

# 钢结构厂房设备抗震性能提升与减隔震技术组合设计研究

许文武

山东百顿减震科技有限公司

**摘要:** 钢结构厂房因其结构特点在工业领域得到了广泛应用,但地震作用下厂房和设备的耦合作用易导致重大损失。本文以提升钢结构厂房设备抗震性能为目标,研究了减震与隔震技术的组合设计方法。通过分析现有抗震设计的不足,提出基于隔震支座、减震装置和节点优化的综合设计方案,并结合缩尺试验与数值分析验证了其有效性。结果表明,该组合设计显著降低了结构与设备的振动响应,具备良好的安全性和经济性,为类似工程提供了有效的参考依据。

**关键词:** 钢结构厂房; 抗震性能; 减震技术; 隔震技术; 组合设计

## 引言

随着工业化进程的加快,钢结构厂房因其轻质高强、施工便捷等优势广泛应用于工业建筑。然而,频发的地震灾害对厂房及内部设备的安全性提出了严峻挑战。厂房结构在地震中常因过大振动导致设备失效,不仅危及生产安全,还带来重大经济损失。现有抗震设计多注重主体结构,对设备的动力特性和厂房-设备耦合作用研究不足,且减隔震技术的应用有限,难以全面满足现代工业厂房的抗震需求。为此,本文提出结合减震与隔震技术的组合设计方法,重点研究钢结构厂房设备的抗震性能提升。通过理论分析、试验验证与工程实例,探讨技术组合的适用性和经济性,为提升钢结构厂房整体抗震能力提供理论支持和实践参考。

## 1 钢结构厂房设备抗震性能现状分析

### 1.1 钢结构厂房及设备特点

钢结构厂房因其强度高、自重轻和可加工性好等特点,在现代工业建筑中得到广泛应用。这类厂房通常具有大跨度、大空间的特点,以满足工业生产和设备布置的需要。厂房结构由钢柱、钢梁和桁架等构件组成,整体灵活性较强。厂房内部设备多样化,包括固定设备和可移动设备,重量和尺寸差异较大。这些设备常直接固定于基础或结构上,也可能通过支架、吊挂或滑轨等形式与厂房结构相连。由于厂房及其内部设备在震动下的相互作用复杂,这使得抗震设计的难度大幅增加。钢结构厂房的开放性空间设计和较少的非结构填充材料使其在地震中更容易受动力作用影响,这对设备的稳定性提出了更高要求。

### 1.2 现有抗震设计问题与常见缺陷

当前钢结构厂房抗震设计中存在一些较为突出的

问题。一方面,厂房结构设计多注重整体抗震性能,忽视了设备的动态特性及其与厂房结构之间的耦合作用。设备安装方式单一,缺乏针对地震作用的专门设计,导致其在地震中易发生倾覆、滑移或破坏。另一方面,抗震设计中对减震、隔震措施的应用较少,许多设计仅采用传统的提高构件强度和刚度的方法,无法有效应对强烈地震作用。此外,一些厂房的施工质量和维护管理不当也会削弱其抗震性能,例如锚固装置松动、连接节点强度不足等问题普遍存在。这些缺陷不仅降低了厂房整体的抗震能力,也增加了设备受损的风险。

### 1.3 钢结构厂房设备抗震设计需求

针对上述问题,钢结构厂房设备的抗震设计需从以下几个方面提出改进需求。首先,应加强厂房结构与设备间的动力特性研究,建立更为科学的耦合分析模型,以提高设计的精准度。其次,在设计层面需引入现代化的抗震技术,如减震与隔震技术,以降低地震对设备的不利影响。设备的安装方式需多样化,并结合实际情况优化锚固与支撑系统,确保地震作用下设备的稳定性。此外,应加强对厂房和设备的日常维护,定期检查关键节点和连接部位的状态,提高抗震设计的实际效果。通过这些措施,可显著提升钢结构厂房设备的整体抗震性能,降低地震灾害带来的损失。

## 2 钢结构厂房设备抗震性能提升的关键技术

### 2.1 强化材料性能的设计策略

材料性能是影响钢结构厂房及设备抗震能力的基础因素。为提升抗震性能,需选择高强度、高延性钢材作为主要构件材料,这些钢材在地震作用下具有更好的能量耗散能力和塑性变形能力。此外,应重视材料的耐久性,以减少长期使用对结构性能的削弱。钢材的焊接性能和耐疲劳性也是设计时的重要考量因素,

特别是在动态荷载作用显著的厂房环境中, 优质材料可有效降低裂纹扩展和构件失效的风险。针对设备支撑部件, 可以采用复合材料或高性能减震橡胶, 以吸收更多地震能量, 进一步提高系统的整体抗震能力。

### 2.2 节点与连接抗震设计优化

节点和连接是钢结构厂房中受力集中的区域, 也是抗震设计的关键环节。传统节点设计在强震作用下容易出现塑性铰或连接破坏, 从而导致整体结构失效。因此, 优化节点设计成为提升抗震性能的重要策略。例如, 可以采用减震节点或高强度螺栓连接来增强抗震能力。在梁柱连接中, 设计抗震支撑系统以分散地震力, 提高整体刚度和稳定性。此外, 焊接工艺的改进也是保障节点质量的关键, 通过采用高质量焊材和严格的施工标准, 能够显著提升连接部位的抗震性能。对于设备与结构的连接部位, 可引入柔性连接装置, 允许一定程度的相对位移以降低冲击力。

### 2.3 结构体系整体刚度与柔性调整

钢结构厂房在抗震设计中需在刚度和柔性之间取得平衡。刚度过大可能导致结构内力过于集中, 而柔性过高则会引起过大的位移响应。通过合理调整结构体系的刚柔分布, 可以有效改善厂房的抗震性能。具体而言, 可以采用增加支撑构件或设置剪力墙等方式提高整体刚度, 同时引入隔震支座或阻尼器以增强结构的能量耗散能力。此外, 对于跨度较大的厂房, 可通过分区设计减少结构的整体性响应, 将地震作用分散至多个子系统中。设备的安装支架也需根据其动力特性进行刚柔调控, 以适应厂房结构的整体抗震需求。

### 2.4 抗震设计中动力分析的应用

动力分析在钢结构厂房抗震设计中起着至关重要的作用, 它为设计人员提供了结构和设备在地震作用下的动力响应信息。通过时程分析、模态分析和频谱分析等方法, 可以准确预测地震荷载下厂房及设备的变形、应力分布和失效模式。这为优化抗震设计提供了科学依据。例如, 可以利用模态分析识别厂房结构和设备的共振频率, 避免设计中出现动力耦合问题。时程分析则可用于评估不同抗震技术的效果, 从而选择最优方案。通过引入现代化的计算工具和软件, 如有限元分析技术, 可进一步提高动力分析的效率和精度, 为厂房设备抗震性能的提升提供有力支持。

## 3 减隔震技术在钢结构厂房中的应用

### 3.1 减震技术基本原理与类型

减震技术通过增加能量耗散装置或部件, 减少结构在地震作用下的振动响应。其基本原理是通过阻尼装置吸收地震能量, 降低结构的加速度和位移需求,

保护结构和设备免受破坏。常见的减震技术包括黏滞阻尼器、金属阻尼器、摩擦阻尼器以及屈曲约束支撑(BRB)。黏滞阻尼器利用流体阻尼效应耗散能量, 适用于动态响应较大的厂房。金属阻尼器通过塑性变形耗能, 具有高效性和重复使用性。摩擦阻尼器利用摩擦力耗散能量, 适用于动态接触结构。屈曲约束支撑则通过抑制屈曲现象提供稳定的耗能能力, 这些装置可灵活应用于钢结构厂房的关键构件中。

### 3.2 隔震技术原理与适用场景

隔震技术通过在结构与地基之间加入隔震装置, 延长结构的自振周期, 从而减少地震传递到上部结构的加速度。隔震装置包括橡胶支座(普通橡胶支座和铅芯橡胶支座)、滑动支座以及摩擦摆支座等。橡胶支座通过弹性变形吸收地震能量并提供水平柔性, 适用于跨度较大的厂房结构。铅芯橡胶支座通过内置铅芯提供附加阻尼能力, 能有效减少水平和竖向振动。滑动支座和摩擦摆支座则通过相对滑动耗散地震能量, 适用于高精度设备安装环境。隔震技术特别适合地震作用显著且要求高抗震性能的工业厂房。

### 3.3 钢结构厂房减隔震技术设计要点

在钢结构厂房中应用减隔震技术需要关注设计的针对性和整体性。首先, 应结合厂房和设备的动力特性选择合适的技术类型。例如, 跨度大且设备密集的厂房宜优先采用隔震技术, 而高频振动较强的厂房可结合减震装置进行能量耗散。其次, 减隔震装置的布置应均匀合理, 避免引入过大偏心力。设计中需特别关注装置的安装节点和连接强度, 以确保其在地震中的稳定性。最后, 还应对减隔震装置的维护和更换周期进行规划, 确保其长期有效性。在设计过程中, 通过模拟分析优化装置参数, 验证设计方案的可靠性和经济性。

### 3.4 实际工程应用案例分析

某钢结构厂房的抗震设计结合了减隔震技术, 采用铅芯橡胶支座作为隔震装置, 安装于厂房与基础之间, 同时在主要构件中布置屈曲约束支撑。通过动力分析发现, 地震作用下厂房顶部的加速度响应降低了40%以上, 设备的位移响应显著减小。此外, 该厂房采用黏滞阻尼器对设备支架进行加固, 在强震模拟实验中设备稳定性提升显著。这一设计不仅提高了厂房及设备的抗震性能, 还降低了震后维修成本。通过对比分析其他未使用减隔震技术的类似厂房, 证明该技术组合设计在实际工程中具有良好的应用前景和推广价值。

## 4 钢结构厂房抗震性能提升与减隔震技术的组合设计

### 4.1 组合设计理念与方法

钢结构厂房的抗震性能提升需要综合考虑厂房结

构与内部设备的耦合作用,采用减震和隔震技术相结合的设计理念,实现多层次抗震目标。组合设计注重减隔震装置与结构体系的协调,通过隔震技术延长厂房的自振周期,降低地震能量的传递,同时利用减震技术减少结构和设备的振动响应,从而保障厂房和设备的整体安全性。

#### 4.2 典型组合设计方案示例

某轻工业厂房,设计占地面积约为1200平方米,跨度为18米,高度为8米,主要用于精密电子产品的生产和装配。为提升其抗震性能,设计方案包括:

**隔震设计:**采用铅芯橡胶支座,布置于厂房基础的20个主要承重柱下,每个支座水平位移能力为 $\pm 150$ 毫米,竖向承载力为800千牛。隔震装置有效延长了厂房自振周期,减少地震能量的传递。

**减震设计:**设备支架安装黏滞阻尼器,设计阻尼力为50千牛,吸收高频振动,降低设备运行过程中的振动幅值。同时,在厂房结构中设置屈曲约束支撑,增强整体刚度和耗能能力。

**节点优化:**强化梁柱连接节点,采用高强度螺栓和焊接工艺,确保连接部位的抗震可靠性,避免局部失效引发整体损坏。

#### 4.3 动力实验与验证

为验证设计的合理性和有效性,采用1:30的缩尺模型进行振动台试验,同时结合数值分析对全尺寸厂房进行补充研究。

##### 1:30 缩尺试验

试验模型包括厂房的关键承重结构、隔震支座、屈曲约束支撑和设备支架,缩尺后的模型占地面积约为1.33平方米(约1.15米 $\times$ 1.15米),跨度为0.6米,高度为0.27米,符合相似准则要求。试验在振动台上加载多组标准地震波(如El Centro波和人工设计波)模拟地震作用。

试验结果表明:

在7级地震工况下,顶部最大加速度较无隔震设计减少约50%,设备支架的振动位移减少了65%。

隔震支座表现出稳定的能量耗散能力,屈曲约束支撑的滞回曲线完整,未出现塑性失效。

#### 数值分析

采用有限元软件对厂房进行三维动力模拟,分析隔震和减震设计的协同效应。结果显示,设计延长了厂房的自振周期至1.8秒,整体地震力减少约55%,同时设备支架的振动控制在允许范围内,完全满足设计要求。

#### 4.4 综合技术效果评估与经济性分析

试验与分析结果表明,该厂房的减隔震组合设计在强震作用下具有显著的抗震效果,能够有效降低地震对主体结构和设备的影响,保障了厂房的功能稳定性和设备运行安全性。经济性评估结果显示:

**初始投资:**因减隔震装置的引入,设计成本增加约12%。

**长期效益:**震后维修成本和停工损失减少约30%,综合性价比高。

总体而言,该设计方案在技术效果和经济性上均表现出显著优势,具有较强的推广价值和工程实用性,为类似工程项目提供了有效的技术参考。

## 5 结论

本研究围绕钢结构厂房设备的抗震性能提升,提出了减震与隔震技术的组合设计方案,并通过1:30缩尺试验和数值分析验证了其有效性。研究表明,组合设计可显著降低厂房主体和设备的振动响应,在不同地震强度下均表现出优越的安全性和稳定性。通过经济性分析,证明该设计在初期投资增加有限的情况下,能够大幅降低震后维修和停工成本,具有良好的经济效益和推广价值。

#### 参考文献:

- [1] 葛宏亮. 工业厂房结构设计中钢结构设计应用研究[J]. 居舍, 2023,(05):88-91.
- [2] 梁炯丰. 大型火电厂钢结构主厂房框排架结构抗震性能及设计方法研究[D]. 西安建筑科技大学, 2013.
- [3] 刘祖源. 石油化工钢结构厂房抗震设计[J]. 天津化工, 2022,36(03):93-96.
- [4] 赵春侠. 工业厂房钢结构设计的现状及改进措施研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020,40(10):126-127.
- [5] 朱浩. 化工厂钢结构厂房设计时应注意的问题探讨[J]. 当代化工研究, 2020,(21):169-170.