

港口新能源流动机械高压系统安全作业规范与维修管理

周 朋¹ 陈明兵¹ 陈亚萍² 包 灿³ 胡国伟⁴

1. 宁波镇海港埠有限公司 浙江 宁波 315000

2. 宁波萨卫祥铝业有限公司 浙江 宁波 315000

3. 温州港集团有限公司状元岙港务分公司 浙江 温州 325000

4. 宁波职业技术大学人工智能学院 浙江 宁波 315000

摘 要: 沿海港口复杂作业环境持续侵蚀新能源流动机械高压部件运行稳定性, 各类动态负载波动进一步加剧设备隐性损耗, 现场作业与运维环节的流程漏洞极易诱发漏电、电弧灼伤等安全事故。本文结合港区高湿高盐雾、强震动冲击的实际工况, 梳理高压系统结构特征与运行制约条件, 排查现有作业流程与管理体系的现存短板, 构建覆盖日常操作、带电作业、巡检核查、应急处置的全链条标准化安全作业规范, 搭建分级维保、质量全控、能力支撑的精细维修管理体系, 为港口新能源流动机械高压系统安全稳定运行提供实操层面的落地指引。

关键词: 港口新能源流动机械; 高压系统; 安全作业规范; 维修管理体系

引言: 港口新能源流动机械作为港区物流转运的核心作业装备, 其高压系统的运行状态直接关系到整机作业效率与现场人员安全。沿海港区高湿度、高盐雾、强颠簸的特殊作业场景, 与设备频繁启停、负载剧烈波动的运行特性相互叠加, 持续压缩高压系统的稳定运行区间。过往依托人工经验开展的运维管理模式, 难以适配新型高压电气设备的精细化管控需求, 各类隐性故障与操作隐患逐步累积, 给港口日常生产运营埋下诸多安全风险。针对这一现实问题, 梳理适配港区复杂工况的高压系统安全作业逻辑, 搭建可落地的维修管理体系, 成为当前港口设备安全管理领域亟待推进的核心工作。

1 港口新能源流动机械高压系统运行工况与结构特征

1.1 港口新能源流动机械作业环境特征

港口作业区域的环境条件极具特殊性, 对新能源流动机械的运行形成明显影响。沿海港口常年处于高湿度、高盐雾的大气环境中, 腐蚀性介质会持续侵蚀机械外部结构与电气部件。露天作业模式让设备长期承受日晒、暴雨、大风等天气干扰, 温度跨度极大, 高低温交替变化频繁。港区货物装卸、转运过程会产生大量粉尘、颗粒物, 部分散货港区还会出现细微矿粉、煤粉堆积^[1]。作业场地地面存在颠簸、坡度变化, 机械运行过程中持续产生震动与冲击, 这类复杂且不稳定的环境, 是高压系统稳定运行的外部主要干扰源。

1.2 新能源流动机械高压系统整体结构组成

新能源流动机械高压系统为集成化电气架构, 整体构造紧凑且适配移动作业需求。系统核心包含高压动力电池组, 为整机作业提供持续能源供给。高压配电单元

统筹电路通断与电能分配, 保障电路通路稳定。电控管理模块实时采集各项电气参数, 完成状态监测与故障判别。配套的高压线束、绝缘检测装置、过载保护器件构成辅助体系。各结构单元高度集成于机械车体内部, 整体布局贴合设备移动作业属性, 可适应机械频繁启停、转向、位移的运行状态, 满足港口高强度作业的基础电气需求。

1.3 高压系统设备运行工况与负载特性

港口新能源流动机械作业工况具备极强的间歇性与波动性。设备空载待机、轻载转运、重载装卸的状态会频繁交替切换, 作业节奏随货物吞吐量、调度方案实时变动。高压系统负载不会保持恒定数值, 峰值负载多出现在货物起吊、重载行驶的瞬间, 瞬时电流波动幅度较大。常规转运阶段负载数值相对平稳, 待机状态下系统维持低功耗运行模式。动态波动的负载变化, 让高压电气部件长期处于变载荷工作状态, 电气损耗与运行压力随作业工况持续改变。

1.4 港口复杂工况下高压系统运行制约条件

复杂港口工况从环境、工况、设备层面形成多重运行制约。盐雾、潮湿环境会降低高压系统绝缘性能, 提升漏电、器件老化的发生概率。持续震动与颠簸会造成高压线束松动、部件接触不良, 引发电气接触故障。频繁的负载突变会加剧电控器件、电池组的损耗, 缩短核心设备使用寿命。现场多变的温度环境会干扰电池充放电效率, 改变系统电气控制精度。高强度、无规律的作业模式, 进一步压缩高压系统的稳定运行区间, 各类潜在风险会随作业时长累积, 直接影响新能源流动机械的

作业可靠性与运行安全性。

2 港口新能源高压系统作业隐患与管理短板分析

2.1 高压系统现场作业的安全风险诱因

港口新能源高压系统现场作业的风险来源集中于环境、人员与设备多重维度。港区复杂的户外场景会持续滋生安全隐患,盐雾积附、粉尘堆积会弱化电气部件的绝缘防护能力。一线作业人员对高压电气原理认知不够全面,实操过程会出现预判不足、操作尺度把控偏差的问题。现场作业多伴随机械移动、货物转运等交叉工序,作业空间拥挤且干扰因素繁多。临时接线、应急检修等非常规操作频次较高,带电作业场景管控难度更大。多重不稳定因素叠加,大幅提升高压漏电、电弧灼伤、电路短路等安全事故的发生概率。

2.2 高压部件长期运行产生的潜在故障隐患

长期不间断的港口作业会让高压系统核心部件逐步产生隐性损耗与故障缺陷。高压动力电池组会随充放电次数累积出现电芯衰减、内阻增大的问题,充放电稳定性持续下降。配电开关、接线端子等器件受机械震动、温度交变影响,会出现接触间隙变大、氧化锈蚀等现象。高压线束绝缘层会逐步老化、开裂,防护性能持续下降,诱发漏电故障。绝缘检测、过载保护等辅助器件长期处于待命状态,灵敏性会逐步衰减,故障触发时无法及时响应,难以对整机高压系统形成有效防护。

2.3 现场安全作业流程存在的不规范问题

港口高压系统现场作业流程仍存在多处不规范细节,难以适配高强度作业需求。部分高压检修、启停操作未严格执行断电验电、接地防护的标准步骤,作业前置防护流程存在缺失。作业分区、警示隔离的执行标准不够细化,危险作业区域未做到完全封闭管控。作业记录填报流于形式,故障现象、操作步骤、检修细节的记录内容不够完整。特殊天气、重载作业等特殊场景下,专属作业管控流程缺失,常规流程无法适配特殊工况的安全管控需求,漏洞会持续留存于作业全过程。

2.4 设备维修养护管理体系存在的薄弱环节

现有设备维修养护管理体系适配性不足,难以支撑新能源高压设备长效稳定运行。养护工作多依托固定周期开展,未结合设备实际运行时长、负载强度、工况差异制定差异化方案。故障排查模式偏向事后处置,主动预判、提前规避隐性故障的能力不足^[2]。一线养护人员专项技能储备不足,对新型高压设备的故障辨识、精准养护能力有所欠缺。设备运行数据、养护记录、故障台账的整合分析力度不足,数据价值无法有效挖掘,难以支撑养护方案优化与设备状态预判,整体管理质量难以适

配港口新能源设备常态化作业需求。

3 港口新能源流动机械高压系统标准化安全作业规范

3.1 高压系统启停与日常操作作业规范

港口新能源流动机械高压系统日常启停操作需建立标准化流程,规避人为操作失误引发的运行风险。设备启动前,操作人员需要逐一核查高压系统外观状态,排查线束破损、接口松动、粉尘盐雾堆积等各类显性问题。提前确认操作区域无人员滞留、无杂物遮挡,落实基础作业防护条件。启动环节遵循逐级通电原则,先完成低压系统自检,待各项电气参数稳定后,再接入高压回路。设备停机需等待机械作业动作完全终止,逐步卸载设备负载,再依次切断高压、低压电源。日常操作严格依照作业规程执行,杜绝私自越级启停、带负载强制关机等违规行为,从源头稳定高压系统日常运行状态。

3.2 高压系统带电与断电作业操作规范

高压系统带电、断电作业属于高危操作类型,需要落实精细化、标准化管控要求。带电作业仅限合规授权的专项检修场景,作业人员必须穿戴全套绝缘防护用具,使用绝缘性能达标的专用工具。作业全程严控操作动作幅度,避免肢体、工具近距离接触裸露电气触点。断电作业需执行多级断电、反复验电流程,关闭设备总电源后,借助专业验电器检测回路残余电压。确认电压完全清零后,加装接地保护装置,阻断残余电荷回流风险。作业结束后有序拆除防护设施,复原线路连接结构,细致核对作业点位,杜绝遗留安全隐患,保障带电与断电作业全程可控。

3.3 高压设备现场巡检与状态核查作业规范

常态化现场巡检与状态核查是保障高压系统长效运行的基础手段。巡检工作划分固定频次,覆盖高压电池组、配电单元、线束线路、保护装置等全部核心部件。现场目视检查重点排查部件老化、锈蚀、形变、污渍堆积等外观缺陷,仪器检测精准采集电压、电流、绝缘阻值等关键运行参数。巡检人员逐条记录设备运行状态,标注参数异常、部件损耗等问题。针对高频作业设备、老旧设备加大巡检力度,重点追踪工况波动带来的细微状态变化。所有巡检数据归档留存,为设备养护、故障研判、工况分析提供可靠的数据支撑。

3.4 高压异常工况处置与应急作业规范

高压系统运行出现参数异常、线路故障、绝缘异常等问题时,需要启动标准化应急处置流程。操作人员第一时间停止设备所有作业动作,快速切断高压电源,阻断故障范围持续扩散。依托设备自检数据与现场工况,精准判别故障类型与故障点位,严禁未排查清楚故障根

源盲目重启设备。轻微故障完成现场整改、参数核验达标后,可恢复设备正常作业。重大故障需封存故障设备、隔离作业区域,上报技术管理部门开展专项检修。现场配备的灭火、绝缘防护等应急物资按需规范使用,落实应急处置闭环管理,有效降低异常工况引发的安全损失。

4 港口新能源流动机械高压系统精细化维修管理体系

4.1 高压设备分级检修与周期维保模式

港口新能源流动机械高压设备工况差异较大,统一化维保模式难以适配设备实际运行需求。精细化维修管理体系推行分级检修模式,依据设备作业频次、负载强度、使用年限划分不同运维等级。常规在用设备执行基础周期维保,聚焦外观清洁、线路紧固、参数校准等基础项目。高频重载作业设备纳入重点维保名录,缩短维保间隔,增加内部器件检测、性能损耗校核等深度检查内容^[3]。老旧工况设备增设专项诊断环节,重点排查绝缘老化、内阻衰减、结构松动等隐性问题。分级维保结合设备实际状态动态调整维保项目,摒弃固化维保流程带来的管理冗余与检查疏漏,切实提升高压设备日常运维的针对性与有效性。

4.2 高压部件故障检修与拆装管控方式

高压系统核心部件具备精密性、高风险性特征,检修拆装环节需落实严格管控标准。故障检修前期需依托设备运行数据与现场工况完成故障定位,明确故障成因与影响范围,制定专属检修方案。拆解作业严格遵循从外至内、分步拆解的操作顺序,标记各类线束、接口、器件安装位置,规避装配错位问题。拆装全过程使用匹配规格的专用绝缘工具,杜绝暴力拆解造成的部件损伤、线路破损。损坏部件更换后需核对器件型号、性能参数,保证替换配件与整机系统适配。检修完成后开展线路复原、结构紧固与初步通电核验,彻底清除拆装作业带来的次生安全隐患。

4.3 维修作业全过程质量管控流程

完整的质量管控流程是维系高压系统维修质量的核心支撑,覆盖维修前期、作业中期与竣工后期全流程。维修前期开展现场条件核查,清理作业区域杂物,布设安全隔离设施,落实断电验电、接地防护等安全措施。

作业中期严格依照行业标准与设备技术要求开展施工,规范每一项操作细节,实时记录检修步骤、部件更换信息与参数变化。关键检修工序设置复核环节,由专职人员核验施工质量,及时整改不规范操作。维修竣工后开展整机空载、负载试运行检测,采集各项电气运行参数,核验设备运行稳定性。所有维修记录统一归档,形成完整维修台账,为后续设备运维、故障溯源提供有效依据。

4.4 高压设备运维人员作业管控与能力建设

运维人员专业素养直接决定高压系统维修作业质量与安全水平,需要搭建常态化管控与培养机制。落实岗位资质准入制度,所有高压运维人员需通过专业理论与实操考核,持证上岗开展作业工作。建立常态化技能培训机制,围绕新型高压设备结构特性、故障类型、检修工艺开展专项教学,更新人员技术储备。定期组织现场实操演练与故障应急处置训练,提升人员应对复杂港区工况的作业能力。

结束语

高压系统的安全管控是港口新能源流动机械长效稳定运行的核心支撑,只有将标准化作业要求嵌入每一项操作细节,把精细化维修管理覆盖设备全生命周期,才能逐步补齐复杂工况下的安全管控短板。从日常启停的规范操作,到故障检修的全流程质量把控,每一个环节的落地执行,都在为港区流动机械作业筑牢安全防线。这套适配港口特殊工况的作业规范与管理体系,可直接应用于一线运维场景,帮助港口逐步实现高压设备安全管理从被动处置向主动防控的转变,有效保障港区生产作业的平稳有序开展。

参考文献

- [1]毛成林,于瑞强,边疆.面向高压带电开关柜的视觉控制机械臂作业系统设计[J].机械设计与制造工程,2022,51(11):39-44.
- [2]蔡相男,吴功平.高压导线断股修补机器人构型设计及作业仿真[J].机械设计与制造,2023,394(12):254-257.
- [3]林卉航,张伟军.高压带电作业线缆识别与定位系统的设计[J].机电一体化,2022,28(4):26-34.