

配筋形式对配筋胶合木梁受弯性能影响试验

左宏亮,付丁虬,邱一桐,郭楠

(东北林业大学土木工程学院,黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要 目的 提出3种新型的配筋方式,研究配筋形式对胶合木梁受弯性能的影响。

方法 通过普通胶合木梁、开槽配筋胶合木梁、开槽灌胶配筋胶合木梁和体外配筋胶合木梁等5组梁的受弯性能试验,对比分析配筋胶合木梁的破坏形态、极限承载力、荷载-挠度曲线、截面应变等试验数据。**结果** 同开槽配筋胶合木梁相比,开槽灌胶配筋胶合木梁的受弯极限承载力提高了25%;体外下侧配筋胶合木梁受弯极限承载力提高了55%,其压区应变提高了33.5%,使受压区木材得到较为充分的利用。**结论** 采用开槽灌胶配筋的方式弥补了梁底开槽对木材抗拉强度的削弱,体外下侧配筋的方式既保证了胶合木梁的完整,又使承载力得到进一步的提高。

关键词 配筋胶合木梁;受弯性能;开槽灌胶配筋;体外配筋

中图分类号 TU366.3

文献标志码 A

Bending Performance Test on the Different Forms of Reinforced Glulam Beams

ZUO Hongliang, FU Dingqiu, QIU Yitong, GUO Nan

(School of Civil Engineering, Northeast Forestry University, Harbin, China, 150040)

Abstract: In order to study the flexural behavior on the different forms of reinforced glulam beams, we put forward three new forms of reinforcement. Five different groups of tests have been taken to study their bending performance, which are ordinary glulam beam, slotted reinforced glulam beam, slotted glue reinforced beam, external reinforced beam and so on. And various data was comparatively analyzed from four aspects, the destruction form of reinforced beams, the ultimate bearing capacity, the load deflection curve and the section strain. As a result, comparing with slotted reinforced glulam beam, the flexural ultimate bearing capacity of slotted glue reinforced beam has been improved by 25%, the ultimate bearing capacity of external reinforced glued beam has been increased by 55% and the compressive strain has been increased by 33.5%, which made the timber in the compression area fully utilized. It's shown that, the wood's tensile strength which weakened by beam bottom groove could be remedied by slotted glue reinforcement. The form of external reinforcement can not only ensure the integrity of the beam, but also further improve the

收稿日期:2016-10-25

基金项目:国家自然科学基金项目(51208083);国家林业局林业科学技术研究项目(2014-04);黑龙江省自然科学基金项目(E201402)

作者简介:左宏亮(1964—),男,教授,主要从事结构工程研究。

beam's bearing capacity.

Key words:reinforced glulam beam;bending performance;slotted glue reinforcement;external re-inforcement

木材是一种可再生、可多次循环利用的天然资源,同时木结构具有绿色、节能、环保等特点,可为人类提供理想的生活、工作和居住建筑环境.同时,现代科技尤其是木材深加工技术的发展为我国木结构及其建筑文化的复苏提供了强大动力^[1-2].

胶合木作为建筑结构材料优点突出^[3-6],能够将木材的缺陷消除或者均匀分散在构件的各个位置,变异性变小,可靠性提高,从而提高材料的可用强度.根据构件受力情况的不同,可以将不同等级的木材用于不同的部位,从而提高木材的使用率.经防火设计和防火处理的大截面胶合木构件,可以具有可靠的耐火性,并且同等条件下,木结构建筑同钢结构和混凝土结构相比,耗能、废物排放等方面都有较好的表现^[7-12].但是,胶合木结构也有较多的缺陷需要改进.胶合木梁在受弯时的破坏是梁底部木材脆性受拉破坏,梁顶部木材受压性能没有得到发挥;普通胶合木梁的弹性模量较低,其挠度相对会比较大,由于蠕变的影响,长期使用挠度仍然会不断增大,会影响正常使用^[13-21].在实际

工程中,梁会由于挠度的影响使得截面很大,材料强度不能充分被利用.

通过对胶合木梁的加强,可以对胶合木梁上述的缺点进行改进.笔者通过在梁底开槽并配置钢筋使梁顶部的受压能力得到了有效提高^[6],但开槽会削减胶合木梁底层的抗拉能力,降低胶合木梁的承载能力.因此,笔者提出了在胶合木梁底部的开槽内灌入环氧树脂胶、在胶合木梁的体外两侧配置钢筋和在胶合木梁体外下侧配置钢筋这3种配筋形式.通过对比不同配筋形式梁的破坏形态、荷载-挠度曲线、极限承载力等,得到合理的配筋形式,为后续深入研究并将其推广到实际工程奠定基础.

1 试件设计和试验方案

1.1 试件设计

木材采用樟子松,共制作15根普通层板胶合木梁.其中6根梁的尺寸为100 mm×150 mm×3 100 mm,层板厚度为25 mm,由6层组成,在梁底部开两个槽(见图1),其余9根梁不开槽.

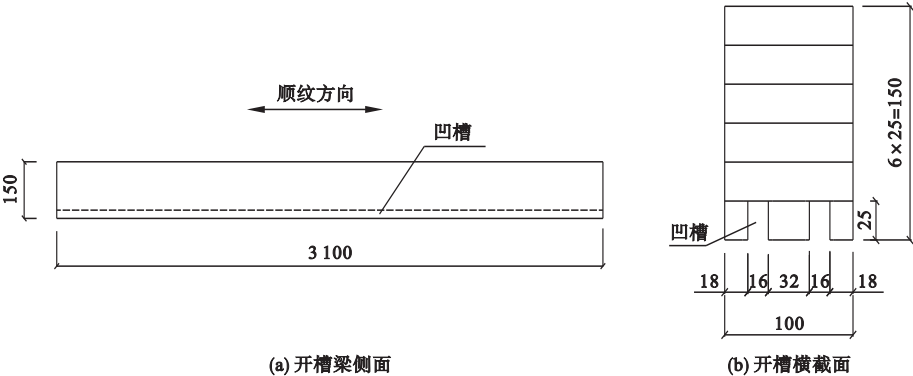


图1 开槽梁截面图

Fig. 1 The section of slotted beam

笔者在前期的试验研究中,对配筋率对于配筋胶合木梁受弯性能的影响开展了研

究,通过分析试件的破坏状态、极限承载力、受拉区应变等试验数据,得到了试件适筋破

坏时的配筋率,适筋破坏时的钢筋直径为 10 mm,钢筋等级为 HPB300 级,采用此钢筋进行试验.制作 24 根两端各有 100 mm 螺纹的总长为 3 200 mm 的钢筋,通过特殊制作的一种 20 mm 厚的六角螺母(见图 2)将钢筋与胶合木梁连接,可以保证螺母与钢筋的紧密连接.木梁与螺母之间加一层 20 mm 厚垫板(见图 2),形成组合构件,以防止局压破坏.

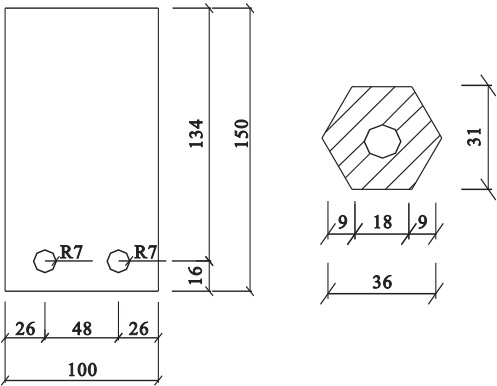


图 2 螺母及垫板详图

Fig. 2 The detail of nut and plate

1.2 材料性能

使用与试件同批次的木材,按照文献 [9] 进行胶合木顺纹抗压试验,按《木材顺纹抗拉强度试验方法》(GB/T1938—2009) 进行木材顺纹抗拉试验.钢筋选用 HPB300 级直径为 10 mm 的钢筋进行抗拉试验.测得的材料物理力学性能参数见表 1.

表 1 材料物理力学性能

Table 1 Physical and mechanical properties of materials		MPa	
材料	抗压强度	抗拉强度	弹性模量
樟子松	34.91	66.06	8 364.1
钢筋	—	549.9	205 000

1.3 试验分组

试验共分成 5 组,每组 3 根试件. LA 组为普通胶合木梁;LB 组为开槽配筋胶合木梁,将此组作为参照组;LC 组为开槽灌胶配筋胶合木梁,在梁下部的凹槽中加入环氧树脂胶;LD 组为体外两侧配筋胶合木梁;LE 组为体外下侧配筋胶合木梁.试验分组见表 2.

表 2 试验分组及参数

Table 2 Test groups and parameters

试件组号	钢筋		
	直径/mm	根数	配置位置
LA	—	—	—
LB	10	2	底部开槽内
LC	10	2	底部开槽内
LD	10	2	梁外两侧
LE	10	2	梁外下侧

1.4 试验装置

试验数据由 DH3816N 静态应变测试系统同步采集.在支座、三分点以及跨中各放置 1 个位移计,在三分点以及跨中处各贴 6 个应变片,型号为 BX120—100AA,此应变片长 100 mm,可以保证应变片处木梁出现裂缝时,仍可以正常工作.

试验采用两点对称分级加载方式进行加载,利用千斤顶对试件施加竖向荷载,由力传感器、位移计、应变片以及测试系统对胶合木梁的挠度、应变、竖向荷载等数值进行采集.试验装置见图 3.

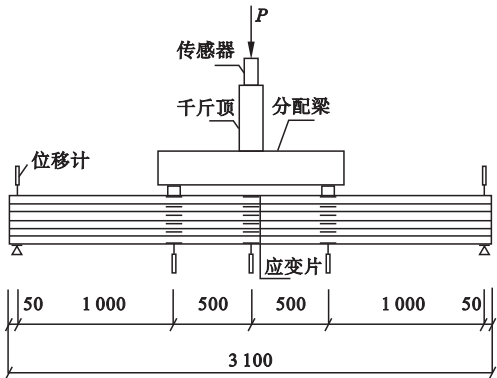


图 3 加载装置

Fig. 3 Test apparatus

1.5 加载制度

将胶合木梁置于试验台滚轴支座上,并在胶合木梁和支座中间垫一层薄垫板,分级进行加载,通过力传感器显示每一级荷载.首先预估胶合木梁的极限荷载,每级荷载以 10% 的预估极限荷载递增,达到预估极限荷载的 50% 后,每级荷载以 5% 的预估极限荷载递增,直至胶合木梁破坏.每次加载后观察

试件的现象并进行标记,观察破坏现象.

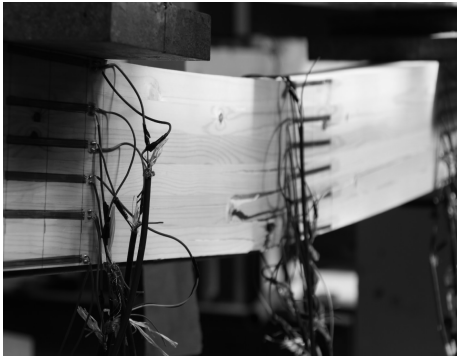
2 试验结果及分析

2.1 破坏形态与破坏机理

配筋胶合木梁的加载初期,钢筋与木材共同作用,随着荷载增加试件发出撕裂的声响,之后伴随一声巨响试件底部层板被拉断.继续加载,直至配置在梁底部的钢筋屈服或试件跨中挠度达到规定值.试件典型破坏形态见图 4.



(a) 受拉区底层板受拉破坏



(b) 受拉区底层板拉断钢筋屈服破坏



(c) 受拉区木材拉断受压区开木材褶皱破坏

图 4 试件破坏形态
Fig. 4 Destruction form

试件破坏形式可归纳为以下 3 种:

(1)受拉区底层板脆性受拉破坏. 普通胶合木梁 LA 组以及体外两侧配筋胶合木梁 LD 组,破坏发生在试件底部木节等缺陷处.在缺陷处易产生应力集中,这导致受拉区木材加速达到极限拉应变而破坏.并且体外两侧配筋这种方式,随着荷载的增加,钢筋从底层板处向上移动,未能在底部与木材共同作用,此种配筋方式不可取.

(2)受拉区底层板拉断钢筋屈服破坏. 开槽配筋胶合木梁 LB 组,底层木材拉断后,受压区木材以及配置在试件底部的钢筋共同作用,直到钢筋屈服且试件跨中挠度达到规定值.这种破坏对受压区木材的利用并不充分,由于试件底部开槽,削弱了底层木材的抗拉能力,底部层板快速被拉断退出工作之后,由钢筋单独承担底部拉力,钢筋快速屈服试件破坏.

(3)受拉区底层板拉断钢筋屈服的同时受压区木材褶皱破坏. 开槽灌胶配筋胶合木梁 LC 组以及体外下侧配筋胶合木梁 LE 组,底层木材拉断时,钢筋将达到屈服强度,继续加载受压区木材出现褶皱且钢筋屈服.这种破坏对于受压区木材的利用有很大程度的提高.

2.2 荷载 - 跨中挠度曲线

图 5 给出了 5 组试件的荷载 - 跨中挠度曲线.

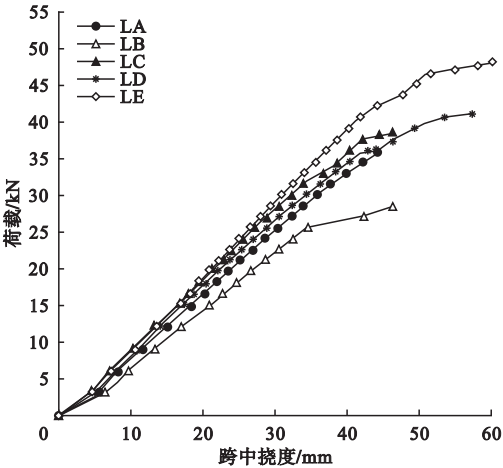


图 5 荷载 - 跨中挠度曲线
Fig. 5 Load-deflection curves

从图中可以看出普通胶合木梁 LA 组的荷载 - 挠度曲线呈线性变化;开槽配筋胶合木梁 LB 组、开槽灌胶配筋梁 LC 组以及体外配筋梁 LD、LE 组的荷载 - 跨中挠度曲线基本趋势相同,开始时曲线呈线性变化,之后曲线趋于平缓或下降趋势。

通过整理数据,得到 5 组试验梁的极限承载力,其他 4 组分别与 LB 组开槽配筋胶合木梁对比,极限承载力以及提高幅度如表 3 所示。

表 3 试件极限承载力

Table 3 The ultimate bearing capacities

试件 编号	极限承 载力/kN	承载力提 高幅度/%
LA	33	10
LB	30	-
LC	37.5	25
LD	39	30
LE	46.5	55

由图 5 和表 3 可见,开槽配筋胶合木梁同普通胶合木梁相比,极限承载力下降了 10%,说明木梁底部开槽削减了木材的抗拉能力。同开槽配筋胶合木梁相比,开槽灌胶配筋胶合木梁极限承载力提高幅度为 25%;体外两侧配筋胶合木梁极限承载力提高幅度为 30%;体外下侧配筋胶合木梁极限承载力提高幅度为 55%。在槽内灌入环氧树脂胶或将钢筋配置在胶合木梁体外,保证了木梁底部的完整性,使得底部木材开裂荷载有较大提高。

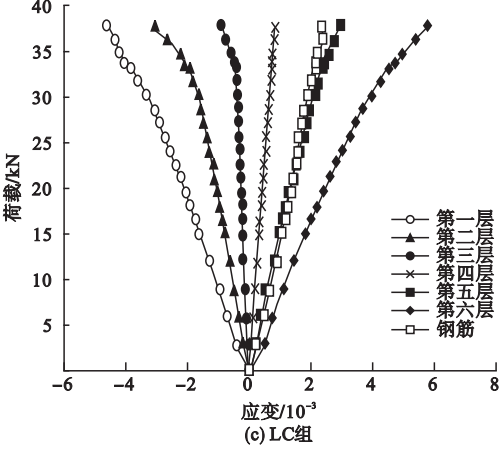
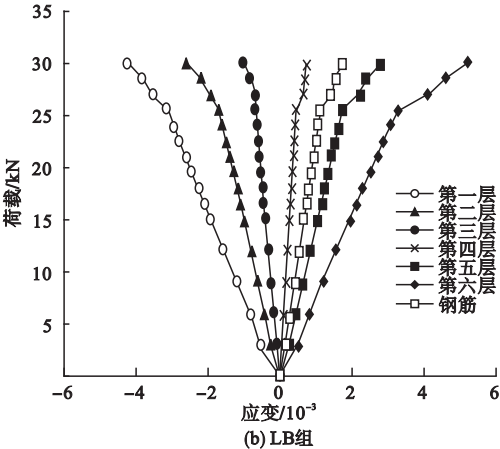
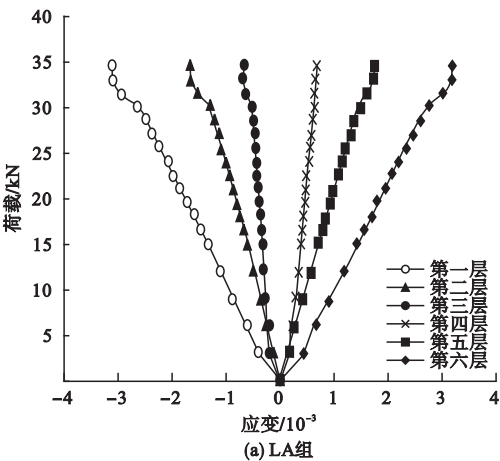
试件破坏时,跨中挠度明显增加。LB 破坏时,跨中挠度为 46.25 mm;LC 破坏时,跨中挠度为 47.5 mm;LD 破坏时,跨中挠度为 53.42 mm;LE 破坏时,由于试件的挠度达到规定挠度而被判定为试件破坏,此时跨中挠度为 62.3 mm。说明配筋胶合木梁底部得到加强后,变形能力也随之加强。

LE 组比 LA 组的刚度提高了 25%,LC 组比 LA 组的刚度提高了 7.5%,而 LD 组与

LA 组的刚度几乎相同,并没有提高的效果, LB 组的刚度有明显的下降,说明配筋胶合木梁的配筋形式对于试件的影响很大,在体外下侧配筋对于刚度有较大的提高。

2.3 荷载 - 应变曲线

试件荷载 - 应变曲线见图 6。图中横坐标零点左侧为受压区木材的荷载 - 应变曲线,



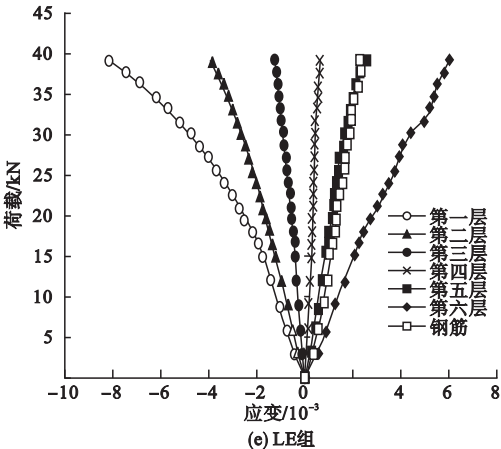
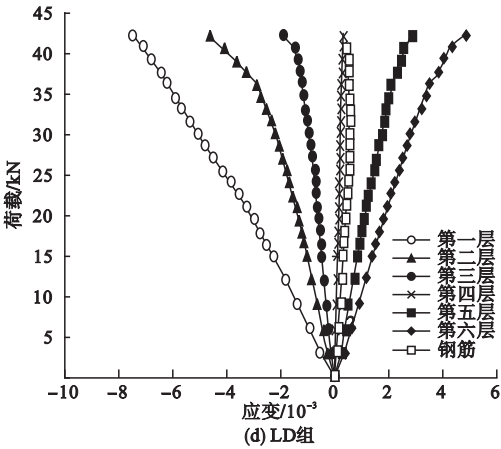


图6 荷载-应变曲线

Fig.6 Load-strain curves

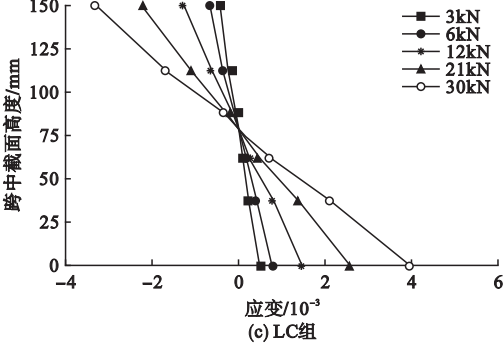
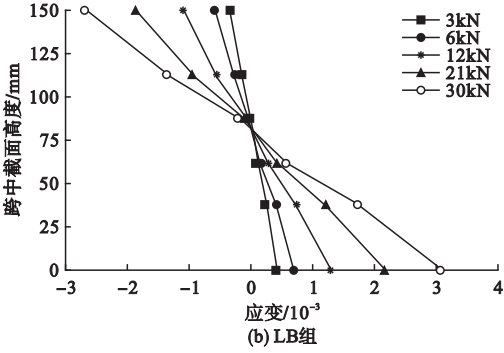
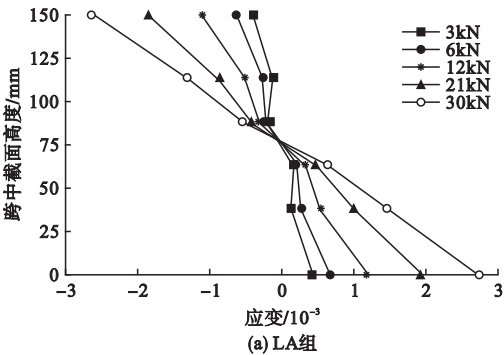
右侧为受拉区木材的荷载-应变曲线. 试件从加载初期至试件破坏,受拉区、受压区木材的应变随荷载的增加呈线性变化,当突然出现拐点时,说明梁底部木材拉断. LB、LC和LE组,曲线出现拐点之后又有一段呈线性关系,此时是由于底部木材断裂之后,受拉区完全由钢筋继续承受拉力,直到钢筋屈服或压区出现褶皱破坏;LA组、LD组没有明显的拐点,LD组极限承载力与LA组相比微有提高,这是由于钢筋没有起到有效的作用,这与文中叙述的破坏形态是相符的.

LA破坏时,受压区最顶层层板应变为 -3.083×10^{-3} ;LB、LC、LD、LE破坏时,受压区最顶层层板应变分别为 -4.226×10^{-3} 、 -4.518×10^{-3} 、 -3.613×10^{-3} 、 $-5.941 \times$

10^{-3} .说明胶合木梁经过配筋加强后受压区木材的抗压强度得到了较好的利用;配置钢筋的方式对于提高木纤维的极限压应变有不同程度的影响,在LD组体外两侧的配筋形式没有起到提高抗压强度利用率的作用,在LE组体外下侧配置钢筋提高的效果最为明显.

2.4 截面应变曲线

图7为试件跨中截面的应变曲线,从图中可以看出截面应变基本呈线性分布.除LD、LE组试件外,其余试件随荷载的增加,跨中截面中和轴位置保持不变,均在梁高的1/2处;LD、LE组试件跨中截面的中和轴位置向受拉区偏移,其中LE组最为明显,偏



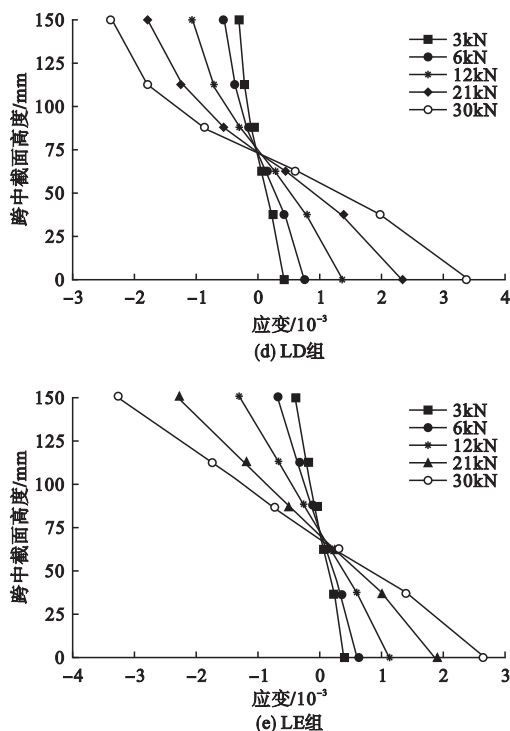


图7 跨中截面应变曲线

Fig. 7 The strain curves of cross section

移约5 mm,分析原因是由于在梁下侧配置了钢筋,使得组合构件的受拉区下移所致.受压区高度有略微的提高,说明在体外下侧配筋大大地提高了受压区木材的抗压能力.

3 结 论

(1)与开槽配筋胶合木梁相比,开槽灌胶配筋胶合木梁受弯极限承载力提高了25%,受压区压应变略有提高,提高了7%,破坏时挠度几乎没有变化.

(2)与开槽配筋胶合木梁相比,体外两侧配筋胶合木梁,钢筋几乎没有发挥作用,略微提高了受压区压应变,此种配筋形式对于受压区木材利用率的提高效果不明显.

(3)与开槽配筋胶合木梁相比,体外下侧配筋时,受弯极限承载力提高了55%,受压区压应变提高了33.5%,使得受压区木材得到较为充分利用,破坏时挠度增加了34.7%.这种配筋形式对于胶合木梁受弯性能的提高最为明显.

(4)配筋胶合木梁跨中横截面应变沿截面高度呈线性变化.因此,计算此类构件时可以采用平截面假定.

参考文献

- [1] 陆伟东,杨会峰,刘伟庆,等.胶合木结构的发展、应用及展望[J].南京工业大学学报(自然科学版),2011,33(5):105-110.
(LU Weidong, YANG Huifeng, LIU Weiqing, et al. Development, application and prospects of glulam structures[J]. Journal of Nanjing university of technology (natural science), 2011, 33(5):105-110.)
- [2] 刘伟庆,杨会峰.工程木梁的受弯性能试验研究[J].建筑结构学报,2008,29(1):90-95.
(LIU Weiqing, YANG Huifeng. Experimental study on flexural behavior of engineered wood beams[J]. Journal of building structures, 2008, 29(1):90-95.)
- [3] 陈清泉.胶合木结构及其应用[J].科技致富向导,2011(24):334-335.
(CHEN Qingquan. Glued laminated timber structure and its application[J]. Guide of sci-tech magazine, 2011(24):334-335.)
- [4] RIBEIRO A S, DE JESUS A M P, LIMA A M, et al. Study of strengthening solution for glued-laminated wood beams of maritime pine wood[J]. Construction and building materials, 2009, 23(8):2738-2745.
- [5] 瞿芹,郑晓燕,范亚坤,等.钢木混合结构错列桁架体系受力性能[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2010,26(5):640-643+655.
(QU Qin, ZHENG Xiaoyan, FAN Yakun, et al. Research on the mechanical behavior of steel-timber structure combined staggered truss system[J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2010, 26(5):640-643+655.)
- [6] 左宏亮,孙旭,左煜,等.预应力配筋胶合木梁受弯性能试验[J].东北林业大学学报,2016,44(2):42-46.
(ZUO Hongliang, SUN Xu, ZUO Yu, et al. Bending performance test on the prestressed reinforced glue-lumber beam[J]. Journal of northeast forestry university, 2016, 44(2):42-

46.)
- [7] 张盛东,范新海,屈文俊. 内嵌钢板销式连接胶合木梁短期受力性能[J]. 同济大学学报(自然科学版),2012,40(3):368-372+451. (ZHANG Shengdong, FAN Xinhai, QU Wenjun. Behavior of glulam timber beams with slotted-in steel plates dowel-type connections [J]. Journal of Tongji university (natural science), 2012, 40(3): 368-372+451.)
- [8] 潘景龙,祝恩淳. 木结构设计原理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社,2009. (PAN Jinglong, ZHU Enchun. Design principle of wood structure [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009.)
- [9] 左宏亮,王东岳,何东坡,等. 预应力胶合木梁受压区层板胶合木受压性能试验[J]. 东北林业大学学报,2014,44(6):90-94+107. (ZUO Hongliang, WANG Dongyue, HE Dongpo, et al. Performances of glued-laminated timber in the compressive zone of prestressed glulam beams[J]. Journal of northeast forestry university, 2014, 44(6): 90-94+107.)
- [10] KHELIFA M, VILA LOPERENA N, BLERON L, et al. Analysis of CFRP-strengthened timber beams [J]. Journal of adhesion science and technology, 2014, 28(1): 1-14.
- [11] MORLIER P, RANTA M A. DOL effect of different sized timber beams [J]. European journal of wood and wood products, 1998, 56(5): 279-284.
- [12] 杨会峰,刘伟庆. FRP增强胶合木梁的受弯性能研究[J]. 建筑结构学报,2007,28(1): 64-71. (YANG Huifeng, LIU Weiqing. Study on flexural behavior of FRP reinforced glulam beams [J]. Journal of building structures, 2007, 28(1): 64-71.)
- [13] BULLEIT W M, SANDBERG L B, WOODS G J. Steel reinforced glued-laminated timber [J]. Journal of structural engineering, ASCE, 1989, 115(2): 433-444.
- [14] MANALO A C, ARAVINTHAN T, KARU-NASENA W. Flexural behaviour of glue-laminated fibre composite sandwich beams [J]. Composite structures, 2010, 92(11): 2703-2711.
- [15] 淳庆,张洋,潘建伍. 嵌入式碳纤维板加固木梁抗弯性能的试验研究[J]. 东南大学学报(自然科学版),2012,42(6):1146-1150. (CHUN Qing, ZHANG Yang, PAN Jianwu. Experimental study on bending behaviors of timber beams strengthened with near-surface mounted CFRP sheets [J]. Journal of southeast university, 2012, 42(6): 1146-1150.)
- [16] GUAN Z W, RODD P D, POPE D J. Study of glulam beams prestressed with pultruded GRP [J]. Computers & structures, 2005, 83(28/29/30): 2476-2487.
- [17] DE LUCA Vincenzo, MARANO C. Prestressed glulam timbers reinforced with steel bars [J]. Construction and building materials, 2012, 30(5): 206-217.
- [18] 许清风,朱雷,陈建飞,等. 粘贴钢板加固木梁试验研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2012, 43(3): 1153-1159. (XU Qingfeng, ZHU Lei, CHEN Jianfei, et al. Experimental study of timber beams strengthened with steel plates [J]. Journal of central south university (science and technology), 2012, 43(3): 1153-1159.)
- [19] CAMILLE A I, KMEID Z. Advanced wood engineering: glulam beams [J]. Original research article construction and building materials, 2005, 19(2): 99-106.
- [20] MANALO A C, ARAVINTHAN T, ARU-NASENA W K. Flexural behavior of glue laminated fibre composite sandwich beams [J]. Composite structures, 2010, 92(11): 2703-2711.
- [21] 王全凤,李飞,陈浩军,等. GFRP加固木梁抗弯性能的试验研究与理论分析[J]. 建筑结构,2010,40(5):50-52. (WANG Quanfeng, LI Fei, GHEN Haojun, et al. Experimental study on bending behavior of timber reinforced with GFRP sheets [J]. Building structure, 2010, 40(5): 50-52.)