

轻型木桁架齿板的承载性能分析

陈佛喜¹, 李爽², 王煥², 许民¹

(1. 东北林业大学生物质材料科学与工程教育部重点实验室, 哈尔滨 150040;

2. 东北林业大学材料科学与工程学院, 哈尔滨 150040)

摘要: 对轻型木桁架用连接件——齿板进行设计,并测试了齿板的极限受拉承载力和受剪极限承载力,分析和探讨影响齿板连接性能的因素。试验证明:荷载与木纹夹角、荷载与板轴夹角均对板齿承载力有影响,荷载与板轴夹角对齿板的抗剪极限承载力有很大的影响。

关键词: 轻型木桁架; 齿板; 极限承载能力

中图分类号: TS6; TU531.1; S791.22

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2009)06-0014-04

Mechanical Properties of Light Wood Trusses Connected with Metal Plates

CHEN Fo-xi, LI Shuang, WANG Huan, XU Min

(1. Northeast Forestry University; Key Laboratory of Bio-Based Material Science and Technology of Ministry of Education, Harbin 150040, Heilongjiang, China; 2. College of Material Science and Engineering, Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China)

Abstract: Light wood truss structural performance, under various loading conditions, was investigated to determine the design values. Selected metal plates were also evaluated for maximum tensile and shear resistance. The results showed wood member grain direction and metal plate configuration are the most important factors that influence overall structural performance.

Key words: light wood truss; metal plate; ultimate strength

长期以来,我国建筑市场以混凝土结构为主导,直至近几年,环保节能的轻型木结构房屋,才引起了广泛的关注。

在轻型木结构住宅中,楼板和屋顶多采用轻型框架木桁架体系,体系中的桁架节点处,常用齿板连接,可提前预制并成批制作,节约劳力,缩短工期,效率高、节点性能稳定可靠。根据加拿大 CSA O86S1-05《Engineering Design in Wood》,采用齿板连接的轻型木桁架,跨度可达 30 余米^[1]。

齿板作为轻型木桁架中的重要连接件之一,其物理力学性能决定了其应用范围,也是衡量齿板性能和木桁架设计的重要参数。齿板由镀锌或镀铝锌等高强度钢板经模型冲压而成,再剪切成各种规格。齿板

镀层可以通过热浸或电镀来完成,镀锌钢板在镀层后都可以冲压成齿,而镀铝锌钢板只能在热浸镀层后冲压^[2]。齿板的力学特性,通过板和节点的试验建立,根据标准测试其抗力强度^[3]。

齿板的设计准则: 1) 无安装变形; 2) 齿板垂直于矩形表面; 3) 齿板穿入锯材的深度,不低于国家齿板实验标准的要求; 4) 连接处无缺棱、木节或木节孔^[4]。

对于齿板的连接性能,美国学者给出了在拉力作用下,2 种齿板连接的荷载-滑移关系曲线^[5]。认为粗糙面的齿板较光滑面的齿板承受的荷载更大,滑移量也较小,原因是粗糙的齿板与木材间较强的摩擦力,承担了部分荷载。研究还证明,齿板产生的连接力因板齿嵌入木构件的方法不同而异,因此,齿板应以同一种方法压入木材。

美国齿板协会(Truss Plate Institute, TPI)要求,板长应满足在板齿破坏时板不会发生撕裂。试验表明,当板长增加 3 倍时,板齿的承载力会降低 39%^[6]。此外,应尽可能采用长或宽的齿板,目的是

收稿日期: 2009-01-16; 修改日期: 2009-07-10

基金项目: 国家林业局“948”项目(2004-4-45); 东北林业大学本科生创新项目(2008038)。

作者简介: 陈佛喜(1986—),男,东北林业大学材料科学与工程学院硕士研究生。

通讯作者: 许民,女,东北林业大学材料科学与工程学院教授,博士。

在试验中产生最低的板齿承载力值^[7]。

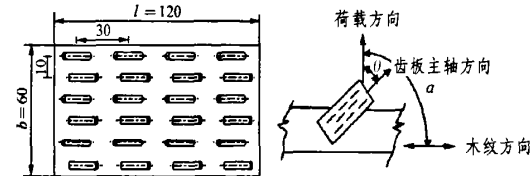
笔者进行了轻型木桁架齿板的设计,及其力学性能的检测,分析其影响因素,以期为确定齿板连接轻型框架木桁架的设计验算方法,以及木桁架的制作、连接、安装,提供参考和依据。

1 材料与方法

1.1 材料

落叶松(*Larix gmelini*):含水率 14%,无疵试样。3 种规格分别为(厚×宽×长):A. 40 mm×90 mm×150 mm; B. 40 mm×150 mm×150 mm; C. 40 mm×90 mm×270 mm。均购于木材市场,未经阻燃处理。

国产齿板:自行设计、生产,由 2 个分别与齿板主轴夹角为 22.5°的半齿组成,齿顶端尖锐,钢板镀锌层质量≥275 g/m²(图 1)。



注:主轴(板轴):狭长齿孔长度方向;b:齿板垂直板轴方向的宽度,mm;l:齿板平行板轴方向的长度,mm; α :荷载与木纹夹角; θ :荷载与板轴夹角

图 1 齿板、荷载示意图

Fig. 1 Configuration of metal plates and loading conditions

进口齿板:SK-20, Jager Building Systems Inc 生产,由 2 个分别与齿板主轴夹角为 22.5°的半齿组成。齿顶端较尖锐,两边与垂直板面方向的夹角分别为 10°和 25°(表 1)。

表 1 国产齿板与进口齿板规格

Tab. 1 Dimensions of domestic truss plates and imported SK-20 plates

规格	国产齿板	SK-20 齿板
齿数/(个/cm ²)	0.86	1.66
齿长/mm	10	7.9
齿宽/mm	3.2	3.2
钢板厚度/mm	1.5	0.914
齿断面形状	V 型	V 型
材料	Q235 碳素结构钢	B 级镀锌薄钢板

1.2 设备

CMT 5504 万能力学试机,夹具自行设计(在试件的两端打孔,夹具和试件用螺栓连接。图 2)。



图 2 夹具装置

Fig. 2 Set-up for tensile test

1.3 检测

参照 GB 50005-2003《木结构设计规范》,测定国产齿板、进口齿板的承载性能。

2 结果与分析

2.1 板齿的极限承载力

板齿的极限承载力测试结果,如表 2 所示。

试验要求,齿板的齿破坏而齿板不被拉断。试验显示:加载前,齿垂直钉入木材,随着节点拉力的增加,齿发生转动变形;拉力继续增加,齿板边缘的齿从木材中滑出,最终完全脱离木材。

由节点拉力-滑移曲线(图 3)可看出:开始加载时,节点刚度相对较大,拉力-变形的关系基本呈斜直线;当边缘部分的齿开始松动,出现从木材中滑出的趋势时,节点刚度显著下降。随时间的延长,刚度不

表 2 板齿的极限承载力

Tab. 2 Ultimate bearing capacity

试验条件	试材规格	试件号	极限荷载/kN	A/mm ²	极限承载力测试值/(N·mm ⁻²)	r	P/MPa
$\alpha=0^\circ$	B	1	7.289	5 760	1.265	1	0.655
		2	7.526	5 760	1.307		
		3	8.813	5 760	1.530	5	0.438
	B	1	6.312	4 320	1.461	5	0.467
		2	6.053	4 320	1.401		
		3	5.828	4 320	1.349	1	0.704
$\alpha=90^\circ$	A B	1	7.324	6 120	1.197		
		2	7.600	6 120	1.242	5	0.319
		3	5.635	6 120	0.921	1	0.477
	A B	1	4.613	5 040	0.915		
		2	4.955	5 040	0.983	5	0.29
		3	4.263	5 040	0.846	1	0.438

注:1. A=齿板覆盖的构件面积-相应端距(a)和边距(e)内的面积。a 平行于木纹测量,取 12 mm 和 1/2 齿长的较大者;e 垂直于木纹测量,取 6 mm 和 1/4 齿长的较大者。

2. 依据国标,板齿极限承载力测试值=极限荷载/齿板的表面净面积(A)。

3. r—恒载标准值与活载标准值之比,1.0~5.0;若 r<1 或>5 时,则取 r=1 或 5。

4. 板齿极限承载力 P=测试值中的最小值/系数 k;对未经阻燃处理,含水率≤15%的规格材,k=1.69+0.24r。

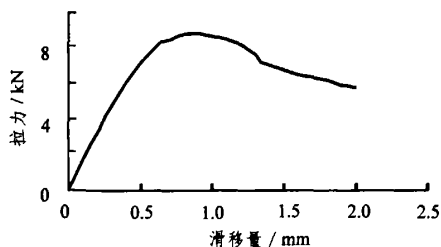


图3 齿板极限承载力试验曲线

Fig.3 Stress-strain relationship of metal plates connecting wood members

断下降。当拉力达最大值后,变形快速增加而承载力减小,最终节点破坏。

2.1.1 载荷与木纹夹角 α 对板齿承载力的影响

由表2可知,当载荷与木纹方向垂直时($\alpha=90^\circ$),板齿极限承载力最大为0.477 MPa,最小为0.293 MPa;而当载荷平行木纹方向时($\alpha=0^\circ$),最大承载力增至0.704 MPa,最小为0.438 MPa。二者差异达48%。说明 α 对板齿承载力的影响较大。这是因为木材的横纹抗拉强度很低,当荷载垂直木纹时,在齿板破坏之前,木材先被拉而破坏,板齿承载力不易获得,故还应对木材两端进行加固。

2.1.2 载荷与板轴夹角 θ 对板齿承载力的影响

当 $\theta=0^\circ$ 时,板齿极限承载力最大为0.655 MPa,最小为0.319 MPa。当 $\theta=90^\circ$ 时,最大承载力为0.704 MPa,最小0.293 MPa,最大承载力增幅为7.48%。与 α 相比, θ 的大小对板齿承载力的影响较小。

2.1.3 其他因素对板齿承载力的影响

表3 齿板的抗剪极限承载力

Tab.3 Ultimate shearing capacity

试验条件 θ	试材 规格	试件 号	极限剪力/ kN	剪切面 长度/mm	抗剪极限承载力/(N·mm ⁻¹)		
					测试值 ^①	修正值 ^②	设计值 ^③
0°	C	1	20.112	127.75	157.432		
		2	20.090	121.28	165.650	162.026	92.586
		3	21.418	124.01	172.712		
90°	B	1	11.665	62.56	186.461		
		2	11.402	65.88	173.072	169.348	96.770
		3	10.889	66.15	164.611		
120°	A B	1	11.568	70.65	163.737		
		2	9.355	71.90	130.111	147.364	84.208
		3	12.454	67.79	183.714		
30°	A B	1	18.792	131.2	143.232		
		2	12.026	82.24	146.231	136.789	78.165
		3	11.014	84.50	130.343		

注:①为极限剪力/平行于剪力方向的剪切面的长度;②为3个测试值中,2个最小值的平均值;③为修正值除以系数1.75。

木构件的表面粗糙度、节子的位置以及应力等级等,均会造成木材受力性能改变,进而影响到该连接节点的性能。试验中,尽量剔除影响木材强度的节子,选择符合试验要求的试件。

2.2 齿板的抗剪极限承载力

齿板抗剪极限承载力的检测结果,列于表3。

单个齿板剪切强度的测试显示,在一些情况下,由于板齿屈曲而在剪力线附近会产生板齿屈服破坏;在其他情况下,也会发生受拉破坏。只有在特定角度,如0°和90°时,才会发生纯剪切模式的破坏;其他角度多发生剪-压或剪-拉复合受力的情况。齿板抗剪极限承载力的大小,主要取决于荷载与板轴的夹角、齿板质量和齿板形状。

表3显示,同种形状的齿板,齿板抗剪极限承载力的大小,随着荷载与板轴夹角的不同而异。当荷载垂直于板轴时($\theta=90^\circ$)最大,当 $\theta=30^\circ$ 时最小,相差1.65倍。由此可见,荷载与板轴夹角,对齿板的抗剪极限承载力影响显著。在测试齿板抗剪极限承载力时,由于剪力线附近有时会出现板齿屈曲现象,应控制剪力线的长度,即处于受剪部位齿板的垂直长度。

2.3 与进口齿板的对比

自行设计生产的齿板与进口齿板承载性能的对比,见表4。

由表4看出,自行设计齿板与进口齿板的抗剪极限承载力性能相近,但板齿极限承载力存在差距,分析原因如下:

- 1) 加工技术的限制。进口齿板的一个齿槽可冲出2个齿,而本试验所用的齿板,一个齿槽只能冲出一个齿,减少了单位面积上的板齿数,降低了齿板与木材的连接强度;
- 2) 安装设备的限制。因试验缺乏专业的齿板安装设备,无法避免不当安装造成的影响;
- 3) 木材材性的影响。进口齿板的检测采用的是经过机械应力分等的进口规格材,而本试验采用国产规格材,二种试材的力学性能存在一定差异,故而影响到齿板性能的测试。

3 结论与建议

- 1) 自行设计、生产的齿板,其板齿极

表 4 国产齿板与进口齿板承载性能的对比

Tab. 4 Comparison of ultimate strengths between imported and domestic truss plates

板齿指标	节点类型	自制齿板	进口齿板
极限 承载力/ MPa	$\theta=0^\circ$	0.655	1.92
	$\alpha=0^\circ \quad \theta=90^\circ$	0.704	1.35
	$\alpha=90^\circ \quad \theta=0^\circ$	0.477	1.97
	$\theta=90^\circ$	0.438	1.35
抗剪极限承 载力设计值/ ($N \cdot mm^{-1}$)	$\theta=0^\circ$	92.586	85.39
	$\theta=90^\circ$	96.770	105.51
	$\theta=120^\circ$	84.208	89.78
	$\theta=30^\circ$	78.165	84.11

限承载力低于进口齿板,但抗剪极限承载力相近。在今后齿板设计和生产方面,要继续吸收国外的先进技术,改良齿板形状、钢板材料以及齿板模具制造工艺,从而提高齿板的刚度。

2) 木材材质对齿板连接节点的承载力影响极大。需要针对工程中常用树种的木材,分别研究其齿板连接性能。此外,规格材的阻燃、防腐处理和含水率等因素的影响也有待研究。

3) 国标中关于齿板连接承载力的计算方法等,均参考加拿大的设计方法,采用的是以概率理论为基础的极限状态分析方法。

在使用过程中,木结构因温度、湿度等因素的变化,对齿板承载力产生的影响有待进一步分析测定;在齿板连接承载力的设计计算时,应考虑我国的具体情况。

国标中齿板连接滑移承载力,是齿板和规格材之间产生 0.8 mm 的滑移量时的承载力,系直接引自加拿大的木结构设计规范,并未根据我国工程的情况进

行修正。今后还应考察分析滑移量与承载力的变化关系。

4) GB 50005-2003《木结构设计规范》中,首次引入了齿板连接的轻型木结构的概念、试验、承载力计算公式等,但仍缺乏关于齿板连接的实际工程经验与大量试验数据。对试验规范,仅提出了几种性能的测试手段,并未对测试试件进行规范,特别是对规格材的尺寸没有要求。

参考文献:

[1] 木结构设计手册编辑委员会. 木结构设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005: 96-97.

[2] TPIC-1996. Truss Design Procedures and Specifications for Light Metal Plate Connected Wood Trusses [J/OL]. <http://www.tpic.ca/tpic96/index.html>.

[3] 郭伟, 费本华, 赵荣军, 等. 木桁架齿板连接性能及影响因子研究现状[J]. 木材工业, 2008, 22(6): 24-27.

[4] 许晓梁. 轻型木桁架承载能力研究[D]. 上海: 同济大学, 2006: 13-14.

[5] Robert H White. Fire Endurance Model for Metal Plate Connected Wood Trusses [J/OL]. <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1992/white92b.pdf>.

[6] Triche M H, Suddarth S K. Advanced design of metal plate connector joints [J]. Forest Products Journal, 1988, 38(9): 7-12.

[7] Keenan F J, P Dubelsten, T Klajnerman, et al. Strength interactions of finger joints and truss plate joints in light wood trusses[J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 1983, 10(3): 466-480.

[8] 佟慧超. 简明木结构设计施工资料集成[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005: 93-94.

(责任编辑 姜征、张一萍)

(上接第 13 页)

3) 在高温及密封条件下,木材热解过程中会产生极大的压力,增加了密封容器破坏的风险,对容器的安全性提出了较高的要求。同时,木材炭化表面产生的缝隙,对木材中部的热解过程以及木材层间的表面温度分布产生影响,致使容器中心位置的温度高于导热为主的传热方式时的温度。

参考文献:

[1] International Atomic Energy Agency. Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material[S]. Safety Standards Series No. TS-R-1 (ST-1, Revised), 1996 Edition (Revised), IAEA,

Vienna (2000).

[2] Office of the Federal Register. Packaging and Transportation of Radioactive Material[M]. Code of Federal Regulations, Title 10, Part 71, Washington, DC, January 1994.

[3] 阎昊鹏, 陆熙炯, 秦特夫. 热重法研究木材热解反应动力学[J]. 木材工业, 1997, 11(2): 14-18.

[4] 宋长忠, 方梦祥, 余春江, 等. 杉木热解及燃烧特性热天平模拟实验研究[J]. 燃烧科学学报, 2005, 33(1): 68-72.

[5] 杨立中, 邓志华, 陈晓军. 可燃材料火灾性能参数的实验研究[J]. 火灾科学, 2000, 9(4): 32-37.

[6] 宋长忠. 火灾可燃物热解动力学及着火特性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.

(责任编辑 鲍加芬)