

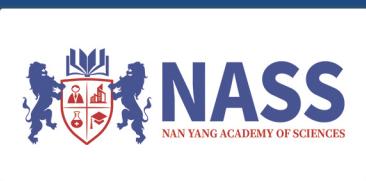
工程研究前沿

Frontiers of Engineering Research

Volume 2 · Issue 11 · November 2025 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



工程研究前沿 Frontiers of Engineering Research

Volume 2 · Issue 11 · November 2025 3060-9054(Print) 3060-9062(online)



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

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

Database Inclusion



Google Scholar



Crossref



China National Knowledge Infrastructure

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

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
Tel: +65-65881289
Website: <http://www.nassg.org>



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 2 Issue 11 November 2025
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 机械制造工艺中的合理化机械设计研究
/ 陈丰旺 于德举 杨文娟
- 4 采矿工程应急管理体系构建与事故救援效率提升研究
/ 朱红军
- 7 建筑电气消防工程设计要点及施工方法探讨
/ 李星垚
- 10 科研机构实验室安全标准化建设管理优化与实践研究
/ 崔思华 买炜 冯进千 周春蕾 霍志伟
- 14 数据驱动的智慧园林施工：理论构建、技术融合与实践创新
/ 马志云
- 17 高速公路机电设备全生命周期智能运维研究
/ 冶金辉
- 20 区域农田水利系统规划与高标准农田建设衔接研究
/ 王海波
- 23 信息化技术在建筑工程监理中的应用研究
/ 赵婷婷
- 26 有机污染场地化学氧化修复过程中污染物削减效率评价研究
/ 王志国 吴鹏 岳明灿
- 29 新能源光伏电站安全技术及应用研究
/ 程迎
- 32 海洋工程灾害评估预警系统评估指标综述
/ 李文焘 韩东睿
- 35 基于 GIS 的不动产登记数据在建筑施工管理中的应用研究
/ 董桂鑫
- 38 浅谈桥梁工程钻孔灌注桩成桩施工技术探讨
/ 李域斌
- 1 Study on Rational Mechanical Design in Mechanical Manufacturing Process
/ Fengwang Chen Deju Yu Wenjuan Yang
- 4 Research on Establishing Emergency Management Systems and Enhancing Rescue Efficiency in Mining Engineering
/ Hongjun Zhu
- 7 Discussion on Key Points and Construction Methods of Building Electrical Fire Protection Engineering Design
/ Xingyao Li
- 10 Research on the Optimization and Practice of Laboratory Safety Standardization Construction Management in Scientific Research Institutions
/ Sihua Cui Wei Mai Jinqian Feng Chunlei Zhou Zhiwei Huo
- 14 Data driven smart garden construction: theoretical construction, technological integration, and practical innovation
/ Zhiyun Ma
- 17 Research on intelligent operation and maintenance of highway electromechanical equipment throughout its lifecycle
/ Jinhui Ye
- 20 Research on the connection between regional farmland water conservancy system planning and high standard farmland construction
/ Haibo Wang
- 23 Application of Information Technology in Construction Engineering Supervision
/ Tingting Zhao
- 26 Research on Evaluation of Pollutant Reduction Efficiency in Chemical Oxidation Remediation of Organically Contaminated Sites
/ Zhiguo Wang Peng Wu Mingcan Yue
- 29 Research on Safety Technology and Application of New Energy Photovoltaic Power Station
/ Ying Cheng
- 32 A Review on evaluation index of marine engineering disaster assessment and early warning system
/ Wentao Li Dongrui Han
- 35 Research on the application of GIS-based real estate registration data in construction management
/ Guixin Dong
- 38 Discussion on the Construction Technology of Drilled Pile in Bridge Engineering
/ Yubin Li

Study on Rational Mechanical Design in Mechanical Manufacturing Process

Fengwang Chen Deju Yu Wenjuan Yang

Zhejiang Jialide Sports Technology Co., Ltd., Jinhua, Zhejiang, 321000, China

Abstract

In mechanical manufacturing, rational mechanical design plays a pivotal role in enhancing productivity, reducing production costs, and improving product quality. With the continuous advancement of manufacturing technologies, green production and precision cutting have emerged as the primary development trends. This article elaborates on the critical role of mechanical design in manufacturing processes, analyzes key technologies in product manufacturing, and explores rational optimization strategies for mechanical design. These efforts aim to elevate product standardization and precision, ensure quality control, and establish a theoretical foundation for the sustainable development of the mechanical manufacturing industry.

Keywords

mechanical manufacturing; mechanical design; green concept

机械制造工艺中的合理化机械设计研究

陈丰旺 于德举 杨文娟

浙江嘉立德运动科技有限公司, 中国 · 浙江 金华 321000

摘要

在进行机械制作的过程中, 合理的机械设计对提高生产率、降低制作成本以及提高产品品质都有着十分关键的作用。随着制作技术的不断发展, 绿色制作和精密切割是目前的主要发展趋势。文章主要阐述了机械设计在机械制作过程中的重要作用, 对产品制造工艺进行了关键性技术的分析, 并在此基础上对合理化的机械设计优化策略进行了研究, 以便于提高产品的标准化程度及精度水平, 确保产品质量, 为机械制造业的可持续发展奠定理论基础。

关键词

机械制造; 机械设计; 绿色理念

1 引言

作为整个制造过程中的一个重要环节, 机械制造工艺的质量直接关系着产品的精度、效率以及生产成本。面对市场上日益增长的高质量、高精度、高效率的机械产品的需求量, 机械设计在整个制造工艺中发挥的作用也越来越重要。传统机械设计的方法已经不能够满足当前制造的要求了, 为此, 合理的机械化设计成为目前的研究热点。

2 机械设计在机械制造工艺中的重要性

2.1 契合环保理念中的机械设计发展需求

绿色制造是当前制造业发展的主要趋势之一, 即在制造过程中考虑到资源的节约以及环境保护等方面的问题, 在机械设计中加入绿色设计理念, 则要求设计师不仅要注重产品本身的使用功能及性能, 还要考虑其对于环境造成的影响。

【作者简介】陈丰旺(1982-), 男, 中国浙江人, 本科, 高级经济师/工程师, 从事机电制造方面的研究。

响; 通过对机械进行合理化设计, 实现机械制造过程中的材料节省, 降低能源消耗, 同时改进生产过程, 以减小对环境的影响, 比如在产品设计上减少原材料浪费、选用可以重复利用或者分解的原料、提升机器效率等等, 都可以有效地进行绿色化生产。

2.2 提升机械设计产品表面的精密度和光滑度

机械产品的工作面及外表面粗糙度对机械的功能和外形有重要影响, 在实际工作中, 表面粗糙度的质量好坏也决定了零部件之间的配合精度、工作性能及其使用周期。良好的机械设计可以通过对零部件的合理形状设计和加工方式来降低表面加工过程产生的误差, 保证零件表面粗糙度的要求。选用合适的材料及合理的加工顺序都可以对表面的质量进行有效的提升, 如采取高精度的数控加工或者精密研磨等方式, 就可以降低其表面粗糙程度, 并不会影响产品使用效果^[1]。

2.3 提高机械设计生产效率

提高生产率也是机械制造行业的主要目的之一。合理

的机械设计可以有效改进生产工艺过程，通过减少不必要的工艺环节、对零件进行优化设计，缩短加工时间，提高生产率。比如在设计机械时考虑将零件自动化组装起来，减少人为操作，从而减少生产中停歇时间和调整时间。提升产线整体效益。另外，标准化设计还可以有效提升产品率，统一模、夹具的应用，降低工艺变更及设备调试的时间成本，实现生产的一致性和高效化。

3 机械制造工艺中的主要技术

3.1 制作及技术程序

在机械制造中，制作技术和制作过程都是十分重要的，它们能为整个机械制造业的顺利运行提供有力保障。其中，制作技术尤为重要，在设计制作技术的过程中，首先应依据产品的具体需求以及相关的生产设备来制定相应的制作流程，并尽量避免重复操作及资源的浪费。缩短工序路线，合并某些环节，适当调整工序顺序可提高工效及产品质量的一致性。采用技术优化，可以减少材料的浪费，节约生产时间，降低成本，还可以提高产品合格率。通过对过程的设计，能增加整体系统生产的协调性及稳定性，保证质量的稳定及持续改进。

3.2 零件装夹及定位

装夹定位作为机械加工中的重要环节之一，对加工精度以及加工效率都有很大的影响。合理的设计装夹及定位能很大程度上避免因零件的位置移动或者松动而产生的误差，保证各个加工过程的精确性。因此，在进行零件装夹定位的设计时，应从零件本身的形式、材料、加工方式等多个角度出发，正确地选用夹具及定位方法。例如，在对一些复杂的工件进行加工的过程中，采取多次定位以及夹紧的方法能够保证工件在加工过程中的稳定状态。正确的装夹有利于缩短加工时间，减少废品数量，节省材料，同时进行标准化的夹具及工、卡量具的设计可以达到高效率、统一性的生产^[2]。

3.3 科学合理的控制好加工精度

在机械生产过程中，加工精度控制非常重要，可以有效提升产品质量及性能。在进行机械设计的过程中，应该从源头降低加工误差的发生，保证产品精度符合规定标准。在设计过程中，根据零件功能需求以及应用环境，选择合适的材料和加工方式，防止由于材料不合适或者加工方式不合理而导致误差。其次，对于加工过程中的其他一些影响要素比如温度、设备精度、工具磨损等也要进行充分考虑并做出相应的措施进行控制，如采用高精度的数控机床、对零件进行温度控制、及时更换刀具等方法能有效地减小加工过程中的误差。合理的精度控制不仅能保障产品满足其功能性及产品质量的要求，而且可提高生产的效率，降低返工率和废品率。

4 以机械制造工艺的合理化为基础的机械设计

4.1 尽可能提高机械设计的标准化水平

在确保机械制造加工过程合理的前提下，在机械设计

上进一步加强标准化建设，有利于实现各生产环节之间的紧密衔接，提高产品的合格率。而加强标准化理念的应用其实就是从设计的角度出发，通过规范化、统一化的标准来减少产品加工过程中出现的各种不连续性和不可控性因素。二是统筹协调整体产业链布局。对于产品的设计来说，合理的工艺是指所设计出来的产品能适合当前生产工艺进行制造，并且能够满足相关工艺的要求，因此，在设计的过程中应注重标准化的设计理念落实到每个零件的选择及结构安排以及安装等方面。

一是从零件的设计入手，尽量采用国家或行业标准件，比如滚动轴承、紧固件、传动齿轮等，这些标准件具有成熟可靠的使用性能，并可通过批量采购节约费用及仓储空间；二是通过模块化设计实现零件的标准化。采用标准化设计方法，即将一个机械产品的各个部件分解成具有相对独立功能而其输入、输出端口又趋于统一的一些标准单元，这样既可使得不同的产品之间能实现各单元间的互相调用替换，也便于在实际加工过程中减少对各种专用工装夹具的需求。例如在机床的设计中将机床的主要部件如主传动系统部分、进给系统部分及控制系统的部分进行标准化处理，则可缩短新产品的开发周期，并有利于产品制造中的加工、装配和调试环节的工作开展；另外标准化设计还包括制定统一的设计技术文件格式、图样画法、零部件编号方法、材料选用原则等等。保证设计信息在设计部门、生产部门、质检部门之间的正确传达，防止由于信息误差而造成的返改。采取以上系列化的设计方案可以大大缩减特殊零件的数量，缩小零件加工工序转换的频率，并增强产品的稳定性，为以后的大规模生产以及质量管理提供便利条件，这是机械加工工艺科学性的主要设计理念之一。

4.2 在最大程度上有效提高加工质量

机械制造工艺合理化是以确保机械产品加工质量为主要目的进行的设计工作，在设计阶段结合设计及加工工艺，以提高机械产品质量为目标，因为机械产品加工质量会对其使用寿命产生影响，同时，由于存在合理的工艺过程限制了设计方案的应用范围，因此在设计过程中需保证方案在加工过程中的可行性以及可靠性。为避免由于设计和工艺分离造成质量问题，如对承受高频率载荷的机件，其材料需采用强度高的合金钢及相应的热处理工序，并在图纸上注明材料的公差及性能检查要求，以保障材料的质量能满足加工条件。再者，在结构设计上也要尽可能适应加工工艺的特点，不能设计出难于加工或者无法保证加工精度的零件。例如箱体类零件，在进行其设计的时候应该考虑好孔系的位置安排，保证其钻孔、镗孔等加工操作可以利用现有的机器一次装夹完成，降低由于多次装夹造成的定位误差。另外，还要考虑零件加工后应力的释放，应有合理的过度圆角及加强筋等结构来保证零件不会由于加工应力而产生形变影响加工质量。当然，工艺合理化的设计还包含对加工过程的质量风

险预先分析，并体现在设计方案上进行预防性控制。如针对薄壁类零件，在切削中易产生振动变形，可从结构上增加其刚性，同时采用适当的低速切削参数来确保加工稳定性。

4.3 尽可能提升其加工精度的效率

加工精度是决定机械产品关键性指标之一，而以机械制造工艺合理化为基础开展机械设计工作，则可以通过实现设计及工艺之间的配合与完善，在源头上对加工精度进行保证。提高加工精度的过程实际上是在加工过程中通过对各类误差来源的把控来保证零件达到所规定的尺寸、形状以及位置等方面的要求，而设计过程的合理性则决定了其误差控制难度^[3]。

基于工艺合理的机械设计首先要经过精密的理论计算和仿真，在确定零件的尺寸公差、形位公差等精度的同时也要保证其在现有工艺技术能力范围之内可以加工出来。如精密齿轮的设计就需要结合齿轮的传动比、承载力等需求，精确计算齿厚公差、齿形公差、中心距公差等，并配置相应的数控滚齿、磨齿等精密加工方法，避免精度指标定得高加工不出来或者精度指标定得低又不满足使用要求。另外，从结构上来说，应该考虑到加工过程中的定位以及装夹的稳固性，并对零件进行定位基准的合理化设计，使得其能够在加工过程中实现准确定位并均衡受力的效果。例如针对一些轴类零件，就可以运用两端中心孔作为定位方式，从而利用中心孔的精准定位效果来保障整个轴件的圆柱度、同轴度等内容达到预期的要求。其次，在进行设计的时候也应该尽可能地减少在加工过程中所出现的基准转换现象，避免基准转换所带来的累积误差；与此同时，在对工艺进行合理化设计的过程中也必须要考虑到应用精密加工技术的要求。例如，在设计需要进行数控加工的零部件时，应优化结构，以提升其可切削性，避免出现深腔、窄槽等难以通过数控加工完成的设计；在使用激光切割、电火花加工等特种精密加工技术时，应根据这些技术的特性，设计符合要求的零部件结构和材料选择。

4.4 要着重关注绿色加工

在进行机械设计的时候应该从机械制造工艺的合理性出发，在整个机械设计过程中贯彻绿色加工的理念，让设计工作和生产工艺能够相互配合起来，最终达到绿色节能、低耗减排的目的，并且这也是当今时代下对于机械制造业提出的一个基本的要求。所谓的绿色加工并不单单只是使用绿色环保的原材料来进行生产制作而已，还包含着对原材料的选

择、加工技术以及废料回收利用还有产品环境友好性等方面的内容。而设计过程是整个产品的源头所在，在很大程度上决定了绿色加工能否合理地进行。

基于工艺合理的关注绿色加工首先是注重对绿色加工材料的选择，尽量采用可回收、可降解、低污染的绿色材料，并避免选用有毒有害元素的材料，在设计机械零件的时候可以选用强度高的铝合金以及工程塑料等材料，这种材料具有重量轻的特点而且可回收。可以减轻产品重量，并减少材料加工过程中的能耗及污染排放。另外是设计应考虑生产制造工艺的绿色化，在结构上尽量减少加工余量以减少切削过程中产生的废料及能耗。如对于铸件的设计，可通过对铸件结构进行优化设计，使铸件尽可能接近最终成品零件的尺寸大小，从而减小切削加工的余量，节约原料的同时也减少了机床加工耗电以及切削液用量。同时，在设计中也应当考虑在加工环节如何减少废弃物排放，如采用合理的零件结构形式，减少切削时所产生的切屑量，并使用可降解的切削液以及环保型涂镀层技术来降低加工过程对环境污染的程度；另外绿色加工理念还要求设计者在进行方案设计时要考虑产品的全生命周期环保性，从产品设计开始即考虑其拆卸及回收方法，以模块式设计为主，便于报废后的零件进行分类回收以及再次利用。

5 结语

综上所述，在机械制造工艺中对机械设计的合理性进行分析具有十分重要的意义，只有合理地进行机械设计，才能更好地提高生产的效率，并降低相应的成本，进而提高产品的质量水平；通过对机械设计进行合理的优化，不仅可以提高生产效率以及加工精度，而且可以达到绿色制造的效果，促进机械制造业向着可持续方向发展。相信在未来科学技术的发展下，对于机械设计将会有新的突破及变化，在智能化、自动化以及绿色环保方面会不断地进行完善。更好适应和服务于社会和市场需求。

参考文献

- [1] 李俊岭.机械制造工艺中的合理化机械设计研究[J].造纸装备及材料,2021,50(11):101-103.
- [2] 魏强,王平.机械制造工艺中的合理化机械设计研究[J].前卫,2023(5):31-33.
横,2019,28(24):247-247.
- [3] 李胜.基于机械制造工艺中的合理化机械设计研究[J].石油石化物资采购,2020(21):95-95.

Research on Establishing Emergency Management Systems and Enhancing Rescue Efficiency in Mining Engineering

Hongjun Zhu

Pingliang Xin'an Coal Industry Co., Ltd., Pingliang, Gansu, 744200, China

Abstract

Mining operations face complex production environments and volatile geological conditions, with frequent accidents causing widespread impacts. Developing a scientific and efficient emergency management system is crucial for minimizing casualties and economic losses. Based on accident characteristics and risk analysis, this study explores pathways for emergency system construction through organizational structure optimization, contingency plan development, information technology integration, and multi-department coordination. By implementing risk classification control, intelligent monitoring and early warning systems, digital command platforms, and collaborative mechanisms, a closed-loop management model of “prevention—response—recovery” is established. The research demonstrates that the scientific rigor and execution capability of emergency management systems directly influence rescue efficiency and safety standards. The paper proposes establishing a smart mine emergency platform and strengthening rescue team deployment and resource allocation to achieve intelligent and efficient emergency response.

Keywords

Mining Engineering; Emergency Management System; Accident Rescue; Risk Control; Information Management

采矿工程应急管理体系构建与事故救援效率提升研究

朱红军

平凉新安煤业有限责任公司，中国·甘肃平凉 744200

摘要

采矿工程生产环境复杂、地质条件多变，突发事故频发且影响广泛。构建科学高效的应急管理体系是降低人员伤亡与经济损失的关键。本文基于事故特征与风险成因分析，从组织架构、预案体系、信息化技术与救援协同等方面探讨应急体系构建路径。通过引入风险分级管控、智能监测预警、信息化指挥与多部门协作机制，形成“事前预防—事中应对—事后恢复”的闭环管理模式。研究表明，应急管理体系的科学性与执行力直接影响救援效率与安全水平。文章提出建设智慧矿山应急平台、强化救援队伍与资源调度，以实现应急响应的智能化与高效化。

关键词

采矿工程；应急管理体系；事故救援；风险控制；信息化管理

1 引言

采矿工程是资源型产业的重要支柱，其安全生产水平直接关系国家能源保障与社会稳定。随着矿业生产规模扩大和机械化、自动化程度提高，矿山事故呈现出复杂性、突发性与链式反应特征。传统安全管理模式在面对突发事故时反应迟缓、指挥分散、救援协调效率低下，亟需构建系统化、智能化的应急管理体系。近年来，国家陆续出台《安全生产法》《矿山安全规程》《生产安全事故应急条例》等政策文件，强调应急预案与救援机制建设的重要性。采矿工程应急管理体系建设不仅是安全技术问题，更是综合治理与系统工程，涉及组织架构、信息传递、技术支撑与人力资源等多个层面。

【作者简介】朱红军（1986—），男，中国甘肃平凉人，本科，助理工程师，从事采矿工程方面研究。

本文以应急管理体系为研究核心，结合采矿工程特点，系统探讨应急体系构建思路与事故救援效率提升策略，旨在为矿山企业实现安全治理体系现代化提供路径借鉴。

2 采矿工程事故特征与应急管理需求分析

2.1 采矿工程事故的主要类型与特征

采矿工程事故呈现多样性与复杂性，主要包括瓦斯爆炸、煤尘爆炸、顶板垮塌、水害突发、机械设备故障以及火灾中毒等类型。这些事故通常具有“高危性、高损失、高速传播”的特征。瓦斯与煤尘爆炸往往在瞬间引发连锁反应，造成大范围破坏；顶板垮塌和地压事故则破坏力强、次生灾害多，极易诱发新的结构失稳；水害事故具有隐蔽性和突发性，常导致设备损毁与通信中断；火灾与有害气体中毒则进一步加剧救援难度。事故发生后，矿井空间狭小、能见度低、通风不畅、温度高等不利条件叠加，使得搜救行动复杂、风

险倍增,对应急响应的科学性与指挥效率提出更高要求。

2.2 传统应急管理的局限性

传统矿山应急管理体系以人工决策和行政指令为主,缺乏技术支撑与信息化手段,难以应对复杂多变的灾害情境。事故信息采集与传递存在显著延迟,决策层难以实时掌握现场态势,导致救援调度缺乏精准依据。多数企业的应急预案停留在文件层面,缺少实战演练和动态修订机制,组织协调效率低,资源利用不均衡。数据孤岛现象普遍存在,监测、通信、调度等系统未实现数据共享与联动,限制了指挥平台的整体效能。应急管理的被动性与滞后性,使得救援反应时间延长,增加了人员伤亡与经济损失的风险,亟需通过智能化、体系化手段实现优化与革新。

2.3 应急管理体系建设的必要性

完善的应急管理体系是矿山安全治理体系现代化的基础。科学的应急体系应涵盖风险识别、监测预警、应急响应与灾后恢复全过程,实现“事前预防—事中控制—事后总结”的闭环管理。通过建立统一指挥、分级响应、信息共享与技术支撑机制,可显著提升事故处置的及时性与协调性。体系化建设不仅有助于形成标准化、制度化的应急管理框架,还能通过大数据与人工智能实现事故规律分析与风险趋势预测,为安全决策提供量化依据。长远来看,应急体系的建立有助于推动矿山安全管理由经验型向数据驱动型转变,从被动应对走向主动防控,构建矿山本质安全与智能治理的新格局。

3 采矿工程应急管理体系的结构与构建路径

3.1 应急组织体系的结构优化

矿山应急组织体系的构建应以“统一指挥、高效协同”为核心原则,形成多层级、网格化的应急管理结构。体系应以矿山企业为主体,政府部门提供政策与监管指导,社会救援力量作为重要支撑。企业内部需设立常设应急指挥中心,下设监测预警、救援调度、医疗救护、后勤保障、舆情应对及通信联络等职能组,明确岗位职责与权限边界。各小组之间应通过数字化指令系统和标准化工作流程实现快速响应与信息同步,避免指令传递延迟与重复指挥。在指挥层面,应实行纵向分级管理与横向协同联动相结合的运行模式,构建“指挥统一、分级负责、响应有序”的组织体系。通过制度化、流程化的组织管理,可有效提升突发事件中的协调效率与资源整合能力,实现事故应对的系统化与高效化。

3.2 应急预案体系的科学化建设

科学化的应急预案体系是矿山应急管理的制度核心,其编制应遵循系统性、实用性与动态性原则。预案制定应以全面风险评估为基础,结合矿区地质构造、通风系统、设备布局与作业流程,分类设计针对性处置方案。应按事故类型、影响范围与危害程度设定分级响应机制,确保不同级别的突发事件均有对应处置路径。预案内容应覆盖风险源识别、危

险区域划定、人员疏散路线、救援力量配置、物资调配方式及通信保障方案。为提高预案的科学性与适应性,应建立动态修订与周期性演练机制,结合生产工艺变化和技术条件更新实时调整方案。通过多场景、多部门联合演练检验预案可行性,形成“编制—验证—修订—再实施”的闭环管理模式,从而确保预案真正具备指导实践与快速落地的能力。

3.3 信息化应急指挥平台的集成构建

现代矿山应急管理的核心在于信息化支撑体系的构建。应基于“多源数据融合、智能辅助决策、可视化协同指挥”的理念,建立综合应急指挥平台。该平台应集成矿山安全监测、地理信息系统(GIS)、视频监控、人员定位、通信网络及应急调度系统,实现数据的统一汇聚与实时可视化。通过大数据分析与人工智能算法,可实现事故征兆识别、趋势预测及决策辅助,为指挥人员提供多维度数据支持。平台应具备多部门协同接口,支持跨系统信息互通与指令联动,使指挥中心能够在数秒内完成态势感知、资源调度与任务分配。借助云计算与区块链等新兴技术,可进一步保障数据安全性与决策透明度。信息化指挥平台的建成,将有效实现“感知—分析—决策—执行—反馈”的闭环管理,推动矿山应急管理从传统被动应对向智能化、主动化、精准化转型。

4 事故应急响应与救援效率提升机制

4.1 应急响应机制的快速化与精细化

应急响应体系的建设核心在于实现事故处置的高效联动与精准指挥。针对矿山突发事件,应建立自动报警与智能响应系统,通过多传感器监测与数据联动,当瓦斯、地压、水位等指标异常时,系统可自动触发报警并推送至应急指挥平台。信息化应急指挥系统应集成监测数据、地理信息与人员定位,实现事故类型的自动识别与分级响应。通过预设应急处置模型,系统可在第一时间匹配救援方案与物资清单,减少人工判断延误。各部门的职责与操作流程需实现数字化固化,确保从报警到指令下达的全过程流畅衔接。通过建立“多源监测—自动响应—精确调度”的快速反应机制,可显著提升矿山事故应急处置的科学性与时效性。

4.2 事故救援组织与专业队伍建设

高水平的救援组织体系是矿山应急管理的重要保障。应在矿区范围内组建常态化、专业化的应急救援队伍,配备地质灾害处置、通风排险、瓦斯检测、医疗救护等多领域专业人员^[1]。救援队伍应通过系统化培训与实战演练提升综合技能,掌握复杂地质环境下的救援策略与装备操作规范。为提高救援协同性,可建立跨企业、跨区域的联合救援联动机制,形成“企业为主、区域协同、国家支援”的多层应急组织结构。救援指挥体系应实行“统一指挥、分区救援”的模式,确保各作业面协调一致,避免重复调度或资源浪费。通过建立专业队伍与科学组织模式的结合,可在重大事故发生时实现高效、安全、有序的救援行动。

4.3 救援资源优化与物资保障机制

救援资源的合理配置与动态管理是提升应急效率的重要支撑。应构建数字化物资管理平台，实现救援装备、医疗器材、交通工具及应急物资的实时监控与自动预警。物资储备布局应遵循“分级设置、就近调配、统一指挥”的原则，在矿区、区域与省级层面建立多级物资中心，确保应急物资能在最短时间内到达现场。通过建立资源共享与协同调度机制，实现矿区之间的物资互联互通，提高整体应急保障能力。各类救援装备需定期检修、校验与更新，建立设备状态档案，确保关键装备完好率达到标准要求。完善的物资保障体系不仅能提高救援效率，也能在事故应对中有效支撑持续作业与现场医疗救护，保障应急体系的整体韧性与稳定运行。

5 采矿工程应急管理的智能化与持续优化路径

5.1 风险监测与智能预警体系建设

智慧化矿山的安全管理核心在于风险的实时监测与动态预警。通过部署物联网传感器网络，可对瓦斯浓度、地压、水位、温湿度、通风状况等关键参数进行全时监控，形成高精度、多维度的数据采集体系^[2]。基于人工智能算法的异常识别模型，能够对参数波动趋势进行智能判别与预测，提前发现潜在隐患。建立多源数据融合机制，将传感数据、地质模型、历史事故案例与作业计划信息关联分析，生成动态风险地图，实现风险的空间化展示与分级管控。智能预警系统应与应急指挥中心、人员定位系统、视频监控平台联动，形成从“监测—分析—预警—响应”的闭环链路，确保在事故萌发阶段即可实现“早发现、早响应、早处置”，为矿山安全防控提供科学支撑。

5.2 大数据与区块链技术在应急管理中的应用

在矿山应急管理体系中，大数据与区块链技术的融合应用显著提升了数据治理水平与决策科学性。通过对设备运行状态、环境参数及人员行为的动态采集与分析，大数据平台能够建立风险预测模型，实现对事故高发时段、关键工序及薄弱环节的精准识别，为安全生产决策提供量化依据^[3]。区块链技术的引入，使应急数据实现分布式存储与不可篡改性，确保事故信息的真实性与透明性。通过智能合约与多节点同步机制，可实现跨部门、跨企业的信息共享与协同联动，形成可信数据链条，提升应急响应过程中的协作效率与信任

水平。两者结合可构建“数据驱动—区块协同—智能决策”的应急管理新格局，为智慧矿山安全体系提供坚实的技术保障。

5.3 持续改进与演练评估机制

完善的应急管理体系必须具备动态演化与持续改进能力。通过建立常态化事故演练与评估机制，能够在非紧急状态下检验组织指挥能力、资源调度效率与应急设施可靠性。演练应覆盖瓦斯爆炸、水害突发、火灾泄露等多种情景，采用实地模拟与虚拟仿真相结合的方式，确保参与人员具备实战应对能力。事后应进行系统复盘与专家评估，针对暴露的问题制定整改措施，并将评估结果反馈至应急预案修订与制度优化中。通过建立绩效考核制度，将演练质量与管理绩效挂钩，激励相关部门持续优化应急响应流程。形成“实战—复盘—改进—再演练”的动态循环体系，可显著提升矿山应急体系的科学性、执行力与长期适应性。

6 结语

采矿工程应急管理体系的构建，是保障矿山安全生产、减少人员伤亡和经济损失的重要环节。完善的应急体系应实现组织架构科学化、预案设计系统化、指挥调度智能化与救援响应高效化。通过构建基于信息化技术的智慧应急平台，强化风险监测与预测预警，形成“统一领导、分级响应、协同救援”的工作格局^[4]。未来，应继续推动人工智能、大数据、区块链等新兴技术与矿山安全管理的深度融合，完善应急法制体系与社会协同机制，使采矿工程的应急管理从经验型向数据驱动型、从被动应对向主动防控转变。只有构建科学、系统、可持续的应急管理体系，才能全面提升事故救援效率，推动矿业安全生产治理能力的现代化。

参考文献

- [1] 王存权.同煤集团煤矿安全预警与应急救援能力评价方法研究[D].中国矿业大学(北京),2017.
- [2] 张林林.采矿工程中的安全风险评估与管理策略[J].中国科技论文在线精品论文,2025,18(02):236-238.
- [3] 邢磊,李忠,马兆强.采矿工程施工中不安全技术因素及解决对策[J].煤化工,2024,52(S1):86-88.
- [4] 乔宇.徐州市贾汪区地质灾害应急管理问题与对策研究[D].中国矿业大学,2024.

Discussion on Key Points and Construction Methods of Building Electrical Fire Protection Engineering Design

Xingyao Li

Guizhou Leiteng Fire Equipment Co., Ltd., Zunyi, Guizhou, 563000, China

Abstract

With the acceleration of urbanization, the scale of buildings is constantly expanding and their functions are becoming increasingly complex. As a core component of buildings, the fire safety of electrical systems is directly related to the lives and property of people. In recent years, electrical fire accidents have occurred frequently, exposing many hidden dangers in engineering design and construction. It is extremely urgent to strengthen the control and management of building electrical fire protection projects. This article starts from the actual needs of building electrical fire protection engineering, sorts out the core points in the design stage, analyzes the key technologies and quality control measures in the construction process, and provides practical references for improving the reliability of building electrical fire protection engineering.

Keywords

Architecture; Electrical fire protection engineering; Design points; construction method

建筑电气消防工程设计要点及施工方法探讨

李星垚

贵州雷腾消防设备有限公司, 中国 · 贵州 遵义 563000

摘要

随着城市化进程加速, 建筑规模不断扩大、功能愈发复杂, 电气系统作为建筑核心组成部分, 其消防安全性直接关乎人员生命与财产安全。近年来, 电气火灾事故频发, 暴露出工程设计与施工中的诸多隐患, 强化建筑电气消防工程管控迫在眉睫。本文从建筑电气消防工程的实际需求出发, 梳理设计阶段的核心要点, 分析施工过程中的关键技术与质量控制措施, 为提升建筑电气消防工程可靠性提供实践参考。

关键词

建筑; 电气消防工程; 设计要点; 施工方法

1 引言

建筑电气消防系统是保障建筑安全运行的关键防线, 其设计科学性与施工规范性直接决定火灾防控与应急处置的功效。在现代建筑向高层化、智能化、多功能化发展的背景下, 电气系统的复杂度显著提升, 火灾隐患点增多, 对电气消防工程提出了更高要求。当前, 部分工程存在设计不合理、施工不规范、设备选型不当等问题, 导致消防系统无法充分发挥作用。基于此, 深入剖析电气消防工程的设计与施工关键环节, 明确技术要点与管控要求, 对于降低电气火灾风险、保障建筑使用安全具有重要现实意义, 同时也为行业工程质量提升提供有益借鉴。

2 建筑电气消防工程设计要点及施工方法的重要性

2.1 保障建筑主体安全的核心价值

建筑内部电气系统分布广泛, 涵盖供电线路设备控制等多个环节, 任何设计疏漏或施工缺陷都可能引发短路过载等隐患, 进而诱发火灾。科学的设计能够通过合理规划线路走向优化设备选型完善防护机制, 从源头规避风险。规范的施工则能确保设计方案有效落地, 保障电气消防系统各组件的连接可靠性与运行稳定性。建筑电气消防系统的正常运作可以在火灾初期实现精准探测及时报警, 并联动启动灭火应急照明疏散指示等设备, 为人员疏散和火灾扑救争取宝贵时间, 最大限度降低人员伤亡和财产损失, 其在保障建筑主体安全中的核心价值不可替代。

2.2 维系工程整体质量的关键支撑

从工程建设全流程来看, 设计阶段需要衔接建筑结构机电安装等多个专业, 合理协调各系统间的布局关系, 避免不同专业管线冲突或功能干扰, 这是保障工程整体协调性的

【作者简介】李星垚 (1987-), 男, 中国贵州遵义人, 从事消防工程研究。

基础。施工阶段则需要严格遵循设计要求,把控材料质量控制施工工艺,确保电气消防系统与建筑其他系统精准衔接,形成完整的功能体系。优质的设计与规范的施工能够提升建筑工程的使用性能,延长建筑使用寿命,降低后期运维成本,同时增强建筑的市场认可度,为工程质量提供全方位的关键支撑。

2.3 契合行业规范要求的必要前提

随着建筑行业的发展,相关规范标准不断更新完善,对电气消防工程的安全性能环保要求等提出更高标准。设计环节需要精准把握规范细节,确保设计方案符合防火分区划分消防负荷等级应急电源配置等各项要求,避免因设计违规导致工程返工或验收不通过。施工环节则需要严格按照规范流程操作,落实隐蔽工程验收分项工程检验等制度,确保施工过程全程可控,施工成果符合规范标准。契合行业规范要求的设计与施工,不仅能够保障工程顺利通过验收,更能提升建筑电气消防系统的可靠性与安全性,推动建筑行业整体朝着标准化规范化方向发展^[1]。

3 建筑电气消防工程设计核心要点

3.1 供配电系统消防设计要点

在建筑电气消防工程设计中,需以消防设施的供电保障为核心目标,遵循安全可靠经济合理的原则,精准把握供配电系统设计的核心要点,确保系统在火灾等极端工况下仍能稳定发挥效能。

其一,强化电源配置的可靠性设计。消防供配电系统的电源配置需满足双重保障要求,优先选用市政电网作为主电源,确保主电源具备持续稳定的供电能力。同时需设置独立的备用电源,备用电源的选型应结合建筑规模消防设施负荷特性等因素综合确定,常见的备用电源形式包括柴油发电机组不间断电源等。备用电源与主电源之间需设置可靠的切换装置,切换装置应具备自动快速切换功能,保障主电源中断时备用电源能在规定时间内顺利投入运行,避免消防设施因供电中断而停止工作。此外,需注重电源接入点的合理性设计,确保主备电源接入点相互独立,减少外部供电故障对消防供配电系统的影响。

其二,优化配电线路的防护设计。配电线路是消防供配电系统的关键传输载体,其防护设计需兼顾防火耐热及抗干扰等要求。线路选型应选用具备阻燃或耐火性能的电缆,这类电缆能在火灾环境下维持一定时间的供电能力,为消防设施持续运行提供保障。线路敷设路径需避开火灾危险性较高的区域,若必须穿越此类区域,需采取穿管保护防火封堵等防护措施,穿管材质应选用耐热防火性能优良的材料,防火封堵需确保严密,防止火灾蔓延破坏线路。同时,线路敷设应避免与其他非消防线路混敷,如需同沟敷设,应设置明显的隔离分隔措施,减少非消防线路故障对消防配电线路的干扰。此外,需合理设计线路的截面尺寸,结合消防设施的

负荷容量计算确定,确保线路载流量满足设计要求,避免因线路过载引发安全隐患。

3.2 火灾自动报警系统设计要点

设计过程需严格遵循相关规范要求,结合建筑功能特性与消防需求,精准把握核心要点,确保系统稳定高效运行。

其一,系统架构与设备选型需适配建筑特性,系统架构设计应根据建筑规模、功能分区、疏散路径等要素进行合理规划,确保信号传输的稳定性与覆盖的全面性。对于大型复杂建筑,应采用分区报警与集中控制相结合的架构,实现各区域火灾信号的独立监测与集中管理。设备选型需兼顾适用性与可靠性,探测器的类型应根据防护区域的火灾类型,环境条件等合理确定,确保能够精准捕捉火灾初期的烟雾、温度等特征参数,报警控制器应具备完善的信号处理。状态显示、故障报警等功能,能够快速响应探测器传输的信号。并准确反馈系统运行状态。同时,设备选型需符合相关质量标准,保障设备在长期运行过程中的稳定性与耐久性。其二,联动逻辑与线路敷设需保障安全有效。联动逻辑设计是火灾自动报警系统发挥防护作用的关键,需结合建筑消防设施的配置情况,明确火灾报警后各消防设备的动作顺序与协同方式,确保火灾发生时,系统能够精准触发排烟、应急照明、防火卷帘等设备的联动运行,形成完整的消防防护体系。

3.3 应急照明与疏散指示系统设计要点

该系统需在正常供电中断后迅速启动,为疏散通道提供持续照明并明确疏散方向,为人员快速撤离和消防救援开展创造有利条件。以下从系统设计的核心维度展开具体分析。

其一,保障系统供电可靠性应急照明与疏散指示系统的供电稳定性是其发挥作用的基础前提。设计过程中需采用双电源供电模式并配备应急电源,确保主电源因火灾等故障中断时,系统能实现无间断切换。应急电源的选型应结合建筑功能与规模需求,优先选用性能稳定、启动迅速的电源设备。同时需合理设计供电线路,线路敷设应避开火灾高发区域,必要时采取防火保护措施,减少线路受损导致系统失效的风险。

3.4 消防联动控制系统设计要点

在设计过程中,需以火灾处置的全流程需求为导向。遵循协同联动可靠高效的原则,精准把控核心设计要点,确保系统能快速响应准确联动各类消防设备。其一,强化联动控制逻辑的合理性设计。联动控制逻辑需基于建筑功能分区火灾发展规律以及消防设施的性能特点进行构建,确保各设备动作有序且精准匹配火灾处置需求。应明确不同火灾场景下的联动启动条件,区分火灾探测信号的确认机制,避免单一信号触发导致的误联动。其二,保障联动设备接口的兼容性与应急控制功能。消防联动控制系统需兼容各类消防设备的通信接口。确保火灾探测器手动报警按钮消防水泵排烟风机等设备之间信号传输顺畅^[2]。

4 建筑电气消防工程施工关键方法与优化对策

4.1 施工前期准备优化方法

建筑电气消防工程施工前期准备是保障工程质量与施工安全的基础环节,其优化工作直接影响后续施工流程的顺畅性与消防系统功能的可靠性,因此需构建科学完善的前期准备体系,提升准备工作的针对性与实效性。

其一,强化技术准备工作,施工单位应组织专业技术人员开展图纸会审,深入核查电气消防设计文件的完整性与合理性,梳理设计中的技术要点与潜在问题,同时做好技术交底工作,确保施工人员全面掌握施工技术要求与质量标准,此外,需结合工程实际编制专项施工方案,明确施工流程与技术措施。

其二,完善资源与管理准备,合理配置施工资源,筛选具备相应资质的专业施工人员,保障施工团队的技术水平,严格核查电气消防设备与材料的质量合格证明,确保其符合工程设计与规范要求,同时建立健全施工前期的管理制度,明确各岗位职责,规范准备工作的流程,为后续施工的有序推进提供保障。

4.2 核心分项工程施工方法

建筑电气消防工程核心分项工程施工质量直接关乎消防系统运行可靠性与建筑整体消防安全。为保障施工成效需明确各核心分项施工要点规范施工流程以下针对关键分项施工方法展开阐述。其一管线敷设施工需严格把控材料选型与敷设工艺。施工前需核查管线材质规格是否满足消防设计要求确保其具备耐高温防火等性能。敷设过程中需保证管线连接严密规避管线扭曲破损等问题同时合理规划敷设路径避免与其他管线产生干扰保障管线系统稳定性。其二消防电气设备安装应遵循精准定位与规范接线原则。安装前需核对设备型号参数与设计要求一致性安装过程中确保设备固定牢固位置准确。接线环节需保证接线牢固接触良好做好绝缘处理避免出现短路漏电等隐患保障设备正常启动与运行^[3]。

4.3 施工过程质量管控对策

建筑电气消防工程施工过程质量管控是保障工程安全性能与使用功能的核心环节,直接关系到消防系统的可靠性与稳定性,需构建全流程、精细化的管控体系。其一,强化施工前技术交底与培训工作,明确各分项工程的技术标准与质量要求,确保施工人员准确把握电气消防系统的安装规范与操作要点,从源头规避因技术认知偏差导致的质量隐患。其二,落实全过程巡检与协同管控机制,加强对管线敷设、设备安装、线路连接等关键工序的实时监督,重点核查施工工艺与设计文件的符合性,同时建立各专业施工协同沟通机

制,及时协调解决交叉施工中的质量冲突,保障施工质量处于受控状态。

4.4 系统调试与验收优化方法

系统调试与验收是建筑电气消防工程质量把控的关键环节,直接决定消防系统能否在实际险情中发挥预期效能,需以科学方法优化流程保障验收质量。其一,强化调试前的统筹准备,梳理系统各组成部分的技术参数,明确调试流程与判定标准,组建专业调试团队开展岗前培训,确保调试人员熟悉系统构造与操作规范,调试前全面检查设备安装精度,线路连接可靠性等基础条件,规避因前期隐患导致的调试偏差。其二,规范验收流程与标准执行,建立分阶段验收机制,按设备单机调试,系统联动调试等环节逐步推进,验收过程中严格对照设计文件与现行规范,重点核查系统响应时效性,功能完整性等核心指标,完善验收记录与问题整改跟踪机制,对验收发现的缺陷明确整改责任与时限,整改完成后重新组织复核,确保系统符合消防使用要求^[4]。

5 结语

建筑电气消防工程的设计与施工是系统性工作,设计阶段需精准把握负荷计算、线路敷设、设备选型等核心要点,施工环节要严格落实技术规范,强化质量管控与安全监督,才能确保系统具备可靠的火灾防控与应急响应能力。通过科学设计与规范施工的有机结合,可有效降低电气火灾隐患,提升建筑安全保障水平。未来,随着智能化技术的不断发展,应积极推动智能消防技术在工程中的应用,优化系统设计与施工模式,持续提升建筑电气消防工程的智能化、精细化水平,为建筑安全领域的高质量发展提供有力支撑。尤其需加快物联网、人工智能等技术与消防系统的深度融合,通过智能传感器实时采集环境数据、AI算法精准分析火情趋势,联动智能控制终端实现早期预警与快速响应,推动消防系统从“被动防护”向“主动防控”转型,为建筑安全筑牢更智慧、更可靠的防线。

参考文献

- [1] 尚泽武.建筑电气消防工程设计及施工策略研究, [J].科技资讯,2025,23(10):204-206.
- [2] 蔡金铿.浅谈建筑电气消防工程施工管理, [J].居业,2024, (07):184-186.
- [3] 黄国炎.建筑消防工程施工管理常见问题及对策, [J].企业科技与发展,2020,(04):221-222.
- [4] 陈挺屹.建筑电气消防工程设计与施工策略研究, [J].居舍, 2020,(04):89.

Research on the Optimization and Practice of Laboratory Safety Standardization Construction Management in Scientific Research Institutions

Sihua Cui Wei Mai Jinqian Feng Chunlei Zhou Zhiwei Huo

China Petroleum Exploration and Development Research Institute, Beijing, 100083, China

Abstract

In the context of rapid technological advancement, laboratories have become pivotal platforms for scientific research and technological innovation, with their importance becoming increasingly evident. However, laboratory operations involving hazardous material handling and complex equipment operation necessitate robust safety risk prevention as a critical prerequisite for smooth research progress. This study focuses on the laboratory of the Exploration and Development Research Institute, conducting a systematic investigation into its current status of safety standardization. It thoroughly analyzes existing deficiencies in the management system and proposes targeted improvement measures across six dimensions: institutional refinement, risk control, personnel training, chemical management, and 6S management. Through two years of implementation, these measures have effectively enhanced laboratory safety management. The research findings provide practical experience and theoretical references for standardization initiatives in similar research institutions across China.

Keywords

scientific research laboratory; safety standardization; management optimization; risk prevention and control; 6S management

科研机构实验室安全标准化建设管理优化与实践研究

崔思华 买炜 冯进千 周春蕾 霍志伟

中国石油勘探开发研究院, 中国 · 北京 100083

摘要

在当代科技飞速发展的背景下, 实验室作为科学研究与技术创新的核心载体, 其重要性日益凸显。然而, 实验室运营过程中涉及危险品操作、复杂设备运行等环节, 安全风险防控已成为科研工作顺利推进的关键前提。本文以勘探开发研究院实验室为研究对象, 通过系统调研其安全标准化建设现状, 深入剖析当前管理体系中存在的短板与不足。在此基础上, 从制度完善、风险管控、人员培训、化学品管理及6S管理等维度, 构建了一套针对性的提升方案, 并通过两年的实践落地, 有效改善了实验室安全管理水平。研究成果可为国内同类科研院所实验室标准化建设提供可借鉴的实践经验与理论参考。

关键词

科研实验室; 安全标准化; 管理优化; 风险防控; 6S管理

1 引言

勘探开发研究院作为服务全球石油天然气勘探开发领域的综合性研究平台, 承担着全球油气业务战略规划研究、油气勘探开发核心技术研发、生产技术支持及高层次人才培养等重要使命, 业务范围覆盖油气勘探、油气田开发、油气井工程、信息化与标准化建设、新能源勘探开发及技术培训等多个领域。为支撑高水平科研工作, 研究院已建成较为完善的实验室体系, 其中包括提高采收率国家重点实验室、国

家能源 CO₂ 驱油与埋存技术研发(实验)中心等多个国家级重点实验室, 配备了大量高精度仪器设备。随着科研任务的不断加重与实验规模的持续扩大, 实验室安全管理面临更高挑战^[1]。为此, 研究院启动实验室标准化建设专项工作, 通过现状调研、问题梳理、方案制定与落地实施, 逐步构建实验室标准化管理长效机制, 旨在提升安全管理效能, 保障科研工作高质量推进。

2 实验室安全标准化建设现状调研与问题分析

2.1 调研范围与内容设计

考虑到实验室类型多样、风险点分布广泛的特点, 本次调研覆盖国家级重点实验室、公司级重点实验室及常规实验区域, 重点围绕高风险环节开展全面排查, 具体调研内容涵盖以下维度:

【作者简介】崔思华(1971-), 男, 中国黑龙江讷河人, 博士, 正高级工程师, 从事油气勘探开发、新能源、安全环保等方向研究。

(1) 管理体系层面：包括实验室HSE（健康、安全、环境）管理模式与组织架构、安全管理制度及操作规程的完整性与适用性、风险分级防控机制的建立与执行情况；

(2) 人员能力层面：实验室人员的安全意识、安全知识掌握程度、应急处置技能及培训参与情况；

(3) 设施设备层面：报警系统、通排风装置、气瓶安全柜、应急冲洗装置、防爆防静电设施、消防设施及电气设备的运行状态与维护情况，各类实验仪器的安全管理与操作规范执行情况，玻璃容器及其他实验器具的使用与存放合规性；

(4) 化学品管理层面：化学品采购、验收、储存、使用、废弃处置等全流程管理的规范性，危险化学品台账建立与更新情况；

(5) 职业健康与环境层面：职业健康防护措施的落实情况、实验废气排放达标情况、废液分类回收与处置合规性；

(5) 应急管理层面：应急预案的完整性与可操作性、应急演练的开展频率与效果、应急资源的储备与调配能力^[2]。

2.2 调研结果与核心问题剖析

通过现场核查、资料查阅、人员访谈及抽样测试等方式，结合数据统计与分析，发现当前实验室安全标准化建设存在以下突出问题：

2.2.1 管理制度体系不完善，应急机制不健全

部分实验室安全管理制度存在“照搬套用”现象，未结合自身实验类型与风险特点进行个性化修订，导致制度与实际操作脱节；应急处置措施过于笼统，缺乏针对化学品泄漏、火灾、设备故障等具体场景的详细操作流程；应急演练开展频率低，且多以“桌面推演”为主，未涉及实战操作，实验室人员对紧急情况下的疏散路线、应急设备使用方法不熟悉，应急处置能力薄弱。

2.2.2 风险辨识不全面，防控责任不明确

风险辨识工作多集中于明显的高危环节（如易燃易爆化学品储存），对实验过程中潜在的交叉风险（如不同化学品混合反应、设备长期运行后的老化风险）排查不到位；风险评估方法单一，未结合实验频次、人员操作熟练度等因素进行动态评估；风险防控责任未细化到具体岗位与个人，存在“多头管理”或“无人负责”的现象，导致防控措施流于形式。

2.2.3 人员安全培训不足，意识与技能双薄弱

安全培训缺乏系统性与针对性，多以“集中授课”为主，内容脱离实验室实际操作场景，且未根据不同岗位的风险差异制定分层培训计划；培训考核机制不严格，部分人员仅通过“签到打卡”完成培训，未真正掌握安全知识与技能；实验室人员“重科研、轻安全”的观念普遍存在，主动排查安全隐患的意识不足，违规操作现象时有发生。

2.2.4 化学品全流程管理存在漏洞

化学品采购环节未严格执行“按需采购”原则，部分实验室存在过量采购导致化学品长期积压过期的情况；验收

环节未对化学品的纯度、稳定性及安全技术说明书（SDS）进行全面核查；储存环节存在不同类别化学品混放、标识不清、台账与实际库存不符等问题；废弃化学品处置不及时，部分废液未按规范分类存放，存在环境污染与安全风险^[3]。

2.2.5 6S管理落实不到位，现场规范程度低

实验室“整理、整顿、清洁、清扫、素养、安全”的6S管理要求未全面落地，实验区域存在“物品随意堆放、通道堵塞”的现象，未实现定置摆放；安全标识不规范，部分标识老化模糊、位置不当，缺少针对特殊风险区域（如辐射区、高压设备区）的醒目警示标志；实验室卫生清洁存在“重表面、轻死角”的问题，仪器设备长期使用后未及时维护清洁，增加了设备故障与安全事故风险。

3 实验室安全标准化建设提升方案与实施措施

针对调研发现的问题，结合实验室实际需求与行业标准，从“制度、风险、人员、化学品、现场管理”五大维度制定提升方案，并分阶段推进实施，具体措施如下：

3.1 构建完善的管理制度体系，强化应急管理能力

3.1.1 制度体系重构与优化

按照“全面覆盖、分类管控、贴合实际”的原则，修订并完善实验室安全管理制度体系，具体包括：

基础管理制度：制定《实验室安全管理实施细则》，明确实验室安全管理的总体目标、组织架构与职责分工；修订《实验室人员安全行为规范》，细化不同岗位的安全操作要求；

专项管理制度：针对高风险环节，制定《危险化学品安全管理规定》《高压设备操作规程》《辐射安全管理规定》等专项制度，明确全流程管理要求；

支撑管理制度：建立《实验室仪器设备维护保养规程》《实验废弃物分类处置管理办法》《实验室安全考核评价办法》等，为安全管理提供保障。

制度修订过程中，充分征求实验室管理人员、一线实验人员及安全专家的意见，确保制度的科学性与可操作性，并定期根据法规更新、实验内容调整等情况进行动态修订^[4]。

3.1.2 岗位职责清单化管理

以“谁主管、谁负责”“谁操作、谁负责”为原则，制定实验室各级人员的《岗位安全生产责任清单》，将安全职责细化为具体工作任务，并明确任务的执行标准：管理层（实验室主任、区域负责人）主要负责组织制定管理制度、审批风险防控方案、监督培训与演练开展、协调解决安全隐患整改；技术岗（实验员、仪器操作员）主要负责严格执行操作规程、开展日常风险排查、规范使用化学品与仪器设备、参与应急演练；保障岗（设备维护员、安全员）主要负责设备定期维护、安全设施检查、应急资源储备、安全培训辅助。

同时，建立“痕迹化管理”机制，要求各级人员对职责范围内的工作进行记录（如设备维护记录、风险排查台账），确保工作可追溯、责任可落实。

3.1.3 应急管理机制实战化升级

应急预案精细化。针对化学品泄漏、火灾、触电、人

员受伤等常见场景，制定《实验室专项应急预案》，明确应急组织机构（指挥组、救援组、疏散组、通讯组）的职责分工、应急响应流程（报警、处置、救援、善后）、应急资源清单（消防器材、急救药品、防护装备的存放位置与使用方法），并在实验室显眼位置张贴应急预案流程图；

应急演练常态化。制定年度应急演练计划，每季度至少开展一次实战演练，演练场景涵盖单一事故与复合事故（如“化学品泄漏+火灾”），演练前组织专项培训，演练中安排专人记录关键环节（如响应时间、处置步骤、人员配合情况），演练后召开复盘会议，分析存在的问题并制定改进措施；

应急资源保障化。每月检查应急设备与物资的完好性，确保消防灭火器、应急洗眼器、急救箱等设备正常运行，补充过期或消耗的应急物资，并建立应急资源台账，明确管理责任人。

3.2 建立全流程风险管控机制，实现风险闭环管理

3.2.1 风险辨识全面化与动态化

辨识范围全覆盖。采用“现场排查+头脑风暴+专家评审”的方式，对实验区域、设备、人员、化学品、操作流程等进行全方位风险辨识，重点关注“人机料法环”各环节的潜在风险，形成《实验室风险辨识清单》。辨识方法科学化。结合实验室特点，采用“风险矩阵法”（从风险发生概率与影响程度两个维度）对风险进行分级，将风险划分为“低、一般、较大、重大”四个等级，并标注风险类型（如火灾、中毒、设备故障）。辨识更新常态化。当实验室新增实验项目、更换设备、调整人员或法规标准更新时，及时开展补充风险辨识，每年对风险清单进行一次全面复审，确保风险辨识的时效性。

3.2.2 风险防控分级化与责任化

根据风险等级制定差异化的防控措施，建立“分层管控、逐级负责”的风险防控体系：低风险（如常规玻璃容器使用）由实验人员负责防控，通过岗位培训、操作规程交底实现风险管控；一般风险（如普通化学品储存）由实验室区域负责人负责防控，建立定期检查机制，确保储存条件合规、台账清晰；较大风险（如高压设备运行、易燃易爆化学品使用）由实验室主任牵头防控，制定专项防控方案，配备专人监护，定期开展设备检测与维护；重大风险（如辐射实验、剧毒化学品操作）由各所、中心直接管控，实行“双人双锁”管理，严格审批实验流程，全程监督操作过程^[5]。

同时，明确各级防控责任的“责任人”，建立风险防控台账，记录防控措施的执行情况与整改结果，实现“风险识别—措施制定—执行监督—效果评估—持续改进”的闭环管理。

3.2.3 风险监控智能化与可视化

引入实验室安全智能监控系统，在高风险区域（如化学品储存间、高压设备区）安装温湿度传感器、气体泄漏报警器、视频监控设备，实时监测环境参数与操作行为；建立实验室安全管理平台，将风险清单、防控措施、检查记录等

数据录入系统，实现风险信息的可视化展示与动态更新；当监测到异常情况（如气体浓度超标、设备温度异常）时，系统自动触发报警，并推送预警信息至相关责任人，确保风险及时发现与处置。

3.3 构建分层分类培训体系，提升人员安全素养

3.3.1 培训计划精准化制定

基于“岗位风险差异化”原则，制定分层分类的安全培训计划，新员工入职培训涵盖实验室安全管理制度、基础安全知识（如化学品安全、消防器材使用）、应急处置流程等内容，培训时长不少于8学时，考核合格后方可进入实验区域；在岗人员按岗位风险等级制定培训频次，低风险岗位每半年培训1次，一般风险岗位每季度培训1次，较大及以上风险岗位每月培训1次，培训内容聚焦岗位操作中的风险点与防控措施；针对应急处置、危险化学品操作、特殊仪器使用等专项内容，开展“一对一”实操培训，确保人员掌握关键技能。

3.3.2 培训方式多元化创新

打破传统“单向授课”模式，采用多种培训方式提升效果。在模拟实验场景中开展化学品泄漏处置、消防器材使用、应急救援等实操训练，让人员在“动手操作”中掌握技能；收集国内外实验室安全事故案例，通过视频讲解、现场还原等方式，分析事故原因与教训，增强人员安全意识；搭建线上培训平台，上传安全知识手册、操作视频等资料，方便人员随时学习；线下组织小组讨论、专家答疑，解决实际工作中的安全问题；安排安全专员在实验现场进行“手把手”指导，及时纠正违规操作，讲解安全注意事项，实现“培训—实践—反馈”的实时衔接。

3.3.3 培训效果闭环化评估

建立“培训—考核—反馈—改进”的效果评估机制。采用理论考试（考查安全知识）、实操考核（考查技能掌握程度）、情景测试（考查应急处置能力）相结合的方式，全面评估培训效果，将培训考核结果与人员绩效、岗位资格挂钩，考核不合格者暂停实验操作资格，需重新参加培训并通过考核后方可上岗；培训结束后，通过问卷调查、人员访谈等方式收集对培训内容、方式的意见与建议，及时调整培训计划，提升培训针对性与实效性。

3.4 强化化学品全流程管理，筑牢安全防线

3.4.1 采购验收

建立合格供应商名录，对化学品供应商的资质（营业执照、危险化学品经营许可证）、产品质量、售后服务进行审核，筛选优质供应商并定期评估更新。实验室根据实验计划提交采购申请，明确化学品的名称、规格、数量、用途及使用期限，由实验室主任审核后报院级管理部门审批，严禁过量采购。核查安全技术说明书（SDS），采购前要求供应商提供完整的SDS，重点核查化学品的理化性质、危险性、安全操作方法及应急处置措施，确保采购人员与使用人员充分了解化学品风险。化学品到货后，由实验室指定的验收人员（至少2人）对照采购订单与SDS进行核查，检查化

品的包装是否完好、标识是否清晰、规格与数量是否一致。根据化学品的性质（如酸、碱、氧化剂、还原剂、易燃易爆品）划分储存区域，使用专用储存柜（如防爆柜、防腐柜、低温冰箱），不同类别化学品之间保持安全距离，标识清晰，严禁混放，台账动态管理。

3.4.2 领用使用

实验人员领用化学品时，需在台账中记录领用时间、数量、用途及归还时间，领用危险化学品需经实验室主任审批。实验前需确认通风、防护等设施正常，穿戴合适的个人防护装备（如防护服、护目镜、防毒面具），严格按照操作规程进行实验，严禁超量使用、混用化学品；在危险化学品使用区域安装视频监控与气体检测装置，安排专人巡查，及时发现并纠正违规操作；实验结束后，及时清理剩余化学品（按规定退回储存柜或标记待处置），清洗实验器具，做好使用记录。

3.4.3 废弃处置

在实验区域设置专用的废弃化学品回收容器，按“废酸、废碱、废有机溶剂、废固渣”等类别分类存放，容器张贴清晰标识，严禁混装；建立废弃化学品处置台账，记录废弃化学品的产生时间、类别、数量、处置方式及去向；与具备资质的危废处置单位签订合作协议，定期将废弃化学品交由其处置，索要处置凭证，确保处置过程符合环保法规要求，严禁私自倾倒或丢弃。

3.5 深化 6S 管理实践，提升现场标准化水平

6S 是将实验室场所中的人员、设备、材料、方法等生产要素进行有效的管理，针对人员的日常工作行为提出要求，倡导从小事做起，力求使每个人都养成事事“讲究”的习惯，从而达到提高整体工作质量的目的。

3.5.1 整理（Seiri）

组织实验室人员对实验区域的物品进行全面梳理，按“必要”与“不必要”分类，必要物品（常用仪器、试剂）保留，不必要物品（废弃器具、过期资料）及时清理或移至指定存放区；制定“必要物品判定标准”，避免“过度保留”导致空间浪费。

3.5.2 整顿（Seiton）

根据实验流程与物品使用频率，设计实验室定置图，明确仪器设备、试剂、实验器具的固定存放位置；对存放区域进行标识，确保“物归其位”；常用物品放置在实验台附近易取用的位置，不常用物品（如备用仪器）放置在远离操作区的货架上，提高实验效率。

3.5.3 清扫（Seiso）

明确清扫区域、责任人、清扫频率与标准：实验台面每日清扫，地面每周清扫2次，仪器设备每次使用后清洁，通风管道、设备底部等卫生死角每月清扫1次；使用专用清洁剂与工具，确保清扫彻底，同时在清扫过程中检查设备、设施的异常情况（如仪器异响、管道泄漏），及时上报处理。

3.5.4 清洁（Seiketsu）

将整理、整顿、清扫的要求转化为实验室清洁标准，明确各区域的清洁指标；建立“日检查、周评比、月总结”机制，每日由实验室安全员检查现场清洁情况，每周组织各区域负责人进行交叉评比，每月总结问题并制定改进措施，确保清洁状态持续保持。

3.5.5 素养（Shitsuke）

通过常态化培训、案例分享，引导实验室人员树立“我的区域我负责”的意识；鼓励人员主动参与6S管理改进，对提出有效建议的人员给予表扬或物质奖励；将6S管理执行情况纳入人员绩效考核，对违规行为进行提醒与处罚，逐步养成规范操作、自觉维护的良好习惯。

3.5.6 安全（Safety）

在6S管理过程中融入安全要求，如通道保持畅通、应急设备周边无遮挡、安全标识清晰可见；定期开展6S管理安全隐患排查，重点关注因物品摆放不当、清洁不到位引发的安全风险，及时整改隐患，确保实验环境安全。

同时，设立“6S管理明星岗位”“6S改进创新奖”，对在6S管理中表现突出的个人与区域给予荣誉表彰与物质奖励，激发人员参与积极性；将6S管理考核结果与人员绩效工资、岗位晋升挂钩，考核不合格者扣除部分绩效，连续3次不合格者暂停实验操作资格，需重新参加培训并通过考核后方可上岗，确保人员严格遵守6S管理要求。

4 结语

通过两年时间的实验室安全标准化建设提升工作，科研机构在各个方面都有所改善，管理制度体系更加完善、风险管理能力显著提升、人员安全素养全面提高，化学品管理规范有序、6S管理成效明显。本次研究表明，实验室安全标准化建设需坚持“问题导向、系统思维、全员参与”的原则：以现场调研为基础，精准识别管理短板；以制度建设为核心，构建全流程管控体系；以人员培训为关键，提升安全素养与技能；以6S管理为抓手，优化现场操作环境。未来，可进一步引入智能化管理技术（如物联网监控、AI风险预警），推动实验室安全标准化建设向“智慧化”升级，为科研工作提供更坚实的安全保障。

参考文献

- [1] 邱慧,林清强,朱虎. "三引四化"实验室安全管理体系的构建及应用实践[J].实验室科学,2025,28(3):148-153.
- [2] 孙迪.实验室安全管理的优化策略分析[J].实验室检测,2025,3(13):172-174.
- [3] 秦璐璐,孝大宇,韩晶,等. 强化实验室安全管理,提升实验室管理水平[J].科技风,2023(19):163-165.
- [4] 马丽,赵毅力,南倩,等. 6S管理在检验检测实验室的应用分析[J].轻工标准与质量,2025(3):55-57.
- [5] 王贞,熊祖钊,道维丽. 基于CMA认证构建实验室安全体系研究[J].实验科学与技术,2024,22(4):137-141.

Data driven smart garden construction: theoretical construction, technological integration, and practical innovation

Zhiyun Ma

Anhui Zhongjiang Ecological Technology Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230001, China

Abstract

Against the backdrop of the continuous deepening of the new urbanization construction and ecological civilization concept, landscaping projects are gradually transforming from the traditional experience driven and labor-intensive construction mode to a direction that emphasizes data support, system collaboration, and intelligent decision-making. Smart landscaping technology reshapes the organization and technical path of landscaping construction through information perception, data analysis, and automatic control. It not only significantly improves construction efficiency and quality stability, but also demonstrates important value in water conservation, energy conservation, ecological adaptation, and full lifecycle management. Based on the theoretical foundation of smart landscaping, this paper systematically discusses the key technical system of smart landscaping construction, analyzes its application practice in the process of landscaping construction, in order to provide technical reference and practical inspiration for high-quality construction of landscaping projects.

Keywords

Smart Garden; Landscaping; Intelligent construction; Data driven; ecological benefits

数据驱动的智慧园林施工：理论构建、技术融合与实践创新

马志云

安徽中匠生态科技有限公司，中国·安徽 合肥 230001

摘要

在新型城镇化建设与生态文明理念持续深化的背景下，园林绿化工程正由传统以经验驱动、人工密集为主的施工模式，逐步向数据支撑、系统协同与智能决策并重的方向转型。智慧园林技术通过信息感知、数据分析与自动控制等手段，重塑园林绿化施工的组织方式与技术路径，不仅显著提升施工效率与质量稳定性，而且在节水节能、生态适配与全生命周期管理方面展现出重要价值。围绕智慧园林的理论基础，系统论述智慧园林施工的关键技术体系，分析其在园林绿化施工过程中的应用实践，以期为园林绿化工程高质量建设提供技术参考与实践启示。

关键词

智慧园林；园林绿化；智能化施工；数据驱动；生态效益

1 引言

园林绿化工程作为城市生态系统与人居环境的重要组成部分，承担着改善微气候、提升景观品质与增强城市韧性 的多重功能。随着城市规模持续扩展与功能复合化程度不断提高，园林绿化施工对象呈现出空间条件复杂、专业交叉密集、生态约束严格等特征，传统依赖人工经验与静态图纸的施工组织方式已难以满足精细化、可持续建设的现实需求。在此背景下，以物联网、大数据、人工智能与数字孪生为代表的智能化技术开始深度介入园林工程领域，为施工过程的精确控制与动态优化提供了新的技术支撑。

【作者简介】马志云（1984-），男，中国安徽宣城人，本科，工程师，从事园林绿化施工研究。

2 园林绿化施工智能化发展的理论基础

2.1 园林绿化施工转型的现实背景与内在需求

在新型城镇化深入推 进与生态文明理念持续强化的时代背景下，园林绿化工程的功能定位正在发生根本性转变。其建设目标已由早期以景观美化和绿量扩展为主，逐步拓展至涵盖生态修复、环境调节、生物多样性保护与公共空间品质提升等多重维度^[1]。与此同时，城市建设密度不断提高，园林绿化施工普遍面临场地条件受限、地下管线复杂、施工工序交叉频繁等现实约束，使传统以人工经验和静态设计为核心的施工组织方式难以有效应对复杂多变的工程环境。在此情境下，施工过程中的信息不对称、管理滞后与资源配置粗放等问题日益凸显，直接影响园林绿化工程的实施效率与生态效果。基于此，通过引入智能化技术手段，实现施工信息的实时获取、动态分析与精准调控，已成为园林绿化施工

适应高质量发展要求的内在需求，也是推动行业由经验型向科学化、精细化转型的重要路径。

2.2 智能化技术赋能园林绿化施工的理论逻辑

从工程系统与生态工程理论视角分析，园林绿化施工本质上是一个多要素耦合、多过程协同的复杂系统，其运行效果受到自然环境条件、植物生理特性以及施工行为方式等多重因素共同影响^[2]。智能化技术通过构建以数据为核心的技术体系，将原本分散、隐性的施工信息转化为可感知、可分析的显性数据，从而为科学决策提供可靠支撑。在这一过程中，信息感知技术实现对施工环境与生态参数的持续监测，数据分析技术揭示各类因素之间的内在关联与演化规律，智能控制技术则将分析结果反馈至施工与养护环节，形成闭环调控机制。由此，园林绿化施工不再依赖单一经验判断，而是基于数据模型实现过程优化与风险预控。这种技术赋能并非削弱人的作用，而是通过提升决策理性与管理精度，促进工程活动与生态系统运行规律之间的协调统一，为园林绿化施工的可持续实施奠定坚实的理论基础。

3 园林绿化施工智能化的关键技术体系

3.1 园林绿化施工的信息感知与数据采集技术

信息感知与数据采集技术是园林绿化施工实现智能化运行的基础，其作用在于将施工过程中原本依赖经验判断的生态与作业信息转化为可量化、可分析的数据资源。在传统施工模式下，土壤条件、气象变化及植物生长状态多通过人工巡查获取，信息具有明显的滞后性与离散性，难以满足精细化施工与动态管理需求。智能化技术通过布设多类型传感装置，对土壤水分、温度、养分含量以及空气湿度、光照强度等关键生态参数进行连续监测，使施工管理者能够实时掌握影响苗木成活与生长的环境条件变化趋势。同时，空间定

位与遥感技术的引入，使绿化区域边界、地形起伏及施工进度状态实现可视化表达，为复杂场地条件下的施工组织与工序协调提供了客观依据。通过多源信息的协同采集，园林绿化施工由静态认知逐步转向动态感知，为后续智能分析与决策提供了可靠的数据支撑^[3]。

为进一步提升数据采集的全面性与精准度，该技术体系还融合了无人机航测与地面移动监测设备的联动机制。无人机搭载高分辨率光谱相机与激光雷达，可快速获取大面积绿化区域的植被覆盖度、植物冠层结构及病虫害早期迹象等宏观信息，其数据采集效率较传统人工方式提升数十倍，且能覆盖地形复杂、人员难以抵达的区域；地面移动监测车则配备便携式土壤剖面分析仪、植物生理传感器等设备，针对无人机监测的重点区域进行定点补充采样，获取土壤深层理化性质、植物叶绿素含量及根系活力等微观数据，形成“空-地”一体化的数据采集网络。

3.2 数据分析与智能决策技术在施工中的应用机理

在信息感知与数据采集的基础上，数据分析与智能决策构成园林绿化施工智能化运行的核心环节如表1。通过对施工期实时数据与历史工程数据的系统整合，分析模型能够识别施工行为、环境条件与植物生长效果之间的内在关联，进而揭示影响工程质量与生态绩效的关键因素。基于此形成的决策支持结果，不仅可以对不同施工方案的实施效果进行预测评估，还能够在施工过程中实现动态调整与风险预警。智能控制系统将分析结果转化为具体作业指令，对灌溉频率、施肥强度及施工节奏进行精准调节，从而避免资源投入的盲目性与滞后性。相较于传统事后修正的管理方式，这种以数据分析为支撑的智能决策机制显著提升了园林绿化施工管理的前瞻性与稳定性，使施工活动更加符合生态系统运行规律，为工程质量与长期生态效益提供了技术保障^[4]。

表1 园林绿化施工智能化关键技术体系及其功能定位

技术层级	技术类型	数据对象	主要功能
感知层	环境与生态感知技术	土壤、水分、气象参数	实时获取施工与生态基础信息
采集层	空间定位与遥感技术	场地形态、施工进度	支撑施工组织与空间管理
分析层	数据分析与建模技术	施工与生长数据	识别关键影响因素，预测施工效果
决策层	智能决策与控制技术	灌溉、施肥与作业参数	实现施工过程的动态优化

4 智能化技术在园林绿化施工过程中的应用实践

4.1 智能化技术在园林绿化施工实施阶段的系统应用

在园林绿化的施工实施阶段，智能化技术的应用已由单一作业辅助逐步演进为贯穿施工全过程的系统化支撑工具。通过在施工前期引入数字化建模与施工仿真技术，工程管理人员能够对场地空间结构、植物配置关系以及施工路径进行多方案比选与可行性分析，从而在施工启动前完成关键技术参数与资源投入方案的优化。这一过程有效降低了因场地条件认知不足或施工组织不合理导致的重复作业与

返工风险，为复杂城市环境下的园林绿化施工提供了可靠的保障^[5]。

在具体施工过程中，智能化技术对作业精度与过程控制的提升尤为显著。基于定位与自动控制原理的辅助施工设备，能够对苗木栽植位置、行列间距与栽植深度进行精确校准，使施工结果更加符合设计要求与植物生长规律。与此同时，施工现场通过布设环境感知装置，对土壤含水率、温度及气象条件进行实时监测，相关数据同步反馈至施工管理系统，用于指导施工节奏调整与工序安排。当外部环境条件发生显著变化时，系统可辅助管理人员及时调整施工计划，避

免在不利生态条件下强行作业，从而降低植物损伤与施工风险。而智能化技术还在施工过程管理层面发挥着重要作用。通过对施工进度、作业质量与资源消耗数据的持续记录与分析，施工活动逐步实现由结果控制向过程控制的转变。管理人员可基于数据分析结果，对不同作业班组的施工效率与质量稳定性进行客观评估，为后续施工组织优化提供依据。这种以数据为支撑的施工管理模式，有效削弱了人为经验差异对工程结果的影响，使园林绿化施工的实施过程更加规范、可控与透明。

4.2 智能化养护协同与施工效果评估机制

园林绿化工程具有显著的生态滞后性与长期性特征，其施工质量并非在工程竣工时即可全面显现，而是需要通过植物生长状态与景观稳定性在一定时间尺度内加以验证的。智能化技术通过将施工阶段采集的数据延续应用至养护管理阶段，构建起施工与养护协同运行的技术体系，使工程管理由阶段性控制转向全过程管控如表2。基于施工期形成的植物生长基础数据，养护管理系统能够对不同区域、不同植

物类型实施差异化养护策略，避免传统统一标准养护方式在资源利用与生态适应性方面的不足。

在实际运行中，智能化养护系统依托持续监测装置，对植物生长状况与环境条件变化进行动态分析，并据此自动调节灌溉频率、施肥强度与养护周期。这种以实时数据为依据的调控方式，不仅有效降低了水肥资源的无效消耗，也显著提升了植物群落整体生长的均衡性与稳定性。同时施工阶段积累的过程数据为养护效果评估提供了量化参照，使植物成活率、生长速率与景观完整度等指标具备可对比性与可追溯性。从管理反馈角度看，智能化技术还为园林绿化施工效果评估与技术改进提供了重要支撑。通过对施工参数与后期生长效果之间关系的系统分析，管理人员能够识别影响工程质量的关键施工因素，并据此对施工工艺与管理模式进行针对性优化。这种以实践数据反向修正施工策略的机制，有助于形成持续改进的技术路径，推动园林绿化施工由经验积累型向知识沉淀型发展，显著提升工程技术体系的成熟度与可复制性。

表2 智能化技术在园林绿化施工与养护协同中的应用特征

应用阶段	关键技术类型	数据对象	管理作用
施工准备与组织	数字建模与仿真技术	场地结构、施工方案	优化施工组织，降低方案风险
栽植实施阶段	定位与自动控制技术	栽植位置、深度、密度	提升作业精度与成活稳定性
施工过程监测	环境感知与数据采集技术	土壤与气象参数	支撑动态调整施工节奏
养护协同管理	智能控制与分析系统	植物生长与资源消耗数据	降低养护成本，提升长期效果

5 结语

智能化技术的引入为园林绿化施工提供了突破传统模式的重要契机，其通过数据驱动与系统协同，有效提升了施工质量、资源利用效率与生态适配水平。尽管在成本控制、技术适应性与管理协同方面仍面临一定挑战，但从长期发展视角看，智能化园林绿化施工符合生态文明建设与城市高质量发展的内在要求。

通过持续推进技术创新、强化工程实践与完善制度保障，智能化技术有望在园林绿化领域形成成熟、稳定且可推广的应用体系，为构建宜居、韧性与可持续的城市生态环境提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 叶银珠.探讨园林绿化施工现场管理与绿化树木花卉管理[J].花卉,2023,(6):25-27.
- [2] 程宇.新形势下城市园林绿化工程技术与应用[J].大众标准化,2023,(8):47-49.
- [3] 彭程,陈阔,韩松.园林绿化施工管理中精细化理念的应用[J].工程设计与施工,2023,5(3):34-36.
- [4] 田仲锟.园林绿化施工中乔木栽植与养护管理[J].农家科技,2024,(23):103-105.
- [5] 王翔.园林绿化工程建设招标投标管理新探索——团体标准《园林绿化工程施工招标投标管理标准》解读[J].中国园林,2021,37(1):95-98.

Research on intelligent operation and maintenance of highway electromechanical equipment throughout its lifecycle

Jinhui Ye

XinJiang Transportation Planning Survey and Design Institute Co.,Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830006, China

Abstract

As the core component of the digital system of transportation infrastructure, the operation status of highway electromechanical equipment directly affects toll collection capacity, traffic control efficiency, and driving safety. In the traditional operation and maintenance mode, equipment management is focused on passive maintenance, lacking data-driven analysis and a lifecycle perspective, resulting in high system failure rates, high downtime costs, redundant resource allocation, and a lack of forward-looking planning. Under the strategy of building a strong transportation country and the trend of intelligent transportation development, constructing an intelligent operation and maintenance system with “perception analysis prediction active regulation” as the core has become a key breakthrough direction for the digital transformation of highways. This article provides theoretical support and practical paths for engineering governance in the intelligent evolution stage of the highway industry, based on the analysis framework of life cycle theory, electromechanical system coupling mechanism, and digital modeling of operation and maintenance.

Keywords

expressway; Mechanical and electrical equipment; Digital twin; Intelligent Operations

高速公路机电设备全生命周期智能运维研究

冶金辉

新疆交通规划勘察设计研究院有限公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830006

摘要

高速公路机电设备作为交通运输基础设施数字化体系的核心组成, 其运行状态直接影响收费能力、交通管控效率与行车安全。在传统运维模式中, 设备管理集中于被动维修, 缺乏数据驱动分析与生命周期视角, 导致系统故障率高、停机成本大、资源配置冗余且缺乏前瞻规划。在交通强国战略与智能交通发展趋势下, 构建以“感知—分析—预判—主动调控”为核心的智能运维体系成为高速公路数字化转型的关键突破方向。本文以生命周期理论、机电系统耦合机理与运维数字化建模为分析框架, 为高速公路行业在智能化演进阶段的工程治理提供理论支撑与实践路径。

关键词

高速公路; 机电设备; 数字孪生; 智能运维

1 引言

高速公路机电系统包括收费系统、监控系统、通信系统、供配电系统、超限监测系统以及隧道机电系统(含隧道供配电、照明、通风、消防、监控), 其核心功能涵盖数据采集、控制执行与运营服务。相比土建工程的缓慢劣化机理, 机电设备呈现快速退化—突发失效—功能崩溃的脆弱性, 系统状态受负载响应、环境扰动、制造质量与人工干预的多源因素耦合影响。如今随着车路协同、云控平台和车联网的普及, 机电系统数据规模呈爆炸式增长, 设备运行信息具有强时序性、高维结构和非平稳特征, 传统阈值判断与线性模型无法支撑

故障早期识别, 需要引入算法驱动的预测性维护模式。为此, 研究机电设备从规划设计、制造安装、运行维护到退役更新的全生命周期行为, 对构建智能运维体系具有基础性意义。

2 高速公路机电设备全生命周期属性及运行机制

2.1 生命周期阶段性性能退化规律

高速公路机电设备生命周期一般包括规划设计、制造安装、启用调试、稳定运行、性能衰减与退役更换六个阶段, 各阶段呈现不同的耦合行为和退化模式(见表1)。设计阶段的关键在于设备适配性、接口标准化与冗余能力规划, 若缺乏功能预留与应急策略, 后续升级将导致改造成本激增。设备安装阶段的性能劣化主要源于施工环境质量偏差、电磁干扰与安装误差, 传感器校准、布线路由与供电隔离直接影响初期可靠性。启用调试阶段的设备故障规律呈“集中暴露”

【作者简介】冶金辉(1984-), 男, 中国新疆人, 本科, 高级工程师, 从事智慧交通、机电工程、交通信息化、地质灾害监测研究。

特征,系统在第一次长时间上线过程中形成稳定工作点,其逻辑错误、软硬件兼容性问题、版本冲突和参数漂移集中显现,属于故障强敏感阶段。进入稳定运行阶段后,设备表现出以温度负荷、环境湿度、灰尘沉积与接口疲劳为主的渐进式退化,故障强度与运行工况呈线性或准指数相关。长期运

行后,系统软硬件界面失配增加,模块间依赖链条变长,导致连锁失效概率提升,从而进入性能衰减阶段^[1-2]。退役阶段的核心矛盾在于单点替换引发的系统兼容性退化,老旧设备与新设备混用可能使整体系统稳定性下降,因此需要在生命周期视角下统筹更新策略。

表1 高速公路机电设备生命周期阶段特征与运维重点

生命周期阶段	主要运行特征	典型风险类型
规划设计阶段	功能需求梳理、系统架构与接口方案确定	冗余能力不足、接口标准不统一
制造安装阶段	设备生产与现场安装调试	安装偏差、电磁干扰、接线与接地问题
启用调试阶段	首次长周期上线运行,工作点逐步稳定	逻辑错误、参数配置不当、版本冲突
稳定运行阶段	工况相对稳定,渐进式退化为主	温升过高、灰尘沉积、接口疲劳与松动
性能衰减阶段	效率明显下降,故障频率与连锁失效概率上升	硬件老化、软硬件不兼容、频繁小故障
退役更换阶段	新旧设备并存,系统环境高度异质化	接口不兼容、协议冲突、系统稳定性下降

2.2 机电系统结构耦合与故障传导路径

高速公路机电架构不存在“单点独立”的设备,任何子系统均通过电力、通信与控制链路相互耦合。其中供电系统连接收费、监控、通信与隧道设备,若主供电端存在微弱频闪,摄像机、高速相机或识别单元会产生图像抖动、帧率下降与识别精度失真,进而触发收费异常、车辆识别失败与交通诱导错误。通信系统作为数据载体,一旦出现吞吐瓶颈或链路抖动,视频系统可能触发高延迟缓存,隧道通风与照明联动模块在控制信号延迟下产生安全隐患。环境监测系统的数据精度与自适应控制策略高度相关,传感器漂移导致的“虚高”污染指标会触发隧道照明过度响应,形成能耗浪费,而“虚低”指标则可能诱发照度不足与驾驶风险。因此,机电设备智能运维必须以系统耦合为研究基础,通过行为图谱识别故障传播路径,避免单点维护导致二次退化。

3 全生命周期智能运维体系总体架构

3.1 多模态数据采集与结构化建模

智能运维的基础是数据标准化采集与语义一致性建模。高速公路机电系统的数据来源主要包括设备运行指标、电气负载、电磁干扰、温湿度、图像内容、日志信息与维护记录,各类信息具有采样频率不一致与数据维度差异大的双重特征。状态感知层需采用多模态采集策略,通过光学传感、功率传感、电流互感器、RFID、工业总线和边缘网关进行数据融合,构建包含静态属性、运行工况与维护历史的统一设备画像。采用时间序列表征设备运行行为,通过自适应采样策略避免低价值数据占用算力,引入局部队列机制控制边缘节点缓存空间,提升前端采集效率与监控覆盖度。为了消除传感器漂移误差,可在设备运行周期内建立动态校准曲线,通过环境参数回归模型修正偏差,形成可在线更新的标定体系,从而提升采集体系的长期稳定性和可追溯性。基于上述感知与建模框架,可构建如图1所示的“感知—分析—预判—主动调控”闭环智能运维总体架构^[3]。

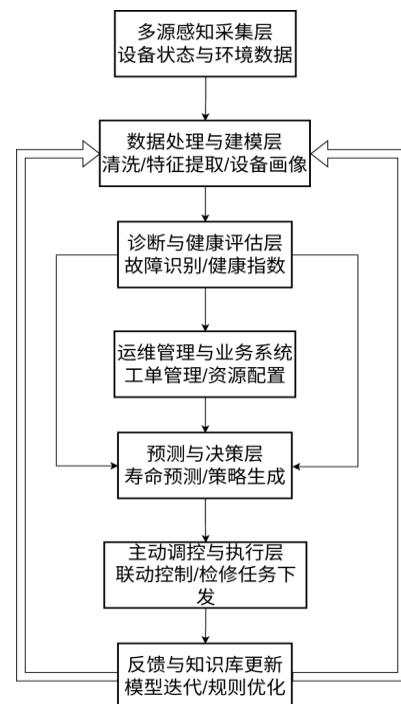


图1 高速公路机电设备全生命周期智能运维总体架构

3.2 数据驱动的诊断与预测算法

智能运维的核心是建立实时诊断与提前预警的算法体系。机电设备故障空间呈现非线性特征,传统阈值模式难以捕捉早期信号,必须引入机器学习与深度学习模型开展状态识别。基于LSTM的时序分析能够捕捉电流波动、摄像帧率下降等潜在退化,卷积神经网络可用于图像级设备状态识别,如车道监控摄像机的污渍程度、车流拥堵信息与夜间照明效果^[4-5]。分析决策层还应包括规则模型与经验模型,以满足反复出现的典型故障场景与算法偏差环境下的工程纠偏。机电设备智能运维不能停留在“识别与报警”阶段,而应实现主动调节。以收费系统为例,当设备识别精度下降并伴随硬件温升时,系统应触发软限速策略、切换备用识别单元并调整空调制冷功率,而不必等待故障扩大后人工干预。

通信系统可在网络抖动下自动切换备链路,通过SDN控制实现路径优化;隧道风机故障时可通过下游风机联合调节减小压差冲击,避免局部烟气回流与气流扰动。主动干预策略的关键在于容错机制与安全边界合理配置,确保干预行为不会造成二次损伤或引发对等系统稳定性问题。

4 数字孪生驱动的机电设备治理机制与工程实现路径

4.1 数字孪生驱动的机电设备治理机制

数字孪生是智能运维体系的核心,它通过构建虚实映射实现系统状态的动态预测与同步控制。在高速公路场景中,数字孪生模型不仅模拟设备的运行参数,还需嵌入环境扰动与交通行为。为此,需要构建三种层次:物理孪生映射、逻辑功能孪生与演化孪生。物理孪生聚焦温度、振动、功耗与环境耦合;逻辑孪生表达收费流程、通信拓扑与信号调度;演化孪生则推演设备故障老化过程,通过加速退化模拟、场景仿真与异常场景推演建立风险判别机制。在收费系统中,识别模块单一替换价格较低,但若造成收费中断与事故排查,将直接引发交通效率损失与人工诉讼成本。应通过全生命周期成本函数衡量设备策略,包括初始投资、运行维护、停机风险、节能收益与报废价值,并在数字孪生环境下进行多场景仿真,从而找到最优路径。例如风机系统更换周期的优化并非“越晚越省钱”,其设备效率下降导致长期能耗增加,可能超过更换本体成本,且一旦发生隧道烟气回流事故,则损失呈指数级增长。生命周期成本与风险函数联合求解,是智能运维决策的重要方法。

4.2 智能运维关键技术与工程实现路径

机电设备运行状态并非静态,而是呈动态非平稳分布。以配电系统为例,设备在低负载时温升较低,高峰负载下温升速率增加,并呈现“快速—缓慢—稳态”三相变化,具有显著的环境依赖性。单一电流监测无法识别异常,因为高温可能来自灰尘堵塞或散热失效。在多源融合体系中,通过将温度、电流、湿度与时间段关联分析,可建立多维异常判别空间,采用密度聚类算法识别“偏离群集”的极小早期信号,从而提前触发检修任务。预测性维护并非简单延迟的定期检

修,而是建立基于状态变化率与多周期演化的动态策略。采用ARIMA+LSTM混合模型处理信号退化序列时,ARIMA负责任务平滑,LSTM捕捉非线性趋势,通过残差监测建立“预测窗口”。当预测窗口趋势出现连续偏移并超过动态安全阈值时,便认为进入强敏感阶段,从而触发提前维护。该方法显著降低人工阈值调整的不确定性,适用于识别摄像器件图像过曝、识别单元误判率升高、风机轴承振动异常等复杂场景。机电设备长期升级过程中若缺乏接口标准化,会造成系统维护障碍。模块化策略要求设备具备功能单元化设计,通过可插拔式接口实现快速替换。例如收费系统的识别、计费、车道控制与通信子模块均可采用统一总线标准,通过逻辑绑定实现快速软硬件替换,从而把设备维护从“现场调试”转变为“功能替换”。模块化策略不仅提高检修效率,还能减少跨系统干扰,使维护行为可预测并可复现。

5 结语

高速公路机电设备全生命周期运维是交通基础设施数字化的重要组成,其关键不在于设备本体维护,而在于系统耦合行为、状态感知能力与预测治理策略。研究表明,基于数字孪生的动态治理体系能够实现“从事后维修到前瞻维护”的模式转变,通过多源数据融合、智能诊断与预测性维护持续提升系统可靠性和资源使用效率。未来研究应进一步深化机电设备跨代兼容性、算法模型可解释性与运行安全边界,并在国家级交通基础设施中构建统一的智能运维标准体系,以支撑交通强国战略落地。

参考文献

- [1] 朱亮伟,周学军,李晓琦,等.多模态数据驱动的高速公路机电设备寿命预测[J].公路交通科技,2025,42(9):12-26.
- [2] 于泉,郭增增,梁锐.基于马尔科夫链的高速公路机电设备寿命预测研究模型[J].公路交通科技,2018,35(1):28-35.
- [3] 徐红辉,王翀,范杰.基于故障状态演化的高速公路机电设备智能维护系统设计[J].现代电子技术,2019,42(24):112-115.
- [4] 徐红辉.高速公路机电设备运行状态无线监测方法仿真[J].计算机仿真,2019,36(11):121-125.
- [5] 成世龙,覃喜.电池技术在高速公路机电设备智能管理中的应用[J].电池,2025,55(3):I0006-I0007.

Research on the connection between regional farmland water conservancy system planning and high standard farmland construction

Haibo Wang

Xinjiang Changji Fanghui Hydropower Design Co., Ltd., Changji, Xinjiang, 831100, China

Abstract

In the strategic context of ensuring national food security and promoting agricultural modernization, regional agricultural water conservancy system planning and high standard farmland construction have become key levers for improving agricultural comprehensive production capacity and resource allocation efficiency. In practice, due to the segmentation of planning levels, inconsistent construction standards, and insufficient connection of management mechanisms, the fundamental and supportive role of agricultural water conservancy projects in the construction of high standard farmland has not been fully utilized. This article is based on the actual development of regional agriculture, and from the perspective of systems engineering and public governance, systematically analyzes the inherent logical relationship between the planning of agricultural water conservancy systems and the construction of high standard farmland. Research suggests that by strengthening planning coordination, improving technical interfaces, and enhancing operational management mechanisms, the support capacity of the agricultural water conservancy system for high standard farmland construction can be effectively enhanced, providing institutional and engineering guarantees for the high-quality development of regional agriculture.

Keywords

agricultural water conservancy system; High standard farmland; Regional planning; Engineering connection; agricultural modernization

区域农田水利系统规划与高标准农田建设衔接研究

王海波

新疆昌吉方汇水电设计有限公司, 中国 · 新疆昌吉 831100

摘要

在保障国家粮食安全与推进农业现代化的战略背景下, 区域农田水利系统规划与高标准农田建设已成为提升农业综合生产能力和资源配置效率的关键抓手。实践中, 由于规划层级分割、建设标准不统一及管理机制衔接不足, 农田水利工程在高标准农田建设中的基础性、支撑性作用尚未充分发挥。本文立足区域农业发展实际, 从系统工程与公共治理视角出发, 系统分析农田水利系统规划与高标准农田建设的内在逻辑关系。研究认为, 通过强化规划统筹、完善技术接口和健全运行管护机制, 可有效提升农田水利系统对高标准农田建设的支撑能力, 为区域农业高质量发展提供制度与工程保障。

关键词

农田水利系统; 高标准农田; 区域规划; 工程衔接; 农业现代化

1 引言

随着我国农业发展由数量扩张向质量提升转型, 耕地资源约束趋紧与水资源时空分布不均的矛盾日益凸显。高标准农田建设作为稳定粮食产能、提升耕地质量的重要工程, 其核心目标在于通过田块整治、设施配套和生态改善, 构建“旱涝保收、高产稳产”的农田基础条件。在区域尺度上, 农田水利系统规划通常具有较强的整体性和长期性, 而高

标准农田建设多以项目为单元、以阶段性目标为导向实施。二者在规划周期、空间尺度与管理主体上的差异, 容易导致工程建设过程中出现标准不一致、设施重复或功能错配等问题, 进而影响投资效益和运行绩效。

2 农田水利系统规划与高标准农田建设的理论基础

2.1 农田水利系统的功能定位与规划逻辑

农田水利系统是区域农业生产体系的重要组成部分, 其核心功能在于通过对水资源的调蓄、输配与控制, 实现农业用水的安全供给和高效利用。从系统工程角度看, 农田水

【作者简介】王海波 (1992-) , 男, 中国甘肃人, 本科, 工程师, 从事水利工程设计研究。

利系统具有明显的层级性和网络性特征,上游水源工程、中游输配水工程与下游田间工程相互关联,共同构成完整的水利运行体系。区域农田水利系统规划强调对自然水文条件、农业种植结构及社会经济发展的综合考量,其规划逻辑以流域或行政区域为基本单元,注重长期稳定性与整体协调性^[1]。在规划过程中,农田水利系统不仅要满足当前农业生产需求,还需兼顾未来发展弹性与生态安全要求。这决定了其规划目标通常具有前瞻性和约束性特征,对后续农业工程建设具有基础性指导作用。因此,高标准农田建设若脱离农田水利系统规划单独推进,容易在水源保障、输配能力和排涝标准等方面形成短板,削弱工程整体效能。

2.2 高标准农田建设的内涵特征与实施要求

高标准农田建设以提升耕地质量和农业综合生产能力为核心,其内涵涵盖土地整治、农田水利、田间道路、农田防护林及信息化设施等多个方面。从实施要求看,高标准农田强调“建管并重”,不仅关注工程建设质量,还注重后期运行维护与制度保障。农田水利设施在其中处于基础性地位,其建设水平直接影响高标准农田的稳定性和可持续性^[2]。在实践中,高标准农田建设通常以项目制方式推进,强调建设进度和阶段性成果。这种实施模式在提升建设效率的同时,也容易弱化与区域水利规划的衔接,表现为田间工程标准与区域输配水能力不匹配、排水体系与防洪规划脱节等问题。因此,从理论上厘清高标准农田建设与农田水利系统规划的关系,是实现二者有效衔接的重要前提。

3 区域农田水利系统规划与高标准农田建设衔接的现实问题

3.1 规划层级分割导致目标协同性不足

在现行制度框架下,区域农田水利系统规划与高标准农田建设规划往往分属不同管理体系,前者多由水利部门主导,强调流域或行政区域尺度上的水资源配置、安全保障与长期调控目标,具有显著的宏观性与战略性特征;后者则主要由农业农村部门组织实施,更侧重于项目区层面的耕地质量提升与产能目标实现,呈现出较强的工程导向与阶段性特征。由于两类规划在编制主体、技术路线及时间周期上存在明显差异,实际操作中易形成“规划并行、目标分散”的局面。一些地区在推进高标准农田建设时,未能充分对接既有或同步编制的农田水利系统规划,导致建设目标与区域水资源调控目标之间缺乏一致性,进而削弱了水利工程对高标准农田稳产高产的系统支撑作用。

3.2 工程标准不统一引发设施功能错配

农田水利系统规划在技术标准选择上通常遵循水利行业规范,强调安全冗余和系统稳定性,而高标准农田建设在田间工程设计中更多依据农业工程相关标准,侧重节水增效与土地利用效率提升^[3]。由于缺乏统一的技术衔接机制,二者在灌溉定额、排涝标准及工程尺度等方面往往存在差异,

具体表现为田间灌排设施能力与区域输配水工程不匹配、排水系统与区域防洪体系衔接不畅等问题。这种工程接口层面的错配,不仅影响设施运行效率,还可能在极端气候条件下放大农业生产风险,增加后期改造与维护成本,降低高标准农田建设的整体经济性与可持续性。

3.3 管护机制分散制约长期效益发挥

从运行管理角度看,农田水利系统通常依托基层水管组织或专业化管理机构进行统一管护,而高标准农田建成后的田间设施多由村级组织或新型农业经营主体分散管理。多元化的管护主体在责任界定、经费保障和技术能力方面差异较大,容易造成设施维护标准不一致、运行责任模糊等问题,影响工程系统的整体协同运行。尤其是在农田水利设施与高标准农田田间工程高度耦合的区域,若缺乏统一的运行管护机制,往往会出现“重建设、轻管理”的现象,使得前期规划与建设投入难以转化为长期稳定的农业生产能力。这一制度性矛盾已成为制约农田水利与高标准农田协同效益持续释放的重要现实问题。

4 区域农田水利系统规划与高标准农田建设的协同推进路径

4.1 以规划统筹为核心的协同衔接机制构建

实现区域农田水利系统规划与高标准农田建设的有效衔接,关键在于从源头上强化规划统筹,将二者纳入同一逻辑框架下进行系统设计。区域农田水利系统规划应在明确水资源承载能力、灌排安全底线和生态约束条件的基础上,作为高标准农田建设选区布局与建设规模确定的重要前置条件^[4]。在此过程中,需要打破部门分割,推动水利、农业农村、自然资源等部门在规划编制阶段实现信息共享与目标协同,通过联合论证和同步审查机制,确保高标准农田建设方案在水源保障、输配能力和排涝标准等方面与区域水利规划保持一致。

在空间层面,应以流域或灌区为基本单元,对高标准农田建设区域进行统筹布局,使田间工程与骨干水利工程在功能上形成有机衔接,避免因项目碎片化实施导致的系统效能下降。再通过分级传导规划目标,将区域水利系统的总体要求逐级细化到项目区和田块尺度,实现宏观规划目标与微观工程实施之间的有效衔接,从而提升农田水利系统对高标准农田建设的整体支撑能力。

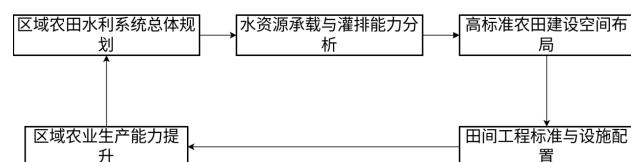


图 1 区域农田水利系统规划与高标准农田建设协同示意图

4.2 以机制联动为保障的长效运行模式优化

在工程建设完成后,农田水利系统与高标准农田能否

持续发挥效益,取决于运行管护机制的协同程度。因此,有必要在制度层面构建与规划和建设阶段相匹配的长效运行模式。一方面,应明确农田水利骨干工程与高标准农田田间设施的管护边界,通过统一标准和责任清单,避免因职责不清导致的设施失管或重复管理。另一方面,应探索建立跨部门联动的管护体系,将农田水利系统运行管理与高标准农田后期管护纳入同一评价与考核框架之中,以绩效结果引导各方履责。在资金与技术保障方面,可通过整合涉农水利资金渠道,建立稳定的运行维护经费机制,同时引入专业化、社会化服务主体,提高设施管护的专业水平和运行效率。通过机制联动与能力提升并举,推动农田水利系统与高标准农田建设由“工程协同”向“运行协同”转变,使前期规划和建设成果能够持续转化为农业生产能力和抗风险能力,为区域农业高质量发展提供长期稳定的基础支撑。

5 案例分析与综合评价

5.1 区域农田水利系统与高标准农田协同建设实践分析

为验证区域农田水利系统规划与高标准农田建设衔接机制的现实适用性,选取典型农业区域作为研究对象,对其协同推进路径进行系统分析。该区域地处平原灌区,农业生产以粮食作物为主,长期以来受制于水资源时空分布不均、灌排体系老化以及田间工程标准不统一等问题,农业生产稳定性和抗风险能力相对不足。在推进高标准农田建设过程中,当地政府同步对区域农田水利系统规划进行优化调整,将高标准农田建设区域明确纳入灌区整体水资源配置与工程改造范围之中,从规划源头强化二者的衔接关系。

在实施层面,该区域以灌区为单元,对骨干输配水工

程和田间灌排设施进行系统整合,通过统一设计标准和工程参数,实现了渠道断面尺度、控制水位及排水能力的协调匹配。而在高标准农田建设过程中,充分考虑区域水利系统的运行条件,对田块布局和作物种植结构进行适度优化,使田间工程能够在既有水资源约束下发挥最大效益。实践表明,通过规划统筹与工程协同,该区域农田灌溉保证率和排涝达标率均得到显著提升,农田水利系统对高标准农田稳产增产的支撑作用明显增强,农业生产由“被动应对风险”逐步转向“系统调控风险”。

5.2 协同实施效果的综合评价与启示

在综合评价层面,围绕农田水利保障能力、农业生产效益和工程运行绩效等维度,对该区域协同实施效果进行系统评估。评价结果显示,区域农田水利系统规划与高标准农田建设在空间布局、工程标准和运行机制上的有效衔接,显著改善了农业基础设施整体运行状态。一方面,资源配置更加科学,田间工程能够在区域尺度上获得稳定水源支撑,减少了因局部工程能力不足导致的减产风险;另一方面,工程体系整体性增强,使灌排设施在极端气候条件下具备更强的调节能力,提高了农业系统的韧性水平^[5]。从经济与管理角度看,协同推进模式有效避免了水利工程与高标准农田项目之间的重复建设和标准冲突,降低了后期调整与改造成本,提升了财政资金的使用效率。同时通过统一管护标准和责任划分,工程运行维护更加规范,有利于延长设施使用寿命,保障高标准农田建设成果的长期稳定发挥。综合评价表明,区域农田水利系统规划与高标准农田建设的深度衔接,不仅提升了单个项目的建设质量,更在区域尺度上实现了农业基础设施的系统优化,对同类地区推进高标准农田建设具有较强的示范与借鉴意义。

表1 区域农田水利系统与高标准农田协同建设评价

评价维度	具体指标	协同实施前表现	协同实施后表现
水利保障能力	灌溉保证率	偏低,受季节影响明显	稳定提高,供水可靠
	排涝达标率	局部区域排水能力不足	与区域防洪体系有效衔接
农业生产效益	单位面积粮食产量	波动较大	稳定增长
	抗灾减灾能力	依赖临时调度	系统调控能力增强
工程运行绩效	设施运行稳定性	易受管理水平影响	运行状态整体可控
	运维成本与管理效率	管护责任分散、效率偏低	管护机制统一、效率提高

6 结语

区域农田水利系统规划与高标准农田建设在目标和功能上具有高度一致性,但在实施层面仍存在规划、标准和机制衔接不足的问题。通过构建以规划统筹为引领、技术标准协同为支撑、管理机制联动为保障的协同推进模式,可有效提升农田水利系统对高标准农田建设的支撑能力。

参考文献

[1] 李保华,杜磊.农田水利系统与生态环境保护的协调发展路径[J].

农业灾害研究,2025,15(9):162-164.

- [2] 袁彦伟.智能化农田水利系统的设计与应用研究[J].粮油与饲料科技,2024,(8):189-191.
- [3] 李姗姗.农田水利系统的节水技术与农业生产效益分析[J].中华传奇(上旬),2021,(31):0044-0045.
- [4] 薛岳.节水防污型农田水利系统的构建及效果分析[J].技术与市场,2021,28(8):174-175.
- [5] 王克金.节水防污型农田水利系统的构建及效果分析[J/OL].中国科技期刊数据库 工业A,2022(3)[2022-05-10].

Application of Information Technology in Construction Engineering Supervision

Tingting Zhao

Anhui Nanxun Construction Project Management and Investment Co., Ltd., Bozhou Branch, Bozhou, Anhui, 236800, China

Abstract

As construction projects expand in scale and structural complexity increases, the traditional supervision model—primarily based on manual experience—has shown limitations in timely information acquisition, refined process control, and risk prediction capabilities. The extended construction period, multiple stakeholders, and frequent overlapping procedures present practical challenges for supervision work, requiring coordinated management of quality, safety, schedule, and cost objectives. The application of information technology offers effective solutions to these issues. This article analyzes the significant advantages of IT in construction project supervision, explores its specific implementations and optimization measures, and provides insights for reference.

Keywords

information technology; construction engineering supervision; application

信息化技术在建筑工程监理中的应用研究

赵婷婷

安徽南巽建设项目管理投资有限公司亳州分公司，中国·安徽 亳州 236800

摘要

在建筑工程建设规模不断扩大、结构形式日趋复杂的背景下，传统以人工经验为主的工程监理模式在信息获取及时性、过程控制精细化以及风险预判能力等方面逐渐显现出局限性。工程建设周期长、参建主体多、工序交叉频繁，使得监理工作面临着质量、安全、进度与成本多目标协同管控的现实挑战。而信息技术的应用为解决这些问题提供了有效途径。文章分析了信息技术在建筑工程监理中应用的显著优势，并对其具体应用及相关优化措施进行了分析、探讨，以供参考。

关键词

信息技术；建筑工程监理；应用

1 引言

建筑工程监理在建筑工程建设过程中扮演着“质量守护者”与“安全监督者”的双重核心角色，并且其作用贯穿于建筑工程项目建设的全过程，是保障工程品质与安全的关键防线。而传统的建筑工程监理主要是采用人工记录、现场勘查等方式，具备数据更新滞后、施工环节监理工作衔接不畅等问题。而随着现代信息技术的不断进步以及在建筑工程监理领域应用的不断深入，信息技术为建筑监理工程工作质量与效率的提升提供了有效路径，并表现出明显优势。因此加强信息技术在建筑工程监理中的应用研究有着十分重要的现实意义。

2 信息技术在建筑工程监理中的应用优势

2.1 助推建筑工程监理工作模式的转型优化

信息技术的应用使得传统建筑监理工作方式发生彻底转变，推动建筑工程监理流程及相关工作向数字化、智能化方向发展。比如，借助物联网、移动监理系统等的应用能够实现对施工现场监理数据的实时收集，实时生成验收记录，形成电子表单同步上传至系统，大大提高了监理资料的归档效率。并且数据产生、走向的整个过程有章可循，大大提高了后续资料核查的便利性、可靠性。同时信息化平台能够实现对监理任务的自动标记与提醒，改变了人为疏忽导致的监管不到位等问题。此外，在 BIM 等技术的应用下能够实现对工程各个阶段信息的预先对接，提高监理工作的主动性，避免陷入风险威胁的被动局面。通过各种信息化工具的应用，实现对历史数据的查询、对比、分析，提高施工情况判断的准确性，使得监理工作的整体效率与智能化水平得到显著提升。

【作者简介】赵婷婷（1986—），女，中国安徽亳州人，本科，工程师，从事工程管理研究。

2.2 提高监理风险防控效益

信息化技术的辅助提高了建筑监理工作对各种风险的可控性。大数据分析技术的应用使得建筑工程施工过程产生的数据都能够得到实时跟踪与深入分析,准确识别风险隐患点,提高风险预判能力。在关键施工区域安装智能传感设备对施工情况进行实时监控,及时对异常情况作出自动预警,进而为风险应对争取更多时间,实现对安全隐患的有效防控。借助信息化技术对合同条款进行拆分、细化分析,与施工实际对比,及时发现施工偏差,有助于提高对工程变更、签证管理潜在风险的应对水平。此外,通过建立数字化风险数据库,能够提高监理工作风险评估的数据支撑力度,使得风险管控更为科学,降低工程的各种风险损失。

2.3 提高监理工作的服务价值

在信息化技术的辅助下建筑工程监理工作的价值变得更为多元化,效益更为显著。得益于数字化平台的辅助监理人员能够获得建筑工程建设的全流程数据报告,同时在可视化图表上能够标注出关键指标的变化情况,提高监理决策的服务价值。建立远程监控系统,对各个地区项目进行集中管理,有效扩大监理工作的服务范围。信息技术的应用还实现了建筑工程建设相关的各类信息的多系统的整合、对接和高度的数据共享,让工程资源的调配变得更为科学、合理。随着数字化转型背景的深入发展,监理服务体系的标准化水平也在不断提升,信息技术的深入应用逐渐推动监理工作流程的固定,形成可复制的监理工作模式,更好地保障监理工作服务降本增效,提高监理工作的整体价值。

3 信息化技术在建筑工程监理中的具体应用

3.1 基于 BIM 技术的三维管控

BIM 技术作为建筑工程监理数字化核心工具覆盖建筑工程建设整个过程,是监理工作由传统二维图纸管理转向三维动态项目管控的重要推手。对于施工设计阶段的监理而言,BIM 模型的参数化可调优势在施工设计监理中的应用为多维度核对建筑结构、机电系统等专业设计细节提供良好辅助。BIM 技术中的可视化漫游功能与碰撞检测算法,可以实现对建筑设计合理性的沉浸式核查,对设计中的隐患进行自动识别与优化,在设计源头上避免变更风险的发生。BIM 技术在施工监理中的应用,能够通过构建“虚拟+实体”的建筑施工比对体系,结合虚拟施工模拟与实际进度,来精准定位施工偏差并追溯成因。BIM 三维模型与时间维度共同构建的 4D 施工进度模型,模拟关键施工环节进度状态,可以为施工监理方案的优化提供指引。此外,VR 技术与 BIM 技术的融合,能够实现对高难度施工区域的沉浸式查看,提前预判工序衔接问题,提升监理工作的精准度。在竣工验收阶段,BIM 模型可整合全过程资料,形成数字化竣工档案,提升验收效率与资料追溯性,推动工程监理从传统的事后管控向事前预防、事中动态监管转变。总而言之,

BIM 技术以三维数字化建模为核心,为建筑工程监理工作提供了智能化、精细化的技术支撑。

3.2 基于物联网与传感融合的自动化管控

建筑工程监理中物联网与传感技术的融合能够搭建起覆盖整个施工关键区域的自动化感知网络,实施预判性的主动监理。通过安装光纤传感器,对结构受力、变形等情况进行监测,搭配倾角传感器对倾斜、位移等数据进行采集,实现对混凝土养护、钢结构焊接变形、深基坑沉降等关键工序的动态监测,替代传统人工巡检的滞后性检测,针对高危结构的安全监理构建多维度安全评估体系。一旦数据接近预警值,边缘计算节点会立即推送相应的预警报告,为应急处置争取时间。智能管控技术体系在设备监理中的应用,能够实现对施工设备动态的实时监测,很好地弥补了传统定期检查的不足。比如,通过在塔吊、施工电梯等大型设备上加装多轴传感器进行运行数据采集,分析各项运行参数的变化情况,对照设备健康模型提前预判设备故障风险,避免事故发生。此外,传感数据的长期存储与分析,还能为工程竣工验收、后期运维提供完整的数据支撑,推动建筑工程监理向自动化、智能化转型。

3.3 基于移动监理与 App 云平台数字化管理

移动监理工具与 App 云平台的应用是实现监理数字化转型的重要载体,通过在平台上对现场监理工作流程进行重新梳理,将零散的数字采集转变为数据的云端共享,在移动设备上实现对现场质量问题、定位信息、照片等信息的一键记录,确保了监理事宜的可追溯性。在 App 中内置有标准规范库,为监理工作的快速调用提供帮助,并将生成的数据、问题说明等同步上传至云端进行档案存储与管理,避免了数据记录丢失的问题。平台按照建设、施工、监理等主体需求,实施精准的权限管理,为监理、施工、建设等单位分别开通隐蔽工程线上验收申请、自检数据上传、验收影像远程查看等权限,并且各方可采用电子签章进行确认,实现监理工作闭环记录。平台和 BIM 模型对接使得监理人员能够在模型上进行问题位置标注、说明,相关人员也能够进入云端进行实时查看、反馈,提高了监理工作的沟通效率。即便是在离线作业、网络条件不佳的场景下,也能够实现对数据的提前预存,待网络恢复后自动同步到云端,使得数字化监理能够扩大至地下、偏远地区等施工范围。

3.4 基于无人机巡检技术的立体化监理

传统的人工巡检模式的空间局限性,在无人机巡检技术的应用下得到很好的弥补。这一技术的应用融合空中巡查与地面核查功能,构建全方位、立体化的监理模式,提高了对大型工程项目整体管控力度。无人机倾斜摄影能够快速采集施工现场的三维点云数据,然后与不同时段模型进行比对,精准测算出工程进度的偏差情况,为施工进度的把控提供辅助。尤其是利用变焦相机的毫米级细节照片拍摄精度优势与热成像相机定位功能,对高层建筑外立面施工进行监

理,很好地解决了传统吊篮巡检效率低、安全风险高的监理难题。无人机巡检技术的应用,还能够实现对建筑工程安全监理的规律巡航。无人机系统按照预设巡检路线实施防护措施等的自动核查工作,依托人工智能自动识别隐患问题,生成隐患分布图,为提高监理工作的针对性、有效性提供保障。

3.5 基于视频监控与AI识别技术的智能监理

建筑工程监理中视频监控与AI识别技术的融合,能够打造智能化的施工现场监管系统,为建筑工程智能化监理提供核心支撑。采用搭配夜视功能的360度全景高清球机对施工关键区域实施全天候监控覆盖,依托AI识别的数据分析功能进行视频数据的实时处理,实现对异常情况的快速响应,提高对安全违规行为、施工工序合规性等的有效监管。比如, AI可精准识别未佩戴安全帽、违规动火、高空抛物等安全隐患,实时预警并推送至监理终端,大幅提升安全监管效率。视频监控与AI识别技术的应用,能够实现对建筑工程监控数据与识别结果按时间存档,形成可追溯电子证据链,为质量事故调查、安全责任认定等提供有效依据。基于视频监控与AI识别技术的建筑工程智能监理,还可监测扬尘、噪声等环保指标,助力绿色施工监管。该融合模式减少人工巡检盲区与漏判,推动监理从“事后整改”转向“事前预防、事中控制”,提升工程监理的智能化、精细化水平。

4 优化信息化技术在建筑工程监理中应用的相关策略

4.1 构建标准化体系与协同平台

信息化技术在建筑工程监理中的应用不可避免地涉及不同系统之间的衔接,对此需要构建统一的、标准的监理信息化框架,解决系统不兼容问题。行业协会、龙头企业、政府部门、科研机构等需形成合力,制定出行业通用的标准体系,对数据格式、接口规范等进行充分明确,确保监理工作相关的各个环节数据得以畅通对接、高效流转。同时重视加强对中间件技术的推广,将模块化平台中的数据进行清晰、全面记录,奠定各系统数据互换流通的重要基础,实现信息化平台之间的高度协同,为进一步提高建筑工程监理工作水平,实现监理信息化协同发展提供保障。

4.2 健全人才培育与资金保障

建筑工程监理中信息化技术的应用有着较高的人才需求,人才培养体系的构建与完善显得尤为重要。其中,校企

合作模式的完善、创新极为关键,需要针对建筑专业增设BIM技术应用、AI识别技术应用、数据分析等实用课程,并与企业紧密联合实施案例实践教学,确保人才培养方向精准对接行业发展需求。企业则需重视完善内部培训机制,结合一线监理人员、管理人员等不同需求,实施针对性培训,提高不同岗位监理工作人员的信息技术应用的实操能力。同时需要以完善的信息化认证机制与考核机制为抓手切实提高整体监理团队的专业能力。此外,优化资金投入结构也不容忽视,需要将信息化建设切实列入监理预算体系,为设备购买、系统开发、云服务租赁等提供充足的资金保障,并以精细化的成本管理实现信息化监理的成本效益最大化。

4.3 强化安全防护与制度支撑

信息技术在建筑工程监理中的应用需要保障数据全流程的高度安全。对此,监理单位需要建设牢固的信息化应用安全防线,采用数据异地备份、数据传输加密优化处理等方式,切实保障数据安全。针对信息化系统运行需求,实施严格的分级授权访问制度,对数据操作权限进行清晰明确与界定,规范操作与管理,落实严格风险评估机制与责任追究制度,避免违规操作行为的发生。同时,需要建立信息化监理工作制度,规范数据的采集、共享、存储等各个管理环节的内容与要求,确保相关技术的应用符合规定,为监理信息化的长期稳定发展提供制度保障。

5 结语

综述可知,在建筑工程监理工作的转型发展过程中,信息化技术的应用发挥着十分关键的作用,监理工作效益显著提升。随着数字化转型的不断推进,需要进一步加强对信息化技术在建筑工程监理中的应用研究,以发挥其在推动整个监理行业升级,筑牢建筑工程质量与安全防线的重要作用。

参考文献

- [1] 钱军.信息化技术在建筑工程监理中的应用研究[J].城市开发,2025(8):123-125.
- [2] 周学进.论建筑工程监理过程中信息化技术的应用[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024(003):000.
- [3] 吴修炎.论建筑工程监理过程中信息化技术的应用[J].地产,2023(14):0245-0247.
- [4] 张力卿.论建筑工程监理过程中信息化技术的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2022(10):3.

Research on Evaluation of Pollutant Reduction Efficiency in Chemical Oxidation Remediation of Organically Contaminated Sites

Zhiguo Wang¹ Peng Wu¹ Mingcan Yue²

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

2. Jiangsu Longheng Environmental Technology Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu, 213000, China

Abstract

Remediation of organically contaminated sites is a key and challenging issue in the field of soil and groundwater environmental management. Chemical oxidation remediation has been widely applied in the treatment of various organic contamination scenarios due to its rapid reaction rate, broad applicability to different types of organic pollutants, and flexible engineering implementation. Pollutant reduction efficiency, as an important quantitative indicator for evaluating the effectiveness of chemical oxidation remediation, not only reflects the degree of pollutant removal but also directly influences the assessment of remediation target achievement and the optimization of technical schemes. Focusing on the reduction characteristics of organic pollutants during chemical oxidation remediation, this study systematically examines evaluation approaches for reduction efficiency from the perspectives of pollutant concentration variation, reaction process characteristics, and environmental medium conditions. The analysis contributes to improving the scientific rigor and reliability of remediation performance evaluation, and provides technical support for effectiveness determination and management decision-making in the remediation of organically contaminated sites.

Keywords

Organically contaminated sites; chemical oxidation remediation; pollutant reduction efficiency

有机污染场地化学氧化修复过程中污染物削减效率评价研究

王志国¹ 吴鹏¹ 岳明灿²

1. 江苏润环环境科技有限公司, 中国·江苏南京 210000

2. 江苏龙衡环境科技有限公司, 中国·江苏常州 213000

摘要

有机污染场地修复是当前土壤与地下水环境治理领域中的重点与难点问题, 化学氧化修复技术因具有反应速率快、适用污染物类型广、工程实施灵活等优势, 被广泛应用于多类有机污染场地治理实践中。污染物削减效率作为衡量化学氧化修复效果的重要量化指标, 不仅反映污染物去除程度, 也直接影响修复目标达成判断及技术方案优化。围绕化学氧化修复过程中有机污染物的削减特征, 从污染物浓度变化、反应过程特性及环境介质条件等方面, 对削减效率的评价思路进行系统梳理与分析, 有助于提升修复效果评价的科学性和可靠性, 为有机污染场地修复效果判定与管理决策提供技术支撑。

关键词

有机污染场地; 化学氧化修复; 污染物削减效率

1 引言

在工业生产、化工储运及不当处置等活动影响下, 大量有机污染物进入土壤和地下水环境, 形成污染程度高、迁移扩散风险大的污染场地问题。随着土地资源集约利用和环境风险防控要求不断提高, 有机污染场地修复已成为生态环境治理中的重要任务。化学氧化修复技术通过引入强氧化剂实现有机污染物结构破坏与转化, 在多类场地中展现出较好

的适用性。然而, 修复过程中污染物削减效果受多种因素共同作用, 仅依据修复前后浓度对比难以全面反映实际修复成效。开展污染物削减效率评价研究, 对于科学认知化学氧化修复过程、规范修复效果判定具有重要现实意义。

2 有机污染场地化学氧化修复技术基础

2.1 有机污染场地中典型污染物的组成特征

有机污染场地中污染物类型通常具有来源多样、组成复杂和理化性质差异明显等特点, 常见污染物包括石油烃类、卤代烃类、芳香族化合物及部分含氧有机物等。这类污染物在土壤和地下水环境中易发生吸附、迁移与富集, 部分

【作者简介】王志国 (1992-), 男, 中国河南安阳人, 硕士, 工程师, 从事环境保护工程研究。

物质具有较强的持久性和生物毒性,难以通过自然过程实现有效衰减。受历史生产方式、污染释放途径及介质结构差异影响,有机污染物在场地中呈现明显的空间分异特征,垂向与水平分布不均,对修复技术选择和削减效果评价提出更高要求。

2.2 化学氧化修复技术的反应机理与适用条件

化学氧化修复技术通过向污染介质中投加强氧化剂,引发一系列氧化还原反应,使有机污染物分子结构发生断裂或转化为低毒、易降解的小分子物质,从而实现污染削减。反应过程中自由基或活性物种发挥核心作用,其生成效率与反应路径受氧化剂种类、环境条件及污染物特性共同影响。该技术适用于中高浓度有机污染场地,在具备一定渗透性和反应空间的土壤与地下水环境中更易发挥修复效果,对场地条件具有一定选择性^[1]。

3 化学氧化修复过程中污染物削减效率的影响因素

3.1 污染物初始浓度与空间分布特征

污染物初始浓度水平对化学氧化修复削减效率具有显著影响,高浓度污染区易引发氧化剂快速消耗,降低反应持续性,而低浓度区域则可能因反应驱动力不足导致削减效果有限。同时,污染物在场地中的空间分布不均,使氧化剂与污染物接触程度存在差异,影响实际反应效率。复杂的分布形态增加了修复过程的不确定性,也对削减效率评价提出高精度要求。

3.2 氧化剂投加方式与反应条件控制

氧化剂投加方式直接影响其在污染介质中的扩散范围和反应均匀性,不同投加路径和速率会改变氧化反应的空间分布特征。反应条件如温度、pH环境及水分状态等因素,对活性物种生成效率和反应稳定性具有重要作用。若条件控制不当,可能导致氧化反应效率降低或出现无效消耗现象,从而影响污染物削减程度及评价结果的准确性。

4 污染物削减效率评价指标体系构建

4.1 基于污染物浓度变化的定量评价指标

在化学氧化修复效果评价中,污染物浓度变化是最直观且可操作性较强的定量基础。通过对修复前后污染物浓度进行系统对比,可以构建削减率、残留率及单位时间削减量等指标,用于反映污染物去除水平。以某类有机污染物为例,修复前土壤中浓度为1200 mg/kg,修复后降至420 mg/kg,削减量达到780 mg/kg,对应削减率为65%。在连续监测条件下,可引入阶段性浓度变化指标,对30 d、60 d、90 d等时间节点的削减效果进行比较,以刻画修复过程的持续性和稳定性。同时,不同空间采样点之间的浓度差异可用于衡量削减效果的均匀程度,如同一深度范围内最大浓度与最小浓度比值由修复前的4.2降低至1.6,表明修复效果趋于均衡。通过将浓度变化与修复周期、投加剂量相结合,可进一步形

成单位氧化剂投加量削减指标,例如每投加1 kg 氧化剂实现污染物削减45 mg/kg,为修复方案的经济性和效率评价提供量化依据^[2]。

4.2 基于反应动力学特征的效率评价方法

反应动力学特征能够从过程角度揭示化学氧化修复中污染物削减效率的变化规律。通过拟合污染物浓度随时间变化曲线,可建立零级或一级反应模型,对削减速率进行定量描述。在某修复阶段内,污染物浓度由1000 mg/kg在20 d内降至500 mg/kg,对应平均反应速率为25 mg/kg·d,反应速率常数约为0.035 d⁻¹。不同阶段速率变化反映出氧化反应由快速消耗向缓慢衰减的转变特征,这一变化与氧化剂消耗和污染物可反应性密切相关。通过比较不同条件下反应速率常数,可评价修复条件对削减效率的影响,例如在pH 6.5条件下速率常数为0.041 d⁻¹,而在pH 8.0条件下降至0.026 d⁻¹。动力学参数的引入,使削减效率评价由单一结果判断转向过程效率分析,有助于识别修复过程中效率衰减节点,并为工艺调整提供依据^[3]。

4.3 综合环境效应导向的削减效率表征指标

单纯基于污染物浓度削减难以全面反映化学氧化修复的环境效应,引入综合环境效应导向指标有助于提高评价的完整性。该类指标将污染物削减程度与生态风险变化相结合,对修复效果进行多维度表征。例如,通过毒性当量变化评价修复前后环境风险水平,修复前综合毒性指数为2.8,修复后降至1.1,风险降低幅度超过60%。同时,可将地下水溶解态污染物浓度变化纳入评价体系,修复后地下水污染物浓度由0.45 mg/L降至0.12 mg/L,显著降低迁移风险。在此基础上,结合氧化反应对土壤理化性质的影响,如有机质含量变化幅度控制在5%以内,体现修复过程对环境介质扰动的可控性。通过构建包含削减率、风险指数和介质稳定性参数的综合指标体系,可更加客观反映化学氧化修复的实际环境效益。

5 化学氧化修复过程中削减效率的监测与分析方法

5.1 修复前后污染物削减效果的对比分析方法

修复前后对比分析是削减效率评价的基础手段,通过系统采样与数据对比实现修复效果判定。在修复实施前,对污染场地进行网格化布点,获取基准浓度数据,例如布设25个采样点,平均浓度为950 mg/kg。修复完成后在相同位置进行复测,平均浓度降至380 mg/kg,总体削减率约为60%。通过统计分析不同采样点削减幅度,可识别削减效果差异区,如削减率高于70%的区域占比达到68%。同时,将不同深度层位的数据进行对比,可判断修复作用范围是否满足设计要求。修复前后数据的系统对比,为削减效率评价提供直接证据,也是后续综合分析的重要基础^[4]。

5.2 修复过程动态监测数据的效率判定思路

动态监测能够反映化学氧化修复过程中削减效率的实

时变化特征。通过在修复周期内设置多次监测节点,如第10 d、30 d、60 d进行采样,可获得污染物浓度随时间变化的数据序列。在某场地修复过程中,前30 d内污染物浓度由1100 mg/kg降至520 mg/kg,削减幅度占总削减量的55%,表明初期反应贡献显著;随后30 d内浓度降至410 mg/kg,削减速率明显放缓。通过对动态数据进行趋势分析,可判断氧化反应是否进入效率衰减阶段,为是否需要补充氧化剂或调整条件提供依据。动态监测数据的连续性,使削减效率评价更加贴近实际修复过程。

5.3 多指标协同下的削减效率综合评价方法

在复杂场地条件下,单一指标难以全面反映削减效率水平,多指标协同评价成为必要手段。该方法将浓度削减率、反应速率参数和环境效应指标进行综合分析,通过权重分配形成综合评价结果。例如,浓度削减率权重设定为0.5,反应速率指标权重为0.3,环境风险变化指标权重为0.2,计算得到综合效率指数为0.72,表明修复效果处于较高水平。通过对不同修复阶段综合指数的比较,可识别效率提升或下降趋势,为修复管理提供量化参考。多指标协同评价能够有效降低单一指标偏差带来的不确定性,提高污染物削减效率评价的科学性与可靠性。

6 污染物削减效率评价在修复效果判定中的应用

6.1 削减效率评价对修复目标达成度判定的支撑作用

在有机污染场地修复实践中,修复目标达成度是衡量工程成效的核心依据,而污染物削减效率评价为这一判定提供了量化支撑。通过将修复前后的污染物浓度变化、削减幅度与既定修复目标进行系统比对,可以判断修复措施是否达到预期要求。例如,当修复目标要求污染物浓度由初始水平降至风险管控阈值以下时,削减效率指标能够直观反映目标实现程度。在修复过程中,部分场地可能在总体平均浓度达标的情况下,仍存在局部高值区域,单纯依赖终点浓度容易掩盖问题,而削减效率评价可通过空间分布差异揭示目标达成的不均衡性。同时,不同阶段削减效率的变化趋势有助于判断修复目标是否具有持续稳定的实现基础,避免出现短期达标后反弹的风险。通过将削减效率结果与修复设计指标、管控标准进行对应分析,可形成对修复目标达成度更为全面、客观的判定结论,为修复验收与后续管理提供可靠依据。

6.2 削减效率结果在修复工艺优化中的应用价值

污染物削减效率评价结果不仅用于修复效果判定,同时在修复工艺优化中具有重要应用价值。通过对不同阶段、不同条件下削减效率的系统分析,可以识别修复过程中效率较高或偏低的关键环节,从而为工艺参数调整提供方向。

当削减效率在初期表现较高、后期明显下降时,说明氧化反应条件或氧化剂供给方式可能需要优化,以延长有效反应周期。不同氧化剂体系或投加方式下削减效率的对比结果,也可为工艺选择提供量化依据,避免单纯依赖经验判断。此外,削减效率与投加成本、修复周期之间的关系分析,有助于实现修复效果与经济性的平衡,推动修复方案由单一效果导向向综合效益导向转变。通过将削减效率评价嵌入修复过程管理,可形成动态优化机制,提高修复技术应用的针对性和稳定性。

6.3 削减效率评价对场地环境风险降低程度的反映作用

污染物削减效率评价在反映场地环境风险变化方面具有重要意义。环境风险的降低不仅取决于污染物是否达标,还与污染物削减幅度、残留水平及空间分布状态密切相关。削减效率评价能够揭示修复前后污染负荷的变化程度,从而反映风险降低的实际效果。当高毒性或高迁移性污染物的削减效率较高时,场地对周边环境和人群的潜在威胁随之减弱。相比单一浓度指标,削减效率更能体现污染控制过程中的风险变化趋势,有助于判断修复措施对地下水污染扩散、土壤再利用安全性的影响。通过将削减效率结果与风险评估结论相结合,可以更准确地识别剩余风险水平,为是否需要进一步修复或实施风险管控措施提供依据,从而实现对有机污染场地环境安全状况的科学判定。

7 结语

有机污染场地化学氧化修复过程中,污染物削减效率评价在修复效果判定与技术管理中具有基础性作用。通过构建科学合理的评价指标体系,并结合过程监测与综合分析方法,可更加客观地反映污染物削减程度及修复稳定性。削减效率评价不仅有助于判断修复目标的实现情况,也为修复工艺优化和环境风险控制提供重要依据。将削减效率评价贯穿于修复全过程,有利于提升修复效果判定的科学性与规范性,推动有机污染场地修复工作向更加精细化和可持续方向发展。

参考文献

- [1] 张李昶,徐雷,李为明,石彩玲,谢文军,李佳楠.不同氧化技术对石油污染土壤性质的影响及修复效果分析[J].中国土壤与肥料,2025,(10):231-242.
- [2] 巫小燕.探析原位化学氧化技术在石油烃污染土壤修复中的应用[J].皮革制作与环保科技,2025,6(19):21-23.
- [3] 杨青琳.异位化学氧化修复有机污染土壤碳排放分析研究[D].导师:李社锋;陈培.武汉轻工大学,2025.
- [4] 夏腾.LNAPLs污染物原位氧化修复的电性响应机理与动态监测研究[D].导师:毛德强.山东大学,2023.

Research on Safety Technology and Application of New Energy Photovoltaic Power Station

Ying Cheng

湖北安源安全环保科技有限公司, 武汉, 湖北, 430000, 中国

Abstract

With the ongoing transformation of global energy structures, photovoltaic power stations have been extensively developed and deployed worldwide. These clean energy solutions, characterized by their renewable nature, provide substantial electricity supply to various regions, effectively mitigating energy crises and environmental pollution. However, the expanding scale and number of photovoltaic power stations have introduced safety risks, including structural integrity issues in support systems and electrical hazards. To address these challenges, targeted safety technologies must be implemented, along with enhanced operational management practices, to ensure reliable and secure operation of photovoltaic power stations, thereby promoting the safe development and utilization of renewable energy. This article analyzes safety concerns in photovoltaic power stations, proposes key safety technologies, optimizes management measures, and enhances operational safety standards to ensure reliable and secure operation of renewable energy photovoltaic power stations.

Keywords

New Energy; Photovoltaic Power Station; Safety Technology; Application Key Points

新能源光伏电站安全技术及应用研究

程迎

湖北安源安全环保科技有限公司, 中国 · 湖北 武汉 430000

摘要

现阶段随着全球能源结构转型升级, 新能源光伏电站在全球各地得到了大规模开发和应用。光伏电站具有较强的清洁性、可再生优势, 为各地输送大量电能支持, 能够有效缓解能源危机和环境污染问题。但是随着光伏电站建设规模、数量的逐渐扩展, 也带来了一定的安全风险问题, 如支架结构风险、电气风险等, 需要采取针对性的安全技术, 强化安全运维管理, 保障光伏电站安全可靠运行, 促进新能源安全开发和利用。文章主要对新能源光伏电站安全问题进行分析, 并提出针对性的安全关键技术, 优化安全管理措施, 有效提升光伏电站安全管理水平, 促进新能源光伏电站的安全性、可靠性运行。

关键词

新能源; 光伏电站; 安全技术; 应用要点

1 引言

为了缓解能源紧张局势和环境污染问题, 需要大力开发和利用新能源, 尤其要加大建设光伏电站力度, 为人们输送更多清洁、可再生能源, 代替传统能源, 缓解能源危机问题。但是光伏电站容易受到自然环境、电气运行条件等因素的影响, 出现安全问题, 危害整体电站的安全运行。因此需要采取科学合理的安全技术, 提升光伏电站安全运行水平。

2 新能源光伏电站概述

新能源光伏电站就是利用晶硅板等材料电子元件材料形成发电体系, 吸收太阳光, 并将其转换为电能, 然后传输

到电网系统中, 供人们生产生活使用。新能源光伏电站系统分为带蓄电池和不带蓄电池系统, 前者属于独立发电系统, 后者属于并网发电系统。该系统发电原理为: 利用半导体产生光发电螺栓效应, 把光能转化为电能, 进而逐渐替代煤炭发电, 减少环境污染和能源消耗, 降低发电成本, 保护生态环境^[1]。其中, 新能源光伏电站结构如图 1 所示。新能源光伏发电系统可以提高发电效率, 为人们日常生活输送更多电能, 满足人们日常生活需求, 缓解能源紧张局面; 在偏远地区建设新能源光伏电站, 为当地居民提供充足的电力能源, 缓解电力分布不均的问题; 新能源光伏发电系统的并网发电模式, 可以利用分散化结构的光伏电池进行逆变、变压控制处理, 实现并网发电, 提高发电效果; 新能源光伏发电站的建设能够为地方经济发展提供推动力量, 促进碳达峰、碳中和目标的实现。当前, 我国在各个地方修建了大量的地面电站、分布式电站, 光伏装机量持续增长, 但是也出

【作者简介】程迎 (1990), 女, 中国湖北应城人, 本科, 工程师, 从事电力系统建设研究。

现了一些安全问题,如火灾事故、组件热斑、接地故障等;再加上运维管理不到位、管理模式不规范等,加大了光伏电站安全隐患,甚至缩短光伏电站使用年限。针对这种情况,需要采取科学合理的安全技术,优化安全运维管理,优化运维流程,促进整体新能源光伏电站的安全可靠性运行。

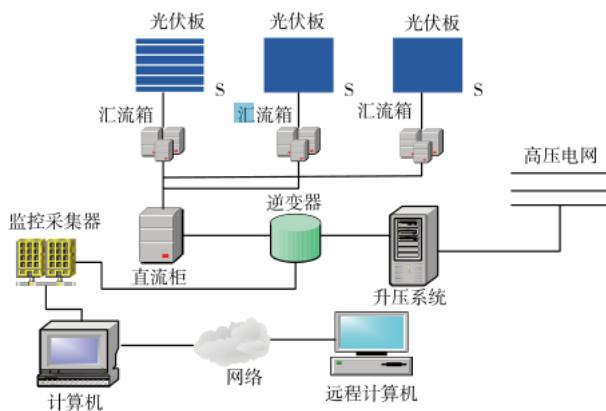


图 1 新能源光伏电站结构图

3 新能源光伏电站安全风险问题

3.1 电气安全风险

光伏电站包含很多不同类型的电气设备,如光伏组件、逆变器、变压器等,引导运行管理不到位,容易发生以下风险问题:在充足的光照环境下,光伏组件会不断地输出直流电压,一旦安装失误或者维护不到位,会加大触电事故发生几率;逆变器是实现直流电和交流电相互交换的关键设备,在高频开关过程中内部电力电子器件会形成过电压、过电流现象,严重情况下还会损坏设备、引发火灾;电缆连接不牢固等问题,会引发短路故障,甚至产生电弧、火灾等事故^[2]。此外,光伏电站并网后,会改变配电网单向潮流状态,致使容量比值增加,容易引发线路保护误动、拒动现象;当外界温度、湿度变化时,会改变光伏电站输出功率,进而引起电压波动或闪动问题。

3.2 火灾安全风险

通常情况下,光伏电站往往建设在偏远山区,缺乏消防安全意识,没有制定完善的消防安全防范制度,致使消防系统存在较大的安全隐患。其中,如果光伏组件长时间超负荷运行,会引发热斑效应、内部短路、边框接地不良等问题,致使温度超出标准范围,这是引发组件燃烧的重要原因之一。当逆变器、汇流箱等设备内部元器件出现电容爆裂等故障问题,也会因火花问题引发火灾事故。此外,雷击很有可能击穿绝缘设备,引发短路火灾问题。如果光伏电站内堆积大量的杂草、落叶等可燃物,一旦遇到明火,会引发火灾。

3.3 结构安全风险

整个光伏组件主要依靠光伏支架支撑,一旦支架结构不稳固,会影响整体光伏电站的安全运行。其中影响支架安全的原因有支架材料选择不当、设计不科学、施工质量较差

等,再加上光伏支架长期承受自身重量、风荷载、雪荷载等容易出现变形、失稳、坍塌问题^[3]。同时,如果光伏电站基础工程存在地基不均匀沉降、支架倾斜、组件损坏等缺陷问题,也会影响光伏电站可靠运行。

3.4 环境与人员安全风险

在光伏电站运营过程中,巡检人员长期在高温、高湿、强辐射环境中工作,加大了中暑、晒伤等健康问题。此外,光伏电站内存在蛇虫鼠蚁等生物,会加大巡检工作风险系数;如果对光伏电站废弃组件处理不到位,会引起土壤、水体污染,引发环境安全问题。

4 新能源光伏电站安全关键技术

4.1 电气安全防护技术

接地技术。其中接地系统包含系统接地和保护接地两种:系统接地就是利用接地系统,把光伏组件金属边框、支架、设备外壳、逆变器等与接地网连接,实现可靠接地,把这些组件与大地之间的电子控制在合理范围内,以便减少触电风险;保护接地就是把电气设备金属部分与接地网连接,避免人接触故障设备。防雷技术。防雷技术包含直击雷技术和感应雷防护技术。直击雷防护技术就是在电站进线端、逆变器、汇流箱等关键设备中安装避雷针、避雷线、接地装置等,并设置多级防雷保护,把雷电击中的电流引入到大地中,减少雷击对设备的损害;感应雷防护技术就是在光伏电站输入、输出端安装避雷器,防止光伏电站受到感应雷影响。过流与过压保护技术。即在电气回路中安装过流保护装置,如熔断器、断路器等,一旦发生短路、过流故障问题,能够第一时间切断电路,保护设备安全;此外还可以在逆变器、组件串上安装过电压保护电路,对电压进行有效控制,避免过高引起设备损坏^[4]。绝缘监测与故障诊断技术。即通过安装绝缘检测装置,对光伏阵列直流侧、交流侧的绝缘电阻进行动态监测,一旦绝缘电阻低于设定值,需要及时报警,方便排查故障;此外还可以利用智能故障诊断技术,实时采集电气参数,精准识别故障类型,保障故障问题的高效处理。

4.2 火灾防控技术

引进早期预警技术。在关键设备位置安装感烟、感温火灾探测器,联合红外热像仪,实时监测光伏组件、逆变器温度,一旦发现火灾隐患,需要及时预警;通过分布式光纤传感技术实时监测电缆线路温度,提早预警电缆火灾隐患。灭火与隔离技术。即在电站控制室、逆变器等区域配置灭火器、消防栓等灭火设施;在大型光伏电站配置自动喷水灭火系统、惰性气体灭火系统;在具体运用中,需要为自动灭火系统探测器设置阈值,一旦探测到的温度超过这一阈值,系统会立即发出预警信号,控制器接收信号后,判断是否存在火灾隐患,然后启动干冰灭火方式,有效提升灭火效果;此外要科学设置防火间距,合理划分防火分区,在组件阵列之间铺设防火隔离带,避免火灾蔓延。热斑防护技术。即选择

具有良好抗热斑性能的光伏组件，并在光伏阵列中安装热斑监测装置，对组件温度进行实时监测，一旦发现热斑问题，需要第一时间采取降温、切断电路等措施，避免热斑持续扩大引发火灾问题。此外，也需要选择合适的防火隔离涂料，形成防火隔离层，减缓火势蔓延，保护光伏电站安全。其中，防火隔离涂料性能指标如表1所示。

表1 防火隔离涂料性能指标

性能指标	有机防火涂料	无机防火涂料
附着力(级)	≥5	≥4
柔韧性(mm)	≤5	≤5
耐火时间(min)	≥1	≥2
耐热性(°C)	≥100	≥200
环保性能	VOC 含量低	无或极少 VOC

4.3 结构安全保障技术

结合光伏电站所在地区的气候条件、地质情况，优化设计光伏支架，选择高强度、耐腐蚀的材料，如铝合金、镀锌钢等，进而强化整体支架结构的稳固性和刚度，延长支架使用寿命。此外要完善施工质量控制技术，强化施工过程质量监督力度，严格按照设计图纸规范施工；着重检查支架基础、连接件，引进先进施工工艺和设备，保障施工精度和效率。优化运维管理技术，定期检测光伏支架结构，如外观检查、变形监测、连接节点紧固性检查等；利用无人机巡检、传感器监测等技术，实时掌握支架结构受力状态、变形数据等，第一时间发现安全隐患，制定针对性的维护措施，进而保障支架稳固性和安全性。

4.4 智能化运维管理技术

为了保障新能源光伏电站安全运行，需要促进智能化运行和维护，尤其要引进人工智能技术、物联网技术等，通过虚拟建模、模拟建模等方式，精准识别、诊断和调节光伏电站设备运行数据，强化智能化设备对数据信息的感应能力，控制数据处理偏差。在具体运维管理工作中，需要引进远程监控与智能巡检技术，建设光伏电站远程监控系统，对电站运行参数、设备状态、环境信息等进行动态监测，一旦

发现异常数据，需第一时间进行远程控制；利用无人机、机器人等智能巡检设备，实现高效、安全化的巡检，减少人员安全、健康风险^[5]。引进大数据分析与风险预警技术，动态化、综合性分析电站运行数据、气象数据、设备状态数据等，并在数据分析基础上构建安全风险评估模型，动态预警电站安全情况，并以此为依据针对性调整安全运维策略，提前采取预防措施，保障电站安全运行。应急管理与联动技术，健全应急管理体系，提出可行性的应急预案，优化应急处置流程，对安全管理责任进行明确划分和落实；在物联网技术支持下，对气象部门、消防部门进行应急联动，一旦发生安全事故需要快速响应，有效处置，把安全风险扼杀在摇篮里。

5 结语

综上所述，为了保障新能源光伏电站安全运行，需要对电气安全技术、防火安全技术、智能安全防护技术等进行优化应用，同时需健全安全监管机制，引进火灾监控系统、自动报警装置等先进的专业智能化技术，提前消除安全隐患。要健全安全事故防控系统，实时监测消防安全，全面监控光伏电站的各个环节，及时发现安全隐患，采取科学方法进行防范和应对。要强化设备安全检查，保障设备质量符合设计要求，促进整体光伏电站始终处于安全稳定的运行状态。

参考文献

- [1] 周浩. 新能源光伏电站安全管理技术研析 [J]. 电力设备管理, 2025, (06): 242-244.
- [2] 王新刚,高永鑫,陈大涛,等. 无人机在光伏电站安全监督检查中的应用 [J]. 电子技术, 2025, 54 (01): 136-139.
- [3] 王锋. 浅谈智能化技术提升光伏电站运维工作安全管控水平 [J]. 电气技术与经济, 2023, (10): 97-99.
- [4] 陈曦. 新能源光伏电站安全技术应用研究 [J]. 大众标准化, 2023, (01): 95-97.
- [5] 张节潭. 大规模新能源电站主动参与电网频率调节和电压稳定关键技术与应用. 青海省, 国网青海省电力公司, 2022-02-25.

A Review on evaluation index of marine engineering disaster assessment and early warning system

Wentao Li Dongrui Han*

Ocean College, Zhejiang University, Zhoushan, Zhejiang, 316000, China

Abstract

Marine engineering has become a pivotal discipline within the broader field of engineering. Operating in the complex and harsh marine environment, structures are persistently subjected to multiple hazards such as wind and waves, corrosion, earthquakes, and tsunamis, which can lead to significant socioeconomic losses. To effectively mitigate the potential damage to marine projects, it is essential to establish a scientific and systematic disaster assessment and early warning system. The effectiveness of such a system fundamentally relies on the rational design and application of evaluation indicators, which are key to achieving precise warning and risk management. This paper systematically outlines an evaluation index system constructed from four dimensions: personnel, equipment, environment, and management. The personnel dimension examines operational compliance, safety awareness, and emergency response capabilities; the equipment dimension focuses on structural integrity, material durability, and monitoring system reliability; the environment dimension includes hydro-meteorological conditions, geological factors, and potential ecological impacts; the management dimension encompasses institutional frameworks, operational procedures, and risk control mechanisms. Future research should focus on the quantitative characterization of these indicators, the development of predictive models, and the integration of real-time monitoring technologies to continuously enhance the accuracy and applicability of the early warning system.

Keywords

Marine Engineering; Structural Health Monitoring; Early Warning System

海洋工程灾害评估预警系统评估指标综述

李文焘 韩东睿 *

浙江大学海洋学院，中国·浙江舟山 316000

摘要

在工程学科中，海洋工程已发展为一个关键的研究方向。其结构常年在苛刻的海洋条件下运行，持续受到风浪、腐蚀、地震及海啸等多种灾害因子的作用，可能引发显著的经济与社会损失。为实现对海洋工程的有效防护，构建一套具备科学基础与系统架构的灾害评估与预警系统至关重要。该系统的效能主要依赖于评估指标的合理设计与应用，这也是达成精确预警与风险管理目标的根本。本文系统阐述了从人员、设备、环境及管理四个层面构建的评估指标体系：人员层面主要考察操作合规性、安全观念与突发事件应对效能；设备层面聚焦于结构健全度、材料耐老化性能及监测系统的稳定程度；环境层面包含水文气象要素、地质环境及可能引发的生态效应；管理层面则围绕制度体系、运维规程与风险防范体系展开。后续的研究工作可着力于推进上述指标的量化表征、预警模型开发及动态监测技术融合，从而持续提升预警系统的精确度与工程适用性。

关键词

海洋工程；结构健康监测；预警系统

1 引言

海洋环境固有的极端性、复杂性和不可预测性，构成了对海洋工程结构长期安全服役的严峻挑战。首先，高盐度、高湿度的海洋大气与海水本身，是工程材料的“慢性毒药”。氯离子等侵蚀性介质能够穿透混凝土保护层，引发内部钢筋的锈蚀膨胀，导致结构开裂剥落；对于金属结构，则会引起均匀腐蚀、点蚀以及更为危险的应力腐蚀开裂，使其有效

承载截面不断削弱，材料韧性逐渐丧失^[1]。其次，海洋是一个永不停歇的能量场，由风生浪，由月球和太阳引力生潮，由地质活动引发海啸，这些动力荷载以随机、循环甚至冲击的方式持续作用于结构。它们不仅带来瞬时超载的风险，其长期的疲劳效应更是导致结构损伤累积、寿命折减的隐形杀手。此外，海底地震、海床液化、滑坡等潜在地质灾害，以及航行船舶的意外碰撞、恐怖袭击等人为或偶然事件，共同编织了一张多元、交织的风险网络。历史上一系列触目惊心的事故，如“亚历山大·基兰”号平台倾覆、旧金山海湾大桥地震损伤、以及诸多因腐蚀或疲劳导致的船舶与桥梁构件

【通讯作者】韩东睿（1994-），男，中国山东淄博人，博士，助理研究员，从事海洋工程防灾减灾研究。

失效案例，都在反复警示我们，传统的基于定期检测和事后维修的保障模式，已难以应对海洋工程日益增长的安全性与可靠性需求。在此背景下，发展一种能够贯穿工程全寿命周期，实现灾害“事前智能预警、事中精准干预、事后科学评估”的智能化系统，不仅是技术进步的自然趋势，更是保障人民生命财产安全、维护海洋生态环境、确保国家重大战略资产安全的必然要求。而这样一个预警系统能否有效运行，其核心与基石在于是否拥有一套科学、完备、灵敏且可操作的评估指标体系。这套指标体系如同系统的“感官”与“神经”，它必须能够全面感知结构健康状态的细微变化，准确辨识不同致灾因子的作用机理与风险等级，并为风险评估、预警发布和决策支持提供定量或定性的依据^[2]。因此，对海洋工程灾害评估预警指标体系进行系统性的梳理、归纳与前瞻性思考，具有极其重要的理论价值和实践指导意义。本文将遵循这一思路，从人员、设备、环境和管理这四个相互关联、相互影响的核心维度出发，对构成该体系的各类关键指标展开深入探讨。

2 海洋工程发展现状

全球范围内，海洋工程的建设热潮方兴未艾，其发展轨迹清晰地呈现出向深海、远海进军，结构形式不断创新，并与数字化、智能化、绿色化理念深度交融的特征。在跨海大桥领域，人类不断挑战着跨度、深度和复杂环境的极限。回顾国际实践，美国在应对高烈度地震区桥梁建设方面进行了诸多创新，如旧金山-奥克兰海湾大桥新东桥采用了独特的自锚式悬索桥与单塔柱支撑体系；日本作为多地震、强台风国家，其明石海峡大桥的建设集中体现了在抗风、抗震及防船撞方面的极致化设计思想^[3]。中国虽起步相对较晚，但已凭借一系列超级工程后来居上，成为世界瞩目的中心。港珠澳大桥作为集桥、岛、隧于一体的超大型跨海集群工程，不仅在规模上创下世界纪录，更在长效防腐、工厂化施工和自动化监测等方面推动了行业技术变革。当前，正在建设的深中通道、甬舟铁路西堠门大桥等，继续在超大规模、复杂水文地质条件下结构设计、高速铁路荷载适应性等方面引领技术发展。展望未来，跨海大桥的设计将更加注重全寿命周期的性能与成本优化，超高性能混凝土、智能碳纤维复合材料等新材料的应用将提升结构耐久性，而集成于结构内部的智能传感网络与自适应减震控制系统，将使桥梁具备自我感知、自我调节的能力，成为真正的“智能生命体”^[4]。

在海洋油气资源开发的主战场——海上平台领域，技术的演进史就是一部向更深水域、更恶劣环境不断探索的历史。从扎根于大陆架的固定式导管架平台，到适用于中等水深的张力腿平台和顺应性更好的深水半潜式平台，再到为超深水及边际油田经济开发而生的 Spar 平台、圆筒型平台以及功能集成的浮式生产储卸装置，平台的形态与功能持续演进。欧洲北海油田的长期开发，催生了高度数字化、自动化

和无人化的平台运营模式，通过远程操控中心与平台本体的数据互联，极大减少了高风险海域的常驻人员，提升了本质安全水平。巴西在开发盐下超深水油田的过程中，带动了浮式装备设计、深水系泊系统和复杂海底生产系统工程技术的全面进步。中国通过“海洋石油 981”深水半潜式钻井平台等一系列重大装备的自主设计与成功应用，已初步建立了从资源勘察、工程设计、装备建造到海上安装的完整深水工程能力链，并在南海深水区展开了大规模的实质性开发。未来的海上平台将不仅仅是资源开采的设施，更将成为一个高度集成的信息物理系统，通过布设于结构、设备、管线上的海量传感器，结合环境与生产数据，构建起平台的数字孪生体，实现对结构健康、设备状态、生产流程和潜在风险的实时洞察与预测性维护，决策过程将从经验驱动转向数据与模型驱动^[5]。

海上风电作为可再生能源领域的明星，正经历着爆发式增长与技术快速迭代。欧洲长期扮演着全球引领者的角色，英国、德国、丹麦等国不仅在近海建立了大规模的风电场群，更在积极探索适用于更深水域的漂浮式风电技术，以突破海底固定式基础的水深限制，开启深远海风能利用的新篇章。中国凭借强大的工业制造能力和巨大的市场需求，已成为全球最大的海上风电市场。在江苏、福建、广东等沿海省份，绵延数十甚至上百公里的风电场已蔚为壮观。国内企业在超长柔性叶片研制、大容量机组集成、巨型桩基础施工以及柔性直流输电等关键技术领域取得了显著突破。然而，中国东南沿海频繁的台风活动、复杂的海洋地质条件以及东西部能源消纳的时空矛盾，也对风机的极端抗风设计、基础长期防腐、智能化运维以及大规模并网技术提出了独特而严峻的挑战^[6]。行业未来的发展轨迹将指向更大单机容量以降低度电成本，更成熟的漂浮式技术以开拓深远海资源，全生命周期的数字化运维以提升可用性和经济性，以及探索“海上风电+”模式，如与海洋牧场、海水制氢、旅游观光等产业融合发展，实现海域空间与资源的立体化高效利用。

3 主要海洋工程面临的灾害类型

3.1 跨海桥梁

跨海桥梁在服役期内面临一系列特殊风险：强风环境可能诱发大跨度桥体的气动失稳现象，如颤振和涡激振动；高盐度、高湿度的海洋气氛会导致混凝土结构劣化与钢筋腐蚀，并伴随波浪冲刷与生物附着侵蚀；强烈地震作用可能造成桥墩损伤或上部结构落梁，致使交通干线中断；通航水域内的船舶意外撞击也对桥墩安全构成直接威胁；同时，材料性能退化与施工缺陷也可能在长期运营中演化为安全隐患^[7]。

3.2 海上作业平台

随着开发活动向深远海推进，海上平台面临的风险日趋复杂。来自自然环境的威胁主要包括飓风、巨浪、海冰、地震等引起的结构过载或疲劳损伤；非结构性的风险则多源

于生产运营过程,如井喷、爆炸、火灾以及供应船舶的碰撞等。平台长期固定于特定海域,也易受到其他船舶误入或非法靠近的干扰。因此,建立覆盖结构状态、环境载荷及周边动态的综合监控与预警体系显得尤为必要。

3.3 海上风力发电机

海上风电机组的主要灾害源于极端自然事件。台风过境时,极大的风速和湍流强度可能造成叶片断裂、机舱损坏甚至塔架整体倾覆。尽管风机属于高柔结构,但其在地震作用下的动力响应及潜在破坏仍需在设计中予以考虑。此外,长期往复的波浪荷载对基础(尤其是漂浮式基础)的稳定性构成挑战,海冰堆积与撞击也可能对基础及支撑结构产生不利影响^[8]。

3.4 海上航行船舶

船舶在航行过程中直接暴露于海洋气象环境之下。浓雾会严重降低能见度,增加船舶偏航、搁浅或碰撞的风险,同时湿滑甲板也威胁船员安全^[4]。台风系统带来的狂风与狂浪会导致船舶产生剧烈的横摇、纵摇和垂荡运动,严重影响其操纵性与稳性,极端情况下可导致倾覆。海啸引发的异常巨浪和强大水流则可能对船舶造成毁灭性冲击。

4 评估预警系统的指标体系架构

4.1 人员要素

该要素重点考察参与工程运营、维护及应急响应人员的综合能力与状态。安全意识水平可通过关键岗位人员接受安全培训的时长与效果进行间接评估;专业技能涵盖理论知识掌握程度、实际操作熟练度、心理承受能力及生理健康状况;团队结构与素质可通过人员职称构成、教育背景等指标进行衡量。海事安全统计显示,约八成的事故与人为因素存在关联,尤其在碰撞事故中,人为因素的贡献率可高达九成以上^[6]。

4.2 设备要素

设备要素关注工程结构本体及其附属设施的安全状态。日常维护与检修的及时性与有效性是保障设备功能完好的基础;各类安全保护装置(如限位、超压保护)需保持高可靠性,以在参数超标时及时干预;电气系统的设计与安装必须符合防爆、防水等特殊规范,确保线路稳定;特种设备(包括起重机械、压力容器等)的管理必须严格遵守国家法规,实施定期检验与注册制度^[3]。

4.3 环境要素

环境要素分为自然环境和作业现场环境两个层面。自然环境参数如风速、波高、潮位、地震动等是直接的灾害驱动因子,需实时监测。作业现场的环境条件,包括照明、噪声水平、空气质量(粉尘、有害气体)等,直接影响作业人

员的生理状态与认知判断,不当的环境可能诱发人为失误。现场管理应严格遵循危险区域最小化人员数量、危险物料限制存量、危险操作独立分隔等原则^[1]。

4.4 管理要素

管理要素是维系整个安全体系有效运行的制度保障。其主要内容涵盖:安全生产责任制的建立与落实;针对特定试验或作业制定的安全方案与管理规定;规范化的安全审批流程;作业前、中、后各阶段的安全检查制度;面向全员的安全教育与技术交底;针对潜在事故的应急预案及定期演练;以及作业结束后的安全撤收程序。对此类要素的评价可采用分级方法,例如划分为安全、关注、警告、危险四个等级,以实现半定量化考核。

5 结语

构建系统化的评估指标体系,是深化认识海洋工程结构风险、提升其灾害预警与防控能力的关键路径。本文从人、机、环、管四个维度系统梳理了影响海洋工程安全的主要风险因子及其评价指向,为预警系统的开发提供了理论框架。未来的研究方向包括:发展关键指标的精确量化方法与标准;融合多源监测数据与人工智能技术,开发智能预警预测模型;以及推动实时、在线监测技术与评估系统的深度集成,最终实现海洋工程灾害预警系统从“事后应对”向“事前预防”的智能化演进。

参考文献

- [1] 谢博祥.风暴潮作用下的海岸工程建设研究—以厦门市为例[J].工程技术研究,2020,5(15):16-18.
- [2] 丁薇,顾仕强,刘杨.基于自然灾害的设备风险评估与预警应用[J].电子技术与软件工程,2020(16):153-154.
- [3] 王静,郑伟,姜传炜,邓天勇,陈存.船舶行业试验系统安全评估指标分析研究[J].武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2019,41(06): 567-572.
- [4] 管日升,孙鹏.海洋平台安全环境监测系统构建[J].中国海洋平台,2020,35 (5) :98-100.
- [5] 俞庆,肖熙.海洋平台结构风险评估[J].海洋工程, 1997,15 (3) :1-7.
- [6] CHOI E. Gradient height and velocity profile during typhoons[J]. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, 1984, 13(1): 31-41.
- [7] 孙彦杰,李良碧,尹群.碰撞、爆炸灾害下海洋平台风险评估研究初探[J].中国海洋平台,2017, 22 (5) : 38-43.
- [8] Particulate Gravity Currents: Theory, Experiments, and Environmental Applications[M], Wiley, 2025. ISBN: 978-1-39-421672-7.

Research on the application of GIS-based real estate registration data in construction management

Guixin Dong

Dali Real Estate Registration Center, Dali, Yunnan, 671000, China

Abstract

This paper discusses the application of GIS-based real estate registration data in construction management. By analyzing its application scenarios in pre-construction planning and design, construction process monitoring and management, and post-construction acceptance and maintenance, the advantages of GIS technology in integrating real estate registration data, such as data visualization, spatial analysis and dynamic update, are expounded. This paper also points out the challenges faced by current applications, such as the difficulty of data integration, the shortage of technical talents, and data security, and proposes corresponding strategies. The research shows that the combination of GIS technology and real estate registration data can significantly improve the efficiency and scientificity of construction management, and has broad application prospects.

Keywords

GIS technology; registration of immovable property; building construction management; Data integration

基于 GIS 的不动产登记数据在建筑施工管理中的应用研究

董桂鑫

大理市不动产登记中心，中国·云南大理 671000

摘要

本文探讨了基于GIS的不动产登记数据在建筑施工管理中的应用。通过分析其在施工前规划与设计、施工过程监控与管理以及施工后验收与维护阶段的应用场景，阐述了GIS技术在整合不动产登记数据方面的优势，如数据可视化、空间分析和动态更新等。本文也指出了当前应用中面临的挑战，如数据整合难度、技术人才短缺和数据安全问题，并提出了相应的应对策略。研究表明，GIS技术与不动产登记数据的结合能够显著提升建筑施工管理的效率和科学性，具有广阔的应用前景。

关键词

GIS技术；不动产登记；建筑施工管理；数据整合

1 引言

随着城市化进程的加速，建筑施工管理的复杂性与重要性日益凸显。不动产登记数据作为记录土地和房屋等不动产信息的重要资料，蕴含着丰富的地理空间和属性信息。近年来，地理信息系统（GIS）技术的快速发展为不动产登记数据的管理和应用提供了新的技术手段。GIS技术能够实现不动产登记数据的可视化、空间分析和动态更新，为建筑施工管理提供了更为精准和高效的支持。在建筑施工的全生命周期中，从前期规划到施工过程监控，再到后期验收与维护，不动产登记数据结合GIS技术的应用，能优化资源配置，还能有效降低施工风险，提升管理效率。因此，研究基于GIS的不动产登记数据在建筑施工管理中的应用，具有重要的理论和现实意义。

【作者简介】董桂鑫（1976-），女，中国云南鹤庆人，本科，从事建筑施工管理、不动产登记研究。

2 不动产登记数据与 GIS 技术概述

2.1 不动产登记数据的内涵

不动产登记数据是指对土地、房屋、林木等不动产的自然状况、权属关系及其他相关法律信息的系统记录。它涵盖了不动产的位置、面积、用途、产权人、权利类型等关键属性，是保障不动产权益、维护市场秩序的重要基础信息。这些数据不仅反映了不动产的物理特征，还承载着法律、经济和社会等多方面的价值。准确、完整的不动产登记数据是实现不动产管理科学化、规范化以及保障相关利益主体合法权益的前提条件。

2.2 不动产登记数据的特点

2.2.1 法律性和权威性

不动产登记数据具有显著的法律属性，它是确认不动产权属关系和保障权利人合法权益的法定依据。登记数据的准确性直接关系到产权的合法性和交易的安全性。一旦完成登记，相关数据便具备法律效力，成为处理不动产权属纠纷、

保障交易秩序的重要凭证,法律性和权威性使得不动产登记数据在房地产市场交易、土地管理、城市规划等众多领域发挥着不可替代的作用,为社会经济活动提供了坚实的法律保障。

2.2.2 空间性和关联性

不动产登记数据不仅包含文字描述的属性信息,还具有明确的空间特征。每一处不动产都对应着具体的地理位置、边界范围和空间形态,这些空间信息通过地理坐标、图形数据等形式记录在登记系统中。例如,不动产与土地利用规划、城市基础设施建设、环境保护等数据相互关联,形成了一个复杂的空间数据网络。

2.2.3 动态性和时效性

不动产登记数据是一个动态变化的系统,随着时间的推移,不动产的权属关系、用途、面积等信息可能会发生改变。例如,土地的出让、转让、房屋的买卖、抵押、继承等行为都会导致登记数据的更新。因此,不动产登记数据需要及时进行动态维护,以确保其反映最新的实际情况;数据的时效性也至关重要,只有准确、及时的登记数据才能为市场交易、行政管理、司法裁决等活动提供可靠的依据。在现代社会快速发展的背景下,不动产登记数据的动态性和时效性要求登记机构不断提升管理效率和技术水平,以适应不断变化的社会经济需求,保障不动产市场的健康运行和公平交易。

2.3 GIS 技术的基本原理与功能

2.3.1 GIS 技术的基本原理

地理信息系统(GIS)是一种用于采集、存储、管理、分析和展示地理空间数据的计算机系统。其核心原理是将地理空间数据与属性数据相结合,通过地理坐标系统将地球表面的地理实体进行数字化表达。GIS利用地图投影技术将三维地球表面转换为二维平面地图,并通过空间数据结构(如矢量和栅格)来组织和存储地理信息。矢量数据通过点、线、面等几何元素表示地理实体,而栅格数据则以网格单元为基础,记录地理现象的空间分布。GIS还借助拓扑关系来表达地理实体之间的空间联系,如相邻、包含、相交等。通过这些原理, GIS能够实现对地理空间数据的高效管理和精确分析,为用户提供丰富的地理信息和决策支持。

2.3.2 GIS 技术的数据管理功能

GIS技术在数据管理方面具有强大的功能,能够处理海量的地理空间数据和属性数据。它支持多种数据格式的输入和输出,包括矢量数据、栅格数据、遥感影像以及表格数据等。GIS通过数据库管理系统(DBMS)对数据进行组织和存储,确保数据的完整性、一致性和安全性。用户可以方便地对数据进行查询、编辑、更新和删除操作,这些数据管理功能使得GIS成为处理复杂地理信息的强大工具,为后续的空间分析和可视化提供了坚实的基础。

2.3.3 GIS 技术的空间分析功能

空间分析是GIS技术的核心功能之一,它能够对地理空间数据进行深入的处理和分析,以揭示地理现象的内在规律和空间关系。GIS提供了多种空间分析工具,如缓冲区分析、叠加分析、网络分析和地形分析等。缓冲区分析可以确定地理实体周围的一般范围区域,用于评估影响范围或保护区域;叠加分析则通过将多个图层进行合并,分析不同地理要素之间的空间关系,如土地利用与地形地貌的叠加分析;网络分析用于路径规划和资源分配,如交通网络中的最短路径计算;地形分析则通过对高程数据的处理,生成坡度、坡向和地形剖面图等。这些空间分析功能使得GIS能够为城市规划、环境保护、资源管理等领域提供科学的决策支持,帮助用户更好地理解和利用地理空间信息。

2.4 GIS 技术在不动产登记数据管理中的优势

2.4.1 数据可视化与直观展示的优势

GIS技术为不动产登记数据提供了强大的可视化功能,能够将复杂的地理空间数据和属性信息以直观的地图形式展示出来。通过地图符号、颜色分级和三维可视化等手段,用户可以清晰地看到不动产的位置、边界、面积以及周边环境等信息。这种可视化方式不仅便于管理部门和专业人员进行数据查询和分析,也使得普通用户能够快速理解不动产的空间关系和相关属性。例如,在城市规划中,通过GIS地图可以直观展示土地利用现状和规划布局,帮助决策者更好地进行资源配置和规划调整。

2.4.2 空间分析与决策支持的优势

GIS技术在不动产登记数据管理中的另一个显著优势是其强大的空间分析能力。借助GIS的空间分析工具,可以对不动产数据进行多种复杂的分析,如空间叠加分析、缓冲区分析和网络分析等。这些分析功能能够帮助用户揭示不动产的空间分布规律、评估周边环境影响以及优化资源配置。例如,通过叠加分析可以将不动产的产权信息与土地利用规划、生态保护红线等数据相结合,快速识别出符合规划要求的开发区域或潜在的违规行为。

2.4.3 数据整合与动态更新的优势

不动产登记数据涉及多个部门和多种数据类型,传统管理模式下数据分散且更新不及时,容易导致信息孤岛和数据不一致的问题。GIS技术通过建立统一的地理空间框架,能够将分散的不动产数据进行整合,实现多源数据的无缝对接和协同管理。例如,当不动产发生交易或抵押时, GIS系统可以快速更新相关数据,并通过空间分析功能实时评估其对周边区域的影响。

3 基于GIS的不动产登记数据在建筑施工管理中的应用场景

3.1 施工前规划与设计阶段

在建筑施工的前期规划与设计阶段,基于GIS的不动

产登记数据能够为项目选址、规划设计提供科学依据。通过GIS技术，可以将不动产登记数据中的土地权属、用途、地形地貌等信息进行可视化展示，帮助规划人员快速了解目标区域的土地利用现状和周边环境条件。例如，利用GIS的空间分析功能，结合土地利用规划图和地形图，能够精准评估地块的开发潜力和适宜性，避免因选址不当导致的规划冲突或资源浪费。

3.2 施工过程监控与管理阶段

在建筑施工过程中，基于GIS的不动产登记数据为施工管理提供了实时、动态的支持。GIS技术可以将施工现场的地理信息与施工进度、资源分配、人员调度等数据相结合，实现施工过程的可视化监控。例如，通过在GIS平台上实时更新施工进度数据，管理人员可以直观了解各施工区域的进展情况，及时发现进度滞后或资源冲突的问题，并进行快速调整。

3.3 施工后验收与维护阶段

在建筑施工完成后的验收与维护阶段，基于GIS的不动产登记数据同样发挥着重要作用。GIS技术可以将竣工后的建筑信息与不动产登记数据进行整合，生成详细的竣工验收地图，为验收工作提供直观的参考。通过对施工前后的地理信息和属性数据，能够快速发现施工过程中可能存在的偏差或质量问题，确保项目符合规划设计要求。在后续的维护管理中，GIS平台可以记录建筑设施的分布、使用年限、维护记录等信息，实现设施的全生命周期管理。例如，通过GIS的空间分析功能，可以快速定位需要维护的设施位置，结合周边交通和资源分布情况，优化维护计划和资源调配。GIS还可以与不动产登记数据中的权属信息结合，明确维护责任主体，避免因权属不清导致的维护纠纷。这种基于GIS的验收与维护管理模式，能够有效提升建筑设施的管理效率和使用寿命，保障不动产的长期价值。

4 基于GIS的不动产登记数据在建筑施工管理中的优势与挑战

4.1 优势分析

基于GIS的不动产登记数据在建筑施工管理中具有显著的优势。首先，GIS技术能够将不动产登记数据的地理空间特征与施工管理需求紧密结合，为施工的全生命周期提供精准的空间信息支持。通过可视化展示和空间分析功能，施工团队可以快速了解项目周边的地理环境、土地权属关系以及基础设施分布情况，从而优化施工规划，减少因信息不对称导致的施工风险。其次，GIS平台支持多源数据整合，能够将不动产登记数据与施工进度、资源分配等动态信息进行无缝对接，实现施工过程的精细化管理和实时监控。GIS技

术的动态更新机制确保了施工管理数据的时效性和准确性，能够及时反映施工过程中的变化，为科学决策提供依据。最后，GIS技术的应用还能够提高施工管理的效率和透明度，减少信息传递的延误和误差，提升项目整体管理水平，为建筑施工管理带来革命性的变革。

4.2 挑战与应对策略

尽管基于GIS的不动产登记数据在建筑施工管理中具有诸多优势，但也面临着一些挑战。首先，数据整合难度较大。不动产登记数据来源广泛，格式多样，且涉及多个部门的管理权限，数据的标准化和一致性难以保证，这给GIS平台的数据整合带来了困难。其次，GIS技术的应用需要专业的技术人员和设备支持，施工企业可能面临技术人才短缺和技术设备投入不足的问题。数据安全和隐私保护也是重要的挑战，不动产登记数据涉及大量敏感信息，一旦泄露可能引发法律风险。针对这些挑战，可以采取以下应对策略：一是加强数据标准化建设，推动各部门之间的数据共享机制，确保不动产登记数据的准确性和一致性；二是加大对GIS技术人才的培养和引进力度，同时优化技术设备配置，提升企业对GIS技术的应用能力；三是建立健全数据安全管理制度，采用加密、备份等技术手段，保障不动产登记数据的安全和隐私。通过这些措施，能够有效克服GIS技术在建筑施工管理中的应用障碍，充分发挥其优势。

5 结语

总而言之，基于GIS的不动产登记数据在建筑施工管理中的应用，为传统施工管理模式带来了创新与变革。通过整合不动产登记数据与GIS技术，施工管理的各个环节得以实现可视化、精细化和动态化，显著提升了管理效率和决策科学性。然而，数据整合难度、技术人才短缺以及数据安全等问题仍需进一步解决。未来，随着GIS技术的不断发展和数据共享机制的逐步完善，其在建筑施工管理中的应用前景将更加广阔，有望为建筑行业的可持续发展提供更有力的支持。

参考文献

- [1] 孔德晨.不动产统一登记改革便企惠民[N].人民日报海外版,2025-03-14(003).
- [2] 夏建红.基于DIKW体系的不动产登记档案服务路径研究[J].数字与缩微影像,2025,(01):44-46.
- [3] 江瑶.不动产住宅登记中的房产与地籍测绘数据整合思考分析[J].居舍,2025,(07):145-148.
- [4] 王帅,刘文俊,刘学.基于优化营商环境下地铁轨行区旁校园改造项目技术探讨[J].中华建设,2025,(03):85-87.
- [5] 马艳玲.兰州不动产登记再推十八项便民利企新举措[N].兰州日报,2025-02-28(001). DOI:10.28556/n.cnki.nlzrb.2025.000563.

Discussion on the Construction Technology of Drilled Pile in Bridge Engineering

Yubin Li

China Water Resources and Hydropower Seventh Engineering Bureau Co., Ltd., Chengdu Sichuan, 610213, China

Abstract

As one of the primary forms of bridge foundation, bored piles are widely used due to their high load-bearing capacity, strong adaptability, and minimal environmental impact. This paper systematically elaborates on the full-process construction technology and technical key points of bridge bored piles from construction preparation, surveying and layout, casing installation, slurry wall formation, steel cage fabrication and installation to underwater concrete pouring, based on the engineering practice of the Jianxin Bridge in the Chaisang River and Quanlong River Phase II Construction Project^[1]. The article focuses on analyzing the hole-forming technology of rotary drilling rigs in complex strata, pile foundation verticality and sediment control at the hole bottom, installation and connection of large-diameter steel cages, as well as quality control methods for continuous underwater concrete pouring. Simultaneously, it analyzes the causes of common construction defects such as hole collapse, deviation, and floating cages, and proposes specific preventive and remedial measures. Through strict construction organization design and full-process quality control, the pile quality of 56 bored piles with a diameter of 1.6m was ensured. This paper aims to provide systematic technical references and practical experience for bridge pile foundation engineering under similar geological conditions^[2].

Keywords

bridge engineering; bored pile; rotary drilling rig; underwater concrete pouring; quality control; accident prevention and control

浅谈桥梁工程钻孔灌注桩施工技术探讨

李域斌

中国水利水电第七工程局有限公司，中国·四川成都 610213

摘要

钻孔灌注桩作为桥梁基础的主要形式之一，因其承载能力高、适应性强、对周边环境影响小等优点而被广泛应用。本文结合柴桑河、泉龙河二期建设工程建新大桥的工程实践，系统阐述了桥梁钻孔灌注桩从施工准备、测量放样、护筒埋设、泥浆护壁成孔、钢筋笼制作安装到水下混凝土灌注的全流程施工工艺与技术要点^[1]。文章重点分析了旋挖钻机在复杂地层中的成孔技术、桩基垂直度与孔底沉渣控制、大直径钢筋笼的安装与连接、以及水下混凝土连续灌注的质量控制方法。同时，对施工中常见的坍孔、偏孔、浮笼等质量通病的成因进行了剖析，并提出了具体的预防与处理措施。通过严格的施工组织设计与全过程质量控制，确保了56根直径1.6m钻孔灌注桩的成桩质量。本文旨在为类似地质条件下的桥梁桩基工程施工提供系统的技术参考与实践经验^[2]。

关键词

桥梁工程；钻孔灌注桩；旋挖钻机；水下混凝土灌注；质量控制；事故防治

1 引言

中国交通基建快速发展，桥梁工程对桩基础要求日益提高。钻孔灌注桩因其荷载传递有效、土体扰动小，成为复杂地质条件下的首选形式，并朝着大直径、深孔、高性能方向发展，对施工精度与质量提出了更高要求。

该技术属隐蔽工程，质量受地质、设备、工艺及管理等多因素影响，易出现孔径不足、孔壁坍塌、钢筋笼上浮等缺陷，直接影响桩基承载力和耐久性。

本文以四川柴桑河、泉龙河二期建新大桥桩基工程为例，系统分析钻孔灌注桩施工技术，总结特定地质水文条件下的技术对策、关键工序质量控制与常见问题解决方案，以期为类似工程提供借鉴。

2 工程概述

建新大桥为柴桑河、泉龙河二期建设工程的关键节点工程，桥梁全长 98m，桥宽 40m，采用 (24.5+39+24.5)m 变截面预应力混凝土连续箱梁结构，双幅设置。桥梁基础采用钻孔灌注桩，共计 56 根，桩径均为 1.6m。其中，桩长 12m 的共 24 根，桩长 15m 的共 32 根。桥墩采用直径 1.6m 的圆柱，横桥向三柱式布置，柱下设承台与桩基相连。

【作者简介】李域斌（1990-）男，中国四川眉山人，本科，工程师，从事水利水电及市政工程施工技术与管理研究。

地层岩性: 桥址区位于成都平原坳陷区, 场地稳定性较好。地层自上而下主要为: (1)第四系全新统素填土 (Q4ml), 松散, 厚度不均; (2)第四系中更新统可塑状粉质粘土 (Q2al) 及稍密~中密含粘性土卵石层; (3)下伏基岩为白垩系灌口组 (K2g) 砂质泥岩, 按风化程度分为强风化与中风化两层。强风化层岩芯破碎, 遇水易软化; 中风化层岩芯较完整, 是良好的桩端持力层。

不良地质: 表层素填土结构松散, 自稳定性差; 卵石层可能发生渗漏; 强风化泥岩遇水易崩解软化, 需防止长时间浸泡。

水文情况: 场地地下水主要为上层滞水和基岩裂隙水, 水量总体较小。但桥梁部分墩位位于柴桑河河床内, 受季节性河水影响显著, 施工需考虑汛期影响, 并采取了修筑围堰、埋设导流涵管等措施创造干地施工条件。

3 钻孔灌注桩关键施工技术

本工程桩基施工采用“泥浆护壁、旋挖钻机成孔为主、冲击钻备用、水下导管灌注混凝土”的工艺路线。核心施工流程包括: 施工准备→测量放样与护筒埋设→泥浆制备与循环→旋挖钻机成孔→成孔检测与清孔→钢筋笼制作与安装→导管安装与二次清孔→水下混凝土灌注→桩头处理与检测^[3]。详见下图:

3.1 施工准备与场地规划

施工前的周密准备是保障工程顺利进行的基石。本工程重点开展了以下工作:

技术准备: 组织图纸会审, 编制专项施工方案, 对全体管理人员及作业人员进行详细的安全技术交底, 明确质量标准与操作规程。

现场准备: 完成施工便道的修筑与硬化, 保证设备材料运输畅通; 合理规划泥浆循环系统(包括造浆池、沉淀池、循环槽), 确保泥浆性能稳定且符合环保要求; 架设临时用电线路, 配备应急发电机; 完成河道导流与围堰施工, 为河床内桩基提供作业面。

物资与设备准备: 提前备足合格的水泥、砂石料、钢筋、膨润土等原材料; 进场并调试好旋挖钻机、吊车、混凝土输送泵、导管等主要设备。

3.2 精确测量与护筒埋设

测量控制: 建立高精度施工控制网, 采用全站仪极坐标法精确放样各桩位中心点, 并设置牢固的十字形护桩进行校核。桩位中心放样误差严格控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内。

护筒埋设: 采用钢护筒, 内径大于设计桩径 400mm(即 2.0m)。护筒埋设是防止孔口坍塌、保证孔位正确、维持孔内水头压力的关键。岸上护筒埋深穿透松散填土层, 进入稳定土层不少于 1.0m; 河床内护筒埋深考虑冲刷影响。护筒中心与桩位中心偏差 $\leq 20\text{mm}$, 垂直度偏差 $< 1\%$ 。护筒周围用粘土分层回填夯实。

3.3 泥浆护壁系统

针对地层中存在粉质粘土、卵石及强风化泥岩的特点,

采用优质膨润土制备泥浆。

泥浆性能指标控制: 根据地层情况动态调整。一般地层泥浆比重控制在 1.10~1.25, 粘度 18~22s; 穿越易坍孔地层时, 适当提高比重至 1.25~1.30, 粘度至 22~28s。含砂率要求 $< 4\%$, pH 值 > 6.5 , 胶体率 $> 95\%$ 。

泥浆循环与管理: 采用正循环系统, 及时补充新浆, 通过沉淀池有效除砂, 确保循环泥浆性能。废弃泥浆经处理后外运, 防止环境污染。

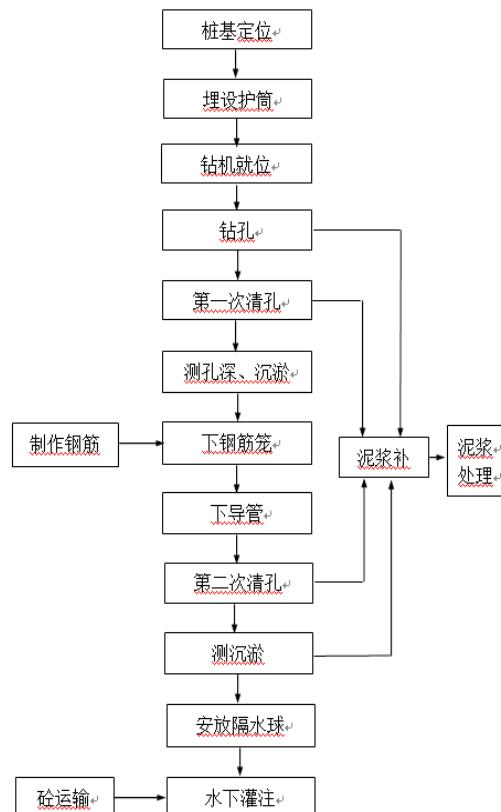


图 1 桩基施工工艺流程图

3.4 旋挖钻机成孔工艺与控制

钻机就位与开孔: 钻机就位后调整水平、对中, 确保钻头中心与护筒中心重合。^[4] 开孔时采用低速慢进, 导正钻杆, 保证垂直度。

4 钻进过程控制

分层钻进策略: 在松散填土和卵石层中, 控制进尺速度, 防止塌孔和卡钻; 在粘土层中, 适当调整转速和钻压, 防止泥包钻头; 进入强风化和中风化泥岩后, 采用高钻压、低转速破碎岩层。

垂直度控制: 每钻进 3~5m 或更换钻头前, 采用专用的“检孔器”(直径等于设计桩径, 长度 4~6 倍桩径) 进行孔壁垂直度检测, 发现偏斜及时纠正。

孔深与孔径控制: 根据钻杆长度和钻头高度记录孔深, 确保达到设计持力层深度。定期检查钻头直径, 磨损超限($> 15\text{mm}$) 及时修复或更换, 保证孔径。

5 终孔与清孔

终孔确认：当钻至设计标高并进入中风化泥岩持力层满足设计要求后，经监理工程师确认终孔。

一次清孔：终孔后立即进行第一次清孔，采用换浆法，将钻具提离孔底 20-30cm，持续泵入优质泥浆，置换孔内含渣泥浆，直至返浆指标接近入孔泥浆指标，孔底沉渣厚度初步控制。

二次清孔：钢筋笼和导管安装完毕后，在灌注混凝土前进行二次清孔。利用导管作为吸浆管，采用气举反循环或泵吸反循环方式，彻底清除孔底沉淀。清孔后沉渣厚度必须满足规范要求（摩擦桩≤20cm，端承桩≤5cm），泥浆指标符合灌注要求。

6 钢筋笼制作与安装

标准化制作：在加工场内采用胎模化制作，确保主筋间距、箍筋间距、钢筋笼直径和长度符合设计。主筋连接采用滚轧直螺纹套筒连接，连接质量可靠、效率高。加强箍与主筋点焊牢固，保护层垫块（耳筋）按竖向每 2m 一圈对称布置 4 个。

安全吊装与精确安装：采用双机或多点抬吊法，防止钢筋笼变形。吊装对准孔位后徐徐下放，避免碰撞孔壁。分节制作的钢筋笼，在孔口采用套筒进行连接，连接时保证主筋对正、连接牢固。钢筋笼安装到位后，通过焊接在护筒上的型钢将笼顶吊环固定，防止灌注混凝土时上浮或下沉。

6.1 水下混凝土灌注

水下混凝土灌注是决定成桩质量的最后一道，也是最关键的工序。

导管与漏斗：采用丝扣连接式钢导管，使用前进行水密承压试验。导管底口距孔底 30-50cm。漏斗容量经过计算，确保首盘混凝土浇筑后导管埋深不小于 1.0m。

混凝土性能要求：采用商品混凝土，设计强度等级提高一个等级配制。要求具有良好的和易性、流动性和缓凝性。坍落度控制在 180-220mm，初凝时间不小于 8 小时。

6.2 灌注过程控制：

首封混凝土：计算并备足首封方量，一次性连续浇筑，确保导管初始埋深。

连续灌注：灌注过程连续进行，随时测量孔内混凝土面高度，计算导管埋深，严格控制导管埋深在 2-6m 范围内。严禁将导管拔出混凝土面。

拆卸导管：根据混凝土灌注量及测量数据，适时拆卸导管，但每次拆卸后导管埋深不得小于 2.0m。

桩顶标高控制：为保证桩头混凝土强度，灌注标高应高出设计桩顶标高 0.8-1.0m，超灌部分在后续承台施工前凿除。

7 施工质量通病防治

结合本工程实践，对钻孔灌注桩常见质量问题的预防与处理进行了总结：

坍孔：预防：保持孔内水头稳定，使用优质泥浆，控制钻进速度。处理：轻微坍孔可加大泥浆比重和粘度；严重坍孔则回填粘土至坍孔处以上 1-2m，待稳定后重新钻进。

钻孔偏斜：预防：确保钻机安装平稳，钻杆垂直，在软硬不均地层低速钻进。处理：使用扫孔钻头反复扫孔纠偏；偏斜严重时回填重钻。

钢筋笼上浮（浮笼）：预防：将钢筋笼顶部与护筒牢固焊接固定；混凝土面接近钢筋笼底时，放缓灌注速度；控制导管埋深不过大。处理：发现上浮立即停止灌注，通过计算调整导管埋深，或适当下降钢筋笼后恢复灌注。

桩身夹泥或断桩：预防：保证清孔彻底，混凝土连续灌注，严格控制导管埋深，防止导管提空。处理：根据缺陷位置和程度，采用压浆补强或补桩处理。

8 桩基检测与成果

本工程 56 根钻孔灌注桩施工完成后，全部委托第三方检测单位采用超声波透射法进行桩身完整性检测。检测前对声测管进行了通水检查，确保畅通。检测结果表明，所有桩均为 I 类桩（桩身完整），桩身混凝土连续、均匀，满足设计要求。这充分证明了本工程所采用的施工技术方案、质量控制措施是有效和可靠的。

9 结语

钻孔灌注桩施工是一项技术复杂、环节众多的系统工程。在建新大桥桩基工程的成功实践中，我们认识到：

精细化的前期策划与地质勘察是制定正确施工方案的前提。

全过程、动态化的质量控制是保障成桩质量的核心，尤其要抓好测量定位、泥浆护壁、成孔垂直度与沉渣控制、钢筋笼连接与定位、水下混凝土灌注等关键环节。

针对性的技术措施与应急预案是应对复杂地层和突发状况的保障。

先进的设备（如旋挖钻机）与成熟的工艺（如直螺纹套筒连接）是提高施工效率和质量稳定性的重要手段。

综上所述，通过严格遵循规范、科学组织施工、强化过程控制，钻孔灌注桩技术能够在类似地质水文条件下，高效、优质地完成桥梁基础施工任务，为上部结构提供安全可靠的支撑。

参考文献

- [1] 林萍萍.建筑工程中大直径旋挖成孔灌注桩施工管理[J].中国建筑金属结构,2025,24(09):178-180
- [2] 殷万林.复杂地质条件下钻孔灌注桩施工技术研究--以安徽皖维高新材料股份有限公司项目为例[J].房地产世界,2024,24(12):146-148
- [3] 张天愈.桥梁工程基础钻孔灌注桩施工技术研究[J].运输经理世界,2024,24(26):104-106
- [4] 奎建刚.武志熙.尚新昌.兰州市大厚度湿陷性黄土地区超长灌注桩桩基特性研究[J].江西建材,2025,25(06):272-274