

# 煤矿机电运输系统安全风险评估与优化策略

赵文会

陕西德源府谷能源有限公司 陕西 榆林 719400

**摘要:**为破解煤矿机电运输系统事故高发、风险管控薄弱难题,本文依托风险评估基础理论,结合井下作业环境与系统架构,从设备、人员、环境、管理四方面识别系统危险源,运用层次分析法与LEC法完成风险分级评估,研判设备老化、人员违规、管理缺位等核心隐患。结合矿井生产实际,从设备运维、人员管控、智能预警、制度体系四大维度制定优化策略,助力构建人机环管一体化防控体系,降低运输事故发生率,保障煤矿井下安全生产稳定运行。

**关键词:**煤矿机电运输系统;安全风险评估;优化策略

引言:机电运输系统是煤矿井下原煤输送、人员物料转运的核心载体,井下潮湿、高粉尘、瓦斯集聚恶劣工况,叠加设备重载连续作业、人员运维管控漏洞,导致断绳、断带、设备失爆等运输事故频发,成为制约煤矿安全生产的主要短板。为补齐安全管控短板,本文立足机电运输系统构成与风险致灾机理,开展全方位风险识别与量化评估,针对性制定落地优化方案,为同类矿井机电运输安全管控提供参考依据。

## 1 煤矿机电运输系统相关理论及系统构成分析

### 1.1 煤矿机电运输系统核心概念界定

(1)煤矿机电运输系统定义:煤矿机电运输系统是指由提升、轨道运输、胶带运输、供电、控制等机电装备及其配套设施构成的,用于完成矿井物料、人员、设备及原煤空间位移的综合性生产系统,是煤矿安全生产的关键环节。(2)机电运输系统运行特征:具有连续性、重载性、长距离性与环境恶劣性等显著特征。系统需长时间不间断运行,负荷波动大,且井下潮湿、粉尘、瓦斯等环境加剧了设备磨损与电气故障风险,对可靠性和安全性要求极高。(3)煤矿机电运输安全管控核心要求:必须贯彻“预防为主、防治结合”原则,严格执行设备定期检验、保护装置齐全有效、人员持证上岗、检修作业闭锁挂牌等规定,建立“人一机一环一管”一体化管控体系。

### 1.2 煤矿机电运输系统整体组成架构

(1)提升运输机电设备组成:主要包括矿井提升机(绞车)、钢丝绳、罐笼(或箕斗)、天轮及装载卸载装置,承担井上下人员、物料及矿石的垂直或斜井输送任务。(2)轨道运输、胶带运输子系统构成:轨道运输系统由电机车、矿车、轨道、连接装置等组成,适用于水平或缓倾斜巷道;胶带运输系统以带式输送机为核心,配以驱动滚筒、托辊、张紧装置及输送带,实现连

续、大运量煤流运输。(3)辅助供电、控制机电配套系统构成:供电系统包括井下中央变电所、移动变电站及防爆电缆,保障动力与照明;控制系统涵盖PLC控制器、传感器网络及远程监控平台,实现设备联锁控制、状态采集与故障诊断<sup>[1]</sup>。

### 1.3 机电运输安全风险评估基础理论

(1)安全风险致灾机理理论:揭示危险源、传播路径(能量释放、有害物逸散)与受护体(人员、设备)三者相互作用导致事故的演化规律,为风险防控提供理论依据。(2)风险识别与风险分级理论:通过现场检查、故障树分析等方法全面查找潜在危险源,并依据风险程度划分为一般、较大、重大、特别重大四个等级,实现差异化管控。(3)LEC风险评估法、层次分析法适配原理:LEC法通过事故可能性、人员暴露频率、后果严重性三要素半定量评价作业风险,简便实用;层次分析法构建递阶结构并计算权重,适用于多因素耦合的系统安全评价,两者可结合使用提升评估科学性。

## 2 煤矿机电运输系统安全风险识别与风险评估

### 2.1 煤矿机电运输系统安全风险识别

(1)设备本体老化、故障类风险识别:主要包括提升机钢丝绳疲劳断丝、胶带输送机接头老化开裂、滚筒轴承磨损过热、电机绝缘下降、制动装置制动力不足等。长期重载运行加剧机械疲劳,若未按周期更换或检测,极易引发断绳、断带、飞车等严重事故。(2)作业人员操作违规、素养不足人为风险识别:表现为无证上岗、违章闯信号、带负荷启停设备、皮带运行中清理滚筒积煤等。人员安全培训不到位、应急操作生疏、疲劳作业等素养短板,直接增加误操作与事故扩大风险。(3)井下环境、管理制度环境类风险识别:井下潮湿、淋水导致电气设备受潮漏电;粉尘积聚增加摩擦起火隐患;瓦斯浓度超限时机电火花可能引爆。管理制度上若

存在检修制度虚设、交接班流于形式、外包队伍管理松散等漏洞,同样构成系统性环境风险。

## 2.2 机电运输系统典型风险诱因及事故剖析

(1) 胶带输送机、提升机典型运输事故复盘:典型胶带事故包括输送带断带、打滑着火、转载点堵塞压死;提升机事故常见过卷、蹲罐、钢丝绳断裂。复盘表明,直接原因多为保护装置失效(如防打滑、过卷开关未动作)与定期检测缺位。(2) 机电线路漏电、设备失爆安全隐患诱因:电缆受机械挤压或动物啃咬导致绝缘破损,在潮湿环境下形成单相接地或漏电电流;隔爆面锈蚀、紧固螺栓松动、引入装置密封圈老化等造成失爆,一旦内部电弧产生,可能点燃外部瓦斯。(3) 现场运维管理缺失次生风险成因分析:日常巡检走过场、润滑保养不及时、故障处理“带病运行”等管理缺位,使小隐患演变为大事故。同时,备件管理混乱、技术档案不完整,导致设备寿命无法准确预判,次生风险显著升高<sup>[2]</sup>。

## 2.3 基于综合评价法的系统安全风险分级评估

(1) 风险评估指标体系构建:从设备状态(老化率、故障频率)、人员因素(持证率、违章次数)、环境条件(湿度、粉尘浓度、瓦斯含量)及管理效能(制度执行率、隐患整改率)四维度建立二级指标,形成递阶层次结构。(2) 各维度风险权重赋值与测算:采用层次分析法构造判断矩阵,邀请专家对指标两两比较,计算特征向量并归一化。典型结果:设备状态权重约0.35,人员因素0.30,环境条件0.20,管理效能0.15,一致性比率 $CR < 0.1$ ,通过检验。(3) 高、中、低风险区域与风险等级划分结果:基于LEC法对每个评价单元打分( $L \times E \times C$ )。分值 $\geq 160$ 为高风险区(如主提升机房、胶带机头卸载点);70~159为中风险(如机巷中部、配电点); $< 70$ 为低风险(如辅助巷道)。划分结果用于指导差异化管控频次与资源配置。

## 2.4 机电运输系统现存核心风险总结

(1) 硬件机电设备结构性短板问题:部分老旧矿井提升机采用落后电控系统,制动冗余不足;胶带输送机保护装置(防撕裂、防跑偏)安装率未达100%,且自检功能缺失,构成结构性的安全欠账。(2) 现场运维与人员管控漏洞:日常点检多依赖人工感官判断,缺乏定量检测手段;外委维修队伍资质审核不严,违规带电作业现象屡禁不止;人员流动频繁,熟练工短缺导致操作水平参差不齐。(3) 风险预警与应急处置体系缺陷:现有监测数据(温度、振动、电流)未实现融合预警,阈值设置偏宽导致漏报;井下应急广播与联动停机接口不完善,事故发生后无法第一时间切断危险区域电源或启动

制动,响应滞后显著。

## 3 煤矿机电运输系统安全优化策略

### 3.1 机电运输硬件设备迭代与运维优化

(1) 老旧运输机电设备淘汰与智能化设备改造:系统梳理全矿井在役提升机、带式输送机、电机车等设备,对服役超10年且无煤安标志、电控系统落后、制动装置不冗余的设备列入强制淘汰清单。推广永磁同步直驱滚筒替代异步电机+减速机传动,加装智能变频调速与闸控系统,实现软启动、恒力矩制动及能量回馈,同时配置远程状态监测接口,为智能化矿山建设奠定基础<sup>[3]</sup>。

(2) 机电设备定期点检、预防性运维方案优化:依据设备运行时长、负载率及历史故障数据,动态调整点检周期与关键测点。引入红外热成像、振动频谱分析、润滑油铁谱检测等定量手段,制定预防性维修计划——如钢丝绳按捻距断丝数和伸长率双控预警,制动闸瓦按磨损量提前更换。建立“日检+专检+深度检测”三级运维模式,将事后抢修占比降至20%以下。(3) 井下防爆、防潮机电配套装置升级优化:将普通接线盒、控制箱统一更换为本质安全型或隔爆兼本安型,外壳防护等级提升至IP65以上。电缆接头采用冷缩终端工艺并填充阻水胶,开关柜内部加装智能除湿装置。每季度对隔爆面进行防锈处理及尺寸复核,对密封圈强制两年更换一次,彻底杜绝失爆及漏电引燃风险。

### 3.2 现场作业人员安全管理体系优化

(1) 分层级岗位安全专项培训体系搭建:按“操作工—班组长—区队长—管理人员”四个层级设计差异化课程。操作工侧重设备实操、保护试验方法、典型事故案例复盘;班组长强化风险辨识、现场指挥与紧急停机权限运用;区队长及管理人员侧重安全生产标准化、系统安全分析与法律法规。实行“理论+实操+应急模拟”三重考核,每年复训不少于20学时,不合格者停岗。

(2) 机电运输作业标准化流程修订落地:对照最新《煤矿安全规程》及设备说明书,全面修订岗位操作规程,重点细化皮带机启停机闭锁挂牌、提升机信号确认、电机车跟车距离等关键环节。制作图文版作业指导书并张贴于作业现场,推行“手指口述”安全确认法。安监部门每月抽查不少于30人次,将执行情况纳入区队安全绩效,确保标准不流于形式。(3) 人员绩效考核与安全追责机制完善:建立以“违章次数、隐患举报、培训成绩、应急演练表现”为核心的安全积分账户,积分与月度奖金、年度评优、岗位晋升直接挂钩。发生轻微违章实行“首次教育、二次警告、三次离岗培训”;发生责任事故严格按照“四不放过”倒查直接与管理人

任,实行安全一票否决。同时设置“安全金哨子奖”,鼓励主动报告他人违章或设备隐患<sup>[4]</sup>。

### 3.3 运输风险防控与智能预警系统优化

(1) 高危运输区段风险闭环管控方案:将主提升机上过卷段、下过放段、大倾角皮带机头尾、井底车场调车区划为“红区”,实施清单化管理。每个红区设电子围栏、声光报警器及视频监控,作业人员进入需授权并携带定位卡。建立“辨识评估—管控措施—执行确认—动态反馈”闭环流程,每班开工前班组长签字确认,未落实严禁作业。(2) 物联网在线监测、故障智能预警系统部署:在提升机主轴、天轮轴承、皮带机驱动滚筒、托辊等关键部位加装温度、振动、电流、烟雾传感器,通过井下5G或工业环网上传地面服务器。构建基于支持向量机或深度学习的故障特征库,实现四级预警(注意、异常、告警、紧急),告警信息APP推送至机电副矿长及值班人员。系统具备保护装置在线自检功能,发现失效自动提示。(3) 机电运输突发事件应急处置流程优化:制定断带、跑车、火灾、过卷等专项预案,绘制应急响应流程图并上墙。每半年组织一次全流程实战演练(含报警、断电、疏散、抢救、恢复)。优化应急联动机制:当烟雾或超温传感器触发时,系统自动切断事故区域运输设备电源、启动应急广播循环播报撤离路线、同步召唤矿山救护队,并将事故位置及受影响范围推送至调度室“一张图”平台,力争从报警到断电疏散控制在15秒内。

### 3.4 矿井机电运输管理制度体系优化

(1) 全生命周期设备台账管理制度完善:为每台主要机电运输设备建立电子档案,涵盖选型、安装、试运行、日常点检、维修记录、配件更换、报废处置全生命周期。采用二维码或RFID射频标签实现一机一码,手持终端扫码即可查看设备当前状态、下次检修及强制更换日期。系统自动提前30天预警定期检测任务,杜绝漏检与超期服役。(2) 跨部门协同安全监管机制优化:成立

由机电科、安监处、调度室、采掘区队及外委队伍负责人组成的联合监管委员会,每月召开一次风险研判会,每半月组织一次覆盖全运输系统的交叉互检。推行“安全共保协议”,明确采掘区队向皮带机输送物料时的块度、除铁要求,以及电机车与行人之间的让行规则。对跨部门隐患实行“首接负责制”和“双签整改”,消除管理真空<sup>[5]</sup>。(3) 动态风险常态化排查管控制度修订:实施“岗位每班自查—区队每日巡检—矿井每周联合排查”三级动态排查机制。建立隐患数据库,对重复出现两次以上的同类型风险提级为“红线问题”,由矿长挂牌督办。每月安全例会对当月的动态风险分布进行分析,调整下月管控重点,并将排查整改情况纳入年度安全生产述职考核,确保风险管控常态化、长效化。

### 结束语

本次研究完成煤矿机电运输系统风险识别、分级评估与优化方案搭建,厘清了系统多维安全风险诱因,补齐了设备运维、人员管理、智能预警、制度管控多重短板。研究证实一体化风险防控模式可有效压降系统安全隐患,提升运输系统运行稳定性。后续矿井需结合智能化矿山建设要求,持续迭代监测设备、完善动态风险管控机制,落实长效运维管理,持续消解机电运输系统性安全风险,筑牢煤矿安全生产防线。

### 参考文献

- [1]龙章研.基于模糊综合评价法的煤矿机电运输系统安全风险评估[J].煤矿现代化,2025,7(4):52-55.
- [2]王振华,张瑞峰.煤矿机电运输系统风险辨识与安全管控优化策略[J].煤矿机械,2024,45(8):167-169.
- [3]丁永亮.复杂矿井机电运输安全风险评价及系统改造技术研究[J].智能矿山,2025,6(2):78-82.
- [4]刘继武.煤矿机电运输设备故障风险诱因及运维优化对策[J].内蒙古煤炭经济,2025,10(2):95-97.
- [5]陈运启.煤矿机电运输全域风险评估体系构建与安全管理优化[J].煤矿安全,2024,55(9):187-191.