

非煤矿山机电设备安装流程与现场安全管控策略

张彦峰

中国葛洲坝集团易普力股份有限公司禹州分公司 河南 许昌 452570

摘 要：非煤矿山机电设备安装是矿山建设与生产运营中的关键环节，其安装质量与安全管控水平直接影响矿山生产系统的可靠性与作业人员的生命健康安全。非煤矿山作业环境具有空间受限、通风条件复杂、粉尘与有害气体并存、电气防爆要求高等特殊性，使得机电设备安装面临比地面工业安装更为复杂的风险因素。本文系统梳理了非煤矿山机电设备安装的全流程，将其划分为施工准备与基础验收、设备就位与初装、管线连接与电气安装、调试运行与验收交付四个阶段，对各阶段的技术要点进行了阐述。在此基础上，从制度保障、技术防护和应急管理三个维度，提出了覆盖安装全过程的现场安全管控策略体系。非煤矿山机电设备安装安全的本质在于将安全管控深度嵌入安装流程的每一个环节，实现“流程推进与安全防护同步、安装进度与风险预控协调”的集成化管理。

关键词：非煤矿山；机电设备；安装流程；安全管控；风险预控；施工安全

引言

非煤矿山是指开采金属矿石、非金属矿石、化工原料及建筑材料的矿山企业，其生产系统高度依赖提升运输、通风排水、压气供水、供配电及采掘机械等机电装备。这些机电设备的安装工程通常在矿山建设的初期或生产系统改造期间集中实施，安装质量直接决定了设备投运后的运行可靠性、安全性和经济性。与此同时，非煤矿山井下作业环境特殊——巷道断面有限、照明条件不良、空气湿度大且含有爆破烟尘与有害气体——使得机电设备安装过程中的安全风险远高于地面同类作业。当前，我国非煤矿山机电设备安装工程在技术标准层面已形成较为完善的规范体系，但在现场执行层面仍存在不容忽视的问题。一方面，安装作业往往处于矿建工程与生产运行的交叉期，工期紧张、多工种平行作业，安全管理容易顾此失彼；另一方面，安装队伍对矿山井下环境的适应性参差不齐，部分作业人员缺乏系统的矿山安全培训，对瓦斯、透水、顶板冒落等矿山特有风险的警觉性不足。近年来，非煤矿山机电安装事故时有发生，其中涉及起重伤害、触电、高处坠落和物体打击的事故类型占比突出，暴露出安装流程与安全管控“两张皮”的深层矛盾。本文立足于非煤矿山的特殊作业条件，试图将机电设备安装流程的技术逻辑与现场安全管控的风险逻辑进行系统整合，构建“流程-风险-管控”三位一体的分析框架，以期为矿山机电安装工程的科学化管理和安全化实施提供理论参考。

1 非煤矿山机电设备安装的环境特征与技术特点

1.1 井下作业环境对安装工程的约束

非煤矿山井下作业环境对机电设备安装构成多重约束。空间约束方面，井下巷道和硐室的断面尺寸受限于矿体赋存条件与开拓工程成本，安装现场往往空间狭窄，大型设备起吊和转运的可操作范围十分有限，吊车站位、索具展开和组装空间均受到刚性限制。通风条件方面，井下依靠主通风机进行机械通风，安装作业区域的风速、风量和风流方向相对固定，焊接烟尘和油漆挥发物的扩散路径受到制约，若通风不良，作业面空气质量可能迅速恶化^[1]。环境湿度方面，井下空气相对湿度常年在 80% 以上，部分含水层发育的矿山甚至达到饱和状态，这对电气设备的绝缘性能和安装过程中的防潮处理提出了严格要求。此外，井下存在的潜在风险因素——包括岩爆倾向、老窿积水突涌、硫化氢或放射性析出等——虽然在安装阶段不直接作用于设备，却始终是现场安全管理的背景威胁。

1.2 非煤矿山机电设备的典型类型与安装特征

非煤矿山机电设备按功能可分为提升运输类（矿井提升机、带式输送机、斜井人车、矿用电机车）、通风排水类（主通风机、局扇、多级离心泵、潜水泵）、压气供能类（空气压缩机、储气罐、压风管路系统）、供配电类（矿用变压器、高压开关柜、防爆配电装置、井下电缆线路）以及采掘工艺类（凿岩台车、装岩机、破碎机、磨机、浮选机等选厂设备）。不同类型设备在安

装要求上差异显著：提升机安装的核心在于主轴水平度、两轴承同轴度和制动盘端面跳动量的精确控制；带式输送机安装的关键在于机身纵向直线度和驱动滚筒与改向滚筒的平行度；大型磨机安装的难点在于基础二次灌浆的密实度和主轴承球面瓦的刮研精度。这些高精度的安装要求与井下恶劣的作业环境形成尖锐矛盾，使得安装工艺的执行保障成为重要挑战。

1.3 安装工程的安全风险类别

非煤矿山机电设备安装工程中的安全风险可分为常规作业风险和矿山特定风险两大类。常规作业风险包括：起重吊装过程中因索具断裂、重心失稳或超载引发的重物坠落与倾覆；高处作业时临边防护缺失或安全带使用不当导致的坠落；电气安装与调试中因误操作、安全距离不足或绝缘破损导致的触电；焊接与气割作业中因火花飞溅引发的火灾或灼烫；以及交叉作业中因指挥协调不畅导致的物体打击和机械伤害^[2]。矿山特定风险则包括：安装区域通风不良导致的有害气体积聚（如一氧化碳、氮氧化物、硫化氢）；巷道顶板破碎带在安装振动影响下的局部冒落；以及井下涌水通道在施工扰动下的异常出水。两类风险叠加，使非煤矿山机电安装成为高危作业活动。

2 机电设备安装全流程技术解析

2.1 施工准备与基础验收阶段

安装工程启动前的准备工作涵盖技术准备、场地准备和物资准备三个层面。技术准备的核心是安装方案的编制与审批——方案中需明确设备安装的技术标准、工序安排、检测方法、专用工器具清单以及质量验收节点，重大设备的安装方案还应附有吊装计算书和专项安全技术措施。场地准备包括安装硐室或巷道的断面尺寸复核、起吊锚杆或悬吊梁的载荷试验、临时配电点的设置以及作业区域的照明与通风保障。基础验收是此阶段的关键质量控制点，安装技术人员应对设备基础的位置尺寸、标高、地脚螺栓预埋孔及预埋件的几何参数进行全面复测，确保与设备实际安装尺寸匹配，避免因基础偏差在后续阶段被迫进行破坏性调整。

2.2 设备就位与初装阶段

设备就位是安装工程中风险最为集中的环节。对于大型机电设备（如提升机主轴装置、球磨机筒体、主通风机叶轮），其单件重量可达数吨乃至数十吨，井下运输和吊装路径需预先进行详细勘察和模拟。就位方式的选择应综合考虑设备重量、安装空间、运输通道和现有起吊条件——通常采用行车、手拉葫芦或液压提升装置

组合实施。就位过程中的核心控制要求包括：吊点位置的准确性和索具配置的对称性，确保设备在起吊和就位过程中姿态平稳；设备初步就位后，采用千斤顶和垫铁进行粗平，使设备水平度和标高初步达到规范要求，为后续精调留出余量。初装阶段还包括设备的连接部件组装（如联轴器连接、皮带或链条装配），此环节应特别注意配合面的清洁度和紧固件的拧紧力矩控制。

2.3 管线连接与电气安装阶段

管线连接涉及设备配套的动力电缆、控制电缆、润滑管路、冷却水管路、压气管路和液压管路的敷设与连接。井下电缆敷设须符合矿山电气安全规程，高压电缆与低压电缆、电力电缆与信号电缆之间应保持规定的间距，穿越巷道时须采用电缆桥架或穿管保护。管路连接的关键在于法兰接口的密封性和弯头、三通处支撑固定的可靠性，高压管路还应进行耐压试验^[3]。电气安装包括配电柜（启动柜、控制柜）的就位固定、进出线接线、保护接地系统构建以及控制系统与设备本体的信号联调。井下电气设备的外壳接地和接地网的完整性是防触电和防雷击的基本保障，接地电阻值应满足矿山安全规程的要求。

2.4 调试运行与验收交付阶段

调试运行是验证安装质量的最终环节，也是安全风险由“静态”向“动态”转变的阶段。调试工作应遵循“先单机、后联动”的原则：单机调试时设备空载运行，重点检查旋转方向、温升、振动和噪声是否正常，润滑油压和冷却水流量是否达标；单机合格后进行空载联动试车，验证各设备之间的启动联锁、停机联锁和故障保护逻辑的正确性；最后在具备条件时进行负荷试车，检验设备在设计工况下的运行参数。验收交付应以合同技术条款和国家/行业安装规范为评判依据，对达不到设计要求的项目应明确整改措施和时限。调试阶段的特别注意事项是：任何人不得在设备运转状态下进行触摸、擦拭或调整作业，电气调试区域应设置明显的带电警示。

3 基于流程嵌入的现场安全管控策略

3.1 安装前安全条件确认与风险预控

安全管控不应在安装开始后才介入，而应在安装启动前即展开系统性风险预判。施工准备阶段的安全工作包括：安装方案的安全专项会审，由安全管理部门组织对方案中涉及的危险源进行辨识和评价，对重大风险编制针对性的控制措施；安装作业人员的安全资格核查，确保起重工、电工、焊工等特种作业人员持有效证件上

岗;安装用机具和安全防护用品的完好性检查,尤其对起重索具、安全带、便携式气体检测报警仪进行逐项检验;安装区域的安全条件确认,包括顶板支护状况、通风风速是否达标、排水设施是否完好、消防器材是否配备到位。上述条件全部确认合格后,方可签发开工许可,从源头杜绝“带病开工”。

3.2 安装全过程的风险动态管控

在安装工序推进过程中,安全管控应采用动态管理的方法。每日作业前召开班前安全会,由班组长根据当日的安装内容,逐项告知作业人员可能面临的风险及相应的防护措施,并确认每位作业人员的身体状况和精神状态。安装现场应设置专职安全监护人员,对起重吊装、高处作业和电气接线等高风险工序实施旁站监督,及时制止违章操作。对于安装过程中出现的工序变更或意外情况(如设备尺寸与基础不匹配需修凿、吊装路径临时受阻需改道),应暂停作业,重新进行风险评估和措施补充后方可继续。建立安装现场的安全巡查制度,安全管理人员每班不少于两次巡视,重点检查临边防护的完整性、临时用电的规范性以及动火作业的审批和执行情况。

3.3 矿山特定风险专项管控措施

针对非煤矿山安装工程中的特定风险,需采取专项管控措施。在有害气体风险方面,安装作业区域应配备连续工作的固定式或便携式气体监测报警仪,实时检测氧气浓度、一氧化碳、硫化氢及二氧化氮含量,当监测值超过预警阈值时立即停止作业并组织人员撤离;焊接作业点应置于进风侧或采取局部强制通风,确保作业面有害气体浓度始终处于安全限值以下^[4]。在顶板风险方面,设备安装硐室和巷道内的临时支护设施应在安装全过程中保持完好,安装作业产生的振动可能松动原有的锚喷支护,需安排专人在每班开工前进行“敲帮问顶”。在防潮与绝缘保障方面,井下安装的电气设备在接线前应进行绝缘电阻测试,测试值应满足规范要求;安装过程中暂停施工的电气接口应采取临时密封防潮措施。

3.4 应急准备与事故初期处置能力建设

安全管控的最后一道防线是有效的应急响应。安装

项目部应针对可能发生的起重伤害、触电、火灾、有害气体中毒等主要事故类型,制定简明适用的现场处置方案,并配齐应急器材——井下安装现场必须设置应急照明和通信设备,保持与地面调度中心的联络畅通。全体安装人员应经过自救器使用培训和避灾路线演练,确保在紧急情况下能够迅速有序撤离。对于突发的设备倾覆或电气火灾等事故,现场负责人应具备第一时间启动应急响应、组织初期处置的能力,避免事态扩大。

4 结语

非煤矿山机电设备安装是一项技术精度要求高、安全风险因素多、环境约束条件严的特殊工程活动。本文通过将安装流程分解为施工准备、设备就位、管线电气连接和调试交付四个阶段,系统梳理了各阶段的技术要点与潜在风险,并在此基础上提出了“流程嵌入”式的现场安全管控策略。核心论点在于:安装流程与安全管控不是先后关系或并行关系,而应是深度嵌套的融合关系——安全措施必须作为安装工序的有机组成部分,而非附加在外的独立环节。推进这种融合式管控,需要技术管理团队和安全管理部门打破专业壁垒,实现信息互通和行动协同。在制度层面,应将安全条件确认、风险动态辨识和应急准备纳入安装工程的标准管理流程;在执行层面,应强化班前风险告知、旁站监督和交叉作业协调等日常管理动作;在能力层面,应持续提升安装队伍的矿山安全意识和应急处置水平。唯有如此,才能在有限空间内实现大型机电设备的安全精准安装,为非煤矿山的后续安全稳定生产奠定可靠的装备基础。

参考文献

- [1] 周小刚,谢贤平,周宗红.非煤矿山机电设备安装安全管理体系研究[J].金属矿山,2023(5):178-184.
- [2] 吴爱祥,王贻明,尹升华.深井矿山大型机电设备安装技术挑战与发展趋势[J].中国矿业大学学报,2022,51(3):435-446.
- [3] 杨鹏,蔡嗣经,陈建宏.金属矿山机电设备故障诊断与安全运行管理研究进展[J].采矿与安全工程学报,2023,40(2):312-322.
- [4] 刘双跃,刘铁民,王浩.建筑施工高处坠落事故成因分析与防控策略[J].中国安全科学学报,2022,32(7):165-172.