

“十一五”国家科技支撑计划专栏

兴安落叶松规格材齿板连接 节点的拉伸性能

席佳¹, 赵荣军¹, 费本华², 叶虹^{2,3}, 王朝晖¹

(1. 中国林科院木材工业研究所; 国家林业局木材科学与技术重点实验室, 北京 100091;

2. 国家林业局北京林业机械研究所, 北京 100029; 3. 北京林业大学, 北京 100083)

摘要: 采用国产落叶松规格材及进口齿板连接件构造节点, 依据国标对齿板接合节点的延性比、齿板极限承载力、齿板极限受拉承载力及设计值进行评估。结果表明, 采用 Foschi 公式对试验曲线进行拟合, 结果良好; 齿板节点的延性比随节点构造方式的不同而异, 顺纹节点的延性比均大于 2.0, 明显高于横纹节点, 符合抗震结构的要求。

关键词: 落叶松; 齿板; 齿; 极限承载力; Foschi 公式; 延性比

中图分类号: S7; TS6; TU531.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2009)05-0001-04

Tension Performance of Dahurian Larch Lumber Joints Connected by Truss Plates

XI Jia¹, ZHAO Rong-jun¹, FEI Ben-hua², YE Hong^{2,3}, WANG Zhao-hui¹

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry; Key Lab of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2. Beijing Forestry Machinery Research Institute of State Forestry Administration, Beijing 100029, China; 3. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Timber construction in China is gaining more attention and use of metal-plate-connected trusses made from dahurian larch dimensional lumber and imported truss plates is becoming more popular for light frame wood construction. This study evaluated tension test results (ultimate strength and tooth withdrawal) for the truss connections according to GB 50005-2003. The load-displacement curves were modeled using Foschi's equation. The accuracy and efficiency of the Foschi's model were examined and a conservative method of determining connection ductility ratio was proposed. The result showed that the ductility ratio varied with the types of connections and with a connection of $\alpha=0^\circ$, was higher than 2.0 which is a typical value used in a seismic resistant structure.

Key words: *Larix gmellini*; truss plate; tooth withdrawal; ultimate strength; Foschi equation; ductility ratio

在现代轻型木结构建筑中, 楼板和屋顶体系多采用轻型框架木桁架体系, 木桁架的节点常用齿板进行连接。齿板连接具有可提前预制、批量生产、节约人

力、缩短工期、提高效率等特点, 自 1952 年世界上第一个齿板连接木桁架发明以来, 一直保持着良好的使用记录, 成为轻型木结构桁架的主要连接方式。

我国对齿板连接的研究刚刚开始。本文系根据我国的木结构设计规范, 采用进口齿板连接国产落叶松规格材, 对 4 种不同构造方式的接合节点进行拉伸试验, 探讨国产规格材与齿板接合节点的拉伸性能, 为国产材在木结构建筑中的应用提供理论依据。

收稿日期: 2009-07-22; 修改日期: 2009-08-03

基金项目: “十一五”国家科技支撑项目“高强结构材加工利用技术”(2006BAD18B07)。

作者简介: 席佳(1985—), 女, 中国林科院木材工业研究所硕士研究生。

通讯作者: 赵荣军, 女, 中国林科院木材工业研究所副研究员, 博士。

1 材料与方法

1.1 试验材料

- 1) 兴安落叶松(*Larix gmellini*),采自大兴安岭,树龄 30 年以上,规格(厚×宽×长)40 mm×90 mm×300 mm,无疵试件,含水率 12%左右。
- 2) 齿板,型号 M20,厚度 1.0 mm,Mitek 公司生产。根据 GB 50005-2003 的要求,需将齿板上距试材端头 12 mm 以内,及边距 6 mm 内的板齿去除。

1.2 性能检测

- 依据 GB 50005-2003《木结构设计规范》,检测:
- 1)齿极限承载力,即齿板表面净面积上承受的极限荷载。各取 10 个试件。
- 2)齿板极限受拉承载力,即垂直于拉力方向的齿板截面宽度承受的极限拉力。各取 3 个试件(表 1)。

表 1 拉伸试验所用齿板的尺寸

Tab. 1 Dimension of truss plate for tension test

检测项目	节点构造方式	组数	齿板尺寸/(mm×mm)
齿极限承载力	$\alpha=0^{\circ}, \theta=0^{\circ}$	20	75×100
	$\alpha=0^{\circ}, \theta=90^{\circ}$	10	75×100
	$\alpha=90^{\circ}, \theta=0^{\circ}$	10	75×125
	$\alpha=90^{\circ}, \theta=90^{\circ}$	10	75×100
齿板极限	$\alpha=0^{\circ}, \theta=0^{\circ}$	10	75×125
受拉承载力	$\alpha=0^{\circ}, \theta=90^{\circ}$	10	75×125

注: α 为荷载与木材纹理方向的夹角, θ 为荷载与齿板主轴方向的夹角。

为确保试验所用齿板尺寸符合国标要求,进行了预备试验。使用 25 t 冷压机将齿板连接件水平压入落叶松试件中,制成落叶松木材与齿板节点。先将一面齿板压入,然后翻转试件,在其另一面再压入另一块齿板,见图 1。

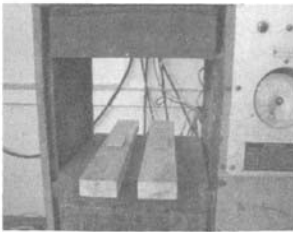


图 1 齿板压入落叶松试件的试验装置
Fig. 1 Pressing truss plates

参照 Abrek 等^[1-3]的研究方法,将制成的齿板节点置于恒温恒湿箱中一周,平衡应力,再按照国标进行齿板节点拉伸试验。测试速度 1 mm/min,夹具自

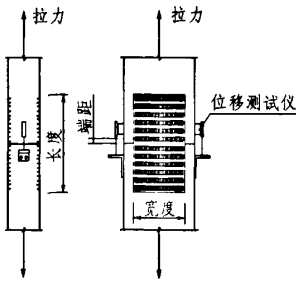


图 2 齿板节点承载力示意图

Fig. 2 Tension test of metal-plate-connected Larch truss load-bearing capacity

制,采用 5 t 万能力学试验机(图 2)。

2 结果与讨论

2.1 齿极限承载力的确定

齿板节点的齿极限承载力试验结果,列于表 2。由表 2 可见,顺纹节点($\alpha=0^{\circ}$)的齿极限承载力,高于横纹节点($\alpha=90^{\circ}$);齿板尺寸相同时,节点的最大承载力相差不大。可以认为齿板尺寸相同时,节点构造方式对节点最大承载力的影响可以忽略。

测定齿极限承载力时,应保证节点破坏形式为齿

表 2 齿极限承载力试验值

Tab. 2 Test results of ultimate strength

节点构造方式	齿板尺寸/(mm×mm)	齿板净面积/mm ²	最小 3 个值的均值/kN	平均值* /kN	齿极限承载力/(N·mm ⁻²)
$\alpha=0^{\circ}, \theta=0^{\circ}$	75×100	6 336	21.60	24.26	3.83
$\alpha=0^{\circ}, \theta=90^{\circ}$	75×100	6 424	21.63	23.17	3.61
$\alpha=90^{\circ}, \theta=0^{\circ}$	75×125	8 025	20.53	21.52	2.68
$\alpha=90^{\circ}, \theta=90^{\circ}$	75×100	6 424	18.55	20.68	3.22

* 为此类型所有节点极限承载力的算术平均值。



a 齿拔出破坏 b 木材撕裂破坏 c 齿板断裂破坏

图 3 齿板节点试验的破坏模式

Fig. 3 Failure modes in tension test for metal-plate-connected Larch truss

破坏。本试验中,齿板节点的破坏有形式 2 种:顺纹节点处木材承载能力较强,表现为齿拔出破坏(图 3a);横纹节点处则反之,表现为木材撕裂破坏

(图 3b)。

2.2 齿板极限受拉承载力及其设计值的确定

测试齿板承受的极限受拉承载力时,应避免节点破坏,即齿板断裂(图 3c)。实测的齿板受拉承载力数值,还需乘以修正系数,即得到校正试验值。

修正系数为齿板钢板型号规定的最小极限受拉承载力,除以 3 块齿板钢板的平均极限受拉承载力。本试验得到的修正系数为 1.003。取受拉极限承载力校正值中 2 个最小值的平均值,除以 1.75,即获得齿板受拉承载力设计值。

表 3 显示,齿板极限受拉承载力的变异系数仅为 2.9%,远低于落叶松木材弹性模量的变异系数(20%~30%),说明落叶松规格材与齿板构成节点时,落叶松木材强度完全满足节点的受力要求,因此,极限受拉承载力的大小,主要取决于齿板本身。

荷载平行于齿板主轴时,加载齿板极限受拉承载力,高于荷载垂直于齿板主轴加载的方式。因为荷载垂直于齿板主轴时,齿槽较宽,齿槽处齿板截面面积较小,因而齿板极限受拉承载力略有下降。

表 3 齿板极限受拉承载力的设计值

Tab. 3 Design value of ultimate bearing capacity of metal-plate-connected larch truss

节点类型	极限荷载/kN	变异系数/%	承载力校正值/(N·mm ⁻¹)	承载力设计值/(N·mm ⁻¹)
$\theta=0^\circ$	33.89	2.9	453	252
$\theta=90^\circ$	27.13	2.9	363	198

2.3 Foschi 公式模拟及分析

弹性基体梁理论,能够较准确地描述节点荷载-滑移关系,故常用于理论分析中。作为弹塑性理论分析方法,Foschi^[4]公式在钉、螺栓、齿板等各种连接件中被广泛应用。将 4 种节点的试验结果与 Boltzman、Foschi 公式拟合,均得到较理想的结果。

以荷载平行于木纹及齿板主轴($\alpha=0^\circ, \theta=0^\circ$)为例(图 4)。因 Foschi 公式参数较少,本试验选择 Foschi 公式,进行试验数据的非线性拟合(图 5),拟合公式为:

$$P=(M+M_1\Delta)(1-e^{-\frac{K\Delta}{M_0}})$$

式中: P —应力,kN; Δ —节点滑移距离,mm; K —线弹性刚度(即初始刚度); M_1 —屈服后刚度(又称大变形刚度),kN/mm; M_0 —屈服后曲线渐近线在应力轴上的截距,kN。

由图 4、5 可见,拟合曲线较好地反应了前部线弹性区域和后部屈服的节点特性,并表现了齿板从弹

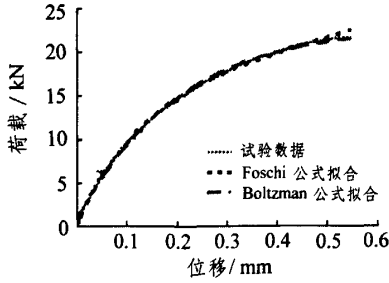


图 4 2 种公式模拟试验的曲线示意图

Fig. 4 Load deformation curves correlated with the two empirical models

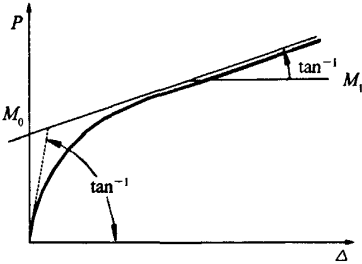


图 5 Foschi 公式描述的应力-应变示意图

Fig. 5 Load-deformation relationship based on the Foschi equation

性向塑性转变的过程。表明弹塑性分析法,在表达齿板节点受拉伸荷载的特性时,Foschi 的非线性修正指数函数具有良好的适用性。

2.4 齿板节点延性比的计算和比较

各种结构或材料,在受力的不同阶段,其荷载-位移曲线可形成相应的几何特征,概括为:

- 1) 曲线有明显的尖峰,达到最大承载力后突然下跌;
- 2) 曲线在最大承载力附近,有可观的平台,即能经受很大的变形而承载力无显著降低。

通常称前者为脆性材料或脆性结构,后者为延性材料或延性结构^[5]。在工程中,判断结构的脆性或延性意义重大:

- 1) 破坏前有明显预兆,破坏过程缓慢,可采用偏小的安全系数或可靠度;

- 2) 出现非预计荷载,如偶然超载、荷载反向、温度升高或基础沉降等,引起附加内力的情况下,有较强的承受和抗衡能力;

- 3) 有利于实现超静定结构的内力充分重新分布,提高结构的承载力;

- 4) 在承受动力作用(如振动、地震、爆炸等)时,可减小惯性,吸收动能,减轻破坏程度,有利于修复。

一般取延性或延性比,作为度量和比较结构或材

料的延性指标。即在保持结构或材料的基本承载能力(强度)的情况下,极限变形 D_u 和初始屈服变形 D_y 的比值,即: $\beta_0=D_u/D_y$ 。

目前木结构的设计规范尚未涉及齿板节点延性比的内容,国外可供参考的资料亦有限。本研究在对比了齿板节点和混凝土的力-变形曲线(极限点定值为0.85倍最大荷载值)后,将极限点的定值确定为最大荷载值,由此得出的延性比值较保守和安全。采用几何作图法求初始屈服点,得到的节点延性比见表4。

表4 齿板节点延性比

Tab. 4 Ductile ratio of metal-plate-connected Larch truss

节点类型	齿板尺寸/ (mm×mm)	延性比			变异系数/%
		最大值	最小值	平均值	
$\alpha=0^\circ, \theta=0^\circ$	75×100	3.80	2.04	2.48	19.0
	75×125	3.84	2.51	3.26	15.6
$\alpha=0^\circ, \theta=90^\circ$	75×100	5.38	2.63	3.36	29.5
	75×125	7.61	3.18	5.02	28.7
$\alpha=90^\circ, \theta=0^\circ$	75×125	2.71	1.42	1.82	24.1
$\alpha=90^\circ, \theta=90^\circ$	75×100	3.12	1.55	2.08	27.0

由表4可知,齿板顺纹节点的延性比均 >2 ,远高于横纹节点,达到了结构抗震对延性比的要求^[5],而横纹节点不符合要求。在同种顺纹节点内,当齿板长度从100 mm增至125 mm后,延性比可相应提高30%~50%。

3 结论

1) 落叶松规格材顺纹节点的齿极限承载力高于横纹节点;齿板尺寸相同时,节点的最大承载力相差较小,节点构造方式对节点最大承载力的影响亦不大。

2) 落叶松规格材与齿板节点极限受拉承载力的

变异系数为2.9%;荷载平行于齿板主轴时,齿板极限受拉承载力高于荷载垂直于齿板主轴时。

3) 对荷载-位移曲线进行模拟,Boltzman、Foschi公式模拟曲线的效果良好。

4) 借鉴建筑结构延性比的计算方法,得到了各齿板节点的延性比。其中顺纹节点的延性,远高于横纹节点;齿板长度增加,延性比相应提高30%~50%。

5) 国产落叶松规格材节点齿板连接的承载力与进口规格材基本相当,说明齿板连接也适用于国产规格材。但试验中也发现,国产落叶松规格材易出现木材本身的破坏,尤其是当荷载垂直于木纹时。因此,在实际应用中,还需针对国产落叶松木材的性能特点,适当调节齿板板齿的分布和长度等,使齿板连接能够更好的适用于国产材。

参考文献:

[1] Arbek T. The effect of time on the strength of truss plate joints [R]. Ottawa: Unpublished report submitted to the Department of Civil Engineering, Carleton University, 1973.

[2] Rakesh Gupta, Student Member, ASCE, et al. Connected wood truss joints[J]. Journal of Structural Engineering, 1990, 116 (7): 1971-1982.

[3] Gebremedhin K G, M C Jorgensen, C B Woelfel. Load-slip characteristics of metal plate connected wood joints tested in tension and shear[J]. Wood and Fiber Science, 1992, 24 (2): 118-132.

[4] Foschi R O. Analysis of wood diaphragms and trusses. Part II: Truss-plate connections[J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 1977, 4(3): 353-362.

[5] 过镇海,时旭东. 钢筋混凝土原理和分析[M]. 北京:清华大学出版社,2003: 334-342.

(责任编辑 姜征、张一萍)

2010年《中国人造板》杂志征订启示

《中国人造板(月刊)》,是我国专题报道人造板全方位信息的杂志,主要面向人造板、人造板原辅材料、人造板深加工、地板、木材加工设备及配件、室内装饰、木制家具、建材等领域的广大企事业单位、营销单位、行政管理部门,发行量大,报道专业性强,是行业的质量、技术、市场信息专家。

每月5日出版,大16开全彩印刷,国内外公开发行。邮发代号:2-995,国内定价:9元/期,全年108元。全国各地邮电局(所)均可办理订阅,也可直接与本刊编辑部联系订阅(邮局汇款时请注明邮编、地址、单位、收刊人、电话、订阅起止时间)。

欢迎订阅,欢迎刊登广告。

刊 号: CN 11-5459/S ISSN 1673-5064
地 址: 北京市颐和园后中国林科院 70 信箱
《中国人造板》编辑部(邮编:100091)
订阅热线: 010-62889493/9497 (王剑平 女士)
订阅邮箱: dingyue@cwbp.cn
广告热线: 010-62870239/62889423(王滔 女士)
广告邮箱: guanggao@cwbp.cn
传 真: 010-62865168
投稿邮箱: zgrzb@188.com
网 址: www.cwbp.cn