

模块化钢结构单元房承插式节点弯剪性能研究

王 坤

安徽精工建设集团有限公司 安徽 六安 237161

摘 要：模块化钢结构单元房作为新型建筑形式，其承插式节点的弯剪性能是确保结构安全稳定的关键。本研究通过数值模拟与实验验证相结合的方法，深入分析了承插式节点在弯矩和剪力共同作用下的力学响应。研究结果表明，节点的几何参数、材料性能及施工工艺对弯剪性能有显著影响。通过优化节点设计，提高了节点的承载力和变形能力，为模块化钢结构单元房的安全应用提供了理论依据和技术支持。

关键词：模块化钢结构；单元房；承插式节点；弯剪性能

1 模块化钢结构单元房承插式节点概述

1.1 节点构造与工作原理

模块化钢结构单元房的承插式节点是一种高效且创新的连接方式，它将传统建筑中的复杂现场施工工艺转化为工厂预制和现场快速装配的模式。这种节点的构造主要包括上柱插头件、下柱承接件以及水平螺栓等组件。在工厂预制阶段，模块单元的立柱和横梁与插头件或承接件完成焊接，确保结构的初步整合。上柱插头件设计有顶面的连接板（板上预留注胶孔）和侧面的螺栓孔，而下柱承接件内部则设置了承接端板，并在下端焊接连接板，同样预留与插头件相对应的螺栓孔。在施工现场进行装配时，首先确保模块单元的精准定位和平整，随后将上柱插头件对应插入下柱承接件中，并利用水平螺栓将上下模块紧密连接成一个整体。最后，通过注胶封孔技术，进一步增强节点的连接强度和密封性。这种承插式节点的工作原理基于其独特的构造设计，通过承插套筒和螺栓的协同作用，实现了模块间的高效、稳定和可靠的连接。

1.2 节点类型与分类

钢结构节点根据其连接性质、材料类别、连接方式、节点形式以及构造特点等，可以划分为多种类型。在模块化钢结构单元房中，承插式节点作为一种重要的连接形式，同样具备多种分类方式。按连接性质分类，承插式节点可以视为一种介于刚接和铰接之间的半刚性连接。它具有一定的弯矩承载能力，但相对于刚接来说较为有限。这种节点在某些方向上提供了一定的刚性，而在其他方向上则具有一定的柔性，从而能够适应不同方向的荷载作用^[1]。按材料类别分类，承插式节点通常采用钢材作为主要材料，这得益于钢材的高强度、良好的塑性和韧性。钢材的这些特性使得承插式节点能够承受较大的变形而不破裂，保证了结构的整体稳定性和安全

性。按连接方式分类，承插式节点通过承插套筒和螺栓实现连接，因此可以归类为螺栓连接节点或栓焊混合连接节点的一种。这种连接方式施工方便、安装快速，适用于需要快速装配或拆卸的结构。按节点形式分类，承插式节点以其独特的承插套筒设计而著称，这种设计使得节点在外观上具有鲜明的特点。承插式节点还可以根据具体需求进行定制和优化，以满足不同模块化钢结构单元房的设计要求。按构造特点分类，承插式节点属于空间节点的一种，它能够承受三维方向上的载荷，包括弯矩、剪力和轴向力。

1.3 承插式节点在模块化钢结构单元房中的应用

承插式节点在模块化钢结构单元房中的应用广泛且重要。由于模块化钢结构单元房是一种高度集成的装配式建筑，其模块间节点的连接方式和性能直接影响到整体结构的稳定性和安全性。承插式节点以其独特的构造和工作原理，为模块化钢结构单元房提供了一种高效、稳定和可靠的连接方式。在模块化钢结构单元房的建造过程中，承插式节点不仅简化现场施工工艺，提高装配效率，还降低了施工成本。承插式节点的设计还充分考虑结构的整体稳定性和安全性，使得模块化钢结构单元房在承受各种荷载作用时能够保持良好的性能。承插式节点还具有一定的灵活性和可调整性，能够适应不同模块化钢结构单元房的设计需求。这种节点的应用不仅提高模块化钢结构单元房的建造效率和质量，还为建筑行业的可持续发展注入了新的活力。

2 承插式节点弯剪性能理论分析

2.1 受力性能分析

承插式节点在模块化钢结构单元房中的受力性能是评估其连接性能的重要指标之一。为了深入研究承插式节点的受力性能，需要对其进行理论分析和数值模拟。在受力性能方面，承插式节点主要承受弯矩和剪力作

用。当节点受到弯矩作用时，承插套筒和螺栓将共同承担弯矩的传递。由于承插套筒的设计具有一定的刚性和柔性，因此能够在一定程度上抵抗弯矩引起的变形。螺栓的预紧力也能够增强节点的抗弯能力。当节点受到剪力作用时，剪力主要由承插套筒承担，承插套筒的设计使得其能够承受较大的剪力作用而不发生破坏。螺栓的剪切作用也能够为节点提供一定的抗剪能力。需要注意的是，螺栓的剪切作用相对较弱，因此在设计时需要合理确定螺栓的数量和直径，以确保节点的抗剪性能。除了弯矩和剪力作用外，承插式节点还需要考虑其他荷载作用的影响，如轴向力、扭矩等。这些荷载作用将共同作用于节点上，对节点的连接性能和稳定性产生影响。在进行承插式节点的设计时，需要充分考虑各种荷载作用的影响，并进行合理的计算和校核。

2.2 承载力计算模型

为了准确评估承插式节点的承载力性能，需要建立合理的承载力计算模型。以下是一种基于理论分析和数值模拟的承载力计算模型：（1）抗拉承载力计算：在受拉工况下，承插式节点的抗拉承载力主要由螺栓和承插套筒共同承担。通过理论分析和数值模拟，可以推导出节点的抗拉承载力计算式。该计算式考虑了螺栓的大小、数量以及承插套筒的几何尺寸和材料性能等因素^[2]。（2）抗剪承载力计算：在受剪工况下，承插式节点的抗剪承载力主要由承插套筒承担。同样地，可以通过理论分析和数值模拟推导出节点的抗剪承载力计算式。该计算式考虑了承插套筒的几何尺寸、材料性能以及剪力传递路径等因素。（3）抗弯承载力计算：在受弯工况下，承插式节点的抗弯承载力由承插套筒和螺栓共同承担。由于弯矩作用会引起节点的变形和内力重分布，因此需要进行复杂的理论分析和数值模拟。通过考虑节点的任何非线性、材料非线性以及边界条件等因素，可以推导出节点的抗弯承载力计算式。

3 承插式节点弯剪性能数值模拟研究

3.1 数值模型建立

承插式节点弯剪性能的数值模拟研究是评估其在实际应用中的力学性能和可靠性的重要手段。在数值模型建立过程中，采用了先进的有限元分析软件，如ABAQUS或ANSYS，这些软件能够处理复杂的几何形状和材料非线性问题。根据承插式节点的实际构造，创建了详细的几何模型，包括承插套筒、螺栓、连接板等各个组件。在创建几何模型时，我们特别注意了各组件之间的接触关系和连接方式的模拟，以确保模型的准确性。接下来，为几何模型分配了合适的材料属性，包括

弹性模量、泊松比、屈服强度等。这些材料属性是根据实际材料试验数据得出的，以确保模拟结果的可靠性。还考虑了材料的非线性行为，如塑性变形和断裂等，以更真实地反映承插式节点在弯剪作用下的力学响应。在边界条件和加载设置方面，根据承插式节点的实际受力情况，设置了合理的约束和加载方式。这些边界条件和加载设置能够准确地模拟承插式节点在实际应用中的受力状态。最后，对数值模型进行网格划分，并选择合适的求解器进行求解。网格划分的大小和形状对模拟结果的准确性有很大影响，因此我们进行多次尝试和优化，以确保网格划分的合理性和计算效率。

3.2 数值模拟结果与分析

通过数值模拟，得到了承插式节点在弯剪作用下的应力分布、变形情况、承载力等关键指标。首先观察了节点的应力分布情况，发现应力主要集中在承插套筒和螺栓连接处，这与实际受力情况相符。同时还发现节点的应力分布呈现出一定的规律性，即随着弯矩和剪力的增加，应力逐渐增大并趋于集中。在变形方面，模拟了节点在不同弯矩和剪力作用下的变形情况。结果表明，节点的变形主要发生在承插套筒和螺栓连接处，且变形量随着弯矩和剪力的增加而增大，由于承插式节点具有一定的柔性和变形能力，因此其变形量在合理范围内，不会对整体结构的安全性产生严重影响。在承载力方面，根据模拟结果得出了承插式节点的弯剪承载力。通过与理论计算值和实验数据进行对比，发现模拟结果具有较高的准确性和可靠性。同时还分析节点的破坏模式和失效机理，为进一步优化设计和改进提供了依据。

4 承插式节点弯剪性能影响因素分析

4.1 节点几何参数影响

承插式节点的几何参数对其弯剪性能具有重要影响。例如，承插套筒的直径、壁厚、长度以及螺栓的直径、数量、排列方式等都会直接影响节点的承载力和变形能力。通过数值模拟和实验验证，发现承插套筒的直径和壁厚越大，节点的承载力越高；而螺栓的直径和数量增加也会提高节点的承载力。这些几何参数的增加也会带来一定的成本和重量问题，因此需要在设计时进行综合考虑和优化。

4.2 材料性能影响

材料性能是影响承插式节点弯剪性能的另一个重要因素。材料的弹性模量、屈服强度、韧性等都会直接影响节点的力学响应和破坏模式。通过数值模拟和实验验证，发现采用高强度、高韧性的材料可以显著提高节点的承载力和变形能力。这些高性能材料往往成本较高，

且对加工和焊接工艺要求较高，因此在实际应用中需要权衡利弊进行选择^[3]。

4.3 施工工艺影响

施工工艺对承插式节点的弯剪性能同样具有重要影响。例如，螺栓的预紧力、焊接质量、装配精度等都会直接影响节点的连接性能和整体稳定性。通过数值模拟和实验验证，发现螺栓预紧力的不足会导致节点连接松动和承载力下降；而焊接质量不佳则会引起节点应力集中和早期破坏。

5 基于弯剪性能的承插式节点设计建议

5.1 设计准则与方法优化

在设计基于弯剪性能的承插式节点时，应首先明确设计准则，以确保节点的安全性和可靠性。设计准则应涵盖节点的承载力、变形能力、稳定性以及耐久性等方面。针对弯剪性能，特别需要关注节点的抗弯承载力和抗剪承载力，确保其在设计荷载作用下不发生破坏。在方法优化方面，建议采用先进的有限元分析方法进行节点的力学性能预测。通过精确的数值模拟，可以深入了解节点的应力分布、变形模式以及破坏机理，为设计提供科学依据。还可以结合实验验证，对数值模拟结果进行校核和优化，确保设计方法的准确性和可靠性。在设计过程中，还应充分考虑节点的几何参数、材料性能以及施工工艺对弯剪性能的影响。通过合理的参数化设计和敏感性分析，确定最优的节点几何形状和材料组合，以提高节点的承载力和变形能力，制定严格的施工工艺标准，确保节点的连接质量和整体稳定性。

5.2 构造措施优化

在构造措施方面，针对承插式节点的弯剪性能，可以采取以下优化措施：第一、承插套筒设计：优化承插套筒的几何形状和尺寸，如增加套筒的壁厚或长度，以提高节点的抗弯和抗剪能力，确保套筒内壁光滑，以减少摩擦阻力，提高节点的连接效率。第二、螺栓连接设计：增加螺栓的数量和直径，以提高节点的连接强度和稳定性。优化螺栓的排列方式和预紧力，确保节点在受力时能够均匀传递荷载，避免应力集中和破坏^[4]。第三、加强件设置：在节点关键部位设置加强件，如加焊钢板或增设支撑结构，以提高节点的整体刚度和承载能力。第四、防腐处理：对节点进行防腐处理，如喷涂防腐涂料或采用热浸镀锌工

艺，以延长节点的使用寿命和耐久性。

5.3 施工质量控制要点

在施工质量控制方面，针对承插式节点的弯剪性能，应关注几个要点：（1）材料质量控制。确保所使用的钢材、螺栓等原材料符合设计要求，具有合格的质量证明文件。对材料进行抽样检测，确保其力学性能满足规范标准。（2）加工精度控制。在节点加工过程中，严格控制各组件的几何尺寸和形状精度，确保承插套筒、螺栓等组件能够精确配合。对加工过程中的焊接质量进行严格检查，避免焊接缺陷对节点性能的影响。（3）装配精度控制。在节点装配过程中，确保各组件能够准确对齐和定位，避免装配误差对节点性能的影响。采用专用的装配工具和工艺，确保节点的连接质量和整体稳定性。（4）施工工艺监督。对施工过程进行全程监督，确保各项施工工艺符合设计要求。对关键工序进行旁站监督和质量检测，及时发现和解决施工中的问题。（5）验收与检测。在节点施工完成后，进行严格的验收和检测工作。对节点的承载力、变形能力等关键指标进行检测和评估，确保节点满足设计要求和用户需求。

结束语

本研究对模块化钢结构单元房承插式节点的弯剪性能进行了全面系统的探讨，不仅揭示了节点在弯矩和剪力作用下的力学特性，还为节点的优化设计提供了科学依据。未来，随着建筑工业化进程的加速，模块化钢结构单元房的应用将更加广泛，承插式节点的弯剪性能研究也将持续深入，为推动绿色建筑和可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]王丽英,骆文进,郭盈盈.BIM技术在模块化钢结构建筑中的应用研究[J].居业,2021,(03):102-103.
- [2]刘勇,魏珍中,刘佳敏,等.装配式钢结构配套外挂墙板连接节点受力性能分析[J].山西建筑,2022,48(23):10-14.
- [3]侯兆新,刘晓刚.钢结构建筑产业化关键技术与示范[J].建筑钢结构进展,2021,23(10):1-11.
- [4]李志武.钢结构模块建筑的实践与探索——以北京亦庄N20蓝领公寓项目为例[J].建设科技,2023(12):63-67. DOI:10.16116/j.cnki.jskj.2023.12.013.