大型设备吊装作业安全风险识别及防控对策研究

李　旺
国能宁夏煤业能源工程有限公司项目管理分公司　宁夏　银川　750000

摘　要：大型设备吊装是工程建设高危关键工序，具有作业复杂度高、风险连锁性强、事故后果严重等特点。本文以吊装作业全流程为研究主线，从人、机、环、管四维维度系统识别作业安全风险，剖析各类风险的诱发成因与耦合机制。结合事故致因与风险管控理论，针对性制定人员、设备、环境、管理制度全方位防控对策，构建全生命周期风险闭环管控体系，为降低吊装作业事故率、保障工程施工安全提供参考。

关键词：大型设备；吊装作业；安全风险识别；防控对策

引言：随着基建、石化、电力等行业高速发展，大型设备吊装作业频次大幅提升，重型化、高悬空作业场景日益增多，安全管控难度持续加大。吊装作业突发事故多、危害性强，极易造成人员伤亡与重大财产损失，是工程安全管理的重点与难点。为有效防范吊装安全事故，本文立足标准作业流程，全面识别核心风险、深挖问题根源，探索科学可行的防控策略，助力提升吊装作业安全规范化、精细化管理水平。

1 大型设备吊装作业相关理论与作业流程

1.1 大型设备吊装作业核心概念界定

（1）大型设备吊装作业定义：指利用起重机械对超出常规运输或人工安装能力的大型、重型设备进行空间位置转移的工程活动。判定标准依据设备重量、外形尺寸及作业半径综合确定，通常以单件设备重量大于80吨、高度超过30米或需特殊起重机械作业为界定参考。作业范畴涵盖石油化工、电力建设、冶金工程等领域中塔器、反应器、发电机定子等核心设备的安装就位。（2）吊装作业安全风险内涵：指在吊装全过程中，因人的不安全行为、设备缺陷、环境因素等导致事故发生的不确定性。其风险特征表现为突发性、连锁性和后果严重性，一旦失控易造成重大人员伤亡与财产损失。风险等级按后果严重性和发生概率划分为一般风险、较大风险、重大风险和特别重大风险四级，分别对应蓝、黄、橙、红四色预警标识。

1.2 吊装作业安全管理基础理论

（1）事故致因理论：基于人、机、环、管四要素系统分析吊装安全事故的诱发逻辑。其中，人员操作失误与指挥失当为核心人为因素；起重机械缺陷、吊索具损伤构成机的不安全状态；恶劣天气、地基不稳属环境诱因；方案编制不规范为管理的漏洞。四要素相互耦合，任一环节失当均可能触发事故链。（2）风险管控理论：围绕吊装作业全生命周期构建事前预防、事中控制、事后应急的闭环管理体系。具体路径为：风险识别（辨识吊物坠落、倾覆、碰撞等典型风险点）→风险评估（采用LEC法量化风险等级）→风险预警（建立关键参数阈值报警机制）→风险防控（制定工程技术措施、管理措施和个体防护措施），实现风险超前干预与动态管控[1]。

1.3 大型设备吊装标准作业流程

（1）作业前期准备流程：开展场地岩土勘察与障碍物排查，依据设备参数选择适配起重机型及吊索具，编制专项吊装方案并经专家评审，审核指挥人员、起重机司机、司索信号工等特种作业人员资质，进行安全技术交底。（2）作业中期实施流程：执行试吊作业，将设备吊离地面约200mm后悬停检查制动系统、吊点受力及机具稳定性；确认无误后正式起吊，经旋转、变幅、升降等动作将设备移位至安装位置上方，缓慢降落就位；全过程采用全站仪、应力传感器等实时监测设备姿态、载荷及风力变化。（3）作业后期收尾流程：设备就位后进行地脚螺栓紧固或临时固定，按序拆卸吊索具及辅助机具，清理作业现场杂物并恢复周边设施，组织作业复盘，总结操作偏差与经验教训，归档完整技术资料。

2 大型设备吊装作业安全风险识别与成因分析

2.1 人为因素风险识别

（1）作业人员专业能力不足：部分操作及指挥人员未取得相应特种设备作业资格证书，或证书等级与吊装设备吨位不匹配，缺乏对大件吊装动力学特性的深刻理解，面对突发阵风、吊物摆动加剧等复杂工况时，应急处置能力薄弱，易出现操作迟疑或判断失误。（2）人员安全意识薄弱：个别作业人员存在凭经验省略试吊检查、超速起降、吊物下站人等违规操作行为，抱有"偶尔违章未出事故即安全"的侥幸心理，加之长时间连续作业导致体力透支、注意力下降，误操作概率显著上升。

（3）人员协作配合不当：吊装作业涉及指挥、操作、司索、监护等多岗位协同，若采用对讲机沟通时指令用语含糊不清，多机抬吊时动作时序配合不到位，或指挥信号被现场高频噪音干扰，均易引发信息传递偏差，导致动作衔接失误。

2.2 设备机具因素风险识别

（1）吊装设备老化故障：起重机长期处于高负荷运转状态，其臂架、回转支承、卷扬制动器等关键部件存在疲劳磨损和性能退化，若未按周期进行载荷试验及无损探伤检测，可能导致突发性结构失效或制动失灵。（2）辅助机具质量缺陷：钢丝绳断丝超标、压扁或锈蚀，吊带出现割伤或化学腐蚀，卸扣本体存在铸造缺陷或明显变形，选用的机具安全系数低于规范要求，在额定载荷下即可能发生脆性断裂。（3）设备选型匹配度不足：未准确核算吊物重量和作业半径，起重机额定起重量的安全余量不足，或忽略作业区域高度限制和障碍物分布，导致吊臂碰撞或设备无法顺利就位，形成超负荷工况下的倾覆风险[2]。

2.3 环境与场地因素风险识别

（1）自然环境风险：作业期间遭遇阵风超过6级使吊物大幅摆动，暴雨导致能见度下降、地基含水率增加承载力降低，雾霾影响指挥信号传递清晰度，高温使液压系统效能下降，低温加剧钢材脆性，均严重威胁吊装稳定性。（2）作业场地风险：地基承载力未经专业检测或承载力不足，起重机支腿下未铺设路基箱或钢板，在软土或回填区易产生不均匀沉降；作业空间上空存在高压线、塔吊等障碍，地面管线密集，限制了吊臂回转与变幅空间。（3）现场环境干扰：大型设备吊装作业周期长，作业区内常有土建、安装等多专业交叉施工，人员车辆流动频繁，若警戒区设置不到位，易发生机械碰撞、物体打击等次生事故。

2.4 管理与制度因素风险识别及整体成因总结

（1）安全管理制度不完善：项目未建立大型设备吊装专项管理制度，风险辨识流于形式，作业许可审批简化，变更管理缺失，重大风险未实行提级审批和动态管控。（2）现场安全监管不到位：专职安全员配置不足、巡查频次偏低，对吊索具磨损、支腿沉降等隐蔽隐患未能及时发现，对违章指挥、无证操作制止不力，同类隐患反复出现。（3）风险成因整体总结：从人、机、环、管四维归纳，人为核心诱因为培训失效与侥幸心理固化；设备根源在于维保执行不严与进场检验缺失；环境为客观限制条件；管理则是制度供给不足与监管执行力弱的综合体现。四类因素相互耦合、互为放大：管理漏洞纵容违章，设备可靠性不足削弱环境抗扰能力，局部隐患叠加加速升级为事故。风险防控须从单一因素治理转向全要素、全过程的系统化综合管控。

3 大型设备吊装作业安全风险防控对策

3.1 强化人员安全管控，规避人为风险

（1）严格人员资质管理：全面落实持证上岗制度，确保吊装作业指挥、操作、司索等关键岗位人员均持有有效特种设备作业资格证书，且证书等级与作业设备吨位及工况复杂度相匹配。建立人员资质动态管理台账，定期开展专业技能复训与考核，重点强化复杂工况模拟演练，提升作业人员在突发阵风、吊物异常摆动等紧急状态下的应急处置与决策判断能力，从源头杜绝能力不足型人为失误。（2）强化安全意识教育：将安全教育培训制度化、常态化，通过典型事故案例还原分析、现场违章行为曝光、亲历者经验分享等多种形式开展安全警示教育，使作业人员深刻认识违规操作的严重后果，逐步消除侥幸心理和经验主义倾向。建立岗前状态确认机制，合理排班避免疲劳作业，确保作业人员以良好的身心状态投入吊装作业[3]。（3）规范现场协作机制：制定统一规范的吊装作业指令用语和手势信号标准，明确指挥、操作、司索、监护等各岗位的具体职责分工与汇报关系。针对多岗位协同作业，建立作业前碰头会和班前交底制度，优化信息传递流程，确保指令表达清晰、反馈确认完整、动作衔接准确，杜绝因沟通偏差引发的配合失误。

3.2 完善设备机具管理，消除设备隐患

（1）建立设备全周期管护体系：针对起重机等核心吊装设备制定日检、周检、月检和年检制度，检查内容应覆盖结构件、制动系统、液压系统、电气系统、安全装置等关键部位，并形成可追溯的检查记录档案。建立强制性报废更新标准，对达到设计使用年限或检测确认存在重大缺陷的设备坚决淘汰更新。定期委托有资质的检测机构对起重机械进行载荷试验和无损探伤，确保设备技术状况始终处于受控状态。（2）规范辅助机具使用管理：对钢丝绳、吊带、卸扣、平衡梁等辅助吊索具实行统一编号、分类存放、专人管理，建立全寿命周期使用台账。每批次使用前必须进行外观检查和尺寸测量，重点检查钢丝绳断丝锈蚀、吊带割伤磨损、卸扣变形裂纹等缺陷；定期按标准进行载荷试验，经检测不合格的机具应立即标识隔离并报废处理，严禁不合格或超期服役的辅助机具进入作业现场[4]。（3）科学开展设备选型配置：在吊装方案编制阶段，精确核算设备重量、重心位置、吊装高度及作业半径等关键参数，结合现场地基

条件、周围空间环境及气候气象因素，科学选定起重机型号、臂长配置及吊索具组合方案。设备选型须确保额定起重量留有足够安全余量，严禁超负荷作业。对复杂吊装工况，应采用计算机模拟仿真技术进行受力分析和路径规划，优化设备配置方案。

3.3 优化作业环境管控，降低环境风险

（1）严格天气工况研判：建立作业现场气象监测机制，实时获取风速、降水、气温、能见度等气象数据，制定吊装作业气象条件准入标准。当风速超过6级、大雨或雷电天气、大雾致能见度低于作业安全要求时，坚决停止吊装作业并对吊物妥善固定。作业前须查询近期天气预报，合理安排吊装窗口期，对无法规避的恶劣天气提前制定应对预案。（2）标准化整治作业场地：吊装作业前对场地进行专项勘察与承载力检测，对松软或承载力不足区域采用换填压实、铺设路基箱或浇筑临时基础等措施进行加固处理，确保起重机支腿受力均匀稳定。全面清理作业区域内高空障碍物、地下管线等影响吊装安全的因素，设置吊臂回转和吊物移位所需的安全净空边界，保障作业空间充足。（3）规范现场作业秩序：在吊装作业区外围设置醒目警戒线和安全标识，明确划分吊装专属作业区域，严禁无关人员、车辆进入警戒范围。对作业期间必须开展的交叉施工，采取错峰安排、硬质隔离等管控手段，减少相互干扰；对作业区内邻近管线及设施落实专项防护措施，防范次生伤害事故。

3.4 健全安全管理制度，强化现场监管

（1）完善专项管理制度：建立健全大型设备吊装作业专项安全管理制度，覆盖方案编制审批、作业许可与风险告知、人员准入交底、设备进场验收、过程管控、变更管理及完工验收等全流程。明确各级管理人员职责权限，细化审批签字确认要求，对重大风险作业实行提级审批，堵塞管理漏洞[5]。（2）强化全过程现场监管：实施专职安全管理人员全程旁站监督，覆盖作业准备、试吊检查、正式吊装到就位固定各阶段。监管聚焦人员资质、设备机具状态、气象条件、警戒隔离等关键要素。建立隐患排查即查即改机制，发现隐患立即下达整改指令，明确责任人、措施和时限，整改复查合格后方可继续作业，确保问题不过夜、隐患不积累。（3）搭建风险预警与应急体系：运用物联网传感技术，对起重机载荷、力矩、风速、支腿压力等关键参数实施动态监测与超限报警，实现主动预警。针对吊物坠落、起重机倾覆、人员伤亡等典型事故，编制专项应急预案，明确组织架构、处置程序、救援措施及物资保障。每季度至少开展一次桌面推演，每半年至少开展一次现场综合演练，重点检验预警响应、人员疏散、伤员急救和多部门协同处置，演练后评估修订预案，形成“监测—预警—响应—处置—改进”的闭环应急管理链条。

结束语

本文系统梳理大型设备吊装作业流程与核心理论，精准识别人、机、环、管四大类安全风险，明晰风险耦合诱发事故的内在逻辑，搭建了全方位、全流程的风险防控体系。通过强化人员管控、规范设备管理、优化作业环境、健全监管机制，可有效化解吊装安全隐患。未来需持续结合智能化监测技术，动态优化防控方案，持续提升大型设备吊装作业安全防控的科学性与实效性。

参考文献

[1]张静晓,李越,王浩.大型设备吊装作业多维度安全风险识别与耦合机理研究[J].中国安全科学学报,2023,33(05):186-192.

[2]刘军,陈峰.大型履带起重机吊装作业典型安全隐患识别及防控技术[J].建筑机械,2023,43(12):76-81.

[3]周健,吴涛.复杂工况下大型设备吊装作业安全风险评估与管控策略[J].施工技术,2024,53(08):102-107.

[4]王亮,赵阳.基于故障树法的大型机电设备吊装事故风险溯源研究[J].工业安全与环保,2022,48(09):89-93.

[5]孙磊.大型设备吊装作业危险源辨识及安全防控优化措施[J].工程技术研究,2025,10(11):156-158.