

# 大型火电厂锅炉吊装施工的创新方案与安全管控策略

严顺恩 李军

中国能源建设集团浙江火电建设有限公司 浙江 杭州 310020

**【摘要】**：大型火电厂锅炉作为核心动力设备，其吊装施工具有吨位大、精度要求高、作业环境复杂及安全风险突出等特点。传统吊装工艺已难以适配当前高参数、大容量火电机组的建设需求。本文基于多年施工实践经验，结合行业技术发展趋势，从吊装修备工装、工艺优化、智能化融合及协同施工四个维度，提出大型火电厂锅炉吊装施工创新方案；同时构建覆盖吊装全流程的安全管控体系，包括风险分级识别、过程保障、专项管控及智能化监控应急机制。该方案与策略已在多项工程中实践应用，有效提升了吊装施工效率、质量与安全水平，为同类工程提供技术参考与借鉴。

**【关键词】**：大型火电厂；锅炉吊装；创新方案；安全管控；BIM技术；模块化施工

DOI:10.12417/2705-0998.25.23.099

## 1 大型火电厂锅炉吊装施工核心基础

### 1.1 锅炉吊装施工核心特性

大型火电厂锅炉吊装施工核心特性主要体现在三个方面。一是吊装对象特殊性，锅炉本体包含汽包、炉膛、受热面、烟道等关键部件，单部件重量可达数百吨，体积庞大，结构复杂，部分部件精度要求极高，对吊装修备与工装的承载能力、稳定性提出严苛要求。二是施工环境复杂性，吊装作业多在露天场地进行，受风力、降雨、高温等自然环境影响显著；同时施工现场涉及土建、安装、机电等多专业交叉作业，场地狭窄，作业面密集，协同难度大。三是施工周期紧迫性，锅炉吊装作为火电厂建设的关键工序，其施工进度直接影响后续机组安装与调试进度，需在保证质量与安全的前提下，提升施工效率，缩短吊装周期。

### 1.2 传统锅炉吊装工艺与流程解析

传统大型火电厂锅炉吊装工艺以“分片吊装、高空散拼”为核心，其基本流程主要包括施工准备、设备进场与调试、基础验收与处理、核心部件吊装、高空拼装与连接、精度调整与固定、后续工序衔接等环节。在具体施工中，传统工艺多采用多台中小型起重机协同作业，针对汽包等超大部件，常采用“滑移法”或“抬吊法”吊装；受热面、烟道等部件则拆解为小型构件，运输至施工现场后，在高空作业平台进行分片拼装。该工艺的优势在于设备投入门槛较低，适配早期中小容量火电机组锅炉吊装需求，但存在明显局限性：高空作业量大，安全风险高；拼装精度难以控制，易出现部件连接偏差；施工工序繁琐，交叉作业频繁，导致施工效率偏低；受环境因素影响较大，工期稳定性差。

### 1.3 吊装施工核心难点与安全风险核心诱因

大型火电厂锅炉吊装施工核心难点主要包括四个方面。一是超大超重部件吊装难度大，汽包、炉膛水冷壁下集箱等部件重量大、体积大，吊装过程中需精准控制起升、变幅、回转等动作，避免部件倾斜或碰撞；二是高空拼装精度控制难，锅炉

结构密封性、导热性要求极高，受热面管排、烟道法兰等连接部位的拼装精度直接影响锅炉运行性能，高空作业环境下，拼装误差控制难度显著增加；三是多专业协同施工难，吊装施工需与土建基础施工、钢结构安装、机电设备调试等多个专业紧密配合，工序衔接要求高，易出现施工干扰；四是复杂环境适应性差，露天作业中，风力、高温、雨雪等天气因素易影响吊装修备稳定性与施工人员操作精度。安全风险核心诱因可分为人为因素、设备因素、环境因素与管理因素四类，具体如下表所示。

表1 安全风险核心诱因

风险诱因类别	具体表现	主要影响
人为因素	操作人员资质不足、技能不熟练；安全意识薄弱，违规操作；指挥人员信号传递错误；协同作业人员配合不当	部件碰撞、坠落；设备误操作；人员高空坠落、物体打击
设备因素	吊装修备选型不当；设备老化、维护不到位；吊具、索具存在质量缺陷；工装设备强度不足	设备故障、倾覆；吊具断裂导致部件坠落；工装变形损坏
环境因素	风力超标、暴雨、高温、严寒；施工现场照明不足、场地泥泞；交叉作业干扰	设备稳定性下降；人员操作精度降低；引发二次安全事故
管理因素	安全管理制度不完善；风险识别不全面；施工方案编制不合理；现场监管不到位	安全隐患排查不彻底；施工无序；事故应急处置不及时

## 2 大型火电厂锅炉吊装施工创新方案

### 2.1 吊装设备与工装体系创新

针对传统吊装设备适配性不足、工装通用性差等问题，提出吊装设备与工装体系创新方案。在设备选型方面，采用“超大吨位履带吊为主、专用辅助起重机为辅”的吊装设备组合，选用额定起重量 800 吨及以上的超大型履带吊，替代传统多台中小型起重机协同作业模式，提升超大部件吊装的稳定性与效率；同时配备高精度变幅、回转控制系统，实现吊装动作的精准调控。在工装体系创新上，构建“通用化+定制化”的工装设计模式。通用工装采用模块化设计，通过更换不同部件适配多种规格的锅炉构件吊装，降低工装制造成本；针对汽包、炉膛水冷壁等特殊部件，定制专用吊具与夹具，吊具采用高强度合金材料制作，内置应力监测传感器，实时监测吊装过程中的受力情况，避免部件受力不均导致变形；夹具采用防滑、防坠设计，提升部件吊装的稳定性。此外，研发可拆卸式高空作业平台，平台与锅炉钢结构精准对接，减少高空临边作业风险，提升拼装作业效率。

### 2.2 模块化吊装工艺优化与创新

结合锅炉结构特点，将锅炉本体划分为炉膛模块、汽包-受热面模块、烟道模块、脱硝模块等多个独立模块，每个模块的重量与尺寸严格匹配吊装设备的承载能力与施工现场的运输条件；通过 BIM 技术对模块进行拆分与重组设计，规避模块间的连接干扰，确保模块组装精度。在施工现场划定专门的模块化组装区域，搭建高精度组装平台，平台采用可调式支撑结构，确保组装基准面的平整度；将模块所需构件运输至组装区域后，按照设计图纸进行地面预组装，完成构件的连接、焊接、探伤检测等工序，经检验合格后再进行整体吊装。相较于传统工艺，地面组装环境稳定，精度控制难度低，焊接质量更易保障。下表为传统吊装工艺与模块化吊装工艺的关键指标对比。

### 2.3 智能化吊装技术融合创新

构建全尺寸锅炉三维 BIM 模型，整合锅炉构件尺寸、重量、材质、安装位置等信息，实现构件信息的数字化管理；利用 BIM 模型进行吊装方案模拟，模拟不同吊装工况下设备的受力情况、构件的运动轨迹，排查吊装过程中的碰撞风险，优化吊装顺序与吊点设置；在模块组装与吊装对接阶段，通过 BIM 模型与现场施工数据的实时比对，实现拼装精度的动态调控。物联网技术融合应用方面，搭建物联网监测平台，在吊装设备、吊具、锅炉模块上安装温度、湿度、应力、振动等传感器，实时采集设备运行参数、吊具受力状态、模块变形数据；通过无线通信技术将数据传输至监控中心，实现吊装过程的实时监测；当监测数据超出预警阈值时，系统自动发出声光预警，提醒工作人员及时处置。

### 2.4 高空拼装与吊装协同施工方案创新

将施工现场划分为模块组装区、吊装作业区、高空拼装区、辅助作业区，明确各区域的作业范围与安全职责，设置物理隔离设施与安全警示标识，避免不同区域作业人员与设备的相互干扰；在高空拼装区搭建标准化作业平台，配备专用的拼装工具与安全防护设施，提升高空作业的安全性与舒适性。制定详细的施工进度计划，明确各模块的组装完成时间、吊装时间、高空拼装时间，确保各工序衔接有序；采用“平行作业+流水作业”相结合的模式，在地面模块组装的同时，开展已吊装模块的高空拼装作业，缩短施工周期；建立工序交接验收制度，上一道工序完成后，需经质量与安全检验合格，方可移交下一道工序施工。

## 3 锅炉吊装施工全流程安全管控策略

### 3.1 吊装前安全风险分级识别与评估体系

采用“现场勘查+专家论证+历史案例分析”的综合识别方法。组织技术、安全、施工等专业人员对施工现场进行全面勘查，梳理施工环境、设备条件、工序特点等关键信息；邀请行业专家对吊装方案进行论证，识别方案中存在的技术风险与安全隐患；收集国内外同类工程吊装施工安全事故案例，分析事故诱因，借鉴风险识别经验，确保风险识别无遗漏。识别范围涵盖吊装设备、工装工具、施工人员、作业环境、施工方案等多个方面。采用“LEC 法”（危险性评价法）对识别出的风险进行分级，结合风险发生的可能性（L）、暴露于风险环境的频繁程度（E）、风险后果的严重程度（C），计算风险等级（ $D=L \times E \times C$ ），将风险划分为重大风险（ $D \geq 320$ ）、较大风险（ $160 \leq D < 320$ ）、一般风险（ $70 \leq D < 160$ ）、低风险（ $D < 70$ ）四个等级。针对不同等级的风险制定差异化评估方案，重大风险需组织专项评估，邀请第三方机构参与；较大风险由企业安全管理部门牵头评估；一般风险与低风险由项目部自行评估。评估完成后，形成风险评估报告，明确各风险的等级、影响范围、防控措施。

### 3.2 吊装施工过程安全保障技术策略

建立吊装设备全生命周期管理机制，设备进场前需进行严格检验，核查设备合格证、检测报告等资料，对设备的起升系统、变幅系统、回转系统等关键部件进行全面检修与调试；施工过程中，按照设备维护手册定期对设备进行保养，重点检查设备润滑油位、制动系统、液压系统等运行状态，发现异常及时停机检修；设备退场后，进行全面检修与保养，为后续工程使用奠定基础。同时，对吊具、索具等工装设备实行“一人一管、一用一检”制度，每次使用前均需检查外观、受力性能等，不合格的工装设备严禁使用。

### 3.3 关键吊装环节专项安全管控措施

汽包作为锅炉核心部件，重量大、精度要求高，吊装前需

对吊装设备、吊具进行专项检查，确保设备性能稳定；采用双机抬吊或超大型履带吊单点吊装模式，配备专职指挥人员与监测人员，指挥人员采用标准化信号指挥，监测人员实时监测汽包起升过程中的受力与变形情况；吊装过程中，严格控制起升速度与回转速度，避免汽包摆动；汽包就位时，采用精准对位技术，确保汽包安装垂直度与水平度符合设计要求，就位后立即进行临时固定，防止移位。炉膛模块体积大、迎风面积大，受风力影响显著，吊装前需精准预测天气情况，选择风力较小的时段进行吊装；采用专用平衡梁与吊具，确保模块起吊过程中受力均匀，避免模块变形；在模块吊离地面 10-20cm 时，进行试吊，检查设备受力、模块平衡等情况，无异后方可继续起吊；模块就位过程中，安排专人在高空进行引导，确保模块与钢结构精准对接，对接完成后立即进行焊接固定，提升模块稳定性。受热面管排精度直接影响锅炉换热效率，拼装前需清理管排表面的杂物与油污，检查管排尺寸与平整度；采用专用拼装夹具固定管排，确保管排间距均匀；焊接作业前，对焊接人员进行专项培训，明确焊接工艺要求；焊接过程中，实时监测焊接温度与焊接质量，避免出现未焊透、裂纹等缺陷；拼装完成后，对受热面进行水压试验，检验密封性与强度，确保无泄漏。

### 3.4 智能化安全监控与应急管理体系构建

构建智能化安全监控体系，实现吊装施工安全的实时化、精准化管控。搭建智能化安全监控中心，整合 BIM 模型、物联网监测数据、视频监控数据等，实现施工过程的可视化监控；

在吊装设备、关键部件、作业区域部署高清摄像头，实时监控设备运行状态与人员操作行为，对违规操作进行自动识别与预警；利用大数据分析技术对监测数据进行深度分析，预测潜在安全风险，为安全决策提供数据支持。制定专项应急预案，针对吊装设备倾覆、部件坠落、人员高空坠落等常见事故，明确应急组织机构、应急响应流程、应急处置措施；配备充足的应急物资，包括救援绳索、急救药品、灭火器、备用设备等，定期对急救物资进行检查与更新，确保应急物资完好可用；定期组织应急演练，模拟不同类型事故场景，提升施工人员的应急响应能力与协同处置能力；建立应急联动机制，与当地消防、医疗、应急管理等部门建立沟通渠道，确保事故发生时能够快速获得外部救援支持。

## 4 结论

大型火电厂锅炉吊装施工是一项技术密集、风险高、难度大的系统工程，传统吊装工艺与安全管控模式已难以适配现代化大型火电机组建设需求。本文提出的吊装施工创新方案与全流程安全管控策略，为解决传统施工难题提供了有效路径。

吊装施工创新方案通过设备与工装体系创新、模块化吊装工艺优化、智能化技术融合、协同施工方案创新，大幅提升了吊装施工效率与质量，降低了高空作业量与安全风险；全流程安全管控策略通过风险分级识别与评估、过程安全保障、关键环节专项管控、智能化监控与应急管理，构建了全方位、多层次的安全管控体系，实现了吊装施工安全的精准化管控。

## 参考文献：

- [1] 魏成孝.H 级燃机余热锅炉模块吊装技术研究[J].电力设备管理,2025,(21):52-54
- [2] 刘全社.大型循环流化床锅炉钢架安装施工技术[J].安装,2024,(11):24-26.
- [3] 高义龙,张彪.锅炉汽包滑轮组吊装施工技术的应用[J].安装,2024,(05):37-40.
- [4] 任旭鹏,王德千,李悦.重催装置余热锅炉省煤器模块更换施工工法[J].石油工程建设,2021,47(04):24-28.
- [5] 仇健康,任长霞,李靖.火电施工中大型塔机的配置方案及使用管理[J].建筑机械化,2017,38(01):38-41.