

FPSO 电气系统安装质量缺陷处理研究

李文义

博迈科海洋工程股份有限公司 天津滨海新区 300450

DOI: 10.12238/ems.v7i11.16045

[摘要] FPSO 电气系统在复杂海上作业环境中承担动力供应与安全保障核心功能, 安装质量直接关系设备运行稳定性与整体工程效益, 实践显示, 电缆布设不规范、接地不牢固、设备防护不足等质量缺陷常导致系统隐患, 甚至引发安全事故。应对这一问题, 需从设计优化、施工过程控制、质量检测与后期维护多个环节建立系统性管理机制, 明确缺陷产生主要原因, 提出可操作的预防与改进措施, 能有效提升安装质量, 保障 FPSO 电气系统长期可靠运行。

[关键词] FPSO; 电气系统; 安装质量; 缺陷处理; 安全管理

引言

FPSO 电气系统安装是海上油气开发重要环节, 作业环境恶劣、系统结构复杂使其面临诸多质量挑战, 电气系统需满足长期稳定运行要求, 还得应对盐雾、潮湿和振动等外部因素影响, 这对安装质量提出更高标准, 近年部分工程案例显示, 电缆端接松动、设备密封不严、电气防护措施缺失等问题频繁出现, 严重影响系统可靠性。在设计、施工与运维环节建立全流程质量控制体系, 已成为提高 FPSO 电气系统安全性的关键课题, 针对典型缺陷产生机制与处理对策展开研究, 能够减少运行风险, 也为后续电气系统管理提供有益实践经验。

一、FPSO 电气系统安装质量缺陷的常见类型与表现形式

(一) 电缆敷设与端接环节的质量隐患分析

电缆是 FPSO 电气系统中能量与信号传输的关键通道, 敷设与端接质量直接影响整体运行安全性, 实践中常出现电缆弯曲半径不足、支撑点设置不合理及固定卡具松动等问题, 使电缆在长期振动和拉力作用下绝缘层受损, 产生潜在短路风险。部分端接部位压接不牢或绝缘处理不到位, 会引发接触电阻升高, 进而导致端口发热甚至烧蚀, 海洋环境湿度大、盐雾腐蚀严重, 电缆接头密封不严时, 极易出现水汽渗入引发击穿事故, 电缆敷设与端接环节的质量隐患是电气系统最突出的薄弱点之一, 需引起高度关注。

(二) 设备安装固定与防护措施存在的不足问题

FPSO 电气设备安装包含开关柜、配电箱、变压器及电机等装置, 设备固定方式与防护措施不当会引发严重质量隐患, 部分工程设备基础预埋件安装偏差过大却未校正, 设备长期

受力不均, 海况波动时易出现位移与松动。施工环节忽视密封要求, 部分设备外壳未达设计防护等级, 潮湿与盐雾环境中出现锈蚀乃至功能失效, 电机防振垫安装不到位, 设备运行时产生较大振动, 缩短使用寿命时损伤相邻电气元件, 这些问题实际运行中风险较高。

(三) 接地系统与防爆要求未达标带来的风险

接地系统是电气保护的重要组成部分, 其施工质量若不符合既定标准, 会直接严重威胁整个电气系统的运行安全, 部分项目施工中, 接地电阻实测值未达到设计文件规定的数值, 连接导体选用的截面面积不足, 且部分焊接点存在虚焊、漏焊导致连接不牢固, 使得故障发生时电流无法经过接地系统有效泄放, 大幅增加了人员遭遇电击以及电气设备出现损坏的可能性。FPSO 平台的电气系统有多处安装在存在可燃气体、易燃粉尘的易燃易爆环境, 若防爆措施落实不到位, 像接线盒未按规范使用专用防爆型元件, 或是密封部位的密封圈因长期使用老化失去密封效果, 就会在电气元件产生电弧和火花的瞬间诱发爆炸事故。由于海上作业环境存在高湿度、高盐雾、空间密闭等特殊特性, 这类施工缺陷一旦实际发生, 往往会引发设备损毁、人员伤亡等严重后果, 因此接地系统施工质量与防爆要求的严格落实显得尤为关键。

二、FPSO 电气系统安装质量缺陷产生的深层次原因探究

(一) 设计阶段规范执行与标准落实不到位情况

在 FPSO 电气工程里, 设计环节直接决定后续安装质量, 部分项目设计规范落实不到位, 电缆路径规划欠妥、设备布置空间短缺、防护等级选型偏低均有出现。设计未严格参照国际船级社标准与 IEC 相关规范, 使得后续施工频繁返

工或强行修正, 整体工程进度因此受影响, 设计文件细节欠缺, 施工单位执行时易产生理解偏差, 质量缺陷发生概率随之上升。

(二) 施工环节工艺水平与人员技能限制因素

电气系统安装过程对工艺规范的遵循程度, 直接决定系统运行质量与安全性, 实际工程中施工人员技能水平差异大, 工艺执行常不到位, 电缆端子压接需严格控制压力和角度, 操作不当会导致压接不牢或接触不良, 进而引发发热与故障。部分施工团队缺乏系统性培训, 接地焊接操作中常出现虚焊、焊点不饱满或接触电阻过大的情况, 故障电流泄放能力因此被削弱, 工程工期通常紧张, 施工队伍为追赶进度忽视细节质量检查, 采用赶工方式完成任务, 潜在隐患积累进一步增加, 这些因素叠加, 让电气系统运行中更易出现短路、烧毁等风险, 整体可靠性受严重影响。

(三) 环境条件复杂对安装过程的不利影响因素

海洋环境的复杂多变, 给电气安装带来极大挑战, 施工期间, 高湿度、盐雾侵蚀与大风浪等外部因素, 会对电缆端接、防爆密封及设备固定环节产生不利影响, 使其难长期维持最佳状态。有时受天气条件限制, 施工无法持续开展干燥处理, 电缆接头内部会残留潮气, 绝缘性能逐渐下降, 运行隐患就此埋下, 甲板空间狭小、作业面有限, 施工人员难保持规范姿势与操作精度, 很容易出现固定不到位、密封不严等质量缺陷, 环境不利因素在长周期施工与运行阶段的累积效应显著, 成为电气系统缺陷频发的重要原因之一。

三、FPSO电气系统安装质量缺陷的检测与评估方法研究

(一) 电气绝缘性能与接地连续性检测手段应用

绝缘性能检测是 FPSO 电气系统安装后评估质量的重要环节, 核心是判断电缆与设备在运行电压下的耐压能力, 使用绝缘电阻测试仪测量导体与绝缘层间的电阻值, 能有效识别潮湿、盐雾或机械损伤引发的绝缘劣化问题, 避免运行中出现击穿事故。接地连续性检测也很关键, 采用电桥测试方法检查接地导体是否断裂、虚接或接触电阻过大, 确保故障电流顺利泄放, 最大程度降低设备损坏与人身伤害风险, 绝缘和接地性能若未达规定标准, 易造成短路、触电甚至设备烧毁, 安装完成后的验收阶段必须严格实施这一检测程序, 保障系统整体安全性与可靠性。

(二) 红外热成像与局部放电测试的有效性分析

红外热成像技术用于 FPSO 电气系统检测, 具备直观与高效的优点, 实时监测设备表面温度分布, 能快速定位端接点接触不良或电缆负荷过载引发的局部异常升温现象, 该方法无需停机即可操作, 适配运行中的配电柜、变压器和电缆接头等关键部位。局部放电测试是高压电气设备绝缘状态评估的重要手段, 采集并分析超声波、特高频电磁波及脉冲电流等信号, 可在缺陷早期阶段识别绝缘劣化的放电迹象, 两者结合应用, 能在系统投入运行前提前发现潜在隐患, 避免小缺陷逐步演变为严重事故, 实践经验显示, 红外热成像与局放测试联合使用, 能提高检测的全面性和精确度, 还能为制定针对性维修策略提供可靠依据。

(三) 防爆合格性验证与系统运行试验评估

防爆性能的验证是 FPSO 电气系统安装完成后验收流程中极为关键的核心环节, 核心目的是确保各类电气设备在爆炸性气体环境里能够实现长期安全运行, 实际操作中, 会对接线盒、各类开关设备以及不同规格的电缆引入装置, 逐一开展严密的密封性检测与精准的耐压性能测试, 以此确认这些设备的外壳结构及配套密封件, 能够稳定承受规定范围内的压力且不会产生气体泄漏或电火花, 进而彻底避免其成为引爆环境中可燃气体的潜在点火源。还需仔细核查电气元件自身的防爆标识完整性, 以及实际安装工艺与设计要求的符合性, 确保每一项细节都完全满足相关防爆标准的具体条款, 系统运行试验评估也属于必不可少的环节, 依次进行空载试验、额定负载运行测试以及短时超负荷工况测试, 能够全面检验整个电气系统在不同运行条件下的工作稳定性与综合可靠性。将这些检测方法科学结合并应用, 能对电气系统的安装质量进行全方位、无死角的评估, 还能在系统正式投入运行之前最大程度排查并降低安全风险, 为后续长期、稳定的安全运行提供坚实且有力的保障。

四、FPSO电气系统安装质量缺陷的预防与改进策略探讨

(一) 设计优化与标准化施工工艺的推广措施

预防电气系统安装缺陷, 关键在于设计阶段的优化与施工工艺的标准化, 运用三维建模与仿真分析技术, 在方案制定阶段就能提前排查电缆路径冲突、设备空间不足及防爆区域布局不合理等问题, 规避后期返工带来的成本上升与风险增加。制定统一的施工工艺手册, 明确规定电缆弯曲半径、敷设固定点间距、防爆元件等级选择及设备防护等级等细节,

减少人为操作的随意性,推广标准化工艺,可实现不同施工团队间的流程统一,还能让施工在复杂海上环境下保持稳定性与一致性,为后续的运行和维护筑牢坚实基础。

(二) 施工过程质量控制与动态监管机制建立

电气系统安装施工过程中,质量控制始终是保障可靠性与安全性的核心环节,引入信息化管理平台,可对电缆敷设、设备安装、防爆措施落实等全过程实时记录并动态追踪,形成完整质量档案,为后期问题追溯与责任划分提供依据。接地焊接、端子压接等关键工序,需设立独立监督点,必要时引入第三方检测机构开展抽检与验证,确保施工工艺及材料质量完全符合行业标准,动态监管机制结合现场巡查与随机抽查,能在问题萌芽阶段及时发现并纠正,搭配奖惩制度执行,可有效强化施工团队的责任意识与规范意识,避免因赶工或操作不当产生质量缺陷,进而提升整体工程质量水平。

(三) 多维度检测与分级验收体系的有效应用

电气系统安装完成后,科学检测与分级验收是阻止缺陷进入运行阶段的重要手段,分级验收体系将整个系统拆分为电缆、设备、接地与防爆装置等功能模块,逐个开展检查,保证每个环节都满足标准要求。检测需覆盖绝缘性能、导体连续性、防爆性能和运行稳定性等维度,以此全面评估安装质量,多维度检测能降低遗漏风险,提升系统整体的安全性与可靠性,分阶段验收与综合评估相配合,可确保问题在早期被发现并完成整改,为系统最终投入运行筑牢坚实保障。

五、FPSO电气系统安装质量缺陷的应急处理与后续保障措施

(一) 缺陷快速修复与应急处置方案的实施要点

FPSO电气系统运行中,突发缺陷处理不及时易引发大范围停电甚至安全事故,快速修复与应急处置因此成为关键环节,接地系统失效时,可临时启用便携式接地装置,确保故障电流迅速泄放,规避触电风险,电缆受损后,采用临时绕接与绝缘包覆技术恢复供电,维持系统基本运行。防爆装置出现密封老化,立即用专用密封胶或阻燃材料加固处理,保障处置高效需建立全面应急预案,明确常见故障应对措施、所需工具与物资储备,细化岗位职责分工,定期开展应急演练,能提升现场人员操作熟练度,让缺陷快速修复,最大程度缩小事故影响范围,保障系统在复杂海洋环境下稳定运行。

(二) 运行阶段预防性维护与周期性检修的落实路径

预防性维护与周期性检修能有效提高FPSO电气系统可靠性,运行阶段需制定科学维护周期计划,包含电缆端接紧固性检查、设备外壳密封性测试及接地电阻测量等项目,实现隐患早期发现与处置,在线监测装置采集电流、温升与绝缘状态等运行数据,可分析设备老化趋势,判断潜在劣化风险,据此提前安排检修。高风险部件采用重点巡检与专项维护相结合的方式,保障关键设备稳定运行,周期性检修可有效延长电气设备使用寿命,还能防止小缺陷发展为严重故障,建立维护档案并开展数据追踪,为后续运维决策提供依据,形成系统化管理模式,显著提升电气系统运行的安全保障水平。

(三) 质量管理经验反馈与持续改进的长效机制

电气系统质量管理中,单次缺陷修复无法彻底解决问题,建立经验反馈与持续改进机制,才能从根本上提升整体水平,每次缺陷处理结束后,需详细记录故障原因、修复措施及所用材料,整理成标准化档案归入质量数据库,长期积累数据后开展统计分析,可发现易发缺陷的环节与高风险部位,为设计优化和工艺改进提供数据支持。在此基础上,将反馈结果传递到设计、施工与运维各环节,形成闭环管理模式,新项目中及时应用前期经验,能显著减少重复性问题出现,结合先进数字化质量管理平台,可实现反馈信息的共享与追踪,进一步推动持续改进落地,建立科学高效的长效机制。

结语

本文针对FPSO电气系统安装质量缺陷展开研究,就缺陷类型、成因分析、检测评估、预防改进及应急处置展开系统探讨,分析电缆敷设、设备防护、接地防爆等环节可知,施工工艺水平、环境条件及设计规范落实是影响质量的主要因素。检测验收的科学性、维护改进的持续性、应急机制的完善性,均直接决定系统运行的安全与稳定,强化全过程质量管控,建立反馈与改进的长效机制,是保障FPSO电气系统长期可靠运行的有效途径。

[参考文献]

- [1]周建国,刘宏伟.海上平台电气系统安装质量控制与检测研究[J].中国安全生产科学技术,2022,18(6):112-118.
- [2]陈志远,孙立峰.FPSO电气设备防爆性能检测与维护方法探讨[J].石油化工设备,2023,34(4):45-52.