电容、电压供应不稳定，会导致控制模块死机、重启频繁。还有部分电控系统受高原强电磁干扰影响，出现信号传输故障或模块通讯中断。上述问题一旦发生，将严重干扰设备正常运行，增加故障诊断和修复的难度，延误作业时间。

## 3 关键系统低温适应性不足的成因分析

高原地区铁路线路维修机械在低温环境下频繁出现运行障碍，归根结底与其关键系统缺乏针对性设计密切相关。深入剖析各系统低温适应性不足的成因，有助于为后续技术优化提供科学依据和方向指引。

### 3.1 设计环节缺乏低温考虑

许多铁路维修机械原本适用于平原或常温地区，初期设计并未充分考虑高原低温环境带来的特殊挑战。在动力系统方面，发动机、机油泵、喷油嘴等关键部件普遍未设置预热装置，机体材料也未选用低温抗脆型材质，导致设备在寒冷环境中启动难、磨损重。液压系统多采用常规液压油与密封结构，未选用低温流动性更佳专用液压油，也缺乏有效的油箱、电加热等辅助加热设施，直接导致系统在低温下流动性差、反应迟滞。此外，电控系统布线方式与信号传输也未做高寒环境适配调整，导致电缆绝缘材料易开裂、通讯信号不稳定，严重制约设备可靠运行。缺乏对极端气候影响的预判与结构性应对，是系统适应性薄弱的根本原因之一。

### 3.2 材料性能适应性差异大

高原低温环境下，材料性能的变化对维修机械稳定性影响尤为突出。金属材料在低温中趋于脆化，尤其是焊接接头、连接件等部位在外力作用下极易产生裂纹或断裂。塑料、橡胶类非金属材料在寒冷条件下也表现出硬化、失去弹性的现象，导致密封圈、软管、护套等零部件失去柔性甚至断裂，诱发漏油、短路等安全隐患。此外，润滑材料的适温性不强也是一大问题，常规润滑脂在低温下易凝固或流动缓慢，使机械传动部位缺乏有效润滑，增加摩擦磨损，导致运转效率大幅下降。材料选型未能针对高原工况环境优化配置，是制约设备低温作业性能的关键短板。

### 3.3 维护机制未及时调整

在实际运维管理过程中，部分铁路线路维修机械在高原投用后仍沿用常规地区的维修标准与保养制度，缺乏针对低温环境的专项维护机制。一方面，设备预热、液压油更换、电瓶检修等关键环节频繁被忽视，导致设备在未适应低温条件时被直接启用，加剧故障发生。另一方面，缺少低温专项点检计划，如传感器校准、电控系统抗干扰检测、保温系统巡检等，使潜在隐患无法早期发现与排除。同时，相关人员对低温气候下机械运行规律掌握不全面，缺乏应对突发故障的技术经验与响应措施，也进一步放大了系统适应性不足所带来的影响。维护机制与运行环境严重脱节，是导致设备在高原地区频繁“水土不服”的重要原因。

## 4 提升机械低温作业性能的技术优化路径

为解决高原地区铁路线路维修机械在低温环境下运行不稳定、故障频发等问题，必须从技术层面提出有针对性的优化路径。通过系统升级、材料替代与智能控制手段

的融合,可有效提升机械在严寒条件下的适应能力与作业效率。

#### 4.1 动力系统优化与预热改造

针对动力系统低温启动困难的问题,应优先进行结构与辅助装置的优化。首先,在发动机部分加装电加热或冷却液循环预热系统,可在启动前快速提升缸体温度,提高压缩终温,确保点火成功率。其次,采用适合低温燃烧特性的轻质柴油,配合喷油系统的精细调校,有效改善雾化效果,提升燃油燃烧效率。在润滑系统方面,应更换为低凝点、高流动性的全合成机油,减小内部摩擦阻力。同时,加强蓄电池保温管理,选用耐低温性能优异的高容量电瓶,提升电力输出能力。动力系统的预热改造与耗能优化结合,将显著提升设备的启动成功率和运行稳定性,满足高原复杂气候下的作业需求。

#### 4.2 液压与材料系统协同改良

液压系统在低温下性能下降明显,可通过液压油优化与结构改进协同提升适应性。应选用低凝固点、黏温性能优异的专用液压油,保障系统在严寒环境中的流动性。关键部位如油箱、管路、控制阀等应设置电加热或保温层,维持油温稳定。液压泵与控制阀密封件可采用氟橡胶或丁腈橡胶等耐低温材料,提升密封性能,减少漏油隐患。在结构材料方面,推荐使用高强度合金钢与改性聚合物,提高耐低温冲击及抗老化能力,避免部件脆裂或失效。通过液压系统与材料协同优化,显著增强维修机械在低温环境下的稳定性与可靠性。

#### 4.3 电控系统智能抗寒设计

电控系统是铁路维修机械运行的核心,需增强其在极端低温环境下的可靠性与智能化水平。应选用宽温型工业级传感器,确保在 $-40^{\circ}\text{C}$ 至 $+85^{\circ}\text{C}$ 范围内稳定工作,避免信号漂移。数据线缆应具备低温耐折性,并设防护层抵御风雪。优化软件逻辑,设置“低温运行模式”,实现自动预热、故障报警与容错控制。关键模块如PLC、电源等应加装温控保护装置,维持恒温运行。整体设计向智能化、自适应方向发展,提升高原环境作业保障能力。

### 5 高原铁路维修机械适应性提升的应用前景与实践价值

在铁路运维高原化、智能化发展趋势下,维修机械低温作业适应性提升具有重要现实意义。通过技术改造与系统优化,不仅能增强机械运行稳定性,还将在保障运输安全、推动高质量铁路发展方面发挥长远价值。

#### 5.1 保障高原线路运维安全

高原地区铁路线路常年经受严寒、冰冻等极端天气影响,传统维修机械难以满足全天候作业需求。通过对动力、液压、电控系统进行低温适应性改造,可显著降低机械在

恶劣环境下的故障率,确保巡检、抢修、保养等任务高效完成,最大限度减少因设备故障带来的列车延误与线路安全风险。设备稳定性的提升,直接增强了高原铁路线路在寒冷季节的运行保障能力,为全天候运输提供坚强支撑。

#### 5.2 推动高原铁路智能升级

适应性提升不仅是机械层面的改造升级,更是铁路运维智能化重要环节。通过引入抗寒智能传感器、自适应控制系统与远程诊断平台,使维修设备在极端气候下仍具备精确控制与自主判断能力。这将促使高原铁路向“智能检测—精准维护—快速响应”闭环管理模式转变,提高维修工作的效率与科学性,缓解人工依赖压力,推动铁路维保向自动化、无人化方向迈进,提升整体运维体系的技术水平与响应速度。

#### 5.3 促进技术成果广泛应用

高原地区所采用的低温适应性改造技术,在实践中积累了丰富经验,具备良好的推广与复制价值。相关技术不仅适用于青藏铁路、川藏铁路等高海拔线路,也可为东北、西北等寒冷地区铁路维修提供借鉴。在更多特殊环境下,如隧道、高寒边防铁路、风雪频繁的山区铁路,该类改造成果将成为保障设备高效运行的关键力量。随着政策推动与企业实践深入,高原铁路机械低温适应性提升工程将逐步形成标准化、体系化的发展格局,释放广阔产业潜力与经济效益。

### 6 结束语

高原地区铁路线路维修机械在低温环境下面临诸多运行挑战。通过分析影响特征、故障表现及成因,并提出有针对性的技术优化路径,能够显著提升机械在严寒条件下的作业能力。适应性提升不仅保障线路运维安全,更推动智能铁路建设和技术成果推广。未来应持续深化技术研发与实践应用,构建高原铁路设备低温适应性的长效机制,助力高质量铁路发展。

#### [参考文献]

- [1]雷存茂,陶世杰,林飞,等.某高原铁路基础设施维修特征及对策分析[J].交通建设与管理,2023(2):126-130.
- [2]王智玮.西部高原高速列车与线路匹配性研究[D].兰州:兰州交通大学,2023.
- [3]方家.高原地区铁路无缝道岔监测成果分析[J].技术与市场,2024,31(3):109-113.
- [4]杜希振.格库铁路新疆段高原地区60 kg/m钢轨12号无缝道岔的力学特性[J].铁道建筑,2024,64(11):35-40.
- [5]王中明.基于GAN的西部高原铁路线路参数设计优化研究[D].兰州:兰州交通大学,2024.

作者简介:宋莉莎(1990.1—),女,甘肃兰州人,就职于兰州石化公司化工储运部,长期从事铁路罐车调运及车辆检查工作。

# 原子层沉积 TiN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 多层纳米涂层的制备及层结构对性能的影响

田程浩<sup>1,2</sup> 唐思文<sup>1,2\*</sup> 张文静<sup>1,2</sup> 种鑫鹏<sup>1,2</sup>

1. 湖南科技大学机械设备健康维护湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201

2. 湖南科技大学机电工程学院, 湖南 湘潭 411201

**[摘要]** 针对微铣削加工中存在的尺寸效应问题, 本研究设计并构建了四种具有不同层状结构的 TiN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 多层纳米涂层体系, 首次采用原子层沉积技术 (ALD) 完成了该系列涂层的制备。通过 X 射线光电子能谱 (XPS) 和掠入射 X 射线衍射 (GIXRD) 等方法对纳米涂层的化学成分进行了详细表征。利用摩擦磨损实验机和洛氏硬度计等设备对纳米涂层的性能进行检测, 研究了不同层结构对摩擦磨损性能的影响。结果表明: 成功制备了纳米尺度的多层结构涂层, 基体表面未观察到明显滴状气泡和破损, 且涂层表现出优异的结合力。在摩擦磨损性能测试中, 耐磨性最好的层结构相较于无涂层基体摩擦系数降低了约 23.53%。原子层沉积制备的多层纳米涂层能够提升刀具的力学性能, 通过合理的结构设计, 可以进一步优化材料的性能表现。

**[关键词]** 原子层沉积; 多层纳米涂层; 摩擦性能; 层结构

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16474

中图分类号: TB43

文献标识码: A

## Preparation of TiN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Multilayer Nanocoatings Deposited by Atomic Layer and Effect of Layer Structure on Properties

TIAN Chenghao<sup>1,2</sup>, TANG Siwen<sup>1,2</sup>, ZHANG Wenjing<sup>1,2</sup>, CHONG Xinpeng<sup>1,2</sup>

1. Hunan Provincial Key Laboratory of Mechanical Equipment Health Maintenance, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan, 411201, China

2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan, 411201, China

**Abstract:** Aiming at the size effect problem existing in micro-milling processing, in this study, four TiN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> multilayer nano-coating systems with different layered structures were designed and constructed. For the first time, atomic layer deposition (ALD) technology was adopted to complete the preparation of this series of coatings. The chemical composition of the nano-coatings was characterized via X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and grazing-incidence X-ray diffraction (GIXRD). The influence of different layer structures on the properties of the nano-coatings was evaluated using a tribometer and Vickers hardness tester. Results indicate that the nanoscale multilayer coatings were successfully prepared, with no observable bubble droplets or damage on the substrate surface, demonstrating excellent adhesion. In friction and wear performance tests, the friction coefficient of the coating with the best wear resistance decreased by approximately 23.53% relative to the uncoated substrate. Atomic layer deposition-prepared multilayer nano-coatings can enhance the mechanical properties of tools, and material performance can be further optimized through rational structural design.

**Keywords:** atomic layer deposition (ALD); nano-multilayered coating; tribological properties; layer structure

### 引言

微铣削技术因其能够加工具有微尺寸特征、复杂几何形状、多样化材料以及较高尺寸精度和表面质量的微零件, 已成为一种具有广阔应用前景的微加工方法<sup>[1]</sup>。受限于目前的制造工艺, 硬质合金微铣刀较小的切削刃钝圆半径会使刀具寿命较低。通过在刀具表面施加涂层, 可以有效减缓刀具磨损, 延缓尺寸效应的发生, 从而提高刀具的使用寿命<sup>[2]</sup>。

众多研究表明, 多层涂层相比于单层涂层更能提高涂层的韧性和延展性, 降低涂层内的残余应力<sup>[3]</sup>。当多层涂层的调制周期达到纳米级别的时候, 其硬度、韧性等力学性能提升很大<sup>[4]</sup>。Usman 等人<sup>[5]</sup>研究了 1 微米总厚度下不同层厚的多层纳米 DLC 涂层的力学性能, 结果表明, 当层厚度减小时, 硬度、弹性模量和残余应力会增加但涂层的粘附力下降。Gao 等人<sup>[6]</sup>研究表明, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 层厚为 0.5~

4.5nm 的多层 TiAlN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 涂层的硬度超过了 36Gpa。

传统涂层技术由于其制备过程中易产生针孔、液滴等缺陷, 难以满足精密微切削加工的要求<sup>[7]</sup>。相比之下, 原子层沉积技术因其能够制备均匀薄膜并适用于高纵横比结构的特性, 被广泛应用于微加工领域中<sup>[8]</sup>。本研究采用原子层沉积技术制备 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN 多层纳米涂层, 通过摩擦磨损、结合力等实验, 对不同层结构多层纳米涂层的性能进行研究, 为纳米 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN 多层涂层在刀具领域的应用提供了理论支持和实验依据。

### 1 实验方法

#### 1.1 纳米多层涂层的设计

多层纳米涂层的设计如表 1 所示, 其中 W 代表外层厚内层薄涂层, N 代表内层厚外层薄涂层, A 代表 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 涂层, T 代表 TiN 涂层。

表 1 纳米多层涂层的设计

Name	Material	Thickness ratio	Cycle period
WT/A	TiN/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	T1/A1:T2/A2:...:T6/A6=10:15:...:35	270
WA/T	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiN	A1/T1:A2/T2:...:A6/T6=10:15:...:35	270
NT/A	TiN/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	T1/A1:T2/A2:...:T6/A6=35:30:...:10	270
NA/T	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiN	A1/T1:A2/T2:...:A6/T6=35:30:...:10	270

### 1.2 纳米多层涂层的制备

基底采用商用 WC-8%wtCo 硬质合金刀具，尺寸为 16×16×4.5mm。在原子层沉积前，将样品用无水乙醇超声波清洗 10min 去除表面的油污和附着物，将清洗后的样品置于去离子水中超声波 10min，去除表面的无水乙醇，最后用氮气吹干。

用原子层沉积设备对清洗后的样品在 200° C 下沉积多层 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN 纳米涂层。分别采用 T-ALD 和 PE-ALD 沉积氧化铝和氮化钛，可以得到设计的 TiN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 多层纳米涂层。

### 1.3 纳米多层涂层的性能检测

采用美国 Thermo Scientific K-Alpha x 射线光电子能谱仪 (XPS)，单色 Al K $\alpha$  源 (1486.6eV) 做为 x 射线的光源，用氩离子溅射薄膜 10nm 后获得薄膜深度剖面的图谱。得到的原始数据统一按照 C 1s 的标准峰 284.8eV 作为结合能参考的标准进行校核。采用日本 Rigaku Smartlab 掠入射 XRD (GIXRD) 进行薄膜表面晶体结构的分析，掠入射角度和扫描速率分别是 1.5° 和 6° /min。采用洛氏硬度计对涂层进行结合力测试，加载力和加载时间分别是 60N 和 5s。采用高速往复摩擦磨损试验机 (HRS-2M，兰州中科凯

华科技开发有限公司) 来测试不同涂层之间的摩擦系数，设置参数为：5N 加载力、6mm 行程和铜球。用扫描电子显微镜 (SEM, Tescan Mira4) 观察摩擦磨损后样品表面的划痕，并用能量色散光谱仪 (EDS, Oxford Instruments Xplore30. Aztec one) 检测划痕周围的元素分布。

## 2 结果与讨论

### 2.1 纳米涂层成分表征

图 1 为氮化钛样品的 XPS 拟合数据。Ti2p<sub>3/2</sub> 结合能 455.79 eV、457.03 eV 和 458.60 eV，Ti2p<sub>1/2</sub> 结合能 460.51 eV、463.00 eV 和 464.54 eV，分别对应 Ti-N、Ti-N-O 和 Ti-O 键<sup>[9]</sup>。其中，Ti-O 键的 Ti2p<sub>1/2</sub> 结合能偏移 5.94 eV，源于样品暴露空气后氧化<sup>[10]</sup>。N1s 的 396.8 eV、397.6 eV 和 402.8 eV 峰，分别对应 Ti-N、Ti-N-O 及化学吸附态 N<sup>[9, 10]</sup>。O1s 的 530.7 eV 和 531.4 eV 峰，分别归属 Ti-O 和 Ti-N-O 键<sup>[9, 11]</sup>。这证实了 TiN 薄膜的制备和表面氧化行为。

图 2 是氧化铝样品表面的 XPS 拟合数据。从图 2(a) 全谱图可以看出，涂层仅包含 Al、O 和 C 元素，未检测到其他杂质的存在。Al2p 的结合能 74.7eV，O1s 峰的结合能 531.55eV，这对应氧化铝中的 Al-O 键，未观察到其它化学键存在<sup>[12-13]</sup>，这证实了氧化铝涂层的成功制备。

### 2.2 结合力

图 3 是不同层结构多层纳米涂层的结合力图片。根据 VDI 3198 压痕实验标准<sup>[14]</sup>可知，不同层结构的多层纳米涂层的结合力全部符合 HF1 级标准(存在裂纹且周围未出现涂层剥落)，这说明不同层结构多层纳米涂层的结合力效果优异。

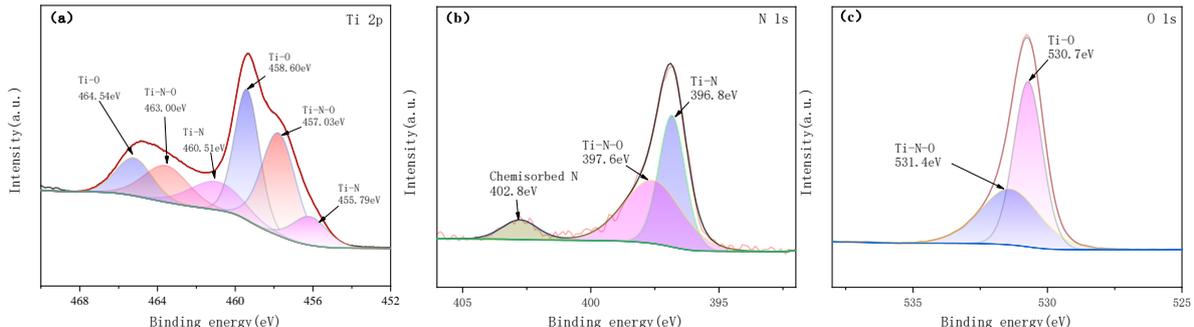


图 1 溅射深度为 10nm 处氮化钛的 XPS

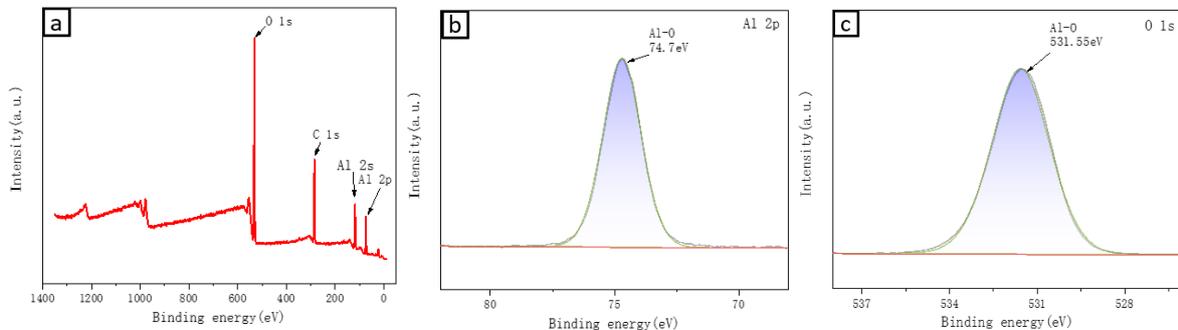


图 2 氧化铝表面的 XPS

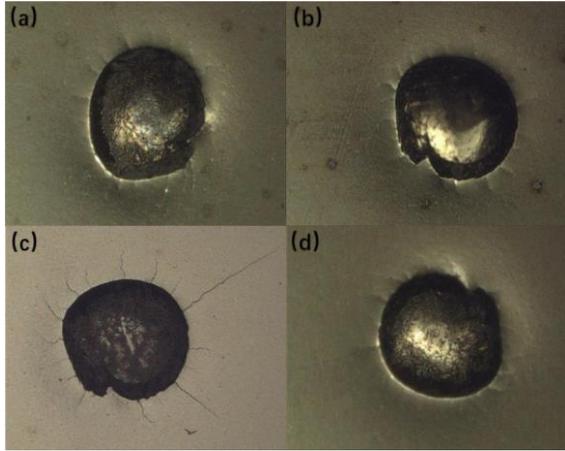


图3 不同层结构涂层的结合力

### 2.3 摩擦磨损

图4(a)是不同涂层在相同加载力下的摩擦磨损数据图。从图中可以看出,在多种层结构的多层纳米涂层中,NT/A型涂层表现出最优异的摩擦磨损性能。具体而言,N型涂层的摩擦磨损系数曲线整体优于W型涂层,而T/A型涂层的摩擦磨损系数曲线则显著优于A/T型涂层。图4(b)是不同涂层在相同加载力下的平均摩擦系数数据。其中,NT/A、WT/A、WA/T、NA/T型和无涂层的平均摩擦系数分别为0.78、1.19、1.33、1.57和1.02。这些结果表明,涂层的层结构设计对其摩擦磨损性能具有重要影响。

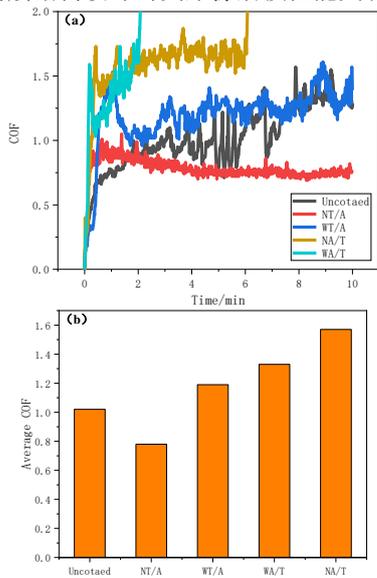


图4 样品的摩擦系数曲线和平均摩擦系数

图5是样品在摩擦磨损实验后磨痕区域的SEM图像和EDS分析结果。在图5(a)中可以看到,划痕底部存在TiN的富集区域,表明在涂层破裂后,形成的氮化钛颗粒参与摩擦副运动,并在摩擦表面形成一层保护性阻挡层,有效抑制了Cu球的黏结磨损和扩散作用。这一发现与Musschoot等人<sup>[15]</sup>研究结果一致,其研究表明TiN在阻止铜的扩散方面具有显著效果。相比之下,氧化铝在划痕区域明显被Cu带走。

这是由于氧化铝在大气中与铜摩擦时,铜在氧化过程中发生了黏结磨损,这与Hiratsuka等人<sup>[16]</sup>的研究一致。

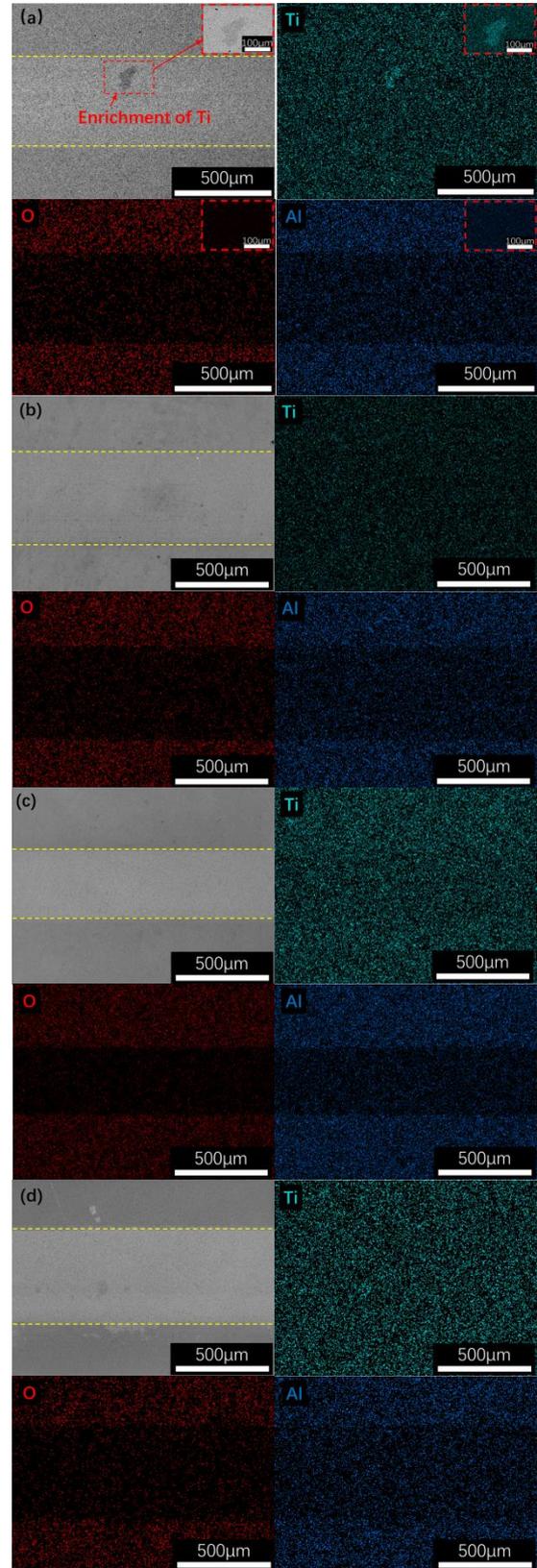


图5 样品的SEM和EDS照片

在摩擦磨损过程中,多层纳米涂层的表层材料会被“切除”,随后剩余的多层纳米涂层结构参与铜球与基体之间的摩擦磨损,并逐渐形成稳定的摩擦层。对于N型结构,其外层薄的层结构,在初始磨损阶段被完全去除,随后内层涂层参与磨损并形成稳定的摩擦层。对于W型结构,其最外层为较厚的层结构,在初始磨损阶段因剧烈摩擦而率先被破坏,而内层较薄的层结构在稳定磨损阶段难以形成稳定的摩擦膜,因此W型结构涂层的摩擦系数曲线波动大于N型结构涂层。

### 3 结论

本研究设计并构建了四种具有不同层结构的多层纳米涂层体系,首次采用原子层沉积技术(ALD)成功制备了氮化钛/氧化铝多层纳米涂层,并通过摩擦磨损实验首次测得其关键性能数据。基于上述实验数据,可得出如下结论:

(1) 采用T-ALD和PE-ALD的方法,在YG8硬质合金刀片上分别成功制备了氧化铝和氮化钛涂层,并进一步设计并制备了具有优异结合力的TiN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>多层纳米结构涂层。

(2) NT/A型结构的多层纳米涂层表现出最优异的耐磨性,其平均摩擦系数是0.78,相较于无涂层基体提升了23.53%。

基金项目:湖南省教育厅重点项目(22A0346)。

#### [参考文献]

[1]Liu J, Jiang X, Zhu D. Electrochemical machining of multiple slots with low-frequency tool vibrations[J]. Procedia CIRP, 2016(42):799-803.  
[2]张勇斌,严广和,李建原,等. 金刚石涂层微铣刀的铣削加工实验[J]. 中国机械工程, 2020, 31(15):1772-1777.  
[3]B. Bouaouina, A. Besnard, S. E. Abaidia, F. Haid, Residual stress, mechanical and microstructure properties of multilayer Mo<sub>2</sub>N/CrN coating produced by RF magnetron discharge[J]. App. Sur. Sci, 2017(395):117-121.  
[4]Taous Doria Atmani, Mohammed-Said Bouamerene, Mohammed Gaceb, Corinne Nouveau, Hamid Aknouche. Improvement of the tribological behavior of TiN/CrN multilayer coatings by modulation wavelength variation[J]. Tribology International, 2024(192):109226.  
[5]Muhammad Usman, Zhifeng Zhou, Abdul Wasy Zia, Kwok Yan Li. Designing hydrogen-free diamond like multilayer carbon coatings for superior mechanical and tribological performance[J]. Tribology International, 2024(192):109211.

[6]C. K. Gao, J. Y. Yan, L. Dong, D. J. Li. Influence of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> layer thickness on high-temperature stability of TiAlN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> multilayers[J]. Applied Surface Science, 2013(285):287-292.  
[7]ANDERS A. A structure zone diagram including plasma-based deposition and ion etching[J]. Thin Solid films, 2010, 518(15):4087-4090.  
[8]卞凯,唐思文,王睿,等. 纳米 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> 多层涂层的低温制备及其性能[J]. 中国表面工程, 2022, 35(3):246-253.  
[9]Chenhui Wang, Wenjing Lu, Qinzhi Lai, Pengcheng Xu, Huamin Zhang, and Xianfeng Li. A TiN Nanorod Array 3D Hierarchical Composite Electrode for Ultrahigh-Power-Density Bromine-Based Flow Batteries[J]. Advanced Materials, 2019, 31(46):1904690.  
[10]SuWan Plaipichit, Surawut Wicharn, Sirirat Champasee, Thitiporn Kaewyou, Puttita Padthaisong, Chamnan Promjantuk, Watchara Chao-moo, Tossaporn Lertvanithphol, Viyapol Patthanasettakul, Mati Horprathum, Hideki Nakajima, Saksorn Limwicheam. Preparation of TiN nanorods for SERS substrate by controlling pulse frequency of high power impulse magnetron sputtering[J]. Optik, 2022(271):170081.  
[11]Alireza M. Kia, Jan Speulmanns, Sascha Bönhardt, Jennifer Emara, Kati Kühnel, Nora Haufe, Wenke Weinreich. Spectroscopic analysis of ultra-thin TiN as a diffusion barrier for lithium-ion batteries by ToF-SIMS, XPS, and EELS[J]. Applied Surface Science, 2021(564):150457.  
[12]Y. L. Yan, M. A. Helfand, C. R. Clayton. Evaluation of the effect of surface roughness on thin film thickness measurements using variable angle XPS[J]. Applied Surface Science, 1989, 37(4):395-405.  
[13]Zuo-Jun Jiao, Chi Yu, Xue-Mei Wang, Yong-Feng Zhou, Lian Guo, Yang Xia, Bo-Cheng Zhang, Rong-Chang Zheng. Corrosion resistance enhanced by an atomic layer deposited Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/micro-arc oxidation coating on magnesium alloy AZ31[J]. Ceramics International, 2024, 50(3):5541-5551.  
[14]N. Vidakis, A. Antoniadis, N. Bilalis. The VDI 3198 indentation test evaluation of a reliable qualitative control for layered compounds[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003(143):481-485.

[15]J. Musschoot, Q. Xie, D. Deduytsche, S. Van den Berghe, R. L. Van Meirhaeghe, C. Detavernier. Atomic layer deposition of titanium nitride from TDMAT precursor[J]. Microelectronic Engineering, 2009, 86(1):72-77.

[16]K. Hiratsuka, A. Enomoto, T. Sasada, Friction

and wear of  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$  and  $SiO_2$  rubbed against pure metals[J]. Wear, 1992, 153(2):361-373.

作者简介：田程浩（2001—），男，硕士研究生，湖南省湘潭市，主要研究刀具及涂层制备与切削加工；通信作者：唐思文（1980—），男，博士，教授，湖南省湘潭市，博士生导师，主要研究方向为切削刀具与加工技术。

# 五轴高速铣削数控机床加工金属铝蜂窝的经济性工艺研究

王宏涛

中国航空制造技术研究院, 北京 101300

**[摘要]**此文主要探讨了五轴高速铣削数控机床加工铝基蜂窝芯产品的相关工艺,其中介绍了金属铝蜂窝芯材的材料特性,阐述了五轴高速铣削数控机床加工金属铝蜂窝的优势,研究了加工此类材料的固持方法、刀具选择、加工工艺规划等关键工艺的经济性选择,并对加工过程中的质量控制问题进行了讨论,为提高数控加工金属铝蜂窝的精度和效率,生产成本的降低提供理论与实践依据。

**[关键词]**金属铝蜂窝; 固持方法; 刀具选型; 加工工艺; 生产成本

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16473

中图分类号: TG54

文献标识码: A

## Economic Process Research on Five Axis High Speed Milling CNC Machine for Machining Aluminum Honeycomb Metal

WANG Hongtao

AVIC Manufacturing Technology Institute, Beijing, 101300, China

**Abstract:** This article mainly discusses the relevant processes of machining aluminum based honeycomb core products with five axis high-speed milling CNC machine tools. The material characteristics of metal aluminum honeycomb core materials are introduced, and the advantages of machining metal aluminum honeycomb with five axis high-speed milling CNC machine tools are elaborated. The economic choices of key processes such as holding methods, tool selection, and machining process planning for machining such materials are studied. The quality control issues in the machining process are also discussed, providing theoretical and practical basis for improving the accuracy and efficiency of CNC machining metal aluminum honeycomb and reducing production costs.

**Keywords:** metal aluminum honeycomb; holding method; tool selection; processing technology; production costs

### 1 金属铝蜂窝材料结构特性

金属铝蜂窝是由多层铝箔通过胶黏剂等工艺形成的蜂窝状结构,其蜂窝芯由正六边形或其他形状的孔格组成,孔格尺寸、壁厚等参数决定了铝蜂窝的性能。金属铝蜂窝芯材因其质量轻、比强度比刚度高等优异性能,在航空航天、汽车、建筑等众多领域得到了广泛应用。然而,由于其特殊的结构,金属铝蜂窝毛坯内应力大、变形严重,造成装夹难度大,加工时难以完全固定。同时,金属铝蜂窝塑性强、易变形,在加工过程中孔格极易出现挤压、撕裂现象,加工完成后易残留毛刺<sup>[1]</sup>。金属铝蜂窝产品的数控加工面临诸多挑战,但通过合理的工艺参数和加工路径编程方法,能够实现复杂形面和高精度要求的金属铝蜂窝零部件的五轴数控加工任务。

### 2 五轴数控加工金属铝蜂窝的优势

蜂窝类产品加工设备有高速数控铣削加工、超声数控加工、激光切割加工、电火花切割加工和高压水枪切割技术等相关设备,其中激光切割加工和电火花切割属于线性切割加工,适用产品形面简单,种类单一,无法进行复杂形面铝蜂窝产品进行生产,而高速数控铣削加工和超声数控加工对产品加工的灵活性更高,能够满足复杂形面的加工需求,但因超声数控加工设备的使用投入成本较高,常

规蜂窝产品精度要求下,五轴高速铣削数控机床的加工成本及质量更能够满足金属铝蜂窝产品的生产需要。

五轴数控机床加工系统能够精确控制刀具的运动轨迹,并且可以通过五轴数控编程软件实现对复杂形面的产品进行精确的加工控制,而高速铣削相较于传统设备的铣削,高速旋转的主轴转速能够使刀具在加工时对所加工的产品产生的切削力进一步降低,并且因刀具的高速旋转也能够提高生产加工效率。

对于加工金属铝蜂窝产品,因其材质及结构特殊性,孔壁易因外力出现塑性变形的问题,加工过程中产生的切削力越小,越能够保证金属铝蜂窝产品的加工质量,故而五轴高速铣削数控加工设备在金属铝蜂窝产品的加工上既能保证产品的加工精度及表面质量,又能够保证金属铝蜂窝产品生产的经济性。

### 3 数控加工铝蜂窝的关键工艺经济性研究及成本控制

#### 3.1 固持方法

本文研究对象为金属铝蜂窝芯材,主要采用五轴高速数控铣削加工,需要在铣床上利用夹具对蜂窝芯进行固持,按照夹具对蜂窝芯的固持状态可以分为端面固定法、悬臂式固定法和完全固定法<sup>[2]</sup>。

对于蜂窝构型芯材的固持方式行业内普遍使用端面固定法,其操作较为简单灵活,对蜂窝孔格垂直方向不做加工面的一个端面进行固定即可,常使用双面胶带或覆隔离膜的方式进行固定蜂窝类产品,通过双面胶带的胶黏剂或覆膜后的密闭吸附性(真空平台吸附覆膜),使产品固定在机床平台上,而覆隔离膜的端面固定需要先行使用胶黏剂将隔离膜与蜂窝端面进行牢固粘连固定,此方式在产品加工完成后的清理去除工作较双面胶带的胶黏剂残留的去除清理较难,业内也更多选择使用双面胶带进行产品固定,且产生的相关成本及操作难度较低;而悬臂式固定法需要使用专用外接设备产生磁场对产品孔格内部的特定的磁性填充物施加固持力,使填充物更加紧密,增加填充物与蜂窝产品孔格内壁的摩擦力进行蜂窝产品的固定,设备投入成本较高且操作复杂;完全固定法则是常用水或聚乙二醇作为填充物,使其固液转化对蜂窝孔格内部进行完全填充,将蜂窝产品转变为实体结构再进行后续的加工生产工作,此方法因将蜂窝特殊的孔格结构变为常规结构材质,可有效提高生产过程的加工精度及质量,但在蜂窝产品加工完成后蜂窝孔格内部填充介质清理还需继续进行投入处理,其中使用水为介质进行孔格填充时,需要使用专用冷冻降温设备对其进行固液转化,设备投入成本较高,且易受到环境影响,而使用聚乙二醇作为填充介质可通过简单加热液化,再填充至蜂窝产品孔格内,在常温等待其固化即可,使用聚乙二醇作为填充介质的完全固定法更易于实现。

金属铝蜂窝在加工固持选择中,考虑生产成本的经济性及可行性,首选为使用双面胶带的端面固定法,但因其蜂窝孔格薄壁结构的特殊性,其与双面胶带的接触面较小,双面胶带提供的固持力有限,如在加工过程中出现脱黏情况,也可增加使用聚乙二醇的完全填充的固持方式进行固持力的补充,组合固持方式如图1所示,来保障铝蜂窝加工过程中的质量稳定性。且因金属铝蜂窝的金属特性,加工完成的产品清理也可直接使用热水浇淋浸泡的方式进行产品的快速清理,从而保证降低生产成本的同时保证产品生产质量。



图1 组合增强固持方式

### 3.2 刀具选择

因蜂窝芯材结构特殊性,选择合适的刀具非常重要,刀具选择直接关系到零件的切削效果和加工效率<sup>[3]</sup>。使用常规的数控铣削刀具,极易使蜂窝产品所加工的表面出现撕裂或毛刺等缺陷情况,影响产品的表面质量。目前,蜂窝芯材产品面加工常使用盘型铣刀,这种刀具分为刀杆、刀体和刀片三部分组成,其中主要参与加工的部分为刀体

和刀片。

蜂窝芯材加工使用的刀体主要有金刚石喷砂碎屑器、碎齿形碎屑器及无齿形碎屑器3种类型,刀片主要有无齿形、锯齿形及波浪形3种类型,在固定加工参数下,对这9种组合方式均进行了实际金属铝蜂窝的加工试验,并对其主要表面质量参数进行了统计对比,实验数据详见表1<sup>[4]</sup>。

表1 刀具工艺试验结果

碎屑器类型	刀片类型	毛刺数量/个	孔格撕裂面积/cm <sup>2</sup>
金刚石喷砂碎屑器	无齿形盘型刀片	极多	300~500
	锯齿形盘型刀片	极多	300~500
	波浪形盘型刀片	极多	300~500
碎齿形碎屑器	无齿形盘型刀片	3~10	≤1
	锯齿形盘型刀片	20~30	≤1
	波浪形盘型刀片	≤3	≤1
无齿形碎屑器	无齿形盘型刀片	3~10	≤1
	锯齿形盘型刀片	20~30	≤1
	波浪形盘型刀片	≤3	≤1

由于金属铝蜂窝薄壁孔格易变形的特殊性,宜选用较为锋利的刀具类型,减少加工过程中产生的切削力来保证铝蜂窝产品的加工质量,并且从试验结果也可以看出,使用粗糙的金刚石喷砂碎屑器刀体加工后的铝蜂窝表面毛刺极多,撕裂问题明显,锯齿形盘型刀片加工的铝蜂窝表面毛刺问题较多,故而在主流常用盘铣刀组合中刀体即可选用碎齿形碎屑器及无齿形碎屑器,刀片即可选用无齿形和波浪形刀片进行组合使用。

在研究过程中,经过实际持续分类组合使用试验发现,碎齿形碎屑器及无齿形碎屑器两种刀体对金属铝蜂窝加工质量影响差别不大,但无齿形碎屑刀体因结构简单,较具有锋利小碎齿的刀体使用寿命要更长;波浪形刀片在加工后表面毛刺数量要多于使用无齿形刀片所加工的铝蜂窝,但在加工效率上波浪形刀片较无齿形刀片能够采用更大的进给速度及切削量,并因波浪形刀片的回转外形降低刀片持续加工时刀片接触蜂窝的切削时长,在使用寿命上要长于无齿形刀片。

考虑到生产成本的经济性,在保证加工质量的前提下,加工选用的盘型铣刀的刀体可选择构型简单的无齿形刀体,而刀片则可分工序选择使用进行成本控制,即在粗加工即半精加工使用波浪形刀片,加快去除余量速度,控制使用成本,提高加工效率,在精加工余量较小时使用无齿形刀片来保证铝蜂窝产品加工的表面质量。

### 3.3 加工工艺规划

金属铝蜂窝产品因其应用场景领域越来越多,外形也越来越复杂,但因蜂窝芯材的制备方法<sup>[5]</sup>,更多的金属铝蜂窝产品在加工前所使用的毛坯料均较为规整,这也导致大部分产品在加工去除余量时区域余量存在差异,如在航

空领域所使用作为填充物使用的蜂窝芯材多为楔形结构,在规整长方体毛坯内厚端去除余量较小,而薄端则需要大量去除余料,且因蜂窝材料结构的特殊性,切削量不宜过大,需对余量进行长时间的加工去除工作,降低生产效率,增加生产成本。

为提高金属铝蜂窝数控加工的加工效率,降低生产成本,可由加工准备阶段对毛坯余量进行准备阶段的工艺优化,优化过程如图2所示。

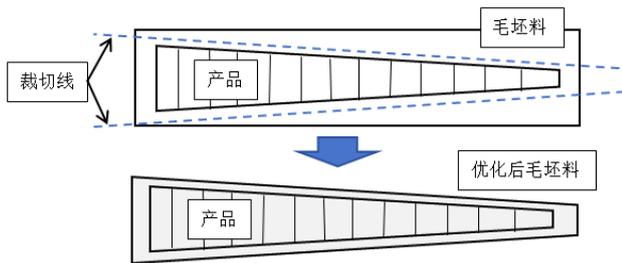


图2 准备阶段毛坯料工艺优化方式

此过程要对铝蜂窝产品的基准姿态进行确认,确保产品加工姿态不进行改变,优化后的毛坯料要满足产品孔格方向的技术要求,结合理论余量制定毛坯安全余量尺寸,再通过多工种相结合的方式,手工或使用倒角机进行原始毛坯快速裁切,对产品的安全余量进行大量去除,从而减少数控机床加工过程的大量余量去除工作,提高生产效率,降低综合投入成本。优化后的毛坯料也要在产品数模中进行模拟创建,以保证软件加工程序与实际数控机床加工的关联性与准确性。

#### 4 数控加工铝蜂窝的质量控制

##### 4.1 尺寸精度控制

在加工过程中途特定工序,需要对金属铝蜂窝产品进行加工余量尺寸的测量和检查,根据理论设计余量与实际测量余量对比,在精加工阶段对加工铣削量进行调整,以保证最终尺寸精度的准确控制,并在产品加工完成后,对所有加工表面进行检验以确保满足工程图样或相关技术文件要求,建议使用激光跟踪仪、三坐标测量仪或摄影测量系统对工件型面采点测量,采点间距一般不大于150mm。

##### 4.2 表面质量控制

金属铝蜂窝在加工后的表面质量直接影响其使用性能,需要注意加工过程中的切削参数和刀具磨损情况,避

免表面出现划伤、撕裂等缺陷,并且蜂窝芯加工面及孔格内部均不允许存在多余物,一般多余物可通过目视进行检查,加工产生的铝箔碎屑等金属类多余物的检测可使用X光照射检测,残留聚乙二醇可采用紫外线照射观察荧光情况进行检查,目视观察在紫菀线照射下工件是否存在荧光点,残留水渍通常使用目视观察。

##### 4.3 变形控制

金属铝蜂窝在加工生产搬运过程中容易产生塑性变形,这也是金属蜂窝芯材质量控制的关键环节。采用合适的装夹方式,刀具类型,合适的加工参数,可以有效减少变形,对于铝蜂窝的搬运转移等动作,需轻取轻放,防止金属铝蜂窝芯材出现形变,造成质量损失。

#### 5 结论

五轴高速铣削数控加工金属铝蜂窝是一项具有挑战性但又非常重要的加工技术。通过深入了解铝蜂窝材料的特性,合理选择固持方法、刀具类型和加工工艺规划,并加强加工过程中的质量控制,可以实现高质量、高效率、成本可控的金属铝蜂窝产品的数控加工。随着数控加工技术的不断发展和创新,铝蜂窝加工的精度和效率将进一步提高,加工成本能够进一步降低,为铝蜂窝芯材在更多领域的广泛应用提供有力保障。在未来的研究中,还需要进一步探索新的加工工艺和质量控制方法,以满足不断提高的工业需求。

#### [参考文献]

- [1]申翔宇.基于五轴高速铣削数控机床的航空用芳纶纸蜂窝加工工艺及试验研究[J].纤维复合材料,2024(3):10-16.
  - [2]马成,刘方军.蜂窝材料加工工艺研究进展[J].航空制造技术,2016,498(3):48-54.
  - [3]孙健淞,董志刚,王毅丹,等.超声切割铝蜂窝试验研究[J].机械工程学报,2017(19):128-135.
  - [4]吴涛.金属铝蜂窝数控加工工艺研究[J].现代制造技术与装备,2024,60(12):161-163.
  - [5]牛景露.芳纶蜂窝芯的超声切割系统开发及其切削性能研究[D].大连:连理工大学,2017.
- 作者简介:王宏涛(1993.11—),男,专业方向:机械设计制造及其自动化,工程师,籍贯:北京平谷。

# 智能技术在机械制造自动化中的应用

王刚 李戈

沈阳地铁集团有限公司运营二分公司, 辽宁 沈阳 110000

**[摘要]** 信息技术发展快, 智能技术渗进机械制造, 推动制造业从传统自动化转向智能化。文中整理智能技术与机械制造自动化融合趋势, 分析人工智能、工业机器人、物联网、大数据、云计算、数字孪生等关键技术在制造领域的应用情况。还探讨智能技术在设计、加工、检测、物流、设备管理环节的应用实践, 认为未来应关注人机协同、边缘计算、可持续制造等方向, 达成制造系统高效、柔性、绿色升级。

**[关键词]** 智能技术; 机械制造; 自动化; 人工智能; 智能制造; 工业机器人

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16459

中图分类号: TP242

文献标识码: A

## The Application of Intelligent Technology in Mechanical Manufacturing Automation

WANG Gang, LI Ge

The Second Operation Branch of Shenyang Metro Group Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

**Abstract:** With the rapid development of information technology and the infiltration of intelligent technology into mechanical manufacturing, the manufacturing industry is shifting from traditional automation to intelligence. The article summarizes the trend of integration between intelligent technology and mechanical manufacturing automation, and analyzes the application of key technologies such as artificial intelligence, industrial robots, the Internet of Things, big data, cloud computing, and digital twins in the manufacturing field. It also discusses the application practice of intelligent technology in design, processing, detection, logistics and equipment management, and believes that the future should focus on human-computer collaboration, edge computing, sustainable manufacturing and other directions to achieve efficient, flexible and green upgrading of the manufacturing system.

**Keywords:** intelligent technology; mechanical manufacturing; automation; artificial intelligence; intelligent manufacturing; industrial robot

机械制造自动化在现代工业体系当中占据着极为关键的地位, 其发展所达到的水平和程度, 会直接对产业的生产效率以及产品质量产生影响。在全球制造业快速朝着智能化、绿色化方向发展的大背景之下, 传统的制造模式已经很难同时满足高质量发展以及市场多变这两方面的需求了。智能技术作为当下新一轮科技革命中的一个重要代表, 正凭借着自身所具备的高感知能力、高决策能力以及高执行能力, 对机械制造的组织模式与运行机制加以重塑。借助引入人工智能、工业物联网、智能感知以及数据处理等一系列先进技术, 制造企业便能够达成从设计环节、生产环节一直到服务环节整个全过程的智能化升级目标。

### 1 智能技术与机械制造自动化概述

#### 1.1 智能技术的基本概念与分类

智能技术属于综合性技术体系, 拥有自主感知、学习、分析、决策以及执行的能力。它主要包含人工智能、机器学习、数据挖掘、智能感知、边缘计算等诸多领域, 依靠和软硬件系统的融合, 达成在复杂环境下高效的运行状态。依据它的功能特性, 可以把智能技术划分为感知类技术、认知类技术、执行类技术等等。智能技术的关键点在于数据驱动以及知识反馈, 凭借对复杂系统所采集的数据加以分析, 实现动态优化以及自适应控制, 大幅提升制造系统的柔性以及智能化程度。

#### 1.2 机械制造自动化的特点

机械制造自动化以机械制造为对象, 综合运用自动控制、信息处理、智能决策等技术, 实现制造全过程的自动化、智能化。与传统机械加工模式相比, 机械制造自动化具有以下特点: ①加工精度高。在数控系统精确控制下, 自动化设备的定位精度和重复定位精度可达微米级, 加工精度远高于手工水平<sup>[1]</sup>。②生产柔性强。机械制造自动化设备可通过编程实现工艺参数、加工对象的快速切换, 减少换型时间, 满足多品种、小批量定制化生产需求, 过程透明可控。应用传感器、数据采集等技术, 机械制造过程的各项参数可实现实时采集、分析与监控, 有利于提高生产过程的透明度和可控性。③运行安全可靠。自动化设备可在恶劣环境下稳定运行, 代替工人完成繁重、危险的工作, 极大降低安全事故发生率。④经济效益显著。机械制造自动化降低了人工成本, 减少了原材料消耗, 提高了产品质量, 极大提升了机械制造的投入产出效益。

### 2 智能制造关键技术分析

#### 2.1 人工智能在制造中的应用

人工智能(AI)乃是达成制造智能化的关键支撑技术所在, 在视觉识别、语义分析、路径规划以及故障诊断等诸多方面, 都展现出了颇为广泛的运用价值。制造企业要是去部署深度学习模型的话, 那么便能够实现针对产品外

观缺陷加以识别、开展自动化质量判定等各项功能；并且要是和强化学习算法相互结合起来，那么便可以在那种复杂且多变的生产环境当中，对生产调度策略予以优化处理。AI 在智能人机交互这一领域同样发挥着极为关键的作用，能够让操作人员可以凭借语音、图像等多种方式同系统展开高效的交流互动，进而提升操作的便捷程度以及系统的响应能力。

## 2.2 工业机器人技术

工业机器人乃是达成机械制造自动化的关键执行单元，其应用范畴涵盖了装配、搬运、焊接、喷涂以及检测等诸多制造环节。伴随传感器技术以及运动控制算法的不断发展，工业机器人已然从“程控型”朝着“感知型”还有“协作型”发生转变<sup>[2]</sup>。就当下而言，协作机器人拥有更强的柔性以及更高的安全性，可与人类工人一同分享作业空间，特别适合那种复杂且多变的柔性制造环境。当机器人本体同 AI 算法相结合之后，便赋予了其路径自规划的能力、动态避障的能力以及多任务并行执行的能力。

## 2.3 物联网（IoT）技术

物联网把传感器、无线通信以及网络协议整合到一起，让制造设备、产品和环境彼此间有了信息共享与交互的途径，它最重要的价值就在于达成制造现场的全方位感知、随时监控以及精确控制，在智能制造领域里，IoT 能够用在设备健康监测、能耗分析、远程调度、协同作业等诸多场景当中，切实提高生产系统的透明程度以及可视化的水准。借助在边缘节点部署感知以及初步处理的能力，可以缩减系统的响应时间，增强局部智能控制的自主特性。

## 2.4 大数据与云计算

制造流程所产生的大量数据，给智能分析以及优化给予了基础性的支撑。大数据技术借助对历史数据、实时数据展开存储、管理以及分析的操作，从中找出潜在的规律，以此推动工艺优化并且强化质量控制。云计算平台能够为数据处理给予强有力的算力方面的支持<sup>[3]</sup>，可实现跨系统、跨区域的多源数据融合以及协同分析。像基于大数据的产品生命周期管理（PLM）、生产过程参数优化、故障溯源还有预测性维护等等，都属于其典型的应用实例。

## 2.5 数字孪生技术

数字孪生指的是在虚拟的空间里去构建起和物理实体相对应的那种数字模型，借助双向的数据同步来达成对实体状态的模拟、预测以及控制等目的。在机械制造领域当中，数字孪生能够实现设备运行状态的可视化呈现，同时还能让生产过程得以仿真优化，并且可以达成系统级的联动控制效果。它的优势主要体现在能够缩短产品设计所花费的周期时间，能够在一定程度上降低生产过程中存在的风险，还能够提升响应的速度以及定制化的能力。要是把 AI 和 IoT 相结合起来的话，那么数字孪生系统就能够实现依据真实数据来对模型进行动态的更新操作，进而为

复杂制造系统的智能决策给予有力的支撑。

## 3 智能技术在机械制造自动化中的具体应用

### 3.1 智能设计与仿真

智能设计已然变成现代制造企业提升产品开发效率以及质量的关键途径。凭借人工智能同 CAD/CAE 系统达成的深度融合这一情况，设计人员能够凭借自然语言或者语义建模的方式迅速生成初步的设计草图，并且还能借助神经网络来剖析结构逻辑关系，进而达成自动化且智能化的建模效果。参数化建模技术能够对产品模块化设计予以支持，有利于产品的系列化开发以及后期的快速定制工作。仿真分析正慢慢从传统的静态模拟朝着动态多物理场耦合仿真的方向发展。那种基于智能算法构建起来的虚拟仿真系统，是能够对设计方案于复杂工作环境之下的性能加以预测的，还能识别出潜在的设计缺陷，进而提前对产品结构做出优化处理。现在已经有部分企业达成了“生成式设计”这一成果，具体来讲就是让系统依照预先设定的目标以及约束条件自行生成各式各样的设计方案，以便工程师从中挑选合适的方案，如此一来，既提高了企业在创新方面的能力，又能达成对制造成本、能耗情况、强度状况等多个不同维度的综合且有效地平衡，进而助力企业在市场竞争中获取优势地位。

### 3.2 智能加工与生产

在加工制造这一环节当中，智能化主要表现为“感知-控”闭环机制得以全面实现。数控设备会集成多种多样的传感器，以此来实时感知设备自身的运行状态以及所处的加工环境情况。边缘计算单元会将历史数据和实时数据相结合起来，从而能够快速给出关于加工参数调整方面的建议。最后再由执行控制器精准地输出控制指令，进而达成高质量且稳定的加工效果。近些年来，智能机床以及智能夹具已然成为了相关领域的研究热点所在，其自身还具备诸如自校准、自适应加工以及自主诊断等一系列的功能。与之相应的，MES 系统同 ERP 系统、PLM 系统实现高度的集成之后，便促使生产环节和上下游资源达成了闭环式的联动状态，进而实现在那种动态多变的环境之下，能够始终维持着最优的排产状况以及最为合理的资源配置情况。

### 3.3 智能检测与质量控制

质量控制属于制造环节里的关键指标，处在智能制造这样的背景之下，其获得了革命性的提升。凭借着机器视觉系统，产品在经过加工之后，就能够马上进入到质量识别的流程当中，进而达成“边生产、边检测”的实时反馈机制。该系统能够针对尺寸误差、表面划痕、焊点偏移以及孔洞位置等方面展开高精度的识别操作，并且进行分类处理。还有，3D 视觉检测技术慢慢把传统的二维检测方式给替代了。它把激光扫描和 AI 算法结合起来，系统能够构建出产品的三维模型，然后拿这个模型去和标准模型

做对比分析,如此一来,对于复杂曲面以及非标准零件的检测能力就得到了提升。像卷积神经网络(CNN)这类深度学习模型,在图像分类方面的运用,让缺陷识别的准确率有了明显提高,并且即便是在低对比度或者噪声图像这样的环境之下,它依旧有着不错的鲁棒性。智能检测系统和制造执行系统(MES)实现深度连通以后,能够形成质量数据的闭环反馈机制,达成对异常数据的快速追踪,提前对生产隐患展开排查,进而提高整个制造系统的稳定性以及可追溯性。

### 3.4 智能物流与仓储

在现代智能工厂里,物流已然不再仅仅扮演着那种被动跟随的辅助环节角色,它实实在在地成为了能够参与到生产计划以及过程控制当中的一个核心组成部分。AGV 小车借助激光导航以及 SLAM 技术来达成自主路径规划以及动态避障的目的,其能够依据实际的订单需求去灵活地调配运力,并且可以自动地完成物料配送以及回收等相关任务。智能立体仓储系统借助托盘式升降装置以及智能货位分配算法,达成物料存取的高密度化与高效率化目标。该系统把 WMS 系统和 RFID 标签相结合,如此一来,管理系统便能够实时且精准地知晓每一件物料的存储具体位置、库存确切数量以及批次相关信息,进而有效防止因出现缺料或者错料等情况而致使生产被迫中断的现象发生。

### 3.5 预测性维护与设备管理

设备属于制造系统里极为关键的资产范畴,传统的那种定期开展维护的做法,已经没办法契合复杂且具有连续性生产的态势对于设备稳定性方面的需求了。借助去布设高频传感器这样的举措,并且和信号处理以及 AI 算法相互结合起来,制造企业就能够达成对关键设备像主轴、电机、传动系统等状态予以感知以及对其寿命展开评估的目的。当前,振动分析、热像检测以及电流频谱分析等诸多预测性诊断手段正逐渐集成到一体化平台当中。该平台不但具备故障预警这一功能,而且还能够凭借大数据分析来给出维修优先级方面的排序以及替换的相关建议,进而对备件库存和维修资源的调配加以优化,以此实现总体拥有成本(TCO)的降低。远程运维系统属于设备智能管理的关键部分,能够达成对设备展开远程诊断、参数下发以及软件升级等目的。就好比大型制造集团能够集中去部署中央监控平台,进而针对分布于各个不同地方的工厂设备来实施统一化的管理以及控制工作<sup>[4]</sup>。结合 AR 技术来讲,维修人员便能够在现场凭借智能眼镜获取到实时的操作方面的指导,并且还能获得专家给予的远程协助,如此一来便能够提升响应的速度以及维修的效率。

## 4 未来发展方向

### 4.1 人机协同制造

人机协同作为未来智能制造极为重要的发展走向,着重指出人类工人和智能系统之间存在着优势互补的情况。

在具备高柔性的制造场景当中,协作机器人和操作人员一同开展作业,借助语音识别、手势控制等技术达成自然交互以及任务分工的目的。人机协同系统一方面提升了生产效率,另一方面也强化了生产系统对于多品种小批量需求所具备的适应能力。

### 4.2 边缘计算与分布式智能

随着制造现场的数据量不断增多,云端集中处理时所存在的响应速度以及带宽方面的限制也变得越来越明显起来。边缘计算通过把部分计算能力安排部署在了现场终端之上,进而达成了对数据进行本地预处理的目的,同时也实现了快速响应的效果。分布式智能架构有力地推动着制造系统朝着自治单元的方向去发展演进,这无疑增强了系统的鲁棒性以及可扩展性这两个方面的能力。边缘 AI 芯片在不断发展之中,这也为在制造现场部署高效的算法给予了相应的硬件方面的支持。

### 4.3 可持续智能制造

智能制造在追求效率以及质量上还得把环境友好和资源节约考虑进去。以后要积极推动绿色制造还有循环经济理念相互融合起来,借助智能系统达成对能耗的监控、对排放的控制以及资源的再利用。数字孪生以及仿真技术能够对不同生产策略所产生的环境影响予以评估,从一开始便对制造工艺加以优化,进而实现全程的绿色闭环管理。

## 5 结语

智能技术给机械制造自动化创造了绝无仅有的发展契机。借助人工智能、物联网、数字孪生等技术加以深度运用,制造系统达成了从“自动运行”到“智能决策”的跨越。日后,制造企业要强化系统集成方面的能力,打造开放协同的智能制造生态系统,促使产业链完成智能化转变。并且,需要关注智能制造的人本导向以及可持续性,以此为达成高质量制造强国战略给予技术方面的有力支撑。

### [参考文献]

- [1]孔藤桥.人工智能技术在机械设计制造及自动化中的应用[J].华东科技,2023(12):39-41.
- [2]魏培莉,刘万晓,任婷,等.机械设计制造及其自动化中人工智能技术的应用[J].中国科技信息,2024(14):84-86.
- [3]徐一凡.智能化技术在机械设计制造及其自动化中的应用研究[J].模具制造,2025,25(2):23-25.
- [4]王一鸣.数控车床状态监测系统的设计与研究[D].河南:中原工学院,2024.

作者简介:王刚(1989.11—),毕业院校:大连装备制造职业技术学院,所学专业:机械制造与自动化,当前工作单位:沈阳地铁集团有限公司运营二分公司,职务:安全门检修工长,职称级别:助理工程师

## 医院机电安装工程中 BIM 技术协同施工管理的应用研究

杨顺法

龙建玉溪工程有限公司, 云南 玉溪 653100

[摘要] 医院建筑的机电管线多达几十类, 由于楼层较低, 净高要求较高, 特殊管线如: 空调管道、医用气体管道、物流轨道小车等, 通常设立在门诊医技楼及地下室区域, 管线密集复杂, 深化难度极高。基于此借助 BIM 技术协同施工管理, 对传统机电安装工程施工中常见的问题进行分析, 阐述 BIM 协同施工管理应用要点, 探讨 BIM 技术在医院机电安装施工管理中的应用, 对其设计要点与难点进行了剖析与归纳。

[关键词] 医院建筑; 综合管线; 医院物流轨道; BIM

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16449

中图分类号: TB492

文献标识码: A

### Research on the Application of BIM Technology Collaborative Construction Management in Hospital Mechanical and Electrical Installation Engineering

YANG Shunfa

Longjian Yuxi Engineering Co., Ltd., Yuxi, Yunnan, 653100, China

**Abstract:** There are dozens of types of mechanical and electrical pipelines in hospital buildings. Due to the low floor and high net height requirements, special pipelines such as air conditioning pipes, medical gas pipes, logistics rail cars, etc. are usually set up in outpatient medical technology buildings and basement areas. The pipelines are dense and complex, and the difficulty of deepening is extremely high. Based on this, using BIM technology for collaborative construction management, this paper analyzes common problems in traditional mechanical and electrical installation engineering construction, elaborates on the application points of BIM collaborative construction management, explores the application of BIM technology in hospital mechanical and electrical installation construction management, and analyzes and summarizes its design points and difficulties.

**Keywords:** hospital architecture; integrated pipeline; hospital logistics track; BIM

#### 引言

机电管线的设计和安装是非常重要的环节, 对建筑物的使用性能与安全有着密切的影响。机电管线中含有的是医院专用管线, 所以管道的类型和数目都很多, 再加上医疗建筑对美观性、净高的要求比较高, 对管线的设置要求也很高, 并且对机电管线的深化设计和建设也很难。本文结合医院的实际情况, 研究医院机电安装工程中 BIM 技术协同施工管理的应用, 为建筑的机电管线设计和施工提供借鉴。

#### 1 传统机电安装工程施工中常见的问题

整体效果并不理想。随着我国经济的持续发展, 各类建筑形式层出不穷, 但在建设中公共场所照明设备不够精确, 消防喷淋系统布局不合理, 地下室管道和线槽安装高度不均匀。上述问题对整个机电安装项目的整体效果和以后的使用性能产生了不利的影响。

多专业管线交叉冲突。在工程机械安装工程中, 管线繁多, 管线交错, 很容易出现管道与管道、管道与梁、专业管道与建筑物等交叉干扰问题。这种干扰不但加大了工程建设的困难程度, 而且还会造成后期的拆迁和改建, 从而造成工程造价的提高。

预留开口精确度问题。在机电安装施工过程中, 保证预留孔的精度是非常重要的。大型建筑, 各种管道和梁都

要穿越墙壁, 如果设置不当或遗漏, 特别是当洞口的大小超过设计要求时, 会给后面的管线布局造成不良影响<sup>[1]</sup>。

物料管理中的多种困难。由于机电安装工程所涉及的行业范围较广, 所使用的物料种类繁多, 生产过程中的物料管理也就变得非常关键。当前, 物料的处置按照标准化程序, 以存货管理为主, 物料的消耗都要在存货记录中进行详尽的记录。然而, 建筑工程中大量的物料消耗给准确的记录带来了困难, 从而造成了管理上的疏漏。而如何保证物料的完好、对物料的质量进行有效的控制又是一个非常困难的工作。

#### 2 BIM 协同施工管理应用要点

医院项目工程为公共服务类建筑, 为了提高整体的使用效率与质量, 对通道面积的净高提出了更高的要求。采用 BIM 技术将各个专业的设计和团队协调起来。

##### 2.1 技术管理

在机电安装工程项目建设过程中, BIM 技术的运用是一个关键环节。运用 BIM 技术, 可以使工程队伍预先识别出工程中存在的一些问题, 并加以有效地处理。BIM 技术能够为工程建设提供详尽的 3D 视图, 使其能够更好地了解工程的复杂程度, 进而提升工程的精度与效率。同时, BIM 还能应用到建筑工程仿真中, 通过对医院建筑全流程的仿真, 能够及时地识别和处理机电安装工程中存在的矛

盾与问题,从而有效地防止建设中的拖延与重做。

## 2.2 商务管理

BIM 在机电安装工程项目建设中的运用,使工程管理人员能够更加精确地对工程造价进行估计,并对其进行合理的预算控制。BIM 技术能够为业主提供详尽的数量信息,有助于管理人员了解工程造价状况,进而实现对造价的有效控制。同时,BIM 技术也能应用到合同的管理中,使得双方能够清楚地认识到合同条款以及工程需求,从而降低工程中出现的争议。

## 2.3 物资管理

BIM 可以将工程所需要的各种物料、装备进行详尽地显示,包括规格、数量、型号等。这样,采购人员就可以依据这些细节来做出更加准确的购买规划,降低多余的存货积压和资本浪费。通过在 BIM 模型中对真实的材料消耗进行实时的更新,管理者能够对目前的存货状况以及材料的消耗状况进行动态了解,并据此对其进行相应的采购与供给规划,保证工程建设的顺利进行。此外,BIM 还可以与其他管理体系(如 ERP)相结合,使企业的材料管理更加自动化、智能化,使企业在整体上的资源管理更加高效、准确。

## 3 BIM 技术在医院机电安装施工管理中的应用

由于医疗专项施工团队通常晚进场,所以需要在安装其他机电管线时预留物流轨道安装空间。如果将医疗物流轨道设置在天花板下方,那么就首先对其进行初步的管道布置,在此基础上,按照医院物流轨道的设置需求,对不能达到物流轨道设置的地方,再进行第二次的深化和调试,以保证后进场的后勤线路的建设能够正常进行。

### 3.1 初步排布管线综合

要预先做好充分的准备,并且要在工地上进行调研,这样才能更好地规划和理解。信息模型在建筑施工中的运用。首先,要从设计图的角度出发,对设计图进行最优设计。在医院内管道较多的地区,精确地进行梁底净高的计算是非常必要的,这需要项目经理亲自到工地去。该方法有助于评价管道布局状况,及早检测出可能存在的问题,并为管道整体布局提供依据。在进行梁底净高分析过程中,需要对其进行建模、分析与处理,并对其进行 3D 显示,采用色彩信息处理方法对其进行分析。色彩信息按照红、橙、橙、绿、青、蓝、紫色的次序由低至高给予。该方法能较好地反映出各地段的净高状况,便于对管道布置的重点和困难进行评价。在此基础上,结合实际情况,将具有真实感图像加以再现和表现,使相关的工作人员能够更好地理解建筑的实际情况<sup>[2]</sup>。

其次,要清楚地认识到这种方法的优越性,并且要将“集成”作用发挥到具体的实践中去。通过对建筑工地的复杂情况进行剖析,使 BIM 在建筑工程中的作用最大化。通过梁底净高的计算,可以预先评价管道布局中的重点和困难,为后期管道的全面布局提供支撑,从而提高管道的整体布局和整体悬挂布局的品质。最终,结合具体项目情

况,得到关键地段廊道管道布局的净高值。通过对关键部位吊杆下部净高度的研究,可以为今后更好地规划与深入开展医疗机构的路线布局,提升其运行的有效性与安全性。

### 3.2 确定物流轨道安装高度范围

基于 BIM 的基本原理,实现了有效的信息化建模,发挥了数据库的优点。基于这一点,可以按照项目的特定技术状况以及特定的需求,轻松地找到各种不同的图纸,以便快速地决定施工项目所需的主要材料和设备。通过 BIM 技术对每根管道的方向及定位进行了全面的规划,得到天花板高度的初始区间。在此基础上,按照物流轨迹的安装需要以及用户的需要来决定其安装的高度,重点是物流线路的通过高度以及物品的输送高度,从而保证了该区域的合理利用。

利用 LOD300 高精度模型,实现物流轨道车所要求的操作空间的 3D 可视化,这可以给以后的管道综合深入研究,提供它所需要的空间数据。另外,根据医疗机构物流轨道体系规划,以及具体的施工方案,对轨道系统进行模型构建,并对前期的问题进行验证,全面掌握工程各层物流轨道的安装位置、物流井的位置以及各区域物流轨道的方向以及安装所需的空

### 3.3 物流轨道穿越防火区管线综合排布要点

因线路穿过各个防火区时,需设置列车转向装置及 A 级防火门(窗)。按照后勤铁路的设置需求,如果要通过消防门,就必须上面留下 750mm×780mm(宽×高)的孔来设置防火窗,因此,由于部分线路的净高很小,也会对轨道穿过防火门上面的轨道开口问题产生影响。同时还需留出设置环梁的间距,因此要留意防火窗口设置的最低高度必须在防火门之上 200mm 之上。此外,还应检查二次施工中的结构柱的定位与综合管廊或后勤线路布置有无矛盾,如有可能,则需与土建工程师协调,对建筑柱的定位进行修正。如果不能修正,则需要对管道的整体布局进行重新布置<sup>[3]</sup>。

## 4 医院其余空间综合管线排布

通过 BIM 实现各个学科的参数化模型,结合医学专用路径要求,确定管线布置原则、机电管线布置和碰撞检测调整。在深入时,将对深度后仍未达到设计需求的分区进行回馈,并为之进行交流和配合,再对管线布线和设计进行优化。

### 4.1 机房与管井深化排布

医院物流轨道区域进行了初步的布置和为安装医院的物流轨道留出了一定的余地之后,因为该医院的工程非常的特殊,所以有很多的机房,比如负压机房、空压机房等,还有一些消防水泵房,比如高压细水雾、消防栓,以及给水站房、热水机房、配电室等。各个专用室通常都是在同一个地方,这一部分的各个房间的出口高度和空间布局都是非常关键的,它们的布置方式直接关系到整个通道的整体布局,也关系到未来房间内部的布置是否合理。

所以,应该在预留了特别的管道空间之后,再对房间

进行进一步的布置,以保证管道的出口在保证室内管道布局的合理性和美感的前提下,尽量减少对通道的总管道布置的影响。在机房的深化中,为地上模型排布水平出管提供统一排布的依据。一些地区可以与地面计算机室中的大口径横向出水管相配合,对竖管进行优化,以防止上层房间的横向出水管发生交叉弯曲,在劣化过程中,对竖管的位置进行适当的调节,还可以让竖管排列更加规整,从而提升立管的安装品质。

#### 4.2 综合管线样板区制定

完成医院物流轨道、机房、管井等的前期工作之后,对一些地区进行了细致的布置,形成综合的样板,采用了样板引路、样板先行的原则,制定样板施工计划。这样,可以让分包团队和工人们各个分部分项工程的工艺流程、施工方法、质量要求都有一个清晰的认识,并且在这个阶段,还可以通过 BIM 的结果来进行改进。

以下是主要的实现步骤。(1)对工程特点和工程情况进行了剖析:本工程中压管道和电路包括三条强电桥架和两条弱电桥架。防火系统包括消防栓管路及洒水管路。暖通专业主要包括:供冷、热排风等。给水、排水系统包括一路给水管道、两路供水管道及二路供热管道。(2)BIM模型的建立与优化:按照规范的建筑造型规范和 BIM 的施工过程,对其进行前期的最优方案,在前期的基础上,将其模型的精度控制在 LOD400 或更高的水平,并按照 BIM 的最优设计原理对其进行最优布局。(3)结合工程实例,对所建立的最优模式进行重新检查,以保证其与工程实践相一致,便于工程应用。最后,完成 BIM 样板房的规划方案执行<sup>[4]</sup>。

#### 4.3 二次结构预留洞口深化

针对目前我国建筑行业中,机电管道专业众多,且大部分为一体化开口,按照 GB 50203—2011《砌体结构工程施工质量验收规范》规定,该类开口部位的过梁宜采用二次砖混结构班组来完成,对于大型的综合洞口,在前期要尽可能地预留,以便在以后的工作中大幅度提高施工质量,缩短施工工期,节约人工成本。

计划的实现过程:一是对保留的洞口进行参数化设计,得到洞口的高度,宽度,底部高度等参数;其次,利用 Revit 中的列表函数,对完整的保留洞口进行批处理,并对其进行分段处理;经过初步的处理后,将 excel 表单输出,剔除了无用的资料,将建筑所需要的资料进行了过滤,并按照孔洞的高度对其进行分类。在此基础上,结合孔高资料,对每一层的孔密度进行解析,并将其与柱梁设置的高度范围相结合,通过相互比较和处理,实现对预留孔与柱梁高度的双向最优配置,获得最小的预留孔与柱梁的最优高度。

#### 4.4 施工后的质量控制

BIM 在建设项目的最后阶段中起着不可忽视的作用。建设项目通常是长期的,在设计和建设过程中会生成大量的文件。由于其主要采用纸张形式保存,因此,当出现问

题时,要想找到相应的文件,将非常不方便。以 BIM 为基础的数据协作管理平台,实现了对项目文件的有效集成和收集。当项目结束时,当员工对零件或品质有疑问时,可利用该软件查询相关代码,快速查找所需要的信息(见表 1)<sup>[5]</sup>。

表 1 BIM 模型竣工管理内容

信息类型	信息内容	信息格式	信息体现
几何信息	实体尺寸	数值	模型
	形状	数值	模型
	位置	数值	模型
技术信息	二维表达	CAD	图纸
	材料	文本	模型
	材质	文本	模型
	技术参数	文本	模型
建造信息	建造日期	时间	模型
	建造单位	文本	模型
	使用年限	数值	模型

新时代下,BIM 技术优势和作用得以充分体现,使 BIM 可视化的公众服务职能得以实现,确保工程进程“可视化”,为整个工程建设过程的智慧支撑。通过仿真,对每一步进行了工艺交底,确保交底工作有序、高效地完成。与传统的交底方法比较,该交底方法更加先进,可以对现场施工起到很好的指导作用,保证施工设备、材料和工具都做好充分的准备,可以大大降低施工难度,提高整个交底工作的信息化水平。

#### 5 结束语

在医院建设中,由于机电管线深化难度大的问题,拟通过规划医院物流轨道的安装、综合管线的布局,实现了管线的初步综合、物流轨道的安装高度范围的确定,有效提高了施工质量和效率,为医院的正常运营提供了保障。对同类工程的建设计划具有一定的借鉴意义。

#### [参考文献]

- [1]银宏伟.BIM 技术在机电安装工程装配式施工中的应用分析[J].广东建材,2024,40(5):147-150.
- [2]姚宇宁,王园.BIM 机电管线综合设计控制要点与安装施工要点分析[J].工程建设与设计,2022(9):151-153.
- [3]丁涛,张生龙,马海林,等.机电安装工程预制装配式施工技术[J].建筑安全,2022,37(4):14-16.
- [4]杨晋,陈建,许帆.医疗建筑二次结构中机电洞口预留技术与方法[J].安装,2024(3):94-96.
- [5]温成龙,刘振伟,张智强.BIM 技术在机电安装工程中的应用优化研究[J].住宅与房地产,2024(23):53-55.

作者简介:杨顺法(1978.1—),男,云南省玉溪人,哈尼族,大学本科,中级建筑师,就职于龙建玉溪工程有限公司,从事建筑工程管理工作。

# 金矿建设工程智能化通风系统构建与节能效益分析

王亚州 李积财 张希科

青海山金矿业有限公司, 青海 海西州 816100

**[摘要]**于金矿建设的阶段中, 通风系统的设计与运行状况, 直接牵扯到矿山安全、空气质量及能源消耗问题, 智能化通风系统凭借先进的自动化、数据采集与分析技术引入, 可依据矿山实际环境的变迁自动调整风量与风压, 实现高效通风并达成节能效果, 该系统明显提升了矿山作业的安全系数, 还明显降低了能源的消耗水平, 使运营成本大幅降低, 智能化通风系统在改善矿山环境、降低排放方面起到了不可忽视的作用, 为矿山实现可持续发展筑牢坚实后盾。

**[关键词]**智能化通风系统; 金矿建设; 节能效益; 安全管理; 环境保护

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16451

中图分类号: TD724

文献标识码: A

## Construction of Intelligent Ventilation System and Energy-saving Benefit Analysis for Gold Mine Construction Project

WANG Yazhou, LI Jicai, ZHANG Xike

Qinghai Shanjin Mining Co., Ltd., Haixi Prefecture, Qinghai, 816100, China

**Abstract:** In the stage of gold mine construction, the design and operation of ventilation systems directly involve issues of mine safety, air quality, and energy consumption. With advanced automation, data acquisition, and analysis technologies, intelligent ventilation systems can automatically adjust air volume and pressure according to changes in the actual mining environment, achieving efficient ventilation and energy-saving effects. This system significantly improves the safety factor of mining operations and significantly reduces energy consumption levels, greatly reducing operating costs. Intelligent ventilation systems play an indispensable role in improving the mining environment and reducing emissions, laying a solid foundation for sustainable development of mines.

**Keywords:** intelligent ventilation system; gold mine construction; energy-saving benefits; safety management; environmental protection

### 引言

在金矿的建设进程中, 通风系统在保障矿山安全与优化作业环境方面作用关键, 传统通风系统往往因效率不高、能源耗费大等问题而面临重重挑战, 尤其是在矿山复杂环境场景中, 表现十分突出, 智能化通风系统借助自动化控制与数据分析技术的引入, 能按照矿山环境的变化自动调节风量与风压, 以此增进通风效率及节能效益, 从全球的角度看, 智能化系统在金矿建设里的应用逐步拓展, 此项研究的意图是优化金矿通风系统, 推动其达到节能且高效水平, 为提升矿山安全性与经济成效助力。

### 1 金矿通风系统的现状与问题

#### 1.1 传统通风系统的运作模式

传统金矿通风系统一般借助风机与管道保障矿井内空气的流通, 风机借助抽风或送风方式往矿井里面输送新鲜空气, 进而排出矿井内污浊气体, 该系统借助调控风量, 维持矿井内温湿度与空气质量处于适宜状态, 为矿工的安全保驾护航, 传统通风模式有着十分明显的弊端, 集中体现在对矿井空气质量调节精度较低, 风量调节过度依赖人工调控, 而风机的运行模式一直固定不变, 难以依据矿井的实际需求作出调整, 这引起了系统能耗大以及通风效果不稳定的现象。

#### 1.2 矿山通风面临的主要问题

矿山通风系统普遍存在通风不均、风量调节不灵敏以

及风机运行效率不高等问题, 鉴于矿山里各作业区空气流动的要求不一样, 传统通风系统不易根据不同区域的实际需求做动态调节, 引发部分区域空气流通不顺或通风过量, 又一问题为通风设备的维护管理落实不足, 风机出现故障却无法及时进行修复, 进而对通风效果造成不良影响, 矿山环境格局的变化, 好比开采深度变动或是设备进行调整, 也向传统通风系统发起了挑战, 导致矿山通风效率一直未能达到最优水平。传统通风系统既面临能耗过大的困境, 又有运行成本高的麻烦, 还对矿山的环境保护埋下了隐患。

#### 1.3 能源消耗与环境问题

高能耗问题是传统通风系统普遍存在的, 风机长期运转且调节精准度欠佳, 引发大量电力无谓浪费, 尤其是在矿山开采深度加大或风速大幅变化的情形下, 风机需长时间维持高负荷工作模式, 能源损耗不可漠视, 矿山通风系统设计大多采用固定模式, 未根据矿井内的气候、作业强度等情形灵活进行调整, 额外增添了不必要的能源消耗。传统通风系统大多时候不能有效解决矿山内的空气质量难题, 通风进程里, 矿山作业产生的大量粉尘、毒气等有害物质不易被及时排除或净化, 经过较长时间, 对矿工健康及矿山周边环境造成不利状况, 传统通风系统不仅有能耗过大、运行成本高的困扰, 也为矿山的环保进程埋下了隐患。

## 2 智能化通风系统的构建

### 2.1 智能通风系统的设计原则

在设计智能通风系统时，三大原则——安全性、节能性、高效性需被遵循，设计时首要考量的因素是安全性，系统必须保障矿井里通风顺畅无阻，杜绝有害气体出现积聚，防止诸如矿井火灾等事故降临，为实现节能，系统需依据矿井实际状况动态调整风量与风压，进而把能源消耗降到最低，所谓高效性，即系统能精确响应矿井不同区域的通风需求，维持空气流动的恰当铺陈，保障作业环境既安全又舒适，为达到此类要求，智能通风系统设计应把现代信息技术和矿山实际需求相融合。

### 2.2 智能通风系统的核心技术

作为智能通风系统核心技术的有传感器技术、数据采集与自动调节系统，智能通风系统把传感器技术当作基础，可实时对矿井内诸如氧气浓度、二氧化碳浓度、空气流速等环境参数进行监测，把这些数据输送到中央控制单元，数据采集系统承担起对这些信息实时处理分析的工作，确立可用作通风调节的依据。基于这一基础，自动调节系统可凭借数据反馈自动改变风量、风压等通风参数，让矿井各区域通风要求得到契合，远程控制系统属于智能化通风系统的重要组成范畴，操作人员可依靠远程监控平台实时掌握矿井通风现状，及时调节通风参数并远程开展故障排除，极大提升了矿山通风系统管理的效率与响应速率。

### 2.3 系统集成与实施步骤

集成与实施智能化通风系统时，需综合考量矿山具体状况、现有设备兼容性及系统可扩展性，在系统集成这一阶段，首先要开展全面且细致的矿山环境调查，搞清各区域通风的实际需求，制定贴合矿山特色的智能通风策略，选定恰当的控制设备跟传感器，开展硬件集成与测试相关工作。当进入实施阶段，系统安装需保证与现有设备相兼容，尤其是在风机、通风管道等传统设备接入操作上，需让系统顺利完成平稳过渡，杜绝因新旧设备兼容性差引起系统不稳定情形，实施过程的关键技术涉及数据传输技术、设备的稳定性及其抗干扰能力，值得注意的是，进行安装时应充分顾及矿山特殊环境条件，诸如湿度、温度状态与防爆要求等，让系统得以长期稳定地运作。

## 3 节能效益分析

### 3.1 节能原理与方法

智能通风系统实现节能的原理，主要是借助精准调控风量与风压达成的，传统的通风系统一般按照固定的风量与风压来运行，这频繁引发能源的不合理浪费，智能通风系统以实时掌握矿井内温度、湿度、气体浓度等环境参数为手段，即时把控风机的工作情形，依照矿井需求自动调控风量与风压，防止通风过度以及通风不达标。实现节能的具体途径为：结合矿井内实时环境的实际变化，自动调控风机的开关及转速，减少非必需的能源消耗；借助先进

的传感器技术对气体浓度与空气质量开展实时监测，使通风系统仅在必要的时候开启运行，降低非必需的功耗量；采用变频控制技术，改变风机的运转转速，进而进一步削减能耗，提升系统运行效能。

### 3.2 节能效益的量化分析

节能效益的量化评估一般借助构建计算模型与设定关键指标来开展，节能效益计算模型一般会考量风机功率消耗、系统调节效率以及能耗变动等要素，普遍采用的节能指标包含能源消耗减少的数量(kWh)、系统运行效率提升的比例(%), 以及通过节能所减少的碳排放量等。实际应用操作期间，通过把智能通风系统跟传统系统在相同工作条件下的能耗数据相比较，能直接拿到节能效益，某金矿引入智能通风系统之后情形，系统凭借优化风机的调节，实现整体能耗20%的降低，而且切实减少了设备的过度工作情形，依靠长时间积累的监测数据，能进一步核实系统的节能实际效果，进而按照矿山实际需求做动态调控，优化节能规划。

### 3.3 节能经济效益评估

虽然智能通风系统在起步阶段投资较高，然而从长远角度考量，其在节能方面的效果与运营成本降低会造就显著经济效益，经由节能降耗减排法，矿山可降低电力消耗的数值，让通风系统运行成本下降，而且还可延长设备的使用期限，减少设备维护替换的成本。一般是计算节能带来的年化成本节省和投资回收期以进行经济效益评估，某金矿借助实施智能通风系统，每年节省的电费差不多是100万元，设备维护成本削减了15%，系统投资的回收期为3个年头，通过运行智能化系统可提高矿山整体生产效率，于是在更大范畴内对运营成本进行控制，凭借节能效益，智能通风系统降低了矿山生产方面的成本，还强化了矿山的经济效能与竞争地位。

## 4 智能化通风系统的安全性与环境效益

### 4.1 通风系统对矿山安全的重要性

通风系统构成了矿山作业环境安全保障的基础，直接关乎矿工的生命安危和作业环境的健康水平，合理通风能有效把矿井内有害气体排除，诸如甲烷、二氧化碳和有毒的粉尘，防范爆炸与中毒事故降临，实时对矿井内气体浓度、温湿度等环境参数实施监控，智能通风系统可，可自行调节通风量与风压，保证矿井内空气始终稳定在安全范围。

### 4.2 环境效益的提升

智能通风系统达成的节能减排成效，对环境保护起到积极推动，借助削减非必要的能源消耗，智能化通风系统成功降低了温室气体的排放水平，减轻了大气面临的污染压力，特别是当进行矿山开采操作的时候，可降低二氧化碳及别的有害气体的排放规模。智能系统可对矿井内的空气质量开展优化工作，呵护矿工的身体健康，系统采用智能调节的方式调控风量风速，削减了矿山里有害气体的积

聚量,成功阻止了有害气体在矿井内的过度漫延,为矿工营造更加清洁、安稳的作业空间,因采用智能通风系统,能源消耗降低了,间接降低了电力生产期间环境面临的压力。

#### 4.3 智能化系统的可持续发展

智能化通风系统的可持续发展跟绿色矿山发展理念紧密相系,伴随环保要求持续上扬,矿山企业对可持续发展的要求进一步提升,智能化通风系统不仅在节能与安全方面给予保障,还可凭借高效的资源利用与优化管理推动矿山实现可持续发展,智能通风系统将朝着更为精准、智能的方向拓展,采用大数据与人工智能技术,系统可依据矿山生产的动态变化实时优化通风方案,提升系统的综合能力。

### 5 案例研究与实践应用

#### 5.1 国内外智能化通风系统的应用案例

于国内外金矿的建设工作里,智能化通风系统得到了大范围应用,且得到了十分明显的效果,澳大利亚有一矿山采用了依托物联网的智能通风系统,该系统凭借传感器实时监控矿井内的气体浓度、空气质量和温度的动态变化,自动调整风机转速及风压,实现节能与安全性能的优化。该系统投入运用之后,大约 18%的矿井能源消耗得以削减,而在此期间,矿工工作环境得以显著改良,国内某大型金矿实现了智能化通风系统应用的成功,系统凭借大数据实施分析,实现矿山通风的精细化管理模式,实时调节风量和风压大小,降低了无效通风的频次。依靠这一系统,矿山电力消耗减少了 15%以上,安全事故发生率也呈现下降趋势,此类案例显示,应用智能化通风系统,可有效增强矿山运营效率和安全水平,然而于实际应用里,部分问题已然暴露,诸如设备投入成本居高和系统初期调试的高复杂度。

#### 5.2 某金矿智能化通风系统的应用分析

某金矿在把智能化通风系统引入后,走过了从设计、开展到改进的完整阶段,系统实施工作初始阶段,该矿针对矿井环境做了详细的考察调研,鉴别出矿井内各区域的通风需求,系统选用了先进传感器技术跟自动化调节装备,以物联网平台为媒介进行数据采集与实时督察。智能通风系统借助对气体浓度、温度、湿度等环境参数的实时反馈,自主调节风机的运转状态,切实优化了通风效果,从节能达成效果看,该矿凭借智能化通风系统的开展实施,年电力消耗降幅达 20%以上,而且系统运行稳定可靠,设备维护费用大幅下降,矿井内部的空气质量明显好转,矿工工

作环境的安全与舒适程度进一步提高,该成功应用体现了智能化通风系统在金矿中的有效性,尤其是在节能以及安全方面意义非凡。

#### 5.3 未来智能化通风系统的研究方向与挑战

智能化通风系统发展将聚焦于技术的智能化及精确化,借助人工智能(AI)与大数据分析手段,系统能更精确地对矿井通风予以预测与调控,使节能效果进一步得以强化,AI可依照历史数据及实时环境的动态变化,提前把通风策略调整好。依托 5G 技术,智能通风系统将达成更高效的远程监测及数据传输,增强响应的及时性与灵活性,智能化通风系统面临设备初始投资较大、系统集成复杂、维护及数据管理等方面挑战,未来研究将把重点置于降低系统成本、提升技术可靠性以及优化系统的兼容状况,进而助力智能通风技术实现更广泛运用。

### 6 结语

智能化通风系统在金矿建设当中发挥关键效用,切实提高了矿山的通风效率,又明显降低了能源的耗用,提升了矿山安全与环保相关的水平,从案例研究当中可见,实践中采用智能通风系统可有效优化矿井作业环境,减少能源消耗进而改善矿工健康,跟随技术的不断革新,智能化通风系统将朝着更精细、智能化水平更高的方向前行,进一步促进矿山节能减排与安全管理工作开展,助力矿山实现可持续发展。

#### [参考文献]

- [1]卢俊华,谢建平,王杰亭,等.老挝爬奔金矿基建工程管理与造价控制[J].工程技术研究,2019,4(4):135-136.
  - [2]李文光,邓尧增,李宇凯,等.三山岛金矿深部复杂条件下盲竖井配套工程建设实践[J].黄金,2021,42(9):57-62.
  - [3]陈桢宇,李晓飞,孟文文.焦家金矿无废矿山建设工程实践[J].黄金,2022,43(5):93-96.
  - [4]王尧,温清尧.浅析大尹格庄金矿水文地质及防治措施[J].世界有色金属,2023(8):161-163.
  - [5]孙晓鹏,韩文涛.山东黄金集团三山岛金矿海底深井绿色智能矿山建设[J].电气时代,2023(9):6-9.
- 作者简介:王亚州(1989.5—),男,毕业院校:大连理工大学,学历:本科,专业:土木工程,单位:青海山金矿业有限公司,职务:果洛龙注分矿总工程师,职务年限:14年,职称:中级工程师(2018年)。

## 露天采矿边坡控制性爆破施工技术研究

王应明

新疆天业(集团)有限公司精河县晶羿矿业有限公司, 新疆 博尔塔拉蒙古自治州 833300

[摘要] 本文聚焦金属非金属露天石灰石采矿工程, 深入研究边坡控制性爆破施工技术。详细阐述该技术在石灰石矿开采中的原理、关键点, 针对现存问题提出优化策略与发展方向, 旨在为石灰石矿边坡控制性爆破施工提供理论与实践指导, 保障开采安全, 提升施工效率与经济效益, 减少对周边环境的影响。

[关键词] 金属非金属露天采矿; 石灰石矿; 边坡; 控制性爆破; 施工技术

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16464

中图分类号: TD235

文献标识码: A

### Research on Controlled Blasting Construction Technology for Open-pit Mining Slope

WANG Yingming

Jinghe County Jingyi Mining Co., Ltd. of Xinjiang Tianye (Group) Co., Ltd., Bortala Mongolian Autonomous Prefecture, Xinjiang, 833300, China

**Abstract:** This article focuses on metal and non-metal open-pit limestone mining engineering, and conducts in-depth research on slope controlled blasting construction technology. Elaborate on the principles and key points of this technology in limestone mining, propose optimization strategies and development directions for existing problems, aiming to provide theoretical and practical guidance for controlled blasting construction of limestone mine slopes, ensure mining safety, improve construction efficiency and economic benefits, and reduce the impact on the surrounding environment.

**Keywords:** metal and non-metal open-pit mining; limestone mine; slope; controlled blasting; construction technology

#### 引言

金属非金属露天石灰石采矿在建筑、水泥等众多行业的原材料供应中占据重要地位。随着基础设施建设的持续推进, 对石灰石的需求不断攀升, 露天石灰石矿的开采规模与日俱增。在开采过程中, 边坡稳定性是确保采矿作业安全、高效开展的关键因素。爆破作为石灰石矿开采中岩石破碎的主要手段, 其施工质量直接影响边坡稳定。不合理的爆破会导致边坡岩体损伤, 增加滑坡等地质灾害风险, 不仅危及人员生命安全, 还会造成资源浪费与环境破坏。因此, 深入研究并应用露天石灰石矿边坡控制性爆破施工技术, 对保障开采安全、提升经济效益具有重要意义。

#### 1 露天采矿边坡控制性爆破施工技术原理

##### 1.1 爆破作用原理

在石灰石矿开采作业中, 爆破施工依赖炸药爆炸瞬间释放的巨大能量完成岩石破碎。炸药起爆后, 爆轰反应在微秒级时间内完成, 瞬间产生高达 3000℃以上的高温与数万兆帕的高压爆轰产物。这些高温高压产物以冲击波形式迅速向岩体传播, 在岩石内部形成复杂应力场: 当压应力超过岩石抗压强度时, 岩体被粉碎; 应力波传播至自由面反射形成拉伸波, 若拉应力大于岩石抗拉强度, 则导致岩石破裂。随后, 爆轰气体膨胀产生的推力将破碎岩块抛掷。在边坡区域进行爆破作业时, 需对爆破能量实施精准调控。技术人员需通过优化炮孔布置、控制装药量、设计起爆顺序等手段, 确保爆破能量既能使岩石达到理想的破

碎粒度, 满足开采需求, 又能最大程度降低对边坡岩体的扰动。若能量控制不当, 可能导致边坡岩体结构损伤、裂隙扩展, 威胁边坡稳定性, 甚至引发滑坡等地质灾害。

##### 1.2 控制性爆破的基本概念

控制性爆破作为现代矿山工程的核心技术, 依托多学科交叉的科学设计体系, 通过整合三维地质建模、岩石力学分析等数据, 构建精准的爆破方案。在技术实施层面, 运用数码电子雷管、高精度导爆管等先进器材, 对炮孔间距、装药量、起爆延时等参数进行毫米级精度调控, 确保爆破能量的定向释放与均匀分布。在石灰石矿边坡施工场景中, 控制性爆破以“双重目标平衡”为核心准则: 既要满足矿石破碎块度均匀、便于采装的作业需求, 又需将爆破震动速度控制在 5cm/s 以内, 飞石距离限制在警戒区域 300m 范围内, 冲击波超压值控制在安全阈值。通过优化起爆网络、采用预裂爆破等技术手段, 有效降低震动对边坡岩体的扰动, 减少裂隙发育, 最大限度维护边坡结构稳定, 同时避免对周边建筑物、生态环境造成破坏, 实现安全高效开采。

##### 1.3 边坡稳定性与爆破的关系

石灰石矿边坡稳定性受多种因素制约, 爆破施工是其中关键影响因素。不当的爆破参数与施工方式, 会使边坡岩体产生新裂隙, 破坏原有结构, 削弱岩体强度。例如, 过大的爆破震动会改变边坡岩体应力分布, 提升失稳风险; 爆破飞石冲击坡面, 可能导致局部损坏。而合理的控制性爆破技术能够优化能量传递, 减少对边坡的负面影响, 维持边坡稳定。

## 2 露天石灰石矿边坡控制性爆破关键技术

### 2.1 爆破方案设计

(1) 爆破参数确定。石灰石矿的炸药单耗确定需综合考虑矿石硬度、密度、层理发育情况等。相较于其他矿种,石灰石硬度适中,但层理结构明显,炸药单耗一般在 $0.2\sim 0.25\text{kg}/\text{m}^3$ 。炮孔直径通常根据开采设备和生产效率选择,常见为 $100\sim 120\text{mm}$ ;炮孔深度依据台阶高度而定,一般在 $6\sim 12\text{m}$ 。炮孔间距和排距影响能量分布与破碎效果,合理的间距和排距能使矿石破碎均匀,降低大块率与爆破震动。

(2) 炮孔布置方式。常见的方形、矩形和三角形炮孔布置方式各有优势。方形布置适用于矿石性质均匀、爆破要求较低的区域;矩形布置利于控制爆破方向、减少震动;三角形布置可使能量分布更均匀,提高破碎效果。在石灰石矿边坡爆破中,需依据边坡形态、矿石特性及爆破目标,选择合适的布置方式,并结合预裂爆破、光面爆破技术保护边坡。

### 2.2 预裂爆破与光面爆破技术

#### 2.2.1 预裂爆破技术

在石灰石矿边坡爆破作业中,预裂爆破是保护边坡稳定的重要技术手段。其原理是在主爆区爆破前,沿着设计轮廓线钻设一排密集炮孔,通过精确控制起爆顺序,使这些炮孔率先起爆,在岩体中形成一道连续的贯穿裂缝。这道裂缝如同天然屏障,能够有效缓冲和反射主爆区产生的震动波,从而减少震动对保留岩体的破坏。

预裂爆破的技术核心在于对炮孔布置和装药结构的精准把控。一方面,需合理确定炮孔间距,一般控制在孔径的 $8\sim 12$ 倍,以确保裂缝顺利贯通;另一方面,采用不耦合装药方式,在药卷与孔壁间预留空气间隙,以此降低炸药爆炸时对孔壁的冲击压力,减少岩体损伤。通过这些措施,预裂爆破能够有效阻隔主爆区震动波,最大程度维护边坡岩体的完整性,保障矿山开采安全。

#### 2.2.2 光面爆破技术

在石灰石矿边坡开挖施工中,光面爆破作为精细化爆破技术,在主爆区完成破碎后,对预留的岩体进行精准爆破,从而塑造平整的开挖面。这项技术与预裂爆破同属控制爆破范畴,二者均旨在减少爆破对保留岩体的损伤,但在施工时序和装药设计上存在显著差异。光面爆破实施时,采用“少药密布”的策略,炮孔装药量较常规爆破大幅降低,单孔药量仅为普通爆破的 $40\%\sim 60\%$ 。通过科学编排微差爆破顺序,利用相邻炮孔产生的应力波相互叠加作用,使岩体沿设计轮廓线均匀开裂。这种精确的爆破控制,能够有效抑制岩石的不规则破碎,将边坡超挖、欠挖误差控制在极小范围,不仅提升了边坡外观的平整度,更减少了对岩体内部结构的扰动,显著增强边坡整体稳定性,为后续矿山开采作业筑牢安全基础。

### 2.3 微差爆破技术

微差爆破将群药包以毫秒级间隔分组起爆,可降低爆

破震动、提高破碎效果。在石灰石矿边坡爆破中,合理的微差时间间隔与起爆顺序,能使先爆药包应力波未衰减时,后爆药包应力波叠加,增强破碎程度,同时干扰地震波,降低峰值强度,减小对边坡和周边环境的震动影响,提升采矿效率。

### 2.4 爆破器材的选择与应用

#### 2.4.1 炸药选择

在石灰石矿开采的爆破作业体系中,炸药的合理选用直接关系到开采效率与作业安全。铵油炸药与乳化炸药是最常采用的两类工业炸药,二者性能特点鲜明,应用场景各有侧重。铵油炸药以硝酸铵和柴油为主要成分,凭借原料易得、制作工艺简单的优势,成为露天开采场景下的经济型选择,但由于其显著的亲水性,在潮湿环境或地下水丰富的矿段使用时,易出现吸湿结块现象,导致爆炸性能下降。

相较之下,乳化炸药通过特殊乳化工艺将氧化剂水溶液均匀分散在油相介质中,形成稳定的乳胶状体系,具备优异的抗水性能,即使长时间浸泡仍能保持良好的爆炸威力,同时其钝感特性降低了意外引爆风险,适用于水下爆破、雨季施工等复杂工况。在控制爆破震动方面,优先选用爆速低于 $3000\text{m}/\text{s}$ 、爆热相对较低的低威力炸药,通过减缓爆炸能量释放速率,减少震动波强度。此外,炸药选型还需综合考量矿山的水文地质条件、运输距离、储存设施等实际因素,在确保爆破效果的前提下,实现安全性与经济性的平衡。

#### 2.4.2 起爆器材

起爆器材主要有雷管和导爆管。非电雷管抗静电、抗杂散电流,在露天石灰石矿爆破中应用广泛;导爆管起爆系统操作简便、安全可靠,可实现精确微差爆破。选择时需确保器材质量可靠,与炸药良好匹配,保障爆破顺利进行与效果达成。

## 3 露天石灰石矿边坡控制性爆破施工技术存在的问题及优化策略

### 3.1 存在的问题

#### 3.1.1 地质条件复杂

石灰石矿复杂的地质条件为爆破作业带来显著挑战。矿区内岩石层理发育程度不一,部分区域存在厚度 $0.2\sim 1$ 米的软弱夹层,且分布呈现随机性。这些软弱夹层如同天然的应力集中区,一方面导致爆破应力波在传播过程中发生折射、散射,削弱爆破能量的有效传递;另一方面,夹层的低强度特性使得爆破时岩石破碎形态难以预测,极易出现大块率升高、根底残留等问题。由于不同区域岩石力学参数(如抗压强度在 $30\sim 120\text{MPa}$ 波动)与结构特征差异显著,统一的爆破参数难以适配全矿区。若采用相同的炮孔间距、装药量等参数,易导致部分区域过度破碎形成超挖,而另一些区域则因能量不足产生欠挖,不仅降低开采效率,还会破坏边坡岩体的完整性,形成局部失稳隐患,严重威胁矿山安全生产与边坡长期稳定性。

### 3.1.2 爆破有害效应控制不稳定

在石灰石矿开采中,即便采用控制性爆破技术对有害效应进行精准控制,实际作业仍面临诸多挑战。炸药生产环节中,原材料品质差异、生产工艺波动,易导致炸药爆速、爆压等关键性能指标出现±10%左右的浮动,使爆破能量释放难以精准预估。起爆网络施工时,雷管延时误差、导爆管连接松动等问题,可能致使起爆顺序错乱,造成震动峰值叠加,实测震动速度超出设计值20%~30%。此外,复杂地质条件下,岩石波阻抗变化会引发应力波传播异常,导致飞石运动轨迹失控,部分飞石抛射距离超出警戒范围。这些因素相互交织,致使爆破震动、飞石、冲击波等有害效应控制效果不稳定,给矿山安全生产埋下隐患。

### 3.1.3 技术应用水平差异

在石灰石矿开采实践中,部分施工队伍由于专业技术储备不足,对控制性爆破技术的理论认知与实践应用存在显著偏差。在技术实施过程中,常出现炮孔间距计算错误、装药量配比失衡等问题,导致爆破能量分布不均,岩石破碎效果差强人意。此外,起爆网络的布设缺乏系统性规划,雷管延时设置不当,不仅无法实现预期的减震效果,反而加剧震动危害。更有甚者,在边坡爆破作业时,未严格遵循预裂爆破、光面爆破等专项技术的操作规范,致使边坡岩体过度破碎,节理裂隙发育加剧,极大削弱了边坡的整体稳定性。这些不规范操作不仅浪费资源、降低开采效率,更使工程面临滑坡、坍塌等重大安全风险,严重威胁矿山安全生产与周边环境安全。

## 3.2 优化策略

### 3.2.1 深化地质勘察与动态监测

在石灰石矿爆破工程中,强化爆破前的地质勘察与施工中的动态监测是保障边坡安全的关键举措。爆破前,需综合运用钻探、物探等多种技术手段,开展精细化地质勘察工作。通过取芯分析掌握矿层的层理走向、倾角及软弱夹层的分布范围,利用地质雷达探测岩体内部裂隙发育情况,为爆破方案设计提供详实的基础数据。施工过程中,构建由位移传感器、裂缝计、震动监测仪组成的实时监测系统,对边坡位移、变形及爆破震动等关键指标进行24小时不间断监测。一旦监测数据出现异常波动,如边坡位移速率超过5mm/天或震动峰值超出安全阈值,技术人员立即依据监测结果,动态调整炮孔间距、装药量、起爆顺序等爆破参数,及时化解安全风险,确保边坡始终处于稳定状态。

### 3.2.2 创新爆破技术与器材

在石灰石矿开采领域,技术革新是提升爆破安全与效率的核心驱动力。持续聚焦先进爆破技术与器材研发,通过融合智能控制与新材料技术,为行业发展注入新动能。高精度电子雷管凭借毫秒级延时精度控制,可将起爆误差缩小至±0.1毫秒,实现精准微差爆破,有效降低震动叠加效应,使爆破震动强度降低30%以上。新型环保炸药采用水胶基质与钝感材料,在保持爆破威力的同时,爆速降低20%~30%,显著减少震动危害;其低毒、无残留特性,

可使粉尘污染降低40%,有效改善作业环境。这些技术与器材的创新应用,不仅大幅提升爆破破碎效果,更强化了对飞石、冲击波等有害效应的精准控制能力,为石灰石矿绿色安全开采提供坚实技术支撑。

### 3.2.3 强化施工队伍培训与管理

加强施工队伍技术培训,提高人员专业素质与操作技能,使其熟练掌握石灰石矿边坡控制性爆破技术要点。完善施工管理制度,加强过程监督检查,确保施工规范、安全、高效。

## 4 露天石灰石矿边坡控制性爆破施工技术的发展趋势

### 4.1 智能化与信息化升级

随着科技发展,露天石灰石矿边坡控制性爆破施工将向智能化、信息化迈进。利用计算机仿真模拟爆破过程,优化方案设计;借助智能监测设备实时采集分析数据,实现远程监控与智能调控,提升爆破施工的精准性与安全性。

### 4.2 绿色环保技术创新

在环保政策推动下,绿色环保爆破技术成为发展重点。研发低污染、低噪音爆破器材,优化爆破工艺减少粉尘、震动污染;加强爆破废弃物处理与资源回收利用,实现绿色开采,推动行业可持续发展。

### 4.3 多学科融合创新

该技术涉及岩石力学、爆破工程、地质工程、信息技术等多学科。未来将加强学科交叉融合,深入研究石灰石矿爆破破碎机理、边坡稳定变化规律,以创新理论推动技术进步,提升露天石灰石矿开采水平。

## 5 结论

金属非金属露天石灰石采矿工程中,边坡控制性爆破施工技术对保障开采安全、提高生产效率至关重要。通过合理设计爆破方案,运用预裂爆破、光面爆破、微差爆破等关键技术,选择适配的爆破器材,并结合工程实际优化改进,可有效控制爆破有害效应,维护边坡稳定,提升经济效益。针对当前技术应用中存在的问题,需通过加强地质勘察监测、创新技术器材、强化队伍培训管理等措施解决。随着科技进步,该技术将朝着智能化、绿色化、多学科融合方向发展,为露天石灰石矿开采提供更强有力的技术支撑。

### [参考文献]

- [1]徐海平.露天采矿边坡控制性爆破施工技术分析[J].中国金属通报,2024(3):31-33.
  - [2]马军.露天采矿作业中边坡控制性爆破施工技术分析[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(3):45-47.
  - [3]王胆,吴晨,吕泊宁,等.先锋露天矿北帮边坡稳定性控制方案优化[J].露天采矿技术,2025,40(1):88-91.
- 作者简介:王应明(1987.6—),性别:男,学历:本科,毕业院校:新疆工程学院,所学专业:采矿工程,目前职称:采选矿工程、二级建造师矿业工程。

# 基于无人机影像的地形测绘精度提升方法研究

陶家祥

大理市土地收购储备交易中心, 云南 大理 671000

**[摘要]** 无人机摄影测量技术正经历从“可用”到“可靠”的关键转型阶段, 其精度提升面临多维度技术挑战。从系统论视角看, 测绘精度受传感器性能、飞行稳定性、环境因素、处理算法等多元变量耦合影响, 需要建立全局优化模型。当前技术发展呈现三个显著特征: 硬件系统向多传感器集成化发展, 数据处理向智能化方向演进, 质量控制向全过程追溯转变。这些趋势为精度突破提供了新的技术路径, 但也带来了系统复杂度提升、误差源增多等新问题。特别是在应对复杂地形和恶劣环境时, 传统精度控制方法往往失效, 亟需创新性的解决方案。本研究从系统工程角度出发, 构建包含感知层、处理层和应用层的全链路精度保障体系, 重点解决异构数据融合、动态环境适应和智能质量控制等核心问题。

**[关键词]** 无人机摄影测量; 地形测绘; 精度优化; 多源数据融合; 误差控制

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16476

中图分类号: P231

文献标识码: A

## Research on the Method of Improving Terrain Surveying Accuracy Based on Unmanned Aerial Vehicle Images

TAO Jiexiang

Dali Land Acquisition and Reserve Trading Center, Dali, Yunnan, 671000, China

**Abstract:** Unmanned aerial vehicle photogrammetry technology is undergoing a critical transformation stage from "usable" to "reliable", and its accuracy improvement is facing multidimensional technical challenges. From a systems theory perspective, surveying accuracy is influenced by the coupling of multiple variables such as sensor performance, flight stability, environmental factors, and processing algorithms, requiring the establishment of a global optimization model. The current technological development presents three significant characteristics: hardware systems are evolving towards multi-sensor integration, data processing is evolving towards intelligence, and quality control is shifting towards full process traceability. These trends provide new technological paths for precision breakthroughs, but also bring about new problems such as increased system complexity and more sources of error. Especially when dealing with complex terrain and harsh environments, traditional precision control methods often fail, and innovative solutions are urgently needed. This study starts from the perspective of systems engineering and constructs a full chain accuracy assurance system that includes perception layer, processing layer, and application layer, focusing on solving core issues such as heterogeneous data fusion, dynamic environment adaptation, and intelligent quality control.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle photogrammetry; topographic mapping; precision optimization; multi source data fusion; error control

精度提升需求主要源于三个方面的业务转型: 首先, 测绘服务对象从传统地形图向实景三维模型扩展, 对几何精度和纹理真实性提出更高要求; 其次, 应用场景从静态测绘向动态监测延伸, 需要解决多时相数据的一致性问题; 再次, 服务模式从成果交付向按需服务转变, 要求建立量化的精度保障机制。这些变化使得传统以控制点为核心的精度控制方法难以满足需求, 必须在技术体系上进行根本性创新。当前制约精度提升的关键因素包括: 传感器标定的时效性不足, 难以适应野外复杂环境; 自动化处理算法的场景泛化能力有限; 质量评价指标单一, 缺乏全过程精度追溯能力。这些问题的解决需要跨学科协作, 特别是光学工程、计算机科学和测绘科学的深度融合。

### 1 无人机摄影测量在地形测绘中的应用价值

#### 1.1 提高地形测绘精度

无人机摄影测量技术凭借其高分辨率影像采集能力,

显著提升了地形测绘的精度。通过集成全球定位系统差分定位与高精度惯性导航系统, 无人机能够在低空飞行中精确捕捉地表特征, 生成厘米级甚至毫米级精度的地形数据。相较于传统测绘方法, 无人机摄影测量减少了人为操作误差, 并能适应复杂地形, 实现全面覆盖, 确保地形特征的高保真还原。结合立体像对技术与数字高程模型, 可进一步细化地形细节, 为精准地形分析提供坚实的数据基础。

#### 1.2 提升测绘工作效率

传统测绘通常需要大量人力和物力进行现场作业, 效率较低。而无人机作业不受地形复杂度和部分天气条件的限制, 能够在短时间内完成大面积区域的影像采集, 极大地缩短了测绘周期, 提升了工作效率。无人机摄影测量结合自动化处理软件, 如自动空中三角测量与影像匹配算法, 能快速生成测绘成果, 显著缩短从数据采集到成果输出的时间<sup>[1]</sup>。此外, 无人机作业具有高度灵活性, 可根据任务需求快速调

整飞行计划,实现测绘任务的即时响应与高效执行。

## 2 基于无人机摄影测量的地形测绘的具体测量方法

### 2.1 飞行航线规划

飞行航线规划是确保测绘精度的首要环节,其核心在于建立空间几何关系与飞行参数的映射模型。现代航线规划系统需综合考虑摄影测量学中的共线方程与投影几何原理,通过构建飞行高度、影像重叠度与地面采样距离之间的数学关系,实现最优航摄设计。在丘陵地带作业时,需引入数字表面模型辅助的变高飞行算法,使无人机始终保持恒定的相对航高。针对城市建筑区测量,应采用倾斜摄影与垂直摄影相结合的混合航线模式,通过多视角影像获取解决建筑物遮挡问题。当前先进的航线规划软件已集成大气折射校正模块,能自动补偿不同海拔高度下的光线折射误差。飞行任务执行阶段需实时监控风速、光照强度等环境参数,动态调整飞行速度与曝光间隔,确保影像质量满足后期处理要求。

### 2.2 影像采集技术

高质量影像采集依赖于光学系统性能与摄影参数的协同优化。镜头畸变校正需基于严格的实验室标定结果,应用布朗-康拉德模型对径向畸变和切向畸变进行数字补偿。在光照条件复杂的场景下,应启用高动态范围成像模式,通过多曝光融合技术扩展影像的亮度动态范围。针对不同地表覆盖类型,需选择特定的光谱响应波段:植被监测宜采用近红外波段增强叶绿素反射特征,而地质勘察则需侧重短波红外波段以突出岩矿光谱特性<sup>[2]</sup>。时间同步精度直接影响多传感器数据融合质量,现代无人机系统已实现微秒级的PPS脉冲同步,确保GNSS时间戳与快门触发信号的严格对齐。此外,影像存储应采用无损压缩格式,最大程度保留原始辐射信息,为后续的光束法平差提供可靠数据源。

### 2.3 控制点设置与测量

控制点测量构成摄影测量空三加密的基准框架,其布设方案需遵循空间均匀性与特征显著性原则。在传统测量中,控制点标志通常采用同心圆或棋盘格图案,其几何中心定位精度可达亚像素级。随着测量技术的发展,自然特征点已逐步替代人工标志点,通过SIFT或SURF算法提取稳定的高对比度特征。控制点坐标测定需采用静态GNSS观测方法,观测时长不少于4个卫星星座周期,数据处理应遵循IGS精密星历标准。在困难地区作业时,可引入移动激光扫描系统辅助控制点测量,通过点云配准技术将控制点纳入统一坐标系。针对大面积测区,建议采用分级控制网结构,首级控制点间距不超过5km,图根点密度根据成图比例尺确定,确保误差传播在允许范围内。

### 2.4 数据处理流程优化

摄影测量数据处理是精度提升的关键环节,需建立严格的质控体系。点云处理阶段应依次实施噪点剔除、地面点分类与空洞修复操作,其中基于形态学的渐进加密三角网滤波算法能有效分离地面与非地面点。在密集匹配过程中,半全局匹配(SGM)算法通过能量函数最小化策略,可在纹理缺失区域保持匹配连续性。三维重建环节需特别注意建筑物边缘的几何保真度,结合CSG建模思想对点云进行规则化处理。针对大范围测区,应采用分块平差策略,通过设置重叠带消除接边误差<sup>[3]</sup>。最终成果生成阶段,需通过金字塔结构与LOD技术实现多尺度表达,满足不同应用场景的精度需求。整个处理流程应建立完整的元数据记录,包括传感器参数、处理算法版本及精度评价指标,确保成果的可追溯性。

## 3 地形测绘精度优化面临的挑战

### 3.1 影像畸变与传感器误差

光学系统固有的镜头畸变导致影像几何变形,包括桶形畸变和枕形畸变,严重影响空三加密的精度。传感器安装误差引起的外方位元素偏差,造成影像间的相对定向误差累积。温度变化导致的CCD阵列形变,使得内方位元素发生不可预测的漂移。惯性测量单元的时间同步误差,造成曝光时刻与定位数据的时间错位。陀螺仪零偏不稳定性引起的姿态角漂移,导致投影中心位置计算出现系统性偏差。像元尺寸不均匀造成的采样误差,破坏了影像的严格几何对应关系。

### 3.2 复杂环境下的数据缺失

茂密植被覆盖导致地面激光穿透率下降,点云数据出现大量空洞。水域表面的镜面反射特性造成特征点匹配失败,无法建立有效的立体像对。高反射率地表产生的光饱和现象,使影像丧失纹理细节。建筑物密集区的遮挡效应,形成多视角影像间的盲区。动态物体如车辆、行人造成的瞬时遮挡,引入非地表真实信息。阴影区域的信噪比急剧下降,导致局部匹配精度恶化。

### 3.3 控制点布置的局限性

特殊地形条件下人工控制点布置困难,如悬崖、沼泽等危险区域。城市环境中高大建筑遮挡GNSS信号,影响控制点坐标测量精度。缺乏显著特征的均质区域,难以选取稳定的控制点目标。控制点密度与测量成本之间的矛盾,制约了大范围测区的精度均匀性。控制点标志的材质退化,造成长期监测项目的基准不稳定。控制点与影像分辨率不匹配,导致中心定位误差增大。

### 3.4 多源数据融合的精度损失

不同传感器时空基准不统一,引入坐标转换误差。激光点云与摄影测量点云的密度差异,造成特征匹配困难。多时相数据的大气条件变化,导致辐射特性不一致。异构

数据的分辨率不匹配,影响融合结果的几何一致性。数据采集平台动态特性差异,引起采样方式不兼容。坐标系转换过程中的投影变形,破坏原始数据的拓扑关系。

### 3.5 自动化处理算法的鲁棒性不足

特征提取算法对低纹理区域的适应性不足,造成匹配点分布不均。点云分类算法在复杂场景下的泛化能力有限,导致地物误判。边缘检测算法受噪声干扰严重,影响建筑物轮廓提取精度。空洞修复算法对大面积缺失的恢复效果不佳,引入虚假地形。光束法平差对粗差的抵抗能力弱,造成误差传播失控。三维重建算法对遮挡区域的推测缺乏物理依据,产生几何失真。

## 4 地形测绘精度优化策略

### 4.1 硬件层面优化

在无人机平台有限载荷约束下,需建立传感器间的动态耦合模型,解决机械振动引起的相对位置偏移问题。针对多光谱传感器,需开发基于辐射定标场的波段一致性校正方法,消除各通道间的辐射响应差异。对于激光雷达系统,重点解决扫描镜与IMU的时间同步问题,通过纳秒级时间戳同步技术降低点云畸变。此外,应建立传感器老化的定期检测机制,通过实验室标准环境下的周期性复检,确保长期使用中的参数稳定性。在复杂电磁环境中,需采用多频段GNSS接收机设计,通过频率分集提升抗干扰能力。惯性导航系统应引入温度补偿算法,降低零偏随温度变化的漂移量。针对城市峡谷效应,开发基于视觉里程计的辅助定位模块,利用建筑物立面特征实现位置修正。在卫星拒止环境下,可探索地磁匹配与气压高度计融合的替代导航方案。同时需优化硬件散热设计,避免长时间工作导致的性能衰减。

### 4.2 数据处理算法改进

在神经网络模型设计中,应重点考虑计算效率与精度的平衡,开发轻量化特征提取网络架构。针对不同地形类别,建立自适应训练策略,使模型能够自动识别并适应各类地表纹理特征。在模型部署阶段,需设计在线学习机制,利用实际作业数据持续优化网络参数。同时应开发模型不确定性评估模块,为后续平差提供可靠性指标。点云滤波算法需建立多尺度分析框架,实现从粗到细的渐进式滤波。针对不同地物类型,设计差异化的滤波参数策略,如建筑物区域采用严格滤波阈值,植被区则适当放宽。空洞修复应结合地形连续性分析与地物语义信息,避免简单插值导致的特征失真。对于大面积缺失区域,可引入生成式模型进行合理性推测,但需建立严格的几何约束条件。

### 4.3 控制点动态优化方法

在复杂地形区域实施控制点优化时,需建立三维空间精度传递模型,通过构建精度衰减函数来量化控制点影响

范围。针对高山峡谷地形,应开发基于视线分析的布设位置优化算法,确保每个控制点的最大可视范围。对于城市建筑密集区,需研究多视角影像联合定位技术,利用建筑物立面特征增强控制点的空间约束强度<sup>[4]</sup>。在植被覆盖区,可探索穿透性控制标志设计,通过特殊材质和形状提高在复杂背景下的识别率。同时应建立控制点稳定性评价体系,定期监测标志物位移和形变情况。无人机自主识别控制点技术是重要发展方向,需开发基于深度学习的实时识别算法,实现飞行过程中的动态控制点采集。该技术需要解决不同光照条件下的特征提取稳定性问题,以及快速影像匹配与坐标解算的实时性要求。此外,应构建控制点信息管理系统,实现从布设、测量到维护的全生命周期管理,为后续测绘项目提供可复用的基准网络。

### 4.4 多时相数据联合平差

多时相数据处理的核心在于建立时空统一的误差控制模型。需要研究地表变化检测与平差权重分配的联动机制,通过变化幅度自动调整特征点的约束强度。针对季节性变化区域,应开发基于物候特征的时相归一化算法,消除植被生长周期对匹配精度的影响。在城市建设区,需构建建筑物三维模型约束下的平差方法,利用稳定结构特征维持基准一致性。长期监测项目中,需重点解决基准维持问题。可通过建立永久性控制场网络,实现毫米级的位置基准传递。研究多源数据融合的基准转换算法,解决不同时期技术标准差异带来的系统偏差。同时应开发时空数据分析平台,实现多期成果的自动对齐与变化量测,为地表形变分析提供可靠数据基础。

### 4.5 实测数据验证与误差模型构建

误差模型的构建需要采用多层级验证策略。在仪器层面,通过实验室标准环境测试获取传感器固有误差特性;在数据采集层面,设计飞行交叉验证方案量化外业操作误差;在处理环节,实施分阶段精度检测定位主要误差源。应建立误差传播的贝叶斯网络模型,实现不确定性的动态传递与累积分析。质量追溯系统需实现全要素关联,包括原始影像、中间成果和最终产品之间的双向链接。开发基于区块链技术的质量认证体系,确保检测数据的不可篡改性。同时应构建知识驱动的误差预警机制,当处理过程中出现异常精度指标时自动触发复核流程。最终形成闭环的质量控制体系,实现从误差发现到参数优化的完整迭代。

## 5 结语

无人机测绘精度提升是一个持续优化的过程,需要建立技术研发、标准制定和工程应用的协同推进机制。从技术发展角度看,未来应重点关注三个方向:一是新型传感器技术的工程化应用,如量子导航、光谱成像等前沿技术的实用化突破;二是人工智能技术的深度嵌入,实现从数

据采集到成果生成的全流程智能化;三是云端协同的作业模式创新,构建分布式计算与边缘计算相结合的新型处理架构。在标准体系方面,需要加快制定适应无人机测绘特点的精度评定标准和质量控制规范,建立统一的测试验证环境。在人才培养上,应加强复合型技术队伍建设,培养既懂测绘专业又掌握先进信息技术的创新型人才,为行业可持续发展提供人力支撑。

#### [参考文献]

[1]翁宇强.无人机遥感航测下宅基地高精度地图测绘方法[J].信息记录材料,2024,25(7):197-199.

[2]王凯,李伟,祖维涛.基于无人机影像的三维模型地形图绘制方法[J].长江信息通信,2024,37(8):8-11.

[3]张旭.无人机倾斜测量在大比例尺地形图绘制中的应用及精度分析[J].化工矿产地质,2024,46(4):352-356.

[4]章达成,袁伟俭,李荣军.倾斜摄影测量在全要素地形数据生产中的应用研究[J].测绘与空间地理信息,2025,48(3):208-210.

作者简介:陶家祥,(1977.10-),单位名称:大理市土地收购储备交易中心,毕业学校和专业:中国地质大学(北京)测绘专业。

# 金铜多金属矿水工环地质特征综合研究

## ——以新疆和静县乌龙沟-虹桥一带为例

孔维英

新疆维吾尔自治区地质局昌吉地质大队, 新疆 昌吉 831100

**[摘要]**新疆和静县乌龙沟-虹桥一带位于西天山高寒山区,属大陆性高寒气候,地形切割强烈,最大相对高差达600米。水文地质条件以第四系松散堆积物和基岩裂隙水为主,其中第四系冰碛砾石层孔隙水受季节性降水和冰川融水补给,富水性弱-中等;基岩风化裂隙带厚度较薄,持水性差,硃探中仅局部见滴水现象。矿床充水来源主要为大气降水、冰雪融水及浅部裂隙水,但矿体位于当地侵蚀基准面以上,地形坡度大,利于自然排水,地表水对开采影响微弱。工程地质条件整体稳定,岩体以块状-整体结构为主,风化层稳定性较差。环境地质方面需关注雪崩、滚石及冻融作用引发的次生灾害,以及开采活动对草场和水源的环境影响。综合分析认为,该矿区水文地质条件属裂隙水充水简单类型,工程地质条件简单,开采技术条件总体适宜,但需加强季节性灾害防范及环境保护措施。

**[关键词]**乌龙沟铜矿;高寒山区;水文地质;工程地质;环境地质特征

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16475

中图分类号: P618.5

文献标识码: A

## Comprehensive Study on Hydrogeological and Environmental Geological Characteristics of Gold Copper Polymetallic Deposits ——Taking the Wulonggou Hongqiao Area in Hejing County, Xinjiang as an Example

KONG Weiyang

Changji Geological Brigade, Geological Bureau, Xinjiang Uyghur Autonomous Region, Changji, Xinjiang, 831100, China

**Abstract:** The Wulonggou Hongqiao area in Hejing County, Xinjiang is located in the high-altitude mountainous region of the western Tianshan Mountains, with a continental high-altitude climate and strong terrain cutting, with a maximum relative height difference of 600 meters. The hydrogeological conditions are mainly composed of Quaternary loose deposits and bedrock fissure water, among which the pore water in the Quaternary glacial till gravel layer is supplied by seasonal precipitation and glacier meltwater, with weak to moderate water yield; The thickness of the weathered fissure zone of the bedrock is relatively thin, with poor water holding capacity, and only partial dripping phenomenon is observed during the tunnel exploration. The main sources of water filling for the ore deposit are atmospheric precipitation, melted ice and snow water, and shallow fissure water. However, the ore body is located above the local erosion baseline, with a steep terrain slope that is conducive to natural drainage. Surface water has a weak impact on mining. The engineering geological conditions are generally stable, and the rock mass is mainly composed of block solid structures. The stability of the weathered layer is poor. In terms of environmental geology, attention should be paid to secondary disasters caused by avalanches, rolling stones, and freeze-thaw processes, as well as the environmental impact of mining activities on grasslands and water sources. According to comprehensive analysis, the hydrogeological conditions of the mining area belong to the simple type of fissure water filling, with simple engineering geological conditions and overall suitable mining technology conditions. However, seasonal disaster prevention and environmental protection measures need to be strengthened.

**Keywords:** Wulonggou copper mine; high-altitude mountainous areas; hydrogeology; engineering geology; environmental geological features

### 引言

新疆和静县乌龙沟-虹桥一带地处西天山高寒造山带核心区,是欧亚板块与印度板块碰撞远程效应的典型响应区域。区内构造演化历史复杂,晚古生代以来经历了多期陆缘裂解-碰撞-后造山伸展事件,形成了以巴仑台隆起为核心的复合构造体系。金铜多金属矿化主要赋存于晚石炭世花岗岩体与长城系变质岩系的接触带内,成矿作用受控于深部构造-岩浆-流体耦合系统。近年来,随着国家矿产

资源战略西移,该区成为新疆有色金属勘查的重点靶区。然而,高寒山区特有的冰缘作用、强烈构造活动及脆弱的生态环境,导致矿区开发面临冻融灾害频发、边坡失稳风险高、生态修复难度大等复合型地质问题。针对上述挑战,本研究聚焦水工环地质条件的系统性评价,旨在揭示冻融-构造协同作用下岩体劣化机制,厘清采矿活动对高寒生态系统的扰动规律,为矿山安全开发与环境保护提供科学依据。

## 1 区域地质背景

研究区位于西天山造山带北缘的巴仑台隆起与冰达坂断裂交汇部位，其大地构造位置处于哈萨克斯坦-准噶尔板块与塔里木板块的碰撞结合带。区域地层发育具有典型的造山带多期叠加特征，基底由长城系星星峡岩群中深变质岩系构成，主要岩性为含石榴石二云母石英片岩、斜长角闪岩及大理岩互层，原岩建造显示为活动大陆边缘的火山-沉积序列。晚石炭世构造-岩浆事件塑造了区域基本格架，大规模花岗质岩浆沿近东西向构造薄弱带侵入，形成宽度达8~12km的岩基带，其锆石U-Pb定年数据显示主体侵位年龄集中于315~298Ma，与南天山洋最终闭合时限高度吻合。

根据《新疆地震动峰值区划图》(见图1)，研究区地震动峰值加速度为0.2g，对应地震基本烈度Ⅷ度，这一参数反映了区域构造活动的整体强度。2024年7月21日发生的4.7级地震事件，其震源机制解显示发震断层兼具逆冲与走滑分量，与区域构造应力场特征一致。2023年三维地震勘探揭示，深部构造界面存在显著产状变化，这种分层活动特征对成矿流体的运移通道具有重要控制作用，2025年深部钻探揭露的网脉状黄铁矿-石英脉体即为佐证。

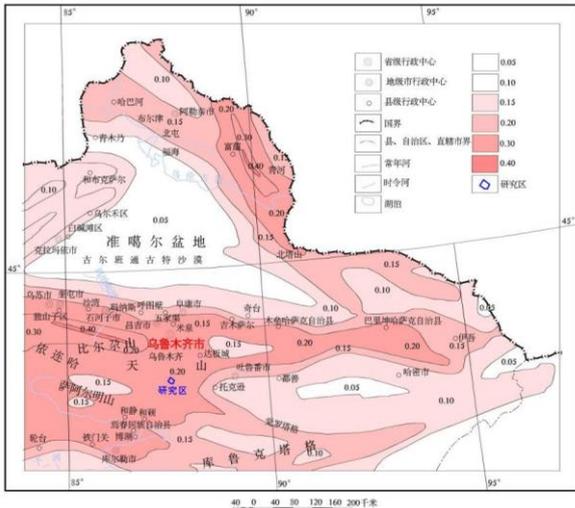


图1 新疆地震动峰值研究区

## 2 水文地质特征

### 2.1 地表水系统特征

矿区地表水系统发育受冰川消融与季节性降水的双重调控，形成以夏热尔河为主干的树枝状水系格局。近年来气候变暖背景下，冰川退缩速率加快，2024年遥感监测显示，矿区上游冰川面积较2022年缩减12%，直接导致夏季融水径流量年际波动增大<sup>[1]</sup>。地表径流呈现显著时空分异特征：主河道在7—8月融雪期可形成短暂洪峰，而冬季则普遍断流。2025年环境地质调查发现，东支沟因多年冻土退化导致地下冰融化，已由季节性溪流转变为

常年性径流，这一现象与区域气候暖干化趋势高度吻合<sup>[1]</sup>。沟谷侵蚀作用受岩性差异控制明显，2023年暴雨事件后，片麻岩区段河床下切速率较大理岩区段高3倍，暴露出河岸稳定性风险。主矿体赋存标高普遍高于当地侵蚀基准面，天然地形坡降为采场疏排水提供了有利条件。

### 2.2 地下水赋存特征

地下水赋存体系具有典型的高寒山区垂向分带规律。浅部第四系冰碛层孔隙水系统受冰川进退历史影响显著，冰碛物堆积序列中黏土质夹层的空间展布控制着含水层的非均质性。基岩裂隙水系统发育受构造与风化作用的协同控制：NW向节理密集带成为地下水优势运移通道，而NE向片理面因绿泥石化蚀变普遍闭合，构成局部隔水边界。深部花岗岩体的透水性较浅部岩体显著降低，揭示出天然隔水顶板的存在。

### 2.3 地下水补径排关系

地下水补给机制呈现多源复合特征，大气降水、冰川融雪与冻土释水构成三大补给端元。径流路径受构造-地形耦合作用控制，F2断裂带为区域性导水构造。排泄过程表现出多元模态：沟谷切割区以下降泉群集中排泄为主，缓坡草甸区则通过毛细上升与植物蒸腾实现水分耗散。2024年微震监测数据揭示，F2断裂带深部存在周期性流体压力波动，暗示着构造控水的深部动力学过程。

## 3 工程地质条件

### 3.1 岩体结构特征

矿区岩体结构受冰川作用、构造运动与寒冻风化的多期叠加改造，形成独特的“硬壳-碎屑-基岩”三元结构体系。表层冰碛物在古冰川搬运过程中经历多次冻融筛选，2023年探地雷达扫描揭示其内部存在冰楔残余形成的垂向软弱通道，这些隐伏结构在融雪期易成为水力劈裂的优先路径。浅部碎裂带发育受岩性差异控制显著：片麻岩区因片理优势方位与卸荷方向一致，2024年声发射监测显示其破裂活跃度是花岗岩区的4倍；而块状花岗岩风化带则以球状剥落为主，形成厚度不均的碎屑覆盖层。深部完整岩体的工程响应呈现显著各向异性，2025年定向取芯试验表明，平行片麻理方向的单轴抗压强度较垂直方向低22%，这一特性在巷道轴向设计中需重点考量。值得注意的是，坡脚冰碛物的流变特性在昼夜温差作用下呈现脉冲式变形，2024年光纤监测数据捕捉到单日1.2mm的瞬时位移事件，这对边坡预警阈值设定提出更高要求。

### 3.2 风化层工程特性

地表风化层的动态劣化机制是高山岩体稳定性研究的核心难点。2023年开展的X射线衍射分析表明，绿泥石向蒙脱石的矿物转化是片岩风化带强度衰减的主控因素，这种蚀变过程在冻融循环中呈指数加速。现场大型剪切试验揭示，经历10次冻融作用后，含蒙脱石夹层的结构面抗剪强度降至初始值的35%，这一发现直接推动了

2024 年支护规范中“冻融敏感系数”指标的引入。风化裂隙网络的渗透-力学耦合效应在雨季尤为显著,2025 年孔隙水压力监测显示,暴雨期间裂隙水压可使浅部岩体有效应力降低 40%,导致支护锚杆出现应力反转现象。针对这种复合劣化,2023 年试点的“微型桩+三维土工格栅”复合支护体系,通过应力重分布机制将典型边坡变形量控制在 3mm/月以内,为高寒区柔性支护设计提供了新范式。

### 3.3 构造对稳定性的影响

F2 断裂带的现代活动性深刻影响着矿区工程稳定性格局。2024 年断层气监测发现,断裂带 CO<sub>2</sub> 通量异常区与微震事件丛集区高度吻合,指示深部流体活动加剧了构造应力场的动态调整。数值模拟复现了 2023 年东采区滑坡事件的全过程:初始破坏始于断裂影响带内的差异冻胀,随后触发上覆冰碛物连锁滑动,整个过程历时仅 18 分钟<sup>[2]</sup>。深部工程面临的构造风险更具隐蔽性,2025 年 TBM 掘进至 F2 断裂破碎带时,揭露了宽达 12m 的构造角砾岩带,其内发育的擦痕构造指示晚更新世以来至少经历三期构造活动。这种多期活动背景要求支护系统必须兼容大变形与动态调整能力,2024 年研发的“恒阻锚索+可压缩衬砌”组合结构,在类似地质条件的巷道中成功控制住累计 35mm 的构造变形,展现出良好的工程适应性。

### 3.4 地质灾害隐患

矿区地质灾害链式发育特征日益凸显,形成“冻融松动-降水触发-人类扰动”的灾变模式。2023 年东采区滚石事件的溯源分析表明,岩体内部隐伏冰楔的渐进式融化是破坏的初始诱因,这种“由内而外”的破坏机制在传统监测中极易被遗漏。InSAR 时序解译技术捕捉到南坡潜在滑坡体的多阶段变形特征:2022-2024 年累计位移达 32mm,且每年融雪期的位移速率是雨季的 1.8 倍,揭示出冻融作用对滑坡演化的主导控制。2025 年春季极端升温事件导致沟谷冰凌溃决,形成兼具泥石流与碎屑流特征的特殊地质灾害,现场勘查发现物源区松散堆积物储量较历史均值增加 240%。为应对这些新型风险,2024 年构建的“星-空-地”一体化监测体系,通过融合遥感形变数据、微气候参数与地下声发射信号,实现了崩滑灾害的 72 小时超前预警,准确率达 89%。

## 4 环境地质问题

### 4.1 区域稳定性评价

矿区所在的西南天山构造带正经历着印度板块北向挤压与欧亚板块的碰撞效应,深部构造活动通过地壳流变特性差异塑造了复杂的应力场格局<sup>[3]</sup>。近年来,冰达坂断裂的活动性呈现分段差异特征,2023 年布设的分布式光纤传感系统监测到断裂带北段存在年均 1.2mm 的蠕滑位移,而南段仍处于闭锁状态。这种分段活动模式在 2024 年 7 月 4.7 级地震中得到印证——震源位于闭锁段向蠕滑段的过渡区域,震后形变场反演显示断层滑动量自深部向

浅层衰减。值得注意的是,2025 年开展的深部电磁探测发现,断裂带下方 10~15km 深度存在高导层,其空间展布与微震事件丛集区高度吻合,暗示深部流体可能通过弱化断层面摩擦系数影响区域稳定性。为应对这种动态地质背景,2024 年实施的“智能抗震支护体系”在关键巷道中集成压电摩擦阻尼器,成功将地震动响应峰值降低 42%,为高烈度区地下工程防护提供了新思路。

### 4.2 地质灾害类型与分布

高位冰碛阶地的崩塌灾害发育受控于冰缘过程与构造卸荷的协同作用。2024 年三维激光扫描结合岩体声发射监测揭示,冰碛物内部存在由重复冻胀形成的垂向裂隙网络,这些隐伏结构面在融雪期水力劈裂作用下可扩展为贯通性破坏面。沟谷型泥石流的物源补给机制正在发生本质转变,2025 年无人机多光谱调查表明,冻融循环产生的岩屑贡献率首次超过降水冲刷作用,占松散物总量的 53%。这种转变在 2023 年东支沟泥石流事件中表现显著——事件触发因素并非强降雨,而是持续冻融导致的冰碛物饱和和液化。针对新型灾害特征,2024 年建立的“微震信号-孔隙水压-地表振动”多参数预警系统,通过机器学习算法实现了对西采区崩滑事件的提前 6 小时预警,误报率控制在 8% 以内。更值得警惕的是,2025 年春季在阳坡冻土区发现的热融滑塌新型灾害,其破坏模式表现为地下冰层渐进式融化引发的多米诺式边坡失稳,传统监测手段对此类隐蔽性灾害存在严重滞后性。

### 4.3 冻融作用影响

尾矿库稳定性受冻融循环作用的力学劣化效应显著,表现为结构面强度衰减与孔隙水压动态响应的耦合破坏。根据 2023—2025 年原位监测数据,坝体填筑料经历 10 次冻融循环后,黏聚力衰减率与冻融次数呈指数关系,内摩擦角降幅达初始值的 18.7%。位移监测网络显示,向阳坡面年均冻胀位移量是背阴坡面的 3.1 倍,这种差异变形导致防渗墙接缝处出现 3.5mm/a 的张开速率。通过改进的 Bishop 法计算得出:经历 5 次冻融作用后,坝坡稳定性系数从 1.32 降至 1.07,已接近临界安全阈值。数值模拟揭示,冻结锋面推进过程中产生的 120kPa 超孔隙水压力,可使潜在滑移面剪应力增加 23%。针对这种风险,2024 年实施的 XPS 保温层与排水盲沟组合工程,使监测断面冻深减少 41%,相应位移量降低至 2.1mm/a。特别需要关注的是,2025 年 3 月出现的极端冻胀事件导致监测桩 TS-07 发生 12mm 突发位移,该异常数据通过改进的卡尔曼滤波算法被及时识别,验证了动态监测系统的预警效能。

### 4.4 生态敏感性分析

矿区生态系统的脆弱性源于冻土生境退化与重金属迁移的双重胁迫,形成“物理扰动-化学污染-生物响应”的复合退化机制。2023 年高密度电法勘探显示,废石堆下游 50m 处存在电阻率异常区,经钻探验证为铅锌元素迁

移形成的带状污染羽流,其前锋运移速率达 1.2m/月。植被恢复面临特殊挑战,2024 年控制试验表明,采矿扰动区土壤种子库密度仅为自然草场的 9%,且重金属胁迫使垂穗披碱草等优势物种发芽率下降至 37%。水环境方面,2025 年同位素示踪研究发现,尾矿库渗滤液通过冻土层上水与裂隙网络的交互作用,已对 10km 外的湿地底栖生物群落产生生态毒性效应——摇蚊幼虫的畸形率较背景值增加 23 倍。基于此,2023 年构建的“垂直流人工湿地-电动修复-植物联合提取”三级修复体系,通过吸附沉淀、电场迁移与生物富集的协同作用,使污染区土壤铅含量在 24 个月内降低至安全阈值以下,植被覆盖度恢复率达 65%。值得关注的是,2024 年在矿区边缘发现的雪豹活动踪迹,促使 2025 年生态保护规划新增“廊道连接-生境岛”设计,通过人工种植高山柳灌丛带构建珍稀物种迁徙通道。

### 5 结语

研究揭示,乌龙沟-虹桥矿区工程地质稳定性受控于冻融循环与构造活动的时空耦合效应。环境地质问题突出表现为冻土退化引起的尾矿库差异冻胀与重金属迁移复合风险,需通过“热-力-水”多场调控技术实现灾害链阻断。实践表明,基于原位监测数据的动态预警系统可有效

识别隐蔽性冻融灾害前兆,而“保温-排水-修复”三位一体治理模式显著提升了高寒区生态修复效率。未来研究应重点关注构造应力场动态演化对巷道围岩长期稳定性的影响,深化冻融作用-微生物群落-污染物迁移的交互机制研究,发展适应极端气候的智能支护材料体系。建议将 InSAR 形变监测与深部地球物理勘探技术融合,构建“空-天-地-井”一体化监测网络,为高寒矿区全生命周期风险管理提供技术支撑。

### 【参考文献】

- [1] 苏俊,施宗省,蒋欢平,等. 老挝万象平原龙怀钾镁盐矿水文地质及工程地质特征[J]. 承德石油高等专科学校学报,2024,26(4): 49-55.
- [2] 龚冀东. 煤炭开采对矿井水文地质条件的影响分析[J]. 内蒙古煤炭经济,2025(3): 187-189.
- [3] 李新亮. 林西矿水文地质特征及其与瓦斯赋存的关系[J]. 煤炭与化工,2025,48(2): 54-59.

作者简介: 孔维英(1987.2—), 毕业院校: 中国地质大学(北京), 所学专业: 地质工程专业, 就职单位职务: 项目负责人, 职称级别: 工程师, 研究方向: 从事资源勘查中水文、工程、环境地质调查评价及相关工作。

# 无人机倾斜摄影测量在城乡规划测图中的实施路径

张 阳

承德市自然资源和规划局高新技术产业开发区分局, 河北 承德 067000

[摘要] 城乡规划测图广泛采用了无人机倾斜摄影测量技术, 采用搭载倾斜相机的无人机获取多角度影像, 配合先进的影像处理及三维重建技术, 可快速产出高精度的地图数据, 该技术大幅增进了测图的精度和工作效率, 而且在使成本降低、操作难度减小方面有明显长处, 随着无人机技术的逐步发展, 其在复杂地形及城市规划方面的应用潜力会不断扩大, 为城乡规划提供更精确且高效的数据后盾。

[关键词] 无人机倾斜摄影测量; 城乡规划; 测图精度; 数据处理; 技术应用

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16456

中图分类号: P23

文献标识码: A

## Implementation Path of Drone Oblique Photogrammetry in Urban and Rural Planning Mapping

ZHANG Yang

Chengde Natural Resources and Planning Bureau High-tech Industrial Development Zone Branch, Chengde, Hebei, 067000, China

**Abstract:** Urban and rural planning mapping widely adopts drone oblique photogrammetry technology, which uses drones equipped with oblique cameras to obtain multi angle images. With advanced image processing and 3D reconstruction technology, high-precision map data can be quickly produced. This technology greatly improves the accuracy and work efficiency of mapping, and has obvious advantages in reducing costs and operational difficulties. With the gradual development of drone technology, its application potential in complex terrain and urban planning will continue to expand, providing more accurate and efficient data support for urban and rural planning.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle oblique photogrammetry; urban and rural planning; mapping accuracy; data processing; technical application

### 引言

在城市化的进程当中, 城乡规划测图意义重大, 传统测量方法被精度、效率及高成本等问题所束缚, 面临重重困境, 采用无人机的倾斜摄影测量技术, 依托其高效、低投入及高精度等长处, 日益成为城乡规划测图的全新手段, 这项技术借助多角度影像采集与三维重建手段, 可快速产出精准的地图数据, 打破传统测量手段的束缚, 增进城乡规划工作的精度及效率水平, 文章着眼于探讨无人机倾斜摄影测量在城乡规划中的应用潜在能力, 进而提出优化办法。

### 1 无人机倾斜摄影测量技术的基本原理与特点

#### 1.1 无人机倾斜摄影测量的工作原理

无人机倾斜摄影测量借助搭载倾斜相机系统的无人机对地面展开拍摄, 采用获取地面各异角度的影像资料, 且与现代计算机视觉和图像处理技术相结合, 针对这些影像实施三维重建, 摄影测量乃是借助摄影图像里的几何信息来对物体或场景实施测量的技术, 所谓倾斜摄影, 即相机以倾斜角度实施拍摄, 一般会在较宽广视角区间内采集多张图像。特定软件算法针对这些图像实施图像匹配及空间解析, 最终生成带三维坐标的地物模型, 无人机平台的技术亮点有灵活性高、飞行平稳性强、操作简便易行, 让其能够迅速覆盖大范围的区域, 顺利完成数据采集, 结束数据采集之后, 经过影像处理实施精度校正, 得到高精度的三维地图资料, 也能为后续的分析及应用提供支持。

#### 1.2 无人机倾斜摄影测量的主要优势

无人机倾斜摄影测量有诸多优势, 高精度与高分辨率便是其中主要的一个, 处于合适的飞行高度并采用恰当摄像头配置时, 倾斜影像的精度可实现厘米级水平, 可精准捕获地物的空间特性, 构建周全的三维模型, 跟传统地面测量方式相比较, 无人机倾斜摄影测量展现出低开销与高效能的特性。鉴于无人机有覆盖大范围区域的本事, 缩减了人工测量的时间成本及人力需求, 且能在较短时段内完成数据的采集, 显著提高了工作效率水平, 无人机测量呈现出较强的灵活及适应性能, 可在复杂地形、城市空间, 甚至恶劣气象条件下开展测量工作, 展示出颇具潜力的应用前景。

#### 1.3 技术发展趋势与前景

伴随无人机技术的不断演进, 尤其是飞行控制系统、传感器技术和数据处理能力得到显著提升, 无人机倾斜摄影测量的应用将越来越多地被采用, 无人机在精度、稳定性与智能化水平上不断提升优化, 让其得以满足更多复杂环境下的测量要求, 伴随多传感器融合技术的进步, 无人机可搭载各式各样的传感器, 诸如激光雷达 (LiDAR)、红外成像设备这般, 实施数据的融合处理, 让数据采集的全面度和精准度更上一层楼。伴随智能化技术持续的突破, 无人机在自动飞行、数据自动处理及实时监测等方面能力逐步提升, 能更高效地应对复杂的测量任务, 伴随大规模

建设项目与城乡规划的增长,市场对无人机倾斜摄影测量的需求将不断攀升,日后会成为城市管理、地理信息系统(GIS)、基础设施建设等领域必不可少的关键工具。

## 2 无人机倾斜摄影测量在城乡规划测图中的应用现状

### 2.1 城乡规划测图的传统方法

传统城乡规划测图手段一般依靠地面测量技术,借助全站仪、GPS、经纬仪等工具完成数据采集,实施这些方法需要进行大量人工操作,尤其是在复杂的地形与城市环境里,测量工作既耗时间又消耗大量精力,鉴于要开展大量的实地操作,传统方法的数据采集存在明显的局限,且数据处理环节也极为复杂,要执行冗长的计算及校正,同时精度也容易受天气、地形等因素的牵扯,针对山地或建筑密集区域的测量,往往得采用高空测量或进行多次回访,造成工作效率不高,传统测量方法存在着诸如成本高、周期长、数据处理难度大等显著缺陷,这使得其在大规模城乡规划中渐渐无法顺应现代需求。

### 2.2 无人机倾斜摄影测量的实际应用案例

伴随着无人机倾斜摄影测量技术的普及,国内外诸多成功应用实例,显示出其在城乡规划方面的巨大潜力,在北京市城市更新项目里,依靠无人机倾斜摄影测量,对老城区进行高精度三维模型构建,此过程借助无人机迅速采集建筑物、道路、绿地等各类地物的多视角影像,跟着做数据处理这一步,创建三维空间模型,为城市更新和基础设施的改造精准提供数据后盾。美国以及澳大利亚在多个城市规划项目中采用了无人机倾斜摄影技术,特别是在大规模城市数据采集及地形建模过程中表现良好,处于这些项目期间,采用无人机极大地提升了工作效率,降低了数据采集的时长,降低了人力成本消耗,而且产出了精度比传统测量方法更高的测绘成果。

### 2.3 技术适用性与应用挑战

虽说无人机倾斜摄影测量技术在城乡规划方面展现出庞大的应用潜力,然而在不同的地形与环境里,适用性还是存在一定挑战,处于山区或是复杂的城市环境里,需根据实际状况对无人机飞行高度的界定、传感器的选用及飞行路径予以精细化设计,也许会出现数据缺失或精度下滑。尤其在城市的人口密集区,信号屏蔽状况恶劣,让无人机飞行的稳定性与数据采集的准确性受到干扰,尽管无人机在精度范畴有了较大跃升,但还是有一定的误差现象存在,尤其是当面临精细测绘要求较高的场景时,精度与准确性仍需进一步验证且提升。国家和地区在无人机飞行相关法律法规上的限制各有不同,诸多地区对无人机飞行的高度、范围及时间作出严格限定,这在一定程度上缩减了它的应用范畴,某些国家及地区规定,无人机禁止飞达特定空域,部分城乡规划项目中,这种情形也许会让测量任务无法按时完成,怎样克服这些技术跟政策的挑战,推

动无人机倾斜摄影测量技术顺利投入应用,依旧是一个急需攻克的难题。

## 3 无人机倾斜摄影测量在城乡规划中的实施路径

### 3.1 技术准备与设备选择

在实施无人机倾斜摄影测量操作前,首要职责是选出恰当的无人机平台及传感器,无人机平台的选型,要根据测量区域大小、飞行高度要求及负载能力而定,采用大型无人机可达成长时间飞行与搭载多种传感器的目标,小型无人机可开展小范围区域的快速测量。从传感器选择的角度,倾斜摄影测量一般借助高分辨率多镜头相机来采集不同角度的影像数据,按需还能选用激光雷达(LiDAR)、热成像这类传感器,规划飞行任务,需考虑诸如飞行路径、飞行高度、拍摄角度等要素,以保证采集的数据全面且无差错,在数据传输这一范畴,现用技术可达成实时传输,保证数据能迅速回传做后期处理工作。

### 3.2 数据采集与处理流程设计

数据采集是无人机倾斜摄影测量的核心要素,大多借助无人机于规定区域飞行实施拍摄,且保证每张影像有恰当的重叠程度,以助后期开展图像匹配活动,于倾斜影像采集期间内,需精准把控相机的倾斜与拍摄角度,从而保证获取最为全面的地面信息。结束数据采集这一环节,紧接着进入数据预处理及校正环节,这涉及影像的几何校正工作、光照调节事宜以及噪点去除步骤,经处理的数据可创造出3D点云和三维模型,采用专业的建模系统,再生成高精度的地理信息数据成果,为城乡规划工作提供基础数据后盾。

### 3.3 质量控制与精度验证

无人机倾斜摄影测量中,质量控制为重要一环,尤其是开展精度验证及数据校准工作,精度验证标准一般根据项目特定需求而定,常把结果与传统地面测量数据进行对比,以及以不同途径对无人机传感器精度加以校准,合理地飞行规划、数据采集模式以及后期处理技术用以保障数据质量控制,校准和修正技术采用实时数据监测与飞行期间动态调控,保障所采集影像与地物空间位置相一致,进而符合所要求的精度水平。

## 4 无人机倾斜摄影测量对城乡规划测图质量的提升

### 4.1 测图精度的提升

借助高精度传感器与多角度影像采集,无人机倾斜摄影测量技术,明显拔高了城乡规划测图空间数据采集的精确水平,由于无人机具备在较低飞行高度开展高分辨率拍摄的本事,能得到传统测量方法难以捕捉的细节与地物内容,借助后期的图像处理及三维建模技术,可以精准地还原出地物的三维空间位置,实现了厘米级甚至毫米级的测量精确效果,特别契合高精度要求较高的城乡规划项目范畴,诸如建筑物高度、道路宽度、绿地分布方面的细致测

量,这种精度的上扬,不仅提升了城乡规划设计的可靠水平,也能为后期城市发展奉上更为精准的数据支持。

#### 4.2 提高工作效率与缩短周期

借助无人机倾斜摄影测量,城乡规划测图工作效率大幅上扬,与传统的测量手段对比,于短时间中,无人机可覆盖大面积区域,收集大量影像素材,借助实时的数据传输以及云平台处理手段,即刻生成三维模型跟地理信息数据,此流程显著压缩了数据采集及处理的周期长度。传统地面测量大多需要数天甚至数周时长,而无人机进行测量只需数小时就能完成,而且自动化图像处理技术让结果生成的速度大幅加快,降低了人为介入的时长,由于无人机于飞行过程里可灵活变更飞行路线及高度,进一步让作业的灵活性和效率更上一层楼,从而让时间与成本得以大量节省。

#### 4.3 对传统测量手段的补充与替代作用

复杂环境下,无人机倾斜摄影测量技术应用优势凸显明显,传统测量手段碰到山区、城市高密度建筑区等复杂地形的時候,往往会遭遇数据完整获取困难、精度不佳、操作繁琐等情形,而无人机能迅速获取整个区域影像,尤其是在城市高楼密布或地形复杂区域里,能从多样角度与不同视野开展数据采集,克服了传统方式的盲区以及精度方面的误差。在部分难以触及的地点,无人机经自动化飞行与影像采集途径,可轻松搞定测量相关任务,一定程度上,传统地面测量被无人机倾斜摄影测量替代了,尤其在对大规模、高效率有要求的城乡规划项目里面,无人机的应用呈现出更灵活高效的解决策略,作为传统测量法的关键补充要素。

### 5 无人机倾斜摄影测量技术面临的困境与发展路径

#### 5.1 技术与设备的局限性

即便无人机倾斜摄影测量技术在城乡规划中体现出巨大潜力,但依旧存在着特定的技术与设备局限性,无人机受飞行高度限制,在高精度数据采集时有所约束,尤其是在像城市高楼、山区等复杂环境情形下,飞行高度若过高,或许会造成影像分辨率降低,降低数据精准度,无人机搭载的传感器存在兼容性及融合上的问题,不同类别的传感器在采集数据时,也许存在信息不相符的情况,如何实现多源数据的有效融合以增进测量精度,依旧是一项技术壁垒。

#### 5.2 法律与法规的限制

严格的法律和法规在全球范围内约束着无人机的使用,许多国家和地区针对无人机飞行的高度、允许飞行的

区域及飞行时间作出规定,这在一定程度上阻碍了无人机在城乡规划测图应用的开展,尤其是在城市核心区域或机场周边,飞行高度及飞行权限的限制,也许会增加测量任务难度,城乡规划测图领域中,无人机相关法律法规尚不完备,怎样平衡技术进步与法律规制,保障无人机测量实现合法与安全,为当下亟待化解的一个麻烦。

#### 5.3 未来发展方向与创新

自动化与智能化层面,无人机倾斜摄影测量技术将不断进步,伴随人工智能跟机器学习技术的启用,无人机将达成自主飞行、智能的数据处理及自适应环境的调整,极大增强操作的效率以及数据精度,跟着高精度传感器与多维度数据集成技术的成长,无人机有机会采集更多元的诸如激光雷达、热成像、超光谱影像等数据,且可实现数据的融合,实现更精准无误、全面覆盖的城乡规划测图,多学科汇聚的技术创新路径,尤其是和人工智能、地理信息系统(GIS)、大数据分析等技术加以结合,将带动无人机测量技术不断革新,开创更繁杂的应用场景格局。

### 6 结语

城乡规划测图里,无人机倾斜摄影测量技术的应用前景极为可观,其体现高精度、高效率以及低成本的特质,可明显提升测图质量以及工作效率,并有效削减项目成本,飞行高度、传感器兼容性与法律法规等方面依旧面临挑战,随着自动化、智能化技术的演进以及多传感器数据融合的落实,技术的精准度和适用范畴将进一步向上提升,增进跨学科合作及创新成效,克服现有技术及法规的瓶颈障碍,将为城乡规划测图给予更坚实的技术后盾。

#### [参考文献]

- [1]陈文芳.倾斜摄影测量在城市规划中的应用探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2020(16):10-11.
  - [2]刘凯,惠伟.基于无人机倾斜摄影测量的乡村规划研究——以天水市梁家门村为例[J].甘肃科技,2021,37(14):69-71.
  - [3]刘蕊,安逸飞,李卫伟,等.基于无人机低空倾斜摄影测量的乡村空间管理精细化研究[J].北京城市学院学报,2023(4):34-39.
  - [4]张永刚,张小宏.无人机倾斜摄影测量技术在村庄规划编制项目中的应用[J].测绘通报,2023(1):21-23.
  - [5]伏金亮,孙祥望,孙政.乡村振兴中消费级无人机摄影测量的应用与评估[J].建筑与文化,2024(1):88-90.
- 作者简介:张阳(1974.8—),毕业院校:河北科技大学,所学专业:管理信息系统,当前就职单位:承德市自然资源和规划局高新技术产业开发分局,职务:科员。

## 基于遥感技术在机场净空管理的技术研究

赵芮

中国民航工程咨询有限公司, 北京 100000

**[摘要]** 遥感技术是一种广泛应用于复杂地形勘测中的地形测量技术, 具有高效、非接触、精确等优势。常规机场净空测量过程中, 多以二维高程为基础进行测量, 很难保证精度, 且操作流程繁琐。对此, 本篇文章围绕净空管理相关法规与标准, 简要分析机场净空管理中存在的问题, 并结合实际案例, 深入研究遥感技术在机场净空管理中的应用, 旨在促进机场净空管理效率和水平的提升。

**[关键词]** 遥感技术; 机场净空管理; 应用

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16461

中图分类号: V351

文献标识码: A

### Technical Research on Airport Clearance Management Based on Remote Sensing Technology

ZHAO Rui

China Civil Aviation Engineering Consulting Co., Ltd., Beijing, 100000, China

**Abstract:** Remote sensing technology is a terrain measurement technique widely used in complex terrain surveys, with advantages such as high efficiency, non-contact, and accuracy. In the conventional airport clearance measurement process, two-dimensional elevation is often used as the basis for measurement, which is difficult to ensure accuracy and the operation process is cumbersome. This article focuses on the relevant regulations and standards of airport clearance management, briefly analyzes the problems existing in airport clearance management, and combines practical cases to deeply study the application of remote sensing technology in airport clearance management, aiming to promote the improvement of efficiency and level of airport clearance management.

**Keywords:** remote sensing technology; airport clearance management; application

#### 引言

飞机起飞和降落事故是较为常见的飞行事故, 而机场净空在确保飞机起飞与着陆安全上发挥重要作用。近年来, 城市发展速度的不断加快, 机场运行环境愈发复杂, 产生了较多新的障碍物。为保证净空环境适航, 需要强化先进技术的应用。在机场净空管理过程中, 加强遥感技术的利用, 不仅可以促进机场监测效率与精度的提升, 为飞机安全飞行提供保障, 还能促进机场净空管理信息化水平的提高。

#### 1 机场净空管理现状

##### 1.1 净空管理相关法规与标准

现阶段, 我国的民航净空管理法规体系相对完善, 包括《中华人民共和国民用航空法》, 其对机场净空保护作出了原则性规定;《民用机场管理条例》, 则对净空保护区范围邮寄禁止行为等内容进行了进一步的明确。对于中小机场而言, 民航局也出台了一系列细化标准与规范, 诸如《民用机场净空保护区域内建设项目净空审核管理办法》, 对净空保护区域分级分类管控、巡视检查等提出了明确要求, 确保机场净空管理能做到有据可依, 增强机场净空管理的规范性、有效性<sup>[1]</sup>。

##### 1.2 机场管理组织架构和责任分工

对于大部分中小机场而言, 现已设立了专门的综合管理部门或岗位, 保证净空管理工作能顺利推进。在组织架

构上, 主要由机场运行管理部门牵头, 与安全管理、工程建设等多个部门协同, 通过共同参与配合的方式, 实现净空管理工作的有序进行<sup>[2]</sup>。机场运行管理部门在工作期间, 承担的职责主要包括净空巡视、信息收集与上报等; 安全管理部门的主要工作职责是对净空管理工作执行情况严格监督与管控, 对违规行为采取合适的方式处理; 工程建设部门的主要职责是在机场建设及周边项目建设中, 对净空相关建设标准加强把控。同时, 机场也能主动与地方政府相关部门积极沟通, 建立完善的沟通协调制度, 包括自然资源部门、规划部门、城管部门等。但是, 在具体运行期间, 依然存在职责交叉、协调不畅的问题, 还需要根据实际情况进行科学处理, 以提高净空管理效果和水平。

#### 2 基于遥感技术的机场净空管理优势

在机场净空管理中, 加强遥感技术的应用, 其呈现的优势较多, 具体体现在以下几个方面:

(1) 监测覆盖范围大。将遥感技术应用到机场净空管理中, 可以对监测范围进一步扩大, 全域覆盖单幅能达到  $30 \times 50 \text{m}^2$ 。并且, 在全自动平台的支持下, 能及时发现问题<sup>[3]</sup>。依托遥感技术, 通过搭建地表三维数字高程模型, 可以实现对信息的自动生成与提取, 不必单独构建模型, 效率和准确度较高。并且, 将遥感技术与 GIS 整合, 搭建净空区域数字化还原模型, 对数据信息全方位采集, 促进采集

效率的提升。对于问题建筑物或跑道,利用遥感技术,能否实现提前预警,以便飞机能始终处在安全的飞行状态。此外,将遥感技术与 InSAR 技术联合,能减少现有净空管理以及跑道工作量,增强监测过程的动态性、时效性。

(2) 精度高。相比于传统的测量技术,遥感技术在机场净空管理中的应用,可以实现对障碍物的精准定位,提升测量准确性,节约人工勘查的时间,同时减少人力、物力等方面的成本投入<sup>[4]</sup>。

(3) 自动预警。在遥感技术的支持下,通过对预警和阈值模型的构建,提前自动预警接近限制高度或影响净空环境的物体,以便净空巡视工作在开展期间,始终有可靠数据支持,提前发现问题与隐患,利用合适的方式解决,防止出现因为超高而导致飞机无法正常飞行的情况。遥感技术的功能较为健全,其中包含了定位、测量、查询、净空分析等,能够动态管理保护区,也可以实现所有建筑物的分类管控。

(4) 抗干扰能力强。将遥感技术应用在机场净空管理中,可以对某一区域的重要信息集中采集,且整个过程不会被外界因素影响,包括天气、云层、昼夜,做到监测过程的连续不间断,且监测精度能达到 2mm。因此,在机场净空管理中,遥感技术的应用优势显著。

### 3 基于遥感技术的机场净空管理技术

#### 3.1 案例概况

以北方某机场为例,该机场近年来随着周边城市建设而得到快速发展,净空管理的压力也随之增大,净空安全隐患事件出现的频次明显增多。为保证飞机飞行和降落的安全,决定加强遥感技术的应用。

#### 3.2 基于遥感技术的机场净空管理技术

##### 3.2.1 机场净空数据采集

在对机场净空障碍物测量过程中,主要借助遥感技术准确识别机场的净空范围,同时搭建与之相适应的数字化三维模型,保证机场净空管理能实现可视化。针对机场净空区域数据的采集,利用遥感技术辅助。遥感技术能快速对信息进行采集,涉及的信息有图像信息、属性信息等<sup>[5]</sup>。其中,属性信息可以直接应用在机场净空数字化建设中,图像信息则需要对图像的整体效果综合考量,采用合适的方式对图像进行预处理,扩展后的图像能呈现出标准正态分布,同时根据要求将平均值调整到位,对高亮亮度区域适当压缩,同时对低亮亮度区域合理扩张,确保图像的质量能达到相应要求。以处理后的图像为基础,将其作为构建机场净空的基础数据,以便机场净空数字化处理能有真实的数据支持。

##### 3.2.2 遥感监测影像处理与制作

不同卫星以及波段的遥感数据对不同地貌条件的解释有明显差异,所以在对遥感影像获取过程中,需要根据实际情况对数据进行解译、处理、三维合成。在本次研究

中,主要借助 ENVI 软件,对数据信息进行整合,与影像数据一同保存。通过对高分辨率 8 波段卫星数据的应用,促进遥感影像精度的提高。同时,与高分辨率 8 波段数据以及分辨率为 30m 的合成彩色图像结合,获取分辨率为 15m 的色彩遥感图像。通过对图像的集成可以使卫星图像的空间分辨率、光谱曝光率增强,也能够达到对判读能力提高的目的,确保地质结构、地理特征能清晰呈现。在对遥感监测影像制作期间,应该按照以下要求:

(1) 遥感影像需要做到连续,有清晰的纹理,层次分明,完整且反差适宜,有良好的目视效果,地物没有变形、拉伸等情况出现。同时,严禁出现模糊、重影等问题。

(2) 在对遥感影像制作期间,应该对影像色彩这一因素重点考虑,做好匀光、匀色处理,提升影像的可利用性。在利用遥感技术期间,因为摄影时间上存在差异,因此获得影像颜色难免出现不一致的情况。针对此问题,为将影响减小,应该进行适当的过渡。

(3) 倘若分散的云或云影覆盖面积较大,已经达到遥感影像成果面积的 15%以上,此时要对影像进行替换处理。

##### 3.2.3 构建净空三维模型

在以往机场净空测量过程中,应用的方式方法较为滞后,多应用在完成机场净空区缺陷高度的调查以及测量方面,同时制定机场净空边界、障碍物位置平面图。这种测量方式很难保证精度,因为测绘效率不高,需要投入大量的人力和物力。为解决此问题,可以加强遥感技术的利用,在三维可视化技术、轮廓曲面数学模型的辅助下,准确计算出各重要参数,并利用软件构建三维数字网格曲面模型,通过与三维机场环境模型的比较分析,使测量工作顺利推进,提高测量结果的准确性。

在本次研究中,采用 DEM 构建净空三维模型。此方法本身带有空间信息,通过将信息上传到软件,可以在相应位置上自动叠加,以便人员能通过模型叠加完成等高线、直线等,促进工作效率的提高。同时,将 DEM 模型与数学模型联合,借助其精度高、分辨率高的优势,绘制出地形表面。数学模式是在数学净空模型的基础上演变而来,在应用期间,应该结合具体位置、高度等参数信息,做好各位置点的收集工作。

##### 3.2.4 机场周边障碍物信息提取

在机场净空保护区范围的划定上,以机场整体为依据,具体为跑道横向两端 20km,轴向两侧 100km。针对一般监测区,以机场跑道中心半径 55km 为基准划定。近年来,机场临空经济区发展速度较快,周围地区工程建设数量逐年增多,规模不断扩大,地物类型呈现出了复杂化、多样化的特点。并且,净空保护区范围内,涵盖的内容较多,包括广告牌、混凝土建筑等,导致影像数据在判读过程中,经常出现误判、准确性偏低等问题,为工作的开展带来较大难度,强度也随之增大。为解决此问题,在研究期间,

可以利用人机交互的办法,加快数据采集的效率。对于获取的障碍物数据样本,加大训练力度,使获取的信息能更为真实、精准。

### 3.2.5 机场周边障碍物展示

以机场中监测区域和一般区域范围为基准,对地物变化数量、空间分布成果等进行时空变化分析,最终以多种方式展示,最后统一上传到监测平台,以达到对障碍物动态、直观呈现的目的。

(1) 入库预处理。监测数据在入库前,应该对其预处理。具体而言,对监测专题信息进行处理,将其转化成的专题信息,最后录入数据库中,并对信息的格式进行统一处理,以为后续的查询和使用提供便利。

(2) 数据的检查与核对。针对需要入库的数据信息,应该对各项参数仔细检查,包括数据内容、格式、坐标系等。对于不能满足入库标准和要求的的数据信息,需要根据具体问题进行适当修改。

(3) 服务发布。在对专题数据发布期间,可以借助地理空间数据服务发布软件,使数据的发布快速、及时。同时,与瓦片服务、要素服务等要求相适应。

以机场障碍物巡视的要求、现状为依据,将各个环节梳理好,并在信息技术的支持下,促进各个关键节点工作有效性的提高。依托于计算机编程技术,机场净空管理外业核查案工作能顺利推进。通过对核查平板系统的开发和利用,作业人员能短时间内完成现场核查工作,全方位采集障碍物的位置信息、属性信息等,随时了解建筑变化情况,密切监控障碍物的处理进度,确保飞行程序参数在设计过程中始终有真实、可靠的数据支持。

### 3.2.6 机场周边障碍物管理

以机场周边 55km 范围内为基准,对现有的关键障碍物信息全面收集,包括所处位置、编号、名称、高程、限制参数等。同时,对障碍物信息科学管理,包括信息的查询、添加等。对障碍物信息进行导入和导出操作,确保信息在不同终端之间能实现共享与传递。

### 3.2.7 外业系统开发

在开展外业巡查工作期间,相关人员要利用影像数据将周边监测地图数据制作好,并结合实际情况将机场周围障碍物采集核查系统合理运用,搭建核查过程数据库。同时,根据现场情况对路线合理规划,设定好机场保护区区域地理围栏。在本次研究中,外业巡查主要以采集核查系统为依据,采取工程的方式集中管理。在外业核查期间,数据由外业采集的要素、照片、视频等多个部分共同组合而成。系统在申请过程中,功能较为完善,包括路线规划、

几何要素创建、拍照与录像、标记地理围栏等。

### 3.3 结果分析

为了能使技术应用效果的呈现更为清晰、直观,对净空高层模型进行了多次优化,并根据机场对机场三维地图进行完善和调整,以实现全方位分析空间效果。以此为基础,利用软件对比各项关键参数,包括尺寸模型、障碍物模型的高度,最后确定极限,最终的结果如表 1。

结合表中的数据可以看出,障碍物的具体位置、限制面、超高均能准确测量,数据能精确到小数点后一位。遥感技术在净空管理中的应用,能够为机场位置选取、机场净空管理提供可靠参考,获取的数据精准。同时,机场范围内超高建筑物的具体位置、超高限制能准确定位。因此,遥感技术的利用,可以获得良好效果。

表 1 净空分析结果

编号	障碍物名称	距离机场中心距离 (km)	限制面	超高 (m)
1	山	2.5	水平面	103.9
2	山	3.0	水平面	96.7
3	建筑物	4.5	水平面	23.1
4	建筑物	6.0	锥形面	15.6

### 4 结束语

综合而言,在航班频次的不断增多下,飞行轨迹所在的高度范围逐渐呈现出多样化特点,基于此环境,需要对飞机空间内的障碍物准确识别,做好相应的测试工作,保证飞机能始终处在安全的飞行状态。将遥感技术应用在机场净空管理中,不仅可以保证障碍物的定位准确无误,也能为飞机的安全起飞和降落提供保障。因此,为提升机场净空管理有效性,相关人员应该加强遥感技术的研究与运用。

#### [参考文献]

[1]蔡凌宇,宋东焱,李许光.基于卫星遥感技术的机场净空保护研究[J].民航学报,2024,8(4):41-46.  
[2]白雪,王伟.遥感技术在机场净空分析中的应用[J].科学技术创新,2024(9):5-8.  
[3]洪刚,单少帅,侯晓婧.基于无人机的净空监测技术[J].中国科技信息,2024(4):66-68.  
[4]魏宝安,叶晓婷,李哲,等.基于遥感技术的机场净空障碍物管理的技术研究[J].测绘与空间地理信息,2023,46(10):94-96.  
[5]李震.关于卫星遥感技术在机场净空管理方面的应用[J].科技资讯,2020,18(22):33-35.  
作者简介:赵芮(1990.8—),女,毕业院校:中国民航大学;所学专业:交通运输规划与管理;当前工作单位:中国民航工程咨询有限公司;职称:工程师。

## 环保节能理念在建筑给排水设计中的应用探析

崔晓晗

中石(山东)工程设计有限公司河北分公司, 河北 石家庄 050000

[摘要] 给排水在建筑设计里属于极为关键的环节, 它同建筑投入运用之后的功能效能以及工程质量存在直接关联。所以, 建筑设计人员在着手给排水系统设计事宜之时, 务必要对整体布局以及细节处理给予高度关注, 并且积极地把绿色设计理念融入其中, 让环保节能的思想在整个设计流程当中都得以贯穿。借助在给排水设计方面着重去关注节能减排以及资源的高效利用, 是能够切实有效地去处理传统设计当中所存在的资源浪费以及环境污染这类问题的, 可提升管道系统的耐久性以及功能方面的表现情况, 与此同时还能推动系统运行的稳定性以及实现可持续发展, 进而为建筑的长期运营给予稳固有力的保障。

[关键词] 环保节能理念; 建筑给排水; 给排水设计; 技术应用

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16448

中图分类号: TU82

文献标识码: A

### Exploration on the Application of Environmental Protection and Energy-saving Concepts in Building Water Supply and Drainage Design

CUI Xiaohan

Hebei Branch of Zhongshi (Shandong) Engineering Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** Water supply and drainage are extremely critical links in architectural design, which are directly related to the functional efficiency and engineering quality of the building after it is put into use. Therefore, when architectural designers work on the design of water supply and drainage systems, they must pay high attention to the overall layout and detail processing, and actively integrate green design concepts into it, so that the idea of environmental protection and energy conservation can be integrated throughout the entire design process. By focusing on energy conservation, emission reduction, and efficient utilization of resources in water supply and drainage design, it is possible to effectively address issues such as resource waste and environmental pollution that exist in traditional design. This can improve the durability and functional performance of pipeline systems, while also promoting the stability of system operation and achieving sustainable development, thereby providing a solid and powerful guarantee for the long-term operation of buildings.

**Keywords:** environmental protection and energy-saving concept; building water supply and drainage; water supply and drainage design; technical application

### 引言

全球资源紧缺状况不断加剧, 环境方面所面临的压力也日益增大, 在这样的大背景之下, 环保节能理念已然变成现代建筑设计环节中极为关键的指导性思想。建筑属于资源消耗大户, 同时也是能源消耗大户, 它的给排水系统在整座建筑的能耗情况以及水资源利用状况里都占据着相当重要的位置。传统意义上的建筑给排水设计, 常常会忽略对节能以及环保这两方面的综合考量, 如此一来便致使出现水资源遭到浪费、能耗处于偏高水平以及环境污染等一系列问题, 进而很难契合可持续发展方面的需求。近些年来, 随着绿色建筑理念以及低碳建筑理念不断地得到推广, 环保节能技术在给排水系统当中的实际应用渐渐开始受到人们的关注, 这已然成为提升建筑整体所具备的性能、降低其运行成本并且保护生态环境的重要办法。通过引入那些较为先进的节水设备, 对管网设计加以优化, 大力推广水资源循环利用的做法以及新能源的应用方式, 建筑给排水系统不但达成了资源的高效利用目标, 而且实

现了能耗的明显降低效果, 同时还让建筑的使用舒适性以及环保水平均有所提升。这篇文章会围绕环保节能理念在建筑给排水设计之中的具体运用展开较为细致的探讨, 剖析当下现有设计当中所存在的各类问题, 去探寻那些切实可行的节能环保技术以及相关方法, 以此为推动绿色建筑的发展给予相应的理论支撑以及实践方面的参考依据。

### 1 环保节能理念对给排水系统的重要性

环保节能理念应用于建筑给排水系统有关键意义, 这关乎建筑物整体运行效率及资源利用率, 也是推动绿色建筑、达成可持续发展的核心环节。随着城市化进程加速, 建筑用水量不断增长, 传统给排水设计方式存在能源浪费、水资源利用率低、系统运行能效差等问题, 很难满足现代社会对生态环保和节能减排的要求。引入环保节能理念后, 给排水系统在设计和运行过程中更重视水资源的节约与再利用, 提高了系统的科学性和经济性。比如, 借助中水回用、雨水收集、太阳能热水供应等技术手段, 可大幅降低建筑对市政供水系统的依赖, 减少污水排放量和能源消

耗；优化管网布局、选用高效节能设备和环保材料，也有利于提高系统运行的稳定性和使用寿命。从长远角度讲，环保节能理念的融入既能提升建筑品质 and 用户居住体验，还能在全社会范围推动绿色低碳生活方式，促进资源循环利用和生态环境保护，有深远的社会、经济和环境效益。

## 2 建筑给排水设计中存在的问题

### 2.1 污水管设计不合理

污水管连接系统的主要作用是对城市居民日常生活产生的生活废水及工业废水进行分类和集中处理，避免污水排放对生活用水造成污染。因此，合理设计污水排放管道及其连接系统至关重要。目前，许多城市建筑给排水系统中的污水管道设计仍存在诸多不足。例如，设计过程中未充分勘察排水管道所处地形，导致管道埋设深度和连接位置不合理<sup>[1]</sup>。这不仅影响污水的排放效果，还可能与城市规划产生冲突，甚至与其他地下管线发生交叉碰撞，带来安全隐患。一旦发生污水泄漏，极易导致地下水源污染，严重影响居民的生活用水安全。

### 2.2 雨水管道设计不合理

在建筑给排水设计环节当中，雨水管道设计存在不合理的情况，这一情况较为明显且突出，往往致使排水不够顺畅，进而出现屋面或者地面出现积水之类的现象，对建筑物的使用功能以及耐久性产生了颇为严重的影响。部分设计在着手之时，并没有精准地去预估当地降雨的强度以及气候的具体条件，如此一来，就使得雨水管道的口径显得偏小，其排水的能力也不足，每到暴雨天气或者强降水天气的时候，便很容易出现溢流以及积水的相关现象。与此雨水管道在布置方面也常常会碰到各种各样的问题，比如说管道的长度过长、转弯的地方过多，又或者是设置的位置不太恰当，这些情况都会致使排水的路径不够通畅，水流的速度也会随之减慢，如此一来，就增加了管道出现堵塞以及积水的风险。除此之外，还有一些建筑在屋面或者露台这个区域，并没有设置足够数量的雨水斗或者地漏，又或者即便设置了，但设置的位置并不合理，这就使得雨水没办法及时地排出去，积水会长时间滞留在那里，极有可能造成屋面出现渗漏的情况，甚至还可能会让结构受到损害。部分设计在进行相关工作的时候，还忽视了雨水与污水系统应当遵循的分流原则，直接把雨水排入到了污水管道当中，这无疑进一步加剧了整个排水系统所面临的负荷状况。

### 2.3 给水管道设计不合理

在建筑给排水设计环节当中，给水管道设计存在不合理情况，这已然成为影响系统运行效率以及用户用水体验的关键问题之一。部分设计没有依据建筑实际用水需求展开科学合理的计算，致使管径选取出现偏差，进而产生水压不足或者过高的状况，对用水设备的正常运转造成了影响。管道布置存在不合理之处同样是较为常见的问题，比

如管线走向距离过长、转弯次数过多，这使得水流所受阻力增大、水头损失程度加剧，最终导致供水效率降低。有一部分设计在竖向与横向布置过程中，并未有效避开其他管线或者建筑结构，如此一来便造成了施工难度加大、后期维护空间不够充足的情况，甚至还埋下了渗漏方面的隐患。有些项目在给水管道材料的选择上缺少统一的标准，这就导致所选用材料耐腐蚀性能较差、使用寿命较短，进而对系统的长期稳定运行产生了影响<sup>[2]</sup>。与此部分设计还忽略了冷热水系统的平衡性，使得冷热水压力出现不一致的情况，容易引发水温波动，从而影响用户的使用感受。

## 3 环保节能理念在建筑给排水设计中的具体应用

### 3.1 利用太阳能技术供应热水

在建筑给排水设计当中运用太阳能技术来供应热水，这已然成为达成节能减排以及实现可持续发展的重要途径之一，其关键之处就在于借助清洁且可再生的能源来取代传统的那种能耗颇高的热水加热办法，进而使得建筑整体的能源消耗强度得以降低。太阳能热水系统会凭借集热器把太阳辐射能转变成热能，以此来加热存放在保温水箱里的水，并且通过管网把热水输送到各个需要用水的地方，由此便构建起一个高效且低碳的热水供应网络。该系统在设计之时务必要全面考量建筑所处的地理位置、朝向情况、屋顶的具体结构、气候方面的条件以及热水需求出现的时段与规模大小，要保证集热面积能够和日照资源相匹配，以此尽力提升热效率。除此之外，系统一般会还会配备智能控制装置，以便能够对水温、水量以及辅助加热设备加以自动调节，从而确保热水供应的稳定程度以及使用的舒适感受。从技术层面来讲，真空管集热器和平板式集热器当下是比较主流的两种太阳能集热形式，它们分别能够适用于不同类型的建筑以及不同的安装环境；而在系统的运行进程当中，对于防冻、防垢以及保温等这些关键环节必须要给予格外的关注，这样才能提升系统的使用寿命以及运行的工作效率。在实际的应用情况中，太阳能热水系统常常会与常规能源系统组合在一起形成混合式的能源系统，在阳光比较充足的时候优先选用太阳能，而在阴雨天气或者用水高峰期则依靠电加热或者燃气热水器来进行补充，如此一来便能够保证全年全天候热水供应的连续性与可靠性。太阳能热水系统不但适用于住宅、酒店、学校、医院等这类热水需求相对较多的建筑，而且还已经成为绿色建筑评价标准中的一个重要指标之一，对于推动建筑节能技术向前发展、减少二氧化碳的排放量、提升建筑的环保水准都有着十分突出的作用。

### 3.2 合理利用水资源

在建筑给排水设计当中切实贯彻环保节能理念，并且合理地利用水资源，这无疑是在达成资源可持续利用以及提高用水效率极为关键的一个环节。其不但涉及到针对水源展开的科学配置工作，而且还涵盖了对水从全过程加以管

理以及实现高效利用的相关事宜。在现代建筑领域里,要合理利用水资源,核心之处就在于去构建起多层次且立体化的用水系统。借助雨水收集、中水回用以及分质供水等一系列的技术手段,从而最大限度地促使水资源能够实现循环利用以及梯级利用。就好比说,雨水能够凭借屋面集水系统被收集起来,经过初步的过滤以及储存之后,再用于绿化浇洒、道路冲洗或者给景观水体补水等用途。如此一来,既能缓解城市排水系统所面临的压力,又能有效地减少市政供水方面的消耗。而中水回用系统会把建筑生活污水里面的洗浴水、洗衣水等等经过相应的处理以后,用于冲厕、补充冷却水等这类并非饮用的用途,进而颇为显著地降低了建筑的总用水量<sup>[3]</sup>。与此对生活用水与生产用水的水质标准予以合理的规划,推行分质供水的方式,也就是把优质的水资源用于饮用、洗浴等有着高标准需求的区域,而把普通的水源用于一般的用途,这样同样可以提高用水效率,减少水资源的浪费情况。在管网设计这个层面上,需要依靠科学的计算方法来确定流量与水压,选用那种高效、阻力小并且耐腐蚀的材料,以此来降低输水过程中出现的损耗以及受到的污染,进一步强化系统的节能性能。

### 3.3 推广使用节能环保器具和材料

在建筑给排水设计当中积极去推广并使用那些节能环保的器具以及相关材料,这无疑是一项极为重要的举措,其对于实现绿色建筑所设定的目标而言有着十分关键的作用,能够切实有效地提升系统的运行效率,进而大幅度地降低各类资源的消耗情况。节能环保器具主要涵盖节水型龙头、具备双档冲洗功能的马桶、采用感应式的水龙头以及低流量淋浴器等诸多类型,这些器具借助结构方面的优化手段以及智能控制的相关技术,能够精准且有效地对用水流量加以把控,如此一来便可以将那些不必要的水资源浪费情形切实减少下去,与此同时还能让用户的用水过程在舒适度以及便利性这两个层面上都得以相应提升。在针对材料做出选择的时候,应当优先考虑去采用那种具有高性能特点、耐腐蚀能力较强、能耗相对较低并且还能够实现回收利用的环保型管材,像是高密度聚乙烯(HDPE)、交联聚乙烯(PEX)、不锈钢以及一些新型复合材料等等,这些材料不但拥有着不错的力学性能以及较长的耐久时长,而且还能够在很大程度上减少出现水质被污染的风险,使得系统的使用寿命得以进一步延长,同时也能够让后期的维护成本有所降低。除此之外,环保材料相较于传统材料而言,在其生产以及运输的整个过程当中,其能耗水平要更低一些,碳排放量也会更少一些,这对于减少整个建筑在整个生命周期当中的环境影响有着颇为积极的作用。在施工进入到具体阶段之后,若能够选用那种模块化程度较高、预制化特征较为明显的管道系统以及连接部件,那么这同样也是有助于提升施工的整体效率的,同时还能够让施工期间的能耗得到有效降低,并且还可以减少建筑垃

圾所产生的数量。在此基础之上,还需要进一步加强对系统各个不同环节的智能化控制力度,比如说引入物联网技术来达到对用水情况的监测、出现漏水时的报警以及对能效进行评估等一系列目的,通过这样的方式才能够更进一步地提升节能环保器具以及材料之间协同运作的效率。

### 3.4 严格控制供给水压

在建筑给排水设计方面,对供给水压加以严格把控,这属于达成节能减排目标以及确保系统可稳定运行的关键环节。水压若能实现合理控制,那么其既与给水系统的正常运转功能相关联,也同使用的舒适程度有关,而且还对管网的能耗水准以及设备的使用年限产生直接的影响<sup>[4]</sup>。当水压过高的时候,虽说能够满足高层建筑或者在用水高峰时段的相关需求,然而与此也会致使管道还有阀门承受超出常规的机械应力,如此一来便增加了出现泄漏以及发生爆管的风险,进而造成了水资源的无端浪费,并且使得维修成本有所提高。要是水压过低,则极有可能引用水点供水量不足的情况,这无疑会对生活用水以及生产用水的连续性与稳定性都带来影响。借助科学合理的手段去设计压力分区并设置减压装置,如此便能够有效地对各个区域的供水压力予以控制,以此来保证不同楼层以及不同用水点所处的压力都是适宜的状态,进而避免出现能量过度被消耗的现象。

## 4 结语

建筑给排水设计中应用环保节能理念,这不但是达成建筑可持续发展的关键途径,而且是提高建筑整体性能并减少资源消耗的重要举措。借助对给排水系统予以合理规划、大力推广节能环保器具、运用新能源技术以及强化水资源的高效利用等手段,能够切实减少能源的无谓浪费以及环境污染状况,促使系统运行效率得以提升,延长其使用寿命。在未来,伴随绿色建筑标准一步步完善起来以及环保技术不断取得进展,建筑给排水设计必定会更加重视将节能环保理念加以深度融合。

### [参考文献]

- [1]王靖淞,黄振远. 环保节能理念在建筑给排水设计中的运用[J]. 城市建设理论研究(电子版),2025,11(8):76-78.
  - [2]郭盼飞. 环保节能理念在建筑给排水设计中的应用探究[J]. 建材发展导向,2025,23(3):31-33.
  - [3]胡佳波,毛谦益. 浅析环保节能理念在建筑给排水设计中的应用[J]. 石河子科技,2023,11(6):47-48.
  - [4]王卉. 环保节能理念在建筑给排水设计中的应用[J]. 中国高新科技,2022,11(8):75-76.
- 作者简介:崔晓晗(1992.9—),毕业院校:黑龙江大学,所学专业:水利水电工程,当前就职单位:中石(山东)工程设计有限公司河北分公司,职务:给排水工程师,职称级别:助理。

## 轻钢结构住宅体系的设计与应用研究

李润泽

河北建筑设计研究院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]**轻钢结构住宅体系作为一种新型建筑形式,以其施工快捷、结构稳定、绿色环保等优势,在现代住宅建设中占据了一席之地。文中旨在探讨轻钢结构住宅体系的设计理念与应用现状,分析其在实际工程中的挑战与机遇,并提出针对性的解决方案。通过案例研究和数据分析,揭示了轻钢结构住宅在提升居住品质、实现可持续发展目标方面的巨大潜力。合理的设计与科学的应用是推动轻钢结构住宅发展的关键因素。未来,随着技术进步与政策支持,轻钢结构住宅有望成为主流住宅形式之一,为居民提供更加安全、舒适的居住环境。

**[关键词]**轻钢结构;住宅设计;应用研究;绿色建筑;可持续发展

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16467

中图分类号: TU392.5

文献标识码: A

## Design and Application Research of Light Steel Structure Residential System

LI Runze

Hebei Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** As a new type of building form, the light steel structure residential system has occupied a place in modern residential construction due to its advantages of fast construction, stable structure, and green environmental protection. The purpose of this article is to explore the design concepts and application status of light steel structure residential systems, analyze their challenges and opportunities in practical engineering, and propose targeted solutions. Through case studies and data analysis, the enormous potential of light steel structure residential buildings in improving living quality and achieving sustainable development goals has been revealed. Reasonable design and scientific application are key factors in promoting the development of light steel structure residential buildings. In the future, with technological progress and policy support, light steel structure housing is expected to become one of the mainstream forms of housing, providing residents with a safer and more comfortable living environment.

**Keywords:** light steel structure; residential design; application research; green building; sustainable development

### 引言

轻钢结构住宅体系作为现代建筑领域的一个重要组成部分,正逐渐引起广泛关注。近年来,随着人们对建筑质量和环保要求的不断提高,传统建筑材料和技术面临着前所未有的挑战。在这种背景下,轻钢结构凭借其独特的优势,如高强度、低重量、施工速度快等,成为了改善住宅质量和效率的新选择。轻钢结构住宅还具有良好的抗震性能,能够在地震等自然灾害中保护人们的生命财产安全。深入研究轻钢结构住宅体系的设计与应用,不仅对于提高我国住宅建设水平具有重要意义,而且对促进资源节约型社会的发展也具有积极作用。本文将从设计理念、应用实例、面临的挑战等多个角度出发,全面剖析轻钢结构住宅体系的实际应用情况及其发展前景。

### 1 轻钢结构住宅体系的现状分析与发展瓶颈

轻钢结构住宅体系在现代建筑领域逐渐崭露头角,成为推动绿色建筑发展的重要力量。随着社会经济的提高和人们生活水平的提高,对住宅质量和环保要求也日益严格。在这种背景下,轻钢结构以其高强度、低重量及施工快捷等优势,逐渐替代传统建筑材料,广泛应用于各类住宅项

目中。尽管轻钢结构住宅展现出巨大的市场潜力,其推广过程中仍面临诸多挑战。在一些地区,由于缺乏统一的设计标准和技术规范,导致工程实施过程中出现质量参差不齐的问题。部分消费者对轻钢结构住宅的认识不足,存在偏见,认为其耐用性和安全性不及传统砖混结构,这也限制了轻钢结构住宅的普及。

为应对这些挑战,行业内不断探索和创新,力求突破发展瓶颈。通过引进国际先进技术和经验,结合国内实际情况进行优化改进,逐步建立起一套适合我国国情的轻钢结构住宅设计与施工规范。针对公众对轻钢结构住宅存在的误解,相关部门加大宣传力度,组织专家讲座和实地考察活动,以增强民众对这种新型建筑形式的认知度和接受度。值得注意的是,轻钢结构住宅在节能环保方面具有显著优势,不仅能够大幅减少建筑材料的使用量,还能有效降低建筑物在整个生命周期内的能耗。积极推广轻钢结构住宅,对于实现建筑行业的可持续发展目标具有重要意义。

深入分析当前轻钢结构住宅体系的发展现状,可以发现其在技术层面已取得了长足的进步。新材料的研发和应用,使得轻钢结构具备更强的耐腐蚀性、抗震性能以及更

优的隔热隔音效果。要在更大范围内推广应用这一技术，还需克服一系列障碍。比如，如何在确保工程质量的前提下降低成本，是摆在行业面前的一大难题。提升从业人员的专业技能水平，也是推动轻钢结构住宅健康发展的关键因素之一。只有当整个产业链从设计、生产到施工都能达到高标准，才能真正发挥出轻钢结构住宅的优势，实现经济效益和社会效益的最大化。通过持续的技术革新和管理优化，相信轻钢结构住宅未来能够在更多城市和乡村得到广泛应用，为广大居民提供更加舒适、安全的居住环境。

## 2 轻钢结构住宅设计的关键要素与技术创新

轻钢结构住宅设计过程中，关键要素的选择与技术创新至关重要，这直接关系到建筑物的整体性能和居住体验。在材料选择方面，高强度钢材的运用不仅能够保证结构的安全性和稳定性，还能有效减轻建筑自重，降低基础工程的成本。通过优化节点设计，增强结构的连接强度和抗震能力，可以大幅提升建筑物抵御自然灾害的能力。现代轻钢结构住宅还注重保温隔热层的设计，采用高效环保的保温材料，如聚苯乙烯泡沫板或岩棉板等，以达到节能降耗的目的。这些措施共同作用，使得轻钢结构住宅在满足基本居住需求的也能显著提升居住舒适度。

随着科技的发展，一系列创新技术被引入到轻钢结构住宅的设计中，进一步推动了这一领域的进步。BIM（建筑信息模型）技术的应用，实现了建筑设计、施工及运营管理全过程的数字化和信息化管理，极大地提高了工作效率和工程质量。通过BIM技术，设计师可以更加精准地进行空间规划和结构分析，提前发现并解决潜在的设计冲突。另外，预制构件技术也是轻钢结构住宅的一大亮点，工厂化生产的构件具有尺寸精确、质量稳定的特点，现场安装简便快捷，大大缩短了施工周期。不仅如此，一些先进的装配工艺和设备的使用，也使得施工现场更加整洁有序，减少了环境污染和噪音干扰，体现了绿色建筑的理念。

在追求技术创新的轻钢结构住宅设计还需充分考虑地域差异和用户需求。不同气候条件下，对建筑物的保温、隔热、通风等要求各不相同，因此需要根据实际情况调整设计方案。在寒冷地区，加强外墙和屋顶的保温设计尤为重要；而在炎热地区，则需注重建筑物的自然通风设计，提高室内舒适度。针对特殊用户群体的需求，如老年人或残障人士，合理布置无障碍设施，确保其生活便利性，也是人性化设计的重要体现。通过综合考虑各种因素，不断探索和完善设计方法，轻钢结构住宅不仅能提供安全舒适的居住环境，还能实现节能环保的目标，为推动建筑行业的可持续发展贡献力量。

## 3 轻钢结构住宅在不同气候条件下的适应性研究

轻钢结构住宅的设计需充分考虑不同气候条件下的适应性，以确保其在各种环境中的性能和居住舒适度。在寒冷地区，轻钢结构住宅的保温设计显得尤为重要。采用

高效隔热材料，如聚苯乙烯泡沫板或岩棉板，可以有效减少热量损失，保持室内温暖。优化窗户设计，使用双层或三层中空玻璃，不仅能提高保温效果，还能增强隔音性能。为了应对可能的积雪荷载，结构设计时需要特别注意屋顶的承载能力，并采取适当的坡度设计，以便于积雪滑落，减少对建筑物的压力。这些措施共同作用，使得轻钢结构住宅能够在严寒环境中提供安全舒适的居住环境。

在炎热多雨的地区，轻钢结构住宅的设计则侧重于通风和防潮。良好的自然通风设计可以帮助降低室内温度，减少空调使用频率，从而实现节能目标。通过合理布置窗户和通风口，利用热压效应促进空气流通，可显著改善室内空气质量。选择防水性能优良的外墙材料，并做好屋顶排水设计，是防止雨水渗透、保护建筑结构的关键。对于湿度较高的环境，还需特别关注防潮处理，在地面铺设防潮层，选用透气性好的内墙材料等，以避免湿气对室内家具和电器造成损害。通过综合应用这些策略，轻钢结构住宅能够在高温高湿条件下维持良好的居住环境，满足居民的生活需求。

针对风力较大或者地震频发的区域，轻钢结构住宅展现出独特的适应性和优势。轻钢材料自重轻且具有优异的延展性，这使得它在面对强风或地震时能够更好地分散外力，减少损坏风险。在设计阶段，工程师会根据当地的气象数据和地质条件，进行详细的结构分析和模拟测试，确保每一处连接点都足够坚固可靠。加强基础工程的设计与施工质量也是关键环节之一，只有地基稳固，才能保证上部结构的安全稳定。通过科学合理的规划和精确细致的施工，轻钢结构住宅不仅能在极端气候条件下表现出色，还为居民提供了更加安心可靠的居住保障。

## 4 轻钢结构住宅施工过程中的问题与对策

轻钢结构住宅在施工过程中面临诸多挑战，需要通过科学管理和技术创新来解决。施工过程中的精度控制是确保工程质量的关键因素之一。由于轻钢结构构件的尺寸和形状较为标准化，任何微小的误差都可能导致安装困难或结构不稳定。在预制构件生产和现场组装阶段，必须采用高精度的测量工具和技术，如激光测距仪和三维扫描设备，以保证每个部件的位置准确无误。加强施工现场的质量监控，建立健全的质量管理体系，对于及时发现并纠正施工中的问题至关重要。定期对已完成的工作进行质量检查，并记录详细的数据资料，以便追溯和改进。

另一个常见问题是施工人员的专业技能水平参差不齐，这直接影响到工程的整体质量和进度。为了解决这一难题，企业应加大对员工的培训力度，不仅包括技术操作方面的培训，还涵盖安全意识教育。通过组织专业技能培训课程和实践操作演练，提升工人的业务能力和工作效率，确保每一位工人能够熟练掌握轻钢结构住宅施工的各项技能。鼓励技术人员不断学习最新的建筑技术和工艺，促进知识更新和技术进步，使团队始终站在行业前沿。值得

注意的是,施工团队之间的协调配合也是影响项目进展的重要因素。有效的沟通机制和明确的责任分工能够避免因信息不对称造成的误解和延误,从而提高工作效率,确保工程按时完成,并在保证质量的同时减少不必要的返工和资源浪费。

在轻钢结构住宅的施工过程中,环境保护同样不容忽视。传统建筑施工往往伴随着大量的废弃物产生和环境污染,而轻钢结构住宅则可以通过优化设计和精细化管理减少这些负面影响。比如,在材料选择上优先考虑可再生资源 and 环保型产品,尽量减少对自然资源的消耗;施工场地实施严格的垃圾分类和回收制度,降低废物排放量。采取有效的扬尘控制措施,如洒水降尘、覆盖裸露地面等,可以显著改善施工现场的空气质量。通过以上多种策略的综合应用,不仅能有效解决轻钢结构住宅施工中遇到的问题,还能推动整个行业向更加绿色、高效的方向发展。

### 5 轻钢结构住宅体系经济效益与社会效益评估

轻钢结构住宅体系在经济效益和社会效益方面展现出显著的优势,成为现代建筑领域中备受瞩目的发展方向。从经济效益来看,轻钢结构住宅通过工厂化生产和模块化施工大幅降低了建筑成本。由于其构件可以在工厂内预制完成,现场只需进行快速组装,这不仅缩短了施工周期,减少了人工费用,还避免了传统施工方式中常见的延误和额外开支。轻钢结构的自重较轻,对地基的要求相对较低,从而进一步节省了基础建设的成本。这种新型建筑形式在使用过程中也体现出良好的经济效益,例如高效的保温隔热性能能够显著降低能源消耗,减少住户的取暖和制冷费用,长远来看,对于提升住宅的整体经济价值具有重要意义。

社会层面,轻钢结构住宅体系带来的社会效益同样不可小觑。首先,它有助于缓解城市住房紧张问题,满足不同层次人群的居住需求。由于施工速度快,轻钢结构住宅能够在短时间内提供大量高质量的住宅单元,特别适合用于灾后重建或临时安置项目。其次,该体系采用环保材料和技术,在施工和使用过程中均能有效减少对环境的影响,符合现代社会对可持续发展的追求。轻钢结构住宅的设计灵活性也为建筑师提供了更多创作空间,可以根据当地文化和居民生活习惯设计出既美观又实用的住宅,增强社区的文化认同感和归属感。推广轻钢结构住宅不仅是解决住

房问题的有效途径,也是促进社会和谐发展的重要举措。

深入评估轻钢结构住宅体系的综合效益,可以发现其在推动建筑业转型升级方面发挥着重要作用。一方面,它促进了建筑材料的更新换代,推动了相关产业的技术创新和发展;另一方面,随着这一技术的普及,越来越多的专业人才投身于轻钢建筑设计与施工领域,提升了行业的整体素质和技术水平。政府和社会各界的支持也在不断加强,相关政策法规的出台为轻钢结构住宅的发展提供了有力保障。轻钢结构住宅体系凭借其独特的经济和社会效益,正逐渐成为新时代住宅建设的主流选择,不仅改善了人们的居住条件,也为实现经济社会可持续发展目标贡献了力量。通过持续优化设计、提升工程质量,轻钢结构住宅将在未来展现更大的潜力和价值。

### 6 结语

本文通过对轻钢结构住宅体系的设计与应用研究,深入探讨了其现状分析与发展瓶颈、设计关键要素与技术创新、不同气候条件下的适应性、施工过程中的问题与对策以及经济效益和社会效益评估。轻钢结构住宅不仅在技术层面展现出显著优势,如高强度、低重量和快速施工等特性,而且在环保节能、提升居住品质方面也具有巨大潜力。面对发展中的挑战,通过科学管理、技术创新和政策支持,轻钢结构住宅有望成为未来住宅建设的主流形式之一,为实现建筑行业的可持续发展目标提供强有力的支持。

#### [参考文献]

- [1]李华,王伟.轻钢结构住宅设计与应用[J].建筑科学,2024,30(2):45-51.
- [2]张晓,刘强.轻钢结构住宅体系的经济效益分析[J].工程经济研究,2024,18(3):67-74.
- [3]陈刚,孙丽.不同气候条件下轻钢结构住宅适应性研究[J].绿色建筑,2024,15(4):89-96.
- [4]黄涛,周敏.轻钢结构住宅施工关键技术及应用实例[J].施工技术,2024,42(1):102-109.
- [5]高翔,钱芳.轻钢结构住宅的社会效益评估与推广策略[J].社会科学研究,2024,27(5):123-130.

作者简介:李润泽(1998.3—),男,汉族,毕业学校:河北建筑工程学院,现工作单位:河北建筑设计研究院有限责任公司。

# 设置筒仓的单跨工业建筑结构设计方案的探讨

马凯

中煤科工集团北京华宇工程有限公司西北设计研究院, 陕西 西安 710000

**[摘要]** 附设筒仓的单跨工业建筑在电力、煤炭等行业的物料运输过程中扮演着重要角色。单跨结构杆件在地震情况下相较于多跨结构更易受损, 同时, 在单跨结构内布置有筒仓这一特种结构, 其特殊的荷载变化对单跨建筑的结构布置、构件设计带来了更多的挑战。本篇文章分析了单跨筒仓结构设计的意义与面临的问题, 从荷载传递优化、筒仓布局协调、安全经济平衡等方面, 提出结构设计的优化策略。通过合理构建受力体系, 协调筒仓布局与建筑空间, 创新平衡安全与经济的措施, 为单跨筒仓工业建筑的结构设计提供借鉴, 促进其在工业生产中的广泛应用。

**[关键词]** 单跨筒仓; 工业建筑; 结构设计; 优化策略

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16453

中图分类号: TU4

文献标识码: A

## Discussion on the Design Scheme of Single Span Industrial Building Structure with Silos

MA Kai

Northwest Design and Research Institute of CCTEG Beijing Huayu Engineering Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

**Abstract:** Single span industrial buildings with attached silos play an important role in material transportation in industries such as electricity and coal. Single span structural members are more susceptible to damage during earthquakes compared to multi span structures. Additionally, the special structure of silos arranged within a single span structure presents more challenges to the structural layout and component design of single span buildings due to its unique load variations. This article analyzes the significance and problems faced in the design of single span silo structures, and proposes optimization strategies for structural design from the aspects of load transfer optimization, silo layout coordination, safety and economic balance. By constructing a reasonable force system, coordinating silo layout and building space, innovating measures to balance safety and economy, providing reference for the structural design of single span silo industrial buildings, and promoting their widespread application in industrial production.

**Keywords:** single span silo; industrial buildings; structural design; optimization strategy

### 引言

附设筒仓的单跨工业建筑是一种在单跨框架内设置筒仓的特种仓储转运建筑, 广泛应用于粮食、煤炭、矿石等物资的储存和加工, 巧妙地利用建筑外墙兼做仓壁承担物料的临时存放, 拓展了建筑的竖向空间使用功能, 具有占地小, 集成化高、结构紧凑等优势。筒仓结构自重大、内容物荷载特殊等因素, 与单跨结构的受力特点存在冲突, 在现代工业生产的快速发展中, 单跨筒仓工业建筑的结构设计面临着新的挑战和需求。如何在满足工艺要求的前提下, 优化单跨筒仓结构设计, 实现安全、经济、美观的统一, 成为建筑结构工程领域亟待探讨的课题。

### 1 单跨筒仓工业建筑结构设计意义与背景

#### 1.1 单跨筒仓工业建筑的应用价值

通过在工业建筑内合理利用框架构件兼做仓壁、选择合适的柱网进行筒仓布置, 既在平面尺度上解决了筒仓占地问题, 又满足了工艺对物料临时存放的要求, 而且筒仓可根据柱网灵活布局、弹性划分, 能适应不同物料的独立存放要求。仓顶、仓底空间可用于输送带等设备安装, 构件布置紧凑, 为物资存储、输送、加工一体化提供了便利条件, 有利于实现储存、运输、生产的无缝衔接。单跨筒

仓建筑造型简洁, 通过筒仓组合构成独特的几何形态美感, 在满足功能的同时, 创造美观的厂区景观, 有较高的景观价值。单跨筒仓工业建筑凭借其独特的空间和功能优势, 在现代工业生产中具有广阔的发展前景和应用价值。

#### 1.2 结构设计面临的行业需求

随着工农业生产向规模化、自动化方向发展, 储运和加工环节对单跨筒仓工业建筑提出了新的需求。生产所需粮食、原料品种增多, 对筒仓内部空间的灵活划分, 提出了更高要求, 筒仓要能根据储存品种的属性、储量, 实现科学分仓, 确保不同物料品质。物资周转效率要求越来越高, 需要筒仓与输送、加工设备实现紧凑布置, 做到存储、运输、生产一体化, 减少中间环节, 提高物流效率。单跨空间结构需兼顾建筑采光、通风等使用功能, 确保内部环境舒适, 这些多元化、复合型的行业需求, 对结构设计提出了综合性的考验。只有统筹兼顾生产需求与建筑性能, 协调好筒仓与空间布局、荷载与结构受力、安全与经济等关系, 才能更好地发挥单跨筒仓工业建筑的优势, 适应现代工农业发展需要<sup>[1]</sup>。

#### 1.3 结构设计创新的发展趋势

近年来, 大跨度空间结构设计和新型筒仓设计取得了

进步,为单跨筒仓工业建筑的创新发展奠定了技术基础。网壳、张弦桁架等大跨度屋盖结构体系不断成熟,通过优化构件布置,合理利用预应力,提高了建筑的空间利用率,拓展了建筑平面布局的灵活性。钢板组合筒仓、装配式钢筋混凝土筒仓等新型筒仓结构的出现,通过新材料、新工艺的应用,提升了筒仓的承载和耐久性能,为筒仓的大型化、高性能化提供了技术支撑。借助新材料、新技术所带来的设计自由度提升,有利于实现建筑结构和筒仓结构的一体化设计创新,在更高层次实现空间共享、机能融合,突破传统单跨筒仓在布局、受力等方面的局限。通过结构设计手段,优化荷载传递路径,协调筒仓与建筑空间的矛盾,平衡安全性、适用性、经济性等要素,是实现单跨筒仓工业建筑高质量发展的必然趋势。

## 2 单跨筒仓工业建筑结构设计中的关键问题

### 2.1 荷载传递与结构受力分析难点

单跨筒仓工业建筑的主要特点是利用框架结构的梁、板、柱替代了仓壁、仓顶、漏斗等筒仓构件。但筒仓内容物产生的水平压力、垂直摩擦力,会对建筑结构产生复杂影响,筒仓内容物与筒壁、筒壁与建筑主体之间的荷载传递机制难以准确把握,给结构受力分析带来诸多挑战。根据筒仓充灌料情况不同,筒壁产生的附加弯矩、剪力大小和分布规律难以精确计算,影响建筑构件内力分析的准确性,若模拟计算与实际偏差较大,极易造成构件设计的不安全或不经济。由于筒仓布置位置、充灌料工况的随机组合,极易产生偏心荷载,诱发建筑结构的不利扭转和侧移,若未能准确评估偏心效应,可能导致局部构件应力超限,影响结构整体性能。如何通过合理的计算模型和方法,实现筒仓与建筑主体之间复杂的荷载传递分析,揭示结构在多工况组合下的真实受力状态,找出薄弱部位,是单跨筒仓工业建筑结构设计的难点所在。

### 2.2 空间布局与筒仓设置的冲突

单跨筒仓工业建筑需要在有限的空间内,合理布置筒仓,满足消防疏散、建筑采光、通风、物流等使用要求。空间布局极富挑战性,筒仓数量、直径、排布方式等参数的选择,影响建筑平面布置,与建筑柱网存在天然的几何矛盾,筒仓布置过于密集,会影响建筑内部空间使用,不利于检修维护,但筒仓布置过于分散,储存密度低,又会降低储存效率,加大输送距离,影响物流组织。筒仓还需与输送带栈桥、提升机等衔接,平面和竖向布置不当,会制约物料流转效率,影响生产功能的发挥,在立面上,仓顶建筑的疏散出口设置、疏散楼梯布置应与立面设备检修吊装区域协调布置。筒仓布置与柱网也要有机结合,以免产生不利的楼板开洞或夹层,影响建筑的整体性。如何在建筑与筒仓之间,实现“双赢”而非“博弈”,妥善协调筒仓布置与建筑空间之间的矛盾冲突,满足功能需求,实现空间共享,成为制约单跨筒仓工业建筑设计的瓶颈问题。

### 2.3 结构安全与经济性的平衡挑战

实现结构安全是建筑设计的根本要求。过度追求安全储备,会带来材料浪费,造成工程造价不必要的升高,单跨筒仓结构体系复杂,筒仓壁是建筑受力构件,又是储存容器,对变形控制、构造措施等提出了特殊要求。在满足强度、稳定和耐久性要求的同时,如何最大限度发挥材料性能,优化配筋构造,减少钢筋用量和混凝土配筋率,得到经济合理的构件尺寸,是设计中需要精细权衡的技术经济问题。由于筒仓的数量、直径各不相同,各组合工况下结构受力差异很大,传统的标准设计模式难以适应,往往带来较大的盲目安全余量,造成材料浪费。如何针对不同项目特点,在结构分析的基础上,优选各构件组合,调整细部构造,在安全性和经济性之间找到最佳平衡点,满足安全要求,又不过度设防,实现因地制宜、按需设计,是设计人员面临的重大挑战<sup>[2]</sup>。

## 3 单跨筒仓工业建筑结构设计优化策略

### 3.1 合理受力体系构建与荷载传递优化方案

单跨筒仓工业建筑的结构设计,首要任务是构建合理的受力体系,明晰荷载在筒仓与建筑主体之间的传递路径。传统的设计思路多将仓壁等同于竖向荷载作用在楼板上,忽视了筒仓内容物对筒壁的水平压力和摩擦力影响,导致结构内力分析偏差较大,安全储备不足。针对这一问题,采用先进的数值模拟技术,如非线性有限元分析,综合考虑筒仓在不同充灌料工况下的受力特点,准确分析筒壁在水平和竖向荷载作用下产生的附加弯矩、剪力,评估对柱偏心受压、梁单侧受扭等结构构件的不利影响。在深入分析计算的基础上,通过优化筒仓在平面和空间上的布置方案,将其竖向荷载更多地传递至刚度较大的结构柱和墙体,在筒仓周边及水平方向设置必要的支撑构件,形成稳定可靠的空间受力体系,确保筒仓与主体结构的协同工作。

例如,在某电力行业煤粉仓储建筑的结构设计中,设计人员利用大型通用有限元软件,建立了较为精细的筒仓-建筑一体化计算模型。考虑到该工程的筒仓平面尺寸 $8 \times 8\text{m}$ ,煤粉(电厂用)的内摩擦角在 $25^\circ \sim 30^\circ$ ,仓壁受到的煤粉竖向摩擦力较大,漏斗处切向力较大,与相连框架结构的荷载传递更为复杂。参考《钢筋混凝土筒仓设计标准》(GB 50077—2017)的规定,设计人员根据筒仓的平面尺寸计算其水力半径、判断其属于深仓或浅仓、再借助经验公式对仓壁及漏斗做进一步受力分析,计算仓壁、漏斗在水平和竖向上的附加弯矩、剪力和法向拉力。利用有限元软件的非线性接触算法,分别考虑了筒仓满载、部分放空及完全放空三种工况下,煤粉颗粒与筒壁的相互作用,揭示了筒仓与周边框架梁、柱的内力传递机理。分析表明,当筒仓内煤粉堆积呈现偏心或不对称状态时,筒壁所受附加弯矩和剪力大幅增加,局部应力突变明显,筒壁可能出现环向、竖向裂缝。针对上述问题,设计人员采取

了两项关键措施：一是在筒仓四周布置了环向约束系梁，提高了筒壁的整体刚度和稳定性，将水平荷载更多地传递至框架柱，减轻梁的水平荷载分担；二是将筒壁分段设计，下部采用高强混凝土配以双层钢筋，适当增大壁厚，环向钢筋应力校核考虑了温度应力和收缩徐变应力的叠加，有效缓解了煤粉非对称堆积产生的附加弯矩，维护了筒壁乃至整个结构的安全性。

### 3.2 筒仓与空间布局的协调设计技术

要在有限的建筑空间内实现筒仓布置与使用功能的最佳融合，必须运用多种先进的设计技术与方法，在空间尺度、功能分区、流线组织等多个方面，统筹考虑，综合平衡，实现筒仓布局方案与建筑总平面的协调优化。在确定建筑的总平面尺寸和空间形态时，应当以筒仓的规格尺寸为重要的参考基准，在满足筒仓储量要求的前提下，兼顾建筑的柱网布置、梁板跨度等因素，避免筒仓直径与建筑柱距之间产生无序冲突和不协调。对筒仓的平面组合排布方式和竖向分层布置方案，要从物料存储、输送等工艺流程的角度出发，结合建筑各功能空间的序列组织关系，形成紧凑、顺畅、高效的总体布局。通过对筒仓进行必要的错层布置、退台设计，可以更加灵活有效地利用建筑空间，并与采光、通风等建筑使用需求相互协调<sup>[3]</sup>。

### 3.3 结构安全与经济性平衡的创新措施

要实现单跨筒仓工业建筑的结构安全性与经济性之间的最佳平衡，需要在设计的多个环节和层面上采取针对性的创新优化措施。在结构总体布置和构件设计上，要遵循安全第一、适用为主的基本原则，满足各种荷载工况下的强度、刚度和变形要求，避免材料的过度浪费，采用高强度材料或新型复合材料，在保证结构安全的前提下，降低构件的截面尺寸和用量。在构件的计算分析和配筋构造设计上，因地制宜，灵活机动，通过参数化的分析和多方案比选，优选出经济合理的构造方案，对于楼板的受弯构件配筋设计，采用断面优化技术，在满足承载力要求的前提下，减少配筋率；对于筒仓连接区等应力相对集中或有较大开洞的关键构件，采用高性能纤维混凝土等新型材料，减少裂缝开展风险，提高构件可靠度。积极借助 BIM、参数化设计等数字化技术手段，在多方案比选优化的基础上，获得综合品质和工程造价最优的结构设计方案，提高设计工作的效率和方案质量<sup>[4]</sup>。

例如，在某大型单跨筒仓储工程项目中，由于筒仓布置较为密集，若采用普通钢筋混凝土楼板，配筋率偏高，

造价十分昂贵，设计人员通过对楼板的参数化正交试验设计和分析，优化了板跨布置，创新性地采用了预制装配式叠合板替代传统现浇板，满足结构承载力要求的同时，降低了钢筋材料的实际用量。针对筒仓壁板与建筑柱的连接节点区域应力相对集中的问题，设计团队创新采用了柱侧加腋和外包钢套筒的节点构造形式，提高了节点区域的延性和整体性，结构可靠性水平大幅提升。通过专业的 BIM 软件建模，快速准确地生成多套方案的材料工程量统计表，计算分析相关的经济技术指标，选择了材料用量最为经济、综合效益最佳的设计优化方案，据相关统计，与传统的经验设计方案相比，优化后的方案在确保结构安全的前提下，工程直接费用降低了 8%，综合效益水平提高了 12%。通过在设计的多个环节采取针对性的优化创新措施，在确保单跨筒仓工业建筑结构安全可靠的同时，能够显著提升工程的经济性，实现投资效益的最大化。

## 4 结束语

单跨筒仓工业建筑是现代工业发展的重要基础设施，其结构设计是一项复杂的系统工程，设计人员必须统筹考虑筒仓布置、空间利用、结构受力等多方面因素，在建筑功能与结构安全、技术先进与经济适用之间寻求最佳平衡。新材料、新技术的不断发展，为单跨筒仓工业建筑的创新设计提供了广阔空间，数值模拟、BIM、参数化设计等先进技术和理念的运用，能优化设计手段、提高设计效率，还能揭示结构在复杂工况下的真实受力状态，在设计阶段考虑建设成本，指导合理经济的结构方案选型。展望未来，只要坚持与时俱进，勇于创新，广大设计工作者必将在协调多元需求、优化设计水平上取得更大突破，为推动现代工农业高质量发展贡献智慧和力量。

### 【参考文献】

- [1] 宋一鸣, 丁雪儿, 华宇翔, 等. 工业建筑中筒仓空间改造设计策略研究[J]. 工业建筑, 2023(1): 10-16.
  - [2] 艾纯志. 设置筒仓的单跨工业建筑结构设计方案探讨[J]. 江西建材, 2022(8): 3.
  - [3] 崔凯. 文化创意视角下筒仓类工业遗存再利用设计研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2022.
  - [4] 田皓元, 倪阳. 圆形筒仓类工业构筑物改造中的结构介入设计策略研究[J]. 建筑技艺, 2021(20): 105.
- 作者简介: 马凯(1987.11—), 男, 毕业于防灾科技学院, 土木工程专业, 现就职于中煤科工集团北京华宇工程有限公司, 高级工程师, 主要从事工业建筑结构设计工作。

## 可持续建筑材料在建筑设计中的选择与应用

胡志健

河北建筑设计研究院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]** 可持续建筑材料在建筑设计中的选择与应用, 强调其对于现代建筑环境的积极影响。首先分析了传统建筑材料对环境造成的负面影响, 随后讨论了可持续材料如竹材、再生木材和绿色混凝土等在减少碳足迹方面的优势。论文还考察了这些材料如何通过提高能源效率、降低污染以及改善室内空气质量来促进建筑的可持续发展。研究了在实际项目中实施这些材料所面临的挑战及应对策略, 包括成本控制和技術难题。合理选择和应用可持续建筑材料不仅能显著减少建筑对环境的影响, 还能提升建筑的整体性能。

**[关键词]** 可持续建筑材料; 建筑设计; 碳足迹; 能源效率; 室内空气质量

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16466

中图分类号: TU984

文献标识码: A

## The Selection and Application of Sustainable Building Materials in Architectural Design

HU Zhijian

Hebei Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** The selection and application of sustainable building materials in architectural design emphasize their positive impact on the modern building environment. Firstly, the negative impact of traditional building materials on the environment was analyzed, followed by a discussion on the advantages of sustainable materials such as bamboo, recycled wood, and green concrete in reducing carbon footprint. The paper also examines how these materials promote sustainable development of buildings by improving energy efficiency, reducing pollution, and enhancing indoor air quality. Studied the challenges and coping strategies faced in implementing these materials in practical projects, including cost control and technical difficulties. Reasonable selection and application of sustainable building materials can not only significantly reduce the impact of buildings on the environment, but also enhance the overall performance of buildings.

**Keywords:** sustainable building materials; architectural design; carbon footprint; energy efficiency; indoor air quality

### 引言

在当前全球变暖和资源紧张背景下, 建筑行业面临着前所未有的挑战和机遇。建筑活动是温室气体排放的重要来源之一, 而传统建筑材料的使用加剧了这一问题。探索并采用可持续建筑材料成为实现建筑业绿色转型的关键路径。可持续建筑材料以其环保、节能和健康的特点, 逐渐受到设计师和开发商的青睐。它们不仅有助于减少建筑物的环境足迹, 还能为居住者提供更高质量的生活空间。在实践中, 选用这些材料往往伴随着技术障碍和经济考量。本文旨在深入探讨可持续建筑材料的选择标准及其在建筑设计中的应用案例, 以期为推动建筑行业的可持续发展贡献力量。

### 1 可持续建筑材料的概念与发展现状

可持续建筑材料代表了建筑行业迈向绿色未来的重要一步, 这类材料旨在减少建筑对环境的负面影响, 同时提升建筑物的整体性能。在当前追求环保与资源高效利用的大环境下, 竹材、再生木材和绿色混凝土等材料因其独特的环保特性而受到广泛关注。这些材料不仅来源于可再生资源或回收材料, 而且在生产过程中消耗的能量较少,

产生的温室气体排放也相对较低。竹子生长速度快, 能够在较短时间内达到成熟期, 从而成为一种快速可再生的建筑材料; 而绿色混凝土则通过使用工业副产品如粉煤灰替代部分水泥, 减少了能源消耗和二氧化碳排放。一些创新材料还包括利用废弃塑料制成的砖块, 这不仅解决了塑料垃圾问题, 还创造了具有优良隔热性能的建筑材料。

随着全球对于环境保护意识的提高, 可持续建筑材料的应用逐渐普及开来。建筑设计师们越来越倾向于选用那些能够降低碳足迹、改善室内空气质量以及提升能源效率的材料。现代建筑设计不仅要考虑结构的安全性和美观性, 还要兼顾其长期运行中的环境影响。比如, 在设计一座公共建筑时, 选择使用高效的隔热材料可以显著降低建筑物在冬季的取暖能耗和夏季的制冷需求, 进而减少整体能源消耗。采用自然通风和采光的设计理念, 结合高性能玻璃和遮阳系统, 能够有效降低人工照明和空调系统的依赖, 进一步增强建筑的可持续性。这种设计理念不仅符合环保要求, 也为居住者提供了更加健康舒适的生活空间。

推广可持续建筑材料并非一帆风顺, 它面临着来自技术、经济和社会层面的多重挑战。一方面, 新材料的研发

成本较高,且需要经过严格的质量检测才能进入市场,这对中小企业构成了较大的经济压力。另一方面,市场上关于可持续建筑材料的信息不对称,导致消费者对其性能和效益缺乏足够的了解,限制了其广泛应用。尽管如此,随着技术进步和政策支持,这些问题正在逐步得到解决。政府出台了一系列激励措施鼓励使用环保建材,如提供税收优惠、补贴等,以促进其在新建和翻新项目中的应用。总体来看,尽管面临诸多挑战,但随着技术的发展和人们环保意识的不断提高,可持续建筑材料在未来有着广阔的应用前景和发展潜力。

## 2 传统建筑材料对环境的影响及局限性

传统建筑材料如水泥、钢材和普通混凝土在现代建筑中广泛应用,但其生产和使用对环境造成了深远的影响。以水泥生产为例,这是一个高度能源密集型的过程,每生产一吨水泥大约会释放出 0.8 至 1 吨的二氧化碳。钢铁的制造同样消耗大量的煤炭,并产生大量的温室气体排放。这些材料不仅在其生产过程中消耗了地球宝贵的资源,而且还在开采原材料时对土地造成破坏,导致生态系统失衡。大规模的石灰石开采活动改变了地形地貌,影响了当地的生物多样性。传统建筑材料的应用还可能导致室内空气质量下降,因为某些材料会释放挥发性有机化合物(VOCs),这对居住者的健康构成了潜在威胁。

除了直接的环境影响外,传统建筑材料还存在多方面的局限性。一方面,它们的生命周期相对较短,这意味着建筑物需要更频繁地进行维护或重建,从而增加了资源的消耗和废弃物的产生。另一方面,传统建筑材料往往缺乏良好的隔热性能,这使得建筑物在冬季取暖和夏季制冷时需要消耗更多的能量,进而加剧了能源的浪费。尤其是在一些老旧建筑中,由于采用的是早期的低效建筑材料和技术,导致整体能耗居高不下。这种情况不仅增加了运营成本,也间接地加重了环境负担。随着全球气候变化问题日益严重,如何减少建筑物对环境的影响已成为一个亟待解决的问题。

面对上述挑战,探索替代传统建筑材料的方法变得尤为重要。虽然传统材料在强度和耐久性方面具有一定的优势,但其不可持续的特性促使人们寻找更加环保的选择。可持续建筑材料的出现为这一问题提供了解决方案。这类材料不仅能够减少环境污染,还能通过提高建筑物的能源效率来降低长期运行成本。利用再生木材代替实木可以减少森林砍伐,而绿色混凝土则有助于降低碳排放。新型材料如相变材料(PCM)能够有效调节室内温度,减少空调系统的使用频率。尽管转变过程可能面临技术和经济上的障碍,但从长远来看,转向可持续建筑材料对于实现建筑行业的绿色转型至关重要。

## 3 可持续建筑材料的选择原则与评估方法

在选择可持续建筑材料时,需综合考虑材料的环境影响、性能表现及经济效益。理想情况下,这些材料应当来

源于可再生资源或回收材料,并在其整个生命周期内减少对环境的影响。评估一种材料是否符合可持续性标准,通常需要分析其从原材料获取、生产加工到使用和废弃处理的全过程。对于木材而言,应优先选择经过认证的森林产品,确保其来源合法且管理得当,从而避免非法砍伐造成的生态破坏。采用具有高回收含量的钢材或混凝土,不仅可以降低新原料的需求,还能减少能源消耗和温室气体排放。材料的选择还必须考虑到项目的具体需求,如结构要求、耐久性和成本效益等。

在实际应用中,通过科学的方法评估材料的可持续性至关重要。生命周期评估(LCA)是一种常用工具,它能够量化材料在整个生命周期中的环境影响,包括资源消耗、能源使用以及污染物排放等方面。这种方法帮助设计师和开发商了解不同材料的真实环境足迹,为决策提供依据。除了LCA之外,还有其他多种评估方法,如环境产品声明(EPD),它详细列出了产品的环境信息,使消费者能够更直观地比较不同产品的环保特性。一些地区或国家制定了严格的绿色建筑评价体系,如LEED(领先能源与环境设计)或BREEAM(建筑研究院环境评估方法),它们不仅鼓励使用可持续建筑材料,还推动了建筑设计整体优化,促进了建筑行业的可持续发展。

为了进一步促进可持续建筑材料的应用,建立一套全面的选择原则和评估机制显得尤为必要。这包括但不限于:提高公众对可持续建筑材料的认知度,加强相关领域的研究与发展,以及制定激励措施支持新材料和技术的应用。政府可以通过补贴或税收优惠等方式,鼓励企业和个人选用环保建材。教育机构和行业协会也扮演着重要角色,它们可以组织培训课程和研讨会,分享最佳实践案例,提升行业整体水平。最终,通过多方合作,形成一个有利于推广和使用可持续建筑材料的良好生态系统,不仅有助于环境保护,也能带动经济和社会的可持续发展。

## 4 可持续建筑材料在提升建筑性能方面的应用实例

在实际建筑项目中,可持续建筑材料的应用不仅有助于减少环境影响,还能显著提升建筑的整体性能。在一些现代化的住宅设计中,设计师采用了高效的隔热材料如岩棉和聚苯乙烯泡沫板,这些材料具有优异的保温性能,能够有效降低建筑物在冬季取暖和夏季制冷时的能耗。通过精确计算热传导系数并合理布置隔热层,建筑可以达到理想的节能效果,进而减少对化石燃料的依赖,并降低温室气体排放。利用高性能玻璃也是提升建筑能效的有效手段之一。这种玻璃通常具备良好的透光性和隔热性,能够在保证室内采光的最大限度地减少热量流失或进入,进一步优化了建筑的能源消耗。

另一个实例是在商业建筑中广泛使用的绿色屋顶技术。绿色屋顶不仅能够吸收雨水,减轻城市排水系统的压

力,还具有出色的隔热和隔音效果,为室内创造更加舒适的环境。植物覆盖层还可以吸收空气中的污染物,改善空气质量,同时提供额外的休闲空间,增强了建筑的功能多样性。对于追求高效能建筑的企业而言,采用太阳能光伏板作为建筑材料的一部分也变得越来越普遍。集成到建筑外墙或屋顶的光伏系统可以直接将太阳光转化为电能,满足部分甚至全部的电力需求,减少了对外部电网的依赖。这不仅降低了运营成本,也为实现建筑自给自足提供了可能。使用再生混凝土代替传统混凝土,既能解决废弃物处理问题,又能保持结构强度,体现了循环经济的理念。

除了上述应用,相变材料(PCM)也被越来越多地应用于建筑设计中,以提高建筑的温度调节能力。PCM能够在特定温度范围内吸收或释放大容量潜热,从而稳定室内温度,减少空调和供暖设备的使用频率。这种智能材料的应用使得建筑能够适应更广泛的气候条件,提高了居住者的舒适度。另外,竹材作为一种快速可再生资源,其高强度和良好柔韧性使其成为现代建筑的理想选择之一。特别是在地震多发地区,竹结构建筑因其较好的抗震性能而备受青睐。通过结合不同类型的可持续建筑材料和技术,建筑师们能够创造出既环保又高效的建筑作品,实现了经济效益与环境保护的双赢局面。

### 5 推进可持续建筑材料应用面临的挑战与对策

推进可持续建筑材料的应用在实践中面临着诸多挑战,从技术难题到经济障碍,再到社会接受度的问题,每一环节都需要精心应对。一方面,新材料的研发和生产往往伴随着较高的成本和技术门槛。一些高性能的隔热材料或环保型混凝土可能需要专门的技术设备进行制造,这不仅增加了初期投资,还限制了其市场推广速度。由于缺乏统一的标准和认证体系,市场上可持续建筑材料的质量参差不齐,消费者难以辨别优劣,导致信任度降低。对于设计师和开发商而言,选用这些材料时还需考虑其与现有建筑结构的兼容性以及施工工艺的复杂性,任何不当选择都可能导致项目延误或成本超支。

为克服上述挑战,需要多方面的努力和支持。政府在此过程中扮演着重要角色,通过制定相关政策和激励措施来推动可持续建筑材料的应用。比如,提供税收减免、补贴或其他财政激励,鼓励企业和个人采用环保建材。加强法律法规建设,明确建筑材料的环境标准和性能要求,有助于规范市场秩序,提高产品质量。除此之外,加大对研发领域的投入也是关键所在。科研机构和企业应联合起来,共同攻克技术难关,开发出性价比更高的新型材料。探索

如何利用农业废弃物或工业副产品作为原材料,既解决了废物处理问题,又创造了具有经济效益的建筑材料。教育和培训同样不可或缺,提升从业人员对可持续建筑材料的认知水平和技术能力,可以确保其正确应用,并促进最佳实践案例的传播。

提高公众意识和社会接受度是实现大规模应用的重要基础。可持续建筑材料的成功推广离不开广泛的宣传教育活动。通过媒体、展览等多种渠道普及相关知识,展示成功案例,能够增强公众对绿色建筑的认可和支持。社区参与也是不可忽视的一环,在建筑设计和规划阶段引入居民意见,不仅能更好地满足用户需求,还能激发他们对可持续生活方式的兴趣和追求。长远来看,只有当社会各界形成共识,认识到可持续建筑材料对于环境保护和资源节约的重要性,并积极参与其中,才能真正实现建筑业的绿色转型。这一过程虽然充满挑战,但只要各方共同努力,未来将更加光明。

### 6 结语

本文深入探讨了可持续建筑材料在建筑设计中的选择与应用,分析了其概念与发展现状、传统建筑材料的环境影响及局限性、选择原则与评估方法、实际应用案例以及推广过程中面临的挑战和对策。研究表明,合理选用可持续建筑材料不仅能有效降低建筑对环境的负面影响,还能显著提升建筑性能,为居住者创造更加健康舒适的室内环境。尽管在技术、经济和社会层面仍面临诸多挑战,但通过政府政策支持、技术创新、公众教育等多方面努力,可持续建筑材料的应用前景广阔,将为实现建筑行业的绿色转型提供坚实基础。

#### [参考文献]

- [1]李华,王强. 可持续建筑材料的研究进展[J]. 建筑材料学报,2023,26(4):1-8.
- [2]陈明,黄伟. 绿色建筑中环保材料的应用与实践[J]. 建筑科学,2024,30(2):25-32.
- [3]赵军,孙丽. 生命周期评估在建筑材料选择中的应用[J]. 环境工程,2023,31(3):78-85.
- [4]郭亮,徐静. 竹材在现代建筑中的应用及其发展前景[J]. 林业工程学报,2024,9(1):55-62.
- [5]高远,杨帆. 提高建筑能效的新材料与新技术[J]. 新型建筑材料,2025,42(5):10-17.

作者简介:胡志健(1997.7—),男,汉族,毕业学校:河北农业大学,现工作单位:河北建筑设计研究院有限责任公司。

# 建筑暖通设计中的节能策略与实践研究

张明跃

中石(山东)工程设计有限公司河北分公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]**随着我国经济社会建设取得不断进展,建筑行业获得了前所未有的发展契机,然而也面临着不少挑战。建筑暖通设计作为建筑工程系统的关键部分,其地位日益凸显出来,其质量以及效果会直接对建筑的使用性能还有能源效率产生影响。文中对该领域在实际工作当中常见的一些问题展开分析,并给出与之对应的解决办法,希望能够给相关从业人员提供较为科学合理的从业建议,促使建筑暖通设计水平得以持续提升并实现优化,推动整个行业健康向前发展。

**[关键词]**建筑暖通设计;节能策略;实践

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16447

中图分类号: TU9

文献标识码: A

## Research on Energy-saving Strategies and Practices in Building HVAC Design

ZHANG Mingyue

Hebei Branch of Zhongshi (Shandong) Engineering Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** With the continuous progress of Chinese economic and social construction, the construction industry has gained unprecedented development opportunities, but also faces many challenges. As a key component of building engineering systems, HVAC design plays an increasingly prominent role, and its quality and effectiveness directly affect the performance and energy efficiency of buildings. The article analyzes some common problems in practical work in this field and provides corresponding solutions, hoping to provide more scientific and reasonable professional advice to relevant practitioners, promote the continuous improvement and optimization of building HVAC design level, and promote the healthy development of the whole industry.

**Keywords:** building HVAC design; energy-saving strategy; practice

### 引言

全球能源日益紧缺,同时环境保护方面的压力也在持续增大,在这样的背景下,建筑节能已然成为达成可持续发展目标的关键要素之一。暖通系统在建筑能耗当中占据着重要地位,其设计是否合理,会直接影响到建筑的整体能耗水平以及运行效率。传统上,建筑暖通设计大多是以满足基本的供暖、通风以及空调等功能为目标,然而常常会忽略将节能与环保理念相互融合起来,如此一来便造成了能源的大量浪费,而且使得环境负担变得越来越重。近些年来,伴随着节能技术的不断发展以及绿色建筑理念的广泛传播,建筑暖通设计开始逐步朝着高效、智能以及绿色的方向去转变。科学且合理的节能策略,一方面能够大幅降低建筑的运行成本,另一方面可以提高能源的利用效率,除此之外,它还能够改善室内的环境质量,进而提升用户的舒适体验感受。本文着重探讨建筑暖通设计里面的节能策略及其实践情况,全面且细致地剖析当下设计环节所存在的种种问题,同时结合先进的节能技术以及有效的管理方法,给出具有实际操作性的优化举措。借理论论与实践相结合的方式,促使建筑暖通设计向着更为节能环保以及更加智能化的方面不断发展,从而为建筑行业达成绿色转型以及实现低碳发展做出相应的贡献。

### 1 节能暖通设计的基本原则

节能暖通设计遵循的原则在于借助科学合理的办法

来设计,达成建筑供暖、通风以及空调系统能够高效运转的目的,把能源消耗和给环境带来的影响尽可能地减小。设计时得秉持“以人为本”的理念,要保证室内环境让人感觉舒适且有益健康,对温度、湿度还有空气质量予以合理的把控,让建筑使用者能够有好的生活及工作的感受;需重视整个系统的优化,经由合理地去挑选并配置设备,充分挖掘建筑自身所具有的被动节能方面的资源,像自然通风、采光以及隔热材料等等,以此来减轻机械系统在能耗方面的负担。并且,在设计的过程中应当优先选用节能且高效的设备以及技术,例如高效换热器、变频控制系统还有智能化调节装置,进而实现对运行参数进行动态的优化管理。节能暖通设计着重可持续发展的理念,积极地引入可再生能源技术,像是太阳能利用、地热能等方面的技术,以此减少对传统能源的依赖程度,降低碳排放量<sup>[1]</sup>。设计还要综合考量建筑的整体布局与功能分区,合理地划分冷热负荷,防止出现能源浪费的情况。与此要关注系统在维护上的便利性以及运行时的稳定性,从而确保长期节能效果可以持续不断地发挥作用。

### 2 建筑暖通设计中存在的问题

#### 2.1 建筑暖通设计较为落后传统

建筑暖通设计必须紧密结合后续的实际应用需求,重点评估设计方案的必要性和可行性。首先,需要确认设计方案是否符合当地的标准和行业规范,包括对生态环境的

影响和安全性等方面的要求。同时，还应综合考虑供电、供热等多重因素，以确保建筑暖通工程的有效实施和长期稳定运行，为地方生态环境保护奠定坚实基础。然而，当前许多单位在建筑暖通设计过程中仍存在诸多问题，这就要求设计人员深入分析现状，积极进行优化和改进，为后续的安装施工打下良好基础。

## 2.2 建筑暖通成本管控意识薄弱

在建筑暖通设计过程中，成本管控意识较为薄弱，这已然成为限制节能成效以及项目经济效益的关键问题。不少设计单位还有相关人员在项目刚开始的时候，对于暖通系统的投资成本没有做到充分的预算以及合理的规划，常常会忽略对设备选型、系统方案以及施工工艺的经济性剖析，如此一来便致使设计方案很难达成成本与性能的最优平衡状态。与此欠缺成本控制意识还体现在对运行维护费用的预估不够精准，进而让后期运营阶段出现能源浪费以及维护支出增多的情况。因为缺少科学的成本管理以及动态监控机制，暖通系统设计多多少少存在着重复投资以及资源浪费的现象，这对项目整体的经济效益以及市场竞争力产生了影响。

## 2.3 建筑暖通绿色设计思想不足

在当下的建筑暖通设计实际操作当中，绿色设计思想存在的欠缺已然变成限制节能成效以及环境保护目标达成的关键阻碍。众多设计人员对于绿色设计理念的认知与看重程度有所欠缺，常常着重于达成基本的供暖、通风以及空调功能，然而对节能减排、环境友好以及资源高效利用等综合方面的要求却予以忽视。绿色设计的缺失使得设计方案缺少对可再生能源加以利用以及与低碳技术相融合的内容，致使系统能耗偏高，运行效率不尽如人意<sup>[2]</sup>。除此之外，在设计进程里针对建筑整体环境影响的评估做得不够到位，没有充分考量室内空气质量的改善、污染物排放的控制以及生态环境的保护等诸多因素。

# 3 建筑暖通设计的节能措施

## 3.1 科学选择建筑暖通设计方案

科学地去选择建筑暖通设计方案，这可是达成节能目标极为关键的一个步骤。在挑选的时候，得依据建筑具体的功能需求、实际的使用环境、所处的气候条件还有能源资源的具体状况，全面且细致地考量多种不同技术方案各自所具有的优势与劣势。设计方面的人才需要充分且细致地去评估各个不同暖通系统在能效层面的水准高低、设备性能的实际表现情况以及运行时的成本耗费情况，并且要结合建筑自身所具有的结构方面的特点以及空间布局的具体情况，从中选出最为适合并且节能效果十分突出的设计方案来。合理的方案一方面要能够满足室内舒适性那些基本的要求，另一方面还得同时兼顾节能减排以及环境保护这样的目标，应当优先去采用那些高效节能的设备以及先进的控制技术，以此来避免出现资源浪费的情况。与此

还要积极地借助被动式节能设计的一些手段，像是对建筑朝向加以优化、进一步强化围护结构在保温隔热方面的性能、充分利用自然通风以及采光等等，从而尽可能最大限度地减少机械系统在能耗方面所承受的负担。除此之外，设计方案还必须要具备不错的灵活性以及较强的适应性，如此一来才能够很好地应对未来建筑使用功能可能会发生的变化以及节能技术不断升级所带来的各种需求。

## 3.2 提升对设计人员的要求

提升设计人员的要求是推动建筑暖通系统节能设计有效实施的关键保障。设计人员一方面要具备扎实的专业知识和技能，另一方面需深刻理解节能环保理念，熟知最新节能技术和相关政策法规，如此才能在设计进程中科学合理地运用先进节能手段和技术方案。设计人员还应当具备系统思维能力，可从整体层面把控建筑与暖通系统的协调关联，全面考量建筑的功能需求、环境特性以及能源利用效率，防止因局部优化致使整体能耗增多。设计人员更要持续提高创新能力，踊跃开展技术创新和方案优化，善于利用智能化设计工具和软件，提高设计精度与效率<sup>[3]</sup>。经由强化培训和专业交流，促使设计人员对节能理念达成认同并加以践行，提升他们对绿色建筑标准和节能规范的理解与执行能力，进而保证设计方案既契合节能目标，又能满足用户的舒适性与经济性需求。

## 3.3 满足节能减排需要

在建筑暖通设计里达成绿色低碳发展这一目标，这其实正是满足节能减排需求的核心所在，得从系统设计、设备选型以及运行管理等诸多方面来综合考量并加以优化。一开始在设计阶段的时候，要充分去评估建筑的能耗方面的特性，要把当地的气候条件以及能源结构都结合起来考量，然后合理地去配置供暖、通风还有空调系统，尽可能优先选用那些节能且高效的设备以及技术，像是变频调速、余热回收以及智能控制系统这类的，借由这些举措来削减能源方面的浪费以及二氧化碳的排放量。还得着重关注引入可再生能源，比如太阳能、地热能等等这类能源，以此来减少对传统化石能源的依赖程度，进而降低温室气体排放的强度。与此通过对管道以及风道系统布局予以优化，能够降低系统的阻力，使得运行能耗得以减少。在整个设计过程之中，还需要强化针对系统运行的监测以及管理工作，运用节能运行的策略，像分区调控以及需求响应这类方式，从而保证系统能够在满足舒适性要求的基础之上把能耗降到最低限度。

## 3.4 做好系统优化控制

做好系统优化控制属于实现建筑暖通节能设计的关键环节，借助科学合理的控制策略以及先进的自动化技术，可有效提高系统运行效率，减少能源浪费。优化控制首要需对暖通系统的运行状态予以实时监测与数据采集，凭借传感器和智能控制设备精准获取温度、湿度、压力以及空

气质量等关键参数,保证系统能依据实际需求动态调整运行模式。采用智能化控制系统,比如变频调速器、PLC 控制器以及楼宇自动化系统,可达成对供暖、通风和空调设备的精细化管理,防止设备长时间无效运行或者过度运行。并且,系统优化控制还须结合建筑使用特性与外部环境变化,合理设定分区控制与时间段控制策略,实现不同区域与时段的差异化调节,既保障室内舒适度,又最大程度降低能耗。

### 3.5 科学构建审查机制和评价机制

科学地构建起审查机制以及评价机制,这无疑属于保障建筑暖通设计当中的节能措施能够切实有效落实的关键环节所在。借助于制度化且又规范化的各类管理手段,以此来推动设计质量得以不断提升,进而促使节能目标最终得以达成。应当着手建立起一个有多个层次且涉及诸多部门共同参与在内的审查体系,要将设计方、施工方、监理方以及业主等各个方面都囊括其中,从而保证设计方案能够在技术合理性层面、经济性层面以及节能效果层面等诸多方面都能够获得较为全面的评估,并且还能经受住严格的把关程序<sup>[4]</sup>。在审查工作的开展过程里面,需要格外着重关注设计情况到底是不是契合国家层面以及地方层面所制定的节能标准与相关规范要求,是不是已经运用了较为先进的节能技术以及合理的系统配置方式,与此还得对建筑整体所具备的节能潜力状况以及运行维护方面的可行性加以评估考量。评价机制务必要构建起一套科学合理的指标体系,该体系应当包含能耗指标、系统效率、环境影响以及用户满意度等诸多不同方面。通过将定量分析方法和定性分析方法相互结合起来的方式,针对暖通系统的节能效果展开全方位的评价工作。

### 3.6 强化施工管理工作

强化施工管理工作乃是保证建筑暖通设计节能举措可有效施行的关键保障,施工阶段的管理水平会直接对系统的运行成效以及节能性能产生影响。务必要依据设计方案和技术规范来开展施工活动,坚决杜绝擅自更改设计或者偷工减料的情况出现,以此确保设备安装的质量以及系统调试的精准程度,进而保障暖通系统各个不同环节的能效能够充分地发挥出来。在施工进程当中,要着重强化对施工人员的技术培训以及节能意识方面的教育工作,提升他们对于节能标准以及工艺要求的理解与执行力。与此应当构建起科学合理的施工质量监督机制,借助现场监测以及验收等手段,及时察觉并纠正施工期间所存在的各类问题,避免因施工质量方面存在缺陷而致使能耗有所增加以及设备遭到损坏。施工管理还得关注合理安排工序以及资源配置这两方面的事情,对施工流程加以优化,减少能源以及材料的无谓浪费。除此之外,还需重视施工环境保

护相关事宜,采取行之有效的措施来降低施工过程当中的噪声、粉尘以及废弃物排放量,推动绿色施工的开展。

## 4 建筑暖通设计中的节能实践

建筑暖通设计里的节能实践彰显出理论和技术的有机结合,这可是推动建筑节能目标达成的关键路径。一开始,在具体实践进程里,借助运用先进的节能设备以及技术,比如高效热泵系统、变频调节风机还有智能温控系统,达成了对暖通系统能耗的有效把控以及动态化管理。接着,恰当的系统布局加上管道设计的优化,让空气流动和热量传输都变得更为顺畅,能量损失有所减少,系统运行效率也得到了提升。并且,依据建筑所处的气候特点以及使用方面的需求,广泛采用被动式节能设计办法,像是强化建筑围护结构的保温隔热功能、科学设置自然通风通道,切实降低了对机械供暖以及制冷的依靠程度。在实际的操作环节当中,项目团队十分看重整个过程的节能控制工作,从设计审查阶段、施工监理环节一直到运行维护时期,全都施行严格的节能标准以及质量把控举措,以此来保证设计方案能够精准地得到执行落实。与之建筑暖通系统还积极地引入智能化管理平台,凭借实时监测以及数据分析手段,达成对能耗的精细化管理以及故障预警目的,进而提升了系统的运行稳定性以及节能成效。

## 5 结语

在建筑暖通设计方面所采用的节能策略以及相关实践举措,对于实现降低建筑能耗这一目标而言,有着极为重要的意义,并且还对环境保护起到了不容忽视的作用。借助合理的系统设计以及适宜的技术应用方式,能够有效地提升整个系统的运转效率,达成节约能源的良好效果,同时也能促使室内环境得到切实的改善。在往后的日子里,需要进一步强化对节能技术的推广力度,与此同时还要不断加强设计管理工作,持续不断地提升暖通系统的节能程度,从而为绿色建筑的建设以及可持续发展目标的实现贡献出自己的一份力量。

### [参考文献]

- [1]朱国栋.建筑暖通设计中的节能策略与实践[J].大众标准化,2025,11(6):65-67.
  - [2]王昌盛.建筑暖通设计中新型节能设计理念的应用[J].中华建设,2024,11(7):98-100.
  - [3]姜雅玲.建筑暖通设计及系统优化措施[J].建材发展导向,2024,22(6):41-43.
  - [4]郑家乐.建筑暖通设计中的节能策略与实践研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024,11(8):181-183.
- 作者简介:张明跃(1992.1—),毕业院校:唐山学院,所学专业:建筑环境与设备工程,当前就职单位:中石(山东)工程设计有限公司河北分公司,职务:暖通空调工程师。

Viser Technology Pte. Ltd.

公司地址

111 North Bridge Rd, #21-01 Peninsula Plaza,  
Singapore 179098

官方网站

[www.viserdata.com](http://www.viserdata.com)

