

超超临界 1000MW 塔式锅炉大板梁吊装关键技术研究

沈奕男, 刘朝青, 张欲晓, 郭晓坤, 姜有治, 吕建华, 范国兵, 齐继玄

山东电力工程咨询院有限公司, 山东 济南 250013

DOI:10.61369/EPTSM.2025070012

摘 要 : 近年来,我国燃煤火力发电机组行业经历了迅猛的发展,尤其是大容量机组的数量增长显著,新建项目的平均单机容量显著提升。目前,我国存在众多在建及规划中的超超临界 1000MW 发电机组。随着国内该行业快速发展的步伐,机组主体设计结构亦发生了显著变化,表现为设备尺寸的增大、结构复杂性的提升、超大件数量的增多以及平均单件设备重量的上限提高。在这些变化中,锅炉的大板梁作为超长、超重的典型大型设备,在安装过程中尤为关键,其卸车和吊装过程逐渐成为锅炉安装施工中的核心环节。^[1]

关 键 词 : 锅炉; 超超临界; 大板梁

Research on Key Technology of Lifting Large Plate Beam in Supercritical 1000MW Tower Boiler

Shen Yinan, Liu Chaoqing, Zhang Yuxiao, Guo Xiaokun, Jiang Youzhi, Lv Jianhua, Fan Guobing, Qi Jixuan

Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Corp., LTD, Jinan, Shandong 250013

Abstract : In recent years, China's coal-fired power generation sector has experienced rapid development, particularly marked by significant growth in large-capacity units and notable improvements in the average unit capacity of new projects. Currently, numerous ultra-supercritical 1000MW generating units are under construction or planned nationwide. With the accelerated progress of this industry, fundamental design changes have emerged in unit structures, including increased equipment dimensions, enhanced structural complexity, greater quantities of oversized components, and higher upper limits for average unit weight. Among these developments, boiler plate beams—characterized as ultra-long and heavy-duty equipment—have become critical during installation processes. Their unloading and hoisting operations have increasingly become pivotal elements in boiler installation construction.

Keywords : boiler; supercritical; large plate beam

一、大板梁概况

山东能源灵台 2×1000 兆瓦调峰煤电项目锅炉设计为超超临界燃煤发电机组。锅炉是哈尔滨锅炉厂设计制造,锅炉型式为:超超临界参数变压直流炉、单炉膛、一次中间再热、平衡通风、全紧身封闭布置、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构、切圆燃烧、塔式锅炉,锅炉型号为 HG-3178/30.35-YM。

钢结构在前后方向的尺寸为 65.8 米,共划分为 9 排,依次以 G1、G2、G2.1、G3、G4、G4.1、G5、G6、G7 进行标记;在左右方向的尺寸为 52.4m,共划分为 11 列,依次以 L1、L1.1、L2、L2.1、L2.2、L3、L3.1、L3.2、L4、L4.1、L5 进行标记。^[2]

锅炉钢架顶板系统的设计中包含了 8 件大板梁,分别标记为 DBL-1、DBL-2、DBL-3、DBL-4。具体而言,G2 轴线之上配置了 DBL-1 板梁,G3 轴线之上配置了 DBL-2 板梁,G4 轴线之上配置了 DBL-3 板梁,而 G5 轴线之上配置了 DBL-4 板梁。其中,DBL-1 板梁由两件左右对称的梁组成,而 DBL-2、DBL-

3、DBL-4 板梁则构成了上下叠梁结构。锅炉板梁顶标高达到 Hmax=130.16m。见图 1

序号	名称	尺寸(长×宽×高 mm)	单重(kg)	数量	顶标高(mm)	备注
1	DBL-1	15976×500×3500mm	19801	2	129740	正反各一
2	DBL-2	33240×1600×3800mm	112512.9	1	126360	下叠梁
3	DBL-2	33240×1600×3800mm	119396.2	1	130160	上叠梁
4	DBL-3	33240×1500×3800mm	105318.5	1	126360	下叠梁
5	DBL-3	33240×1500×3800mm	111971.4	1	130160	上叠梁
6	DBL-4	31948×950×2300mm	47699.2	1	126460	下叠梁
7	DBL-4	31948×950×3700mm	63113.6	1	130160	上叠梁

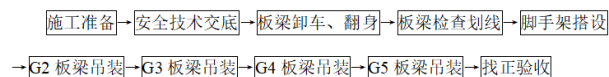
图 1

二、吊装机械

炉膛内布置一台 ST3330-160t 型塔式起重机, 起重臂长为 74.5m (有效工作半径 70m), 顶升后最终为 2 节基础节 + 6 节加强节 + 18 节标准节总高度为 163.3m, 在锅炉炉左 L2-L3 之间距 L2 列 10m, G3-G4 之间距 G4 排 5.75m; 炉右固定端布置一台 ZSC70240 塔式起重机, 在 L5 右侧距 L5 列 6.5m, G4-G5 之间距 G4 排 5.5m, 最大标准节安装高度为 162m, 最大工作幅度为 70m, 最大起重量为 80t, 对应最大工作幅度 25m。^[3]

所有板梁使用 160t 塔吊单独卸车, 板梁上叠梁卸车后由 160t 塔吊进行翻身, 板梁翻身时由 160t 塔吊负责吊装起吊耳, 翻身时利用板梁受力点与下翼板支撑点间的力矩将板梁扳起竖立, 由 80t 塔吊吊装翻身吊耳进行辅助, 防止板梁突然反向倾倒、窜动, 在翻身时要在板梁底部垫好道木进行缓冲。^[4]

三、大板梁吊装工艺技术

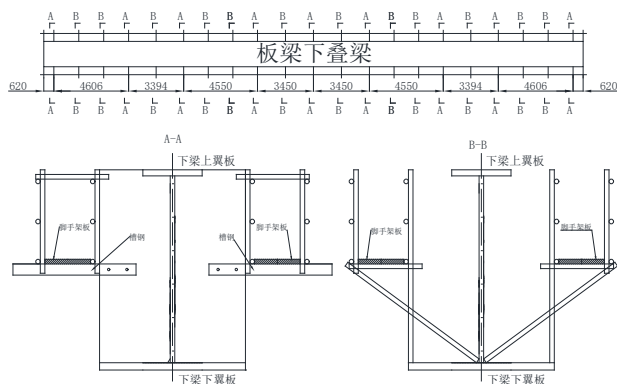


(一) 板梁翻身

板梁上叠梁翻身完成之后使用脚手架钢管、槽钢加固, 防止板梁倾倒, 加固完成之后需要在板梁上搭设脚手架, 使用脚手架管和扣件使脚手架生根在上翼板上, 然后做好吊装就位准备。^[5]

(二) 脚手架搭设

板梁下梁在起吊前, 搭设供安装上梁时使用的脚手架。下梁脚手架采用专用扣件固定在板梁筋板上, 在脚手架管上部铺设架板, 并铺设安全网, 脚手架总重为 2.7t。上梁起吊前在大板梁上翼板搭设安全围栏。^[6]



脚手架横杆抗弯强度校核:

单侧脚手架重 1350kg, 两名施工人员重 150kg, 工具重 10kg, 高强螺栓重 100kg, 总重 1610kg, 脚手架横杆共 21 根, 规格为 $\Phi 48.3 \times 3.6$, 抗弯截面系数 $W_x = 5260 \text{ mm}^3$ 。

脚手架横杆所受弯矩 $M_{\max} = 0.5 \times (1610 \div 21 \times 9.8 \div 500) \times 500^2 = 187833 \text{ Nmm}$

最大弯曲应力 $\sigma = M_{\max} / W_x = 35.71 \text{ MPa} \leq [\sigma] = 113 \text{ MPa}$ 。^[7]

(三) DBL-4 板梁吊装

DBL-4 下叠梁重 47.7t, 加脚手架重量 2.7t, 共 50.4t, 长度 31.948m, 由 160t 塔吊单车卸车吊装就位, 起吊、就位半径 $R \leq 43 \text{ m}$, $Q_{\text{额}} = 64.07 \text{ t}$, $\eta = (50.4 + 5) \div 64.07 \times 100\% = 86.47\%$, 其中 5t 为塔吊超过自由高度钢丝绳及起吊索具重量, 选用 35t 弓形卡环, $\Phi 68 \times 30 \text{ m}$ 钢丝绳一对 4 股起吊, 钢丝绳型号为 $6 \times 37 \text{ S} + \text{FC}$, 公称抗拉强度为 1770MPa, 根据《粗直径钢丝绳》(GB/T20067) 查的钢丝绳破断拉力为 2700kN, 钢丝绳与水平面夹角为 69° , 钢丝绳安全系数 $n = 2700 \div (50.4 \times 9.8 \div 4 \div \sin 69^\circ) = 20.41$, 满足要求。

DBL-4 上叠梁重 63.11t, 加脚手架重量 1t, 共 64.11t, 长度 31.948m, 在炉膛零米由 160t 塔吊单车卸车吊装就位, 起吊、就位半径 $R \leq 20 \text{ m}$, $Q_{\text{额}} = 160 \text{ t}$, $\eta = (64.11 + 5) \div 160 \times 100\% = 43.19\%$, 其中 5t 为塔吊超过自由高度钢丝绳及起吊索具重量。选用 35t 弓形卡环, $\Phi 68 \times 30 \text{ m}$ 钢丝绳一对 4 股起吊, 钢丝绳与水平面夹角为 69° , 钢丝绳安全系数 $n = 2700 \div (64.11 \times 9.8 \div 4 \div \sin 69^\circ) = 16.05$, 满足要求。

(四) DBL-3 板梁吊装

DBL-3 下叠梁重 105.32t, 加脚手架重量 2.7t, 共 108.02t, 长度 33.24m, 在炉膛零米由 160t 塔吊单车卸车吊装就位, 起吊、就位半径 $R \leq 20 \text{ m}$, $Q_{\text{额}} = 160 \text{ t}$, $\eta = (108.02 + 5) \div 160 \times 100\% = 70.64\%$, 其中 5t 为塔吊超过自由高度钢丝绳及起吊索具重量, 选用 55t 弓形卡环, $\Phi 68 \times 30 \text{ m}$ 钢丝绳一对 4 股起吊, 钢丝绳型号为 $6 \times 37 \text{ S} + \text{FC}$, 公称抗拉强度为 1770MPa, 根据《粗直径钢丝绳》(GB/T20067) 查的钢丝绳破断拉力为 2700kN, 钢丝绳与水平面夹角为 69° , 钢丝绳安全系数 $n = 2700 \div (108.02 \times 9.8 \div 4 \div \sin 69^\circ) = 9.52$, 满足要求。

DBL-3 上叠梁重 111.97t, 加脚手架重量 1t, 共 112.97t, 长度 33.24m, 在炉膛零米由 160t 塔吊单车卸车吊装就位, 起吊、就位半径 $R \leq 20 \text{ m}$, $Q_{\text{额}} = 160 \text{ t}$, $\eta = (112.97 + 5) \div 160 \times 100\% = 73.73\%$, 其中 5t 为塔吊超过自由高度钢丝绳及起吊索具重量。选用 55t 弓形卡环, $\Phi 68 \times 30 \text{ m}$ 钢丝绳一对 4 股起吊, 钢丝绳与水平面夹角为 69° , 钢丝绳安全系数 $n = 2700 \div (112.97 \times 9.8 \div 4 \div \sin 69^\circ) = 9.1$, 满足要求。

(五) DBL-2 板梁吊装

DBL-2 下叠梁重 112.51t, 加脚手架重量 2.7t, 共 115.21t, 长度 33.24m, 在炉膛零米由 160t 塔吊单车卸车吊装就位, 起吊、就位半径 $R \leq 20 \text{ m}$, $Q_{\text{额}} = 160 \text{ t}$, $\eta = (115.21 + 5) \div 160 \times 100\% = 75.13\%$, 其中 5t 为塔吊超过自由高度钢丝绳及起吊索具重量, 选用 55t 弓形卡环, $\Phi 68 \times 30 \text{ m}$ 钢丝绳一对 4 股起吊, 钢丝绳型号为 $6 \times 37 \text{ S} + \text{FC}$, 公称抗拉强度为 1770MPa, 根据《粗直径钢丝绳》(GB/T20067) 查的钢丝绳破断拉力为 2700kN, 钢丝绳与水平面夹角为 69° , 钢丝绳安全系数 $n = 2700 \div (115.21 \times 9.8 \div 4 \div \sin 69^\circ) = 8.93$, 满足要求。

DBL-2 上叠梁重 119.4t, 加脚手架重量 1t, 共 120.4t, 长度 33.24m, 在炉膛零米由 160t 塔吊单车卸车吊装就位, 板梁起吊超过 107.85m 后, 塔吊向炉左旋转, L1 至 L2 之间已缓装,

板梁从 L1 至 L4 之间起吊超过 DBL-2 下叠梁,起吊、就位半径 $R \leq 20\text{m}$, $Q_{\text{额}} = 160\text{t}$, $\eta = (120.4 + 5) \div 160 \times 100\% = 78.375\%$, 其中 5t 为塔吊超过自由高度钢丝绳及起吊索具重量。选用 55t 弓形卡环, $\Phi 68 \times 30\text{m}$ 钢丝绳一对 4 股起吊, 钢丝绳与水平面夹角为 69° , 钢丝绳安全系数 $n = 2700 \div (120.4 \times 9.8 \div 4 \div \sin 69^\circ) = 8.54$, 满足要求。

(六) DBL-1 板梁吊装

DBL-1 反板梁重 19.8t, 长度 15.976m, 由 160t 塔吊单车卸车吊装就位, 起吊、就位半径 $R \leq 55\text{m}$, $Q_{\text{额}} = 45.92\text{t}$, $\eta = (19.8 + 5) \div 45.92 \times 100\% = 54\%$, 其中 5t 为塔吊超过自由高度钢丝绳及起吊索具重量, 选用 35t 弓形卡环, $\Phi 68 \times 30\text{m}$ 钢丝绳一对 4 股起吊, 钢丝绳型号为 $6 \times 37\text{S} + \text{FC}$, 公称抗拉强度为 1770MPa, 根据《粗直径钢丝绳》(GB/T20067) 查的钢丝绳破断拉力为 2700kN, 钢丝绳与水平面夹角为 70° , 钢丝绳安全系数 $n = 2700 \div (19.8 \times 9.8 \div 4 \div \sin 70^\circ) = 52.3$, 满足要求。

DBL-1 正板梁重 19.8t, 长度 15.976m, 由 80t 塔吊单车卸车吊装就位, 起吊、就位半径 $R \leq 40\text{m}$, $Q_{\text{额}} = 48\text{t}$, $\eta = (19.8 + 2) \div 48 \times 100\% = 45.42\%$, 其中 2t 为塔吊超过自由高度钢丝绳及起吊索具重量, 选用 35t 弓形卡环, $\Phi 68 \times 30\text{m}$ 钢丝绳一对 4 股起吊, 钢丝绳型号为 $6 \times 37\text{S} + \text{FC}$, 公称抗拉强度为 1770MPa, 根据《粗直径钢丝绳》(GB/T20067) 查的钢丝绳破断拉力为 2700kN, 钢丝绳与水平面夹角为 70° , 钢丝绳安全系数 $n = 2700 \div (19.8 \times 9.8 \div 4 \div \sin 70^\circ) = 52.3$, 满足要求。^[8]

(七) 板梁安装

1. 板梁吊装至柱顶时根据支撑柱顶纵横中心线与板梁底部纵横中心线位置对板梁进行定位, 定位过程中如出现偏差使用千

斤顶对其进行调整 (误差值 $\leq 3\text{mm}$), 接着复测板梁标高及板梁水平度, 使用板梁固定螺栓及垫枕进行调整, 调整完毕并复测合格后使用板梁固定螺栓将板梁与柱顶进行固定。

2. 板梁上叠梁吊装至下叠梁上方后先临时使用过冲进行就位 (临时就位期间吊车不能降低负荷), 接着使用线坠对上下叠梁中心线位置进行复测并调整, 合格后将高强螺栓由板梁炉膛中心线位置向两侧同时穿装并紧固, 同时用 80t 塔吊安装板梁端部支撑, 高强螺栓全部安装结束后吊车卸载负荷。

3. 板梁间构件安装完毕后开始板梁层找正工作, 首先复测板梁自身水平度及标高, 使用板梁固定螺栓将数据调整至图纸设计要求 (板梁水平度误差值 $\leq 5\text{mm}$, 板梁标高误差值不大于 $\pm 5\text{mm}$), 接着复测板梁与板梁之间间距对角线尺寸, 使用千斤顶进行调整 (板梁间距误差值 $\pm 5\text{mm}$, 板梁对角线误差值 $\leq 10\text{mm}$)。

4. 板梁高强螺栓安装要求与主钢架安装要求一致。^[9]

四、结束语

在山东能源灵台 2×1000 兆瓦调峰煤电项目中, 超超临界锅炉大板梁的吊装作业采用了 160 吨级单机吊装技术。本次吊装作业在塔机站位选择、设备选型、运输方式、卸车存放以及吊装顺序等方面, 均充分考虑了现场实际情况。鉴于板梁大件吊装属于危险性较高的分部分项工程, 通过避免使用双机抬吊, 成功将危险性降至或低于一定规模的危险性较高分部分项工程标准。此举不仅节约了大量管理及施工成本, 而且提高了作业效率。^[10]

参考文献

- [1] 卞志浩, 周斐斐. 百万千瓦机组锅炉大板梁吊装技术分析 [J]. 中国电力企业管理, 2021, (15): 87-89.
- [2] 张志新, 李成伟, 葛高峰, 等. 大容量机组锅炉大板梁吊装技术浅析 [J]. 中国电力企业管理, 2020, (36): 78-79.
- [3] 王杰. 发电厂 1000MW 空冷超超临界燃煤机组锅炉大板梁吊装技术 [J]. 安装, 2021, (12): 51-53.
- [4] 刘扬帆, 顾刘勇, 张鹏. 炉膛大板梁卸车及吊装方法探讨 [J]. 中国电力企业管理, 2021, (33): 90-91.
- [5] 谢娜. 塔式锅炉叠合式大板梁制作要点 [J]. 发电设备, 2021, 35(05): 339-343. DOI: 10.19806/j.cnki.fdsb.2021.05.009.
- [6] 赵海鹏. 1000MW 超超临界塔式锅炉板梁吊装工艺介绍 [J]. 内燃机与配件, 2016, (11): 15-19. DOI: 10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2016.11.007.
- [7] 张德峰. 1000MW 机组塔式锅炉大板梁安装施工探讨 [J]. 信息系统工程, 2011, (08): 83-84.
- [8] 林大亮. 长滩电厂新建工程 1 号机组锅炉大板梁吊装技术研究 [J]. 中国电力企业管理, 2022, (06): 90-91.
- [9] 程鹏权. 锅炉大板梁吊装研究 [J]. 中国高科技, 2022, (06): 37-38. DOI: 10.13535/j.cnki.10-1507/n.2022.06.14.
- [10] 李浩. 超超临界锅炉大板梁无损翻身结合高空滑移安装施工工法 [J]. 企业管理, 2023, (S2): 210-211.