机械电气设备安装工程中的风险管控技术与施工保障措施实践

雷　梦
聊城市茌平区贾寨镇农业农村综合服务中心　山东　聊城　252100

摘　要：机械电气设备安装施工工序繁杂，存在安全、质量、进度及成本等多重风险，直接影响工程整体建设成效。本文全面识别施工现场各类风险，从人员、技术、管理维度剖析风险核心成因，重点阐述数字化预判、动态监测、分级预警等核心管控技术，配套人员制度、施工工艺、现场管理等保障措施。结合实际工程应用验证，该体系可有效防控施工隐患，提升机电安装工程施工质量与安全管控水平。

关键词：机械电气设备；安装工程；风险管控技术；施工保障措施实践

引言：当前工业建设规模持续扩大，机械电气设备安装工程复杂度大幅提升，交叉作业多、施工工况多变，各类安全与质量隐患频发。传统施工管控模式较为粗放，风险预判能力不足、过程监管不到位，极易引发施工事故、质量缺陷及工期成本失控问题。为提升工程施工规范化与安全化水平，本文结合施工实际，系统研究风险管控技术与配套保障措施，为现场施工管控提供科学可行的实践依据。

1 机械电气设备安装工程施工风险识别与成因分析

1.1 施工安全风险

（1）电气安全风险：表现为线路接线不规范、绝缘防护失效，易引发漏电、短路及高压作业触电事故，电气火灾风险突出，直接威胁作业人员生命安全和设备设施完好。（2）机械作业风险：大型设备吊装过程中若重心计算偏差或索具选用不当，易发生吊物偏移、摆动乃至坠落；安装错位、机械磕碰及零部件高空坠落等隐患频发，调试运行阶段亦可能出现失控故障。（3）高空作业风险：高空管线敷设、设备顶部安装等环节，作业人员坠落风险高，同时工具、杂物坠落对下方人员构成物体打击伤害，是高处坠落与物体打击的主要诱因。

1.2 施工质量风险

（1）安装精度不达标：设备找平、找正误差超出规范允许值，管线对接错边量过大，将导致设备运行振动加剧、异响，严重时缩短设备使用寿命，影响投产后的可靠性[1]。（2）工艺合规性不足：未严格执行国家及行业施工验收规范，焊接工艺参数不当、紧固扭矩不足、密封垫安装偏位等，致使设备及管道连接处渗漏、电气接触电阻增大，引发过热或放电故障。（3）系统适配性风险：多设备联动安装时接口尺寸、信号传输、控制逻辑匹配度不足，电气系统与机械系统衔接不畅，造成联调阶段故障频发，整体运行稳定性下降。

1.3 进度与成本风险

（1）进度延误风险：施工组织设计不合理、设备材料进场时间滞后、现场突发机械或电气故障等，均会造成关键工序停滞，导致总工期延迟，影响后续投产计划。（2）成本超支风险：因安全或质量事故引发返工、设备损坏更换、停工索赔以及安全事故善后赔偿，直接推高人工、材料和机械使用成本，使项目总造价超出预算控制目标。

1.4 风险核心成因总结

（1）人员因素：作业人员专业技能水平参差不齐，安全意识薄弱，存在违章操作行为；岗前安全技术交底与培训流于形式，未能有效提升风险辨识能力。（2）技术因素：仍依赖传统监测与控制手段，风险预警响应滞后，施工工艺更新缓慢，技术交底内容不细致，关键工序缺少量化指导文件。（3）管理因素：现场安全质量管理制度执行不严，风险排查覆盖面不全，施工过程监管力度不足，且缺少针对性的应急预案及演练，难以有效应对突发状况。

2 机械电气设备安装工程风险管控核心技术

2.1 前置风险预判与辨识技术

（1）BIM可视化预判技术：依托建筑信息模型搭建设备安装三维数字化场景，将机械电气设备的空间位置、管线走向、结构构件等要素进行集成建模。通过模拟设备进场、吊装就位、管线连接等全工序施工过程，可在虚拟环境中提前发现管线碰撞、设备与结构干涉、操作空间不足等隐蔽性问题，将风险识别节点大幅前移，从源头减少返工与安全隐患。（2）风险分级辨识技

术：依据施工工序的复杂程度、设备类型的特殊性以及历史事故统计数据，建立风险分级标准。将安全风险、质量风险、进度与成本风险按影响程度划分为重大风险、较大风险和一般风险三个层级，明确高风险工序的管控重点和优先级，为后续监测资源分配与预警阈值设定提供科学依据，避免风险管控“一刀切”。（3）工况动态预判技术：针对施工现场多变的环境条件，集成气象监测、场地沉降观测和设备状态传感数据，对大风、暴雨、高温等恶劣天气以及地基变化、设备临时故障等突发工况进行动态评估。通过预设风险触发条件，提前数小时甚至数日发出工况异常警示，指导施工计划调整与防护措施加强，实现从被动应对向主动预判的转变[2]。

2.2 施工过程动态监测管控技术

（1）电气参数监测技术：在临时供配电系统和高低压设备安装过程中，部署多节点电气参数采集终端，对电压波动、负荷电流、绝缘电阻值及漏电保护动作状态进行不间断监测。当参数偏离预设安全区间时，系统自动标记异常回路并推送报警信息，便于电工班组即时排查处理，有效防范触电、短路及电气火灾等典型风险。（2）设备安装精度监测技术：采用激光测距仪、电子水平仪、全站仪及倾角传感器等高精度测量设备，对设备基础标高、中心线位置、水平度和垂直度等关键指标进行实时复测。通过与设计值和规范允许偏差进行比对，一旦发现超差趋势立即预警并指导纠偏作业，确保大型压缩机、发电机组、配电柜等核心设备的找平找正精度满足运行要求[3]。（3）现场安全智能监测技术：在塔吊作业区、高空作业面、材料堆放区等重点部位布设高清摄像头、红外热成像仪和电子围栏感应装置，结合声光报警装置构建智能化安全监控网络。该技术可自动识别未佩戴安全帽、安全绳系挂不规范、吊臂回转半径内人员闯入等违规行为，实现高危场景的即时警告与录像取证，显著提升现场安全监管效率。

2.3 风险预警与应急处置技术

（1）分级预警技术：建立红、橙、黄三级预警响应机制，分别对应重大、较大和一般风险等级。每一级预警设置明确的触发条件、信息报送流程、响应时限及处置权限，确保施工现场从作业班组到项目管理层能够依据预警等级快速启动相应管控措施，实现风险精准分级响应，避免小风险演变为大事故。（2）快速故障排查技术：系统收集并整理过往机电安装工程中的典型故障案例、处理方法及修复耗时，构建可检索、可更新的故障数据库。当现场出现突发故障时，技术人员可依据故障现象特征进行数据比对和经验规则匹配，快速锁定可能原因并参照历史最优处置方案执行，大幅缩短故障诊断时间，减少停机等待损失[4]。（3）应急处置技术：针对触电急救、设备倾覆或坠落、电气火灾等主要事故类型，编制图文化、流程化的标准处置卡，明确报警、隔离、救援、抢修各环节的操作要点和责任人。定期组织桌面推演和实战演练，验证预案可操作性并持续改进，确保一旦发生事故能够迅速响应，最大限度缩短处置时间、降低人员伤亡和财产损失。

2.4 全过程数字化管控技术

（1）施工数据信息化采集：利用移动终端、RFID标签、扫码录入和传感器网络等手段，对设备进场验收、工序交接、隐蔽工程验收、调试运行等关键节点数据进行实时采集与云端存储。形成涵盖人员操作记录、设备参数、检测结果、影像资料在内的完整施工数据库，实现全过程质量与安全行为可追溯，为后期运维和责任界定提供数据支撑。（2）数据分析与优化技术：运用大数据分析工具对海量施工数据进行挖掘，识别不同工序、不同时段下风险事件的频率、类型和关联规律，绘制项目风险热力图。基于分析结论动态调整施工方案中的人机配置、作业顺序和管控重点，优化风险管控流程，推动经验驱动型管理向数据驱动型管理升级，持续提升风险管控的精准度和前瞻性。

3 机械电气设备安装工程施工保障措施与工程实践

3.1 人员与制度保障措施

（1）人员专业化管控：严格执行岗前技能培训与安全教育培训制度，培训内容涵盖施工规范、设备操作规程、典型事故案例分析及应急救援常识。培训结束后须经理论与实操双项考核，考核合格方可持证上岗。施工期间定期组织实操演练与安全警示教育，强化一线作业人员风险辨识能力与规范操作自觉性，确保人员素质满足施工要求。（2）健全管理制度体系：系统完善施工安全管理制度、质量验收管理制度、风险分级排查制度及岗位责任制度，逐级签订安全质量责任书，明确项目经理、技术负责人、班组长及作业人员各层级职责边界，实现权责分明、有章可循，确保施工全过程依规有序推进。（3）强化现场监督考核：配备专职安全质量监管人员，采取日常巡查、专项检查与随机抽查相结合的方式，对施工全流程实施无死角监督。同步建立量化考核奖惩机制，将安全施工记录、质量验收通过率等指标与班组绩效挂钩，形成制度约束力，杜绝违规操作行为。

3.2 施工技术与工艺保障措施

（1）标准化施工工艺落实：针对各主要工序编制图文并茂的标准化作业指导书，严格遵照机电安装行业规

范执行操作，统一工艺标准与检验方法。推行样板引路制度，首件验收合格后方可大面积施工，确保工序质量稳定可控。（2）专项技术优化升级：针对精密设备安装就位、复杂管线综合排布、高压电缆接头制作等技术难点，组织专项攻关，积极引入模块化预制、装配式施工等新型工艺，将高空作业内容转移至工厂内完成，从工艺层面降低施工风险、提升质量水平。（3）技术交底与复核机制：实行施工前全面技术交底，确保技术要求逐级传达到一线作业人员；施工中设置工序停止检验点进行独立复核，完工后组织专项验收复核，形成事前交底、事中复核、事后验收的技术管控闭环[5]。

3.3 设备、材料与现场环境保障措施

（1）设备材料质量管控：严格执行进场物资自查、互查、专查"三检"制度，全面核查质量证明文件、性能检测报告及产品合格证，对关键电气设备进行开箱抽查及必要复检，检验不合格物资坚决退场，从源头杜绝质量隐患。（2）施工设备运维保障：建立施工设备"一机一档"管理台账，制定定期检修校准计划，每日作业前进行设备点检，定期组织全面保养，重点检查吊具磨损程度、电气设备接地完好性及测量仪器精度，确保设备工况稳定可靠，避免因设备故障引发风险。（3）现场环境优化管控：科学规划施工总平面布局，明确划分作业区、材料堆放区及安全通道。针对电气设备安装特殊要求，落实防水、防火、防尘、防滑等专项防护措施，优化高空作业面及夜间施工照明条件，为施工安全提供良好环境基础。

3.4 工程实践应用与效果分析

（1）工程概况：以某大型工业厂房机电安装项目为实践对象，施工内容包含大型空气压缩机组安装、高压配电柜就位及桥架管线系统敷设等，施工空间受限、多工种交叉作业频繁、设备就位精度要求高，工期紧张，风险管控需求十分突出。（2）管控技术与保障措施落地应用：将前文所述风险管控技术与施工保障措施系统应用于该项目，实施流程涵盖施工前期BIM模拟预判与风险辨识，施工中期电气参数在线监测、安装精度实时复测、现场安全智能监控等动态管控，以及全过程人员持证上岗、三级技术交底、进场物资复检和应急预案演练等保障环节，各项措施协同运转、闭环管理。（3）应用效果分析：从施工安全性看，项目实施期间未发生安全责任事故，现场违章行为显著减少；工程质量方面，电气绝缘测试一次通过率大幅提升，设备安装找正合格率达100%；施工进度方面，实际工期较计划提前完成；施工成本方面，返工及窝工成本得到有效控制。四个维度的对比验证表明，该管控方案可行性强、实用性突出，可为同类工程提供参考借鉴。

结束语

本文结合机电设备安装工程施工特点，系统梳理施工全流程风险隐患，分析风险形成机理，整合数字化管控技术与全方位施工保障手段，搭建了系统化的风险管控体系。工程实践表明，该管控方案可有效规避各类施工风险，保障施工安全与工程质量，严控施工工期与成本。后续可持续优化智能管控技术，适配复杂施工场景，助力机电安装工程高质量建设发展。

参考文献

[1]李建明,王勇.机电设备安装工程施工风险辨识与智能化管控技术研究[J].施工技术,2023,52(16):98-103.

[2]张勇,刘军.建筑机电安装工程安全风险特征与施工保障体系构建[J].建筑安全,2022,37(08):45-50.

[3]王海峰,赵亮.工业机械电气设备安装高危工序风险防控关键技术[J].工业建筑,2024,54(05):189-194.

[4]陈志强,杨浩.机电安装工程全过程风险管控与安全施工措施优化[J].建筑科学,2023,39(11):156-161.

[5]周佳乐.机械电气设备安装施工安全风险管控技术实践[J].工程技术研究,2025,10(12):124-126.