

核电厂机械设备安装过程中的技术探究和质量管控

刘 波

中国能源建设集团浙江火电建设有限公司 浙江 杭州 311200

摘要: 核电厂作为能源体系重要组成,其机械设备运行安全性与稳定性直接关乎电厂整体运营。本文围绕核电厂机械设备安装展开研究,剖析了设备安装的技术特点与难点,包括设备高精度、耐辐射等特殊性能,核岛内复杂环境及大型设备吊装、精密调试等难点;阐述了安装全流程技术要点,涵盖设备到场验收、吊装就位、定位连接及调试校验各环节关键操作;最后构建质量管控体系,明确管控目标原则、组织架构职责及分阶段管控流程与方法。研究为核电厂机械设备安装提供技术与质量管控参考,助力提升安装质量与设备运行稳定性。

关键词: 核电厂;机械设备安装;关键技术;质量管控

引言: 相较于常规工业设备,核电厂机械设备安装面临更高技术要求与更复杂环境挑战,安装质量管控亦需更严格标准。当前,行业对核电厂机械设备安装技术的系统性梳理及质量管控体系的完善需求迫切。本文针对核电厂机械设备安装技术特点、流程要点及质量管控展开深入探究,旨在为规范安装操作、强化质量管控提供理论支撑,保障核电厂设备长期安全可靠运行。

1 核电厂机械设备安装技术特点与难点

1.1 核电厂机械设备的特殊性

核电厂机械设备在性能指标上具有显著特殊性,首要体现为高精度与高可靠性要求。这类设备运行参数需维持在极小波动范围内,部件装配间隙、运动轨迹偏差等均需控制在微米级,且需在长期运行中保持稳定,避免因设备误差引发连锁问题。设备需具备耐辐射与耐腐蚀等特殊性能,需耐受长期辐射环境对材料结构的影响,抵御核岛内部特定介质的侵蚀,确保在复杂工况下不出现性能衰减或结构损坏,其材料选择、制造工艺均围绕这些特殊性能需求设计。

1.2 安装环境与条件的复杂性

核电厂机械设备安装环境与条件存在突出复杂性,核心集中在核岛内特殊环境与施工空间限制。核岛内可能同时存在高温、高压、高辐射等多重恶劣条件,环境参数波动幅度大,对安装作业的安全性与设备适应性提出严苛要求。核岛内部结构紧凑,设备安装区域空间受限,大型设备搬运路径狭窄,部分安装点位需在密闭或半密闭空间内操作,进一步增加了施工操作的难度,对安装流程规划与空间利用提出更高要求。

1.3 安装过程中的技术难点

安装过程中的技术难点主要体现在大型设备吊装与就位、精密设备调试与校准两方面。大型设备因体积

大、重量重,吊装时需精准控制起吊角度、受力平衡,避免设备在吊装过程中发生形变或位置偏移,且需与核岛内部结构精准配合,确保就位位置符合设计标准。精密设备调试与校准则需应对设备内部复杂的机械与电控系统,需通过专业技术手段消除安装误差,使设备各项运行参数达到设计阈值,调试过程中需兼顾多系统协同,避免单一参数调整对整体性能产生干扰^[1]。

2 核电厂机械设备安装流程及技术要点

2.1 设备到场验收技术要点

设备到场验收是安装前期的关键环节,要通过多维度检查确保设备满足安装条件,技术要点如下:(1)外观与包装检查要逐一对设备主体、附件及零部件进行排查,确认设备表面无磕碰、划痕、变形等损伤,涂层无脱落、鼓包现象,金属部件无锈蚀痕迹;同时检查包装完整性,确认防潮、防震、防冲击包装措施未失效,包装标识与设备型号、规格、数量一致,无错发、漏发情况。(2)技术文件核验要对照设计清单核查全套文件,包括设备出厂合格证、性能检测报告、材质证明、安装说明书、部件装配图等,确认文件签署手续齐全、数据记录完整,关键参数与设计要求一致,无数据缺失或矛盾情况。(3)部件完整性与状态检查要逐一核对设备零部件清单,确认所有组件、紧固件、密封件等齐全,无缺失或损坏;对精密部件需检查保护措施是否到位,避免运输过程中出现位移或损坏;对需预组装的部件,检查接口匹配度,确认无尺寸偏差导致的装配障碍。(4)初步性能检测要借助专用工具对设备核心功能组件进行简易测试,如转动部件手动盘车检查灵活性,无卡滞、异响;阀门开关操作检查行程准确性,无卡顿;仪表显示单元通电检查,确认指示灯、数值显示正常,无故障代码。

2.2 设备吊装就位技术要点

设备吊装就位要结合核电厂施工环境特性,通过精准控制确保设备安全、准确就位,技术要点如下:(1)吊装前准备工作需先对吊装场地进行平整处理,确认地面承重能力满足吊装设备要求,无沉降风险;检查吊装设备的性能参数,确认额定起重量、工作半径与设备重量匹配,制动系统、限位装置运行正常;清理吊装路径障碍物,划定安全作业区域,设置警示标识。(2)吊具选型与安装要根据设备重量、外形结构及受力点位置选择专用吊具,如钢丝绳、吊带、吊梁等,确保吊具额定载荷大于设备重量,且材质具备耐磨、抗拉伸特性;吊具与设备连接时,需对准设备预设吊点,使用专用紧固件固定,避免吊具与设备表面直接摩擦,必要时加装防护垫;安装后检查吊具连接牢固度,确认无松动或位移。(3)吊装过程控制需由专业人员统一指挥,起吊初期缓慢提升设备,检查吊具受力平衡情况,确认设备无倾斜;提升至指定高度后,平稳移动吊装设备,控制运行速度,避免设备晃动或与周边结构碰撞;接近安装基础时,减缓下降速度,通过辅助工具引导设备对准安装位置,确保就位偏差在允许范围内。(4)就位后临时固定要在设备初步就位后,立即采用临时支撑件固定设备,防止设备位移或倾倒;调整临时支撑高度,使设备底部与安装基础预留合理间隙,便于后续定位调整;检查临时固定装置的稳定性,确认支撑点受力均匀,无局部过载情况^[2]。

2.3 设备定位与连接技术要点

设备定位与连接直接影响安装精度,要通过精密操作确保设备位置与连接质量,技术要点如下:(1)安装基础预处理需先清理安装基础表面杂物、灰尘,修补基础表面裂缝、凹陷等缺陷;使用水平仪、水准仪检测基础水平度与标高,确认偏差符合设计要求;在基础表面标记基准线、定位点,通过激光跟踪仪建立三维坐标体系,为设备定位提供精准参考。(2)设备精准定位需将设备缓慢放置于基础上方,通过调整底部调整螺栓或垫铁微调设备位置,利用精密测量工具实时监测设备水平度、垂直度、中心轴线偏差;针对大型设备,采用分段定位方式,先固定设备主体,再调整附件位置,确保各部件相对位置符合设计标准;定位完成后,复测设备各项偏差数据,确认均在允许范围内。(3)螺栓连接施工需根据螺栓规格与受力要求选择合适的拧紧工具,按照预设扭矩值分次紧固,紧固顺序遵循“对称分布、由内向外”原则,避免局部受力不均导致设备变形;对高强度螺栓,需检查螺栓预紧力,采用扭矩系数法或轴力计

进行验证,确保预紧力符合设计要求;螺栓紧固后,检查螺栓外露丝扣数量,确认无少拧或过拧情况,必要时加装防松垫圈。(4)焊接与法兰连接施工需针对焊接部位选择匹配的焊材与焊接工艺,控制焊接电流、电压、焊接速度,减少焊接变形,焊接过程中采用分段退焊或对称焊接方式,降低残余应力;焊接完成后,清理焊渣与飞溅物,检查焊缝外观,无裂纹、气孔、夹渣等缺陷;法兰连接时,需清理法兰密封面油污、杂质,选择符合介质特性的垫片,均匀紧固法兰螺栓,确保密封面贴合紧密,无泄漏风险。

2.4 设备调试与校验技术要点

设备调试与校验是验证安装质量的关键环节,需通过系统测试确保设备性能达标,技术要点如下:(1)单机调试需先检查设备电气回路、液压系统、润滑系统连接完整性,确认无接线错误、管路堵塞情况;启动设备空载运行,检查电机转向、转速是否正确,运行过程中无异常噪音、振动;测试设备启停功能,确认启动电流、停机制动符合设计要求;对具备调节功能的部件,逐一测试调节范围与响应速度,记录各项运行参数。(2)分系统协同调试需将设备与关联系统连接,测试系统间信号传输准确性,确认指令发送与执行无延迟、无偏差;模拟正常运行工况,调整系统压力、流量、温度等参数,检查设备与系统的匹配度,确保各组件协同运行顺畅;测试系统保护功能,如过载保护、超温保护、故障报警等,确认触发条件与响应动作符合设计标准。(3)精密校准需使用专业校准设备对设备关键参数进行校准,如测量仪表的精度、控制阀门的开度、传动机构的传动比等;对比校准数据与设计标准值,计算偏差,通过调整设备内部组件修正偏差,直至参数精度满足要求;校准完成后,记录校准数据,形成校准报告,标注校准日期与有效期。(4)性能验证与稳定性测试需在设备满负荷运行状态下,持续监测设备各项性能指标,如运行效率、能耗、密封性能等,确认指标稳定在设计范围内;进行长期稳定性测试,记录设备连续运行过程中的参数变化,无明显漂移;测试设备在异常工况下的适应能力,确认设备能正常响应且无损坏,最终形成完整的调试校验报告,作为设备验收依据^[3]。

3 核电厂机械设备安装质量管控体系

3.1 质量管控目标与原则

质量管控目标要围绕核电厂机械设备安装核心需求设定,首要目标为保障设备安装精度达标,确保设备关键参数(如位置偏差、连接强度、运行间隙)符合设计标准,无超出允许范围的误差;其次为提升设备运行稳

定性,减少安装过程中因操作不当或工艺缺陷导致的运行故障风险;同时需满足设备长期安全运行要求,确保安装质量可支撑设备在设计寿命周期内稳定发挥功能,无安全隐患。

质量管控要遵循多项核心原则,包括“预防为主”原则,通过前期风险识别、工艺优化提前规避质量问题,而非事后整改;“全程管控”原则,覆盖设备到场验收、安装、调试、验收全流程,无管控盲区;“标准化操作”原则,所有安装与管控环节均依据核电厂设备安装标准、行业规范执行,避免人为操作随意性;“数据驱动”原则,以实测数据为质量判定依据,通过精密测量、记录分析确保管控结果可追溯、可验证。

3.2 质量管控组织架构与职责

质量管控组织架构要形成多层次、全覆盖的管理体系,核心层级包括决策层、执行层与监督层。决策层由项目负责人、质量总监组成,主要负责制定质量管控总体目标、审批管控方案与资源调配;执行层包含技术部门、安装班组与质量检验组,技术部门负责编制安装工艺与质量管控技术文件,安装班组按规范执行安装操作,质量检验组负责现场质量检测与数据记录;监督层由独立的质量监督部门与第三方检测机构构成,负责监督管控流程合规性,验证检验结果真实性。

各部门与人员职责需明确划分,质量总监负责统筹全流程质量管控工作,审批质量问题处理方案;技术人员需提供技术支持,解决安装过程中与质量相关的技术难题,修订工艺文件;安装班组长需确保班组人员按标准化流程操作,组织班前质量交底,排查班组操作中的质量风险;质量检验员需按检测计划开展现场检验,如实记录检测数据,对不合格项及时上报;质量监督人员需定期检查管控记录完整性,核查检验设备校准状态,对违规操作提出整改要求。

3.3 质量管控流程与方法

质量管控流程需分阶段有序推进,安装前准备阶段要完成三项核心工作,(1)开展质量风险识别,梳理安装各环节潜在质量问题与影响因素;(2)完成技术与人员准备,组织安装人员学习管控标准与工艺要求,校验

检测设备精度;(3)核查设备与材料质量,确认到场设备符合验收标准,安装材料性能达标。安装过程监控阶段要实施实时管控,按“工序检验—分项验收”节奏推进,每道工序完成后由质量检验组现场检测,合格后方可进入下一道工序;重点环节(如设备定位、焊接连接)需执行“双重检验”,由质量检验组与监督部门分别检测,确保无质量遗漏;同时需同步记录管控数据,形成完整的质量档案,包括检测时间、检测人员、实测数据与判定结果。安装后验收阶段需开展综合质量验证,先进行设备单机性能验收,检测设备运行参数与质量指标;再进行系统联动验收,验证设备与关联系统协同运行的质量稳定性;最后完成质量文档验收,核查全流程管控记录、检测报告完整性与合规性。

质量管控方法应结合核电厂安装特点选择,包括“精密测量法”,使用激光跟踪仪、全站仪等设备获取安装精度数据;“抽样检验法”,对批量部件按比例抽取样本检测,兼顾效率与准确性;“过程审核法”,定期审核安装工艺执行情况与管控记录;“不合格项闭环管理法”,对发现的质量问题制定整改方案,明确整改责任人与时限,整改后重新检验,直至合格^[4]。

结束语:本文系统研究核电厂机械设备安装技术与质量管控,明确了设备安装的特殊性、环境复杂性及技术难点,梳理出各安装环节的核心技术要点,构建了覆盖目标原则、组织架构、流程方法的完整质量管控体系。研究成果可直接指导核电厂机械设备安装实践,减少安装误差与质量隐患。

参考文献

- [1]孙想文.核电厂通用机械设备现场安装问题分析及对策[J].机械与电子控制工程,2022,4(7):11-12.
- [2]高宏焯.核电厂反应堆主设备安装精度控制技术与实践[J].工程技术研究,2025,7(5):90-92.
- [3]张宝存,张增魁.大型核电厂反应堆冷装销安装技术研究[J].核科学与工程,2024,44(6):1288-1293.
- [4]张超.浅析核电机机械设备单体调试期间的维护与保养[J].电子乐园,2022(6):175-177.