

# 基于多工况作用组合的钢结构厂房吊车梁刚度设计方法探析

杨立艳\* 马晓晴

雄安城市规划设计研究院有限公司, 河北 保定 071700

[摘要] 钢结构厂房设计时, 整体结构安全性和使用功能受吊车梁刚度的重要影响, 多工况作用组合下荷载会有变化, 需合理评估不同受力条件下吊车梁的刚度需求, 分析常见工况组合形式以及其对吊车梁受力影响规律, 构建多种工况适应的刚度设计方法体系, 该方法包括恒载、活载、吊车荷载等不同荷载类型组合效应, 靠有限元分析来实现刚度校核, 研究结果能给钢结构厂房中吊车梁设计提供可靠依据, 提升结构适用性和经济性。

[关键词] 吊车梁; 钢结构厂房; 刚度设计; 多工况组合; 有限元分析

DOI: 10.33142/ucp.v3i1.19295

中图分类号: TU528

文献标识码: A

## Analysis of the Stiffness Design Method for Crane Beams in Steel Structure Factory Buildings Based on the Combination of Multiple Working Conditions

YANG Liyan\*, MA Xiaoqing

Xiong'an Urban Planning and Design Institute Co., Ltd., Baoding, Hebei, 071700, China

**Abstract:** In the design of steel structure factory buildings, the overall structural safety and functional use are greatly affected by the stiffness of the crane beam. Under multiple working conditions, the load will change. It is necessary to reasonably evaluate the stiffness requirements of the crane beam under different stress conditions, analyze common working condition combinations and their impact on the force of the crane beam, and construct a stiffness design method system that adapts to multiple working conditions. This method includes the combined effects of different load types such as dead load, live load, and crane load. The stiffness verification is achieved through finite element analysis. The research results can provide reliable basis for the design of crane beams in steel structure factory buildings, improve the structural applicability and economy.

**Keywords:** crane beam; steel structure factory building; stiffness design; multi condition combination; finite element analysis

### 引言

工业化进程加快, 钢结构厂房因施工速度快、承载力强而被广泛应用, 在重型设备吊运场景里, 吊车梁是关键承重构件, 其结构刚度直接影响厂房运行安全和使用寿命, 传统设计方法大多只关注单一工况难以满足复杂作业需求, 荷载组合多变且实际使用条件复杂, 探索科学合理的刚度设计方法特别重要, 多工况作用组合的设计思路为吊车梁性能提升和结构优化提供了新的技术路径。

#### 1 钢结构厂房吊车梁在工程中的功能与重要性

在冶金、机械、化工等重工业领域, 钢结构厂房被广泛使用且其核心构件吊车梁承担着重要的起重与运输任务, 要合理设计结构, 前提是准确理解吊车梁的工程作用与重要性。

##### 1.1 吊车梁在厂房结构体系中的地位

钢结构厂房的两侧或者中部通常会布置吊车梁, 其主要功能是承受吊车运行带来的竖向与水平荷载并将荷载传到柱或者主框架结构上, 高频次、大吨位吊装作业时重物吊运过程中的直接受力由吊车梁承担且吊车梁得保证吊车平稳运行以防止厂房振动、冲击等出现结构损伤, 与别的梁类构件相比吊车梁功能性和结构复杂性更强设计时得综合考虑荷载传递路径、刚度控制、变形协调等很多

要求, 吊车梁一般连接在柱间或者牛腿上柱脚受力、节点稳定以及整个厂房结构体系的整体刚度分布都直接受其刚度性能的影响, 在钢结构厂房的结构体系里吊车梁不但是力的传递路径也是连接生产功能和结构安全的重要纽带。

##### 1.2 吊车梁对结构安全性的影响

吊车梁刚度设计和结构安全性联系紧密, 厂房长期运行时吊车梁不断承受动态荷载, 如起吊时的冲击载荷、吊车横向运行的水平力以及刹车力等, 这些荷载容易引发结构疲劳、螺栓松动甚至节点开裂等状况, 并且刚度设计若不足, 吊车梁也许会过度挠曲, 使吊车轨道变形, 影响吊车运行稳定性与设备精度, 甚至引发结构失稳, 而要是过度提高刚度, 就可能造成材料浪费, 结构经济性也会下降, 设计要平衡刚度与安全的关系, 合理分配结构刚度资源, 多工况下, 吊车梁得兼顾地震、风荷载等极端作用时的承载能力, 确保厂房在各种使用场景稳定运行, 提升整体结构抗风险能力与使用寿命。

##### 1.3 吊车梁对厂房使用功能的支撑作用

现代工业厂房里, 起重运输的核心任务由吊车梁承担, 它是生产流程必不可少的部分, 且只有吊车梁刚度性能好, 吊车系统搬运、对接、装配等工作才能高效顺畅完成, 生产效率和作业安全才会提高; 在重型装备制造、钢卷转运、

铸件浇注等场景中,吊车梁运行稳不稳直接关系到工艺流程连续不连续、作业精度高不高,而且厂房不同生产阶段吊装工况要求很不一样,安装调试阶段得集中吊运重物,日常生产阶段以频繁运行为主,吊车梁得多工况适应能力良好,因此刚度设计得在最不利工况下保证结构安全,还得确保长期使用中的舒适性和功能完整性。

## 2 多工况荷载组合类型及其作用特征分析

钢结构厂房的吊车梁在使用时得承受多种荷载耦合作用且不同工况组合对其刚度要求有差异,科学设计吊车梁的基础是准确识别各类荷载组合及其作用特征。

### 2.1 恒载与活载的基本特性

吊车梁刚度设计以恒载和活载作为基础荷载类型,吊车梁自重、吊车轨道、自重附加设备等构成的恒载分布均匀、变化小,作用持续稳定,给结构构件造成持久静态影响,而生产过程中的人员、设备及临时堆放材料等形成的活载是移动荷载,有不确定性和时变性,也许会在不同区域、不刻产生局部集中荷载或者面荷载,厂房吊车梁设计时,恒载形成初始受力状态,活载变化可能叠加在恒载上,导致挠度变化与应力波动,两者组合关系决定吊车梁基础刚度要求,给后续动态荷载分析提供稳定参照条件。

### 2.2 吊车荷载的动态特征分析

吊车梁设计受吊车荷载影响显著且吊车荷载是主要影响因素之一,这一荷载有着很强的动态特征与随机性,其作用形式有起吊重物时的竖向集中荷载、吊车运行时的横向水平力、启动和刹车时的纵向冲击荷载以及吊钩晃动带来的附加振动,不同吨位、速度、起吊频率的吊车荷载幅值和作用频率差别很大,设计时得按照吊车型号、运行轨迹、操作习惯精细建模,多台吊车并行作业、跨区运行等复杂场景下吊车荷载的耦合效应会很明显,可能造成局部过载或者非线性响应,由于吊车荷载不规则,刚度设计得有足够冗余,要保证结构在瞬时极限状态不失稳,在长期反复荷载下不出现疲劳破坏。

### 2.3 特殊工况组合对结构影响

常规工况之外,吊车梁还得受风荷载、地震作用、温度变化等特殊工况影响,虽然这些工况不常出现,但极端条件下却可能主导结构响应,高大厂房侧墙和屋面结构受风荷载影响压力明显,该压力经节点传导到吊车梁会使吊车梁有水平位移和侧移变形,地震作用就是地基水平加速度对结构体系的整体冲击,在此期间吊车梁受上部构件和吊车系统双重扰动可能引起连接节点疲劳、裂缝扩展等安全问题,温度变化影响构件热胀冷缩,若吊车梁和柱、轨道等构件刚度不匹配,连接构件就容易变形错位、初应力积累,多工况叠加时结构非线性响应更明显,得组合荷载工况来系统模拟、分析刚度协同,保证吊车梁在各种边界条件下稳定可靠。

## 3 吊车梁刚度设计的关键影响因素

吊车梁刚度设计不仅对厂房结构安全有影响且跟吊车运行的平稳性和使用寿命有关,合理找出影响刚度的关

键因素是优化设计、提升工程性能的重要环节。

### 3.1 截面形式与构造参数选择

吊车梁的抗弯刚度和承载能力直接由截面形式决定,常见的截面类型有工字钢、箱型梁和组合梁,这几种截面形式在受力特性、加工制造与连接工艺上差别明显,其中工字钢构造简单、重量不重,在中小型厂房里用得较多,箱型梁由于是闭合截面结构,抗扭性能好,更适合重载、大跨度的情况,构造参数像截面高度、翼缘宽度、腹板厚度等对吊车梁整体和局部刚度影响很大,虽然把截面高度适当增大能提高抗弯刚度,但也可能让结构自重和施工难度增加,得综合考虑荷载工况和经济性,连接节点的刚性设计对梁端约束条件也有决定性影响,这会影响到梁体变形模式和刚度控制策略。

### 3.2 支撑条件与结构布置方式

吊车梁刚度表现由支撑方式和布置位置起决定性作用,常见支撑方式有双端简支、单端铰接另一端固定、连续梁这几种且梁体内力分布与变形响应在不同支撑条件下差异较大,简支结构构造简单但跨中挠度却大,连续梁结构能有效降低挠度、平衡内力并提高整体刚度与稳定性,厂房结构布置时吊车梁一般安在牛腿或者柱间横向构件上且受支撑构件刚度、节点构造和安装精度影响明显,支撑构件刚度不够容易二次变形进而削弱吊车梁自身刚度效果,而且吊车梁布置的高度和纵横位置对吊车运行轨迹、荷载传递路径、动载响应有影响从而间接改变刚度设计要求,刚度设计阶段得充分结合结构布置、构件约束和实际使用条件来进行参数匹配和结构优化。

### 3.3 使用荷载与工况组合特征

刚度设计的基础依据是吊车梁承受的荷载类型和工况组合,梁体不同方向的应力集中与变形累积会由起重机最大吊装能力、运行频率、吊点位置变化、多车同步运行等因素引起从而形成刚度控制的关键工况,多工况组合分析时得考虑竖向集中力、水平刹车力、运行冲击力和不均匀分布荷载等作用的复合效应,部分厂房有恒载、活载和环境荷载(像温度、风、地震等)叠加的情况故需通过组合工况模型来预测极限状态下的响应,吊车梁使用周期内构件会因频繁的载荷循环作用产生疲劳损伤且刚度水平逐渐降低因此初期设计中必须引入动态荷载校核和疲劳寿命评估。

## 4 多工况作用下吊车梁刚度设计方法构建与实现

钢结构厂房里,吊车梁得应对多种复杂荷载的联合作用,构建一套系统合理的刚度设计方法对确保吊车梁在多工况下安全高效运行很重要且是一种技术保障。

### 4.1 建立多工况荷载分析模型

吊车梁刚度设计方法构建的首要步骤是建立多工况荷载分析模型,这一模型需综合考虑恒载、活载、吊车运行荷载、温度效应和偶发荷载等多种作用类型以涵盖实际使用中可能出现的典型工况与极端情况,设计时要识别关键控制工况,如最大起重量吊装、快速运行刹车、双车协作起吊之类的情形并给各工况做荷载组合和权重设定,从

而弄出涵盖结构全寿命周期的设计工况集合,再根据这个工况集合,采用线性和非线性结构分析方法算出吊车梁在各荷载作用下的位移响应、应力分布和变形趋势以得到它在多工况下的刚度需求指标。

#### 4.2 结合有限元法进行刚度校核

多工况刚度设计的核心工具是有限元分析,建立高精度的三维或梁单元有限元模型就能真实模拟吊车梁受力特征与构造细节,分析时引入不同工况荷载组合以全面校核梁体纵向、横向和扭转方向的刚度,吊车梁是非对称截面、复杂节点连接或者开口结构时有限元法识别应力集中区域和局部刚度薄弱点更准确,计算时设置合适的边界条件、材料非线性属性和节点刚度会使模拟更真实,刚度校核结果要满足《钢结构设计规范》里挠度、应变和承载能力的双重限制要求并考虑施工误差、运营振动和疲劳影响的安全储备,从而为最终设计提供理论依据和数据支持。

#### 4.3 优化设计流程与构造方案

明确多工况刚度需求和校核结果之后,要把分析成果反馈到设计流程里以形成参数优化与构造调整机制,整体刚度可通过调整截面尺寸、增加腹板厚度、选用高强度钢材等方式增强,关键部位刚度可在局部区域设置加强肋、增设支撑结构得以提升,结构布置方面优化支撑节点位置与连接方式,采用刚性或者半刚连接能提升构件协同性,设计时要兼顾经济性和施工便捷性以防止材料浪费,借助 BIM 建模和参数化设计技术可使吊车梁刚度设计实现可视化和自动化从而提高设计效率与精度,通过施工反馈和运行监测来修正设计模型构建“分析-设计-验证”闭环体系以保证吊车梁在多工况下刚度性能达到最优配置。

### 5 设计方法的工程应用与优化建议

多工况刚度设计方法应用于工程实践就能提升吊车梁结构的安全性与适用性,结合实际案例分析并提出优化建议还能实现这一方法的推广与持续改进。

#### 5.1 工程案例中的设计应用实践

某大型机械制造厂房建设项目设有三台不同规格的桥式吊车,其覆盖区域跨度大、作业频繁、荷载变化剧烈,吊车梁刚度设计采用基于多工况作用组合的方法使高负荷吊车系统得以安全高效运行。设计团队建立完整荷载组合模型,综合考虑恒载、活载、吊车动载、刹车力、温度变化等因素,并用有限元分析工具模拟不同工况下的刚度响应,根据模型分析结果,设计师强化关键工况的吊车梁截面尺寸、优化支撑节点刚度且加设局部加强构造提升局部抗弯性能。项目实施后结构平稳运行,吊车轨道变形控制良好,用户反馈表明刚度设计达到高频作业对平稳性和安全性的双重要求,验证了该设计方法实用又有效。

#### 5.2 工程实施中的常见问题分析

多工况的刚度设计方法理论虽然严谨,但在实际工程

应用中仍会遇到一些问题与挑战,荷载参数很难获取,很多项目前期吊车运行工况数据不详尽,从而导致荷载建模有偏差,并且在设计和施工时,有些单位对有限元分析理解不到位,模型设定和边界条件过度简化,影响计算结果的准确性,而且实际施工中材料误差、连接变形或者施工偏差造成的刚度削弱在设计阶段往往难以充分预估,致使结构刚度与理论结果不同,若使用过程中没有长期的结构监测手段,刚度退化带来的安全隐患也无法及时发现,这些问题表明多工况刚度设计应用于工程时,在技术能力、信息采集和全过程控制方面仍存在不足。

#### 5.3 设计优化与应用推广建议

多工况刚度设计方法要在钢结构厂房高效应用,需依靠设计、施工与运维环节协同优化,设计时要与吊车制造商多协作,获取运行参数或引入仿真数据以提高荷载模型精度,并且推广标准化有限元建模流程减少误差,将刚度设计模块集成到 BIM 平台可使计算、构造与图纸联动,施工时要严控关键构件安装精度,尤其要注意支撑节点和轨道连接部位,使用阶段引进结构健康监测系统,实时采集吊车梁应力、振动和变形数据为维护和优化提供依据,完善技术标准并强化数据支撑,该方法就能在工程中持续发展并广泛应用。

### 6 结语

钢结构厂房建设时,吊车梁刚度设计与结构安全相关且直接影响吊车系统运行效率和作业精度,工况条件复杂多变时多工况作用组合的刚度设计方法为吊车梁提供了更科学合理的设计路径,荷载模型构建、有限元分析、优化设计流程协同推进使结构性能得以提升且工程适应性和可靠性增强,实际工程应用验证和问题反馈表明该设计方法实用价值和推广前景凸显能为今后钢结构厂房设计提供重要参考和技术支撑。

#### [参考文献]

- [1]丁娜娜,赵帆.单层钢结构工业厂房纵向设计相关问题[J].建筑结构,2020,50(1):665-669.
  - [2]张海滨,金碧.某 200t 吊车重型钢结构厂房结构设计研究[J].建筑结构,2021,51(1):1450-1454.
  - [3]张继涛.重型钢结构厂房结构设计分析——以越南台塑河静钢厂工程为例[J].工程技术研究,2021,6(15):206-209.
  - [4]翟渊博,石代,郭晨豪.重型钢结构厂房结构设计技术研究——以某大吨位吊车厂房为例[J].建筑安全,2024,39(10):85-88.
- 作者简介: \*通讯作者: 杨立艳(1993.11—),女,汉族,毕业院校:西安建筑科技大学,现就职单位:雄安城市规划设计研究院有限公司;马晓晴(1994.6—),女,汉族,毕业院校:西安建筑科技大学,现就职单位:雄安城市规划设计研究院有限公司。