

锅炉压力容器安装过程中的质量控制体系构建与实践

王超宇 李紫琪 赵东敏 高 磊

内蒙古自治区特种设备检验研究院包头分院 内蒙古 包头 014000

摘 要：锅炉压力容器属于高危特种设备，安装技术要求高、安全管控压力大，当下行业存在质控架构残缺、工序管控流于形式、物资人员管控缺位、质量整改无闭环等问题。本文结合特种设备法规与施工验收标准，遵循四项核心原则，搭建三级质控组织架构，构建事前、事中、事后全流程质控体系，依托化工工程项目落地实践，分析应用成效与执行短板，制定长效优化保障对策，提升施工质量，规避安全风险，为同类安装工程提供借鉴。

关键词：锅炉压力容器；安装过程；质量控制体系构建；实践

引言：锅炉压力容器广泛应用于化工、能源行业，具备高温、高压承压属性，安装质量直接关乎设备运行安全与特种设备合规监管。当前行业安装质控管理体系不完善，岗位权责模糊、全过程管控缺失，极易引发设备泄漏、爆裂等安全事故，增加工程运维成本。为解决现存质控痛点，贴合法规管控要求，本文构建系统化安装质量控制体系，结合实际工程落地实施，优化管控流程，筑牢工程施工质量与安全防线。

1 锅炉压力容器安装质量控制基础概述及现存问题

1.1 锅炉压力容器安装工程核心特征与质控必要性

(1) 锅炉压力容器作为典型特种设备，安装工艺具有高度专业性。其涉及高压、高温、密闭循环、焊接无损检测等复杂技术，对安装精度、密封性及承压能力要求严苛，施工过程必须严格遵循专项工艺标准，区别于普通设备安装。(2) 安装质量一旦失效，可能引发爆裂、泄漏、火灾等重大安全事故，造成人员伤亡与严重经济损失；同时，后期运维将面临频繁检修、非计划停机等风险，全生命周期成本大幅上升。(3) 搭建专项质量控制体系，既是满足《特种设备安全法》等法规的合规底线，也是提升行业工程质量的主动手段。通过体系化管控，能够有效降低事故率、延长设备寿命，具有显著的社会效益与政策响应价值。

1.2 锅炉压力容器安装质量控制相关标准与法规依据

(1) 国家层面以《中华人民共和国特种设备安全法》《特种设备安全监察条例》为核心，确立了锅炉压力容器设计、制造、安装、改造、修理的全链条监察制度，明确了各方主体责任。(2) 专项施工技术标准包括《锅炉安装工程施工及验收规范》(GB50273)、《压力容器安全技术监察规程》(TSG21)等，对材料焊接、水压试验、安装找正等关键工序作出了强制性技术规定。(3) 工程质量验收及监理配套制度要求执行《建设工程

监理规范》(GB/T50319)以及特种设备监督检验机构的过程监检办法，涵盖施工前告知、过程监检、竣工验收三个环节，形成监管闭环。

1.3 当前锅炉压力容器安装质控现存共性问题

(1) 现有质控组织架构不完善，岗位职责划分模糊。多数项目未设置独立的专职质控人员，质检、施工、技术岗位交叉重叠，质量责任难以落实到具体岗位。(2) 全过程质控流程缺失，施工节点管控流于形式。隐蔽工程验收、焊缝抽检、压力试验等关键节点缺乏标准化作业程序，常出现“补记录、走过场”现象。(3) 人员、材料、工艺质控管理短板突出。焊工等特种作业人员持证率不足；管材、焊材进场验收不严；工艺执行随意，未严格执行焊接工艺评定(PQR)及规程(WPS)。(4) 质量追溯、整改闭环管理机制不健全。质量问题记录不完整，整改责任人不明确，缺少复检验证环节，同类问题重复出现，无法形成“发现-整改-验证-关闭”的良性循环。

1.4 质量控制体系构建核心原则

(1) 合规性与安全性优先原则。体系设计必须以国家法律法规及强制性技术标准底线，任何施工进度或成本考量不得突破安全红线。(2) 全过程、全要素闭环管控原则。从图纸会审、材料入场、过程施工到调试运行，每个环节均须设定控制点、检查记录及责任签字，实现可追溯、可检查、可问责。(3) 适配工程实操、可落地原则。质量控制文件、流程表单应简洁明确，避免过度理论化；控制频次、抽样比例等需结合现场实际工效，确保班组愿执行、能执行。(4) 风险预判与事前防控结合原则。通过施工前风险辨识(JSA)、作业指导书技术交底、应急预案演练等前置手段，将质量隐患消除在施工行为发生之前。

2 锅炉压力容器安装全过程质量控制体系构建

2.1 质量控制体系整体框架与组织架构搭建

(1) 体系顶层设计: 确立“安全为本、预防为主、全程受控、责任终身”的质量方针, 设定具体管控目标(如一次安装合格率 $\geq 95\%$ 、焊口一次合格率 $\geq 92\%$), 界定覆盖范围从施工准备、安装作业到调试验收与运维回访的全过程。(2) 三级质控管理组织架构设置: 项目部层面设立质量总监(由项目总工兼任)及专职质检工程师, 负责体系运行监督; 班组层面设置兼职质检员, 实行班组长质量负责制; 按焊接、无损检测、水压试验等专业配置专项质检员, 直接向质量总监汇报, 确保质控独立性^[1]。(3) 各岗位质控权责、追责机制与协同管理机制划定: 明确项目经理为质量第一责任人, 质量总监拥有一票否决权; 制定《质量责任追究细则》, 对焊工、质检员实行唯一性标识与焊缝终身追溯制; 建立周质量协调例会制度, 实现施工、技术、质检、监检多方协同联动。

2.2 事前预备阶段质量控制子体系构建

(1) 施工资质、作业人员持证上岗管控体系搭建: 建立“资质预审+动态抽查”机制, 开工前核查安装单位特种设备许可证、焊工及无损检测人员证书有效性, 签订个人质量承诺书, 实现证书编号与人员一一建档, 杜绝无证或证照过期作业。(2) 设备原材料、承压配件进场验收质控流程设计: 制定《进场验收清单》, 执行“自检、互检、专检”三检制, 核对质量证明书、合格证及实物标识; 对管材、阀门、法兰等重点部件抽样复验, 不合格品设置隔离区并拍照退场, 留存可追溯记录。(3) 施工图纸会审、专项施工方案质量审核管控: 组织设计、监检、施工三方进行图纸会审, 重点核对压力参数、材质、焊缝布置等关键信息; 专项施工方案(焊接工艺评定、吊装方案、水压试验方案)须经项目技术负责人初审、公司总工复审、特检院监检员备案后方可实施^[2]。(4) 施工机具、检测设备校准与质控管理: 建立设备台账, 对焊机、烘箱、热处理设备、X射线探伤机、压力表等强制检定器具实行周期校准并张贴状态标识; 使用前核查校准证书有效期, 填写设备点检表, 严禁使用失准或超期未校设备。

2.3 事中施工阶段分项质控体系搭建

(1) 基础预埋、设备就位找平安装质量管控模块: 基础验收时复核中心线、标高及预留孔洞偏差, 形成书面记录; 设备就位后采用激光准直仪找正, 偏差控制在规范允差内; 垫铁布置、地脚螺栓紧固力矩实行双人复核签字确认。(2) 承压部件焊接、热处理核心工艺质量管控模块: 严格执行焊接工艺评定(PQR)及规程(WPS), 焊工必须在评定项目范围内施焊; 全过程记

录焊接电流、电压、层间温度及热处理曲线; 无损检测(RT/UT)比例不得低于规范要求, 不合格焊缝返修两次以上须经技术负责人审批。(3) 管路对接、密封装配、附件安装专项质控模块: 控制管道对口错边量、间隙符合焊接工艺要求; 法兰密封面清理干净并选用与介质压力匹配的垫片, 螺栓对称预紧分两次完成; 安全阀、压力表等附件安装前须校验合格且铅封完好, 严禁私自调整或更换。(4) 隐蔽工程施工过程旁站质控体系设计: 编制隐蔽工程清单(如埋地管道、炉墙内组件等), 明确旁站点、旁站人员及旁站记录表格; 实行“旁站监督+影像留存”制度, 隐蔽前必须经质检员与监检员联合检查确认签字, 未经验收一律不得覆盖^[3]。

2.4 事后验收与运维质保体系构建

(1) 水压试验、气密性试验专项质量验收管控: 试验前编制专项方案并组织技术交底, 水压试验压力、保压时间、介质温度严格按规范执行, 升压过程分级检查; 气密性试验采用气泡法或电子检漏仪, 无泄漏为合格; 试验记录须有独立见证人(监检员)签字确认。

(2) 竣工资料整编、质量溯源档案管理体系: 按照特种设备安全技术档案要求, 系统整理质量证明书、焊接记录、无损检测报告、试验记录、设计变更等, 实行“一机一档”; 同步建立电子档案, 确保可追溯查询, 档案保存期限不少于设备设计寿命。(3) 安装缺陷整改、复检闭环质控流程: 实施“缺陷通知单一整改措施一复检验证一销号归档”四步闭环管理, 明确整改责任人及完成时限; 重大缺陷(如焊缝裂纹)须制定专项返修方案并经监检确认, 复检合格后方可进入下一工序, 严禁隐瞒或带病通过^[4]。(4) 交付后运维阶段质量回访与隐患防控机制: 安装交付后1个月内进行首次质量回访, 核查设备运行参数是否异常; 建立质保期内定期巡检制度(每季度一次), 发现隐患及时预警并协助处理, 形成回访报告录入企业质量数据库, 为后续项目提供经验反馈与持续改进依据。

3 锅炉压力容器安装过程中质量控制体系工程实践应用、优化与保障措施

3.1 工程实践项目概况与体系落地实施方案

(1) 实操项目锅炉、压力容器参数及施工工况介绍: 以某化工园区35t/h燃气蒸汽锅炉(设计压力2.5MPa, 蒸汽温度350℃)及5台反应釜配套容器(设计压力1.6MPa)安装项目为工程载体, 施工周期105天, 现场存在多专业交叉作业、高温高湿等复杂工况。(2) 适配项目工况优化质控体系落地细则: 针对管道密集、焊口位置隐蔽的特点, 增加“焊前模拟试件”制度; 将隐

蔽焊缝的检测比例由25%提高至45%，并增设视频监控全程记录关键焊接过程。（3）体系落地人员配置、流程落地执行规划：配置专职质检员4名（焊接、装配、无损、试验各1名），编制《质控执行分解表》，实行“班前交底—工序挂牌—收班会审”三段落地流程。

3.2 质控体系现场实践落地关键管控举措

（1）关键施工工序质控要点现场落地执行：对设备基础验收、锅炉本体组装、集箱连接、水压试验等9个关键工序设置“放行令牌”，令牌由质检员现场签发并拍照上传，无令牌不得继续施工。（2）无损检测、压力试验质控标准现场落实：超声检测采用数字式记录仪全程保存波形，射线底片实行双盲复评；水压试验按规范分三级升压，保压期间每8分钟记录一次压降，压降 $\leq 0.03\text{MPa}$ 为合格。（3）施工过程质量问题动态监测与即时处置：组建“质量飞检队”，每日随机抽查至少6个作业点，发现问题直接录入质控平台并派单，一般问题1小时内响应、4小时内整改复查，重大问题24小时内关闭^[5]。

3.3 体系实践效果评价与现存落地短板分析

（1）安装合格率、安全隐患发生率量化效果评价：焊口一次合格率由实施前的85.7%提升至94.1%，返修率下降59%；质量安全隐患数量从平均每周10起降至4起，监检首次通过率达100%。（2）施工工期、运维成本优化实践效益分析：因质量返工造成的停工天数减少64%，实际工期提前10天；投运半年内故障报修同比下降46%，预计年度运维成本降低15%左右。（3）现场体系执行、跨部门协同现存短板剖析：部分班组长对电子化流程接受度偏低，质控表单漏签率约13%；施工计划调整未能及时同步质检部门，曾发生2次验收冲突；协同信息闭环率约78%。

3.4 体系长效运行保障策略与优化对策

（1）人员专项技能培训与质控考核保障机制：每季度组织焊工、质检员开展规范考试与技能比武，考核结

果直接挂钩绩效，连续两次末位者暂停上岗并参加脱产培训。（2）数字化质控台账搭建，完善质量追溯保障：部署轻量化质控APP，实现焊口编码、检测报告、整改单、影像资料一键录入与扫码追溯，数据云端长期保存，支持远程查阅。（3）结合项目痛点优化体系流程与管控标准：针对记录不及时问题，精简质控表单，关键项由12项压缩为6项，并在APP端设置语音录入和拍照签到功能，降低填报门槛。（4）联动监理、监察部门完善外部质控监督保障：每月邀请特检院监检员参与质量联合巡查，出具独立监督意见；锅炉水压试验、安全阀整定等重大节点实行建设、施工、监理、监察四方联合签字确认。

结束语

本文完成锅炉压力容器安装全流程质控体系搭建与工程落地应用，实践表明该体系可厘清岗位权责、规范施工工序，提升焊口合格率与工程验收通过率，缩减返工工期与后期运维成本，破解传统质控多项痛点。同时指出体系数字化落地、跨部门协同现存问题，配套长效优化策略。后续可深化智能质控技术应用，细化专项工序管控标准，持续完善体系，夯实特种设备安装质量管控基础。

参考文献

- [1]王健,李雪松.锅炉压力容器安装质量管控体系构建及工程实践[J].特种设备安全技术,2025,8(2):45-47.
- [2]张宇航.承压类压力容器安装全过程质量控制体系优化研究[J].机械装备与自动化,2024,15(8):136-138.
- [3]刘军.锅炉压力容器安装质量缺陷成因及标准化管控体系搭建策略[J].设备管理与维修,2024,22(15):112-114.
- [4]陈明辉.基于全过程管理的压力容器安装质量控制体系构建与应用[J].化工设备与管道,2023,60(6):78-82.
- [5]赵海波.特种设备视角下锅炉安装质量保证体系建设与落地实践[J].机电工程技术,2023,52(11):241-243.