

# 维修船舶电气施工安全管理与实践

文泽春 王瀚

友联船厂(蛇口)有限公司 广东 深圳 518000

**【摘要】**：船舶电气维修是坞修工程的核心环节，占坞修总工时的20%-35%(中国船舶工业协会2023年数据)。其安全管理直接关系到修期控制、人员伤亡率和设备损毁率。本文基于风险分级管控理论(ISO 45001标准)和PDCA循环模型，结合蛇口友联船厂5年152艘次修船案例库，系统分析电气施工的触电、燃爆、窒息、坠落四类高风险作业的致因机理，提出覆盖前期策划、过程监控、收尾管理的全流程管控体系。创新性建立“三级风险作业清单”“隐患可视化上报平台”等实践工具，使重大事故率下降67%(2020-2023年统计数据)，为船舶修造企业提供可复用的安全管理范式。

**【关键词】**：电气施工；风险管理；坞修安全；能量隔离；有限空间作业

DOI:10.12417/2705-0998.25.15.053

## 1 维修船舶电气施工特点与风险演化机理

### 1.1 船舶坞修电气工程的特殊性

船舶电气维修区别于陆上作业的三大特征：

(1) 空间约束性：机舱平均高度仅2.1m(VLCC型油轮数据)，60%电气设备位于花铁板下方或顶棚区域，导致作业姿势非常规化。

(2) 能量复杂性：涉及6000V高压配电板、440V动力网络、24V控制系统等多电压等级共存，能量隔离需同步切断电源、液压、压缩空气等6类能源。

(3) 工艺交叉性：电气施工与船体焊接、涂装作业重叠率达45%，热工作业火星扩散半径达15米(CCS《修船防火防爆规程》)。

### 1.2 船舶电气维修作业主要风险源与控制措施

船舶电气修理作业伴随着多种高风险源，电气施工的主要风险包括：触电、火灾爆炸、中毒窒息、高空坠落等。

**触电风险**：设备维修作业的首要步骤是实施能量隔离(Lockout/Tagout)。隔离对象包括水、气、油等多种形式的能量源。

**火灾爆炸风险**：主要体现在涉及与热工作业的电舢装件施工中，热工作业区域常邻近油舱或易燃易爆物品，交叉作业也可能诱发此类风险。控制措施包括：

(1) 物理隔离：热工区与油舱间距不足3米时，需设置防火岩棉隔板(ASTM E119标准，耐火极限2h)。

(2) 化学防护：使用防爆型清洗剂(闪点 $>60^{\circ}\text{C}$ )，禁用丙酮等低闪点溶剂。

(3) 过程监控：配备红外热像仪实时监测相邻舱室壁温，超过 $50^{\circ}\text{C}$ 即触发报警。

**中毒窒息风险**：主要存在于有限空间作业中，如更换计程仪、测深仪，在压载舱更换探头及舢装件等。控制措施包括：

(1) 通风：每立方米空间需 $\geq 30\text{m}^3/\text{h}$ 新风量，使用防爆

轴流风机

(2) 检测：四合一气体检测仪( $\text{O}_2$ 、LEL、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CO}$ )每15分钟记录

(3) 通信：防爆对讲机+紧急拉动报警装置

(4) 救援：气体检测仪、机械通风设备、照明工具、防爆对讲机、正压式空气呼吸器(SCBA)、五点式安全带、安全头盔、安全绳救援绳、三脚架救援系统(垂直方向)、侧边进入系统(水平方向)、担架、急救药箱等<sup>[1]</sup>。

**高空坠落风险**：主要发生在高空电缆敷设及舢装件更换作业中。此类风险多由人的不安全行为(如疏忽大意、图省事)导致。控制措施包括：

(1) 竖井作业：设置双钩安全带锚点(承载31kN)

(2) 舷外施工：使用船用型防坠器(EN 360认证)

(3) 临时通道：脚手架踏板宽度 $\geq 600\text{mm}$ ，间隙 $\leq 30\text{mm}$   
研究表明：安全带使用率提升至95%可降低82%死亡风险(NIOSH报告)。需重点防控。

## 2 维修船舶电气风险管理与措施

船舶修理作业具有工种繁杂、现场环境复杂、危险因素多等特点，所有作业均需在保障安全的前提下进行。安全管理应贯穿维修工程全过程。电气工程的安全管理可以从以下方面着手：

### 2.1 前期工程策划

船舶进厂维修前，需对电气工程项目进行详细策划，开展安全风险评估，并根据风险等级(通常分为一级、二级、三级)制定针对性管控措施。

一级作业：常规冷工作业，风险较小。

二级作业：一般修理工程，风险较大，如热工作业、有限空间作业、高空作业等。作业前须由专人检查准备工作是否符合规范(如热工区防护、易燃物清除、邻近油舱情况核查；有限空间通风检测合格；高空作业脚手架及防坠措施到位等)。

三级作业：重大风险的特殊工程（如重型设备吊运、海上更换计程仪/ICCP 电极等）。因风险极高，需预先制定专项施工方案及应急预案，报安全部门审批。施工前必须组织安全交底会议，施工人员、管理人员及安全人员共同参与，明确风险及管控要求，形成全员监督氛围，降低事故发生概率。

通过前期分级策划与管控，可最大化降低安全风险。对高风险项目进行重点管控（专项方案、重点监控）是减少安全事故的关键。前期策划还有助于优化工序衔接，减少交叉作业风险。坞修工期紧张，多工程并行易导致交叉作业，良好的策划能显著降低风险并提升效率。

## 2.2 施工过程管控

施工过程中需持续进行安全监管。进度压力可能导致人员规范意识松懈，引发隐患。管控要点包括：

工前检查：每日施工前，核查准备工作是否到位（如热工区防护、易燃物清除、消防器材配备等）。强调“每日”和“核查”防护措施必须在施工当日布设并核查有效性，以防被挪用或失效。确认无误后，签署作业许可审批单方可施工。

劳保防护检查：检查施工人员个人防护装备（PPE）佩戴情况。特殊场所作业须重点检查专用防护设备（如有限空间作业的气体检测仪、照明；高空作业的防坠器等）。

过程巡查与纠偏：加强日常现场巡视，及时制止不安全行为（如切割作业不戴防护面罩/眼镜、坐在缆绳上休息、高空作业未系挂安全带等）。

## 2.3 施工收尾管控

工程收尾阶段的管理常被忽视，却也是事故高发环节。管控要点：

- (1) 能量恢复确认：LOTO 解除需双人核查（维修组长+设备责任人）
- (2) 现场复位：花铁板复位误差 $\leq 2\text{mm}$ （防止绊倒风险）
- (3) 工具清点：RFID 工具管理平台 100%核对应
- (4) 废弃物处置：含铅电缆皮等危废专库存储
- (5) 作业单签发：每日作业单闭环

## 3 维修船舶电气作业安全隐患排查与治理

船舶电气维修作业点多面广、人员众多，需加强日常巡查与监管：

### 3.1 建立多层次隐患排查机制

(1) 日常巡查：由单船项目组负责，针对当日施工内容进行巡查并记录。依据风险分级管理原则，对高风险作业重点监管。巡查范围应包括船厂施工方、船东服务工程师及船方自修工程。

所有在岗船员都要树立电气安全意识，且具备初步判断能

力。每日交接班前后，轮机部和甲板部船员都要按照《船舶电气设备日检表》对各自责任区域内的电气设备采用目视检查方式结合功能测试。比如，机舱内的值班轮机员要对主配电箱认真观察，明确是否出现异常发热迹象，闻是否有焦糊气味，听是否有继电器频繁跳动的声音。同时，还要使用手持红外测温仪对关键接线端子温度进行检测，明确是否超过 $65^{\circ}\text{C}$ 。检查电缆绝缘层的时候，看是否有龟裂和磨损的现象，是否被油污侵蚀；接线端子的检查中，对其轻轻摇动，明确是否存在松动现象。此外，还要检查应急电源，明确主电网停电之后的30秒内是否自动启动并且带载运行、防爆灯具密封圈是否正常发挥功能、通风系统是否正常联动控制等等。各项检查结果都要在电子日检表或者纸质日检表中详细记录，由当班负责人签字确认，一旦出现问题，责任具有可追溯性。

(2) 周度排查：每周组织一次全面隐患排查与整改。施工班应参与。可结合下周施工计划，讨论协调可能存在的交叉作业冲突，提前化解风险。

本级检查工作由专业人员执行。每周电工都要使用专业工具对电气设备进行系统性检测。比如，使用500或者1000V绝缘电阻测试仪测试高压电缆、电机绕组，保证其绝缘值超过规范要求；应用热成像仪对配电柜内部母排连接点进行扫描，对于潜在热点隐患能够有效识别；使用继电保护测试仪可对过载保护装置、短路保护装置的動作进行检测，明确其動作是否准确。这项检查工作中，除了对设备精度有较高要求之外，还需要技术人员有丰富的经验，对潜在故障问题准确判断。比如，某台电机绝缘值即便处于合格范围内，但是呈现出持续下降趋势，要提前安排拆卸检查，预防突发故障而难以应对。

(3) 节前/后排查：针对节假日前后易出现人员思想松懈的特点，组织全面安全检查，强化安全意识，预防事故发生。在节假日前后，尤其是国庆、春节等长假前后，要对电气设备进行一次全面的功能测试：逐个点亮应急照明灯，对其持续供电情况以验证，要求时间超过30分钟；模拟火警信号触发，明确火灾报警系统是否正常发挥功能，确保其准确报警并联动关闭通风系统；对应急发电机空载与带载启动性能以测试，保证其在主电源不能正常发挥功能的同时快速接管关键负载。

### 3.2 完善隐患上报与整改机制

有效消除隐患需全员参与。建立便捷的隐患上报渠道（如隐患报告卡、线上系统），鼓励所有人员（包括施工人员、管理人员）主动发现并报告安全隐患。对有效上报予以认可或奖励。这一过程本身也是提升全员现场风险辨识能力和安全意识的实践培训。

#### 3.2.1 标准化上报路径

当前主流船舶已普遍配备船舶安全管理系统（SMS），可通过平板电脑或固定终端登录系统，填写结构化的电子报告

单。报告内容有高清现场照片或者短视频，隐患部位清晰展示出来；还有设备编号与位置信息，便于后续定位；最后为风险等级评估，参照 IMO 发布的风险矩阵模型，从“可能性”与“后果严重性”两个维度打分，确定为低、中、高或极高风险。

### 3.2.2 闭环整改四步法

第一步是分级响应。基于风险等级将处理时限确定下来：包括指示灯损坏、开关面板松动等等均属于低风险问题，要在 48 小时内完成修复，使其恢复正常；绝缘下降、接触不良等均属于中风险，要在 24 小时内安排专门的人员处理；电缆严重腐蚀、母排过热变形等都属于高风险隐患，相关设备都要停止运行，要在 12 小时内完成进行临时隔离并及时做好应急修复，使得设备尽快恢复正常状态。

第二步是分析根本原因（RCA）。技术根源以及管理根源都要深入挖掘，可使用因果图分析，从“人、机、料、法、环”五个维度对深层次原因进行分析。

第三步是措施落地。技术层面可加装漏电保护器（RCD）等工程措施；管理层面则需要对《电气作业安全规程》进行完善，从实际需要出发补充内容，并组织专项培训。

第四步是数字化跟踪。借助安全管理平台实现整改全过程可视化监控，对于故障问题在规定时限内没有完成，系统自动向责任人发送消息提醒，并逐级上报至船长、机务主管，安全部门同步收到信息。

### 3.2.3 预防性治理延伸

通过数据驱动决策，可从被动响应转变为主动干预。比如，

航运企业统计此前五年之内的电气故障数据并详细分析，发现舵机控制系统频繁发生故障，且进一步了解到潮湿环境下控制板继电器触点被氧化为主要原因，通过冗余改造解决。经过改造之后，该系统平均每年的故障率下降幅度超过 70%。

## 4 总结与展望

船舶电气维修作业的安全管理至关重要，是保障修期顺利、减少不必要损失的关键。安全管理必须与施工过程深度融合，实现全过程管控：施工前周密策划（风险评估与分级管控），施工中严格监管（工前检查、过程巡查与纠偏），施工后规范收尾（现场清理与恢复）。同时，通过建立多层次隐患排查机制（日查、周查、专项查）和完善的隐患上报整改流程，发动全员参与，形成“人人讲安全、人人查隐患”的良好氛围，不仅能有效消除隐患，更能持续提升全体人员的安全素养和风险防控能力。

未来船舶电气维修安全管理的演进方向：

- （1）智能防护装备：研发自供电式气体检测安全帽
- （2）数字孪生应用：在虚拟坞修平台预演高风险作业
- （3）韧性能力建设：通过 VR 培训提升人员应急技能

实践证明：采用全过程管控体系后，单船电气维修事故均值从 1.7 次/艘降至 0.3 次/艘（2020-2023 年数据），人员伤亡直接经济损失减少 2300 万元/年。未来需进一步融合物联网、数字孪生技术，构建“人-机-环-管”智能安全防护体系。

## 参考文献：

- [1] 浅谈船舶密闭空间的安全管理.陈英.珠江水运,2025(09).
- [2] 油轮在船厂维修期间现场施工安全管理分析.王瀚.中国设备工程,2022(14).
- [3] 论船舶安全监督和隐患排查治理的关系.张健;何心竹.世界海运,2019(05).
- [4] 船舶修理前的安全风险评估.周其元.中国修船,2017(05).
- [5] 施工船舶的安全管理.肖阳春;廖付桥.中国水运(下半月),2013(18).