

一种榫卯连接方钢管组装框架模型的 荷载-位移曲线试验研究

段树金, 喻岩, 李猛, 刘杰, 邓海, 赵静

(石家庄铁道大学 土木工程学院, 河北 石家庄 050043)

摘要:提出一种榫卯连接方钢管组装框架结构。对两个方向的平面框架模型进行受力性能试验。介绍试验概况,给出框架模型的竖向荷载与挠度和水平荷载与水平侧移曲线,这些曲线介于刚节点框架和铰节点框架之间,属于半刚性节点框架的范畴。

关键词:组装钢框架;榫卯节点;模型试验;荷载位移曲线

中图分类号:TU311 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-0373(2010)02-0016-05

0 引言

传统木结构的榫卯构造原理也可用于多层木结构建筑,且具有良好的受力性能和抗震性能。例如,文献[1]~文献[4]对木结构的榫卯连接进行研究,对古典木结构建筑形式和特点进行了详细分析;运用力学分析手段对木结构建筑的榫卯、梁柱以及斗拱等典型构件进行了特性分析,并给出了进行有限元分析的简化单元模型;认为榫卯连接的木结构应视为半刚性连接结构;证明了木结构具有良好的抗震和消震性能。但是,由于木材资源缺乏、木材承载力相对较低和防火性能差等原因,木结构在中国建筑结构中的应用受到了严格的限制。

值得关注的是,轻型钢结构住宅体系^[5]的引进,同时也是“住宅制造业”思想的引进,正在使传统的住宅建造方式发生本质的变化,进而导致整个建筑领域生产方式发生巨大变革。长期以来住宅建设的相对低质量和低效率等问题在这种新型建造方式下可望得到很好的解决。目前这种体系已成为美国、日本、澳大利亚等发达国家住宅建筑的重要形式,并在设计、制造和安装方面不断完善。这种结构各杆件之间的连接一般采用焊、栓、铆等方式,在一定程度上破坏了构件的完整性,开洞处也往往是受力薄弱点;此外,工程质量的优劣在很大程度上受现场施工人员机械操作水平的制约。

基于上述分析,在进行长期观察、分析、研究基础上,提出一种适合多层房屋建筑的嵌固式组装轻型钢框架结构体系。这种结构可归属于装配式建筑,它将传统的木结构构造与现代材料有机地结合起来,采用封闭薄壁型钢组成结构骨架,各杆件之间不再采用目前常用的焊、栓、铆的连接方式,而是借鉴传统木结构的榫卯连接方式,并在此基础上创造出一种新型连接方法。这种结构也可以采用木材、各种复合材料甚至毛竹制作各种受力构件。这种新型结构可以实现建筑的绿色环保、设计多样化、制造工厂化和施工装配化,现场安装简单易行、方便快捷,受施工现场环境影响小,符合现代建筑业发展的趋势。另外中国钢材产量已居世界首位,国家也在逐步调整产业政策鼓励发展钢结构,这为本结构的开发与发展提供了良好的政策平台。

首先介绍这种榫卯连接的方钢管组装空间结构的组成,然后对结构沿两个方向的框架模型进行加载试验,对框架的工作机理和受力性能进行探讨。

收稿日期:2010-03-01

作者简介:段树金,男,1955年出生,博士,教授,博士生导师。研究方向:桥梁与结构工程。发表学术论文100多篇,其中20多篇论文被SCI、EI收录,获国家科技进步二等奖和河北省自然科学三等奖各一项。

基金项目:河北省自然科学基金资助项目(E2008000438)

1 榫卯连接方钢管组装空间框架组成和平面框架试验模型

提出的榫卯连接组装框架结构如图1所示。整个框架都是由杆件组成的,不使用任何栓、铆或焊接等节点连接方式。

为了研究组装钢框架结构的受力性能,以一组装两层两开间空间框架为结构原型,按照1:4的比例分别制作组装了沿横向和纵向两个方向的平面框架模型,见图2。两平面框架的结构尺寸相同,其计算高度为 2×0.65 m,计算跨度为 2×1.3 m。杆件可以分为四种类型,如图3所示,所有杆件均采用 $100\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ 的Q235b方钢管经工厂加工而成,榫卯设计间隙为3 mm。将杆件截面边缘屈服时所受的弯矩作为截面弹性极限弯矩,其值为 $15.7\text{ kN} \cdot \text{m}$ 。

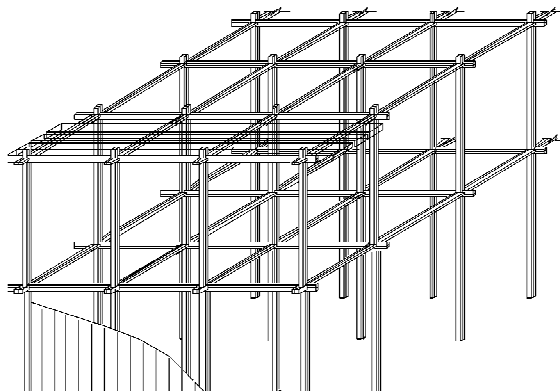


图1 榫卯连接组装框架结构示意图

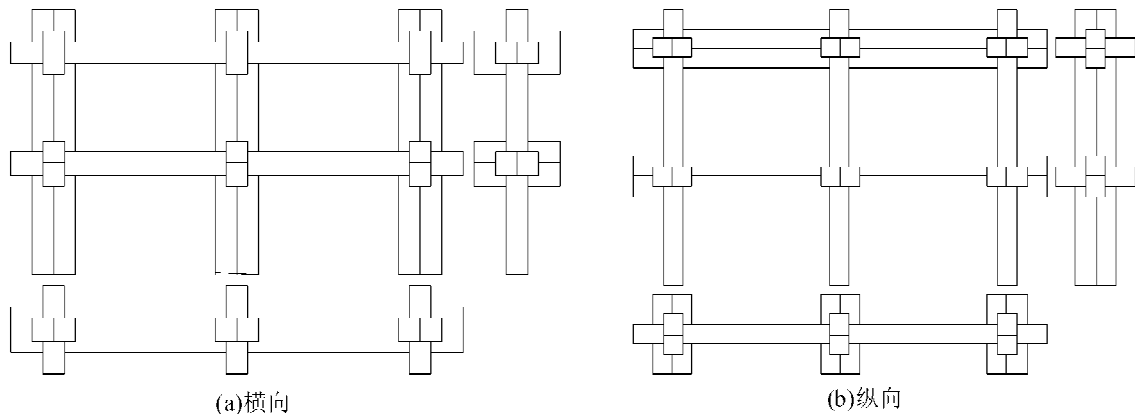


图2 平面框架模型三视图

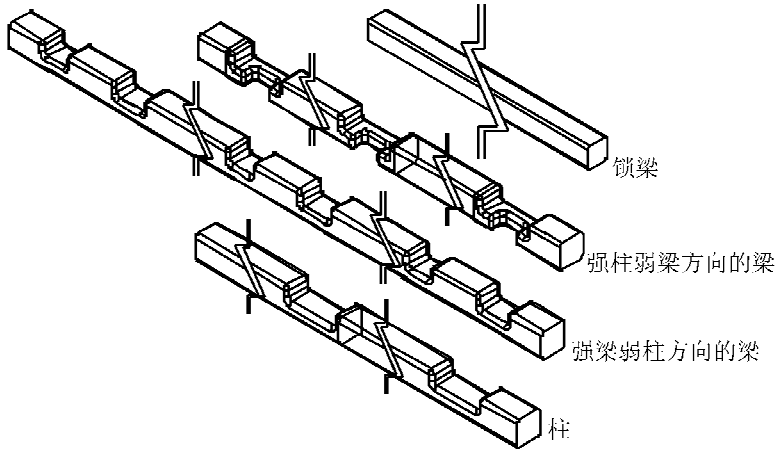


图3 杆件示意图

2 平面框架模型加载试验与荷载-位移曲线

2.1 加载装置与加载方式

本次试验在石家庄铁道大学结构实验室进行。分别进行了竖向和水平加载试验,测试内容包括位移和应变。

竖向采用对称、逐级单调加载方式进行,如图 4 所示(图示为横向框架),总的荷载为 P ,各有一半加在两跨梁的跨中。

水平方向也采用逐级单调加载方式进行,如图 5 所示(图示为纵向框架),装置容许从两个方向的任一方向加载。总的荷载为 P ,上层节点加 $2P/3$,下层节点加 $P/3$ 。

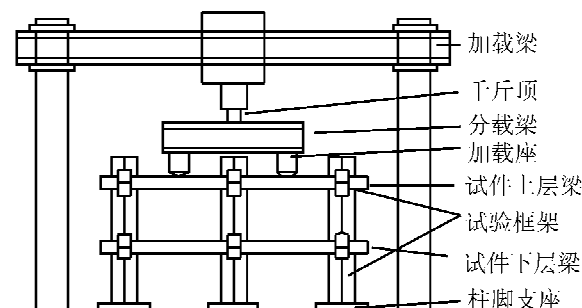


图 4 平面框架模型竖向加载示意图

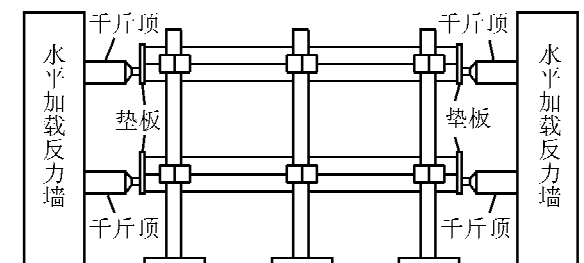


图 5 平面框架模型水平加载示意图

试验中只对纵向框架加竖向荷载至结构破坏,纵向框架和横向框架的其他工况都没有加至破坏荷载。

由于结构是一种新型的半刚性结构,节点的受力特性复杂,其结构分析方法将另行报告。沿用传统结构分析方法,在结构计算简图选取中忽略了杆件在节点处的截面削弱(刚度减弱),也忽略了两根杆件的相互作用(刚度增强),采用了两种理想化的计算简图,一种是将所有梁柱连接视为刚接(最强);另一种是将所有梁柱的连接视为铰接(最弱),即所有的竖向荷载由梁承担,而所有的水平荷载由柱承担。根据截面边缘屈服准则,可以给出结构弹性极限荷载的上下限:结构承受竖向荷载时约为 440 kN-223 kN;承受水平荷载时约为 200 kN-87 kN。

2.2 竖向荷载作用时的荷载-位移曲线

(1)横向框架。横向框架在竖向荷载作用下由试验和计算得到的荷载-挠度(梁跨中)曲线如图 6 所示,其中计算曲线中的黑点分别代表铰接和刚接体系弯矩最大截面边缘屈服时所对应的弹性极限。试验曲线由 OA、AB 和 BC 三段组成,其中 OA 段显示出结构在很小的荷载作用小就产生了较大的位移,可视为初始几何位移(刚体位移而非弹性变形),其原因在于为制作加工和组装方便,在榫卯间设置了间隙,无法保证零距离接触;AB 段基本上为直线,表明结构处于线弹性阶段,其中 B 点为弹性极限点,其荷载值为约 230 kN,对应于梁跨中截面(弯矩最大截面)的边缘屈服;BC 段为弹塑性阶段,荷载与变形呈现非线性关系,结构的变形大大加快直至破坏,可以推断这一非线性特征是由于节点特性和材料特性两个方面的因素所致。从图中可以看出结构的受力和变形特性接近于铰节点连接体系。

(2)纵向框架。纵向框架在竖向荷载作用下由试验和计算得到的荷载-挠度曲线如图 7 所示。试验曲线中原点到 A 点的变化为几何位移,B 点为弹性极限点,对应的荷载值约为 340 kN,曲线形态与横向平面框架时的曲线相类似。其不同之处在于:加载初期存在的几何位移比横向框架要小得多;框架梁的承载能力明显得到了提高,弹性极限荷载远远超过了铰接体系的弹性极限荷载,但仍低于刚性连接体系的弹性极限荷载。扣除几何位移的影响,榫卯节点的特性显示出与其他半刚性节点相类似的受力特性,从而进一步验证了提出的榫卯连接体系属于一种半刚性节点连接体系,其节点的本构关系将另行报告。

2.3 水平荷载作用时的荷载-位移曲线

拼装框架柱在水平荷载作用下不会产生几何位移。

(1)横向框架。横向框架在水平荷载作用下由试验和计算得到的荷载-侧移(柱顶)曲线如图 8 所示。计算弹性极限值仍用黑点标在相应的曲线上。在试验曲线中,荷载约为 60 kN 处,出现了拐点 A 点,其原因是柱脚固定的不牢靠,此时柱脚实际上已转化为一具有转动弹性的柱脚,试验过程中观察到了这一现象。如果将柱脚完全固定,就不会出现此拐点。截面边缘屈服时对应的弹性极限荷载约为 145 kN(B 点),此值低于刚接框架但高于完全铰接体系。试验曲线介于刚性和铰接之间,是一种半刚性连接。

(2)纵向框架。纵向框架在水平荷载作用下由试验和计算得到的的荷载-侧移(柱顶)曲线如图 9 所

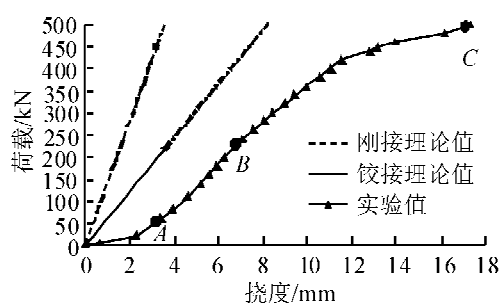


图6 横向框架竖向加载荷载-挠度曲线

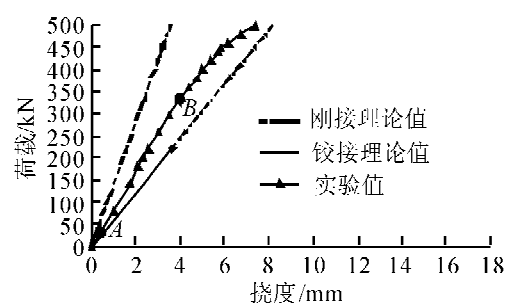


图7 纵向框架竖向加载荷载-挠度曲线

示。试验曲线与铰接时的计算曲线非常接近,但仍然呈现出与横向框架相类似的特性。第一个拐点A点出现在加载到约70 kN时,但不明显,表明柱脚的制作比横向框架时牢靠;B点为弹性极限点,对应的荷载值约为150 kN。

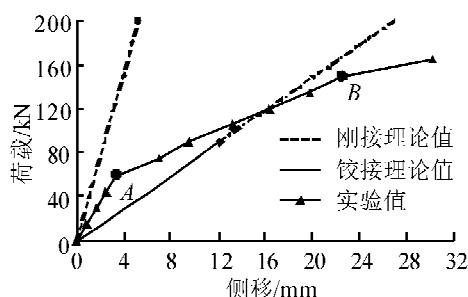


图8 横向框架方向框架水平加载荷载-侧移曲线

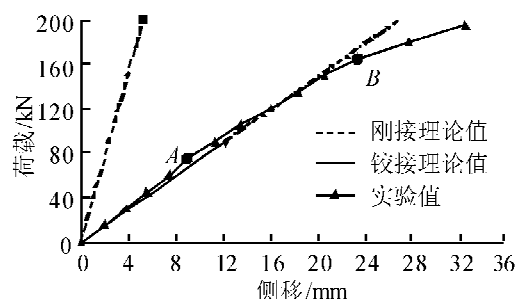


图9 纵向框架水平加载荷载-侧移曲线

综合以上情况可以看出,本拼装框架属于一种半刚性节点连接的结构,但节点的刚性程度随框架方向和加载方式不同而各异;在竖向荷载作用下,纵向框架承载能力大于横向框架承载能力;在水平荷载作用下,纵向框架承载能力小于横向框架承载能力。

3 结论

提出了一种新型组装钢框架结构体系。通过模型加载试验及与理论计算的对比,可以看出,提出的组装框架的受力变形特性介于刚接和铰接框架之间,属于一种半刚性节点连接框架,有较强的承载和耗能能力。试验中杆件边缘屈服时节点完好,未出现节点先于杆件破坏的情况。

试验的其他研究成果将陆续报告。

试验研究只是初步的,由于经费、实验和材料取得等条件的限制,使得试验模型框架高跨比偏大,节点间隙偏大,柱脚没有完全被固定,因而测试结果不十分理想。实际上,这种拼装结构的荷载位移曲线依赖于截面尺寸、榫卯间隙和竖向与水平荷载比等因素的变化,对此尚需进行大量的试验测试、数值计算和理论分析等研究工作。

参 考 文 献

- [1] Ueta K, Cuadra C, Tokeshi K, et al. Seismic behavior of a thatched house at Minehama village in Akita, Japan [J]. WIT Transactions on the Built Environment, 2007, 95: 667-673.
- [2] 徐其文, 汤小平, 索安勇. 中国古典建筑木结构特性的分析研究[J]. 淮海工学院学报, 2002, 11(4): 64-67.
- [3] 赵均海, 俞茂宏, 高大峰, 等. 中国古代木结构的弹塑性有限元分析[J]. 西安建筑科技大学学报, 1999, 31(2): 131-133.
- [4] 张鹏程, 赵鸿铁, 薛建阳, 等. 中国古建筑的防震思想[J]. 世界地震工程, 2001, 17(4): 1-6.
- [5] 周绪红, 石宇, 周天华, 等. 低层冷弯薄壁型钢结构住宅体系[J]. 建筑科学与工程学报, 2005, 22(2): 1-14.

Model Test Study on Assembly Steel Frame with Mortise and Tennon Joints and Its Load-displacement Curve

Duan Shujin, Yu Yan, Li Meng, Liu Jie, Deng Hai, Zhao Jing

(School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: A new kind of assembly steel tube frame with the mortise and tennon joints is proposed in this paper. The plane frame models along the two directions are made and the loading tests are conducted respectively to investigate their mechanical behaviours. Both of the generalized vertical and horizontal load-displacement curves are obtained. The results show that the curve is ranged between the rigid joint frame and the hinged frame, which belong to a semi-rigid connection frame.

Key words: assembly steel frame; mortise and tennon joint; model test; load-displacement curve



(上接第 11 页)

Design of Heating Power Tunnel Undercrossing Main Channel of South-to-North Water Transfer Project

Zhu Yongquan, Gao Xinqiang

(School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: With the rapid development of cities and engineering construction, large numbers of new tunnels beneath the existing buildings or structures have appeared. During the construction of shallow, loose sand stratum tunnel, uneven surface settlement appears as the formation stress state changes and adjustments, which may have great influence on the existing buildings or structures. In this paper, the interaction factors and the design problems are introduced and position relationship, construction deformation, treatment measures of flood prevention and seepage are analyzed in the construction of Shijiazhuang heating power tunnel under-crossing the main channel of the mid-route of South-to-North Water Transfer Project, which can be used as reference for similar projects.

Key words: South-to-North Water Transfer Project; beneath; tunnel; design; construction