

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2013.S1.001

# 木结构双自攻钉协同抗拔力试验研究

张建兴<sup>1</sup>, 施刚<sup>1</sup>, 王元清<sup>1</sup>, 石永久<sup>1</sup>, 黄慧娟<sup>2</sup>, 张振宏<sup>2</sup>

(1. 清华大学土木水利学院, 北京 100084; 2. 北京东方诚国际钢结构工程有限公司, 北京 100124)

**摘要:**为了研究木结构中的自攻钉的抗拔性能, 选用国产普通圆钉、进口规格木材和普通木材, 制作了6个木结构剪力墙中钉连接的试件, 采用单调加载方式进行试验研究, 结果表明普通圆钉连接强度主要取决于破坏模式; 契入效应不足明显影响钉连接的强度; 钉连接刚度离散性较大; 故而通过进一步的试验研究, 得出国产自攻钉抗拔连接强度和刚度计算公式, 将是十分必要的。

**关键词:**木结构; 钉; 抗拔力; 协同作用

**中图分类号:** TU366.2    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1674-4764(2013)S1-0001-03

## Test Studies on Wooden Double-tapping Screw Pullout Coordination

Zhang Jianxing<sup>1</sup>, Shi Gang<sup>1</sup>, Wang Yuanqing<sup>1</sup>, Shi Yongjiu<sup>1</sup>, Huang HuiJuan<sup>2</sup>, Zhang Zhenghong<sup>2</sup>

(1. Department of Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, P. R. China;

2. Beijing Dongfangcheng International Steel Structure Engineering Co., Ltd, Beijing 100124, P. R. China)

**Abstract:** In this paper, the experimental study on the self-tapping screw's pullout resistance in the wood structure was conducted. Domestic ordinary screws were used together with imported or domestic wood to fabricate 6 screw connection specimens in wooden walls. Then monotonic loading tests were conducted and it can be concluded that, the common round screw connection strength mainly depends on the failure mode, the lack of cooperation effect significantly influences the strength of screw connections, and the dispersion of screw connection stiffness is high. So, to obtain formulae for the self-tapping screw connection strength and stiffness by further experimental study will be very necessary.

**Key words:** wood; screw; pullout force; cooperation effect

轻型木结构是由规格材与木基结构覆面板通过钉子连接而成的墙体和楼盖, 以及木桁架组成的平台式木框架结构。轻型木结构建筑具有环保、舒适、节能、施工快捷、构造简单、节能美观、抗震性能优越等优点。国际上历次地震灾害调查均表明, 多数木结构房屋可以承受地震作用, 没有造成倒塌和严重的人员伤亡。因此在北美和北欧的低、多层建筑中得到广泛应用, 其中90%以上的居住建筑(独户、联体住宅以及4层以下的公寓), 都采用这种结构形式, 近年来在日本、韩国、中国台湾等多震害地区, 也得到了大量的应用<sup>[1]</sup>。

轻型木结构的体系, 是将小截面构件按一定的间距等距离平行排列形成框架, 然后在框架外根据受力需要, 包上结构面板, 形成建筑物的墙体、楼盖和屋盖等基本构件。整个结构体系就是由这些墙体、楼盖和屋盖构成的箱形建筑体系。作为一种高次超静定的结构体系, 轻型木结构的结构强度通过主要结构构件(框架)和次要结构构件(墙面板、楼面板和屋面板)的共同作用形成<sup>[2-3]</sup>。

轻型木结构的主要竖向抗侧力构件为剪力墙, 剪力墙的抗剪能力主要取决于覆面板和墙骨之间钉连接的侧向抗剪性能。在轻型木结构建筑中, 剪力墙是抵抗风、地震等侧向作用的主要构件, 其承载力主要由墙骨与覆面板通过钉连接

组成的“蒙皮结构”所提供<sup>[4]</sup>。钉连接的承载性能是控制剪力墙乃至整个轻型木结构受力性能的关键, 国内外学者已对钉连接进行了深入的研究, 文章主要就木结构自攻钉连接的抗拔性能进行试验研究。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料与设备

国产带螺纹自攻钉, 螺纹规格 ST2.6, 实测平均钉长 26.5 mm, 实测平均直径为 2.84 mm, 平均屈服强度为 828 MPa, 平均弹性模量为  $1.91 \times 10^5$  MPa。进口木材, 产地俄罗斯, 实测平均含水率为 12.5%, 平均基本密度为  $0.41 \text{ g/cm}^3$ , 由中国某现代钢结构制造公司提供。国产普通木材, 实测平均含水率为 12.7%, 平均基本密度为  $0.42 \text{ g/cm}^3$ , 由中国某现代钢结构制造公司提供。其中木材经过高压防腐防蛀处理。木材含水率符合《木结构设计规范》中的有关要求<sup>[5]</sup>。此次试验中有 2 组(每组 3 试件)共 6 个试件, 其中试件 A-1、A-2、A-3, 为国产木材, 纹路较细, 试件 B-1、B-2、B-3 为进口木材, 纹路较粗。检测试件由木块, 铁笼和受拉钢筋组成。木块长 13.7 cm, 宽 7.0 cm, 厚 3.3 cm。左孔距边缘 2.0 cm, 右孔距边缘 2.0 cm, 两孔距 3.0 cm。钢笼板厚

收稿日期: 2013-03-27

作者简介: 张建兴(1987-), 男, 硕士, 主要从事多层钢框架抗连续倒塌性能研究, (E-mail)zhangjx10@mails.tsinghua.edu.cn。

2.0 mm。自攻钉钉长 2.65 cm。木块及试件示意图和实物图见图 1、2 所示。

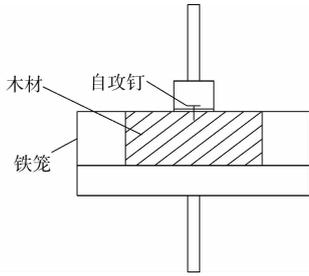


图 1 木材材料及自攻钉位置示意图

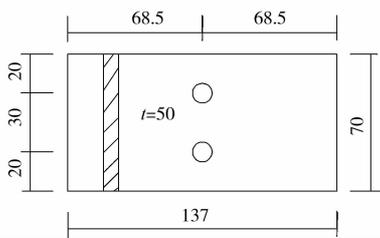


图 2 木材材料及试件实物图(单位:mm)

主要试验设备为液压式万能试验机采用 WE-100B 型,最大试验力 100 kN。荷重传感器选用 BHR-5 型,用于量测荷载量值最大 100 kN,通道号 1-1。位移计(10 mm)通道号 1-2,位移计(10 mm)通道号 1-3。IMP 分散式精密测量模板采用 IPM35951B 型。

### 1.2 试验方法

为使试验条件尽可能接近实际剪力墙结构的使用和受力特点,在试件制作完成后,在室内标准环境中放置时间不少于 2 周。采用单调匀速加载直到试件破坏的加载模式,以荷载作为加载控制。长度和直径用游标卡尺对木块及自攻钉进行测量。试验加载方案见图 3、4 所示。传感器初始化,记录初始状态,液压千斤顶缓慢加载,加载速率应符合木结构试验方法标准(GB/T 50329-2002)中的有关要求<sup>[6]</sup>,计算机自动采集所有传感器的数据,并选择力传感器、夹具处位移进行实时监控,每 5s 采集一次数据,千斤顶加载至自攻钉的抗拔力接近于 0 后卸载。



图 3 测量加载情况

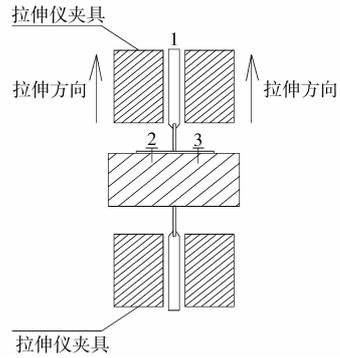


图 4 加载和测点布置

## 2 试验结果与结果分析

### 2.1 试验结果

国产木材和进口木材试件 A-1、A-2、A-3、B-1、B-2、B-3 的全部试验曲线如图 5 所示,其破坏形式如图 6,主要表现为:①木板孔处木材撕裂、②自攻钉被拔出,与木材粘结作用丧失。

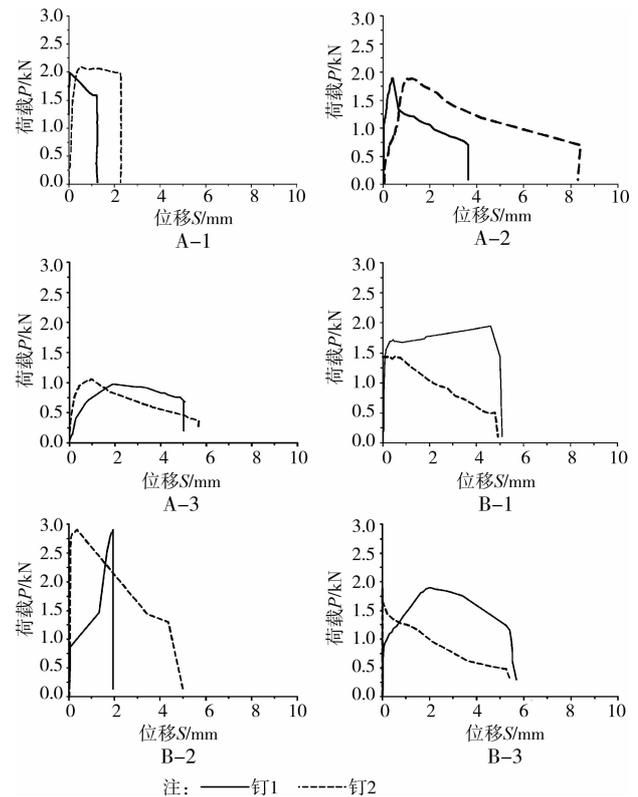


图 5 国产和进口木材试件的荷载位移曲线

### 2.2 试验结果分析

欧洲标准 EN26891<sup>[7]</sup>规定:当钉连接试验曲线上最大荷载对应的滑移值 $\leq 15$  mm 时,取该最大荷载值作为  $P_{max}$ ;当钉连接试验曲线上最大荷载对应的滑移值 $> 15$  mm 时,取 15 mm 滑移值对应的荷载值作为  $P_{max}$ 。钉连接的刚度  $K$  取为 10%  $P_{max}$  和 40%  $P_{max}$  两点间曲线的割线斜率。 $K = (P_{0.4} - P_{0.1}) / (S_{0.4} - S_{0.1})$ ,采用以上规则计算各类试件平均拟合曲线的  $P_{max}$  和  $K$  值如表 1 所示。

由于试件是采用两个自攻钉共同协同作用,故两个连接

钉的荷载相同,但位移不一定相同;两个自攻钉的荷载位移曲线有一定相互关联,故分别求出两个自攻钉的连接刚度  $K$ , 同时为衡量两个自攻钉的协同工作系数,取两个自攻钉连接刚度的比值为  $\zeta$ ,  $\zeta = K_i/K_j (K_i < K_j)$ ,  $\zeta$  的取值范围为  $0 \sim 1$ , 且  $\zeta$  越接近于 1, 则协同工作效果越好。

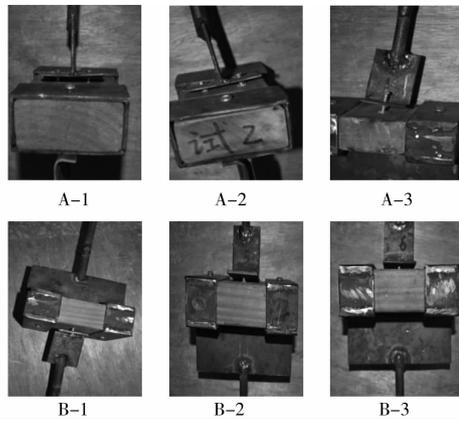


图 6 国产和进口木材试件的破坏形态

表 1 国产木材单调加载试验钉连接强度和刚度

试件编号	$P_{\max}/N$	$K_1/(N \cdot mm^{-1})$	$K_2/(N \cdot mm^{-1})$	$\zeta$
A-1	2 097	32 600	9 449	0.289 855
A-2	2 044	11 519.23	2 139.286	0.185 714
A-3	1 110	3 526.316	3 563.83	0.989 474

表 2 进口木材单调加载试验钉连接强度和刚度

试件编号	$P_{\max}/N$	$K_1/(N \cdot mm^{-1})$	$K_2/(N \cdot mm^{-1})$	$\zeta$
B-1	2 009	45 500	136 500	0.333 333
B-2	4 353	6 142.202	4 799.283	0.781 362
B-3	1 797	12 409.09	2 663.41	0.214 63

1) 从表 1、表 2 中可知,每类试件的 A 型和 B 型,分别代表与自攻钉连接的木材的材质,排除个别超出平均值的试件,可以看到, A 型试件的抗拔承载力与 B 型试件的抗拔承载力相当,其对试件的  $P_{\max}$  影响并不明显,即木材材质并不明显影响普通圆钉连接的抗拔承载力性能。

2) A 型试件的抗拔承载力与 B 型试件的抗拔刚度试验结果具有较大离散性;钉连接刚度与自攻钉与木材的咬合强度有关,同时受木材木纹方向的影响,以及计算钉连接刚度时应计入剪力作用方向与木材木纹方向的角度影响。

### 2.3 破坏形态分析

1) 此次试验在试件的 T 型钢笼上的自攻钉外侧约距 1 cm 处分别设置了一个位移计,用于测量自攻钉在受拉时的荷载与拔出位移关系的趋势,由于构件本身的制作初始缺陷及安装偏差,所测的位移值在数值上并不具备参考价值。

2) 从荷载位移变化趋势看,能够推测出构件在受拉时的受力情况是一侧钢钉受拉,而另一侧钢钉提供的拉力近似为 0,故而破坏形态均是一侧钢钉被拔出后,另一侧钢钉开始承受拉力,两侧钢钉在受拉时并未协同工作。在位移图上表示为有一个位移进入峰值平台,而另一个位移值开始进入较大的上升段。故此试验测出的抗拔力数值应与单个自攻钉与木材的抗拔力的数据相近。

### 2.4 强度影响因素分析

1) 首先是螺钉位置不对中,导致一侧自攻钉受拉力较大,另一侧自攻钉受拉力较小,从而导致两个自攻钉不能协同工作,影响自攻钉抗拔承载力的充分发挥。

2) 另外影响构件抗拔力的主要因素是自攻钉与木材的摩擦连接情况,当木材中的孔较小,木材与自攻钉的锚固性能较好,自攻钉被拔出时带出的木材纤维较多,而当木材的孔较大时,木材与自攻钉的锚固较差,自攻钉被拔出时木材被带出的木材纤维较少。

3) 此外木材的材质对自攻钉的也有一定的影响,但影响不如前述两者。

## 3 结论

1) 钉连接强度主要决定于破坏形式,从文章的试验可以发现,双钉达到最大荷载时的位移值相近时,强度值最高。

2) 钉与木材的契入效应不足影响自攻钉的抗拔承载力的发挥,从试验结果中发现,承载力较高的木材试件破坏时,钉子口的木材纤维被拔出,说明木与钉的摩擦咬合作用较强,承载力较高。

3) 钉连接刚度试验结果具有较大离散性;试验表明钉连接刚度明显受墙骨木材木纹方向的影响,计算钉连接刚度时应计入剪力作用方向与木材木纹方向的角度影响。

4) 自攻钉的抗拔力强度及抗拔刚度的计算公式尚未给出,需要通过进一步的实验进行研究探讨。

### 参考文献:

- [1] 陈松来,陈志勇,樊承谋,等. 木结构剪力墙中钉连接的实验研究[J]. 中山大学学报:自然科学版,2008,47(4):133-138.
- [2] 邢继胜,王元清,陈宏,石永久. 美国多层木结构房屋的应用与设计[J]. 工业建筑,2006(Sup1):1634-1639.
- [3] 熊俊,石永久,王元清,等. 轻型木结构住宅节点构造研究[J]. 工业建筑,2006(Sup1):1665-1670.
- [4] 陈志勇,陈松来,樊承谋,等. 木结构钉连接研究进展[J]. 结构工程师,2009,25(4):152-157.
- [5] GB/T 50005—2003 木结构设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [6] GB/T 50329—2002 木结构试验方法标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [7] European standard. EN 26891. Timber structures-Joints made with mechanical fasteners-general principles for the determination of strength and deformation characteristics [S]. European Committee for Standardization, Brussels, 2001.