

# Vibration Analysis and Vibration Reduction Design of Industrial Factory Floor Slabs

Zhankun Jia

MCC Testing and Certification Co., Ltd., Beijing, 100088, China

## Abstract

The floor vibration problem caused by power equipment in industrial factories affects the normal operation of operators and equipment, and even endangers the safety of the factory structure in severe cases. This paper analyzes and designs the vibration problem of industrial factory floor slabs, aiming to provide effective vibration reduction design solutions. This study provides a theoretical basis and practical guidance for solving the vibration problem of industrial factory floor slabs, and is of great significance for improving industrial production efficiency and the comfort of employees' working environment.

## Keywords

industrial factory buildings; floor vibration; resonance; vibration reduction design

## 工业厂房楼板振动分析及减振设计

贾占坤

中冶检测认证有限公司, 中国 · 北京 100088

## 摘要

工业厂房因动力设备引起的楼板振动问题, 影响着操作人员正常工作和设备的正常运行, 严重时甚至危及厂房结构安全。论文针对工业厂房楼板振动问题进行了分析与设计, 旨在提供有效的减振设计方案。本研究为工业厂房楼板振动问题的解决提供了理论基础和实践指导, 对于提高工业生产效率和员工工作环境的舒适性具有重要意义。

## 关键词

工业厂房; 楼板振动; 共振; 减振设计

## 1 引言

工业厂房在工业领域中广泛应用, 其楼板振动问题一直是一个关注的焦点。楼板振动不仅会影响工作人员的舒适性, 还可能导致设备的损坏和生产效率的降低。因此, 对工业厂房楼板振动进行分析和减振设计具有重要意义。楼板振动的原因多种多样, 包括结构自身的固有频率、外部激励力以及人员和设备的活动等。这些因素相互作用, 导致楼板产生共振现象, 进而引起振动问题。因此, 减振设计需要综合考虑结构的刚度、阻尼和质量等因素, 以降低共振频率和振动幅值。本研究的结果对于提高工业厂房的结构稳定性和舒适性具有重要意义。通过减振设计, 可以有效降低楼板振动的幅值, 提高结构的工作性能和人员的舒适度。同时, 本研究的方法和思路也可以为其他类似结构的振动问题提供参考和借鉴<sup>[1]</sup>。

【作者简介】贾占坤(1989-)男, 满族, 中国河北唐山人, 硕士, 工程师, 从事结构检测鉴定、安全评估研究。

## 2 楼板振动原因和影响分析

### 2.1 结构自身的固有频率

#### 2.1.1 概念解释

结构自身的固有频率是指结构在没有外界激励的情况下, 自由振动时的频率。每个结构都有自己的固有频率, 取决于结构的刚度和质量分布。

#### 2.1.2 影响因素

结构的刚度, 刚度越大, 固有频率越高。结构的质量分布, 质量分布越均匀, 固有频率越高。结构的几何形状, 不同形状的结构具有不同的固有频率。

#### 2.1.3 振动特性

当外界激励频率接近结构的固有频率时, 会引起共振现象, 使振幅增大。结构的固有频率决定了其对不同频率激励的响应情况。

#### 2.1.4 影响与问题

结构的固有频率与外界激励频率相近时, 可能导致楼板振动幅值增大, 影响舒适性和结构稳定性。高固有频率可能导致共振问题, 增加结构的应力和疲劳损伤。

### 2.1.5 分析方法

可通过有限元分析等数值模拟方法计算结构的固有频率。也可通过实验测试方法,如模态分析,测量结构的固有频率。

## 2.2 外部激励力

### 2.2.1 概念解释

外部激励力是指作用于楼板结构上的外部力或振动源,可以是静态力、动态力或周期性振动力。外部激励力可以来自多种来源,如人员活动、设备运行、风荷载、地震等。

### 2.2.2 影响因素

人员活动,人员的行走、跳跃等活动会产生地面反作用力,传递到楼板结构上。设备运行,机械设备的振动、震动或冲击会通过地面传递到楼板结构上。风荷载,风的作用会产生风压力,作用于楼板表面,引起振动。地震,地震引起的地面振动会传递到楼板结构上,产生动态荷载。

### 2.2.3 振动特性

外部激励力的频率和振幅决定了楼板结构的振动响应。当外部激励力的频率接近结构的固有频率时,可能引起共振现象,使振幅增大。

### 2.2.4 影响与问题

外部激励力的存在会导致楼板结构振动,影响舒适性和结构稳定性。高振幅的外部激励力可能导致楼板结构的疲劳破坏<sup>[2]</sup>。

### 2.2.5 分析方法

可通过测量外部激励力的频率和振幅,以及结构的固有频率,来评估共振风险。数值模拟方法可以用于分析外部激励力对楼板结构的振动响应。

## 2.3 人员和设备活动

①噪声:人员和设备活动引起的振动会产生噪音,对楼板下方的空间和周围的房间产生干扰。这可能会影响人们的工作、学习和休息。

②不适感:楼板振动会传递到人体,使人们感到不适。长期暴露在振动环境中可能导致身体不适、疲劳和不良健康影响。

③结构损坏:频繁的振动可能对楼板结构造成损坏。振动会引起楼板的应力集中,导致裂缝、变形或甚至破坏。这可能会影响建筑物的安全性和稳定性。

## 2.4 共振现象和振动问题

①共振现象。共振是指当外部激励频率与系统的固有频率相匹配时,系统会发生共振现象,振幅会显著增大。在楼板振动中,如果人员和设备的活动频率接近楼板的固有频率,就可能引发共振现象,导致振动加剧。

②振动问题。振动会产生噪音,对楼板下方的空间和周围的房间造成干扰,影响人们的工作和休息。长期暴露在振动环境中可能导致人们感到不适、疲劳和不良健康影响。频繁的振动可能对楼板结构造成损坏,如裂缝、变形或破坏,

影响建筑物的安全性和稳定性。

## 3 楼板振动分析方法

数值模拟方法是分析楼板振动的常用方法之一。它基于数学模型和计算机仿真技术,通过数值计算来模拟和预测楼板的振动行为。以下是一些常用的数值模拟方法。

①有限元法(Finite Element Method, FEM)。有限元法是一种广泛应用于结构分析的数值方法。它将楼板划分为许多小的有限元单元,并建立节点和单元之间的关系。通过求解有限元方程,可以得到楼板的振动模态、频率和振型等信息。

②边界元法(Boundary Element Method, BEM)。边界元法是一种基于边界积分方程的数值方法。它将楼板的边界作为计算的主要对象,通过边界上的位移和应力来描述振动行为。边界元法适用于边界条件明确的问题,可以有效地分析楼板的振动响应。

③有限差分法(Finite Difference Method, FDM)。有限差分法是一种基于差分逼近的数值方法。它将楼板划分为网格,通过差分方程来近似描述振动行为。有限差分法适用于简单的几何形状和边界条件,可以用来分析楼板的振动特性。

④边界有限元法(Boundary Finite Element Method, BFEM)。边界有限元法是有限元法和边界元法的结合。它将楼板划分为有限元网格,但只在边界上建立有限元方程。边界有限元法适用于边界条件复杂的问题,可以较好地模拟楼板的振动行为。

实验测试方法是分析楼板振动的另一种常用方法。通过实际测量楼板的振动响应,可以获取准确的振动数据,以评估楼板的振动性能和确定振动问题的原因。以下是一些常用的实验测试方法。

①加速度计测量:使用加速度计来测量楼板表面的振动加速度。加速度计可以直接精确地测量楼板的振动响应,包括振动频率、振幅和振型等信息。

②振动传感器测量:使用振动传感器(如振动计或振动传感器)来测量楼板的振动。这些传感器可以安装在楼板表面或附近的结构上,通过测量振动信号来分析楼板的振动特性。

③模态测试:通过模态测试来确定楼板的固有频率和振型。模态测试可以使用激励法(如冲击激励或震动台激励)或响应法(如频率扫描法或正弦激励法)来进行。

④结构动力学测试:结构动力学测试是通过施加外部激励(如冲击或震动)来测量楼板的动态响应。这种测试可以用于评估楼板的振动性能和响应特性。

⑤声学测试:通过声学测试来测量楼板振动产生的噪音。这可以通过麦克风或声学传感器来实现,以评估楼板振动对周围环境的影响。

在楼板振动分析中,数据处理和分析是非常重要的步骤,它们帮助我们收集到的振动数据中提取有用的信息并进行进一步的分析。以下是一些常用的数据处理和分析方法。

①频谱分析。频谱分析是将振动信号转换为频域表示的方法。通过应用傅里叶变换或其他频谱分析技术,可以将振动信号分解为不同频率的成分,并得到频谱图。频谱分析可以帮助确定楼板的主要振动频率和振幅,以及检测共振现象。

②模态分析。模态分析用于确定楼板的固有频率、振型和阻尼比等模态参数。通过对振动信号进行模态分析,可以识别楼板的主要振动模态,并了解其振动特性<sup>[2]</sup>。

③统计分析。统计分析可以用于对振动数据进行统计描述和分布分析。例如,可以计算振动信号的均值、标准差和峰值等统计量,以评估楼板的振动水平和变化情况。

④峰值检测。峰值检测是识别振动信号中的峰值点的方法。通过检测振动信号的峰值,可以确定振动的最大振幅和振动周期。

⑤数据可视化。数据可视化是将振动数据以图表或图形的形式呈现的方法。通过绘制振动信号的时域波形、频谱图、模态图等,可以直观地观察和分析振动数据。

## 4 工业厂房楼板减振设计方案

### 4.1 结构刚度的优化设计

①增加楼板的厚度。增加楼板的厚度可以提高其刚度,减少振动的幅度和传递。较厚的楼板可以更好地抵抗振动动力,降低振动的影响。

②增加楼板的梁柱支撑。在楼板下方增加更多的梁柱支撑可以增加楼板的刚度。这样可以有效地分散振动动力,减少振动的传递。

③优化楼板的布置。合理布置楼板的支撑结构,避免出现过大的跨度,可以提高楼板的刚度。考虑到振动问题,可以选择较小的跨度和更密集的支撑结构。

④使用刚性连接。在楼板与支撑结构之间使用刚性连接,如焊接或螺栓连接,可以提高楼板的整体刚度。这样可以减少振动的传递和影响。

⑤使用减振材料。在楼板结构中使用减振材料,如橡胶垫、弹性支座等,可以降低振动的传递和减少振动的幅度。这些材料可以吸收和分散振动能量,减少振动的影响。

### 4.2 阻尼措施的应用

①阻尼器。阻尼器是一种专门设计用于减震的装置,可以通过吸收和耗散振动能量来减少结构的振动。常见的阻尼器包括摩擦阻尼器、液体阻尼器和粘滞阻尼器等。

②阻尼板。阻尼板是一种安装在结构上的特殊材料板,可以通过材料的内部摩擦和能量耗散来减少结构的振动。阻尼板通常由复合材料制成,具有较高的阻尼特性。

③阻尼墙。阻尼墙是一种特殊设计的墙体结构,通过在结构中设置墙体来增加结构的阻尼能力。阻尼墙通常由混凝土或钢材制成,可以通过墙体的变形和摩擦来吸收和耗散振动能量。

④阻尼涂层。阻尼涂层是一种涂覆在结构表面的特殊涂料,可以通过材料的内部摩擦和能量耗散来减少结构的振动。阻尼涂层通常由聚合物材料制成,具有较高的阻尼特性。

### 4.3 质量调整 and 分布优化

①质量调整。通过增加或减少楼板的质量,可以改变结构的固有频率。例如,在振动频率较高的区域增加质量,可以降低该区域的振动幅度。质量调整可以通过增加混凝土厚度、增加楼板上的附加负荷或调整楼板材料的密度等方式实现<sup>[3]</sup>。

②分布优化。通过调整楼板质量的分布,可以改变结构的振动模态。例如,在振动频率较高的区域增加质量,而在其他区域减少质量,可以改变结构的振动形态,减小振动幅度。分布优化可以通过在楼板上设置附加质量块或调整楼板的布置方式等方式实现。

### 4.4 综合考虑的减振设计方案

①结构刚度调整。通过调整结构的刚度,可以改变结构的固有频率和振动特性。例如,在振动频率较高的区域增加结构的刚度,可以降低该区域的振动幅度。刚度调整可以通过增加梁柱的截面尺寸、增加连接件的刚度或调整支撑系统等方式实现。

②阻尼措施应用。可以采用阻尼器、阻尼板、阻尼墙或阻尼涂层等阻尼措施,以吸收和耗散振动能量,减少结构的振动。

③质量调整 and 分布优化。通过调整楼板的质量分布,可以改变结构的固有频率和振动模态,从而减小振动幅度。

④结构动力分析和优化。通过进行结构的动力分析和优化计算,可以确定最佳的减振设计方案。这包括考虑结构的振动特性、质量调整的可行性和经济性等因素,以及综合考虑各种减振措施的效果和相互影响。

## 5 结语

在工业厂房楼板振动分析及减振设计中,通过合理的设计和优化,我们可以实现结构的减振目标,同时确保设计方案的可行性和经济性。可以为工业厂房楼板提供一个稳定、安全和舒适的工作环境,为工业生产和人员的健康提供保障。

### 参考文献

- [1] 徐浩轩.某工业厂房动力特性分析及减振加固方法研究[D].西安:西安建筑科技大学,2014.
- [2] 陈彬.多层工业厂结构动力性能诊断及加固研究[D].包头:内蒙古科技大学,2015.
- [3] 李毅,段元锋.多层工业厂房的振动测试及裂缝病害分析[J].振动与冲击,2010,29(6):199-206.