

土木工程建筑钢结构的隔震减震优化设计

曹军岭

山西省安装集团股份有限公司 山西 太原 030032

摘要: 为提升土木工程建筑钢结构抗震减震性能、优化结构抗震设计方案,本文分析钢结构自身特性、地震动特性、隔震减震装置性能三大隔震减震效果影响因素,阐述隔震装置布设、减震耗能机制设计、结构分析方法等关键设计技术。围绕基于性能、多学科协同、智能化三个维度,探究钢结构隔震减震优化设计策略与方法,旨在提升钢结构建筑抗震稳定性,为相关工程隔震减震优化设计提供参考。

关键词: 土木工程建筑; 钢结构; 隔震减震; 优化设计

引言

钢结构凭借自重轻、强度高、延性好等优势,广泛应用于各类建筑工程中,但钢结构整体刚度偏弱,在地震作用下易产生振动变形,存在一定安全隐患。隔震减震技术是提升钢结构建筑抗震性能的关键手段。本文结合土木工程建筑钢结构工程特点,分析结构自身、地震动、隔震减震装置三类核心影响因素,探究隔震减震设计关键技术,从性能设计、多学科协同、智能化设计维度提出优化策略,为钢结构建筑隔震减震工程设计与应用提供参考。

1 影响钢结构隔震减震效果的因素分析

1.1 结构自身特性

(1) 结构形式: 不同钢结构形式的动力特性与抗震能力存在明显差异,框架结构延性表现良好,但整体侧向刚度偏弱,抵抗侧向地震作用的能力有限,框剪结构融合框架与剪力墙的结构优势,侧向刚度更大,整体抗震稳定性更强,实际隔震减震设计工作中,需结合建筑所用结构形式的实际参数,匹配对应的隔震装置与设计参数,保障减震效果。(2) 结构质量分布: 建筑钢结构的质量分布状态直接决定结构地震动力响应,质量分布失衡、局部荷载集中的情况,会让钢结构在地震荷载作用下产生明显扭转作用,加剧结构整体和局部构件的受损概率,因此隔震减震设计需优化整体布局,保证结构质量均匀分布,弱化扭转效应带来的不利影响。(3) 结构刚度与阻尼: 刚度和阻尼是调控钢结构减震性能的核心指标,结构刚度越高,地震作用下的形体变形量越小,但所承受的地震作用力会随之增大,阻尼系数更高的钢结构可有效耗散地震产生的能量,抑制结构振动幅度与振动时长,工程中可通过合理调控结构刚度、优化

阻尼参数,全面提升钢结构的隔震减震能力。

1.2 地震动特性

地震波频谱特性存在明显差异,不同类型地震波对建筑结构产生的作用效果各不相同。低频地震波主要作用于长周期结构,易引发这类结构产生明显动力响应,高频地震波则主要对短周期结构造成显著影响。基于这一特性,建筑隔震减震设计工作中,需结合场地地震波的实际频谱特征,匹配适配的隔震减震设备,同时合理确定各项设计参数,保障减震隔震体系的适配性^[1]。除频谱特性外,地震动的强度与持续时间是决定结构地震破坏程度的核心因素。地震动强度越高,建筑结构在地震作用下产生的形变、内部受力就越大,结构受损风险越高。当地震持续时间较长时,结构会处于反复受力的工作状态,长期循环荷载会加剧结构构件的疲劳损伤,逐步降低结构整体稳定性和承载能力,扩大地震造成的破坏效果。为此,开展隔震减震方案设计时,必须全面考量场地地震动的强度等级与持续时长两项关键指标,结合结构受力特点优化设计方案,有效规避地震荷载带来的安全隐患,保证建筑结构在各类地震工况下的整体安全与使用稳定性。

1.3 隔震减震装置性能

隔震支座作为建筑隔震体系的核心构件,整体使用性能直接决定结构隔震的实际成效,现阶段工程中常用的隔震支座主要包含橡胶隔震支座和摩擦摆隔震支座两类,两类支座的力学特性与适用场景存在明显差异。其中橡胶隔震支座的水平形变性能和复位性能表现突出,能够满足多数建筑水平隔震的基础需求,但自身竖向承载性能存在一定局限,不适用于竖向荷载较大的建筑结构。摩擦摆隔震支座的性能优势集中在竖向承载和地震

能量消耗方面, 竖向承载力更强, 耗能效果更为稳定, 可适配大荷载、高抗震需求的建筑工程。减震装置主要作用是通过耗散地震产生的动能, 降低建筑结构的震动幅度, 削弱地震对建筑的破坏作用, 工程应用主流装置为金属阻尼器与黏滞阻尼器。金属阻尼器依靠金属材料塑性变形的原理消耗地震能量, 设备运行稳定性高, 耗能性能持久可靠。黏滞阻尼器依托内部黏滞流体的流动摩擦完成能量消耗, 对高频地震波动的抑制效果更为显著, 可有效应对高频地震带来的结构震动问题, 两类阻尼器可根据建筑抗震设计需求针对性选用。

2 隔震减震设计关键技术

2.1 隔震装置的选择与布置

隔震装置的选型与布置是钢结构隔震减震设计的核心环节, 设计过程中需结合建筑结构自身特性、场地地震动态参数以及建筑实际使用需求等多项条件综合确定^[2]。在装置选型方面, 不同高度的钢结构建筑适配的隔震支座类型存在明显差异, 高层钢结构建筑对支座的竖向承载力和水平变形性能要求更高, 工程中多选用橡胶隔震支座或摩擦摆隔震支座, 以此满足高层建筑的受力与变形需求, 低层钢结构建筑工况相对简单, 可结合项目实际场地条件、结构荷载情况选用适配的隔震支座产品。在支座布置层面, 为有效规避地震作用下结构产生的扭转振动影响, 布置作业需严格把控结构质心与隔震层刚度中心的重合度, 最大程度降低扭转效应带来的结构损伤。常规规整结构需将隔震支座均匀布设至结构底部, 保障地震荷载传递过程均匀稳定, 避免局部受力集中。针对平面、竖向布置不规则的特殊钢结构建筑, 不能采用统一的布置模式, 需先通过结构动力特性分析, 明确结构的振动规律与受力薄弱部位, 再针对性调整支座布置位置与数量, 优化隔震层整体刚度分布, 切实提升不规则钢结构建筑的整体隔震减震效果, 保障建筑结构在地震工况下的安全性与稳定性。

2.2 减震耗能机制的设计

减震耗能机制设计主要包含装置布设位置确定与结构参数优化两项核心内容, 所有设计工作均依托结构动力特性测算数据与地震响应分析结果开展。减震装置的布设位置直接决定结构整体减震效果, 实际工程中需优先选择建筑结构层间位移、构件内力数值偏大的关键部位进行安装, 以此最大化装置的耗能减震作用, 适配不同建筑结构的受力特点。针对常规框架结构, 减震装置多布置于框架梁柱连接节点位置; 针对框架剪力墙结构, 装置主要安装在剪力墙底部或中部区域。在减震装置参数设计方面, 核心设计参数包含阻尼系数与刚度

系数, 两项参数需结合结构减震设计目标和地震响应模拟分析结果迭代优化。装置阻尼系数与耗能能力呈正相关, 阻尼系数取值越大, 装置吸收、消耗地震能量的能力越强, 但盲目增大阻尼系数会改变结构原有受力和变形特性, 对建筑日常使用功能造成不利影响。因此实际参数设计过程中, 需统筹兼顾抗震减震成效与建筑正常使用要求, 平衡各项参数取值, 保障结构抗震安全性与日常使用稳定性。

2.3 结构分析与设计方法

建筑钢结构隔震减震设计工作中, 需选用适配的动力分析方式, 精准测算结构在地震荷载作用下的各项响应, 保障结构抗震设计的合理性与安全性。现阶段工程应用中主流的动力分析方式包含时程分析法和反应谱分析法两类, 两种方法的应用特点和适用场景存在明显差异^[3]。其中时程分析法可有效贴合地震动随时间变化的实际特征, 完整计算出结构在地震全过程中的动态响应数据, 能够真实还原结构的地震受力状态, 但该分析方式运算流程烦琐, 整体计算工作量偏大, 对设备算力和计算时长有一定要求。反应谱分析法的计算流程相对简单高效, 实操性更强, 能够快速完成结构地震响应计算, 不过该方法存在一定局限性, 无法兼顾地震动的时变特性, 计算结果存在一定的理想化偏差。实际工程设计过程中, 工作人员需结合项目结构形式、场地条件、抗震等级要求等实际工况, 灵活选取对应的动力分析方法, 也可结合多种方法开展综合分析。同时, 钢结构隔震减震设计工作必须严格依从国内外现行的各类建筑隔震抗震相关设计准则, 现有行业准则针对隔震减震构件的性能指标、核心设计流程、现场施工要求及竣工验收标准等关键环节, 均制定了细化、明确的执行要求, 是开展结构设计、施工核验工作的核心依据, 设计人员需全程遵照相关要求开展作业, 保障钢结构隔震减震工程的整体质量与抗震性能达标。

3 隔震减震优化设计策略与方法

3.1 基于性能的优化设计

基于性能的隔震减震优化设计以建筑结构实际服役条件为核心依据, 确定结构性能标准, 依托对应算法完成结构参数的系统化优化工作。设计开展前, 需结合建筑使用功能、工程重要等级、场地地震风险等实际工程工况, 制定贴合具体项目的结构性能目标, 摒弃传统通用化设计模式, 结合工程实际划分梯度化结构性能等级, 涵盖结构正常使用、震后修复、强震不倒三个核心层级, 为隔震减震优化设计确立统一基准标准。性能目标确定后, 整体设计采用多目标优化思路, 突破单一隔

震减震效果的设计局限,统筹兼顾结构整体抗震性能、工程造价、施工实施难度等关键控制要素,整合各类影响因素构建完善的隔震结构优化计算模型。通过专业优化算法对隔震、减震装置的核心参数进行反复迭代调整与参数调试,从多维度修正结构参数,同步完成结构整体性能校核,保证新建及改造建筑结构均可满足预设性能指标要求。该设计模式可有效平衡结构抗震安全、工程建设成本与现场施工可行性,弥补传统统一设计模式适配性差、针对性不足的缺陷,实现隔震减震结构综合性能最大化,能够适配不同场地条件、不同使用功能建筑的抗震设计与改造需求,提升隔震减震结构设计的科学性与实用性。

3.2 多学科协同优化设计

建筑钢结构隔震减震优化设计具备较强的综合性,无法依靠单一学科独立完成,其设计过程涵盖结构工程、地震工程、材料科学等多个专业领域,各学科的技术参数与设计逻辑均对钢结构隔震减震体系的最终设计效果产生直接影响^[4]。多学科协同优化设计模式可整合各相关学科的专业知识与实操技术,统筹各领域核心影响因素,突破单一学科设计的局限,综合研判各类参数对隔震减震结构设计、施工及使用阶段的影响,完善设计逻辑,提升建筑钢结构隔震减震设计方案的可行性与规范性。多学科协同优化设计的落地需要依托专属的多学科协同优化工作平台,该平台是开展跨学科协同设计的核心基础。平台需配备数据共享、模型集成、优化算法调用等核心功能,破除各学科设计工作中数据割裂、模型独立、技术脱节的行业问题。借助平台功能,各专业设计人员可同步推进设计作业,实时完成信息交互与工作对接,统一各环节设计标准,缩减跨学科设计沟通与调整的周期,提升整体工作效率,保障建筑钢结构隔震减震优化设计各项工作标准化、精准化、有序化推进,切实保障结构设计的质量与应用效果。

3.3 智能化优化设计方法

在建筑钢结构隔震减震设计领域,智能化优化设计方法已逐步成为核心技术手段,主要依托人工智能技术与大数据分析技术开展设计优化工作。现阶段人工智能相关技术日趋成熟,逐步落地应用于钢结构隔震减震的

参数设计与优化工作中,行业内常用的神经网络、遗传算法等技术,可针对性完成隔震、减震装置各项核心参数的迭代筛选与优化调整。相较于传统人工设计与常规优化方式,这类智能技术能够规避人工计算与经验设计带来的误差,大幅提升钢结构隔震减震体系参数优化的整体效率,同时有效提升设计结果的精准度与适配性,贴合不同建筑钢结构的抗震设计需求。与此同时,大数据分析数据挖掘技术为智能化设计提供了坚实的数据基础,建筑钢结构隔震减震设计工作需要依托海量真实数据支撑,通过系统整理、分析各类实测地震数据、结构抗震试验数据以及各类实际工程项目的工程数据,能够精准掌握不同场景下地震动的各项特性参数,清晰梳理钢结构建筑在地震作用下的受力特点与抗震性能规律^[5]。基于研究成果能为钢结构隔震减震方案优化、参数调整、方案决策提供真实可靠的数据支撑,弥补传统设计中数据参考不足、经验主导的短板,全面提升建筑钢结构隔震减震优化设计的科学性与实用性。

结语

综上所述,钢结构隔震减震效果受结构自身特性、地震动特性、隔震减震装置性能多重因素共同影响。合理选用隔震减震装置、优化布置方式,搭配科学的耗能机制与结构分析方法,可有效提升钢结构抗震性能。依托性能化设计、多学科协同及智能化技术开展优化设计,能够解决传统设计的局限性。多措并举可有效优化钢结构隔震减震体系,提升建筑抗震稳定性,满足各类钢结构建筑的抗震服役需求。

参考文献

- [1] 刘柒杉. 针对土木工程建筑钢结构的隔震减震优化设计[J]. 中国建筑金属结构,2026,25(9):49-51.
- [2] 李娟. 钢结构公共民用建筑抗震性能提升研究[J]. 中国建筑装饰装修,2024(23):122-124.
- [3] 王冠霖. 钢结构厂房抗震设计优化策略与实践研究[J]. 现代工程项目管理,2025,4(23):37.
- [4] 王润泽. 基于性能的钢结构减震设计方法研究[J]. 河南科技,2023,42(3):40-44.
- [5] 午首超. 基于防屈曲支撑的高层钢结构减震性能分析[J]. 砖瓦,2026(3):55-57,61.