 DOI: http://doi.org/10.26789/jzjg.v9i3.2041

Study on the Technological Transformation of Electric Locomotives and Mining Safety Standards

Fa Yang

Yuxi Mining Co., Ltd., Yuxi 653100, Yunnan, China

Abstract: This paper delves into the technological transformation of mining electric locomotives and its significance in enhancing the intrinsic safety of mining equipment. It analyzes the primary safety issues and technical challenges faced by current mining electric locomotives during operation, including electrical system failures, mechanical component wear, and operational errors. In response to these problems, a series of technological transformation measures are proposed, such as chopper control system optimization, intelligent charging system integration, and braking system improvements, aiming to enhance the operational efficiency and safety of the locomotives. Additionally, the requirements of national mining safety standards are discussed, along with how technological transformations can align the locomotives with these standards. This paper will contribute to reducing the accident rate of mining electric locomotives and mitigating potential safety hazards; it will elevate the overall safety management level of mining enterprises; and it will provide theoretical support and practical guidance for relevant technical personne.

Keywords: Mine electric locomotive; Technical modification; Essential safety; Mining safety standards

电机车技术改造与矿用安全标准研究

杨发

玉溪矿业有限公司，中国・云南玉溪 653100

摘　要：本文探讨了矿用电机车的技术改造及其对提升矿用设备本质安全的重要性。本文分析了当前矿用电机车在运行中面临的主要安全问题和技术挑战，包括电气系统故障、机械部件磨损和操作失误等。针对这些问题，提出了一系列技术改造措施，如斩波控制系统优化、智能充电系统集成和制动系统改进等，旨在提高电机车的运行效率和安全性。还讨论了国家矿用安全标准的要求，以及如何通过技术改造使电机车符合这些标准。本文将有助于降低矿用电机车事故率，减少安全隐患；提升矿山企业的整体安全管理水平；为相关技术人员提供理论支持和实践指导。

关键词：矿用电机车；技术改造；本质安全；矿用安全标准

1 引言

随着矿业开采深度和规模的不断增加，矿用设备的运行环境变得愈加复杂和严苛。矿用电机车作为井下运输矿物器材的重要工具，其安全性和可靠性直接影响到矿工的生命安全和矿山的生产效率[1]。然而传统的矿用电机车在电气系统、机械部件及操作管理等方面存在诸多问题，亟需进行技术改造以提升其本质安全水平。因此开展矿用电机车技术改造与矿用安全标准研究具有重要的现实意义。

2 矿用电机车技术现状及问题分析

2.1 矿用电机车技术特点

矿用电机车是矿山井下运输矿物器材的重要设备，按电源不同可分为直流电机车和交流电机车两大类。直流式电机车两种。架线式电机车通过受电弓从架空线上获取电能，而蓄电池式电机电机车按供电方式又分为架线式电机车和蓄电池车则依靠自身携带的蓄电池供电[2]。这两种电机车各有优缺点：架线式电机车功率大、爬坡能力强，但需要复杂的供电设施；蓄电池式电机车灵活性高、污染小，但续航里程有限。目前国内的架线式电机车有 1.5 吨、3 吨、7 吨、10 吨等多种规格，广泛应用于各类矿山的井下运输作业。

2.2 当前矿用电机车存在的问题

电气系统故障频发，由于井下环境恶劣，电机车的电气系统容易受到潮湿、粉尘等因素的影响，导致短路、断路等问题时有发生。机械部件磨损严重，长期使用后，电机车的轮轴、齿轮等关键部件会出现磨损，影响车辆的正常运行。操作失误风险高，部分司机操作技能不足或安全意识薄弱，容易导致操作失误，

引发安全事故。维护成本高，现有的矿用电机车维护不便，维修成本较高，影响了企业的经济效益。

2.3 技术改造的必要性

针对上述问题，进行技术改造显得尤为必要，通过优化电气系统设计，提高电机车的抗干扰能力和稳定性，减少电气故障的发生。采用新材料和新工艺，增强机械部件的耐磨性和使用寿命，降低维修频率[3]。引入智能化操作系统，提高驾驶的安全性和便捷性，减少人为操作失误。改进维护保养机制，简化维护流程，降低维护成本，提高设备的综合效益。

3 国家矿用安全标准概述

3.1 矿用窄轨架线式工矿电机车标准

根据国家安全生产监督管理总局发布的《矿用窄轨架线式工矿电机车》（MT/T 238.2—2006），该标准规定了矿用窄轨架线式工矿电机车的要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存等内容。标准适用于在含有爆炸性气体（甲烷）与煤尘的煤矿井下环境中使用的窄轨架线式工矿电机车，但不适用于无爆炸性气体和无腐蚀性介质的环境。该标准详细列出了电机车的型号、参数、技术要求以及相应的试验方法，确保电机车在使用过程中能够满足安全生产的需要。此外标准还对电机车的检验规则和包装、运输、贮存提出了具体要求，以确保产品在流通和使用过程中不受损坏。

3.2 防爆柴油机通用技术条件

《防爆柴油机通用技术条件》（GB/T 25285—2010）是另一项重要的国家标准，规定了防爆柴油机的术语和定义、产品型号、技术要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输和贮存的要求。该标准适用于在含有甲烷成分的煤矿、矿井和隧道等环境中使用的防爆柴油机，但不适用于压燃式发动机和复合式发动机。防爆柴油机在设计和制造过程中必须符合特定的防爆要求，以防止因设备故障或操作不当引发爆炸事故。此标准还强调了对产品进行严格的型式试验和例行检验，确保每台防爆柴油机都能达到规定的安全性能指标。

3.3 煤矿安全规程及相关条例

《煤矿安全规程》（最新版）是中国煤炭行业的基本法规之一，涵盖了煤矿建设、安全生产和管理的各个方面。其中涉及矿用设备的条款主要包括设备的安全要求、使用规范、维护保养等内容。规程明确要求煤矿企业必须定期对设备进行检查和维护，确保其处于良好的工作状态。规程还规定了煤矿企业应建立健全设备管理制度，配备专业的技术人员负责设备的日常管理和故障处理。违反规程的企业将面临严厉的法律制裁，以督促其严格遵守安全管理规定，保障煤矿生产和职工生命财产安全。还有《煤矿机电设备完好标准》等相关条例，对机电设备的管理提出了更为详细的要求，确保设备在整个生命周期内都能满足安全生产的需求。

4 矿用电机车技术改造方案设计

4.1 斩波控制原理及优化方案

斩波控制是一种通过快速开关器件来调节输出电压的技术，广泛应用于矿用电机车的电气系统中。斩波控制系统的核心在于利用高频开关动作实现对电压的精确控制，从而保证电机车的平稳运行。然而传统斩波控制系统在实际应用中存在开关损耗大、电磁干扰强等问题。为此提出以下优化方案：

4.1.1 引入软开关技术

通过在开关过程中加入缓冲电路，减少开关时的电流和电压应力，降低开关损耗，提高系统效率。

4.1.2 采用 IGBT 替代晶闸管

IGBT（绝缘栅双极型晶体管）具有开关速度快、饱和压降低等优点，能够显著改善斩波控制系统的性能。

4.1.3 优化控制算法

应用现代控制理论，如模糊控制、神经网络控制等，提高斩波控制系统的动态响应能力和稳定性。

4.2 智能充电系统设计

智能充电系统是矿用电机车技术改造的重要内容之一，其主要目标是提高充电效率、延长蓄电池寿命、确保充电过程安全可靠。具体设计方案如下：

4.2.1 多阶段充电模式

根据蓄电池的充电特性，将充电过程分为预充、恒流充、恒压充和浮充四个阶段，每个阶段采用不同的充电参数，最大限度地保护电池并提高充电效率。

4.2.2 温度补偿功能

在充电过程中实时监测电池温度，当温度超过设定值时自动调整充电电流，防止过热现象的发生。

4.2.3 智能监控模块

集成电压、电流、温度等多种传感器，实时监控充电状态并通过显示屏反馈给用户，确保充电过程透明可控。

4.3 撒砂装置及制动系统的改进

撒砂装置和制动系统是矿用电机车安全运行的关键部件。为了提高撒砂装置和制动系统的可靠性和安全性，提出以下改进措施：

4.3.1 撒砂装置改进

增加砂箱容量和砂量检测功能，确保在长时间运行中有足够的砂子供撒布；优化撒砂喷嘴的位置和角度，提高砂粒覆盖范围和效果。

4.3.2 制动系统升级

采用先进的气动或液压制动系统，提高制动力矩和响应速度；增加紧急制动功能，在突发情况下能够迅速停车；定期检查和维护制动系统，确保其始终处于良好工作状态。

4.3.3 智能控制单元

引入微处理器控制的智能控制单元，实时监测车轮转速和制动压力，根据路况自动调整撒砂量和制动力矩，提高行车安全性。

4.4 其他辅助系统的优化

4.4.1 照明系统改造

采用LED光源代替传统白炽灯或卤素灯，提高照明亮度和能效；增加防护罩和反光镜，扩大照明范围和效果。

4.4.2 通信系统升级

引入无线通信模块，实现电机车与调度中心之间的实时数据传输；配备车载显示屏和语音提示功能，方便驾驶员及时获取信息和指令。

4.4.3 安全防护装置完善

安装倒车影像系统、超声波测距仪等装置，帮助驾驶员掌握周围环境情况；设置紧急逃生门和灭火器材，提高应急处理能力。

5 技术改造方案的实施与评估

5.1 技术改造实施步骤

5.1.1 前期准备

在项目启动之初，首先应成立一个专门的技术改造项目组。该小组由项目经理、技术专家、现场工程师以及相关支持人员组成，明确各成员的职责分工，确保每个环节都有专人负责。制定详细的施工方案和技术路线图，包括技术改造的目标、预期效果、所需资源、时间安排等。还需采购所需材料和设备，确保质量合格且符合相关标准。为了提高效率和降低成本，建议选择信誉良好的供应商，并进行严格的质量控制。

5.1.2 现场勘查

对现有矿用电机车进行全面检查和评估是至关重要的一步。通过记录各项技术参数和存在的问题，可以更准确地了解现状，为后续的设计提供依据。在此过程中，应与现场操作人员充分沟通，了解他们在日常使用中的实际需求和遇到的问题。这不仅有助于发现潜在隐患，还能为改进设计提供宝贵的第一手资料。

5.1.3 方案设计

根据现场勘查的结果和技术要求，设计具体的改造方案。这一阶段需要绘制详细的施工图纸和技术文档，并编制预算报告。设计方案应充分考虑到安全性、可靠性和经济性，尽量采用成熟可靠的技术和产品。还需要考虑到未来的维护和升级需求，确保设计方案具有一定的前瞻性和灵活性。完成初步设计后，应提交给上级部门审批，并根据反馈意见进行调整优化。

5.1.4 施工改造

按照批准后的设计方案进行现场施工。施工过程中要严格执行各项工艺流程和技术规范，确保每一道工序都达到预期标准。特别是在电气系统安装、机械部件更换等关键环节，更要加强监督和管理，防止出现任何差错。此外还应加强安全管理，制定应急预案，确保施工过程中不发生安全事故。对于高风险作业，如高空作业、电气作业等，必须配备专业的安全设备和人员。

5.1.5 调试验收

施工完成后，需要进行全面的调试工作，确保所有设备正常运行。调试过程中要重点关注电气系统的稳定性、机械部件的配合度以及整车的性能表现。调试结束后，邀请相关部门进行验收评审。验收内容包括外观检查、功能测试、性能验证等多个方面。对于发现的问题，要及时整改直至达标为止。只有通过严格的验收程序，才能保证改造后的矿用电机车真正具备投入使用的条件。

5.1.6 培训推广

为了确保新设备的顺利投入使用，还需组织相关人员参加技术培训。培训内容应涵盖设备的基本操作方法、日常维护保养技巧、常见故障排除等方面。通过理论讲解和实际操作相结合的方式，让学员全面掌握相关知识技能。编写详细的用户手册和技术资料，供操作人员随时查阅参考。将成功经验推广应用于其他矿区或单位，形成良好的示范效应，推动整个行业的技术进步。

5.2 实施过程中的技术难点及解决方案

5.2.1 电气系统兼容性问题

新旧电气元件之间可能存在不匹配的情况。解决方案是选用标准化、模块化的电气组件；必要时进行定制开发以满足特殊需求。在选择控制器时，可以考虑采用通用性强的产品，这样即使未来需要更换也能快速适应。另外还可以通过软件升级来提高系统的兼容性和扩展性。

5.2.2 机械部件磨损严重

长时间运行导致部分机械部件磨损加剧。解决方案是采用高强度耐磨材料制造易损件；定期更换和维护关键零部件以延长使用寿命。对于轴承、齿轮等容

易磨损的部位，可以使用硬质合金或陶瓷材料制作。建立完善的保养制度，定期对重要部件进行检查和润滑，减少磨损速度。

5.2.3 智能化控制系统开发难度大

智能控制系统涉及多个学科领域知识。解决方案是组建跨学科研发团队；引入外部专家资源提供技术支持；分阶段逐步实现智能化目标。可以从基础功能做起，逐步增加高级功能。利用现有的成熟技术和平台，如物联网、大数据等，加快开发进度。加强与高校和科研机构的合作，共同攻克关键技术难题。

5.2.4 成本控制压力大

技术改造往往伴随着较高的投入成本。解决方案是合理规划预算开支；优先选择性价比高的产品和服务供应商；争取政府补贴或其他形式的资金支持减轻企业负担。可以通过招标方式选择供应商，降低采购成本。积极申请国家和地方的相关扶持政策，获得更多的财政援助。还可以探索多元化融资渠道，如银行贷款、股权融资等方式筹集资金。

5.3 改造效果评估方法

5.3.1 性能测试对比

选取典型工况条件下对改造前后的矿用电机车进行性能测试对比分析。重点考察启动加速性能、爬坡能力、续航里程等关键指标变化情况。通过对比数据可以看出改造是否达到了预期目标。例如可以通过实测车辆在不同坡度下的行驶速度来判断其动力性能是否有所提升。此外，还可以通过模拟恶劣环境下的工作状态来检验车辆的可靠性和稳定性。

5.3.2 故障率统计

跟踪记录一段时间内改造后的矿用车故障发生频次及类型分布特征。计算平均无故障工作时间 MTBF 值并与历史数据对比验证可靠性提升程度。通过对故障数据的深入分析，可以找出薄弱环节并加以改进。如果发现某个部件频繁损坏，则应考虑更换更耐用的材料或者优化设计结构。还应建立健全的售后服务体系，及时处理用户反馈的问题。

5.3.3 用户满意度调查

向一线操作人员发放问卷调查表收集反馈意见。了解他们对新设备操作便捷性、安全性等方面的评价打分情况作为参考依据之一。用户满意度是衡量改造成功与否的重要标准之一。因此，在项目完成后应及时开展满意度调查活动。调查内容应涵盖设备的操作难易程度、故障率高低、维修方便程度等多个方面。根据调查结果调整和完善后续工作计划。

5.3.4 经济效益分析

基于实际运营数据测算改造后带来的节能减排效果以及维护成本节省额度等方面经济收益情况。综合考量投资回报率 ROI 值判断整体经济效益好坏程度。经济效益分析不仅包括直接的成本节约，还包括间接的社会效益如减少环境污染等。

6 结束语

未来随着技术的不断进步和安全标准的持续完善，矿用电机车将朝着更加智能化、高效化和环保化的方向发展。这不仅需要企业和科研机构的共同努力，更需要政府部门的政策支持和监管引导。只有这样，才能真正实现矿山生产的本质安全，保障矿工的生命财产安全，推动矿业经济的高质量发展。

参考文献

[1] 卢艳君 . 煤矿井下电机车安全防护系统的设计与实现 [J]. 机械工程与自动化 ,2021(5):216–217.

[2] 曹凤金 , 郭淼 , 李富伟 . 矿井电机车控制装置安全性能试验系统设计 [J]. 矿业研究与开发 ,2022,42(08):173–177.

[3] 王盼盼 . 矿用电机车无人安全驾驶技术研究 [J]. 西部探矿工程 ,2024,36(3):46–49.