

# 核电站高位阀门检修钢平台施工设计策略

段鹏飞

中国核工业第二二建设有限公司 浙江 嘉兴 314305

**摘要:**核电站运行设备繁多,高位阀门及仪表的检维修需借助安全可靠的作业平台方可抵达。钢结构因强度高、抗震性能好、施工速度快等优势,在核电运行设备新增检修平台中得到广泛应用。本文以某核电站常规岛厂房高位阀门检修钢平台施工实践为基础,系统分析核电站运行环境下新增二次钢平台的设计难点,提出包含精细化勘察、机械连接优化、分区装配式设计及施工前置管控在内的四维应对策略,形成一套适用于运行核电机组二次钢平台设计的系统方法,为同类型工程提供技术参考。

**关键词:**核电站;高位阀门;钢结构;检修平台;施工设计

**引言:**核电站运行设备繁多,部分设备位于高空、临边或管线密集区域,检维修需借助作业平台方可安全抵达。核电建造阶段受设计局限和施工时序影响,部分设备操作平台未能同步建设;机组运行后,诸多设备陆续暴露出无配套操作平台的问题,需在运行环境中新增二次钢结构平台。与新建工程不同,运行机组内设备已带电带压、管道介质已投入运行,新增平台施工面临空间受限、窗口短暂、管控严格等多重约束,传统设计思路难以直接适用。本文结合某核电站常规岛高位阀门检修钢平台施工实践,探讨运行机组内新增二次钢平台的设计难点与应对策略。

## 1 高位阀门检修钢平台的需求特性分析

### 1.1 增设永久检修平台的必要性

核电站运行设备繁多,各式阀门及仪表分布于厂房各个角落,有临边的、高空的、管线密集区的,绝大多数需借助作业平台才可抵达。机组功率运行模式下,设备异常需运维人员立即现场干预,临时搭设脚手架或使用升降车响应速度慢且受空间限制,无法满足应急需求。部分涉及核安全的设备检维修时效性直接关系到机组运行安全,提前预设永久性钢平台也是预防核事故的基础服务设施之一。经济效益上永久平台一次投入长期受益,避免重复搭设临时设施的成本支出;安全效益上固定式钢平台具有更高的结构安全冗余和防坠落保护能力,有效降低高空作业风险,因此增设永久操作平台是必要的基础性工作。

### 1.2 增设永久检修平台的重要性

核电站各类设备运行期间需停运检修或外力干预,检修活动需以合适的作业平台为基础,尤其涉及核安全

的设备更需要运行保障基础。核安全高于一切,设备不仅需在设计阶段加以控制,运行期间更需要良好的服务配套设施。当核级设备出现异常时,运维人员须立即现场干预检修,紧急状态下再搭设临时平台已无法满足应急响应需求,因此预先安装永久性钢平台是预防核事故的重要基础设施之一。同时永久性操作平台可有效规范人员作业行为,减少因站位不稳、操作空间受限等人因因素导致的误操作风险,从人员绩效层面对核安全作出贡献<sup>[1]</sup>。

### 1.3 高位阀门平台的特殊性

高位阀门检修平台有别于一般走道或操作平台,其特殊性体现在三方面。服务对象的特殊性——阀门涵盖手动阀、电动阀、气动阀等不同类型,各自操作方式(手轮、扳手、电动头)对平台高度、深度、开口位置要求不同,设计时须逐一核实每台阀门的操作方向和空间需求。作业行为的特殊性——高位阀门操作常涉及较大力矩施加,操作人员需有稳定施力姿态和足够操作空间,平台设计须充分考虑人体工效学因素,避免因空间受限导致操作变形引发伤害。应急可达性要求——事故工况下需快速操作的阀门(如隔离阀、应急排放阀),平台应确保任何工况均可安全迅速抵达。

## 2 施工设计的核心难点分析

### 2.1 复杂设备环境对空间布局的制约

核电站运行厂房内设备、管道、阀门、仪表、电缆桥架等错综布置,空间利用率极高,新增钢平台设计面临复杂的空间环境约束。与新建工程先设计后安装不同,运行机组改造时设备已就位、管道已贯通,平台只能在已有空间内“见缝插针”,常见难题包括:立柱基

础与地下埋管冲突、钢梁与上部管道空间交叠、平台影响下方设备检修通道、与带电设备安全距离不足等。设计阶段须对平台可能占用的全部空间进行全维度建模分析,仅依赖二维图纸极易漏判冲突点。部分厂房辐射场分布不均,平台设置还应将操作位置安排在剂量较低区域,进一步增加了空间布局复杂性。

## 2.2 节点连接形式选择与设计难度权衡

钢平台节点连接主要有热熔焊接、铆固连接和机械栓接三种。在运行厂房内,前两种存在明显局限:焊接产生的高温、烟尘和弧光影响周边设备,质量受现场条件影响大且属不可逆连接,无法适应后期大修临时拆除需求;铆固连接同样拆装不便,每次需更换铆固件,资源浪费较大。机械栓接较好满足可拆装要求,但设计难度显著增高——需精确计算螺栓群受力分布、孔间尺寸和边距要求,综合考虑不同方向垂向螺栓布置避免安装干涉<sup>[2]</sup>。多根构件交汇于同一节点时,连接板设计尤为复杂,须在有限区域内合理排布螺栓孔位,保证各构件传力路径明确、力学性能满足要求。

## 2.3 运行环境对施工可行性的多重约束

运行机组内施工可行性受多重制约。时间窗口方面,高风险区域作业须安排在大修期间,窗口通常仅15~30天,各专业交叉密集进一步压缩可用时间。运输通道方面,大型构件须经设备通道转运至安装位置,通道尺寸和承重限制成为分段设计的决定因素,若未充分评估可能出现构件无法进入的被动局面。安全管控方面,动火、起重作业均需专项许可,作业期间须对周边设备采取隔离保护,显著降低施工效率。人员行为方面,作业人员须严格遵守运行控制程序,误碰设备、高空掉物、高温烫伤等人因风险始终存在,要求设计方案尽量减少现场作业量和工作难度。

## 3 施工设计关键策略与应对措施

### 3.1 精细化勘察与三维环境识别

设计勘察是后续全部工作的基础,其精细程度直接决定设计方案的可实施性。针对核电站运行厂房的特殊性,设计勘察应执行“三维四查”工作法。“三维”即对安装区域进行长、宽、高全维度测量,不仅测量拟安装平台的净空尺寸,还应系统记录全部边界条件——周边设备外廓尺寸及操作空间需求、管道及支吊架标高走向、电缆桥架位置、消防喷淋覆盖范围、照明通风设施位置等。“四查”即一查楼板厚度及钢筋分布(确认后置埋件锚固可行性),二查管道介质及温度(评估是否需要隔热处理),三查周边设备安全净距,四查从厂

房入口到安装位置的运输路线。在某核电站平台施工中就曾因设计阶段未核实楼板厚度,原设计预埋螺栓长度超出楼板厚度导致无法安装,不得不重新计算选型影响施工进度。因此勘察数据须形成详细测绘报告和影像资料,作为设计输入的重要依据,不可仅凭竣工图纸进行纸上推演<sup>[3]</sup>。

### 3.2 机械栓接节点的优化设计

机械栓接是解决运行机组内钢平台可拆装需求的有效途径,须通过精细化设计确保节点连接可靠性。螺栓连接设计应遵循以下原则:螺栓选型方面,宜采用高强度螺栓(10.9级),其预紧力可靠、抗滑移性能优良,连接刚度接近焊接节点;螺栓直径不宜小于M16以保证足够抗剪截面积。节点构造方面,应优先采用刚性连接节点(端板连接或外伸式连接),避免铰接节点导致的平台晃动;多根构件交汇时采用分区连接板方案,将复杂节点分解为若干相对简单的子节点,各子节点间设置调节间隙以适应现场安装误差。计算验证方面,除常规强度和稳定计算外,还应进行螺栓群的抗剪、抗拉复合受力验算,充分考虑安装误差导致的螺栓偏心受力影响。某核电站平台施工中因节点设计未充分校核螺栓群不同方向布置,导致纵横螺栓相互干涉无法安装,说明节点设计精细化程度直接影响施工顺利程度。

### 3.3 分区装配式结构体系构建

为应对运行机组内时间窗口紧、运输通道受限、现场作业条件差的施工约束,建议采用分区装配式结构体系设计策略,即将整体平台分解为若干标准化结构模块,在工厂完成预制加工(下料、钻孔、试组装、防腐涂装),然后以模块为单位运输至现场通过高强螺栓完成快速组装。具体做法包括:沿平台长度方向划分为2~3m的标准节段以适应一般运输通道尺寸限制;节段间采用法兰式或搭板式连接,节点设在梁端附近受力较小区域;平台面板优先采用钢格栅板(在工厂按标准块预制成型,现场仅需铺设固定,无需焊接)。模块化设计的多重优势在于:一是将主要焊接、钻孔作业转移至工厂完成,现场仅需吊装和螺栓紧固,大幅缩短现场施工时间;二是工厂制作条件下的加工精度和质量检验标准高于现场作业;三是后期改造灵活,某一区域需配合设备更换而拆除时只需拆解对应标准模块即可,不影响其他部分正常使用<sup>[4]</sup>。

### 3.4 施工前技术准备与质量管控

施工前的技术准备是确保平台安装一次成功的关键环节。施工图会审应邀请设计、施工、监理及业主运维

部门共同参与,重点审查平台标高与现场实际是否一致、预留孔洞位置是否准确、节点连接是否便于现场操作、施工通道是否畅通。施工方案编制须针对运行机组特殊性明确以下内容:动火作业隔离保护方案(防火毯覆盖周边设备、通风排烟措施)、起重作业吊装路径和指挥方案、成品保护措施、应急处理预案。施工前的现场定位放线须采用全站仪或激光测距仪精确测量,避免卷尺粗测的累积误差;后置埋件钻孔前必须使用钢筋探测仪查明楼板内钢筋分布后再进行,严防打断主筋(某核电站就曾因未探测钢筋盲目钻孔,多次打断楼板主筋造成质量事件)。所有设计变更和技术澄清均须以书面文件确认归档,严禁以口头承诺或会议纪要替代正式设计文件,以保障施工依据的准确性和可追溯性。

#### 4 施工组织与综合保障

##### 4.1 施工窗口期规划与工序衔接

运行机组内施工须服从核电站整体工作计划,合理规划窗口期是项目按期完成的前提。施工窗口分为大修窗口和日常窗口——大修窗口时间短但专业交叉密集,日常窗口零散但风险较高。中等以上规模平台优先安排大修期间集中实施;小规模平台或收尾工作可利用日常低风险时段分批次完成。工序衔接上须提前与运行、辐射防护、消防等部门协调,明确各专业配合节点,避免构件已运至现场但脚手架未搭设、起重设备未到位等情况。编制施工窗口甘特图,标注各项工作前置条件和持续时间,预留不少于20%缓冲时间应对不可预见情况。

##### 4.2 大型构件倒运与吊装方案

大型构件倒运和吊装是施工组织核心环节。倒运方案须基于运输通道实地踏勘——测量最小宽度、最小净高、地面承重、转弯半径等参数,确定构件最大分段尺寸和单件重量。超长或超重构件可采用分段制作、现场组拼,在安装位置附近设临时拼装平台完成组装后整体吊装。吊装方案根据构件重量、就位高度和周边环境选择合适起重设备,吊车站位和行走路线须避开地下管沟和电缆通道<sup>[5]</sup>。吊装作业须编制专项方案经技术评审和安全审查,过程中设专人指挥、专人监护,确保起吊、

回转、就位全过程安全可控。

##### 4.3 作业安全管理与人员培训

运行机组内施工安全管理标准远高于常规项目,须建立全过程专项安全管理体系。作业前须办理全部作业许可(动火、起重、辐射工作等),对作业区域隔离警示,对周边设备采取防碰撞、防污染保护,备足消防器材和应急物资。作业中严格遵守工业安全规定,高处作业系挂双钩安全带、工具采取防坠绳措施、严禁高空抛物和触碰运行设备。所有施工人员须通过核电站安全培训和授权考核,熟悉应急疏散路线和事故报告流程;作业前进行专项安全技术交底,确保每位人员了解风险和控制措施。人员行为规范培训不到位往往是误碰设备、工具坠落事件的主因,须作为安全管理第一道防线。

#### 结束语

核电站高位阀门检修钢平台施工设计是一项受多因素制约的系统工程,与新建项目中的常规钢结构设计存在本质差异。其核心挑战在于设计须同时满足结构安全、运行兼容、快速拆装和施工可行等多重要求,而复杂设备环境和高标准核安全要求进一步压缩了设计自由度。随着在役核电站运维优化需求的持续增长,二次钢平台的设计施工将面临更多复杂工况,建议在设计方法上进一步引入BIM技术进行空间冲突分析和施工过程模拟,为核电设备安全运行提供更加坚实的硬件保障。

#### 参考文献

- [1] 陈启兴,罗丑根,陈圣海,等.核电站阀门安全分级与质量管理案例分析[J].阀门,2025(11):1267-1272.
- [2] 彭冰,秦建华,王森,等.核电站EHC系统阀门卡涩故障原因分析与优化[J].设备管理与维修,2025(13):60-63.
- [3] 柳猛,邓江勇,汤恒,等.核电站阀门密封唇焊泄漏原因分析及改进建议[J].核科学与工程,2023,43(6):1312-1321.
- [4] 石岩.核电站大型油浸电力变压器负压更换阀门技术的研究与应用[J].中国设备工程,2024(z2):234-236.
- [5] 刘慕缘,张瑞华,何健蓉,等.核电站试验阀门验证辅助计算软件开发[J].仪器仪表用户,2023,30(11):55-58.