

地铁机电维护工程安全风险分析与控制

许 锐

昆明地铁运营有限公司 云南 昆明 650000

摘 要:随着城市轨道交通快速发展,地铁运营里程不断增加,机电维护工程的安全管理愈发关键。本文聚焦地铁机电维护工程安全风险,系统分析设备设施、作业环境、人员操作与管理等方面的风险因素,引入故障树分析等多种评估方法构建风险评估体系。针对识别出的风险,提出设备设施预防性维护、作业环境安全保障、人员安全管理培训及安全管理制度优化等控制策略。研究成果为提升地铁机电维护工程安全管理水平提供理论依据与实践指导,有助于降低维护过程中的安全风险,保障地铁系统安全稳定运行。

关键词:地铁机电维护工程;安全风险分析;控制策略

引言:地铁机电系统复杂,维护工作时效性强、专业性高、风险性大,现有安全风险问题严重威胁运营安全与人员生命财产。但当前针对地铁机电维护工程安全风险的系统性研究尚不完善。本文基于此背景,深入剖析安全风险,探索有效评估方法与控制策略,旨在填补研究空白,为地铁运营企业安全管理提供有力支持。

1 地铁机电维护工程概述

地铁机电系统是保障地铁安全、高效运行的关键,其组成复杂且功能多元。该系统涵盖通风空调、给排水、动力照明、电扶梯、屏蔽门、消防等子系统。通风空调系统调节站内温湿度与空气质量;给排水系统负责站内供水与污水排放;动力照明系统为各设备及车站提供电力与照明;电扶梯方便乘客快速通行;屏蔽门保障乘客候车安全;消防系统则在火灾等紧急情况时发挥关键作用。地铁机电维护工程具备以下鲜明特点。(1)高时效性。地铁运营时间长,维护工作需在有限的非运营时段内完成,对维护效率要求极高。(2)高专业性。机电系统设备精密复杂,涉及机械、电气、自动化等多学科知识,要求维护人员具备扎实的专业技能。(3)高风险性。作业环境存在有限空间、高空、带电等风险因素,稍有不慎易引发安全事故。在维护工程流程与模式上,通常遵循“计划检修为主,故障维修为辅”的原则。流程包括维护计划制定、作业前准备、现场维护实施、质量检验与验收等环节。维护计划依据设备运行状况、使用年限等制定;作业前需完成安全交底、工具材料准备;现场维护严格按操作规程执行;质量检验则确保维护效果达标。维护模式主要有预防性维护、状态检修和事后维修^[1]。预防性维护定期对设备进行检查、保养和更换部件;状态检修通过监测设备运行参数判断健康状态,针对性开展维护;事后维修则是在设备故障后进行修

复,三种模式相互补充,保障地铁机电系统稳定运行。

2 地铁机电维护工程安全风险

2.1 工程设备设施安全风险

地铁机电设备设施是维持地铁正常运转的核心,电气设备方面,长期运行可能导致线路老化、绝缘层破损,进而引发短路、漏电事故,不仅会造成设备损坏,还可能威胁维护人员生命安全。配电柜内部线路接触不良,产生的电火花可能引燃周边易燃物,酿成火灾。电气元件如继电器、接触器等,频繁动作易出现触点氧化、粘连,导致设备控制失灵,影响地铁正常调度。机械部件老化风险同样显著。地铁的电扶梯、通风系统风机等设备的轴承、齿轮,在长时间高负荷运转下,磨损加剧,强度下降。一旦机械部件断裂、脱落,可能造成设备骤停、部件飞出等危险情况。特种设备中的电梯,若曳引系统故障,会引发轿厢坠落或冲顶;压力容器如压缩空气罐,因腐蚀、超压等原因,存在爆炸风险,严重威胁站内人员安全。

2.2 作业环境安全风险

地铁机电维护的作业环境存在诸多潜在危险。有限空间作业环境复杂,电缆沟、通风井等区域空气流通差,易积聚甲烷、硫化氢等有毒有害气体,同时氧气含量可能不足。维护人员贸然进入,可能因吸入有害气体中毒昏迷,或因缺氧导致窒息。有限空间空间狭窄,救援难度大,一旦发生意外,后果不堪设想。高空作业也是风险高发场景。在对地铁顶部的照明设备、接触网等进行维护时,若安全防护措施不到位,如未正确佩戴安全带、作业平台稳定性差,维护人员稍有不慎就会发生坠落事故,造成重伤甚至死亡。交叉作业风险在地铁运营时段或多工种协同作业时尤为突出。不同工种作业区域重叠、时间交叉,容易因信息沟通不畅、操作协调不

当,引发物体打击、机械伤害等事故。

2.3 工程人员操作与管理安全风险

人员操作风险源于个体的技能与意识问题。部分维护人员专业知识欠缺,对新型设备的原理、操作规范不熟悉,在维护过程中可能因错误操作引发设备故障或安全事故。安全意识淡薄的人员,常抱有侥幸心理,违反安全操作规程,如不按规定流程断电、未进行验电就开展检修工作,极大增加触电风险。管理层面的漏洞也加剧了安全风险。安全管理制度不完善,缺乏对维护流程的细化规定与严格监督,导致维护工作随意性大,关键环节容易疏漏。培训体系不健全,新员工入职培训不足,老员工缺乏定期技能更新培训,使人员整体素质难以满足安全维护需求^[2]。应急管理体系缺失或不完善,在面对突发安全事件时,无法迅速响应、有效处置,可能导致事故影响扩大,造成更严重的损失。

3 地铁机电维护工程安全风险评估方法

科学的风险评估方法是有效管控风险的前提。常用的风险评估方法有故障树分析(FTA)、事件树分析(ETA)、层次分析法(AHP)、风险矩阵法等。故障树分析通过自上而下的逻辑推理,找出导致事故发生各种原因组合;事件树分析则从初始事件出发,分析后续可能发生的事件序列及后果;层次分析法将复杂问题分解为多个层次,通过两两比较确定各因素权重;风险矩阵法则根据风险发生的可能性和后果严重程度划分风险等级。

构建地铁机电维护工程安全风险评估指标体系时,需综合考虑设备设施、作业环境、人员操作和管理体系等维度。在设备设施方面,选取设备故障率、维护周期等指标;作业环境方面,纳入有限空间有害气体浓度、高空作业防护措施完备率等指标;人员操作方面,涵盖人员持证上岗率、违规操作次数等指标;管理体系方面,包含制度完善度、应急演练频率等指标。

风险等级划分通常采用定性与定量结合的方式。将风险等级划分为低风险、一般风险、较大风险和重大风险四级。低风险指发生可能性小且后果轻微,可接受或稍加控制即可;一般风险需采取一定措施降低风险;较大风险需制定专项方案进行管控;重大风险则必须立即停止相关作业,采取有效措施消除风险后方可恢复^[3]。通过明确的风险等级划分,便于维护管理人员根据不同风险级别,精准制定并实施相应的风险控制策略。

4 地铁机电维护工程安全风险控制策略

4.1 设备设施预防性维护策略

设备设施的预防性维护是降低故障风险、保障地铁

机电系统稳定运行的关键举措,需采取以下策略:(1)建立基于状态监测的维护机制。通过在电气设备中安装温度传感器、局部放电检测仪,实时监测设备运行参数,如电缆接头温度、开关柜局部放电量等,利用大数据分析技术,预测设备故障趋势,提前安排维护计划,避免故障突发。对于机械部件,可采用振动监测、油液分析等手段,监测轴承振动频率、润滑油金属颗粒含量,判断部件磨损程度,及时更换老化部件。(2)制定科学合理的维护周期。结合设备设计寿命、历史故障数据及实际运行工况,对不同类型设备设定差异化维护周期。如对于电扶梯等高频使用设备,缩短润滑、紧固等常规维护周期;对于通风空调系统的大型风机,依据运行小时数制定针对性维护计划,确保设备在最佳状态下运行。建立设备维护档案,详细记录每次维护的时间、内容、更换部件等信息,为后续维护策略优化提供数据支持。(3)引入先进的维护技术和设备。推广智能巡检机器人在地铁隧道、设备房的应用,通过机器人搭载的高清摄像头、红外热像仪等设备,实现对设备的全方位、无死角巡检,提高巡检效率和准确性。应用激光对中技术进行机械部件的安装与校准,保证设备运行的同轴度,降低机械磨损风险。此外,积极探索新技术在设备维护中的应用,如3D打印技术,可快速制造设备应急维修所需的非标零部件,缩短设备停机时间。

4.2 作业环境安全保障措施

作业环境的安全保障是地铁机电维护工程顺利开展的基础,具体策略如下:(1)针对有限空间作业,需严格执行以下“先通风、再检测、后作业”的原则。在进入电缆井、通风管道等有限空间前,使用大功率风机进行强制通风,确保空气流通;采用气体检测仪对空间内氧气、可燃气体、有毒有害气体浓度进行实时检测,只有当各项指标符合安全标准后,作业人员方可进入,且作业过程中持续监测气体浓度。为作业人员配备正压式空气呼吸器、气体报警仪等防护设备,设置紧急逃生通道和救援设备,确保发生意外时人员能够迅速撤离。(2)对于高空作业,要加强作业平台和防护设施管理。选用符合国家标准的高空作业平台,作业前对平台的稳定性、防护栏杆牢固性进行检查,确保平台安全可靠。作业人员必须正确佩戴安全带,并将安全带高挂低用,固定在可靠的锚点上。在作业区域下方设置警戒标识,安排专人监护,防止无关人员进入,避免高空落物伤人。根据天气情况合理安排高空作业,遇大风、暴雨等恶劣天气,严禁进行高空作业。(3)针对交叉作业,建立统一的协调管理机制。在多工种交叉作业前,由项目

负责人组织各工种负责人召开协调会议,明确各工种的作业区域、作业时间、作业顺序,制定详细的交叉作业方案。作业过程中,设置专职安全员进行现场协调和监督,确保各工种之间信息畅通,避免因操作冲突引发安全事故。要求作业人员佩戴明显的身份标识,便于识别和管理,减少误操作风险。

4.3 人员安全管理与培训方案

人员是地铁机电维护工程的主体,加强人员安全管理与培训是降低人为风险的核心,需做好以下方面:

(1)在人员安全管理方面,严格执行持证上岗制度,确保维护人员具备相应的专业资质和技能。建立人员安全绩效考核机制,将安全作业情况纳入绩效考核体系,对安全意识强、作业规范的人员给予奖励,对违规操作、安全意识淡薄的人员进行处罚,形成良好的安全作业氛围。关注作业人员的身体和心理健康,定期组织体检,避免带病作业;开展心理健康辅导,缓解作业人员的工作压力,防止因疲劳、情绪波动等因素引发安全事故。

(2)在人员培训方面,构建分层分类的培训体系。新员工入职时,开展系统的岗前培训,内容涵盖安全法律法规、地铁机电系统基础知识、安全操作规程、应急救援知识等,培训结束后进行严格考核,考核合格方可上岗。对于在职员工,定期组织技能提升培训,邀请行业专家、技术骨干进行授课,讲解新技术、新设备的应用和维护方法;开展案例分析培训,通过分析典型安全事故案例,总结经验教训,提高员工的风险识别和应急处置能力。(3)利用虚拟现实(VR)、模拟仿真等技术,为员工提供沉浸式的培训体验,让员工在模拟环境中进行实操训练,增强培训效果。

4.4 优化安全管理制度

完善的安全管理制度是地铁机电维护工程安全风险控制的重要保障,建议做好以下方面:(1)健全安全责任制度,明确从项目负责人到一线作业人员的各级安全责任,签订安全责任书,将安全责任层层落实。建立安全责任追究机制,对因责任不落实导致安全事故的,严

格追究相关人员责任。(2)优化安全监督制度,加强日常安全巡检和专项安全检查,采用定期检查与不定期抽查相结合的方式,对维护作业过程中的安全隐患进行排查。利用信息化手段,开发安全隐患排查治理系统,实现隐患的发现、上报、整改、验收全流程闭环管理,提高隐患整改效率。(3)完善应急管理制度。制定全面、科学的应急预案,针对不同类型的安全事故,如电气火灾、设备故障、人员伤亡等,明确应急处置流程、各部门职责和应急资源调配方式。定期组织应急演练,检验和完善应急预案的可行性,提高应急队伍的协同作战能力和应急处置水平。对应急物资进行规范化管理,建立应急物资储备清单,定期对应急物资进行检查、维护和更新,确保应急物资处于良好备用状态。(4)建立安全文化建设制度,通过开展安全知识竞赛、安全宣传活动、安全标兵评选等活动,营造浓厚的安全文化氛围,提高全体员工的安全意识和安全素养,使安全理念深入人心^[4]。

结束语:本研究全面完成了地铁机电维护工程安全风险分析与控制策略的研究,明确了风险类型,构建了科学评估体系,提出的控制策略具有较强实用性与可操作性。研究成果对地铁运营企业提升安全管理水平、降低事故发生率意义重大。但随着地铁技术发展与新设备应用,安全风险将呈现新特点,未来需持续关注新技术带来的风险,进一步优化风险评估与控制方法,推动地铁机电维护安全管理水平不断提升。

参考文献

- [1]朱勇飞,朱汉文.地铁轨道机电设备的有效维护方式研究[J].科技创新与应用,2019(2):188-189.
- [2]李显林.地铁机电设备维护维修管理的经济性[J].大众标准化,2022(19):81-83.
- [3]张久生.地铁机电设备维护管理探讨[J].砖瓦世界,2019(6):150-151.
- [4]王坤.地铁机电系统运行安全风险评估与防范措施研究[J].数字化用户,2025(2):172-174.