

高层钢结构建筑抗震加固技术及应用研究

刘显奎

江西务实建设管理有限公司 江西 九江 322100

摘要：高层钢结构凭借自重轻、延展性强的优势广泛应用于现代建筑工程，但其刚度偏弱、受力复杂的结构特性，使其在地震荷载作用下易产生各类结构性病害。文章系统分析高层钢结构的抗震受力规律与病害诱发机制，梳理传统抗震技术在高层建筑应用中的各类短板，结合结构受力特征从构件、节点、整体体系多维度优化抗震加固技术框架，搭配适配不同损伤类型的应用方案与施工质控要点，完善高层钢结构抗震加固的整套技术体系，有效改善建筑结构的抗震适配能力与服役稳定性。

关键词：高层钢结构；抗震性能；结构病害；加固技术；施工优化

引言：城市化建设进程的推进，推动高层钢结构建筑的应用规模持续扩大，这类建筑独特的结构形式与力学特征，使其抗震安全问题成为建筑工程领域的关注重点。地震荷载引发的结构形变、构件损伤与节点破损，会持续削弱高层建筑的结构稳定性，影响建筑长期安全服役状态。传统抗震加固技术多适配常规建筑结构，难以匹配高层钢结构复杂的动力响应与受力特点，存在适配性不足、加固效果片面等问题。依托结构病害成因优化加固技术体系，规范施工应用流程，是提升高层钢结构抗震能力的重要途径。

1 高层钢结构建筑抗震受力特征与病害成因

1.1 高层钢结构建筑结构体系特点

高层钢结构建筑多以框架、框架支撑、筒体等结构体系为主体承载形式，整体自重偏轻，竖向荷载传递路径清晰。钢材材质具备均匀性与弹性变形能力，为高层建筑竖向延伸提供基础支撑，结构空间布局灵活，可适配多样化的建筑功能与立面造型。构件多采用工厂预制、现场拼接的施工模式，杆件截面规整，整体结构延展性较强。高层钢结构竖向高度大、高宽比数值偏高，整体结构刚度相对偏弱，水平荷载作用下的结构反应更为敏感^[1]。建筑内部杆件连接密集，整体结构冗余度分布不均，竖向与侧向的力学性能存在明显差异，这类结构属性构成高层钢结构独有的力学基础特质。

1.2 高层钢结构抗震受力与变形机理

地震荷载作用下，高层钢结构会承受往复式水平动力作用，结构整体产生侧向位移与层间变形。低层结构以剪切变形为主，上部结构则以弯曲变形为主要表现形式，不同楼层的变形状态呈现分层差异。钢材在弹性阶段可通过自身形变消耗少量动力荷载，应力处于均匀分布状态。动力荷载持续作用后，结构局部应力会出现集

中现象，构件形变进入塑性发展阶段。结构楼层位移逐层累加，会催生整体扭转效应。竖向构件与水平构件的受力状态持续变化，节点位置承受复杂的拉压、剪切复合作用力，结构整体形变呈现由局部向整体扩散的发展规律。

1.3 地震作用下钢结构常见损伤与病害类型

地震动力扰动会引发高层钢结构多种结构性损伤，构件与节点部位为病害高发区域。钢梁构件易出现局部屈曲、翼缘形变、腹板褶皱等形变问题，钢柱会产生侧弯、扭曲及局部塑性变形。结构节点位置易出现焊缝开裂、螺栓松动、连接件形变损伤，破坏结构连接的整体性。支撑构件会发生屈曲失稳、杆件偏移等病害，削弱结构侧向抵抗能力。楼板与钢结构衔接位置易产生开裂、脱开等破损，破坏结构整体协同工作状态。反复动力作用还会造成构件疲劳损伤，隐性裂纹逐步发育扩张，持续影响结构力学性能。

1.4 钢结构抗震薄弱环节及病害形成诱因

高层钢结构抗震薄弱区域集中在结构节点、支撑体系、楼层转换部位及结构竖向突变区域。节点区域应力集中效应显著，复杂复合受力状态易突破构件承载极限，引发结构性损伤。支撑体系杆件长细比偏大，稳定性偏弱，动力荷载作用下极易发生失稳破坏。建筑竖向刚度不均匀、楼层质量分布不对称，会加剧结构扭转振动，放大局部构件受力负荷。钢材长期承受往复动力荷载，塑性变形不断累积。结构设计阶段的刚度布局缺陷、施工阶段的构件安装偏差、连接工艺缺陷，都会逐步转化为结构病害隐患，在地震作用下集中显现。

2 高层钢结构传统抗震技术及存在问题

2.1 传统钢结构抗震构造形式与技术体系

传统高层钢结构抗震设计依托主体结构构造布局建

立完整防护体系,核心围绕结构自身承载与抗侧能力展开搭建。常见抗震构造包含刚性梁柱连接、中心支撑、偏心支撑等基础形式,通过强化构件截面规格提升结构侧向抗力。结构抗震体系依靠主体钢结构自身刚度与延展性抵御地震动力荷载,依托构件塑性形变吸收外部能量。传统技术框架以结构本体强化为核心方向,配套基础节点加固、构件补强、支撑增设等基础工艺,形成固定的抗震施工体系。

2.2 常规抗震技术的技术特点与适用范围

常规钢结构抗震技术以结构刚性强化为主要特征,通过增大构件截面、加密支撑结构、优化连接构造提升结构整体稳定性^[2]。技术施工流程标准化程度高,施工工艺操作简单,对施工设备与场地条件要求较低。这类技术可以有效提升结构静态承载能力,改善结构基础抗侧性能。应用场景集中在多层钢结构、结构布局规整、刚度分布均匀的常规建筑。技术发挥作用依赖结构自身构件耗能,通过结构局部形变抵消外部动力荷载。对于结构形态规整、受力模式简单、楼层高度较低的钢结构建筑,能够满足基础抗震防护的施工要求。

2.3 传统抗震技术在高层建筑中的适配缺陷

高层钢结构建筑高度跨度大,受力模式与形变规律更为复杂,传统抗震技术表现出明显适配不足。刚性强化的改造方式会大幅增加结构自重,改变高层结构原有刚度分布,引发结构受力重新分配。单一的构件补强方式无法改善高层结构整体扭转效应,难以应对楼层累积形变问题。传统技术侧重静态结构加固,对地震往复动力荷载的抵抗能力有限。高层结构存在大量竖向刚度突变、空间受力复杂的区域,标准化的传统施工工艺无法针对性处理局部受力缺陷,难以适配高层钢结构特殊的动力响应特征。

2.4 既有钢结构抗震加固工作的常见技术短板

既有高层钢结构抗震加固施工中,传统技术存在多项难以规避的应用短板。加固施工多采取单一刚性补强手段,加固形式较为单一,无法兼顾结构刚度与延展性的平衡调控。加固施工会对原有结构构件造成二次扰动,破坏原有结构受力平衡。老旧钢结构构件老化、锈蚀、形变等问题并存,传统加固工艺无法精准匹配受损构件的修复需求。常规加固技术侧重局部构件改造,缺乏对建筑整体抗震体系的统筹优化,局部加固后易出现结构受力不均、薄弱区域转移等问题,大幅降低高层钢结构长期抗震储备能力。

3 高层钢结构建筑抗震加固优化技术体系

3.1 抗震加固技术的优化设计思路

高层钢结构抗震加固优化摒弃单一刚性补强的老旧思路,以结构动力响应特征为核心出发点搭建全新技术框架。优化设计围绕刚度协调、形变可控、耗能提升三个核心方向展开,兼顾结构局部构件强度与整体稳定性。结合高层钢结构竖向受力不均、层间形变累积、扭转效应明显的结构特点,针对性调整加固设计方案。弱化传统加固模式过度提升结构刚度的设计理念,注重结构延性与耗能能力的平衡提升^[3]。结合不同构件、节点、结构体系的受力短板,划分差异化加固改造区域。以改善结构动力适应能力为核心目标,解决传统技术适配性弱、改造局限性强的固有问题,构建适配高层钢结构复杂受力状态的加固体系。

3.2 构件层面抗震加固技术优化

构件是高层钢结构承载受力的基础单元,构件加固优化聚焦形变控制与稳定提升。针对钢梁屈曲、塑性变形等问题,改良截面补强工艺,采用局部加厚、增设加劲肋等方式提升构件截面稳定性,限制构件非正常形变。针对钢柱侧弯、失稳等病害,优化外围包裹加固方式,提升竖向构件抗压与抗侧能力。优化后的加固工艺可以缓解局部应力集中现象,提升构件塑性耗能上限。有效解决传统构件加固刚度冗余、受力失衡的问题,提升单一构件在动力荷载作用下的稳定性能。

3.3 节点连接抗震加固技术优化

钢结构节点是传递内力、抵抗形变的关键部位,节点加固优化重点解决连接薄弱、应力集中的问题。针对传统焊缝开裂、连接件松动等缺陷,优化节点焊接与螺栓连接工艺,升级节点构造形式。对梁柱节点、支撑连接节点等关键部位,增设补强板、约束构件,提升节点区域的整体承载能力。调整节点构造刚度配比,弱化节点位置的应力聚集程度,让内力传递更加均匀有序。改进老旧节点加固的单一施工形式,根据节点受力类型区分加固工艺,适配拉伸、剪切、扭转等复杂受力工况,提升节点在往复动力荷载下的耐久性能与稳定性能。

3.4 整体结构抗震体系补强优化方法

整体结构优化立足于建筑全局受力体系,突破传统局部加固的片面性问题。通过增设耗能构件、优化支撑布局的方式,调整高层钢结构整体刚度分布,弱化结构扭转振动带来的不利影响。均衡竖向各楼层的刚度与质量分布,减少竖向刚度突变产生的薄弱层。引入柔性耗能补强方式,替代部分纯刚性加固手段,提升结构整体耗能储备。统筹协调构件、节点与支撑体系的力学性能,理顺整体结构的荷载传递路径。弥补传统加固只改局部、不顾整体的技术缺陷,让高层钢结构整体抗震适

配能力得到系统性提升。

4 高层钢结构抗震加固技术的应用方式与实施要点

4.1 不同结构损伤类型的加固技术适配选择

高层钢结构在服役阶段产生的损伤类型具备明显差异,不同损伤形态对应专属的加固处置方式。构件屈曲、截面形变类损伤,优先选用截面补强、加劲构件增设的处理手段,恢复构件原有承载性能。连接部位开裂、松动类损伤,可更换高性能连接件或重构节点焊接构造,修复结构传力通道。支撑体系失稳、刚度衰减类损伤,通过更换支撑杆件、调整支撑布置形式改善结构抗侧性能。结构整体刚度不均、扭转效应偏大的损伤问题,采用增设耗能构件、优化结构布局的方式调整整体受力状态^[4]。依托损伤成因与破损程度筛选适配技术,杜绝统一化加固方式带来的改造不彻底、性能提升不足等问题。

4.2 高层钢结构抗震加固施工工艺要点

高层钢结构加固施工受建筑高度、空间布局、原有结构状态的多重限制,施工工艺需要贴合高层作业特性。构件补强施工前,对原有结构表面锈蚀、磨损部位做预处理,清理结构表层缺陷,保障加固材料贴合有效性。节点改造施工把控焊接温度、螺栓紧固力度等关键参数,规避施工操作不当引发的二次结构损伤。耗能构件与新增支撑安装过程中,精准控制构件安装精度,保证结构传力路径通畅。高空作业环节细化施工操作细节,减少对未损伤结构的扰动,维持建筑原有结构稳定性。

4.3 加固施工工序与施工组织优化

合理的施工组织是保障高层钢结构加固作业有序推进的基础,需摒弃无序施工的传统模式。结合结构损伤分布位置与构件受力优先级,科学排布施工先后顺序,优先处理核心受力构件与重度损伤区域。拆分整体施工内容为模块化作业单元,划分楼层、结构构件、节点区域等施工板块,分步开展改造作业。统筹调配施工人员、设备与作业空间,化解高空施工场地受限、多工序交叉干扰的问题。调整传统固化施工流程,删减重复作

业环节,依据现场结构状态灵活微调施工步骤,提升整体施工推进效率。

4.4 抗震加固施工过程的质量控制要点

抗震加固施工质量控制贯穿改造作业全流程,聚焦施工细节与工艺标准落实。施工前期核对加固方案参数,确认构件改造规格、工艺选用形式符合结构改造需求。施工中期对每一道工序开展过程管控,核查构件安装精度、焊接施工质量、连接构造密实度等关键内容。重点把控高空隐蔽施工环节的质量管控,避免隐蔽工序出现工艺缺陷。施工后期开展专项施工检查,排查加固部位的施工瑕疵,及时处置各类施工隐患。标准化的过程管控模式,能够规范现场施工行为,保障加固改造后的钢结构达到预设抗震性能标准。

结束语

高层钢结构的抗震加固是一个多维度协同的系统工程,从构件局部性能补强到节点传力路径优化,再到整体结构体系的刚度均衡调整,每一个环节的技术落地都直接关联建筑全生命周期的服役安全。这套跳出单一刚性补强思路的加固技术框架,通过刚度协调、形变可控、耗能提升的核心设计逻辑,可有效适配高层钢结构复杂的动力响应特征,补足传统加固手段的应用短板,为同类在役高层钢结构的抗震性能升级提供清晰可落地的实操路径。

参考文献

- [1]龙露,张恒.钢结构高层建筑抗震加固技术研究与应用分析[J].工程技术研究,2025,10(2):95-97.
- [2]周晓娟,吕李华.高层建筑加固用轻质钢结构连接节点极限承载力研究[J].兵器材料科学与工程,2025,48(6):140-145.
- [3]谷军明.钢结构建筑抗震设计研究[J].四川水泥,2023,(06):110-112+115.
- [4]符静,陈淑静.CFRP加固高层建筑钢结构抗震性能试验研究[J].兵器材料科学与工程,2025,48(6):122-127.