

基于抗震性能的高层建筑钢结构节点优化设计研究

易舜

赣州市赣县区方振工程检测有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i7.8183

[摘要] 随着城市化进程加快,高层建筑日益增多,钢结构以其轻质高强等优势成为高层建筑的重要结构形式。然而,在地震作用下,钢结构节点易出现破坏,严重影响建筑整体抗震性能。本文基于抗震性能需求,深入分析高层建筑钢结构节点在地震中的常见破坏形式及原因,结合理论分析、数值模拟与实验研究,从节点连接形式、构造措施、材料选用等方面提出针对性的优化设计策略,并通过实际工程案例验证优化设计的有效性。旨在为高层建筑钢结构节点抗震设计提供参考,提升建筑在地震灾害中的安全性与可靠性。

[关键词] 高层建筑; 钢结构; 节点; 抗震性能; 优化设计

Research on optimization design of steel structure nodes in high-rise buildings based on seismic performance

Yi Shun

Ganzhou County Fangzhen Engineering Testing Co., LTD.

[Abstract] As urbanization accelerates, the number of high-rise buildings is increasing. Steel structures, known for their lightweight and high strength, have become a crucial structural form in high-rise buildings. However, under seismic forces, steel structure nodes are prone to failure, significantly impacting the building's overall seismic performance. This paper, based on seismic performance requirements, analyzes the common failure modes and causes of steel structure nodes in high-rise buildings during earthquakes. It combines theoretical analysis, numerical simulation, and experimental research to propose targeted optimization design strategies for node connection forms, construction measures, and material selection. The effectiveness of these optimization designs is verified through practical engineering cases. The aim is to provide a reference for the seismic design of steel structure nodes in high-rise buildings, enhancing the safety and reliability of buildings during earthquakes.

[Key words] high-rise building; steel structure; node; seismic performance; optimization design

一、引言

1.1 研究背景

近年来,我国城市化建设步伐不断加快,城市土地资源愈发紧张,高层建筑成为满足城市空间需求的重要建筑形式。钢结构凭借自重轻、强度高、施工速度快、可回收利用等诸多优点,在高层建筑领域得到了广泛应用。然而,地震作为一种极

具破坏力的自然灾害,严重威胁着高层建筑的安全。在地震作用下,钢结构建筑的节点区域由于应力集中等因素,往往成为结构破坏的薄弱环节。一旦节点发生破坏,不仅会导致结构局部失效,还可能引发整体结构的倒塌,造成重大的人员伤亡和财产损失。因此,开展基于抗震性能的高层建筑钢结构节点优化设计研究,具有重要的现实意义。

1.2 研究目的与意义

本研究旨在深入探讨高层建筑钢结构节点在地震作用下的力学性能和破坏机理，分析现有节点设计存在的问题，提出切实可行的优化设计方法，提高钢结构节点的抗震能力，从而增强高层建筑钢结构的整体抗震性能和安全性。研究成果不仅能够为高层建筑钢结构的设计提供理论依据和技术支持，有助于推动钢结构在高层建筑领域的进一步发展和应用，还能为地震灾害预防和建筑安全保障提供重要参考，减少地震对建筑造成的破坏，降低地震灾害带来的损失。

二、高层建筑钢结构节点抗震性能研究现状

2.1 国内外研究进展

在国外，自 20 世纪中叶起，众多学者和科研机构就开始对钢结构节点抗震性能展开研究。美国、日本等地震多发国家，通过大量的理论分析、实验研究和数值模拟，积累了丰富的研究成果，并制定了一系列较为完善的钢结构设计规范和标准，对钢结构节点的抗震设计提出了明确要求。例如，美国 AISC 规范和日本 JASS 规范，都对钢结构节点的构造形式、连接方式、承载力计算等方面进行了详细规定。

在国内，随着钢结构建筑的不断发展，对钢结构节点抗震性能的研究也日益受到重视。近年来，我国学者在钢结构节点抗震性能研究方面取得了显著成果，在节点破坏机理、抗震性能评估方法、新型节点形式研发等方面开展了大量研究工作。然而，与国外先进水平相比，我国在高层建筑钢结构节点抗震设计的理论和实践方面仍存在一定差距，需要进一步深入研究和探索。

2.2 现有研究存在的不足

目前，虽然针对高层建筑钢结构节点抗震性能的研究取得了不少成果，但仍存在一些不足之处。一方面，现有的研究大多集中在单一类型节点的抗震性能分析，对于复杂节点以及节点与构件相互作用的研究相对较少，难以全面反映实际工程中节点的受力性能。另一方面，在节点优化设计方面，缺乏系统性和综合性的研究，往往只注重节点某个方面性能的提升，而忽略了其他因素的影响，导致优化设计的效果不够理想。此外，研究成果在实际工程中的应用推广也存在一定困难，需要进一步加强理论与实践的结合。

三、高层建筑钢结构节点地震破坏形式及原因分析

3.1 常见破坏形式

在地震作用下，高层建筑钢结构节点常见的破坏形式主要包括焊缝破坏、螺栓连接破坏、梁柱节点域破坏以及节点板屈服破坏等。焊缝破坏通常表现为焊缝开裂、脱焊等现象，这主要是由于焊缝质量不高、焊接工艺不合理以及在地震反复荷载作用下焊缝疲劳损伤累积所致；螺栓连接破坏可能出现螺栓松

动、剪断等情况，其原因包括螺栓预紧力不足、螺栓材质不符合要求以及节点受力不均匀等；梁柱节点域破坏表现为节点域钢板屈服、剪切变形过大，主要是因为节点域的抗剪承载力不足；节点板屈服破坏则是由于节点板的厚度不足、约束条件不合理，在复杂应力状态下发生局部屈服。



图1 常见破坏形式

3.2 破坏原因分析

从材料方面来看，钢材的质量和性能直接影响节点的抗震性能。如果钢材的强度、韧性等指标不满足要求，在地震作用下容易发生脆性破坏。在设计方面，节点构造形式不合理、连接方式选择不当、计算模型不准确等问题，都会导致节点在受力时出现应力集中、变形不协调等情况，降低节点的抗震能力。施工过程中，焊接质量不达标、螺栓安装不符合规范、构件加工精度不足等问题，也会对节点的抗震性能产生负面影响。此外，地震动的不确定性，如地震波的频谱特性、峰值加速度等，也会对节点的破坏形式和程度产生重要影响。

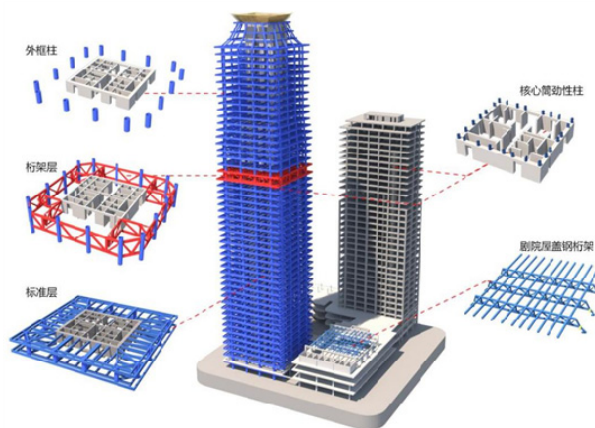


图2 节点连接形式优化

四、高层建筑钢结构节点优化设计策略

4.1 节点连接形式优化

合理选择节点连接形式是提高节点抗震性能的关键。对于梁柱节点，可采用全焊接节点、螺栓连接节点或栓焊混合节点等形式。全焊接节点具有较高的连接强度和刚度，但对焊接工艺要求较高；螺栓连接节点安装方便、施工速度快，且具有一

定的延性，但承载力相对较低；栓焊混合节点结合了两者的优点，在实际工程中得到了广泛应用。在选择连接形式时，应根据建筑的使用功能、受力特点、施工条件等因素综合考虑。例如，对于重要的结构部位和承受较大荷载的节点，可优先采用全焊接节点；对于需要频繁拆卸和安装的部位，宜采用螺栓连接节点。

4.2 构造措施优化

优化节点的构造措施能够有效改善节点的受力性能和抗震能力。在梁柱节点域，可通过增设加劲肋、加厚节点域钢板等方式提高节点域的抗剪承载力；在梁端设置狗骨式削弱或加盖板等构造措施，能够有效避免梁端焊缝处出现脆性破坏，使塑性较外移，提高节点的延性。对于螺栓连接节点，合理设置螺栓间距和边距，采用高强度螺栓并保证足够的预紧力，能够增强螺栓连接的可靠性。此外，还应注意节点构造的合理性和施工可行性，避免因构造过于复杂而影响施工质量和进度。

4.3 材料选用优化

选用合适的钢材是保证节点抗震性能的基础。应根据建筑的抗震设防要求、结构类型和节点受力特点，选择具有良好力学性能和可焊性的钢材。对于重要节点，宜选用高强度、高韧性的钢材，以提高节点的承载力和延性。同时，要严格控制钢材的质量，确保钢材的化学成分和力学性能符合相关标准要求。在焊接材料的选择上，应保证焊接材料与母材的匹配性，以确保焊接接头的质量和性能。

4.4 基于数值模拟的优化设计

利用有限元分析软件进行数值模拟，能够对节点在地震作用下的力学性能进行全面、深入的分析。通过建立节点的有限元模型，模拟不同工况下节点的应力、应变分布情况，找出节点的薄弱部位和潜在破坏模式，为节点优化设计提供依据。在数值模拟过程中，可以对节点的连接形式、构造尺寸、材料参数等进行多方案对比分析，从而确定最优的设计方案。同时，数值模拟还可以用于验证优化设计方案的可行性和有效性，减少实验成本和时间。

五、实验研究与案例分析

5.1 实验研究

为验证优化设计策略的有效性，开展了高层建筑钢结构节点抗震性能实验研究。选取典型的梁柱节点，按照优化设计方案制作试件，并设置对比试件。实验采用拟静力加载方法，模拟地震作用下节点的受力过程，通过测量节点的位移、应变、荷载等参数，分析节点的承载力、延性、耗能能力等抗震性能指标。实验结果表明，优化后的节点在承载力、延性和耗能能力等方面均明显优于未优化节点，验证了优化设计策略的合理性和有效性。

5.2 案例分析

以某实际高层建筑钢结构工程为例，对优化设计策略在工程中的应用效果进行分析。该工程在设计阶段采用了上述优化设计方法，对钢结构节点进行了优化设计。在施工过程中，严格按照设计要求进行节点施工，确保施工质量。工程竣工后，通过对该建筑进行动力特性测试和抗震性能评估，结果表明，该建筑钢结构节点的抗震性能满足设计要求，在模拟地震作用下，节点未出现明显的破坏现象，整体结构具有良好的抗震性能，进一步验证了优化设计策略在实际工程中的可行性和实用性。

六、结论与展望

6.1 研究结论

本研究通过对高层建筑钢结构节点抗震性能的研究，深入分析了节点在地震作用下的破坏形式及原因，提出了一系列基于抗震性能优化的节点优化设计策略，并通过实验研究和实际工程案例验证了这些策略的有效性。研究表明，合理选择节点连接形式、优化构造措施、选用合适的材料以及利用数值模拟进行优化设计，能够显著提高高层建筑钢结构节点的抗震性能，增强建筑结构的整体安全性和可靠性。

6.2 研究展望

尽管本研究在高层建筑钢结构节点优化设计方面取得了一定成果，但仍有许多问题值得进一步深入研究。未来的研究可以在以下几个方面展开：一是加强对复杂节点以及节点与构件相互作用的研究，建立更加准确的力学模型；二是开展新型节点形式的研发，探索具有更高抗震性能和施工便利性的节点连接方式；三是进一步加强理论研究与实际工程的结合，提高研究成果的应用推广价值；四是考虑地震动的不确定性和结构的非线性因素，对节点抗震性能进行更加精细化的分析和评估。

[参考文献]

- [1]王海龙.高层建筑结构体系中抗震性能研究与优化[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(15):190-192.DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202415064.
- [2]许宁.超限高层建筑基于性能的抗震设计方法[J].产业创新研究,2024,(02):118-120.
- [3]雷鸣,尹思阳,王德玲,等.基于静力推覆分析算法的高层建筑混凝土核心筒抗震性能模拟[J].吉林大学学报(工学版),2023,53(09):2573-2580.DOI:10.13229/j.cnki.jdxbgxb.20221082.