

# 工业厂房钢结构抗震优化设计策略探究

徐通

贵阳铝镁设计研究院，贵州贵阳，550000；

**摘要：**本文聚焦工业厂房钢结构抗震设计，深入剖析其影响因素、现存问题，针对性提出优化设计策略，并阐述实施保障措施。旨在提升工业厂房钢结构抗震性能，确保地震中厂房安全，减少经济损失与社会影响。

**关键词：**工业厂房；钢结构；抗震设计；优化策略

**DOI：**10.69979/3029-2727.25.04.017

## 引言

工业厂房作为工业生产核心场所，承载着大量生产设备与物资，其结构安全性对工业生产持续稳定至关重要。地震是极具破坏力的自然灾害，严重威胁工业厂房安全。钢结构因强度高、自重轻、施工便捷等优势，在工业厂房建设中广泛应用。但地震作用下，钢结构厂房也暴露出诸多抗震问题。深入研究工业厂房钢结构抗震优化设计策略，对保障工业生产、降低地震灾害损失意义深远。

## 1 工业厂房钢结构抗震设计基础理论

### 1.1 钢结构特点与优势

钢结构以钢材为主要材料，具有突出特性。钢材强度高，相同受力条件下，钢结构构件截面小，可有效增加厂房内部使用空间；自重轻，约为混凝土结构的三分之一，减轻基础负荷，降低基础建设成本；塑性和韧性良好，能在地震作用下发生较大变形而不突然断裂，吸收和耗散地震能量，保障结构安全；工厂化制作程度高，构件质量稳定，现场安装速度快，可缩短施工周期，减少建设投资。

### 1.2 地震作用原理及对钢结构影响

地震发生时，地壳运动产生地震波，通过地基传至建筑物。地震波使建筑物产生水平和竖向振动，引发惯性力。钢结构厂房在地震作用下，会产生应力和变形。水平地震作用常为控制因素，使钢结构框架产生侧向位移，导致梁柱构件弯曲、剪切变形；竖向地震作用虽相对较小，但对大跨度钢结构厂房影响不可忽视，可能使屋盖结构产生较大竖向位移，甚至引发破坏。此外，地震作用的反复性会

使钢结构材料性能劣化，降低结构承载能力<sup>[1]</sup>。

### 1.3 抗震设计基本原则与要求

工业厂房钢结构抗震设计遵循“小震不坏、中震可修、大震不倒”原则。小震作用下，结构应处于弹性阶段，不出现损坏；中震作用时，结构允许出现一定损伤，但经修复后可继续使用；大震作用下，结构应具备足够塑性变形能力和耗能能力，防止倒塌。设计需满足强度、刚度、延性要求。强度要求确保结构在地震作用下不发生破坏；刚度要求控制结构变形，避免因过大变形影响设备正常运行和结构安全；延性要求结构在地震作用下能产生较大塑性变形，耗散地震能量。同时，设计应注重结构规则性，避免出现平面和竖向不规则布置，减少地震作用下扭转效应和应力集中。

## 2 影响工业厂房钢结构抗震性能的因素分析

### 2.1 结构体系与布置

结构体系对厂房抗震性能起决定性作用。常见钢结构体系有框架结构、排架结构等。框架结构整体性好、空间布置灵活，但侧向刚度相对较小；排架结构侧向刚度较大，但在复杂地震作用下，节点受力复杂。结构布置不合理会导致地震作用下结构受力不均，如平面不规则会使结构产生扭转效应，竖向不规则会出现薄弱层，引发局部破坏。柱网布置疏密不均、纵横跨交接处处理不当等，都可能影响厂房抗震性能<sup>[2]</sup>。

### 2.2 材料性能与选择

钢材性能直接影响钢结构抗震性能。屈服强度、抗拉

强度、伸长率、冲击韧性等是关键指标。屈服强度决定构件承载能力，抗拉强度与屈服强度比值影响结构安全储备，伸长率反映钢材塑性变形能力，冲击韧性衡量钢材在冲击荷载下性能。若选用钢材质量不合格，如强度不足、韧性差，地震时构件易发生脆性破坏。不同类型钢材适用场景不同，应根据厂房实际受力特点合理选择。

## 2.3 连接节点设计

连接节点是钢结构传递内力关键部位，节点性能影响结构整体性和抗震性能。焊接节点刚性大、传力可靠，但焊接过程可能产生焊接缺陷，影响节点强度和韧性；螺栓连接安装方便、可拆卸，但螺栓松动、滑移会降低节点连接刚度。节点设计不合理，如节点构造形式不当、连接强度不足，地震时节点易先于构件破坏，导致结构整体性丧失。

## 2.4 施工质量与工艺

施工质量直接关系钢结构抗震性能。构件加工精度不足，如尺寸偏差大、平整度不符合要求，会影响构件安装和受力性能；焊接质量差，存在气孔、夹渣、裂纹等缺陷，降低节点承载能力；螺栓拧紧力矩不符合要求，导致螺栓松动，影响连接可靠性。此外，施工顺序不当，如先安装屋盖后安装柱子，会使结构在施工过程中受力状态异常，影响结构最终抗震性能。

## 3 工业厂房钢结构抗震设计现状与问题

### 3.1 设计标准与规范解读

我国已建立完善工业厂房钢结构抗震设计标准规范体系，如《建筑抗震设计规范》《钢结构设计标准》等。这些规范明确设计原则、方法和构造要求，但实际设计中，部分设计人员对规范理解不深入，执行不严格。规范中对不规则结构的设计要求，部分设计人员未充分重视，导致设计的厂房存在抗震隐患。

### 3.2 设计流程与方法分析

目前工业厂房钢结构设计流程一般包括方案设计、初步设计和施工图设计阶段。方案设计阶段，部分设计人员对结构选型和布置缺乏多方案比较分析，仅凭经验确定方案，未充分考虑厂房功能需求和抗震要求；初步设计阶段，

结构计算分析不够准确，对地震作用效应计算存在偏差，未合理考虑结构非线性行为；施工图设计阶段，构造设计细节不完善，节点设计未充分考虑施工可行性和抗震性能。

## 4 工业厂房钢结构抗震优化设计策略

### 4.1 结构体系优化设计

在工业厂房的建设中，依据厂房功能需求和地质条件合理选择结构体系是抗震设计的关键。对于层数较少、跨度较小的厂房，排架结构是较为理想的选择。其传力明确，在较小的空间尺度下能有效承受竖向和水平荷载，且造价相对较低。而对于层数较多、空间要求灵活的厂房，框架结构则更具优势，它能为内部设备布局和生产流程调整提供便利。

此外，采用钢框架—支撑结构、钢框架—偏心支撑结构等新型结构体系，可显著提升结构的侧向刚度和耗能能力。在结构构件布置方面，保证平面和竖向规则性至关重要。均匀对称的柱网布置，能极大地减少地震作用下的扭转效应，避免结构局部受力过大。竖向构件连续贯通，可防止竖向刚度突变，杜绝薄弱层的出现，从而全方位提升工业厂房钢结构的抗震性能<sup>[3]</sup>。

### 4.2 材料性能提升与应用

在工业厂房钢结构建设中，材料性能直接关系到抗震效果和结构安全，选用高质量钢材是关键环节。要严格把控钢材质量指标，其中屈强比和伸长率尤为重要。优先选用屈强比不大于 0.85、伸长率不小于 20% 的钢材，这类钢材在地震作用下，既能保证承载能力，又具备良好的塑性变形能力，可有效吸收和耗散地震能量。

采用高性能钢材，像高强度低合金钢材，其独特的合金成分赋予钢材更高强度，在不改变构件截面尺寸的前提下，显著提升承载能力和抗震性能，还能减轻结构自重。对于厂房中的重要构件，例如支撑主要设备或承受较大荷载的部分，采用耐火、耐候钢材十分必要。它们能增强结构在火灾、酸雨等恶劣环境下的耐久性，保障厂房在极端条件下依然维持稳定性能，延长厂房使用寿命。

### 4.3 连接节点优化设计

连接节点作为工业厂房钢结构中的关键部位，其性能优劣直接影响结构整体的抗震能力，因此对连接节点进行

优化设计十分必要。在构造形式上，通过改进设计提高节点延性与耗能能力，确保在地震作用下节点能有效分散和消耗能量，避免因局部破坏导致结构失稳<sup>[4]</sup>。

焊接工艺的选择对节点质量至关重要，二氧化碳气体保护焊具有焊接速度快、熔深大、变形小等优势，能有效减少焊接缺陷。焊后热处理则能消除焊接过程中产生的残余应力，提升节点性能。在螺栓连接方面，使用高强度螺栓，并合理规划数量和间距，保证连接强度。同时，设置双螺母、弹簧垫圈等可靠的防松措施，防止螺栓松动影响连接效果。此外，运用有限元分析技术对关键节点进行详细模拟，精确把握节点在不同工况下的受力状态，进而针对性地优化节点设计，全面提升节点的可靠性与稳定性。

#### 4.4 引入减震与隔震技术

在工业厂房钢结构设计中，引入减震与隔震技术是提升抗震性能的重要手段。减震技术主要通过在结构中设置阻尼器来实现，其中粘滞阻尼器依靠内部粘性流体的运动耗散地震能量，在地震发生时，能快速将结构的振动能量转化为热能散失，显著减小结构的地震反应，有效保护厂房主体结构。金属阻尼器不仅耗能性能出色，还具备良好的复位能力，在地震后能使结构迅速恢复到接近初始状态，减少后续修复成本<sup>[5]</sup>。

隔震技术则是在基础与上部结构间设置隔震层，像橡胶隔震垫和滑动隔震支座等。这些隔震装置可以延长结构的自振周期，让结构的振动频率避开地震的卓越频率，从而大幅减小地震作用向上部结构的传递。对于那些对地震作用敏感的厂房，如精密仪器生产厂房，微小的震动都可能影响仪器精度，隔震技术能为其提供稳定的运行环境，确保生产活动不受地震干扰。

#### 4.5 加强施工质量控制与管理

施工质量是工业厂房钢结构抗震性能的重要保障，加强施工质量控制与管理意义重大。首先要建立健全施工质量管理制度，明确各部门、各岗位在施工质量控制中的具体责任，形成全员参与、全过程管控的质量责任体系。

施工人员的专业技能和质量意识直接影响施工质量，因此需加强对施工人员的培训。培训内容涵盖钢结构施工工艺、质量标准、安全规范等，使施工人员熟练掌握施工技术，提高质量意识，从源头上保障施工质量。

在施工过程中，严格把控各个环节质量。对构件加工精度和安装质量进行严格管理，仔细检查构件尺寸、平整度，保证符合设计标准；采用超声波探伤、射线探伤等先进检测手段，对焊接质量进行全面检查，及时发现并处理焊接缺陷；利用扭矩扳手严格按照规范要求检查螺栓拧紧力矩，确保连接牢固可靠。同时，合理安排施工顺序，遵循先柱后梁、先下后上的原则，保证结构在施工过程中受力合理，避免因施工顺序不当造成结构安全隐患。

### 5 抗震优化设计策略的实施与保障

#### 5.1 实施步骤与流程

在项目前期规划阶段，充分考虑抗震优化设计要求，结合厂房功能、地质条件等确定优化设计目标。设计阶段，设计人员根据优化目标，采用上述优化设计策略进行设计，并通过结构计算分析和多方案比较，确定最终设计方案。施工阶段，施工单位按照设计文件和施工质量管理制度进行施工，加强质量控制；建设单位和监理单位加强监督检查，确保施工质量。竣工验收阶段，严格按照验收标准对厂房进行验收，对不符合抗震要求部分进行整改。

#### 5.2 责任主体与分工

建设单位作为项目业主，负责组织协调各方工作，确保抗震优化设计策略实施所需资金、技术等资源；监督设计、施工、监理单位履行职责，对项目质量负总责。设计单位承担抗震设计责任，应严格按照规范和优化设计策略进行设计，提供详细设计文件和技术交底；参与施工过程质量问题处理，确保设计意图实现。施工单位负责按照设计文件和施工规范进行施工，保证施工质量；加强施工过程质量控制，及时发现和解决施工中问题。监理单位对施工过程进行全程监理，监督施工单位施工质量、施工安全和施工进度；审查施工单位提交文件，对不符合要求部分要求整改。

#### 5.3 质量监督与检测

建立健全质量监督体系，加强政府部门对工业厂房建设项目建设质量监督。质量监督部门定期对施工现场进行检查，对发现的质量问题责令整改，依法进行处罚。采用先进检测技术对钢结构进行质量检测。在施工过程中，对钢材质量、焊接质量、螺栓连接质量进行检测；在竣工验收阶段，

对结构整体性能进行检测，如结构动力特性测试、抗震性能评估等。通过检测数据评估结构抗震性能，为结构优化和维护提供依据。

## 6 结论

工业厂房钢结构抗震设计关乎工业生产安全和社会经济稳定。本文通过对钢结构抗震设计基础理论、影响因素、现状问题分析，提出一系列优化设计策略，并阐述实施保障措施。在实际工程中，应综合考虑厂房功能需求、地质条件等因素，合理运用优化设计策略，加强各责任主体协作和质量监督检测，确保工业厂房钢结构具备良好抗震性能，有效抵御地震灾害，保障工业生产持续稳定。未来，随着材料科学、结构技术发展，工业厂房钢结构抗震设计将不断创新完善，为工业发展提供更坚实安全保障。

## 参考文献

- [1] 徐晨凯, 吴俊俊, 朱利娜. 钢结构连接抗震性能优化实验研究[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(02): 55-57.
- [2] 王书南, 周家玲, 朱丰博. 基于性能的钢结构抗震设计方法探究及优化建议[J]. 居舍, 2025, (03): 96-99.
- [3] 寇繁荣. 工业厂房建筑设计优化探讨[J]. 住宅与房地产, 2021, (16): 77-78.
- [4] 管致宇. 工业厂房建筑设计优化设计与施工[J]. 决策探索(中), 2020, (05): 47.
- [5] 朱勤. 工业厂房建筑设计优化探究[J]. 科技资讯, 2019, 17(32): 40+42.

作者简介：姓名：徐通，性别：男，民族：汉，出生日期：1991.11.16，籍贯：山东诸城，职称：中级职称，学历：硕士研究生，研究方向：结构设计。