

# 工程研究前沿

## Frontiers of Engineering Research

Volume 3 · Issue 2 · February 2026 3060-9054(Print) 3060-9062(Online)

工程研究前沿

Frontiers of Engineering Research

Volume 3 · Issue 2 · February 2026 3060-9054(Print) 3060-9062(online)

Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.  
Tel.:+65 62233839

E-mail:contact@nassg.org

Add.:12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819

中文刊名：工程研究前沿

ISSN: 3060-9054 (纸质) 3060-9062 (网络)

出版语言：华文

期刊网址：<http://journals.nassg.org/index.php/foer-cn>

出版社名称：新加坡南洋科学院

Serial Title: Frontiers of Engineering Research

ISSN: 3060-9054 (Print) 3060-9062 (Online)

Language: Chinese

URL: <http://journals.nassg.org/index.php/foer-cn>

Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

## 《工程研究前沿》征稿函

### Database Inclusion



Google Scholar



Crossref



China National Knowledge Infrastructure

### 版权声明/Copyright

南洋科学院出版的电子版和纸质版等文章和其他辅助材料，除另作说明外，作者有权依据Creative Commons国际署名—非商业使用4.0版权对于引用、评价及其他方面的要求，对文章进行公开使用、改编和处理。读者在分享及采用本刊文章时，必须注明原文作者及出处，并标注对本刊文章所进行的修改。关于本刊文章版权的最终解释权归南洋科学院所有。

All articles and any accompanying materials published by NASS Publishing on any media (e.g. online, print etc.), unless otherwise indicated, are licensed by the respective author(s) for public use, adaptation and distribution but subjected to appropriate citation, crediting of the original source and other requirements in accordance with the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) license. In terms of sharing and using the article(s) of this journal, user(s) must mark the author(s) information and attribution, as well as modification of the article(s). NASS Publishing reserves the final interpretation of the copyright of the article(s) in this journal.

Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.  
12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819

Email: [info@nassg.org](mailto:info@nassg.org)

Tel: +65-65881289

Website: <http://www.nassg.org>



### 期刊概况：

中文刊名：工程研究前沿

ISSN: 3060-9054 (Print) 3060-9062 (Online)

出版语言：华文刊

期刊网址：<http://journals.nassg.org/index.php/foer-cn>

出版社名称：新加坡南洋科学院

### 出版格式要求：

- 稿件格式：Microsoft Word
- 稿件长度：字符数（计空格）4500以上；图表核算200字符
- 测量单位：国际单位
- 论文出版格式：Adobe PDF
- 参考文献：温哥华体例

### 出刊及存档：

- 电子版出刊（公司期刊网页上）
- 纸质版出刊
- 出版社进行期刊存档
- 新加坡图书馆存档
- 谷歌学术（Google Scholar）等数据库收录
- 文章能够在数据库进行网上检索

### 作者权益：

- 期刊为 OA 期刊，但作者拥有文章的版权；
- 所发表文章能够被分享、再次使用并免费归档；
- 以开放获取为指导方针，期刊将成为极具影响力的国际期刊；
- 为作者提供即时审稿服务，即在确保文字质量最优的前提下，在最短时间内完成审稿流程。

### 评审过程：

编辑部和主编根据期刊的收录范围，组织编委团队中同领域的专家评审员对文章进行评审，并选取专业的高质量稿件进行编辑、校对、排版、刊登，提供高效、快捷、专业的出版平台。

# 工程研究前沿

Frontiers of Engineering Research

Volume 3 Issue 2 February 2026  
ISSN 3060-9054 (Print) 3060-9062 (Online)

主 编

虞 斌

Bin Yu

编 委

王振波 zhenbo Wang

赵希强 Xiqiang Zhao

刘永军 Yongjun Liu

张新儒 Xinru Zhang

- 1 认识计量检测技术搞好质量技术监督  
/ 刘彦麟
- 4 土地工程新范式：生命系统视角下的自然资源治理与  
可持续转型  
/ 徐之良
- 8 轨道交通工程建设全过程进度与质量协同管理研究  
/ 杨燧
- 11 海洋油气平台生产运行安全风险识别与管控措施探讨  
/ 蒋家豪
- 14 信息技术支持下的工程造价动态管理模式优化  
/ 陶林燕
- 17 装配式土建工程现场施工管理的难点与应对措施  
/ 王振
- 20 深低温空间冻存架的形变量仿真分析  
/ 陈雷
- 26 工程合同全流程全生命周期法律合规管理体系构建与  
优化  
/ 解雪蕊
- 29 建筑电气照明系统的智能化控制与节能效果分析  
/ 高洁
- 32 基于数据驱动的智能采煤工作面生产效率瓶颈诊断  
与优化  
/ 杜雄雄
- 35 大漂石砂砾石层台阶式防渗墙分层分段快速成墙工艺  
探析  
/ 高自全
- 38 边坡锚索自动化张拉施工工艺优化与工程应用  
/ 严祥锋
- 41 水工隧洞中回填及固结灌浆施工技术的应用分析  
/ 李思阳
- 44 土木工程施工阶段质量控制机制的优化研究  
/ 张永河
- 47 国土资源管理中耕地保护与土地利用协调发展探析  
/ 宋小梅
- 50 电力系统中性点不接地系统单相接地故障特性与暂态  
过程研究  
/ 李岩
- 53 探讨装配式土建结构的施工工艺要点及现场质量控制的  
核心措施  
/ 管涛 郝仕刚
- 56 数字化测绘技术在国土空间规划中的运用探究  
/ 白雪梅
- 59 建筑工程项目建设全过程造价咨询管理研究  
/ 杨振忠
- 62 水利工程复杂溶洞发育区固结灌浆施工的注浆量精准  
控制  
/ 李世胜
- 65 既有砌体房屋修缮中注浆加固技术与墙体稳定性协同  
优化研究  
/ 王兆宁
- 68 工贸企业双重预防机制的构建与实践研究  
/ 富洋
- 71 内燃机制造系统中机械自动化与信息化融合研究——  
以内燃机油泵油嘴行业为例  
/ 孙越

- 1 Understand Measurement and Testing Technology to Enhance Quality Technical Supervision  
/ Yanlin Liu
- 4 New Paradigm of Land Engineering: Natural Resource Governance and Sustainable Transformation from the Perspective of Life Systems  
/ Zhiliang Xu
- 8 Research on the Progress and Quality Coordinated Management of the Entire Process of Rail Transit Engineering Construction  
/ Yi Yang
- 11 Discussion on Identification and Control Measures of Production and Operation Safety Risk of Offshore Oil and Gas Platform  
/ Jiahao Jiang
- 14 Optimization of Dynamic Management Mode of Engineering Cost with Information Technology Support  
/ Linyan Tao
- 17 Difficulties and Countermeasures of On-site Construction Management of Prefabricated Civil Engineering  
/ Zhen Wang
- 20 Simulation Analysis of Deformation in Deep Cryogenic Space Freezing Racks  
/ Lei Chen
- 26 Construction and Optimization of the Legal Compliance Management System for the Whole Process and Life Cycle of Engineering Contract  
/ Xuerui Xie
- 29 Intelligent Control and Energy-saving Effect Analysis of Building Electrical Lighting System  
/ Jie Gao
- 32 Data-Driven Intelligent Diagnosis and Optimization of Production Efficiency Bottlenecks in Coal Mining Faces  
/ Xiongxiang Du
- 35 Analysis of the Rapid Wall Construction Technology of the Step-type Seepage-proof Wall with Large Drift Stone and Gravel Layer  
/ Ziquan Gao
- 38 Optimization and Engineering Application of Automation Tensioning Construction Technology for Slope Anchorage Cable  
/ Xiangfeng Yan
- 41 Application Analysis of Backfilling and Consolidation Grouting Construction Technology in Hydraulic Tunnel  
/ Siyang Li
- 44 Research on the Optimization of Quality Control Mechanism in Civil Engineering Construction Stage  
/ Yonghe Zhang
- 47 Exploring the Coordinated Development of Farmland Protection and Land Use in Land and Resources Management  
/ Xiaomei Song
- 50 Research on Single-Phase Ground Fault Characteristics and Transient Processes in Neutral-Point-Not-Earthened Power Systems  
/ Yan Li
- 53 Exploring the key construction techniques and core measures for on-site quality control of prefabricated civil engineering structures  
/ Tao Guan Shigang Hao
- 56 Application of Digital Surveying and Mapping Technology in Territorial Space Planning  
/ Xuemei Bai
- 59 Research on Whole-process Cost Consulting Management of Construction Engineering Projects  
/ Zhenzhong Yang
- 62 Accurate Control of Grouting Volume in Consolidation Grouting Construction of Complex Karst Development Area of Hydraulic Engineering  
/ Shisheng Li
- 65 Research on the Coordinated Optimization of Grouting Reinforcement Technology and Wall Stability in the Repair of Existing Masonry Buildings  
/ Zhaoning Wang
- 68 Construction and Practice Research of Dual Prevention Mechanism in Industry and Trade Enterprises  
/ Yang Fu
- 71 Research on the Integration of Mechanical Automation and Information Technology in Internal Combustion Engine Manufacturing Systems: A Case Study of the Internal Combustion Engine Oil Pump and Nozzle Industry  
/ Yue Sun



# Understand Measurement and Testing Technology to Enhance Quality Technical Supervision

Yanlin Liu

Yunnan Qujing Inspection, Testing and Certification Institute, Yunnan, Qujing, 655000, China

## Abstract

Scientific application of metrological testing technology promotes the effective implementation of quality supervision work. Currently, metrological testing has become a key link in ensuring product quality and plays an irreplaceable role in maintaining market order. Measurement technology, as the core support of the quality supervision system, has achieved significant results by integrating it into the entire process of quality supervision.

## Keywords

Metrological testing; Quality supervision; Technical standards; Quality assurance

## 认识计量检测技术搞好质量技术监督

刘彦麟

云南省曲靖市检验检测认证院，中国·云南曲靖 655000

## 摘要

科学运用计量检测技术促进质量监督工作的有效开展，当前，计量检测已成为保障产品质量的关键环节，对维护市场秩序发挥着不可替代的作用。计量技术作为质量监督体系的核心支撑，将其融入质量监管全过程，已取得显著成效。针对计量检测应用中的问题，在实施质量监督前，应先明确技术标准，开展系统评估，将检测数据科学分析，这样可有效提升监管效能，推动质量监管体系现代化建设。本文深入探讨计量检测技术在质量监督中的应用现状，重点分析其实施路径，并提出优化建议，以供行业参考。

## 关键词

计量检测；质量监督；技术标准；质量保障

## 1 引言

随着经济社会高质量发展，质量监管工作需适应新形势新要求，实现科学化、规范化管理。基于计量数据的客观依据，推动质量监管工作向精细化方向发展。对于质量技术监督体系而言，由于计量检测是质量评判的基础，构建完善的计量检测网络能显著提升监管工作的精准度，同时增强监督结果的公信力，使质量监管获得更为坚实的科学支撑。现阶段，消费者对产品质量安全提出了更高标准。检测手段滞后，导致准确性不足、时效性差、覆盖面窄、标准化程度低等问题，引发数据失真、监管漏洞、质量风险等隐患，影响监管效能。当前质量技术监督工作，存在计量意识薄弱、技术支撑不足、监管流程不畅或标准执行不严等情况。而计量检测技术的科学应用正是解决这些问题的关键。因此，探索科学、高效的计量检测方法 with 质量监管措施，基于现代检测

技术，对提升监管水平和保障产品质量具有重要实践价值。

## 2 计量检测技术在质量监督中的价值

### 2.1 增强质量监管效能

质量监管工作需要大量准确数据支撑，对检测精度和时效性要求高。对于复杂产品质量评估，在传统监督模式下需要耗费大量人力物力，同时会延长监管周期。但在现代计量技术支撑下，将检测过程实现自动化与智能化，通过在线监测系统实时数据采集，自动识别异常，进而快速定位问题源头。从实践效果看，监管部门的响应速度得到显著提升，进一步缩短了问题处理时间，推动质量监管向智能化方向发展，这对于提升产品质量安全水平具有重要意义。

### 2.2 强化产品质量保障

在质量监督过程中，产品标准符合性检测需要全面准确，因此计量检测不可或缺。而在智能化检测系统的支持下，只需设定检测参数，其余数据采集和分析工作由系统自动完成，这使监管工作与产品实际质量状况实现精准匹配，进而大幅提升监管的科学性和有效性。计量检测作为质量监督的

【作者简介】刘彦麟（1981—），女，中国山东潍坊人，本科，工程师，从事计量检验检测研究。

技术基础，其准确性直接关系到监督结果的可靠性。在实际应用中，通过计量检测技术，将产品质量问题识别为具体数据指标，依靠数据分析技术，在保证安全性、符合性、可靠性的同时，强化了质量风险预警能力。计量检测既是质量监督的技术支撑，同时也是产品质量评判的重要依据。良好的计量检测体系，是确保产品质量稳定可靠的关键保障。

### 2.3 助力质量管理体系完善

目前，计量检测技术已融入质量监管的各个环节，将先进检测技术引入质量监督体系，能显著提升监管效能，通过数据支撑实现精准监管，保障质量监督过程中决策的科学性。计量检测作为连接产品质量与监管要求的桥梁，既是产品质量评价的技术依据，同时也是监管决策的重要支撑。在实际工作中，注重检测数据的系统化应用，通过数据整合与趋势分析，实现质量预警及风险防控，提升整体监管水平。

## 3 质量技术监督工作面临的主要挑战

### 3.1 计量意识有待提升

由于部分监管人员对计量检测重要性认识不足，质量监督工作并未充分重视计量基础作用，不同地区监管水平存在差异。目前，部分监管机构对计量检测技术应用不够重视，忽视计量对质量监督的基础支撑作用，一些人错误地认为计量检测仅是技术部门的工作，影响了质量监督工作的整体效能，在日常监管中不需要过多关注计量环节，这种观念阻碍了计量技术的广泛应用<sup>[1]</sup>。另外，部分监管人员的专业知识储备缺乏系统化的计量培训，使质量监督工作在应用先进检测技术时缺少专业指导。监管人员的计量意识薄弱，会导致质量监督工作在技术应用层面存在明显短板。

### 3.2 技术应用不够深入

计量检测是科学监管与质量保障相结合的重要手段，属于质量监督的核心环节，其中在线监测、智能分析等，以及数据整合、风险预警等技术应用，仍需加强。质量监督想要实现精准高效，必须深化技术应用。目前，检测设备配置普遍不够完善，检测技术应用水平不够专业，导致数据质量不高，影响监管效果。监管部门在技术更新后，未能及时建立相应的数据分析能力，只关注数据收集和基础检测，这在数据价值挖掘方面又形成了新的瓶颈。在实际质量监督工作中，存在技术应用与监管需求脱节的情况，对于复杂质量问题，且缺乏有效分析手段，没有形成系统化解决方案，技术支撑与监管实践，这对质量监督工作的有效性产生不利影响。

### 3.3 监督体系有待完善

质量监督与计量检测技术存在应用断层，在实际操作中，许多问题相互交织，对质量监管的全面性和有效性产生影响。对于质量监督工作，需要建立科学的评价机制，如果计量数据应用不充分，被简单处理会出现监管盲区的严重问题，标准缺失、数据孤岛等技术障碍，会给质量监督带来系

统性风险。质量监督在市场规范与产品保障方面发挥着积极作用，通过标准制定与执行，实现了产品质量的持续提升。从行业发展看，质量监督体系的不断完善更能够促进产业健康发展，同时保障消费者权益。

## 4 提升质量技术监督效能的实施策略

### 4.1 强化计量意识建设

质量监督需要系统的理念支撑，计量意识培养应以监管实践需求为导向，从监管人员的专业素养提升着手，才能构建科学的质量监督体系。在日常工作中，监管部门要认识到计量技术对质量监督的全方位支撑作用，明确计量在质量评价中的核心地位，形成共识、统一标准，在监管实践中实现技术与管理的深度融合，更有针对性地提升监管效能。质量监督机构应根据监管对象的特点，制定相应的计量应用策略，客观评估、科学分析等环节的计量要求。例如：当前质量监督存在的突出问题在于监管人员对自身计量能力认识不够清晰，对计量技术应用的系统规划不足<sup>[2]</sup>。因此，监管部门在制定工作计划时，应重视计量意识培养策略，客观评估技术需求、监管难点等环节的计量要求，做好技术应用与监管实践的衔接工作，明确计量技术应用的具体路径，结合质量监督特点，保障监管工作的科学性与有效性。在计量意识建设过程中，既要重视理论学习，也要注重实践应用，这样才能更好地满足质量监督的实际需求。

### 4.2 提升技术应用水平

质量监督体系的高效运行需要技术支持，各环节之间紧密配合，即便技术先进，在应用过程中也需要合理规划。监管部门和技术部门需要协同配合，做好技术对接及应用培训工作，最大限度避免技术应用不当带来的负面后果。如果技术应用出现问题，就要及时调整。监管部门还需加强技术评估和效果跟踪，定期检查技术应用情况，及时发现问题，尽可能消除技术风险，也要优化技术流程，避免技术应用碎片化，确保技术应用系统化，实现技术与监管的深度融合。例如：质量监督工作要深化技术应用，不仅要关注技术本身，还要关注技术与监管的结合点，同时注重技术应用效果评估，如果发现技术应用中的问题或风险隐患，则要及时调整，各监管部门应建立协同机制进行问题解决<sup>[3]</sup>。技术应用决定质量监督的现代化水平，保障技术有效应用是质量监督工作的关键。目前，质量监督处于技术升级阶段，技术应用需要系统规划，监管部门则要注重技术落地，进而提升技术应用效果，增强质量监督效能。

### 4.3 在实践中优化监督机制

在技术应用影响下，质量监督体系的不断完善，有助于构建科学的质量监管体系，利用现代检测技术提升监管效能。计量检测技术的应用，进一步提升了质量监督工作的科学性，监管部门可借助大数据、人工智能技术，能对质量数据进行深度分析，保证质量监督工作具有前瞻性，更好地预

防质量风险。例如：质量监督工作的科学化需要制度保障，通过标准制定和流程优化。对于复杂质量问题的监管，在技术应用过程中积累的经验实现了问题识别和风险预警，同时优化了监管策略。对质量监督工作，技术应用是提升监管效能的重要手段。对质量监督实践，监管部门应建立科学的评估机制，注重技术应用效果。质量监督体系的科学化建设，让监管部门通过技术应用形成系统思维、创新方法。让监管部门借助数据分析、智能预警、风险评估技术。实现精准监管、高效协同、科学决策效果，为质量监督工作奠定坚实基础。在技术支撑下，将质量监督工作数字化，通过数据分析进行风险评估，精准施策，最终实现质量监管的科学化、精准化。

#### 4.4 提高人员专业素质

无论技术多么先进还是方法多么创新，人才始终是核心所在，监管部门应该重视人才培养，为质量监督工作提供智力支持，并对专业能力进行持续提升，加强业务指导。针对质量监督工作的专业要求是实现科学监管的前提，质量监督只有具备专业能力，才能有效开展工作。监管部门要重视专业培训，通过系统化培训提升监管人员的专业素养，做好理论学习与实践应用的结合，互相促进提升，通过专业考核对监管能力进行评估，保障质量监督工作的专业性和科学性。例如：从监管实践来看，监管人员的专业能力提升，这也促进了监管效能的提高，从而增强了质量保障能力。针对监管人员能力提升，可以设计分层次培训体系，并进行效果评估，进一步完善培训内容，对监管人员能力水平进行系统化评估。同时，监管部门一定要重视持续学习，从理论知识、实践技能、创新思维等多方面，加大培训力度，确保专业能力得到全面提升。在日常工作中，监管部门也要注重经验积累，加快知识更新速度，在技术应用过程中，进一步提升专业素养。伴随着技术的不断发展，监管部门的专业能力也能够持续提升，监管效能得到增强，质量保障能力提升，从而实现质量监督工作的高质量发展。

#### 4.5 构建长效监管机制

对于质量监督工作，应该建立科学的运行机制，在明确监管目标后，再去设计具体的监管措施，保障监管工作有序开展，开展有针对性的监督活动，保障质量监督工作的持续性和有效性，这既是提升监管效能的需要，也是实现长效监管的保障。监管部门要保障质量监督工作的规范性，加强

制度建设和流程优化，进而提升监管的整体效能。同时，质量监督机制也要与时俱进，推动了监管创新，提高了监管效率，在实际应用中，体现了监管工作的价值。不仅完善了质量监督的长效机制，监管部门的专业能力也体现出质量保障能力。在质量监督的实践过程中，可以建立预警机制和应急响应机制，做好风险防控与问题处置，进而提升监管的预见性，实现监管工作的可持续发展。

#### 4.6 创新监管模式

质量监督需有创新的思维模式，质量监督需从理念创新为突破口。监管部门并持续改进。改变传统监管思路，设立创新实验室，监管不应仅限于事后检查，而是要实现预防性、全过程、精准化监管。整合监管资源，组织跨部门协作，深度挖掘数据价值，推动监管创新。深化监管与服务融合。建立响应机制，不再局限于传统手段，而是采用智能化、数据化、协同化等创新方式。监管部门对监管模式进行创新探索，为质量监督提供新的思路和方法，监管创新可结合技术应用与制度优化。将创新理念，融入实践。制定创新计划，明确具体实施路径，构建创新生态系统。设置基于数据的决策机制，确保监管措施科学有效。监管部门必须保持创新意识，具备持续改进的能力。

### 5 结语

质量监督工作想要实现高质量发展，就必须重视计量检测技术的应用。计量技术直接决定监管工作的有效性，随着技术的不断进步，监管部门一定要做好计量技术与监管实践的深度融合，逐步完善质量监督的技术支撑体系，尽可能减少监管盲区的出现可能，降低质量风险，助力质量监督工作的现代化发展。监管部门应通过技术创新、制度完善等措施，为质量技术监督工作提供全方位支持。实现科学监管，能提升产品质量安全水平，也是质量监督工作的核心价值，保障产品质量安全，提高质量监督工作的专业水平。

#### 参考文献

- [1] 尹茜.探讨市场监督管理工作中计量检定检测技术的应用[J].产品可靠性报告, 2025(2):65-67.
- [2] 赵令玲,吕晓艳,王琳.计量检测技术在质量技术监督中的作用分析[J].中国质量监管, 2024(2):106-107.
- [3] 李慧.先进计量技术在质量控制中的应用前景[J].产品可靠性报告, 2025(2):83-85.

# New Paradigm of Land Engineering: Natural Resource Governance and Sustainable Transformation from the Perspective of Life Systems

Zhiliang Xu

Lishan Branch of Huaibei Natural Resources and Planning Bureau, Huaibei, Anhui, 235025, China

## Abstract

Based on the core metaphor of “land life system,” this paper systematically examines the multiple challenges and transformation opportunities faced by contemporary land engineering. In the field of natural resource registration, it proposes the “digital twin registration system” and the “blockchain-enabled dynamic ownership management system” to break through the limitations of traditional static registration. In terms of land resource management and protection, it constructs the “integrated space-air-ground intelligent monitoring network” and the “adaptive land restoration framework.” In the dimensions of land economy and planning, it develops the “ecological product value realization mechanism” and the “multi-center collaborative planning model.” Through comparative case analyses at home and abroad, the paper reveals that China’s land engineering is transitioning from “factor management” to “system governance,” from “static control” to “dynamic adaptation,” and from “economic growth tools” to “sustaining a life community.” Ultimately, it proposes a new paradigm of “intelligent human-land collaboration” for land engineering by 2035.

## Keywords

Land life system; Digital twin; Ecological product value; Adaptive governance; Human-land synergy

## 土地工程新范式：生命系统视角下的自然资源治理与可持续转型

徐之良

淮北市自然资源和规划局烈山分局，中国·安徽 淮北 235025

## 摘要

本文基于“土地生命系统”这一核心隐喻，系统审视当代土地工程面临的多重挑战与转型机遇。在自然资源确权登记领域，提出“数字孪生登记体系”与“区块链赋能的动态权属管理系统”，突破传统静态登记的局限；在国土资源管理保护方面，构建“空天地一体化智能监测网络”与“适应性土地修复框架”；在土地经济与规划维度，发展“生态产品价值实现机制”与“多中心协同规划模型”。论文通过国内外比较案例分析，揭示了我国土地工程正从“要素管理”向“系统治理”、从“静态管控”向“动态适应”、从“经济增长工具”向“生命共同体维护”的范式转变，最终提出面向2035年的“人地智能协同”土地工程新范式。

## 关键词

土地生命系统；数字孪生；生态产品价值；适应性治理；人地协同

## 1 引言

### 1.1 问题提出

全球土地利用变化已成为地球系统关键环境变量的主要驱动力，贡献了约 23% 的人为温室气体排放（IPCC, 2022）。在中国，城镇化率从 2000 年的 36.2% 跃升至 2022 年的 65.2%，伴随的耕地减少、生态空间压缩与土地退化问题日益严峻。传统土地工程范式面临三重困境：技术碎片化

（各系统互不联通）、治理离散化（部门各自为政）和价值单一化（过度强调经济产出）。与此同时，以“自然资源统一管理”为目标的机构改革、数字技术爆发式发展以及“双碳”目标约束，共同构成了土地工程转型的历史性契机。

### 1.2 理论框架：土地生命系统理论

本文提出“土地生命系统理论”，将土地视为具有代谢、循环、适应和进化特征的生命有机体。这一理论整合了以下三个理论视角：

复杂适应系统理论：土地系统具有非线性、自组织与路径依赖特性，传统线性规划方法已显不足。

社会-生态系统理论：强调人类与土地系统的耦合互动，

【作者简介】徐之良（1975—），男，中国安徽淮北人，本科，中级，从事土地工程研究。

治理需兼顾生态完整性与社会公平性。

行星边界框架：将土地工程置于地球系统极限内，强调土地利用的生态安全边界。

### 1.3 研究方法与创新点

本文采用多方法混合研究设计：通过文献计量分析识别国际前沿；借助政策文本分析梳理中国土地治理逻辑演变；运用案例比较法（选取浙江、德国北威州、新加坡等典型案例）提炼创新模式；通过系统动力学模拟验证部分机制有效性。

主要创新点：

提出“土地生命系统”隐喻及其实践框架

构建数字孪生赋能的动态确权登记体系

设计生态产品价值实现的“三链融合”机制

提出面向不确定性的适应性土地规划模型

## 2 自然资源确权登记的范式变革：从静态簿记到动态数字孪生

### 2.1 全球确权登记趋势与挑战

联合国《2030年可持续发展议程》将“为所有人提供合法土地权属保障”列为重要目标。全球范围内，土地登记呈现三大趋势：三维立体化（从平面到空间权利）、时序动态化（权属变更实时更新）和信息集成化（多源数据融合）。然而，发展中国家仍有超过70%的土地权属缺乏正式登记（世界银行，2021），即便在发达国家，传统登记系统也难以应对气候变化引发的土地形态变化（如海岸线后退带来的产权模糊）。

### 2.2 中国实践：统一登记制度的突破与局限

中国自2013年启动不动产统一登记制度改革，已基本完成全国房地一体登记，并探索自然资源确权登记。浙江德清等试点地区创新了“三维地籍”和“自然资源产权电子凭证”。然而，当前体系仍存在明显局限：时空维度割裂（历史权利与现状登记脱节）、生态要素缺失（碳汇、生态容量等新型权利未被涵盖）和智能水平不足（AI应用多局限于OCR识别）。

### 2.3 创新框架：区块链赋能的动态数字孪生登记体系

#### 2.3.1 体系架构

本文提出“一核三维五层”的登记新体系：

· 核心：以土地生命系统完整性保障为核心目标

· 三维：空间维（三维立体）、时间维（全生命周期）、属性维（自然-经济-社会多元属性）

· 五层：

物理层：空天地一体化感知网络（卫星、无人机、物联网传感器）

数据层：分布式土地数据湖（整合多源异构数据）

模型层：土地数字孪生体（实时映射、模拟预测）

合约层：智能合约自动执行（权属变更、税费缴纳）

应用层：多场景服务接口（政府管理、市场交易、公众查询）

#### 2.3.2 关键技术突破

区块链与数字孪生融合：将土地权属信息、利用状态、生态参数上链存储，确保数据不可篡改、全程追溯。数字孪生体实时同步物理土地变化，当耕地转为林地时，系统自动触发权属属性变更，并更新碳汇计量。

动态产权束管理：传统产权“束”相对固定，新体系支持“动态产权束”定制。例如，在生态敏感区，可将开发权暂时剥离进行交易，而保留所有权与使用权；灾后重建时，可临时创设“应急使用权”。

时空编码系统：设计全球统一的“土地时空身份证”（Geo-temporal ID），整合地理坐标、时间戳和属性编码，实现跨区域、跨时期土地信息关联查询。

#### 2.3.3 制度创新：预期登记与风险对冲机制

引入“预期登记制度”，允许基于科学预测的未来权利登记。如海岸带区域，业主可预先登记“海岸线后退补偿权”，当海平面上升导致土地丧失时自动触发补偿。建立“土地风险对冲基金”，从土地增值收益中提取比例，用于应对气候变化等不确定风险。

## 3 国土资源管理与保护的智能转型：从人防到技防，从修复到适应

### 3.1 国际前沿：基于自然的解决方案（NbS）与智能监测

欧盟“绿色协议”将“无净土地消耗”设为2050年目标，推广基于自然的解决方案。荷兰“空间适应计划”将水资源管理、土地用途与气候适应深度融合。技术层面，美国NASA“生态系统空间站”计划通过高光谱卫星网络实时监测全球生态系统变化。

### 3.2 中国挑战：管理精细化不足与生态修复科学性欠缺

中国已建立国土空间规划体系与“三区三线”管控框架，但实施中暴露问题：监测滞后（违法行为发现多为事后）、标准粗放（“一刀切”的修复方案适应当地不足）和公众参与有限。2020年国家审计报告显示，部分生态修复项目存在“重建设、轻管护”现象，三年后生态功能改善率不足40%。

### 3.3 创新实践：空天地网一体化智能监测与适应性修复

#### 3.3.1 “感知-认知-响应”智能监测网络

构建“5+1”监测体系：

· 多维感知：卫星遥感（每周覆盖）、无人机巡检（重点区域每日）、地面物联网（实时）、社会感知（公众举报、社交媒体）、地下探测（地质雷达）

· 一个认知中枢：土地AI大脑，集成深度学习、知识

## 图谱与模拟推演

案例：福建“智慧自然资源”平台，通过 AI 识别新增建设占用耕地，识别准确率达 92%，响应时间从平均 15 天缩短至 2 小时。

### 3.3.2 土地健康诊断与适应性修复框架

提出“土地全科医生”理念，建立：

多指标健康诊断体系：涵盖物理结构（土壤压实度）、化学性质（污染物）、生物活性（微生物多样性）、生态功能（水源涵养）和社会价值（文化景观）五个维度。

适应性修复工具箱：

- 自然修复优先：划定“土地休养生息区”，最小化人工干预

- 精准修复技术：如针对重金属污染土壤的“植物-微生物联合修复 3.0”

- 过程监测调整：修复中实时监测，动态调整方案

修复后长效管护机制：推行“修复+产业”模式，如废弃矿山修复后植入光伏产业，收益反哺管护。

### 3.3.3 跨区域生态补偿与协同保护

设计“横向+纵向”生态补偿体系。横向层面，基于生态系统服务流测算，建立省际、市际补偿。如新安江流域，浙江每年补偿安徽约 2 亿元用于上游保护，水质达标率持续提升。纵向层面，中央财政设立“国家生态安全屏障基金”，重点支持青藏高原、黄土高原等关键区域。

## 4 土地经济与规划的模式重构：从增长主义到共生发展

### 4.1 全球反思：土地金融化危机与空间正义运动

2008 年全球金融危机揭示了土地过度金融化的风险。与此同时，“土地回归”运动在全球兴起，原住民要求土地权利，城市社区争取“空间正义”。经济学前沿开始探索“甜甜圈经济学”，强调土地经济应在生态天花板与社会基础之间运行。

### 4.2 中国转型：从土地财政到多元价值实现

中国地方政府土地出让收入占财政收入比重从 2010 年的 67% 降至 2022 年的 37%，转型压力巨大。同时，“绿水青山就是金山银山”理念推动生态价值市场化探索。但价值核算方法不统一、交易机制不健全、利益分配不合理等问题制约发展。

### 4.3 创新路径：生态产品价值实现与多中心协同规划

#### 4.3.1 生态产品价值实现的“三链融合”机制

构建“供应链-价值链-制度链”协同体系：

供应链（生态产品生产与供给）：

- 建立“生态账户”体系，每块土地核算生态资产（碳汇、水源涵养、生物多样性维持等）

- 发展“土地多功能利用”，如“农光互补”“森林康养”等复合模式

价值链（价值发现与实现）：

直接交易：完善碳汇交易、水权交易、排污权交易市场

生态溢价：对生态产品认证，如“气候友好型农产品”溢价销售

权益变现：开发绿色金融产品，如“生态资产抵押贷款”“绿色债券”

制度链（保障体系）：

- 制定《生态产品价值实现促进条例》

- 建立国家生态产品交易平台

- 培养专业“生态经纪人”队伍

#### 4.3.2 应对不确定性的适应性土地规划模型

传统规划基于静态预测，难以应对气候变化、技术颠覆等不确定性。本文提出“弹性-转型-适应”（RTA）规划模型：

弹性基础层：识别土地系统关键阈值与脆弱点，划定“不可开发区域”，预留生态廊道与防灾空间。

转型促进层：

- 混合用途分区：允许一定比例的功能混合，提高空间适应能力

- 时间分层规划：区分近期刚性控制与远期弹性引导

- 情景规划工具：模拟不同气候情景、人口情景下的土地需求，制定应对方案

适应调节层：

- 监测-评估-调整循环机制：每三年评估规划实施效果，动态调整

- 社区土地银行：社区持有部分土地储备，根据需求灵活利用

#### 4.3.3 多中心协同治理与公众深度参与

构建“政府-市场-社会-科技”四轮驱动治理格局：

- 政府角色转变：从“唯一管理者”变为“平台搭建者与规则制定者”

- 市场机制创新：发展土地信托、社区土地合作社等多元主体

- 社会深度参与：推行“参与式预算”，让居民决定社区土地收益用途；建立“规划众创平台”，利用 VR 技术让公众体验规划方案并提出意见

- 科技赋能治理：基于大数据的决策支持系统，实现“数据驱动的协商民主”

案例：成都“社区规划师”制度，每个社区配备专业规划师协助居民参与微更新，三年实施项目 1200 余个，满意度达 88%。

## 5 国际比较与中国特色发展道路

### 5.1 典型模式比较

国家/地区 核心理念 关键制度 技术应用 可借鉴点

欧盟 土地循环利用 土地消耗监测目标、棕色地块再开发基金 土壤数据库、LUCAS 调查 量化管控目标、全欧盟监测网络

日本 紧凑城市 容积率奖励、土地整理专项立法 三维地籍、微气候模拟 精细化制度设计、防灾融合

新加坡 战略储备 国有土地租赁制、动态总体规划 数字孪生城市、地下空间建模 长远战略眼光、技术超前部署

中国 生命共同体 自然资源统一管理、生态红线 国土空间基础信息平台、人工智能监测 系统治理思维、快速政策创新

## 5.2 中国特色的形成机理

中国特色源于制度优势（全国性改革快速推进）、技术赶超（数字技术赋能治理）、文化基因（天人合一与现代生态理念契合）、规模复杂性（多元地理倒逼适配性创新）。中国经验为全球提供城镇化耕地保护、生态脆弱区治理、数字技术赋能国土治理的参考路径。

## 6 结论与展望：迈向人地智能协同新范式

主要结论：土地工程范式转变具必然性，正从机械论到有机论、管控到治理、单一价值到多元价值转变；技术-制度协同是转型核心，适应性是核心能力，中国形成兼具系统性与创新性的特色道路。

面向 2035 年“人地智能协同”新范式：构建全面感知的土地神经系统、自主优化的土地代谢循环、民主协商的治理生态、价值共生的经济体系。

政策建议：启动土地数字孪生国家行动计划；颁布《土地生命系统保护与促进法》；建国家土地科学数据中心；实施土地工程师能力重塑计划；发起全球土地治理倡议。

土地不仅是资源载体，更是人类与所有生命共同家园，土地工程的最高使命是维护家园生命力、适应力与永续活力，实现人地生命共同体和谐共生。

## 参考文献

- [1] 中国自然资源部. (2023). 《中国自然资源公报2022》. 北京: 地质出版社.
- [2] IPCC. (2022). *Climate Change and Land: An IPCC Special Report*. Geneva: IPCC.
- [3] 吴次芳, 等. (2021). 《土地工程学原理》. 北京: 科学出版社.
- [4] United Nations. (2021). *The Global Land Outlook, 2nd edition*. Bonn: UNCCD.
- [5] 林坚, 等. (2020). “国土空间规划的十大理论问题”. 《城市规划》, 44(8), 9-17.
- [6] World Bank. (2021). *Land Governance Assessment Framework*. Washington, DC: World Bank.

# Research on the Progress and Quality Coordinated Management of the Entire Process of Rail Transit Engineering Construction

Yi Yang

Chongqing Rail Transit Operation Co., Ltd., Liangjiang New Area, Chongqing, 401120, China

## Abstract

The construction of electromechanical systems in rail transit engineering is characterized by intensive interdisciplinary integration, complex process coordination, and highly variable interface conditions, resulting in a strong coupling between schedule management and quality management. In practical construction, insufficient coordination between schedule objectives and quality requirements can easily lead to rework, delays, and potential operational risks. Focusing on the whole construction process of rail transit electromechanical engineering, this paper systematically analyzes the key aspects of schedule management and quality control during the stages of construction preparation, installation implementation, and system commissioning and integration. Typical issues in equipment and material control, installation and commissioning management, and system interface coordination are examined. By establishing an integrated schedule-quality management mechanism, strengthening collaborative control of critical processes, and introducing information-based management approaches, the dual objectives of controlled construction progress and reliable quality in rail transit electromechanical engineering can be achieved, providing reference for the management of similar engineering projects.

## Keywords

Rail transit; Electromechanical engineering; Schedule management; Quality management; Collaborative control

## 轨道交通工程建设全过程进度与质量协同管理研究

杨燚

重庆轨道交通运营有限公司, 中国·重庆 401120

## 摘要

轨道交通工程机电系统建设具有专业交叉密集、工序衔接复杂、接口条件多变等特点,其进度管理与质量管理之间呈现高度耦合关系。在建设实践中,进度目标与质量要求若缺乏协同统筹,易引发返工、延误及系统运行隐患。本文围绕轨道交通机电工程建设全过程,系统分析施工准备、安装实施、调试联动等阶段进度管理与质量控制的关键内容,梳理机电设备材料控制、安装调试管理及系统接口协调中的典型问题,通过构建进度质量一体化管理机制、强化关键工序协同控制、引入信息化管理手段,有助于实现轨道交通机电工程建设进度受控与质量可靠的双重目标,为类似工程项目管理提供参考。

## 关键词

轨道交通; 机电工程; 进度管理; 质量管理; 协同控制

## 1 引言

随着中国城市轨道交通建设规模的持续扩大,工程项目正由单一施工管理向系统化、精细化管理模式转变。机电工程作为轨道交通系统功能实现的核心组成部分,涵盖供电、通信、信号、综合监控等多个专业,其建设质量直接关系到线路运营安全与服务水平。同时,机电工程通常处于土建施工后期,受前序条件制约明显,施工周期压缩、交叉作业频繁,使进度控制难度显著增加。在实际建设过程中,进度与质量管理往往分散实施,缺乏统一的协同机制,导致赶工与返工并存、质量隐患与工期风险叠加。基于此,有必要

从全过程管理角度出发,系统研究轨道交通机电工程进度与质量的协同管理问题,明确关键控制环节与实现路径,以提升工程建设整体管理水平与实施效果。

## 2 轨道交通机电工程建设全过程管理的阶段划分

轨道交通机电工程建设全过程管理贯穿项目实施的各个环节,其阶段划分应紧密结合机电系统建设特点与工程实施逻辑进行统筹安排。机电工程通常在土建主体完成后逐步展开,但其管理工作需前移至施工准备阶段,通过图纸深化、接口条件核查、设备材料采购与进场计划安排,为后续施工创造稳定条件。进入设备安装阶段,供电、通信、信号、综合监控等系统依次展开施工,该阶段作业密集、工序衔接紧凑,对施工组织和现场协调能力要求较高。随着安装工作

【作者简介】杨燚(1983—),男,中国重庆人,本科,高级工程师,从事建设工程项目管理研究。

完成，工程转入系统调试与综合联动阶段，重点在于单系统功能验证、系统接口匹配及整体运行测试。

### 3 轨道交通机电工程建设进度管理的关键内容与实施重点

#### 3.1 机电系统施工进度计划的编制与动态控制

机电系统施工进度计划是轨道交通工程建设进度管理的核心依据，其编制应充分体现机电工程系统多、工序复杂、施工条件受限等特点。进度计划需在总体工期框架下，对供电、通信、信号及综合监控等专业系统进行统筹分解，明确关键施工节点与工序衔接关系，确保机电工程与土建、装修等前序条件保持协调一致。在实施过程中，机电工程易受到设备供货节奏、接口条件变化及现场作业环境等因素影响，进度执行存在较大波动性。通过对施工进度进行动态跟踪与分析，及时调整施工组织与资源配置，可有效纠偏计划偏差，降低工期风险。

#### 3.2 多专业交叉条件下机电工程进度协调管理

轨道交通机电工程建设涉及多个专业系统同步推进，施工过程中交叉作业频繁，进度协调管理成为影响工程实施成效的重要因素。不同专业在施工顺序、作业空间及技术接口方面存在紧密关联，若缺乏系统协调，容易引发工序冲突和施工等待，进而影响整体进度安排。进度协调管理应围绕多专业协同实施要求，对各系统施工时序进行统筹安排，明确交叉作业界面和责任划分，减少相互干扰。同时，通过建立顺畅的信息沟通机制，实时掌握各专业施工进度情况，对进度失衡问题进行动态调整，有助于提升施工组织效率。通过强化多专业条件下的进度协调管理，能够保障机电工程在复杂施工环境中有序推进，支撑轨道交通工程建设总体工期目标的实现<sup>[1]</sup>。

### 4 轨道交通机电工程建设质量管理的核心环节与控制要求

#### 4.1 机电设备与材料质量控制体系的构建

轨道交通机电工程设备与材料种类多、技术标准高，其质量控制体系需贯穿采购、进场、存放及安装前各环节。机电设备选型阶段应以设计参数为核心约束条件，牵引供电设备额定电压多为 35 kV 或 110 kV，设备绝缘水平需满足工频耐压 125 kV 以上要求，直流系统绝缘电阻保持在 20 M $\Omega$  以上可有效降低运行故障概率。通信与信号设备对环境适应性要求较高，核心模块允许工作温度范围控制在 -10 $^{\circ}$ C 至 55 $^{\circ}$ C，电源波动范围不超过  $\pm 10\%$ ，可显著提升系统稳定性。材料进场管理中，同批次电缆长度超过 1000 m 时进行分段抽检，导体电阻偏差控制在 2% 以内，护套厚度偏差不得超过 0.3 mm，有助于保证敷设质量一致性。仓储阶段应对不同材料分类管理，电气设备存放环境相对湿度控制在 70% 以下，可减少绝缘性能衰减<sup>[2]</sup>。通过系统化质量控制，

机电设备材料问题引发的施工返工率可控制在 3 以内。

#### 4.2 机电安装与调试过程中的质量管控要点

机电安装与调试是轨道交通系统功能实现的关键阶段，其质量控制直接影响系统运行可靠性。安装过程中，设备基础平整度偏差控制在 2 mm 以内，机柜垂直度偏差不得超过 1.5 mm，可避免因机械应力导致的运行异常。电缆敷设应严格执行最小弯曲半径要求，通信光缆弯曲半径保持在 15D 以上，动力电缆保持在 12D 以上，有利于降低信号衰减和导体疲劳风险。端子连接工艺中，螺栓紧固力矩控制在 25 N $\cdot$ m 至 35 N $\cdot$ m 区间，可确保接触电阻稳定在 0.01 $\Omega$  以下。进入调试阶段，单系统调试需覆盖全功能工况，信号系统响应时间控制在 200 ms 以内，供电系统电压波动范围维持在  $\pm 5\%$  区间，综合监控系统通信丢包率低于 0.1% 方可判定合格。通过对安装精度与调试参数的全过程管控，可显著提升机电系统一次性调试通过率。

#### 4.3 机电工程接口管理与系统联调质量控制

轨道交通机电工程接口数量多、关联性强，接口管理质量直接影响系统联调效果。接口管理需覆盖供电与信号、通信与综合监控、屏蔽门与信号系统等关键关系，其中信号系统与车辆系统接口时序误差控制在 50 ms 以内，可有效避免信息延迟风险。接口电气参数匹配是质量控制重点，通信接口电压等级保持在 24 V DC，电流波动不超过 0.5 A，有助于保障设备稳定运行。系统联调阶段需在额定负荷条件下开展连续运行测试，牵引供电系统连续运行时间不少于 72 h，关键设备温升控制在 40 K 以内，可验证系统长期运行可靠性。综合联调过程中，列车通过关键区段时信号系统通信成功率保持在 99.9 以上，联动动作响应时间控制在 300 ms 以内，方可满足运营要求。通过强化接口参数控制与联调质量管理，可有效降低系统运行初期故障发生率，提高轨道交通机电工程整体质量水平。

#### 4.4 机电工程质量风险识别与预防控制机制

轨道交通机电工程建设过程中，质量风险贯穿施工实施与系统调试各阶段，其形成机理与进度安排、工序衔接及现场条件密切相关。质量风险识别应重点围绕设备安装精度偏差、接口条件不匹配及调试参数异常等问题展开。在实际施工中，设备安装偏差超过设计允许值 2 mm 时，系统运行稳定性明显下降，接口接触电阻增大至 0.02 $\Omega$  以上易引发信号衰减与供电异常。通过对关键质量风险源进行前置识别，将风险点纳入施工计划与质量控制清单，可有效降低问题集中暴露概率。预防控制过程中，应将质量风险控制要求嵌入工序实施阶段，通过施工过程参数核查与技术复核，及时修正偏差，避免风险向后续工序传导。调试阶段对异常数据进行对比分析，系统响应时间超过 300 ms 或通信成功率低于 99.9 时需及时回溯施工环节<sup>[3]</sup>。通过构建质量风险识别与预防控制机制，可使机电工程质量问题发生频次保持在可控范围内，为系统联调与安全运行提供保障。

## 5 轨道交通机电工程建设进度与质量协同管理的实现路径

### 5.1 基于全过程视角的机电工程进度质量一体化管理机制

轨道交通机电工程进度与质量协同管理应立足于工程建设全过程，将两类管理目标纳入同一管理框架中进行统筹安排。在施工准备阶段，通过进度目标与质量标准的同步分解，使设备采购周期、进场检验时间及安装工序安排形成闭环管理链条，避免因压缩工期导致质量控制弱化。进入安装实施阶段，进度计划与质量控制节点相互嵌套，将关键工序验收与进度节点挂钩，使施工节奏始终处于可控状态。调试与联动阶段将系统功能验证结果作为进度推进的重要依据，只有在质量满足要求的前提下方可进入下一工序。通过全过程视角下的一体化管理机制，实现进度安排与质量要求同步策划、同步实施和同步考核，有助于减少返工和资源浪费，提高机电工程建设整体效率。

### 5.2 机电工程关键工序进度与质量协同控制方法

机电工程关键工序是进度与质量矛盾最为集中的环节，其协同控制需围绕工序特性与技术要求展开。在设备安装、接口施工及系统调试等关键工序中，将施工进度控制与质量控制要求同步嵌入作业流程，通过工序完成度与质量合格度的双重约束，引导施工活动有序推进。进度安排过程中，将关键工序施工时长与质量检验周期进行匹配，避免出现工序完成后质量问题集中暴露的情况。通过对关键工序实施过程监控与结果复核相结合的方式，可在施工过程中及时发现偏差并进行调整，防止质量问题演变为工期延误。该协同控制方法有助于在关键节点实现进度受控与质量稳定的双重目标，保障机电工程整体实施效果。

### 5.3 信息化手段在机电工程进度与质量协同管理中的应用

信息化手段为轨道交通机电工程进度与质量协同管理提供了有效支撑。通过建设统一的信息管理平台，将进度计划、施工记录、质量检验结果等数据进行集中整合，实现进度与质量信息的实时共享。施工过程中，利用信息化系统对各专业施工进展与质量状态进行动态跟踪，可及时识别进度滞后或质量异常情况，为管理决策提供依据。信息化手段还可用于关键节点的过程留痕管理，使质量验收结果与进度推进形成对应关系，增强管理透明度。通过对历史数据的积累

与分析，有助于不断优化进度安排与质量控制策略，提升机电工程进度与质量协同管理的科学性 with 持续改进能力<sup>[4]</sup>。

### 5.4 进度与质量协同管理的考核与反馈机制构建

轨道交通机电工程进度与质量协同管理的有效运行，离不开科学合理的考核与反馈机制作为支撑。在工程实施过程中，应将进度完成情况与质量达标水平纳入同一考核体系，通过指标联动方式引导各参建单位在满足工期要求的同时严格落实质量标准。考核内容应覆盖关键节点完成率、质量验收合格率及整改闭合周期等核心要素，使管理评价结果能够真实反映协同管理成效。通过对阶段性考核结果的分析，可及时识别进度偏差背后的质量隐患，或质量问题对工期产生的潜在影响，并据此调整施工组织与资源配置。反馈机制应突出闭环管理特征，将考核结果及时传导至施工计划优化、技术措施改进及管理责任落实等环节，避免问题重复发生。通过持续的考核与反馈，逐步形成进度约束质量、质量反哺进度的良性互动关系，有助于提升轨道交通机电工程建设全过程协同管理的稳定性与执行力。

## 6 结语

轨道交通机电工程建设具有系统复杂、专业交叉密集、实施周期受限等特点，进度管理与质量管理之间存在高度关联。在工程实践中，单一强调进度或质量均难以满足轨道交通系统安全可靠运行的要求。通过从全过程视角出发，将进度目标与质量控制要求纳入统一管理体系，强化关键工序协同控制，并合理运用信息化管理手段，有助于实现建设过程的有序推进与质量稳定提升。进度与质量协同管理模式的有效实施，不仅能够降低返工风险和资源浪费，还可提升轨道交通机电工程建设的整体管理水平，为工程顺利交付和后期运营奠定坚实基础。

### 参考文献

- [1] 吴卓蔓.轨道交通工程施工中绿色施工技术的创新与应用探索[J].建设机械技术与管理,2025,38(06):144-146.
- [2] 郭丽华.优化轨道交通项目工程建设资金监管的六大措施[J].中国商界,2025,(23):246-248.
- [3] 彭正杰.轨道交通工程建设安全风险监控方法研究[J].甘肃科技,2025,41(11):61-64.
- [4] 宋奇瑶.中国轨道交通工程项目的进度管理问题研究[D].导师:张尚.苏州科技大学,2019.

# Discussion on Identification and Control Measures of Production and Operation Safety Risk of Offshore Oil and Gas Platform

Jiahao Jiang

Tianjin Qiancheng Haiyue Technology Co., Ltd., Tianjin, 300457, China

## Abstract

Against the backdrop of continuously growing global energy demand and the gradual bottlenecks in onshore oil and gas resource extraction, it has become particularly important to strengthen the development of offshore oil and gas resources. The construction and safe operation of offshore oil and gas platforms have also become key to ensuring China's oil and gas energy supply. The ocean harbors abundant oil and gas resources, which require the use of offshore oil and gas platforms for extraction and utilization. However, the operating environment of offshore oil and gas platforms is relatively complex, with a high risk coefficient. Once a safety accident occurs, it can easily lead to severe economic losses, marine environmental pollution, and even casualties. Based on the safety risks associated with the production and operation of offshore oil and gas platforms, this article analyzes and discusses relevant methods for identifying safety risks, technical applications, and control measures for reference.

## Keywords

Offshore oil and gas platform; Production operation; Safety risk; Risk identification; Control measures

## 海洋油气平台生产运行安全风险识别与管控措施探讨

蒋家豪

天津前程海越技术有限公司, 中国 · 天津 300457

## 摘要

在全球能源需求持续增长及陆地油气资源开采逐渐陷入瓶颈的背景下, 加强对海洋油气资源的开发显得尤为重要, 海洋油气平台的建设与安全运行也成为了保障中国油气能源供给的关键。海洋蕴藏着丰富的油气资源, 需要借助海洋油气平台进行开采利用。而海洋油气平台的运行环境较为复杂, 风险系数较高, 一旦遭遇安全事故极易造成严重的经济损失、海洋环境污染乃至人员伤亡。文章基于海洋油气平台生产运行的安全风险, 分析和探讨了相关的安全风险识别方法、技术应用与管控措施, 以供参考。

## 关键词

海洋油气平台; 生产运行; 安全风险; 风险识别; 管控措施

## 1 引言

海上油气平台的作业环境为海洋, 不可避免地会遭受风浪、台风、潮汐等自然环境因素的威胁, 同时还需要谨慎应对油气开采、加工、储存等过程的各种复杂的技术风险, 可见海上油气平台生产运行安全管理面临极大挑战。虽然随着开采技术的不断提升, 海上油气平台作业的可靠性得到进一步强化, 但是由于设备老化、操作不当等导致的海洋油气平台安全事故仍时有发生, 严重的火灾爆炸事故造成了大量人员伤亡, 以及油气泄漏引发严重的海洋环境污染, 开发企业、社会发展等也因此遭受严重经济损失与发展打击。因此,

加强对海洋油气平台生产运行的安全风险识别与管控的深入研究、探索, 保障海上平台作业的安全、稳定, 对于保障人员、经济、海洋环境安全等都有着十分重要的现实意义。

## 2 海洋油气平台生产运行安全的重要性

海洋油气的开发离不开海上油气平台的建设与运行, 而海上油气平台生产运行的稳定性、安全性, 更是关乎人员安全、经济效益、海洋保护, 乃至中国能源战略的顺利实施。首先, 海上油气平台上的油气开采、设备维护、油气运输储备等工作都需要大量的工作人员支持保障, 因此海上作业平台运行的安全性直接影响着作业人员的生命安全, 平台发生火灾、爆炸、平台倾斜沉没等安全事故, 则必然会使得这些作业人员陷入生命危险境地, 加上海上救援限制因素较多, 一旦发生安全事故引发的伤亡后果往往极为严重。其次, 海

【作者简介】蒋家豪(1996—), 男, 中国山东临沂人, 本科, 助理工程师, 从事石油石化研究。

洋油气平台的建设运维成本巨大，一旦发生安全问题则必须进行停工检修，全面排查安全隐患，设备的维修、更换，以及海洋环境污染治理等花费均是数以亿计，同时平台停工也会导致油气产量直接下降，开采企业因此遭受严重经济损失。再者，海洋油气平台运行发生事故，导致油气泄漏，对于海洋的水体、生物的危害都是破坏性的，在未来较长的一段时间内，污染区域的海洋生态平衡遭到破坏，周边的旅游业、渔业则是首当其冲，不但需要投入大量的资金成本进行治理，并且需要经历极长的治理周期。除此之外，海洋油气资源作为中国重要的战略能源，其生产的安全、稳定，能够直接降低中国油气资源的进口依赖，保障中国能源安全，提高中国能源战略力量。

### 3 海洋油气平台生产运行安全风险

#### 3.1 自然环境风险

海上作业的特殊性，决定了海洋油气平台生产运行必然会遭受自然环境的风险威胁。相对于陆地环境，海洋的环境则更为复杂、恶劣，海洋油气平台会受到强风、潮汐、巨浪、海冰等极端自然环境的冲击，进而出现结构变形、损坏等问题，严重时还会出现平台倾斜、沉没。尤其是海水的强腐蚀作用会大幅加速设备、结构的腐蚀、老化进度，进而缩短设备寿命，影响平台结构的稳定性。

#### 3.2 设备设施风险

海洋油气平台生产运行的核心会受到设备设施风险的直接影响。海上油气额度开采、输送、储存、发电等都涉及诸多设备的使用，这些设备长时间处于高压、高温高腐蚀的运行环境下，极易发生运行故障。比如，管道破裂引发油气泄漏、钻进设备故障引发井喷、电力设备故障引发作业停工等，这些设备设施的运行风险都是海洋油气平台生产运行不可忽视的安全因素。

#### 3.3 人为操作风险

作业人员的专业水平不足，不按规范要求操作等，也是引发海洋油气平台生产运行安全的重要因素。还有些作业人员缺乏足够的安全意识，在日常作业中出现违规动火、违规设备操作等行为，使得海上作业平台运行的安全风险系数大幅上升。还有些作业人员的专技培训不够深入、全面，不能熟练掌握设备操作，尤其是在突发事件的应对方面缺乏相应的能力、经验，增加海洋油气平台的作业风险。

#### 3.4 管理风险

安全管理制度不完善，安全监管缺失等是引发海洋油气平台生产运行安全风险的重要原因。一些开采企业未能针对海上作业实际，制定出完善的安全管理体系，以制度的形式明确安全责任，甚至安全管理仅仅停留在喊口号形式。以及在安全监管方面的力度有所欠缺，对于违规生产、违规操作等行为未能予以及时发现、制止，安全教育力度不足。此外，在设备的日常维护管理方面也未能严格按照制度做到定期巡检、定期保养，许多安全因素得不到及时排查与消除，

埋下安全事故隐患。

## 4 海洋油气平台生产运行安全风险识别方法与技术应用

海洋油气平台的生产运行安全，需要以全面、有效的安全风险识别为基础，唯有基于准确、有效的风险类型、影响识别，才能为有效的安全管控措施制定与落实提供依据。当前，海洋油气平台生产运行安全风险识别的方法与技术主要有以下几种：

#### 4.1 经验判断法

依靠作业人员、管理人员的经验对海洋油气平台运行的安全风险进行识别是较为基础、常用的方法。基于作业、管理经验对海水作业平台运行潜在风险的判断、识别，能够以经济、便捷的方式初步识别风险隐患，但是存在主观性较强的不足，并且会受到作业人员、管理人员经验水平的较大影响，难以避免风险遗漏的隐患。

#### 4.2 故障树分析法

这种方法在海洋油气平台安全风险识别中的应用采用了自上而下演绎推理的方式，通过以高概率安全事故为顶事件进行事件原因的分析。比如，针对设备故障、操作失误、管理缺陷等原因，建立故障树分析体系，进而识别出各类“枝叶”，明确风险因素。采用故障树分析法，能够以较为严谨的思维逻辑对各个风险因素之间的关联性进行系统梳理，在复杂的风险系统中准确识别风险因素。但是这种方法的应用流程较为烦琐，并且要求有专业的技术人员全程参与故障树的构建与分析过程。

#### 4.3 事件树分析法

与故障树分析方法相反，事件树分析法采用的是自下而上的归纳分析逻辑。通过以风险事件作为起点，对可能引发、衍生的一系列事件进行分析，由此来识别、确认能够引发安全事故的风险因素，并通过剖析事故发展全过程，初步判断由此引发的各种风险的发生概率及影响。

#### 4.4 危险与可操作性分析法

这是一种以引导词为风险识别核心的分析方法，需要借助多专业团队的组建，对工艺流程进行全面梳理、分析，以引导词为基础对各个工艺节点进行分析，进而识别出其中潜在的工艺流程偏差，以及产生偏差的原因及其影响，最终确定风险因素。这种分析方法应用有着较强的专业性要求，在全面识别海上油气开采、运输、储存等工艺环节风险方面有着较为明显的应用优势，但涉及较为复杂的识别过程，以及往往需要投入较多的时间、精力。

#### 4.5 远程监测技术

远程监测技术的现代技术在海洋油气平台生产运行安全风险识别应用的重要代表。通过在海洋油气平台的结构、设备上各类传感器的安装，实现对平台运行各项参数、受力情况、海洋环境等数据的实时采集，并传输至监控中心，作业人员、管理人员以此实时掌握平台的运行状况，有利于

设备运行异常、潜在风险等的及时发现。采用无人机巡检技术来取代传统的人工巡检,发挥高清航拍、红外成像等优势,实现对平台高空结构、海上设施等的全方位巡检,确保实现对结构腐蚀、设备损坏等风险的及时发现,以高效、安全的方式规避人工巡检的各项风险。

#### 4.6 大数据分析和人工智能技术

在海洋油气平台生产运行安全风险识别中,大数据分析和人工智能技术也有着十分重要的应用。采用大数据分析技术对平台长期生产运行的各项数据、设备维护数据、事故数据等进行全面分析,为人工智能算法的应用提供各种参数,进而对平台运行可能出现的各种风险进行预先识别,并触发相应的预警机制,实现对海上油气作业前瞻性防控。

### 5 海洋油气平台生产运行安全风险管控措施

#### 5.1 强化自然环境风险管控

重视强化海洋环境监测与预警机制建设,完善海洋油气平台运行环境监测系统的建设,做好全面的极端天气变化实时监测、预警,实现风险防范措施的有效前置。同时需要进一步强化平台结构、设备安装等的抗风险能力,严格安装规范、标准要求进行平台设计,确保材料强度、耐腐蚀性充分满足海洋环境的作业要求,并做好对平台结构、设备等的定期检测、维护,及时发现和排除风险隐患,提高平台生产运行的自然风险防控水平。

#### 5.2 加强设备设施风险管控

建立科学的设备全生命周期管理机制,强化设备的采购、安装、运行、维护、报废等全过程管理。比如,设备采购需加强对供应商的严格筛选,择优选择,提高设备可靠性;设备安装需严格安装规范施工,确保做到高质量安装;设备运行需严格安装运行周期做到按期保养维护,做好定期检修,做好老化、损坏等隐患的全面排查,避免安全事故发生;做好发电机、备用泵等关键设备的备用管理,确保故障发生时能够及时更换使用,避免生产陷入停工风险。最后,还应强化保护系统功能验证,定期开展 ESD、PSD、F&G 系统、泄压装置与紧急切断阀的联动测试与旁路管理,确保在极端海况与电力波动条件下仍满足功能安全要求

#### 5.3 做好人为操作风险管控

首要做事人员安全教育培训,全面提高作业人员、管

理人员的安全意识与专业技能水平,安全教育、操作规范、应急处置等需纳入常态化培训内容,夯实作业人员、管理人员的安全风险应对的意识与技能基础。同时需要明确和严格落实各岗位的安全管理责任,强化作业监督,杜绝出现违规操作行为,严禁疲劳作业、情绪化作业,避免出现人为操作的风险发生。

#### 5.4 完善管理风险管控

针对海洋油气平台生产运行的特殊性,建立完善的安全管理制度体系,对安全生产责任、安全操作规范、设备维护保养、应急管理等内容、职责进行清晰明确,为各项安全管理工作提供充分依据。联合各部门成立专门的安监小组,对平台运行、设备操作、人员行为等规范落实情况进行监督管理,将安全隐患消除在萌芽状态。建立风险隐患排查治理的长效机制,做好风险分类登记、整改记录、跟踪检查等,确保隐患处理到位、全面。针对不同的风险类型制定相应的应急管理预案,并将应急演练纳入常态化培训内容,切实提高相关人员的应急处理能力,将安全事故的损失降至最低。

### 6 结语

综述可知,海洋油气平台的生产运行面临着十分复杂的管理工况与海洋环境,进而面临各种严峻的风险威胁。对此,油气开发企业需要加强对海洋油气平台安全生产管理的高度重视,以平台运行实际为基础,综合运用科学合理的安全风险识别方法、技术,实现对安全风险의 准确识别,并采取针对性的风险管控措施,切实提高海洋油气平台生产运行的安全风险应对水平,为海上油气开采作业的安全、高效提供保障。

#### 参考文献

- [1] 傅建斌,靳彦欣,任东方,等.海洋石油安全风险监测预警体系构建与系统应用[J].安全、健康和环境,2024(003):024.
- [2] 赵明.浅析海洋石油生产平台安全风险与管控措施[J].中国科技期刊数据库 工业C,2018(3):00093-00094.
- [3] 帅世伟.浅谈海洋石油钻井平台安全风险以及风险管控分析[J].中国石油和化工标准与质量,2019,39(10):2.
- [4] 游小华.新形势下海洋石油企业安全生产管理的难点与提升措施研究[J].化工管理,2022(029):000.
- [5] 陈国明,朱高庚,朱渊.深水油气开采安全风险评估与管控研究进展[J].中国石油大学学报:自然科学版,2019,43(5):10.

# Optimization of Dynamic Management Mode of Engineering Cost with Information Technology Support

Linyan Tao

Hainan CCCC Expressway Investment and Construction Co., Ltd., Haikou, Hainan, 571199, China

## Abstract

Construction cost management for contractors focuses on the entire process from bid pricing, budget preparation to settlement review. Traditional models suffer from data delays and information fragmentation. Information technology provides core support for dynamic management innovation, reshaping cost control logic in construction. Through technical means, it enables precise bid pricing calculations, real-time budget execution tracking, and efficient settlement data verification. Breaking through the limitations of traditional static management, it integrates cost control into all construction phases to accurately capture cost fluctuation points. By optimizing data flow paths and eliminating inter-departmental information barriers, it enhances the scientific basis for cost decisions. Strengthening risk prediction capabilities reduces cost deviations during bidding, construction, and settlement stages. This paper analyzes the core advantages of information technology in empowering dynamic management, proposes targeted optimization strategies, and provides practical references for contractors to improve cost control efficiency and enhance market competitiveness.

## Keywords

Information technology; Project cost; Dynamic management

# 信息技术支持下的工程造价动态管理模式优化

陶林燕

海南中交高速公路投资建设有限公司, 中国·海南海口 571199

## 摘要

施工方工程造价管理聚焦投标报价、预算编制、结算审核全流程, 传统模式存在数据滞后、信息割裂等痛点。信息技术为动态管理模式革新提供核心支撑, 重塑施工方造价管控逻辑。依托技术手段实现投标报价精准测算, 预算执行实时追踪, 结算数据高效核验。突破传统静态管理局限, 将造价管控嵌入施工全环节, 精准捕捉成本波动节点。优化数据流转路径, 破解部门间信息壁垒, 提升造价决策科学性。强化风险预判能力, 降低投标、施工及结算阶段成本偏差。本文剖析了信息技术赋能动态管理的核心优势, 提出针对性优化策略, 为施工方提升造价管控质效、增强市场竞争力提供实践参考。

## 关键词

信息技术; 工程造价; 动态管理

## 1 引言

施工方作为工程造价管控的直接责任主体, 投标报价决定市场准入, 预算执行影响项目盈利, 结算审核关乎资金回笼。传统造价管理依赖人工核算, 数据更新滞后于施工进度, 难以应对材料价格波动、设计变更等突发情况。造价与施工、技术等环节脱节, 易出现预算超支、结算纠纷等问题。当前建筑市场竞争加剧, 原材料价格波动频繁, 施工方亟需突破传统管理瓶颈。信息技术的深度应用为动态造价管理提供可能, 可实现造价数据实时生成、精准分析与高效流转。基于此, 立足施工方核心工作, 探索信息技术支持下动态管理模式的优势与优化路径, 对破解造价管控难题、提升项目

综合效益具有重要现实意义。

## 2 信息技术支持下的工程造价动态管理模式优势

### 2.1 实时监控成本变化, 提升数据反馈时效性

施工方造价管理需紧跟施工进度与市场变化, 信息技术打破传统人工统计的时间壁垒。通过搭建实时数据采集系统, 自动抓取施工过程中的材料消耗、人工费用、机械租赁等数据, 同步对接建材市场价格监测平台。材料进场时扫码录入信息, 系统即时更新材料成本, 对比预算标准生成偏差提醒<sup>[1]</sup>。施工环节出现设计变更或现场签证, 技术人员上传相关资料后, 造价系统快速核算变更费用, 无需人工逐一对接。数据反馈周期从传统的数日缩短至小时级, 施工方能够及时掌握成本动态, 避免因数据滞后导致的决策失误。针对投标报价阶段的市场数据, 系统实时更新同类项目造价指

【作者简介】陶林燕(1993—), 女, 中国贵州平塘人, 本科, 工程师, 从事工程造价研究。

标,为报价测算提供精准依据,提升报价竞争力。

## 2.2 整合多维度信息,推动管理流程标准化

施工方造价管理涉及投标、施工、结算多阶段,信息来源分散且格式不统一。信息技术搭建一体化管理框架,整合投标文件、施工图纸、预算清单、签证资料、结算报表等多维度信息,制定统一数据标准与流转规范。投标阶段自动筛选符合项目要求的造价参数,生成标准化报价模板,减少人工编制误差。预算编制环节,系统依据施工方案自动匹配定额标准,规避人工套取定额的随意性。施工过程中,各类造价资料按标准格式上传归档,避免资料丢失或篡改。结算阶段,系统自动比对预算清单与实际消耗数据,剔除无效费用条目,规范结算编制流程。流程标准化降低人为操作风险,确保造价数据的真实性与可比性,为施工方内部考核与成本分析提供可靠支撑。

## 2.3 强化各部门协同,提高资源配置效率

施工方造价管理并非单一部门职责,需技术、施工、物资、财务等部门密切配合。信息技术搭建协同工作平台,打破部门间信息孤岛。造价部门制定的预算指标实时同步至各部门,施工部门依据预算合理安排施工工序,物资部门参照预算管控材料采购量。材料采购出现价格波动时,物资部门即时反馈至造价部门,造价部门快速调整预算分配。财务部门根据造价数据精准拨付工程款,避免资金闲置或短缺<sup>[2]</sup>。投标阶段,造价部门与技术部门协同分析项目工艺要求,精准测算施工成本。结算阶段,造价部门与财务部门核对资金流水,确保结算数据与财务账目一致。各部门高效联动,优化人力、物力、财力配置,减少资源浪费,提升项目整体运营效率。

## 2.4 动态预警风险偏差,增强决策前瞻能力

施工方造价管理面临材料价格波动、设计变更、工期延误等多重风险,传统模式多事后补救。信息技术构建风险预警机制,设定造价偏差阈值,系统实时比对实际成本与预算数据。材料价格超出预警范围时,系统自动推送提醒,造价部门结合市场趋势分析波动原因,提前制定替代材料方案或锁定采购价格。施工进度滞后可能导致成本增加时,系统联动施工数据发出预警,助力施工方调整施工计划。投标阶段,系统分析同类项目风险点,预判项目潜在造价风险,为报价策略制定提供参考<sup>[3]</sup>。结算阶段,提前识别结算争议隐患,如工程量核算偏差、签证资料不全等,及时补充完善。风险预警让施工方从被动应对转为主动防控,提升造价决策的前瞻性与科学性。

# 3 信息技术支持下的工程造价动态管理模式优化策略

## 3.1 引入 BIM 与物联网技术,实现全过程造价精细管控

施工方应将 BIM 技术深度应用于投标、预算、结算全

流程,构建三维可视化造价模型。投标阶段,依托 BIM 模型快速拆解项目构件,精准测算工程量,结合市场价格数据生成个性化报价方案,提升报价精准度与竞争力。预算编制环节, BIM 模型关联施工工艺与定额标准,自动生成预算清单,同步标注各构件造价占比,明确成本控制重点<sup>[4]</sup>。施工过程中,物联网设备实时采集施工机械运行数据、材料消耗数据,同步上传至 BIM 模型。模型动态更新实际成本,对比预算数据呈现偏差细节,精准定位超支部位。设计变更时, BIM 模型快速调整构件参数,自动核算变更造价,同步更新预算清单。结算阶段,依托 BIM 模型核对实际施工工程量与设计图纸差异,结合物联网采集的全过程数据,生成精准结算报表,减少结算争议,加快结算进度。通过 BIM 与物联网融合,实现造价管控从粗放式向精细化转变,覆盖施工方核心工作各环节。

## 3.2 构建云端协同管理平台,打通信息共享通道

施工方需搭建专属云端协同平台,适配投标、施工、结算各阶段信息流转需求,打破地域与部门限制。平台设置分级权限,造价、技术、施工、物资等部门人员依据职责获取与上传信息(如表 1 所示)。投标阶段,造价人员上传报价测算资料,技术人员在线审核工艺匹配度,管理层实时查看报价进度,实现高效协同报价。施工过程中,现场管理人员通过移动端上传签证资料、施工影像,造价人员在线审核核算费用,无需现场对接<sup>[5]</sup>。材料采购信息、施工进度数据、造价调整方案均在平台同步更新,各部门即时获取最新信息。结算阶段,造价部门上传结算报表,财务部门在线核对资金数据,监理单位与建设单位通过平台反馈审核意见,缩短结算审核周期。平台自动留存信息流转痕迹,实现造价资料可追溯,便于后续成本分析与审计。同时对接行业数据库,实时更新定额标准、市场价格等数据,为造价管控提供数据支撑,彻底打通信息共享壁垒。

表 1 云端协同管理平台在各阶段的应用

项目阶段	主要功能	关键产出/效果
投标阶段	报价资料上传、工艺审核、进度跟踪	高效协同报价
施工阶段	签证影像上传、在线审核、数据同步	信息实时共享,减少现场对接
结算阶段	结算报表上传、在线核对、审核反馈	缩短结算周期,提高审核效率

## 3.3 完善动态造价数据库,夯实数据驱动管理基础

施工方需立足自身业务特点,构建覆盖投标、预算、结算的动态造价数据库,实现数据积累与高效复用。数据库分类存储历史项目造价数据,包括投标报价指标、预算清单、材料价格、结算数据、风险处理记录等。针对不同类型项目,建立专项数据子库,如房建、市政、公路等,为同类项目造价测算提供参考。安排专人负责数据库维护,定期更新数据,剔除过时信息,补充新增项目数据。投标阶段,数据库自动

调取同类项目造价参数,结合当前市场情况生成报价参考范围,提升报价合理性。预算编制环节,依据数据库历史消耗数据,优化材料、人工定额测算,避免预算偏差。结算阶段,对比历史项目结算数据与当前项目差异,分析偏差原因,形成结算优化方案。同时对接外部数据资源,整合建材市场价格、政策法规、定额标准等信息,实现内外部数据联动。通过数据沉淀与迭代,让造价管理摆脱对人工经验的依赖,筑牢数据驱动根基。

### 3.4 应用大数据与 AI 分析,支持造价预测与优化

施工单位要积极依靠大数据和人工智能技术,深入挖掘工程造价数据的潜在价值,促使工程造价管理从被动的计算核查向主动的预测、优化方向转变,提高核心的管控能力。投标阶段,通过 AI 算法分析历史投标数据、市场价格趋势、项目工艺要求等多维度信息,精准预测项目造价区间,为报价策略制定提供科学支撑,有效规避报价风险。针对材料价格波动问题,利用大数据技术分析历史价格数据及影响因素,预判未来价格走势,为材料采购时机、采购量的制定提供依据,降低材料成本波动对项目盈利的影响<sup>[6]</sup>。预算编制环节, AI 自动识别施工图纸中的造价关键节点,优化预算分配方案,重点管控高成本环节,提升预算的合理性与可控性。施工过程中,大数据实时分析材料消耗、人工效率等数据,精准识别成本浪费节点,主动提出优化建议,如调整施工工序、替换性价比更高的材料等,实现成本的动态优化。结算阶段, AI 自动比对预算与实际造价数据,筛查结算漏洞,优化结算报表编制,提升结算精准度,减少结算争议。

### 3.5 建立风险动态评估机制,实施弹性成本控制

施工单位要依靠信息技术构建完备的风险动态评估体系,精确地辨认各个时期的造价风险,施行灵活的成本管控,尽最大程度减少风险对项目造价产生的作用。全面整理投标、预算、结算各环节的潜在风险位置,创建包含材料价格变动、设计更改、工期拖延、结算争执等方面的风险评估指标系统,清晰界定各风险位置的评估准则和应对程序。借助信息技术实时采集风险相关数据,通过 AI 算法自动评估风险等级,生成风险评估报告,为风险防控决策提供依据。

投标阶段,重点评估报价风险与市场竞争风险,制定弹性报价策略,预留合理风险准备金,增强风险抵御能力;施工过程中,实时更新风险状态,针对高等级风险制定专项应对方案,当材料价格大幅波动时,立即启动弹性成本控制预案,调整材料采购计划、优化预算分配,确保总成本可控;发生设计变更后,快速评估变更对造价的影响,及时调整成本控制目标,避免成本失控。结算阶段,提前评估结算争议风险,主动完善佐证资料,加强与建设单位、监理单位的沟通对接,提前化解分歧,保障结算工作顺利推进。

## 4 结语

信息技术为施工方工程造价动态管理模式革新注入核心动力,突破传统管理的诸多局限。从实时成本监控到全流程协同,从风险预警到精准预测,信息技术重塑施工方造价管控逻辑,契合投标报价、预算、结算核心工作需求。优化策略的落地实施,需施工方强化技术应用能力,完善数据支撑体系,推动部门协同联动。动态管理模式的优化并非一蹴而就,需结合行业发展与项目特点持续迭代。未来,随着 BIM、AI 等技术的不断成熟,施工方造价动态管理将向更精细、更智能方向发展。唯有深度融合信息技术与造价管理,才能破解成本管控难题,提升项目综合效益,在激烈的市场竞争中占据优势地位,推动企业高质量发展。

### 参考文献

- [1] 陈朝灿. 新时期建筑工程造价的动态管理与控制研究[J]. 价值工程, 2026, 45(04): 25-27.
- [2] 张红. 工程变更对项目造价影响的分析与动态控制对策[J]. 中国集体经济, 2026, (03): 89-92.
- [3] 于冲. 全过程工程造价管理在建筑经济管理中的重要性分析[J]. 上海企业, 2026, (01): 147-149.
- [4] 杨恒, 孟德秀. 大数据环境下工程造价智能决策算法优化[J]. 数字经济, 2025, (12): 100-101.
- [5] 王满崑. 基于BIM技术的建筑工程造价风险全过程动态控制[J]. 智能建筑与智慧城市, 2025, (12): 99-101.
- [6] 谌恺川. 信息技术赋能房建安装工程造价动态管理[J]. 城市开发, 2025, (07): 74-76.

# Difficulties and Countermeasures of On-site Construction Management of Prefabricated Civil Engineering

Zhen Wang

Shanghai Construction No.7 (Group) Co., Ltd., Shanghai, 200030, China

## Abstract

With the transformation of China's construction industry to industrialization and greening, the prefabricated construction method based on sustainable development is an important trend to promote industrial innovation and development because of its obvious advantages of improving construction efficiency, ensuring construction quality and reducing environmental interference. However, unlike the existing cast-in-place method, it transfers a large number of manufacturing and construction activities from the construction site to the workshop. Therefore, the key issues of its site management have also changed from the wet type of the original site to the precise transition to an efficient structure. This transformation has brought unprecedented demand in terms of organization, technology and process, making it play an important role in engineering construction. Based on this, this paper focuses on this content.

## Keywords

prefabricated civil engineering ; on-site construction management difficulties ; response measures

## 装配式土建工程现场施工管理的难点与应对措施

王振

上海建工七建集团有限公司, 中国 · 上海 200030

## 摘要

随着我国建筑业向工业化和绿色化转型, 基于可持续发展的装配式施工方式, 由于其具有提高施工效率、保证施工质量和降低环境干扰的明显优点, 是促进产业创新发展的一个重要趋势。但与现有的现浇方式不同, 其将大量的制造和建筑活动由工地转入车间, 因此, 其现场管理的关键问题也由原来的工地的湿式向精确过渡到高效的结构。这种转型在组织、技术和流程上都带来了空前的需求, 使其在工程建设中发挥着举足轻重的作用。基于此, 本文围绕此内容展开重点探讨。

## 关键词

装配式土建工程; 现场施工管理难点; 应对措施

## 1 引言

工地建设的效率将会影响到整个工程的质量、安全和工期。与现有的现场浇筑相比, 其将大量的高空、临边和湿作业迁移到现场, 但也给构件吊装、多专业管线协同、新型节点连接、工人技术转移等提出了全新的挑战。例如, 儋州医院这样的大规模装配工程, 能否充分发挥其技术和经济效益的作用, 是解决该工程由“工地”向“总装现场”平稳转型和提升的关键问题。针对目前我国装配式土木建筑工地上存在的问题, 提出一套系统化的解决方案。

## 2 装配式土建工程现场施工管理的现实意义

装配式建造是实现现代化建设的重要途径, 其建设过程中的组织变革及其实施成效, 将直接影响到此项技术系统

是否能够顺利实施, 并充分发挥其预先设定的优势。以儋州市滨海新区人民医院为例, 对其进行高效的工地建设管理, 不仅要确保其正常运行, 更要在多专业多环节深度交错的情况下, 担负着确保其核心价值的重要任务。其中, 最重要的是实现了系统的整合和协作。与以往在工地上浇筑施工相比, 拼装工程将大批高精密预制件置于厂房内, 使其成为“总装车间”。这种转型对工地管理提出更高层次的需求, 它的工作接口由以往的土建建设, 延伸到设计深化、构件制造和输送, 再延伸到机电管道预制和装修。

工地经营是企业生产经营过程中最重要的一道环节。生产过程和危险源中, 如大规模结构构件在场地内的搬运、堆放、吊装和临时支撑等作业方式, 极易引发诸如倾覆、碰撞、高空坠落等严重的安全隐患。《群塔施工特殊施工方案》《外脚手架施工方案》和各种机器的安全保护措施, 都是为了应对新的危险点而专门设计的。而结构中各组成部分的接缝(注浆填充、接缝防水等)的构造品质, 对结构的完整性

【作者简介】王振(1987—), 男, 中国江苏盐城, 本科, 工程师, 从事土建项目现场施工管理研究。

和耐久能力有很大影响,且由于其“一次成型”的特点,对其进行全过程的监测显得尤为重要。对施工过程进行精确控制,对施工过程进行严密的过程验收(包括图纸上的标准化拼装结构联合验收)、技术交底以及从业人员的专业训练,是保证结构安全和消除质量隐患不可或缺的一环。由于工程造价敏感,预制件自身具有较高的价格敏感度,且需要依靠大型设备进行运输和吊装。现场作业的精细程度,将会对塔式起重机等竖向搬运设备的利用率,构件的现场防护和损失率,以及作业人员之间的水流穿梭效率等产生重要的影响。项目中详细制定施工平面布置、塔式起重机选择与布置、构件堆场与地下室顶板加固等设计,其根本目标就是优化时空资源,降低机器闲置与二次运输,使施工过程中能够有效地控制施工费用,充分发挥其经济效益<sup>[1]</sup>。

### 3 装配式土建工程现场施工管理的难点

#### 3.1 多专业交叉界面复杂,协同管理难度大

以儋州市滨海新区某医院为例,建设过程中,多学科间的深层次跨界和多学科间的相互矛盾是其建设与管理所要面对的第一个难题。涉及结构、装修、机电、幕墙等多个体系,需要与大批预制装配式结构(如:预制装配式轻型墙体)的装配进度密切匹配。以本文介绍的外架工程为例,在PK板(装配式层板)上精准地凿孔,采用U形螺栓进行锚固,这就需要建筑与PC构件的深化设计、生产和吊装等环节达到毫米级别的数据同步。而对于预制装配式机电管道的集成则更为重要,文件中明确提出“管线分离”的概念,即在组件制造之前,需要对管道进行全面的布线,并且预先埋设好套管,否则会造成部件的废弃或后续开挖损坏。在这样的一体化建设格局下,按照各学科的先后次序进行建设已很难继续下去,其中一个阶段出现的延迟或失误将引起连锁反应,造成工程进度拖延和费用上升,对整个工程的综合协调机制提出了更高的要求<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 构件安装精度要求高,现场调控能力不足

装配式结构中各部件的精确安装和可靠地连接是其质量的关键。但其在复杂多变的野外作业条件下,对其装配精度的调节提出了严重的挑战。按照文件中对建筑的规定,比如塔式起重机的布局要准确地进行旋转半径的计算,保证任何两台塔式起重机之间的距离都要比下部塔式起重机的臂长要高出2米,以免发生冲突;在装配装配面板时,必须严格控制支架系统的施工高程偏差。然而,在实践中,根据文件“群塔作业”一节所披露的,需要5台塔式起重机同时进行高强度的提升,且受塔吊地基沉降、高空风力及驾驶员操作差异等多种因素的制约,导致了施工精度难以保证。另外,装配式楼盖和混凝土柱的钢筋锚固、预制混凝土柱与建筑主体的接缝等关键部位,其注浆和焊缝的施工要求一次性完成,很难在施工后进行修复。

#### 3.3 产业工人技能不匹配,安全质量风险并存

目前我国现有的工人技术水平还不够完善。文件中专

门设置了《工厂工人的入职教育与管理计划》一章,体现了这个问题的迫切性。如,在装配式建筑施工中,传令员、塔架人员要紧密合作,熟知各部件的中心位置、吊点位置,并要做到“十不吊”,否则,一旦判断失误,就会造成部件脱落、撞击等意外。叠层楼盖混凝土浇筑和预应力筋张拉是施工过程中的重要环节,其工作机理并非单纯的手工操作,而是对其工作机理的了解。但是,当前很多工人还停留在传统的现场预制浇筑方式,对预制混凝土的专用机具、工艺及质量规范缺乏了解。这些技术上的不配合,将会造成工地上的危险:不当的提升作业会造成零件的损坏,甚至造成人身伤害;未达到标准的结点连接操作可能导致工程安全事故;由于缺乏对新结构(如:挑杆)和临时支撑系统等的认识,将加大施工过程中的危险<sup>[3]</sup>。

### 4 装配式土建工程现场施工管理难点的有效应对策略

#### 4.1 构建一体化协同管理机制,优化界面衔接

多专业多环节的空间和时间上的强耦合和接口连接的复杂是目前装配式建筑工地建设管理的重点和难点。传统的“分段式”管理方式很难适应预制构件的生产、运输、吊装、安装等环节间的相互关联特征,容易出现信息不同步、职责不明、工序冲突等问题,造成进度停滞、质量缺陷乃至安全风险。要想解决这一问题,就需要建立一套以施工单元为核心,贯穿全链条的综合协调管理体系,并在此基础上进行系统的优化。建立整合协作的机制,需要明晰并固化参与主体之间的协作途径和职责边界。通过构建“装配式施工项目组”框架和“周例会”和“特别会议”等制度,为其协调工作提供了有效的组织和制度保证。但是,在此基础上进行深入地运作,还需要更细致的作业过程。

深层的接口设计,表现为建筑过程和空间的动态协同。以群塔施工和预制装配梁为研究对象,重点解决多塔之间的相互交错操作与构件定位精度需求之间的冲突问题。针对这一难题,提出基于《群塔工作原理》和《避碰措施》的“每日工作计划协调制度”。在每天的工作开始之前,总承包公司的生产主管,召集所有的塔吊司机、信号员、各楼栋的装配工长、钢筋、模板等专业的组长,根据当天的构件吊装计划(准确到每一块构件的编号、楼栋、楼层、计划吊装时段),共同商定各塔吊的详细运行路径、时段及避让规则,并将计划可视化地发布在指挥中心。另外,针对组件堆置区和吊装区之间的交接接口,必须实行“垂直时间间隔”的管控,也就是说,在一定时间内,一个区域只能进行吊装或者只允许搭建支架等单个操作,并有专门人员监管,防止相互影响。面向多工序平行作业的人机交互接口管理方法,解决多工序平行操作所产生的矛盾,保证组装过程的连续性和安全性。

#### 4.2 实施精细化安装过程控制,提升调控精度

为保证结构的安全性和高效性,必须对其进行精确的工艺调控。该战略的关键是以“测量先行,分级检查,实时

校正”为中心的标准化工作过程。施工过程中的详细作业从设备进场之前的“预检”开始。儋州医院使用的PK层板等预制件，在工厂生产之前都要用全站仪等仪器对其进行3维测量，其外观尺寸的误差要按GB50204-2015《装配式混凝土建筑技术标准》(GB50204-2015)和GB/T 51231-2016(GB/T 51231-2016)中的允许误差不超过5毫米，儋州医院使用的PK层板等。构件到达工地后，要在指定的场地再检查一遍，检查构件编号，预埋件的位置和外表的质量，禁止有瑕疵的构件出现在墙上。

“动态调控”是提升施工质量控制的关键。以装配式墙体等垂直构件为对象，其标准化工作程序为：首先，在楼面混凝土浇筑之前，采用激光扫描装置及高精密度水准仪放出各部件的安装坐标和高程，同时在构造层中预先埋设临时斜撑杆的埋件，其位置误差不超过10mm。第二道工序是在吊装过程中，使用带有调整作用的特殊悬挂装置，由操作者通过观测安装在该部件下的固定销钉和地板上的固定套管的对准来进行临时安装。第三道工序，即采用不低于2根可调(300-500mm)可调斜撑及底部限制器，利用高精密度电子倾斜计(0.01度)及激光测距机对其进行垂向校正。

《装配式混凝土结构技术规程》(JGJ 1-2014)规定，装配式墙体的垂直度误差不得超过H/1000(H是墙体的高)，并且不超过5毫米，并且相邻两个板块之间的平面度误差不得超过3毫米。如有偏差，多个斜拉条的螺杆同步缓慢调整，调整零件的位姿，达到毫米级别，达到要求。第四个步骤是最后的固定和接头，例如做套管注浆工作。测量结果应在整个测量过程中进行完整的测量，并建立“一件一个文件”的可追踪记录。同时，针对儋州医院工程中的大跨PK板、梁、柱等大尺寸结构部件或重要节点，也需要采用BIM+3D Lidar等方法进行辅助验证。

#### 4.3 推行系统化产业工人培训，筑牢安全根基

目前，我国正在从“现场施工”走向“现场拼装+吊装+拼装”的模式，对现场操作工人的专业技能、协作能力及安全观念等都提出更高的要求。由于缺乏对预制构件尺寸、重量、起吊点和节点连接方式的认识，在吊装和安装过程中容易出现构件碰撞、定位偏差，甚至发生从高处跌落等重大的安全和质量事故。对从业人员进行系统化、规范化的培养，是解决现场管理难题，保证工程质量与安全的根本战

略。该战略不应仅局限于“入园安全宣传”的常规做法，而应按照《海南省装配式建筑装配率计算规则》和国家有关行业规范，建立涵盖全工种全过程的全过程实践训练系统。

同时采取“理论考试与实践仿真相结合，示范先行与实地指导相结合”的改革思路。在员工大规模进入工地之前，要在工程所设立的“模型演示区域”中进行沉浸式教育。就室内隔墙板的安装来说，员工必须严格遵循《预制内隔墙板施工》的流程，从基层处理，定位放线，专用胶料调配，到墙板安装，临时支架安装，以及板接缝处理等一系列过程进行示范。作业人员需要在模具区接受小组实际作业评估，着重对采用激光投射装置进行竖直校正的技巧，并对L形钢板等连接结点的力矩准则进行掌握，保证作业的准确性达到JGJ 1-2014《装配式混凝土结构技术规程》对墙体立面垂直度误差不得超过4mm/2米的规定。实现有效的可持续保证，必须依靠信息技术和长期的激励制度。推行或发展工地员工实名制度和培训档案管理制度，对每个员工进行电子技术“技术卡”，将其培训履历、考核成绩、安全违规行为和奖励等信息进行登记。

## 5 结语

综上所述，深入认识和系统地解决该问题，不但关系到个别工程的成功与失败，也是推进我国建筑业工业化、数字化和绿色化转型的重要基础。如何有效地解决协作、精度和人员技术三个方面的关键问题，就是要建立一种与新的生产、工业系统相适应的工地管理模型。它既是提高项目质量和效益的需要，又是培养现代产业工人，筑牢安全生产防线，实现建筑业可持续发展的长期战略举措。展望未来，在智慧建设的深入发展和行业生态的逐步健全下，工地建设必然由“被动响应”转变为“积极引导”，为建设更多优质、高效率的装配式建筑奠定基础。

## 参考文献

- [1] 康浩然. 装配式建筑在土建工程中的关键技术[J]. 百科知识, 2025, (18): 7-8.
- [2] 黄丽静, 史梦华. 装配式混凝土结构高层住宅造价分析[J]. 工程技术研究, 2022, 7(18): 205-208.
- [3] 桂利超. 装配式建筑工程造价预算与成本控制问题探究[J]. 散装水泥, 2022, (02): 76-78.

# Simulation Analysis of Deformation in Deep Cryogenic Space Freezing Racks

Lei Chen

Basepoint Biotechnology (Shanghai) Co., Ltd., Shanghai, 200000, China

## Abstract

This paper focuses on the low-temperature deformation study of a key component in automated sample storage systems under cryogenic conditions (typically below  $-80^{\circ}\text{C}$ )—the stainless steel welded cryogenic rack. For complex welded structures, relying solely on the linear thermal expansion coefficient from manuals is insufficient to meet the precision requirements of practical engineering design. Through a combination of experimental measurements and finite element simulation (SolidWorks Simulation), the study systematically measured and analyzed the linear contraction and layer bending deformation of the cryogenic rack. Experiments directly measured the coordinate deformation at critical positions of the rack body using a three-coordinate measuring instrument at different temperatures (room temperature,  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $-40^{\circ}\text{C}$ ,  $-80^{\circ}\text{C}$ ), with detailed comparisons made against simulation data under identical conditions. The results indicate that within this temperature range, the low-temperature deformation of complex welded structures follows linear thermal expansion patterns. Additionally, differences were observed in the contraction coefficients between the transverse (Y-axis) and longitudinal (Z-axis) directions, which may be related to material anisotropy and manufacturing processes. The study validates the effectiveness of finite element simulation in analyzing such issues, providing important theoretical foundations and practical guidance for optimizing subsequent similar structures' simulation and manufacturing processes.

## Keywords

Deep low temperature, Deformation, Finite element simulation, Material anisotropy

# 深低温空间冻存架的形变量仿真分析

陈雷

基点生物科技(上海)有限公司, 中国·上海 200000

## 摘要

本文聚焦于深低温(通常低于 $-80^{\circ}\text{C}$ )环境下自动化样本存储系统中关键组件——不锈钢焊接冻存架的低温形变问题研究。针对复杂焊接结构,仅依靠手册中的材料线膨胀系数计算热收缩量已无法满足实际工程设计精度要求。研究通过实测与有限元仿真(SolidWorks Simulation)相结合的方法,对冻存架的线性收缩与层板弯曲变形进行了系统性测量与分析。实验采用三坐标测量仪在不同温度(常温、 $-20^{\circ}\text{C}$ 、 $-40^{\circ}\text{C}$ 、 $-80^{\circ}\text{C}$ )下直接测量了架体关键位置的坐标形变,并与同等条件下的仿真数据进行了详细对比。结果表明:在此温度区间内,复杂焊接结构的低温形变遵循线性热膨胀规律;同时发现横向(Y向)与纵向(Z向)的收缩系数存在差异,这可能与材料各向异性及制造工艺有关。研究验证了有限元仿真在该类问题分析中的有效性,为优化后续相似结构的仿真与制造工艺提供了重要的理论依据与实践指导。

## 关键词

深低温; 形变; 有限元仿真; 材料各向异性

## 1 引言

在生物样本库的开发工作中,深低温环境(通常指低于 $-80^{\circ}\text{C}$ )的应用极为关键。与常温环境相比,深低温条件下设备的设计面临诸多挑战。常温环境下,选材、加工、测量、组装、调试及运行过程中的温差极小,通常可忽略不计。然而,深低温设备的制造与使用环境温度温差高达 100 摄氏度,这一显著的温差对设备性能有着不可忽视的影响。这些影响

主要包括低温形变、材料硬脆<sup>[1]</sup>、运动润滑、霜冻以及防锈等问题。鉴于此,本文聚焦于深低温条件下结构件的低温形变问题,通过有限元分析与实测相结合的方法,深入探究其形变规律,旨在为相关设计工作提供科学依据。

## 2 问题提出

### 2.1 研究对象

冰箱式自动化样本存储系统的核心组件是冻存架和运动机构。冻存架由不锈钢板材通过焊接搭建而成,类似于小型货架结构,分为多层和多列,每个单元格为一个储位,用于存放冻存盒。每个冰箱配备 4 个冻存架。如图 2-1 所示。

层高(H)和列宽(W)是冻存架的重要指标,如图 2-2

【作者简介】陈雷(1980—),男,中国江苏徐州人,硕士,工程师,从事深低温自动化研究。

所示。

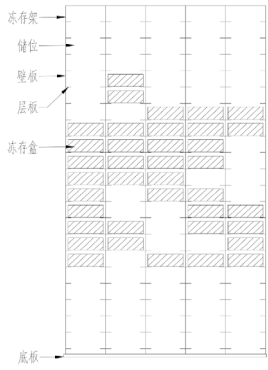


图 2-1

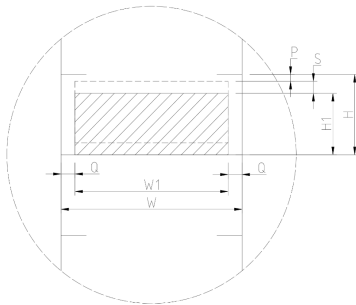


图 2-2

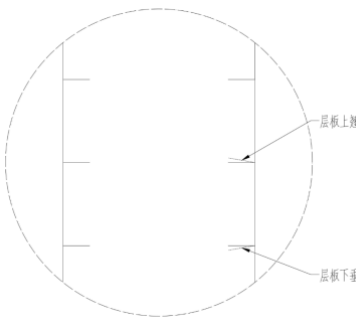


图 2-3

层高和列宽的计算公式如下：

$$H=H1+S+P \quad (式(2-1))$$

$$W=W1+2Q \quad (式(2-2))$$

其中,  $H1$  为冻存盒的高度,  $S$  为运动距离,  $P$  为安全余量;  $W1$  为冻存盒的宽度,  $Q$  为安全余量。

为了提高存储密度, 冻存架的层高和列宽都要被设计得尽可能小。在设计中, 除了控制必要的运动距离外, 重点是控制安全余量。安全余量的大小取决于机构的重复定位精度、冻存架的制造精度和冻存架的低温形变量。在机构的定位精度和冻存架的制造精度一定的情况下, 本文重点研究低温形变量, 主要包括线性收缩和低温引起的弯曲变形。图 2-3 展示了层高方向上低温弯曲变形的主要形态。

## 2.2 任务分解

对于较复杂的结构, 仅通过查询材料的线膨胀系数来

计算低温收缩量是不够的, 因为实际使用的材料与手册存在差异。通过分析发现, 导致弯曲变形的因素很多, 包括材料、板厚、焊点位置<sup>[2]</sup>和焊接方式等。这些因素都需要通过实测来确定结构的真实变化量, 并与有限元分析结果进行比较, 从而总结规律, 为相似结构的有限元计算提供理论依据, 并对结构的制造工艺提供指导意见。

通过以上分析, 本文的主要任务如下表所示:

表 2-1

控制目标	控制因子	影响因素	任务目标
层高(H), 列宽(W)	安全余量 P, Q	整体收缩	1. 通过有限元仿真和实测, 确定同等材料下同类结构的纵向线膨胀系数;
		层板上/下翘	2. 通过有限元仿真和实测, 确定层板最大翘曲量, 以及仿真修正系数;

实现上述任务目标的路径如下:

- 1) 选取真实的冻存架, 在不同温度下进行实际测量, 记录层高及各目标位置的形变数据, 并同时记录测量点的温度数据。
- 2) 使用 SolidWorks 仿真模块对冻存架进行力学仿真, 施加不同温度, 记录仿真形变数据。
- 3) 对比形变实测值与仿真值, 得出修正系数, 用于预测低温形变量。
- 4) 对不同型号的冻存架进行有限元仿真预测, 并与实测值进行对比, 验证仿真设置及修正数据的有效性。

## 3 冻存架的形变测量

已知测量环境温度最低可达  $-80^{\circ}\text{C}$ , 常规测量仪器无法正常工作, 人也无法进入其内长时间工作, 讨论出直接和间接测量两种方案:

- 1) 直接测量: 通过放置在常温下的三坐标测量仪<sup>[3]</sup>, 对低温冻透的结构件, 在其升温前进行快速测量。
- 2) 间接测量: 通过在冰箱内布置可在低温下工作的激光测距传感器, 测量结构件的尺寸数据。

以下是两种测量方案的对比,

表 3-1

方案	优点	缺点
直接测量	测量仪器精度高; 量程大, 多点测量时基准固定不变;	被测件会快速升温, 需要多次使其降温, 进行多轮测量;
间接测量	封闭测量, 无需多次拉低温; 测量精度够用;	量程小只有 280mm; 每次只能测一个点, 变换测量点需要移动传感器, 并重新固定, 导致基准变化;

### 3.1 收缩量测量

选取一款常用的冻存架做为测量目标。该冻存架理论总高 1303mm, 理论总宽 654mm。

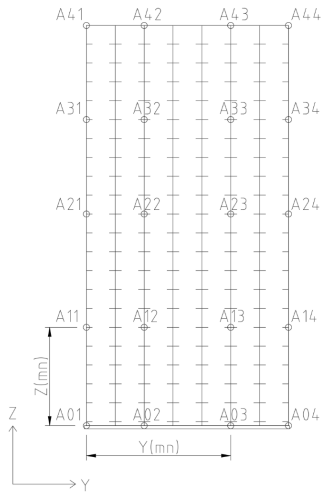


图 3-1

确定测量点，如图 3-1 所示，圆圈表示测量点。每个点用 A(mn) 表示，m 代表测量点层号，从 0 到 4，一共 5 层；n 代表测量点列号，从 1 到 4，共 4 列。某个测量点的 Y 坐标记为 Y(mn)，用于计算列宽数据；Z 坐标记为 Z(mn)，用于计算层高数据。

测量量程需要覆盖整个架体高度，因此只能采用前文所述的直接测量方案：

测量工具：基恩士三坐标测量仪器。

测量步骤：

- 1) 将冻存架放入深低温冰箱，底面固定；
- 2) 安装图 3-1 的位置，找出测量点；
- 3) 在测量点附近布置温度探头；
- 4) 开启冰箱，降温至  $-80 \pm 3^\circ\text{C}$ ，保温 24 小时，确保架体温度均一且稳定；
- 5) 测量仪器准备就绪，打开冰箱门，迅速用三坐标测量仪测量基准面和各个点的坐标数据，并同时记录测量点的温度；
- 6) 分别测量  $-80^\circ\text{C}$ 、 $-40^\circ\text{C}$ 、 $-20^\circ\text{C}$ 、常温共 4 个温度下的坐标数据，分别计入表格。
- 7) 待被测对象升温超出测量温度  $3^\circ\text{C}$  后，转入其它温区的测量，直至被测对象恢复到常温。
- 8) 多次降温，直至所有测量点在所有温区的高度数据测量完成。

直接测量方式，是在温度监控中直接测量即时值，具有较高的可信度。缺点是需要多次拉低温，测量过程较长。注意：在每次恢复到常温后，需要用热风机将架体和箱内的冷凝水吹干，避免下次降温时结冰，影响测量结果。记录数据的表格形式如下：

Y 坐标测量值：

Y 坐标 (-80°C)	列 1	列 2	列 3	列 4
行 0	Y(01)	Y(02)	Y(03)	Y(04)
行 1	Y(11)	Y(12)	Y(13)	Y(14)
行 2	Y(21)	Y(22)	Y(23)	Y(24)
行 3	Y(31)	Y(32)	Y(33)	Y(34)
行 4	Y(41)	Y(42)	Y(43)	Y(44)

Z 坐标测量值：

Z 坐标 (-80°C)	列 1	列 2	列 3	列 4
行 0	Z(01)	Z(02)	Z(03)	Z(04)
行 1	Z(11)	Z(12)	Z(13)	Z(14)
行 2	Z(21)	Z(22)	Z(23)	Z(24)
行 3	Z(31)	Z(32)	Z(33)	Z(34)
行 4	Z(41)	Z(42)	Z(43)	Z(44)

### 3.2 弯曲变形测量

选取上述同款冻存架做为测量目标。

确定测量点，如图 3-2 所示。每个储位选择 2 个层板的端点（图中圆圈处），用 B(mn) 表示，m 代表测量点层号，从 1 到 4，一共 4 层；n 代表测量点列号，从 1 到 8，共 8 列。记录 B 测量点的 Z 坐标，数据记为 Z(mn)，用于计算层板的翘曲量。特别地，为了排除制造加工、外力影响导致的实物形变影响，测量数据需要处理，取常温 and 测定温度下测量值之间的差值作为形变量。

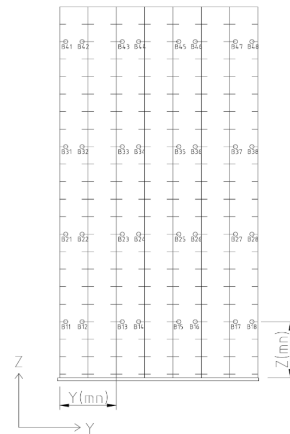
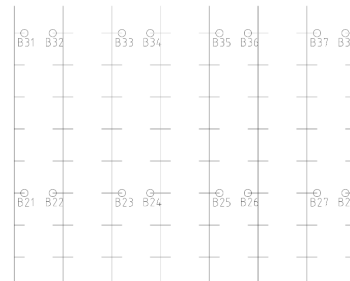


图 3-2

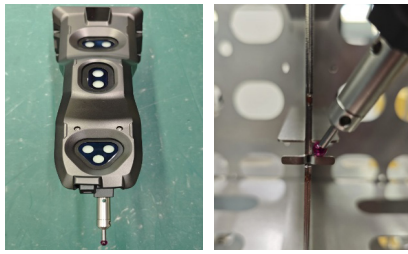
为实现大量程和基准一致性，仍采用直接测量方案。具体步骤可参考 3.1 节，此处略。

记录数据的表格形式如下：

弯曲量测量值：

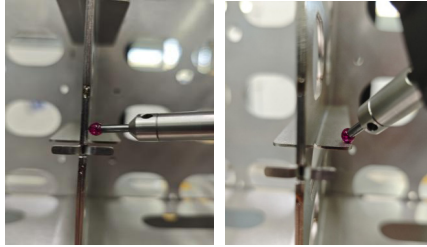
Z 坐标 (-80°C)	列 1	列 2	列 3	列 4	列 5	列 6	列 7	列 8
行 1	Z(11)	Z(12)	Z(13)	Z(14)	Z(15)	Z(16)	Z(17)	Z(18)
行 2	Z(21)	Z(22)	Z(23)	Z(24)	Z(25)	Z(26)	Z(27)	Z(28)
行 3	Z(31)	Z(32)	Z(33)	Z(34)	Z(35)	Z(36)	Z(37)	Z(38)
行 4	Z(41)	Z(42)	Z(43)	Z(44)	Z(45)	Z(46)	Z(47)	Z(48)

三坐标测量：



测量探头

Z 向收缩量测量



Y 向收缩量测量

Z 向弯曲量测量

图解类型: 静态位移 位移2  
结果类型: UY

节	数值 (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	零部件
387625	6.28E-04	0	0.55	0	P-003-1
111092	-1.96E-01	0	187.85	0	P-001-4
221353	-7.14E-01	0	466.05	0	P-001-6
397759	-1.06E+00	0	653.9	0	P-005-1
387606	2.05E-02	-33	0.55	319.5	P-003-1
111074	-2.15E-01	-33	187.85	319.5	P-001-4
221449	-7.56E-01	-33	464.5	317.95	P-001-6
391747	-1.11E+00	-33	653.35	319.5	P-003-2
387582	-1.01E-01	-33	0.55	685.5	P-003-1
111050	-2.55E-01	-33	187.85	685.5	P-001-4
221395	-7.98E-01	-33	466.05	685.5	P-001-6
391723	-1.14E+00	-33	653.35	685.5	P-003-2
10238	-1.67E-01	0	1.65	992.9777	P-001-1
111030	-3.14E-01	-33	187.85	990.5	P-001-4
221471	-8.38E-01	-33	464.5	988.95	P-001-6
391703	-1.13E+00	-33	653.35	990.5	P-003-2
387628	-3.87E-02	-6	0.55	1300	P-003-1
111094	-3.72E-01	-6	187.85	1300	P-001-4
221351	-8.82E-01	-6	466.05	1300	P-001-6
395894	-1.22E+00	-6	653.9	1301	P-004-1

图 4-3

## 4 有限元仿真

### 4.1 收缩量仿真

使用 SolidWorks 建立冻存架的三维模型，并通过其 Simulation 模块进行有限元仿真分析。设置如图 4-1。

1) 运行算例。2) 使用探测器，探测各个测量点的 Y 向形变量和 Z 向形变量，如图 4-2。3) 导出探测数据(如图 4-3)，并整理(如图 4-4)。4) 用同样的方法探测出其它数据，并分别记录。5) 用同样的方法模拟 -40℃、-20℃、常温下的形变量，探测并输出数据表。

探测点	探测位置横向位置Y	探测位置高度Z	模拟数值 (mm)
Y01	0.55000001	0	6.28E-04
Y02	187.8500061	0	-1.96E-01
Y03	466.0499878	0	-7.14E-01
Y04	653.9000244	0	-1.06E+00
Y11	0.55000001	319.5	2.05E-02
Y12	187.8500061	319.5	-2.15E-01
Y13	464.5	317.9500122	-7.56E-01
Y14	653.3499756	319.5	-1.11E+00
Y21	0.55000001	685.5	-1.01E-01
Y22	187.8500061	685.5	-2.55E-01
Y23	466.0499878	685.5	-7.98E-01
Y24	653.3499756	685.5	-1.14E+00
Y31	1.64999998	992.9776611	-1.67E-01
Y32	187.8500061	990.5	-3.14E-01
Y33	464.5	988.9500122	-8.38E-01
Y34	653.3499756	990.5	-1.13E+00
Y41	0.55000001	1300	-3.87E-02
Y42	187.8500061	1300	-3.72E-01
Y43	466.0499878	1300	-8.82E-01
Y44	653.9000244	1301	-1.22E+00

图 4-4

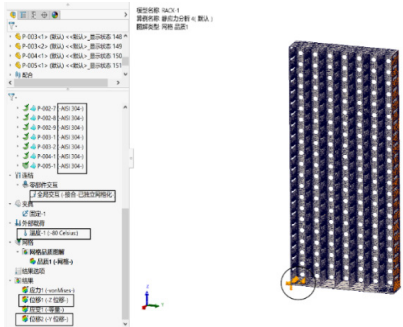


图 4-1

### 4.2 层板的弯曲变形仿真

使用 SolidWorks 建立冻存架的三维模型，并通过其 Simulation 模块进行有限元仿真分析。

通过仿真结果的的变形量分布情况(图 4-5)，可以判定层板的弯曲变形量小于 0.1mm，在整个变形总量里占比很小，且与三坐标测量仪的测量误差处在同一精度等级。因此，在本例中，层板的弯曲变形量对整体形变的影响可以忽略不计。然而，从图 4-6 中的弯曲方向来看，层板的弯曲趋势符合实际工况，即中间拱起，两端低垂。

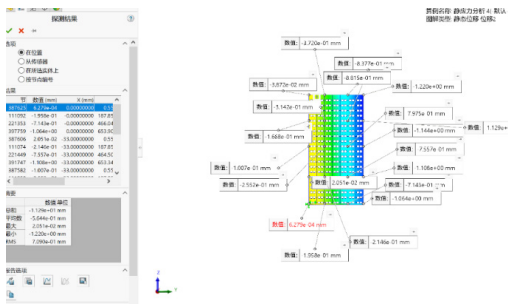


图 4-2

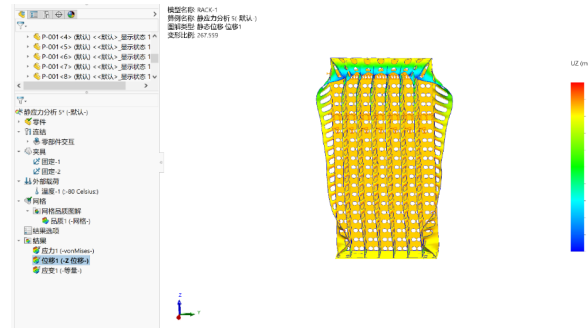


图 45

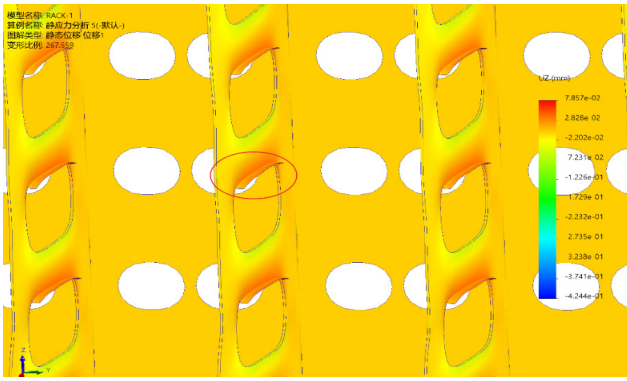


图 46

## 5 数据对比及规律总结

### 5.1 仿真数据和测量数据的可信性检查

将探测数据填入记录表，并利用表格生成折线图。通过观察同一高度下的不同横向位置的探测点变形曲线，以及同一横向位置下不同高度的探测点变形曲线，发现低温收缩量的仿真数据符合材料线性膨胀的规律，说明仿真数据有效（如图 5-1 所示）。

Y 向形变仿真数据	横向位置 0.6	横向位置 187.9	横向位置 466	横向位置 653.9
探测高度 0	6.28E-04	-1.96E-01	-7.14E-01	-1.06E+00
探测高度 320	2.05E-02	-2.15E-01	-7.56E-01	-1.11E+00
探测高度 685	-1.01E-01	-2.55E-01	-7.98E-01	-1.14E+00
探测高度 990	-1.67E-01	-3.14E-01	-8.38E-01	-1.13E+00
探测高度 1300	-3.87E-02	-3.72E-01	-8.82E-01	-1.22E+00

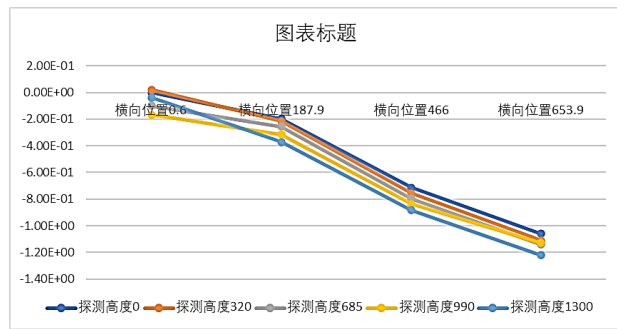


图 5-1

同样地，观察测量数据，发现测量数据也符合线性规律，说明测量数据有效（如图 5-2 所示）。

Y 向形变测量数据	横向位置 0.6	横向位置 187.9	横向位置 466	横向位置 653.9
探测高度 0	-0.03	-0.22	-0.75	-1.12
探测高度 320	-0.15	-0.20	-0.92	-1.43
探测高度 685	-0.17	-0.35	-1.18	-1.51
探测高度 990	-0.33	-0.36	-0.96	-1.37
探测高度 1300	-0.45	-0.48	-1.22	-1.66

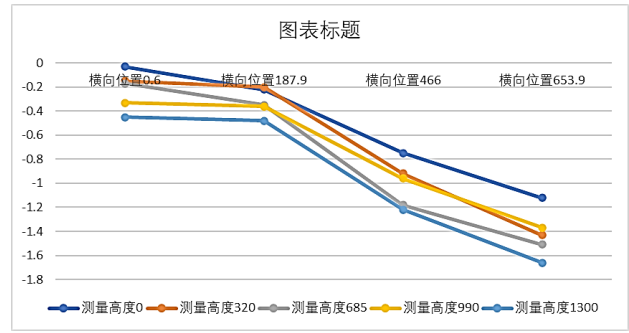


图 5-2

### 5.2 仿真数据和测量数据之间的关系计算

Y 向收缩量测量值与仿真值关系计算：

取两组数据，一组是仿真数据，记作  $X(x_1, x_2, x_3, x_4)$ ；

另一组是测量数据，记作  $Y(y_1, y_2, y_3, y_4)$ 。

命题：找出  $X, Y$  之间的函数关系，即  $y=f(x)$ 。

首先判断两个变量之间是否存在线性相关性，通常采用 Pearson 相关系数来衡量两个变量之间线性关系的强度和方向。计算公式为

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

$r$  取值范围为  $[-1, 1]$ 。若  $r$  接近 1，表示  $X$  与  $Y$  某变量间呈强正线性相关；接近 -1，呈强负线性相关；接近 0，则线性相关性弱。

本例中，取探测高度 685mm 层的 4 个位置的仿真收缩量为  $X$  组数据，记为  $X(-0.101, -0.255, -0.798, -1.14)$ 。取相同位置的测量数据，记为  $Y(-0.17, -0.35, -1.18, -1.51)$ 。

使用 Python 的 NumPy 库计算两组数据的 Pearson 相关系数编程计算，得出  $r=0.9963$ 。这表明两组数据呈强线性相关性。

在得出两组数据呈强线性相关性后，使用 `np.polyfit()` 函数拟合一次多项式（即线性回归），计算出斜率  $k$  和截距  $b$ ，并输出近似关系式  $Y=k_1X+b_1$ 。得出  $k_1=1.334$ ， $b_1=-0.0374$ 。

Z 向收缩量测量值与仿真值关系计算：

使用相同的方法，取探测高度 685mm 层的 4 个位置的 Z 向收缩量为计算数据，记为  $X(-1.30, -1.28, -1.26, -1.25)$ ，测量数据记为  $Y(-1.91, -1.66, -1.72, -2.05)$ 。

找出 Z 方向的收缩量真值与仿真值的关系： $Y=k_2X+b_2$ ，其中  $k_2=-1.7966$ ， $b_2=-4.1212$ 。

可以发现，Y 向和 Z 向的斜率  $k_1$ 、 $k_2$  有差异，这可能与材料的各向异性或测量误差有关，需要进一步研究。

### 5.3 结果验证

使用得出的公式，结合仿真数据，计算 -40℃ 和 -20℃ 下的理论真实形变，与测量值进行比较。比较的方法是：用理论真实形变与测量值求差值，观察差值是否满足正态

分布。

表 5-1 Y 向形变仿真数据 (-20℃)

Y 向形变仿真数据 (-20℃)	横向位置 0.6	横向位置 187.9	横向位置 466	横向位置 653.9
探测高度 0	0.00E+00	-8.37E-02	-3.06E-01	-4.54E-01
探测高度 320	8.77E-03	-9.06E-02	-3.07E-01	-4.73E-01
探测高度 685	-4.31E-02	-1.09E-01	-3.41E-01	-4.89E-01
探测高度 990	-6.07E-02	-1.18E-01	-3.60E-01	-4.83E-01
探测高度 1300	-1.44E-02	-1.59E-01	-3.77E-01	-5.20E-01

通过公式  $Y = 1.334 * X - 0.0374$ ，得出形变计算数据如下表：

表 5-2 Y 向形变计算数据 (-20℃)

Y 向形变计算数据 (-20℃)	横向位置 0.6	横向位置 187.9	横向位置 466	横向位置 653.9
探测高度 0	-3.74E-02	-1.49E-01	-4.45E-01	-6.43E-01
探测高度 320	-2.57E-02	-1.58E-01	-4.46E-01	-6.68E-01
探测高度 685	-9.49E-02	-1.83E-01	-4.92E-01	-6.90E-01
探测高度 990	-1.18E-01	-1.95E-01	-5.17E-01	-6.81E-01
探测高度 1300	-5.66E-02	-2.50E-01	-5.40E-01	-7.30E-01

Y 向形变测量数据如下表：

表 5-3 Y 向形变测量数据 (-20℃)

Y 向形变测量数据 (-20℃)	横向位置 0.6	横向位置 187.9	横向位置 466	横向位置 653.9
测量高度 0	-3.76E-02	-1.39E-01	-4.33E-01	-6.38E-01
测量高度 320	-2.66E-02	-1.67E-01	-4.29E-01	-6.57E-01
测量高度 685	-9.32E-02	-1.88E-01	-4.92E-01	-7.02E-01
测量高度 990	-1.26E-01	-2.06E-01	-5.11E-01	-6.93E-01
测量高度 1300	-5.91E-02	-2.71E-01	-5.55E-01	-7.50E-01

计算值与测量值的差值依次如图 5-3 所示：



图 5-3

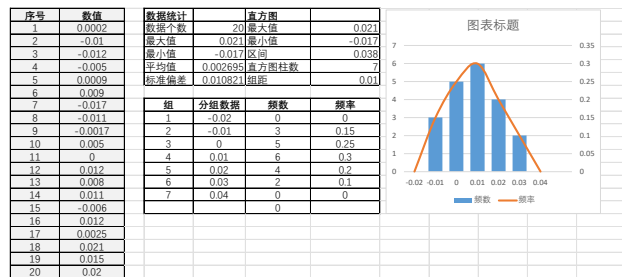


图 5-4

总之，深低温环境下焊接结构的力学行为是一个涉及材料科学、力学、传热学及制造工艺等多学科交叉的复杂问题。本文利用现有试验条件，通过直观对比、有限元分析等手段，结合大量试验和检验数据，试图发现规律，从而对研

使用数据分析和图标公式，生成如图 5-4，经观察，差值符合正态分布规律。

## 6 结语

冻存架的层高是影响存储密度的关键数据，通过有限元仿真和线性公式预测冻存架层高在深低温冰箱内的收缩量，对精准设置安全余量，提高存储密度有重要参考价值。

本文通过仿真和实测以及数据对比分析，得出如下结论：1) 证实冻存架这种复杂且较精密的焊接结构，在 -80℃ 至常温的温度区间内，遵循线性热膨胀规律。这一点对于分析其它形状的焊接结构的低温收缩形变有参考价值。如焊接立柱、焊接底板等。2) 横向收缩和纵向收缩的系数不同，经初步分析，可能跟板材的各向异性<sup>[4]</sup>以及制造工艺相关，需要进一步研究。3) 水平层板向上或向下的低温弯曲仿真形变量非常小，低于测量误差水平，无法通过仿真建立公式。这可能因为仿真过程未考虑折弯应力。4) Solidworks 仿真模块在分析低温收缩形变中能起到足够准确且稳定的数据支持，可以作为计算热膨胀变形的辅助手段。

鉴于以上结论，结合实际工作需要，对未来的研究工作提出以下展望和要求：1) 基于材料的各向异性，分析冻存架的制造变形是否与板材的折弯和组配方向有关，找出控制制造变形的的方法。2) 分析不同厚度的不锈钢板材，低温膨胀系数是否有差异。3) 分析不同材料，如不锈钢、铝件、塑料是否同样遵循线性膨胀规律。4) 用“焊缝”取代“全局交互”后，分析焊接件的低温形变趋势，以及焊点位置的影响。<sup>[5]</sup>5) 研究反复降温 - 复温的影响，如是否产生局部塑性变形，焊缝是否开裂等。6) 研究可否通过线性膨胀系数判断材料属性，甚至辅助辨别材料真伪。7) 优化仿真关键参数，优化仿真流程，提高仿真环境与真实环境的一致性，建立标准化仿真模型和流程。

发和制造有建设性的指导，达到缩短研发周期，提高制造质量的目标。

## 参考文献

- [1] 李明, 张华. 深低温环境下材料力学性能研究进展[J]. 低温工程, 2021(3): 1-7.
- [2] 闫景玉, 马俊飞, 陈龙, 等. EBM成形零件后处理工艺研究[J]. 教练机, 2016
- [3] 陈雷, 王璇, 张旭, 等. 非正交测量机下REVO测量系统控制与应用研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2016
- [4] P.J. Withers, H.K.D.H. Bhadeshia. 焊接组织与性能的预测[J]. Materials Science and Technology, 2001, 17(4): 355-365.
- [5] 王珂, 刘文辉, 陈静, 等. 结构焊接残余应力的仿真计算与实验研究[J]. 焊接技术, 2020, 49(8): 5-9.

# Construction and Optimization of the Legal Compliance Management System for the Whole Process and Life Cycle of Engineering Contract

Xuerui Xie

CCCC First Highway Engineering Co., Ltd., Seventh Engineering Co., Ltd, Zhengzhou, Henan, 451450, China

## Abstract

Against the backdrop of stricter engineering industry regulations, increasing project complexity, and cross-border business expansion, traditional segmented compliance management has proven inadequate to address the comprehensive risk control needs of engineering contracts. These contracts are characterized by extended performance cycles, substantial transaction values, multi-stakeholder participation, and strong technical interdependencies. Establishing a full lifecycle compliance management system tailored to industry-specific requirements has become a critical priority for sustainable development in engineering enterprises. Grounded in risk management theory, process management theory, and technology empowerment theory, this paper defines the core principles of full lifecycle compliance management for engineering contracts. It analyzes the three-dimensional compliance risk transmission mechanism involving “stakeholders-process-technology” and constructs a four-dimensional integrated management framework encompassing “legal compliance-engineering processes-technology empowerment-industry adaptation,” while proposing differentiated optimization pathways.

## Keywords

Engineering contract; Full life cycle; Management system; Engineering adaptation

## 工程合同全流程全生命周期法律合规管理体系构建与优化

解雪蕊

中交一公局第七工程有限公司, 中国·河南 郑州 451450

## 摘要

工程行业监管趋严、项目复杂度提升与跨境业务拓展背景下, 工程合同因履约周期长、标的额巨大、参与主体多元、技术关联性强等特性, 传统分段式合规管理已难以覆盖全流程风险防控需求, 构建适配行业特性的全生命周期合规管理体系成为工程企业可持续发展的核心要务。本文以风险管理理论、流程管理理论及技术赋能理论为支撑, 界定工程合同全生命周期合规管理核心内涵, 解析“主体-流程-技术”三维合规风险传导机制, 构建“法律合规—工程流程—技术赋能—行业适配”四维一体管理体系, 设计差异化优化路径。

## 关键词

工程合同; 全生命周期; 管理体系; 工程适配

## 1 引言

当前工程企业普遍存在合规管理与工程流程脱节、跨部门协同不足、数字化合规工具应用滞后等问题, 招投标串通、违法分包、质量安全违规等合规风险频发, 不仅引发法律纠纷与行政处罚, 更制约企业市场竞争力提升, 尤其在“一带一路”倡议下, 跨境工程合规管理能力已成为企业参与国际竞争的核心门槛, 构建工程合同全生命周期合规管理体系具有迫切现实需求。本文聚焦工程行业特殊性, 弥补现有合

同合规管理研究对工程领域适配性关注不足的短板, 揭示工程合同合规风险“主体, 流程, 技术”三维传导机制, 丰富合规风险传导理论的行业化应用, 构建“法律合规—工程流程—技术赋能—行业适配”四维一体框架, 拓展合同合规管理体系的理论维度, 为工程管理、管理学跨学科研究提供新视角。

## 2 理论基础

### 2.1 核心概念界定

工程合同全生命周期结合行业特性, 界定为准备—招投标—签约—履约—变更—终止—归档七大连续阶段, 核心特征体现为周期长期性、主体多元性、技术依赖性与风险传导性, 单一阶段风险可通过合同文本、履约行为、技术衔接

【作者简介】解雪蕊(1996—), 女, 中国山东济宁人, 本科, 从事公路工程合约管理研究。

等载体扩散至全流程。工程合同法律合规是工程合同活动符合工程领域法律法规、监管规则、行业标准、企业内部制度及跨境工程目标国合规要求的全方位约束，涵盖主体合规、程序合规、内容合规、技术合规四大维度，兼具法律强制性与工程实操灵活性。工程合同全流程全生命周期法律合规管理体系，是以合规风险防控为目标，整合法律资源、工程流程标准、数字化工具、行业适配规则，覆盖七大阶段的系统性管理架构，核心要素包含组织、制度、流程、风险防控、技术支撑、行业适配、文化建设七大维度。

## 2.2 基础理论支撑

风险管理理论为工程合同合规风险“识别—评估—应对—监控”提供全流程逻辑，结合工程特性构建风险矩阵，实现风险发生概率与工程损失程度的可视化匹配；流程管理理论支撑合规要求与工程核心流程深度融合，提升跨部门协同效率；工程法学理论聚焦工程领域法律规范特殊性，明确工程合同与普通民事合同的合规差异，为主体资质、价款结算、质量责任等合规要点提供法律依据；技术赋能理论为AI、大数据、区块链等技术在工程合同合规审查、风险预警、电子归档中的应用提供逻辑支撑，推动合规管理从人工低效审查向智能精准防控转型。四大理论协同发力，构成工程合同合规管理体系构建的理论基石。

## 2.3 工程合同合规风险传导机制

工程合同合规风险传导包含几大要素，第一是风险源聚焦工程特有风险类型，如招投标串通、施工安全违规、跨境法律适用冲突等；第二是传导载体涵盖合同文本、履约行为、技术衔接、主体互动四类；还有就是传导路径呈现“主体-流程-技术”三维特性，纵向实现阶段间传导（如准备阶段资质风险→签约阶段合同效力风险→履约阶段索赔风险），横向实现主体间传导（如施工单位安全违规→建设单位连带责任→监理单位监管失职），技术维度实现关联传导（如施工技术不达标→质量合规风险→验收合规风险）；最后是传导阈值为风险突破法律规定、行业标准或合同约定的临界条件。基于系统动力学构建的风险传导模型，可清晰呈现风险累积效应与溢出效应，为精准防控风险提供靶向指引。

## 3 工程合同全生命周期各阶段合规风险识别

准备阶段核心合规风险集中于项目前置审批合规、主体资质合规、尽职调查合规，此阶段风险易成为全流程合规隐患。招投标阶段是合规风险高发期，核心风险包括串通投标、虚假投标、程序合规风险，违反相关强制性规定将导致中标无效并面临行政处罚。签约阶段风险聚焦主体不适格、合同条款合规、电子合同效力、签约授权合规，条款漏洞将直接引发后续履约纠纷。履约阶段周期最长、风险点最集中，核心合规风险涵盖工程质量合规、安全生产合规、环境保护合规、工期与价款合规、分包合规，该阶段风险易引发安全事故、质量纠纷与行政处罚。变更阶段因工程现场条件多变

成为合规薄弱环节，核心风险包括变更程序合规（未签订书面变更协议）、工程量合规（虚报工程量）、价款结算合规（变更价款未按约定计算）、技术标准合规（变更后技术标准不符合行业规范）。终止阶段风险体现在终止事由合规（无合法依据解除合同）、后合同义务合规（未移交完整工程资料）、工程结算合规（未按约定结清工程款）、争议解决合规（约定仲裁机构无管辖权）。归档阶段聚焦工程资料合规（资料残缺、未留存电子备份）、档案管理合规（涉密资料泄露）、电子档案合规（未符合数据安全存储要求），归档不规范将导致争议解决时证据缺失。

## 4 工程合同全流程全生命周期法律合规管理体系构建

### 4.1 体系构建基本原则

合法性原则为根本遵循，所有管理活动严格契合工程领域法律法规与行业标准；全流程覆盖原则贯穿合同七大阶段，消除合规管控断点；工程适配原则深度融合工程流程、技术标准与合规要求，兼顾合规刚性与工程实操性；多主体协同原则明确建设、施工、监理等各方合规责任，实现全参与主体合规联动；技术赋能原则依托数字化工具提升合规管理效率与精准度；动态适配原则可响应监管政策更新、工程技术迭代与市场环境变化，保障体系长效运行。

### 4.2 四维一体整体框架设计

构建“法律合规—工程流程—技术赋能—行业适配”四维一体核心框架，四维深度融合、协同发力。法律合规维度提供根本遵循，覆盖主体、程序、内容、技术四大合规维度，明确风险防控标准；工程流程维度实现合规与业务融合，将合规要求嵌入招投标、施工、验收等工程核心流程；技术赋能维度提供工具支撑，通过智能审查、数据预警提升合规管理效能；行业适配维度保障体系落地性，针对房建、基建、跨境工程制定差异化规则。同时划分四层层级结构：战略层明确合规目标、顶层组织与资源配置；制度层构建分级分类制度体系；执行层落地全流程合规实操；支撑层依托技术与文化提供保障，形成全方位、多层次的管理体系架构。

### 4.3 体系核心要素构建

组织架构构建“决策—管理—执行—监督—外部支撑”五级架构，管理层作为决策机构制定合规战略，合规管理部门统筹协调全流程合规工作，法务、业务、技术、安全等部门落实各阶段合规职责，内部审计部门开展合规审计与责任追究，工程律师事务所、合规咨询机构提供外部专业支撑，明确各主体合规权责边界。制度体系形成“基础制度—专项制度—操作规范”三级闭环。流程机制针对七大阶段设计标准化合规流程，准备阶段落实尽职调查与风险预判流程，招投标阶段执行招标文件三审与中标结果公示流程，签约阶段实施合同文本业务初审、法务二审、合规终审的三审流程，履约阶段建立合规巡查、风险预警、问题整改流程，变更阶

段执行“申请-审查-签约-结算”全流程管控，终止阶段落实事由审核与后合同义务履行流程，归档阶段规范资料收集、审核、存储流程，实现全流程合规管控闭环。风险防控要素建立动态识别、定量定性结合评估、多策略应对、实时监控的全流程机制，高风险采用规避+防控策略，中风险采用降低+转移策略，低风险采用接受+监控策略。文化建设要素培育“合规为先、工程为本、协同防控”的合规理念，构建分层分类常态化培训体系，将合规绩效纳入考核，建立合规奖励与责任追究机制，夯实全员合规根基。

## 5 工程合同管理体系优化路径

工程合同管理贯穿项目立项、招投标、施工、竣工结算全生命周期，是控制成本、防范风险、保障项目顺利推进的核心抓手。当前，部分工程领域仍存在合同条款不严谨、流程管控碎片化、信息化水平低、风险预警滞后等问题，制约项目效益提升。因此，构建科学、高效、闭环的合同管理体系，成为工程企业提质增效的关键。

优化合同管理体系，首要任务是完善制度框架，实现标准化管控，在企业上应结合行业规范与项目特点，制定覆盖合同起草、评审、签订、履行、变更、归档、纠纷处理的全流程制度，明确各部门职责边界与操作标准。在合同起草环节，推行标准化合同范本，针对勘察设计、施工、监理、采购等不同类型合同，细化通用条款与专用条款，明确工期、质量、价款、违约责任、争议解决等核心内容，减少因条款模糊引发的后续纠纷。同时，建立分级评审机制，由法务、财务、技术、造价等部门联合评审，重点审核合同合法性、合规性、经济性，从源头规避法律风险与成本失控风险。其次，强化合同履行过程管控，构建动态监管机制。合同签订并非管理终点，而是履约管控的起点。企业应建立合同履行台账，实时跟踪工期进度、款项支付、质量验收、变更签证等关键节点，定期开展履约检查。针对工程变更、签证等高频风险点，规范审批流程，明确变更申请、审核、确认、计价的权限与时限，避免随意变更导致成本超支。在款项支付环节，严格按照合同约定与履约进度执行，将支付申请与进度报告、质量验收报告、发票等资料挂钩，杜绝超付、漏付现象。此外，加强与参建方的沟通协调，及时解决履约过程中的争议，保障合同目标落地。

还有就是推进信息化建设，提升管理效率与精准度，传统人工管理模式易出现信息滞后、数据失真、归档混乱等问题，难以适应大型复杂工程的管理需求。企业应引入合同管理信息化系统，整合合同起草、评审、履约、结算、归档等功能，实现合同数据的集中存储、实时共享与智能分析。

通过系统设置风险预警规则，对逾期付款、工期延误、合同到期等事项自动提醒，变被动应对为主动防控。同时，利用大数据技术分析合同履行数据，总结成本偏差、风险高发环节等规律，为后续项目合同谈判与管理优化提供数据支撑。

最后要加强人才队伍建设，夯实管理的基础，合同管理兼具专业性与综合性，要求管理人员具备法律、造价、工程技术等多领域知识。企业应定期开展合同管理培训，内容涵盖民法典合同编、行业规范、案例分析、信息化系统操作等，提升管理人员的专业素养与风险识别能力。同时，建立激励与考核机制，将合同管理成效与绩效考核挂钩，激发管理人员的责任心与积极性。工程合同管理体系优化是一项系统工程，需以制度为保障、以过程管控为核心、以信息化为支撑、以人才为基础，构建全流程、闭环式管理模式。通过持续优化合同管理体系，企业能够有效防范法律与经营风险，控制项目成本，提升项目管理水平与经济效益，在激烈的市场竞争中实现可持续发展。

## 6 结语

本文明确工程合同全生命周期合规风险具有阶段累积性、主体关联性、技术依赖性特征，“主体-流程-技术”三维传导路径清晰，七大阶段核心风险点已全面识别；构建的“法律合规—工程流程—技术赋能—行业适配”四维一体管理体系，包含七大核心要素与四大运行机制，可实现工程合同全流程合规管控。对工程企业而言，需结合自身工程类型与规模构建差异化合规管理体系，加大智能合规工具投入，强化跨部门跨主体协同，培育全员合规文化；对监管机构而言，应完善工程行业合规指引，建立合规激励机制，加强跨境合规监管协同；对第三方服务机构而言，需开发工程专用合规科技产品，提供专业化合规咨询与培训服务，形成多方协同的工程合规管理生态。

## 参考文献

- [1] 黄新华,张敏.国有企业工程合规管理体系的构建与效能检验[J].管理科学学报,2022,25(05):189-200.
- [2] 武晨.数字化赋能工程合同合规管理的路径与实践[J].中国流通经济,2024,38(03):102-110.
- [3] 张剑锋.工程合同履行阶段合规风险传导机制与防控策略[J].工程管理学报,2024,38(01):78-83.
- [4] 林雅楠.FIDIC合同条件下跨境工程合规管理适配路径[J].国际工程与劳务,2023(08):67-70.
- [5] 王珺.工程质量终身责任制下合同合规管理优化研究[J].建筑科学,2024,40(02):156-162.
- [6] 曹伟.跨境工程合同外汇与劳工合规管理实践[J].对外经贸实务,2023(11):45-49.

# Intelligent Control and Energy-saving Effect Analysis of Building Electrical Lighting System

Jie Gao

China Architecture Design & Research Group Co., Ltd., Beijing, 100044, China

## Abstract

In the context of the increasing demand for building energy conservation, the intelligent upgrade of the electrical lighting system has become the key path to reduce building energy consumption. This paper deeply explores the technical principles and practical application scenarios of the main intelligent control forms such as sensor control, dimming control, and centralized linkage control from the core logic of intelligent management of building electrical lighting. By combining the application requirements of different building types such as residential buildings and public buildings, it analyzes the energy-saving mechanism of each intelligent control form. The research shows that intelligent control, by precisely matching lighting demands and energy supply, can effectively prevent wasteful lighting consumption and significantly improve the energy utilization efficiency of the lighting system. The purpose of this paper is to provide practical reference for the intelligent transformation of building electrical lighting systems, helping the construction industry achieve the goal of energy conservation and reduction.

## Keywords

Building electrical; Lighting system; Intelligent control; Energy-saving effect

## 建筑电气照明系统的智能化控制与节能效果分析

高洁

中国建筑建筑设计研究院有限公司, 中国 · 北京 100044

## 摘要

建筑节能需求出现提升态势背景里, 电气照明体系的智能化升级变为削减建筑能耗的关键道路。本文从建筑电气照明智能化管控的核心逻辑, 深刻探究感应管控、调光管控、集中联动管控等主要智能化管控形式的技术原理和现实应用场景, 联合民用建筑、公共建筑等不同建筑种类的运用需求, 剖析各类智能化管控形式的节能作用机理。研究显示, 智能化管控借助精准搭配照明需求和能源供应, 能够有效防止无效照明耗费, 明显提升照明体系的能源利用效率。本文目的是给建筑电气照明体系的智能化改造提供贴近实际的实践参照, 助力建筑领域达成节能降耗目标。

## 关键词

建筑电气; 照明体系; 智能化管控; 节能成效

## 1 引言

伴随城市化进程的推动, 建筑能耗在社会总能耗中的占比持续上升, 其中电气照明能耗属于建筑日常运营能耗的重要构成部分。在当前绿色低碳发展观念的引导之下, 传统照明体系“长时开启长时发亮”“亮度保持固定”等粗放型运行模式已经不能满足节能需求, 智能化管控技术因为能够实现照明体系的精准化、高效化运行, 逐渐变成建筑照明改造的主要方向。有别于传统照明管控依靠人工操作的局限性, 智能化管控通过融合传感技术、自动管控技术等, 让照明体系可以依照环境改变、人员活动等实际需求自主调节运行状态, 既提升照明使用的便捷程度, 又能够最大程度减少

能源浪费<sup>[1]</sup>。本文聚焦于建筑电气照明体系的智能化管控, 深刻剖析其核心管控形式和节能效果, 给实际建筑照明体系的优化升级提供实用参照。

## 2 建筑电气照明体系智能化管控的核心逻辑和技术基础

### 2.1 智能化管控的核心逻辑

建筑电气照明智能化管控的核心逻辑为“按照需求供应光线”, 也就是通过各类感知装置捕捉建筑内部的人员活动、自然光强度等实时信息, 经过管控模块处理, 精准调节照明灯具的开关状态和亮度等级, 保证照明供应和实际需求高度契合。传统照明体系之所以能耗较高, 核心问题在于不能动态回应需求改变, 例如白天自然光充足情况下灯具仍然正常开启、人员离开之后灯具没有及时关闭、不同区域的照明亮度没有依照使用场景调节等, 这些状况都会造成大量无

【作者简介】高洁(1986—), 男, 中国北京人, 本科, 高级工程师, 从事建筑电气设计类研究。

效能耗。智能化管控通过“感知—判断—调节控制”的闭环运行，从根源之处解决传统照明体系的粗放型运行问题，实现照明能源的精细化运用<sup>[2]</sup>。

## 2.2 智能化控制的基础技术支撑架构

照明体系的智能化操控需要依靠基础技术的协同运作，这些技术并非繁复的高精尖技艺，而是于建筑领域已广泛运用的成熟技术，具备较强的实践落地属性。其间，传感技术乃达成“感知”效能的核心要件，常见者有人体感应传感装置、光线传感装置等，人体感应传感装置可捕捉人员的进入与离去状态，光线传感装置能实时探测环境自然光的明度；自动控制技术系实现“调控”功能的关键要素，通过控制器对传感信号的分析处置，生成相应的控制指令，驱动灯具完成启闭或调光动作；除此之外，简易的联动通信技术可实现多个照明区域或不同设备之间的协同操控，保障照明系统运行的持续性。这些基础技术的交融应用，为智能化操控的落地提供了可靠支撑，无需复杂的系统架构便可达成核心节能目标<sup>[3]</sup>。

## 3 建筑电气照明系统主流智能化控制模式及应用实践

### 3.1 感应控制：精确契合人员活动需求

感应操控是建筑照明智能化应用中最具实践属性的方式之一，其核心在于通过人体感应传感装置检测区域内是否存在人员活动，进而自动控制灯具的启闭。依据应用场景的差异，感应操控主要分为红外感应与微波感应两种类型，红外感应适用于封闭性较强的室内区域，诸如住宅走廊、卫生间、地下车库等；微波感应则适用于开放性较强、人员流动频繁的区域，例如商场通道、写字楼走廊等。

在实际应用当中，感应操控的设置需结合区域使用特征调整参数，譬如住宅走廊的感应延迟时长可设定为30秒左右，规避人员短暂经过时灯具频繁启闭；地下车库则可设定为“有人时全亮、无人时低亮待机”的模式，既保障人员通行安全，又减少能源消耗。这种操控方式无需人工介入，能有效解决传统照明中“人走灯未灭”的问题，尤其适用于人员流动无规律的区域，是降低无效照明能耗的基础手段<sup>[4]</sup>。

### 3.2 调光控制：适配环境光线与使用场景需求

调光操控是通过调节灯具的发光强度，使照明亮度始终维持在符合使用需求的合理区间，避免因亮度过高造成的能源浪费。调光操控需结合光线传感装置实现闭环操控，光线传感装置实时探测环境中的自然光明度，控制器依据预设的照明标准，自动调整灯具的输出功率。同时，调光操控还可结合场景需求进行预设，例如办公室可预设“办公模式”“会议模式”“午休模式”等不同明度等级，满足不同使用场景的照明需求<sup>[5]</sup>。从实际应用状况来讲，调光控制于自然光丰裕的区域节能成效格外凸显，例如商场的中庭部分、写字楼的靠窗范围，白昼可借助调光操作降低灯具的发

光程度，对自然光加以充分运用；当处于夜间时分或自然光匮乏之际，便自动将亮度提升至标准数值水平。此种控制形式不光能够实现节能目的，还可以对照明的舒适程度进行提升，规避固定亮度所引发的视觉疲惫现象，在民用建筑物以及公共建筑物当中都具备广泛的应用意义与价值。应当予以留意的是，调光控制需要与可进行调光的灯具搭配使用，像LED灯具这类，当前LED灯具已然成为建筑照明领域的主流选取对象，为调光控制的具体落地实施提供了优良的硬件根基条件。

### 3.3 集中联动控制：达成全建筑照明的统筹规划管理工作

集中联动控制是面向大型公共建筑（例如商场、医院、写字楼）照明系统的智能化控制手段，通过构建集中控制平台体系，达成对全建筑多个照明区域的统筹规划管理以及联动调节控制。这种控制方式不仅对感应控制、调光控制的功能进行了整合汇集，还能够结合建筑内部其他系统（如空调系统、安防系统）的运行状况开展联动操作，形成更为高效的节能运行模式形态。在实际应用场景当中，集中控制平台能够对各区域照明灯具的运行状态实施实时监控，管理人员可以通过平台进行远程操作，对照明参数加以调整和改变，也能够预先设置不同时段的照明模式情形，比如商场在营业高峰时期启动全区域标准照明模式，非营业时段则仅仅保留通道部位以及应急照明部分；写字楼在工作日正常开启办公区域的照明设施，周末则只保留公共区域的基础照明配置。

## 4 建筑电气照明智能化控制的节能效果剖析

### 4.1 降低无效照明能耗，提升能源利用效能

智能化控制最为直接的节能效果体现于降低无效照明消耗方面。在传统照明系统架构当中，由于对人工开关存在依赖情况，极易出现“人员离开而灯具未熄灭”“白昼时分灯具依然开启”等状况，这些无效照明消耗在照明总能耗当中占据较高比例份额。而感应控制借助对人员活动的自动检测功能，能够在人员离开之后及时关闭灯具装置，从根本源头处避免了因人员疏忽大意所导致的无效能耗问题；光线感应功能与调光控制相结合，能够对自然光进行充分利用，减少白昼时段灯具的能源消耗数量。比如在办公建筑的靠窗区域范围，通过光线感应调光操作，白昼时光能够使灯具亮度降低50%以上，有效减少了不必要的能源支出情况。

### 4.2 延长灯具使用寿命，降低综合能耗成本

智能化控制架构除可缩减照明运行阶段的能耗数值，还能借助灯具运行状态的优化流程实现使用寿命的延长效果，以间接形式达成建筑综合能耗成本的降低目标。传统照明系统体系内，灯具设备的频繁开关操作及长期满负荷的运行模式会加速设备的老化损坏进程，造成更换频率的提升状况与维护成本的增加情形。而智能化控制模块中的调光功能组件可规避灯具处于长期满功率的运行状态，达成光源损耗

的减少成果；感应控制机制则能防止灯具因无人管理的客观状态出现长期开启现象，实现运行时间的降低目的。以地下车库场景采用“人员存在全亮度、人员缺失低亮度”的感应调光模式为例，灯具设备的运行负荷参数与运行时间指标均呈现大幅降低态势，使用寿命可实现30%以上的延长幅度，既达成灯具更换费用的减少效果，也完成更换环节人工成本与材料能耗的降低任务。

#### 4.3 适配不同建筑类型需求，实现差异化节能

各类型建筑实体的照明需求存在显著差异，智能化控制体系可通过控制模式的灵活调整手段，达成差异化的节能成效表现，促使节能方案与建筑实际使用需求形成更高契合度。在民用建筑范畴内，住宅结构的走廊区域、卫生间空间等人员流动规律不明确的部分，采用人体感应控制方式可有效杜绝无效照明现象，取得显著节能效果；卧室空间、客厅区域等场所则可应用调光控制技术，结合人员活动状态参数与使用需求指标实施亮度调整操作，实现节能目标与舒适体验的兼顾平衡。在公共建筑领域中，商业业态的营业区域需保障充足的照明亮度水平以优化购物体验感受，采用光线感应调光控制技术可以利用自然光源的同时维持照明质量标准，达成节能目标的同时不影响商业运营活动；医院建筑的病房区域需要柔和持续的照明环境，运用调光控制技术结合感应控制手段，可在医护人员巡查作业时提升亮度等级，在患者休息时段降低亮度水平，既满足医疗场景的需求条件，又实现能耗数量的减少结果。此种差异化的节能模式体系，使智能化控制技术在不同建筑类型场景中均能发挥最优节能效果表现。

### 5 建筑电气照明智能化控制应用的注意要点

#### 5.1 建筑实际需求导向的控制方式选择策略

智能化控制方式的选取行为需以建筑实体的实际使用需求为根本出发点，规避盲目追求技术复杂程度的行为倾向。针对小型民用建筑类型，如普通住宅建筑、小型商铺实体，采用基础的感应控制技术与调光控制技术即可满足节能需求目标，无需投入成本较高的集中联动控制系统装置；针对大型公共建筑类型，如写字楼建筑、商业综合体，鉴于区域构成复杂、人员流动频繁的客观特性，集中联动控制系统能够更优实现统筹管理效能，提升节能效果水平。

#### 5.2 注重系统的稳定性与维护便捷性

智能化照明系统于稳定状态下的运行，乃保障节能成

效的根基所在。于系统设计环节以及安装流程当中，需对成熟且具有可靠性的设备与技术加以选取，以防范因设备产生故障，进而致使照明系统难以开展正常运行的状况。与此同时，需对系统维护的便捷属性进行考量，择取操作简便、维护成本处于较低水平的控制系统，为管理人员日常开展检修工作以及实施参数调整提供便利条件。

#### 5.3 兼顾节能效果与使用舒适度

智能化控制的核心目标，是在确保照明使用具备舒适程度的前提下，达成节能的目的，不可为了对节能效果进行追求，而对照明质量造成损害。在开展调光参数的设置工作时，需将人体视觉方面的需求进行结合，防止出现亮度过低的情况，对视线造成影响；在进行感应控制延迟时间的设置过程中，需对人员正常的活动节奏加以考虑，避免灯具出现频繁开关的现象，对使用体验产生不良影响。

### 6 结语

建筑电气照明系统所实施的智能化控制，借助“依据需求供应光线”的核心逻辑架构，与感应控制方式、调光控制方式、集中联动控制方式等进行结合，实现了照明系统的精准化运行模式，有效地对无效照明所产生的能耗进行了减少，提升了能源的利用效率水平。其节能成效不仅体现于运行能耗的降低层面，还能够通过延长灯具的使用寿命，对综合成本进行降低，并且能够与不同类型建筑的需求相适配，实现差异化的节能效果。在实际的应用场景当中，仅需将建筑的实际需求作为依据，对合适的控制方式进行选择，对系统的稳定性特征以及维护的便捷属性加以注重，对节能效果和使用舒适度进行兼顾处理，即可让智能化控制充分地发挥节能方面的作用效能。

#### 参考文献

- [1] 余本强.智能消防应急照明系统在建筑电气设计中的应用[J].新城建科技,2025,34(11):74-76.
- [2] 刘秋明.基于深度学习的建筑电气照明节能控制分析[J].光源与照明,2025,(10):12-14.
- [3] 徐志宏,张亮,田媛.基于既有建筑电气改造的照明系统节能方案[J].光源与照明,2025,(10):18-20.
- [4] 施林锋.建筑电气照明系统节能优化目标与方法[J].光源与照明,2025,(09):39-41.
- [5] 黄晓宇.建筑电气照明系统中高低压配电柜安装研究[J].中国照明电器,2025,(09):103-105.

# Data-Driven Intelligent Diagnosis and Optimization of Production Efficiency Bottlenecks in Coal Mining Faces

Xiongxiong Du

Shaanxi Huadian Yuheng Coal Power Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 719000, China

## Abstract

With the deepening of intelligent construction in coal mines, data-driven technology will be deeply integrated with coal mining processes, and the accompanying diagnostic methods and optimization strategies for production efficiency bottlenecks will promote the innovation of intelligent coal mining workfaces. This will enable the production system to have stronger adaptability, thereby making the production of the working face more efficient and stable

## Keywords

Data-driven; Intelligent coal mining; Production efficiency; Bottleneck diagnosis; Optimization strategy

## 基于数据驱动的智能采煤工作面生产效率瓶颈诊断与优化

杜雄雄

陕西华电榆横煤电有限责任公司, 中国·陕西 榆林 719000

## 摘要

随着煤矿智能化建设的深入推进, 数据驱动技术与采煤工艺将深度融合, 随之而来的生产效率瓶颈诊断方法和优化策略将推动智能化采煤工作面的革新。这将使生产系统具有更强的自适应能力, 从而使工作面生产变得高效稳定, 首先分析了复杂地质条件下工作面生产的关键环节、影响因素及其相互关系。然后介绍了数据驱动的诊断模型构建方法和智能化决策支持系统。最后介绍了生产效率优化方案的实施路径与效果验证。

## 关键词

数据驱动; 智能化采煤; 生产效率; 瓶颈诊断; 优化策略

## 1 引言

随着煤炭工业转型升级、智能化矿山建设的快速推进, 传统采煤工作面即将步入全面智能化阶段, 做好生产效率瓶颈诊断与优化工作至关重要。智能化采煤工作面的建设, 应以实现安全高效生产为目标, 所有技术应用都应服务于生产效率提升, 安全可靠运行和资源节约利用。在复杂多变的地质条件下, 与传统采煤方式相比, 智能化工作面具有更高的技术要求, 对生产管理提出了新的挑战。应加强数据采集与分析能力, 深入研究地质条件、设备状态和工艺参数对生产效率的影响, 挖掘数据价值, 充分理解生产过程中的关键环节及其相互关系, 构建科学的评价体系。然后, 在数据挖掘、人工智能和优化算法等方面开展深入研究, 对生产过程从多角度进行系统分析, 确定优化目标, 工艺参数和设备配置均达到最佳状态, 从而建立以数据为驱动, 以效率为核心, 以安全为保障, 符合智能化矿山建设要求的生产优化体系。

## 2 智能化采煤工作面概述

### 2.1 智能化采煤工作面的基本概念

智能化背景下的采煤工作面是实现煤炭开采全过程自动化、信息化、智能化的综合系统, 或能够自主感知、决策和执行的智能单元。在数据支撑的环境下, 智能化采煤工作面应具备实时监测、动态调整、协同控制等能力, 建立高效、安全的生产模式, 优化对工作面生产过程的管理。因此, 智能化采煤工作面的核心, 在于数据驱动的生产决策和工艺优化, 亦即: ①以实时数据作为决策的依据; ②把生产管理的重点从经验判断和人工干预转移到数据分析和智能决策上来, 在数据驱动的智能生产中; ③以数据融合和智能分析作为实现生产过程优化的关键手段。在数据应用中, 还需要建立完善的数据治理体系, 并将其纳入煤矿安全生产管理体系, 尤其是大数据分析以及智能决策当中, 需要全面评估地质条件、设备状态、人员操作带来的影响, 以此构建完整的诊断模型和优化方案, 保证生产过程安全可控, 同时能够提升其整体运行效率。

【作者简介】杜雄雄(1999—), 男, 中国陕西米脂人, 本科, 助理工程师, 从事电气工程研究。

## 2.2 智能化采煤工作面的发展现状

随着信息技术的快速发展和应用,智能化采煤工作面的建设水平和规模已显著提升,智能化采煤工作面的推广必须循序渐进、因地制宜。首先,在技术引进阶段,智能化系统是辅助工具,根据操作人员的经验进行生产管理;但当进入全面智能化阶段之后,要先建立数据基础,再实施智能化改造的策略。这不仅是技术升级的必然,更是安全和效率的保障。可见,智能化采煤工作面的建设应结合矿区实际条件,融合先进技术并适应现场需求<sup>[1]</sup>。其次,按照智能化建设下采煤工作面生产管理的要求和标准,智能化采煤工作面的建设水平和应用效果,现在在国内外不同应用场景中的成功案例可供参考。最后,对智能化建设的几点建议:①完善数据采集来支撑决策和优化;②加强系统的可靠性,尽量减少设备故障率和人为操作的失误;③加强人员培训;④加强数据安全防护和系统集成,增大智能化技术在煤矿生产中的应用比例。

## 3 数据驱动的生产效率诊断方法

### 3.1 数据驱动的生产效率评价体系

随着智能化矿山建设的不断深入,数据驱动的生产效率评价将更加精准,将成为衡量工作面生产能力和具有科学指导意义的评价体系。作为一个完整的评价体系,其核心是在满足安全生产和资源高效利用的前提下,使生产的各个环节达到最优状态,为生产决策提供科学依据。因此,评价指标体系需要涵盖采煤机运行参数、液压支架状态、运输系统效率,以及地质条件和人员配置的合理与否等,基本上由多维度数据构成,以确保生产安全为前提,综合考虑设备运行数据、环境监测数据和人员操作数据的关联性。从数据分析角度,对于生产效率诊断需要建立科学的评价模型,如运用机器学习及深度学习算法,能够通过数据挖掘对设备运行状态、地质条件变化等进行预测,这样才能对生产过程进行精准诊断,从而提出有效优化措施<sup>[2]</sup>。作为智能化系统更要合理地运用数据分析工具,以及先进的算法模型,保证诊断结果和优化建议能够相互印证,促使生产效率持续提升,也能提升决策的科学性和可靠性。

### 3.2 生产效率瓶颈诊断模型

随着大数据技术的广泛应用,数据驱动的生产效率诊断方法日益成熟。智能化生产诊断,是指利用数据挖掘和分析技术对生产过程进行监测和评估,例如数据挖掘、机器学习、深度学习等。但是,由于煤矿环境的特殊性,生产效率瓶颈诊断面临诸多挑战:①对数据质量的要求,即对数据完整性和准确性的要求;②对分析方法的要求,即数据分析方法对生产过程的适用性;③对诊断精度的要求;④对诊断时效性的要求:对诊断速度的要求,即对数据分析和诊断结果的实时性要求。而且,在复杂地质条件下,将多源异构数据与生产过程以特定方式关联与整合。因此,在考虑其对生产

各方面影响的基础上,做好这些数据在实际应用中的有效处理。随着人工智能技术的发展,促使诊断模型得以优化,数据分析也在向实时化、精准化方向推进,诊断系统应该构建完整的数据处理体系,其中应该包括数据清洗、特征提取等,同时要合理地应用分类、聚类等算法工具,对生产过程的状态进行识别及预测,以保证诊断结果更准确可靠。另外,更要整合多源数据、构建诊断模型,形成系统的诊断方法、完善的优化策略。

## 4 生产效率优化策略

### 4.1 优化策略的基本框架

随着智能化技术的不断进步,在进行生产效率优化时,将整合多源数据的分析结果,最终在工艺参数和设备配置的优化调整中实现突破,而工艺参数和设备配置的优化调整则仍需基于数据驱动的科学决策。这种优化方法确立了智能化采煤工作面将作为一个动态的、自适应的生产系统,设备和工艺的协调,向工作面生产提供稳定、高效和安全的运行保障,并实现持续优化,以提升其生产能力和资源利用率<sup>[3]</sup>。同时,应建立完善的优化决策机制和执行反馈系统,优化建议可以实施,但执行效果需要持续监测。智能化优化应形成闭环管理,在对地质条件、设备状态、工艺参数、人员配置及生产环境、数据质量、诊断结果和优化建议等要素的综合分析,形成科学的优化方案和实施计划。另外,还要关注优化措施对生产安全及其长期效益的影响,加强安全评估和效果验证等方面的管理工作。

### 4.2 生产效率瓶颈的识别与分类

1) 地质条件制约。随着开采深度的增加,地质条件将向复杂化发展,由于煤层赋存条件的不确定性,地质数据的准确性也会降低,地质条件的复杂性,则生产效率也会受到相应的影响。另外,还包括断层发育和煤层厚度变化的地质特征的不确定性,这是影响生产效率的关键因素,它受到地质勘探精度和数据整合程度的影响。2) 设备协同问题。随着工作面推进速度的提高,设备协同由人工经验根据现场情况调整,设备的协同配合往往难以精确控制,这对安全生产来说都是隐患,给效率提升带来障碍。3) 数据应用不充分。包括数据采集不全面、数据处理不及时等问题。在生产的管理中,管理者从经验的角度出发,会忽视数据的价值,导致决策的科学性不足,系统也难以优化;并且,随着对数据价值的认识,系统可以实现智能决策,生产效率的优化也将更加精准,甚至达到最优的生产状态,这些都对数据应用提出了更高要求,原来的简单数据分析方法已不能满足需求。除了引入先进算法来提升诊断精度外,也可以采用多模型融合策略,以便更全面地分析生产过程中的各种因素。4) 人员技能不足。例如:由于操作人员的技能不足导致设备性能不能充分发挥是常见问题。5) 系统集成度不高。系统中有些模块存在接口不兼容的问题,而模块之间的数据交互往往是

系统整体性能提升的关键,这样就会对生产效率的全面提升带来阻碍。6)环境因素影响。众所周知,恶劣的作业环境会给生产带来不利影响,而这往往是难以避免的。

诊断工作要精准识别效率瓶颈,使诊断结果的准确性和可靠性,相对于传统的经验判断来说更为科学。如何构建高效的数据驱动诊断方法,是智能化采煤工作面建设的核心任务。

#### 4.3 优化策略的实施路径

1)对地质条件的适应性和设备性能来说,需要建立动态的地质模型、设备性能预测及工作面布局的优化设计。2)对生产过程控制来说,智能化优化必然使生产过程更加协调并实现动态平衡:一旦出现异常,容易影响整个系统的稳定性,因此需要实时监测、智能预警或自动调整的控制策略来保障系统的稳定性和可靠性。3)生产效率优化策略应从技术层面和管理层面进行分析,评估技术可行性和管理适应性。一方面,针对特定地质条件,提出针对性的优化方案,例如以复杂地质条件为背景,提出自适应调节的控制策略,在考虑设备性能的同时,综合考虑地质条件变化的影响和环境因素的制约。另一方面,在原有的优化基础上引入新的优化方法,例如基于深度学习的优化方法,就是在传统优化方法基础上融合了人工智能技术的优化策略。4)优化策略的验证与迭代。由于生产环境的动态变化、不确定性,因此在实施中还要关注优化效果的持续评估。一种好的优化策略能适应不同地质条件和生产状态,并能平衡短期效益和长期发展的关系,以确保优化策略的持续有效性。

#### 4.4 优化效果评估体系

1)效率指标评估。随着数据分析技术和优化算法的发展,使得效率评估方面更加科学全面,例如生产效率指数等,它们衡量的是系统的整体效能,现在效率评估的要求更加精细。系统的评估指标,要求更加精确,例如工作面推进速度在采煤、支护和运输中的应用。数据驱动的评估方法和智能分析工具的应用。其中:生产效率指数为衡量系统达到最优状态而设定的指标和权重;优化效果指数为因实施优化措施达到预期效果而产生的效益评估。2)安全性能评估。安全生产是煤矿工作的核心,是效率提升的重中之重。目前,安全性能评估在智能化系统中都有所体现,但评估方法仍需完善。为了提高安全性能评估的科学性,需要关注以下方面:

确定安全评估的关键指标及风险预警的阈值设定;根据数据特征建立安全评估模型;对安全风险进行动态监测和预警;系统在运行过程中对安全状态进行评估,安全评估结果应实时反馈到生产决策中。3)设备协同评估。由于设备协同一般难以量化评估,因此,当进行优化时,将评估设备的运行状态、协调性和响应速度,系统的稳定性和可靠性。这就要求评估系统对协同效果进行定量的评估。

4)综合效益评估。例如,在生产过程中,环境因素的影响会更加复杂,因此进行优化效果评估时还必须考虑对环境因素的适应性。另外,可以在系统的评估基础上引入多维度评价和综合决策,例如系统引入了模糊综合评价对生产效率优化效果进行了评估,并得到了更加全面客观的评估结果。为了能够让优化策略实施有科学的依据,可以应用数据可视化、模型仿真等技术,使得评估结果能够达到直观展示、精准预测等目的,这样能够提升其应用价值。对于评估结果的分析还需要专业的技术支持,尤其要在数据分析上投入更多资源。

## 5 结语

智能化建设和数据驱动是煤矿发展的必然趋势,因此需要对智能化采煤工作面的建设、运行及优化策略等方面持续研究,以适应煤炭工业的高质量发展。数据驱动的生产效率诊断将更加精准化,智能化的优化策略也需要更加系统化。由数据驱动的生产决策的效率、安全性、稳定性、可靠性和适应性等都将不断提升,而且需要专业的技术支持。在智能化发展趋势下,数据驱动的生产优化已经取得了显著成效,它更趋向于精细化的管理,智能化技术的引导下,生产系统能够实现自主优化,更能提升决策的科学性,同时能够保障安全、高效的生产运行,在优化过程中需要关注地质、设备、人员等方面的协同配合,利用先进的数据分析手段与优化方法,保证生产效率持续提升。

#### 参考文献

- [1] 王国法,张建中,刘再斌,等.煤炭绿色开发复杂巨系统数智化技术进展[J].煤炭科学技术,2024,52(11):1-16.
- [2] 雷小平.基于数字孪生驱动的矿井智能监管平台研究[J].中国煤炭,2025,51(10):110-118.
- [3] 贾龙,张哲豪,石成虎,等.采煤机状态数据实时特效渲染技术[J].陕西煤炭,2024(003):43-45.

# Analysis of the Rapid Wall Construction Technology of the Step-type Seepage-proof Wall with Large Drift Stone and Gravel Layer

Ziquan Gao

Sinohydro Bureau 7 CO., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610213, China

## Abstract

Under conditions of deep cover layers and highly permeable riverbeds, dam foundation seepage prevention is often constrained by the random accumulation of large boulders, coarse sand, and gravel. This leads to easy deviation of the slot formation, instability of the slot walls, and issues such as slurry leakage and difficulty in joint formation. In engineering practice, a stepped arrangement is commonly adopted to create a gradual transition of the seepage prevention wall at different burial depths, balancing the depth of rock embedding and construction accessibility. Combined with a rapid wall-forming organization in layers and sections, the rhythm of “first breaking, then grabbing; first stabilizing the wall, then pouring” is solidified into each process. This paper discusses the stepped seepage prevention wall from the perspectives of its connotation, layered and sectional slot formation, and the coordination of wall protection and pouring, based on the common equipment and field control experience of China’s water conservancy and hydropower projects.

## Keywords

Water Conservancy and Hydropower Engineering; Large Drift Stone and Gravel Layer; Step-type Seepage Retaining Wall; Layered and Segmented Construction; Rapid Wall-forming Technology

## 大漂石砂砾石层台阶式防渗墙分层分段快速成墙工艺探析

高自全

中国水利水电第七工程局有限公司, 中国·四川·成都 610213

## 摘要

在深厚覆盖层与强透水河床条件下, 坝基防渗常被大漂石、粗砂与卵砾石的随机堆积所制约, 成槽易偏斜、槽壁易失稳, 并伴随泥浆漏失与接头成型困难等问题。工程上多采用台阶式布置, 使防渗墙在不同埋深区段形成逐级过渡, 兼顾嵌岩深度与施工可达性, 再配合分层分段的快速成墙组织, 把“先破碎后抓取、先稳壁后浇筑”的节奏固化到各道工序。本文结合中国水利水电工程常见装备与现场控制经验, 从台阶式防渗墙内涵、分层分段成槽、护壁与浇筑协同等角度展开讨论。

## 关键词

水利水电工程; 大漂石砂砾石层; 台阶式防渗墙; 分层分段; 快速成墙工艺

## 1 引言

在水利水电工程防渗墙施工中, 复杂地质条件往往制约着造孔进度、成孔质量, 特别是在含有大漂石、大孤石的砂卵砾石地层中施工难度更大<sup>[1]</sup>。如何有针对性地采取措施以保障防渗墙施工质量成为一项重要研究内容。传统连续墙在此类地层中容易出现成槽效率低、泥浆被稀释以及接头套接不顺等现象, 工期与质量风险叠加。依据现行行业规范对导墙、泥浆、槽孔建造和墙段连接的要求, 可将台阶式布置与分层分段施工相结合, 形成可复制的快速成墙流程。

## 2 大漂石砂砾石层台阶式防渗墙

大漂石砂砾石层台阶式防渗墙, 是指在含漂石、卵砾石与粗砂互层的强透水地基中, 沿防渗轴线修建的地下连续墙体, 其墙底或墙顶随基岩起伏、覆盖层厚度变化分区, 在纵向剖面上形成“深浅相接”的台阶过渡, 并以一期、二期槽段套接构成连续止水帷幕。大漂石砂砾石层台阶式防渗墙构造特点是在同一防渗轴线上, 根据覆盖层厚度、基岩起伏和施工可达性, 把墙底高程分区控制, 使纵剖面呈阶梯式变化, 并在台阶交接处通过墙段搭接实现连续止水。该型式多见于山区河谷电站围堰及坝肩连接段, 当河床漂石粒径大且分布离散时, 若全线采用同一深度与同一成槽装备, 往往会出现深段工效过低或浅段扰动过大等矛盾。台阶式布置把超深段、常规段和过渡段分开控制, 使漂石密集区采用“钻孔

【作者简介】高自全(1983—), 男, 中国四川简阳人, 本科, 工程师, 从事水利水电施工及管理研究。

破碎+抓斗取渣”的强攻方案，而在砂砾为主区段采用效率更高的抓取或铣削工艺，从而兼顾速度与线形。墙体材料常选泥浆下混凝土或塑性混凝土，以满足抗渗与变形协调要求，墙厚与墙深可按渗流条件与施工能力综合确定。现行水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范将适用范围拓展至墙深不大于100 m、墙厚200~1200 mm，并对导墙、泥浆与槽孔建造提出要求。工程实施时，台阶交接段是控制重点，需要保证接头套接顺畅、墙底入岩连续、槽壁不塌不缩，并通过及时的清孔换浆与连续浇筑，避免台阶处形成局部渗流薄弱带<sup>[2]</sup>。

### 3 大漂石砂砾石层台阶式防渗墙分层分段快速成墙工艺探析

#### 3.1 台阶分区与槽段排布

在大漂石砂砾石层台阶式防渗墙施工中，台阶分区与槽段排布应先把地层差异转化为可执行的施工单元。分区实施时，测量人员将勘探剖面、钻孔岩样与试验槽记录对照，沿里程逐桩标识漂石密集带、砂砾主控带及入岩过渡带，在台阶起止布设双控制点并写明目标孔深和允许超挖，控制点采用钢钉定位并设置保护桩，台阶高差以设计嵌岩深度控制且预留0.5~1.0m搭接，遇孤石先向导孔探深并随钻修正分区界线，避免同槽突然加深导致卡钻与偏孔。槽段排布以抓斗开度、起吊能力和钻机回转半径为约束，槽段长度常取3~6m，深段宜短以压低偏斜累积，浅段可适度加长提升单幅效率，接头宜布置在粒径变化小的均质段并避开卵漂混杂区，一期槽段端孔加强垂直度检查并必要时先钻后抓校孔，二期套接孔沿同一垂直面下设接头管，接头管入槽前清刷槽壁并校正定位，控制错台与缩颈。平台与导墙随台阶转折同步加宽硬化，平台平整度满足设备行走且转折处设置排水坡和沉浆沟，导墙轴线复核不少于两次并预留抓斗换位和吊管净宽，导墙内侧可设置限位块便于抓斗对中，导墙强度与刚度满足孔口约束要求，孔口标高统一到同一基准面，泥浆面保持在导墙顶下0.3~0.5m并及时补浆稳壁。组织节拍采用深段先行、浅段跟进，深段成槽后立即转入清孔、换浆及导管下设准备，浅段同步完成钢筋笼、接头管和导管试拼装，泥浆站按峰值连续供浆并配置不少于一槽段置换量的应急储浆，备用泥浆泵与一套导管随班待命，抓取出渣、吊装下管与水下浇筑错峰衔接，确保同一作业面连续转序<sup>[3]</sup>。

#### 3.2 先导孔破碎与复合成槽

为实现大漂石砂砾石层台阶式防渗墙分层分段快速成墙，先导孔破碎与复合成槽需按漂石尺度精细组织。其一，漂石富集且粒径跨度大的部位应沿墙轴线成列或错列布置先导孔，孔距宜控制在0.8至1.5 m并随漂石含量加密，孔深下穿漂石层并超出本层底界0.5至1.0 m，钻进采用短护筒保护孔口并以黏土浆稳壁，随时校核孔位与孔斜，先导孔形成可贯通的破碎带后再进入成槽。其二，成槽宜采用冲击

反循环钻机配合液压抓斗的钻抓节拍，主孔以冲击破碎控制进尺并及时排渣，抓斗从主孔向两侧分次扩挖副孔并做到随挖随清，遇大漂石先抓取外露块再回补破碎，槽内保持稳定水头与浆液性能，分段接头处加密复抓确保槽宽一致。其三，遇孤石或硬夹层卡阻时应先复测导墙、槽壁稳定及垂直度偏差，设置警戒线后采用重凿冲砸或短时间歇冲击处理，控制冲击能量避免过破扰壁，处理后先捞除大块再用反循环带走碎屑并复核孔斜，必要时补设旁孔分散受力，防止碎块堆积引起抓斗抱死与偏槽扩大。其四，分层成槽遵循上部整形下部攻坚的次序，浅层先成形控制槽口尺寸与台阶顺度，下挖每1.0至1.5 m即进行垂直度校核与槽宽复测，过渡段通过加密先导孔和分次抓取保证转折顺直，临近本层设计底界时改用小开口慢抓并清理台阶面，分层接续处及时补浆封闭防止回填，并将破碎、扩槽、清渣在同一班次闭合完成，段间接续短槽先行长槽跟进，减少停机回弹和重复进退。每段完槽后测量槽底高程并核对渣浆密度，确认无回填后转入下一段。

#### 3.3 护壁泥浆与漏失抑制

针对大漂石砂砾石层台阶式防渗墙分层分段快速成墙，护壁泥浆宜按配制、使用、再生建立可核查指标体系，开槽前以膨润土或聚合物复配成基浆，依据抓斗进尺与层位变化分级调控黏度、比重、静切力和失水量，随槽抽检含砂率与胶体率并形成批次台账，成槽期间泥浆面稳定控制在导墙顶面下0.3~0.5m且高于外水位以保证护壁压差，补浆遵循随缺随补并同步校核密度回升速度。当地下水补给强引起泥浆被稀释时，应在槽口设置挡水坡与回浆沟形成封闭循环，净化端采用旋流除砂与沉淀分级回收，补配端按耗浆量连续加料并控制搅拌时间，现场同时布置水位观测孔，避免降排水过猛造成水位突降，数值研究提示泥浆面波动与水位下降会显著放大槽壁变形风险。对易漏失的漂石架空带应提前布置堵漏料和投料工具，发现漏失后先暂停抓挖并抬高浆面，按细料先行、粗料跟进的原则分次投放粘土团或纤维类堵漏料，短时静置促成泥皮封堵，再以复抓挤密校正槽底松散区，必要时在孔口回填压重并记录漏失速率，确保渗流只在局部耗散而不发展为贯通通道。渗透压力过大导致进尺变慢时，可在台阶外侧临时施打拉森钢板桩或设置黏土封闭带，并配合井点降排水分层降头并记录泵排量，控制槽外水头梯度与抓斗抽吸扰动，缩短单段暴露时间，接头段优先布置在浅部并采用短槽段组织，成槽合格后立即换浆清孔并连续水下浇筑，避免停工引起护壁压力衰减<sup>[4]</sup>。

#### 3.4 清孔换浆与连续浇筑

为保持大漂石砂砾石层台阶式防渗墙成墙节拍，应把清孔、换浆与导管浇筑压缩成紧凑的连续工序。其一，终孔后立即以反循环抽吸配合抓斗多次捞渣，清孔管分靠近端头、中部及台阶转折处移位作业，使孔底高黏砂浆和漂石间软泥团被充分带出，台阶内侧角隅用小抓斗细捞，并用测深

锤复核沉渣,槽底沉渣宜控在 50 mm 以内,并同步清理孔口废浆废渣,复测槽宽、垂直度与台阶面平整度后再转入换浆。其二,换浆以一次置换为原则,置换量不小于槽内容积 1.0 倍,先排出高含砂旧浆再补入低含砂新浆,循环时连续检测密度、漏斗黏度和回浆含砂率,宜将密度控制在 1.03 ~ 1.10 g/cm<sup>3</sup>、黏度 16 ~ 20 s、含砂量 ≤ 1%,新浆宜提前熟化,补浆时保持液面稳定并随挖随补,并把换浆完成到下放导管的间隔压缩在短时间内,避免泥皮增厚导致混凝土上返阻力增大或孔壁失稳。其三,浇筑采用导管法分段连续下料,首盘混凝土宜增大入管量并保持导管距槽底 5 ~ 10 cm 起灌,待形成稳定通道后将埋深控制在 2 ~ 6 m,浇筑中维持料面均匀上升,导管提升宜小幅、缓慢并随时校核埋深,当遇漂石孔隙贯通时可适度提高坍落度并保持连续供料,必要时在台阶转角处加密导管微调位置,导管接头需试压检查,停料时间宜控制在 20 min 以内,减少夹泥、离析与局部断料。其四,接头管或止浆板起拔应结合现场同条件试验确定初凝窗口,一期槽段控制浇筑速度使接头管底端持续埋入混凝土并保持合理埋深,起拔采用小行程分次拔管并及时拆节,实时记录起拔阻力变化,常见阻力可按 0.3 ~ 0.5 t/m 核算机械能力,当阻力突增应暂停起拔并补料稳面,拔出后对接头孔与台阶面用刮刀清理附着泥皮,套接前对接头孔口用小抓斗修边,二期槽开挖前完成接头面修整与尺寸复核。

### 3.5 套接接头与台阶过渡处理

针对大漂石砂砾石层台阶式防渗墙分层分段快速成墙,接头套接与台阶过渡必须在成槽阶段前置控制,并将接头区作为先导控制线。其一,墙段连接宜采用接头管或止浆板预制搭接边,入槽前逐项检查管体直线度、锁口间隙与密封件压缩量,清理锁口内泥砂并涂抹润滑剂,下放时设置导向架和保持架限位,锁口顶部宜设置防泥帽并加密测斜复核,遇漂石碰撞应及时回提校正,必要时在接头区预埋灌浆管并封堵管口以便后续补强。其二,一期槽浇筑后拔管以同条件初凝与起拔阻力变化为判据,采取分级匀速提拔并维持浆液液面稳定,避免负压回吸夹泥,出现抱死倾向先小幅往复松动

再起拔,拔管完成后立即用扫孔器或抓斗扫孔整形,清除碎渣与漂石小块并以稠浆回填保护界面,扫孔后复测孔径与垂直度并及时补抓修正。其三,台阶过渡段按深段压浅段布置,深段端部预留嵌入长度并设置护角块或加密切削轨迹控制塌边,二期成槽优先沿接头面侧切入并限制侧向超挖,通过短进尺反复修整接头线形与台阶拐点,必要时采用小冲程反打剔除夹带漂石和软弱夹层,避免形成反台阶、局部偏薄或夹石夹泥导致渗流短路<sup>[5]</sup>。其四,二期清孔阶段采用钢丝刷钻头与换浆循环联合刷洗接头面,清孔过程中复测孔底沉渣厚度并控制终孔指标,待返浆含砂率和黏度稳定后再浇筑,浇筑时保持导管理深连续并记录混凝土面提升速度与回浆量,接缝返浆偏稀或夹砂时及时停灌复刷并补灌微膨浆液,成墙后采用槽段测厚与线形复核,对疑似缺陷区取芯检验并实施封堵修补。

## 4 结语

大漂石砂砾石层台阶式防渗墙施工的难点集中在成槽可达性、槽壁稳定与接头可靠性三方面。采用分层分段快速成墙工艺时,应把台阶分区、复合成槽、泥浆护壁、清孔浇筑与套接处理形成连续的作业链,并在漂石密集区预留充足的工序机动空间。实践表明,只要关键控制点被固化到班组作业标准中,台阶式防渗墙完全可以实现高效率、稳定成墙。

### 参考文献

- [1] 陈帅,张微,于志进.含大孤石、漂石的砂卵砾石地层防渗墙造孔技术研究[J].水利水电施工,2024(6):36-38.
- [2] 赵先锋,罗庆松.长河坝水电站特大漂石架空地层防渗墙施工技术[C]//中国水利学会地基与基础工程专业委员会第十一次全国学术技术研讨会.0[2026-01-24].
- [3] 陈远大.砂砾石地层混凝土防渗墙槽孔建造质量控制[J].建筑工程技术与设计,2021(6).
- [4] 张太波.块碎石架空地层深孔防渗墙施工塌孔预防措施[J].水利建设与管理,2022,42(6):4.
- [5] 张廷华,蒋景东,李卓,等.何家沟水库大坝“台阶式”混凝土防渗墙质量综合物探检测与评价[J].水电能源科学,2023.

# Optimization and Engineering Application of Automation Tensioning Construction Technology for Slope Anchorage Cable

Xiangfeng Yan

Sinohydro Bureau 7 CO., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610213, China

## Abstract

Prestressed anchor cables are commonly used support measures for the stability of high and steep slopes in hydraulic and hydroelectric engineering. However, manual pressure control and tensioning are prone to operational fluctuations and reading errors, often resulting in uneven graded loading, discrete locking forces, and missing verification records. Automated tensioning, centered on a complete set of jacks and pump stations, integrates graded pressure application, load holding, elongation measurement, and locking into a unified rhythm, enabling stable execution of tension control and elongation verification. This paper combines the construction practices of China's hydropower station shoulder and powerhouse slopes, proposing implementable process optimization points focusing on equipment matching, graded tensioning, and compensation for locking losses, and provides organizational and acceptance strategies for engineering applications.

## Keywords

Water Resources and Hydropower; Slope Anchorage Cable; Automated Tensioning Construction; Process Optimization; Engineering Application

## 边坡锚索自动化张拉施工工艺优化与工程应用

严祥锋

中国水利水电第七工程局有限公司, 中国·四川·成都 610213

## 摘要

边坡预应力锚索是水利水电工程高陡边坡稳定的常用支护措施,但人工控压张拉易受操作波动与读数误差影响,常出现分级加载不匀、锁定力离散与复核记录缺失。自动化张拉以成套千斤顶和泵站为核心,把分级加压、持荷、伸长量量测与锁定组织为统一节拍,使张拉力控制与伸长值校核能够稳定执行。本文结合中国水电站坝肩与厂房边坡施工实践,围绕设备匹配、分级张拉和锁定损失补偿提出可实施的工艺优化要点,并给出工程应用的组织与验收策略。

## 关键词

水利水电; 边坡锚索; 自动化张拉施工; 工艺优化; 工程应用

## 1 引言

水利水电枢纽建设中,坝肩、洞口及厂房开挖常形成高陡边坡,岩体节理裂隙与爆破扰动叠加后,浅表松弛与深部滑移风险并存。预应力锚索凭借其强度高、施工简便及经济实惠等优点在边坡支护工程中得到了广泛的应用<sup>[1]</sup>。结合实践来看,锚索张拉阶段的受力控制直接决定锁定力水平与后期预应力衰减幅度,而工序交叉与人员差异会放大张拉偏差,影响边坡受力均衡。现行规范提出张拉力控制并以伸长量校核的双控思路,以保证张拉质量与可追溯性。本文从施工装备与作业方法出发,讨论边坡锚索自动化张拉的工艺优

化与工程应用。

## 2 边坡锚索自动化张拉施工工艺优化

### 2.1 设备标定与成套匹配优化

为确保边坡锚索自动化张拉在不同作业面实现可复制的力控精度,应把设备标定与成套匹配作为张拉工艺的首要校核环节。其一,设备进场前由项目试验室会同厂家对千斤顶、油泵、压力表及分配阀进行联合标定,采用分级加载至设计最大张拉力并保压读数,形成油压与输出力换算曲线和修正系数,现场按台班复核零点、回程灵敏度和卸载回摆,发现温漂或夹气迹象及时排气换油并复测加载区间。其二,依据锚具规格、钢绞线根数与控制应力选择额定吨位有余量的千斤顶,油泵流量与额定压力应覆盖同步张拉需求,高压油管按同等级耐压配套并统一长度,油路布置以短直为原则

【作者简介】严祥锋(1987—),男,中国四川南充人,工程师,从事水利水电施工及管理研究。

减少弯折与接头,连接后先做稳压检漏再投入作业,密封圈老化或渗漏立即更换并执行二次试压确认。其三,张拉前逐孔检查承压板与垫板平整度及孔口混凝土密实性,清理锚头端面浮浆碎屑并修整局部凸点,采用定位套筒校正千斤顶轴线与锚索中心线,锚头外露长度按工艺卡控制,夹片与锚环保持洁净干燥,必要时进行轻度预夹持,使坐楔受力均匀并降低偏心导致的滑移风险<sup>[2]</sup>。其四,每个作业面首先进行试张拉,按预紧、分级加载与保压程序检查回油通畅、阀组切换和压力保持稳定性,同时复核自由段长度、钢绞线顺直度及孔口导向摩阻,核对伸长量与换算力值偏差,偏差超限时先调整换算表并排查油路阻滞或渗漏,再进入成批张拉,发现异常伸长或压力波动即停机复核。

## 2.2 分级张拉与锁定损失补偿优化

为把边坡锚索初始受力稳定锁定在设计区间,自动化张拉宜将分级加载与锁定补偿作为一套成组控制动作组织。其一,加载按小步递增实施,起始荷载取目标值的10%~20%,复核油压、千斤顶行程与承压板贴合并核对油压标定换算值后再进入后续级次,宜按30%~40%、60%~70%、90%~100%逐级逼近,每级到位后保持2~3 min,终级持荷不少于10 min,使钢绞线弹性伸长、锚具内缩和围岩压密充分完成,并控制加压与卸载速率平缓,避免冲击致夹片扰动。其二,张拉以力值闭合为主,伸长值作过程校核,按自由段长度与弹性模量计算理论伸长并扣除锚具内缩,逐级量测实际伸长与回弹,若偏差出现明显超限或曲线突变,应先检查孔口偏心、钢绞线缠绕、千斤顶不同心及锚固段微滑移,再以小幅回卸复张方式恢复稳定状态,确认正常后方可继续。其三,锁定损失补偿宜先做代表性试验,记录回卸瞬间千斤顶回缩量、锚具压缩量与夹片滑移量,按同型锚具分组给出补偿系数并在同批施工中滚动修正,放张前将目标锁定力换算为超张拉力并在终级持荷末端完成补张,若为短自由段或低回缩锚具,应同步校核回缩比例避免过补<sup>[3]</sup>。其四,锁定操作采用短时恒压后缓卸放张,卸载过程中保持油压连续下降且不得跳降,夹片坐楔完成后复测外露钢绞线滑移量与锚头残余回弹,拆除千斤顶前应复核锚垫板与锚头同心并清理油污,必要时在30 min内复检锁定力并与测力计读数比对,将每级油压、力值、伸长、持荷时间、补张量及锁定回卸量完整填入记录表。

## 2.3 多孔协同与张拉姿态控制优化

面向边坡锚索成组布置的张拉工况,自动化张拉工艺应把多孔协同与姿态控制作为同一作业链条实施。其一,同一锚墩内多孔张拉宜采用对称交替或由中向外的序列,先以预紧力完成锚具就位与钢绞线理顺,再进入分级升压循环,配套多路分配油路保持统一节拍,单孔到级后稳压并读取压力与伸长量,待回缩量趋稳后转入相邻孔补偿加载,使锚墩受力逐步平衡,上一轮已锁孔在下一轮加载前应复核外露长度、夹片咬合及楔块坐入深度,出现滑移时采用小幅回张与

再锁定纠偏。其二,千斤顶与锚垫板的贴合姿态应在张拉前通过台座找平、垫片配比与支座限位校准,安装时以孔轴线、垫板中心线和千斤顶活塞行程三线同向控制,作业中持续检查承压面全幅接触、垫板翘曲及钢绞线束顺直度,若出现偏心受压、单侧先紧或夹片受力不匀,应立即卸压复位并调整垫片厚度,严禁带偏继续加压,以免锁定力离散与锚具磨损。其三,破碎带、卸荷裂隙或孔口涌水段应把分次加载与间歇观测固化为程序,初张阶段以较低压力确认孔口封闭和台座整体性,随后分级升压并在每级稳压期间观察锚墩位移、锚头回缩与渗水变化,伸长增量突变或回缩异常时应暂停,先补浆充填孔口松动区并加固连系梁,再按原级别复张复测后续级次,间歇期内避免相邻孔同时高压加载,待围岩变形趋缓后再继续升压。其四,锁定后按孔逐根核对锁定力、回缩量与夹片位置,锚头封闭与防护帽压紧后及时二次封浆,外露钢绞线清理涂脂并规范留长,雨季同步整治排水沟与滴水线,切割钢绞线前应复测外露长度并留出复张端部,封浆后检查孔口空鼓与裂缝并补封,现场资料同步记录锁定力与复测值以便交工。

## 3 边坡锚索自动化张拉施工工艺优化的工程应用

### 3.1 工序集成化组织与作业面布置

为将边坡锚索自动化张拉嵌入边坡支护的流水节拍,需以工序集成化组织统筹作业面布置。作业面划分宜以锚索排布、平台高差和运输路径为依据,将坡面分成若干张拉区段并设置固定泵站位并预留检修台位,泵站采用钢板或枕木找平并加设防滑楔块,千斤顶安放点与油管走向一次规划到位,管路沿平台内侧顺直敷设,转弯处用护槽与绑扎点限位,穿越人行通道时用桥架抬升并覆盖硬质盖板,落石区外侧布置护栏和缓冲垫,避免软管拖曳磨损与挤压渗漏。张拉进场应与孔内压浆终灌、锚墩混凝土龄期及喷护施工错峰衔接,开工前逐孔核对压浆量、变浆及封锚记录,抽检锚墩外观与强度指标,同时对锚具、夹片和千斤顶编号进行对照,确认孔口无回浆渗水、台座稳固后才组织批量张拉,若发现冒浆、夹泥或端面松动应先补封闭与加固并复检外露长度,再进入锁定工序。张拉实施应执行岗位分离的协同模式,油泵手负责分级升压、稳压与卸荷,量测员按级次同步读取油压与伸长并即时校核偏差,达到控制值后持荷至压力回落趋稳再记录,安全员在张拉端设置警戒区与防护挡板并指挥人员站位,交接班逐孔核对未完成级次、夹片磨损及备用密封件,工具锚、扳手与接头实行定置管理,减少停机。另外,边坡环境受风雨与温差影响时,作业区应设置临时遮挡、排水沟和防滑踏步,张拉前清理锚头泥砂并擦干端面水膜,低温条件下复核油温与钢绞线温差并适当延长持荷,锁定后立即封锚覆护,雨后复测锁定力并按程序补张<sup>[4]</sup>。

### 3.2 质量验收与过程复核

为使边坡锚索自动化张拉优化工艺在现场可控可验,

质量验收与过程复核应贯穿每根锚索的加载、锁定与复检全过程。其一，开工前由监理牵头与施工共同制定张拉验收清单和记录模板，逐孔明确设计锁定力、分级加载值、持荷时长、理论伸长量计算依据、实测伸长量、锁定后滑移量及异常处置栏，张拉前复核孔口混凝土强度与锚垫板坐面平整度，千斤顶与压力表按批次校准并在班前完成零位核对，记录须随张拉同步签认并与材料合格证、钢绞线批号一并归档。其二，张拉实施中按比例开展见证复核与旁站，重点孔位或软弱结构面段实行全过程核对，检查油压与荷载换算、分级到位与稳压不少于规定时间，稳压阶段记录压力回落、补压次数与锁定指令执行情况，确认锚头清洁、承压板贴合、夹片坐楔均匀及防护套筒未受卡阻，若伸长量偏离理论区间或锁定回缩偏大，应立即停机复核自由段长度、孔内摩阻及锚具状态后再继续。其三，锁定后设置复张拉抽检程序，宜在 24 h 至 72 h 内抽检一定数量锚索，复测前拆除防护帽并清理锚垫板端面，按原级次缓慢加载至复核荷载并稳定读数，结合回缩量与荷载保持情况判定预应力损失，必要时采取补张拉或调整锁定力，补张拉结束后复核夹片咬合和锚具回位，并按规定恢复防护与封锚。其四，完工验收阶段将现场张拉记录与基本试验或抽检拉拔试验结果进行对照，按规定检查锁定力水平、锚固段工作状态及台座受压与裂缝情况，必要时复核锚垫板局部压碎与螺母外露长度，并同步检查封锚灌浆饱满与防护层完整，试验曲线、原始记录、旁站单和复检单统一编号装订，形成孔号可追溯的资料链并纳入竣工档案。

### 3.3 安全风险控制与耐久保护

边坡锚索自动化张拉在提高张拉一致性的同时，也使高压液压与高处作业风险在锚头工位叠加，因此工程应用应以全过程控制措施落实安全与耐久要求。其一，张拉区按作业半径设置围挡与警戒线，油泵、阀组和千斤顶连接后先低压循环检查油管鼓包、接头锁紧和泄压通道，压力表校验在有效期内，确认无渗漏再分级加载。加载时操作手与观察手分工固定，锚具正前方设禁入区，人员不得跨越油管或触碰阀组，停泵后先卸压再拆管，压力异常或异响立即停机复核。其二，高陡坡面先整平平台并清除锚头周边危石，脚手架与

临边防护经验收后使用。人员全程系挂生命绳并配防坠器限位，锚头附近佩戴面罩与防护手套，搬运张拉横梁与油缸设置牵引绳防摆动，遇强风、降雨与结冰停止作业，夜间施工采用均匀照明并由专人统一口令指挥，防止视线不足引起设备偏载。其三，锁定完成后立即进行锚头封闭与防腐处理，外露钢绞线除锈后涂抹防护脂或包覆防护带，锚具外侧安装密封帽并以砂浆或细石混凝土封护孔口。渗水段增设导排槽与滴水管保持干燥，锚头裂缝采用修补材料分层封堵并补做表面防水，减少水汽沿缝隙进入锚具区<sup>[5]</sup>。其四，运行期管理单位宜按季度及汛后复查锚头区域，重点检查保护帽密封、渗水痕迹、台座裂缝与钢绞线锈蚀，对抽检锚索采用复核张拉核对锁定力与回缩量。发现密封破损及时更换并补涂防护脂，孔口封护松动及时修补，坡面排水沟与导水槽随淤随清，冻融敏感区结合裂缝发展及时复封，避免长期浸水与反复冻融作用。

## 4 结语

综上所述，边坡锚索自动化张拉的关键在于把分级加载、伸长量复核与锁定动作固化为标准节拍，并以成套装备与可检资料支撑全过程控制。工程应用中，作业面布置、工序衔接、质量复核与安全防护需要与张拉参数同等重视，才能在复杂地质与多工序交叉条件下保持锁定力稳定。施工阶段宜将锁定损失复核、锚头偏心检查和复张拉抽检作为常设控制点，确保异常能够及时处置。实践表明，按分级持荷与锁损补偿组织施工，可降低锚索锁定力离散度并减少返工。

## 参考文献

- [1] 谢华东.深厚覆盖层边坡预应力锚索施工关键技术与工艺优化[J].红水河, 2025(4).
- [2] 郭盼盼,龚晓南,魏支援.锚固段穿越双地层拉力型锚索拉拔力学模型及应用[J].中国公路学报, 2022, 35(12):10.
- [3] 张盼,穆晓东.浅谈某水利枢纽工程预应力锚索测力计联合标定试验[J].Architectural Design & Research, 2025, 6(9).
- [4] 杨善智.水库溢洪道预应力锚索施工技术的应用[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2023.
- [5] 严跃岗,袁朗冀,贾沼霖,等.两河口水电站消能区边坡锚索施工工艺研究[J].海河水利, 2023(4):64-67.

# Application Analysis of Backfilling and Consolidation Grouting Construction Technology in Hydraulic Tunnel

Siyang Li

Sinohydro Bureau 7 CO., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610213, China

## Abstract

When lining is completed in hydraulic tunnels for water diversion or flood discharge, improper treatment of the back cavity and surrounding rock fractures may lead to leakage, voids, and localized stress anomalies during operation. Backfilling and consolidation grouting, as common concealed reinforcement procedures, require simultaneous execution of slurry preparation, delivery, degassing, pressure stabilization, and hole sealing within confined spaces, coordinated with lining curing and tunnel drainage. In TBM segments, water-rich fractured zones, and karst tunnel sections, the process must emphasize water isolation, degassing, drainage, and re-grouting scheduling. This paper identifies actionable control points for backfilling and consolidation grouting based on current standards and typical engineering cases.

## Keywords

Hydraulic tunnel; Backfilling; Consolidation; Grouting; Construction technology; Application

## 水工隧洞中回填及固结灌浆施工技术的应用分析

李思阳

中国水利水电第七工程局有限公司, 中国 · 四川 成都 610213

## 摘要

引水、泄洪等水工隧洞衬砌完成后, 背后空腔与围岩裂隙若处理不当, 运行期易出现渗漏、空鼓与局部受力异常。回填与固结灌浆是常用的隐蔽加固工序, 需在受限空间内完成制浆、输浆、排气、稳压与封孔, 并与衬砌养护和洞内排水同步组织。在TBM管片、富水破碎带与岩溶洞段, 工艺组织更应强调隔离止水、排气导排与复灌安排。本文结合现行规范与典型工程案例, 就水工隧洞提炼回填与固结灌浆两项施工技术可执行控制点。

## 关键词

水工隧洞; 回填; 固结; 灌浆; 施工技术; 应用

## 1 引言

水工隧洞衬砌完成后, 由于围岩的地质、衬砌混凝土浇筑及混凝土终凝的收缩等原因, 在衬砌混凝土和岩面之间难免会出现缝隙, 拱顶甚至会出现脱空现象<sup>[1]</sup>。因此工程上通常按“先回填、后固结”的顺序组织灌浆处理。有鉴于此, 文章将通过查阅相关文献以及结合实践下就水工隧洞中回填及固结灌浆施工技术应用展开探讨, 以供参考。

## 2 水工隧洞中回填灌浆施工技术的应用

### 2.1 分段封闭与排气通道的布置

回填作业宜先把衬砌背后空腔划分为可控制的区段, 并以封闭与排气两条线同步布置, 使浆液充填过程具备可观察、可调整的条件。第一, 分段推进应顺洞轴坡度由低端向

高端实施, 同一段内先布置低位进浆口并逐孔上移, 进浆与排气按一进一排配对设置, 同时在高位留设排气与返浆通道, 形成气体上浮、浆液跟进的连续充填路线。第二, 端部封堵要做到强度与密封并重, 区段端部宜设置止浆墙或封堵块并配合止浆带, 灌前以试水检漏确认无贯通渗漏后再接入阀组, 封堵位置应避免施工缝薄弱区, 并预留拆除或二次开启的操作空间以便补灌。第三, 顶拱与拱肩应设置独立排气管或排气孔并保持畅通到稳定出浆, 排气管宜高出拱顶并加装阀门便于调节, 遇塌腔或不规则空腔时在最高点增设观察孔并设置简易量杯统计返浆, 确保气阻释放后再进入稳压充填阶段。第四, 区段长度宜结合洞径与浆液可泵性控制在四五十米量级, 区段交界处可布置复核孔核对饱满度及时并做好编号标识便于追溯, 孔深与空腔几何应通过成孔记录与探测复核, 必要时用探杆核对空腔高度变化, 并据此调整排气孔位置与管路走向, 使每段形成进浆、排气、观察相互对应的布置。

【作者简介】李思阳(1991—), 男, 中国四川眉山人, 本科, 工程师, 从事水利水电施工及经营管理研究。

## 2.2 浆材级配与稠度的现场适配

回填灌浆需在不同空隙尺度与渗水条件下形成可泵送、充填密实的浆体,浆材级配与稠度宜随现场响应调整。第一,细缝与衬砌接触面起灌宜用较稀纯水泥浆,开灌前先用清水或稀浆试注疏通管路并润湿基面,孔口配置止回装置,回浆由断续转连续后,再依据注入率下降、压力波动减小等特征分级加浓,并在短时停浆后按规范提出的注入状态选择继续用原配比或适当稀释恢复灌注,防止滤水结团引起假终止。第二,局部空腔大或夹带碎渣段宜改用水泥砂浆或细砂浆,砂料经筛分去除杂物,施工前用同批材料试拌核查流动性、密度与泌水,砂量以不堵管、不抬压为限,注入顺序采用少量纯浆扫缝后再上砂浆,掺砂分批加入并维持连续搅拌,必要时歇循环输浆,避免沉底离析与局部堵塞<sup>[2]</sup>。第三,TBM管片环隙或豆砾石回填料多为长距离连通空间,宜按仓段设置止浆环、封堵板与排气孔,并配合充气软管等分段隔离工艺控制串流,灌注由近端向远端递进,先以高流动浆液充填骨料孔隙并完成排气,再以较稠砂浆稳压补强,远端返浆稳定后转入限流稳压终止,必要时对末端补灌一至两次以消除空带。第四,制浆与输送应保持连续与均匀,搅拌时间、停浆间隔和水泥批次宜稳定,采用密度杯与流动度筒抽检,泵前对管路接头与回浆口作例检,高温季缩短停放并循环搅拌,停浆超限弃浆,配合比调整与注入量、返浆性状联动记录。

## 2.3 注入压力与止抬控制的操作细则

回填灌浆压力既要保证浆液进入空腔并实现饱满,又要避免衬砌抬动与止水构造受扰,因此现场应把压力设定、异常处置与终灌判据固化为可执行的操作细则。第一,灌前依据衬砌厚度、配筋与施工缝型式核定控制压力并落实到孔段记录,混凝土衬砌一般取0.2~0.3MPa,钢筋混凝土可取0.3~0.5MPa,遇薄弱部位再下调并以试灌校核,升压采用小流量分级递增,压力每上一个台阶即停留核对孔口渗漏、衬砌裂缝与回弹,异常先降压稳住后再调整比级与流量。第二,出现串浆、冒浆或邻孔压力突降时,现场先停升压并回到低压小流量,改用多孔并联稳压或分孔轮流重建浆路,利用阀门分区切换实现局部限流,必要时以较稀浆扫通后再按由稀到浓恢复,并同步巡查衬砌面与排气孔,避免高压强推引起空腔扩展或面层鼓胀。第三,止抬控制按有盖重灌浆要求布设抬动监测装置,拱顶、施工缝及止水带附近设置基准点并取得初始值,灌浆期间专人连续或按班次复测,单孔注入率设上限并保持供浆平稳,一旦监测出现抬动趋势或超过允许值即降压或停灌,待读数稳定后改用偏稠浆分次补灌并适当延长稳压时段。第四,终灌以规定压力下吸浆量明显衰减且稳压阶段保持稳定为主,稳压时间不少于5min,条件允许可延续至10min,并以排气孔由气夹浆转为连续浆体、返浆稠度接近设计比级作为复核,停泵后检查回压无异常,再以导管注浆法封孔并压抹平整,封孔砂浆达到规定强度后

拆管,最后冲洗泵管并记录终压、注入量、比级与稳压时间,并在孔口设置标识牌便于后续复灌。

## 3 水工隧洞中固结灌浆施工技术的应用

固结灌浆面向的是衬砌外侧围岩一定范围内的裂隙、破碎带与软弱夹层,通过注入浆液改善围岩整体性、降低渗透性,并为衬砌与围岩的共同受力创造条件。标准体系对固结灌浆的孔深、孔距、灌浆方式与质量检验提出了框架要求,工程实施中更需要围绕“孔网布置合理、分段分级清楚、效果可检验”三条主线组织。

### 3.1 孔网布置与孔深控制

水工隧洞围岩固结灌浆中,孔网与孔深需在地质条件、衬砌受力及施工工序约束下统筹确定。第一,布孔前复核中心线及拱肩、边墙控制点,放样后对孔号、孔口高程与设计孔深逐孔核对,结合围岩分级、裂隙产状与渗漏带沿拱肩、边墙加密,断层破碎带采用带状加密孔网并据编录修正孔向,使孔轴与主裂隙交切,孔位对称成网,孔距排距一般取2~4m并以试验微调。第二,孔深以覆盖松动圈并进入较完整围岩为准,深度宜不小于洞径或洞宽的0.5倍,钻进中依据返渣、涌水量及岩性突变及时校核,超挖和破碎段适当补深,遇软弱夹层或溶蚀带可超深,并按分段灌浆预留封塞与止浆段长度,孔深用钻机计数与钢尺复测双控,避免欠深<sup>[3]</sup>。第三,成孔控制以孔斜、孔径、孔壁稳定和孔内洁净度为主,孔径满足下管与封塞器安装,开孔用导向套管稳孔,钻进按进尺分段测斜复核,偏斜超限及时纠偏或补孔,灌前采用水或汽水冲洗至回水清洁,必要时二次扫孔并控制沉渣厚度,再开展压水试验,记录透水率与压力响应以确定分段和压力。第四,孔口采用预埋管或护壁套管连接,配置承压止浆盖头与阀组,封口用快凝砂浆或封孔浆体并先做低压保压检查,灌前校核压力表零点与管路通畅,发现孔口渗漏先处理后开灌,孔序按先周边后中间、按排分序加密推进,并在回填灌浆完成且满足强度与间隔后实施固结灌浆。

### 3.2 分段灌注与浆液变换

在水工隧洞固结灌浆中,分段灌注与浆液变换应围绕孔段裂隙的进浆路径与压力边界进行联动控制。第一,孔内宜采用封闭器自孔底向孔口分段推进的工艺,开灌前以清水循环或低压试压核对孔段通畅与坐封可靠,再按围岩完整性、吸浆速率及回浆稳定性确定段长,破碎及剪切带段宜控制在1.0~2.0m以便识别吸浆特征并及时调整,较完整岩段可放宽至2.0~4.0m以减少无效停泵时间,换段前应以低压回灌把管路与封闭器内残浆置换干净并复核孔口封闭,避免带浆起段导致假升压或串段。第二,浆液比级宜遵循由稀到浓逐级加密的节奏,起灌可选水灰比较大的水泥浆降低起灌阻力,随后依据压力上升速率、注入率衰减幅度与返浆稠度同步判定加浓时点,当压力基本不变而注入率持续减少,或注入率变化不大而压力持续升高时,现场不宜立即改

变水灰比,应先保持当前比级连续灌注并观察曲线,再结合单级累计用量与持续时间决定加浓,注入率出现异常波动时应先排查封闭器漏失、管路堵塞与孔内返水,排除异常后再调整比级,避免过快加浓引起孔内架桥堵塞<sup>[4]</sup>。第三,遇富水裂隙或明显涌水通道时,可先用中等水灰比水泥浆在较低压力下稳压充填,待回浆含砂量降低且孔段降压趋稳后再恢复常规分级,并可采用短停歇后复压的方法促使浆液向远端裂隙扩散,停歇时间以不致发生离析沉降为限,复压时应由低到高逐步升至该段控制压力并严格限顶,若出现返水夹气、返浆突增或压力骤降,应立即回退比级并复核坐封位置、孔口封闭与邻孔串通风险,必要时缩短段长并改用同水灰比新浆续灌以稳定回浆性状。第四,孔段结束宜采用组合判据控制,即在达到设计或该段控制压力后,注入率降至规定阈值并持续稳定一定时长方可停灌,工程上常用在最大设计压力下注入率不大于 1L/min 并延续灌注约 30min 的控制方式,同时结合返浆由浑转清且稠度稳定、压力波动幅度受控进行复核,停灌后可维持短时保压以利孔内浆体初凝,再及时封孔并完善原始记录,记录应逐段对应吸浆曲线、变换时刻、用量、停歇与复压节点及异常处置过程,便于同类地层参数复用与质量追溯。

### 3.3 效果检验与复灌组织

固结灌浆完毕后,应把检验、复灌与资料闭合并入同一施工回路,避免衬砌封闭前遗留渗透短路。第一,效果检验以检查孔配合孔压水试验为主,检查孔宜布设在围岩级别变化段、断层破碎带、渗水集中段等代表性与薄弱部位,并与相邻灌浆孔保持间距以避免近孔扰动,试验宜在该部位灌浆结束后约 5d 开展,通常控制在 3 ~ 7d 内,检查孔数量宜按灌浆孔总数的约 5% 控制,采用单点法分级加压,逐级稳压记录稳态注入率、回水含砂与返水现象,并与灌前指标对比判定孔段是否仍呈集中透水或存在短路。第二,灌后观测应覆盖洞内见水点、衬砌裂缝潮湿带、排水沟流量与集水井水位,宜在初期养护阶段加密巡查并形成断面台账,当出现新增渗点、原渗点扩展或排水量短期抬升时,应回溯对应孔段的分段吸浆量、压力波动与停浆条件,结合地质编录判断

是否漏灌、串通或封孔失效,并据此提出复灌孔位与分段范围。第三,复灌组织宜先查因再定法,封塞滑移、孔口漏压或管路回浆时,先复位封塞、补强孔口密封并复检稳压能力后再启动复灌,围岩回弹、裂隙再张开或浆脉不连续时,可将水灰比由稀向浓调整,分段长度缩短至 1 ~ 2m 并延长稳压,使浆液在稳压期内完成充填固结,对异常吸浆段可加密补孔并控制同环联灌的压差以削弱旁通。第四,封孔材料与封孔长度应与孔段压力等级匹配,常用水泥砂浆或微膨胀砂浆分层回填并保证有效封孔长度,封孔后以低压稳压复检孔口密封,孔口处应清晰标识孔号、日期、段深、最大压力与终止标准,同时将检查孔与复灌孔的试验曲线、吸浆记录、封孔参数及对应地质素描同步归档,便于运行期渗漏异常时按里程与孔段快速追溯到加固区段并组织补强<sup>[5]</sup>。

## 4 结语

回填与固结灌浆在水工隧洞衬砌成型后承担着填充空隙与改善围岩两类不同目标,现场管理的关键在于分区封闭、排气导排、浆材适配、压力控制与效果检验能否形成连续的施工逻辑。工程实践表明,将孔位放样、试验段校核、施工记录与复灌阈值前置到组织设计中,并在灌注过程中保持压力与注入率的同步判读,通常更易获得稳定质量。上述要点可为同类水工隧洞回填及固结灌浆施工的现场应用提供可执行的技术路径。

## 参考文献

- [1] 杜慧超.水工隧洞中回填及固结灌浆施工技术的应用[J].2023(12):25-27.
- [2] 董小虎,李丰年,杨培洲.固结灌浆技术在放空洞围岩处理中的应用[J].水利建设与管理,2024,44(4):71-77.
- [3] 尹广平.水工隧洞灌浆基础防渗处理技术在水利工程中的应用研究[J].工程管理,2024(6).
- [4] 尹广平.水工隧洞灌浆基础防渗处理技术在水利工程中的应用研究[J].工程管理,2024(6).
- [5] 吕秋影.浅析水工隧洞断层破碎带灌浆加固方法与效果[J].建设机械技术与管理,2024,37(2):124-127.

# Research on the Optimization of Quality Control Mechanism in Civil Engineering Construction Stage

Yonghe Zhang

School of Architecture and Civil Engineering Xinyang Normal University, Xinyang, Henan, 464000, China

## Abstract

With the continuous expansion of civil engineering projects, quality control during the construction phase has become increasingly important. This paper aims to explore the optimization path of quality control mechanisms during the construction phase of civil engineering projects. By analyzing the implementation of the current quality control system, the paper identifies existing problems and proposes corresponding optimization strategies. The article first reviews the current state of construction quality control in civil engineering, then systematically analyzes the quality control system, focusing on the construction and optimization measures. In combination with the application of information technology, the paper discusses the role and prospects of intelligent monitoring systems in construction quality management. Finally, it presents the implementation path for optimizing the quality control mechanism, aiming to improve the overall quality management level during the construction phase and ensure the safety and sustainable development of engineering projects.

## Keywords

Civil engineering; Construction phase; Quality control; Information technology; Optimization mechanism

# 土木工程阶段质量控制机制的优化研究

张永河

信阳师范大学建筑与土木工程学院, 中国·河南信阳 464000

## 摘要

随着土木工程建设规模的不断扩大, 施工阶段的质量控制显得尤为重要。本文旨在探讨土木工程阶段质量控制机制的优化路径, 通过分析当前质量控制体系的实施情况, 揭示存在的问题, 并提出相应的优化策略。文章首先回顾了土木工程施工质量控制的现状, 随后对质量控制体系进行了系统的分析, 重点讨论了质量控制体系的构建与优化措施。结合信息化技术的应用, 探讨了智能监控系统在施工质量管理中的作用与前景。最后, 提出了优化质量控制机制的实施路径, 旨在提升施工阶段的整体质量管理水平, 确保工程项目的安全与可持续发展。

## 关键词

土木工程; 施工阶段; 质量控制; 信息化技术; 优化机制

## 1 引言

土木工程作为国家基础设施建设的关键组成部分, 其质量直接关系到项目的安全性与耐久性。近年来, 随着土木工程项目规模的不断扩大, 施工过程中的质量控制面临着更多挑战。传统的质量控制机制虽然在一定程度上保证了施工质量, 但由于施工现场管理复杂、工程项目时间紧迫、以及人员配备等因素的制约, 传统模式下的质量控制效果不尽如人意。因此, 亟需在施工阶段引入更加科学、有效的质量控制机制, 以确保工程质量的可持续性与稳定性。本文将针对现有质量控制机制的不足之处, 提出优化策略, 并结合信息化技术的应用, 提出改进施工质量控制的路径和方法。

【作者简介】张永河(1986—), 男, 中国四川雅安人, 硕士, 高级工程师, 从事结构减隔震分析研究。

## 2 土木工程阶段质量控制现状分析

### 2.1 施工阶段质量控制的基本概述

土木工程施工阶段的质量控制是确保工程项目符合设计要求、达到预定功能与使用寿命的重要环节。在这一阶段, 施工单位需要对工程的每一个环节进行有效的监督与管理, 从施工图纸到材料、设备的采购, 再到现场施工的各个方面, 都需要进行严格的施工质量管理。施工质量控制通常涉及对施工材料的验收、施工工艺的检查以及施工过程的监督等多个方面。其核心目的是在保证施工安全的同时, 最大限度地降低工程缺陷, 确保工程在使用过程中能够稳定、持久地发挥功能。施工质量控制是一个系统化的管理过程, 涉及人员、物资、技术与管理等多个因素的协调。

### 2.2 当前质量控制机制的实施情况

目前, 土木工程施工阶段的质量控制机制普遍采用传统的质量管理模式。施工单位通过设立质量管理部门, 实施

质量监督与验收制度,来确保施工过程符合规范要求。然而,在实际操作中,由于人员素质参差不齐、管理方法过于单一以及施工环境复杂,质量控制的效果往往未能达到预期标准。大多数项目虽然能够执行基本的质量控制措施,但在复杂施工条件下,质量监控的覆盖面和时效性依然存在不足。此外,一些项目缺乏系统化的质量跟踪与反馈机制,无法在问题初期就进行有效干预,导致施工质量出现缺陷<sup>[1]</sup>。

### 2.3 质量控制存在的主要问题与挑战

目前土木工程施工阶段的质量控制面临诸多问题与挑战。首先,施工过程中的质量监控手段过于依赖人工检查,缺乏自动化和智能化的技术支持,导致检测工作耗时耗力,且易受到人为因素的影响。其次,工程项目中的质量标准、流程不够规范化,施工人员对质量控制的认识和重视程度存在差异,导致实施过程中出现偏差。第三,施工现场管理松散,现场监督不到位,导致一些潜在的质量问题未能及时发现并得到有效解决。最后,质量管理部门与施工单位之间的信息沟通不畅,无法实现实时、精准的质量监控和调整。

## 3 土木工程施工质量控制体系的构建

### 3.1 质量控制体系的理论基础

土木工程施工质量控制体系的构建需要依托先进的质量管理体系。在现代质量管理理论中,全面质量管理(TQM)和质量控制图(QC)是核心工具。全面质量管理强调从工程设计、材料采购、施工到维护的全流程质量控制,确保每个环节都能达到质量标准。质量控制图则是通过数据的收集与分析,帮助管理者发现施工过程中可能出现的问题,从而采取有效措施进行干预。此外,质量保证体系(QA)也是重要的理论基础,通过建立标准化流程,保障施工质量始终处于可控范围内。通过综合运用这些理论,能够在施工过程中形成一套完备的质量控制体系,确保工程质量的可持续性。

### 3.2 质量控制体系的关键要素与流程

土木工程施工质量控制体系的关键要素包括质量标准的制定、质量检查与验证、质量反馈机制、以及问题整改等。首先,建立明确的质量标准是保障施工质量的基础,这些标准应涵盖设计图纸、施工技术规范以及国家与行业相关的质量管理标准。其次,质量检查与验证是施工质量控制的核心,施工过程中的每一个环节都需要通过严格的检查与验证,确保每项工序都符合规定的标准。此外,质量反馈机制的建立也至关重要,通过定期的质量评估与反馈,及时发现施工过程中存在的问题,采取有效措施进行改进。最后,问题整改与跟踪是质量控制体系中不可忽视的一环,确保施工过程中发现的问题得到迅速解决,并防止类似问题的再次发生<sup>[2]</sup>。

### 3.3 质量控制体系的组织架构与职责分配

土木工程施工质量控制体系的组织架构应根据工程项目的规模与复杂度进行设计,通常包括质量管理部门、项目经理、施工队伍、材料供应商以及监理单位等多个组成部分。

质量管理部门负责整体质量控制工作的规划与实施,制定质量控制方针、目标与计划,监督各部门质量管理工作。项目经理在质量管理过程中起到关键作用,负责组织和调度施工资源,确保施工过程中的质量要求得到落实。施工队伍则负责具体的施工操作,遵循施工工艺与标准,确保每项工作符合质量要求。监理单位的职能是进行现场监督与验收,确保施工过程中不出现质量偏差。各职能部门之间的协调配合与职责分工是保证施工质量的重要保障。

## 4 土木工程施工质量控制优化的策略

### 4.1 施工前期质量预防控制措施

在土木工程施工阶段的前期,质量预防控制措施至关重要。施工前应对设计图纸、施工方案、施工材料以及施工技术方案进行详细审查与确认,确保各项准备工作符合设计要求和质量标准。首先,要进行施工现场的勘察与评估,识别潜在的质量隐患,制定预防措施。此外,施工队伍的选择与培训也是前期质量控制的重要环节,必须确保参与施工的人员具备足够的技术能力与质量意识。施工材料的采购也是前期质量控制的重点,所有材料必须通过严格的质量检测与合格证明,确保其符合工程要求。通过有效的前期预防控制,能够大大降低施工过程中质量问题的发生几率<sup>[3]</sup>。

### 4.2 施工过程中质量控制与管理

施工过程中,质量控制和管理的重点在于实时监督与动态调整。施工单位需要定期开展质量检查,确保施工工艺、施工材料以及现场操作符合标准。在施工过程中,应加强施工人员的质量培训与技术指导,确保每个环节都严格按照质量标准执行。施工现场的管理人员要时刻关注施工现场的环境变化,及时发现潜在的质量隐患并进行干预。同时,信息化技术的引入可以提升施工过程中的质量管理效率,通过智能监测系统对施工进度和质量进行实时跟踪,确保施工质量可控。施工过程中质量问题的及时识别与处理,是保障施工质量的关键。

### 4.3 施工后期质量评估与改进措施

施工后期的质量评估与改进是质量控制体系中的重要环节。完成施工后,应对整个工程进行详细的质量评估,评估内容应涵盖施工质量、施工工艺、材料使用等各个方面。评估结果应根据实际情况进行问题整改,尤其是对施工中存在的缺陷进行分析与处理。施工后期的质量评估不仅是对工程项目的总结,更为今后类似项目的质量控制提供了宝贵的经验。同时,应加强对施工单位与人员的绩效考核,确保施工质量管理水平不断提高。通过持续的质量改进,不仅可以提高当前项目的质量水平,也有助于提升未来工程项目的质量控制能力<sup>[4]</sup>。

## 5 信息化技术在施工质量控制中的应用

### 5.1 智能化监测系统在施工质量中的应用

云南澜沧江糯扎渡水电站施工引入了国内先进的大规

模自动化监测系统来提升施工质量控制效率，该系统共接入超过 5107 支内观传感器、超过 114 个测量机器人测点及 54 个 GPS 定位节点等多种监测装置，构成了包括形变、位移、沉降、温湿度等在内的全面监测网络。通过无线通讯与有线网络把各类监测数据实时传回监控中心，所有参数以分钟级频率更新，连续形成时间序列数据库，用以分析施工过程中土石坝体沉降趋势与材料性能变化。该系统每日自动采集数据量超过 10 万条，能够在变形超过预警阈值（如坝体沉降 >5 mm/日）时自动触发声光报警并生成导出报告，使现场施工管理团队可以及时调整施工节奏与压实措施。在动态监控下，糯扎渡工程在施工关键阶段的质量控制效率与现场安全性显著提高，相关监测数据被用于指导施工参数优化，有效降低了重大质量事故发生风险。

### 5.2 BIM 技术在施工质量控制中的应用

糯扎渡水电站施工广泛采用了建筑信息模型（BIM）技术构建三维数字化施工模型，并与施工进度、成本及质量检验数据集成，形成一套 4D BIM 质量控制平台。施工前通过 BIM 三维模型模拟关键结构节点，集成构件属性、材料等级、技术要求等详细参数，使施工团队能够在数字空间中提前检验构造可行性与潜在冲突。将 BIM 与工程进度数据联动后，可实现施工计划、现场结构安装与质量检验的动态对比。例如，通过 BIM 模型对堆石坝体分层施工厚度、纵横坡比等参数进行校核，保证每层施工误差控制在 ±10 mm 以内，施工误差数据与模型实时交叉验证，有效提升施工精度。BIM 系统还将质量检查数据自动归档，并根据质

量记录生成可视化统计图表，使管理者能够在施工过程中识别不符合项并及时调整。此外，BIM 模型推动了设计与施工单位的信息协同，使质量控制的各关键节点（如模板安装、钢筋绑扎、混凝土浇筑）都能够在模型中实现数字审核，从而减少了返工率并提升了整体施工质量保障。

### 5.3 大数据分析在施工质量管理中的应用

糯扎渡工程施工过程中产生了海量数据，涉及传感器监测数据、施工日志记录、材料检验报告和现场调度等。项目通过构建施工质量大数据平台，将上述不同来源数据纳入统一数据仓库，并通过数据清洗与标准化处理，使各类质量指标可被统一分析和决策支持系统调用。质量大数据平台运用了数据挖掘与统计分析算法，对历史施工阶段的监测数据与质量事件进行趋势分析，识别出施工不同工区的风险模式，例如在大坝中段土石方施工阶段，数据分析显示当日湿度超过 85% 且温差超过 10℃ 时，混凝土强度发展受影响的概率显著升高，平台据此提示施工调整灌浆速率及遮雨措施。大数据分析还能对传感器历史异常数据进行聚类分析，用于预测可能的质量问题发生点，为现场决策者提供概率预警<sup>[5]</sup>。在质量绩效评估方面，通过对现场检验合格率、隐患整改时效等建立统计模型，实现对施工单位和分包队伍的绩效参考，使质量控制更加量化和透明。借助大数据技术，该工程在施工质量合格率、施工偏差控制与风险预警响应速度等方面均实现了显著提升，为大型水利工程质量控制提供了技术支撑，详见表 1。

表 1 糯扎渡水电站施工质量控制数据分析表

监测指标	初始值	最终值	变化量	数据来源	变化百分比
坝体沉降	8 mm/日	5 mm/日	-3 mm/日	智能化监测系统	-37.50%
混凝土强度	25 MPa	28 MPa	+3 MPa	智能化监测系统	12%
施工进度符合率	80%	90%	10%	BIM 技术	12.50%
设备运行效率	75%	85%	10%	大数据平台	13.33%
质量缺陷返工率	8%	5%	-3%	BIM、大数据	-37.50%

## 6 结语

随着土木工程建设规模的不断扩大，施工阶段的质量控制变得愈发重要。本研究通过对现有质量控制体系的分析，提出了优化施工阶段质量控制机制的策略和路径。在深入分析土木工程施工质量控制现状的基础上，探讨了信息化技术的应用，特别是智能监控系统、BIM 技术以及大数据分析技术在提升施工质量管理中的重要作用。通过优化质量控制体系，施工单位能够更加精准地识别问题并及时采取应对措施，从而有效保障工程质量与安全。未来，随着技术的不断进步和应用的深入，质量控制机制的进一步优化将为土木工程的可持续发展提供坚实的保障，确保项目能够高效、

安全地完成。

### 参考文献

- [1] 刘达,陈天予.高层建筑土木工程技术质量的控制方法分析[J].中国住宅设施,2020,(08):50-51.
- [2] 王宝荣.浅析土木工程施工质量的控制[J].科技风,2020,(14):138.
- [3] 王功成.土木工程建筑施工阶段的项目管理策略探析[J].现代物业(中旬刊),2019,(10):108.
- [4] 张欢.浅谈建设工程项目施工质量管理[J].居舍,2017,(33):104-105.
- [5] 曹艳辉.土木工程施工阶段质量控制研究[J].建筑技术开发,2016,43(10):61-62.

# Exploring the Coordinated Development of Farmland Protection and Land Use in Land and Resources Management

Xiaomei Song

Natural Resources Bureau of Lanshan District, Linyi, Shandong, 276000, China

## Abstract

Against the backdrop of China's ongoing efforts to advance ecological civilization and safeguard food security, the challenge lies in balancing the tangible protection of farmland with the rational fulfillment of urban and rural development needs—a persistent dilemma. Drawing from my observations and experiences at the Natural Resources Bureau of Lanshan District, this article presents my perspective on this issue. The paper argues that the concepts of “farmland preservation” and “development” should no longer be viewed as mutually exclusive; instead, they must be integrated and advanced together. The core approach involves adopting a “systematic” methodology to enhance governance.

## Keywords

Farmland protection; Land use; Coordinated development; Territorial spatial planning; Land consolidation

## 国土资源管理中耕地保护与土地利用协调发展探析

宋小梅

临沂市兰山区自然资源局, 中国·山东 临沂 276000

## 摘要

在我国当前推进生态文明建设和坚决守住粮食安全底线的大背景下, 怎么做才能既把耕地实实在在地保护好, 又能合理地满足城乡建设等用地需求是一个令人头疼的矛盾。本篇文章, 就是结合我个人在兰山区自然资源局工作的一些观察和体会, 来阐述我对于这个问题的看法。文章认为, 不能再把“保耕地”和“要发展”看成是完全相互对立矛盾的两件事, 得想办法让它们携起手来、一块儿往前走。其中, 最核心的想法是依靠“系统性”的方法来改善治理。

## 关键词

耕地保护; 土地利用; 协调发展; 国土空间规划; 土地整治

## 1 引言

俗话说, “民以食为天, 粮以土为本”。耕地是粮食生产的命根子。尤其是在这这些年, 国际形势复杂, 端牢自己的饭碗就显得愈发重要。中央三令五申要守住十八亿亩耕地红线, 实行最严格的耕地保护制度, 这说明耕地保护是实实在在的国家大战略。但同时, 在这样的背景下, 我们地方要发展经济、要推进城镇化、要改善老百姓的居住环境、要开展一些产业项目, 哪一样都离不开土地。特别是像我们临沂兰山区这样正处于快速发展阶段的地方, 用地需求就更为旺盛。因此, 在我们日常的实际工作中, 经常就卡在了这个节点上: 既要落实耕地保护制度的展开, 严格保护耕地, 寸土不能轻易占; 又要满足各方为了发展的用地需求。倘若这个矛盾处理不好, 要么是耕地被挤占、耕地质量下滑, 从而威

胁粮食安全; 要么是地方发展束手束脚, 从而错过发展的机遇期。因此, 怎么在国土资源的精细化管理中找到一条路, 让保护耕地和保障合理用地需求这“两难”变成“两全”, 实现协调发展, 就成了一个非常紧迫、也非常有现实意义的课题。本篇文章就旨在对该问题进行深入剖析与探讨, 并结合一些相关理论与实践探索, 尝试提出几点尚不成熟的见解。

## 2 当前耕地保护与土地利用的主要矛盾表现

要谈协调, 首先得看清楚不协调的地方在哪儿。从我在工作中接触的情况来看, 矛盾主要体现在这么几个方面:

### 2.1 空间布局上的冲突

这是最直观的一层矛盾。按照新的国土空间规划要求, 我们要划好“三区三线”, 其中永久基本农田是重中之重, 要划足、划实、划准, 原则上不能动; 而城镇开发边界则是为了满足未来一段时间城市发展的需求。理想情况是两个地方各就各位、井水不犯河水。但实际上, 由于历史原因和早

【作者简介】宋小梅(1981—), 女, 本科, 中国山东临沂人, 工程师, 从事土地利用与保护工作研究。

期规划的前瞻性不够,很多优质耕地(特别是靠近城边、路边的地方)正好就在城镇发展的主要方向上,这就造成了“规划图”和“现状图”对不上的矛盾。这种矛盾直观地体现在:如果一些项目想要落地实施,经核查,发现其会占用永久基本农田;若试图调整项目边界,程序复杂且约束严格。这就好比在实际操作中遇到了难以调和的冲突,让工作进退两难。不仅如此,耕地本身也往往被道路、沟渠和村庄分割得比较零散,很难形成大片整齐、质量又好的地块。这不仅让大型机械难以施展,降低了耕作效率,也破坏了田间生态的整体性和平衡。

## 2.2 政策落实中的漏洞

国家出的政策本意都是好的,都是为了把土地管好、用好。但具体到基层落实的时候,有时候就会发现,政策和政策之间好像没完全对上,执行起来拧不成一股绳。就比如说“占补平衡”,它的初衷很清楚,就是建设要是占了一亩好耕地,你就得想办法在其他地方补上一亩质量和它差不多的耕地,不能让耕地总量和质量掉下来。这个想法是好的,但真操作起来,找一块各方面都能“对得上”的地来补,并不是件容易的事,这里面就涉及到规划和实际条件能不能匹配上的问题。但在过去很长的一段时间里,重心却更多放在了“数量平衡”上,有些地方为了完成指标,可能会去开发一些坡度较大、灌溉条件不好的地方作为补充耕地,这些地的质量、产能和生态功能,跟被占用的好地相比,存在较大的差距,这就是所谓的“占优补劣”。虽然现在越来越强调“占优补优、占水田补水田”,但实际操作的成本和难度都很大。再比如,自然资源部门在严管耕地“非农化”,但农业部门可能在鼓励发展设施农业、林果业。但如果在执行中拿捏不准分寸,就容易走偏。所以常常有这样的情况:部门出台的好政策,到了乡镇和村民手里,反而不知道怎么用才合适。时间一长,基层的同志怕触碰红线,做事难免更谨慎,有时宁可放慢步子,或者干脆不去动那些性质不太明确的地块。结果就是,一些本来能派上用场的边角土地也闲在那里,这其实也是一种浪费,和咱们希望协调发展的本意并不一致。

## 2.3 保护积极性的不足

耕地保护,不能光是政府一头热,最关键的是农村集体经济组织和广大农民有意愿、有动力长期去做这件事。然而现实情况是,单纯种粮的经济效益相对较低,尤其是与将土地用于发展养殖、搞农家乐、或者等待被征用所获得的补偿相比,吸引力不足。农民群体心里会有自己的经济考量:守着耕地种粮食,辛苦一年收入可能就那么多;但如果改变了用途,眼前的经济收益可能立竿见影。虽然国家对种粮有补贴,但总体而言,对于耕地所承载的关乎国家粮食安全的巨大正外部性价值和社会稳定价值,目前的补偿机制还难以完全覆盖和体现。也就是说,保护者付出的成本和获得的收益之间,存在不平衡。如果不能让保护耕地的人在经济上尝到更多甜头,甚至觉得“吃亏”,那么仅依靠法律宣教和行

政督查,保护的根基就不够牢固,易出现“上紧下收,上松下乱”的被动局面。

## 3 实现协调发展的核心思路:从对立走向协同

面对以上提到的矛盾,我觉得最重要的是转变思想观念。不能一谈保护,就想着把耕地圈起来,什么都不能动;也不能一谈发展,就只想着怎么去调整规划、占用耕地,得树立一个系统性的观念。具体来说,就是要把耕地看作是整个国土空间中一个非常重要的有机组成部分,而不是一个孤立的板块。它的健康存续,和周围的城镇、村庄、生态用地息息相关。协调发展的目标,好比精心打理一座花园,不能仅专注于保护花卉而不容许触碰,还需考量灌溉水渠的布局、人行小径的修筑以及其他花草的搭配。故而协调发展不是为了消除任何一方的需求,而是要让整个国土空间的功能更加优化、更加可持续。因此,耕地保护也得放在全域国土空间格局优化这个大背景下来谋划,追求的是生产空间(耕地、园地等)、生活空间(城乡建设用地)、生态空间(林地、水域等)的和谐共生,以实现“1+1>2”的整体效益。

## 4 推动耕地保护与土地利用协调发展的具体路径探析

思路明确了,关键还得有实打实的路径和办法。结合政策精神和我们地方的一些探索,我认为可以从以下三条路径去努力:

### 4.1 路径一:优化空间规划方案

(1)在划好范围的基础上,更注重怎么用好。划定好永久基本农田和城镇开发边界只是第一步,更重要的是在规划中,就为两者可能产生的“摩擦”预留缓冲和解决方案。比如,在城镇开发边界外缘,可以规划布局一些兼具生态景观和农业生产功能的“城市农业公园”或“绿色隔离带”。这些地方以保护耕地和基本农田为主,但同时还融入了休闲观光、科普教育等功能,在我看来,这样做不仅守住了耕地,美化了城市边缘景观,还为市民提供了休闲去处,缓解了城市扩张的压力。并且,这种农业公园靠近城市,能成为市民认识农业、体验农耕的窗口,潜移默化中提升了全社会珍惜耕地的意识,让保护工作多了一份社会支持。这就是一种空间的融合与功能的拓展。

(2)强调规划精细化,优化管理体系。在乡镇层级的国土空间规划(特别是详细规划)中,要对每一块土地的用途及强度做出更精准的安排。对于集中连片的优质耕地保护区,要坚决保障其农业用途;对于村庄内部的零散耕地、闲置宅基地,则可以在优先保障耕地面积不减少的前提下,通过规划引导,探索用于发展乡村民宿、农产品初加工等的新产业新业态,以充分利用土地资源。像这样,规划更精细了,管理和协调就有依据。

### 4.2 路径二:加强土地综合整治

(1)加大耕地保护的力度。通过整治,将项目区内零

星分散、质量不高的耕地，以及即可恢复为耕地的其他农用地，进行整理，并进行提质改造，从而形成集中连片，生态良好的优质耕地。特别是在我们平原地区，可以大力开展高标准农田建设，改善灌溉与道路条件，对耕地生产能力进行最大程度的保护。

(2) 减少低效用地。整治不能只盯着农用地，要城乡一体考虑。可以将农村散乱、闲置、低效的建设用地（特别是废弃的工矿、宅基地）进行复垦，新增的耕地指标可以在保障本地农民用地和乡村产业发展用地的前提下，进行调剂使用。同时，通过整治，可以重新优化村庄内部和农田之间的林网布局，使生产更便利、生态更连贯、景观更优美。

#### 4.3 路径三：探索多元经济激励机制

(1) 深化和完善耕地保护补偿机制。中央和省级财政的耕地地力保护补贴是基础。在此基础上，可以探索建立更加精细化的、与耕地保护责任和效果直接相关的补偿办法。比如，可以设立专门的永久基本农田管护补贴；给予提升耕地质量而采取生态化耕作方式（如施用有机肥、秸秆还田）的农户额外的生态补偿。因为农户采取这些生态做法，往往意味着短期内要投入更多劳力或成本，甚至可能略微影响当季产量。如果没有补偿，大家算经济账就觉得不划算，好技术就很难推广开。补偿资金可以来自各级财政，也可以考虑从土地出让收益、城乡建设用地增减相关收益中拿出更大比例来反哺耕地保护。

(2) 设立省、市、县级的耕地生态保护专项基金。这笔钱主要从财政预算和土地出让收入里按比例划出来，专门用来奖励那些实实在在为耕地生态出力的集体和农户。怎么奖呢？得看具体的保护行动。比方说，谁家田里主动搞生态种植、修了生态沟渠，或者留了植被带保护虫子小鸟，核实之后，就能拿到比普通耕地更高的补偿。这样大家就会明白，把地养好、护好生态，和多种点粮食一样要紧，慢慢就能养成习惯。

## 5 结语

说到底，协调好耕地保护与土地利用的关系，确实是我们当前国土管理工作的一个核心挑战。前面论述了这么多，其实最根本的一点就是：保护和发展之间的矛盾虽然复杂，但并不是死结。问题的关键，在于我们自己怎么去理解这层关系——如果总是把两者完全对立起来，工作肯定难做；但如果能换个思路，把它们看成是一个整体里需要互相配合的两个方面，办法就比困难多了。真正的出路不在于硬邦邦地管死，而在于通过科学的规划来引导空间，通过有效的工程来提升土地本身，再通过合理的激励让各方都有动力。最终，是要让保护耕地这件事，变成大家自己觉得应该做、愿意长期做的事。只有把这些拧成一股劲，才能让土地在保障吃饭问题的同时，也支撑起我们过上好日子。

往长远看，这项工作还有很多可以深入琢磨的地方。有一个很明显的趋势是，管理肯定会越来越精细、越来越智能。以后靠着卫星、无人机这些技术，我们能更快更准地掌握耕地的情况，管起来也能更对症下药。再就是，政策会越来越完善，但怎么在本地灵活用好这些政策，真正落地见效，还得靠我们在实践中多摸索、多总结。更基础的一件事是，耕地的重要性，需要被更多人真正理解。它不只用来种粮食，也是生态的一部分，是装着咱们乡愁的家园。只有大家心里都认同耕地的这些多重价值，我们守饭碗、守家园的根基才算真正打牢了。

#### 参考文献

- [1] 陈美球. 构建耕地共同保护机制：理论基础、制约因素与实现路径[J]. 农业经济与管理, 2022年03期。
- [2] 陈美球, 王检萍. 耕地保护长效机制构建：困境与策略[J]. 规划师, 2023年11期。
- [3] 鄯文聚, 叶思菁, 汤怀志. 健全耕地保护制度要重视“十大关系”[N]. 中国经济时报, 2024年11期。

# Research on Single-Phase Ground Fault Characteristics and Transient Processes in Neutral-Point-Not-Earthen Power Systems

Yan Li

Inner Mongolia Huaheng Energy Technology Co., Ltd., Wuhai, Inner Mongolia, 016061, China

## Abstract

The grounding method of the neutral point directly impacts the operational stability and fault characteristics of power systems. Neutral-Point-Not-Earthen (NPE) systems, widely adopted in medium and low-voltage distribution networks due to their simple structure and cost-effectiveness, often exhibit zero-sequence voltage surges, complex transient currents, and sustained overvoltages during single-phase ground faults, posing insulation safety risks. Through theoretical analysis and transient simulation, this study investigates the voltage-current variation patterns and transient response characteristics of single-phase ground faults. Results demonstrate that capacitive currents, residual voltages, and transient arcs during fault initiation are critical factors triggering overvoltages and resonances. By modeling zero-sequence networks and analyzing energy transfer, the dynamic response patterns under varying grounding capacitance, line length, and fault resistance are revealed, providing theoretical foundations for optimizing grounding methods, fault detection, and overvoltage protection.

## Keywords

Neutral point ungrounded; Single-phase ground fault; Transient process

# 电力系统中性点不接地系统单相接地故障特性与暂态过程研究

李岩

内蒙古华恒能源科技有限公司, 中国·内蒙古 乌海 016061

## 摘要

中性点接地方式直接影响电力系统的运行稳定性与故障特性。中性点不接地系统因结构简单、经济性高而广泛应用于中低压配电网,但在单相接地故障下易出现零序电压升高、暂态电流复杂及过电压持续等问题,对绝缘安全构成威胁。本文基于理论分析与暂态仿真,研究单相接地故障的电压、电流变化规律与暂态响应特征。结果表明,故障初期的电容电流、残余电压及暂态电弧是引发过电压与谐振的关键因素。通过零序网络建模与能量传递分析,揭示了不同接地电容、线路长度及故障电阻下系统的动态响应规律,为接地方式优化、故障检测与过电压防护提供理论依据。

## 关键词

中性点不接地; 单相接地故障; 暂态过程

## 1 引言

在现代电力系统中,中性点接地方式的选择对系统运行的安全性与稳定性具有重要影响。中性点不接地系统因能在单相接地时维持供电连续性,被广泛应用于 6~35 kV 配电网中。该系统结构简单,能有效减少中性线电流并降低设备造价,但其在发生单相接地故障时会出现电压不平衡、暂态过电压及电弧再燃等问题。若处理不当,不仅可能损伤绝缘设备,还会引发电气火灾及谐振过电压事故。

近年来,随着电网规模扩大与自动化水平提升,对中性点不接地系统的故障特性研究逐渐深入。传统稳态理论虽能描述接地电压分布规律,但对暂态过程中电弧特性、容性电流变化及能量转移机理的解释仍显不足。本文基于暂态分析理论,结合电磁暂态仿真与零序网络建模,系统研究中性点不接地系统的单相接地故障特征与暂态响应规律,旨在为电力系统接地方式优化及过电压防护策略提供理论支持。

## 2 中性点不接地系统的结构特征与故障机理

### 2.1 系统构成与电压分布特征

中性点不接地系统通常由三相对称电源、输电线路及负载构成,其中电源中性点处于悬浮状态,与地之间没有直

【作者简介】李岩(1985—),男,中国宁夏人,本科,从事电力工程研究。

接电气连接<sup>[1]</sup>。系统在正常运行时，三相电压保持对称，三相对地电压相等，电压矢量呈120°相位差分布，系统处于平衡状态。由于不接地方式下中性点电位不固定，电源、线路及负载对地间形成等效分布电容通路。当任一相发生接地时，该相对地电压迅速降为零，而其余两相对地电压相应升高至相电压的 $\sqrt{3}$ 倍，使绝缘电场强度显著增强，增加了线路与设备的绝缘应力。中性点悬浮导致系统电压易受外界干扰而发生偏移，使得不接地系统在暂态过程中表现出明显的电压不对称性与电容充放电特征，对电气设备的绝缘设计和运行安全提出了更高的技术要求。

## 2.2 单相接地故障的等效模型与参数影响

当中性点不接地系统发生单相接地故障时，可将其等效为一相接地、两相通过电容与地相连的零序网络模型。此时，故障相电压降为零，非故障相对地电压升高，系统对地电容电流成为主要故障电流来源。接地电流的大小受线路长度、分支数量、布线方式及系统电容分布影响显著。当系统总对地电容较大时，电容电流亦随之增大，导致接地点处电弧难以在电压过零时熄灭，形成间歇性重燃现象。该现象不仅引起系统电压的暂态震荡，还可能触发谐振，导致过电压叠加效应。理论建模与仿真研究表明，接地阻抗、相间电容耦合程度及系统运行频率均会对故障电流波形和暂态能量分布产生影响，从而改变系统的稳定性与安全裕度。

## 2.3 不接地系统运行的安全隐患

尽管中性点不接地系统在单相接地时能够维持短期带故障运行，避免供电中断，但其潜在风险不可忽视。故障持续存在将导致系统绝缘长期受高电压应力作用，加速绝缘老化，降低设备寿命。间歇性电弧放电会在非故障相上产生高频暂态过电压，易引发相间击穿甚至设备烧毁<sup>[2]</sup>。此外，若故障未被及时检测和清除，可能导致多点接地，改变系统零序网络特性，引发过电压共振与继电保护误动。长时间运行还会导致系统稳态电位漂移，增加电气火灾隐患。研究表明，对不接地系统的暂态过程及电弧特性进行深入分析，是制定早期接地检测、暂态监测与绝缘防护策略的关键基础，对提高电力系统运行的安全性与可靠性具有重要工程意义。

## 3 单相接地故障的暂态特征分析

### 3.1 故障初期的电容放电与电压畸变

当单相接地故障发生的瞬间，接地点的相电压迅速降为零，对地电容立即释放储存的电能，形成快速的电容放电现象。该放电使系统相间电压与零序电压瞬时失衡，引发全网电压的畸变。由于非故障相与故障相间存在电位耦合，未接地两相电压将上升至相电压的 $\sqrt{3}$ 倍左右，中性点电位发生偏移，造成系统整体电压分布的不对称。此时，零序电压在极短时间内快速上升，波形呈现明显的尖峰特征。仿真分析表明，在10 kV中性点不接地系统中，零序电压峰值可达额定相电压的1.5至1.8倍。该暂态畸变过程为电弧放电提

供了初始能量条件，也是后续过电压形成与谐振累积的重要物理基础。

### 3.2 暂态电弧的形成与维持机制

电弧放电是单相接地暂态过程中最复杂且最具非线性环节的环节。故障发生后，若电容电流较大，电弧在电压过零时无法完全熄灭，形成电弧再燃现象。此时，电弧阻抗呈强非线性变化，其导通与熄灭过程会引发周期性的高频电压波动。测量与仿真结果显示，当系统电容电流超过10 A时，电弧持续时间可超过20 ms，非故障相电压出现周期性震荡，系统中频带谐波幅值显著放大。电弧的再燃不仅导致暂态过程随机性增强，还可能诱发电容电感并联谐振，从而叠加形成附加过电压。电弧放电的维持取决于局部气隙电场强度、介质温度及系统电容能量的释放速率，其动态特性决定了系统暂态响应的复杂性与不稳定性。

### 3.3 暂态过程的能量耦合与电磁响应

在单相接地暂态过程中，系统中的电磁能在电容、电感与电阻之间反复转换与耦合，形成典型的多能量通道相互作用过程。故障发生后，线路分布电容释放能量，经系统电感储能后再反馈至电源端，形成周期性的能量振荡，使零序电压幅值出现多次峰值变化。若线路电感与电容参数满足特定谐振条件，系统将出现电容—电感谐振现象，导致非故障相电压明显升高。该能量耦合效应不仅影响暂态过程的衰减速率，也决定了系统在不同频率下的电磁响应特性<sup>[3]</sup>。实验证明，能量振荡幅度随电容电流与线路长度增加而增强，暂态过电压峰值升高约30%~50%。此类耦合效应是系统中工频过电压及高频电磁干扰的主要来源，对绝缘配合、继电保护整定及系统暂态稳定性具有深远影响。

## 4 故障暂态数学模型与波形特性

### 4.1 零序等值电路与暂态方程

为了揭示中性点不接地系统单相接地暂态过程的本质特征，可建立系统零序等值电路模型。设系统三相对地电容分别为 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ ，总电容为 $C\Sigma$ 。当某一相发生接地故障时，故障相电容经接地点迅速放电，而其余两相电容则对地充电，从而形成零序回路。根据基尔霍夫电压定律，可得暂态电压方程：

$$C \sum \frac{dU_0}{dt} + \frac{U_0}{R_0} + L_0 \frac{d^2 U_0}{dt^2} = E(t)$$

其中 $U_0$ 为零序电压， $R_0$ 、 $L_0$ 分别为系统等效阻抗与电感， $E(t)$ 为电源等效激励函数。该方程揭示了故障后零序电压随时间变化的动态规律，反映了电容充放电与感应电势之间的能量交换特性。通过求解该方程可分析故障初期电压振荡与稳态恢复过程，为暂态波形的频域分析与故障诊断提供理论依据。

### 4.2 暂态电流波形与频谱特征

单相接地暂态电流由工频电容电流与高频振荡分量叠加形成，呈明显的非正弦特征。故障发生瞬间，电容放电使

电流陡增，之后随电弧再燃呈周期性波动。仿真与试验结果表明，当电弧放电持续存在时，暂态电流波形中可观测到明显的高频振荡，其主振荡频率可达数千赫兹。傅里叶频谱分析显示，电流信号中3次、5次及7次谐波分量幅值突出，电弧的非线性导通特性使波形畸变程度加剧。电流相位通常滞后于零序电压约 $15^{\circ}$ 至 $30^{\circ}$ ，体现出系统具有较强的感性响应特征。该频谱特征可作为判断电弧型单相接地故障的重要依据，对暂态检测与特征提取算法设计具有工程应用价值。

#### 4.3 暂态过电压的形成条件与传播特性

暂态过电压是单相接地故障中最具破坏性的电气现象，其形成主要源于电弧放电引起的能量集中释放及线路分布参数产生的振荡效应。故障初期，电弧间隙瞬时电压急剧升高，配合线路分布电感、电容的能量反射作用，形成振荡性暂态过电压。其幅值与接地电阻、线路长度及系统电容密切相关。当接地电阻小于 $10\ \Omega$ 、线路长度超过 $5\ \text{km}$ 时，过电压峰值可达到额定相电压的3倍，严重威胁设备绝缘安全。该过电压在传播过程中会在分支点和终端处发生反射与叠加，形成局部电压尖峰。研究表明，若线路存在不均匀参数或多点接地，波形叠加效应将进一步放大过电压峰值。因此，深入分析暂态过电压的形成与传播特性，对于制定防护措施、优化绝缘设计和提升系统抗扰性具有重要意义。

### 5 单相接地暂态过程的影响因素与控制措施

#### 5.1 接地电容与系统参数对故障特性的影响

电力系统中的对地电容是决定单相接地电流大小和暂态过程动态响应的重要因素，其变化直接影响故障能量分布及电弧稳定性。系统线路越长、分支越多，总对地电容越大，对应的电容电流也随之增加，使故障点电弧再燃概率显著上升。当电容电流超过 $15\ \text{A}$ 时，系统稳定性明显降低，暂态过电压峰值可增加约40%，并可能触发电容与电感之间的谐振现象。若系统参数匹配不当，还会导致零序电压频繁波动，进而引发高频暂态振荡，对设备绝缘构成威胁。通过在系统中实施合理的电容分段与电容补偿，可在保持系统供电连续性的同时有效降低能量积聚效应。实践表明，在分布式配电系统中采用分段接地与相间电容平衡技术，可显著减少暂态过电压幅值与持续时间，从而提高系统在单相接地工况下的整体电磁稳定性。

#### 5.2 消弧线圈与接地装置的优化配置

消弧线圈作为中性点不接地系统的重要补偿装置，能够通过感抗调节抵消部分电容电流，从而实现零序电流的最小化，降低电弧重燃概率。其原理在于在单相接地故障发生

时，消弧线圈中感性电流与系统对地电容电流相互抵消，使接地点残余电流显著减小，故障电弧可在半波周期内自然熄灭。对于电容电流较大的系统，应采用可调式或自动调谐型消弧线圈，以实现针对不同运行状态下电容电流的动态匹配。同时，可在系统中设置高阻抗接地装置或动态补偿模块，对电弧能量进行吸收与限制，从而防止暂态电压升高。实际工程应用表明，在 $35\ \text{kV}$ 配电系统中引入可调消弧线圈后，单相接地持续时间缩短约70%，暂态过电压峰值下降至额定电压的1.4倍以下，显著改善了系统的运行安全性与可靠性。

#### 5.3 故障检测与暂态监测技术的应用

单相接地故障具有隐蔽性强、持续时间短及信号特征复杂等特点，传统检测方法对瞬态信号识别能力有限。随着传感与数据处理技术的发展，基于零序电流方向、暂态特征波能量分析及小波包分解的检测方法逐渐成为主流。该类方法通过提取暂态信号的高频分量和能量分布特征，可实现故障相别与接地点的快速定位。结合光纤电流传感器和高速采样装置，可对故障全过程进行毫秒级数据捕获，准确反映系统暂态演化过程。近年来，人工智能算法的引入为故障诊断提供了新的思路。基于机器学习的数据驱动模型可通过历史样本训练实现故障类型识别与发展趋势预测。配合大数据分析可视化平台，可实现单相接地故障从发生到恢复的全过程智能监测与动态评估，为配电网智能化运维和中性点不接地系统的安全运行提供了有效技术支撑。

### 6 结语

中性点不接地系统在保证电力供电连续性方面具有显著优势，但单相接地故障的暂态特性复杂，易诱发电弧重燃与过电压风险。本文从理论建模与暂态仿真角度，分析了单相接地故障的成因、波形特征与能量传递规律，指出接地电容、线路参数及电弧特性是影响系统暂态稳定性的关键因素。研究表明，采用消弧线圈补偿、高阻抗接地及数字化监测手段，可有效降低过电压幅值与故障持续时间，提升系统安全性与可靠性。未来研究可在多节点配电网暂态协同、故障自愈与智能化防护方向进一步深化，以实现中性点不接地系统的安全、稳定与智能运行，为电力系统现代化建设提供技术支撑。

#### 参考文献

- [1] 侯强民.铁路中性点不接地电力系统故障选线技术探析[J].电力设备管理,2025,(22):224-226.
- [2] 马超.中性点不接地系统铁磁谐振机理及抑制措施研究[D].山东大学,2014.
- [3] 王青.小电流接地系统单相接地故障的矢量融合与行波测距技术[D].湖南科技大学,2010.

# Exploring the key construction techniques and core measures for on-site quality control of prefabricated civil engineering structures

Tao Guan Shigang Hao

Zhejiang Industrial Equipment Installation Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310001, China

## Abstract

As an important representative of building industrialization and new construction methods, the construction process of prefabricated civil structures has shifted from traditional “on-site forming” to “factory prefabrication on-site assembly”. The construction organization mode, process control points, and quality risk types have undergone systematic changes. The precision of component prefabrication, stability of transportation and hoisting, reliability of node connections, and degree of multi process collaboration have become key factors affecting the overall performance and engineering quality of the structure. This article focuses on the construction process system of prefabricated civil engineering structures, starting from the production of components, on-site installation, node connection, and overall structural forming. It systematically analyzes the key process points and quality sensitive control areas of construction. Based on this, it summarizes the core measures and implementation path of on-site quality control in prefabricated engineering, in order to provide technical reference for the safe construction and quality improvement of prefabricated civil engineering structures.

## Keywords

Prefabricated civil engineering structure; Construction technology; Node connection; Quality Control; On-site management

# 探讨装配式土建结构的施工工艺要点及现场质量控制的核心措施

管涛 郝仕刚

浙江省工业设备安装集团有限公司, 中国·浙江 杭州 310001

## 摘要

装配式土建结构作为建筑工业化与新型建造方式的重要代表,其施工过程由传统“现场成型”向“工厂预制—现场装配”转变,施工组织模式、工艺控制要点及质量风险类型均发生了系统性变化。构件预制精度、运输吊装稳定性、节点连接可靠性以及多工序协同程度,成为影响结构整体性能与工程质量的关键因素。本文围绕装配式土建结构的施工工艺体系,从构件生产、现场安装、节点连接及结构整体成型等环节入手,系统分析施工关键工艺要点与质量敏感控制部位,在此基础上总结装配式工程现场质量控制的核心措施与实施路径,以为装配式土建结构工程的安全施工与质量提升提供技术参考。

## 关键词

装配式土建结构; 施工工艺; 节点连接; 质量控制; 现场管理

## 1 引言

在建筑工业化与“双碳”目标持续推进的背景下,装配式建筑逐渐成为土建工程领域的重要发展方向。与传统现浇结构相比,装配式土建结构通过将大量构件在工厂内预制成型,并在施工现场完成装配与连接,不仅能够有效提升施工效率、降低现场湿作业比例,而且有助于改善施工环境、提高资源利用效率。然而,装配式施工方式并非简单的施工

环节前移,其在构件精度控制、施工组织衔接及结构整体受力形成等方面,对工程技术与质量管理提出了更高要求。因此,从施工工艺角度系统梳理装配式土建结构的关键技术要点,并结合现场管理实践提出针对性的质量控制措施,具有显著的工程现实意义。

## 2 装配式土建结构施工工艺的整体特征与组织逻辑

装配式土建结构的施工工艺不同于传统现浇结构以现场连续作业为主的施工模式,其核心在于将原本集中于施工现场完成的结构成型过程,拆分并前移至构件工厂化生产与

【作者简介】管涛(1995—),男,中国安徽合肥人,助理工程师,从事建筑施工、装配式、质量控制研究。

现场装配协同实施的多阶段建造过程。该施工模式通过构件预制、现场拼装和节点整合实现结构体系的最终形成，使施工工艺不再依赖单一作业面，而是演变为跨空间、跨阶段的系统性组织过程。在这一背景下，施工工艺的控制重点由单纯的施工操作管理，转向对构件生产精度、现场安装条件及节点施工质量的全过程协同控制。

从施工组织角度分析，装配式土建结构呈现出显著的计划驱动特征。构件生产、运输、吊装和连接工序之间存在严格的时序关系和技术依赖，一旦某一环节出现偏差，往往难以通过后续工序完全消化，甚至可能对整体施工节奏和结构质量产生放大影响。与传统现浇施工依靠现场调整不同，装配式施工对前期策划的依赖程度明显提高，施工组织必须在构件深化设计阶段即统筹考虑安装顺序、吊装路径、临时支撑布置以及节点施工条件，从而确保各工序在实施阶段能够顺利衔接。在工艺构成上，装配式土建结构施工通常包括构件预制、现场安装与节点连接三个相互关联的关键阶段。构件预制阶段决定了结构几何精度与内在质量基础，其生产偏差将直接影响现场装配的可行性；现场安装阶段则是结构空间形态逐步建立的过程，对构件定位精度和稳定性控制提出较高要求；节点连接阶段承担着结构受力体系整合的功能，是实现装配式结构整体性能的关键工序。上述阶段在技术上相互制约，在质量形成上具有明显的传递性，这也决定了装配式施工工艺必须以系统视角进行整体控制，而不能孤立地对单一工序进行管理。

### 3 装配式土建结构施工工艺要点及关键控制环节

#### 3.1 预制构件进场、安装与临时稳定控制要点

装配式土建结构施工的首要工艺控制环节集中于预制构件的进场验收与现场安装过程。与现浇结构不同，装配式工程中构件一旦完成吊装就位，其几何位置和空间姿态将直接影响后续节点施工条件及结构整体精度，因此构件安装阶段既是施工效率形成的关键阶段，也是质量风险高度集中的阶段。工程实践表明，构件安装质量问题往往并非源于单一操作失误，而是由构件精度偏差、安装测量控制不足及临时稳定措施不到位等多种因素共同作用所致。在构件进场阶段，应重点关注构件几何尺寸、预埋件位置及外观质量的复核工作。由于装配式构件在运输和堆放过程中易受到振动和局部应力影响，若未进行有效复检，带缺陷构件直接进入安装工序，极易在吊装就位后暴露出构件错位、连接条件不足等问题，增加返工风险。在此基础上，构件安装前的测量放线工作应以结构控制轴线和标高控制点为基准，确保构件定位具备可靠的测量基础，而非依赖经验性调整。

构件吊装与就位过程中，施工工艺控制的重点在于安装精度与结构临时稳定性的同步保障。构件就位后若未及时设置可靠的临时支撑体系，在节点尚未形成整体受力能力之

前，构件易在风荷载、施工荷载或局部碰撞作用下产生位移，进而影响节点施工质量甚至引发安全风险。因此，临时支撑体系的布置不应作为附属工序处理，而应作为构件安装工艺的重要组成部分，与安装顺序和节点施工安排统筹考虑。对于多层装配式土建结构，还需特别关注构件安装误差的累积效应。单层构件偏差若未在本层及时调整，往往会在上部结构中逐层放大，最终导致整体结构轴线偏移或构件拼装困难。这一问题在工程中具有较强的隐蔽性，必须通过分层复核和动态调整的施工工艺加以控制，而不能仅在结构封顶后进行整体校核。

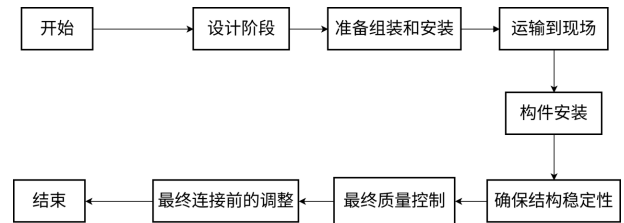


图 1 装配式土建结构施工流程图

#### 3.2 连接节点施工工艺与整体成型质量控制要点

在装配式土建结构施工中，节点连接工艺是决定结构整体性能的核心环节，也是施工工艺控制难度最大的部分[1-2]。装配式结构通过节点将离散构件整合为统一受力体系，其连接质量直接关系到结构的承载能力、变形性能及耐久性水平。与构件安装相比，节点施工对工艺参数、施工环境和操作规范的敏感程度更高，一旦控制不当，质量问题往往难以修复。

从施工工艺角度看，节点施工的首要控制点在于施工条件的准备程度。节点区域往往空间受限、工序交叉密集，若构件安装精度不足或临时支撑布置不合理，将直接影响节点施工空间和施工质量。在节点施工前，应确保构件位置、标高和垂直度已稳定锁定，避免在节点施工过程中因构件微调而破坏已完成的连接工序。

节点施工过程中，施工工艺控制的重点在于材料性能与施工过程的一致性。以常见的灌浆连接节点为例，灌浆材料性能、灌浆顺序及施工环境条件均对最终连接质量产生直接影响。若灌浆过程中出现漏浆、气泡残留或灌浆不连续等情况，即使外观无明显缺陷，也可能在节点内部形成薄弱区，影响结构整体受力性能。因此，节点施工应严格按照工艺要求实施过程控制，而不能仅依赖施工完成后的外观检查。在节点施工完成后，结构整体成型质量的控制同样不容忽视。装配式土建结构并非在单个节点完成后即具备整体性能，而是通过多个节点逐步形成完整受力体系。在这一过程中，应结合施工进度对结构整体稳定性进行动态评估，合理安排后续构件安装与荷载施加顺序，避免因局部受力集中或施工荷载叠加引发结构不利响应。总体而言，装配式土建结构的施工工艺控制应以构件安装精度控制和节点施工质量保障为核心，通过对关键工序实施全过程、连续性的工艺管理，确

保结构由离散构件向整体体系平稳过渡，为后续质量控制和结构服役性能奠定可靠基础。

## 4 装配式土建结构现场质量控制的核心措施与实施路径

### 4.1 面向施工全过程的质量控制体系构建

装配式土建结构的现场质量控制不能简单套用传统现浇工程以结果验收为主的管理模式，而应围绕构件装配和节点整合的施工特征，构建以全过程控制为导向的质量管理体系。在装配式工程中，施工现场不再是质量形成的唯一场所，而是构件质量传递和结构性能整合的关键节点，这一特征决定了现场质量控制的重点不在于事后纠偏，而在于对质量风险的前置识别和过程约束。从实施路径看，现场质量控制应首先明确质量责任在不同施工阶段的划分方式 [3]。构件进场验收、安装定位、节点施工和结构成型等关键环节，均应设置清晰的质量责任主体和控制要求，避免因责任模糊导致质量问题被层层转移。通过将质量控制要求嵌入施工流程本身，而非附加在流程之外，可有效提升现场管理的执行力和针对性。

在具体实施过程中，质量控制体系应突出“关键工序优先”的控制原则。由于装配式土建结构质量敏感点高度集中于构件安装精度和节点连接质量，现场质量管理不宜平均用力，而应将管理资源重点投向对结构整体性能具有决定性影响的工序。通过在关键工序实施过程检查和节点验收，可在问题尚未固化之前进行纠正，从而降低返工成本和结构风险。装配式施工现场质量控制还应强调工序之间的衔接管理。构件安装完成并不意味着该工序质量控制结束，而是应与后续节点施工条件相结合进行综合评估。若安装质量未达到节点施工要求，应在进入下一工序前完成调整，而非在节点施工过程中被动修补。这种以工序接口为控制重点的管理方式，有助于保障施工流程的连续性和结构质量的稳定性。

### 4.2 关键节点质量管控与现场管理能力提升

在装配式土建结构施工中，节点质量控制是现场质量管理的核心内容，其管理水平在很大程度上决定了装配式结构能否实现设计预期的整体性能。与构件本体质量相比，节点质量更依赖施工过程控制，其施工环境复杂、操作空间有限，对施工人员技术水平和管理组织能力均提出较高要求。

从质量控制角度看，节点施工应重点强化过程控制而非结果检查。由于节点内部质量具有明显的隐蔽性，单纯依

靠施工完成后的外观检查难以准确反映其真实施工质量。因此，在节点施工过程中实施旁站监督和关键工序记录，是保障节点质量的重要手段。通过对关键操作环节进行全过程跟踪，可有效防止因操作不规范或施工条件变化引发的质量缺陷。与此同时，现场管理能力的提升是装配式土建结构质量控制能否有效实施的关键因素。装配式施工对管理人员的技术理解能力和现场统筹能力要求明显高于传统施工，若管理人员仅停留在进度协调层面，而缺乏对装配式工艺和结构受力逻辑的深入理解，往往难以及时识别潜在质量风险 [4-5]。因此，应通过针对性的技术交底和专项培训，提升现场管理人员对装配式施工关键工艺和质量控制要点的系统认知。在此基础上，引入信息化管理手段有助于提升现场质量控制的精细化水平。通过对构件信息、施工过程和质量数据进行集成管理，可实现施工过程可追溯、质量责任可落实，为后续质量评估和工程总结提供可靠依据。信息化并非替代人工管理，而是作为质量控制体系的重要支撑工具，其价值在于提高管理透明度和决策科学性。

## 5 结语

装配式土建结构施工工艺体系具有系统性强、质量敏感点集中的特点，其工程质量的形成依赖于构件生产、现场安装及节点连接等多环节的协同控制。通过系统梳理装配式施工的关键工艺要点，并在此基础上构建以全过程控制、关键节点管控及信息化支撑为核心的现场质量控制体系，可有效提升装配式土建结构工程的施工质量与安全水平。相关研究与实践经验可为装配式建筑工程的规范化实施与高质量发展提供有益参考。

### 参考文献

- [1] 张存臻,高建强,陶世豪,等. 顶管施工中装配式钢-混组合沉井力学性能分析[J/OL]. 钢结构(中英文),1-13[2026-02-01].<https://link.cnki.net/urlid/10.1609.tf.20260128.1842.002>.
- [2] 楚洋洋,莫军,郭泽,等. 装配式建筑中电气安装技术与施工协同机制研究[J]. 安装,2025,(09):56-57.
- [3] 刘春晓,张婷. 土建工程全装配式混凝土剪力墙结构施工技术研究——以某工程项目为例[J]. 房地产世界,2025,(01):143-145.
- [4] 郭江龙. 装配式住宅土建施工防水防渗技术探讨[J]. 中华民居,2024,17(06):150-152.
- [5] 曹红梅,温艳芳,李和珊. 装配式混凝土结构工程计量与计价[M]. 化学工业出版社:202402:257.

# Application of Digital Surveying and Mapping Technology in Territorial Space Planning

Xuemei Bai

Hebei Jiuhua Surveying and Mapping Co., Ltd., Baoding, Hebei, 071051, China

## Abstract

Territorial spatial planning serves as a core mechanism for optimizing spatial resource allocation and regulating development projects, with precise surveying data acting as its essential foundation. Digital surveying technologies, characterized by high precision, efficiency, and standardization, are progressively replacing traditional methods to become the critical technical backbone for the entire planning process. Drawing from practical experience in surveying engineering, this study analyzes the core attributes of digital surveying technologies, categorizes applicable techniques including drone aerial surveys, 3D laser scanning, and GNSS-aided precision mapping, and explores their practical applications in baseline data management, planning modeling support, and dynamic monitoring. The research demonstrates that digital surveying technologies significantly enhance the accuracy and timeliness of territorial spatial planning, providing robust data support for planning formulation, implementation, and governance. These advancements hold substantial practical significance for advancing the modernization of territorial spatial governance.

## Keywords

Digital surveying and mapping technology; Territorial spatial planning; Application exploration

# 数字化测绘技术在国土空间规划中的运用探究

白雪梅

河北九华勘查测绘有限责任公司, 中国·河北保定 071051

## 摘要

国土空间规划是优化空间资源配置、管控开发建设的核心手段, 精准测绘数据是其科学实施的重要支撑。数字化测绘技术凭借高精度、高效率、标准化的核心优势, 逐步替代传统测绘方式, 成为国土空间规划全流程的关键技术支撑。本文基于测绘工程师岗位实践, 分析数字化测绘技术的核心属性, 梳理无人机航测、三维激光扫描、GNSS精准测绘等适配技术类型, 探讨其在现状底数管控、规划建模支撑、动态跟踪监管中的实践应用路径。研究表明, 数字化测绘技术可有效提升国土空间规划的精准度与时效性, 为规划编制、实施及管控提供数据保障, 对推动国土空间治理现代化具有重要现实意义。

## 关键词

数字化测绘技术; 国土空间规划; 运用探究

## 1 引言

随着国土空间治理体系现代化进程加快, 传统测绘技术受精度不足、效率低下、数据碎片化等局限, 已难以满足规划编制、管控及动态调整的精细化需求。测绘工作作为国土空间规划的前置基础与核心支撑, 其技术升级直接影响规划决策的科学性与实施效果<sup>[1]</sup>。当前, 无人机航测、三维激光扫描等数字化测绘技术快速迭代, 凭借定位精准、数据处理高效、成果标准化等特点, 实现了测绘工作从传统人工模式向智能化、数字化模式的转型。精准、全面的数字化测绘成果, 可为国土空间现状研判、规划方案设计、实施过程监管提供全周期数据支撑, 助力破解规划与实际脱节、监管滞

后等难题, 推动国土空间规划高质量开展。

## 2 数字化测绘技术的核心属性

### 2.1 高精度定位核心特征

数字化测绘技术有别于传统测绘的核心特征体现在高精度定位方面, 这一特征也是支撑国土空间规划精准开展的首要前提。传统测绘存在依赖人工观测且误差易累积的局限, 而数字化测绘依靠现代定位技术与智能设备, 让定位精度实现了跨越式提升。像 GNSS 精准定位系统和三维激光扫描技术, 都能有效减少外界环境干扰, 把平面定位误差控制在厘米级以内, 高程定位精度也能契合国土空间规划对细微地形、地物捕捉的要求<sup>[2]</sup>。在国土空间规划当中, 精准的定位数据对现状底数摸排、用地边界划分、规划红线标定的准确性起着直接决定作用。以耕地保护红线划定工作为例, 数字化测绘的高精度定位能够精准捕捉耕地与其他用地的

【作者简介】白雪梅(1988—), 女, 中国河北张家口人, 本科, 工程师, 从事测绘工程研究。

边界节点,清晰明确保护范围与权属界限,防止因定位偏差而引发规划冲突和资源浪费。

## 2.2 高效数据采集优势

在数字化测绘技术适配国土空间规划大规模作业需求的各项优势当中,高效的数据采集是较为关键的一项,它让测绘工作的整体效率得到大幅提升,覆盖范围也得以显著扩大。传统测绘大多运用人工逐点观测、手工记录的模式,这种模式不仅耗费时间和精力,还会受到地形、气候等自然条件的限制,致使大范围区域的测绘作业难以快速完成。数字化测绘借助无人机航测、移动测量车、智能传感器等设备,将数据采集推向了自动化、智能化与规模化的方向。无人机航测具备在短时间内覆盖数十平方公里区域的能力,能够快速获取地表影像与地形数据,在山地、水域等复杂地形的测绘工作中表现出很强的适用性。移动测量车在城市区域可以实现边行驶边采集数据的操作,能够同步获取道路、建筑、管线等地上地下设施的数据。除此之外,数字化测绘设备能够实现数据的实时传输与初步预处理,有效避免了传统测绘中数据整理、录入所带来的二次耗时问题。这种高效性可以对国土空间规划对数据时效性的需求做出快速响应,及时捕捉区域用地变化、地形地貌改造等动态信息,为规划的编制与调整提供及时的数据源。

## 2.3 标准化处理核心要求

标准化处理是数字化测绘技术实现数据共享、复用与跨场景应用的核心要求,也是保障国土空间规划全流程顺畅推进的关键。国土空间规划涉及多部门协同作业,测绘数据需在规划、住建、自然资源等多个领域流转使用,若数据格式不统一、处理流程不规范,极易出现数据冲突、无法兼容的问题,影响规划决策效率。数字化测绘技术通过建立统一的数据采集标准、处理规范与成果输出格式,实现了测绘数据的标准化管控。从数据采集阶段的参数设置、精度标准,到数据处理阶段的去噪、拼接、校准流程,再到成果输出的图层划分、属性标注,均遵循统一的行业标准与技术规范<sup>[3]</sup>。例如在数据处理过程中,通过标准化算法对采集到的原始数据进行去噪处理,剔除环境干扰、设备误差带来的无效数据,再按照统一格式完成数据拼接与坐标转换。标准化处理后的测绘数据可直接对接国土空间规划信息平台,实现多部门数据互联互通,减少数据格式转换的成本与误差,确保规划编制、实施监管等各环节使用的数据统一规范,提升规划工作的整体协同效率。

# 3 适用于国土空间规划的数字化测绘技术

## 3.1 无人机航测技术

无人机航测技术凭借灵活便捷、覆盖范围广、作业成本低的特点,成为国土空间规划中地表数据获取的主流技术之一。该技术以无人机为搭载平台,结合高清航摄相机、红外传感器等设备,可根据规划需求灵活调整飞行高度与航

线,实现对不同区域的精准测绘。在无人机航测的应用情形里,和传统航空测绘相比,它不需要复杂的起降场地,面对山地、丘陵、湿地等复杂地形的测绘需求能够做出快速响应,进而让作业周期得到大幅缩短。于国土空间规划前期现状调研阶段,无人机航测可以快速获取区域地表影像以及地形地貌数据,从而生成高清 DOM、DSM 等成果。通过对这些成果进行分析,能够精准识别用地类型、植被覆盖度、地形坡度等关键信息,为用地适宜性评价、生态保护红线划定提供直观的数据支撑。

## 3.2 三维激光扫描技术

在国土空间规划领域,三维激光扫描这一非接触式数字化测绘技术展现出独特价值,其核心优势体现为能够借助快速且精准的操作构建目标区域三维立体模型,从而为规划工作提供沉浸式、全方位的空间数据支持。该技术的作业方式是发射激光束对地表地物实施高密度扫描,在这个过程中同步记录目标的空间坐标、反射强度等信息,之后经过数据处理生成三维点云模型,以此完整还原地形地貌、建筑物、构筑物的空间形态与细节特征。相较于传统测绘技术在精准捕捉复杂结构方面存在的局限,三维激光扫描技术在应对异形建筑、复杂地形等测绘难点时表现出高效处理能力,而且在作业过程中不会对被测目标造成破坏,这使其在历史建筑保护、城市更新等规划场景中具有显著适用性。在国土空间规划编制工作里,基于三维点云模型能够对用地面积、建筑容积率、地形高程差等核心指标进行精准测算,进而为规划方案的优化设计提供精准的数据依据。

## 3.3 GNSS 精准测绘技术

在国土空间规划里,作为边界划定、点位测量核心技术手段的 GNSS 精准测绘技术,依靠全球导航卫星系统,借助多卫星协同定位来实现对测绘目标精准坐标的获取。这种技术打破了传统测绘对观测点通视条件的依赖,能够在任意开阔区域完成单点或者多点的定位测量,具备极强的作业灵活性与适用性。GNSS 精准测绘结合差分定位技术,可把平面定位精度控制到厘米级,完全能满足国土空间规划中用地边界标定、控制点布设、红线核验等高精度的需求。在国土空间规划实践当中,GNSS 技术广泛用于耕地保护红线、生态保护红线、城镇开发边界的精准划定,通过精准定位来明确各类边界的坐标点位,形成可追溯、可核验的边界数据成果。同时,在规划实施过程中,利用 GNSS 移动测量设备能够实时核验建设项目的用地范围、位置坐标是否符合规划要求,及时发现并纠正违规建设行为。其稳定的定位性能和高效的作业模式,为国土空间规划的精准管控提供了全天候、全场景的技术支撑。

# 4 数字化测绘技术在国土空间规划的应用

## 4.1 现状底数的精准测绘管控

作为国土空间规划前置核心环节的现状底数摸排,其

数据精准程度对规划编制的科学性与可行性起着直接决定作用。数字化测绘技术借助多设备协同、全维度采集的模式,达成了对国土空间现状底数的精准管控,将传统摸排过程中存在的数据碎片化、误差大、覆盖不全等难题予以破解。凭借无人机航测所具备的大范围覆盖能力,能够快速获取区域全域的地表影像与地形数据,对耕地、林地、建设用地等各类用地类型的分布范围及利用现状进行精准识别。三维激光扫描技术的结合运用,可完整捕捉地形地貌起伏、建筑物布局、基础设施分布等细节特征,并生成高精度现状数据库。GNSS 精准测绘则能够对关键点位、用地边界实施精准标定,明确权属范围与空间坐标。通过标准化数据处理流程,对多源测绘数据进行整合关联,从而形成统一且完整的现状底数成果。

#### 4.2 规划编制的数字化建模支撑

规划编制阶段在数据的多维性、可视化方面有着极高需求,数字化测绘技术通过构建高精度数字化模型的方式,为规划编制提供全方位技术支撑,促使规划设计由传统二维模式向三维可视化模式转变。以无人机航测与三维激光扫描获取的多源数据为基础,运用专业建模软件构建区域全域三维空间模型,将地表、地物的空间形态与属性信息完整还原出来。规划人员可依靠该模型开展用地适宜性评价工作,把地形坡度、高程、水文条件等数据结合起来,科学地划定城镇开发边界、生态保护红线与耕地保护红线。在方案设计过程当中,可将规划布局方案嵌入三维模型进行模拟推演,把建筑密度、容积率、绿地率等核心指标的合理性直观呈现。同时,借助数字化模型能够快速对比不同规划方案的实施效果,精准地预判方案可能引发的空间冲突与生态影响。这种建模支撑模式不仅让规划方案的设计效率与科学性得到提升,还能使规划成果更加直观、易懂,为多部门协同决策以及公众参与监督提供便捷途径,推动规划编制工作实现提质增效。

#### 4.3 实施过程的动态测绘跟踪

国土空间规划实施周期长、影响因素多,动态测绘跟踪是保障规划落地见效、及时纠偏调整的关键手段。数字化测绘技术凭借高效、精准、实时的优势,构建起全流程、常

态化的动态跟踪体系,实现对规划实施过程的闭环管控<sup>[4]</sup>。在建设项目开工前,通过 GNSS 精准测绘对项目用地范围、控制点进行复核校验,确保项目选址、边界划定严格符合规划要求。项目建设过程中,依托无人机航测定期对施工现场进行航拍监测,对比分析施工进度与规划方案的契合度,及时发现违规占地、超建违建等问题。结合三维激光扫描技术,可精准捕捉建筑物建设形态、基础设施铺设情况,验证是否与规划设计参数一致。同时,通过定期更新测绘数据,动态更新国土空间规划信息平台数据库,精准反映区域用地变化、设施新增等情况。这种动态跟踪模式能及时掌握规划实施动态,为规划调整、监管执法提供及时数据支撑,有效防范规划实施偏差,保障国土空间规划目标顺利实现。

## 5 结语

在国土空间规划全流程里,具备高精度、高效率、标准化核心属性的数字化测绘技术,借助无人机航测、三维激光扫描、GNSS 精准测绘等适配技术,提供了坚实的技术支撑。它在现状底数的精准管控、规划编制的建模赋能、实施过程的动态跟踪等环节深度应用,有效破解了传统规划中存在的偏差、效率低下、监管滞后等难题,让规划工作的科学性与精细化水平得到显著提升。在国土空间治理现代化持续推进的背景下,数字化测绘技术需要不断迭代升级,强化多技术融合与数据深度挖掘能力。未来,要进一步完善技术应用标准,推动测绘成果与规划体系深度融合,充分发挥技术的赋能价值,为国土空间资源优化配置、生态保护与高质量发展,提供更加强有力的保障。

## 参考文献

- [1] 黄伟.数字化测绘技术在国土测量中的应用[J].房地产世界,2025,(18):155-157.
- [2] 段培鸿,郭瓦,段滕琦.数字化测绘技术在国土空间规划中的应用分析[J].中国战略新兴产业,2025,(08):131-133.
- [3] 张明景.数字化测绘技术在国土测量中应用的探讨[J].智能建筑与智慧城市,2024,(07):49-51.
- [4] 李欣.数字化测绘在我国国土发展中的应用研究[J].价值工程,2022,41(07):145-147.

# Research on Whole-process Cost Consulting Management of Construction Engineering Projects

Zhenzhong Yang

Hongxin Construction Engineering Consulting Co., Ltd., Binzhou, Shandong, 256500, China

## Abstract

A relatively large amount of costs and resources need to be invested in the construction period of construction projects. Implementing well whole-process cost consulting management can not only effectively reduce cost loss and construction costs to provide more support for the sustainable development of the affiliated unit, but also cut down energy consumption on the basis of meeting people's residential, production and living needs through such management, thereby contributing more to social sustainable development. It is necessary to clarify the key points of cost consulting management in different stages including the decision-making stage, design stage, bidding stage, construction stage and completion settlement stage, so as to improve the effectiveness of cost consulting management.

## Keywords

Architectural Engineering; Whole-process Cost Consulting and Management; Implementation Essentials; Precautions

## 建筑工程项目建设全过程造价咨询管理研究

杨振忠

宏信建设工程咨询有限公司, 中国·山东 滨州 256500

## 摘要

在建筑工程建设期间所需要投入的成本和资源是相对较多的, 做好全过程造价咨询管理既可以有效减少成本损耗, 降低施工成本, 为所属单位的可持续发展提供更多的帮助, 同时也可通过全过程造价咨询管理在满足人们居住、生产生活需求的基础之上减少能源损耗, 为社会可持续发展提供更多助力。需要从决策阶段、设计阶段、招投标阶段、施工阶段、竣工结算阶段等不同阶段明确造价咨询管理要点, 提高造价咨询管理成效。

## 关键词

建筑工程; 全过程造价咨询管理; 落实要点; 注意事项

## 1 引言

经济社会的发展、城市化的加剧使得现阶段社会对于建筑工程的需求变得越来越大, 建筑工程建设的规模也越来越大。而在建筑工程建设期间产生的资源损耗是相对较多的, 全过程造价咨询管理则可以更好地明确不同环节的成本支出结构, 并通过优化资源配置、加强资源管理减少无效资源浪费, 需根据不同阶段的主要工作内容明确造价咨询管理要点。

## 2 决策阶段

决策是建筑工程项目造价前期管理, 也是划定项目整体造价管控基准的关键环节。在该环节工作人员需要通过多源数据整合做好资料收集和市场调研, 然后根据项目建设规

模、功能定位、工艺技术要求、建设标准有效预测在项目建设期间需要投入的成本和资源。在此基础上根据项目情况将其拆解为建筑主体、机电安装、配套工程等不同子工程, 根据项目类型和建设特点对投资估算方法作出适当调整, 精准测算不同分项工程建设所需成本和资源, 确保测算结果能够有效反馈建筑工程的实际造价需求。然后通过市场分析、政策分析、地质条件分析、施工工艺分析明确在施工建设期间可能存在的风险问题, 编制投资估算报告, 明确估算依据、测算过程、费用构成、各分项费用占比及核心造价分析等相应的数据, 为项目投资管控提供专业可靠的咨询意见, 帮助建设单位制定核心决策, 综合分析项目是否合规、能否落地, 从源头上规避投资超支等相应问题, 确保建设单位投资决策的科学性<sup>[1]</sup>。

## 3 设计阶段

设计阶段是建筑工程造价管控的核心阶段, 对项目整体造价的影响程度可能会达到 70% 以上, 因此做好设计阶

【作者简介】杨振忠（1977—），男，中国山东潍坊人，本科，工程师，从事工程造价研究。

段造价咨询管理是十分必要的。而在该环节需要从方案设计、初步设计、施工图纸设计等不同要点出发明确造价咨询管控的侧重方向,形成闭环式管控体系。在方案设计阶段,造价咨询管理人员需参与其中,全程跟踪方案编制、修改、完善等各个环节,通过与设计团队对接分析设计方案是否存在造价偏高、工艺复杂、材料选用不合理、结构设计冗余等相应问题,提出相应的解决对策和处理方法,探究技术方案的可行性和经济合理性,对方案进行优化和调整。必要的情况下可通过确定造价限额指标明确各项目、各专业的造价管控红线,避免单一子项目设计超支致使整体造价失控。具体可抓住如下几个环节明确工作要点,如表1所示。

表1 方案设计阶段造价管控要点

管控环节	具体工作
方案对接	获取多版设计方案及核心技术参数
造价测算	按功能模块拆开展简算
限额设定	分解造价限额至各专业
方案比选	技术与经济双维度比选

在初步设计阶段需要选定最优方案,对项目设计方案做出进一步的精化、细化和优化,做好方案设计与施工图设计的衔接。造价咨询管理人员需根据决策阶段建立的项目投资估算限额进行概算编制,明确不同子项目的工程量,确定人、材、机的单价及各项费用的计取标准,对接专业造价限额指标,分析造价费用是否合理,判断是否存在工程量计算偏差、超限额、费用计取不合理等相应问题。若出现超支情况应及时查明原因并与设计单位沟通交流,分析优化方向和解决对策。

施工图设计阶段则是设计的最终环节,需要造价咨询机构按照施工设计图纸、地方或国家工程造价计价规范、市场信息,精准计算子工程的工程量,确定人工、材料、机械市场单价,计算项目措施费、其他项目费、规费、税金,编制施工图预算。若发现预算超概算的情况也需与设计单位沟通交流,分析解决对策和处理方法。同时,造价咨询机构还需通过施工图纸的报价梳理,分析施工中可能存在的造价争议问题、工程变更问题等相应问题,确定管控方案,为后续的造价管控提供信息支撑和数据参考<sup>[2]</sup>。

## 4 招投标阶段

在招投标阶段造价咨询管理是通过专业化的技术服务加强对招标文件编制的把控,确保招标过程的公平、公正和合理,为后续管控提供坚实基础。造价咨询机构也需要全程参与到项目招投标的活动当中,帮助相关工作人员明确招标文件编制、工程量清单编制、招标控制价测算、投标报价评审等相应工作的工作要点,确保各项工作落实的专业性、准确性和规范性,避免因招投标环节造价工作疏漏引发后续造价纠纷<sup>[3]</sup>。

在招标文件及工程量清单编制期间,造价咨询机构需

要严格按照相应的规范要求明确招标文件与工程量清单的格式、内容要求。在招标文件编制期间重点关注造价条款等相关内容,明确工程价款调整方式、索赔处理流程、竣工结算标准、工程质量与造价挂钩要求、工期延误的造价责任等相应内容,确保招标文件条目清晰、内容完整、准确,能够有效覆盖后续各类纠纷问题。而在工程量清单编制期间需根据实际情况精准描述项目特征、计量单位、工作内容,根据清单编码规则进行编制,避免出现漏项、错算、特征描述不清等相应问题,确保能够有效反馈项目施工的实际工程量需求。同时还需要结合该地区的实际情况、项目特质完成暂列金额、暂估价等费用的测算,设定费用额度,明确使用范围、调整方式和计价标准,避免因费用虚高或偏低影响造价管控。在招投标控制价编制与投标报价评审环节造价咨询管理机构需要确保各项工作落实的公正规范性,以施工图预算为基础进行招标控制价编制,根据市场情况和项目规模做出上下调整,合理计取费用,避免出现超概算的情况。在编制结束以后可通过多维度审核分析费用构成是否合理、计算是否准确、是否存在高套定额、重复计费等相应情况。在投标报价评审环节,可组建专业评审团队严格按照评审标准和办法对投标文件进行全面细致的评估,分析投标报价是否合理、文件是否完整,重点排除不平衡报价、恶意竞标等相应问题。若存在报价疑问点要及时与投标人进行沟通和交流,要求投标人进行书面澄清,并在招投标阶段为建设单位提供造价评审意见<sup>[4]</sup>。

## 5 施工阶段

施工阶段是项目实施阶段也是造价动态管控的核心阶段。在该阶段影响工程造价的因素是相对较多的,例如环境因素、政策因素、市场因素、技术因素、管理因素等都会导致工程造价出现较大的浮动。为了更好地规避资源浪费问题,确保项目施工能够顺利推进、有效开展,同时也为了有效避免出现资源浪费等相应问题,相关工作人员必须加强对该环节的造价管控,可从如下几点着手发挥造价咨询管理的作用和功能,提高造价管控成效。首先,在实践工作落实的过程中建立完善的项目造价动态台账,根据分部分项工程类别,借助信息系统在线完成造价预算、实际造价审核、已完成工程剩余造价估算、造价偏差分析等相应工作精准反馈项目建设的实际情况以及是否严格按照前期的预算来推进。若出现预算无法执行的问题则需明确构成原因,及时提出造价调整建议,为建设单位的造价管控决策制定提供更多的依据和参考。同时,驻场造价人员需每日落实施工内容、工程量、材料用量等相应内容的信息核查,确保施工内容与施工图纸、工程量清单一致,避免出现偷工减料、超范围施工、材料浪费等相应问题。同时驻场人员还需要收集整合工程变更签证、材料进场验收记录、施工进度记录等相应的数据信息,为后续的造价审核提供更多的资料支撑。

其次, 需要加强进度款审核与工程变更、签证造价管控。在进度款审核的过程中造价咨询机构需要严格按照合同标准、施工进度及工程完成情况对进度款进行有效审核, 着重核查是否存在工程量虚报、计价标准不合规等相应问题, 以此来确保建设单位的资金安全。在审核工作落实结束以后还需要出具审核报告, 明确核定的付款金额、审核依据及核减原因, 为建设单位的支付提供专业依据。在工程变更签证造价管控阶段需要优化和完善签证审批流程, 明确变更签证的申请条件、审批要件及计价标准, 对施工单位提出的变更申请进行审核, 判断其必要性和合理性。因为在工程建设期间施工变更问题是较为常见的, 但是这往往意味着会产生较大的成本浮动, 而规范工程变更则可以确保前期拟定的造价管控计划能够有效落地。同时, 工程变更审核保障工程变更的科学性和合理性也可以从一定程度上减少资源损耗, 因此必须引起关注和重视, 明确工程变更审核的规范、流程、要求和要点。同时, 工程变更信息、签证信息也需要实时共享至项目造价动态台账中, 为项目总造价调控提供更多的参考和借鉴<sup>[5]</sup>。

最后, 造价咨询机构需要紧抓材料造价这一关键要点进行分析。在工程建设期间材料成本往往占总成本的60%以上, 加强材料成本管控, 可以避免无效资源浪费, 大幅降低成本。可通过材料全过程管控, 在材料采购期间做好市场调查, 购买质优价廉的材料, 保障材料质量的同时降低采购成本。在运输及储存的环节加强环境控制, 避免因环境管控不当出现材料性能受损、形变等相应问题。在材料正式应用之前需进行二次检测, 避免因质量不达标出现返工造成资源浪费。此外, 需根据施工设计图纸, 借助BIM技术等相应现代化技术明确不同子工程所需材料的类别及不同类别材料的所需数量, 在此基础上利用物联网技术、二维码技术等相应现代化技术加强材料入库、出库控制, 避免材料随意调取所造成的资源浪费。

## 6 竣工结算阶段

在竣工结算阶段造价咨询管理的核心以审核为主, 需

以客观、公正、专业的态度进行结算审核, 精准核定最终工程造价, 为建设单位工程款的支付、项目投资效益分析提供更多的参考和借鉴。这就需要相关工作人员收集更加完整、全面的结算资料, 例如施工图纸、工程量清单、中标通知书、施工合同、工程变更签证、进度款支付记录、竣工图纸、工程竣工验收记录、材料设备价格确认单等等。在此之后则需要根据国家及地方工程造价计价规范、施工合同约定进行结算审核。若发现结算造价存在偏差应及时与施工单位进行沟通和交流, 明确原因及核减依据。若存在争议问题则需及时与施工单位、建设单位沟通交流, 形成统一意见, 确保核算工作能够顺利推进。在核算结束以后则需要生成审核报告, 附详细的审核明细, 确保审核结果可追溯、可核查。此外, 还需配合建设单位完成造价档案的整理与归档工作, 为后续造价审计、投资效益分析提供资料支撑<sup>[6]</sup>。

## 7 结语

建筑工程项目全过程造价咨询管理可以更好地规避成本浪费问题, 保障建设单位乃至施工单位的经济效益, 需要引起关注和重视。根据不同环节的工作重点明确造价咨询管理的要点与核心, 确保造价咨询管理的科学性、适切性、系统性与完整性, 发挥造价咨询管理效能。

## 参考文献

- [1] 赵航, 郝利光. 关于绿色建筑工程项目全过程造价咨询管理研究[J]. 中国战略新兴产业, 2025, (36): 191-193.
- [2] 雷晨. 关于建筑工程项目建设全过程造价咨询管理的思考[J]. 居业, 2025, (10): 142-144.
- [3] 刘红梅. 关于建筑工程项目全过程造价咨询管理的几点思考[J]. 投资与创业, 2025, 36 (19): 137-139.
- [4] 施苏巧. 新时期建设工程项目全过程造价咨询管理探究[J]. 建材发展导向, 2025, 23 (18): 22-24.
- [5] 张功发. 建筑工程项目建设全过程造价咨询管理策略研究[J]. 工程技术研究, 2025, 10 (07): 143-145.
- [6] 刘亚芬. 工程项目建设的造价咨询管理分析[J]. 中华建设, 2025, (04): 44-45.

# Accurate Control of Grouting Volume in Consolidation Grouting Construction of Complex Karst Development Area of Hydraulic Engineering

Shisheng Li

Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610213, China

## Abstract

In complex karst regions, caves, fissures, and underground rivers often exhibit multi-level connectivity. Consolidation grouting frequently encounters issues such as grout consumption surges, pressure establishment difficulties, and uncontrolled leakage, leading to inaccurate injection volumes. Relying solely on cumulative volume from a single borehole or empirical upper/lower limits in engineering practice may result in localized over-injection or under-injection, complicating subsequent borehole sequence verification. This paper addresses common filling-type and cavity-type karst formations in dam foundation and cavern surrounding rock treatment for hydraulic structures. In accordance with current technical specifications for cement grouting in hydraulic engineering, it proposes actionable methods for precise grouting volume control, covering trial section identification, limited steady injection, progressive mix design, termination criteria, and closed-loop re-injection procedures.

## Keywords

Hydraulic engineering; Complex karst cave development area; Consolidation grouting construction; Grouting volume; Precision control

## 水利工程复杂溶洞发育区固结灌浆施工的注浆量精准控制

李世胜

中国水利水电第七工程局有限公司, 中国·四川成都 610213

## 摘要

复杂岩溶区溶洞、溶隙与暗河常呈多级连通, 固结灌浆往往出现吃浆突跳、压力难建、串冒难控等注入量失真问题。工程上如果仅凭单孔累计方量或经验上限下限判断, 容易造成局部过灌或漏灌, 后续孔序也难以复核。本文立足水利工程坝基与洞室围岩处理中常见的充填型与空洞型溶洞, 结合现行水工建筑物水泥灌浆施工技术规范要求, 从试段判别、限量稳注、配比递进、终止判据与复灌闭环等方面, 提出注浆量精准控制的可操作做法。

## 关键词

水利工程; 复杂溶洞发育区; 固结灌浆施工; 注浆量; 精准控制

## 1 引言

岩溶发育水利工程的地基与围岩加固中, 固结灌浆既承担提高整体性与强度的任务, 也常被用于切断局部渗流通道。然而灌浆工程属于隐蔽工程, 由于复杂溶洞裂隙发育规律的复杂性、灌浆浆液在基岩裂隙中扩散的不确定性和灌浆施工条件的影响, 往往导致注浆量和施工质量难以准确控制<sup>[1]</sup>。部分工程在突遇大吃浆时盲目追量, 反而诱发串冒、抬动或边界外渗点。为避免浆液无效流失和加固不均, 现场需要在规范框架内建立分段可核、可比、可复验的注浆量控制方法。

## 2 水利工程复杂溶洞发育区固结灌浆施工概述

水利工程复杂溶洞发育区固结灌浆施工, 是指在坝基、厂房洞室、引水隧洞及其邻近影响带内, 面对岩溶作用形成的溶洞、溶槽、溶隙与充填破碎带, 通过分区布孔、分段注入与浆液递进充填等手段, 使围岩或地基岩体的裂隙与空隙得到充填和胶结, 从而提升整体性并控制渗流。与一般裂隙岩体固结灌浆不同, 复杂溶湖区空洞体量跨度大、连通通道隐蔽、地下水流动性强, 施工中易出现回浆忽有忽无、压力难建立、吃浆量突增及串冒点外移。中国工程实践通常先开展详勘与施工补勘, 结合揭露洞室、物探与钻孔见洞记录, 划分溶洞集中带、溶隙发育带与相对完整带, 并据此确定孔距、孔深与分段长度, 破碎或见洞段多采用短段控制。钻孔成孔后需按规范开展冲洗与压水试验, 以判清可灌区段并统一试验压力、管路损失修正及稳定读数准则, 减少盲目追量。

【作者简介】李世胜(1984—), 男, 中国河南商丘人, 本科, 高级工程师, 从事水利水电施工及施工管理研究。

灌浆过程中多采用单栓塞或双栓塞分段,按孔序由稀到稠变换浆液,并记录压力、流量、回浆浓度与周边渗点变化。当遇到空洞型溶洞或强连通带时,施工常先进行洞口封堵、回填或设置临时止浆措施,再转入固结注入,以保证注入量用于有效充填而非外泄<sup>[2]</sup>。

### 3 水利工程复杂溶洞发育区固结灌浆施工的注浆量精准控制

#### 3.1 分区定额与试段校核

为实现复杂岩溶发育区固结灌浆的注浆量精准控制,现场应以分区定额并配合试段校核把方量约束到可追溯范围内。第一,施工单位应把见洞深度、掉钻空程、返水含砂、孔口涌水与漏失点、压水试验吸水值等作为分区判据,结合勘察揭露对溶洞规模与连通性分级,按孔段建立溶洞型与溶隙型两类定额区间,并在孔段记录卡中明确段长、起灌压力与允许累计方量,经监理签认后执行,防止同类孔段随意放大吃浆。第二,同一分区内应选取代表性孔段开展试灌,试灌以低起压稳注并限制最高浆浓为原则,连续记录单位时间吃浆、压力回落、回浆颜色与孔口返浆稳定性,必要时短停注后复压核对吸浆恢复幅度,再根据试灌曲线反算单段合理方量上限与止浆门槛,并把门槛固化为该分区的开灌、改浓与限流规则。第三,遇充填型溶洞或泥砂充填带时,计量应区分排水置换量与固结充填量,先以清水或稀浆置换至回浆基本清洁且砂量稳定下降,再按分区定额计入有效注入量,同时以透明度、含砂与压力波动三项记录固化置换结束点,避免把清孔损耗误计为成效方量。第四,分区定额应随孔序推进滚动修正,后续孔段若出现同压力下吃浆显著降低、回浆提前变稠或周边渗点减少,应先复核栓塞止水与管路损失计算,再下调控制方量并适度缩短段长,必要时把止浆门槛前移为分级止浆<sup>[3]</sup>。同步对相邻孔段累计方量、见洞记录、漏失位置与复测吸水值进行对照,若差异无地质解释则暂停推进复核分区边界,并将调整理由、参数与影响孔段一并归档,确保定额修正可复查。

#### 3.2 稳压起灌与限量台阶

溶洞连通段的注浆量要做到可核算,需先把压力与流量控制在可稳定重复的工作区间。第一,试段开灌先以低压小泵量试注,边注边核对孔口、管路与栓塞止水,栓塞宜卡在较完整岩段并留足承压裕度,确认无渗漏后按台阶升压,升压以压力表指针摆动中值为读数并将摆动幅度控制在允许范围内。每一台阶稳压观测应不少于数分钟,待压力稳定且吸浆率变化趋缓再进入下一台阶,同时按埋深与地下水位统一压力基准线并折算管路压力损失。第二,在稳压起灌的基础上实行单段限量台阶管理,将允许注入方量分解到固定时间窗,例如每10min设一档允许量并规定最大瞬时泵量,记录按台阶编号同步填写起止时刻、压力级与累计量,并把停注时压力与回浆状态一并记载。当超过允许量仍无回浆

或压力难建立时应先降压卸荷再停注,随后排查孔口漏浆、栓塞串段、回浆管堵塞及空腔突接等原因,处理完成后按原台阶回到低泵量复压再续注。第三,对吸浆突增而压力下滑的段落采用限流稳注,优先降泵量而非盲目升压,使试段压力不超过设计上限并保持小幅波动,必要时采用间歇注入,间歇时长以压力恢复与吸浆减缓为准,停注期间不宜完全泄压,可保留孔内残压或适度回压,使浆体在洞腔内逐步沉积并初凝后再续注,续注时仍从上一稳定泵量起步,连续核对注入率与回浆性状,若出现回浆倒灌、浆液稀释或夹砂增多,应先降压稳注并补封孔口,再按台阶续注。第四,邻孔或邻段出现孔口反喷、周边冒浆、回浆中断或压力突降时,应立即降压停泵并锁定本段累计量为暂定量,沿作业面、排水点及可能露头巡查泄浆通道,必要时先封堵外泄点后再复灌,异常消除后从低压台阶复灌,补注记录注明起止量、压力级与停注时长。

#### 3.3 浆液递进与临界配比锁定

在复杂溶洞与溶隙并存的固结灌浆中,浆液递进与临界配比锁定应围绕吃浆收敛、回浆可见与记录可核三条控制线展开。第一,开灌宜以低压稀浆先探通道,但必须把稀浆限定在明确水灰比区间内,并同时设定单段稀浆累计方量上限和连续注入时长上限,搅拌时间、过筛与计量器具校核按规范执行,孔口连续记录单位时间吃浆、压力、回浆首次出现点及其由清转浑的节点,必要时短暂停注再复压判断通道是否建立,当在规定压力级内仍大流量吃浆且回浆长期缺失时,应视为稀浆外溢或被水流携带,立即改用堵漏型配比或提高固相含量并下调流量,转配前后的注入量分列记载并在孔段卡上注明转配触发条件。第二,配比递进应按由稀到稠分级变换,每次变浓后保持稳注观察窗口,采用固定间隔读数对比变浓前后吃浆下降幅度与回浆稠度稳定性,同时核对孔口压力波动是否收敛,当变浓一级后吃浆明显收敛且回浆颜色与稠度趋稳时,即将该级作为主配比锁定连续注入,并在原始记录中标注锁定时刻、压力级、注入速率、浆液批次与累计量,锁定后仍按间隔复测吃浆与回浆变化,出现异常时及时调整而不合并记录<sup>[4]</sup>。第三,洞内有水流或水下空洞段,应优先选用抗分散性能较好的浆体或掺合料体系,先做现场对比试验,以留存率为控制指标,按流速分级做小试确定水固比范围与留存率阈值,试验中记录回水浑浊度、浆团成形与沉积厚度,并用同批材料复配验证可泵性与不离析条件,必要时选用改性黏土等体系提升抗分散并把试验配比写入孔段卡。相关试验表明留存率受水固比与流速影响明显。第四,主配比锁定后仍保留回退程序,当升压后回浆突然中断、邻孔冒浆或渗点增强时,应先降压稳注并回退至上一等级稀浆少量润滑再进入,回退期间的注入量与时长单列,通道恢复后再回到主配比稳注。

#### 3.4 回浆判读与周边渗点闭环

复杂溶洞发育区要把回浆变化与周边渗点的出现纳入

同一套计量校核流程,才能把注入量锁定在可控充填范围内。第一,孔口回浆宜实行分级判读与取样复核,开灌先观察回浆颜色、含砂与稀稠变化,回浆由清转浑、由稀转稠时分别记录对应时间、压力与累计注入量,并在首次见浆、回浆连续稳定、回浆显著变稠三个节点取样测比重或稠度,样品取自回浆管中段以避免沉积影响,同时核对回浆中是否夹带新鲜岩粉或气泡,以区分冲洗残留与真实充填推进,回浆管路应保持畅通并及时排气,出现间断时先查堵再升压。第二,作业面应设置固定巡查线并形成记录闭环,巡查范围覆盖洞室衬砌背后、施工缝、排水孔、变形缝及邻近钻孔孔口,巡查间隔随压力级别加密,发现渗点或冒浆后立即用油漆编号标记位置,注明浆色、稠度、冒出量级与是否夹水,并绘制简图或里程桩号定位,随后把该编号与当时注入量、压力级、段号同步写入灌浆日志,交接班需复核编号与位置一致,必要时对疑似串段点安排短时降压稳注以验证关联。第三,对已确认外逸点应先控后补,现场可采用快凝砂浆、木楔加麻丝或袋装砂浆对裂隙口与缝隙回填封堵,封堵后保持孔段卸压并留足初凝养护,复注宜从较稠浆起步并限量补注,压力控制在能维持回浆但不致扩缝的水平,补注以回浆恢复并稳定一段时间为止,复注过程中持续观察原编号渗点是否再现以及回浆是否恢复稳定,渗点复发时应停止补注并复查封堵面与裂隙走向,必要时下移栓塞或改为短段分次注入<sup>[5]</sup>。第四,当回浆长期缺失且周边出现多点渗出时,应将该段判为连通通道未受控,立即停止追量并联动暂停相邻孔段升压,转入先控通道后充填程序,可先以少量稠浆或砂浆预堵再转常规浆液,通过缩短段长、重新选取完整岩段封塞或先对洞口外露裂隙封闭,待回浆与渗点均转入可判读状态后再恢复计量注入。

### 3.5 终止判据与复灌复核

为实现复杂溶洞发育区固结灌浆注浆量的精准控制,终止判据与复灌复核应形成可执行的现场闭环。第一,单段终止不只看累计方量,应在规定终压级下稳注观察,当注入率进入平台并满足阈值后停注,常按最大设计压力下注入率不大于1L/min且延续灌注30min执行,并同步核对回浆浓度趋稳、返水颜色与砂量无再变化、孔口压力平稳、周边无新增渗点及无突发降压。稳注期间每3min至5min测读一

次压力与流量,连续4次读数波动在允许范围内再留观察时间,必要时对可疑渗点做标记复核。第二,停注后先做段内回浆置换并缓慢卸压,置换用量单列,再封孔或转段,置换应以回浆由浑转清且无大颗粒为准,卸压后需短时观察孔口回冒与周边渗漏,原始记录要写清终止压力级、稳注起止时刻、读数点、累计注入量与处置经过,由施工负责人和监理旁站当班签认,严禁跨班补记、估算补填或合并相邻段量。第三,溶洞集中带宜设检查孔或复测孔,按灌前一致的分段压水方法、试段长度与压力级复核,检查时间可在灌后3d以后组织,检查孔数量不宜少于灌浆孔总数的5%,判定以80%以上试段透水率不大于设计规定为控制,其余试段透水率不超过设计值的150%且不集中。第四,需补灌时应针对前次高吸浆或未充填段重新划定补灌区,调整段长与封塞位置,必要时缩短段长以切断串通通道,浆液由稀到稠分级变换并控制变换节奏,终止门槛宜较首灌更严,并加密周边巡视与孔口渗漏检查,补灌后再按同口径压水复测,同时将补灌段终止点与最终量单独归档。

## 4 结语

复杂溶洞发育区的固结灌浆,注浆量一旦脱离可核边界就会变成数字上的完成。工程控制应把分区定额、稳压限量、配比锁定、外溢闭环与终止复核串成同一套现场规则,使每一段的最终注入量都有来路与去向。施工组织还应在孔序推进中持续修正规则参数,并把异常段的处置与补灌量单列管理,以免统计口径混乱。当记录、复测与补灌能够相互印证时,注浆量才能真正做到精准可控。

## 参考文献

- [1] 吴跃帮,杨再涛,马红钧,等.大纵坡长斜井富水软岩地层地面高压预注浆施工方案[J].云南水力发电,2024,40(9):117-121.
- [2] 曹亚奇,李文龙,罗桂军,等.富水欠固结石回填土区袖阀管注浆技术研究[J].建筑机械化,2021(012):042.
- [3] 陈森森,高鑫荣,李晓东.隧道无砟轨道板防抬升的控制灌浆措施[C]//2023水利水电地基与基础工程技术创新与发展.2023.
- [4] 廖志煌,闫思泉,曾志全,等.基于UDEC的裂隙岩体注浆参数研究[J].江苏科技信息,2020,37(14):6.
- [5] 彭强,彭焕敏.烟台市老岚水库固结灌浆施工技术[J].地质装备,2023,24(2):35-40.

# Research on the Coordinated Optimization of Grouting Reinforcement Technology and Wall Stability in the Repair of Existing Masonry Buildings

Zhaoning Wang

Jiangsu Sukē Structural Design Firm Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210036, China

## Abstract

Existing masonry buildings are prone to structural deterioration such as cracks, hollow drumming, and strength degradation due to long-term exposure to loads, environmental erosion, and foundation deformation, posing significant safety risks. Grouting reinforcement, characterized by its construction convenience, minimal disturbance, and strong recovery capability, has become a critical technique for masonry repair. This study focuses on existing masonry buildings to analyze the mechanisms of grouting reinforcement and its impact on wall stability. Through experimental and numerical simulations, the coupling relationship between grout diffusion patterns and structural responses is revealed. Based on optimized material ratios and controlled construction parameters, a synergistic optimization method for grouting reinforcement and wall stability is proposed, achieving the integrated repair goal of “reinforcement, protection, and durability.” The results show that the wall stiffness and shear capacity can be improved significantly by controlling the slurry viscosity, pressure and injection rate, the crack closure rate can be increased by 42%, and the deformation coordination can be enhanced by 30%, which provides technical support for the safety repair and sustainable utilization of the existing masonry building.

## Keywords

Masonry building; Grouting reinforcement; Wall stability; Structural repair; Collaborative optimization

## 既有砌体房屋修缮中注浆加固技术与墙体稳定性协同优化研究

王兆宁

江苏苏科结构设计事务所有限公司, 中国·江苏南京 210036

## 摘要

既有砌体房屋在长期服役中受荷载、环境侵蚀及地基变形等因素影响, 易出现裂缝、空鼓与强度退化等病害, 威胁结构安全。注浆加固以其施工便捷、扰动小、恢复性强的特点, 成为砌体修缮的重要技术。本文以既有砌体房屋为对象, 分析注浆加固机理及其对墙体稳定性的作用, 通过试验与数值模拟揭示浆液扩散规律与结构响应的耦合关系。在材料配比优化与施工参数控制基础上, 提出注浆加固与墙体稳定性协同优化方法, 实现“加固—防护—耐久”一体化修缮目标。研究结果表明, 合理控制浆液黏度、压力与注入速率, 可显著提升墙体刚度与抗剪承载力, 裂缝闭合率提高约42%, 变形协调性增强30%, 为既有砌体建筑的安全修缮与可持续利用提供技术支持。

## 关键词

砌体房屋; 注浆加固; 墙体稳定性; 结构修缮; 协同优化

## 1 引言

中国城市化进程加快, 大量建于上世纪中期的砌体结构房屋仍承担居住与使用功能。然而, 长期服役及地质条件变化导致其承载力与耐久性下降。传统加固方法如外包钢、增设钢筋混凝土层等虽能提高承载性能, 但施工周期长、成本高、对原结构扰动大。相比之下, 注浆加固技术

通过向墙体裂缝及孔隙中注入具有流动性和固化强度的材料, 在不破坏原结构的前提下实现强度恢复与稳定性提升。近年来, 注浆材料性能、流变行为及扩散规律的研究取得显著进展, 但在实际修缮中仍存在浆液扩散不均、加固范围模糊及结构协同作用不足等问题。传统注浆加固多侧重材料力学性能提升, 忽视与墙体整体力学行为的耦合优化<sup>[1]</sup>。本文从结构协同角度出发, 分析注浆加固过程中浆液流变、扩散与固结机理, 探讨注浆参数对墙体应力场与变形模式的影响, 建立基于结构稳定性与加固效率的协同优化模型, 为砌体房屋修缮提供科学依据。

【作者简介】王兆宁(1988—), 男, 中国江苏南京人, 硕士, 工程师, 从事土木工程研究。

## 2 砌体结构损伤特征与注浆加固需求分析

### 2.1 既有砌体房屋的病害特征

既有砌体房屋多以砖墙承重体系为主，其耐久性能受砂浆强度、施工工艺及环境条件影响显著。长期荷载与温湿度变化导致砂浆逐渐碳化、灰缝劣化，形成沿灰缝与砖体交界处的剪切裂缝、贯穿性竖向裂缝及墙体外鼓等典型病害。现场检测数据显示，老旧砌体灰缝抗剪强度较新建结构下降约 40%，整体刚度降低 25%。此外，环境侵蚀、冻融循环与雨水渗透会进一步削弱砂浆与砖体界面的黏结力，使裂缝逐渐扩展并形成空鼓，导致承载路径紊乱与结构变形集中。裂缝不仅削弱承载力，也为水分和腐蚀介质提供通道，诱发钢筋锈蚀及材料剥落，形成性能退化的累积效应。因此，修缮加固的重点应从单点修复转向整体性能恢复，兼顾裂缝封闭、界面重构与刚度补偿，以阻断病害扩展链条，确保结构长期稳定性。

### 2.2 注浆加固技术的适用性与优势

注浆加固技术以浆液渗流、填充、固化过程为核心，通过在裂缝与孔隙中形成固结体实现砌体的连续性恢复。相比外包钢、植筋加固等传统方式，注浆施工扰动小、周期短、可控性强，尤其适用于老旧建筑、文物建筑及居住状态下的修缮工程。该技术不仅可修复裂缝，还能增强砌体密实性、防止水汽侵蚀与碳化扩展。通过选择合适的浆液体系（如低黏度水泥基或无机高分子复合浆液），可同时实现抗压、抗剪与抗渗性能的综合提升。试验研究表明，注浆加固能使裂缝墙体剪切强度提升 35% ~ 50%，抗渗系数降低约 60%，耐久性显著增强。此外，浆液固结层与原砌体形成复合承载体系，可改善墙体受力路径与滞回性能，在不影响建筑外观的情况下实现加固与保护的统一，为砌体结构延寿提供了经济、高效的解决方案<sup>[2]</sup>。

### 2.3 加固目标与墙体协同要求

砌体加固的关键在于实现“强度修复”与“结构协同”的动态平衡。若仅提高局部强度而忽视整体受力协调，易产生应力集中与二次裂缝扩展，甚至引发脆性破坏。为此，注浆加固设计需基于砌体受力特征，合理控制浆液扩散范围与黏度参数，使固结体在裂缝网络中形成连续、均匀的支撑体系。浆液在微裂缝中形成细观桥联结构，可增强砖体与砂浆界面黏结力，提高结构变形协调性。加固参数的确定应结合现场裂缝分布、荷载传递路径及墙体构造特征，兼顾抗压与抗剪性能的同步提升。通过有限元分析可验证，当注浆体模量与原砌体相近时，协同工作性能最佳，墙体整体刚度提高约 20%，应力集中明显减弱。

## 3 注浆材料性能与扩散机理研究

### 3.1 浆液材料组成与性能优化

砌体房屋修缮中所采用的注浆材料直接决定了加固效果与结构稳定性。常见浆液类型包括水泥基、环氧树脂基及

无机高分子复合体系。水泥基浆液以成本低、适应性强为优势，但存在渗透性不足的问题；环氧树脂浆液虽强度高、粘接力强，但价格昂贵且易脆裂；无机高分子浆液兼具高流动性与耐久性，适合复杂裂隙修复。针对砌体多孔吸水特征，应优先选用低黏度、小膨胀率、高渗透性的水泥基复合浆液。通过掺入纳米硅灰、减水剂与膨胀抑制剂，可有效改善流变性能与界面润湿性<sup>[3]</sup>。试验结果表明，当水灰比控制在 0.6 ~ 0.7 时，浆液流动度与稳定性达到最佳平衡，扩散半径较普通浆液提升约 35%，固化体抗压强度超过 30MPa，抗渗性能提高 1.8 倍，完全满足砌体加固与耐久性要求。

### 3.2 浆液渗流与扩散规律

注浆过程中的渗流扩散机理是确保加固均匀性的关键环节。浆液在砌体内部的运动受注浆压力、浆液黏度、裂隙连通性及孔隙率等多因素耦合影响。为揭示其扩散特征，本文基于 Darcy 渗流方程与 Bingham 流体模型建立了浆液流动数学模型，模拟浆液在不同裂缝宽度下的扩散形态。研究表明，浆液在恒压条件下的流速与裂缝宽度呈指数增长关系，当注浆压力超过 0.6MPa 时易出现渗漏与层间分离现象；而在 0.3 ~ 0.5MPa 区间内，可兼顾渗透深度与结构安全，形成连续致密的加固层。现场试验验证显示，控制黏度在 0.035Pa·s 以内时，浆液在毛细孔中的渗入深度提升 27%，渗透均匀性显著改善。优化的注浆参数使裂缝闭合率提高近 40%，有效抑制了后期渗水与二次裂缝扩展。

### 3.3 固结体的微观结构特征

浆液固化后的微观结构直接影响砌体的宏观力学性能。通过扫描电镜（SEM）与能谱分析（EDS）观察发现，注浆后砖—砂浆界面生成连续的水化产物桥联层，原有孔隙被 C-S-H 凝胶与钙矾石产物填充，界面结合致密。孔隙率由修缮前的 18% 下降至 9%，微裂隙数量减少超过一半，显著改善了结构的完整性与抗渗能力。X 射线衍射（XRD）结果表明，水化反应生成的 C-S-H 凝胶与水化铝酸钙含量显著增加，使固结体弹性模量提升约 1.6 倍，抗剪强度提升 30%。在显微尺度上，浆液的填充与化学键合实现了砌体与加固层的结构连续性，为宏观墙体刚度恢复与稳定性增强提供了坚实基础<sup>[4]</sup>。

## 4 注浆加固对墙体力学性能的影响分析

### 4.1 注浆加固前后墙体承载力变化

墙体承载力的提升是评价注浆加固效果的重要指标。通过对比试验结果可知，注浆后砌体抗压强度平均提升约 32%，抗剪强度提高 41%，墙体破坏模式由加固前的灰缝滑移破坏转变为加固后的砖体劈裂破坏，表现出更为整体的受力特征。数值分析结果进一步表明，注浆固结体在墙体内部形成了连续的“力链传递”路径，能有效分散集中应力并改善局部弱化区的受力状态。注浆后，墙体内部应力等值线分布更趋平滑，极限承载力提升约 1.4 倍，结构刚度提高近

25%。对于存在竖向裂缝的受损墙体，注浆后变形能力显著增强，其滞回性能曲线显示能量耗散能力提高约20%，抗震变形性能与恢复力特征均得到明显改善，为既有砌体结构的安全延寿提供了坚实基础。

#### 4.2 注浆层与砌体界面黏结机理

注浆层与砌体界面的黏结作用决定了整体加固体系的有效性。通过剪切与拉拔试验发现，界面剪切强度与浆液渗透深度呈显著正相关关系。当浆液黏度适中、渗透充分时，可在砖—砂浆界面形成厚度均匀的过渡层，增强机械咬合与化学锚固效应。若固化过快或黏度过高，会造成孔隙滞留与界面分层，从而削弱加固效果。显微化学分析结果表明，浆液中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与砖体中硅酸盐成分反应生成次生C-S-H凝胶，该产物在界面形成致密的黏结带，有效提高界面抗剪强度与耐久性。该化学反应在24小时内初步完成，7天后界面强度提升达原始界面的2.1倍<sup>[5]</sup>。

#### 4.3 墙体变形协调与稳定性提升

注浆加固的最终目标在于恢复墙体的整体稳定性与变形协调能力。有限元分析与实测结果显示，加固后墙体剪切变形平均降低28%，横向位移减小23%，应力分布更加均匀。墙体稳定系数由原始的1.15提升至1.45，临界屈曲荷载提高约30%，表现出更高的结构安全储备。注浆固结体在受力过程中与原砌体形成复合受力体系，其刚度分担比例约为28%~35%，有效约束了裂缝扩展与剪切滑移。地震模拟试验表明，加固后墙体滞回曲线饱满，能量耗散能力提高约27%，延性系数提升至3.1，展现出优良的抗震性能与疲劳稳定性。这种由材料强化与结构协同共同驱动的性能提升，标志着注浆加固技术已从“被动修复”迈向“协同优化”的发展阶段，为既有砌体结构的韧性化修缮提供了可复制的技术路径。

### 5 注浆加固与墙体稳定性的协同优化模型

#### 5.1 参数优化与响应面模型建立

注浆加固效果的优化依赖于多参数间的耦合调控。为实现最佳注浆效果与墙体力学响应协调，本文引入响应面法(Response Surface Methodology, RSM)对注浆压力、浆液黏度与流速三关键参数进行多因素优化设计。基于Box-Behnken实验设计构建二次多项式回归模型，以裂缝闭合率与结构稳定系数作为综合目标函数，建立响应面与参数交互作用关系。结果表明，注浆压力对裂缝闭合率影响最大，黏度主要影响浆液扩散均匀性，流速则影响固结密实度与应力重分布。通过方差分析与显著性检验确定最优参数组合：注浆压力0.45MPa、黏度0.035Pa·s、流速0.18L/min。在此参数条件下，裂缝闭合率提升41%，墙体应力集中区域面积减少23%，验证了模型的预测准确性与实用性。

#### 5.2 协同效应机制与模型验证

注浆层与原砌体的协同效应是墙体稳定性提升的核心机制。注浆后形成的固结体在微观层面实现了裂缝修复与界

面重构，在宏观结构上则承担部分应力分担功能。本文通过建立砌体与注浆层的耦合有限元模型，对受剪过程中的应力传递路径与变形协调性进行了数值模拟。结果显示，注浆层在剪切阶段承担约30%的应力份额，显著缓解了砖体与灰缝处的集中应力。同步试验验证表明，加固墙体的屈服位移较原结构降低20%，滞回曲线面积增大，表明其耗能能力与延性显著提升。协同体系在地震动作用下表现出良好的自适应变形能力与能量耗散特性。通过模型对比可见，合理注浆不仅恢复结构刚度，更通过应力重分配实现墙体抗震与抗剪性能的协同优化，为加固设计提供了量化的理论支撑。

#### 5.3 施工控制与监测技术集成

注浆加固过程的质量控制直接影响最终结构性能。为确保注浆效果可控与稳定，本文构建全过程监测与反馈体系。施工阶段采用超声波检测与声发射技术实时监测浆液扩散范围与注入均匀性，并利用红外热成像识别固结层密度分布。数据通过无线传感网络同步上传至监控平台，形成注浆行为的动态可视化记录。固化阶段通过数字应变片与光纤光栅传感器监测墙体应力演化与形变趋势，实现结构响应的实时跟踪。监测结果与模拟预测误差控制在±6%以内，表明监测体系具有较高的准确性与响应敏感度。该技术体系实现了从注浆过程控制、质量评价到性能验证的闭环管理，确保加固施工过程与设计目标的协同一致，为砌体结构加固领域建立了可推广的智能化质量管控模式。

### 6 结语

注浆加固技术作为既有砌体房屋修缮的重要手段，在提升结构承载力与稳定性方面具有显著效果。本文通过材料优化、参数分析与结构模拟，揭示了浆液性能、扩散特征与墙体力学响应之间的耦合规律，并提出协同优化模型，实现了注浆参数与墙体稳定性的综合平衡。研究表明，在合理注浆压力与黏度控制下，墙体裂缝闭合率可提升40%以上，整体稳定性提高约30%，为老旧建筑安全修缮提供可行技术方案。未来研究应加强不同材料体系下的长期耐久性评价，结合传感监测与数字孪生技术，实现加固过程的可视化与智能化控制，为既有砌体结构的延寿与城市更新提供持续支撑。

#### 参考文献

- [1] 白育龙.破碎砌体注浆充填加固技术的研究与运用[J].山东煤炭科技,2023,41(02):29-31.
- [2] 曹龙飞.既有砌体结构墙体钻孔配筋抗震加固方法的研究[D].北京建筑大学,2023.
- [3] 王保龙.沿空留巷爆破切顶及煤体注浆加固技术[J].山东煤炭科技,2021,39(07):129-131+140.
- [4] 石建光.砌体结构不连续注浆补强加固技术.福建省,厦门大学,2019-09-17.
- [5] 砌体注浆加固技术.福建省,厦门大学建筑与土木工程学院,2018-01-01.

# Construction and Practice Research of Dual Prevention Mechanism in Industry and Trade Enterprises

Yang Fu

Yunnan Kuoxin Registered Safety Engineer Firm Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650000, China

## Abstract

As the situation of safety production becomes increasingly severe, the dual prevention mechanism in industrial and trade enterprises plays a crucial role in ensuring safety and reducing accidents. The dual prevention mechanism mainly consists of two core components: risk assessment and hazard identification and control. It effectively identifies potential safety risks and hazards, and timely measures can be taken for prevention. Building a scientifically reasonable dual prevention mechanism not only helps improve the safety management level of enterprises but also promotes the construction of safety culture and optimizes enterprise management processes. In the implementation process, industrial and trade enterprises need to formulate specific assessment standards and identification methods based on practical conditions to ensure the accuracy and efficiency of the prevention mechanism. Through practical application, industrial and trade enterprises can improve their safety assurance capabilities through continuous improvement, ensuring the safety of employees' lives and the sustainable development of the enterprise.

## Keywords

Dual prevention mechanism; Industrial and trade enterprises; Risk assessment; Hazard identification; Safety management

## 工贸企业双重预防机制的构建与实践研究

富洋

云南阔鑫注册安全工程师事务所有限公司, 中国·云南昆明 650000

## 摘要

随着安全生产形势的日益严峻,工贸企业的双重预防机制在保障安全生产、减少事故发生方面起着至关重要的作用。双重预防机制主要包括风险评估与隐患排查治理两个核心环节,能够有效识别潜在的安全风险和隐患,及时采取措施进行防范。构建科学合理的双重预防机制,不仅有助于提升企业的安全管理水平,还能推动安全文化的建设,优化企业管理流程。工贸企业在实施过程中,需要结合实际情况制定具体的评估标准和排查方式,确保预防机制的精准高效。通过实践应用,工贸企业能够在持续改进中提升安全保障能力,确保员工生命安全与企业的可持续发展。

## 关键词

双重预防机制; 工贸企业; 风险评估; 隐患排查; 安全管理

## 1 引言

工贸企业面临着多种复杂的安全风险和生产隐患,尤其是在高速发展的过程中,安全管理的要求日益提高。传统的安全管理模式在识别和应对复杂风险时存在一定的局限性,导致事故的发生率难以得到有效控制。因此,构建科学、系统的双重预防机制,成为提升企业安全管理水平的重要路径。双重预防机制通过强化风险评估和隐患排查治理,能够实现潜在安全问题的早期发现和有效应对,进而有效预防生产安全事故的发生。工贸企业作为安全生产的重点领域,

其安全管理不仅关系到企业本身的生产效率与可持续发展,更对社会经济的稳定与发展产生深远影响。如何在复杂的生产环境中全面落实双重预防机制,成为提升企业安全水平的重要课题。

## 2 工贸企业双重预防机制的概述

### 2.1 双重预防机制的定义与核心内容

双重预防机制是指通过风险评估和隐患排查治理相结合,提前识别并防控潜在的安全风险和隐患,以确保企业安全生产的有效性。风险评估侧重于在企业运营初期或变化过程中,对可能引发事故的各类风险进行分析与预测,评估其发生概率及可能带来的后果。隐患排查治理则侧重于在日常生产过程中,识别并及时整改各种安全隐患,以防止隐患转化为安全事故。这一机制要求企业在制定安全管理策略时,不仅要对外部环境、设备、人员等因素进行全面分析,还要

【作者简介】富洋(1988-),男,满族,中国云南昆明人,本科,助理工程师,注册安全工程师,从事安全评价、安全生产标准化、双重预防机制等研究。

结合实际操作中的细节，形成动态、实时的安全管理体系，从而提高企业安全管理的整体水平。

## 2.2 工贸企业的安全管理现状

目前，工贸企业的安全管理普遍面临一定的困难与挑战，特别是在风险识别、隐患排查及管理制执行方面。一些企业依赖传统的安全管理方式，导致在风险预测和隐患整治上存在滞后，未能及时有效地应对生产中的潜在危险。尽管越来越多的企业已开始重视安全管理，但由于缺乏系统的风险评估和隐患治理机制，安全事故时有发生。部分企业未能形成全员参与的安全文化，管理人员和操作员工对安全管理的认识不到位，导致安全责任缺失。与此同时，一些工贸企业的安全生产法规和操作规程执行不力，无法在日常生产中严格落实，致使安全风险仍然居高不下<sup>[1]</sup>。

## 3 工贸企业双重预防机制的构建框架

### 3.1 风险评估机制的构建与实践

构建有效的风险评估机制需要对工贸企业的各类风险进行全面识别和评估。企业首先应对生产过程中涉及的每个环节、每项设备、每个操作流程进行详细的风险分析，评估其可能带来的危害性及发生的概率。通过使用科学的评估方法，如故障模式与效应分析（FMEA）、危害与可操作性分析（HAZOP）等，能够对潜在风险进行量化，并根据其影响力和可能发生的频率确定优先级，确保每一项风险评估都能够得到实时反馈和有效执行。此外，企业还应培训员工，提高他们的风险识别能力，并强化安全意识，使之成为日常工作常态。

### 3.2 隐患排查与治理机制的设计与应用

隐患排查治理机制主要目的是通过持续的隐患排查来识别生产过程中可能引发事故的因素，及时采取措施进行处理。该机制要求企业在日常生产管理中设立专门的隐患排查小组，定期对生产现场、设备设施、作业流程等进行全面检查，发现问题立即进行整改。同时，隐患排查不仅限于物理设备和设施，还应关注员工的安全操作习惯、管理制度执行情况等方面。隐患排查与治理机制的设计应考虑到企业的规模和生产特点，建立一套适合本企业的隐患排查清单，并制定明确的整改标准和时限<sup>[2]</sup>。通过信息化手段，可以提高隐患排查的效率和准确性，确保隐患整改不留死角，从而有效降低安全事故发生的概率，图1为工贸企业隐患排查工作部署流程图。

## 4 工贸企业双重预防机制的实践应用

### 4.1 双重预防机制在工贸企业中的实施分析

在实际应用中，工贸企业通过双重预防机制能够大大提高对风险的识别能力和隐患的防范意识。通过风险评估，企业能够对每个环节的风险进行详细分析，结合实际生产情况制定相应的预防措施，企业通过不断优化双重预防机制，不仅能够加强生产现场的安全管控，还能提升全员的安全生

产意识，形成高度重视安全生产的文化氛围。双重预防机制的实施效果需要通过定期的安全生产检查和考核来验证，并及时对存在的问题进行调整和优化，以确保预防机制的持续有效性。

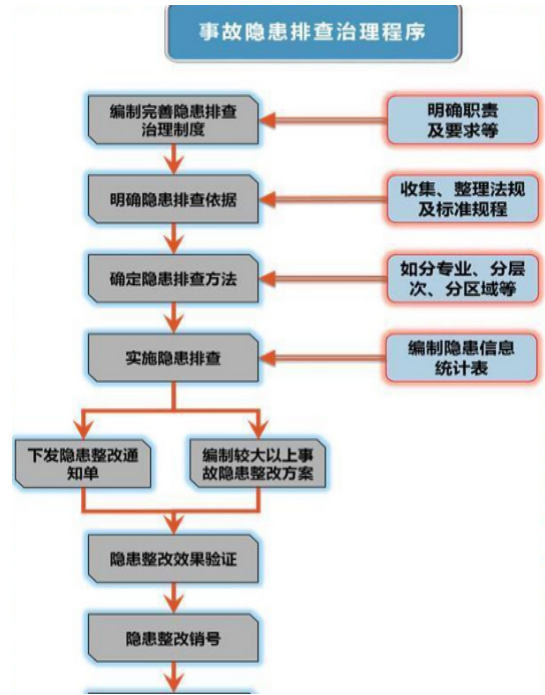


图1 工贸企业隐患排查工作部署流程图

### 4.2 工贸企业双重预防机制的运行效果分析

通过实践应用，工贸企业的双重预防机制在保障安全生产方面取得了显著效果。风险评估机制的建立使得企业能够在生产初期识别出潜在的危险因素，提前进行控制和防范，从而降低了事故发生的概率。隐患排查治理机制则通过常态化的隐患检查与整改，确保了生产过程中潜在的安全隐患得到及时消除，极大地减少了因隐患导致的事故。双重预防机制的实施还促进了企业安全文化的建设，员工对安全生产的重视程度明显提升，安全意识增强，事故处理效率也得到了显著提高。整体而言，双重预防机制的有效实施，显著提升了工贸企业的安全生产能力和事故防范水平。

## 5 工贸企业双重预防机制实施中的挑战与优化路径

### 5.1 执行过程中遇到的主要问题

在工贸企业实施双重预防机制的过程中，常见的问题包括企业对安全管理的重视程度不够，部分员工和管理层对双重预防机制的理解存在偏差，导致执行力度不足。其次，安全管理制度在实际操作中难以落地，虽然制定了相应的制度和流程，但在执行过程中往往缺乏有效的监督和反馈机制，致使隐患未能得到及时整改。此外，工贸企业的生产环境复杂且多变，风险评估和隐患排查难以全面覆盖所有环节，尤其是高风险作业岗位和设备的隐患治理滞后。再者，

部分企业缺乏专业的安全管理人才，安全管理的专业性和操作性较弱，影响了双重预防机制的高效执行。随着生产规模的扩大，如何将双重预防机制的理念和措施有效融入到每个生产环节，确保机制得到贯彻落实，成为企业面临的一个突出挑战。

## 5.2 提升双重预防机制效能的策略

提升双重预防机制效能的策略之一是加强全员安全意识的培养，通过定期的安全培训和演练，提升员工对安全管理的重视程度，并使其熟悉操作规程与应急处理流程。其次，企业应建立健全的激励与惩罚机制，对于执行良好的部门和员工给予奖励，对存在安全隐患或未按要求整改的行为进行严肃处理，强化责任意识。此外，要建立更加精准的风险评估模型和隐患排查机制，确保评估与排查覆盖全面且具有实效性。加强与第三方安全管理专家的合作，引入专业的风险评估和隐患排查工具，进一步提升预防机制的科学性。企业还应完善信息反馈机制，及时获取现场一线的安全信息，以便进行动态调整，不断优化双重预防机制的实施效果<sup>[1]</sup>。

## 5.3 信息化技术在双重预防机制中的应用与优化

信息化技术的应用能够显著提升双重预防机制的效能，首先，通过安全管理信息系统，企业能够实现对安全风险和隐患的实时监控和预警，确保隐患得到及时发现并进行处理。信息化技术还能够对生产数据进行大数据分析，帮助企业精准识别潜在的安全风险，基于数据制定更加科学的风险评估方案。此外，企业可以通过移动互联网技术，构建隐患排查和风险管理的在线平台，使得一线员工能够实时报告隐患，管理层能够即时跟进和处理。利用物联网技术，可以实现对设备状态的远程监控，减少人为因素对安全管理的影响。在优化过程中，企业需要不断升级和完善信息化系统，确保其功能与实际需求高度契合，使得双重预防机制在信息化手段的支持下更加高效和精准。

# 6 工贸企业双重预防机制的改进与完善

## 6.1 对工贸企业安全文化的建设

工贸企业的安全文化建设是提升双重预防机制效能的基础。企业应从高层管理者开始，树立以安全为先的理念，通过企业文化的引导，使员工形成“安全第一”的意识。为此，企业应建立健全的安全管理体系，将安全文化纳入企业的核心价值观，并通过定期的安全培训、主题活动等方式，强化员工对安全的认知和责任感。企业还应推动员工参与到安全管理中，鼓励员工提出改进建议，形成全员共同参与的安全管理氛围。安全文化的建设不仅仅是制度上的要求，更需要通过日常的管理和实际的行为规范来落实，使安全成为每个员工的内在行动准则。

## 6.2 风险识别与隐患排查的精准化

精准的风险识别与隐患排查是双重预防机制的核心。工贸企业应根据实际生产环境，制定详细的风险评估标准和隐患排查清单，确保每个环节、每项操作都能被严格审视。利用现代技术手段，如人工智能、大数据分析、物联网等，企业能够更加准确地识别生产中的潜在风险，及时发现隐患，并进行有效治理。此外，隐患排查工作需要细化到每个岗位、每项设备，进行全方位的检查，确保不留死角。对于排查出来的隐患，企业应制定具体的整改措施和时限，确保隐患能够在第一时间得到解决，避免因整改滞后引发事故<sup>[4]</sup>。

## 6.3 持续改进与长效机制的建立

双重预防机制的实施是一个不断优化的过程。工贸企业应建立持续改进的机制，定期对双重预防机制进行评估与反思，总结经验教训，及时调整不适应生产需求的部分。企业应建立长效管理机制，通过不断的制度完善、技术升级和人员培训，确保双重预防机制的长久有效。通过加强对风险评估、隐患排查、应急管理等方面的持续改进，使企业能够在复杂的生产环境中始终保持较高的安全管理水平。长效机制的建设不仅有助于提升企业的安全防控能力，还能促进企业在安全生产上的持续投入与创新，最终实现可持续的安全管理目标。

# 7 结语

工贸企业的双重预防机制在保障生产安全、提升管理效能方面发挥着重要作用。通过风险评估与隐患排查的有效结合，企业能够及早识别潜在危险并采取相应的防控措施，从而显著降低安全事故发生的概率。然而，在实际实施过程中，仍面临着诸多挑战，如执行不到位、技术应用不充分等问题。因此，企业需要不断完善风险评估和隐患排查体系，强化安全文化建设，推动信息化手段的应用，确保双重预防机制能够得到有效落实。通过持续改进与长效机制的建设，工贸企业将在安全管理上不断取得突破，为员工的生命安全和企业的可持续发展提供坚实保障。

## 参考文献

- [1] 艾光艳,石秀玲,卢苗苗.工贸企业双重预防机制落地实施的关键影响因素分析[J].石化技术,2025,32(05):350-352.
- [2] 杨海明,白元,阿米热·夏布哈提.基于可拓学的工贸企业双重预防体系建设质量评价[J].华北科技学院学报,2023,20(03):119-124.
- [3] 曹春雷.狠抓工贸监管深化双重预防——江苏省南通港经济开发区做好工业企业风险报告“后半篇文章”[J].中国安全生产,2023,18(01):42.
- [4] 杜姗.基于危险因素数据库的工贸企业双重预防机制平台构建研究[D].导师:谭钦文.西南科技大学,2019.

# Research on the Integration of Mechanical Automation and Information Technology in Internal Combustion Engine Manufacturing Systems: A Case Study of the Internal Combustion Engine Oil Pump and Nozzle Industry

Yue Sun

Zhejiang Liwei Oil Pump and Nozzle Co., Ltd., Lishui, Zhejiang, 323000, China

## Abstract

Against the backdrop of the continuous evolution of the internal combustion engine industry towards high efficiency, low emissions, and high reliability, the manufacturing quality and production efficiency of key components such as oil pumps and nozzles have become important factors restricting the overall performance and competitiveness of enterprises. The traditional mechanical manufacturing model, represented by internal combustion engine components, has long been plagued by problems such as discrete processes, low equipment collaboration, and reliance on manual experience for quality control, making it difficult to adapt to the modern manufacturing demands of multiple varieties, small batches, and high consistency. The deep integration of mechanical automation and informatization provides an important technical path for the reconstruction of oil pump and nozzle manufacturing systems. On this basis, summarize the actual effectiveness of integrated applications in improving product consistency, production flexibility, and quality traceability, and propose an industry-specific integrated optimization path. The research conclusion can provide theoretical reference and practical guidance for key internal combustion engine component manufacturing enterprises to promote intelligent transformation and high-quality development.

## Keywords

internal combustion engine manufacturing; Oil pump; Oil nozzle; Mechanical automation; Information Integration

## 内燃机制造系统中机械自动化与信息化融合研究——以内燃机油泵油嘴行业为例

孙越

浙江丽威油泵油嘴有限公司，中国·浙江 丽水 323000

## 摘要

在内燃机产业向高效率、低排放与高可靠性方向持续演进的背景下，油泵油嘴等关键零部件的制造质量与生产效率，已成为制约整机性能与企业竞争力的重要因素。传统以内燃机零部件为代表的机械制造模式，长期存在工序离散、设备协同度低、质量控制依赖人工经验等问题，难以适应多品种、小批量与高一致性并存的现代制造需求。机械自动化与信息化的深度融合，为油泵油嘴制造系统的重构提供了重要技术路径。在此基础上，总结融合应用对提升产品一致性、生产柔性及质量可追溯能力的实际成效，并提出面向行业特点的融合优化路径。研究结论可为内燃机关键零部件制造企业推进智能化改造与高质量发展提供理论参考与实践指导。

## 关键词

内燃机制造；油泵；油嘴；机械自动化；信息化融合

## 1 引言

内燃机作为动力装备领域的重要基础，其技术演进始终与关键零部件制造水平密切相关。油泵油嘴作为燃油喷射

系统的核心部件，直接影响燃油喷射精度、燃烧效率与排放控制效果，对加工精度、装配一致性与质量稳定性提出了极高要求。随着排放法规趋严与市场需求多样化，油泵油嘴产品呈现出结构复杂化、规格多样化与精度极限化的发展趋势，传统依赖单机设备与人工干预的制造模式已难以满足产业升级需求。思考如何在油泵油嘴制造系统中实现两者的有机融合，使自动化装备“可感知、可决策、可协同”，成为当前内燃机零部件制造领域亟需解决的关键问题。基于此，

【作者简介】孙越（1987-），女，中国浙江丽水人，本科，工程师，从事内燃机油泵油嘴行业机械制造与自动化研究。

本文从系统视角出发,对机械自动化与信息化融合在油泵油嘴制造中的应用模式与实施效果进行系统研究。

## 2 内燃机油泵油嘴制造系统的工艺技术特征

内燃机油泵油嘴作为燃油喷射系统中的关键功能部件,其制造过程具有显著的精密机械加工属性和高度系统集成特征<sup>[1]</sup>。从工艺角度看,该产品普遍涉及高精度孔系加工、微小流道成形、关键配合面的精加工以及表面强化与清洁控制等核心工序。其中,油泵壳体、出油阀、柱塞以及油嘴偶件等零件在结构上呈现出尺寸微小、结构紧凑与功能高度集成的特点,对尺寸公差、形位精度和表面粗糙度均提出了严格要求。尤其是在高压共轨技术广泛应用的背景下,油嘴喷孔与针阀配合精度已直接关系到喷油雾化质量与燃烧效率,制造误差容忍度进一步压缩。从制造系统层面看,油泵油嘴生产通常由多台数控机床、专用加工设备、自动上下料装置及检测设备共同构成,各工序之间在时间顺序、质量传递与工艺约束方面存在显著的逻辑依赖关系。但在传统制造模式下,设备多以单机方式运行,工序信息依赖人工传递,质量反馈路径长、响应滞后,容易形成“设备自动化而系统非自动化”的运行状态。一旦某一关键工序出现偏差,往往难以及时追溯至源头工艺参数,增加了批量质量风险。与此同时,油泵油嘴产品型号更替频繁、定制化程度不断提高,制造系统不仅需要保证高精度和高一致性,还需具备快速换型和柔性调整能力,这对制造系统整体技术水平提出了更高要求。

## 3 信息化技术在油泵油嘴制造系统中的应用与支撑作用

### 3.1 制造信息系统在油泵油嘴生产过程中的功能定位

在油泵油嘴制造系统中,信息化技术的核心价值在于通过对生产要素、工艺过程与质量数据的系统整合,实现制造活动的可视化、可控化与可追溯化<sup>[2]</sup>。从功能定位上看,制造信息系统并非简单的管理工具,而是连接设计、工艺、生产与质量等环节的重要枢纽。通过对生产计划、工序路径与设备资源的统一调度,信息系统能够在多品种、小批量与高精度并存的生产环境中,维持系统运行的整体协调性。在具体应用中,制造执行层的信息系统通过对订单需求与工艺路线的解析,将生产任务分解并下达到具体设备或生产单元,实现生产节拍与资源配置的动态匹配。同时,系统能够实时采集设备运行状态、加工参数与工序完成情况,使管理人员对生产过程具备持续、客观的认知基础。这种基于数据驱动的运行方式,有效克服了传统依赖经验和人工汇报的管理局限,为油泵油嘴制造系统的精细化运行提供了技术支撑。

### 3.2 信息化对质量控制与系统协同的支撑机制

在质量控制层面,信息化技术对油泵油嘴制造系统的支撑作用尤为突出。通过对在线检测设备与测量系统的数据集成,制造信息系统能够实现关键尺寸、装配参数与性能指标的全过程记录与关联分析。当检测结果出现异常趋势时,系统可辅助技术人员快速定位问题工序与潜在影响因素,缩

短质量反馈链条,避免问题在后续工序中被放大<sup>[3]</sup>。而基于历史数据的统计分析还可为工艺参数优化与设备维护决策提供依据,推动质量管理由事后纠偏向过程预防转变。从系统协同角度看,信息化技术为机械自动化设备之间的协同运行提供了统一平台。通过标准化的数据接口与通信协议,不同类型的数控机床、装配设备与物流单元能够在信息系统的协调下实现有序衔接,减少因信息不对称造成的等待与空转现象。实践表明,在油泵油嘴制造系统中,信息化的深入应用不仅提升了单个工序的运行效率,更通过系统层面的协同优化,增强了整体制造能力与运行稳定性,为后续机械自动化与信息化的深度融合奠定了坚实基础。

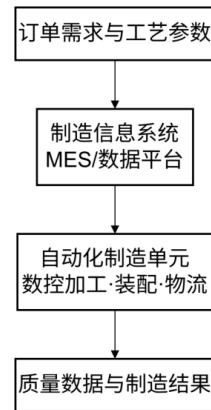


图1 内燃机油泵油嘴制造系统中机械自动化与信息化融合运行结构示意图

综上所述,信息化技术在油泵油嘴制造系统中不仅承担生产计划与过程管理功能,更通过对工艺参数与制造数据的集中整合,成为机械自动化系统运行的统筹中枢。在此基础上,油泵油嘴制造逐步形成由订单需求驱动、信息系统协调、自动化单元执行的融合运行模式,其典型结构如图1所示。

## 4 融合模式在油泵油嘴制造系统中的应用成效分析

### 4.1 对制造效率与生产柔性的综合提升作用

在机械自动化与信息化深度融合的背景下,油泵油嘴制造系统在生产效率与运行柔性方面表现出显著提升<sup>[4]</sup>。通过信息系统对生产计划、设备负荷与工序节拍的统一调度,自动化设备能够在较高负载率下保持稳定运行,减少因计划不匹配或信息滞后导致的等待与停机现象。相较于传统依赖人工协调的生产组织方式,融合模式下的制造系统在节拍衔接与资源配置方面更具整体性,有效提升了单位时间内的有效产出水平。

由表1可以看出,在引入信息化系统并与机械自动化深度融合后,油泵油嘴制造系统由以单机设备为中心的分散运行模式,逐步转向以系统调度和数据驱动为核心的协同运行模式。生产组织方式、工序衔接效率以及质量控制手段均发生了结构性变化,为制造效率和系统柔性的提升提供了基础条件。

表 1 机械自动化与信息化融合前后油泵油嘴制造系统特征对比

对比维度	传统制造模式	自动化与信息化融合模式
生产组织方式	以单机设备为中心, 人工协调	以系统调度为核心, 数据驱动协同
工序衔接	信息传递依赖人工, 反馈滞后	工序状态实时共享, 闭环反馈
加工与装配一致性	受操作经验影响较大	参数受控, 重复性与稳定性高
产品换型能力	换型周期长、调整成本高	工艺与任务快速切换, 柔性显著提升
质量控制方式	以终检为主, 事后纠偏	过程监控为主, 事前预警
质量追溯能力	追溯链条断裂, 效率低	数据完整可查, 定位准确
系统运行稳定性	易受局部异常影响	具备系统级协调与缓冲能力

#### 4.2 对质量稳定性与过程可控性的促进效应

在质量管理层面, 机械自动化与信息化融合显著增强了油泵油嘴制造系统的过程可控性。通过对加工参数、装配数据与检测结果的全过程采集与关联分析, 制造系统能够实现关键质量特性的实时监控与动态评估。当某一工序参数出现偏离趋势时, 信息系统可及时提示并辅助技术人员进行工艺调整, 从而在质量问题尚未固化之前完成干预, 降低不合格品流入后续工序的风险。而融合模式下形成的完整数据链条, 为质量追溯与持续改进提供了可靠依据。通过对历史数据的系统分析, 企业能够识别影响油泵油嘴性能稳定性的关键因素, 并据此优化工艺参数、完善设备维护策略。这种由数据支撑的质量管理方式, 使制造系统由传统的事后检验逐步转向以过程控制为核心的预防型管理模式, 不仅提升了产品一致性和可靠性, 也为内燃机关键零部件制造的高质量发展提供了长期保障<sup>[5]</sup>。

### 5 面向油泵油嘴行业的机械自动化与信息化融合优化路径

#### 5.1 以关键工序为核心的融合深化方向

从油泵油嘴制造实践看, 机械自动化与信息化融合的成效在不同工序之间呈现出明显差异, 其关键制约因素往往集中于精密加工、关键装配及质量判定等核心环节。因此, 融合优化应以关键工序为突破口, 围绕高精度孔系加工、针阀装配与性能一致性控制等核心环节, 进一步强化自动化装备与信息系统之间的数据耦合深度。一方面, 需要通过完善传感与采集手段, 实现加工参数、装配力一位移曲线及在线检测结果的高频、稳定获取; 另一方面, 应在信息系统层面加强对关键参数的关联分析能力, 使数据不仅用于记录, 更能服务于工艺优化与异常预警。在此基础上, 制造系统可逐步构建以关键质量特性为核心的数据模型, 将产品性能要求与工艺参数之间的关系显性化、结构化。这种以质量目标反向驱动工艺控制的融合路径, 有助于油泵油嘴制造系统由“经验调试”向“数据校正”转变, 提升制造过程的可复制性与长期稳定性。同时, 通过对关键工序运行数据的持续积累, 还可为后续工艺标准化和技术迭代提供可靠依据。

#### 5.2 面向系统协同与持续演进的融合发展方向

从更高层级看, 油泵油嘴制造系统的融合优化不应局

限于单一产线或局部工序, 而应着眼于系统整体协同能力的提升。在制造组织层面, 需要进一步打通设计、工艺、生产与质量之间的信息壁垒, 使产品结构变更、工艺调整和质量反馈能够在系统内实现快速闭环响应。通过这种纵向贯通的信息流设计, 机械自动化设备的运行可更加贴合产品生命周期演进需求, 减少因信息断层造成的重复试错与资源浪费。同时通过融合发展还应服务于制造系统的持续演进能力。随着产品技术升级和市场需求变化, 油泵油嘴制造系统需要具备不断扩展和自我优化的空间。这要求在自动化装备选型和信息系统架构设计阶段, 充分考虑系统的开放性与兼容性, 为后续新设备接入、工艺升级和功能扩展预留接口。从长远看, 通过构建可扩展、可迭代的融合制造体系, 油泵油嘴制造系统能够在保持高精度与高可靠性的同时, 实现对复杂市场环境的主动适应, 为内燃机关键零部件制造的高质量与可持续发展奠定坚实基础。

### 6 结语

内燃机油泵油嘴制造系统具有精度要求高、工序复杂与产品多样化等典型特征, 单一依赖机械自动化或信息化均难以支撑其高质量发展需求。通过机械自动化与信息化的深度融合, 制造系统能够在效率、质量与柔性方面实现协同提升。本文的研究表明, 融合发展不仅是技术升级路径, 更是制造模式与管理理念的系统性变革。如今随着信息技术与制造技术的持续演进, 内燃机关键零部件制造领域将进一步向智能化、精细化与高可靠性方向迈进。

#### 参考文献

- [1] 宋天霖, 屈慧栋, 徐雨熙, 等. 基于深度学习的增材制造技术在内燃机优化中的应用研究[J]. 内燃机与配件, 2025, (15): 119-121.
- [2] 许小娟. 面向绿色制造的内燃机制造过程自动化改造研究[J]. 内燃机与配件, 2025, (08): 100-102.
- [3] 赵曰超. 内燃机凸轮轴的设计及制造分析[J]. 现代制造技术与装备, 2025, 61(01): 7-9.
- [4] 江灏源. 机械工程及自动化在内燃机制造中的应用[J]. 内燃机工程, 2024, 45(06): 8.
- [5] 王志岩. 机器人集群智能制造系统功能设计与应用方法探析[J]. 内燃机与配件, 2022, (05): 196-198.