

建筑工程钢结构吊装施工技术要点及安全保障措施研究

赵明耀

(山东电力建设第三工程有限公司, 山东 青岛 266061)

摘要 本文以江西上饶电厂 2×1000 MW 超超临界机组为研究对象, 结合锅炉钢架、汽轮发电机厂房钢结构吊装实践, 分析锅炉钢架等钢结构吊装要点与安全措施。阐述了项目钢结构工程概况及吊装难点, 从吊装前准备、设备选型计算、工艺控制、精度校准四个方面梳理技术要点, 推导起重机械选型、吊点受力等关键公式并验证合理性, 并从组织、技术、设备、现场应急四个层面构建安全保障体系, 以期为实现“零事故、高精度”施工提供实践参考。

关键词 钢结构吊装; 三级安全管理; 超超临界机组

中图分类号: TU74

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.32.035

0 引言

在“双碳”目标推动下, 我国电力工程向大容量超超临界机组转型, 其锅炉钢架、汽轮厂房钢结构重量大(1000 MW 机组锅炉钢架单柱超 40 t)、高度高(超 110 m)、跨度大特点, 吊装是核心工序, 把控不当易引发事故。当前钢结构吊装研究多集中于常规建筑, 针对此类机组的专项研究有待深化。基于此, 本文以江西上饶电厂 2×1000 MW 超超临界机组项目为案例, 通过“理论计算+实践验证”的方式, 系统研究钢结构吊装技术要点与安全保障措施, 填补大容量电力工程钢结构吊装专项研究的应用空白, 同时为同类项目提供可参考的施工方案。

1 江西上饶发电厂项目钢结构工程概况

1.1 项目概况

江西上饶发电厂 2×1000 MW 超超临界机组项目位于上饶市广信区, 总建筑面积约 4.2 万 m^2 , 钢结构工程主要包括: (1) 锅炉钢架(总重约 10400 t, 共 11 层, 最大单柱重 40 t, 安装高度 110 m); (2) 汽轮发电机厂房钢屋架(跨度 36 m, 单榀重 20 t, 安装高度 41 m); (3) 除尘器钢结构(总重 1100 t, 单件最大重 45 t)。

1.2 吊装核心难点

(1) 构件特性复杂: 锅炉钢架柱尺寸为 $1200 \times 600 \times 60 \times 60$ mm, 刚度大但吊装受力集中, 需精准控制吊点; (2) 施工环境受限: 厂区西侧紧邻既有输电

线路(安全距离仅 15 m), 北侧为混凝土浇筑区, 交叉作业面达 7 处; (3) 气象条件影响: 上饶春季风速 $8 \sim 10$ m/s, 夏季多雷暴, 需规避恶劣天气影响; (4) 精度要求严格: 锅炉钢架垂直度偏差需 $\leq H/1000$ (H 为钢架高度) 且 ≤ 15 mm, 轴线偏差 ≤ 3 mm, 远超常规规范^[1]。

2 钢结构吊装施工技术要点

2.1 吊装前准备工作

1. 技术准备: 基于施工图的方案优化。以锅炉钢架施工图为依据, 完成三项核心工作: (1) 会审施工图, 明确构件连接节点位置、吊装预留孔尺寸(如钢架柱顶预留螺栓孔直径 $\Phi 24$ mm, 偏差 ≤ 1 mm); (2) 编制专项吊装方案, 标注吊点坐标(如钢架柱吊点位于柱顶下 1.5 m, 避开截面削弱区); (3) BIM 吊装模拟, 预判碰撞风险(如提前调整部分钢屋架的安装顺序, 确保后续高压加热器的吊装, 规避空间冲突)。

2. 构件与设备准备。(1) 构件检验: 建立进场验收台账, 重点检查尺寸偏差、焊缝质量(UT 探伤合格率 100%)、表面锈蚀情况, 关键构件参数如表 1 所示。(2) 设备初选: 根据构件最大重量与吊装半径, 初选 140 t 塔吊为主吊(锅炉钢架)、 260 t 履带吊为辅助。

3. 设备选型验证。结合吊装半径 $R=15$ m, 查 140 t 塔吊性能表(见表 2): $R=15$ m 时额定起重量 138 t、起升高度 140 m, 满足要求, 确定为主吊设备^[2]。

表1 江西上饶项目钢结构构件进场验收数据表

构件名称	规格(长×宽×高/mm)	设计重量(t)	实际重量(t)	尺寸偏差(mm)	焊缝探伤结果	验收结论
锅炉钢架柱 K2	1 200×600×60×60	39.8	40.2	+2/-1	合格	合格
钢屋架 W1	36 000×400×2 800	19.5	20.3	+3/-2	合格	合格
除尘器钢柱 C1	8 000×800×600	45.0	45.1	+1/-1	合格	合格

表2 140履带吊(主臂48m)性能参数表

吊装半径 R(m)	额定起重量 Q(t)	起升高度 H(m)	满足项目要求情况
10	150	98	满足
15	140	140	满足(选用)
20	90	90	不满足(Q=90<98.4)

2.2 合理吊机布置: 兼顾空间、效率与安全

1. 基于场地条件规划布置区域。(1) 避开交叉作业区: 如厂区交叉作业多, 吊机布置需远离设备安装区、人员通道, 预留 ≥ 5 m 安全距离。(2) 满足地基承载要求: 履带吊作业区需平整压实, 或铺设钢板/路基箱(增大受力面积), 验算地基承载力(如吊机自重+构件重量 \leq 地基允许承载力)。(3) 适配构件运输路径: 布置位置需靠近构件堆放区, 缩短运输距离(减少二次搬运), 同时确保吊机回转范围内无障碍物(如高压线需保持 ≥ 6 m 安全距离)。

2. 优化作业半径与覆盖范围。(1) 单台吊机: 确保吊装半径覆盖所有作业点位, 且起重量在覆盖范围内均满足要求(参考吊机性能表), 避免“超载半径作业”。(2) 多台吊机协同: 如双机抬吊时, 需对称布置吊机, 确保两台吊机荷载分配均匀(偏差 $\leq 10\%$), 且回转方向互不干扰。

3. 动态调整与复核。施工前通过BIM建模模拟吊机布置, 验证空间可行性; 施工中根据风速(如项目风速频繁变化, 当风速 > 10.8 m/s 时需停止作业)、构件安装进度调整位置, 同时定期检查吊机基础沉降(≤ 10 mm), 避免因基础变形导致吊机倾斜。

2.3 吊装工艺技术控制

1. 锅炉钢架吊装: 对称分段吊装法。(1) 吊装顺序: 从锅炉 A 列向 B 列对称吊装, 按“下层柱→中层梁→上层柱→顶层梁”顺序, 避免单侧受力偏移;(2) 吊点与索具控制: 双吊点吊装, 主吊索与构件夹角 $\theta \geq 60^\circ$ (公式: $F_{\text{水平}} = G \times \tan \theta$, θ 越小水平力越大, 易致柱身弯曲); 选用 $6 \times 37+FC$ 钢丝绳(破断拉力 2 800 kN), 计算工作拉力 $S_{\text{工}} = 40 \times 10^3 \times 9.8 / (2 \times \sin 60^\circ) = 226.32$ kN, 安全系数 $K = 2 800 / 226.32 \approx 12.3$ (≥ 6 , 满足要求);(3) 临时固定: 每根钢架柱设

4 根直径 24 mm 缆风绳, 与地面夹角 $\leq 45^\circ$; 拉力计算 $T = G / (4 \times \sin 45^\circ) = 40 / (4 \times 0.707) \approx 14.1$ t, 选用额定拉力 20 t 缆风绳^[3]。

2. 钢屋架吊装。汽轮厂房钢屋架跨度 36 m, 采用 1 台 260 t 履带吊吊装, 2 处吊点布置于上弦节点; 节点法计算吊点反力: 屋架自重 $G = 20$ t, 验证 260 t 履带吊在 30 m 半径起重量达到 32 t, 满足吊装要求。

2.4 吊装精度控制与数据验证

1. 精度控制指标。依据《钢结构工程施工质量验收标准》(GB 50205—2020), 控制指标: 钢架垂直度偏差 $\leq H / 1 000$ 且 ≤ 15 mm; 轴线偏差 ≤ 3 mm; 标高偏差 $\leq \pm 3$ mm^[4]。

2. 数据监测与分析。采用水准仪(DSZ2型)监测标高, 全站仪(TS60型)监测轴线与垂直度, 记录 10 组吊装数据, 并绘制垂直度偏差趋势图(见图 1)。

从图 1 可见, 所有监测点垂直度偏差均在 8~10 mm 之间, 远低于规范限值, 精度控制效果显著。

3 钢结构吊装安全保障措施

3.1 组织保障: 构建三级安全管理体系

成立项目安全管理小组, 明确职责分工(见表 3), 实行“项目经理→安全总监→吊装班组”三级管控, 每日召开班前安全会, 每周开展吊装专项安全检查。

3.2 技术保障: 安全验算与交底

1. 起重机抗倾覆稳定性计算。公式依据: 抗倾覆系数 $K_{\text{倾}} = M_{\text{抗}} / M_{\text{倾}}$ ($M_{\text{抗}}$ 为稳定力矩, $M_{\text{倾}}$ 为倾覆力矩)。以 260 t 履带吊吊装屋架 W1 为例:

$$M_{\text{抗}} = (\text{起重机自重} + \text{配重}) \times b = (260 + 100) \times 3 = 1 080 \text{ t} \cdot \text{m} \quad (b \text{ 为稳定力臂}, 3 \text{ m})$$

$$M_{\text{倾}} = G \times a = 20 \times 10 = 200 \text{ t} \cdot \text{m} \quad (a \text{ 为倾覆力臂}, 10 \text{ m})$$

$$K_{\text{倾}} = 1 080 / 200 = 5.4 \geq 1.15, \text{ 满足稳定要求}^{[5]}$$

2. 安全技术交底。编制《吊装安全技术交底手册》, 明确风险点(如支腿地基沉降、缆风绳断裂)及应对措施, 交底覆盖率 100%, 留存签字记录。

3.3 设备与现场安全保障

1. 设备日常检查。建立起重机械与索具检查数据表(见表 4), 重点指标: 制动器磨损 ≤ 3 mm; 主吊

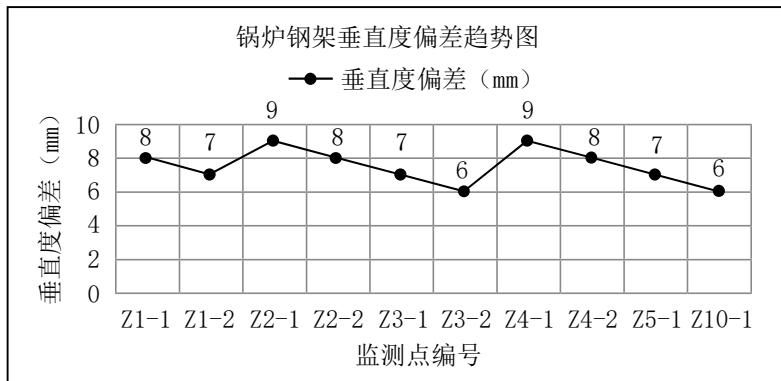


图 1 锅炉钢架垂直度偏差趋势图

(注: 规范允许最大值 15 mm。)

钢丝绳断丝数 $\leqslant 6$ 根 / 捻距; 支腿垫板(200 mm 厚钢板)
承载力 $\geq 300 \text{ t}/\text{m}^2$, 无裂纹、变形。

表 3 安全管理体系职责分工表

岗位	安全职责
项目经理	审批安全方案, 协调交叉作业安全事宜
安全总监	监督安全措施落实, 组织安全培训
吊装班组长	执行吊装作业, 检查设备与索具状态
专职安全员	现场警戒, 监测气象条件, 制止违章操作

表 4 吊装设备日常检查表

检查项目	检查标准	检查结果 (2024.03.10)	处理措施
履带吊制动器	磨损 $\leqslant 3 \text{ mm}$	2 mm	正常
主吊钢丝绳	断丝 $\leqslant 6$ 根 / 捻距	3 根	正常
支腿垫板	无纹、变形	无	正常

2. 现场安全管控。(1) 警戒区设置: 吊装半径 15 m 内设硬质围挡, 悬挂“吊装作业, 禁止入内”标志;(2) 气象监测: 配备风速仪, 风速 $\geq 10.8 \text{ m}/\text{s}$ (6 级风) 时停止吊装, 2024 年 3 月因大风暂停作业 2 次^[6];(3) 交叉作业防护: 与混凝土作业区设 10 m 高安全网, 防坠物伤人。

3.4 应急保障

制定《吊装事故应急预案》, 储备应急物资(千斤顶 2 台、备用钢丝绳 4 根、急救箱 2 套); 2024 年 12 月组织起重机倾覆应急演练, 评估得分 92 分, 应急响应时间 $\leqslant 5 \text{ min}$ 。

4 案例应用效果

江西上饶发电厂 2×1 000 MW 超超临界机组钢结构吊装工程于 2024 年 7-12 月实施, 通过上述技术要

点与安全措施, 成效如下: (1) 质量效果: 钢结构吊装合格率 100%, 垂直度、轴线偏差均控制在规范允许范围内, 满足后续热力设备安装要求; (2) 安全效果: 施工期间未发生设备倾覆、人员伤亡事故, 安全检查整改率 100%; (3) 进度效果: 吊装工期 123 天, 较计划提前 10 天, 为机组并网发电奠定基础。

5 结论

本文以江西上饶发电厂项目为案例, 证实钢结构吊装需通过“精准计算→工艺控制→全流程安全管控”实现质量与安全目标。核心结论: 超超临界机组钢结构吊装需重点控制起重机械选型、吊点受力与精度校准, 通过公式计算与数据验证确保技术可行性; 三级安全体系、设备日常检查、气象监测等可有效规避吊装风险。未来可进一步探索 BIM+GIS 技术在吊装模拟中的应用, 结合无人机监测提升精度与安全管控效率, 为 1 200 MW 等更大容量超超临界机组钢结构吊装提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 程胜伟, 王晓栋. 工业厂房钢结构吊装工程施工及安全技术要点研究 [J]. 建筑技术开发, 2023, 50(10):8-10.
- [3] 周真勇, 刘义强. 探究建筑工程中钢结构吊装施工技术要点及安全保障措施 [J]. 海洋工程装备与技术, 2025, 12(02): 107-110.
- [4] 李鹏, 胡频丽. 浮法玻璃窑余热锅炉钢架吊装技术 [J]. 安装, 2025(02):29-31.
- [5] 孟翔龙. 钢结构吊装工程的监理安全控制措施研究 [J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(05):178-180.
- [6] 赵治东. 建筑工程中钢结构吊装施工技术要点及安全保障措施研究 [J]. 智能建筑与工程机械, 2024, 06(12):52-54.