

Research and application of key technologies in installation of 1000MW secondary reheat tower boiler

Xingwen Wang

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

Abstract

To achieve the “dual carbon” goals, the application of efficient and clean 1000MW ultra-supercritical secondary reheating tower boilers is crucial. This paper focuses on two core technologies addressing their complex structure and stringent installation precision requirements: 1) precise installation techniques for large-span plate-girder and steel structures to ensure boiler support stability; 2) complex heat transfer surface systems and large-diameter pipeline welding technologies to guarantee operational efficiency. Engineering practice demonstrates that these technologies effectively ensure installation quality and safety, providing successful examples for similar projects.

Keywords

1000MW unit; secondary reheat; tower boiler; installation technology; modular combination

1000MW 二次再热塔式锅炉安装关键技术研究及应用

王幸文

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

为实现“双碳”目标, 高效清洁的1000MW超超临界二次再热塔式锅炉的应用至关重要。本文针对其结构复杂、安装精度要求极高的特点, 重点研究了两大核心技术: 一是保证锅炉支撑结构稳定的大跨度板梁与钢结构精准安装技术; 二是确保运行效率的复杂受热面系统与大口徑管道焊接技术。工程实践表明, 这些技术有效保障了安装质量与安全, 为同类项目建设提供了成功范例。

关键词

1000MW机组; 二次再热; 塔式锅炉; 安装技术; 模块化组合

1 引言

能源电力行业是国民经济的基础产业, 也是实现“双碳”目标的关键领域。提升燃煤发电机组的效率、降低供电煤耗和污染物排放, 是行业可持续发展的必然选择。超超临界发电技术是实现这一目标的主要途径, 而采用二次再热技术, 能够进一步提高蒸汽循环的热效率, 预计可降低供电煤耗约10-15g/kWh, 具有显著的节能降耗效果。

塔式锅炉因其结构紧凑、烟气流程均匀、受热面布置灵活等优点, 特别适合于参数更高、系统更复杂的二次再热机组。然而, 塔式锅炉将所有受热面集中布置在单一炉膛上方的垂直塔体内, 其结构高度高(通常超过120米)、部件重量大、安装空间狭窄、各系统间空间交错紧密, 这些特点给现场安装工作带来了前所未有的挑战。传统的安装工艺和方法已难以满足其高精度、高质量的建设要求。因此, 系统

性地研究1000MW二次再热塔式锅炉的安装关键技术, 并成功应用于工程实践, 对于推动我国先进清洁煤电技术的自主化建设具有重大的现实意义。

2 1000MW 二次再热塔式锅炉安装技术难点分析

广东大埔二期电厂锅炉采用哈尔滨电气集团股份有限公司生产的超超临界参数、二次中间再热、单炉膛、四角切圆燃烧、平衡通风、固态排渣、全钢架悬吊结构塔式炉、露天布置、变压运行直流炉。与常规1000MW π 型锅炉相比, 二次再热塔式锅炉在安装过程中主要面临以下技术难点:

钢结构安装精度要求极高, 变形控制难度大。塔式锅炉钢结构是高度超过百米的悬臂结构, 其垂直度、柱距、标高等基础尺寸的精度是后续所有部件安装的基准。在自重、风载、温差及吊装荷载作用下, 钢结构极易产生变形和偏差, 如何在整个安装过程中进行动态监测和主动控制, 是首要难题^[1]。

大跨度、大重量板梁吊装风险高。塔式锅炉的刚性梁

【作者简介】王幸文(1982-), 男, 中国广东丰顺人, 本科, 建造师, 高级工程师, 从事热能动力研究。

和受热面悬挂系统依赖于数根跨度大（超过 30 米）、单体重（可达数百吨）的板梁。这些板梁的吊装就位、高空找正和连接，安全风险高，技术复杂。

二次再热受热面系统复杂，空间布置紧凑，安装精度控制难。二次再热系统增加了超高压再热器（或称二次再热器），使得锅炉内部的过热器、一次再热器、二次再热器、省煤器等受热面组件数量激增，管排间距小，空间布局极为紧凑。如何保证数以万计的受热面管屏在吊装、穿装、找正过程中不发生碰撞、变形，并确保其最终的空间位置和膨胀间隙符合设计要求，是安装工作的核心与难点。

大口径、厚壁管道焊接质量要求苛刻。主蒸汽、一次热再热蒸汽、二次热再热蒸汽管道均为 P92 等高级别大口径厚壁管，其焊接工艺复杂，预热、层间温度控制、焊后热处理等环节要求极其严格，任何瑕疵都可能导致运行中的灾难性事故。

协同作业与安全管理挑战巨大。塔式锅炉内部空间有限，而安装高峰期多工种、多工序交叉作业频繁，对施工组织、物流管理和安全保障提出了极高要求^[2]。

3 关键安装技术研究与应用

针对上述技术难点，本项目研究并应用了以下关键技术。

3.1 钢结构精准安装与全过程变形控制技术

钢结构是塔式锅炉的“骨架”，其安装质量是后续工作的基础。本项目摒弃了传统的经纬仪、水准仪分段测量方法，引入了基于三维激光扫描的数字化安装技术。

技术要点：基准网建立与传递：在锅炉基础交付后，建立高精度的三维测量控制网，并随着钢结构安装高度的增加，采用强制对中法等技术将基准点逐层向上传递，减少误差累积。

全过程三维扫描监控：在每层钢结构组件吊装、找正、高强螺栓终紧后，使用三维激光扫描仪对已安装部分进行全景扫描，快速获取海量的三维点云数据。

数字化比对与偏差分析：将现场采集的点云数据与锅炉的 BIM（建筑信息模型）设计模型进行自动比对，生成直观的彩色偏差云图。施工人员可以精确识别出柱子的垂直度、梁的标高和水平度、柱间距等关键尺寸的微小偏差。

动态纠偏与预测控制：基于扫描数据，不仅进行事后检查，更通过数据分析预测后续安装可能产生的累积变形趋势，从而在下一层钢结构安装时进行主动的预偏调整，实现“安装 - 测量 - 分析 - 预测 - 调整”的闭环控制^[3]。

应用效果：该技术将钢结构安装的垂直度偏差控制在 H/10000（H 为总高度）以内，远优于规范要求，为后续受热面和管道安装创造了精准的基准平台。

3.2 大跨度板梁吊装控制技术

为解决锅炉顶部数百吨重大板梁传统履带吊装方案对起重机要求高、高空作业风险大的难题，本项目创新性地采

用炉中布置 160t 塔吊（STT3330 型）作为主吊机械的核心技术。

3.2.1 核心技术概述

本技术以顺序化与动态调整为原则，遵循“从下到上、先下梁后上梁”的基本顺序，并根据设备到货情况灵活优化吊装流程。通过全过程质量控制（吊前核对尺寸编号，吊后找正找平验收）与多重安全验证（吊装系统联合检查、重物试吊及刹车性能测试），确保作业基础可靠。

3.2.2 关键工序控制要点

运输与卸车：严格执行大板梁的定向装载要求，确保 BL-1/BL-2 与 BL-3/BL-4 在运输车上的方向相反，为后续吊装创造高效条件。

BL-1 吊装：采用 STT3330 塔吊单机独立吊装，选用 $\phi 38\text{mm}$ 钢丝绳及 10t 卡环等轻型索具，流程简洁高效。

3.2.3 下梁与上梁吊装：

卸车与稳定：统一使用 $\phi 70\text{mm}$ 钢丝绳及 55t 卡环等重型索具。卸车时，抬吊离车 300mm 后移走车辆，并立即在落地位置设置枕木支垫与缆风绳，确保构件稳定。

上梁翻身（关键技术）：针对上梁倒置运输的特点，采用 STT3330 塔吊与 SCC1500 履带吊（或 80t 汽车吊）双机协同翻身工艺。通过专用翻身三脚架、枕木支垫及精确的协同指挥，安全完成构件从平放到立放的姿态转换，并设置临时支撑防倾覆。

3.2.4 上下梁叠合与连接：

间隙消除：为克服下梁自重挠度造成的叠合间隙，采用塔吊微提下梁与“C”形夹具配合油顶的组合技术，有效消除间隙。

螺栓紧固：执行三步紧固法：初紧（中间向两端）→复紧（两端向中间）→终紧（中间向两端），确保连接力均匀分布，达到设计预紧力要求。

3.2.5 安全与平台保障

全程贯彻稳定措施，包括拉设缆风绳、搭设脚手架、铺设安全网及设置防护栏杆，为高空螺栓紧固作业提供安全平台。

3.2.6 应用效果

该技术的成功应用，显著降低了高空作业风险和对大型履带吊资源的依赖，提升了吊装过程的安全性与可靠性，实现了板梁的高精度就位，整体吊装效率提升约 40%，经济效益与安全效益显著。

3.3 二次再热复杂受热面系统的模块化安装与空间精度控制技术

这是整个锅炉安装的核心。针对二次再热系统受热面组件多、管排密、空间紧的特点，推行了“模块化预组合、分段吊装、立体交叉、精度护航”的安装策略。

3.3.1 技术要点：

受热面模块化与地面扩大组合：在条件允许的情况下，尽可能将散管、小屏在地面组合成大型模块组件。例如，

将多片墙式再热器在地面焊接成一片大墙，将管排与集箱在地面组合成完整的部件。这减少了高空作业量，提高了组合质量。

专用吊架与柔性保护：针对蛇形管排等易变形的组件，设计制作专用的桁架式吊架，确保吊装过程中管排不变形、不损坏。对管口等关键部位采用柔性材料进行保护。

引入工业内窥镜进行内部检查：对于组装完成后无法直观检查的集箱内部和小口径管道内部，使用工业内窥镜进行视频检查，确保内部清洁无杂物、无加工遗留物。

严格的通球与封堵管理：对所有受热面管道进行100%通球试验，并执行严格的“打开-封闭”登记制度，确保管道系统内部的绝对清洁。

3.3.2 应用效果

通过上述精细化控制，成功实现了数万根受热面管子的“零碰撞”安装，所有膨胀间隙均符合设计要求，为锅炉启动后的安全运行和高效传热奠定了坚实基础。

3.4 锅炉本体管道与大口径厚壁管焊接及热处理智能控制技术

管道焊接是锅炉建设的“生命线”。针对P92等高等级钢的焊接特性，实施了全过程、数字化的焊接质量管理。

3.4.1 技术要点

焊接工艺评定与人员准入：施工前完成严格的焊接工艺评定，对焊工进行专项培训和考试，合格后方可上岗。

全过程参数监控：采用带数据记录功能的电焊机和加热设备。对每道焊口的预热温度、层间温度、焊接电流电压、热输入等参数进行实时监测和记录，确保其始终在工艺卡规定的范围内。

智能远程控制热处理：对于厚壁管焊口，采用计算机控制的远红外加热技术进行焊后热处理。系统能自动执行预设的热处理温度曲线（PQR曲线），精确控制升温、恒温、降温速率和温度，并自动生成完整的温度-时间曲线报告，杜绝了人为因素导致的偏差。

无损检测（NDT）与质量追溯：100%进行射线检测和超声波检测，对关键部位增加相控阵等先进检测手段。建立焊口质量追溯系统，每个焊口从焊工、焊接参数、热处理记录到无损检测报告，全部实现数字化归档和可追溯^[4]。

应用效果：本项目锅炉本体管道焊口一次合格率达到99.5%以上，主蒸汽管道等关键焊口质量优良，未发生任何因焊接质量问题导致的泄漏事件。

4. 应用效果与效益分析

通过上述关键技术的综合研究与应用，该1000MW二次再热塔式锅炉安装项目取得了显著成效：

4.1 质量方面

锅炉整体安装质量优良，受监焊口一次合格率超过

99%，各项技术指标均优于国家标准和设计要求。水压试验一次成功、无渗漏，锅炉吹管等重大节点均一次成功，为机组长期稳定运行奠定了坚实基础。

4.2 安全方面

通过全过程的安全管控与技术创新，整个安装周期未发生任何重大安全事故，实现了人身伤害、设备事故“零”目标，安全管理绩效卓越。

4.3 进度方面

通过模块化施工、深度预组装和先进工法的应用，有效克服了关键路径上的瓶颈，总工期比原计划提前约30天，创造了同类型机组安装速度的新纪录。

4.4 成本方面

通过采用“以塔代履”的核心吊装策略（即以炉中布置的160t塔吊替代900t大型履带吊进行主作业），显著减少了大型机械的台班使用费和进出场费。经核算，仅在大型履带吊的使用成本上就节约了约100万元，经济效益十分显著^[5]。

5 结语

本文系统性地研究和总结了1000MW二次再热塔式锅炉安装过程中的关键技术难题及解决方案。实践证明：

数字化与智能化是方向：将3D扫描、BIM技术、智能焊接与热处理系统等数字化工具深度融合于安装全过程，是实现精准安装、精益管理的必然趋势。

模块化与预制化是手段：最大限度地在地面完成组件拼装，是提高效率、保证质量、降低高空风险的有效途径。

精细化与标准化是保障：对于二次再热这类复杂系统，必须建立覆盖全过程的精细化作业标准和严格的质量控制体系。

随着未来燃煤发电技术向更高参数、更低排放方向发展，锅炉的结构和系统将更为复杂。下一步，应继续深入研究基于数字孪生的锅炉智能建造技术，实现从设计、安装调试运维的全生命周期数字化管理，为我国能源电力事业的绿色低碳转型贡献更大力量。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 电力建设施工技术规范 第2部分：锅炉机组（DL 5190.2-2019）[S]. 北京，2019.
- [2] 王为民，李俊，刘宇. 1000MW超超临界二次再热塔式锅炉关键技术研究[J]. 中国电机工程学报，2018，38(增刊1): 85-92.
- [3] 张建中，陈锋. 三维激光扫描技术在电站钢结构安装测量中的应用[J]. 电力建设，2017，38(5): 98-103.
- [4] 赵志刚，王守革. 超超临界锅炉P92钢大口径厚壁管道焊接及热处理技术[J]. 焊接技术，2020，49(8): 78-82.
- [5] 孙献斌，黄中. 大型塔式锅炉安装技术现状与发展趋势[J]. 热力发电，2019，48(1): 1-7.