

集装箱码头高压岸电系统安全风险管理体系构建

于茗淳

大连集装箱码头有限公司 辽宁 大连 116000

摘要：集装箱码头高压岸电系统安全风险管理体系的构建，是保障港口绿色发展与作业安全的关键举措。本文聚焦高压岸电系统全生命周期，从体系框架设计、风险防范策略、风险控制措施三个方面构建风险管理体系，旨在通过风险识别、评估、控制与持续改进，实现高压岸电系统“零事故”目标，为港口智慧化、绿色化发展提供理论支持与实践指导。

关键词：集装箱；码头高压岸电系统；安全风险管理体系

引言

在全球航运业绿色转型背景下，集装箱码头高压岸电系统作为减少船舶靠港污染的核心技术，其安全性直接关系到港口运营的可持续性。然而，高压岸电系统涉及高压电气、自动化控制、人机交互等多领域技术，存在设备故障、操作失误、环境干扰等风险，可能导致触电、火灾、设备损坏等事故。传统安全管理模式多依赖事后整改，难以适应高压岸电系统动态化、复杂化的风险特征。因此，构建系统化、前瞻性的安全风险管理体系成为行业迫切需求。

1 高压岸电系统组成

高压岸电系统作为集装箱码头实现船舶靠港期间绿色供电的核心设施，其组成涵盖从电力供应到终端使用的全链条设备。(1) 高压岸电电源是系统的动力源头，通常采用大容量变压器与变频电源组合设计，变压器将港口电网的高压电（如10kV或35kV）转换为船舶适用的电压等级，变频电源则通过整流-逆变技术实现工频交流与船舶所需频率的灵活匹配，确保供电质量满足船舶设备运行要求^[1]。(2) 岸电连接屏作为岸侧与船侧电力传输的枢纽，集成高压开关柜、计量装置与接口模块，高压开关柜采用真空断路器或六氟化硫断路器，实现电路的通断控制与短路保护。(3) 计量装置通过电流互感器与电压互感器精确记录供电量，为电费结算提供数据支持，接口模块则按照国际标准设计，通过快速连接器与船侧电缆对接，确保物理连接的稳固性与电气参数的兼容性。(4) 岸电接收屏位于船舶端，承担电力接入与分配功能，其核心组件包括进线开关、分配电盘与监控单元，进线开关采用船用级高压断路器，适应海洋环境下的振动与腐蚀条件，分配电盘将接收的电能按船舶负载需求分配至推进系统、照明系统等不同回路，监控单元通过传感器实时采集各回路电流、电压及设备温度数据，并通过人机界

面显示运行状态，当检测到过载或设备故障时自动触发报警并切断故障回路。

2 安全风险识别与评估

2.1 风险识别方法

风险识别是构建高压岸电系统安全风险管理体系的基础环节，其准确性直接影响后续风险评估与控制措施的有效性。(1) 现场踏勘通过直接观察高压岸电系统的物理环境与设备状态，识别潜在风险源，包括高压岸电电源的布局合理性、岸电连接屏与接收屏的安装位置是否符合安全距离要求、高压电缆管理系统的电缆走向是否存在与码头其他设备交叉或暴露于恶劣环境的情况。同时检查设备外观是否存在老化、腐蚀或机械损伤，以及安全标识与警示装置的完整性，从而发现因环境因素或设备缺陷引发的风险。(2) 查阅资料则聚焦于系统设计文件、操作规程、维护记录等文档，分析系统设计是否满足相关标准与规范要求^[2]。例如，高压岸电电源的变频技术是否符合船舶用电频率匹配标准，岸电连接屏的接口设计是否与国际标准兼容，操作规程是否明确各环节的安全操作要求，维护记录是否反映设备历史故障与维修情况，进而识别因设计缺陷或管理漏洞导致的风险。(3) 工作安全分析（JSA/JHA）通过分解高压岸电系统的作业流程，从任务准备、设备连接、供电运行到断电拆除等阶段，逐一分析每个步骤中可能出现的危险因素。操作人员在连接高压电缆时是否因未佩戴绝缘手套或未使用专用工具而触电，设备运行过程中是否因监测系统失效导致过载或短路未及时处理，从而识别作业流程中的操作风险。(4) 专家访谈与研讨邀请行业专家、设备制造商技术人员及码头一线操作人员参与，利用专家的专业知识与实践经验，深入挖掘高压岸电系统在技术原理、设备性能、操作习惯等方面的潜在风险，并通过集体讨论激发思维碰撞，发现单一方法难以识别的隐蔽风险。

2.2 潜在风险识别

高压岸电系统的潜在风险识别需从人的因素、物的因素、环境因素、管理因素四个维度展开全面分析。(1)人的因素方面,操作人员技能不足是核心风险点,若未接受系统培训或缺乏实操经验,可能在高压电缆连接时未严格遵循操作规程。并且,人员安全意识淡薄也可能引发风险,如未佩戴个人防护装备进入高压危险区域,或在设备运行期间擅自离岗未及时监测异常参数。(2)物的因素层面,设备老化是主要风险来源,高压岸电电源的变压器、变频器等核心部件长期运行后可能出现绝缘性能下降、元件老化失效等问题,导致供电不稳定或短路故障。岸电连接屏与接收屏的开关柜、计量装置等若维护不当,可能因接触不良、传感器故障引发误动作或数据失真。(3)环境因素中,恶劣天气对系统安全影响显著,强风可能导致高压电缆摆动幅度过大,与码头设备或船舶舷侧摩擦破损,暴雨可能引发设备进水短路,雷电天气则可能通过电缆引入过电压损坏设备。高温环境会加速设备绝缘材料老化,降低其耐热性能,而低温可能导致电缆变脆易折断,同时潮湿环境会引发金属部件锈蚀,影响设备机械强度与导电性能。(4)管理因素方面,安全管理制度不健全是系统性风险根源,若未制定完善的设备巡检、维护保养制度,可能导致设备隐患未及时发现处理。

2.3 风险评估方法

高压岸电系统的风险评估需采用定性评估与定量评估相结合的综合方法,以全面、精准地衡量风险等级,其中风险矩阵法是广泛应用的有效工具。(1)定性评估侧重于对风险发生可能性和后果严重性的主观判断与描述,通过专家经验、历史数据及行业规范,将可能性划分为极低、低、中等、高、极高五个等级,分别对应系统在特定条件下几乎不发生、较少发生、偶尔发生、频繁发生或必然发生风险的情景。后果严重性则从人员伤亡、设备损坏、环境破坏、经济损失及社会影响等维度,划分为轻微、一般、严重、非常严重、灾难性五个级别,反映风险事件发生后对系统运行及周边环境的损害程度。(2)定量评估则通过数学模型与统计数据,对可能性和后果进行量化分析,如根据设备历史故障率、操作人员违规记录等数据计算风险发生的概率,依据设备维修成本、停产损失等参数评估后果的经济价值,使评估结果更具客观性与可比性。(3)风险矩阵法将定性评估的等级划分与定量评估的数值分析相结合,以二维矩阵形式呈现风险等级。横轴表示风险发生的可能性,纵轴表示后果严重性,矩阵内部分为低风险、中等风险、高风险、极

高风险四个区域。确定风险等级时,依据定性评估的等级划分或定量评估的数值结果,确定风险在可能性轴与后果严重性轴上的位置,两者交叉点所在的区域即为风险等级。为提高评估准确性,还可引入权重系数对不同维度的评估结果进行调整。

3 安全风险管理体系构建

3.1 体系框架设计

(1)计划阶段聚焦风险预防与目标设定,首先结合高压岸电系统的技术特性与运行环境,识别人物的因素、物的因素、环境因素、管理因素等维度的潜在风险,运用风险矩阵法评估风险等级,明确高风险区域与关键控制点^[1]。其次制定覆盖设计、安装、运行、维护全生命周期的安全管理目标,如设备故障率、操作违规率、应急响应时间等量化指标,进而依据目标编制详细的安全管理计划,包括完善安全管理制度、优化操作规程、配置安全防护设备、开展人员培训等具体措施,并明确责任部门与时间节点,确保计划的可操作性。(2)执行阶段强调措施落地与过程控制,依据计划要求,严格落实设备巡检、维护保养、安全培训等日常管理工作。规范操作人员作业流程,要求其严格遵循操作规程使用绝缘工具、佩戴防护装备,并通过现场监督与视频监控双重手段纠正违规行为。(3)检查阶段注重效果验证与问题发现,通过内部审核、专项检查、数据分析等方式,评估安全管理措施的执行情况与目标达成度,如检查设备巡检记录是否完整、操作人员考核是否合格、风险评估是否定期更新。同时利用传感器、监测系统等工具实时采集设备运行参数,分析异常波动,提前发现潜在隐患。(4)处理阶段推动持续改进与经验固化,针对检查阶段发现的问题,制定整改措施并跟踪落实,如修复老化设备、修订操作规程、加强薄弱环节培训。接着,总结成功经验,将有效措施纳入标准流程,例如优化应急预案、完善风险评估模型。最后将本轮循环的成果作为下一轮计划的基础,形成“计划-执行-检查-处理”的螺旋上升,推动高压岸电系统安全风险管理水平持续提升。

3.2 风险防范策略

高压岸电系统的风险防范需通过技术、管理、应急三方面协同策略构建全方位防护体系。(1)技术措施是降低风险发生概率的基础支撑,采用自动化控制系统可实现对高压岸电电源、岸电连接屏等关键设备的实时监测与智能调控,通过内置传感器持续采集电压、电流、温度等参数,利用算法模型分析设备运行状态,当检测到过载、短路或绝缘性能下降等异常时,系统自动触发报警并切断电源,避免故障扩大。(2)管理措施是保障

技术措施有效落地的关键,需制定覆盖全生命周期的安全管理制度,明确设备选型、安装调试、运行维护、报废处置等各环节的安全要求^[4]。规定高压电缆每三年进行一次绝缘性能抽检,岸电连接屏每月开展一次功能测试;细化操作规程,将作业流程分解为具体步骤,标注安全注意事项与禁止行为,例如要求操作人员在连接高压电缆前必须使用验电器确认设备断电,并佩戴绝缘手套与护目镜;通过定期培训与考核强化员工安全意识,培训内容既包括安全理论知识,也包含实操技能训练,如绝缘工具使用、急救措施实施,考核合格后方可上岗作业。(3) 应急措施是控制风险后果的最后防线,需建立健全应急预案。针对触电、火灾、设备爆炸等突发风险制定专项处置方案,明确应急组织架构、响应流程、救援资源调配等关键要素;储备必要的应急物资,如绝缘救援杆、灭火器、急救箱等,并确保其处于可用状态,通过技术、管理、应急的有机结合,形成高压岸电系统风险防范的完整闭环。

3.3 风险控制措施

高压岸电系统的风险控制需构建多层次防护体系,通过消除、替代、工程控制、管理控制及个体防护等措施形成递进式风险屏障。(1) 消除风险是最有效的控制手段,需从设计源头优化作业方式或设备选型,通过机械臂或智能定位系统完成电缆插拔,彻底消除操作人员直接接触高压带电体的风险。或在设备选型时优先选择本质安全型高压岸电电源,其内置过压、过流、短路保护功能,可在故障发生瞬间自动切断电源,避免能量意外释放。(2) 替代风险通过降低危险等级实现风险削减,采用低烟无卤阻燃电缆替代普通电缆,减少火灾时有毒气体释放量;用液压驱动设备替代电动设备,避免电气火花引发爆炸风险;在监测环节,选用非接触式红外测温仪替代传统温度计,降低操作人员靠近高温设备的暴露风险。(3) 工程控制聚焦物理隔离与防护强化,通过安装防护栏、隔离罩将高压设备与操作区域分隔,防止误

触。在岸电连接屏、高压电缆等关键部位设置机械连锁装置,确保设备未断电时无法打开柜门或拆卸电缆。(4) 个体防护作为最后一道防线,需为作业人员配备符合国家标准个人劳动防护用品,如绝缘手套、防电弧面罩、绝缘鞋等。建立监督机制,要求操作人员在进入高压危险区域前必须穿戴齐全,现场管理人员通过目视检查或智能穿戴设备监测佩戴情况,对违规者立即纠正,确保个体防护的有效性^[5]。通过上述措施的综合应用,高压岸电系统可实现风险的全链条管控,保障人员、设备与环境的安全稳定运行。

结语

综上所述,集装箱码头高压岸电系统安全风险管理体系的构建,是技术与管理深度融合的创新实践。该体系可显著降低高压岸电系统运行风险,保障港口作业安全与效率。未来,随着自动化码头、智能电网等技术的普及,高压岸电系统安全风险管理需进一步向数字化、智能化方向演进,例如利用AI算法预测设备故障、通过数字孪生技术模拟风险场景等。同时,需加强行业标准制定与跨领域协作,推动高压岸电系统安全风险管理的规范化与国际化,为全球航运业绿色转型贡献优秀方案。

参考文献:

- [1]梅洛洛,乔朕,王国栋.基于多层次模糊数学的集装箱综合风险评估体系[J].现代职业安全,2024,(11):28-31.
- [2]吴健,韦光团,兰马静.多方共治视角下集装箱码头安全管理责任链优化研究[J].珠江水运,2025,(16):50-52.
- [3]王广欣,王曹仲,刘志宏.铁路集装箱侧面吊机械臂对角件锁孔的自动识别研究[J].大连交通大学学报,2024,45(06):99-104.
- [4]闫国康.集装箱码头安全评估体系构建与应用研究[J].现代职业安全,2025,(10):55-58.
- [5]陈超,王伟,张浩.基于仿真的自动化集装箱码头设备协同调度研究[J].计算机集成制造系统,2021,27(5):1423-1432.