

海上石油开采防爆电气设备问题剖析与解决策略

刘志昌

华润守正招标有限公司 广东 深圳 518000

摘要：在海上石油开采领域，防爆电气设备的安全运行是保障生产安全、避免爆炸事故的核心环节。本文聚焦海上石油开采防爆电气设备问题及解决方法，依据《爆炸性环境第1部分：设备通用要求》（GB 3836.1）等规范，首先阐述设备防爆结构类型与海洋环境防护要求，接着深入分析选型不当（危险区域与防爆等级不匹配、参数不符工况）、安装不规范（电缆引入密封失效、接地电阻超标）、维护管理不到位（巡检缺失、定期维护滞后）、腐蚀与老化（盐雾侵蚀、元件性能衰减）等问题，最后针对性提出科学选型（参照GB 50058划分0/1/2区）、规范安装（符合Ex d隔爆结构装配要求）、强化维护（执行IP55防护等级检测）、防腐老化（采用阴极保护与元件寿命周期管理）、保障线路安全（配置过载保护与绝缘监测）等解决方法，为海上石油开采中防爆电气设备的安全运行提供技术参考。

关键词：海上石油开采；防爆电气设备；GB 3836系列标准；危险区域划分；盐雾腐蚀；接地系统

海上石油开采环境符合《爆炸危险环境电力装置设计规范》（GB 50058）定义的“爆炸性气体环境”，存在烷烃类可燃介质，防爆电气设备需同时满足防爆性能与海洋环境适应性要求。实际应用中，因未严格执行《海上石油平台电气设备安装技术要求》（SY/T 10030），常出现选型偏离GB 3836.2（隔爆型）、GB 3836.4（本质安全型）标准要求，安装时电缆引入装置未达到“Ex d”密封等级，维护未按周期开展防爆性能验证等问题，易引发点燃源泄露，导致爆炸事故。因此，结合行业规范与现场实践，解决防爆电气设备核心问题，对落实《海洋石油安全生产规定》具有重要意义。

1 海上石油开采防爆电气设备概述

海上石油开采防爆电气设备需同时满足防爆要求与海洋环境防护要求：主要分为Ex d（隔爆型）、Ex e（增安型）、Ex ia/ib（本质安全型）等结构，其中Ex d设备通过“隔爆外壳+间隙防爆”设计（外壳壁厚 $\geq 12\text{mm}$ ，隔爆间隙 $\leq 0.2\text{mm}$ ），阻止内部爆炸向外部传播；Ex ia设备通过限制电路能量（开路电压 $\leq 30\text{V}$ ，短路电流 $\leq 100\text{mA}$ ），确保故障状态下无点燃能力。海洋环境适应性方面，需符合《外壳防护等级（IP代码）》（GB/T 4208）中IP55及以上等级，外壳采用316L不锈钢或涂覆氟碳涂层抵御盐雾腐蚀，内部配置冷凝水引流结构，避免湿度 $>95\%$ 时发生电气短路^[1]。

2 海上石油开采防爆电气设备问题分析

2.1 选型不当：防爆匹配性与工况适配性失衡

2.1.1 危险区域划分与设备防爆等级错配

海上石油开采区域依据危险程度划分，不同区域对防爆电气设备要求各异。依据GB 50058《爆炸危险环境

电力装置设计规范》，海上石油平台需按可燃气体存在频率与持续时间划分为0区（持续存在）、1区（经常存在）、2区（偶然存在）。若选型时未精准考量，将低防爆等级设备用于高危险区域，或高防爆等级设备配置在低危险区，都会破坏安全平衡，使设备无法有效应对实际风险，埋下爆炸隐患。

2.1.2 设备参数与海上工况特性不匹配

海上石油开采工况复杂，涉及温度、压力、湿度等参数变化。海上平台高温（夏季甲板温度达55°C）、高盐雾（浓度50mg/m³）、高湿度（相对湿度 $>95\%$ ）的特殊工况，对设备参数提出严苛要求，但选型时易忽视关键指标。若选型时忽视这些因素，选用的防爆电气设备在额定参数上无法契合实际工况，如耐温、耐压能力不足，会导致设备运行异常，降低防爆性能，影响开采作业安全。

2.2 安装不规范：防爆结构完整性与系统可靠性受损

2.2.1 电缆引入与固定不符合防爆密封要求

海上石油开采中，电缆引入防爆电气设备时，若密封处理不佳，如密封圈老化、破损未及时更换，或未按规定压紧，会使外界可燃气体、潮气等进入设备内部，破坏防爆结构。同时，电缆固定不牢固，在海洋环境振动、晃动下易松动，导致电缆磨损、短路，引发安全隐患。

2.2.2 接地系统设计与施工不符合安全标准

防爆电气设备接地系统需满足“快速导除漏电电流”要求，防爆电气设备的接地安装至关重要，若接地电阻不符合要求，或接地线连接松动、腐蚀，在设备发生漏电等故障时，无法及时将电流导入大地，使设备外壳带电。这不仅会危及人员安全，还可能因电火花引发

爆炸事故，严重影响海上石油开采作业的顺利进行。

2.3 维护管理不到位：性能衰减与隐患积累的耦合机制

2.3.1 日常巡检缺乏系统性与专业性，导致隐患早期失察

海上石油开采环境恶劣，防爆电气设备长期经受高盐雾、潮湿、振动等考验。日常巡检缺失，就无法及时发现设备表面的腐蚀、松动、异常声响等早期问题。例如，密封部件老化破损可能让可燃气体渗入设备内部，若巡检未察觉，会逐渐积累危险，最终可能引发爆炸等严重事故。

2.3.2 定期维护未执行防爆性能验证标准，加速设备性能劣化

定期维护是对防爆电气设备的全面“体检”与保养。若维护不及时，设备内部电气元件会因长期运行而老化、性能下降，如绝缘材料老化降低绝缘性能，增加短路风险。同时，未及时清理设备内部灰尘、杂物，也会影响散热，导致设备过热，破坏防爆结构，威胁海上开采安全。

2.4 腐蚀与老化：海洋环境下的性能劣化机制

2.4.1 盐雾腐蚀导致防爆结构失效

海上空气盐分高，防爆电气设备长期暴露，盐雾会附着表面。盐雾（含 Cl^- ）引发金属部件电化学腐蚀：Ex d设备隔爆面点蚀超0.5mm，破坏防爆结构；304不锈钢外壳年腐蚀率0.03mm，抗爆强度下降；接地螺栓锈蚀致接触电阻超标，接地失效。某平台接线箱因此外壳破裂，扩大事故范围^[3]。

2.4.2 温湿度协同加速电气元件老化

海上石油开采环境恶劣，高温、高湿、振动等因素加速防爆电气设备内元件老化。海上平台高温超60°C、高湿度超95%时，绝缘材料介损值超标，绝缘强度降30%，易漏电；半导体元件放大倍数衰减超30%，控制精度低、易误动作；电容电解液泄漏、继电器触点氧化，使设备MTBF缩短50%，影响开采连续性^[2]。

3 海上石油开釆防爆电气设备问题的解决方法

3.1 科学选型：基于风险分级与工况适配的精准匹配

3.1.1 危险区域的精准划分与设备等级匹配

以GB 50058为依据，结合平台油气泄漏量（如井口泄漏速率0.1-0.5kg/h）、通风量（换气次数 $\geq 12\text{次}/\text{h}$ ），采用FLUENT软件模拟可燃气体扩散场，实现危险区域定量划分：0区（如分离器气相空间）选用Ex ia IIA T6设备，满足“持续存在可燃气体”防护需求；1区（如井口平台）选用Ex d IIB T5设备，平衡防爆性能与经济性；2

区（如中控室周边）选用Ex e IIA T4设备。划分后采用可燃气体检测仪（精度 $\leq 1\% \text{LEL}$ ）现场验证，确保区域边界误差 $< 5\text{m}$ ^[2]。

3.1.2 工况参数与设备指标的严格适配

海上石油开采工况恶劣，高温、高压、高湿、强腐蚀等状况对防爆电气设备参数要求严苛。选型时，要严格让设备参数适配实际工况。而且，设备参数须经国家防爆电气产品质量监督检验中心验证，有GB 3836系列标准认证，严禁“非标防爆”产品^[2]。

3.2 规范安装：基于标准流程的防爆结构保障

3.2.1 电缆引入与固定的标准施工

电缆引入与固定是海上石油开采防爆电气设备安装的关键环节。应严格执行GB 50257安装流程：电缆引入装置选用与电缆外径匹配的型号，密封圈采用丁腈橡胶（硬度 60 ± 5 Shore A），安装前检查无裂纹、老化；压紧螺母用扭矩扳手按 $25\text{-}30\text{N}\cdot\text{m}$ 紧固，密封间隙用塞尺检测 $\leq 0.1\text{mm}$ ；电缆固定采用304不锈钢防爆卡箍，间距 $\leq 1.5\text{m}$ ，卡箍与电缆间垫耐磨损橡胶垫；安装后进行气密性测试（压力 0.1MPa ，保压 30min 无泄漏），合格后方可投用^[1]。

3.2.2 接地系统的规范化设计与施工

规范接地安装对海上石油开采防爆电气设备的安全运行至关重要。首先，要选择合适的接地极，一般采用镀锌角钢或钢管，将其垂直打入地下，确保接地极与土壤充分接触，接地电阻符合设计要求，以保障良好的导电性能。在连接接地线时，应使用截面积足够、绝缘良好的铜质导线，将设备外壳与接地极可靠连接。连接点要牢固，采用焊接或压接方式，避免出现松动、虚接现象。对于多个设备需要接地的情况，要采用并联方式连接，严禁串联接地，防止因某个设备故障导致其他设备接地失效。

3.3 强化维护：基于全生命周期的性能管控

3.3.1 日常巡检的系统化实施

完善的日常巡检制度是海上石油开采防爆电气设备安全运行的基石。需制定详细合理的巡检计划，明确时间、路线与内容，且巡检人员要专业，熟悉设备特性。可构建“三级巡检”机制，班组级每周用红外测温仪和气体检测仪检测温度与可燃气体浓度并记录异常；车间级每月检查设备外壳腐蚀和密封件完好性；公司级每季度用IP55试验箱验证防护等级。同时，巡检记录要依照《海上石油平台设备档案管理规范》存档，保存不少于5年，确保问题可追溯、隐患能闭环^[1]。

3.3.2 定期维护的标准化执行

严格执行定期维护是延长海上石油开采防爆电气设备使用寿命、保障其性能稳定的关键。根据设备的使用说明书和实际运行情况，制定科学合理的定期维护计划，明确维护的项目、周期和标准。定期维护包括Ex d设备拆解检查隔爆面，打磨除锈后涂抹204-1防锈油脂，隔爆间隙用塞尺检测 $\leq 0.2\text{mm}$ ；本质安全电路用500V兆欧表测试绝缘电阻，确保 $\geq 100\text{M}\Omega$ ；更换老化元件（电容运行 ≥ 5 年、继电器动作 ≥ 10 万次），新元件需与原型号一致且具备防爆认证。

3.4 应对腐蚀与老化：基于环境适应性的防护策略

3.4.1 多维度防腐蚀技术应用

海上石油开采环境盐雾、潮湿严重，强化防腐蚀措施对防爆电气设备至关重要。可构建“材料-涂层-阴极保护”三维防护体系：设备选型优先选用316L不锈钢、钛合金等耐蚀材料；外壳涂覆氟碳涂层（厚度 $\geq 80\mu\text{m}$ ，附着力 $\geq 5\text{MPa}$ ），每2年检测涂层完整性，破损处及时补涂；安装锌合金牺牲阳极（保护电流密度 20mA/m^2 ），每半年检测阳极损耗量（超50%及时更换）；每半年用中性清洗剂（pH6-8）清洁设备表面，清除盐雾沉积物^[3]。

3.4.2 元件老化的全周期管理

随着海上石油开采设备长时间运行，电气元件会逐渐老化，性能下降，及时更换老化元件是保障设备安全稳定运行的关键。建立完善的元件老化监测机制，运用在线监测技术，实时掌握元件的绝缘电阻、温度、电流等关键参数，依据预设的阈值判断元件是否老化。同时，制定详细的定期检查计划，对设备进行全面拆解检查，直观查看元件的外观变化。

3.5 保障电气线路安全：基于故障预防的全流程管控

3.5.1 短路与断路的源头预防

在海上石油开采时，预防电气线路短路与断路对保障防爆电气设备安全运行至关重要。短路会引发电火花，点燃可燃气体致爆炸；断路则影响开采流程。预防

短路，要选用质量合格、规格适配且绝缘性能良好的电线电缆，安装时严格按规范操作，避免机械损伤，做好绝缘处理，防止因潮湿、盐雾等降低绝缘性能。预防断路，需定期检查线路连接点，确保连接牢固，防止因松动产生接触电阻，引发发热进而断路，保障开采安全。

3.5.2 过载发热的精准防控

海上石油开采里，防爆电气设备线路过载发热危害极大，会加速绝缘材料老化，减少线路寿命，甚至引发火灾与爆炸。为精准防控过载发热，要先准确计算设备负载电流，依此选合适截面积的电线电缆，保证其具备相应承载和过载能力。同时合理分配用电负荷，防止同一线路连接过大功率设备。安装热继电器等过载保护装置，电流超设定值时及时切断电路。此外，定期巡检检测线路，用红外测温仪监测温度，发现异常升温及时排查处理，保障线路安全稳定^[3]。

结束语

海上石油开采环境险恶，防爆电气设备的安全稳定运行意义重大。然而，当前该领域设备在选型、安装、维护、腐蚀老化及电气线路等方面问题丛生，成为威胁开采安全与效率的潜在隐患。为此，本文提出科学有效的解决策略，从科学选型、规范安装、强化维护管理，到应对腐蚀老化、保障线路安全等多方面着手。唯有将这些措施落实，构建完备安全保障体系，才能降低故障风险，推动海洋石油工业稳健前行。

参考文献

- [1]薛旭.某海上石油钻采平台在用防爆电气设备管理现状与对策[J].电气防爆,2021(03):24-27.
- [2]李冬.海上石油平台爆炸性危险场所用防爆电气设备安装浅析[J].电气防爆,2021(01):41-44.
- [3]成磊.海上石油平台防爆电气设备的维护[J].电气防爆,2021,214(04):32-35.