

地勘施工设备管理体系在母杜柴登煤矿野外施工中的应用

闫松松

中国煤炭地质总局一一九勘探队 河北 邯郸 056011

【摘要】：在地勘行业中，机电设备作业环境较为复杂、工况也比较恶劣，设备安全事故风险比较突出，对生产安全和生产效率产生制约作用，本文以母杜柴登井田勘探地勘机电设备为研究对象，系统开展安全风险评估与防控体系构建。剖析设备、环境、人为三类风险致因，搭建 AHP 与模糊综合评价相结合的定性定量评估模型，精准量化风险等级；立足沙地野外、地层复杂及施工难度大，构建技术、管理、人员、应急四位一体全生命周期防控体系。实践证明，该体系可精准识别研判风险，应用成效显著，助力项目提前完工，为复杂工况地勘设备安全运行提供可行方案。

【关键词】：地勘机电设备；安全风险评估；防控体系

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.032

本文以母杜柴登煤矿大口径作业施工项目为例，以钻探设备及配套辅助系统等地勘机电设备为研究对象，系统开展安全风险评估与防控体系构建研究。通过深度剖析设备固有缺陷、特殊环境交互、人为管理疏漏三类核心致因，搭建融合层次分析法与模糊综合评价法的定性定量结合评估模型，实现设备多源动态风险的精准识别与等级量化。立足项目毛乌素沙地野外、地层复杂、施工难度大，从技术保障、管理优化、人员赋能、应急响应四大维度，搭建覆盖设备全生命周期的闭环防控体系。实践应用证实，该评估模型与防控体系适配性强、管控成效突出，既有效化解各类设备安全风险，又助力项目高效推进、提前完成施工节点，为复杂地质工况下地勘机电设备安全高效运行提供了科学可行的实操方案。

1 地勘机电设备安全风险评估

母杜柴登项目地勘机电设备，是指服务于该矿井田补充勘探、采空区治理、水文地质探查等作业的各类机械设备。结合项目作业需求，主要涵盖钻探设备及钻机辅助配套系统（起升、动力传动系统等）。针对该项目地勘机电设备开展安全风险评估，是构建项目安全防控体系的关键前提，核心是系统识别危害、分析致因、量化风险等级，为制定针对性防控策略提供科学依据。结合项目特点，其设备安全风险具有多源性、动态性特征。

1.1 风险影响因素

母杜柴登项目地勘机电设备安全风险的产生，是设备自身状态、项目特殊作业环境及人为管理活动交互作用的结果。

1.1.1 设备固有因素

这是风险核心根源，结合项目实际分为三类：一是设计选型缺陷，部分设备未充分考虑项目深孔钻探、大口径施工，存在安全防护适配性差、材质强度等级不达标等问题，材料选型未适配矿井泥浆、岩粉的腐蚀磨损环境；二是性能老化劣化，设备长期在高压、高磨损工况下运行，钻杆、钢丝绳等关键零部件易出现疲劳裂纹、绝缘下降等问题；三是维护保养缺失，

因项目野外连续施工、工期紧张，设备预防性维修不足，长期“带病”运转，小隐患易扩大为安全事故。

1.1.2 环境交互作用

项目环境特殊性放大了设备风险：一是地面自然环境，项目地处毛乌素沙地，冬季低温导致设备启动困难、材料脆化，大风沙尘损毁电气系统，暴雨引发设备基础沉降；二是现场作业环境，施工场地空间狭小、通道局促，设备转运、就位、作业过程中极易发生剐蹭、碰撞，场地受限加剧设备磕碰风险；三是工况负荷多变，钻探中易出现卡钻、埋钻等异常，造成设备瞬时过载，引发部件损毁。

1.1.3 人为和管理因素

人为和管理因素往往会触发风险或放大风险，一是操作行为不当，操作人员未严格遵循规程，如超速、超载运行，违规穿越带电体，检修未执行停电挂牌上锁制度；二是安全意识和技能不足，从钻井机班长对设备风险认识不清，缺乏必要的故障识别、应急处置能力。除此之外，项目安全管理体系缺陷也不容忽视，如安全规章制度不健全或流于形式；项目安全检查浮于表面，未能深入识别隐患；安全投入不足，必要的监测、防护设备配备不全。

1.2 风险评估方法模型

为克服主观经验判断的局限性，需采用结构化的评估方法，下文将主要阐述一种结合层次分析法（AHP）和模糊综合评价法的模型，促成“定性+定量”有机融合。

1.2.1 建立指标体系

结合风险因素的分析，可以设计多层次评估指标体系，目标层是整个指标体系的宏观任务，为“地勘机电设备安全风险等级”；准则层可以细化成“设备状态（B1）”、“环境交互（B2）”、“人为管理（B3）”三个一级指标，每个一级指标下再细分若干二级指标（子因素），参考方案可见表1。

表1 多层次风险评估指标体系

目标层	地勘机电设备安全风险等级	
准则层	设备状态	结构完整性、安全装置有效性、维护保养状况
	环境交互	地理气候条件、地下空间条件、工况负荷特性
	人为管理	操作规程执行度、人员安全技能、管理体系完备性

1.2.2 AHP 确定权重

和地勘领域机电专家、高级技术人员合作，比较判断不同层级指标之间的相对重要性，构建判断矩阵，经过计算、一致性检验，理清指标相对于上层目标的权重向量（W），保证评估可以反映不同因素对于总体风险的切实影响程度。

1.2.3 模糊综合评价

设定评语集 $V=\{\text{低风险, 较低风险, 中等风险, 较高风险, 高风险}\}$ ，评估小组根据现场检查、历史数据、监测记录等，对最底层的各项指标隶属于各评语等级的程度进行打分，形成模糊关系矩阵（R）；利用合适的合成算子，将权重向量（W）与模糊关系矩阵（R）合成，得到对目标层的模糊综合评价结果 $B=W \cdot R$ ；最后，通过加权平均或最大隶属度原则，将模糊结果清晰化，确定最终的风险等级。

1.2.4 评估流程

评估实施遵循“开钻准备→现场检测→数据采集→专家打分→模型计算→结果分析→报告编制”的闭环流程，确保评估工作的规范性与结果的可靠性。

2 地勘机电设备安全风险防控体系构建

结合母杜柴登野外地勘项目实际，聚焦项目中钻探机、空压机、发电机组等核心机电设备的使用场景，以“消除、预防、减弱、隔离、连锁、警告、个体防护”的层次化安全原则为指导，构建“技术-管理-人员-应急”四位一体的安全风险防控体系，形成纵深防御网络，见图1。



图1 地勘机电设备安全风险防控体系架构图

2.1 技术保障

技术保障子系统是地勘机电设备安全风险防控的核心支

撑，立足母杜柴登项目野外施工地形复杂、风沙大、作业环境多变的实际，以“本质安全升级+精准状态感知”为核心，精简细化风险评估要点，将技术防控理论落地到项目实操中。本质安全强化方面，结合项目设备使用现状，先对所有进场机电设备开展精简版安全风险评估，重点排查设备老化、防护缺失、性能不达标等核心风险点，对老旧钻探机的制动系统、空压机的压力保护装置进行升级改造，将原有热磁保护装置替换为灵敏度更高的电子式保护器，新增设备故障快速响应接口，从设备设计与改造层面规避安全隐患，同时严格落实设备进场检验制度，杜绝不合格设备投入施工。状态感知优化方面，摒弃复杂的理论架构，结合项目施工需求，为核心设备布设简易高效的状态监测点，重点监测钻探机钻进压力、发电机组运行温度、空压机气压等关键参数，建立“每日监测-数据记录-异常预警”的实操机制，安排专人负责数据整理分析，及时发现设备运行中的细微异常，比如针对项目中发电机组频繁出现的过热问题，通过状态监测数据精准定位故障根源，采取散热优化措施，有效降低故障发生率。

2.2 管理优化

管理优化子系统是防控体系落地的关键，围绕母杜柴登项目机电设备“进场-使用-维护-退场”全生命周期，精简细化管理流程与风险评估内容，将全生命周期管控理论转化为项目可落地的管理举措，避免管理形式化。进场阶段，结合项目施工任务，精准评估设备适配性，筛选符合野外风沙环境作业要求的机电设备，建立设备进场台账，详细记录设备型号、性能参数、检验报告等核心信息，同步完成设备安全风险初评，明确各设备的风险等级与防控重点。使用阶段，制定针对性的设备操作规程，精简冗余条款，重点规范钻探机、空压机等设备的操作流程，明确操作人员岗位职责，实行设备包机制度，每人负责特定设备的日常使用与基础检查，杜绝违规操作；同时结合项目施工进度，定期开展设备使用风险复评，及时调整防控措施。维护阶段，推行“施工季日常保养+修整季深度检修”的双轨保养模式，根据设备运行状态与监测数据，制定个性化维护计划，重点排查设备磨损、线路老化、润滑不良等问题，建立维护台账，确保维护工作可追溯，比如针对项目中钻探设备润滑不良的问题，严格落实油品检测与更换制度，及时处理油品污染问题，规避设备损伤。退场阶段，对设备进行全面检测、维修与保养，评估设备剩余价值与安全性能，做好设备封存或转运记录。

2.3 人员赋能

人员赋能子系统是防控体系的核心发力点，立足母杜柴登项目野外施工人员技能水平参差不齐的实际，摒弃纯理论培训，将人员赋能理论与项目实操培训深度融合，精简细化培训内容 with 考核标准，通过“培训-实操-考核”的闭环模式，全面提升施工人员的安全素养与操作技能。安全素养提升方面，结

合项目设备安全风险特点,开展针对性的安全培训,重点讲解设备安全风险识别方法、安全操作规程、应急处置基础常识,摒弃复杂的理论讲解,聚焦项目中常见的设备安全隐患,比如钻探机卡钻、发电机组漏电等风险的识别与防范,通过案例分析、现场讲解的方式,强化施工人员的安全意识,树立“安全第一、预防为主”的理念,同时定期开展安全警示教育,通报同类项目设备安全事故案例,让施工人员深刻认识到违规操作的危害。操作技能提升方面,推行“老带新”实操培训模式,安排经验丰富的技术人员现场指导,针对项目核心机电设备的操作流程、日常检查方法、常见故障处理技巧,开展手把手教学,让新员工快速掌握实操技能。

2.4 应急响应

应急响应子系统是防控体系的最后一道屏障,结合母杜柴登项目野外施工偏远、应急救援难度大、设备故障易引发安全事故的实际,精简细化应急响应流程与风险评估内容,将应急管理理论转化为项目可落地的应急举措,确保事故发生后能够快速、高效处置,最大限度降低损失。首先,结合项目设备常见安全风险,精简风险评估流程,重点识别钻探机卡钻、空压机爆炸、发电机组火灾等高频事故风险,制定针对性的应急处置预案,摒弃复杂的理论框架,明确应急组织机构、岗位职责、处置流程、物资调配等核心内容,确保预案简洁实用、可操作性强。其次,组建项目应急救援小组,选拔具备设备操作经验、

应急处置能力的人员组成,定期开展应急演练,演练无预设脚本,模拟项目中常见的设备安全事故场景,让救援人员依据岗位职责开展现场应急处置,提升应急响应速度与协同作战能力,比如模拟钻探机卡钻、人员机械伤害等场景,演练故障排查、人员救援、设备抢修等流程。同时,在项目现场配备充足的应急物资,包括急救箱、灭火器、设备抢修工具等,定期检查物资完好情况,确保应急时能够正常使用,建立应急物资台账,实行专人管理、定期补充。

3 结语

总体来说,地勘机电设备安全风险属于较为复杂的系统性工程,其传统模式下单一旦静态的措施很难有效面对动态化风险特征,通过此项目中构建风险评估模型、安全风险防控体系,在此基础上涵盖技术、管理、人员、应急四个维度的“纵深防御”型防控体系,该体系紧扣母杜柴登项目沙地野外工况,覆盖设备全生命周期,实现风险识别、分析、防控、处置闭环管控。实际应用成效突出,八个大口径钻孔钻进全程实现机电设备、孔内零事故,设备故障锐减、施工效率提升,助力项目提前完工,规避工期与经济损失。实践证明,这套评估与防控体系适配项目复杂工况,能有效消除地勘设备风险,为项目安全推进、管理提质提供坚实支撑,具备较强实践与推广价值。

参考文献:

- [1] 张松.BIM 在建筑机电安装以及机电管线中的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2022(2):103-106.
- [2] 朱峰.机电设备安装工程的质量安全风险防控体系建设[J].建筑·建材·装饰,2025(9):52-54.
- [3] 武瑞斌,武美君.电气设备智能化改造中的安全风险防控与应对策略[J].机电安全,2025(9):24-27.
- [4] 王江凡.公路隧道机电设备失效风险评估及防控策略研究[J].工程技术研究,2025,10(4):119-121.
- [5] 王继臣,田文彬,杨文强.水利工程机电设备水下安装施工技术创新与风险防控[J].电脑采购,2024(52):66-68.
- [6] 李元鸿.建筑机电工程施工安全隐患排查与治理技术分析[J].美食,2025(13):23-24.