

# 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  $2 \times 1\,000$  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; 三级安全管理体系; 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 ( $1\,000$  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  $2 \times 1\,000$  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  $2 \times 1\,000$  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  $\text{m}^2$ , 钢结构工程主要包括: (1) 锅炉钢架 (总重约  $10\,400$  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  $1\,100$  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  $1\,200 \times 600 \times 60 \times 60$  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  $\leq 15$  mm, 轴线偏差  $\leq 3$  mm, 远超常规规范<sup>[1]</sup>。

## 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  $\leq 1$  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<sup>[2]</sup>。

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 48 m) 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≤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≤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 θ ≥60° (公式：F 水平=G×tan θ，θ 越小水平力越大，易致柱身弯曲)；选用 6×37+FC 钢丝绳 (破断拉力 2 800 kN)，计算工作拉力 S 工=40×10<sup>3</sup>×9.8/(2×sin60°)=226.32 kN，安全系数 K=2 800/226.32≈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≤45°；拉力计算 T=G/(4×sin45°)=40/(4×0.707)≈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≤H/1 000 且≤15 mm；轴线偏差≤3 mm；标高偏差≤±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 倾=M 抗/M 倾≥1.15 (M 抗为稳定力矩，M 倾为倾覆力矩)。以 260 t 履带吊吊装屋架 W1 为例：

M 抗=(起重机自重+配重)×b=(260+100)×3=1 080 t·m (b 为稳定力臂，3 m)。

M 倾=G×a=20×10=200 t·m (a 为倾覆力臂，10 m)。  
K 倾=1 080/200=5.4≥1.15，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

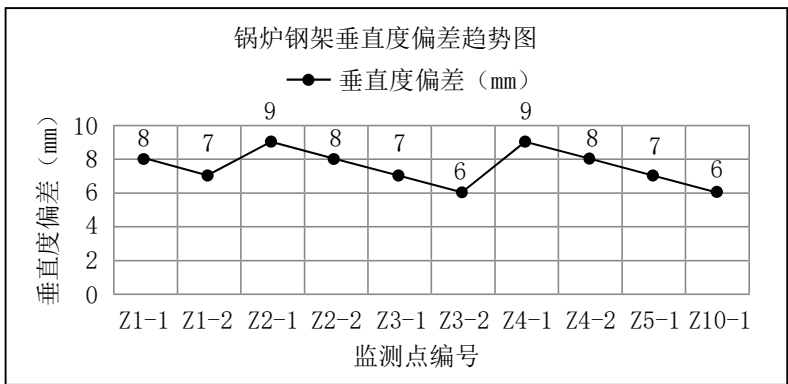


图 1 锅炉钢架垂直度偏差趋势图  
(注：规范允许最大值 15 mm。)

钢丝绳断丝数 $\leq 6$  根/捻距；支腿垫板(200 mm 厚钢板)承载力 $\geq 300\text{ t/m}^2$ ，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 (2024.03.10)	处理 措施
履带吊制动器	磨损 $\leq 3\text{ mm}$	2 mm	正常
主吊钢丝绳	断丝 $\leq 6$ 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 $\geq 10.8\text{ m/s}$  (6 级风)时停止吊装，2024 年 3 月因大风暂停作业 2 次<sup>[6]</sup>；(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 $\leq 5\text{ min}$ 。

## 4 案例应用效果

江西上饶发电厂 2 $\times$ 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 $\rightarrow$ 工艺控制 $\rightarrow$ 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.