

干熄焦锅炉及配套设备施工难点与对策

王文虎

中国五冶集团有限公司, 上海 201999

[摘要] 干熄焦锅炉作为现代焦化工艺的核心节能设备, 其安装质量会决定交换系统的运行效率和安全。文中将重点分析干熄焦锅炉的安装过程及所面临的技术挑战。重点讨论大型核心部件的高空吊装位移精准控制、锅炉炉体高压严密性焊接工艺、复杂形状内衬耐火材料的标准化砌筑以及大型管道系统的应力消除难题。针对主要难点, 文中提出了基于 BIM 模型的精细化吊装方案, 并且设立和完善全过程无损检测及质量跟踪体系, 以及模块化预制安装及应力补偿措施。通过针对性的施工对策, 尽可能地规避安装偏差, 提高炉体的气密性和结构的稳定性, 从而降低后续生产过程中的维护运行成本, 确保干熄焦系统高效、长期稳定的运行。为大型工业锅炉的施工安装提供参考和管理思路。

[关键词] 干熄焦锅炉; 配套设备; 安装施工; 大型工业锅炉

DOI: 10.33142/ect.v4i4.19542

中图分类号: TQ520.5

文献标识码: A

Construction Difficulties and Countermeasures of Dry Quenching Boiler and Supporting Equipment

WANG Wenhui

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

Abstract: As the core energy-saving equipment of modern coking process, the installation quality of dry quenching boiler will determine the operating efficiency and safety of the exchange system. The article will focus on analyzing the installation process and technical challenges faced by dry quenching boilers. The focus is on precise control of high-altitude lifting displacement for large core components, high-pressure tight welding technology for boiler bodies, standardized masonry of refractory materials for complex shaped linings, and stress relief challenges for large pipeline systems. In response to the main difficulties, the article proposes a refined lifting scheme based on BIM models, and establishes and improves a non-destructive testing and quality tracking system throughout the entire process, as well as modular prefabrication installation and stress compensation measures. By implementing targeted construction measures, installation deviations can be avoided as much as possible, improving the airtightness and structural stability of the furnace body, thereby reducing maintenance and operation costs in subsequent production processes, and ensuring the efficient and long-term stable operation of the dry quenching system. Provide reference and management ideas for the construction and installation of large industrial boilers.

Keywords: dry quenching boiler; supporting equipment; installation and construction; large industrial boilers

引言

随着全球钢铁工业节能减排要求的不断提高, 干熄焦技术因其余热回收价值和环保效益的优势, 成为现代焦化生产的标配, 作为干熄焦系统中的核心设备, 干熄焦锅炉的运行稳定性将影响到焦化流程的生产节奏, 以及能源最终的转化效率。然而由于该类设备结构复杂, 单体重量大, 作业环境受到高度限制, 在安装过程中面临着施工精度、质量控制等多方面压力, 任何细小的偏差和失误都有可能

导致炉体气密性不足, 增加热损失, 并在运行期间诱发安全全生产事故。因此, 我们将重点探究干熄焦锅炉的安装难点, 并制定合理的应对策略, 确保锅炉的长期稳定运行, 致力于提升企业经济效益以及推动行业安装施工技术的规范化发展。

1 施工难点分析

1.1 大件吊装位移控制

干熄焦锅炉安装过程中, 大件吊装位移的控制, 是施工的核心环节。由于锅炉本体的结构较大, 且重心不规则, 并受到施工场地狭窄的限制, 在吊装作业中对机械设备的

协同吊装及精准就位提出了较高的精细度要求。若安装过程中出现超过标准尺寸的偏离,也会造成支座安装应力集中,并使得炉体密封失效、本体受损。为了确保吊装的精准控制,我们需要按照严格的参数进行受力模拟(见表1)。

表1 干熄焦锅炉关键组件吊装设计数据表

关键部件名称	单体重量 (t)	设计吊装高度 (m)	允许位移偏差 (mm)	吊点对称度 要求
锅炉本体支 承圈	45	28.5	≤5	<2%
锅炉受热面 模块	85	35.2	≤8	<1.5%
汽包组件	32	42.0	≤3	<1%

在实际施工中,难点在于如何控制高空风载荷对吊装稳定性的影响,因此我们要配备数字化监测系统,反馈吊点的应力及其位移情况,并辅以液压提升装置实现微调。如果缺乏科学的数据支撑和动态监控系统,则会出现吊点受力不均匀的问题,并由此使部件受损变形,这将严重威胁后期管道的对接质量,因此我们必须通过精准的算法,对上述设计数据进行仿真模拟,规避吊装风险。

1.2 锅炉炉体焊接质量

干熄焦锅炉炉体焊接质量是决定锅炉使用寿命与运行安全的关键。由于干熄焦系统运行于高温、高压且含有腐蚀性气体的工况下,炉体的焊接需要由焊接技术高超的特种作业焊工来完成,并有极高的气密性要求,任何细微的缝隙都可能导致煤粉外泄,热量流失,这些缝隙和气孔的处理要更精细,并符合规范和标准要求。焊接过程的难点在于炉体异种钢材的焊接接头处理、厚板焊接产生的热影响区脆化,以及多层焊道间温控不均导致的应力集中。为了确保焊接质量,施工必须严格遵守工艺设计规范。以下为锅炉受压元件焊接质量设计标准,见表2。

表2 锅炉受压元件焊接质量设计标准

项目名称	焊接规范 要求	预热温度范围 (°C)	后热/保温要 求	射线探伤标 准
水冷壁管对接	GB/T 151-2014	100~150	缓冷至环境 温度	100%合格
锅筒环焊缝	ASME Section IX	150~200	恒温 3h 后缓 冷	100%一级合 格
过热器蛇形管	DL/T 869	80~120	无特殊要求	抽检 20%二 级

施工中若忽略这些设计数据,容易产生冷裂纹或者热裂纹,为此在改进对策上应当采用多层多道焊接工艺,控制层间温度,并且可以通过使用全自动焊接机器来代替传统的手工焊接,确保焊缝均匀。同时,焊后必须进行严格的无损检测(RT),该方案能够确保焊缝内部无气孔夹渣

的残留。另外对于大厚度板材的焊接,也需要结合热处理装置,进行焊后消除应力处理(PWHT),彻底消除焊接内应力^[1]。如果焊接工艺的指标不达标,或者与设计方案偏离,则会直接削弱结构刚性,还会因热胀冷缩的因素导致疲劳失效,容易引发严重的气体泄漏事故。因此,标准化的施工需要全程监督指导,并结合焊接电流电压的监控,这也是实现炉体“零泄漏”目标的技术保障。

1.3 内衬耐火材料的施工

干熄焦锅炉内衬耐火材料施工直接关系到锅炉的热效率及使用寿命,其难点在于耐火材料的种类繁多,而且在施工的精度上也有十分高的要求,特别是在锅炉复杂的内部结构中,要实现整体的密封,防止衬里开裂或者脱落。在施工过程中,由于耐火砖以及不定型耐火浇筑料的热膨胀系数存在差异,如果留缝不当,也会导致炉锅在高温运行的过程中受到内部膨胀压力,使内部衬里遭到损坏。为了保证施工质量,我们也需要按照设定的技术参数来完成关键施工,见表3。

表3 内衬施工关键质量控制数据表

内衬材料类型	施工环境温度要求 (°C)	膨胀缝间距设置 (mm)	烘炉升温速率 (°C/h)	锚固件材质要求
高铝砖砌筑	5~30	500~800	10~15	耐热不锈钢
耐磨浇注料	10~35	1000~1200	5~10	铬镍合金钢
轻质保温棉	5~40	整体覆盖无缝	不适用	镀锌铁丝/圆钢

施工难点主要体现在复杂形状部位的异形砖切割与锚固件焊接工艺的同步控制。如果焊接后锚固件应力处理不当,则会导致耐火材料局部集中,容易造成后期大面积的崩塌,因此在对策上需要在施工前完成严格的排版与拼接,并使用激光测距仪来校验膨胀缝间距。在浇注料施工时,应当采用分层分块的浇筑技术,并且在施工过程中控制水量的加减,采用强制式搅拌机,确保搅拌均匀。另外烘炉温度控制也是预防内衬裂开的关键因素,需要通过自动化温度控制系统来控制升温曲线,平稳地去除炉体水分,防止衬里由于水蒸气的急剧膨胀而出现爆裂。在上述施工环节中,如果有数据偏离,则会造成炉体外壳局部过热,还会发生内衬塌陷,导致生产无法顺利进行。因此锅炉施工全过程的质量管控,确保内衬的施工质量也是最基础的工作。

1.4 管道应力消除

干熄焦锅炉系统内蒸汽管道与循环风管布局复杂,多

处涉及高温、高压及大口径连接,复杂管道的应力消除是确保锅炉长期安全运行的生命线。从安装的难点进行分析,更多集中于管道在热态下的热位移与冷态安装的巨大偏差。管道极易在高温运行过程中增加附加应力,这就会导致支撑件受损,甚至是管道破裂。特别是对于空间有限的锅炉本体的连接部位,当管束和支吊架的安装精度不高时,会影响到管道系统的疲劳寿命。为了规避应力的集中,我们要根据锅炉相关的安装标准和实际安装数据进行调整,见表4。

表4 复杂管道应力消除关键控制数据表

控制项目	设计标准规范	允许冷紧偏差(mm)	支吊架恒力偏差	焊后应力消除温度(℃)
高温主蒸汽管	GB/T 20801	≤±2.0	≤5%	600~650
高压给水管道	GB/T 20801	≤±3.0	≤8%	580~620
循环风管膨胀节	ASME B31.3	≤±5.0	不适用	视材质而定

管道焊缝的残余应力消除,若现场缺乏热处理工艺控制,焊接热影响区的内应力将成为管道失效的一大隐患。在对策上,应当在安装阶段采用计算机辅助预制技术,并使用三维扫描仪对安装位移及理论值的设定进行比较分析,确保冷态安装应力在可控范围内。同时,针对关键管系需严格执行焊后局部热处理(PWHT),通过履带式加热器精确控制升温与恒温曲线,并利用硬度计检测焊缝硬度以验证应力消除效果^[2]。要严格按照上述数据进行管道的优化及柔性支撑分布管理,预防管系因热胀冷缩导致的疲劳失效,并由此提高锅炉系统的平稳运行效率。

2 关键对策研究

2.1 精细化吊装模拟

针对干熄焦锅炉大型构件吊装空间狭窄、重心偏移大及多机协作复杂的难题,应当采取精细化吊装模拟对策,在施工前可以结合BIM技术构建三维数字化模型,同时需要对多个项目进行全过程仿真模拟,其重点项目包括吊装路线、基础稳定性、吊点位置及起重设备站位等,重点分析变幅过程中吊臂与周边结构的碰撞干涉,并预演极端天气下的抗风稳固性^[3]。通过数据的模型预判,能够分析吊车载荷的分布情况,通过提前制定多机同步吊装联动方案,能够对关键吊点的应力进行计算分析和校对。模拟技术的运用可以有效的实现“方案预演、过程可见、风险可控”,有效消除现场指挥模糊及设备配合误差,这也是确保锅炉设备安装平稳精准的保障,有助于提高吊装安全性

及作业的整体效率。

2.2 全过程无损检测

针对干熄焦锅炉压力管道及承重结构焊缝质量管控难点,全过程无损检测是消除隐患的核心对策。在施工过程中,我们应当注重安全防护,并构建“材料进场-焊接过程-焊后验证”的全生命周期质量闭环,利用射线和超声波两项技术的优势,实现对受热面管屏、集箱及锅筒关键受力焊缝进行100%全覆盖检测^[4]。在监测过程中还可以利用数字射线成像技术对复杂的焊接进行实时影像的动态捕捉,并且可以引入TOFD技术对有缺陷的位置进行精密确定和定量分析,将焊缝内部空隙、裂纹、未融合质量缺陷及早排查处理。我们还应当建立无损数据库,对缺陷趋势进行预警分析和原因探讨,将事后检验的模式进行改进,将工作前置,加强过程预防。当这一模式逐步成型后,能够有效规避焊接质量风险,为锅炉设备的长周期运行提供安全保障,对于提高整体工程质量具有至关重要的意义。

2.3 标准化砌筑工艺

针对干熄焦锅炉耐火材料在高温循环及频繁热冲击下易产生裂纹、剥落的施工难点,必须推行标准化砌筑工艺^[5]。核心对策包括:严格控制耐火砖、火泥等耐材的进场验收与第三方复检,确保耐材质量及性能合格。在采用预装配试验的过程中,要确保复杂弧面处的砖缝紧密度,并严控膨胀缝的留设标准,防止因热膨胀导致内衬挤压损坏。施工中执行“三检制”,通过激光测平仪监控砌筑精度,确保灰缝饱满度达到95%以上,且错缝、咬合部位符合设计规范^[6]。此外锚固件焊接质量和防腐预处理要重点管控。结合数字化测温技术,根据设计参数平稳控制升温曲线,使内衬结构在初次升温的时候就实现应力的均匀释放,保证耐材均匀膨胀,不产生缝隙裂纹,确保锅炉内衬的使用寿命。

2.4 管道工厂标准化预制

针对干熄焦锅炉系统管道管径大、走向复杂且在高空作业空间受限的施工难点,实施“管道工厂标准化预制”是提升效率和质量的关键^[7]。在施工前可以通过三维扫描技术还原现场数据,将复杂的管系结构进行分解。将管系分解成若干个高精度模块后,可以通过自动化焊接车间进行集中预制,并且以机械化切割和自动焊接技术为保障,提升质量,减少现场的高空作业量,这也是对施工人员安全的保障。预制过程中引入“数字化二维码标识”系统,对每一段管道的材质、壁厚、安装部位进行编号追踪,确保安装时的精准匹配^[8]。现场采用模块化吊装组合,实现

“即到即装”的目的,规避传统散装模式下管口对口偏差大、脚手架搭设频繁及交叉作业干扰多等问题。该工艺通过“变现场作业为工厂制造”,既能够提高施工效率,缩短安装周期,还能够极大地保证管道焊接质量,确保管道体系在高温高压下安全平稳运行。

3 总结

干熄焦锅炉作为干熄焦系统的核心设备,其安装质量将极大地影响到系统的安全运行与生产效率。因此,针对耐火材料砌筑精度,大型受压部件的焊接以及复杂管道的布局,解决这些难点问题,是实现粗放作业向精细化装配的重要转变。这一系列技术的应用,能够解决干熄焦锅炉高温高压环境下的密封性与稳定性问题。同时借助数字化手段,能够降低安装误差,还能防护高空作业的风险。实践证明,构建涵盖“全流程监控、高标准预制、全生命周期质量追溯”的施工体系,是保证干熄焦锅炉安装工程质量的根本途径,有助于缩短建设周期,保障系统长期高效稳定运行。本文所述的干熄焦锅炉施工难点与对策可以为后续干熄焦锅炉的施工提供有利参考。

[参考文献]

[1]石巧因,王欣悦,孙文彬,等.干熄焦锅炉入口循环气体温

度的理论计算[J].冶金能源,2023,42(6):56-59.

[2]陈光福,王甲.干熄焦锅炉爆管引发除尘器爆炸事故机理与防控[J].燃料与化工,2025,56(6):26-28.

[3]胡玖林,刘元德,黄国虎,等.浅析干熄焦锅炉的金属粉末化腐蚀与防护措施[J].燃料与化工,2025,56(6):41-44.

[4]袁本雄,邵胜平,左夏青,等.利用热平衡计算干熄焦的烧损率[J].冶金能源,2023,42(3):44-46.

[5]李林,陈本成,邢巍威.超高温超高压中间一次再热干熄焦余热发电技术应用[J].冶金动力,2025,11(2):39-43.

[6]王文,盖红德,胡娜娜.干熄焦余热锅炉爆管分析及处理措施[J].设备管理与维修,2024,11(17):153-155.

[7]刘晨,张振夫,郭涛,等.干熄焦锅炉改造拆卸安装实践[C].北京:中国金属学会冶金安全与健康分会.2019 中国金属学会冶金安全与健康年会论文集.山钢股份莱芜分公司焦化厂,2019.

[8]郑鹏辉,王向东,兰鹏兵.气煤焦在干熄焦试生产中存在的问题及解决办法[J].天津化工,2023,37(3):109-112.

作者简介:王文虎(1986.12—),毕业于河北工程大学科信学院给水排水工程专业,现就职于中国五冶集团有限公司,任项目总工程师,工程师。