

# 装配式钢结构梁柱节点承载性能研究进展

苏海元 史新格 郭景源 张磊

河北建设集团股份有限公司 河北 保定 071000

**摘要:** 装配式钢结构梁柱节点, 根据其本身的抗震耗能形式及其结构类型, 可分成自耗能装配式钢结构梁柱节点和附加耗能元件装配式钢结构梁柱节点两种。因此, 文章就上述两类主要装配式钢结构梁柱节点的承载力特性展开了探讨, 通过对强度和刚度、破坏形态以及设计理念进行分析, 提出了各主要装配式钢结构梁柱节点设计的借鉴性意见, 从而对其具体设计提供建议。基于此, 本文主要研究了装配式钢结构梁柱节点承载性能, 提出了全新的抗震设计思路, 进一步形成了适用于装配式钢结构承载性能研究的设计理念。

**关键词:** 装配式钢结构; 梁柱节点; 承载性能

## Research progress on the bearing performance of beam and column joints of prefabricated steel structure

Su Haiyuan, Shi Xingge, Guo Jingyuan, Zhang Lei

Hebei Construction Group Co., Ltd, Hebei Baoding, 071000

**Abstract:** The prefabricated steel structure beam column joints can be divided into self dissipating prefabricated steel structure beam column joints and additional dissipating element prefabricated steel structure beam column joints according to their own seismic energy dissipation forms and structural types. Therefore, the paper discusses the bearing capacity characteristics of the above two main types of prefabricated steel structure beam column joints. Through the analysis of strength and stiffness, failure mode and design concept, the paper puts forward reference opinions for the design of the main prefabricated steel structure beam column joints, thus providing suggestions for their specific design. Based on this, this paper mainly studies the bearing capacity of beam column joints of fabricated steel structures, puts forward a new seismic design idea, and further forms a design concept suitable for the research of bearing capacity of fabricated steel structures.

**Key words:** fabricated steel structure; Beam column joints; Bearing capacity

引言: 在各种不同种类的建筑物中, 钢结构的应用范围十分广泛, 其不仅拥有轻质高强的特点, 还具有良好的抗震性、环保性以及可循环性, 所以在现阶段的建筑工程中已经成为了主要应用形式之一。目前, 我国对装配式建造技术的关注度较高。由于装配式建筑与传统的钢筋混凝土结构建筑相比, 施工速度较快并且安全性较高, 所以广受人们欢迎。其中梁柱节点在装配式钢结构中占据重要地位, 因此对装配式钢结构梁柱节点的承载性能进行研究十分有必要。

### 1 自耗能装配式钢结构梁柱节点

#### 1.1 传统全螺栓装配式钢结构梁柱节点

在有关研究成果中, 对全螺栓连接的梁柱节点结构进行了深入研究和剖析, 其梁上下翼缘均使用了T型板件和高强度的螺栓进行连接, 而在腹板上使用了连接钢板件与高强度的螺栓进行连接<sup>[1]</sup>。经过研究和剖析后得出, 首先, T型板螺栓连接结构在整体机械性能等方面上, 和盖板件连接的

效果十分相似。所以加强端部的连接性就能够更好的提高最大弯矩承载力, 同时梁局部的扭曲程度也会更小。其次, 通过对T型板件的局部进行研究可以发现, 当T型板的厚度逐渐减小, 而其他数据不变的情况下, 螺栓连接的翼缘强度会减少, 在此同时翼缘的塑性变形则会增加。除此之外, 高强度的螺栓布置能够提升螺栓分布均匀性, 并且对提升节点变形一致也发挥着重要作用。如果高强度螺栓的大小增加, 而其他数据信息不变的情况下, 螺栓连接的翼缘强度则会增加, 塑性能力也会得到不同程度提升。再次, 对T型板的截面尺寸进行分析可以发现, 最好的截面尺寸应确保梁塑性变形的程度最小, 同时确保节点塑弹性变形达到0.04弧度, 只有这样才能进一步提升T型板的强度<sup>[2]</sup>。最后, 当T型板用于连接时, 螺栓可以与柱面保持较远的距离。

#### 1.2 带悬臂段装配式钢结构梁柱节点

对带悬臂段装配式钢结构梁柱节点进行实验研究可以明

确拼接板与螺栓的布局存在不同点。首先,在弹性阶段中,对拼接处进行实际内力计算时可以明确,当梁翼缘的净截面受力考虑到孔前传力的时候,其抗弯承载能力就需要依靠螺栓孔处的净截面以及螺栓连接的最不利结果进行计算;与此同时,腹板的抗弯承载能力也要按照拼接的承受力扣除翼缘承担力之后的结果进行计算。其次,在极限承载阶段中,对翼缘的净截面承载能力进行要求,其强度需要采用钢材的抗拉强度,通过提升节点构件接触面的各项系数,减少螺栓的用量、强化耗能能力,从而提升节点的承载性能。相关学者对这一钢结构进行了分析,创新了新型的装配式节点。通过将柱端和悬臂梁进行预先焊接,然后再将上下拼接板和一端的悬臂梁翼缘进行三面焊接,利用螺栓进行连接,最终形成全新的装配式钢结构梁柱节点。这样的设计主要考虑到了悬臂梁与螺栓数量,其中悬臂梁的长度关乎着节点滞回性能,所以最好采用1.7-2.0倍的框架梁高度<sup>[3]</sup>。而螺栓数量则会对节点的极限承载能力造成影响,所以考虑到螺栓滑移的耗能性,尽量不要采用过多的螺栓,从而确保节点的应用效果符合预期。

### 1.3 带内套筒装配式钢结构梁柱节点

带内筒装配式钢结构梁柱节点主要是针对方管柱以及H型钢梁连接提出的新型装配式钢结构梁柱节点<sup>[4]</sup>。通过将柱和内套筒进行连接,利用高强度螺栓以及外伸端板将柱和梁连接在一起,从而推断出具体的数值进行实验模拟,最终得到以下结论。首先,增加内套筒的厚度能够有效提升节点的刚度与强度,但是如果厚度过大的话就会在一定程度上增加成本耗费,所以内套筒的厚度最好保持在大于柱壁厚的2mm。其次,内筒套和柱之间的间隙会对节点的刚度造成一定影响,所以需要将其控制在4mm以内。最后,端板的厚度虽然也会对节点刚度造成影响,但是影响并不显著。

## 2 附加耗能元件装配式钢结构梁柱节点

### 2.1 附加T形阻尼器装配式钢结构梁柱节点

附加T形结构的装配式节点钢结构梁柱节点,一般是采用一个附加槽形耗能部件进行产生的,首先在梁上翼缘处采用T型连接件以高强度的焊接螺栓进行连接,在梁下翼缘处采用槽状连接开缝的方式与梁进行连接,最后形成附加T形阻尼器装配式钢结构梁柱节点<sup>[5]</sup>。通过对其开展循环实验可以发现,带开缝阻尼器的梁柱节点能够在出现位移情况的时候表现出稳定的滞回性能,同时在其初始强度和焊接的变形相当小或刚度较高的时候,节点也能够将其进行刚性焊接。将柱塑性截面弯矩与梁柱可以接受的最大弯矩加以对比之后,再假设柱塑性截面弯矩比梁柱接受的最大弯矩大,则节点的塑性变形就会聚集到开缝的材料中,梁和柱也能具有相应的强度。除此之外,这一节点与传统的节点相比,带开缝阻尼器的梁柱节点在初始刚度以及极限强度等方面都得到了显著提高,并且带开缝阻尼器梁柱节点还具备更好的抗弯性能。

### 2.2 附加摩擦阻尼器装配式钢结构梁柱节点

附加摩擦阻尼器装配式钢结构梁柱节点属于一种全预制的抗损伤梁柱节点,只需要将钢梁与钢柱进行区域连接,在过渡区采用节点板以及超高性能的混凝土与高强度螺栓进行连接,并在其两端下部的螺栓孔设置为长孔,带滑动产生摩擦之后就形成了附加摩擦阻尼器装配式钢结构梁柱节点。通过对这一节点进行实验研究发现,当节点预期的节点损伤值达到之后,梁上钢筋混凝土板不会出现裂纹,并且在最大震动下,节点的梁翼缘也会表现出较好的弹性。当节点的初始正刚度大于负刚度的时候,屈服后刚度也会受到塑性长度以及层厚度的影响。节点自身具有一定的耗能能力,所以60%以上的能量可以通过摩擦阻尼器进行消耗。除此之外,为确保刚度符合节点要求,改善阻尼器的摩擦界面可以减少阻尼器的刚度系数。

### 2.3 附加膝支撑装配式钢结构梁柱节点

附加膝支撑装配式钢结构梁柱节点是通过节点板与高强度螺栓进行连接的梁柱节点,在循环实验以及数值分析中发现,当膝支撑的数值维持在一定范围之内的时候,不管结构受到怎样的震动,膝支撑与梁柱都会为节点提供必要的强度与刚度支持;即使是结构受到了严重震动,导致膝支撑的循环拉压变形,也能够利用梁柱产生的塑性变形缓解震动能量,并且在此过程中梁柱也会保持其初始弹性状态。因此附加膝支撑装配式钢结构梁柱节点在强度、刚度以及抗震性能上都与传统焊接刚性框架梁柱节点相同,甚至高于传统焊接刚性框架梁柱节点。在震动发生以后,通过更换膝支撑就可以很好修复损伤部位。

## 3 讨论

### 3.1 强度和刚度

将自能耗装配式钢结构梁柱节点及附加自耗能元件装配式钢结构梁柱节点,和传统焊接刚性梁柱节点进行对比即可看出,自能耗装配式钢结构梁柱节点在抗拉强度以及刚性方面上,只有在弹性阶段中和传统焊接刚性梁柱节点才相对接近,但是在塑性阶段中就很难实现;附加耗能元件装配式钢结构梁柱节点不管是在弹性阶段,或是在塑性阶段中都可以很好的满足传统焊接刚性梁柱节点的抗拉强度和刚性要求,甚至会更高。

### 3.2 破坏形态

对自能耗装配式钢结构梁柱节点进行研究发现,其自身的破坏形态是通过节点的连接板、梁、局部柱翼缘的塑性变形来决定,而对附加耗能元件装配式钢结构梁柱节点进行研究也可以看出,其主要破坏形式都是由节点的增加以及耗能元件出现了塑性变形之后来缓解的震动能量,而梁柱通常会保持在一个相对稳定的弹性状况下并没有发生屈服状况。除此以外,耗能元件在弹性阶段时还能够给节点带来较为优良的抗拉强度与刚性支撑。

### 3.3 装配式钢结构梁柱节点承载性能设计理念

装配式钢结构梁柱节点在结构体系中发挥重要作用,并且其作为重要的耗能部分之一,在强度、刚度以及抗震性能上都会影响到结构整体的安全与稳定。所以对装配式钢结构梁柱节点进行研究,为其承载性能以及抗震性能提供保障,促使其能力的合理性成为了需要解决的问题之一。这一概念可以在不改变结构使用空间大小和稳定性的前提下,在梁柱节点区域增加一些耗能元件,从而增加耗能方式,可以是较为常见的金属摩擦,也可以是轴向受压与屈曲等多种方式。当结构遭遇震动时,耗能元件能够与梁柱共同承担震动能量,为结构提供刚度与强度支持;而在遭受罕见震动时,也能够令耗能元件率先进入塑性阶段,从而更好的缓解震动能量,并以此维持整体结构的稳定性,确保结构不会出现倒塌的情况。除此之外,在结构遇到震动之后,如果耗能元件出现了损伤,通过拆卸、更换或维修就可以尽快恢复结构性能。

传统全螺栓连接梁柱节点能够满足构件的基本要求,不仅要考虑到螺栓孔以及板件厚度,还应采取必要的局部加强或削弱措施,从而确保结构安装精度与螺栓需求量符合要求。

自耗能装配式钢结构梁柱节点中的带悬臂段节点和带内套筒节点,提高了传统全螺栓式连接节点的耗能和低负载特性。不过,螺栓的需求量并未获得明显提升,所以在装配精度及难度上都会存在很多问题,同时在抗震性及耗能方面也可能出现螺栓滑动效果。

附加耗能元件装配式钢结构梁柱节点与自耗能节点相比,在抗震性上有了显著提高,不仅T形阻尼器的抗震性好,膝支撑与摩擦阻尼器的抗震性也很高,但是在空间设计上还存在一定问题,这与钢柱在节点区域的水平压力有关,

会对结构造成不良影响。因此,利用“耗能元件先行,震动过后易更换”理念,在梁柱节点区域设置一些水平钢板,利用钢板的弯曲形成塑性,再与螺栓进行连接,从而更好的控制钢板与钢梁之间的刚度数值,确保梁柱一直保持在良好弹性状态下,提升结构稳定性。

结束语:以上,对装配式钢结构梁柱节点承载性能进行研究,需要从不同方面考虑影响性能的元素,针对不同种类的节点分析刚度、强度以及抗震性能,从而为我国装配式钢结构在工程中的有效应用提供支持。现阶段,我国对装配式钢结构在工程中的应用研究与实践发展有待加强,所以对装配式钢结构梁柱节点承载性能的研究也不够健全,所以需要更多的人加入到对装配式钢结构梁柱节点的研究中,不断创新与完善装配式钢结构梁柱节点设计,从而为我国建筑行业发展提供充足动力。

#### 参考文献:

- [1]时建华,韩明岚,张效禹,史震海,王燕.装配式钢结构带悬臂梁段梁柱连接节点研究进展[J].施工技术(中英文),2022,51(11):65-72.
- [2]黄彬辉,李元齐.装配式钢结构梁柱节点承载性能研究进展[J].结构工程师,2021,37(01):228-238.
- [3]张淳.装配式钢结构梁柱连接节点研究[J].建筑技术开发,2021,48(04):5-6.
- [4]李兴兵.装配式钢结构梁柱节点研究进展[J].建筑技术开发,2020,47(24):6-7.
- [5]赵晨甫,白羽,仲益贤,张田庆.新型装配式钢结构梁柱节点抗震性能研究[J].四川建筑科学研究,2020,46(06):24-28.