

钢结构节点设计中的抗震性能研究与加固措施分析

刘庆娜¹ 范蓓蓓² 王维琳² 江佳颖²

1. 山东中健和华建筑设计有限公司 山东青岛 266100;

2. 青岛腾远设计事务所有限公司 山东青岛 266100

摘要: 本文深入研究了钢结构节点设计中的抗震性能, 分析了不同节点的抗震性能评估方法和影响因素。同时, 探讨了传统与新型加固措施在提升节点抗震性能方面的效果, 并提出了基于抗震性能优化的节点设计优化策略。研究旨在为钢结构节点的抗震设计提供理论支持和实践指导。

关键词: 钢结构节点; 抗震性能; 加固措施; 设计优化; 抗震设计

一、引言

随着现代建筑技术的不断发展, 钢结构因其高强度、轻质、易于施工等优点, 在各类建筑领域得到了广泛应用。然而, 钢结构节点作为结构的重要组成部分, 在地震等极端自然灾害中往往会面临严峻考验。节点的抗震性能直接关系到整体结构的安全与稳定。因此, 深入研究钢结构节点的抗震性能, 并探索有效的加固措施, 对于提高建筑结构的防灾减灾能力具有重要意义。本文旨在通过对钢结构节点抗震性能的系统研究, 分析现有加固措施的优缺点, 为实际工程应用提供理论支持和实践指导。

二、钢结构节点抗震性能分析

1. 钢结构节点分类与特点

节点分类	连接方式	特点	抗震性能相关影响
刚性节点	焊接、螺栓连接或混合连接	连接部位几乎无相对位移, 能传递较大的弯矩和剪力	提高结构的整体刚度和强度, 但在极限状态下可能导致脆性破坏
半刚性节点	螺栓连接或特定设计的焊接	允许一定程度的相对转动, 传递能力介于刚性和铰接之间	提供一定的变形能力, 有助于消耗地震能量, 改善抗震性能
焊接节点	焊接	通过焊材将钢构件连接, 形成刚性或半刚性连接	焊缝质量对抗震性能至关重要, 需防止焊缝处产生裂缝
螺栓连接节点	螺栓连接	通过高强度螺栓将钢构件连接, 可设计为刚性或半刚性	容易检查和更换, 适应性强, 但受载重复时可能松动
混合连接节点	焊接与螺栓连接结合	结合焊接和螺栓连接的优点, 形成刚性或半刚性连接	提高连接的可靠性和经济性, 适合复杂受力条件

2. 节点抗震性能评估方法

在钢结构节点设计中, 抗震性能评估是至关重要的一环。评估方法通常涉及对节点在地震作用下的受力分析、变形能力以及耗能机制的综合考量。在这一过程中, 会运用到诸如有限元分析、动力

钢结构节点作为连接钢构件的关键部位, 在整体结构中扮演着至关重要的角色。它们不仅承受着来自各个方向的力和力矩, 还是保证结构整体性和稳定性的关键。因此, 钢结构节点的抗震性能分析是钢结构设计中的重要环节。

钢结构节点的分类多种多样, 根据连接方式可分为刚性节点和半刚性节点。刚性节点在受力时, 连接部位几乎不发生相对位移, 能够传递较大的弯矩和剪力; 而半刚性节点则允许一定程度的相对转动, 其传递力的能力介于刚性和铰接之间。此外, 根据节点的构造形式, 还可以分为焊接节点、螺栓连接节点和混合连接节点等。

钢结构节点的分类及其特点:

时程分析等专业工具, 模拟节点在地震波作用下的响应。通过分析节点的应力分布、位移变化以及能量耗散情况, 可以评估节点的抗震性能是否满足设计要求。

钢结构节点抗震性能评估的常用方法及其特点:

评估方法	描述	特点	应用
有限元分析 (FEA)	使用计算机模拟技术来预测节点在地震作用下的应力、应变和位移	高精度, 能详细模拟复杂结构的响应	结构设计初期和详细设计, 适用于复杂节点
动力时程分析	通过输入实际地震记录或人工地震波, 分析结构或节点在地震作用下的动态响应	能够考虑地震作用的随机性, 结果更贴近实际情况	详细设计阶段, 用于关键结构的抗震性能评估
静力弹塑性分析	估计结构在极限状态下的承载能力和变形能力, 通过逐级加载直至节点或结构达到破坏	简便且成本较低, 适用于初步设计和评估	初步设计和设计优化, 适用于简单和常规结构
能量耗散分析	评估节点在地震作用下的能量耗散能力和抗震性能	关注结构的耗能机制, 有助于设计耗能减震结构	抗震设计中, 特别是在高震区的重要结构设计
损伤评估方法	通过模拟地震作用下的损伤累积, 评估结构或节点的抗震性能	可以预测结构的损伤程度和可能的失效模式	抗震设计和性能基准设计, 适合评估结构的长期性能

3. 节点抗震性能影响因素研究

在钢结构节点的抗震性能分析中, 多个因素共同影响着节点的稳定性和承载能力。其中, 节点的构造形式是一个关键因素。不同的节点构造, 如刚性节点、半刚性节点和铰接节点, 在地震作用下的反应各不相同。刚性节点由于具有较好的传力性能, 通常能提供

更好的抗震性能。然而, 节点的材料性能也不容忽视。钢材的强度、延性和韧性等特性直接影响着节点的抗震表现。

三、加固措施及其抗震性能研究

1. 传统加固措施及其效果分析

在钢结构节点设计中, 传统加固措施扮演着举足轻重的角色。

这些措施旨在提高节点的承载能力、刚度和延性，从而增强整个结构的抗震性能。常见的传统加固方法包括焊接加固、螺栓连接加固以及使用钢板或型钢进行外部包裹等。

焊接加固是一种直接而有效的加固方式，通过增加焊缝长度、提高焊缝质量或使用高强度焊条来增强节点的连接强度。然而，焊接过程中产生的热影响区可能导致钢材性能变化，需要严格控制焊接工艺。

螺栓连接加固则通过增加螺栓数量、直径或使用高强度螺栓来提高节点连接的紧固性。这种方法施工简便，对结构影响小，但需要注意螺栓预紧力的控制，以防止松动或滑移。

外部包裹加固采用钢板或型钢对节点进行包裹，以增加节点的截面尺寸和刚度。这种方法能够显著提高节点的承载能力和变形能力，但也会增加结构的自重和造价。



图1 桥梁抗震加固

2. 新型加固措施研究与应用

在钢结构节点设计中，传统的加固措施如焊接、螺栓连接等，虽然在一定程度上能够增强节点的承载能力，但在面对强烈地震时，其抗震性能仍有待提高。因此，新型加固措施的研究与应用显得尤为重要。

近年来，随着材料科学和工程技术的不断进步，一些创新型的加固技术逐渐崭露头角。其中，基于高性能复合材料（如碳纤维增强塑料、玻璃纤维增强塑料等）的加固方法备受关注。这些复合材料具有轻质、高强、耐腐蚀等诸多优点，能够在不增加结构自重的前提下，显著提升节点的刚度和延性。

在实际应用中，这些新型加固措施往往结合先进的施工工艺和数值模拟技术，确保加固效果的最优化。例如，通过预应力技术，可以在加固过程中引入主动控制机制，进一步提高结构的抗震性能。此外，智能材料的使用也让加固措施变得更加灵活和智能，能够适应不同地震动条件下的结构需求。

3. 加固措施对节点抗震性能的影响分析

加固措施在钢结构节点设计中，对抗震性能的影响至关重要。合理的加固方案能够有效提升节点的承载能力、变形能力和耗能能力，从而增强整体结构的抗震安全性。

加固措施通常包括增加节点处的连接板厚度、增设加强肋、采用高强度螺栓连接等方式。这些措施能够显著提高节点域的刚度和强度，减少地震作用下的变形和损伤。例如，增加连接板厚度可以增强节点域的抗剪能力，减少剪切破坏的风险；增设加强肋则可以提升节点的抗弯刚度，防止节点在地震中发生过大变形。

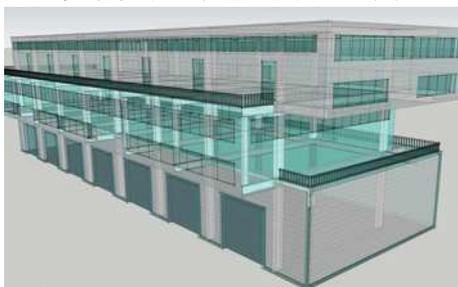


图2 钢结构抗震设计

四、抗震设计优化策略与建议

1. 基于抗震性能的设计原则

在钢结构节点设计中，基于抗震性能的设计原则至关重要。

这一原则强调在设计过程中，必须充分考虑到地震作用对结构节点的影响，确保节点在地震时能够承受和传递地震力，保持结构的整体稳定性和连续性。

为了实现这一目标，设计时应遵循“强节点、弱构件”的设计理念。这意味着节点的承载能力应略高于其相邻构件，以确保在地震作用下，节点成为结构的耗能部位，而非薄弱环节。此外，节点的设计还需考虑延性要求，即在地震作用下，节点应具有一定的塑性变形能力，以吸收和耗散地震能量，减少结构的地震响应。

2. 节点设计优化方法与实践

在钢结构节点设计的抗震性能优化过程中，节点设计优化方法与实践是确保结构安全的关键环节。首先，节点设计需遵循“强节点、弱构件”的原则，确保节点在地震作用下的承载能力不低于其连接的构件。这要求节点设计具有足够的延性和耗能能力，以吸收和分散地震能量，防止结构发生脆性破坏。

实践中，常采用精细化设计方法，对节点进行精细化建模和受力分析。这包括对节点域、焊缝、螺栓连接等关键部位进行详细分析，确保节点设计的合理性。同时，采用高性能材料如高强度钢材、抗震型螺栓等，提高节点的承载能力和抗震性能。

3. 抗震设计在实际工程中的应用案例分析

在抗震设计中，实际工程的应用案例分析是理论与实践相结合的重要环节。以某高层建筑为例，其钢结构节点设计在抗震性能方面进行了深入研究和优化。该工程位于地震活跃区域，因此在设计过程中，特别注重节点连接的延性、耗能能力以及整体结构的稳定性。

设计师采用了先进的抗震设计理念，如利用耗能减震技术，通过合理设置阻尼器、隔震支座等装置，有效吸收地震能量，减少结构受到的冲击。同时，在节点连接处采用了高强度螺栓连接和焊接技术，确保节点在地震作用下的稳定性和延性。

在施工过程中，严格按照抗震设计要求进行施工质量控制，确保每个节点的施工质量符合设计要求。此外，还进行了多次地震模拟振动台试验，验证结构的抗震性能。

总结

本文深入探讨了钢结构节点设计中的抗震性能及其加固措施。通过对节点分类、特点、评估方法及影响因素的详细分析，明确了节点抗震性能的关键要素。同时，文章还对比了传统与新型加固措施的效果，并分析了其对节点抗震性能的具体影响。在此基础上，提出了基于抗震性能的设计原则和优化方法，并通过实际工程案例验证了其有效性。研究成果不仅丰富了钢结构节点抗震设计的理论体系，也为实际工程应用提供了有益参考。然而，研究中仍存在一定不足，未来需进一步探索新型加固措施和抗震设计策略，以更好地保障结构安全。

参考文献：

- [1]吴兆旗,何田田,姜绍飞,等.钢结构梁柱连接节点抗震性能研究进展[J].福州大学学报:自然科学版,2011,39(5):8.DOI:CNKI:35-1117/N.20111014.1025.019.
- [2]曹美波,魏宏刚,桑冬梅.轻型钢结构框架节点抗震性能的研究与分析[J].钢结构,2008.DOI:JournalArticle/5aebc03cc095d710d4f610c8.
- [3]谭欣,曹平周.轻钢支撑加固混凝土框架抗震性能试验研究[J].钢结构,2019(5):5.DOI:CNKI:SUN:GJIG.0.2019-05-003.
- [4]Zeng Cong,曾聪,Wu Bin,等.钢-混凝土组合结构支撑节点加固钢筋混凝土框架的抗震性能研究[C]//第264届中国工程科技论坛暨第十届全国防震减灾工程学术研讨会.0[2024-03-20].
- [5]李晓东,马广田,闫胤积.钢结构新型节点抗震性能分析[J].东南大学学报(英文版),2021(037-003).
- [6]彭云.钢结构框架节点的抗震性能研究[J].门窗,2023(19):217-219.
- [7]曲萍.钢结构梁柱节点抗震设计探讨[J].建筑工程技术与设计,2018,000(010):4030,4039.
- [8]叶富存.砖混结构多层抗震加固设计研究[D].河北工程大学,2013.DOI:10.7666/d.Y2445545.