

船闸电气设备安装中的质量控制要点

文 / 郭明慧 广东省源天工程有限公司

摘要：船闸电气设备承担着水位调节和航运调度的重要功能，其安装质量直接影响系统的安全性和稳定性。为保障设备长期可靠运行，本文研究了船闸电气设备的安装质量控制要点。分析了船闸电气设备的功能特点及其安装要求，探讨了设备选型、施工材料验收、安装环境控制等前期质量管理措施。从设备安装精度、连接工艺、固定方式等方面详细论述了安装过程中的质量控制方法，并重点研究了电气线路敷设、端子连接、接地系统防护等关键环节的控制措施。研究表明，严格规范安装过程各环节的质量，可有效提升电气系统的安全性和耐用性，降低故障率，提高船闸运行的可靠性。研究提出的质量控制方法可为船闸电气设备的安装与维护提供技术支持，对提升船闸自动化水平和运行安全具有重要的工程应用价值。

关键词：船闸；电气设备安装；质量控制；接地系统；线路敷设

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.10.026

引言

船闸电气设备安装质量直接影响系统运行的安全性和稳定性。目前，研究多集中于自动化控制、电气防护及运行监测，如智能监测系统应用和高防护等级材料的优化，但对安装环节的质量控制研究较少，特别是在设备选型、安装精度、线路敷设、接地优化等方面缺乏系统性标准。为弥补这一不足，本文研究船闸电气设备安装的关键质量控制要点，分析设备选型原则、施工材料验收标准及环境适应性要求，探讨安装精度、连接工艺和固定方式，并研究电气线路敷设、端子连接及接地系统优化等关键环节，以提升系统安全性和长期稳定性。研究成果可为船闸电气设备的安装与维护提供技术支撑，对提升船闸自动化水平和运行安全具有重要价值。

一、电气设备安装前的质量控制

（一）设备选型与技术参数校核

船闸电气设备的选型应符合运行工况要求并满足长期稳定运行的技术指标，设备选型需依据额定电压、电流容量、短路耐受能力及防护等级等参数进行严格校核。对于潮湿、高盐雾、高腐蚀的环境，设备外壳应达到IP65及以上防护等级，且关键电气元件应使用不锈钢或特殊涂层处理的金属外壳等耐腐蚀材料。开关设备、继电器、变压器等需满足耐高湿、防结露要求，线圈绝缘等级不低于F级且部分高负荷设备应使用H级绝缘材料。断路器的分断能力需大于最大短路电流并保证机械寿命和电寿命满足运行需求，控制系统中的PLC、远程通讯模块需支持高温高湿环境下的长期运行，具备抗电磁干扰能力，通讯接口使用光电隔离方式来提高系统稳定性。电缆选型需符合额定载流量要求并具备耐油、耐磨、耐紫外线性能，敷设于潮湿或腐蚀环境中的电缆需使用低烟无卤阻燃材料。

（二）施工材料及配件的质量验收标准

施工材料和配件的质量直接影响电气设备安装的可

靠性，在北江（韶关至乌石）航道扩能升级工程濠湴枢纽二线船闸项目中，所有进入施工现场的材料应进行严格的质量检验，并符合国家标准及船闸电气系统的特殊要求。配电柜、控制柜的金属外壳厚度不得低于2mm，内部母排需采用 $\geq 99.9\%$ 高纯度铜材，并进行抗氧化镀锌或镀银处理。端子排连接件应具备良好的抗氧化性能，螺栓扭矩达到标准值，避免因接触电阻增大导致发热或烧损。电缆桥架需采用防腐喷涂处理，支撑结构承载力不低于电缆总重量的1.5倍，并预留10%的扩容空间。电缆压接端子需符合国家电力标准，压接后电阻值不超过规定范围，压接完成后进行拉力测试，保证连接牢固可靠。接地铜排应选用大截面导体，表面无氧化层，接触点必须涂导电膏以降低接触电阻。开关元件在安装前需进行动作测试来保证机械部分灵活无卡滞，触点接触良好无氧化^[1]。

二、电气设备安装过程中的质量控制

（一）设备安装精度及固定方式技术要求

船闸这种特殊环境中安装误差可能导致设备的运行不稳定、故障频发甚至严重事故，低压配电柜、开关柜等固定式设备的基础水平误差必须严格控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内，垂直度误差应控制在设备高度的0.5%以内。这些要求可以使用高精度的水准仪、激光水平仪等设备进行实时监测和校验，保证设备处于理想的安装位置。设备底座的固定使用M12以上的膨胀螺栓，螺栓的深度必须不小于80mm且其抗拉强度应符合强度标准。此情况下螺栓的受力计算应符合拉应力公式：

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

其中， σ 是拉应力，F是受力，A是受力面积。确保设备能够承受长期的振动、潮湿等环境因素的影响，不出现松动。对于重型设备，如变压器、动力柜等安装平台的承载能力必须满足以下公式：

$$P \geq \frac{G}{n} \times S_f$$

其中，G 为设备的重量，n 为支撑点的数量，S_f 为安全系数取 1.5。安装平台的选材必须保证承载力的稳固，并且在设备运行过程中平台不发生任何变形或位移。电缆桥架的支架间距应严格控制，水平敷设时支架间距不应超过 1.5m，垂直敷设时支架间距不超过 2m。桥架的弯曲半径不得小于电缆外径的 10 倍以避免电缆因弯曲产生不必要的机械应力，导致损坏。所有电缆的固定螺栓应采用双螺母结构，并且在紧固后应涂防松胶，以保证长时间运行中螺栓不会松动，防止电缆在使用过程中出现松脱现象，影响设备正常运行。

（二）关键部件连接工艺及紧固标准

关键部件的连接工艺会影响电气设备的性能稳定性和使用寿命，母排的连接中其接触面要经过镀锡或镀银处理，以减少接触电阻。标准规定母排接触面的导电电阻不应大于 $R_c \leq 5 \times 10^{-5} \Omega$ ，母排的连接处在安装完成后需进行压力测试来保障其接触良好、牢固，压力的计算公式如下：

$$F = \frac{P}{A}$$

其中，F 为单位面积压力，P 是总压力，A 是接触面积，此公式可以计算出在受力情况下连接的紧固效果，保障接触电阻足够低来避免因接触不良导致的电气故障。对于螺栓的紧固力矩有严格的要求，螺栓规格及其推荐、最小和最大扭矩见表 1。

表 1：螺栓规格及其推荐、最小和最大扭矩

| 螺栓规格 | 推荐扭矩 (N·m) | 最小扭矩 (N·m) | 最大扭矩 (N·m) |
|------|------------|------------|------------|
| M6 | 8 | 6 | 10 |
| M8 | 22 | 18 | 26 |
| M10 | 42 | 35 | 50 |
| M12 | 75 | 65 | 85 |

安装过程中要严格按照这些标准进行螺栓紧固操作，螺栓紧固影响设备的连接可靠性还直接关系到设备的安全性，高压电气设备的连接中紧固不当可能导致接触不良会影响系统的稳定运行^[2]。对于端子的连接须采用压接工艺，多股导线连接时需先进行铜接线端子的压接处理。压接后须进行拉力测试并保证连接处的牢固性和可靠性。拉力测试的公式如下：

$$F_t = k \times A_c$$

其中，F_t 为拉力，K 为材料常数，铜线的常数一般取值为 0.8 ~ 1.2N/mm²，A_c 为导线截面积。进行拉力测试时需保证所有连接点没有出现松动现象。高压电缆的终端头连接需使用冷缩或热缩工艺，保证电缆与设备之间的绝缘性能符合标准。终端头的剥离长度须严格按照标准进行处理，剥离长度的误差不得超出 ±2mm 的范围。

完成终端头安装后应进行红外测温检查，保证设备在正常工作条件下温升不超过允许的标准，以避免因过高的温升引起绝缘老化或设备故障。

（三）施工安全规范及防误操作措施

高压电气设备的安装和调试要按照安全操作规程进行以避免发生触电或其他安全事故，所有施工人员需经过电气安全培训，并配备符合标准的绝缘手套、护目镜等个人防护装备且绝缘手套的耐压等级应不低于 10kV，每六个月进行耐压试验来保证其使用安全。安装前所有高压设备需进行绝缘电阻测试，测量的电阻值 R_i 应满足：

$$R_i \geq \frac{U}{I_1}$$

其中，U 为额定电压，I₁ 为泄漏电流。一般情况下绝缘电阻值不得低于 5MΩ 以保证电气设备的安全性。施工现场应设置警戒线防止非施工人员进入高压作业区，并且在高压设备周围张贴警示标志，提醒工作人员注意安全。所有接线端子的紧固操作要在停电状态下进行，且需使用验电笔确认无电后方可进行接线作业，接线过程中应指派专人进行监护来保障操作规范无误^[3]。

三、电气线路敷设与接地系统的质量控制

（一）导线规格选择与布线工艺规范

船闸电气设备安装过程中导线的选择和布线工艺会影响电气系统的稳定性、效率与安全性，导线规格的选择需考虑系统的额定电压、电流负荷、短路保护能力等因素。对于低压系统应根据电流载流量和电缆敷设环境来确定导线的截面积，对于 50A 及以下的负荷使用 4mm² 的铜导线，对于更大负荷需选用 6mm² 或以上的导线。选择导线时导线的绝缘等级时，需根据运行环境的温度、湿度等条件来选择 PVC 绝缘电缆、XLPE 电缆等适合的电缆种类。

电缆布线应严格遵循电气设计要求和行业标准，保证布线规范、整齐、安全。布线时需考虑电缆的最大弯曲半径来避免电缆在敷设过程中出现机械损伤。电缆桥架的布置应避免电缆的过度弯曲，要求电缆桥架的弯曲半径不小于电缆外径的 10 倍。同时电缆的排列应满足防止电缆间的相互干扰及过热的要求。电缆敷设时电缆应平行铺设，并按电流负荷分类分组来避免过度拥挤造成过热。电缆敷设过程中为保证电缆的长期稳定运行需特别注意电缆的保护，恶劣环境下电缆应考虑增加外护套和防腐蚀措施，防止电缆受潮、老化或遭受机械损伤。电缆的标识标签应清晰可见以便于日后的维护和检查。

（二）端子连接可靠性及绝缘防护要求

端子连接的可靠性与绝缘防护要求

端子连接的质量直接影响电气设备的安全性和稳定性，因此必须确保良好的电气接触，以防止因接触不良导致过热、火花或故障。端子连接工艺需符合国家电气

规范，并具备足够的机械强度。在多股导线连接中，需采用符合标准的压接端子，并合理选择压接工具，确保压接操作规范。压接过程中，端子与导线之间不得留有空隙，压接部分应均匀且无损伤，以保证长期使用的稳定性。为提高端子连接的可靠性，所有连接点的接触电阻应严格控制在允许范围内，一般要求不超过 $5 \times 10^{-5} \Omega$ ，以确保电流传输质量并减少发热风险。

对于不同电压等级的设备，应采取相应的绝缘防护措施。高压设备的端子连接后，必须使用绝缘护套或绝缘胶带覆盖所有裸露金属部分，以防止短路或触电。绝缘材料的选择需符合电气标准，具备足够的耐压等级和抗环境干扰能力。端子压接后，应进行抗拉强度测试，以确保其在振动或温度变化条件下不会松动。此外，所有端子连接完成后，应涂抹抗氧化导电膏，以降低接触电阻，提高电流传输效率。端子接头应采用热缩管或冷缩管进行绝缘防护，并确保其耐压能力达到系统额定电压的 2.5 倍以上^[4]。

在低压系统中，可使用 PVC 管套或专用端子保护罩，以防止误操作和外部干扰；高压系统则需采用硅橡胶套管或热缩管，以确保良好的绝缘性能和耐候性。为了保持端子连接的长期稳定性，应定期对高负荷设备的端子进行检修和测试。利用红外测温技术可检测端子是否存在过热现象，及时发现接触不良或松动问题。此外，所有端子连接应进行定期维护，以防止因老化或环境因素影响其绝缘性能，确保系统的安全性和可靠性。

（三）接地系统的安装、测试及防雷措施

接地系统是电气设备安全运行的重要保障，特别是在北江（韶关至乌石）航道扩能升级工程濠湴枢纽二线船闸项目中，其接地电阻值应不高于 4Ω ，以确保良好的电流泄放能力。接地系统主要由接地极、接地线和接地母排等组成。接地极的选择应综合考虑土壤电导率、接地电阻要求及安装环境。钢管接地极导电性能优良且耐腐蚀，适用于潮湿环境，而铜接地极则适用于一般环境。安装时，接地极的埋设深度应达到 2~3 米，以确保接地电阻符合要求。接地线的规格需满足负载电流要求，其截面面积应符合《电气安装工程接地与防雷设计规范》的相关标准。为增强耐腐蚀性和机械强度，接地线宜采用镀铜或镀锌钢丝，并确保安装时实现机械连接与电气连接的双重可靠性，以降低接触电阻，提高接地系统的稳定性。

接地系统安装完成后，需使用接地电阻测试仪进行现场检测，测试点应选取在关键位置，以保证测量结果的代表性。在濠湴枢纽二线船闸项目中，特别要关注测试结果的准确性。如果测试结果超过标准要求，应采取优化接地系统，如增加接地极或使用低电阻材料，以降低接地电阻值，确保系统安全可靠。

雷电对电气设备具有极大的破坏性，因此在濠湴枢

纽二线船闸区域应配备完善的防雷系统。防雷系统应采用多级保护策略，包括避雷针、避雷带及浪涌保护器（SPD）。SPD 的选型应与线路额定电压匹配，以确保设备在雷击或电涌干扰时得到有效保护。不同等级 SPD 的性能参数需根据实际应用需求合理配置，以提升防雷系统的整体可靠性。不同 SPD 等级的性能参数见表 2。

表 2：不同 SPD 等级的性能参数

| SPD 等级 | 适用电压(V) | 最大通流能力(kA) | 残压(V) |
|--------|---------|------------|-------|
| I 级 | 6kV | 100kA | 2500V |
| II 级 | 4kV | 40kA | 1500V |
| III 级 | 2.5kV | 20kA | 800V |

I 级 SPD 适用于 6kV 的高电压环境，具有较高的最大通流能力（100kA），可以在极端情况下有效保护设备，其残压为 2500V；II 级 SPD 适用于 4kV 的电压环境，最大通流能力为 40kA，残压较 I 级更低为 1500V，适合一般工业设备保护；III 级 SPD 适用于 2.5kV 的低电压环境，最大通流能力为 20kA，残压降低至 800V，主要用于保护敏感的电子设备。随着 SPD 等级的提升适用电压、最大通流能力增大，同时残压逐步降低可以提供更高效的保护但适用范围也相应变化。所有接地电阻值需使用接地电阻测试仪测量，测试电流使用直流 10mA 或交流 25A，确保实际接地电阻符合设计要求。电气系统中应保证所有避雷器的耐压水平符合设备运行的标准并定期进行检查和维修，确保防雷装置的有效性。

结语

船闸电气设备安装中的质量控制是保障设备长期稳定、安全运行的关键，设备选型需根据电流承载能力、电压降和机械强度等技术参数进行严格审查，并保证布线规范。安装过程中的设备固定、连接工艺及紧固力矩必须符合标准以保证设备的精确安装与牢固性。端子连接时要保证接触电阻最低，且实施有效的防护措施。接地系统安装时应严格控制接地电阻值，保证安全性并设置有效的防雷措施。所有安装完成后需进行严格的测试与检查，保证系统的可靠性和安全性。总体来说船闸电气设备的质量控制从选型到施工每一环节都需要严格把关，以保障设备运行的安全和高效性。

参考文献

- [1] 郎开静. 110kV 电气设备的安装技术研究 [J]. 产品可靠性报告, 2024, (12): 138-140.
- [2] 王仕辉. 电力系统电气设备安装与调试技术探讨 [J]. 全面腐蚀控制, 2024, 38(12): 123-126.
- [3] 刘意. 外置式编码器在龙洲垸船闸中的应用 [J]. 中国水运, 2024, (23): 107-108.
- [4] 焦少侠, 王柏吉, 赵建国, 等. 邮轮室外电气设备安装及舾装件设计标准分析 [J]. 船舶标准化工程师, 2024, 57(S1): 69-74.