

机电工程安装施工的质量管控与安全技术优化研究

吕宏宇

天津滨海概念人力信息科技有限公司，天津 300457

DOI:10.61369/ERA.2026060041

摘 要： 海洋石油工程机电安装是海上油气勘探开发的核心环节，其施工质量与安全水平直接决定油气生产系统的运行稳定性与海上作业本质安全。本文采用文献研究法与工程案例分析法，针对海洋石油机电安装高防爆、强防腐、深水作业、工况复杂的行业特性，系统剖析了施工全流程的质量管控典型问题，深入识别了海上作业典型安全事故类型及传统监管模式的核心局限。在此基础上，构建事前预防、事中控制、事后检验的全过程质量管控优化体系，从本质安全设计、智慧监管应用、应急机制优化三个维度提出安全技术提升路径。研究旨在为海洋石油机电安装工程精细化管控提供理论支撑与实践参考，助力海上油气工程高质量发展。

关 键 词： 海洋石油工程；机电安装；全过程质量管控；安全技术；智慧监管；HSE 管理

Research on Quality Control and Safety Technology Optimization for Installation and Construction of Mechanical and Electrical Engineering

Lv Hongyu

Tianjin Binhai Concept Human Resources Information Technology Co., Ltd., Tianjin 300457

Abstract： The mechanical and electrical installation in offshore oil engineering represents a pivotal aspect of offshore oil and gas exploration and development, with its construction quality and safety standards directly determining the operational stability of the oil and gas production system and the inherent safety of offshore operations. This paper employs a literature review method and engineering case analysis to systematically analyze typical quality control issues throughout the construction process, considering the industry-specific characteristics of offshore oil mechanical and electrical installation, such as high explosion-proof requirements, strong corrosion resistance, deep-water operations, and complex working conditions. It also delves into identifying typical types of safety accidents in offshore operations and the core limitations of traditional supervision models. Based on this analysis, an optimized system for quality control throughout the entire process—encompassing pre-event prevention, in-event control, and post-event inspection—is constructed. Furthermore, this paper proposes pathways for enhancing safety technology from three dimensions: inherent safety design, intelligent supervision application, and emergency mechanism optimization. The research aims to provide theoretical support and practical references for refined management and control in offshore oil mechanical and electrical installation projects, facilitating high-quality and safe development in offshore oil and gas engineering.

Keywords： offshore oil engineering; mechanical and electrical installation; whole-process quality control; safety technology; intelligent supervision; HSE management

引言

随着我国油气能源需求持续提升，海洋石油工程向深水化、智能化、大型化转型升级，机电安装工程作为海上油气生产系统的“神经中枢”与“动力核心”，涵盖了工艺管线、防爆电气、动设备、仪表控制系统、水下生产设施等核心模块，其施工质量与安全管理水平已成为衡量海上油气工程建设品质的核心指标^[1]。但在实际施工中，海洋石油机电安装普遍面临海上作业空间受限、专业交叉密集、盐雾腐蚀环境严苛、防爆防中毒要求高、施工窗口期短等复杂工况，质量管控不到位、安全技术防护不足等问题频发，不仅影响油气田投产进度，更易引发重大火灾爆炸、中毒窒息等安全事故。

当前国内学者针对海洋石油机电安装质量与安全管理已开展相关研究，但多数侧重单一模块的施工技术优化或现场 HSE 管理，缺乏质量与安全融合的体系化研究，对智能化技术与海洋石油行业现行规范的融合应用探讨不足。基于此，本文聚焦海洋石油工程机电安装施工质量管控与安全技术优化展开系统研究，精准识别全流程痛点与监管短板，针对性构建闭环管控体系与技术保障体系，为海上油气工程施工企业提供可落地的实践参考，也为机电工程专业技术实践提供规范化思路。

一、海洋石油机电安装施工质量管控全流程核心问题

海洋石油机电安装质量管控贯穿施工全周期，任一环节管控缺失都会形成质量隐患，甚至引发海上生产系统性故障，核心问题集中在三个阶段。

（一）施工准备阶段的质量管控短板

施工准备是质量管控的基础，该阶段隐患会直接传导至后续全流程^[9]。当前核心问题根源在于事前质量策划机制缺失：一是设计交底与图纸会审流于形式，未按《海洋石油工程施工质量验收规范》SY/T 4080-2017要求开展全专业会审，参建各方对海上平台空间布局、防爆等级划分、防腐等级要求理解不到位，极易出现安装偏差与设计不符问题^{[9][11]}；二是材料与设备进场管控不严，未执行海上工程双向检验与船级社见证制度，防腐性能、防爆等级不达标产品流入现场，为海上高盐雾、易燃易爆工况埋下永久性隐患；三是施工方案编制缺乏针对性，未结合海上作业窗口期、特殊工况细化施工流程与质量管控要点，未按要求编制焊接、动火、水下作业等专项方案，易造成后续工序混乱、操作失当。

（二）施工实施阶段的高频质量通病

施工实施是质量管控的核心环节，也是海上机电安装质量通病高发期，核心问题集中在四方面：一是工艺管线安装不规范，油气输送管线焊接未严格执行焊接工艺评定 WPS 要求，无损检测合格率不达标，管线坡度、防腐绝缘层施工不符合设计要求，易引发介质泄漏、腐蚀穿孔等重大隐患^[4]；二是设备安装精度不足，海上压缩机、泵组等动设备找平、找正、对中校核未达设计与规范要求，未考虑海上平台振动工况的特殊要求，易引发设备运行振动、噪音超标，大幅缩短设备使用寿命；三是防爆电气与仪表安装不达标，防爆设备密封、接地施工不符合《爆炸危险环境电力装置设计规范》GB 50058-2014 要求，仪表管线敷设与 ESD 紧急停车系统接线不规范，易引发系统误动作、设备失爆等重大风险；四是交叉作业协调不足，未落实工序交接检验制度，结构、配管、电气、仪表专业施工顺序混乱，易出现管线碰撞、工序颠倒，造成返工整改影响工程质量^[9]。

（三）调试验收阶段的质量管控缺陷

调试验收是检验海上机电安装施工质量的最终关口，当前核心缺陷体现在两方面^[9]：一是系统调试不规范，部分单位为追赶投产工期，仅对核心设备做简单开机测试，未按设计与规范要求开展单机试运转、系统联动调试、全工况带负荷调试，未完成 ESD 系统、可燃气体报警系统的全功能测试，易导致工程投用后出现电气短路、系统运行效率不达标、安全保护失效等故障；二是竣工验收执行不严格，未按《海洋石油工程施工质量验收规范》SY/T 4080-2017 开展分项、分部工程验收，未完成船级社见证检验与第三方检测，质量核查不全面、竣工资料不完整，造成验收结果失真，不合格工程投用后易引发连锁质量安全事故^[12]。

二、海洋石油机电安装施工安全风险识别与管理瓶颈

（一）典型安全事故类型与核心致因

海洋石油机电安装施工具有易燃易爆介质多、高处作业多、带电作业多、受限空间作业多、重型设备操作多的特点，典型安全事故集中在五类，且致因明确：一是火灾爆炸事故，为海上最高发、后果最严重的事故类型，多因机电安装动火作业防护不到位、防爆设备失爆、电气线路短路引燃烃类可燃气体引发，易造成群死群伤与重大财产损失^[6]；二是中毒窒息事故，多因受限空间作业前气体检测不到位、硫化氢等有毒气体防护措施缺失、作业人员未规范佩戴正压式呼吸器引发，是海上作业人员死亡的主要诱因之一；三是触电事故，多因海上高盐雾环境下电气设备绝缘老化、临时用电接线不规范、施工人员未规范佩戴绝缘防护用品引发，还可能引发火灾次生灾害；四是高处坠落事故，海上平台管线敷设、设备吊装等环节涉及大量高处作业，防护设施不规范、未按规定系挂双钩安全带是核心致因；五是机械伤害事故，吊装、焊接等设备安全防护装置缺失、操作人员违规作业、设备维保不到位，易引发重物坠落、挤压切割伤人事故。

（二）安全技术与监管模式的核心短板

现场安全技术与管理体系的短板，是海上机电安装安全事故频发的核心诱因^[7]。一是安全防护技术与设施适配性不足，未按海上作业风险等级匹配防爆、防中毒、防腐蚀的专项防护措施，难以实现高危环节有效防控；二是施工人员安全意识与防护能力不足，未接受海上作业专项安全教育与技术交底，对易燃易爆、有毒有害介质风险认知不足，违规作业、冒险作业现象普遍；三是传统监管模式局限性突出，过度依赖人工巡检，海上平台偏远区域、水下作业、受限空间等环节易形成监管盲区，且以事后整改为主，缺乏事前风险预判与事中动态管控，无法实现源头防控^[8]；四是 HSE 管理体系执行流于形式，作业许可制度、风险辨识制度落实不到位，施工、监理、建设单位、第三方检验机构信息不互通，易出现监管脱节、责任推诿，无法形成监管合力。

三、海洋石油机电安装工程全过程质量管控体系优化策略

针对全流程质量管控痛点，本文构建“事前预防、事中控制、事后检验”的全闭环精细化管控体系，实现从源头隐患规避到终端质量验收的全流程管控，完全适配海洋石油工程施工规范与现场工况。

（一）事前预防：源头质量管控体系构建

事前预防是提升海上机电安装施工质量的核心前提，需从源头做好施工策划。一是强化设计交底与图纸会审管理，组织各参建方专业技术人员开展全专业会审，结合海上平台空间布局、防爆防腐要求，提前排查解决管线碰撞、参数不符等问题，形成完

整交底与会审记录,为施工提供准确技术依据^[2];二是严格落实材料与设备全流程管控,建立供应商准入制度,执行进场双向检验与船级社见证制度,重点核查设备防爆等级、管线防腐性能,需复检的材料按规范取样送检,杜绝不合格产品进场,同时规范现场存储管理,避免盐雾环境造成产品性能受损^[9];三是优化施工方案编制与技术培训,结合海上作业窗口期、工况特点编制专项施工方案,明确关键工序管控要点与验收标准,同时组织施工人员开展海上作业岗前培训与特种作业考核,考核合格后方可上岗^[1]。

(二) 事中控制: 施工过程动态精细化管控

事中控制是质量管控的核心环节,需通过动态管控及时排查整改隐患。一是规范施工工序全流程管理,严格落实工序交接检验制度,上一道工序验收合格后方可进入下一道工序,重点管控管线焊接、无损检测、防爆电气安装、防腐绝缘施工、隐蔽工程等关键工序,做好全过程施工与检验记录^[10];二是健全全专业交叉作业协同机制,明确各专业施工顺序与衔接要求,建立多方协调例会制度,结合海上作业窗口期合理规划施工工序,及时解决施工冲突,同时加大日常巡查与专项检查力度,及时纠正不规范操作,闭环整改质量隐患;三是提升质量检测技术水平,引入水下机器人检测、相控阵无损检测、管线防腐层探测等先进设备,强化隐蔽工程、水下设施与关键部位检测,同时应用 BIM 技术开展平台管线综合排布与施工模拟,提前规避管线碰撞问题,提升海上狭小空间内的安装精准度。

(三) 事后检验: 全周期质量追溯与验收管控

事后检验是把控海上机电安装工程质量的最终关口,需通过规范管控保障交付质量达标。一是规范开展全系统调试工作,按设计与规范要求编制专项调试方案,对设备单机参数、系统联动性能、ESD 紧急停车系统、可燃气体报警系统进行全面调试,如实记录调试数据,对发现的问题及时整改^[6];二是严格执行竣工验收流程,依据设计图纸、行业规范与船级社要求,全面核查施工质量,对验收发现的隐患限期闭环整改,同时规范整理竣工资料,确保资料完整、真实、可追溯;三是建立工程质量全周期追溯体系,对材料进场检验、工序施工、检测调试、验收整改等全环节资料闭环留档,出现质量问题可快速溯源整改,同时为海上油气田全生命周期运维提供完整技术支撑。

四、海洋石油机电安装施工安全技术体系优化路径

针对海上作业安全风险与管理瓶颈,本文突破传统被动防御模式,构建“本质安全源头防控+智慧监管动态管控+应急响应兜底保障”的三位一体安全技术体系,全面贴合海洋石油工程 HSE 管理要求,提升施工安全管理水平。

(一) 本质安全化设计与源头技术防范

本质安全化设计是防范海上安全事故的根本举措,需从源头降低施工安全风险。一是优化施工方案安全专项设计,在方案编

制阶段开展 HAZOP 危险与可操作性分析,全面识别安全风险点,基于风险等级优化施工流程,合理规避高危环节交叉作业,优先选用防爆等级达标、防腐性能优异的材料与设备,从源头提升安全保障能力;二是完善现场安全防护技术体系,严格按照《石油化工建设工程施工安全技术标准》GB 50483-2019、《海洋石油安全管理细则》要求,规范搭设防护设施、设置安全警示与可燃气体监测装置,为施工人员配备符合国家标准正压式呼吸器、绝缘防护用品、双钩安全带等个人防护装备,建立领用检查制度,强制规范佩戴使用^{[13][14]};三是健全施工设备全生命周期安全管理制度,建立设备进场验收、日常维保、定期检修的全流程管控机制,针对海上盐雾环境做好设备防腐防护,严禁设备“带病运行”,严格执行操作人员持证上岗制度,杜绝违规操作。

(二) 智慧安全监管技术的融合应用

智慧监管技术可有效破解海上传统监管模式的局限性,实现全时段全方位动态监管。一是搭建一体化智慧安全监管平台,整合物联网传感器、视频监控、大数据分析技术,对海上平台临时用电、起重设备、可燃气体浓度、高危作业区域进行实时监测,参数超出安全阈值时自动预警,及时处置安全隐患^[8];二是应用 AI 智能识别技术,通过视频监控系统对未佩戴安全帽、高处作业不系安全带、违规动火、未按要求佩戴防护装备等典型违规行为自动识别与实时警示,留存违规记录,实现对不安全行为的精准管控;三是建立多方协同监管信息共享机制,打通施工、监理、建设单位、第三方检验机构的信息壁垒,实时共享监测数据、隐患整改情况,实现多方协同管控,形成监管合力,全面落实 HSE 管理要求。

(三) 动态化应急响应机制的构建优化

完善的应急响应机制是海上安全事故处置的兜底保障,可最大限度降低事故损失。一是编制科学完善的应急预案,针对火灾爆炸、中毒窒息、触电、高处坠落等典型事故,分别编制专项应急预案,明确应急组织机构、岗位职责、处置流程、物资保障,同时做好与陆岸应急救援基地的联动衔接,确保预案可操作性强;二是规范应急物资储备与管理,按预案要求足额储备急救药品、消防器材、绝缘工具、堵漏器材、正压式呼吸器等应急物资,建立台账定期检查更新,确保物资完好可用;三是常态化开展应急演练与预案动态优化,定期组织全流程应急处置演练,提升作业人员应急处置与自救互救能力,同时根据演练复盘结果、现场工况变化、规范更新动态优化预案,持续提升应急响应的针对性与有效性。

五、结论与展望

海洋石油工程机电安装的施工质量与安全管理,是保障海上油气生产系统功能完善与运行稳定的核心基石,也是机电工程专业管理的核心内容。本文结合海洋石油工程高风险、强规

范、工况复杂的行业特性，系统剖析了机电安装全施工周期的质量通病，深刻揭示了典型安全事故背后的技术与管理短板，针对性构建了全过程闭环质量管控体系，形成了“人防 + 技防 + 智防”的新型安全技术保障体系，完全适配海上油气工程建设的实际需求。

本文研究针对海洋石油平台通用机电安装施工场景，后续可

进一步针对深水水下生产设施、FPSO 机电安装等细分领域开展专项研究，同时可探索 BIM 技术与智慧监管平台的深度融合，实现质量与安全的一体化数字化管控，为海洋石油工程行业高质量发展提供更具针对性的技术支撑。

参考文献

[1] 李刚. 海洋石油工程机电安装施工技术 & 质量管控 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40(12): 211-212.

[2] 王健. 海洋石油工程机电设备安装全过程精细化管控研究 [J]. 化工管理, 2022(24): 154-156.

[3] 张磊. 海洋石油工程机电安装施工技术要点分析 [J]. 石化技术, 2021, 28(05): 214-215.

[4] 刘阳. 海洋石油工程电气设备安装施工质量管理研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(08): 191-193.

[5] 赵旭. 海洋石油工程机电设备安装调试技术要点 [J]. 设备管理与维修, 2022(16): 116-118.

[6] 陈亮. 海洋石油工程施工中的安全风险识别与管控措施 [J]. 化工管理, 2023(06): 82-84.

[7] 孙志远. 海洋石油工程机电安装施工安全管理体系构建 [J]. 安全、健康和环境, 2021, 21(09): 45-49.

[8] 周斌. 智慧化技术在海洋石油工程安全监管中的应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(02): 86-88.

[9] 马明. 海洋石油工程机电设备安装施工质量控制措施 [J]. 工程技术研究, 2020, 5(18): 167-168.

[10] 韩冰. 海洋石油工程焊接施工质量全过程管控要点 [J]. 电焊机, 2022, 52(06): 115-120.

[11] 中华人民共和国国家能源局. 海洋石油工程施工质量验收规范 : SY/T 4080-2017[S]. 北京 : 石油工业出版社, 2017.

[12] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 爆炸危险环境电力装置设计规范 : GB 50058-2014[S]. 北京 : 中国计划出版社, 2014.

[13] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 石油化工建设工程施工安全技术标准 : GB 50483-2019[S]. 北京 : 中国计划出版社, 2019.

[14] 国家安全生产监督管理总局. 海洋石油安全管理细则 [Z]. 2009.