

# 质量管理理念在烟气脱硫系统EPC总承包工程中的渗透策略探析

戴英劼

浙江浙能科技环保集团股份有限公司 浙江 杭州 311121

**摘要：**随着国家“双碳”战略的深入推进及环保法规的日益严格，燃煤电厂烟气脱硫（Flue Gas Desulfurization, FGD）系统作为关键环保设施，其建设质量直接关系到企业能否稳定达标排放。EPC（Engineering, Procurement, Construction）总承包模式因其“交钥匙”特性，在脱硫系统建设中被广泛采用。然而，该模式下工程复杂、接口繁多、周期紧张，质量管理面临严峻挑战。本文以浙江能源集团下属电厂脱硫系统EPC工程为研究对象，系统梳理脱硫系统的基本构成与技术特点，剖析EPC模式下典型质量问题与风险成因，并结合浙能台州第二发电厂、嘉华电厂等实际案例，深入探讨全面质量管理（TQM）、全过程质量控制、风险预控等理念在设计、采购、施工、调试等各阶段的渗透策略。研究表明，将质量管理理念深度融入EPC全生命周期，构建“预防为主、过程受控、持续改进”的质量管理体系，是保障脱硫系统长期稳定高效运行的关键路径。

**关键词：**烟气脱硫；EPC总承包；质量管理；风险管理；浙江能源集团；渗透策略

## 引言

燃煤发电在我国能源结构中仍占据重要地位，但其排放的二氧化硫（SO<sub>2</sub>）是造成酸雨和大气污染的主要元凶之一。为响应国家环保政策，各大发电集团纷纷对现有机组进行超低排放改造，其中烟气脱硫系统是核心环节。浙江能源集团作为浙江省最大的能源企业，旗下拥有数十家火力发电厂，其脱硫系统的建设与运维水平直接关系到区域环境质量。EPC总承包模式因其责任主体明确、管理效率高、工期可控等优势，成为脱硫系统新建或改造工程的主流选择。然而，该模式将设计、采购、施工三大环节高度集成，任何一个环节的质量缺陷都可能被放大，最终导致系统性能不达标、设备寿命缩短甚至安全事故<sup>[1]</sup>。近年来，浙能集团下属多个电厂在脱硫EPC项目中暴露出吸收塔腐蚀、浆液循环泵磨损、除雾器堵塞、仪表失灵等质量问题，不仅增加了运维成本，更对环保合规构成威胁。因此，如何将先进的质量管理理念有效渗透到EPC工程的每一个环节，实现从“事后检验”向“事前预防、事中控制”的转变，已成为亟待解决的课题。

## 1 烟气脱硫系统概述及 EPC 模式特点

### 1.1 脱硫系统基本构成与技术路线

目前，国内主流的烟气脱硫技术为石灰石-石膏湿法脱硫，其核心工艺流程包括：烟气经增压风机引入吸收塔，在塔内与自上而下喷淋的石灰石浆液逆流接触，发生化学反应生成亚硫酸钙，再经强制氧化生成石膏。

系统主要由烟气系统（烟道、挡板门、增压风机）、吸收塔系统（塔体、喷淋层、除雾器、搅拌器）、浆液制备与循环系统（浆液罐、循环泵、管道）、氧化空气系统、石膏脱水系统及DCS控制系统等组成。该系统具有介质腐蚀性强（含Cl<sup>-</sup>、F<sup>-</sup>等）、浆液磨损性高、运行工况复杂（变负荷、启停频繁）等特点，对设备材质、施工工艺、安装精度及控制系统可靠性提出了极高要求。

### 1.2 EPC总承包模式在脱硫工程中的应用特点

EPC模式下，业主将整个脱硫项目的设计、设备采购、施工安装、调试直至性能考核的全过程委托给单一总承包商。其优势在于：（1）责任单一：避免了传统模式下设计、施工、供货方相互推诿的问题。（2）集成优化：有利于设计与施工的深度融合，实现技术方案的最优化。（3）工期保障：总承包商可统筹资源，有效控制项目进度。但其挑战同样突出：一是质量风险集中：总承包商的质量管理能力直接决定了项目成败。二是接口管理复杂：与电厂原有系统（如锅炉、电气、热控）的接口众多，协调难度大。三是成本与质量的博弈：在激烈市场竞争下，部分总包商可能为压缩成本而在材料或工艺上“偷工减料”。

## 2 EPC 模式下脱硫系统典型质量问题与风险分析

### 2.1 设计阶段的质量隐患

在实际工程中，设计阶段的质量缺陷往往具有隐蔽性强、后期难以修正的特点。以浙能台州第二发电厂#3机组脱硫超低排放改造项目为例，系统投运初期即频繁

出现吸收塔内喷淋支管断裂泄漏的问题。经深入排查发现,设计单位在进行管道应力分析时,未能充分考虑浆液循环泵启停过程中产生的水锤效应及流体脉动对支管焊缝的疲劳影响,导致局部应力集中远超材料承受极限<sup>[2]</sup>。这一案例暴露出部分EPC总包方在设计评审环节流于形式,对关键设备的动态载荷、腐蚀裕量及结构冗余度等核心参数缺乏系统性校核,反映出设计阶段质量控制程序执行不到位的深层次问题。

## 2.2 采购与设备制造阶段的质量缺陷

在利益驱动下,部分供应商可能通过降低材料等级或简化制造工艺来获取价格优势,而EPC总包方若缺乏有效的供应链监管机制,极易引入“隐性缺陷”。浙能嘉华电厂#7机组脱硫项目便遭遇了此类问题:石膏排油泵在运行不足三个月后叶轮严重磨损,导致石膏脱水效率骤降。经第三方材质检测确认,叶轮虽标称为2605N双相不锈钢,但实际铬、钼含量显著低于标准要求,抗氯离子点蚀与冲刷磨损能力严重不足。究其原因,总包方在设备监造环节仅依赖供应商自检报告,未实施独立的入厂复验,暴露出采购质量控制体系的薄弱环节。此类问题不仅造成设备提前失效,更可能因非计划停机影响全厂环保合规。

## 2.3 施工与安装阶段的质量通病

脱硫系统施工涉及大量特种工艺,如玻璃鳞片衬里、不锈钢焊接、仪表精密安装等,对施工环境、人员技能及过程检验要求极高。然而,在工期压力下,部分施工单位往往牺牲工艺标准以换取进度,导致质量通病频发。浙能某沿海电厂曾发生吸收塔投运一年后多处腐蚀穿孔的严重事件。调查发现,塔体虽采用碳钢+玻璃鳞片衬里的常规防腐方案,但施工过程中未严格控制环境温湿度,衬里层存在大量针孔与厚度不均现象;同时,焊缝打磨粗糙,导致鳞片附着力不足。更严重的是,总包方未按规范设置电火花检测等关键质量控制点,使得缺陷在隐蔽前未被发现。这一案例充分说明,若缺乏对关键工序的全过程监督与标准化作业指导,再优良的设计与设备也难以转化为可靠的实体质量。

## 2.4 调试与性能考核阶段的系统性问题

部分EPC项目在调试环节存在重进度、轻验证的倾向,导致系统“带病投运”。例如,浙能某电厂在脱硫系统调试期间,出口SO<sub>2</sub>浓度频繁波动且多次超标,尤其在低负荷工况下更为显著。经反复排查,问题根源在于pH计与浆液密度计等关键仪表选型不当,且安装位置处于浆液涡流区,导致测量信号失真,DCS控制系统据此发出的加药指令严重偏离实际需求。这一系统性失效反

映出调试方案缺乏对控制逻辑闭环验证的重视,也暴露出总包方在仪表校验、测点布置合理性评估等方面的疏漏。若不在调试阶段彻底解决此类问题,系统将长期处于亚健康状态,难以满足超低排放的稳定性要求。

## 3 质量管理理念在EPC工程中的渗透策略

### 3.1 设计阶段:强化源头质量控制

要从根本上规避脱硫系统的质量风险,必须将质量管理的关口前移至设计源头。这要求EPC总包方摒弃“闭门造车”式的设计模式,主动与业主运行人员、环保专家及设备制造商开展多轮技术对接,确保设计输入全面、准确。在此基础上,应严格执行多级校审制度,对吸收塔结构强度、管道应力分布、防腐材料兼容性等关键参数进行精细化计算与仿真验证<sup>[1]</sup>。例如,在浙能台州第二发电厂后续项目中,总包方引入CFD(计算流体力学)技术对喷淋层内部流场进行三维模拟,精准识别高流速区域与涡流区,据此优化喷嘴布置密度与角度,有效缓解了支管振动问题。此外,还应推行HAZOP(危险与可操作性分析)方法,系统梳理工艺流程中的潜在失效模式,提前制定应对措施,从而将质量风险扼杀在设计萌芽阶段。

### 3.2 采购与制造阶段:构建供应链质量防线

设备与材料的质量是脱硫系统可靠运行的物质基础,必须通过严格的供应链管理予以保障。首先,应建立动态更新的合格供应商名录,对关键设备制造商的资质、业绩、质保体系进行综合评估,并实施绩效分级管理。其次,针对A类关键设备(如吸收塔本体、浆液循环泵、搅拌器等),必须派驻专业监造人员实施全过程驻厂监督,重点核查原材料复验报告、焊接工艺评定、无损检测记录及出厂性能试验数据。浙能集团近年来推行的“设备监造数字化平台”正是这一理念的实践体现,该平台实现了监造数据的实时上传与共享,业主方可远程调阅关键节点影像资料,大幅提升了监造透明度。在嘉华电厂后续项目中,业主方进一步要求对所有不锈钢部件进行100%光谱成分分析,并将检测结果纳入竣工资料归档,从制度层面杜绝了材质不符的隐患。

### 3.3 施工与安装阶段:推行标准化与过程可视化

施工阶段是质量缺陷最易滋生的环节,必须通过标准化作业与过程可视化手段加以约束。总包方应依据国家规范与行业最佳实践,编制详细的《脱硫系统专项施工质量控制计划》,明确防腐衬里、焊接、仪表安装等关键工序的W点(见证点)与H点(停工待检点)<sup>[4]</sup>。例如,玻璃鳞片衬里施工必须在环境温湿度达标后方可开始,每道涂层完成后需经电火花检测合格才能进入下一

道工序。为提升施工交底效果,可引入BIM(建筑信息模型)技术进行三维可视化交底,使施工人员直观理解复杂节点的构造要求与工艺顺序。在浙能某沿海电厂项目中,总包方联合第三方检测机构,对吸收塔内衬里实施分区编号管理,每块区域的检测数据(厚度、针孔数)均与BIM模型绑定,实现质量问题的精准定位与可追溯,显著提升了施工质量的一致性与可控性。

#### 3.4 调试与性能考核阶段:确保系统性能达标

必须制定科学严谨的调试大纲与性能试验方案,明确168小时满负荷试运期间的测试工况、数据采集频率、测点布置原则及合格判定标准。尤为重要的是,应对DCS控制逻辑进行闭环验证,确保pH值、液位、密度等关键参数的反馈信号真实可靠,控制指令执行准确。浙能集团明确规定,所有脱硫EPC项目必须通过第三方权威机构的性能测试,且SO<sub>2</sub>脱除效率不得低于98.5%,出口浓度稳定控制在35mg/m<sup>3</sup>以下。对于调试中发现的问题,应建立“问题清单—责任分解—整改验证—闭环销号”的全流程管理机制,确保所有缺陷在性能考核前彻底消除,杜绝系统“带病移交”。

#### 3.5 全过程风险管理:构建预防性质量文化

质量管理的最高境界是“防患于未然”。为此,应将风险管理理念贯穿EPC项目始终,构建预防性的质量文化。一方面,可依托企业历史项目数据库,系统梳理脱硫工程中高频发生的质量问题(如衬里失效、仪表失灵、泵阀磨损等),形成《脱硫EPC项目质量风险清单》,并在新项目启动阶段组织全员风险交底,做到“前车之鉴,后事之师”。另一方面,应在项目决策机制中嵌入“质量一票否决”原则,当进度、成本与质量发生冲突时,坚决以质量为优先考量。此外,还需通过定期的质量案例警示教育、技能比武、优秀QC小组评

选等活动,持续强化总包方、分包商及监理单位的质量意识,营造“人人关注质量、人人参与质量”的良好氛围,使质量管理从制度约束升华为文化自觉。

#### 4 结语

烟气脱硫系统作为燃煤电厂环保达标的关键屏障,其EPC总承包工程的质量管理至关重要。本文通过对浙能集团下属电厂典型案例的剖析,揭示了设计、采购、施工、调试各阶段存在的典型质量问题与风险根源。研究表明,单纯依靠事后检验无法根本解决质量问题,必须将全面质量管理、全过程控制、风险预控等先进理念深度渗透到EPC工程的每一个环节。未来,随着数字化、智能化技术的发展,质量管理将向更精准、更高效的方向演进。建议浙能集团及行业内企业积极探索:构建EPC项目全生命周期质量管理平台,实现设计、采购、施工、调试数据的互联互通与智能分析;应用物联网(IoT)技术,对关键设备(如循环泵振动、衬里温度)进行在线监测,实现质量状态的实时预警;深化与优质总包商的战略合作,建立长期共赢的质量伙伴关系,共同提升行业整体质量水平。

#### 参考文献

- [1]中国电力企业联合会.火力发电厂烟气脱硫工程EPC总承包导则(T/CEC5008-2020)[S].北京:中国电力出版社,2020.
- [2]浙江能源集团有限公司.脱硫脱硝系统设备技术规范(内部文件)[Z].杭州:浙能集团,2022.
- [3]戴维·L·戈伊特纳.全面质量管理(第12版)[M].北京:中国人民大学出版社,2019.
- [4]张伟,李强.EPC模式下火电厂脱硫工程质量控制难点与对策[J].电力建设,2021,42(5):78-84.