

工字梁翼缘与覆板钉连接的承载性能测试

姚利宏¹, 徐伟涛², 费本华³, 王喜明¹, 李英洁¹

(1. 内蒙古农业大学材料科学与艺术设计学院, 内蒙古呼和浩特 010018;

2. 国家林业和草原局林产工业规划设计院, 北京 100010; 3. 国际竹藤中心, 北京 100102)

摘要: 采用钉连接工字梁翼缘与覆板, 研究钉直径、覆板种类和厚度对钉连接节点处静态和动态承载性能的影响。结果表明, 对于两种覆板材料, 随着覆板厚度和钉直径的增大, 连接节点处的静态承载和动态承载性能基本呈现增加的趋势; 采用直径3.8 mm的圆钉, 进行22 mm厚定向刨花板(OSB)与工字梁翼缘连接时, 试样具有较佳的静态和动态承载性能。实际生产过程中, 需根据覆板的厚度选择不同直径的圆钉。

关键词: 工字梁; 翼缘; 覆板; 钉连接; 承载性能; 结构胶合板; 定向刨花板

中图分类号: S792; TS653.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2018) 03-0013-03

Load Performance Test of Connection between I-Beam Flanges and Sheathing

YAO Li-hong¹, XU Wei-tao², FEI Ben-hua³, WANG Xi-ming¹, LI Ying-jie¹

(1. College of Material Science and Art Design, Inner Mongolia Agriculture University, Huhhot 010018, Inner Mongolia, China;

2. Planning & Design Institute of Forest Products Industry, State Forestry and Grassland Administration, Beijing 100010, China;

3. International Centre for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China)

Abstract: In order to make an I-beam for tests, LVL, as flange materials, and two kinds of structural panels, as sheathing materials, were connected by nails with different diameters. Thereafter, static and dynamic bearing capacity of the connections was tested. Testing results showed that the static and dynamic bearing capacity of the connections increased with increasing sheathing thickness and nail diameter. It was observed that when nail diameter was 3.8 mm, to connect 22 mm thick oriented strand board (OSB), the connection possessed better performance. It was concluded that selection of nail diameters for making this kind of I-beam should consider sheathing thickness in practice.

Key words: I-beam; flange; sheathing; nail connection; load performance; structural plywood; OSB

轻型木结构建筑在木结构建筑总量中占80%以上, 其以单体或低层建筑为主, 抗震性佳^[1]。轻型木结构建筑的承载力、刚度和整体性, 需要通过主要

结构构件(工字梁、墙骨)和次要结构构件(墙面板、屋面板和楼面板)共同承担, 钉连接是主、次构件之间最常用的连接方式^[2]。

工字梁在轻型木结构建筑中主要承载楼面板, 覆板是保证轻型木结构整体承载能力稳固性能的重要结构构件, 工字梁与覆板亦采用钉连接, 其连接性能对建筑结构稳定性以及整体性至关重要^[3]。目前, 关于工字梁与覆板材料的连接性能鲜见研究报告。鉴于此, 笔者选择轻型木结构建筑中工字梁与覆

收稿日期: 2018-01-19; 修改日期: 2018-03-23

基金项目: 内蒙古科技计划项目“自治区工程技术中心建设—内蒙古自治区俄蒙进口木材加工利用工程技术研究中心”(2017); 内蒙古自治区科技项目“工业固体废弃物与循环利用技术开发与产业化示范”(20131506); “农作物秸秆和农业剩余物综合利用关键技术集成与示范”(20140609、201501041)。

作者简介: 姚利宏(1982—), 男, 内蒙古农业大学副教授。

板常用的钉连接方式,研究钉直径、覆板种类和厚度,对钉连接节点处的静态和动态承载性能的影响,旨在为轻型木结构建筑设计提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

1) 工字梁:腹板为定向刨花板(OSB),翼缘为单板层积材(LVL),翼缘尺寸为38 mm×18 mm(宽×厚),密度为0.55 g/cm³。根据轻型木结构实际建造中单钉间距尺寸,将工字梁沿翼缘LVL顺纹方向锯截,试件规格为152 mm×90 mm×38 mm(长×高×宽),其具体结构如图1所示。

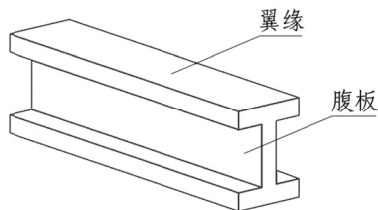


图1 工字梁结构示意图

Fig.1 I-beam structure diagram

2) 覆板: ① 结构胶合板, 2种厚度规格: 10、16 mm, 密度为0.40~0.42 g/cm³; ② OSB: 3种厚度规格, 分别为11、14、22 mm, 密度均为0.64 g/cm³。

将两种板材均锯成规格为410 mm×90 mm(长×宽)覆板试件^[4]。

3) 光面圆钉: 3种规格, 直径分别为2.6、3.3和3.8 mm。

上述所有材料均外购。

1.2 仪器设备

万能力学试验机、鼓风干燥箱等。

1.3 试验设计

用圆钉连接工字梁翼缘与覆板,在前期试验研究的基础上,采用单因素试验,研究钉直径、覆板种类和厚度的影响。具体因素和水平见表1。

表1 试验因素及水平

Tab.1 Factors and levels of the experiment

水平	钉直径/mm	覆板厚度/mm	
		OSB	结构胶合板
1	2.6	11	10
2	3.3	14	16
3	3.8	22	

1.4 样品制备

将工字梁和覆板放在恒温恒湿箱中平衡处理2周,用不同直径的圆钉(表1)连接工字梁翼缘和覆板(图2);再次将试样经恒温恒湿处理2周,定期测量试样质量的变化,直至达到平衡含水率,同时使连接点处木材应力达到平衡时测试。

每组试验条件重复15次。

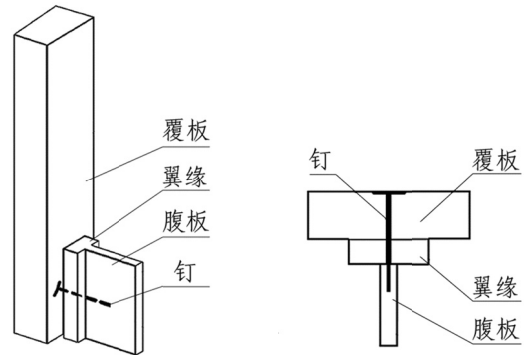


图2 工字梁翼缘与覆板连接示意图

Fig.2 Connection between I-beam flanges and sheathing

1.5 性能测试

参照 ASTM D 5764-2013 “Standard Test Method for Evaluating Dowel-Bearing Strength” 测试:

1) 静态承载破坏力,加载速度为0.10 mm/min,控制试样在5~10 min内破坏。

2) 动态承载性能,按照木结构连接节点抗震性能研究的通用标准曲线(加州大学伯克利学院的地震波动态加载曲线),测试动态载荷的抗拉和抗压性能^[5],加载速度为2.54 mm/min,加载频率0.2~0.5 Hz,控制试样在5~10 min内破坏。

结果取15个试样测试结果的平均值。

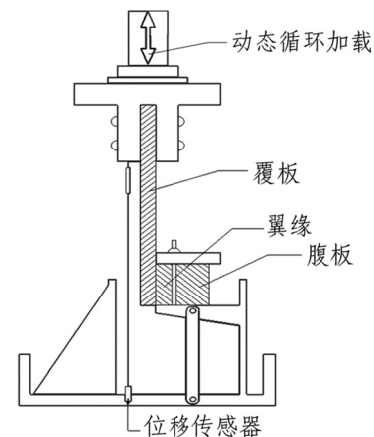


图3 动态承载性能测试装置

Fig.3 Dynamic bearing capacity test equipment

2 结果与分析

不同厚度的胶合板和 OSB 覆板与工字梁翼缘连接, 节点处的静态、动态承载性能, 测试结果见表 2。

表2 工字梁翼缘与覆板连接节点处静态、动态承载性能
Tab.2 Static and dynamic bearing capacity for connections joining I-beam flanges and sheathing

覆板种类	覆板厚度/mm	圆钉直径/mm	静态承载破坏力/N	动态承载破坏力/N			
				抗拉性能		抗压性能	
				均值	变异系数	均值	变异系数
OSB	11	2.6	1 186	1 283	9.54	1 108	10.88
OSB	14	2.6	1 372	1 290	8.01	1 097	8.24
OSB	22	2.6	1 573	1 201	9.13	1 442	15.76
胶合板	10	2.6	1 229	1 225	12.51	1 066	15.77
胶合板	16	2.6	1 276	1 442	9.89	1 358	8.07
OSB	11	3.3	1 663	1 299	12.61	1 227	11.09
OSB	14	3.3	1 630	1 451	12.13	1 316	10.34
OSB	22	3.3	1 824	1 253	16.76	1 659	15.86
胶合板	10	3.3	1 713	1 212	10.49	1 047	12.14
胶合板	16	3.3	1 609	1 520	9.10	1 421	10.63
OSB	11	3.8	1 509	1 412	13.86	1 318	15.00
OSB	14	3.8	1 731	1 571	15.74	1 502	14.72
OSB	22	3.8	2 018	1 616	6.66	1 836	9.05
胶合板	10	3.8	1 398	1 407	8.05	1 214	13.23
胶合板	16	3.8	1 950	1 709	8.36	1 555	5.54

2.1 静态荷载

1) 覆板厚度 由表 2 可知, 无论采用结构胶合板还是 OSB 作为覆板, 连接节点处的静态承载力, 均随覆板厚度的增加呈增大的趋势, 试件破坏为钉脱落或钉破坏。主要原因是随着覆板厚度增加, 其握钉力增强; 板材强度大于钉本身的强度。

2) 钉直径 表 2 显示, 当两种覆板的厚度 ≤ 11 mm 时, 连接节点处的静态承载力在钉直径为 3.3 mm 时达最大。原因是用大直径的圆钉连接厚度较小的覆板时, 测试过程中覆板首先发生破坏。

当两种覆板的厚度 > 11 mm 时, 连接节点处的静态承载力随圆钉直径的增大而提高。因为钉直径增大, 钉自身承载能力增加。

测试结果显示, 本试验范围内, 以厚度 22 mm 的 OSB 与直径 3.8 mm 的圆钉连接时, 结构的静态承载性能最佳。原因是 3.8 mm 直径的圆钉自身强度增大, 而且其长度增加, 可以完全穿过覆板和工字梁翼缘, 形成牢固的节点。

2.2 动态载荷

2.2.1 动态抗拉性能

1) 覆板厚度 选择 OSB 作为覆板, 当钉直径 < 3.8 mm 时, 连接节点处的动态抗拉性能在 OSB 厚度为 14 mm 时达到最大; 直径 3.8 mm 的钉配合 22 mm 厚 OSB, 制备试样的动态抗拉性能最佳。原因是圆钉直径小, 钉子长度亦较短, 导致其握钉力下降。

以结构胶合板为覆板时, 随板厚度的增加, 连接节点处的动态抗拉性能呈增大的趋势。这是因为结构胶合板厚度增加, 钉子钉入板材的深度增加, 握钉力增大。

综合来看, 在厚度基本相同的条件下, 使用结构胶合板覆板与工字梁翼缘连接, 节点的动态抗拉性能优于使用 OSB, 主要原因是 OSB 板本身的握钉力小于结构胶合板。

2) 钉直径 表 2 显示, 无论是结构胶合板还是 OSB, 连接节点处的动态抗拉性能, 均随钉直径的增大而增强。原因是直径小的钉, 节点破坏发生在钉本身; 而随着钉直径增大, 圆钉的力学性能增强, 节点抵抗破坏力由覆板和钉共同作用, 从而增强了抗拉强度。

测试结果发现, 当钉直径 2.6 mm、OSB 厚度 22 mm 时, 连接节点处的动态抗拉性能最小。主要原因是测试时钉本身首先发生破坏, 说明圆钉的直径需要和覆板的厚度匹配。

本试验范围内, 16 mm 厚的结构胶合板与直径 3.8 mm 的圆钉连接时, 节点处的动态抗拉性能最强。

2.2.2 动态抗压性能

1) 覆板厚度 表 2 显示, 连接节点处的动态抗压性能, 随两种覆板厚度的增加呈现增强的趋势。原因是节点抵抗破坏的作用由覆板和钉共同作用, 随覆板厚度的增加, 其握钉力增大, 使得节点动态抗压性能增加。

厚度 10 mm 的结构胶合板与 3 种直径的圆钉连接时, 连接节点处的动态抗压性能均较差。主要原因是 10 mm 厚的结构胶合板本身的力学性能较差, 握钉力小, 在节点破坏时, 覆板先发生破坏。

22 mm 厚 OSB 覆板与 3.8 mm 直径圆钉连接时, 节点的动态抗压性能最佳。

(下转第 20 页)

术, 2010, 29(3): 217-219.

[2] 方江源. 人口老龄化对消防工作的影响和对策浅析[J]. 消防技术与产品信息, 2012(6): 57-60.

[3] A A Stec, T R Hull. Assessment of the fire toxicity of building insulation materials[J]. Energy and Buildings, 2011, 43(2-3): 498-506.

[4] Y Alarie. Toxicity of fire smoke[J]. Crit. Rev. Toxicol., 2002, 32(4): 259-289.

[5] Y Alarie. The toxicity of smoke from polymeric materials during thermal decomposition[J]. Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol., 1985, 25 (1): 325-347.

[6] 杨立中, 方伟峰, 邓志华. 火灾中的烟气毒性研究[J]. 火灾科学, 2001, 10 (1): 29-33.

[7] T Fateh, T Rogaume, J Luche, et al. Characterization of the thermal decomposition of two kinds of plywood with a cone calorimeter - FTIR apparatus[J]. J Anal Appl Pyrolysis, 2014, 107(6): 87-100.

[8] 舒中俊, 徐晓楠, 李响. 聚合物材料火灾燃烧性能评价-锥形量热仪试验方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.

[9] 王真, 吴玉章. 木材及木质重组材料燃烧发烟规律的研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2015, 37(1): 173-176.

[10] 裴蓓, 余明高, 陈立伟, 等. 室内织物燃烧性能试验研究[J]. 热科学与技术, 2013, 12 (4): 349-352.

[11] 王庆国, 张军, 周宇, 等. 几种热塑性塑料的燃烧行为研究[J]. 中国塑料, 2002, 16(12): 55-59.

[12] 李庆功, 伍东, 谢飞, 等. 居民住宅火灾危险及安全防火措施探析[J]. 消防科学与技术, 2009, 28 (6): 457-460.

[13] G Wu, J Li, Y Luo. Flame retardancy and thermal degradation mechanism of a novel post-chain extension flame retardant waterborne polyurethane[J]. Polym Degrad Stab, 2016, 123: 36-46.

[14] D Zheng, J Zhou, L Zhong, et al. A novel durable and high-phosphorous-containing flame retardant for cotton fabrics[J]. Cellulose, 2016, 23 (3): 2211-2220.

[15] O Köklükaya, F Carosio, J C Grunlan, et al. Flame-retardant paper from wood fibers functionalized via layer-by-layer assembly[J]. ACS Appl Mater Interfaces, 2015, 7 (42): 23750-23759.

[16] X X Ma, Y Z Wu, H L Zhu. The fire-retardant properties of the melamine-modified urea-formaldehyde resins mixed with ammonium polyphosphate[J]. J Wood Sci, 2013, 59 (5): 419-425.

[17] Q Zhang, J Zhan, K Zhou, et al. The influence of carbon nanotubes on the combustion toxicity of PP/intumescent flame retardant composites[J]. Polym Degrad Stab, 2015, 115: 38-44.

[18] T R Hull, A A Stec, K Lebek, et al. Factors affecting the combustion toxicity of polymeric materials[J]. Polym Degrad Stab, 2007, 92 (12): 2239-2246.

[19] A A Stec, T R Hull, K Lebek, et al. The effect of temperature and ventilation condition on the toxic product yields from burning polymers[J]. Fire Mater, 2008, 32(1): 49-60.

[20] T R Hull. The development of sustainable fire retardant materials[J]. Materials China, 2016, 35 (5): 321-332.

[21] X Liu, D-M Xu, Y-L Wang, et al. Smoke and toxicity suppression properties of ferrites on flame-retardant polyurethane - polyisocyanurate foams filled with phosphonate[J]. J Therm Anal Calorim, 2016, 125 (1): 245-254.

[22] G Proulx, I M A Reid. Occupant behavior and evacuation during the chicao cook county administration building fire[J]. J Fire Prot Eng, 2006, 16(4): 283-309.

[23] R F Fahy, G Proulx. Toward creating a database on delay times to start evacuation and walking speeds for use in evacuation modeling[C]. 2001: 175-183.

[24] 王真, 屈伟, 吴玉章. 阻燃三聚氰胺改性脲醛树脂胶对胶合板发烟特性的影响[J]. 木材工业, 2016, 30(6): 19-22.

(责任编辑 向琴)

(上接第15页)

2) 钉直径 由表2可见, 无论是结构胶合板还是 OSB, 连接节点的动态抗压性能, 基本随圆钉直径的增大而提高。随着圆钉直径增加, 圆钉长度和承载力亦增加, 节点破坏由覆板和圆钉共同作用, 提高了节点抗压强度。

当覆板厚度 >10 mm 时, 随钉直径增加, 钉连接节点的动态抗压性能明显增强。主要原因是当覆板厚度和钉长度相差较大时, 节点破坏发生在覆板材料断裂或钉弯曲、脱落, 进而影响动态抗压性能。

3 结论

1) 对于两种覆板, 随着覆板厚度和圆钉直径的增大, 工字梁翼缘连接节点处的静态和动态承载性能基本呈现增强的趋势。

2) 本试验范围内, 22 mm 厚 OSB 与 3.8 mm 直径圆钉连接节点的静态承载力和动态抗压性能均最

佳; 16 mm 厚结构胶合板与 3.8 mm 直径圆钉连接时, 节点的动态抗拉性能最强。在实际生产中, 应根据覆板厚度选择圆钉直径。

3) 连接覆板与工字梁, 可优先选用 16 mm 厚结构胶合板, 或 22 mm 厚 OSB 覆板。

参考文献:

[1] Forintek Canada Corp, Forintek special publication. Performance of wood-frame building construction in earthquakes SP-40[R], 1999.

[2] Ruy A. Sã Ribeiro, Pellicane P J. Modeling load-slip behavior of nailed joints[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 1992, 4(4): 385-398.

[3] 林利民, 唐伟, 王厚军, 等. 轻型木结构建筑胶合板覆板的握钉力性能[J]. 木材工业, 2005, 19(5): 4-6.

[4] Jason V Smart. Capacity resistance and performance of single-shear of single-bolted and nailed connections: an experiment investigation[D]. Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2002.

[5] Ekiert C Hong J. Framing-to-sheathing connection tests in support of NEESWood project[D]. New York: State University of New York at Buffalo, 2006.

(责任编辑 孟凡丹、向琴)