

工程研究前沿

Frontiers of Engineering Research

Volume 1 · Issue 5 · October 2024 3060-9054(Print) 3060-9062(Online)

工程研究前沿

Frontiers of Engineering Research

Volume 1 · Issue 5 · October 2024 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

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。

Database Inclusion



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



工程研究前沿

Frontiers of Engineering Research

Volume 1 Issue 5 October 2024
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	水利施工中砟产生裂缝的原因及其防治措施 / 王晓明	22	基于机电一体化的智能机械臂设计与实现 / 刘爽
4	煤矿井下综采工作面远端供电系统的安全性能优化研究 / 赵勇	25	油气储运管道腐蚀防护技术的现状与发展趋势研究 / 宋杨
7	煤矿井下供电系统稳定性分析与优化策略研究 / 龚勋	28	油气储运中油气回收技术的探讨 / 赵立波
10	环境保护工程空气监测现场的质量控制研究 / 黄珈俊	31	精细化管理在民用建筑施工管理中的应用 / 胡耀安
13	生态修复与景观优化融合背景下花园城市施工中土建工程技术难题及解决方案 / 刘星	34	BIM 技术在道路桥梁施工管理中的应用与实践 / 王尚
16	花园城市公共空间有机更新中的社会参与机制与高质量施工管理模式分析 / 许霜	37	仿生青蛙机器人的机械结构设计与运动性能分析 / 王语暄 梅颢 侯士伟
19	电气工程领域电力系统稳定性研究及改进 / 张辉	41	BIM 技术在公路设计中的应用浅析——以南安 G358 项目为例 / 苏忠进 许秋梅
		44	地质勘探中机械钻探技术的创新与应用研究 / 孙雷

- | | | | | |
|----|--|----|--|--|
| 1 | Reasons and prevention measures for concrete cracks in water conservancy construction
/ Xiaoming Wang | | | based on mechatronics
/ Shuang Liu |
| 4 | Research on Safety Performance Optimization of Remote Power Supply System for Fully Mechanized Mining Face in Coal Mine Underground
/ Yong Zhao | 25 | | Research on the status quo and development trend of corrosion protection technology of oil and gas storage and transportation pipelines
/ Yang Song |
| 7 | Research on Stability Analysis and Optimization Strategy of Coal Mine Underground Power Supply System
/ Xun Gong | 28 | | Discussion on oil and gas recovery technology in oil and gas Storage and transportation
/ Libo Zhao |
| 10 | Study on the quality control of the air monitoring site of the environmental protection engineering
/ Jiajun Huang | 31 | | The application of fine management in civil building construction management
/ Yaoan Hu |
| 13 | Technical problems and solutions of civil engineering in garden city construction under the background of the integration of ecological restoration and landscape optimization
/ Xing Liu | 34 | | Application and Practice of BIM Technology in Road and Bridge Construction Management
/ Shang Wang |
| 16 | Analysis of social participation mechanism and high-quality construction management mode in the organic renewal of garden city public space
/ Shuang Xu | 37 | | Mechanical Structure Design and Motion Performance Analysis of a Bionic Frog Robot
/ Yuxuan Wang Hao Mei Shiwei Hou |
| 19 | Research and improvement of power system stability in electrical engineering field
/ Hui Zhang | 41 | | Analysis of the application of BIM technology in highway design——Take the Nan'an G358 project as an example
/ Zhongjin Su Qiumei Xu |
| 22 | Design and implementation of intelligent mechanical arm | 44 | | Research on the innovation and application of mechanical drilling technology in geological exploration
/ Lei Sun |

Reasons and prevention measures for concrete cracks in water conservancy construction

Xiaoming Wang

Tianzhuang Town Water Station, Huantai County, Zibo, Shandong, 256402, China

Abstract

Concrete cracks are a common problem in water conservancy construction, which not only damages the quality and durability of the project, but also may pose a threat to the safety and service life of the facilities. The presence of cracks weakens the compressive performance of concrete and increases potential risks. In order to effectively prevent such problems from occurring, it is crucial to take a series of measures during the construction process to significantly improve the overall quality and stability of concrete structures in hydraulic engineering, thereby ensuring the long-term stable operation of the project. This article aims to deeply analyze the causes of concrete cracks in water conservancy projects and propose corresponding prevention strategies, providing valuable references and suggestions for improving the quality of concrete structures.

Keywords

water conservancy construction; Concrete cracks; reason; Preventive measures

水利施工中砼产生裂缝的原因及其防治措施

王晓明

桓台县田庄镇水务站, 中国 · 山东 淄博 256402

摘 要

水利施工中, 砼裂缝是一个常见的问题, 它不仅损害了工程的质量与耐久度, 还可能对设施的安全性及使用寿命构成威胁。裂缝的存在削弱了混凝土的抗压性能, 增加了潜在的风险。为了有效预防此类问题的发生, 在施工过程中采取一系列措施至关重要, 以大幅提升水利工程中混凝土结构的整体质量及其稳定性, 从而保障项目的长久稳定运行。本文旨在深入分析水利项目中砼裂缝产生的原因, 并提出相应的预防策略, 为改善混凝土结构质量提供有价值的参考和建议。

关键词

水利施工; 砼裂缝; 原因; 防治措施

1 引言

作为国家基础设施建设不可或缺的一部分, 水利工程的质量直接决定了其安全性和功能性。在砼结构施工过程中, 裂缝问题始终是影响工程质量的一个重要因素。砼裂缝不仅损害了工程的外观美感, 还可能削弱水利设施的耐久性能, 严重时甚至会对水资源的安全构成威胁。因此, 深入探讨水利工程施工中砼裂缝产生的根源, 并提出切实可行的预防及治理策略显得尤为关键。有效解决砼裂缝问题, 不仅能显著提升工程的整体质量水平, 还能极大地延长设施的服务年限, 具有极其重要的实践价值。^[1]

2 水利施工中砼产生裂缝的原因

2.1 施工工艺不当

砼裂缝的形成在很大程度上归因于施工技术的不足。若混凝土混合不够均匀、振实过程不够彻底, 或是浇筑时缺乏适当的管控, 则会削弱砼结构的致密性, 从而促进裂缝的发展。除此之外, 施工期间温度波动对混凝土性能的影响也十分显著。如果没有及时实施有效的温度管理策略, 在混凝土固化阶段, 由于温差引起的热胀冷缩效应可能会产生内部应力。一旦这种内应力超过了材料本身的抗拉极限, 就会促使结构内部或其表面出现裂纹。

2.2 材料选择不合理

混凝土的质量在很大程度上取决于其组成材料的选择, 尤其是水泥、砂石及骨料的种类与比例。当水泥活性较低、骨料粒径分布不均或砂石中含有较多杂质时, 这些因素都会对混凝土的强度和抗裂能力产生不利影响。特别是在水利工程中应用时, 混凝土必须能够抵抗较高的水压和其他环境压

【作者简介】王晓明(1975-), 男, 中国山东淄博人, 本科, 工程师, 从事水利研究。

力；如果所选材料不能满足特定性能要求，则可能导致混凝土抗拉强度降低以及耐久性下降，从而引发裂缝问题。另外，若混合物配比设计不合理，还会造成水泥与骨料之间结合不够紧密，形成内部应力差异，这将促进已有微小裂纹的发展扩大。

2.3 环境条件影响

环境因素对于混凝土的固化过程具有重要影响，特别是在露天施工条件下表现得尤为突出。温度、相对湿度及风速等外部条件直接作用于混凝土中的水化反应速率及其表面水分蒸发速度。在炎热且干燥的气候条件下，由于混凝土表面水分迅速蒸发，可能导致内部缺水，进而引起收缩并形成裂纹。相反，在寒冷环境中，低温会减缓混凝土内发生的化学反应进程，使其强度增长缓慢；若在此阶段受到外力作用，则增加了产生裂缝的可能性。^[2]

3 水利施工中砼裂缝的防治措施

3.1 优化施工工艺

为了有效预防砼裂缝的形成，优化施工技术显得尤为关键。首先，应当科学规划施工时间表，尽量避开极端天气条件下的作业。比如，在遭遇酷暑或严寒时，应考虑推迟工程进度或采取有效的环境调控手段，以保证混凝土施工期间温度处于适宜范围之内。其次，对于混凝土搅拌及振动密实的质量控制也必须给予高度重视。搅拌过程中需确保水泥、骨料与水之间达到均匀混合状态，防止因成分分布不均而引发强度波动问题。在进行振捣操作时，要力求每一层混凝土都能得到充分且均匀的压实处理，从而避免由于振捣不足所导致的气孔和蜂窝状缺陷出现；这类缺陷不仅会损害结构美观度，更有可能成为日后裂缝扩展的基础。此外，应当管理好浇筑过程中的温差，特别是在大规模混凝土浇筑项目中，内部与表面之间的显著温差容易引起材料热胀冷缩效应，进而诱发裂纹现象。为此，可以采用分段浇筑法、合理布局施工缝位置以及实施温度控制措施（例如铺设保温材料）等方法来缓解温度应力，促使混凝土凝固期间温度变化趋于平缓，从根本上杜绝裂缝隐患。^[3]

3.2 选择高质量的砼材料

混凝土材料的质量直接决定了其强度与耐久度，因此，在水利工程的建设过程中，选择适应当地环境条件的优质混凝土材料显得尤为重要。首要任务是依据工程所在地区的气候及水文特征来挑选合适的水泥类型，确保所选水泥具备良好的防水、防冻以及抗侵蚀性能。比如，在那些频繁接触水源的水利设施中，采用高防水性和低渗透性的水泥可以显著延长砼结构的服务寿命。另外，骨料的选择及其配比也十分重要，理想的骨料应当颗粒级配良好、干净且硬度足够，避免使用含有过多泥土或有机物杂质的产品，因为这些都会削弱混凝土的整体密实程度和承载力。此外，还需精细调控水泥与骨料之间的比例关系，保证混凝土在凝固期间保持恰当

的水分与胶结材料的比例，防止因任一成分过量而导致性能下降，特别是对抗裂能力的影响。为更有效地提高混凝土抵抗开裂的能力，可考虑应用高性能水泥或者添加一些功能性助剂，如聚合物改性剂、纤维增强材料或高效减水剂等，它们不仅能增加混凝土的拉伸强度，还能改善其防水和防冻效果，从而有效抑制裂缝的扩大。^[4]

3.3 加强养护管理

混凝土的养护管理是确保其质量的关键步骤，尤其是在水利工程建设中，恰当的养护手段可以大幅减少裂缝出现的可能性。在硬化期间，混凝土需要通过合理的养护来维持适宜的湿度与温度条件，以此保障水泥水化过程的有效进行，进而增强并均匀分布混凝土的强度。根据具体的环境因素，选择合适的养护策略非常关键。比如，在炎热且干燥的条件下，由于混凝土表面水分蒸发速度加快，可能会引发因表面收缩而产生的裂纹问题。在这种情况下，采用如覆盖湿润草垫、喷洒保水层或应用养护剂等保湿措施显得尤为重要，以保持混凝土表面的潮湿状态，防止水分迅速流失。相反地，在寒冷气候下，低温会抑制水泥水化进程，造成混凝土强度增长缓慢，甚至可能威胁到整个结构的安全性。除此之外，还需重视养护期的长度，通常建议至少连续养护7天以上，以保证混凝土能够实现强度和密实度的均衡发展。^[5]

3.4 控制施工环境

施工环境中的温度和湿度对混凝土的固化过程及其最终品质有着直接的影响。特别是在气温较高的情况下，混凝土表面水分蒸发速度加快，这可能会导致材料内部收缩不均，从而产生裂缝。为解决这个问题，建议在工地采取遮阳措施，例如搭建遮阳网或使用防晒帆布覆盖，以此减少阳光直射带来的影响，并控制温度上升的速度。同时，通过设置喷雾装置或是定期洒水来增加空气湿度，可以减缓水分流失的速度，保持混凝土表面湿润，促进其均匀硬化。反之，在寒冷季节施工时，低温会降低混凝土的水化速率，进而延缓强度的增长，甚至可能损害结构的整体稳定性。此时，则需要采取加热手段，如利用电热毯、加热炉等设施提升作业区域内的温度，确保混凝土能在合适的条件下完成固化过程。另外，还可在混凝土表面上铺设保温层，比如使用保温膜或者草席覆盖，以减少热量损失，维持混凝土温度，避免因温差过大而产生的应力集中现象，防止裂缝形成。^[6]

4 水利施工中砼裂缝的常见修补方法

4.1 表面修补法

表面修复技术主要用于处理混凝土表面上出现的细微裂痕，尤其是在这些裂缝不影响结构安全性而仅对美观和防水性能产生影响的情况下。修复过程通常始于清理裂缝区域，首先需要运用专门工具去除裂缝内的松散物质、尘埃以及油渍等杂质，以确保后续使用的修复材料能够与基面紧密粘合。完成清洁步骤后，常用的修复材料包括环氧树脂、

聚氨酯及聚合物水泥砂浆等，这类材料以其卓越的黏附力、持久性和防水特性著称，能够有效地填充裂缝并恢复混凝土的整体密实度。在进行修补时，应先将选定的材料均匀地注入裂缝中，保证其完全填满缝隙。待材料硬化之后，则需对表面进行处理，一般采用抛光或打磨等方式，使修复部分与周围混凝土表面对齐平滑，从而恢复原有的外观。此外，为进一步提升修复效果，在修复层上施加一层保护涂层也是常见的做法，这样可以增强其抵御环境变化的能力以及防水性能。^[7]

4.2 注浆修补法

灌浆修复技术主要应用于处理较为深邃或宽大的裂隙，特别是在水利设施建设过程中常见的渗漏问题。此方法涉及在裂缝位置钻孔，并将特制的修补剂（例如水泥浆、环氧树脂或是聚氨酯灌浆材料）注入其中。借助这些填充物良好的渗透性能，它们能够填满整个缝隙空间，在固化之后可以显著提升结构的整体稳固性和密实程度。执行灌浆操作前，首要步骤是对裂缝进行彻底清理，移除内部存在的杂质及松散颗粒，以促进灌浆材料与原有基底之间形成牢固结合。根据裂缝的具体尺寸（包括宽度和深度）、漏水状况等因素，选择最为合适的灌浆材料至关重要；比如，基于水泥的混合物适合于覆盖大面积的结构性裂缝，而环氧树脂则更适用于深层裂缝以及需要更高强度支撑的情况。在整个灌浆作业期间，需利用专业设备确保浆液能够均匀地分布于裂缝之中，并且施加适当的压力，以便浆料能够深入到达裂缝最深处。完成灌浆后，必须给予足够的时间让材料完全硬化，一般建议等待至少 24 小时，以此来保证修复工作的稳定性和长久性。^[8]

4.3 加固修补法

加固修补技术适用于解决较为严重的结构裂缝问题，特别是当仅靠填充方法无法恢复其原有承载力时。此方法通常涉及在裂缝位置添加额外的加强材料，比如钢筋网、碳纤维织物或玻璃纤维布等。这些材料以其出色的抗拉伸性能和耐腐蚀特性著称，能够显著提升砼结构的整体强度。首先，施工团队需要彻底清理裂缝区域，移除所有松散物质及杂质，并基于裂缝的具体情况来制定合理的加固计划。选择哪

种类型的加固材料主要取决于裂缝性质以及对增强强度的具体需求。例如，在面对较大负载的结构中，采用碳纤维布可以有效增加其抗拉能力；而针对那些容易受到水压影响的部分，则更适合使用钢筋网来进行加固处理。通过这种方式，不仅能够恢复受损砼体的承重功能，还能够大幅提高其抗震性和使用寿命。^[9]

5 结语

在水利工程建设过程中，砼裂缝问题显著影响着工程的整体质量及其长期耐久性。通过实施科学合理的预防与修复策略，能够有效地抑制裂缝的发生与发展。采取更优的施工技术、选用优质材料、强化后期养护以及严格控制施工条件是防止裂缝形成的关键措施。对于已经形成的裂缝，则可通过表面处理、灌浆填补及结构加固等多种方法来恢复混凝土原有的强度和密实度，从而保障建筑物的安全稳固。

参考文献

- [1] 何志远.农田水利施工中防渗渠道衬砌技术的有效应用[J].Water Conservancy & Electric Power Technology & Application, 2024, 6(18).
- [2] 龙登锋.水利施工行业存在的安全隐患及解决措施探究[J].安家, 2023(3):0019-0021.
- [3] 周 威.水利施工中的混凝土裂缝的原因及防治措施分析[J].Water Conservancy & Electric Power Technology & Application, 2024, 6(13).
- [4] 田雷鸣.基于灰色综合评价的水利施工 质量评价模型[J].Water Conservancy Science & Techonlogy & Economy, 2024, 30(5).
- [5] 鲁 玮.水利施工中软土地基的处理方法探析[J].International Architecture, 2023, 5(8).
- [6] 吴五龙,蒋莉.水利工程施工管理中存在的问题及解决措施[J].2024(14):162-164.
- [7] 许占军.水利工程施工技术及其现场施工管理策略[J].微型计算机, 2024(8):148-150.
- [8] 徐春梅.水利工程施工管理现状和改善建议分析[J].工程管理与技术探讨, 2020.
- [9] 雷中锋,吴建华.水利施工中钻孔灌注桩施工关键技术与质量管理思考[J].江西建材, 2016(22):1.

Research on Safety Performance Optimization of Remote Power Supply System for Fully Mechanized Mining Face in Coal Mine Underground

Yong Zhao

Liaoning Province Diaobingshan Tieda Coal Industry Group Construction Engineering Co., Ltd. Mining Construction Engineering Branch, Diaobingshan, Liaoning, 112700, China

Abstract

The remote power supply system of the fully mechanized mining face underground in coal mines is an important component to ensure the safety, continuous and stable operation of coal mine production. The fully mechanized mining face is a key working face in coal mining production, and its power supply system undertakes various power supply tasks such as equipment operation, lighting, ventilation, etc. With the gradual increase of coal mining depth, the complexity and danger of the underground environment continue to rise, especially in remote working faces, where the importance of power supply systems is becoming increasingly prominent. Traditional power supply systems often expose problems such as high safety hazards and poor risk resistance when facing complex environments and changing load demands.

Keywords

underground coal mine; Fully mechanized mining face; Remote power supply system

煤矿井下综采工作面远端供电系统的安全性能优化研究

赵勇

铁法煤业集团建设工程有限责任公司矿山建设工程分公司，中国·辽宁 调兵山 112700

摘 要

煤矿井下综采工作面远端供电系统是保障煤矿生产安全、持续稳定运行的重要组成部分。综采工作面是煤矿采掘生产中的关键作业面，其供电系统承担着设备运行、照明、通风等各类电力供应任务。随着煤矿开采深度的逐渐增加，井下环境的复杂性和危险性不断提升，尤其是在远端工作面，供电系统的重要性愈加突出。传统的供电系统在面对复杂环境和多变的负荷需求时，往往暴露出诸如安全隐患大、抗风险能力差等问题。本研究旨在通过对煤矿井下综采工作面远端供电系统的安全性能进行优化，提出切实可行的技术措施，提升系统的稳定性和安全性，从而确保煤矿的安全生产。

关键词

煤矿井下；综采工作面；远端供电系统

1 引言

随着矿井开采深度和工作面规模的不断扩大，远端供电系统的安全性能面临越来越严峻的挑战。本文通过分析当前煤矿井下综采工作面远端供电系统的安全现状，探讨其存在的安全隐患，提出了一系列优化措施，旨在提高系统的安全性、可靠性和经济性。本文的研究不仅为矿井安全生产提供了理论支持，还对提升矿井供电系统的技术水平具有一定的指导意义。

2 煤矿井下综采工作面远端供电系统现状分析

2.1 煤矿井下综采工作面供电系统的构成

煤矿井下综采工作面的供电系统由多个环节组成，主要包括电力源、变电设备、电缆线路和配电设备等各类设施，这些设施相互配合，构成了井下供电系统的完整框架。各类设备的功能和作用具有重要的技术含量，关系到煤矿井下电力系统的安全性和稳定性。电力源是煤矿井下供电系统的起点，通常由地面电网提供^[1]。由于煤矿井下工作面的特殊性，地面供电系统需要通过变电站将电力输送到井下。电力源的稳定性直接决定了整个供电系统的运行安全。为了应对井下深部采矿等特殊需求，部分深井矿采用独立电源或备用电源作为补充，确保在主电源出现故障时，能够及时切换到备用电源。变电设备是电力系统的核心设备之一，主要包括变

【作者简介】赵勇（1982-），男，中国辽宁法库人，本科，工程师，从事电气工程研究。

电所、变压器、开关设备等。变电所将电力从地面电网引入并转换为适合井下使用的低压电。变压器的作用是将高压电转换为低压电，保证井下设备能够正常使用。而井下的高压开关设备、低压断路器、负荷开关等设备，负责对电力进行分配、保护和监控，确保电力供应的安全性与可靠性。电缆线路是煤矿井下供电系统的基础设施之一。根据负荷需求，电缆将电力从变电站传输至各类井下设备。井下电缆通常需要承受较高的机械应力、化学腐蚀以及高湿度等不利环境，因此对电缆的选择和敷设要求较高。电缆的安全运行直接影响到供电系统的稳定性，且电缆老化、损坏等问题是引发电力故障的重要因素。而井下的配电设备用于对电力进行合理分配，确保各类设备获得稳定的电力供应。配电设备包括配电盘、配电箱、断路器等，这些设备通过合理的配电方式保证电力的稳定传输和各类负载的合理分配。在煤矿井下，由于环境恶劣，配电设备的抗压能力和防护能力需要达到较高标准。^[1]

2.2 系统现存安全隐患

尽管煤矿井下综采工作面远端供电系统在设计上已经采取了一些先进技术，但随着矿井开采深度的增加及工作面扩展，井下环境日益复杂，系统安全隐患不断暴露。主要的安全隐患包括电缆老化、设备故障、环境因素影响和人为操作错误等方面。在实践中可以发现电缆老化是煤矿井下供电系统中最为常见的安全隐患之一。随着电缆的使用时间不断增加，绝缘层逐渐老化，导致电缆性能下降，甚至出现破损或漏电现象。电缆老化可能导致电气设备的短路或漏电，甚至引发火灾^[2]。电缆的绝缘性与导电性密切相关，绝缘损坏会导致电流外泄，给井下工作人员带来严重的触电危险。由于煤矿井下环境湿度较大，电缆在长期运行过程中更容易发生绝缘损坏，进而影响整个供电系统的稳定性和安全性。设备故障是煤矿井下供电系统常见的安全隐患之一。由于设备长期在高负荷、恶劣环境下运行，电气设备（如变压器、配电盘等）容易发生过载、过热等故障。变压器过载可能导致设备损坏，甚至引发火灾。配电设备故障则会导致电力供应中断，影响生产作业。此外，电压波动也是常见的电气故障问题，电压不稳定会直接影响井下设备的正常运行，导致设备损坏或生产中断。煤矿井下环境复杂，湿度大、气体浓度高等环境因素对电气设备的影响不可忽视。潮湿的环境会加速电气设备的腐蚀，降低其使用寿命；瓦斯气体的存在则增加了爆炸的风险。当电气设备发生故障时，可能与瓦斯气体发生反应，导致爆炸事故的发生。因此井下电气设备不仅需要具备良好的防潮、防腐蚀功能，还要具备防爆能力，以应对恶劣的环境条件。^[2]

3 煤矿井下综采工作面远端供电系统安全性优化需求

3.1 安全性能优化的基本要求

煤矿井下综采工作面远端供电系统在保证煤矿生产安

全、提高生产效率方面发挥着至关重要的作用。随着煤矿开采深度的增加和生产设备的复杂化，供电系统的安全性面临着更高的挑战如表 1。为了实现煤矿供电系统的高效、安全运行，必须从系统稳定性、系统可靠性、系统自愈性和安全性等几个方面进行全面优化。系统稳定性是供电系统优化的核心要求。稳定的电力供应能够有效保障矿井设备的正常运行，避免因停电而导致的生产中断。据统计，煤矿系统的停电时间平均为每年 200 小时以上，系统的稳定性在此期间能显著降低停工损失。稳定性不仅涉及电压的波动范围，还包括对负荷变化的适应能力。电力系统应能够在最大负荷波动范围内稳定运行，避免出现过载和电压不稳现象。系统可靠性要求供电系统中的每个组件具有较高的故障免疫力。煤矿井下环境的恶劣性要求电力设备具备抗震、抗潮湿、防爆等特性。在实际应用中，矿井电力设备的平均故障率为 3.2%，远高于地面电力设备的 1.5%。因此提高电力设备的可靠性，减少设备故障对生产的影响，是优化的核心任务。选用高标准的电气设备并进行科学的维护管理，可以大幅降低设备的故障率。系统自愈性是近年来安全性能优化的新方向^[3]。通过引入先进的智能监控技术和自动化控制系统，供电系统可以在发生故障时自动检测并进行调整。如采用智能化的电网管理系统（EMS），可以实时诊断电力系统故障并通过自动切换至备用线路，确保供电不中断。系统自愈性能够在故障发生时最大限度缩短修复时间，保障生产的连续性。安全性是供电系统优化的核心目标。

表 1 煤矿井下供电系统常见故障类型与发生原因

故障类型	发生比例	主要原因
电缆老化	35%	长时间使用、环境湿度大、化学腐蚀
设备过载	25%	负荷波动、设备老化
电压波动	20%	系统负荷不稳定、变压器故障
配电设备故障	10%	设备老化、操作不当
环境因素	10%	潮湿、高气体浓度、瓦斯爆炸风险

3.2 安全性能优化的技术需求

煤矿井下综采工作面远端供电系统的安全性能优化离不开技术手段的引入。优化措施涉及电气设备的选择、监控系统的应用、智能化控制等多个方面。为实现高效、安全的供电系统，必须在以下几个技术需求方面进行突破和创新。高效的电气设备与材料选择是优化的基础。根据相关研究，煤矿井下电气设备的平均使用寿命为 8~10 年，在长时间运行过程中，设备受湿气、腐蚀性气体等因素的影响较大。因此工程师在选材上应选择高耐用、抗腐蚀、抗老化的电气设备，如硅橡胶电缆和高强度绝缘材料，以有效延长设备的使用寿命并减少故障的发生率。先进的监控与保护技术的应用是提升煤矿井下供电系统安全性的有效手段。通过安装智能化电力监控系统，可以对系统的各项参数（如电压、电流、功率等）进行实时监测。基于物联网技术的监控系统，能够通过传感器实时收集数据，并将其传输至中央控制系统，矿

井管理人员可在第一时间发现设备异常并采取应对措施。智能化控制与数据分析技术的引入，为煤矿井下供电系统提供了更高效的故障预测与风险管理手段。通过大数据分析，可以深入分析供电系统的运行状态，发现潜在的故障点并预测设备的故障趋势。通过这种方式，能够在设备故障发生前及时地进行维护，避免故障的扩大化。高抗干扰能力是煤矿井下供电系统优化中的另一个重要技术需求。煤矿井下环境的特殊性，如高湿度、高气体浓度、矿尘等，都可能对电气设备的正常运行产生干扰。因此供电系统必须具备较强的抗干扰能力。

4 煤矿井下综采工作面远端供电系统安全性能优化方案

4.1 优化方案的设计原则

煤矿井下综采工作面远端供电系统的安全性能优化方案应当遵循科学合理的设计原则，以确保优化措施不仅能提升供电系统的安全性，还能兼顾经济性和可操作性。第一点，根据国家《煤矿安全规程》要求，电力系统设计必须保障矿井作业人员的生命安全，避免发生因电气故障引起的重大安全事故。为了实现这一目标，必须采用符合国家安全标准的电气设备，并配置完善的电气保护装置，如过载保护、短路保护、漏电保护等。第二，技术先进是优化方案设计中的另一项关键原则。随着智能化和自动化技术的不断发展，现代煤矿电力系统已经不再依赖传统的人工控制，智能化技术的应用可以有效提升供电系统的自动化水平和故障响应速度。通过引入基于云计算和大数据分析的电力监控系统，可以实时采集和分析电力系统的运行数据，及时发现潜在的风险和故障隐患。第三，经济可行是优化方案设计的必然要求。煤矿井下的电力系统优化应当考虑经济成本和效益的平衡，避免过度投资。在设计过程中，应充分评估各项优化措施的成本效益，选择性价比高的设备和技术，确保优化方案的实施不会导致过高的经济负担。第四，可操作性要求方案的设计应具有较高的可操作性和可实施性。矿井工作人员应具备较高的技术水平，以便能够在实际操作中有效执行方案中的各

项优化措施，并快速应对突发故障。设计应简化操作流程，降低技术门槛，提高系统的运行维护效率。^[3]

4.2 优化方案的具体措施

为了实现煤矿井下综采工作面远端供电系统的安全性能优化，具体的优化措施应包括电力设备升级、智能化监控系统改造、供电线路优化设计和环境适应性增强等方面。首先，电力设备的升级与改造是确保系统高效稳定运行的基础。使用高可靠性、低故障率的设备，如智能化变电站和节能型电缆，能够有效减少故障发生率并提高供电系统的安全性。此外工程师通过引入过载保护、短路保护、漏电保护等高效保护设备，可有效降低电气事故发生的风险。监控系统的智能化改造是提升煤矿井下供电系统安全性的重要手段。通过引入基于物联网技术的智能监控系统，实时监测系统的各项运行参数，能够及时发现设备的运行异常并发出预警信息。结合大数据分析，可以实现对系统运行的预测性维护，避免因设备故障导致的停产事故。

5 结语

煤矿井下综采工作面远端供电系统作为保障煤矿安全生产的核心基础设施，其安全性、稳定性和可靠性直接影响到矿井生产的持续性和矿工的生命安全。随着矿井开采深度的增加和工作面规模的扩大，传统供电系统面临着前所未有的挑战。本研究为煤矿井下综采工作面远端供电系统的安全性能优化提供了理论依据和技术指导，不仅为提高煤矿生产安全性、设备可靠性和经济性提供了参考，同时也为未来相关研究和实际应用提供了宝贵的经验。

参考文献

- [1] 和敬涵,廖南杰,李猛,等.基于模型辨识的新型牵引供电系统直流馈线保护原理[J].电力自动化设备,2023,43(10):95-102.
- [2] 郭志奇.基于GB/T 28590的直流牵引供电馈线保护与产品标准分析[J].中国标准化,2021,(S2):57-65+87.
- [3] 刘小军,祝令瑜,汲胜昌,等.中压直流供电系统远端站点接地状态扫频阻抗检测法[J].西安交通大学学报,2019,53(08):141-150+182.

Research on Stability Analysis and Optimization Strategy of Coal Mine Underground Power Supply System

Xun Gong

Liaoning Province Diaobingshan Tieda Coal Industry Group Construction Engineering Co., Ltd. Mining Construction Engineering Branch, Diaobingshan, Liaoning, 112700, China

Abstract

With the continuous expansion of coal mine production scale, the safe and stable operation of underground power supply system has become one of the important obstacles in coal mine production. Due to the complex underground environment of coal mines, the power supply system faces many challenges during long-term operation, such as power load fluctuations, electrical equipment failures, power grid failures, and other factors, which may threaten the stability of the system. This article conducts an in-depth analysis of the current situation of the underground power supply system in coal mines, explores the main problems facing system stability, and proposes optimization strategies based on power system theory and special requirements for underground coal mines, aiming to improve the reliability, stability, and safety of the underground power supply system and ensure the smooth operation of coal mine production.

Keywords

coal mine underground; power supply system; stability; optimization strategy; power load

煤矿井下供电系统稳定性分析与优化策略研究

龚勋

铁法煤业集团建设工程有限责任公司矿山建设工程分公司, 中国·辽宁 调兵山 112700

摘要

随着煤矿生产规模的不断扩大, 井下供电系统的安全、稳定运行成为煤矿生产中的重要保障之一。由于煤矿井下环境复杂, 供电系统在长期运行过程中面临诸多挑战, 如电力负荷波动、电气设备故障、电网故障等因素, 这些都可能对系统稳定性受到威胁。本文通过对煤矿井下供电系统的现状进行深入分析, 探讨了系统稳定性面临的主要问题, 基于电力系统理论和煤矿井下特殊要求, 提出了优化策略, 旨在提高井下供电系统的可靠性、稳定性和安全性, 确保煤矿生产的顺利进行。

关键词

煤矿井下; 供电系统; 稳定性; 优化策略; 电力负荷

1 引言

煤矿井下供电系统作为煤矿生产的核心组成部分之一, 其稳定性直接关系到矿井的安全生产和工人的生命安全。煤矿井下供电系统通常由变电所、配电网、电力设备等组成, 其运行环境特殊, 系统复杂, 易受多种因素影响。近年来, 煤矿井下供电系统的故障频发, 尤其是在极端天气、负荷波动或设备老化等情况下, 系统的稳定性问题尤为突出。因此研究煤矿井下供电系统的稳定性及其优化策略, 成为煤矿安全生产中亟待解决的问题。本文将从煤矿井下供电系统的现状出发, 分析影响系统稳定性的主要因素, 探讨现有优化策略的不足, 并提出改进方案, 以期为煤矿井下供电系统的安

全高效运行提供理论依据和实践指导。

2 煤矿井下供电系统现状及稳定性分析

2.1 煤矿井下供电系统的组成与工作机制

煤矿井下的供电系统由多个相互依赖的子系统组成, 主要包括高压供电系统、低压配电系统、照明系统、风机系统和监控系统等。这些系统共同确保煤矿井下各类电力设备的正常运行如下图。然而由于井下工作环境的特殊性以及生产过程中的负荷波动, 供电系统面临着众多挑战。下面将依次介绍这些系统及其在日常运行中的作用。高压供电系统从地面电网接收电力, 通过变电站将高压电力转换为适合井下使用的电压等级。通常井下的高压电力是从 35kV 或 10kV 的电网中引入, 然后通过变压器降压至适合的电压, 如 380V 或 660V。这一部分是整个供电系统的基础, 其稳定性对井下所有用电设备的正常运行至关重要。为了应对可

【作者简介】龚勋 (1982-), 男, 中国河南泌阳人, 本科, 工程师, 从事电气工程研究。

能的故障，高压供电系统通常会配备冗余电源和自动切换设备，确保在主电源出现问题时，备用电源能够迅速接入^[1]。低压配电系统则负责将高压电力进一步分配到矿井内部的各类设备。煤矿井下的用电负荷存在显著的波动性，特别是在大型设备（如通风机、提升机和排水泵）启停时，负荷变化剧烈。这些设备对电力的需求变化较大，尤其是在采掘或排水高峰期，负荷可能会突然增加。为了应对这种波动，低压配电系统必须具备高效的负荷调节能力，并能够实时调整电力分配，避免出现电压不稳或设备超负荷的情况。

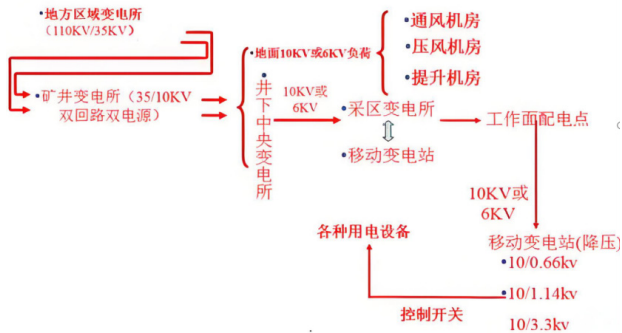


图 1 煤矿井下供电系统组成示意图

在煤矿井下，照明系统的稳定性对矿工的安全作业至关重要。由于井下的工作环境光照条件差，照明系统不仅需要提供足够的亮度，还必须具备防爆、防潮和抗震等特殊功能。这些设计要求使得照明系统成为井下供电系统中不可或缺的一部分。若照明系统出现故障，矿井的作业环境将立即变得危险，极大地影响矿工的安全。风机系统是井下通风的重要组成部分，它不仅负责排除有害气体，还影响矿井内温度和湿度的控制。由于煤矿生产过程中空气流通需求的波动，风机系统的电力负荷在不同阶段变化较大。如在采掘工作高峰期，风机的运行负荷会显著增加。为了满足不同生产阶段的需求，风机系统的电力供应必须保证持续稳定，否则将对矿井环境和人员安全构成威胁。监控系统作为煤矿井下供电系统的“大脑”，发挥着至关重要的作用。通过对电力设备的实时监控，系统能够及时发现潜在的设备故障或电力异常，做到早期预警。随着信息技术的进步，越来越多的煤矿已将智能化监控技术引入井下系统，利用自动化控制和数据分析手段，进一步提高了电力系统的响应速度和稳定性。^[1]

2.2 影响煤矿井下供电系统稳定性的主要因素

煤矿井下供电系统的稳定性受多种因素的综合影响。除了设备本身的技术水平外，外部环境、负荷变化以及人为操作等都可能对系统的正常运行造成干扰。通过分析影响稳定性的关键因素，可以更好地针对性地提出改进方案。负荷波动是煤矿井下供电系统稳定性面临的主要挑战之一。矿井的生产过程本身具有较强的波动性，尤其是对于电力需求较大的设备，如风机、提升机和排水泵等，其负荷变化明显^[2]。在生产高峰期，负荷可能会增加到常规负荷的 2-3 倍。即使

是负荷波动较小的设备，如照明系统，长时间的电力不足或过载也会导致系统不稳定。因此供电系统必须具备动态调节能力，以应对负荷波动带来的电力需求变化。除了负荷波动外，电气设备故障也是影响系统稳定性的一个重要因素。煤矿井下设备长期暴露在潮湿、高温和粉尘等恶劣环境中，这使得设备的老化和故障发生率较高。根据统计数据，电气设备故障是煤矿停产事故的主要原因之一。尤其是变压器、断路器等关键设备，一旦发生故障，可能导致电力中断，进而影响整个生产流程的正常运行。为了提高系统的稳定性，必须加强对电气设备的定期检查和维修，及时更换老化的设备。外部环境的变化也常常是煤矿井下供电系统面临的不确定因素。煤矿井下环境的特殊性使得电力设备容易受到湿度、气温和粉尘等因素的影响。如潮湿环境可能导致电缆绝缘损坏，增加设备故障的风险；而高温则可能导致设备过热，损害电气元件的性能。电网故障是影响煤矿井下供电系统稳定性的另一个外部因素。煤矿井下的供电系统通常与地面电网相连，地面电网的故障可能会直接波及井下系统。

3 煤矿井下供电系统稳定性优化策略

3.1 优化负荷调度与管理

煤矿井下供电系统的负荷波动性较大，尤其在矿井的采掘、通风、排水等作业过程中，负荷变化幅度明显。这种波动对供电系统的稳定性带来了较大的挑战。为了提升供电系统的稳定性，合理的负荷调度和管理尤为关键。第一，负荷调度的关键是通过煤矿生产过程中电力需求的精确预测与实时监控，合理安排各类用电设备的运行。具体而言，煤矿应通过分析生产过程中不同阶段的电力需求特点，实施负荷预测模型，以实现对未来负荷波动的预判。通过对负荷波动的预测，煤矿可以在用电高峰期采取限电措施，对非关键性设备（如部分照明系统、辅助设备）实行调度，以避免系统因突发负荷过载而出现电压波动或设备过热等问题。第二，针对矿井中关键设备（如通风风机、提升机、排水泵等），应优先保障其电力供应。这些设备不仅对矿井的生产过程至关重要，而且直接关系到矿工的安全，因此，建立负荷优先级管理机制尤为必要。通过设定合理的负荷优先级，不仅可以确保在供电紧张的情况下，优先为关键设备供电，还可以有效避免因设备停运导致的生产安全事故。第三，煤矿应强化对负荷波动的实时监控^[3]。利用电力自动化系统（EMS）实时检测电力负荷状况，监控系统能够及时发现负荷异常变化，快速调整电力分配，确保系统的稳定运行。通过智能化的负荷调度系统，可以提高供电系统对负荷变化的响应速度，从而减少因负荷波动导致的系统故障。

3.2 冗余设计与备用电源配置

冗余设计是提升煤矿井下供电系统稳定性的核心措施之一，尤其在面对设备故障、电力中断等突发事件时，冗余设计能够显著提高系统的可靠性。煤矿井下供电系统应对所

有关键设备和重要区域进行冗余配置，确保在主电源或主设备发生故障时，能够迅速切换到备用电源，保障生产不受影响。具体而言，煤矿井下的高压配电系统应配备至少两套主供电系统，并设计自动切换功能。这意味着，在主供电系统发生故障时，备用电源能够在最短时间间接管电力供应，避免发生长时间的电力中断。对于变压器、断路器等关键设备，必须实施双重冗余设计，确保在设备出现故障时，备用设备能够迅速启用，保障供电的连续性。备用电源的配置不仅要数量足够，还要具备高可靠性。备用电源应定期进行检查、保养和性能测试，确保其随时处于良好的工作状态。煤矿应建立定期检修制度，对备用电源进行周期性检查和维护，及时更换老化、损坏的设备。特别是对柴油发电机、储能设备等备用电源，其可靠性对于应急供电至关重要。通过定期的演练和检修，能够有效预防备用电源因故障或老化而无法发挥作用，最大限度地保障煤矿井下供电系统的稳定性。^[2]

3.3 提升电气设备可靠性与抗干扰能力

电气设备的可靠性是煤矿井下供电系统稳定运行的基础。由于煤矿井下恶劣的工作环境，设备常常面临高湿、高温、粉尘等诸多不利因素，这些外部因素对电气设备的影响不可忽视。煤矿应从源头上选择高性能的电气设备，确保设备能够适应井下复杂的环境。设备选型时，应优先考虑具有高防护等级的电气产品，如防爆、防水、防尘、抗腐蚀等特殊性能，尤其在潮湿、高粉尘环境中，防潮、防腐蚀功能至关重要。对于井下供电系统中的变压器、断路器、开关设备等核心电气设备，应采用先进的技术进行选型和设计，确保其具备较强的抗干扰能力和长期稳定运行的能力。而煤矿应加大对电气设备的监测与维护力度。通过引入现代化的监测手段，如温度监测、湿度监测、振动监测等，可以实时跟踪电气设备的工作状态，及时发现潜在故障隐患。设备出现异常时，系统能够自动报警并进行数据记录，为后期的维修与维护提供依据。此外煤矿需要管理者定期开展设备的全方位检查和保养，特别是对高压电气设备、配电线路、接地系统等关键部件进行重点检测，确保其性能始终处于最佳状态。

3.4 智能监控与故障预警系统建设

随着信息技术的飞速发展，智能监控与故障预警系统

逐渐成为煤矿井下供电系统优化的重要手段。通过在井下供电系统中安装智能化监控设备，能够实时监控电力设备的运行状态，及时发现系统的异常情况，为系统的稳定运行提供保障。智能监控系统通过集成传感器、远程控制设备等，实现对供电系统各个环节的实时监控。监控系统通过对实时数据的分析和处理，能够及时识别异常情况并自动触发报警。通过这一方式，煤矿井下供电系统可以在故障发生前提前预警，从而避免由于设备损坏或系统异常导致的停产事故。而借助大数据分析与人工智能算法，煤矿还可以进一步提高智能监控系统的预测能力。通过对历史运行数据的深入分析，系统能够预测设备可能出现的故障模式，并提供预防性维护建议。这不仅可以减少因设备故障导致的系统停机时间，还能通过提前更换和维护故障设备，降低事故发生率，确保煤矿井下供电系统的持续稳定运行。在电力设备的操作过程中，员工必须熟悉各类设备的性能与使用方法，掌握电力系统调度、监控、故障排查等基本技能。尤其在应对突发事件时，员工应具备较强的应急反应能力，能够迅速采取有效措施，确保系统不受长时间停运影响。^[3]

4 结语

煤矿井下供电系统的稳定性是保障煤矿安全生产的基础，随着煤矿生产规模的不断扩大和技术的发展，供电系统面临的挑战也日益增加。通过合理的负荷调度、冗余设计、电气设备的可靠性提升、智能监控与故障预警系统的建设，以及员工的培训与应急演练，可以有效提高煤矿井下供电系统的稳定性。未来，随着智能化技术的不断进步，煤矿井下供电系统的稳定性和可靠性将得到更大的提升，为煤矿的安全生产提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1] 杨真,兰云峰,廖志伟.神东布尔台煤矿智能化建设路径及安全高效管理措施探索[J].中国设备工程,2021,(15):9-12.
- [2] 曹国星.煤矿供电设备的安全防护与电气保护技术分析[J].能源与节能,2021,(02):118-119+216.
- [3] 姬彦明.对煤矿变电所所用变进行改进确保安全高效供电[J].才智,2010,(12):92.

Study on the quality control of the air monitoring site of the environmental protection engineering

Jiajun Huang^{1,2}

1. Zhejiang Keyue Ecological Environment Technology Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325604, China

2. Wenzhou Huanfa Energy Saving Technology Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325604, China

Abstract

The research on the quality control of the air monitoring site of the environmental protection engineering aims to improve the accuracy and reliability of the monitoring results through the careful analysis of the whole process of the air monitoring. As the problem of air pollution becomes increasingly serious, the effective monitoring and management of air quality has become an important global task. The quality control of the monitoring site, as the key link to ensure the data quality, its importance is self-evident. By exploring the theoretical basis, environmental factors, equipment performance, human error and data processing, this study proposes a series of optimization strategies, aiming to provide practical guidance for environmental protection workers and protect environmental governance and public health.

Keywords

environmental protection engineering; air monitoring; quality control; on-site monitoring

环境保护工程空气监测现场的质量控制研究

黄珈俊^{1,2}

1. 浙江科越生态环境科技有限公司, 中国·浙江 温州 325604

2. 温州寰发节能科技有限公司, 中国·浙江 温州 325604

摘 要

环境保护工程空气监测现场的质量控制研究, 旨在通过对空气监测全过程的细致分析, 提升监测结果的准确性和可靠性。空气污染问题日益严峻, 有效监测和管理空气质量已经成为全球性的重要任务。而监测现场的质量控制, 作为确保数据质量的关键环节, 其重要性不言而喻。本研究通过探讨理论基础、环境因素、设备性能、人为误差以及数据处理的常见问题, 提出了一系列优化策略, 旨在为环境保护工作者提供实用的指导, 为环境治理和公众健康保驾护航。

关键词

环境保护工程; 空气监测; 质量控制; 现场监测

1 引言

现如今, 空气污染已成为一个严重的环境问题, 并对人类健康和生态系统产生了负面影响, 想要制定有效环境保护政策和措施需要准确、可靠的空气监测数据作为重要基础。然而, 空气监测现场的质量控制仍面临诸多挑战, 环境因素、设备性能、人为误差和数据处理中的问题都直接影响着监测结果的准确性和可靠性。空气监测不仅是科学技术的应用, 更是一场关系到人类未来和生态环境保护的重要战斗。

2 空气监测理论基础

空气监测的理论基础是环境科学与工程领域不可或缺的基石, 它不仅为监测工作的实施提供了科学依据, 还为数

据的解读和应用奠定了坚实的基础。空气质量监测的核心在于对大气中各种污染物的浓度进行精确测量, 而这一过程离不开对大气物理学、化学和气象学的深刻理解。大气物理学研究空气中的颗粒物和气体的运动规律, 帮助我们选择最佳的采样位置和时间; 大气化学则揭示了污染物在大气中的化学反应机理, 使我们能够采用合适的监测方法和技术, 确保数据的准确性。气象学的影响同样不容忽视, 风速、风向、温度和湿度等气象参数对污染物的扩散和浓度分布起着决定性作用, 精确的气象数据对于监测结果的解读至关重要。此外, 现代空气监测还广泛应用了各种先进的仪器和技术, 如激光雷达、质谱仪和在线监测系统, 这些技术的发展极大地提升了监测的效率和精度。^[1]

3 空气监测现场质量控制影响因素分析

3.1 环境因素对监测结果的影响

环境因素对空气监测结果直接关系到数据的准确性和

【作者简介】黄珈俊(1992-), 男, 中国浙江绍兴人, 本科, 高级工程师, 从事环境工程研究。

可靠性。风速、风向、温度和湿度等气象参数在监测过程中起着关键作用，甚至微小的变动都可能对监测数据产生显著影响。特别是在颗粒物和挥发性有机物的监测中，风速和风向的变化会导致污染物的扩散路径和浓度分布发生变化，从而影响采样的代表性。温度和湿度的变化也会影响污染物的化学稳定性，进而干扰监测结果。例如，高湿度环境下，颗粒物的吸湿性增加，可能导致滤膜的堵塞，使得采样效率下降。此外，太阳辐射、降雨、降雪等自然现象也会对监测设备的性能和样品的保存条件产生影响，必须在监测方案中予以充分考虑。环境因素的复杂性和多变性，要求监测人员具备高度的专业素养和敏锐的判断力，以应对各种突发情况。只有深入理解这些环境因素的特性，并在监测过程中采取相应的控制措施，才能确保监测数据的真实性和科学性，为环境保护提供强有力的支持^[2]。

3.2 设备性能与维护对质量控制的作用

设备性能与维护在空气监测现场的质量控制中起着至关重要的作用。监测设备的精度、灵敏度和稳定性直接影响到监测数据的可靠性和准确性。如果设备性能不佳，或维护不当，极有可能引入系统误差，导致监测结果失真。例如，采样泵的流量不稳，会直接影响采样的代表性和颗粒物的捕集效率；气体分析仪器的校准不准确，可能引发数据偏差，进而影响对污染状况的判断。因此，设备的定期校准和维护显得尤为重要。通过严格的质量控制流程，确保仪器设备始终处于最佳工作状态，可以显著提高监测数据的质量。同时，先进的监测设备和技术的应用，也能够有效提升监测效率和精度。在实际工作中，监测人员需要具备高度的专业技能和责任心，认真对待每一次校准和维护工作，确保设备的每一个细节都达到标准要求，为环境保护提供坚实的科学依据^[3]。

3.3 人为因素导致的误差及其控制

在空气监测现场，操作人员的专业技能和责任心是质量控制的重要保障，但一旦疏忽或技术不过关，极易引入各种误差。尤其是在采样前的设备检查、采样过程中的操作规范以及采样后的样品保存和运输环节，每一个细节都需要严格把控。例如，设备未进行充分预热或校准，会导致测量误差；样本标签的记录不准确，可能引发数据混淆；样品保存不当，则可能导致污染物的挥发或降解。因此，建立一套完善的培训和考核机制至关重要，确保操作人员具备必要的技能和严谨的态度。同时，加强现场的监督和管理，制定详细的操作规程，并定期进行质量审核，也是有效控制人为误差的重要手段，它可以最大限度地减少误差，提高监测数据的可信度，使专业的操作人员在空气监测质量控制中的每一步都细致入微，确保监测工作的顺利进行。

3.4 数据处理与分析中的常见问题

数据处理与分析是空气监测现场质量控制中的关键环节，其中的常见问题不容忽视。即使最精确地采样和测量，如果数据处理不当，也可能导致最终结果的偏差。典型的错

误包括数据录入时的疏忽、统计方法选择的不当以及异常值的处理问题。特别是在大量数据的处理过程中，小的录入错误可能会被忽视，但这些错误累积起来，却可能对整体分析结果产生重大影响。统计方法的选择也至关重要，错误的方法可能导致数据的误读，进而影响对污染状况的判断。此外，异常值的处理需要谨慎，这些值可能是由于设备故障或环境突变引起的，必须通过科学的方法进行筛选和排除，以保证数据的代表性。数据的质量直接影响到环境保护决策的科学性和有效性，因此，监测人员必须具备扎实的数据分析能力，严格遵循规范和标准，确保每一个数据点都真实可靠。

4 空气监测现场质量控制优化策略

4.1 采样点位布局的优化措施

采样点位布局（如图一）的优化是提升空气监测现场质量控制的关键环节，合理的采样点位布局能够全面反映监测区域的环境状况，避免数据的偏差。然而，在实际操作中，点位布局的合理性往往被忽视，导致监测数据缺乏科学依据。例如，点位选择过于集中或分布不均，可能会忽略某些重要污染源的影响，进而影响整体评估的准确性。为了确保监测数据的全面性和代表性，需要综合考虑气象条件、污染源分布、地形地貌等因素。通过高密度的网格化布点，结合数值模拟技术，可以更科学地确定监测点位，提高监测精度。此外，动态调整点位也显得尤为重要，根据季节变化和实时监测数据，适时优化点位布局，能够更精准地捕捉污染分布特征。完善的点位布局方案不仅能提高数据质量，还能环境污染控制提供可靠依据，确保环境保护措施的有效实施。精心规划与动态调整采样点位，是确保空气质量监测科学性的重要策略。

4.2 采样设备性能提升与定期校准

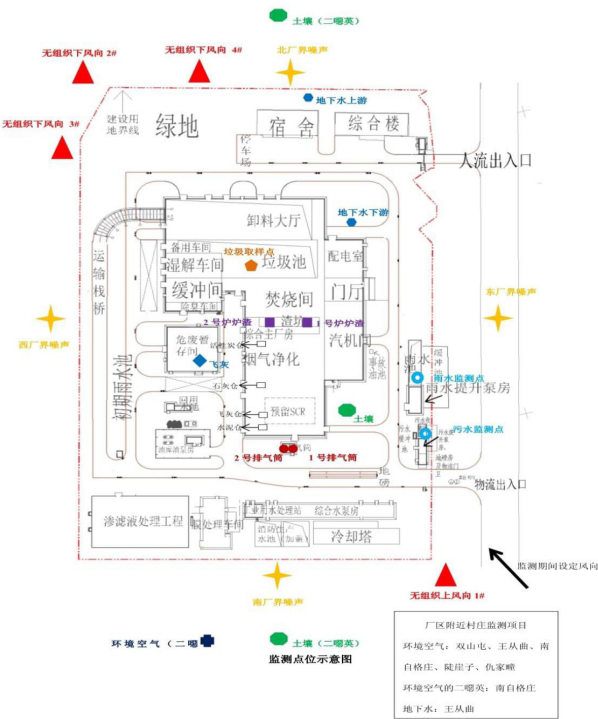
现代监测技术的发展，使得采样设备更加精密，但也对操作和维护提出了更高的要求。采样设备的性能直接影响到数据的采集质量，任何细微的偏差都可能在后续的分析中被放大，从而影响整体的评估结果。因此，选择高精度、稳定性强的采样设备显得尤为重要。同时，定期校准设备是必不可少的环节，校准过程可以纠正设备在使用过程中因环境变化、机械磨损等因素导致的误差。校准频率需根据设备的使用频率和环境要求来确定，确保设备始终处于最佳工作状态。此外，建立完善的设备维护记录制度，详细记录每次校准和维护的情况，有助于及时发现和解决问题。定期培训操作人员，提高他们的设备维护和校准技能，才能最大限度地减少采样设备带来的误差，为环境保护工程提供坚实的数据支持。

4.3 样品管理与保存的改进方法

样品管理与保存的改进方法是确保空气监测数据准确性和可靠性的核心环节。在实际工作中，样品的采集、运输和保存过程中的任何一个细节，都可能对最终结果产生重大影响。令人感到欣慰的是，现代科技为样品管理带来了新的

机遇。例如，使用二维码标记每一份样品，可以实现样品的全程追踪，确保每个步骤的可追溯性。此外，智能温控设备的应用，能够有效控制样品保存环境的温度和湿度，避免因环境变化导致的样品失效。定期的样品质量检查和比对，也是改进方法的重要组成部分，通过比对不同实验室之间的样

品数据，可以及时发现并纠正误差。样品保存容器的材料选择和密封性能同样至关重要的，不同类型的污染物对容器材质的要求各不相同，必须根据具体情况选择最适合的材料，提升样品管理的效率和准确性，激发监测人员的责任感和创新精神，共同为环境保护事业贡献智慧和力量。



图一：采样点位布局优化示意图

4.4 实验室分析精度与效率的提高

实验室先进的分析仪器和规范的操作流程，能够显著提升数据的可靠性和监测的效率。例如，自动化分析系统的应用，减少了人为误差，提高了分析速度。同时，高灵敏度的检测设备，能够更准确地测定低浓度污染物，为环境评估提供更详实的数据支持。样品前处理技术的优化，也是提高分析精度的重要手段。采用更高效的提取和浓缩方法，可以显著减少样品处理时间，同时确保污染物的完整性和稳定性。此外，实验室内部的质量控制体系，不仅需要定期校准仪器，还应加强对分析人员的技能培训，确保每个环节都符合国家标准。高质量的实验室分析，不仅能为环境管理提供坚实的数据基础，还能激发监测人员的责任感和创新精神，共同为守护这片蓝天而努力。

4.5 数据处理与审核的规范化流程

在数据处理与审核的规范化流程中，每一个数据点都承载着环境质量的信息，正确的处理和审核方法至关重要。现如今科技手段为这一流程的优化提供了有力支持。通过引入数据管理系统，可以实现数据的自动校验和异常值检测，大大减少了人为失误。同时，利用大数据和人工智能技术，可以快速进行数据清洗和标准化处理，提高工作效率。建立多层次的数据审核机制，确保每个环节都有专人负责，从初

步审核到最终确认，层层把关，确保数据的完整性和一致性。此外，定期开展数据质量评估，对比不同来源的数据，验证其真实性和准确性，也是不可或缺的步骤。它不仅提升了数据处理的效率，更为蓝天保卫战贡献精准的数据支持。

5 结语

环境保护工程空气监测现场的质量控制是一场需要综合考虑多方面因素的复杂任务。通过优化采样点位布局、提升采样设备性能、改进样品管理和保存方法、提高实验室分析精度和效率，以及规范化数据处理与审核流程，可以显著提高监测结果的可靠性和准确性。这不仅是对科学技术的尊重，更是对人类未来和生态环境的负责。每一个细节的把控，每一个环节的优化，都是为了更好地守护这片蓝天。只有将理论与实践紧密结合，才能在这场环境保护之战中取得胜利，为子孙后代留下一个更加清洁、健康的空气环境。

参考文献

[1] 殷磊. 环境保护工程中空气监测现场的质量控制措施 [J]. 农村科学实验, 2024, (22): 75-77.
[2] 陈学军, 吴军港. 环境保护工程中空气监测现场质量控制探析 [J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5 (14): 69-71.
[3] 逢薪蓉, 尚越飞, 赵瑞娟. 环境保护工程中空气监测现场的质量控制对策研究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5 (06): 71-73.

Technical problems and solutions of civil engineering in garden city construction under the background of the integration of ecological restoration and landscape optimization

Xing Liu

Beijing Shunxin Oasis Ecological Environment Co., Ltd., Beijing, 101300, China

Abstract

With the acceleration of urbanization, garden city, an innovative development paradigm that integrates ecological restoration and landscape optimization, has gradually become a model of sustainable city construction. However, the civil engineering in the construction of garden city has encountered many technical problems, especially in the aspects of soil and groundwater pollution control, the integration of ecological green space and hard landscape, and the control of resource consumption. This paper analyzes the technical difficulties existing in the construction of garden city, and gives the corresponding treatment methods, such as the use of new bioremediation technology and physical and chemical restoration methods, strengthening the collaborative planning of green space and hard landscape, and the implementation of green building materials and technologies. Through the case analysis, this paper presents the application effect of these technologies in the actual construction, and gives the theoretical support and practical guidance to the sustainable development of Garden City.

Keywords

garden city; civil engineering; ecological restoration; landscape optimization

生态修复与景观优化融合背景下花园城市施工中土建工程技术难题及解决方案

刘星

北京顺鑫绿洲生态环境有限公司, 中国 · 北京 101300

摘 要

伴随城市化进程的加快花园城市这一将生态修复和景观优化相融合的创新发展范式, 逐步变成可持续城市构建的榜样。不过花园城市施工里的土建工程遭遇众多技术难题, 特别是在土壤及地下水污染治理、生态绿地与硬质景观的整合以及资源消耗的把控等方面。本文剖析了花园城市建设存在的技术困境, 并给出了对应的处理办法像是运用崭新的生物修复技术和物理化学修复方式、强化绿地与硬质景观的协同规划、推行绿色建筑材料和技术等等。借由案例剖析本文呈现了这些技术于实际施工中的运用成效, 给花园城市的可持续发展给予了理论支撑和实践引导。

关键词

花园城市; 土建工程; 生态修复; 景观优化

1 引言

伴随城市化进程的提速环境污染、生态退化之类的问题愈发严峻, 花园城市身为一种新颖的城市发展范式, 着重于生态修复和景观优化的结合意在达成人与自然的和谐共处。但是花园城市建设里的土建工程碰到不少技术困境, 特别是在土壤及地下水污染治理、生态绿地与硬质景观的整合、资源消耗的把控等方面。怎样切实处理好这些问题既保障施工品质, 又守护生态环境变成推进花园城市可持续发展

的核心。

2 生态修复与景观优化理论框架

2.1 生态修复的基本概念与原则

生态修复指的是针对由于自然要素或者人类活动所引发的生态退化状况, 借助科学方法和技术手段来让生态系统功能得以恢复的进程。其目的在于通过土壤修复、水体净化、植被恢复等方式重塑生态系统的架构与功能。生态修复并非仅仅限定在物理或者化学修复层面, 而是更为注重生物多样性、物质循环以及能量流动等生态功能的复原。修复进程需要遵循节约、自然、有限以及宏观这四大准则。节约准则着重强调资源的高效运用, 选取本地材料和可再生资源降低能

【作者简介】刘星（1981-），男，回族，中国北京人，本科，工程师，从事园林绿化施工研究。

源耗费；自然准则要求尊重自然规律施行最契合本地环境的修复规划；有限准则关注修复的成本效益防止出现过度修复的情况；宏观准则强调整体的视角着手，对生态、经济、社会的协调发展进行统筹。

2.2 花园城市理念与实践

花园城市理念萌生于 19 世纪末，由英国社会活动家霍华德予以提出意在应对工业化所带来的城市化难题。霍华德构想了一种既能够享有城市便利生活又能够融入自然环境的城市形态，借由集中绿色空间、公共设施以及农业用地对城市生态布局予以优化。当代花园城市不但延续了这一理念，还融入了可持续发展以及生态保护的新成分。拿新加坡来讲政府凭借严格的规划与政策助推大规模的绿化和生态建设，将花园城市理念转变为实际举措获取了显著的环境改良成效。另外伴随绿色建筑技术的推广以及清洁能源的运用，花园城市的实践进一步朝着节能减排、资源循环利用的方向迈进。在这一理念的引领下，现代城市慢慢形成了更具生态内涵的可持续发展模式成为全球生态城市建设的榜样。

3 花园城市施工中的土建工程技术难题

3.1 土壤与地下水污染修复困难

花园城市的构建通常牵涉众多的土壤挖掘以及地下水资源的运用，土壤和地下水的污染状况变成了施工进度里的一个重大难题，尤其是在工业废弃场所或者污染程度较为深重的区域。污染源头涵盖重金属、有害化学物品等等，对这些污染的修复需要高成效的技术方法和长期的生态治理规划。尽管当下已有的技术像是生物修复、物理化学修复等已经在部分项目中予以运用，然而修复流程依旧受到技术的约束，并且成本偏高修复成效的持续性与稳定性依旧难以彻底得到保障。

3.2 生态绿地与硬质景观的融合问题

在花园城市的设计观念里生态绿地跟硬质景观应当有效交融，构建出既美观又实用的城市空间。不过在施工期间，怎样确保生态绿地的绿色覆盖和硬质景观的相容性属于一项繁杂的任务。硬质景观的构筑常常需要占据大量的空间并且对土壤的水分与透气性造成影响，容易致使生态功能的缺失。为了达成二者的有效整合需要运用特殊的建设工艺，例如透水铺装和绿化屋顶等等用以保障生态系统的持续性以及绿色空间的优化配置。

3.3 土建施工中的资源消耗与环境影响

在花园城市的土建施工作业进程里，资源耗费和环境影响的把控同样是亟需处理的关键事项。土木工程用料的运用、能源的耗用以及施工过程中的废弃物排泄都会给环境带来一定程度的压力。所以施工过程中需要进行合理的规划并且运用可持续性材料降低资源的浪费，同时强化废弃物的回收与处置，推进绿色施工技术的运用以此来减轻对环境的不良影响。

3.4 施工过程中的生态稳定性与可持续性问题

在施工进程当中保障生态的稳定性与可持续性乃是达成花园城市目标的根本需求，施工活动或许会给周边生态环境带来干扰，特别是土壤架构、水源涵养以及生物栖息场所的损毁。所以在施工之前需要展开详尽的环境影响测评，并施行科学的施工方式例如降低土壤的干扰、把控施工的噪声和振动等等，以最大程度去守护生态环境。另外施工结束后的生态复原同样极为关键，保证建设区域的可持续发展跟自然环境的和谐共处。

4 土建工程技术难题的解决方案与实践策略

4.1 提高污染修复效率，解决土壤与地下水修复问题

土壤及地下水污染的修复乃是花园城市构建进程中不容小觑的关键环节，伴随科技的持续发展新颖的修复手段和方式给这一难题带来了强效的应对之策。全新的生物修复技术依靠微生物与植物的代谢作用，能够有力地降解土壤和地下水中的有害成分。举例来讲朝污染的土壤或者地下水引入特定的微生物种类，像是假单胞菌属能够加快有机污染物的分解进程进而降低污染物造成的危害。而植物修复技术是通过栽种具备重金属吸附能力的植物，例如印度芥菜能够切实地清除土壤里的重金属污染。物理化学修复技术像土壤淋洗、电动修复以及热解吸技术等，在土壤污染修复领域也呈现出了极大的应用前景。

以某个处在老工业基地的花园城市建设项目为例，此项目施工场地的土壤和地下水遭受了重度污染。污染源涵盖重金属（比如铅、镉）和有机污染物（比如多环芳烃）并且污染的程度颇为繁杂，为了切实有效地修复土壤和地下水，项目团队施行了生物修复与物理化学修复相融合联合修复规划。在土壤修复层面起初运用了化学淋洗技术，通过选取螯合剂 EDTA 等淋洗剂让重金属溶解并且洗脱至表层土壤达成了初步的净化成效。接着凭借电动修复技术在深层土壤中插进电极施加电场，促使重金属离子顺着电场的方向迁移成功地清除了深层的污染。在针对有机污染物的修复方面，团队往土壤里添加了能够降解多环芳烃的微生物菌剂并栽种了紫花苜蓿等植物，借助微生物的分解作用以及植物的根系吸收，加快了有机污染物的转化与去除。历经一段时间的联合修复，土壤当中的重金属和有机污染物含量大幅降低达到了修复的标准。针对地下水污染的修复，项目团队采用了抽出 - 处理和原位生物修复相结合的办法。首先通过抽取地下水并运用活性炭吸附以及化学氧化处理，把水中的污染物消除。在地下水的原位修复过程中团队向地下水中注入专门的微生物菌剂，助力降解残余的有机污染物和重金属经过长期的修复，地下水的质量显著提升契合花园城市建设的生态需求。凭借这一综合修复方案，该项目顺利地化解了土壤与地下水污染的问题成为生态修复技术运用的成功范例。

4.2 加强绿地与硬质景观融合设计，实现空间共享

在花园城市的构建中绿地与硬质景观的融合规划极其关键，不但要思考生态的功能还得满足人们日常的生活需要。协同设计的观念着重于自然生态和硬质景观的彼此交融，既要留存和运用现存的自然景观资源，像是地形、水体以及植被降低对自然环境的损害，又要保证硬质景观能够契合人们的使用需要涵盖生活、工作以及休闲。在规划中应当重视空间的流动性和自然元素的有机整合，让二者在功能、形式以及美学方面达成协调统一。美学的准则规定在色彩、造型以及材质等方面的协同，促使生态绿地和硬质景观在不同的季节和气候状况下都能够展现出优美且自然的景观成效。

4.3 推广绿色建筑材料与技术，减少资源消耗

推动绿色建筑材料与技术的应用是达成花园城市可持续发展的关键方式之一，绿色建筑材料的选取应当优先考量其环保、节能以及可循环运用的特点。这类材料不但能够降低资源的耗费，还可以切实减少建筑进程中的碳排放以及环境污染。举例来说，再生砖作为一类绿色建筑材料，通过对建筑废弃物以及工业废渣的回收利用来生产缩减了天然原材料的运用，降低了资源的消耗，并且在生产期间能够有效地削减能耗以及二氧化碳的排放。同时聚苯乙烯泡沫板（EPS）和挤塑聚苯乙烯泡沫板（XPS）等保温隔热材料能够极大程度地降低建筑物的能耗，减少建筑物在制冷和供暖方面的需求进而降低运营成本以及环境压力。太阳能光伏板属于一种能够高效将太阳能转化为电能的绿色材料，在建筑领域被广泛运用来为其供应清洁能源。

以某花园城市的住宅小区建设作为例子项目大量运用再生砖当作墙体材料，并且在设计里融入了 XPS 保温板和太阳能光伏板等绿色建筑技术。经过对项目的跟踪监测，发现运用再生砖以后，建筑垃圾的产生数量相较于传统建筑材料降低了大约 30% 建筑整体的能耗也下降了约 20%。与此同时该小区还在屋顶装设了太阳能光伏板，能够为小区内的公共设施给予电力供应，并将多余的电力并入电网输出提供清洁能源的支撑。此外采用 XPS 保温板作为外墙的保温材料，致使该小区在冬季和夏季的能耗分别降低了约 30%。

4.4 强化生态可持续性设计，确保施工与生态环境协调

强化生态可持续性规划乃是达成建筑施工与生态环境协调统一的核心要点，在花园城市的构建进程中，生态环境

保护需全方位融入施工的整个流程。起初在施工开展前需实施完备的生态环境评测，藉由针对施工区域以及周边环境的深入勘查，甄别出珍稀的物种及其栖息之所以防施工给生态环境带来无法逆转的损害。在施工期间科学规划施工的先后次序，规避在植物生长旺盛以及动物繁殖的关键阶段展开大规模施工操作降低对生态的干扰程度。与此同时施工规划应最大程度降低对生态系统的侵占状况，例如科学安排施工场地、合理布局临时设施，缩减不必要的植被损毁和土方挖掘量从而达成施工与生态环境的协调共融。

以某花园城市的湿地建设项目作为范例，该项目在施工之前对生态环境展开了全面性的监测工作，着重关注土壤质量、水质以及生物的多样性状况。在施工进程中施工团队定时对生态指标予以监测，保证生态环境不遭受过度的干扰。项目施工之际湿地周边的植被由于施工的影响产生了一定程度的破坏，致使周边鸟类的数量有所减少。施工团队即刻做出反应，在分析原因之后决定施行种植适宜鸟类栖息和觅食的植物并设置人工鸟巢，以此为鸟类提供更优的栖息环境。历经数月的不懈努力湿地内部的鸟类数量逐步回升，生态系统的稳定性获得了保障。项目的迅速响应以及具有针对性的生态修复手段有效守护了生物的多样性，并且凭借动态调整施工方案，削减了对湿地生态的负面作用确保了施工与生态环境的和谐共处。

5 结语

花园城市作为当代城市可持续发展的关键指向土建工程于其中发挥着重要作用，凭借科学的规划以及创新的技术途径，能够切实化解土建施工里的技术困境达成生态修复、景观优化以及资源节约的目的。本文所研讨的技术解决办法，给提升花园城市的建设品质和可持续性给予了实践参考。不过伴随技术的持续进步和城市建设需求的多元化，依旧需要不断探寻更为高效、环保的施工方式促使花园城市建设朝着更为绿色、智能和高效的方向迈进。

参考文献

- [1] 李素娟,谈亚东.园林景观工程生态技术应用[J].城市建设理论研究:电子版, 2015, 5(033):1089.
- [2] 钟晓青,李宝荣,苏苒.广东园林设计及生态花园城市建设问题研究[J].中国园林, 2001, 17(3):3.
- [3] 李荷,杨培峰,田乃鲁,等.海上花园城市导向舟山城市生态化建设研究[C]//2019中国城市规划年会.0[2025-01-21].

Analysis of social participation mechanism and high-quality construction management mode in the organic renewal of garden city public space

Shuang Xu

Beijing Baihuan Landscaping Engineering Co., Ltd., Beijing, 101300, China

Abstract

Based on case study and technical verification in this paper discusses the garden city public space organic update of social participation mechanism and collaborative application of high quality construction management mode, analyzes the multi-subject participation mode and digital technical support for demand expression, interest coordination and supervision and feedback, the core elements of high quality construction management and information technology in the construction stage is summarized, clear the construction management to update results promotion path. To construct the collaborative optimization strategy of social participation and construction management, the research shows that standardized construction management mode and efficient public participation mechanism can significantly improve the engineering quality and social value of public space renewal, and provides an important reference for realizing the high-quality development of garden city.

Keywords

garden city; public space; organic renewal; social participation; construction management

花园城市公共空间有机更新中的社会参与机制与高质量施工管理模式分析

许霜

北京百环园林绿化工程有限公司, 中国 · 北京 101300

摘 要

本文基于案例研究和技术验证探讨了花园城市公共空间有机更新中的社会参与机制和高质量施工管理模式的协同应用, 分析了多主体参与模式及数字化技术支持对需求表达、利益协调与监督反馈的促进作用, 对高质量施工管理的核心要素和信息化技术在施工阶段的保障效果进行了总结, 明确了施工管理对更新成果的提升路径。构建社会参与与施工管理的协同优化策略, 研究表明标准化施工管理模式与高效的公众参与机制可显著提升公共空间更新的工程质量与社会价值, 为实现花园城市高质量发展提供了重要参考。

关键词

花园城市; 公共空间; 有机更新; 社会参与; 施工管理

1 引言

花园城市作为一种兼顾生态保护与城市发展的理念, 在全球城市化进程中具有重要意义, 作为花园城市的重要组成部分的公共空间是承载社会互动、文化活动与生态功能的关键载体, 良好的公共空间更新能够提升城市宜居性、改善环境质量和增强社会凝聚力。在公共空间更新过程中, 社会参与机制与施工管理模式直接影响项目的质量与可持续性, 社会参与机制可以促进多元主体间的协作, 优化资源配置, 满足公众需求, 高质量施工管理模式是保障更新效果与长期

使用价值的基础。近年来, 数字化技术的发展为社会参与与施工管理提供了新的可能, 利用信息技术与标准化流程实现协同管理, 已成为城市更新领域的热点课题。探讨社会参与与施工管理在花园城市公共空间有机更新中的结合路径, 对实现城市高质量发展目标和提升公共空间价值具有重要意义。

2 社会参与机制分析

2.1 多主体特征与模式

在花园城市公共空间有机更新中, 社会参与涉及多个利益相关主体的协作与互动, 主要涵盖政府、社区、企业、公众和专业团队等。政府在更新中承担政策制定、资源配置和项目监管等职能, 社区在表达需求、监督项目执行及推动

【作者简介】许霜 (1985–), 女, 中国北京人, 本科, 工程师, 从事园林绿化施工研究。

社区自治方面发挥重要作用,企业主要负责提供资金、技术支持和市场化运作能力,而公众则是公共空间的直接使用者,能够借助反馈意见、参与规划和维护公共空间等方式发挥影响力,设计与施工专业团队作为技术支撑为更新项目提供高效可行的设计和实施方案。多主体的协作模式通常分为协商参与、协同共创和监督反馈三种形式^[1]。协商参与模式中,政府和社区利用协调会议或工作坊讨论公共空间规划,协同共创模式注重公众与设计团队的互动,利用社区共创活动激发集体智慧,监督反馈模式则依托公开信息平台,实现施工阶段的透明化和公众监督。

2.2 技术支持与数字工具

数字化技术的应用正在从根本上改变公共空间更新中的社会参与方式，其核心目标是提升信息流动效率和公众参与的深度与广度，技术支持主要体现在空间数据可视化、协作设计平台、实时反馈机制和公众参与工具。基于 GIS 的可视化技术能够提供精确的空间数据支持，帮助政府和社会在公共空间规划中评估区域功能和生态影响，在花园城市规划中可以利用 GIS 工具绘制现有绿地的分布图并分析人群流动模式，为规划新建或改造空间提供科学依据，使复杂的空间数据更直观并增强公众在讨论中的理解和表达能力。建筑信息建模（BIM）技术通过整合多维度信息，提供直观的三维模型，助力协作设计，公众可以利用虚拟现实（VR）或增强现实（AR）设备参与到设计方案的体验中，从而更直观地提出意见，在伦敦的国王十字车站改造项目中，公众借用 BIM 模型的在线浏览功能对绿化分布和步行路径提出了多项建议，协作设计平台在缩短设计修改时间的同时也提高了项目的透明度^[2]。物联网（IoT）设备能够在施工现场采集实时数据并使用公开平台展示施工进度，公众可以经过手机或计算机实时了解项目动态并提出建议，新加坡滨海堤坝项目利用 IoT 设备实时监控施工进度与质量，公众借助开放的反馈渠道对绿化种植的选择和分布提出了优化建议。公众意见征集应用程序和社交媒体是社会参与的重要工具，定制化的参与平台允许公众投票和表达意见，还可以使用人工智能分析大量意见数据，帮助决策者更高效地识别重点需求，阿姆斯特丹在街道绿化项目中使用了专门的公众参与平台“Amsterdam Idea”，公众可以上传照片和提交创意建议参与设计并获得实时回复。

2.3 在有机更新中的实际效果与挑战

社会参与机制在公共空间有机更新中的应用已在多个项目中展现出显著效果，韩国首尔的清溪川复兴项目是一个典型案例，充分体现了多主体协作的力量。清溪川曾经是一条因城市化发展而被废弃并覆盖的河流，长期以来成为环境污染和交通拥堵的代表，面对市民对城市环境改善的强烈需求，政府启动了清溪川复兴计划，借助社会各界的广泛参与和支持让这一被忽视的河流重新焕发生机。政府在项目的规划阶段举办了多次公众咨询会，与市民、社区组织和专家团

队进行深入交流,收集了大量关于生态恢复、公共空间设计和交通改善的意见。政府采用在线投票方式,对项目方案中的关键议题进行公开表决,如是否保留部分历史结构和如何布置沿河绿化来确保公众意见能够真正融入规划,市民的广泛参与为规划提供了多样化视角,还增强了公众对项目的认同感^[3]。施工阶段项目的透明化管理进一步巩固了社会参与的积极效果,政府利用实时在线平台公开施工进度,详细展示施工的时间节点、工程内容和资金使用情况以确保公众可以随时了解项目动态,增强了公众对项目的信任感并减少了对项目进程的质疑,同时吸引了更多市民参与监督施工质量。项目的最终成果令人瞩目,清溪川恢复了河道及其生态功能,还成为一个充满活力的公共空间,为城市居民提供了绿色步道、景观桥梁和水上活动区,项目的实施显著改善了区域生态环境,提升了空气质量和生物多样性,同时也促进了周边商业和旅游业的发展,大幅提高了社区的社会凝聚力和经济活力。

尽管社会参与机制在清溪川项目中展现了积极效果，但在其实际应用中 also 面临诸多挑战。数字化技术在社会参与中扮演着重要角色，但部分低收入社区或老年人群因缺乏数字化设备或技术知识，难以有效参与在线平台的互动，这种“数字鸿沟”导致参与的广度和深度受到限制，部分弱势群体的需求可能被忽视，影响了社会参与的公平性。公共空间更新涉及政府、社区、企业和公众等多个主体，利益诉求常常复杂且多样，商业开发利益在某些大型项目中可能与社区需求产生矛盾，部分企业可能倾向于最大化商业空间，社区则更加关注绿色空间的比例和质量，第三方咨询机构或利益协调委员会等有效的中介机制可以在不同主体之间建立沟通渠道，以实现利益的平衡。一些项目为了体现公众参与的全面性可能设置了过多的咨询和反馈环节，导致公众对参与失去耐心，甚至对项目的信任度下降，这种“参与疲劳”现象在大规模的长期更新项目中尤为明显，需要合理设计参与机制，避免过度咨询，同时确保公众反馈能真正对决策产生影响。

3 高质量施工管理模式在公共空间更新中的应用

3.1 高质量施工管理的核心要素

高质量施工管理是公共空间更新项目成功实施的关键，其核心要素可以概括为规划设计、过程控制、施工工艺、质量评估和人员管理。在规划设计阶段将可持续性理念融入设计以保障公共空间的生态平衡和长效利用，可以采用低影响开发（Low Impact Development, LID）设计策略，利用渗透性铺装、雨水花园和绿化屋顶等措施管理水资源和减少污染物排放。构建标准化的施工流程可以减少人为误差和质量偏差，设置质量检查点并进行多阶段验收，如地基、结构、设备安装等节点的检查能够及时发现问题并采取纠正措施。

施工工艺的选择直接影响公共空间的使用寿命和体验感,近年来透水混凝土和耐候钢结构新材料与新工艺的应用逐渐增多,提高了项目的功能性,还降低了维护成本。质量评估需要科学的指标体系作为支撑,施工阶段可以采用关键绩效指标(Key Performance Indicators, KPI)对质量、进度、安全等方面进行量化评估,最终验收时可以结合实际使用效果与标准规范进行比对,确保公共空间的功能性与美观度。高质量施工依赖于专业化的团队,引入先进培训体系和技术资格认证制度可以提升施工团队的整体能力,管理层需要具备良好的协调和决策能力以确保资源分配合理、进度控制有效。

3.2 信息化技术对施工管理的支持

信息化技术正在全面融入施工管理,为公共空间更新项目提供了高效的工具和方法,主要技术应用包括建筑信息建模(BIM)、物联网(IoT)、无人机技术和施工管理信息系统(CMIS)。BIM技术利用构建项目全生命周期的数字模型,可以在设计阶段识别潜在冲突,优化施工方案,在施工过程中与施工设备、现场监控系统联动,实现信息共享与动态管理,在北京奥林匹克森林公园的施工中,BIM技术被用于模拟复杂的地形施工过程并优化了场地排水设计,有效降低了施工难度。物联网技术利用传感器实时采集施工现场数据,为施工管理提供了精准的依据,传感器可以监测施工设备的运行状态、施工材料的存放环境及现场作业的安全状况,管理人员借助信息平台可以实时查看施工进度和风险状况,及时调整施工计划和资源配置。在施工监测与质量检查中,无人机可以高效地完成大范围施工现场的监测任务并利用高分辨率影像捕捉地形变化和施工质量,无人机技术在厦门海沧隧道工程中被用于地面形变监测和施工进度拍摄,提高了施工效率和监控精度。CMIS整合了项目规划、进度跟踪、成本管理和质量控制等功能,借助信息可视化界面提升了管理效率,系统可以提供实时的施工数据分析报告,帮助管理者进行科学决策。

3.3 高质量施工管理与社会参与机制的协同作用

高质量施工管理与社会参与机制的有效协同能够在公共空间更新中实现技术与人文的深度结合,提升项目的综合

价值。项目规划阶段,社会参与机制能够将公众需求融入施工设计,而高质量施工管理则通过技术手段保障设计意图的落地,以香港的启德跑道公园项目为例,公众在前期规划中提出对绿化遮阴、运动空间和夜间照明的需求,施工阶段利用信息化技术精确实施了植被分布、健身场地建设和节能照明设备安装。公众监督机制在施工阶段可以促使施工过程更加透明,有效减少资源浪费与违规操作,开放的施工信息共享平台能够向公众实时披露施工进度、质量检查和资金使用情况,提高公众对项目的信任度,丹麦哥本哈根的超级自行车道项目施工期间利用在线平台每日更新施工进度图,居民可以查看路段开放时间和施工动态,从而提升了社会参与的积极性。高质量施工管理还能促进公众参与后期的维护管理,居民使用智能化监控系统可以参与到公共空间的日常维护中,提交维护请求或报告设备故障,杭州西湖景区的步道改造项目的施工阶段安装了智能监控设备,建成后利用开放数据接口吸引公众参与维护和管理,减少了维护成本并提升了空间使用体验。

4 结论

本文深入分析了花园城市公共空间有机更新中的社会参与机制与高质量施工管理模式,经过探讨多主体协作模式和数字化技术在社会参与中的应用,总结了需求表达、利益协调和监督反馈的实践路径,并结合高质量施工管理的核心要素与信息化支持明确了施工管理对更新效果的保障作用。研究表明多主体协作和信息化技术的结合能够提升公共空间更新的透明度和效率,有效平衡利益冲突,改善公众参与的广度与深度。高质量施工管理与社会参与机制的协同优化可显著提升工程质量与社会价值,为实现花园城市建设的可持续发展提供了具体的技术路径和实践依据。

参考文献

- [1] 杨馨仪.城市绿地建设对居民身心健康的影响[J].居舍,2024(36):174-177.
- [2] 陈宇,郭竹梅,佟跃.花园城市背景下的社区绿道建设思考[J].北京规划建设,2024,(05):32-36.
- [3] 黄艳,杨声丹.市井花园——城市邻里生活与高密度社区公共空间营造[J].中国艺术,2020,(06):27-35.

Research and improvement of power system stability in electrical engineering field

Hui Zhang

Tianjin Beihai Oil Human Resources Consulting Service Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

Abstract

The stability of power system is the key to ensure the continuity of power supply. In this paper, the power system stability in the field of electrical engineering is deeply analyzed, and the improvement suggestions are put forward for the current power system stability problems. Firstly, the importance and basic principle of power system stability are summarized. Then, with the help of advanced mathematical modeling and power system analysis methods, several major stability problems of China's power system are evaluated and diagnosed. Then, through comparative study and case analysis, a power system stability improvement scheme based on fuzzy control optimization is proposed, and the experiment proves that it can effectively improve the transient stability and long-term stability of power system. In addition, it is found that the integrated application of energy storage technology and distributed generation system can further improve the stability of power system.

Keywords

power system stability; Mathematical modeling; Transient stability; Long-term stability; Energy storage technology

电气工程领域电力系统稳定性研究及改进

张辉

天津北海油人力资源咨询服务有限公司，中国·天津 300000

摘要

电力系统的稳定性是保障电力供应连续性的关键。本文围绕电气工程领域的电力系统稳定性进行深入分析，针对当前电力系统稳定性问题提出改进建议。首先，概述了电力系统稳定性的重要性和基础原理。然后借助先进的数学建模和电力系统分析手段，对我国电力系统进行了评估并诊断出几个主要的稳定性问题。接着，通过对比研究和案例分析，提出了一种基于模糊控制优化的电力系统稳定性改进方案，实验证明其能有效提高电力系统的瞬态稳定性和长期稳定性。此外，还发现通过储能技术和分布式发电系统的综合应用可以进一步提升电力系统稳定性。

关键词

电力系统稳定性；数学建模；瞬态稳定性；长期稳定性；储能技术

1 引言

本文讨论了电力系统稳定性的重要性及其在我们的日常生活中的影响。由于社会对电力的需求增长和电力系统复杂，稳定性问题越发明显。研究采用先进的数学模型和系统分析方法，研究我国电力系统现状，发现了一些重要问题。然后，我们提出了一种基于模糊控制优化的新方案，这个方案可以提升电力系统的稳定性。此外，我们还探讨了储能技术和分布式发电系统的应用，可以进一步提高电力系统的稳定性。我们希望通过这项研究，找出有效的解决办法，应对电力系统稳定性的挑战，为电力系统的稳定研究提供新的理论和实际的支持。

2 电力系统稳定性基本理论与重要性

2.1 电力系统稳定性的基础原理

电力系统的稳定性是指系统在受到扰动后能够保持或恢复至平衡状态的能力^[1]。其基础原理涵盖了三种主要类型：静态稳定性、暂态稳定性和长期稳定性。

静态稳定性涉及系统在小扰动情况下如何维持正常运行，如负荷变动时的电压和频率稳定。分析通常使用线性化的方程和特征值方法。

暂态稳定性关注较大扰动后的系统反应，例如短路故障或线路突然断开。此时，系统要保持同步性，避免发电机失步。使用暂态能量函数和数值积分方法进行分析。

长期稳定性则与持续时间较长的扰动相关，如系统的负荷增加导致的电压崩溃。这需要考虑发电和负荷的平衡，以及设备的动态性能。通常采用动态仿真和时间步长法对其进行研究。

【作者简介】张辉（1977-），男，中国天津人，从事电气工程研究。

为了保障电力系统的稳定性,需在系统规划、设计和运行中综合考虑这三种稳定性。电力系统稳定性的基础原理为解决实际问题提供了理论支持,为系统操作和控制策略的制定奠定了基础。理解这些原理对于提升电力系统的安全性和可靠性至关重要,是电气工程领域的核心研究内容之一。

2.2 电力系统稳定性的重要性

电力系统稳定性在电力工程领域占据举足轻重的地位。稳定性是保障电力系统正常运行和电力供应连续性的根本保证,尤其在面对不断变化的负载需求和可能出现的扰动时更显重要。稳定性不足可能导致电压失衡、线路崩溃等问题,严重影响电力的持续供给和电力设备的安全运行。

电力系统的稳定性直接关系到国家和地区的经济、社会发展。稳定供电不仅是工业生产和居民生活的基础,也是新技术和产业发展的重要前提^[2]。若电力系统不能保持稳定,电网将面临大规模瘫痪的风险,进而导致经济损失和社会不安。

随着可再生能源的大规模接入和智能电网的逐步推广,电力系统的复杂性显著增加,这给稳定性带来了新挑战^[3]。电力系统需要具备更高的适应性和恢复能力,以应对由新能源波动性带来的不确定性。电力系统稳定性也是环境保护的关键因素。稳定的电力供应能够优化能源利用效率,减少因非计划性停电造成的能源浪费及排放增加,有助于实现可持续发展目标。

2.3 当前电力系统稳定性的挑战与问题

当前电力系统稳定性面临多方面的挑战与问题。电力系统的复杂性不断增加,大规模电网的建设和互联使得系统的动态行为更难以预测和控制。新能源发电和分布式电源的接入使得电力系统的波动性和不确定性增大,这对传统稳定性控制手段提出了新的要求。老旧的电力基础设施和设备运行年限较长,导致设备老化和故障频发,进一步威胁系统的稳定性。电力市场化改革和多元化电力需求也带来了新的负荷波动和供需平衡问题。电力系统面临的网络安全威胁日益严重,网络攻击可能导致大面积停电,严重影响电力系统的整体稳定性。气候变化和极端天气事件频发对电力系统设备和传输线路也构成了潜在的风险,进一步加剧了对稳定性的挑战。这些问题的综合作用使得电力系统稳定性面临前所未有的挑战,需要创新性的技术手段和综合管理策略加以应对。

3 电力系统稳定性问题的分析与诊断

3.1 借助电力系统分析手段对电力系统进行评估

电力系统的稳定性评估是确保供电可靠性和安全性的关键步骤,它涉及多种复杂的分析手段和技术。评估过程通常依赖于先进的数学建模和仿真技术,这些工具能够提供对电力系统动态行为的深入理解。

在线性化的基础上,常用的小信号稳定性分析方法可

以帮助识别系统在受到扰动时的响应特性。这种方法能够通过计算系统特征值来分析电力系统的动态稳定性,尤其是在发现可能导致系统不稳定的模式时非常有效。

在此基础上,时域仿真分析被广泛应用于评估电力系统的瞬态稳定性。通过模拟不同故障情景和操作条件下的系统动态响应,时域仿真提供了对系统性能的详细视图。这一分析有助于识别可能导致系统失稳的因素,并为稳定策略的制定提供实用参考。

静态稳定性分析则通过检测电力系统在较小扰动下的保持持续供电能力,评估其静止状态下的稳定性。这种方法通常基于潮流计算,并通过负荷变化、发电机组参数调整等方式揭示电力系统在不同运行工况下的稳定性。

结合这些分析手段,电力系统稳定性评估不仅可以诊断出当前系统存在的主要稳定性问题,还可以为未来改进提供数据支持。评估过程还考虑到电力市场机制的变化、新能源接入以及用户需求的增长等多种因素,从而使得评估结果更具全面性和前瞻性。

3.2 诊断与分析电力系统主要的稳定性问题

电力系统的稳定性是电气工程领域的重要课题,其诊断与分析需要从多角度、多层次进行系统性研究。当前电力系统的主要稳定性问题主要表现在瞬态稳定性、频率稳定性和电压稳定性。

瞬态稳定性问题常由突发故障引起,如线路故障或设备失效,导致系统经济性和安全性大大受限。对这些事件的响应需要及时且准确,不然可能引发连锁反应。研究表明,在负载突变的情况下,电力系统不能迅速恢复至正常运行状态,从而导致系统脱离同步^[4]。深度评估电力系统网络的拓扑结构及其动态特性,对此类问题的诊断至关重要。

频率稳定性问题通常与发电机组的动态功率平衡相关。当电力需求波动或发电输出急剧变化时,频率偏移可能导致系统崩溃。功率不平衡后,频率调节设备可能来不及反应,从而危及设备安全和电力供应的可靠性。此时,对频率稳定性的分析需考虑电力系统中惯性和备份响应能力。

电压稳定性问题多由过载或长距离输电导致。这类问题显现为电压无法保持在正常范围,引发设备损坏和供电能力下降。电压崩溃是电力系统面临的严重挑战之一,其中低电压区域容易扩大至整个系统,形成大规模停电。电压稳定性的检测需注重电网结构以及负载变化特性的细致评估。

在诊断过程中,先进的数学建模和仿真工具发挥了关键作用,通过对电力系统进行定量和定性分析,可以准确识别问题根源。大数据分析 with 机器学习技术为电力系统稳定性问题的预测与预防提供了新的可能性,提高诊断的准确率和效率。有效的诊断手段不仅可以透视现存问题,还为后续稳定性改进措施的实施提供基础和保障。通过全面细致的诊断,深入揭示电力系统运行中的瓶颈与隐患,可以为稳定性改进提供有力支撑。

4 电力系统稳定性的改进研究与展望

4.1 基于模糊控制优化的电力系统稳定性改进方案

电力系统稳定性问题在各种复杂运行工况下常常出现难以预测的挑战,采用传统方法难以有效应对。模糊控制优化技术因其在处理非线性、时变及不确定性问题中的优势,成为改善电力系统稳定性的有效途径。

模糊控制系统将工程师的经验和判断转化为模糊规则,通过模糊推理系统进行处理。针对电力系统瞬态稳定性问题,模糊控制策略可以实时调节励磁系统和频率控制系统,以保证系统运行的稳定。研究中构建了基于模糊逻辑的控制模型,利用模糊规则库和模糊推理机制,针对电力系统的频率偏差和电压波动进行校正^[5]。实验结果表明,该模型在突发故障或负荷剧变情况下能够有效维持电力系统的稳定性。

应用模糊控制优化方法的另一个显著优势在于增强了系统的鲁棒性和适应性。通过对模糊控制规则的调整,可以不断优化电力系统的动态响应特性,使其适应不同的运行场景。通过大量仿真试验和实地应用研究,证实采用模糊控制优化的电力系统在稳定性提升方面具备显著效果,尤其是在应对复杂、多变且不确定性高的运行环境时表现出明显优势。

在实际应用中,模糊控制优化技术不仅能够提升电力系统的瞬态稳定性,还在长期稳定性方面表现出持续改进的潜力,为现代电力系统的设计和运维提供了科学依据和技术支持。

4.2 储能技术与分布式发电系统在提升电力系统稳定性中的作用

储能技术和分布式发电系统在提升电力系统稳定性中起着关键作用。储能技术通过在低负载时储存多余电能并在高负载时释放,使电力系统能够更好地平衡供需,从而减少频率波动。这种平滑负载曲线的方法有效缓解了传统电力系统中的峰谷差异,提高了系统的瞬态和长时间稳定性。

分布式发电系统,依托风能、太阳能等可再生能源,与储能技术有机结合,能够降低对集中式发电的依赖。这种多样化的发电形式在本地电力不足或突发故障时提供替代能源,提高了系统的自适应能力。在电力传输中,分布式发电还能减少传输损耗,确保电力更高效地输送到需求端。

储能技术和分布式发电的结合有助于构建高度灵活和

智能的电力系统,能够应对各种不确定性和突发事件,显著提升电力系统的整体稳定性和运行效率。这一进展为未来电力系统的可持续发展提供了重要支持。

4.3 电力系统稳定性改进方向的未来发展及思考

电力系统稳定性的改进方向在技术迅速发展的背景下充满潜力。模糊控制方法的优化不仅提高了系统的瞬态和长期稳定性,还为智能化调控提供了新的工具。有必要继续探索将人工智能与机器学习技术引入电力系统稳定性研究,以实现复杂系统的自适应控制。储能技术作为调节电网波动的重要手段,其成本和效率的不断提升将大幅增强电力系统的灵活性。分布式发电系统的广泛应用,在减少集中式电力设施压力的同时也带来了电力系统更大范围的稳定性测试。未来,建设更加互联、互通的智能电网,以及发展可再生能源与传统能源相结合的综合能源系统,将是提高电力系统稳定性的重要方向。推动多方协同合作,实现技术创新与政策支持的有机结合,将进一步巩固电力系统的稳定基础。通过持续的理论研究与实践探索,电力系统稳定性的未来发展将有效支持能源安全与可持续发展的宏伟目标。

5 结语

本次研究探讨了电力系统稳定性的重要性,并分析了目前其面临的问题。通过数学模型,我们提出了一个新方法,这个方法可使电力系统更稳定,并且经过验证,证明这个方法是有效的。同时,我们研究了储能技术和分布式发电系统的组合应用,验证了它对电力系统稳定性的积极影响。虽然我们得到了一些重要的成果,但是还需要加深研究,找更多的改善办法,比如发掘更多的控制策略,并且还需要研究如何让电力系统变得更智能,更自动化。

参考文献

- [1] 陈建秀.电力系统电压稳定性探讨[J].电力系统装备,2019,0(16):5-6.
- [2] 蒋志飞丁岩松.电力系统电压稳定性研究[J].电子乐园,2019,0(01):142-142.
- [3] 吴东宝.船舶电力系统稳定性分析[J].绿色环保建材,2019,0(08):230-231.
- [4] 张爱华.电力系统暂态稳定性仿真研究[J].电子制作,2020,28(18):33-36.
- [5] 高伟.电力系统线路电压稳定性研究[J].天工,2019,0(08):13-13.

Design and implementation of intelligent mechanical arm based on mechatronics

Shuang Liu

Hangzhou Xiaoshan Technician College, Hangzhou, Zhejiang, 311201, China

Abstract

With the development of automation technology and intelligent manufacturing, the mechanical arm, as an important part, is widely used in industrial production, medical assistance, service robots and other fields. The progress of mechatronics technology has provided a solid foundation for the design and realization of the mechanical arm. We discuss the design and implementation process of the intelligent mechanical arm. By combining mechanical design, sensing technology, control system and artificial intelligence, an intelligent mechanical arm design scheme based on mechatronics is proposed, and then the corresponding hardware and software system is realized. The experimental results show that the designed intelligent mechanical arm has high flexibility, accuracy and adaptability, which can meet the needs of different application scenarios, and has a large market prospect. This paper also discusses the application prospects and challenges of the current intelligent mechanical arm in the industrial and service fields, and puts forward the direction of further optimization and improvement of the design.

Keywords

mechatronics; intelligent mechanical arm; automation; design and implementation; control system

基于机电一体化的智能机械臂设计与实现

刘爽

杭州萧山技师学院, 中国 · 浙江 杭州 311201

摘 要

随着自动化技术和智能制造的发展,机械臂作为其中的重要组成部分,广泛应用于工业生产、医疗辅助、服务机器人等领域。机电一体化技术的进步,为机械臂的设计与实现提供了坚实的基础。本文基于机电一体化技术,探讨了智能机械臂的设计与实现过程。通过结合机械设计、传感技术、控制系统和人工智能等多领域知识,提出了一种基于机电一体化的智能机械臂设计方案,并实现了相应的硬件和软件系统。实验结果表明,所设计的智能机械臂具有较高的灵活性、精度和适应性,能够满足不同应用场景的需求,具有较大的市场前景。本文还讨论了当前智能机械臂在工业和服务领域中的应用前景及挑战,提出了进一步优化和提升设计的方向。

关键词

机电一体化; 智能机械臂; 自动化; 设计与实现; 控制系统

1 概述

1.1 研究背景

随着科技的迅猛发展,自动化技术在各行各业中的应用越来越广泛。特别是在制造业领域,自动化生产线和智能工厂的建设需求日益增加。机械臂作为自动化生产的重要工具之一,已经从最初的单一任务操作发展到能够执行复杂多任务的智能化设备。智能机械臂具有较高的灵活性、精准度和适应性,能够有效提高生产效率,降低劳动强度,在现代化生产中发挥着越来越重要的作用。

机电一体化技术的广泛应用,为智能机械臂的设计与

实现提供了有力支撑。机电一体化是机械工程、电子工程和计算机科学的综合体,它将各学科的优势结合起来,使得机械臂能够具有更加智能的控制和精确的执行能力。目前,基于机电一体化的智能机械臂已经在工业制造、医疗领域以及服务机器人等领域取得了一定的进展。尽管如此,智能机械臂的设计与实现仍然面临着许多技术和实践挑战。

1.2 研究目的

本文的研究目标是基于机电一体化的思想,提出一种智能机械臂的设计方案,并进行系统实现。通过分析智能机械臂的构成要素,如机械结构、驱动系统、传感器和控制系统等,设计出具有较高灵活性、精度与智能化水平的机械臂系统。本文通过硬件与软件的协同设计,结合实际需求进行功能优化,实现智能机械臂在多个应用领域中的可行性。

【作者简介】刘爽(1985-),女,中国吉林辽源人,硕士,讲师,从事机械设计研究。

1.3 研究意义

智能机械臂的设计与实现不仅能够提高自动化生产线的效率，还能够在医疗、服务等新兴领域中发挥重要作用。例如，在医疗领域，智能机械臂可以进行精密手术，在复杂的操作中提供辅助；在服务领域，机械臂可以代替人工进行一些高危、重复的工作。通过智能化的设计和实现，机械臂的应用场景将大大拓展，为各行业的自动化、智能化发展提供有力的技术支持。

2 智能机械臂的设计原理

2.1 机械结构设计

智能机械臂的机械结构是整个系统设计的基础，其设计的好坏直接影响到机械臂的性能。机械臂一般由多个关节、连杆、驱动系统等部分组成。为了实现较高的灵活性和运动范围，通常采用串联结构设计。每个关节的驱动方式可以是电动、气动或者液压驱动，其中电动驱动因其高效、精确的特点，在智能机械臂中应用较为广泛。

在设计机械结构时，需要考虑各关节的自由度和运动范围。自由度是指机械臂能够独立运动的方向数量，通常智能机械臂至少需要有六个自由度，才能完成复杂的操作任务。机械臂的运动轨迹需要通过精确的控制系统来实现，因此在设计中应特别关注各关节的连接方式、材料选择和制造精度。

2.2 驱动系统设计

驱动系统是智能机械臂的核心部分，它决定了机械臂的运动性能。智能机械臂的驱动系统一般采用电动驱动系统，包括伺服电机、步进电机以及直流电机等。伺服电机因其精确控制和高稳定性的特点，广泛应用于高精度要求的机械臂设计中。

在驱动系统设计中，考虑到不同任务的需求，驱动系统应具备较高的响应速度和稳定性。同时，为了提升系统的效率和精度，驱动系统的控制算法也至关重要。常用的控制算法包括 PID 控制、模糊控制以及神经网络控制等，它们能够根据实时反馈调整电机的转速、扭矩等参数，从而实现精确控制。

2.3 传感系统设计

传感器是智能机械臂的感知系统，它使得机械臂能够与外部环境进行交互。在机械臂的应用中，常见的传感器包括力传感器、位置传感器、视觉传感器等。力传感器能够检测机械臂的抓取力，确保操作的安全性和稳定性；位置传感器可以精确获取机械臂各关节的位置和角度信息；视觉传感器则通过图像处理技术帮助机械臂识别物体，实现自动抓取等任务。

传感器的数据采集和处理是智能机械臂的核心技术之一，通过传感器与控制系统的结合，机械臂能够实时调整操作行为，适应不同的工作环境和任务需求。传感器的精度和

响应速度对于机械臂的智能化水平具有重要影响。

3 智能机械臂的控制系统

3.1 控制算法的选择

智能机械臂的控制系统是其智能化的核心，它通过接收来自传感器的数据并实时计算出机械臂的运动轨迹、速度和力度，从而确保机械臂能够精确执行任务。控制算法作为实现这一目标的关键，直接决定了机械臂的响应速度、操作精度和适应性。

目前，常见的控制算法主要包括 PID 控制、模糊控制和神经网络控制等，其中，PID 控制算法是最为传统且广泛应用的控制方法。PID 控制通过调节比例（P）、积分（I）和微分（D）系数，能够有效地解决机械臂控制中的静态误差、动态误差以及振荡问题。PID 控制算法的优点在于其结构简单、实现方便，适用于大多数线性控制场合。然而，随着环境的复杂性增加，机械臂面临的任务越来越具有非线性、时变和不确定性，这时单纯依赖 PID 控制将无法达到理想的控制效果。

因此，模糊控制和神经网络控制成为替代 PID 控制的有效方案。模糊控制通过模拟人类的语言推理机制，不依赖于精确的数学模型，它能够处理复杂的非线性系统，并适应系统中的不确定性和外部扰动。例如，在智能机械臂的抓取任务中，模糊控制算法可以根据实时反馈数据动态调整运动轨迹，以确保抓取过程的顺利进行。神经网络控制则通过机器学习算法来优化控制策略。通过大量的训练数据，神经网络能够在复杂的环境中自动调整控制参数，使机械臂能够自主应对各种操作任务。尽管神经网络控制在实现上较为复杂，但它的强大适应性和自学习能力使其在许多高精度应用中得到了广泛应用。

随着人工智能技术的不断进步，控制算法将更加智能化、自动化，进一步提升智能机械臂的性能和应用广度。

3.2 运动规划与路径控制

运动规划与路径控制是智能机械臂实现精确动作的核心环节，尤其在多自由度的机械臂中，如何规划出合理且高效的运动轨迹是确保其能够完成任务的前提。运动规划的目标是找到一条从起始点到目标点的路径，并在此基础上控制机械臂的运动过程。路径控制不仅要求机械臂能够避开障碍物，还要求能够根据不同任务对动作进行动态调整，从而确保在执行任务时的高效性与安全性。

常见的路径规划算法有逆运动学算法、A* 算法和遗传算法等。其中，逆运动学算法是最基础且重要的算法之一。逆运动学用于求解机械臂各个关节角度，从而确定每一时刻机械臂末端执行器的位置与姿态。通过对机械臂的运动学模型进行求解，逆运动学能够为机械臂提供精确的运动指令，广泛应用于机械臂的定位与路径规划中。然而，逆运动学的计算通常是一个非线性问题，在某些情况下可能出现多解或

无解的情况，这就要求通过优化算法进一步提高计算效率与稳定性。

A 算法常用于障碍物避让路径规划中。通过计算从起点到终点的最短路径，A 算法能够确保机械臂避开路径中的障碍物，并找到最优化的运动轨迹。A* 算法广泛应用于智能导航系统中，其优点在于能够综合考虑路径的最短距离和动态障碍的避让，使得机械臂能够在复杂的环境中顺利完成任务。

遗传算法是一种基于自然选择和遗传学原理的优化算法，通过模拟进化过程来求解复杂的运动规划问题。遗传算法能够通过不断地优化种群，找到最优解，特别适用于多自由度机械臂的运动规划。遗传算法具有较强的全局搜索能力，能够避免局部最优解的问题，适用于复杂的、多约束条件下的路径规划。

除了这些经典的路径规划算法外，近年来，基于人工智能的深度学习算法也逐渐应用于机械臂的路径规划中，尤其是在面对动态环境时，深度学习能够提供更加灵活的应对策略。

4 智能机械臂的实现与实验

4.1 硬件实现

在硬件实现方面，本文选择了具有六自由度的机械臂平台，作为本研究的实验平台。六自由度机械臂平台能够实现复杂的三维空间运动，能够完成从简单搬运到复杂抓取和装配等任务。在硬件设计中，平台的驱动系统由高精度伺服电机驱动，每个关节都配备了高性能传感器，以便实时获取位置、速度和力等信息，确保精确的运动控制。

机械臂的各个部分由轻质合金材料制造，既保证了结构的强度，又减轻了重量。机械臂的控制系统采用嵌入式控制器，能够通过与传感器进行通信，实时处理运动数据，并通过控制算法调节各个关节的运动。同时，机械臂还配备了高分辨率的视觉系统，通过摄像头实时监测工作环境，为机械臂提供视觉反馈。硬件系统的稳定性和可靠性为机械臂执行复杂任务提供了保证。

在实验过程中，机械臂成功完成了多个操作任务，包括物体的抓取、搬运以及精密装配等。通过多次测试，实验结果表明，所设计的机械臂在标准测试环境下具有较高的运动精度和操作稳定性，能够完成预定的各项任务，具有较强的适应性。

4.2 软件实现与调试

软件系统的实现方面，本文主要使用 MATLAB 和 C 语言进行控制系统的设计与调试。MATLAB 主要用于路径规划与运动仿真，通过对机械臂运动的数学建模，完成逆运动学的求解和路径优化算法的实现。MATLAB 在此过程中起到了强大的仿真作用，能够通过图形化界面模拟机械臂的运动过程，提前检测可能出现的问题。

C 语言则用于控制系统的实时数据采集与处理。机械臂的控制系统需要实时响应传感器数据，C 语言通过高效的实时操作系统，能够快速处理来自各类传感器的数据，并根据控制算法进行精确的动作调整。通过对控制算法的调试与优化，确保了机械臂在执行任务时的精准度和高效性。

实验过程中，通过不断调试控制系统，解决了在实际运行中出现的运动误差、路径规划不准确等问题，最终实现了机械臂的精准运动和任务执行。在物体抓取任务中，机械臂能够根据视觉系统反馈的信息，精确定位物体位置并成功完成抓取。在复杂路径规划任务中，机械臂能够避开障碍物，顺利完成任务。

5 结语

本文基于机电一体化技术，提出并实现了一种智能机械臂的设计与实现方案。通过结合机械设计、驱动系统、传感技术、控制系统等多方面的技术，成功开发出了一款具备高灵活性、高精度和高智能化的智能机械臂。实验结果表明，所设计的机械臂能够在标准测试环境中完成多种任务，且具有较高的稳定性和适应性。

随着人工智能、传感器技术以及控制算法的不断发展，未来智能机械臂的应用将更加广泛。在智能制造、医疗、服务等领域，机械臂将发挥越来越重要的作用。为了进一步提升智能机械臂的性能，未来的研究将集中在控制算法优化、感知技术集成以及多任务执行能力的提升等方面。

参考文献

- [1] 王书亭,凌玲,陈继勇,等.技术变革视角下机械设计与方法课程改革与实践[J].高等工程教育研究,2025,(01):34-39.
- [2] 张韵,刘喆.自动化技术在纺织机械设计与制造中的应用与发展[J].化纤与纺织技术,2024,53(12):88-90.
- [3] 谢曼,王龙涛,陈中尹,等.实-虚结合的机械臂与数字孪生体协调控制[J].兵器装备工程学报,2024,45(11):243-252.
- [4] 耿林,谢峰,陈蔚,等.机电一体化课设中智能搬运机器人设计与研究[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2024,42(11):47-50.

Research on the status quo and development trend of corrosion protection technology of oil and gas storage and transportation pipelines

Yang Song

Liaohe Oilfield (Panjin) Gas Storage Co., Ltd., Panjin, Liaoning, 124100, China

Abstract

As an important infrastructure for energy transportation, the safety and stability of oil and gas storage and transportation pipeline are of great significance to national energy security, economic development and environmental protection. However, the long-term operation of oil and gas pipeline is exposed to complex environmental conditions, which is prone to corrosion phenomenon, which may lead to serious accidents such as pipeline rupture, oil and gas leakage and environmental pollution and so on. Therefore, the research and application of corrosion protection technology, especially in the oil and gas storage and transportation pipeline, is an urgent technical problem to be solved. This paper will summarize the current situation of the corrosion protection technology of oil and gas storage and transportation pipelines, and discuss the future development trend, so as to provide reference for the research and engineering application in related fields.

Keywords

oil and gas storage and transportation pipeline; corrosion protection technology; current situation and development trend

油气储运管道腐蚀防护技术的现状与发展趋势研究

宋杨

辽河油田（盘锦）储气库有限公司，中国·辽宁 盘锦 124100

摘 要

油气储运管道作为能源输送的重要基础设施，其安全性和稳定性对国家能源安全、经济发展以及环境保护具有重要意义。然而，油气管道的长期运行暴露于复杂的环境条件下，容易发生腐蚀现象，严重时可能导致管道破裂、油气泄漏及环境污染等重大事故。因此，腐蚀防护技术的研究和应用，尤其是在油气储运管道中的防护技术，是当前亟待解决的技术难题。本文将对油气储运管道腐蚀防护技术的现状进行总结，并探讨未来的发展趋势，为相关领域的研究和工程应用提供参考。

关键词

油气储运管道；腐蚀防护技术；现状；发展趋势

1 油气储运管道腐蚀防护技术的现状

目前，油气储运管道的腐蚀防护技术主要包括以下几种方法：

1.1 阴极保护技术

在石油和天然气储运管道腐蚀抑制中，作为管道腐蚀防护领域重要的手段之一的阴极保护技术得到了广泛的运用。其原理是根据电化学原理，当金属处于阴极极化状态时，其表面将不易被腐蚀从而减缓了腐蚀速率。通过向管道施加外电场使管道表面产生负电位，使其成为阴极，从而实现阴极保护的目的。通过外部电源向管道施加直流电流，使管道表面产生阴极保护电位，从而减缓腐蚀速率，从而对腐蚀反

应的产生加以抑制^[1]。该技术通过对电流流的改变，使管道表面上的金属离子没有溶解起来，从而有效地延缓或阻止管道腐蚀的过程。阴极保护的应用的不仅可以使油气管道的寿命得到明显的延长，而且可以使维护费用降低，从而保证了油气运输的万无一失。

牺牲阳极阴极保护主要是在管道表面附近安装锌、铝、镁等具有较低电位金属材料的一种传统的阴极保护方式。牺牲阳极作为阳极在电化学反应中发生氧化反应，放出电子，转移到管道金属表面，使管道表面变成阴极，从而起到阻止金属在管道中溶解、腐蚀的作用。该类方式通常适合应用在腐蚀保护要求相对较低、构简单、施工维护方便的小型管道系统或局部区域性管道。不过，牺牲阳极会随着时间的推移而逐渐消耗，因此要求工作人员进行定期的检查与更换，所以应用范围受到一定限制。

【作者简介】宋杨（1988-），男，中国黑龙江大庆人，本科，工程师，从事石油与天然气、油气储运研究。

外加电流阴极保护技术是较先进的防护手段,其利用外部电源为管道系统提供直流持续稳定的电流,降低管道点蚀,防止金属腐蚀的出现,适用于大范围、长距离的管线。外加电流的阴极保护系统一般由具有高电流密度和强适应性的电源、阳极床、电流控制装置及接地系统组成。相对于牺牲阳极保护而言,外加电

流阴极保护的调节电流强度和分布更为精确,保证了管道受保护的面积。该技术尤其适用于跨区域、跨国界的大型油气管道系统,能够有效应对多变的土壤环境、复杂的电气干扰等外部因素,确保管道的长期安全。

在实际应用中,阴极保护技术的效果受到多个因素的影响,包括管道的材质、埋设深度、电流分布、电源的稳定性等。

1.2 涂层防护技术

涂层防护技术主要是将一层防腐涂层涂刷于管道表面,防止管道金属表面和外界环境中的腐蚀性介质相接触,从而将管道金属的腐蚀几率降低。环氧涂料是一种广泛应用于石油天然气管道防腐领域的一种常见的涂层防护材料。环氧涂层附着力优异,耐化学腐蚀,机械强度高,固化后能形成高耐磨性、抗冲击的坚硬保护膜。而且环氧树脂化学稳定性良好,可以有效抵抗酸、碱、盐的侵蚀。应用环氧涂层,能显著提高管材的耐久性,尤其在保护性能优异的潮湿、酸性及碱性介质中,更能发挥出卓越的保护作用,所以在各类腐蚀性环境下均能提供良好的保护效果^[2]。

聚乙烯涂层是一种耐温性高、耐腐蚀、抗紫外线能力强的石油天然气管道防腐常用涂层材料。将其涂刷于管道表面以形成一道厚实的防护层,以有效隔绝土壤中的水分、盐分以及氧气与管道的接触,从而对腐蚀反应产生有效的抑制作用。其凭借表面光滑、耐磨、抗冲击等特点,让防腐效果得以长时间维持,通常使用应用在范围较大的管道保护情况下,特别是含水量较高或是具有较强腐蚀性的土壤环境当中。

在具体应用土层防护技术时,要求将管道所处区域的土壤性质、气候条件及可能的腐蚀介质等进行全方位考虑以有针对性选择相应的涂层材料,并且要严格把控涂层厚度、工艺以及质量,切实保证其防腐效果。

1.3 腐蚀监测技术

腐蚀监测技术主要是利用多种检测设备以及传感器来对管道腐蚀情况进行动态跟踪,让工作人员能够获得准确、及时的数据支撑,为腐蚀修复以及预防方案的制定提供可靠依据。

在管道防腐领域应用较多的一项腐蚀监测设备是电化学传感器,其基本原理在于根据电流或电压的变化来呈现出金属腐蚀情况,具体来说就是对管道金属与周围环境之间的电化学反应进行测量,以将管道表面腐蚀速率的变化动态反映出来^[3]。相较于人工检查来说,具有高精度、高灵敏度和较长的使用年限,可为管道健康状态提供定量数据的支撑,

能够长期用于对管道腐蚀动态进行稳定监测。

管道腐蚀监测中,超声波传感器也是其中一项重要工具,其基本原理在于利用声波传播速度和信号反射时间对管道壁厚的变化实施监测,并根据所得数据来将管道腐蚀的程度推算出来。该类方式具有非侵入式的特点,不但可以对管路腐蚀进行实时掌握,而且可以早期识别管道内部存在的腐蚀缺陷,从而避免管道因腐蚀而发生破裂事故。其具有高度的可靠性和精确性,由其适合用在要进行长时间监测,且不能实施物理检查的管道系统。

此外,光纤传感器和无线传感技术也在腐蚀监测领域得到了应用。光纤传感器具有具有抗电磁干扰、适应性强等特点,主要是利用光信号传输来对管道表面细微的变化实施检测,及时将所得信息传输至监测中心,通常适合用在复杂环境下的腐蚀监测。无线传感器网络主要是利用无线通信网络来传送数据到远程服务器,以达到远程监控管道腐蚀的目的,能够大大提升了监测效率,降低了人工检查的频率和成本。

1.4 化学抑制技术

化学抑制技术主要通过向管道内注入腐蚀抑制剂,化学抑制剂通过与腐蚀介质发生反应或与管道金属表面相互作用,改变管道表面的化学环境,形成一层保护膜,从而阻隔腐蚀性物质与金属表面的接触,来有效降低或阻止腐蚀反应的发生,是一项重要的油气储运管道腐蚀防护手段。其主要是将腐蚀抑制剂注入到管道当中来达到降低或阻止腐蚀反应的发生。这一技术可以大大降低管道金属表面的腐蚀速率,让管道使用寿命得以延长,由其适用于管道内部腐蚀防护。

腐蚀抑制剂包括阳离子型、阴离子型、非离子型以及有机和无机类腐蚀抑制剂等多种类型。阳离子型抑制剂往往通过在管道金属表面的吸附来形成一层密度较高的膜层,使金属表面与腐蚀介质的接触减少;而阴离子型抑制剂往往是和金属离子反应,形成不溶于水的化合物,让金属表面的活性位点得以封闭;非离子型抑制剂的原理在于将腐蚀介质的活性降低或是溶液的表面张力进行改变来对腐蚀进行有效抑制^[4]。在具体应用过程中要想能够获得理想的防护效果,就要求工作人员能够结合管道环境、输送介质及腐蚀类型的差异来选用相应的腐蚀抑制剂。

2 油气储运管道腐蚀防护技术的发展趋势

随着油气管道的使用年限逐渐增加,腐蚀防护技术面临着更多的挑战。未来,油气储运管道腐蚀防护技术将朝以下几个方向发展:

2.1 智能化与自动化技术的应用

随着信息技术、传感器技术及计算机技术的不断发展,油气储运管道的腐蚀防护技术正向智能化和自动化方向转型。物联网技术的引入,使得管道腐蚀监测能够实现设备间的互联互通,通过集成传感器网络,实时获取管道运行状态

数据。这些数据包括温度、压力、腐蚀速率等关键参数，并通过无线通信技术传输至监控中心，实现对管道的远程监控与管理。

在进行管道腐蚀防护工作中应用大数据分析技术能够获得强大的数据处理能力，通过收集与分析海量历史数据信息来将腐蚀类别以及规律辨识出来，进而对腐蚀的发展趋势进行科学预测。系统结合机器学习算法，可以由具体运行数据中实现自我优化，慢慢提升其预测精准程度，将潜在的腐蚀问题及时辨识并发出预警。这种为决策优化的数据驱动式预测模型，可以将不必要的检修与停机事件减少，使经营效率得到提高。另外，结合人工智能技术，使腐蚀防护自动化水平得到进一步提高。AI技术可以通过深度学习等方法，能够基于逐步累积的数据来进行自适应的防护策略调整。如阴极保护电流或抑制剂投加量自动调节，根据腐蚀状况来动态进行防护措施优化。这种智能化、自动化的技术应用，将显著提高管道腐蚀保护精度和响应速度，使管道使用年限得到有效延长，维护费用得到降低。

2.2 绿色环保技术的开发

随着环境保护要求的日益严格，油气储运管道腐蚀防护技术的发展逐渐倾向于绿色环保的方向。绿色环保技术的核心目标是减少对环境造成的污染，降低资源消耗，并推动可持续发展。当前，油气管道腐蚀防护技术的绿色化主要体现在两方面：抑制剂的环保性和防护材料的可降解性。

第一，在开发腐蚀抑制剂时，重点是开发替代传统化学抑制剂的无毒、无污染的绿色抑制剂。这些环保抑制剂既不会长期对生态环境造成负面影响，也不会对水体造成污染，能够防止管道腐蚀。以减少石油化工产品对自然环境的影响为目的的无机抑制剂、天然植物提取物抑制剂和生物降解型抑制剂等已成为研究的热点。第二，在防护材料方面，一个重要研究方向就是开发可降解、无害的涂层和保护膜。例如生物基涂层和纳米涂层材料在使用寿命结束后，不仅防腐性能更好，而且环保降解也比传统涂层材料更好。这种材料避免了有害物质的堆积和环境污染，同时提高了管道的抗腐蚀能力。

2.3 多重防护技术的融合

当前由其储运管道腐蚀问题非常严峻，单一防护技术

已无法满足现代管道系统的全面防护需求。因此，未来的管道腐蚀防护技术将朝着多重防护技术并轨的方向发展，通过对不同的防护手段进行整合，让其相互协作来切实提高管道抗腐蚀能力，让防护效果更为稳定与长久。多重防护技术融合的重点在于将如涂层防护、阴极保护、腐蚀监测和化学抑制等多种防护技术进行综合运用。涂层防护作为有效阻隔腐蚀性介质与管道金属表面接触的物理屏障，阴极保护则通过电流调节来降低金属表面腐蚀点位，为管道提供电化学保护，对其实施整合使用让管道腐蚀防护能力得到大幅提升。同时腐蚀监测技术能够根据资料反馈，对阴极保护电流及化学抑制剂的投加量进行实时检测，使管道腐蚀状态得到及时调整，从而达到最佳的防护效果。另外，化学抑制技术通过加入抑制剂使腐蚀速率进一步下降，尤其是对腐蚀性较强的环境中如含酸性气体或硫化氢等，使用抑制剂可以提供更强大的防护。需要注意的是对于管道不同部位需要使用相应的防护技术，形成多层次的防护体系以确保管道运行的稳定以及结构安全。通过这些技术的协同作用，可以实现管道腐蚀防护的系统性、精确性与高效性，显著提高管道系统的可靠性与安全性。

3 结论

油气储运管道腐蚀防护技术在多年的应用中取得了显著成效。未来，随着智能化技术、绿色环保材料、新型合金材料的不断发展，油气管道的腐蚀防护将更加高效、精确与可持续。相关科研人员和工程技术人员应进一步加强技术创新和应用研究，为保障油气储运安全、推动工业发展提供了重要的理论和实践指导。

参考文献

- [1] 赵承杰,李欣.油气储运管道防腐技术的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023(4):4.
- [2] 刘祥福.油气储运过程中的腐蚀与安全防护技术研究[J].中国化工贸易, 2024, 16(17):130-132.
- [3] 陈晓龙.油气储运管道建设中的问题与对策分析[J].石油石化物资采购, 2023(14):46-48.
- [4] 高建新.油气储运过程中的常见安全问题及解决措施[J].中国储运, 2025(1).

Discussion on oil and gas recovery technology in oil and gas Storage and transportation

Libo Zhao

Liaohe Oilfield (Panjin) Gas Storage Co., Ltd., Panjin, Liaoning, 124100, China

Abstract

According to the survey, China's oil consumption is rising trend every year. In particular, oil as a non-renewable resource, with the increasing decrease of oil availability, how to efficiently use oil resources and optimize the recovery path of oil and gas has become an urgent national issue. In this context, oil and gas recovery technology is becoming more and more important. It can not only degrade harmful substances and control the quality of emissions. It can also effectively recover and use the useful substances in oil and gas to ensure the ecological benefits. Therefore, this paper mainly discusses the recovery technology of condensation separation method, oil absorption method, adsorption method and membrane separation method, and analyzes the key technical points, so as to provide useful reference and suggestions for optimizing the oil and gas recovery path.

Keywords

oil and gas storage and transportation; oil and gas recovery technology; optimization and adjustment; analysis

油气储运中油气回收技术的探讨

赵立波

辽河油田（盘锦）储气库有限公司，中国·辽宁 盘锦 124100

摘 要

据调查，我国石油消耗量每年呈上升趋势。尤其是石油作为不可再生资源，伴随石油可用量日渐减少，如何高效利用石油资源并优化油气回收路径成为国家迫切解决的议题。在此背景下，油气回收技术显得愈发重要，它不仅能够降解有害物质，控制排放质量。还可以有效回收、利用油气中的有用物质，保障生态效益。因此，本文主要从冷凝分离法、油吸收法、吸附法、膜分离法这几方面的回收技术进行探讨，并分析技术要点，为优化油气回收路径提供有益参考与建议。

关键词

油气储运；油气回收技术；优化调整；分析

1 油气储运过程中油气损耗分析

在油气储运过程中，油气受多方面、多阶段技术影响，导致不同程度的损耗，以下对不同阶段的损耗特性进行详细说明：

在收发油阶段，呼吸损耗是此阶段常见问题，其成因是出油、进油过程中油罐因液位变化造成的。具体而言，油品本身具备较强挥发性，使得压力波动、温度波动在罐内气相空间发生油气逸散，尤其是在高温条件下，将进一步增强油罐呼吸作用，从而加剧油气损耗。基于此，高效回收收油过程中释放的气体至关重要，这一步骤涉及油气回收装置的应用，并结合膜分离技术、吸附回收技术与冷凝回收等。其中，利用选择性透过膜对油气进行分离提纯是膜分离回收技术的特征，旨在抑制油气逸散，使油气回收利用效率最大化；

而吸附解析是吸附回收的重要特征，通常采用高吸附能力材料实现解析，如活性炭等；对于冷凝分离技术，则是通过低温环境把挥发性油气冷凝成液态后回收储存、利用。

在卸油阶段，亦存在油气挥发逸散风险。例如，在油品进入储罐或输送设备时，容易受到输送介质、压力变化扰动，从而挥发逸散^[1]。其次，气液置换是一个不可忽视因素，它是卸油过程中油气损耗的重要来源，尤其是槽罐车的气体需要向外界释放，油气逸散浓度越高，越容易造成大量油气损耗。在此背景下，输送方式采用气相平衡较为适宜，即气体回收可在卸油前后进行，促进接收端储罐和罐内气相空间形成闭环回路，防止油气直接暴露在环境中。与此同时，在卸油过程中引入气体回收密闭系统有助于提升油气收集效率，结合吸附解析与压缩冷凝进行回收处理，能够将油气损耗降至最低。

在储油阶段，面临油气反复进出储罐的困扰。基于储罐温度长期波动，如受气象条件、昼夜温差等干扰，使得储罐内油气空间体积变化，造成油气反复进出内部，进而形成

【作者简介】赵立波（1991-），男，中国辽宁盘锦人，本科，工程师，从事石油与天然气、油气储运研究。

呼吸损耗。此外,基于固定顶罐的气封结构较弱,因此面临较高油气逸散率,而想要控制油气挥发,可采用可变容积空间设计,常见结构为浮顶罐设计。最后,针对原有固定顶罐密封性不高的问题,可以安装内浮盘提高密封性能,从根本上抑制油气逸散。与此同时,安装气相平衡系统,能够灵活调节压力,确保储罐内外气体趋于平衡,最大程度减少压力变化带来的呼吸损耗。

2 油气储运过程中油气回收技术的应用与优化

2.1 吸附分离技术

第一,高效处理、合理选择活性炭。于吸附分离技术而言,活性炭的选择与处理是提升吸附性能的关键。吸油性较强、孔径分布合理且比表面积大的活性炭其在吸附烃类气体方面具有显著优势。值得注意的是,想要最大程度发挥吸附剂性能,需要经过高温活化处理,此步骤通常在投入活性炭前进行,旨在将残留的灰分、杂质从活性炭微孔结构中去除,确保吸附能力,使孔隙结构完整化^[2]。其次,进行高温活化时,通过温度、加热速率控制,同时在惰性气体条件下进行,有助于避免炭材料氧化分解。一般高温处理控制在 800–1000° C 为宜。与此同时,通过二氧化碳、水蒸气可以调控活化气氛,使微孔结构更适宜,这对提升特定烃类分子的吸附选择性产生积极作用。此外,引入多层床填充模式可以优化吸附塔结构,确保各种粒径的活性炭层均有气体流经,进一步增加吸附剂和气体的接触面,减少气流穿透摩擦力。最后,均匀性是吸附床填充过程的重中之重,在操作过程中,应防止填充密度过低或过高,避免分布不均匀引起的气体流动偏差。在优化气体压力、流速设置方面,应基于实验数据制定持续吸附压力值,一般 0.1–0.5 m/s 为适宜流速范围,这样不仅能为油气吸附充分提供保障,还可以防止气流通过吸附床时可能引发的短路或偏流问题。

第二,脱附再生工艺。想要延长吸附剂的使用寿命与长期稳定性,恢复活性炭表面的吸附能力是关键,可通过脱附再生工艺去除残留的污染物,确保吸附能力最大化。具体而言,采用真空脱附工艺,即控制吸附床压力在 0.1–0.5 kPa 之间,旨在释放吸附在活性炭微孔中的烃类气体,避免破坏活性炭结构同时提升了脱附效率。其次,采用低温水蒸气冲洗工艺过程中,温度范围控制在 120–150° C 之间,然后通入饱和水蒸气,以达到解析残留烃类物质的目的,与此同时,微孔堵塞物在水蒸气扩散作用下也得到清理,对防止高温造成的活性炭结构塌陷具有重要意义。最后,周期性脱附再生策略适用于运行过程,例如,以吸附饱和度为一个周期,当活性炭到达一定周期后提示脱附处理,这样有助于确保吸附床整体性能稳定,为油气回收系统的回收效率与稳定运行提供保障^[3]。

2.2 油吸收技术

第一,调整配比和优化吸收剂是油吸收技术的关键。

在此过程中,需基于油气组分间不同的特性,结合实验明确其溶解度,并通过分子相互作用参数计算吸收剂的最佳配比。面向烷烃类油气碳数较高情况,吸收剂可选择煤油与柴油混合物,并在不同配比条件下通过实验模拟明确其溶解度,以获得最佳混合比例,为提升高分子量组分的吸收能力奠定基础。具体而言,油气溶解度在不同吸收剂体系存在差异,因此需要采用等温溶解实验对目标区域进行测定,同时通过溶解度参数建立优化模型,选择不同环境条件下最优配比,促进吸附效果最大化。另一方面,想要提升轻质烃类油气的吸收效率,调整有机溶剂或汽油比例至关重要,可以选择极性溶剂或低沸点溶剂通过实验比对,如乙醇、甲苯等,以获得最优配比。在实践过程中,分步混合法得到广泛应用^[4]。在初步吸收阶段,将高亲和性吸收剂注入吸收塔中,通过喷淋系统与流量计调控,能够保障油气与吸收剂充分接触且分布均匀,完成初步吸收。接下来,深度吸收可依靠二级吸收剂吸收余下油气,同时明确油气浓度,可以采用连续取样分析法进行。

第二,通过气液接触方式调整、填料类型优化和塔体结构改进提升吸收塔传质效率。首先,选择微孔陶瓷或金属波纹作为吸收塔内部填料,然后优化填料层的排列方式与层数,可采用 CFD (计算流体动力学) 分析填料层结构,确保气液接触面积充分,进一步提升吸收强度。其次,处理高流量油气时,为了延长吸收剂与油气接触时长,可设置旋流板引导塔内的油气形成旋流,且根据实际需要灵活调整旋流强度以提升吸收速率。除此之外,基于不同温度下油气组分挥发性不同,因此吸收过程亦存在差异,在此背景下,实施温度梯度控制至关重要。例如,重质烃被塔底高温区吸收,而轻质烃被塔顶低温区吸收。这一过程通过分区加热系统实现,即将控温加热装置分别布置在不同塔体高度,结合红外测温系统或热成像仪动态监测温度变化,实现吸收剂循环流量、加热功率调整,为油气回收效率奠定基础。

2.3 冷凝分离技术

冷凝分离技术是基于油气挥发过程中不同的组分物理特性,将油气温度控制在合理范畴,使高沸点组分冷凝成液态析出。为了确保油气排放浓度、回收率与国家标准相符,冷凝分离技术被设计为三级。以下进行详细说明:

在一级、二级冷却阶段,配置串联式换热器至关重要,旨在确保不同组分的分步冷凝效果在湿度梯度递减情况下实现最佳。其中,采用低温乙醇溶液循环或通过压缩机驱动氟利昂制冷是一级冷却系统工作原理,只有将油气温度保持在零下 30 °C ~ 零下 50 °C 之间,才能加快重质烃类冷凝。因此,高效换热管路结构在制冷系统设计中得到广泛应用。例如,新增微通道换热器或换热管,同时搭配低温循环泵确保流动性趋于稳定。其次,在低温环境下,冷凝的黏度普遍较高,对流动性造成负面影响,从而不利于冷凝液顺畅输送至储罐。基于此,配置低温伴热系统必不可少,如在外部的管

道采用双层保温夹套或低温加热带。此外，二级冷却环节通常采用深冷膨胀制冷系统或液氮，因为这些冷却介质温度更低，使油气保持在零下 100℃ 以下，为轻质烃类回收效率提供保障。

液氮深冷作为三级冷却环节，想要油气回收率达到 90% 以上，减少冷损是关键，这一步骤可通过高效绝热设计完成，即在换热管路上包覆多层复合保温材料、真空绝热层等，如高密度聚氨酯和气凝胶等。此外，冷却液氮时，降低蒸发损耗是关键，它能够提升回收效率，通常采用闭式循环系统促进液氮循环再利用。即在蒸发气体作用下利用深冷换热器实现冷凝回收。值得注意的是，防止局部出现未完全冷凝或过冷现象，可采用浸没式换热方式或喷淋式，使大面积低温环境下的油气均匀冷凝。在三级冷却阶段，为了确保冷凝压力在合理范围，需要设置低温膨胀阀或自动背压阀，以避免膨胀气体导致的压力波动，为维护油气回收系统长期稳定运行奠定基础。

2.4 膜分离技术

第一，优化膜材料的耐久性与选择性。在膜分离技术中，利用选择性透过膜对油气进行分离提纯是膜分离回收技术的特点，旨在抑制油气逸散，实现油气回收。因此，膜材料应选择高分子材质，因为它具备较高溶解扩散系数。同时引入共混改性技术，能够促进各种类别的高分子材料相互融合，增加膜材料对特定分子的选择透过性。举个例子，利用分子材料提升烃类分子的选择性，然后选择纳米碳管或纳米二氧化硅作为填充物，起到增强高浓度烃类气体耐受能力与膜材料稳定性等作用。其次，多层复合膜设计也是有效提升膜材料分离效率、耐久性的重要手段。例如，选择机械强度较高的材料作为支撑层材料；而具备高分子筛结构材料作为表层材料，这种多层组合有利于确保膜在长期使用中依

然保持耐久性与稳定性。

第二，从压缩机设计和智能化检测系统安装来提升膜分离系统的稳定性。首先，设计压缩机时，优先选择防静电材料与防爆电机，旨在降低高压环境下由油气混合物带来的风险隐患。然后联合惰性气体封闭系统、阻火器和泄压阀等防范措施，从根本上提升油气储运过程的安全性。其次，实时监测系统的温度、压力和气体成分波动是智能化监测系统的主要内容，通过综合分析这些数据，可以及时发现异常情况并制定应急预案，杜绝膜组破裂、污染造成的泄漏事故，为油气回收打下坚实基础。

3 结语

在油气储运过程中，油气回收技术占据重要地位。通过吸附分离、油吸收、冷凝分离等多种技术手段，实现了油气损耗有效减少，对生态环境治理产生积极影响。例如，吸附分离技术的优化设计、油气吸收技术的配比调整以及冷凝分离技术的多级冷却策略，都是当前油气回收领域的关键方向。为了进一步提升技术的应用效果，应结合不同技术手段的优势，进行多层次、多维度的集成创新，以持续推进油气回收技术的研究与优化调整。

参考文献

- [1] 王冠鹏.油气储运中油气回收技术的应用[J].石油石化物资采购, 2024(14):133-135.
- [2] 刘晴,赵得强,李京,等.油气储运中油气回收技术的发展与应用探讨[J].化工安全与环境, 2023, 36(11):56-58.
- [3] 王轩滨.油气储运中油气回收技术的发展与应用初探[J].中国石油和化工标准与质量, 2024(24).
- [4] 高刘彪,张福.油气储运中的油气回收技术及发展分析[J].石油化工建设, 2023, 45(S01):448-450.

The application of fine management in civil building construction management

Yaoan Hu

Ji'an Jinkai Area of the Jinyue Engineering Construction Co., Ltd., Ji'an, Jiangxi, 343000, China

Abstract

With the vigorous development of the civil construction industry, the disadvantages of the traditional extensive construction management mode are prominent, which seriously restricts the development of construction enterprises. This paper focuses on the application of fine management in civil building construction management, and studies through the combination of theory and practice. Explain the theory of fine management, then analyze the current situation of civil construction management in quality, cost, safety and other aspects, and put forward the application strategies of establishing fine management system, fine management of the whole process of construction, fine personnel management and helping fine management with the help of information technology. Taking a commercial complex project as an example, the application effect of fine management is analyzed. The research shows that fine management and construction management needs are highly compatible with each other. In the future, in-depth exploration should be made in theoretical improvement, technological innovation, industry integration and the application of different types of buildings.

Keywords

construction; construction; management; fine management

精细化管理在民用建筑施工管理中的应用

胡耀安

吉安市井开区今越工程建设有限公司, 中国 · 江西 吉安 343000

摘 要

在民用建筑行业蓬勃发展的当下, 传统粗放式施工管理模式弊端凸显, 严重制约建筑企业发展。本文聚焦精细化管理在民用建筑施工管理中的应用, 通过理论与实践相结合的方式展开研究。阐述精细化管理理论, 接着剖析民用建筑施工管理在质量、成本、安全等方面的现状问题, 提出建立精细化管理体系、施工全过程精细化管理、人员管理精细化以及借助信息化技术助力精细化管理等应用策略。并以某商业综合体项目为例, 分析精细化管理应用效果。研究表明, 精细化管理与施工管理需求高度契合, 未来应在理论完善、技术创新、行业融合及针对不同类型建筑应用等方面深入探索。

关键词

建筑; 施工; 管理; 精细化管理

1 引言

在当今社会, 民用建筑行业蓬勃发展, 建筑规模与数量不断攀升, 人们对建筑质量、功能以及安全性的要求也日益提高。然而, 传统的民用建筑施工管理模式存在诸多弊端。粗放式的管理方式使得施工过程缺乏精准规划与严格把控, 常导致施工质量隐患、安全事故频发以及成本超支等问题, 严重制约了建筑企业的可持续发展与竞争力提升。精细化管理理念的兴起, 为解决这些问题带来了新的契机。它以规则的系统化、精细化, 以及程序化、标准化和数据化的管理手段, 旨在实现高效、精准的管理目标。在建筑行业中,

精细化管理已逐渐成为一种发展趋势。本文通过详细探讨精细化管理在民用建筑施工管理各个环节的应用策略, 以期为提升民用建筑施工管理水平、推动行业健康发展提供有益的参考。

2 精细化管理理论概述

精细化管理是一种先进管理理念与技术, 强调规则的系统化、精细化, 运用程序化、标准化和数据化手段, 使组织精确、高效、协同和持续运行。其理念源于泰勒 1911 年《科学管理原理》, 后经戴明提出“戴明环”, 以及丰田公司形成“丰田生产方式”, 逐步完善。在民用建筑施工管理中, 精细化管理要求将管理责任具体化, 如精确计算材料需求、规范施工流程。其内涵体现在强调规则细化、运用程序化等手段以及追求高效管理。特点是注重细节、立足专业、科学

【作者简介】胡耀安, (1990-), 男, 中国江西吉安人, 本科, 助理工程师, 从事建筑工程管理研究。

量化、强调执行力和持续改进^[1]。在建筑行业，精细化管理应用历程是不断演进的。从20世纪中后期开始引入，解决传统粗放管理的问题；随着信息技术发展，借助BIM等工具实现更高效管理；近年来更注重全生命周期管理和可持续发展。不同阶段应用特点和成果各异，从局部优化到全面监控，再到全生命周期管理，有效提升施工效率、质量，降低成本，推动行业绿色发展。

3 民用建筑施工管理现状

民用建筑施工管理存在多方面问题。质量上，部分施工人员不按规范操作，像混凝土浇筑振捣不充分致蜂窝麻面，墙体砌筑灰缝不均影响整体稳定性；采购环节还会因成本考量选用不合格材料，如强度不达标的钢材、安定性不符合要求的水泥，严重威胁建筑质量安全。成本控制方面，投标时企业过度压价、成本估算不准，未考虑材料价格波动、设计变更等风险；项目评估体系不完善，注重短期利益，忽视长期发展；施工中资源浪费严重，材料不合理堆放、设备调配不当，都增加了施工成本。安全管理问题突出，安全管理体系与施工脱节，制度落实难，管理人员不足；施工人员安全意识淡薄，违规操作频发；安全生产责任制不明，部门推诿；应急预案缺乏针对性和可操作性；安全技术措施不到位，防护设施不齐全，易引发安全事故。

4 精细化管理在民用建筑施工管理中的应用策略

4.1 建立精细化管理体系

建立精细化管理体系是民用建筑施工精细化管理的基础，涵盖质量管理、安全管理、成本管理、进度管理等关键部分，各部分相互关联。质量管理上，明确质量目标，如住宅项目混凝土强度合格率、墙面平整度指标。制定控制流程，施工前严格审图、交底，施工中加强工序检验，实行“三检制”，关键工序旁站监督，建立追溯制度。安全管理方面，明确安全责任，层层分解目标。加强安全教育培训，新工人入场需三级教育。完善安全制度，定期检查，设置警示标志，配备防护用品^[2]。成本管理旨在有效控制成本。制定成本计划，分解目标，加强核算分析。采购优选控价，施工中执行限额领料，优化方案，加强合同管理防风险。进度管理确保按时完工。制定科学进度计划，考虑多种因素预留弹性时间。加强监控调整，建立协调机制，与各方沟通解决问题。建立监督考核机制，成立监督小组，制定考核指标，将结果与员工利益挂钩，持续改进完善管理体系，保障其高效运行。

4.2 施工全过程精细化管理

民用建筑施工各阶段精细化管理极为关键。施工前期，在项目规划上，经深入市场调研精准定位，如依商圈需求定位为高端公寓与商业综合体，明确功能布局等细节；设计交底时，设计与施工单位充分交流，解决设计施工问题；施工方案制定要综合考虑多因素，明确施工顺序等内容；资源调

配计划需依据施工方案，精准调配人力、材料、机械设备资源，保障施工顺利。施工过程中，质量控制要建立体系，明确目标，加强监控与检验；安全监管需健全制度，加强检查与培训；进度跟踪借助软件实时分析，及时调整偏差；成本核算要完善体系，动态控制成本，加强合同管理^[3]。施工后期验收阶段，竣工验收要严格按标准，专业小组全面检查，整改问题；资料整理归档需建立制度，专人负责，保证资料完整系统；项目结算要依合同准确核算工程量与费用，防范风险，保障企业效益。

4.3 人员管理精细化

人员是民用建筑施工的核心，精细化人员管理对保障施工质量、效率与安全意义重大，可通过加强培训、明确职责、建立激励机制来实现。培训方面，施工企业要制定全面计划。新入职人员接受基础施工技能和安全知识培训，能快速适应工作并遵守安全规定。技术人员定期参加专业技能培训，掌握前沿技术，如装配式建筑技术。管理人员加强项目、质量、成本等管理知识与技能培训，更好协调工作、调配资源。明确岗位职责也很关键，施工企业需制定详细说明书，明确各岗位工作内容、标准和权限。施工时严格按职责分工，如质量管理岗位，质检员负责工序检验并有权制止违规行为，避免推诿，提高效率和质量。激励机制可激发人员积极性与创造性。企业建立合理薪酬体系，依据员工表现和业绩给予待遇，对优秀者给予物质和精神奖励，如设置质量、进度优秀奖。同时设立晋升机制，为优秀且有能力的员工提供上升空间，实现个人与企业双赢。

4.4 信息化技术助力精细化管理

在数字化时代，信息化技术是民用建筑施工精细化管理的有力支撑，运用BIM技术、项目管理软件、物联网等，能提升管理精细化水平。BIM技术可创建含多方面信息的三维模型，用于虚拟施工，提前发现设计问题，避免返工。如某高层项目，利用BIM发现超200处碰撞点，优化设计节省成本。它还能可视化模拟施工进度，便于监控调整^[4]。项目管理软件功能丰富，可制定施工计划，跟踪进度并预警偏差，实时核算分析成本。某项目使用后，施工进度管控更精准，成本降低约8%，还实现信息共享，提升沟通协作效率。物联网技术通过部署传感器和智能设备，实时监测施工现场环境、设备和人员。设备异常时及时报警，保障安全运行，还能精细化管理材料，减少损耗。如某项目借此降低材料损耗率约12%。将这些技术集成应用，能实现全方位精细化管理。如某大型项目集成应用后，施工实现实时监控，质量提升，进度提前约15%，成本降低约10%。

5 精细化管理应用案例分析

5.1 案例情况介绍

某商业综合体项目地处城市核心商圈，总建面20万平方米，涵盖多种业态，施工管理要求高。项目全程贯穿精细

化管理理念。项目前期,经深入市场调研,定位为高端时尚商业综合体,据此规划各业态布局,精心设计建筑细节。设计交底时,设计与施工单位充分交流,解决设计问题,为施工奠基。施工方案综合考虑多因素,明确施工顺序、方法和进度计划,预留弹性时间。资源调配依据方案和进度,精准安排人力、材料和机械设备。施工过程中,质量控制建立完善体系,用先进技术监测,严格检验工序;安全监管健全制度,加强检查,防护危险区域;进度跟踪借助项目管理软件,及时调整滞后进度;成本核算完善体系,动态控制成本,降低采购和使用成本。施工后期验收阶段,竣工验收由专业小组按标准严格检查,整改问题;资料整理归档建立制度,确保资料完整系统;项目结算依合同准确核算工程量和费用,保障企业权益。该项目应用精细化管理成效显著:施工质量提升获相关奖项;进度有效控制,按时交付;成本降低约8%,经济效益提高;安全管理到位,无重大事故。其成功为其他民用建筑施工项目提供了宝贵经验。

5.2 应用效果评估

对该商业综合体项目精细化管理的应用效果评估,展现出其在民用建筑施工管理中的显著成效。质量上,混凝土强度标准差控制在3MPa以内,强度合格率超98%,墙面垂直度和平整度误差均在3mm以内,远超行业标准,凸显精细化管理对质量控制的积极作用。安全管理方面,通过健全制度、加强培训和检查,项目施工中无重大安全事故,一般性安全事故发生率降至1%,较同类项目的3%降低66.7%,保障了人员和财产安全。成本控制上,优化方案、管控材料采购与使用、合理调配人力和机械,使施工成本降低约8%,其中材料、人工、机械使用成本分别降低10%、6%、12%,提升了企业经济效益。施工进度上,制定详细计划,借助项目管理软件跟踪分析,项目提前1个月完成,提前率2.8%,即便面对不利因素也能灵活应对。

5.3 经验启示

对该商业综合体项目精细化管理的剖析,总结出的成功经验对其他民用建筑施工项目意义重大。项目规划与准备阶段,精准市场调研和定位是关键。该项目深入调研明确高端时尚定位,启示其他项目规划初期要充分调研当地经济、人口、消费等因素,结合自身优势精准定位,增强市场竞争力,实现商业价值。同时,详细规划和科学施工方案不可或缺,要考虑多方面因素并动态调整,保障项目顺利推进。资源合理调配与高效利用是项目成功的要点。该项目依据施工

方案和进度,精确调配人力、材料、机械设备资源,其他项目也应科学配置资源,避免浪费。施工过程中,严格把控质量、安全、进度和成本是核心。建立完善质量控制、安全管理、进度跟踪和成本核算体系,加强过程控制,确保各项目目标实现。施工后期验收阶段,严谨验收、规范资料整理和合理结算十分重要。成立专业小组严格验收,完善资料管理,按合同结算,保障项目收尾顺利。该项目成功彰显精细化管理优势,其他民用建筑施工项目应借鉴经验,将精细化理念贯穿全程,提升管理水平,实现高质量、高效率、低成本建设,助力企业可持续发展。

6 结论与展望

本文聚焦精细化管理在民用建筑施工管理中的应用,剖析理论并结合实际提出应用策略,以实际案例验证。精细化管理注重细节、立足专业等,与施工管理需求契合。建立涵盖质量、安全、成本、进度的精细化管理体系是基础,施工全过程各阶段精细化管理也十分关键,人员管理精细化是核心,信息化技术则为其提供有力支撑。案例分析显示,商业综合体项目应用精细化管理后,施工质量、安全、成本、进度等方面均取得显著成效。随着建筑行业发展,精细化管理面临机遇与挑战,未来研究应完善理论,探讨其与施工管理深度融合,在质量、成本等环节完善理论框架;创新技术应用,将数字化、智能化技术融入,拓展BIM、物联网等技术功能;推动与行业发展融合,研究如何在绿色建筑、智能建筑、可持续发展方面运用精细化管理^[5];关注在不同类型民用建筑施工管理中的应用差异,制定针对性策略,提升实施效果。

参考文献

- [1] 苏琦.精细化管理在民用建筑施工管理中的应用分析[J].工程建设与设计,2021(16):186-188191.
- [2] 任识广.精细化管理在民用建筑施工管理中的应用分析[J].中国科技期刊数据库工业A,2023(3):51-54.
- [3] 贾凯.精细化管理在民用建筑施工管理中的应用分析[J].门窗,2022(16):175-177.
- [4] 李学山,孙可欣,蔡月红.精细化管理在建筑施工管理工作中的应用[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024(11):167-170.
- [5] 孙百正,马壮壮.精细化管理在建筑施工项目管理中的应用研究[J].中小企业管理与科技,2024(2):142-144.

Application and Practice of BIM Technology in Road and Bridge Construction Management

Shang Wang

Shuozhou Expressway Management Co., Ltd., Shuozhou, Shanxi, 036002, China

Abstract

With the digital transformation of the construction industry, the application of BIM technology in road and bridge construction management has become increasingly critical. BIM technology relies on three-dimensional model construction, information sharing, and collaborative operation functions, bringing disruptive innovations to road and bridge construction management. This solution also achieves design optimization, improves the feasibility of construction plans through precise simulation, optimizes resource allocation, significantly reduces project risks, promotes design improvement, and ensures the rigor and appropriateness of strategies; This text emphasizes quality management and schedule control, using real-time monitoring and data analysis to improve engineering quality and construction efficiency. In specific examples, BIM technology demonstrates its outstanding effectiveness in complex engineering scenarios, ensuring the smooth progress of highway and bridge engineering. In short, BIM technology is the core means to improve the efficiency and quality of road and bridge construction management, and its application potential is enormous, worthy of in-depth research and promotion in the industry.

Keywords

BIM technology; roads and bridges; construction management; information technology construction

BIM 技术在道路桥梁施工管理中的应用与实践

王尚

朔州高速公路管理有限公司, 中国 · 山西 朔州 036002

摘 要

伴随着建筑业的数字化变革, BIM技术在道路桥梁施工管理中的应用日益彰显其关键性, BIM技术依托三维模型构建、信息共享及协同作业功能, 为道路桥梁施工管理带来了颠覆性的革新, 该方案亦实现了设计优化, 施工计划可行性通过精确模拟得到提升, 实现了资源的优化配置, 显著减少了项目风险, BIM技术促进设计改进, 确保策略的严谨性与恰当性; 该文本强调了质量管理与进度控制, 采用即时监控与数据解析, 提高了工程质量与施工效能, 具体事例中, BIM技术在复杂工程场景中彰显其卓越效能, 保障了公路桥梁工程的无障碍推进, 总之, BIM技术是提高道路桥梁施工管理效能与品质的核心手段, 其应用潜力巨大, 值得行业深入研究和推广。

关键词

BIM技术; 道路桥梁; 施工管理; 信息化建设

1 引言

建筑行业在进入信息化、智能化时代后, 如何提升工程管理水平, 降低成本, 提高工程质量, 成为业内关注的焦点。BIM技术的出现为这一挑战提供了有效的解决方案。特别是在道路桥梁工程项目中, 由于其项目规模庞大、施工复杂, 采用传统的管理方式往往难以满足日益增加的工程要求。BIM技术通过信息集成、虚拟建模和多方协作的优势, 帮助项目参与方更好地进行资源调配、进度监控与质量控制。其引入不仅提高了设计精度, 还在施工过程中减少了错

误和冲突, 提高了施工效率, 降低了工程风险。

2 BIM 技术概述

2.1 BIM 技术的基本概念

基于数字化模型的建筑信息模型技术, 实现对建筑项目全生命周期的管理操作, 与常规的平面设计图样存在不同。BIM技术采纳三维空间建模手段, 将建筑项目的各项资讯汇聚至一个数字化的信息平台之上, 这并非单纯意义上的图形设计软件, 具备信息整合、实时管控、仿真剖析等特性, 对项目各个阶段实施实时辅导与评价。BIM技术显著特点为优化设计、施工、运营及维护等各阶段间的信息交流与协作, 有效消除了信息孤立壁垒。在公路与桥梁建设领域内, 借助BIM工具, 项目各参与方能在项目实施各个阶段

【作者简介】王尚(1978-), 男, 中国山西大同人, 硕士, 工程师, 从事道路与桥梁研究。

预先发现潜在问题，实施全方位的改进策略，保证项目实施平稳^[1]。

2.2 BIM 技术的应用领域

道路桥梁施工领域采纳 BIM 技术，正成为推动项目高效运作和精细管控的核心途径，尤其是在错综复杂的工程领域里。BIM 的益处日益显现，项目启动之前夕，以 BIM 技术为工具，设计者能实施整体模型制作，以数字化手段展现道路与桥梁的整体景象。通过这种方式，设计师能更全面地把握项目要求，亦能运用模拟技术预见潜在隐患，作为后续调整的支撑材料。在设计阶段，BIM 技术占据着核心地位，采用立体建模手段，对设计图稿执行精确的数值模拟与核实，进而优化设计作业的效率与准确性。与常规的二维图纸形成对照。通过 BIM 手段，设计细节得以明确呈现，降低设计出错概率，施工团队借助 BIM 技术实现科学的施工效果预测，对施工各阶段逐一进行模拟再现，施工团队可预先掌握施工过程中可能碰到的困难，防止盲目行动，提升施工环节的调控水平。尤其是在错综复杂的桥梁工程领域，施工地点的多变性质常伴有许多难以预料的困扰，施工团队借助 BIM 技术制定合理的施工步骤，优化施工顺序及资源分配结构，保障施工过程顺畅无阻，项目管理是 BIM 技术发挥效能的关键领域，BIM 系统实时跟踪项目进度、成本及质量，开发一个透明化的行政操作平台，保障项目管理员实时洞察项目最新进展。

3 BIM 技术在道路桥梁施工管理中的应用

3.1 施工规划与设计阶段的应用

设计阶段是 BIM 技术应用的关键时期，尤其在道路桥梁工程项目的规划与设计环节。通过三维空间建模，设计人员可以更直观地展示桥梁的外形、结构以及与周边环境的适配性。BIM 技术提供了精确的设计图纸，使得设计团队可以提前发现潜在的设计隐患，如结构冲突、材料不匹配等问题，进而进行调整和优化。实际操作中，施工方案模拟功能被广泛应用，利用 BIM 技术对设计方案的执行效果进行预演，以此选取最佳的施工路径并优化施工方案。此外，在道路桥梁的规划设计阶段，BIM 技术的碰撞检测功能尤为重要，它能够及时发现设计元素间的矛盾与冲突，从而避免由于设计问题引起的返工和修正。通过这种技术手段，设计团队能够减少修正次数，提升效率并降低成本。在实践应用中，许多实际项目已成功运用了 BIM 技术进行设计优化，并通过碰撞检测避免了工程中的返工，进一步提升了项目的施工效率^[2]。

3.2 施工过程管理中的应用

在施工过程中，BIM 技术的作用不可忽视。施工管理涉及到多个环节，如进度控制、质量监督、安全措施和成本管理等，BIM 技术通过实时数据追踪帮助项目经理全方位监管施工的每个步骤。通过构建项目的三维虚拟仿真模型，

施工团队可以根据该模型进行施工流程仿真，提前识别可能遇到的挑战并进行调整。施工过程中，通过精确的进度跟踪，BIM 技术确保了项目能够按期完成。此外，在质量控制方面，BIM 技术有效提高了施工的可控性和精确度。项目的每一阶段都能够通过 BIM 模型进行实时监控，从规划、施工到验收，确保每个环节的质量标准得到达成。在实践项目中，BIM 技术使得工程管理人员可以实时了解施工现场的情况，及时发现施工中的隐患，避免后期发现问题后导致的高额返工费用。例如，一些大型桥梁项目通过 BIM 平台，在施工初期就发现了不符合设计要求的部分，提前进行调整，有效避免了施工后期的质量问题和不必要的维修。

3.3 协同工作与信息共享的应用

BIM 技术的最大优势之一就是促进了各参与方之间的协作，特别是在公路与桥梁工程中，项目参与方如设计师、施工团队、监督者和业主等的密切合作是项目顺利推进的关键。传统的施工管理方式中，信息传递常常存在延误或偏差，导致参与方间沟通不畅。通过 BIM 技术，所有的项目相关数据、设计资料、施工进度和质量监控信息可以汇集到同一个共享平台上，各方可以实时接收到最新的项目信息，极大地减少了沟通成本和信息延迟。实践中，很多项目已经实现了 BIM 平台的信息共享与协同作业。例如，在某些公路建设项目中，所有施工数据和设计修订都通过 BIM 平台同步更新，使得设计团队、施工队伍和监理人员能够快速获得最新进展，避免了传统项目管理中由于信息不对称而产生的延误。在这些项目中，信息共享促进了不同部门间的紧密配合，使得项目管理更加高效，减少了因信息传递滞后而导致的错误和遗漏，提高了施工的整体质量和效率。

4 BIM 技术应用中的问题

4.1 BIM 技术在数据整合与共享方面的挑战

在道路桥梁施工过程中，涉及到多个参与方，包括设计方、施工方、监理方等，每个部门使用不同的管理系统和数据格式。这种多元化的管理系统使得信息在不同参与方之间传递时容易出现格式不兼容或数据冲突的情况。虽然 BIM 技术具备强大的数据整合能力，但在实际应用中，由于不同参与方缺乏统一的标准和平台，BIM 模型的数据常常在多个系统之间传递时产生误差。

4.2 BIM 技术在施工现场应用的技术难度

BIM 技术的最大优势之一是可以先进的设备和技术实现施工现场的实时监控和精准施工。然而，在实际应用过程中，施工现场环境往往复杂，基础设施的建设和设备投入不足，制约了 BIM 技术的应用效果。在一些道路桥梁施工项目中，施工现场的条件往往无法支持高精度设备的应用。此外，尽管 BIM 技术在理论上能为施工提供精确的操作指导，但许多施工人员对 BIM 模型的理解和应用能力相对较低，导致他们在实际操作中未能完全按照模型进行施

工,进而影响施工进度和质量。

4.3 BIM 技术在项目管理中的成本控制问题

尽管 BIM 技术具有优化施工进度和资源管理的潜力,但在项目的初期阶段,BIM 技术的实施通常需要大量的投资。这些投入不仅包括 BIM 软件的购买费用,还涉及到硬件设备的更新和施工人员的技术培训。在部分项目中,尤其是资金相对紧张的情况下,这种初期的高投入可能会对项目的整体预算产生较大压力,导致其他项目环节的资金不足。进一步来说,在 BIM 技术的实施过程中,由于项目管理方对 BIM 应用的成本效益评估不准确,可能导致部分项目环节的成本控制不到位,影响整体成本效益。为了避免这一问题,项目方需要合理分配资金,将 BIM 技术的应用集中在关键的项目环节,逐步优化技术的应用和投入^[3]。

5 BIM 技术应用中的措施

5.1 建立统一的标准和平台

在现代化建筑项目中,BIM 技术的应用涉及多个部门和不同职能的参与方,每个方可能使用不同的数据管理和交换系统。为了有效地解决这些问题,建立统一的 BIM 标准和数据平台至关重要。统一标准的制定有助于确保项目各方的数据格式一致,避免因标准不统一而导致的数据转换问题。采用统一的平台可以使所有参与方无论身处何地,都能实时查看项目进度、质量控制、成本管理等各方面的信息,从而提升沟通效率。

5.2 加强现场技术培训与设备投入

BIM 技术的应用不仅仅依赖于技术本身的优势,更多的是依赖于现场施工人员对技术的理解和操作能力。然而,许多现场施工人员对 BIM 技术的掌握程度有限,尤其是在施工过程中如何有效应用 BIM 模型进行工作执行和调整。因此,加强技术培训和设备投入是确保 BIM 技术成功应用的关键。首先,必须定期对施工人员进行针对性的 BIM 技术培训,使他们了解如何读取 BIM 模型、如何在施工中依据 BIM 数据进行决策。此外,通过实际操作培训,帮助施工人员熟练掌握 BIM 技术的应用,减少对技术的抗拒感,提升其自主操作能力。其次,施工方应加大对高端技术设备的投资,例如 3D 激光扫描仪、无人机航拍、传感器等,这些设备能帮助施工人员实时采集现场数据,与 BIM 模型进行无缝对接,实现施工现场的精准控制。通过这样的技术支

持,施工人员可以及时发现问题并进行修正,避免误差的扩展和项目进度的延误。加强技术培训和设备投入,能够显著提升 BIM 技术在施工现场的应用效果,并有效提高施工精度和工作效率。

5.3 优化 BIM 技术的成本投入与管理

BIM 技术在项目管理中的应用虽具有显著优势,但其初期投入较大,因此,如何合理分配资金和优化成本投入,是项目成功应用 BIM 技术的一个重要问题。在项目初期,企业可以根据项目规模和复杂度,选择在关键环节和重要项目中进行试点应用,这样既能积累经验,又能避免在没有实际应用背景的情况下做出过大的投入。随着试点的进行,可以逐步优化和完善 BIM 技术应用的方案,为更大范围的应用奠定基础。项目管理方应根据 BIM 技术的实际应用效果,制定合理的预算规划,并根据项目的需要和重要性来优化 BIM 技术的投入使用。具体来说,在施工过程中,应关注 BIM 技术在质量管理、进度控制、成本控制等关键环节的投入产出比,通过优化各个环节的运作效率,确保其成本回报最大化。同时,项目方要定期评估 BIM 技术的应用效果,及时进行调整和优化,确保技术的使用没有超过预期的成本,并能够产生预期的效益。

总结: BIM 技术在道路桥梁施工管理中的应用,为项目的高效推进提供了强有力的支持。通过应用 BIM,项目参与方能够实现更为精确的设计、科学的施工计划以及有效的资源管理,显著降低了施工过程中的各类风险和不确定性。尽管当前仍存在技术和数据管理等方面的挑战,但随着 BIM 技术的逐步成熟与发展,未来其在道路桥梁施工领域的应用将更加广泛。为了进一步提高 BIM 技术的应用效果,建筑企业应加大技术培训和设备投入,优化流程管理,加强跨部门协作,推动 BIM 在工程管理中的全面深入应用,促进项目的顺利实施和质量提升。

参考文献

- [1] 王慧婷.城市道路桥梁施工及安全管理措施分析[J].城市建设理论(电子版),2025,(04):145-147.
- [2] 李少华.道路桥梁施工管理中存在的问题及优化措施[J].安装,2024,(S2):187-188.
- [3] 朱思明.道路桥梁施工材料的信息化管理与应用[J].企业科技与发展,2024,(12):69-72.

Mechanical Structure Design and Motion Performance Analysis of a Bionic Frog Robot

Yuxuan Wang Hao Mei Shiwei Hou

School of Transportation and Logistics Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract

This study designs a bionic frog robot that achieves efficient jumping motion by simulating the biomechanical characteristics of frogs. The robot employs an eight-bar linkage mechanism in the hind legs to mimic the hip, knee, ankle, and tarsal joints of a frog, precisely controlling joint angle variations for energy storage and release. The energy storage mechanism utilizes rope-driven and pulley systems, combined with a dead-point release mechanism, to ensure accurate energy release. Through five iterations of development, the physical prototype's jumping distance increased from 21 cm to 75 cm, validating the effectiveness of the design improvements. Dynamic analysis indicates that the optimized structure significantly enhances energy conversion efficiency and motion stability. The research provides theoretical and practical insights for the application of bionic robots in complex environments.

Keywords

Bionic Frog Robot; Eight-Bar Linkage Mechanism; Rope-Driven; Dead-Point Release; Dynamic Analysis

仿生青蛙机器人的机械结构与运动性能分析

王语暄 梅颢 侯士伟

武汉理工大学交通与物流工程学院, 中国·湖北 武汉 430000

摘 要

本研究设计了一种仿生青蛙机器人, 通过模拟青蛙的生物力学特性, 实现了高效的跳跃运动。机器人采用八连杆后腿机构, 模拟青蛙腿部的髋关节、膝关节、踝关节和跗关节, 精确控制关节角度变化以实现能量的存储与释放。储能机构采用绳驱动与滑轮组合, 结合死点释放机构, 确保能量的精准释放。通过五次迭代开发, 物理样机的跳跃距离从21厘米提升至75厘米, 验证了设计改进的有效性。动力学分析表明, 优化后的结构显著提升了能量转换效率与运动稳定性。研究结果为仿生机器人在复杂环境中的应用提供了理论依据与实践参考。

关键词

仿生青蛙机器人; 八连杆机构; 绳驱动; 死点释放; 动力学分析

1 引言

仿生青蛙机器人通过模拟青蛙的生物力学特性, 实现了高效的跳跃运动, 展现出优异的环境适应性和能源利用效率。在低重力环境(如外太空)中, 其运动性能优势尤为显著^[1], 成为学术界的研究热点。

韩国 Konkuk University 先进技术融合系的 Quoc-Viet Nguyen 等人研发了一款 7 克重的仿蝗虫跳跃机构原型^[2]。实验表明, 该原型可实现垂直跳跃高度为自身尺寸的 14 倍(约 71cm), 水平跳跃距离为自身尺寸的 20 倍(约 100cm)。然而, 能量释放时机的精准性不足, 导致运动轨迹稳定性欠佳。

赵凯等人提出了一种仿生曲柄滑块跳跃机构的设计与

动力学分析^[3]。该机构在起跳阶段产生的地面反作用力与蝗虫的力学特性相似, 有效降低了过早离地的可能性。然而, 该研究未考虑空气阻力等环境因素, 缺乏对能量转换效率的定量分析, 且未涉及着陆后的姿态恢复问题, 限制了其在复杂环境下的应用潜力。

哈尔滨工业大学机器人与国家系统重点实验室研发了一种新型仿生青蛙机器人跳跃机构, 采用单自由度六连杆结构作为后肢驱动系统, 通过扭转弹簧与不完全齿轮的协同作用, 实现能量储存与快速释放功能^[4]。但单自由度设计限制了运动灵活性, 难以精确模拟真实青蛙的多关节协调运动, 进而影响其在复杂地形中的适应性。

本文所述的仿生青蛙机器人采用八连杆后腿机构, 模拟青蛙腿部的髋关节、膝关节、踝关节和跗关节, 通过精确控制关节角度变化实现能量的存储与释放, 显著提升了跳跃性能。其储能机构采用绳驱动与滑轮组相结合的方式, 利用死点释放机构实现能量的精准释放, 提高了跳跃效率和稳

【作者简介】王语暄(2005-), 女, 中国江西赣州人, 在读本科生, 从事仿生机械结构与性能研究。

定性。

2 机器人结构设计

2.1 青蛙跳跃过程分析

青蛙腿部包含髋关节、膝关节、踝关节和跗关节，协同完成复杂的伸展与收缩动作。跳跃初始阶段为状态 1，髋关节收缩后腿，准备跳跃；随后髋关节伸展，膝、踝、跗关节快速伸展，将能量转化为推动力。跳跃完成后为状态 2，各关节收缩，协助稳定着陆^[5]。

本机器人采用八连杆机构模拟青蛙腿部的股骨、胫腓骨和跗骨，重现其相对运动与连接方式，确保动力学特性与真实青蛙相似，并利用弹簧模拟肌肉，实现能量的储存与释放，为跳跃提供动力。同时，创新性地引入死点释放机构，保持腿部收缩状态，优化能量释放，显著提升跳跃距离。

2.2 仿生青蛙机构设计

2.2.1 腿部机构设计

仿生青蛙腿部运动机制可划分为三个主要阶段：能量储存阶段、能量转换阶段和起跳阶段。在能量储存阶段，股骨与胫腓骨形成最小锐角，该几何构型有利于机械能的储存与积累。较小的关节角度可降低能量损耗，提高储能效率。能量转换阶段表现为腿部关节角度逐渐增大，储存能量向运动能量转化，该过程遵循能量守恒定律。系统通过精确控制能量释放速率，优化能量转换效率。起跳阶段中，腿部达到最大钝角，系统完成地面反作用力的作用过程，进入腾空运动阶段。该阶段的运动特性直接影响跳跃高度和距离等关键性能指标，系统通过优化腿部连杆机构的运动学参数提高能量利用率。

仿生青蛙腿部运动系统中，连杆 3 通过固定点 O₁、O₂ 与机体结构刚性连接。系统越过死点位置后，连杆 1 以 O₁ 为旋转中心产生角位移，形成平面连杆传动机构。连杆 2、4、5、6 构成闭式运动链，其几何约束关系将弹性元件的线性收缩力转化为连杆 6 的定向运动。四连杆机构的运动学特性确保了能量传递路径的优化，实现了机械能的高效转化与输出。

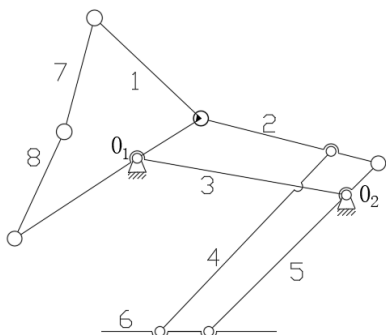


图 1-1 仿生青蛙腿部机构示意图

2.2.2 储能机构设计

仿生青蛙储能机构基于绳驱动原理，通过机械传动实

现能量储存。舵机输出力矩驱动钢丝绳运动，使轴 2 与轴 3 间的路径长度减小，同时轴 1 与轴 2 间距增大，对弹性元件产生拉伸作用。该机构通过钢丝绳的路径变化将旋转运动转化为线性位移，完成机械能储存。绳驱动机构的结构特性使其具有较高的能量传递效率，其力学性能直接影响系统的运动输出。

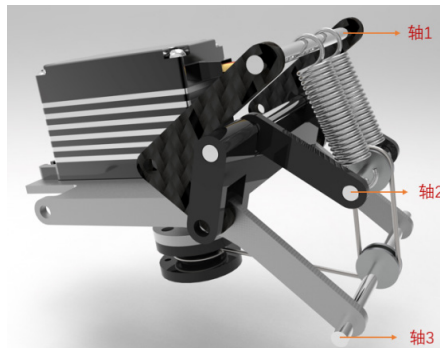


图 1-2 储能机构渲染图

2.2.3 死点释放机构设计

仿生青蛙释放机构采用死点原理设计，其核心机制基于腿部蹬地起跳运动特性。连杆 1 绕 O₁ 旋转，导致轴 1 与轴 3 间距减小。机构在轴 1 与轴 3 间设置限位支撑杆及辅助限位支撑杆，用于约束两轴间距变化。弹簧拉伸过程中，连杆 1 绕 O₁ 的驱动力矩随拉伸距离增加而增大，限位支撑杆与辅助限位支撑杆间的相互作用力相应增强。

储能阶段，轴 2 与拉杆连接，推杆绕 O₁ 顺时针旋转。当推杆与限位支撑杆接触时，系统产生机械扰动，破坏死点平衡状态，实现储存能量的快速释放。该机构通过精确控制死点位置，确保能量释放的时机与强度，完成仿生青蛙的跳跃动作。

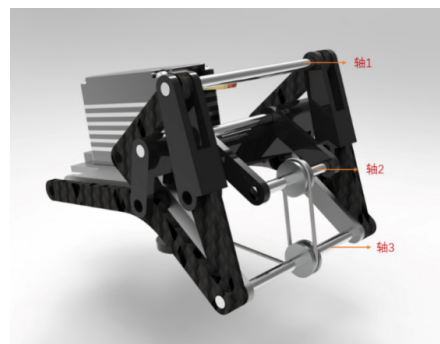


图 1-3 死点释放机构渲染图

2.2.4 支撑前腿设计

仿生青蛙机器人前腿系统具有多重功能特性，其设计直接影响整体运动性能。前腿机构需适应多种地面条件，同时实现稳定性控制与导航功能。前腿的主要力学功能包括支撑、缓冲和姿态调节。

前腿承担机器人的静态载荷支撑任务，在跳跃周期中提供必要的力学支撑。着陆过程中，前腿机构通过弹性元件

和阻尼结构吸收冲击能量,降低对主体结构的动态载荷。在跳跃准备阶段和空中运动过程中,前腿参与姿态调整,通过主动控制维持系统稳定性。前腿的结构设计和运动特性对机器人的运动效能具有决定性影响。

3 机器人动力学分析

3.1 机器人跳跃效率及稳定性分析

在仿生青蛙机器人系统的设计中,跳跃效率和稳定性是衡量其运动性能的关键指标^[6]。跳跃效率主要体现在机器人能够将能量有效地转化为跳跃动能,从而获得更大的跳跃距离;而稳定性则体现在机器人能够在起跳、空中姿态调整和落地过程中保持动态平衡。这两个性能指标均与系统所受的总力矩密切相关。因此,分析总力矩的构成及其对系统运动状态的影响,对于优化机器人结构设计和控制策略具有重要意义。

如图 2-1 所示,在青蛙跳跃的动力学分析中,地面反作用力与质心之间的垂直距离会产生一个力矩 M_F ,其表达式为:

$$M_F = -J \times \alpha$$

其中, J 表示转动惯量, α 为角加速度。同时,系统在运动过程中会产生惯性力矩 M_G ,其表达式可表示为:

$$M_G = F \times H \times \frac{\sin \theta}{\sin \alpha}$$

式中, H 为质心高度, θ 为起跳角度, α 为后腿与地面的夹角。为实现平稳着陆,系统需满足力矩平衡条件 $\Sigma M \geq 0$ 。值得注意的是,当系统进行前空翻运动时,跳跃距离呈现增大的趋势。

地面反作用力 F 与后腿连杆机构的受力方向相反,这表明系统的力学特性与后腿机构的设计参数密切相关。参数 α 和 H 的取值与系统重心位置存在直接关联。降低质心高度 H 和减小后腿与地面的夹角 α ,能够有效减少惯性力矩 M_G 的数值,从而使总力矩更易于满足平衡条件,显著改善机器人的跳跃效率和稳定性。

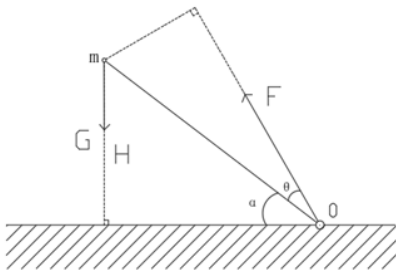


图 2-1 机器人整体受力简图

3.2 机器人腿部连杆机构运动学分析

为对仿生青蛙机器人腿部连杆机构进行运动学分析,将各连杆表示为矢量,并建立如图所示的坐标系。该腿部机构可分解为三个四连杆机构: 1-2-3-4、2-3-5-6 和 5-6-7-

8。以下分别对这三个四连杆机构进行位置、速度和加速度分析。

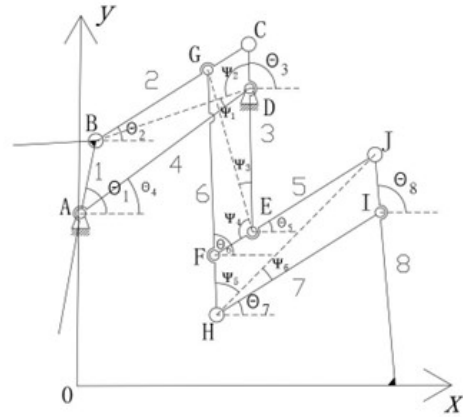


图 2-2 机器人腿部八连杆机构简图

3.2.1 1-2-3-4 四连杆机构分析

(1) 位置分析

对于封闭环路 $ABCD$, 其矢量方程为:

$$\vec{l}_1 + \vec{l}_2 = \vec{l}_3 + \vec{l}_4 \quad (1-1)$$

其复数形式为:

$$l_1 e^{i\theta_1} + l_2 e^{i\theta_2} = l_3 e^{i\theta_3} + l_4 e^{i\theta_4} \quad (1-2)$$

分离实部和虚部, 得到非线性方程组:

$$\begin{cases} l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos \theta_2 = l_3 \cos \theta_3 + l_4 \cos \theta_4 \\ l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin \theta_2 = l_3 \sin \theta_3 + l_4 \sin \theta_4 \end{cases} \quad (1-3)$$

由于方程组 (1-3) 为非线性, 直接求解较为复杂, 可采用几何方法求解。连接 BD , 得到以下关系:

$$\begin{cases} l_{BD}^2 = l_1^2 + l_4^2 - 2l_1 l_4 \cos(\theta_1 - \theta_4) \\ \varphi_1 = \arcsin \left[\frac{l_1}{l_{BD}} \sin(\theta_1 - \theta_4) \right] \\ \varphi_2 = \arccos \left(\frac{l_{BD}^2 + l_3^2 - l_2^2}{2l_{BD} l_3} \right) \\ \theta_3 = \pi - \varphi_1 - \varphi_2 + \theta_4 \\ \theta_2 = \arcsin \left(\frac{l_3 \sin \theta_3 + l_4 \sin \theta_4 - l_1 \sin \theta_1}{l_2} \right) \end{cases} \quad (1-4)$$

(2) 速度分析

对式 (1-2) 关于时间 t 求导, 得到速度关系:

$$l_1 w_1 e^{i\theta_1} + l_2 w_2 e^{i\theta_2} = l_3 w_3 e^{i\theta_3} \quad (1-5)$$

分离实部和虚部, 得到:

$$\begin{cases} l_1 w_1 \cos \theta_1 + l_2 w_2 \cos \theta_2 = l_3 w_3 \cos \theta_3 \\ l_1 w_1 \sin \theta_1 + l_2 w_2 \sin \theta_2 = l_3 w_3 \sin \theta_3 \end{cases} \quad (1-6)$$

将其表示为矩阵形式:

$$\begin{bmatrix} -l_2 \sin \theta_2 & l_3 \sin \theta_3 \\ l_2 \cos \theta_2 & -l_3 \cos \theta_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_2 \\ w_3 \end{bmatrix} = w_1 \begin{bmatrix} l_1 \sin \theta_1 \\ -l_1 \cos \theta_1 \end{bmatrix} \quad (1-7)$$

通过求解矩阵方程, 可得到角速度 w_2 、 w_3 。

(3) 加速度分析

对式 (1-2) 关于时间 t 求二阶导数, 得到加速度关系:

$$\begin{bmatrix} -l_2 \sin \theta_2 & l'_3 \sin \theta_3 \\ l_2 \cos \theta_2 & -l'_3 \cos \theta_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -w_2 l_2 \cos \theta_2 & w_3 l'_3 \cos \theta_3 \\ -w_2 l_2 \sin \theta_2 & w_3 l'_3 \sin \theta_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_2 \\ w_3 \end{bmatrix} = w_1 \begin{bmatrix} w_1 l_1 \cos \theta_1 \\ w_1 l_1 \sin \theta_1 \end{bmatrix} \quad (1-8)$$

通过求解矩阵方程,可得到角加速度 α_2 、 α_3 。

3.2.2 2-3-5-6 四连杆机构分析

通过对封闭环路的矢量方程进行位置、速度和加速度分析,可得到以下结果:

位置关系:

$$\begin{aligned} \theta_5 &= -\pi + \phi_3 + \phi_4 + \theta_3 \\ \theta_6 &= \arcsin\left(\frac{l_{EG}}{l'_6} \sin \phi_4\right) + \theta_5 \end{aligned}$$

角速度关系:

$$\omega_5 = f(\omega_2, \omega_3), \quad \omega_6 = g(\omega_2, \omega_3)$$

角加速度关系:

$$\alpha_5 = h(\alpha_2, \alpha_3, \omega_2, \omega_3), \quad \alpha_6 = k(\alpha_2, \alpha_3, \omega_2, \omega_3)$$

其中, f, g, h, k 为由矩阵方程求解得到的函数关系。

3.2.3 5-6-7-8 四连杆机构分析

通过对封闭环路 $FHIJF$ 的矢量方程进行位置、速度和加速度分析,可得到以下结果:

位置关系:

$$\begin{aligned} \theta_7 &= -\phi_5 - \phi_6 + \theta_6 \\ \theta_8 &= -\arcsin\left(\frac{l_{HJ}}{l'_8} \sin \phi_6\right) + \theta_7 + \pi \end{aligned}$$

角速度关系:

$$\omega_7 = m(\omega_5, \omega_6), \quad \omega_8 = n(\omega_5, \omega_6)$$

角加速度关系:

$$\alpha_7 = p(\alpha_5, \alpha_6, \omega_5, \omega_6), \quad \alpha_8 = q(\alpha_5, \alpha_6, \omega_5, \omega_6)$$

其中, m, n, p, q 为由矩阵方程求解得到的函数关系。

通过对三个四连杆机构的位置、速度和加速度分析,可以全面描述仿生青蛙机器人腿部连杆机构的运动学特性。这些分析结果为机构优化设计和运动控制提供了理论依据。

4 实物实验

在物理样机开发过程中,首先利用三维模型输出各种工程图纸,随后采购原材料并加工各零部件。各模块经过装配和调试后,完成了五代样机的制作。

第一代仿生青蛙跳跃机器人完成组装并成功进行跳跃测试,实现了 21 厘米的跳跃距离。第二代仿生青蛙机器人在重新设计改进后完成组装并成功进行跳跃测试,跳跃距离提升至 36 厘米。第三代仿生青蛙机器人优化触发机构后,成功完成组装并进行了跳跃测试,跳跃距离达到了 43 厘米。第四代仿生青蛙机器人优化腿部连杆机构后,跳跃距离进一步增加至 62 厘米。第五代仿生青蛙进一步优化动力系统和腿部连杆机构,以提升跳跃效率和距离,最终实现了 75 厘米的跳跃。

米的跳跃。

通过五次迭代开发,样机的跳跃性能显著提升,验证了设计改进的有效性。

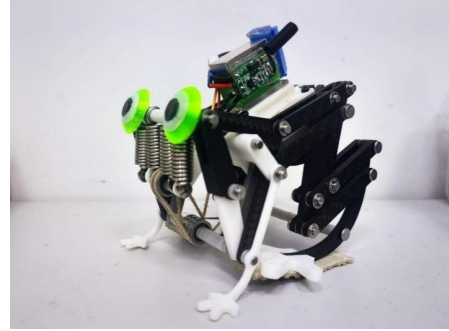


图 3-1 仿生青蛙物理样机

5 结论

(1) 基于仿生学原理,采用八连杆后腿机构模拟青蛙腿部的多关节运动,成功复现了其复杂的伸展与收缩动作。通过绳驱动储能与死点释放机构的结合,实现了能量的高效存储与精准释放,显著提升了机器人跳跃性能。该设计为复杂环境下机器人的运动机构设计提供了新的思路。(2) 通过对仿生青蛙机器人腿部连杆机构的运动学分析,全面描述了其位置、速度和加速度特性。动力学分析表明,优化后的结构在能量转换效率与运动稳定性方面表现优异。通过调整重心位置与优化后腿机构设计,显著改善了机器人的跳跃效率和稳定性,为后续机构优化与控制策略提供了理论依据。(3) 经过五次迭代开发,物理样机的跳跃性能显著提升,最终跳跃距离达到 75 厘米。实验结果验证了设计改进的有效性,证明了仿生设计在机器人领域的应用潜力。未来研究可进一步优化机构设计,提升机器人在多地形环境中的适应性与运动性能。

参考文献

- [1] JIA Y, SUN Z Z, ZHENG Y, et al. Overview on development of planetary rover technology[J]. Journal of Deep Space Exploration, 2020, 7 (5) : 419-427.
- [2] Quoc-Viet Nguyen, Hoon Cheol Park, Design and Demonstration of a Locust-Like Jumping Mechanism for Small-Scale Robots, Journal of Bionic Engineering, Volume 9, Issue 3, 2012, Pages 271-281.
- [3] Z. Kai, Y. Junmao, C. Diansheng and W. Tianmiao, "Design and kinematics simulation for bionic crank-slider mechanism of jumping robot," 2012 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), Guangzhou, China, 2012, pp. 796-801.
- [4] 任毅豪. 仿青蛙机器人跳跃之力学分析与轨迹优化[D]. 哈尔滨工业大学, 2017.
- [5] 陈智翔. 青蛙跳跃仿生运动学及动力学研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2015.
- [6] 李杨. 仿蛙弹跳机器人的轨迹规划及落地稳定性分析[D]. 浙江理工大学, 2018.

Analysis of the application of BIM technology in highway design——Take the Nan'an G358 project as an example

Zhongjin Su¹ Qiumei Xu²

1. Fujian Branch of China Municipal Engineering Northwest Design and Research Institute Co., Ltd., Quanzhou, Fujian, 362000, China

2. Quanzhou Luojiang Shuangyang Overseas Chinese Economic Development Zone Development and Construction Co., Ltd., Quanzhou, Fujian, 362000, China

Abstract

This paper discusses the application of BIM technology in highway design. With the rapid development of information technology, BIM technology has been widely used in the construction industry and gradually penetrated into the field of highway design. This paper first introduces the basic concept, development process and application status of BIM technology in highway design, and then analyzes in detail the specific application of BIM technology in various stages of highway design, including planning stage, preliminary design stage, construction drawing design stage and construction stage. Then, this paper discusses the advantages and challenges of BIM technology in highway design, and proposes corresponding countermeasures. Finally, through the actual case analysis, the practical effect of BIM technology in highway design is verified. The research shows that BIM technology can significantly improve the efficiency and quality of highway design, promote the collaborative work of all participants, and provide strong support for the whole life cycle management of highway engineering.

Keywords

BIM technology; highway design; collaborative design; Full life cycle management; Oblique photography

BIM 技术在公路设计中的应用浅析——以南安 G358 项目为例

苏忠进¹ 许秋梅²

1. 中国市政工程西北设计研究院有限公司福建分公司, 中国·福建 泉州 362000

2. 泉州市洛江双阳华侨经济开发区开发建设有限公司, 中国·福建 泉州 362000

摘 要

本文探讨了BIM技术在公路设计中的应用。随着信息技术的快速发展, BIM技术在建筑行业得到广泛应用, 并逐渐渗透到公路设计领域。本文首先介绍了BIM技术的基本概念、发展历程及其在公路设计中的应用现状, 然后详细分析了BIM技术在公路设计各阶段的具体应用, 包括规划阶段、初步设计阶段、施工图设计阶段和施工阶段。接着, 本文探讨了BIM技术在公路设计中的优势与挑战, 并提出了相应的对策。最后, 通过实际案例分析, 验证了BIM技术在公路设计中的实际效果。研究表明, BIM技术能够显著提高公路设计的效率和质量, 促进各参与方的协同工作, 为公路工程的全生命周期管理提供有力支持。

关键词

BIM技术; 公路设计; 协同设计; 全生命周期管理; 倾斜摄影

1 引言

随着我国基础设施建设的快速发展, 公路工程项目的规模和复杂性不断增加, 对设计质量和效率提出了更高要求。传统的二维设计方法已难以满足现代公路工程设计的需求, 亟需引入新的技术手段来提高设计水平和效率。建筑信息模

型(BIM)技术作为一种新兴的数字化设计和管理工具, 在建筑行业已得到广泛应用, 并逐渐向公路工程设计领域渗透。

BIM技术通过创建和管理工程项目全生命周期的数字化信息, 为设计、施工和运营维护等各阶段提供协同工作平台, 能够显著提高工程项目的效率和质量。在公路设计中应用BIM技术, 可以实现设计信息的可视化、参数化和协同化, 有效解决传统设计方法中存在的诸多问题, 如信息孤岛、设计冲突、沟通不畅等。

本文旨在探讨BIM技术在公路设计中的应用, 分析其

【作者简介】苏忠进(1991-), 男, 中国福建德化人, 本科, 工程师, 从事道路工程研究。

在公路设计各阶段的具体应用方法和优势,并针对实施过程中可能遇到的挑战提出相应对策。通过理论分析和实际案例研究,本文将**BIM**技术在公路设计中的推广应用提供参考和指导。

2 BIM 技术概述

BIM (Building Information Modeling) 技术是一种基于三维数字模型的工程信息管理方法,它通过创建和管理建筑项目的数字化信息,为项目的全生命周期提供支持。**BIM**技术的核心在于信息模型的创建和应用,它不仅包含几何信息,还包括材料、性能、成本等丰富的非几何信息,形成一个完整的数字化建筑信息库。

BIM技术的发展可以追溯到20世纪70年代,随着计算机辅助设计(CAD)技术的出现而萌芽。21世纪初,**BIM**技术逐渐成熟并在建筑行业得到广泛应用。近年来,随着信息技术和计算机性能的快速发展,**BIM**技术不断革新,应用范围也从建筑领域扩展到基础设施领域,包括公路、桥梁、隧道等工程。

在公路设计领域,**BIM**技术的应用起步相对较晚,但发展迅速。目前,**BIM**技术在公路设计中的应用主要集中在三维建模、可视化设计、碰撞检测、工程量统计等方面。随着技术的不断进步和应用经验的积累,**BIM**技术在公路设计中的应用范围不断扩大,逐渐向全生命周期管理、协同设计、智能设计等方向发展。然而,与建筑行业相比,**BIM**技术在公路设计中的应用仍处于初级阶段,需要进一步探索和完善^[1]。

3 BIM 技术在公路设计中的应用

BIM技术在公路设计中的应用贯穿整个设计过程,从规划阶段到施工阶段,都能发挥重要作用。

(1) 在规划阶段,**BIM**技术可以用于地形分析、路线比选和环境影响评估。通过建立三维地理信息模型,设计师可以直观地分析地形地貌特征,优化路线走向,评估工程对环境的影响,为决策提供科学依据。

(2) 在初步设计阶段,**BIM**技术主要用于三维建模和设计优化。设计师可以利用**BIM**软件创建道路、桥梁、隧道等结构的三维模型,进行可视化设计和方案比选。通过参数化设计,可以快速调整设计方案,优化线形和结构布置。此外,**BIM**技术还可以进行工程量估算和造价分析,为项目投资决策提供支持。

(3) 在施工图设计阶段,**BIM**技术的应用更加深入。设计师可以利用**BIM**模型进行详细设计,生成施工图纸和工程量清单。**BIM**技术的碰撞检测功能可以有效发现和解决各专业之间的设计冲突,减少施工阶段的变更和返工。同时,**BIM**模型还可以用于施工模拟和进度计划,为施工组织设计提供依据。

(4) 在施工阶段,**BIM**技术主要用于施工管理和质

量控制。施工方可以利用**BIM**模型进行施工放样、进度管理和资源调配。通过将**BIM**模型与施工进度相结合,可以实现4D施工模拟,优化施工顺序和资源配置。此外,**BIM**技术还可以用于质量检查和验收,通过将实际施工情况与**BIM**模型对比,及时发现和纠正偏差,确保工程质量^[2]。

4 BIM 技术在公路设计中的优势与挑战

BIM技术在公路设计中的应用具有显著优势。首先,**BIM**技术提高了设计效率和质量。通过三维建模和参数化设计,设计师可以快速生成和修改设计方案,减少重复劳动。可视化设计和碰撞检测功能有助于发现和解决设计问题,提高设计质量。其次,**BIM**技术促进了各参与方的协同工作。基于**BIM**平台的协同设计模式,可以实现设计信息的实时共享和更新,提高沟通效率,减少信息孤岛。最后,**BIM**技术为公路工程的全生命周期管理提供了有力支持。从设计、施工到运营维护,**BIM**模型都可以作为信息载体,为各阶段的管理决策提供依据。

然而,**BIM**技术在公路设计中的应用也面临一些挑战。首先是技术标准不统一的问题。目前,公路行业的**BIM**标准体系尚未完善,不同软件之间的数据交换存在障碍,影响了**BIM**技术的推广应用。其次是人才短缺的问题。**BIM**技术的应用需要既懂公路设计又熟悉**BIM**软件的复合型人才,而目前这类人才相对匮乏。此外,**BIM**技术的应用还面临成本投入大、软件兼容性差等挑战。

为应对这些挑战,需要采取以下对策:首先,加快制定和完善公路行业的**BIM**标准体系,促进不同软件之间的数据互通。其次,加强**BIM**技术人才培养,通过校企合作、在职培训等方式,培养复合型**BIM**人才。再次,鼓励软件开发企业针对公路设计特点,开发更加适用的**BIM**软件。最后,政府和企业应加大对**BIM**技术应用的投入,通过试点示范项目,逐步推广**BIM**技术在公路设计中的应用^[3]。

5 案例分析

为验证**BIM**技术在公路设计中的实际效果,本文选取了南安国道G358项目作为案例进行分析。南安市国道358项目,属于福建省国省干线重点项目,同纵三线、北外二环、国道G324线以及柳城至霞美公路工程形成南安市区的环城大道。设计起点位于柳城街道南官公路,终点接茂盛路与福昌北路交叉口,往后通过现状茂盛路至仑苍镇(安溪界),新建段路线总长14.263km,采用一级公路设计标准,时速为60km/h,桥隧占比40.98%,建安费约18.3亿,总投资约27.5亿。

考虑本项目为初步设计,根据相关要求路线尚需进行比选,结合本项目路线长、等级高、桥隧占比大、地质地形复杂等特点,决定在设计过程中采用**BIM**技术,验证**BIM**技术在公路设计中的实际效果,从而组建了**BIM**项目组。同时利用无人机技术对现场进行航拍,合成倾斜摄影模型,设计过程参照实景地形,更显真实。

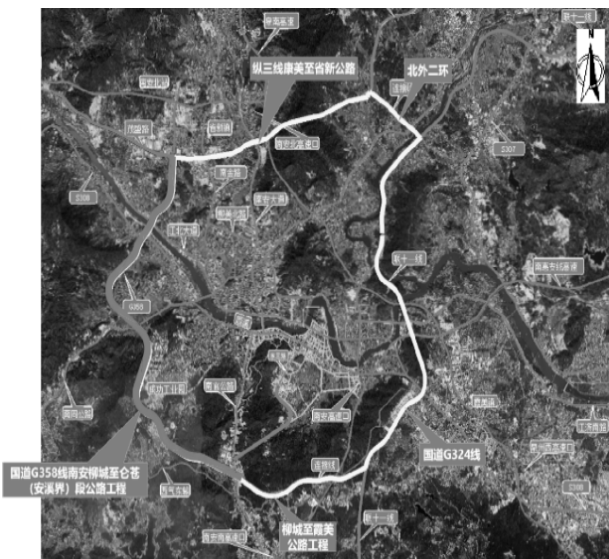


图1 南三环大道示意图

前期路线方案研究阶段,项目团队利用BIM软件进行地形处理,本次通过下载软件自带地图数据、实测CAD地形图、倾斜摄影三种方式快速建立三维地理信息模型,对沿线地形地貌进行了详细分析、比对,确保现状地形的准确性,避免后续设计过程因地形反复调整。通过BIM软件模块化、参数化的特点进行路线可视化模拟,实时调整优化路线平面和纵断,减少土方工程量,降低对环境的影响;减少拆迁,缓解各方协调压力;节省项目投资。

利用BIM协同平台生成轻量化模型,进行路线方案汇报,对路线走向、横断布置等与倾斜摄影结合进行可视化展示,增加了设计师的汇报手段,可以提高沟通效率,同时也让更多非专业人士了解项目情况,参与方案的讨论,这对方案的确定起到促进作用,节约时间成本。



图2 互通节点结合倾斜摄影效果

进入初步设计阶段,确定路线推荐方案和比选方案后,项目团队利用BIM软件对道路、桥梁、隧道等各专业进行参数化设计,并创建三维初步模型。结合倾斜摄影进行多方案比选以及设计方案的优化,如桥隧长度、隧道洞口位置、路基高边坡防护、各专业间的冲突点(碰撞检查)、房屋拆迁等。各专业检查无误后最终细化形成模型终稿,同时生

成相应图纸及工程量,并利用BIM自带渲染软件输出高质量动画及效果图。相比以往项目减少了专业间冲突的返工,减少了计算工程量的时间,减少了额外制作效果图或动画的成本。



图3 桥隧结合倾斜摄影图

该项目应用BIM技术后,取得了显著成效。设计效率提高了约30%,设计错误率降低了40%,项目总工期缩短了20%。此外,BIM技术的应用还促进了各参与方的协同工作,提高了沟通效率,减少了返工和浪费。

6 结语

本研究探讨了BIM技术在公路设计中的应用,分析了其在公路设计各阶段的具体应用方法和优势,并针对实施过程中可能遇到的挑战提出了相应对策。通过理论分析和实际案例研究,得出以下结论:

首先,BIM技术在公路设计中具有显著优势,能够提高设计效率和质量,促进各参与方的协同工作,为公路工程的全生命周期管理提供有力支持。其次,BIM技术在公路设计中的应用贯穿整个设计过程,从规划阶段到施工阶段,都能发挥重要作用。再次,BIM技术在公路设计中的应用仍面临技术标准不统一、人才短缺等挑战,需要采取相应对策加以解决。

最后,通过实际案例分析,验证了BIM技术在公路设计中的实际效果。案例表明,BIM技术的应用能够显著提高设计效率,减少设计错误,缩短项目工期,提高工程质量。

未来,随着BIM技术的不断发展和完善,其在公路设计中的应用将更加广泛和深入。建议相关部门加快制定和完善公路行业的BIM标准体系,加强BIM技术人才培养,鼓励BIM软件的研发和应用,推动BIM技术在公路设计中的全面推广和应用。

参考文献

- [1] 张明远,李华成. BIM技术在公路工程设计中的应用研究[J]. 交通工程, 2020, 20(3): 45-52.
- [2] 陈志强,王伟. BIM技术在高速公路设计中的应用研究[J]. 公路交通科技, 2018, 35(6): 89-95.
- [3] 刘建国,张明远. BIM技术在公路隧道设计中的应用[J]. 隧道建设, 2019, 39(5): 78-84.

Research on the innovation and application of mechanical drilling technology in geological exploration

Lei Sun

The First Geological Brigade of Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Handan, Hebei, 056001, China

Abstract

With the continuous development of social economy and the increasing demand for resources, geological exploration plays an increasingly important role in various industries. As a core technology in geological exploration, mechanical drilling technology has played an important role in the fields of mineral resources exploration, oil and gas exploration and groundwater resources exploration. In recent years, with the progress of science and technology, mechanical drilling technology has made significant progress in improving drilling efficiency, reducing cost, improving safety and other aspects. By analyzing the current application of mechanical drilling technology in geological exploration, discusses the technical problems and innovation development direction, mainly the new drilling equipment, intelligent drilling technology and drilling process improvement and innovation, aims to provide theoretical support for the development of mechanical drilling technology and practical guidance.

Keywords

mechanical drilling technology; geological exploration; drilling equipment; intelligent technology and technological innovation

地质勘探中机械钻探技术的创新与应用研究

孙雷

河北省地质矿产勘查开发局第一地质大队, 中国 · 河北 邯郸 056001

摘 要

随着社会经济的不断发展和资源需求的日益增加, 地质勘探在各个行业中的作用愈发重要。机械钻探技术作为地质勘探中的一项核心技术, 已在矿产资源勘探、石油天然气勘探以及地下水资源勘探等领域发挥了重要作用。近年来, 随着科技的进步, 机械钻探技术在提高钻探效率、降低成本、提升安全性等方面取得了显著进展。本文通过分析当前机械钻探技术在地质勘探中的应用现状, 探讨了其面临的技术难题及创新发展方向, 重点研究了新型钻探设备、智能化钻探技术以及钻探工艺的改进与创新, 旨在为未来机械钻探技术的发展提供理论支持与实践指导。

关键词

机械钻探技术; 地质勘探; 钻探设备; 智能化技术; 技术创新

1 引言

地质勘探是获取地下资源信息的关键环节, 对于国家资源战略的制定和社会经济的可持续发展具有重要意义。在地质勘探中, 机械钻探技术作为最基础的手段之一, 一直以来被广泛应用于煤炭、石油、天然气等矿产资源的勘探及地下水资源的开发。随着资源开采的逐步深入, 地质勘探对钻探技术的要求越来越高, 不仅需要高效、精准的钻探能力, 还要求更高的安全性与环境友好性。当前, 传统的钻探设备和工艺已无法完全满足复杂地质条件下的勘探需求, 因此, 创新机械钻探技术成为当前研究的重点。

本文将从机械钻探技术的演变、应用现状、面临的技

术挑战及创新方向等方面进行探讨, 分析现有技术的优缺点, 并针对性地提出相应的技术创新方案, 旨在推动机械钻探技术在地质勘探中的进一步发展与应用。

2 机械钻探技术的发展历程与现状

机械钻探技术经历了从传统手动钻探到现代自动化、智能化钻探的漫长发展过程。随着科技的进步, 钻探设备的种类和钻探工艺不断丰富, 极大提高了地质勘探的效率和精准度。

2.1 传统机械钻探技术的应用与局限

传统机械钻探技术主要依靠机械设备的动力传输进行钻进作业, 具有较高的劳动强度和较低的作业效率。虽然在早期的矿产资源勘探中取得了较好的应用效果, 但随着地质环境的不断复杂化, 传统钻探技术也暴露出一系列问题, 例如: 钻探速度较慢、钻具易磨损、对复杂地层的适应性差等。

【作者简介】孙雷 (1983-), 男, 中国河北大名人, 本科, 助理工程师, 从事地质机械研究。

这些问题不仅制约了勘探效率，也增加了勘探成本。因此，传统机械钻探技术逐渐显现出无法满足现代高效勘探要求的局限性。

2.2 现代机械钻探技术的发展与优势

现代机械钻探技术在不断创新的过程中，结合了自动化控制、智能化技术以及新型材料的应用，显著提升了钻探效率和安全性。例如，采用高功率钻机和先进的液压系统，使得钻探速度得到了极大提升；同时，智能化钻探技术能够实时监控钻探过程中的各项数据，精确控制钻探方向和深度，有效避免了因操作不当而导致的事故发生。这些技术的应用，不仅提高了资源勘探的精准度和效率，也降低了矿井等勘探作业的危险性。

2.3 机械钻探技术的广泛应用领域

机械钻探技术在矿产资源、油气资源以及地下水资源的勘探中都得到了广泛应用。在矿产勘探中，钻探技术可以帮助地质学家准确获取地下矿体的分布情况，预测矿产资源储量，进而指导资源开采。而在油气勘探中，机械钻探则被用于获取地下油气的具体分布、储量及其生产潜力；在地下水勘探中，钻探技术可用于查明地下水的储量及流向，对水资源的合理开发具有重要意义。

3 机械钻探技术面临的挑战与问题

尽管机械钻探技术取得了诸多进展，但在实际应用中仍然面临一系列技术难题。

3.1 复杂地质环境下的钻探难题

在“三软”地质条件（软岩、软煤、软围岩）和高温、高压等特殊地质环境下，传统的钻探技术面临着诸多挑战。由于这些特殊地质条件的复杂性，钻探过程中常常遇到设备磨损加剧、钻进阻力增加等问题，这不仅导致钻探进度缓慢，还增加了钻探过程中设备故障的概率。例如，软煤层的钻探过程中，钻头极易被削弱，导致钻进速度降低，严重时甚至会发生钻头卡滞的情况。更为严重的是，在软岩和软围岩环境下，岩层结构的稳定性差，容易发生地层坍塌、井壁破裂等安全事故，这对于勘探作业的安全构成了巨大威胁。尤其是在高温高压环境下，地下岩层的物理化学性质变化更加剧了钻探的难度，给传统钻探技术带来了不可忽视的挑战。因此，在这些复杂地质环境下，如何改进钻探工艺、提高钻探设备的适应性和稳定性，成为当前地质勘探领域亟待解决的问题。

3.2 钻探设备的技术瓶颈

虽然国内外已经研发了多种先进的钻探设备，但在一些特殊地质条件下，现有设备仍然面临显著的技术瓶颈，特别是在高温、高压的深井环境中。钻探设备往往在超负荷工作状态下容易出现故障，尤其是在承受极大压力的深井钻探中，钻具的受力过大，容易发生钻具损坏、钻头断裂等现象。此外，现有的钻探设备在极端条件下的稳定性和耐用性问题

仍然未得到根本解决，设备的频繁损坏导致了维修和更换成本的增加，这直接影响了钻探效率和勘探进度。传统钻探设备往往需要频繁地进行修复或更换，这不仅导致工期延误，还大大增加了作业成本。因此，如何提高钻探设备在特殊地质条件下的可靠性、提升其耐久性，成为目前钻探技术创新的重点。对于特定环境下的钻探需求，亟需开发更为适应性强、故障率低且能承受极端条件的钻探设备。

3.3 钻探成本控制问题

随着钻探深度的不断增加，机械钻探的整体成本也随之上升，尤其是在复杂地质环境下，钻探设备的能耗、维护和操作难度显著提高，进而导致钻探成本大幅增加。高成本的主要原因在于复杂地质条件下，钻探设备和工人需要面对更大的工作强度和更复杂的操作环境。例如，深井钻探需要使用更加专业和高效的钻探设备，而这些设备的采购、维护和运行成本都远高于常规钻探作业。

4 机械钻探技术的创新与应用前景

随着科学技术的不断发展，机械钻探技术已经步入一个全新的发展阶段，特别是在新型钻探设备、智能化钻探技术以及材料创新等方面取得了显著进展。这些技术创新不仅提高了钻探的效率，还提高了钻探的精准度和安全性，为地质勘探提供了更可靠的支持。钻探技术的发展，不仅限于设备的升级换代，更涵盖了整个钻探过程的智能化管理、材料的优化选择以及钻探工艺的革新，全面推动了资源勘探的高效开展。

4.1 新型钻探设备的创新

新型钻探设备的出现是机械钻探技术创新的核心推动力之一。现代钻探设备在动力系统、钻头技术、设备自动化等方面实现了多项突破。例如，大功率、高效率的钻机，使得钻探工作能够更加迅速地进行，尤其是在需要快速获取资源信息的油气勘探和矿产勘探中，能够大幅提高钻探速度，显著缩短了项目周期。此外，新型钻头的材料和设计理念的创新也极大提升了钻具的使用寿命和适应能力。这些钻头采用了更为先进的合金材料，使其在面对坚硬岩层或复杂地质环境时更加耐磨、耐高温，减少了钻探过程中由于磨损或设备故障引发的停机时间。与此相对应，新型钻具和钻探系统的结构优化设计，使得钻探过程中的振动和损耗得到有效减少，大幅降低了设备的维护频率，显著降低了勘探成本。因此，创新钻探设备不仅使钻探效率提升，也极大地降低了作业中的风险与成本，推动了资源的高效勘探。

4.2 智能化钻探技术的应用

智能化钻探技术的应用解决了传统钻探技术中人工干预过多、操作繁琐和难以精确控制的问题。通过自动化控制系统的引入，智能化钻探技术能够实时监控钻探过程中的多个关键参数，如钻探速度、钻进深度、钻头温度等，并根据实时数据自动调整钻探策略。这种高精度的控制方式使得钻

探过程中对地质结构的适应性增强,避免了以往人工操作带来的误差和安全隐患。在深井钻探过程中,智能化技术的优势尤为明显,通过计算机程序和数据采集系统,能够精确分析和预测地层变化,及时调整钻探参数,确保钻探进度的平稳推进。智能化钻探技术的应用不仅提高了钻探作业的精确度,还优化了资源获取的过程,减少了不必要的能源消耗,降低了钻探中的环境影响,从而推动了地质勘探领域的可持续发展。

4.3 材料与工艺的创新

在钻探设备的创新方面,材料的创新与工艺的改进发挥着至关重要的作用。钻头和钻具的材料创新,尤其是在耐高温、耐磨损、抗腐蚀等方面的提升,使得钻探设备能够在极为复杂和恶劣的地质条件下仍然保持高效工作。采用复合材料和高强度合金材料制作钻头,能够有效提高钻探设备的耐用性和适应性,减少了传统钻具的磨损和频繁更换,降低了设备维护成本。此外,钻探工艺的创新也是机械钻探技术发展的关键因素。例如,液压钻探技术的引入,通过液体压力的控制和调节,能够使钻头在较低的动力消耗下实现高效钻进,大大提高了钻探过程中的工作效率。气动钻探技术同样在某些特殊地质环境中得到了应用,利用气流的推动作用,使得钻探过程更加灵活、迅速且稳定。通过这些工艺创新,机械钻探不仅能够在更深、更复杂的地质层中顺利进行,还能在保障钻探效率的前提下,提升作业的安全性和稳定性。

5 案例分析与实际应用

通过对国内外多个典型地质勘探案例的深入分析,可以进一步验证机械钻探技术创新带来的显著效果。创新技术的应用在实际勘探中所取得的成功,不仅为地质勘探领域提供了宝贵的经验,也为未来相关技术的推广与应用提供了实践依据。

5.1 国内油气勘探中的应用案例

在国内某大型油田的勘探过程中,采用了新型的高功率钻机以及智能化钻探技术,成功突破了传统钻探技术在高温高压环境下的瓶颈。该油田的勘探工作要求能够在极端复杂的地质条件下快速、精准地获取地下油气资源的信息,传统的钻探技术已经无法满足这一需求。通过引入大功率钻机

和智能化控制系统,勘探团队不仅大大提高了钻探速度,还成功减少了钻探过程中出现的设备故障和钻头卡滞问题。新型钻探设备的应用,使得在数口深井钻探作业中,能够快速穿越多种地层,在最短时间内完成了任务,降低了勘探成本,并确保了作业的安全性和稳定性。

5.2 矿产勘探中的应用案例

某矿山在开展矿产资源勘探时,采用了新型的大功率钻机和智能化控制系统,通过技术手段成功提高了钻探效率。该矿山的矿体分布复杂,传统的钻探方法常常导致钻头卡滞和井壁破裂等问题,影响了勘探精度和作业安全。在这种情况下,新型钻机和智能控制系统的应用,实时监控了钻探过程中的各项数据,及时调整了钻探参数,并精确定位了矿体的分布。钻探过程中,设备的稳定性和高效性极大降低了事故的发生率,提升了矿产资源勘探的精确度,为矿山提供了科学合理的开采决策。

6 结语

机械钻探技术在地质勘探领域的应用具有举足轻重的地位,随着技术的不断创新与发展,机械钻探技术正在朝着高效、精准、安全的方向不断迈进。新型钻探设备、智能化钻探技术以及材料与工艺的创新,不仅提升了钻探效率,降低了成本,还提高了作业过程中的安全性和稳定性。尽管在实际应用中,仍然存在一定的技术难题,但随着科技的进步和各项技术的不断完善,机械钻探技术必将迎来更加广阔的应用前景,成为推动资源勘探和开采的核心技术之一。未来,随着智能化和自动化的进一步发展,机械钻探技术将继续为地质勘探提供强有力的技术支持,为资源的高效勘探和可持续发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 黄金桂,刘亚辉,牛永丰.地质勘查和深部地质钻探找矿技术分析[J].石化技术,2024,31(10):235-237.
- [2] 渠洪杰,谭春亮,冉灵杰,等.面向新一轮找矿突破战略行动绿色勘查的钻探技术研发与应用建议[J].中国矿业,2024,33(10):246-256.
- [3] 谷存磊.地质钻探工程施工的关键技术环节分析与应用[J].世界有色金属,2024,(18):178-180.
- [4] 孙焕泉,高楠安,吴陈冰洁等.中深层地热资源勘探开发技术与典型应用[J/OL].地学前缘, 1-13[2025-02-18]