

Installation Techniques and Quality Control for Circulating Fluidized Bed Boilers (CFB)

Fei Zeng

China Energy Construction Group Guangdong Thermal Power Engineering Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510735, China

Abstract

Circulating Fluidized Bed Boilers (CFBs) have gained widespread application in power generation, chemical processing, and metallurgical industries due to their advantages of broad fuel adaptability, high combustion efficiency, and low pollutant emissions. However, the complex structure and high system integration of CFB boilers mean that installation quality directly impacts operational safety, stability, economic efficiency, and environmental performance. This paper systematically analyzes key technical aspects during the installation of an 800 t/h high-temperature ultra-high pressure circulating fluidized bed boiler at a power plant project, including steel frame and pressure-bearing component installation, cyclone separator and return material system setup, air distribution plate and air damper fitting, refractory and wear-resistant material construction, as well as furnace drying and blowpipe installation. Building on this analysis, the study explores quality control strategies from multiple dimensions: quality management systems, critical process controls, material inspection protocols, and personnel training programs. The findings aim to provide theoretical references and practical guidance for enhancing overall installation quality and ensuring long-term stable operation of CFB boilers.

Keywords

circulating fluidized bed boiler; installation technology; quality control; refractory and wear-resistant materials; furnace drying

循环流化床锅炉 (CFB) 安装技术及质量控制

曾飞

中国能源建设集团广东火电工程有限公司, 中国·广东 广州 510735

摘要

循环流化床锅炉 (CFB) 因其燃料适应性广、燃烧效率高、污染物排放低等显著优点, 在电力、化工、冶金等领域得到了广泛应用。然而, CFB 锅炉结构复杂, 系统集成度高, 其安装质量直接关系到锅炉运行的安全性、稳定性、经济性和环保性能。本文系统分析了某电厂项目 800t/h 高温超高压循环流化床锅炉安装过程中的关键技术环节, 包括钢架与承压部件安装、旋风分离器与返料系统安装、布风板与风帽安装、耐火耐磨材料施工以及烘炉与吹管等。并在此基础上, 从质量管理体系、关键工序控制、材料检验和人员培训等方面, 深入探讨了 CFB 锅炉安装过程中的质量控制要点与措施, 旨在为提升 CFB 锅炉的整体安装质量、确保其长期稳定运行提供理论参考和实践指导。

关键词

循环流化床锅炉; 安装技术; 质量控制; 耐火耐磨材料; 烘炉

1 引言

随着全球对能源清洁高效利用和环境保护要求的日益提高, 循环流化床燃烧技术作为一种成熟的洁净煤技术, 展现出强大的生命力。CFB 锅炉通过高速气流使床料 (燃料、灰渣、石灰石等) 在炉膛内实现流态化循环燃烧, 具有近乎无限的燃料灵活性、优异的炉内脱硫脱硝能力以及较高的燃烧效率。然而, 机遇与挑战并存。CFB 锅炉的独特工作原理决定了其结构远比传统煤粉炉复杂。其核心系统包括炉膛、旋风分离器、返料器、外置式换热器等, 构成了一个高温、

高磨损、高气固两相流的严酷工作环境。因此, CFB 锅炉的安装不仅是一项复杂的系统工程, 更是一项对技术精度和管理水平要求极高的任务。任何安装环节的疏漏, 如焊接缺陷、中心找正偏差、耐火材料施工不当等, 都可能导致运行时出现爆管、磨损、漏风、返料不畅等严重问题, 甚至引发非计划停运, 造成巨大的经济损失。

基于此, 本文旨在系统梳理和总结 CFB 锅炉的安装关键技术, 并构建一套行之有效的质量控制体系, 对保障 CFB 锅炉项目的顺利投产和长期可靠运行具有重要的现实意义。

2 CFB 锅炉安装关键技术

CFB 锅炉的安装应遵循“先地下后地上, 先主体后附属,

【作者简介】曾飞 (1985-), 男, 中国广东广州人, 本科, 高级工程师, 注册一级建造师, 从事热能动力研究。

先结构后设备”的原则，其关键技术环节主要集中在以下几个方面：

2.1 钢架结构与承压部件安装

钢架是锅炉的骨架，其安装质量是整个锅炉安装的基础。

钢架安装：首先，基础验收与划线必须精确，确保预埋螺栓的位置、标高符合设计要求。钢架吊装应遵循从下至上、从主到次的原则。在安装过程中，要使用高精度仪器（如全站仪、水准仪）持续监控立柱的垂直度、间距、对角线以及顶板梁的标高和水平度。所有高强度螺栓的连接必须严格按照初拧、终拧的工艺要求执行，并使用扭矩扳手或液压拉伸器确保预紧力达到设计值。

承压部件安装（锅筒、受热面）：

锅筒安装：锅筒是锅炉的心脏，其安装精度要求极高。吊装前需仔细检查锅筒外观、管座位置及内部装置。就位后，必须精确调整其纵横中心线、标高和水平度，其偏差应严格控制在规定允许范围内（通常中心线偏差 $\leq\pm 5\text{mm}$ ，标高偏差 $\leq\pm 5\text{mm}$ ，水平度偏差 $\leq 2\text{mm}$ ）。锅筒的临时固定和最终固定必须安全可靠^[1]。

受热面安装（水冷壁、过热器、再热器、省煤器）：受热面管排的安装是安装工作的核心和难点。首先，在地面进行严格的通球试验，确保管内无杂物。焊接是质量控制的重中之重，所有承压焊口必须由持证焊工按照评定合格的焊接工艺进行施焊。焊接完成后，需进行 100% 的无损检测（RT 射线探伤或 UT 超声波探伤）。管排吊装时，要采取有效措施防止变形和损坏。尤其要注意的是，膜式水冷壁的拼缝焊接、包墙过热器的密封焊接，必须保证质量，以防运行时因漏风而破坏正常的流化状态。

2.2 旋风分离器与返料系统安装

这是 CFB 锅炉区别于其他锅炉的核心部件，其安装质量直接决定物料循环的可靠性。

旋风分离器安装：旋风分离器通常体积庞大，多为现场组焊件。安装的关键在于保证其中心筒的同心度和垂直度。中心筒是高温耐磨部件，其与外壳体的相对位置必须精确，确保烟气切向进入后能形成稳定的旋转流场，实现高效气固分离。组焊过程中，要控制焊接变形，所有焊缝（特别是中心筒的焊缝）需进行严密性检查。

返料器安装：返料器是连接分离器和炉膛的“咽喉”，负责将分离下来的循环物料稳定地送回炉膛。安装时，首先要保证返料器与分离器落料管、炉膛返料口的相对标高和中心位置准确无误。返料器内部的布风板和风帽安装要求与炉膛布风板同样严格（见下文）。返料器上的膨胀节安装方向必须正确，预留的膨胀间隙要符合图纸要求，确保其能有效吸收热膨胀。

2.3 布风板与风帽安装

布风板是形成均匀流化床的基础，风帽是其关键执行

元件。

布风板安装：布风板通常由多个管屏组焊而成，安装时必须保证其整体水平度。在安装前后，需对布风板进行找平，其水平度偏差应控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内。布风板与风箱的连接焊缝必须严密，确保无漏风。

风帽安装：这是 CFB 锅炉安装中极为精细的工作。每个风帽在安装前都应进行外观检查和内部清理，确保无铸造缺陷和杂物堵塞。风帽与布风板的连接（焊接或螺纹连接）必须牢固、严密。风帽安装的核心是所有风帽顶部的标高必须一致，其偏差应严格控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内。同时，要用特制的样规检查风帽之间的间距，确保均匀。安装完成后，需用塑料布或专用护盖对所有风帽孔进行封堵，防止施工中落入杂物。

2.4 耐火耐磨材料施工

CFB 锅炉内大量区域承受着高浓度固体物料的持续冲刷，因此耐火耐磨材料的施工质量是决定锅炉运行周期和可靠性的关键^[2]。

施工前准备：首先，对需浇筑的金属表面进行彻底除锈和清理。焊接抓钉（Y 型或 V 型）是耐火材料的骨架，其材质、尺寸、间距和焊接质量必须符合设计要求，焊角高度要足够，并进行锤击检查确保牢固。在施工前，需进行试块试验，以验证材料性能和施工工艺。

施工过程控制：

配比与搅拌：严格按厂家提供的配比进行配料，采用强制式搅拌机搅拌均匀，加水量必须精确控制，以保证浇注料的流动性和最终强度。

支模与浇筑：模板要有足够的强度和刚度，表面光滑，接缝严密，支模尺寸准确。浇筑时应分层进行，每层厚度不宜超过 300mm，采用振动棒充分振捣密实，避免出现空洞和蜂窝麻面。对于旋风分离器顶棚等复杂部位，需采用自流平浇注料或从侧面多点浇筑。

养护与烘烤：浇筑完成后，在适宜的温度和湿度下进行自然养护（通常不少于 24 小时）。烘炉是耐火材料施工的最后一道也是至关重要的一道工序（详见下文）。

2.5 烘炉与吹管

烘炉：烘炉的目的是通过缓慢、均匀地加热，排除耐火耐磨材料中的物理水和结晶水，使其获得最佳的使用性能和组织强度。若烘炉不当，会导致材料内部蒸汽压力过大而爆裂、剥落。烘炉必须按照预先制定的烘炉曲线进行，该曲线根据材料特性、厚度和施工季节确定。通常采用燃油或燃气燃烧器，配合烘炉机进行。关键控制参数是升温速率、恒温时间和最高温度。在烘炉过程中，应在关键部位设置热电偶，实时监控温度，确保实际曲线与计划曲线吻合。

吹管：吹管是在锅炉正式投运前，利用蒸汽自身的能量，清除过热器、再热器及主蒸汽、再热蒸汽管道内在制造、安装过程中残留的氧化皮、焊渣等杂质的工艺过程。吹管前需

完成锅炉的化学清洗。吹管通常采用降压法或稳压法，靶板安装在蒸汽管道的末端。当连续两次打靶，靶板上冲击斑痕的粒度不大于0.8mm，且肉眼可见斑痕不多于8点时，即认为吹管合格^[3]。

3 CFB 锅炉安装质量控制体系

精湛的技术必须依靠严格的质量管理来落实。构建一个全面、全过程的质量控制体系是 CFB 锅炉安装成功的保障。

3.1 建立完善的质量管理组织机构

项目伊始，成立以项目经理为第一责任人的质量管理委员会，下设专职的质量检验部门。明确各级人员（项目经理、技术负责人、质检员、施工班长等）的质量职责，形成“层层负责、人人有责”的质量责任网络。同时，编制详细的《质量检验与试验计划》，明确停检点、见证点，使质量控制活动程序化、文件化。

3.2 强化施工前的质量控制

图纸会审与技术交底：组织所有相关技术人员对施工图纸进行深入审查，理解设计意图，发现并解决可能存在的错、漏、碰、缺问题。对施工班组进行详细的技术交底，使其明确施工方法、技术标准、质量要求和安全注意事项。

设备与材料检验：所有进场设备、原材料及配件（如钢板、管材、焊材、耐火材料、风帽等）都必须进行严格的进场验收。核查其质量证明文件（合格证、材质单、无损检测报告等），并进行外观检查和尺寸复核。对重要材料（如焊条、耐火浇注料）还需进行复验，合格后方可投入使用^[4]。

3.3 实施关键工序的过程控制

对前述关键技术环节设置质量控制点，进行重点监控。

焊接质量控制：焊接是安装的生命线。实行焊工持证上岗制度，并对其现场焊接技能进行考核。严格执行焊接工艺评定，确保焊接参数（电流、电压、速度、层间温度等）正确。强化过程检查（坡口处理、组对间隙、清洁度）和焊后检查（外观、无损检测）。对发现的缺陷，必须按程序进行返修，并对返修部位进行再次检测。

尺寸与中心找正控制：从基础划线到钢架安装，再到锅筒、受热面、分离器等大型部件的就位，全程使用高精度测量仪器进行监控。建立统一的测量基准网，避免误差累积。

耐火材料施工控制：从抓钉焊接、配比搅拌、支模振捣到养护烘烤，每一道工序都需有质检员旁站监督或过程记录。特别是配比和烘炉曲线，必须作为强制性条文执行。

3.4 运用先进的质量检测手段

除了传统的卡尺、水平仪、焊缝尺等，应广泛应用现代检测技术。如使用全站仪进行三维空间定位；使用数字超声波探伤仪和 X 射线探伤机对焊口进行无损检测；使用内

窥镜检查管道内部情况；使用热像仪监测烘炉时耐火材料的温度场均匀性等。

3.5 加强人员培训与资格认证

定期对管理人员、技术人员和一线工人进行质量意识和专业技能培训。特别是对焊工、起重工、架子工等特殊工种，必须保证其持有效证件上岗，并通过岗前培训熟悉 CFB 锅炉的安装特点和要求。

3.6 做好质量记录与追溯管理

所有质量活动，包括检验记录、试验报告、不合格品处理报告、会议纪要等，都必须及时、准确、完整地形成书面或电子文件。完善的质量记录不仅是工程验收的依据，更是未来进行问题追溯、运行维护和优化改进的宝贵资料^[5]。

4 结论与展望

循环流化床锅炉的安装是一项技术密集、管理复杂的系统工程。其成功依赖于对钢架与承压部件、旋风分离器与返料系统、布风板与风帽、耐火耐磨材料等关键环节精准的安装技术，以及从施工前准备、过程控制到最终试验的全过程、全方位的严格质量控制。

实践证明，只有将科学的施工方案与严密的质量管理体系有机结合，才能从根本上保证 CFB 锅炉的安装质量，从而为其安全、稳定、高效、长周期的运行奠定坚实的基础。任何环节的疏忽或对质量标准的妥协，都可能为日后运行埋下隐患，导致“先天不足，后天难调”的被动局面。

展望未来，随着 CFB 锅炉技术向超高参数、超大容量和更高环保性能的方向发展，对其安装技术和管理水平提出了更高的要求。未来，应进一步推广模块化、预制化安装技术，以减少现场工作量、提高安装精度和效率；深化 BIM 技术在安装过程中的应用，进行可视化模拟和碰撞检查，优化施工方案；探索基于物联网和大数据的智能监控系统，对焊接参数、烘炉曲线等关键数据进行实时采集与分析，实现质量控制的数字化、智能化转型。通过持续的技术创新和管理升级，必将推动我国 CFB 锅炉的安装水平迈上新的台阶。

参考文献

- [1] 岑可法, 倪明江, 骆仲决, 等. 循环流化床锅炉理论设计与运行[M]. 北京: 中国电力出版社, 2019.
- [2] 国家能源局. 循环流化床锅炉施工及质量验收规范: DL/T 5190.5-2019 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2019.
- [3] 李军, 王永强. 大型CFB锅炉安装关键技术及质量控制[J]. 安装, 2022, (4): 56-60.
- [4] 张建春. 循环流化床锅炉耐火防腐施工工艺与质量控制[J]. 工业加热, 2021, 50(8): 65-68.
- [5] 刘静, 郭学茂. 浅析循环流化床锅炉安装过程中的质量问题及对策[J]. 中国设备工程, 2020, (12): 198-200.