

## 焦炉炉体设备安装技术及施工问题分析

王文虎

中国五冶集团有限公司, 上海 201999

**[摘要]**焦炉作为焦化企业的核心生产设施,其炉体的结构完整性以及设备安装的精度直接决定生产装置的使用寿命,以及能源最终的利用效率。随着我国炼焦工业向大型化自动化方向的快速发展,焦炉炉体越来越精细和复杂,特别是对耐火材料的砌筑以及炉体设备的安装有着更高的精度要求。然而在当前的施工过程中,受制于施工环境的复杂性,工序交叉的繁琐性,以及材料热膨胀系数差异等多项因素。这就使得炉体设备安装中会出现诸多问题,如砌筑偏差、灰浆不饱满、拉条系统张力不均及金属结构热应力控制不当等问题。这些隐患会导致一系列质量事故,特别是炉墙变形、串漏气等,同时会对焦炉烘炉及投产运行埋下安全隐患。因此,系统分析焦炉安装中的关键技术要点与常见质量问题,探索科学的施工管理对策,这对于保障大型焦炉的稳定、高效运行有重要的现实意义。

**[关键词]**焦炉炉体设备; 安装技术; 施工问题

DOI: 10.33142/ec.v9i5.19651

中图分类号: TF573

文献标识码: A

## Analysis of Installation Technology and Construction Problems of Coke Oven Body Equipment

WANG Wenhui

China MCC5 Group Corp. Ltd., Shanghai, 201999, China

**Abstract:** As the core production facility of coking enterprises, the structural integrity of the coke oven body and the accuracy of equipment installation directly determine the service life of the production equipment and the ultimate energy utilization efficiency. With the rapid development of China's coking industry towards large-scale automation, the coke oven body is becoming increasingly refined and complex, especially with higher precision requirements for the masonry of refractory materials and the installation of furnace equipment. However, in the current construction process, there are multiple factors such as the complexity of the construction environment, the complexity of process intersections, and differences in material thermal expansion coefficients. This leads to many problems during the installation of furnace equipment, such as masonry deviation, insufficient mortar, uneven tension in the tensioning system, and improper control of thermal stress in metal structures. These hidden dangers can lead to a series of quality accidents, especially furnace wall deformation, leakage, etc., and also pose safety hazards to coke oven drying and production operation. Therefore, analyzing the key technical points and common quality problems in the installation of coke ovens, exploring scientific construction management strategies, is of great practical significance for ensuring the stable and efficient operation of large coke ovens.

**Keywords:** coke oven body equipment; installation technology; construction problems

### 引言

焦炉安装不仅是简单的土建与构筑工程,也是保障炼焦生产周期及高效运营的一条生命线。从原因上分析,焦炉长期处于高温环境中,同时还具备强腐蚀的特点,由此安装质量也会直接决定炉体的严密性、耐用年限以及热态稳定性<sup>[1]</sup>。在安装过程中,高精度地完成炉体砌筑能够确保炉体结构热膨胀均匀,同时还能够预防砌体受损,金属构件变形等问题,在一定程度上能够降低耗能并减少对环境的污染。从工程维度看,规范的安装技术不仅能够提升

焦炭产品的质量,还能够规避重大安全质量事故<sup>[2]</sup>。从本质上来讲,是实现企业生产安全的重要支撑,也能够实现低碳生产的目标,对于提升炼焦工艺的综合竞争力和延长设备运行寿命具有决定性的影响。

### 1 焦炉炉体安装技术关键点

#### 1.1 施工测量

施工测量是确保焦炉整体安装精度的“基石”,其核心任务在于检验基础几何尺寸以及水平标高是否满足设计规范要求,在施工前期需要重点核查中心线的位移情况,

同时还应当监测基础沉降观测点分布及预埋件位置的准确性。通过全站仪与精密水准仪的多点复核,严控炉基纵横轴线的平行度与垂直度,确保偏差控制在毫米级范围内。土建复测完成后,需要对整个炉区设置测量控制网。由于土建工程的微小几何偏差,都会影响到方案设计的精准度。因此,需要制定安装补偿方案,并进行超前修正,防止由于基础不足而导致的后天畸形,使砌筑扭曲或护炉铁件受力失衡。严谨的复测能够为耐火砌筑提供更稳固的工作平台,同时也能够预防后期出现不均匀沉降,是保障炉体结构稳定性,确保其能够实现长周期安全运行的重要条件。

### 1.2 耐材砌筑工艺

耐材砌筑是焦炉安装的核心环节,工艺水平会决定炉体的整体气密性以及热工性能。施工过程中,首先要注意的是耐火砖的分类与进场验收,应当对有外观缺陷的产品进行剔除,对于保存不当受潮或打湿的硅砖严禁使用。同时要根据砖型及不同部位进行预砌筑,主要包括小烟道、蓄热室、斜道、燃烧室、炉顶这几个重要部位,确保整体尺寸、中心、标高、平整度、垂直度及灰缝间隙必须符合图纸及国家标准。在砌筑过程中不同部位的耐火泥配置不同,必须严格按照图纸要求进行配比,必须使用强制搅拌机搅拌均匀,严禁在砌筑过程中加水,当天预制的泥浆必须当天使用完成,砌筑泥浆饱满度要求在95%以上。此外,灰缝间隙也要严格控制在3~8mm,这样能够避免在高温运行过程中,由于缝隙过大而导致的砌体松动或者窜漏。此外,膨胀缝的尺寸与位置要严格按照设计图纸要求留设,填充符合要求的胀缝材料,胀缝的清洁尤为重要,严禁胀缝中落入泥浆杂物等,要做好膨胀缝的清洁工作,一般采用压缩空气吹扫或大功率吸尘器清理。这样能够有效防止炉体在加热过程中由于应力集中而引起的砌体开裂<sup>[3]</sup>。

分析国内各大冶金单位的焦炉砌筑方法,中国五冶独有的“6S”炉体平层砌筑方法、直立线杆三维动态控制测量方法更为先进,施工质量得到全面有效控制,施工及生产质量效果极佳。利用抵抗墙、直立标杆(或炉床柱)建立空间三维动态控制测量网,为整体平层砌筑提供有效的质量控制,对炉体平层砌筑过程进行实时动态纠偏,减少人工误差、提高砌筑效率与砌筑精度。“6S”砌筑工法通过层层划线,层层配列,层层砌筑,层层勾缝,层层清扫,层层验收,解决了传统错层砌筑炉体方法效率低、误差大、炉体清洁度低的难题,使炉体从下自上清洁畅通。

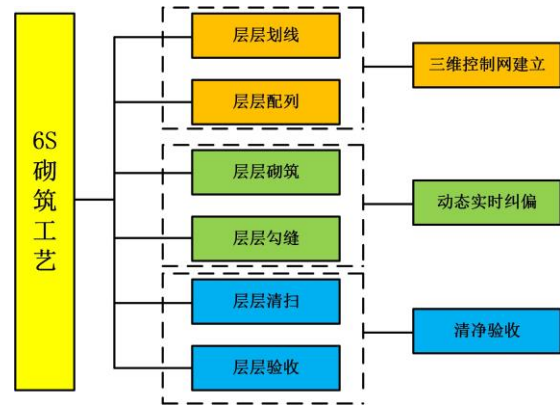


图1 6S砌筑工艺流程图

### 1.3 护炉铁件的安装

焦炉护炉铁件包括机焦侧保护板、炉柱、纵横拉条、弹簧、炉门框及炉门等,是约束砌体热膨胀、维持炉体结构稳定性的关键“骨架”。从安装标准的核心上看,要达到刚柔并济的原则,指的是不仅要确保各部件位置的精准,还应当预留合理的运行热移空间。这就要求在施工的过程中,必须保证中心线的校正,做好垂直控制,确保拉条紧固力矩分布均匀,防止由于受力不均而导致的偏差,该项工作还能避免因受力不均导致保护板翘曲。护炉铁件的安装不仅涉及对几何尺寸的精准把控,还关系到炉体在高温膨胀的状态下的应力释放。如果安装的精度未达到标准,则会导致炉门气密性失效,还会造成炉腔结构性损伤,以及焦炉煤气泄漏,这些问题都会造成严重影响。

护炉铁件安装有以下几个关键质量控制点:

(1) 护炉铁件安装使用的耐火纤维绳及相关耐火密封材料必须符合设计文件要求,其耐火度属性是材料复检的关键管控点,一般耐火度需要达到1300℃以上。若使用劣质产品,可能出现密封材料烧毁,炉体冒烟冒火的现象。

(2) 约束炉体膨胀的弹簧安装,必须按照设计图纸要求进行弹簧配对。弹簧安装之前,要根据厂家提供的弹簧参数表及弹簧公差尺寸和编号进行分组配对,避免后续热态调整中,弹簧调整导致拉条受力不均。碟簧的安装必须按照设计数量、方向及压缩值进行安装和加压,确保受力均匀。

(3) 护炉铁件的安装尺寸必须满足设计图纸及国家标准规范要求,主要包括各部件的中心、标高、垂直度、水平度、安装间隙等。这样才能与推焦机、拦焦机相互匹配,避免出现偏差造成推焦或拦焦困难,炉体密封不严等问题。

为了进一步量化施工质量,在关键部位需要参考安装标准 GB50390 进行作业,具体情况如表 1 所示。

表 1 安装标准

项目名称	控制项目	允许偏差要求 (mm)
炉柱	标高	±5.0
	中心	±3.0
保护板	标高	±2.0
	中心	3.0
	相邻保护板间隙	0~+2.0
拉条	标高及中心	±5.0
炉门框	中心	2.0
	托辊架标高	±1.0

## 2 常见施工问题分析

### 2.1 砌筑偏差

砌筑偏差是焦炉安装中最为顽固的质量通病,该情况的原因多样且复杂。首先,耐火砖本身的规格偏差会导致灰缝超差,在叠层累积效应下会被放大,最终导致砌筑尺寸偏差,并进入失控状态。其次,施工的环境因素也是不容忽视的,尤其是当砌筑进入冬季施工时,必须确保炉温度及泥浆搅拌温度达到 5℃ 以上。当缺乏有效的温度管理后,会导致砌筑泥浆搅拌不均,结块失效,烘炉时大面积脱落,硅砖则脆性增加,后续烘炉易导致砖缝拉裂、墙体变形等。此外,操作人员的工作能力问题也值得考量,若是对灰缝饱满度的控制不当,使得泥浆过薄,会出现粘结力不足的问题。反之,如果泥浆过厚,也会出现气密性破坏的弱项。针对这一类偏差,应当在施工过程中及时纠正。随着焦炉投产后的低温烘烤,应力集中会迅速转变为砌体开裂、炉砖脱落或局部隆起,当发生严重问题时,则会直接破坏炉体的整体力学性能,导致窜漏事故频发。因此,解决砌筑偏差必须建立从“进场材料严格检测”到“每天每层联合验收”的全程闭环控制体系,通过严苛的施工质量监督和责任追究制,能够确保每一层耐火砌筑,都以严格的标准要求施工,并将差异控制在误差范围内,从而彻底消除由于砌筑偏差带来的结构性安全隐患。

### 2.2 应力不均

应力不均是引发焦炉炉体结构性损坏的“隐形杀手”,其核心诱因是冷态安装过程中护炉铁件的安装尺寸偏差过大,弹簧安装压力不均匀或未达到设计值,弹簧未按照烘炉温度进行热态调整。这几项问题都会导致炉体在烘炉升温阶段承受不对等的内应力,这种不平衡会使炉体膨胀不一致,最终会导致灰缝张开,炉体窜漏,还会产生硅砖

脆性断裂等严重问题。此外,膨胀缝预留的尺寸测算也是非常关键的一步,如果未能进行精准的计算,材料在高温下热膨胀系数出现偏差,也会引起炉体内应力释放受阻,而且该应力会集中地出现在炉头、炉顶的位置。若安装阶段忽略了这种动态应力平衡的构建,在投入使用过程中,焦炉将无法有效补偿热应力,最终使炉墙内凹外鼓,严重影响到耐火材料的使用寿命,也会降低焦炉的密封可靠性。因此,施工现场必须严格执行设计制定的热态调整计划,根据炉体温度来调整弹簧应力,以保证炉体正常膨胀,规避结构性失衡带来的风险。

### 2.3 膨胀缝预留不足

膨胀缝预留不足是焦炉投产后引发结构性损坏最为严重的施工缺陷,其本质在于对耐火材料的物理性认识出现偏差,以及施工工艺执行过程中的不严格。焦炉从常温升至高温的过程中,硅砖等主体材料会发生显著的体积膨胀,如果膨胀缝未按照图纸尺寸进行施工,或者由于施工期间的杂物误入,导致缝隙被堵。这会使炉体在热态下失去释放空间,这种约束力会直接作用于砌体结构,并使炉墙应力集中处出现鼓胀,严重影响到炉体的封闭性,甚至导致焦炉横拉条断裂及炉柱受力失稳的严重后果。此外,还有施工人员为了追求“美观”而擅自减小缝隙尺寸,从而忽略了材料的膨胀系数差异,这会使整体结构应力紊乱。因此我们要杜绝这一现象,在施工现场必须严格执行“三检制度”,在砌筑过程中使用匹配厚度的纸板或木板作为模具,严禁盲目填塞或缩小尺寸,并确保在每层砌体完工后进行复测,确保每一处缝隙在冷态砌筑时,都符合设计图纸需求。

## 3 施工管控对策

### 3.1 全过程质量监管体系的建立与优化

为确保焦炉炉体长期、高效率运行,必须构建“全覆盖、全要素、闭环式”的质量监管体系,将质量管理渗透到施工的每一个环节。该体系的核心在于通过精准化的控制来取代事后补救这一不利情况。通过对材料进场、砌筑作业、紧固调试及烘炉监控四个维度实施数字化与标准化联动。在施工前一定要按照设计图纸及国家规范要求对材料的复检,并且所有的耐火砖需要通过规格偏差筛分和分类管理,确保材料物理性质的统一。在施工过程中则应推行“预砌筑”和“旁站制”,确保每层砌筑之前都经过中心和标高的验收,防止偏差累积造成问题。为确保管理深度,监管体系重点通过以下标准表格进行量化管控<sup>[4]</sup>,见表 2。

表 2 量化管控

监管维度	关键环节	核心控制标准	监测手段
材料管理	砖型分类	尺寸偏差控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内	自动化测量仪筛分
砌筑作业	灰缝饱满度	灰缝间隙控制, 饱满度 $\geq 95\%$	塞尺与抽样检查
结构定位	垂直/平整度	墙体垂直度每米偏差 $\leq 1.5\text{mm}$	靠尺检测、线坠检测
应力调节	炉柱紧固	紧固力矩偏差控制在 $\pm 5\%$ 内	智能扭矩扳手记录仪
缝隙防护	膨胀缝留设	缝隙尺寸符合热膨胀系数补偿值	专用标定尺/塞规检测

表 3 数字化监控与纠偏标准及细节

监测对象	关键指标	数字化技术手段	纠偏干预策略
砌体高程	层间累计误差 $\leq 2\text{mm}$	自动化电子水准仪	调整胶泥层厚度或进行砖型微磨平
墙体垂直度	全高累计偏差 $\leq 5\text{mm}$	三维激光扫描成像	计算补偿斜率并调整后层定位点
膨胀缝间距	目标间距 $\pm 0.2\text{mm}$	智能图像识别传感器	实时修正衬垫厚度或微调调位间隙
应力分布	负载均衡度偏差 $\leq 3\%$	嵌入式无线应力传感器	对对应区域拉条进行微量力矩补偿
空间形态	几何结构拟合度	BIM 模型数字化比对	偏差可视化反馈, 生成最优砌筑指导路径

### 3.2 数字化纠偏措施

针对焦炉建设中精度控制难度大、累积误差难以实时溯源的痛点, 我们可以引入数字化纠偏体系, 这也是在现阶段技术不断更进后所能够实现的炉体长效稳定运行的重要保障。该体系也突破了传统靠人工读数和手工记录的局限性, 以集成三维激光扫描 (3D Laser Scanning)、全站仪精密测量以及 BIM 模型联动<sup>[5]</sup>, 对砌筑的实施进度进行反馈, 并在数字孪生模型中生成, 实现了被动检验向主动纠偏的转变。当监测数据发现实际铺砖层高度或墙体曲率偏离设计阈值时, 数字化平台会自动触发预警机制, 并且计算后续砌筑的修正参数, 调整灰缝厚度, 将累积偏差控制在一定范围内。具体数字化监控与纠偏标准及细节如下:

### 4 结论与展望

综上所述, 焦炉炉体设备安装的精度与质量是决定其使用寿命的“先天基因”。通过深度剖析常见施工问题, 我们明确了膨胀缝预留、砌筑工艺及应力调节在工程实践中的核心地位。通过应用全质量监测管理体系及数字化纠偏技术, 能够将人工误差降至最低, 并通过精准的数据反馈, 实现了从“粗放式组装”到“数字化精准构造”的跨越。这些技术手段能够从源头上消除结构应力集中、砌体变形及气密性失效等顽疾, 为焦炉在高温、腐蚀及周期性热震环境下的长周期稳定运行筑牢了基石, 对延长焦炉的服役年限, 降低维护成本, 提高经济效益和社会效益均有较大的益处。

展望未来, 焦炉安装施工将向着“智能感知与自适应建造”方向持续演变。随着物联网、人工智能和工业互联网技术的深度融合, 如全生命周期的质量监测, 将逐步延展至焦炉施工中, 并实现炉体从投产到运营的无缝对接。在未来施工现场会有更多的砌筑机器人, 并搭配实时应力感应系统, 这将进一步保障结构的零缺陷, 并有助于实现生产效率的跨越式增长。这种高质量的施工技术, 得益于先进制造模式的开发和运用, 将焦化行业推向绿色低碳智能化的方向发展, 更为焦炉的长寿命管理树立了全新的技术标杆。

#### [参考文献]

- [1] 谢文魁. 热回收焦炉集气管高温阀断阀板在线抽取方法[J]. 福建冶金, 2025, 54(4): 48-50.
  - [2] 贾海宁, 赵利明, 赵远钦, 等. 新技术在焦炉炉体维护中的应用[J]. 冶金与材料, 2025, 45(2): 40-42.
  - [3] 王利. 焦炉炉体热修维护安全技术创新应用[J]. 河南冶金, 2023, 31(1): 30-32.
  - [4] 高松, 毛健伟, 陈仲颖. 焦炉炉体封闭钢结构体系浅析[J]. 燃料与化工, 2020, 51(1): 25-26.
  - [5] 牟彪. 老龄焦炉窜漏治理、炉体维护的改进技术及应用[J]. 煤化工, 2018, 46(4): 45-48.
- 作者简介: 王文虎 (1986—), 河北工程大学科信学院给排水工程专业毕业, 工程师, 当前就职于中国五冶集团有限公司, 任项目总工程师。