

临水超高钢结构厂房施工阶段稳定性控制方法研究

李宗权 黄凯华 杨钦 王健 代川

中建七局新能(上海)建设有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i5.4771

[摘要] 临水环境下的超高钢框架厂房在施工阶段呈现出明显的暂态不稳定特征,其结构体系在阶段性荷载、环境扰动及约束条件变化的共同作用下,极易出现构件失稳、节点应力超限和整体刚度退化等问题。为提升此类厂房施工阶段的结构安全性与控制效率,建立了基于分阶段荷载分解与约束重构的稳定性控制体系。通过引入动态监测反馈机制与数值修正模型,提出结构稳定性实时评价与应力调控路径。研究参考了近年来钢结构厂房施工控制与再生利用领域的多项成果,结合典型工程数据,对方方法的适用性进行了验证。结果表明,该控制体系能够有效提升超高钢框架厂房在施工阶段的整体稳定性水平,实现荷载响应与约束条件的动态匹配,为复杂施工条件下的结构安全控制提供了可推广的技术路线。

[关键词] 临水环境; 超高钢框架; 施工阶段; 结构稳定性; 控制方法

中图分类号: TV52 文献标识码: A

Research on the Stability Control Methods of Ultra-High Steel Structure Factory Buildings during the Construction Phase near Water Bodies

Zongquan Li Kaihua Huang Qin Yang Jian Wang Chuan Dai

China Construction Seventh Engineering Division New Energy (Shanghai) Construction Co., Ltd

[Abstract] Ultra-high steel frame factories in waterside environments exhibit distinct transient instability characteristics during the construction phase. Under the combined effects of phased loads, environmental disturbances, and changes in constraint conditions, they are prone to component instability, excessive nodal stress, and overall stiffness degradation. To enhance the structural safety and control efficiency of such factories during the construction phase, a stability control system based on staged load decomposition and constraint reconstruction was established. By introducing a dynamic monitoring feedback mechanism and numerical correction model, a real-time evaluation of structural stability and stress regulation path were proposed. The research referred to multiple achievements in the field of construction control and recycling of steel structure factories in recent years, and verified the applicability of the method with typical engineering data. The results show that this control system can effectively improve the overall stability level of ultra-high steel frame factories during the construction phase, achieve dynamic matching of load response and constraint conditions, and provide a replicable technical route for structural safety control under complex construction conditions.

[Key words] Waterfront environment; Ultra-high steel frame; Construction stage; Structural stability; Control methods

引言

近年来,大跨度与超高钢结构厂房的建设在工业生产、装备制造及港口物流等领域呈显著增长趋势。此类建筑往往位于靠近水岸的工业区,受施工环境复杂性、基础受力条件变化与气象扰动叠加影响,其结构在施工阶段的稳定性问题逐渐凸显。临水环境下,地基受水位波动影响明显,临时支撑体系易受软基变

形、侧向渗流压力及风荷载的耦合作用而产生附加位移,导致上部钢框架构件的受力状态与设计工况偏离。

排架结构厂房在施工过程中由于支撑条件变化,构件内力的再分配易造成瞬态失稳,施工安全需依赖过程控制而非静态设计^[1]。在多层钢框架厂房施工阶段,温度效应可导致构件轴力及节点应力波动幅度超过10%,这一现象在临水条件下表现更为

显著^[2]。结合既有研究成果可见,施工阶段的稳定控制应基于阶段性受力重构与动态反馈修正,才能保证结构体系在暂态条件下维持整体刚度与变形协调。

临水超高钢框架厂房具有施工周期长、吊装节奏密集、结构自重大等特征,常规的静态验算模式难以满足控制需求。为此,本研究建立针对临水环境特征的施工阶段稳定性控制方法,探讨结构分阶段受力规律与约束条件动态调整机制,构建适应现场工况变化的控制逻辑与验证体系。

1 施工阶段稳定性问题分析

临水超高厂房的结构稳定性问题来源于地基软弱性、施工顺序变化及环境荷载耦合效应。厂房基础多采用桩基与承台联合体系,受潮汐与地下水位波动影响,承台下部土体强度存在时变性,导致柱脚约束刚度随时间衰减。局部基础沉降使框架支点位移不均,引起上部结构次应力分布异常。

当楼盖跨度大于24米时,受力传递路径呈非线性特征,局部刚度变化会显著放大杆件弯矩反应^[3]。该结论同样适用于厂房柱梁节点连接区域,施工阶段若构件安装不均或约束未形成闭合体系,稳定裕度将显著下降。

在高空吊装阶段,临时支撑体系受力复杂。临时构件间的连接顺序对整体刚度形成具有决定性影响^[4]。当吊装节奏未与结构闭合节点同步形成稳定环时,钢柱受单侧约束作用易发生局部侧移。对于临水厂房,风场效应及水汽对钢材温度分布的影响,使结构在昼夜温差下出现额外变形,进一步削弱稳定性。

总体特征表明,施工阶段的失稳并非单一构件的屈曲问题,而是由多因素引起的体系性响应偏移。稳定性控制的核心在于建立可实时调整的受力平衡机制,使结构在施工暂态下仍具有自协调能力。

2 施工阶段稳定性控制方法

2.1 分阶段荷载分解与约束重构

施工阶段的结构受力状态与设计阶段显著不同,需在各阶段重新定义支撑体系、构件承载功能与荷载传递路径。以临水超高厂房为例,在吊装初期可将钢柱与桁架梁体系分为独立受力单元,通过引入临时支撑形成初级稳定框架。随着吊装推进,应逐步将临时构件转化为约束节点,使结构体系在每一阶段均形成最小稳定闭合环。

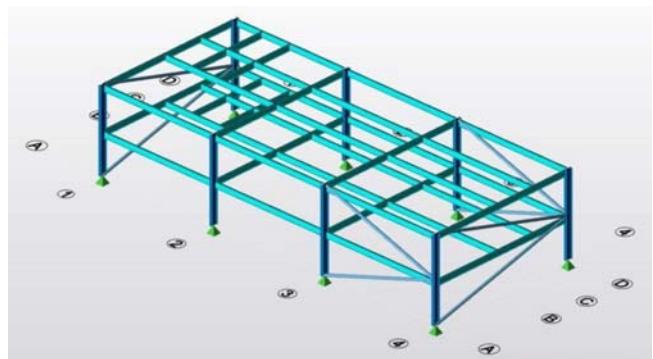


图1 临水超高厂房分阶段吊装与临时支撑体系示意图

当施工节点阶段划分与结构受力路径不匹配时,温度场扰动易引发附加扭转^[2]。基于此规律,本研究采用分阶段荷载分解法,将恒载、自重、风荷载、温度应力及设备安装附加荷按时间序列进行分层叠加。通过有限元分析对每阶段结构进行独立验算,识别稳定裕度最小阶段,作为重点监控区段,实现结构分阶段稳定性的主动控制。

2.2 动态监测与反馈修正机制

为实现实时稳定控制,构建了以监测反馈为核心的动态调控机制。将测量数据与模型计算结果实时比对,通过偏差修正算法更新结构刚度矩阵与边界条件,实现“监测—分析—修正—验证”的闭环过程^[5]。关键监测点包括柱顶水平位移、节点竖向沉降及桁架跨中挠度,监测频率依据吊装节奏动态调整。装配式构件在施工过程中若能保持节点几何约束一致性,其整体稳定性可显著提升^[6]。

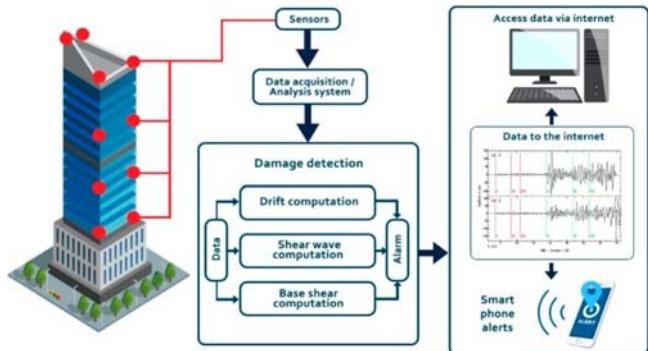


图2 动态监测与反馈闭环控制原理图

2.3 局部构件稳定性强化措施

为防止阶段性屈曲或局部变形失控,设计了多级构件稳定强化措施。针对柱脚约束松弛问题,增设临时限位装置以稳定基础反力传递路径。在梁柱节点处设置可拆卸斜撑,待整体框架形成闭合后方可拆除。对高空构件采用分段吊装与同步临时连接,确保局部刚度在系统形成前保持稳定。该策略实现了稳定性控制的阶段衔接与构件受力连续性。

3 工程验证与结果分析

以某临水超高钢框架厂房为验证对象,项目建筑高度约38米,跨度52米,结构采用H型钢框架体系。施工过程中分四阶段进行吊装与稳定性监测。每阶段布设监测点56个,采集柱顶位移、梁挠度及节点应力数据。

第一阶段未采用动态修正控制的结构最大侧移量为23.6mm,经应用监测反馈控制后下降至9.8mm,稳定系数提高约32%。在第二阶段,当桁架闭合环尚未形成时,通过临时斜撑布设使挠度变化控制在可接受范围内。第三阶段引入节点扭矩修正装置后,节点应力分布趋于均衡。最终阶段整体结构稳定系数较初始模型提高约18%,施工时间缩短约9%。

分阶段荷载分解、约束重构与动态反馈控制的结合,能够有效削减施工阶段的受力偏移与变形积累,显著提高结构稳定性与施工安全裕度。

表1 临水超高钢框架厂房稳定性监测与控制效果对比表

阶段	第一阶段	第二阶段	第三阶段	第四阶段
吊装与结构状态说明	吊装初期, 钢柱与桁架梁独立受力, 体系未闭合	桁架未完全闭合, 通过临时斜撑增强刚度	引入节点扭矩修正装置, 受力分布调整	框架体系闭合形成整体结构
监测点数量(个)	56	56	56	56
控制措施	常规监测, 无动态修正	临时斜撑布设	节点扭矩修正与反馈修正控制	动态监测反馈闭环控制
最大侧移量(mm)	23.6	15.2	11.5	9.8
稳定系数提升(%)	—	12	18	32
施工时间变化(%)	—	—	—	-9
主要效果说明	位移较大, 结构稳定性不足	挠度控制在可接受范围内	节点应力分布趋于均衡	稳定性显著提升, 施工效率提高

4 讨论与研究展望

研究结果显示, 稳定性控制体系在施工阶段具有显著效果, 尤其在应对复杂边界条件与环境扰动时表现出较高的鲁棒性。模型的动态修正与现场监测反馈形成了闭环控制逻辑, 使结构的暂态响应能够得到及时调节。

结合现有成果可见, 该方法具有进一步推广潜力。再生利用结构安全控制思路与本研究的控制机制在逻辑上可以形成互补, 为未来在厂房改造与结构加固工程中应用提供了启示^[5]。若能结合BIM平台与物联网监测技术, 将监测数据实时导入数值分析模块, 可实现施工阶段的智能化稳定控制。

5 结论

研究建立了适用于临水超高钢框架厂房的施工阶段稳定性

控制方法。分阶段荷载分解与约束重构实现了结构暂态受力的均衡化, 监测反馈机制强化了实时修正能力, 局部构件稳定强化措施保证了结构整体协调。经工程验证, 控制体系在提高稳定系数、降低节点应力偏差及缩短施工周期方面表现显著。该研究为复杂施工条件下钢结构体系的安全控制提供了系统方法, 为后续标准化推广与数字化集成奠定基础。

参考文献

[1] 裴兴旺, 李文龙, 刘怡君. 钢混排架结构厂房再生利用施工安全控制方法[J]. 安全与环境学报, 2024, 24(10): 3759-3769.

[2] 贾子文, 郑江, 李存良, 等. 超长、超宽、超刚无缝多层钢框架厂房施工过程温度效应仿真分析[J]. 工业建筑, 2020, 50(11): 119-124.

[3] 杨波, 李沛林. 基于不同跨度密肋楼盖结构受力分析及施工关键技术研究[J]. 建筑结构, 2023, 53(S2): 1278-1282.

[4] 马松, 田鹏, 郭卫, 等. 用于钢结构厂房的三明治板安装施工技术[J]. 建筑结构, 2022, 52(S1): 3034-3039.

[5] 裴兴旺, 李文龙, 刘怡君. 钢筋混凝土排架结构厂房再生利用施工安全风险预警[J]. 安全与环境学报, 2024, 24(06): 2127-2137.

[6] 熊晓萌, 刘岳君, 刘玉林, 等. 内部结构厂房水池装配式不锈钢覆面设计施工研究[J]. 建筑结构, 2023, 53(S1): 1326-1330.

作者简介:

李宗权(1990--), 男, 汉族, 河南省沈丘县人, 本科, 职称: 中级职称, 研究方向: 建筑技术。