

钢板增强胶合木梁的抗弯性能

杨昕卉^{1,2}, 薛伟¹, 郭楠¹

(1. 东北林业大学 工程技术学院, 哈尔滨 150040; 2. 牡丹江师范学院, 黑龙江 牡丹江 157011)

摘要: 为了改善普通胶合木梁的受力性能, 提出了在其底部粘贴钢板或增设螺钉的增强方式, 从而形成钢板增强胶合木梁。进行了 21 根梁的抗弯试验, 分析了钢板厚度、是否设置螺钉对梁破坏形态、承载力和变形能力的影响, 并与普通胶合木梁进行对比。结果表明: 粘贴 2、3 和 4 mm 厚钢板增强后, 梁承载力分别提高了 73.3%、90.0% 和 71.0%, 随着钢板厚度的增加, 承载力先增大后减小; 粘贴同厚度钢板并设置螺钉后, 梁承载力分别提高了 76.4%、96.9% 和 148.6%, 随着钢板厚度的增加, 承载力增大, 螺钉的增强效果在钢板较厚时表现明显。钢板增强后, 梁的极限变形比普通胶合木梁提高了 6.2%~61.1%, 钢板厚度和是否设置螺钉对梁变形能力的影响与其对承载力的影响类似。在验证了钢板增强胶合木梁基本符合平截面假定后, 提出了此类构件的受弯承载力计算公式, 并与试验结果进行对比, 结果表明, 理论值与试验值的平均误差不大于 10%。

关键词: 结构工程; 钢板增强胶合木梁; 抗弯性能; 破坏形态; 承载力计算

中图分类号: TU366.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5497(2017)02-0468-10

DOI: 10.13229/j.cnki.jdxbgxb201702017

Bending performance of glued-lumber beam reinforced with steel plate

YANG Xin-hui^{1,2}, XUE Wei¹, GUO Nan¹

(1. College of Engineering and Technology, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China; 2. Mudanjiang Normal University, Mudanjiang 157011, China)

Abstract: To improve the mechanical property of common glued-lumber beam, an reinforcing method is proposed, that steel plate is fixed on the bottom of beam by pasting or screwing. Bending test of 21 beams were conducted to analyze the influences of steel plate thickness, with or without the screwing on beam failure mode, bearing capacity and deformation capacity in comparison with common glued-lumber beam. The bearing capacities are respectively increased by 73.3%, 90.0% and 71.0% by pasting steel plates with thickness of 2 mm, 3 mm and 4 mm, indicating that as the thickness of the steel plate increases the bearing capacity increases first then decreases. When both pasting and screwing are used with the above values of thickness, the bearing capacities are increased by 76.4%, 96.9% and 148.6% respectively, indicating that bearing capacity increases with the thickness of the steel plate, and the reinforcing effect of thicker steel plate is obvious. With steel plate reinforcement, the ultimate deformation is increased by 6.2% to 61.1% than that of common glued-lumber beam,

收稿日期: 2016-01-04.

基金项目: 国家自然科学基金项目(51208083); 国家林业局林业项目科学技术研究项目(2014-04).

作者简介: 杨昕卉(1972-), 女, 教授, 博士研究生. 研究方向: 现代木结构. E-mail: yangxinhuimsy@163.com

通信作者: 薛伟(1962-), 男, 教授, 博士生导师. 研究方向: 森工装备. E-mail: nefuxw1962@163.com

and the influences of the steel plate thickness and screwing are similar to that of bearing capacity. After verification of the glued-lumber beam reinforced with steel plate conformed on the plain section, the bending capacity calculation formula of similar constructional member is proposed. The average error between the theoretical value and testing value is less than 10%.

Key words: materials synthesis and processing technology; steel plate reinforced glued-lumber beam; bending performance; test research; failure mode; bearing capacity calculation

0 引 言

现代木结构建筑低碳环保、生态宜居,且抗震性能优越^[1-3],是绿色建筑的重要形式之一。

胶合木材料具有截面尺寸不受限制、缺陷分散、可用强度高、便于利用小径材和劣质材等优点,是现代木结构中的常用材料。作为结构中的主要水平受力构件,普通胶合木梁受弯时,大多发生由于梁底木材拉断而导致的脆性破坏,木材的抗压强度没有得到充分利用。

目前,国内外学者针对胶合木梁的研究主要体现在利用新型材料加强胶合木方面。文献[4]提出了钢板加固和碳纤维(CFRP)加固两种加强方式,并通过试验对比了其与传统胶合木梁的抗弯性能。文献[5]利用玻璃纤维和胶合木形成组合层板,通过三点静力加载弯曲试验,评价了其承载力及延性。文献[6-9]研究了层板形状、尺寸对胶合木梁抗弯和受剪性能的影响。文献[10]和文献[11]在胶合木梁粘贴玄武岩纤维复合材料,并进行了受弯试验,对不同层数玄武岩纤维布和玄武岩纤维板的检测结果进行分析。文献[12]对配置非线性弯曲钢绞线胶合竹梁的受力情况进行了研究。文献[13]和文献[14]提出将一种用短纤维增强的超高强混凝土层贴在胶合木的顶面和底面形成组合梁,并对此梁进行了抗弯性能试验。

本文提出一种将钢板置于胶合木底部的新型组合构件——钢板增强胶合木梁,使胶合木受压,钢板受拉,充分利用两种材料的强度,进而提高梁的承载力,减小梁的截面尺寸。对 7 组,共计 21 根胶合木梁进行试验,通过试验研究钢板厚度、是否设置螺钉对梁破坏形态、承载力和变形能力的影响,并与普通胶合木梁进行对比。给出最优钢板厚度和增强方法的建议,并在此基础上建立钢板增强胶合木梁的受弯承载力计算公式,便于此类构件的推广。

1 试验材料与方法

1.1 材料性能

试验胶合木选用樟子松,钢板选用 Q235 级,粘贴钢板时采用 SHB-粘钢结构胶(A、B 双组分改性环氧类结构胶)。根据现行规定的试验方法,对胶合木试件分别进行顺纹抗拉和抗压试验,对钢材试件进行抗拉试验,获得木材和钢材物理力学性能。

1.2 试件设计及分组

本次试验参照《木结构试验方法标准》(GB/T 50329—2002),《Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber》(ASTM D 143)和《Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes》(ASTM D 198)进行设计,共计 21 根钢板增强胶合木梁,尺寸为 2850 mm×50 mm×150 mm。考虑到指接结构对梁强度的影响较大,因此直接选购长度超过 2850 mm 的胶合木板,避免指接结构对梁强度的影响。

本文的试验目的为了研究钢板厚度、粘贴方式及是否设置螺钉对木梁承载力、变形能力及破坏形态产生的影响,因此按照钢板贴粘方式、位置及厚度对 21 根试验梁进行分组,具体试件编号及钢板增强形式如表 1 和图 1 所示。

表 1 编号方案

Table 1 Numbering scheme

粘贴方式	厚度/mm	组别
纯胶合木	—	B
胶粘钢板	2	Bgd-2
	3	Bgd-3
	4	Bgd-4
胶钉粘固钢板	2	Bsd-2
	3	Bsd-3
	4	Bsd-4

注: B 表示梁; g 表示胶粘; s 表示胶钉粘固; d 表示钢板粘贴在底层; 字母后面的数字表示钢板厚度。

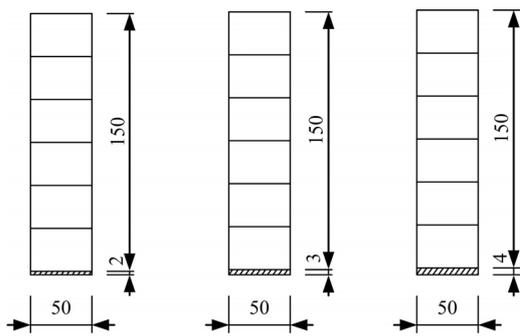


图 1 不同梁截面组合形式

Fig. 1 Section combination form of different beams

1.3 增强方式及加压设备

本试验采用的钢板增强方式有两种:第一种通过胶黏剂粘贴钢板,简称胶粘钢板;第二种在粘贴钢板后再通过螺钉进行加强,简称胶钉粘固。

胶粘钢板时,应先对钢板表面进行处理;之后,按照 1:3 的比例,将 A、B 两组胶进行拌合,均匀涂在木梁底部,约为 2 mm 厚,如图 2(a)所示;最后,将钢板对准附在上面,通过横向加压装置进行加压,保证粘贴效果。



(a) 胶粘钢板梁



(b) 胶钉粘固钢板梁

图 2 钢板增强方式

Fig. 2 Enhanced patterns of steel plate

胶钉粘固时,涂胶工艺同上,每隔 300 mm 在钢板上钻孔,进行钢板粘贴后,使用螺旋钻将直径

为 4 mm 的标准螺钉打入孔中,深入木梁约为 1 层板厚(25 mm),如图 2(b)所示。

为了保证胶粘可靠性,本试验研发了一套新型加压装置,通过横向加压,使得胶层得到挤压,胶粘效果更均匀、有效,具体装置如图 3 所示。



图 3 横向加压装置

Fig. 3 Horizontal pressure device

1.4 加载情况及测点布置

本试验采用三分点对称加载,由 16 t 机械千斤顶逐级施加荷载,并通过分配梁来进行传递。试验所采用的梁高宽比达到 3:1,为防止梁发生侧向失稳,采用防失稳装置,如图 4 所示。



图 4 防侧向失稳装置

Fig. 4 Device to prevent vertical instability

加载初期,取破坏荷载的 10%~20% 进行弹性加载,先以匀速加载至下限荷载,经 15~20 s 后再匀速加载至上限荷载,随即卸载,如此反复 5 次;在破坏阶段,以 5~10 mm/min 的速度加载,直至破坏,每级加载结束后稳定 30 s,进行数据采集。

为了得到梁的抗弯性能,在梁跨中每层层板的中间位置粘贴应变片,共 6 片;为了得到梁的受剪性能,在左右两个三分点位置贴了应变花,共 6 片;为了得到钢板和梁顶木材的应力状态,在板跨中底部和顶部各粘贴 1 片应变片,共 2 片。每根试验梁共计粘贴 14 片应变片。

在支座和跨中位置设位移计,测点布置及加载示意如图 5 所示。试验测量内容为跨中梁表面的木纤维应变及钢板应变、支座沉降和跨中位移,试验数据由 DH3816 静态电阻应变测试仪采集。

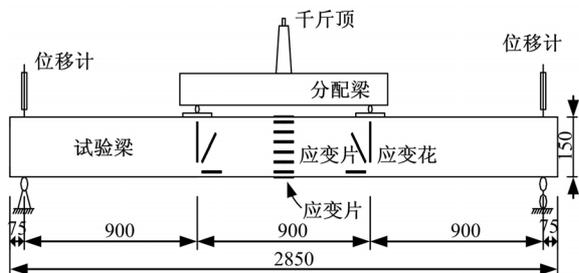


图 5 梁加载装置及测点布置图

Fig. 5 Loading device and measuring points layout chart of beam

2 试验结果与分析

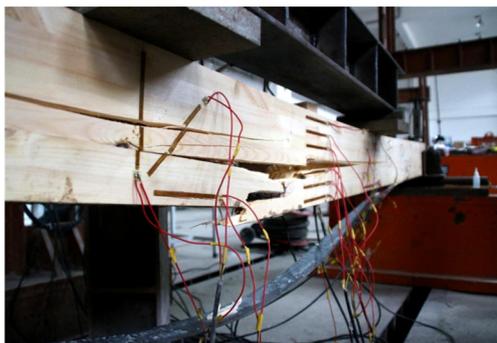
2.1 主要试验现象

在胶合木梁底部粘贴不同厚度的钢板,进行抗弯试验,选取其中有代表性的梁,其破坏形态如图 6 所示。

由图 6 可知,普通胶合木梁底右三分点处存在木节,加载过程中,木节处突然断裂,导致相邻层板撕裂,破坏形式表现为脆性受拉破坏;钢板厚度为 2 mm 时(Bgd-2),底部胶合木开裂,应力骤



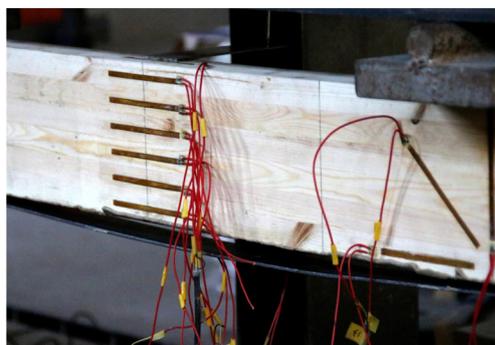
(a)B(1)梁



(b)Bgd-2(2)梁



(c)Bgd-3(2)梁



(d)Bgd-4(3)梁

图 6 胶粘钢板梁破坏形态

Fig. 6 Failure modes of beam with asting steel plate

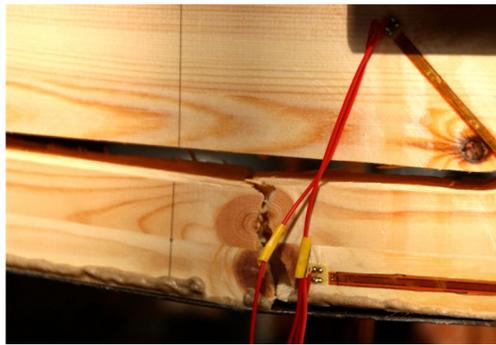
间释放,导致钢板开胶,随后胶合木发生受拉破坏;钢板厚度为 3 mm 时(Bgd-3),梁顶三分点处产生褶皱,梁底钢板粘贴紧密,未出现受拉区域的破坏特征,破坏形式表现为延性受压破坏;钢板为 4 mm 时(Bgd-4),加载过程中梁顶先出现褶皱现象,但由于钢板厚度过大,粘钢胶无法满足其要求,荷载较大时梁底开胶,导致梁底木层瞬间受拉破坏。

在胶合木梁底部粘贴钢板后再通过螺钉进行加强,进行抗弯试验,选取其中有代表性的梁,其破坏形态如图 7 所示。

由图 7 可知,胶钉粘固钢板的连接方式更为牢固,不再发生钢板开胶的破坏现象,钢板较薄时(Bsd-2 和 Bsd-3),表现为梁底部木节处的受拉破坏或层板撕裂破坏,钢板较厚时(Bsd-4),发生梁顶受压破坏,梁的塑性变形明显。

2.2 极限荷载、挠度和破坏形态

由上述试验现象可知,梁的破坏形态可分为梁底受拉破坏、钢板开胶破坏、层板间撕裂破坏和梁顶受压破坏 4 种模式。梁底受拉破坏表现为梁底木材在缺陷附近被拉断;钢板开胶破坏表现为钢板和底层木板开胶,引起钢板抽离,木梁瞬间破



(a)Bsd-2(3)梁



(b)Bsd-3(2)梁



(c)Bsd-4(3)梁

图 7 胶钉粘固钢板梁破坏形态

Fig. 7 Failure modes of beam with adding screw beam with steel plate

坏;层板间撕裂破坏表现为在缺陷处形成水平通缝,随后不断发展导致胶合木部分被完全撕裂;梁顶受压破坏表现为梁顶出现褶皱,塑性变形发展明显,且持荷过程中外加力数据明显下降。

将各试验梁的极限荷载和破坏形态进行归纳总结,如表 2 所示。在表 2 所示的各试验分组中选取有代表性的一根梁,得到其荷载-挠度($P-f$)关系曲线,如图 8 所示。

由表 2 和图 8(a)可知,与普通胶合木梁相比,粘贴 2、3 和 4 mm 厚钢板增强后,梁承载力分别提高了 73.3%、90.0%和 71.0%,随着钢板厚

表 2 各试验组梁极限荷载、挠度及破坏形态

Table 2 Ultimate load, deformation and failure mode of each test group beam

组别	梁编号	极限荷载/kN		挠度/mm		破坏形态
		试验值	平均值	试验值	平均值	
B	B(1)	13.81	13.80	37.26	38.41	梁底受拉
	B(2)	13.20	13.80	39.56	38.41	梁底受拉
	B(3)	14.41	13.80	38.41	38.41	梁底受拉
Bgd-2	Bgd-2(1)	22.88	23.91	46.52	47.57	梁底受拉
	Bgd-2(2)	25.13	23.91	49.86	47.57	梁底受拉
	Bgd-2(3)	23.72	23.91	46.33	47.57	梁底受拉
Bgd-3	Bgd-3(1)	24.26	26.22	41.80	51.44	梁顶受压
	Bgd-3(2)	27.41	26.22	63.73	51.44	梁顶受压
	Bgd-3(3)	26.98	26.22	48.80	51.44	梁顶受压
Bgd-4	Bgd-4(1)	22.37	23.60	40.81	40.79	钢板开胶
	Bgd-4(2)	23.50	23.60	34.42	40.79	钢板开胶
	Bgd-4(3)	24.94	23.60	47.13	40.79	梁顶受压
Bsd-2	Bsd-2(1)	25.32	24.34	43.76	41.31	梁底受拉
	Bsd-2(2)	24.26	24.34	38.62	41.31	层板通缝
	Bsd-2(3)	23.43	24.34	41.60	41.31	层板通缝
Bsd-3	Bsd-3(1)	27.22	27.17	64.91	57.86	层板通缝
	Bsd-3(2)	27.12	27.17	50.81	57.86	钢板开胶
	Bsd-3(3)	—	27.17	—	57.86	—
Bsd-4	Bsd-4(1)	33.24	34.31	59.71	61.87	层板通缝
	Bsd-4(2)	—	34.31	—	61.87	—
	Bsd-4(3)	35.37	34.31	64.03	61.87	梁顶受压

注: Bsd-3(3)梁加工过程中出现较大缺陷,导致数据异常; Bsd-4(2)梁在加载过程中出现侧向失稳,不能表现该梁准确的受力特点,故剔除数据。

度的增加,承载力先增大后减小,钢板厚度为 3 mm 时最佳。这是因为在钢板厚度为 2 和 3 mm 时,粘钢胶能够保证其粘结可靠,钢板厚度的增加对梁承载力有加强作用;但在钢板厚度为 4 mm 时,需要更强的胶结力,而现有的胶无法满足要求,因此在荷载较大时,出现了开胶现象,未能充分利用木材和钢材的强度,致使梁的强度降低。

由表 2 和图 8(b)可知,与普通胶合木梁相比,粘贴同厚度钢板并设置螺钉后,梁承载力分别提高 76.4%、96.9%和 148.6%,随着钢板厚度的增加,承载力增大,螺钉的增强效果在钢板较厚(4 mm)时表现明显。与普通胶合木梁相比,粘贴 2、3 和 4 mm 厚钢板增强后,极限变形分别提高了 23.8%、33.9%和 6.2%,随着钢板厚度的增加,变形能力先增大后减小;粘贴同厚度钢板并设置螺钉后,极限变形分别提高 7.6%、50.6%和 61.1%,随着钢板厚度的增加,变形能力增大。钢板厚度和螺钉对梁变形能力的影响与其对承载力的影响类似,这是因为在螺钉的作用下,钢板与梁身紧密贴合,形成整体,充分利用了材料强度。

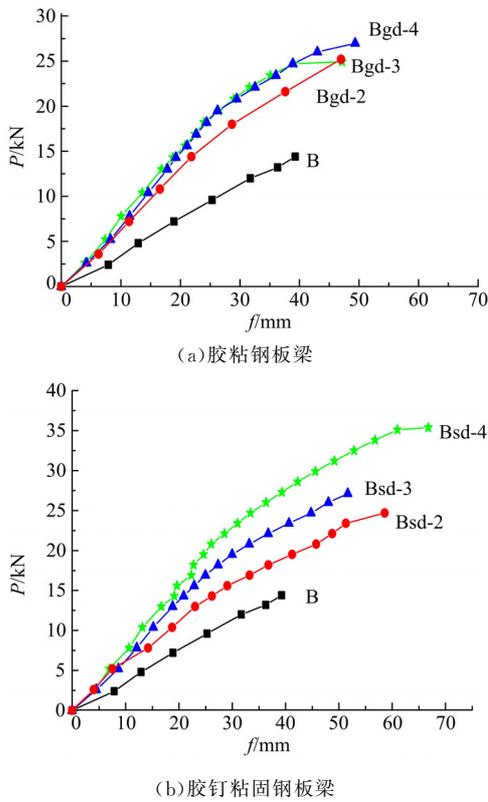


图 8 荷载-挠度曲线

Fig. 8 Load-deflection curve

对比图 8(a)(b)可知,与仅使用粘钢胶进行粘结的 Bgd 组试验梁相比,相同钢板厚度的情况下,胶钉粘固钢板梁的极限荷载标准值分别提高了 2.28%、10.55%和 41.82%;同理,与仅使用粘钢胶进行粘结的 Bgd 组试验梁相比,相同钢板厚度的情况下,胶钉粘固钢板梁的最终挠度值依次增加了一15.2%、12.5%、51.7%。可见,钢板厚度越大,螺钉的加强效果越明显,尤其体现在 4 mm 厚钢板梁中,因粘钢胶强度不足,螺钉发挥了更大的作用。

2.3 荷载-应变关系曲线

在表 1 所示的各试验分组中分别选取有代表性的一根梁,得到其跨中荷载-应变关系曲线,如图 9 和图 10 所示,图中坐标轴左半部分是受压区域,应变为负;右半部分是受拉区域,应变为正。

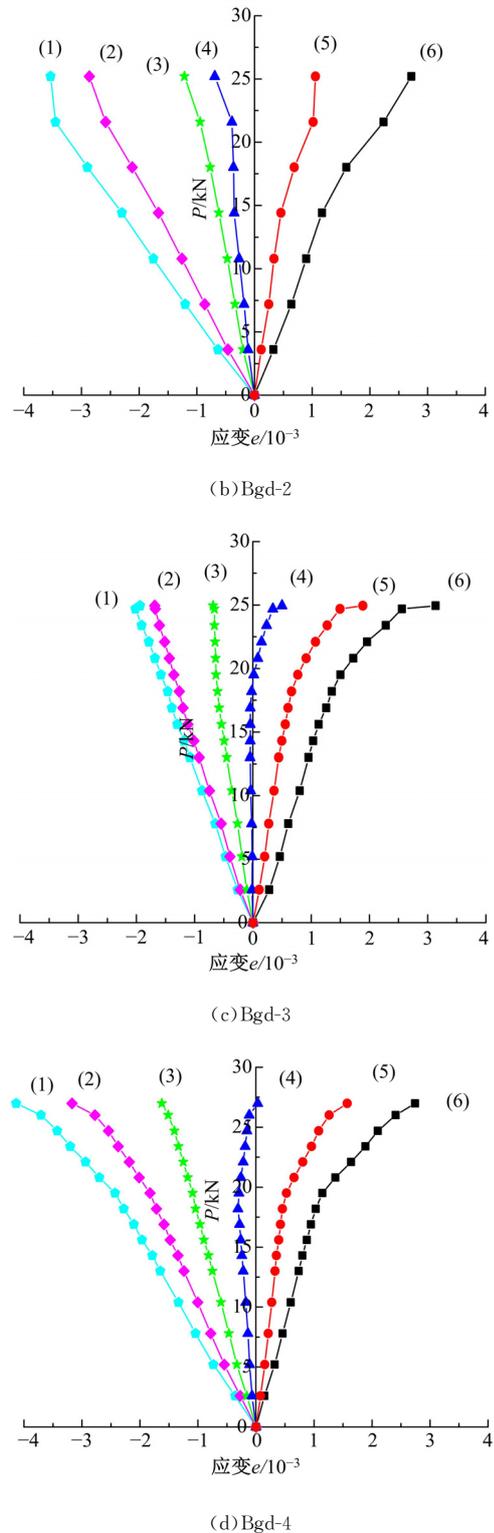
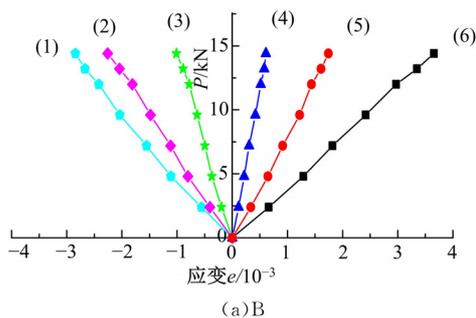


图 9 Bgd 组典型试件荷载-应变曲线

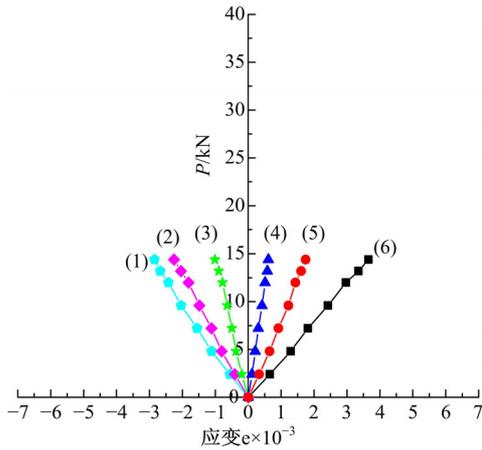
Fig. 9 Load-strain curve of Bgd group typical specimens

应变片的数量和位置是根据层板的分布情况而设定,胶合木层板中每层板的中间贴一片应变片,具体应变片布置如图 11 所示。

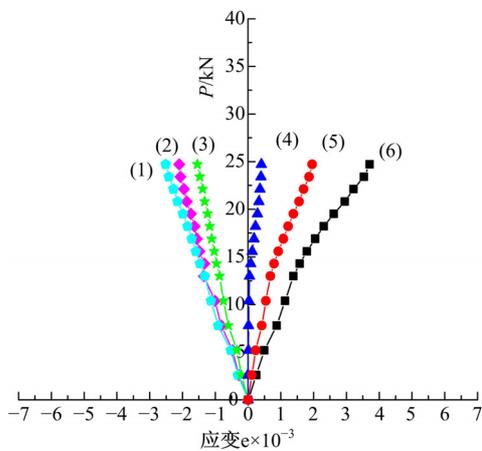
由图 9 可知,从加载开始至梁破坏的过程中,各测点的应变值先随荷载的增大而线性增大;而

后,部分层板出现弹塑性变形,受压区域和受拉区域木材的应变呈现出非线性变化。

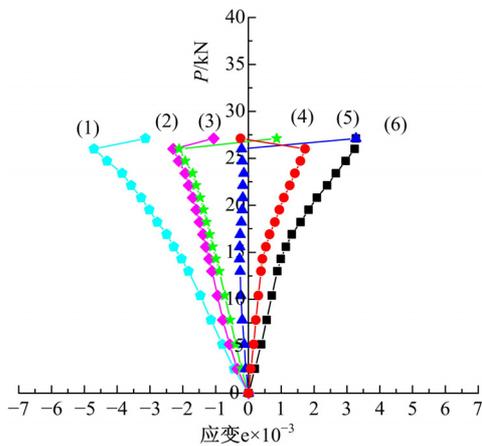
普通胶合木梁应变分布基本对称,当梁破坏时,其顶层木板的压应变为 2.844×10^{-3} ;粘贴钢板后,胶合木梁的受拉区域减小,受压区域增大,当梁破坏时,其顶层木板的压应变分别为 3.535×10^{-3} 、 4.133×10^{-3} 和 2.019×10^{-3} 。可知,随



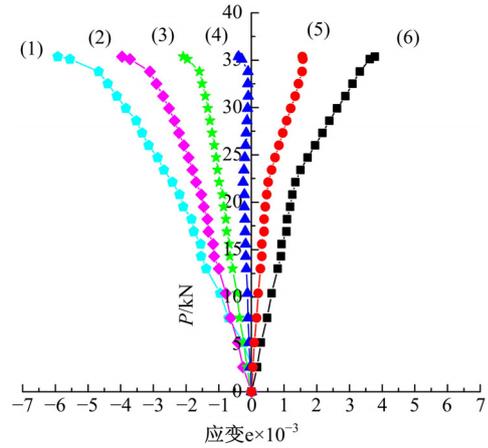
(a) B



(b) Bsd-2



(c) Bsd-3



(d) Bsd-4

图 10 Bsd 组典型试件荷载-应变曲线

Fig. 10 Load-strain curve of Bsd group typical specimens

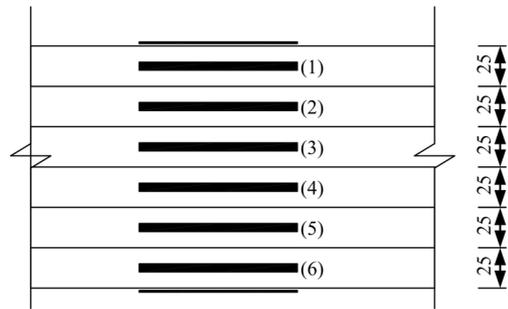


图 11 跨中应变片布置图

Fig. 11 Measuring points layout chart of beam

钢板厚度增大,破坏时顶层木板压应力先增大后减小,这与 2.2 节中给出的分析是一致的。最后,通过应变束的饱满程度可得钢板厚度越大,在承载相同荷载的情况下,其应变值越小,也就是说,钢板厚度的增加对梁的刚度有加强作用。

由图 10 可知,整个加载过程中,各测点的应变值先随荷载的增大而线性增大,达到极限状态时,应变不再线性变化,而是向 Y 轴靠拢。随着钢板厚度的增加,第 4 层层板的应变(即为图中曲线 4),由受拉转为受压,这说明中和轴位置下移,木梁受压区域面积增大。

粘贴钢板并设置螺钉后,胶合木梁的受拉区域减小,受压区域增大,梁在破坏时,其顶层木板的压应变分别为 2.100×10^{-3} 、 3.136×10^{-3} 和 5.929×10^{-3} 。可知,随着钢板厚度的增加,破坏时顶层木板压应力随之增大,这与 2.2 节中给出的分析是一致的。最后,与 Bgd 组梁类似,通过应变束的饱满程度可得钢板厚度的增加对梁的刚度

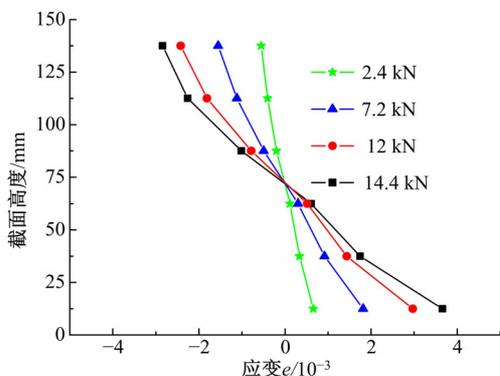
有加强作用。

3 理论分析

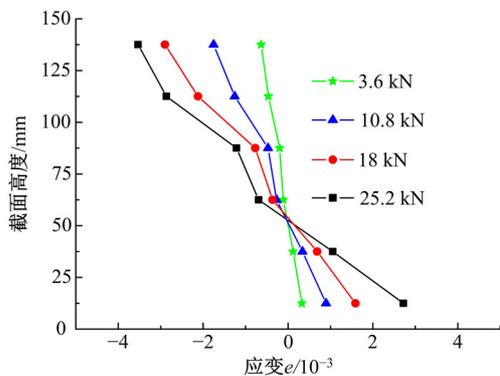
3.1 平截面假定验证

在表 1 所示的各试验分组中分别选取有代表性的一根梁,得到其跨中截面高度-应变关系曲线,如图 12 和图 13 所示。

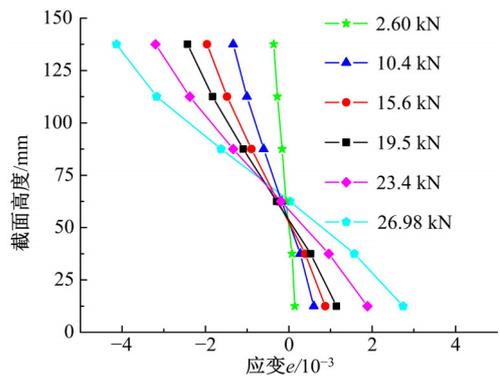
由图 12 和图 13 可知,随着钢板厚度的增加,胶粘钢板梁的中和轴位置先降低后升高;胶钉粘固梁的中和轴向下移动,受压区域面积增大,使梁趋于受压破坏,这与 2.2 节中给出的分析是一致的。



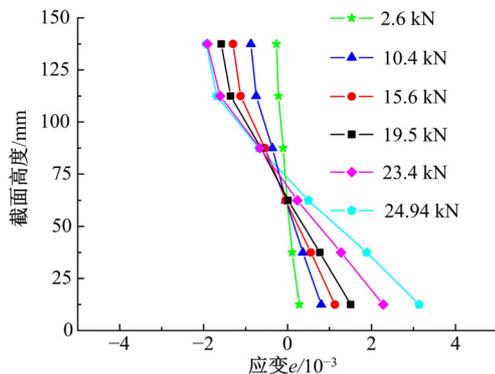
(a)B



(b)Bgd-2



(c)Bgd-3



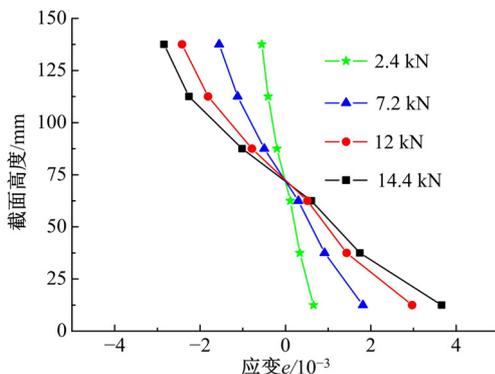
(d)Bgd-4

图 12 Bgd 组典型试件截面高度-应变曲线
Fig. 12 Section-strain curve of Bgd group typical specimens

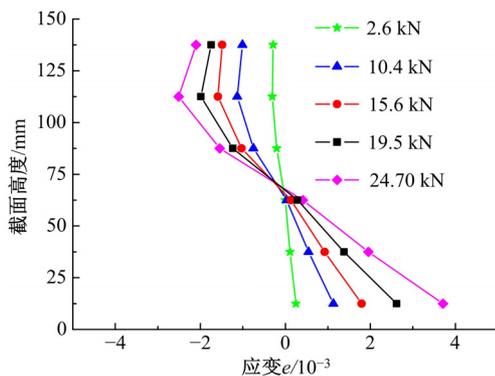
每级荷载下,跨中应变沿截面高度基本呈线性分布。接近极限时,有个别曲线不符合此变化规律,是因为应变片开胶或破坏等原因导致,但不影响曲线整体的线性走势,说明受弯钢板增强木梁截面应变分布基本符合平截面假定。

3.2 抗弯承载力计算

图 14 为胶合木梁截面计算简图。承载力计算推导过程中采用如下基本假定:①钢板增强木梁受弯后,截面应变分布符合平截面假定;②不考



(a)B



(b)Bsd-2

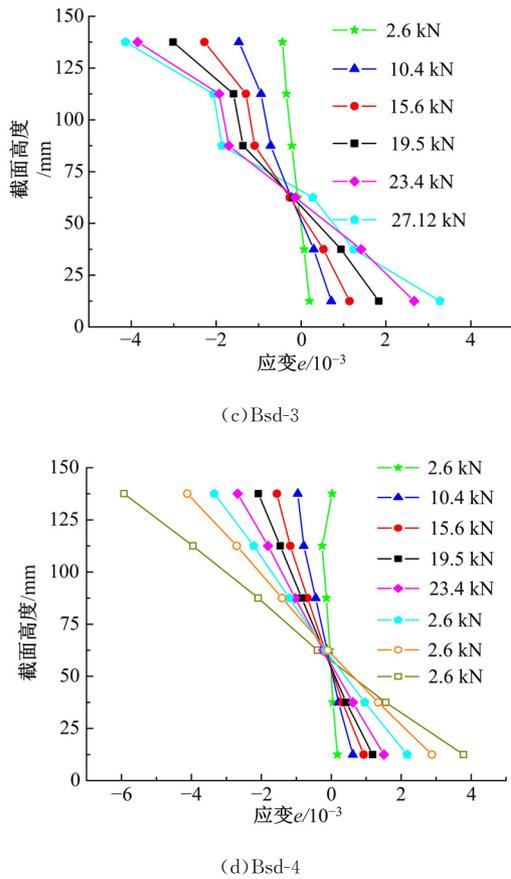


图 13 Bsd 组典型试件截面高度-应变曲线
Fig. 13 Section-strain curve of Bsd group typical specimens

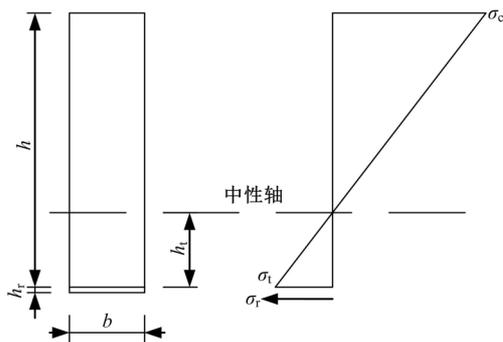


图 14 胶合木梁截面计算简图
Fig. 14 Equivalent calculation diagram of beam

虑钢板与木材间的粘钢胶的厚度,视为线弹性,且认为各层板间是一个整体,木层之间粘接完好;③木材受拉和受压应力-应变关系均简化为为线弹性。

这里需要说明的是,虽然部分梁出现了塑性变形,但受压区域木材的塑性发展有限,故将其作为安全储备,也近似按线弹性考虑。

由 2.2 节可知,试验梁的破坏形态分为 4 种,

除受压破坏,其余 3 种均可归为受拉破坏。进行计算公式推导时,分两种情况讨论。

(1)在受拉破坏的情况下($\sigma_t = f_{tu}$),由力和弯矩的平衡条件,得:

$$\begin{cases} \sum F = 0 \\ \frac{\sigma_c(h-h_t)}{2} \times b - \frac{\sigma_t h_t}{2} b - \sigma_r A_s \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \sum M = 0 \\ M = \left[\frac{\sigma_c(h-h_t)}{2} \times (h - \frac{h-h_t}{3}) - \frac{\sigma_t h_t}{2} \times \frac{h_t}{3} \right] b \end{cases} \quad (2)$$

式中: σ_c 为胶合木梁顶部压应力; σ_t 为胶合木梁底部拉应力; h 为胶合木梁截面高度; h_t 为胶合木截面受拉高度; b 为胶合木梁截面宽度; σ_r 为钢板受拉应力值; A_s 为胶合木梁配筋截面积; M 为胶合木梁截面弯矩设计值。

(2)在受压破坏的情况下($\sigma_c = f_{cu}$),满足力和弯矩的平衡式(1)(2),得到承载力计算值。

由实测的材料强度,根据式(2)求得跨中截面的弯矩值,并将其与试验值进行对比,如表 3 所示,表中 σ_c 和 σ_t 的单位均为 $N \cdot mm^{-2}$ 。

表 3 受弯承载力计算值与试验值比较

Table 3 Comparison of theory value and test value of bending capacity

组别	h_t / mm	$\alpha(f_{cu})$	$\alpha(f_{tu})$	A_s / mm^2	跨中弯矩/(kN·m)		误差/%
					计算值	试验值	
B	77.64	34.08	36.57	—	5.92	6.08	2.65
Bgd-2	63.77	36.78	27.2	100	8.69	10.469	20.44
Bgd-3	59.84	41.33	27.43	150	10.36	11.115	7.33
Bgd-4	62.85	35.48	25.59	200	8.51	10.203	19.94
Bsd-2	68.13	44.56	37.08	100	9.76	10.82	10.89
Bsd-3	63.42	50.99	37.35	150	12.12	12.848	6.02
Bsd-4	58.40	59.27	37.79	200	15.14	15.119	-0.14
平均值	—	—	—	—	—	—	9.59

由表 3 可知,梁受弯承载力计算值与试验值的误差大都在 20% 以下,且误差平均值在 10% 之内,因此,可以认为该计算公式是合理的。

4 结 论

(1)与普通胶合木梁相比,粘贴 2、3 和 4 mm 厚钢板增强后,梁承载力分别提高了 73.3%、90.0% 和 71.0%,随着钢板厚度的增加,梁承载力先增大后减小;粘贴同厚度钢板并设置螺钉后,

梁承载力分别提高 76.4%、96.9%和 148.6%,随着钢板厚度的增加,承载力增大,螺钉的增强效果在钢板较厚时表现明显。

(2)与普通胶合木梁相比,粘贴 2、3 和 4 mm 厚钢板增强后,梁极限变形分别提高 23.8%、33.9%和 6.2%;粘贴同厚度钢板并设置螺钉后,梁极限变形分别提高 7.6%、50.6%和 61.1%,钢板厚度和是否设置螺钉对梁变形能力的影响与其对承载力的影响类似。

(3)在验证了钢板增强胶合木梁基本符合平截面假定后,提出了此类构件的受弯承载力计算公式,并与试验结果进行对比,结果表明,理论值与试验值的平均误差不大于 10%。

参考文献:

- [1] 赵越,杨春梅,齐英杰,等. 新中国成立后木结构建筑的发展概况[J]. 林业机械与木工设备,2012,40(5):10-12.
Zhao Yue, Yang Chun-mei, Qi Ying-jie, et al. Development of wood architecture since the founding of new China[J]. Forestry Machinery and Woodworking Equipment, 2012, 40(5):10-12.
- [2] 侯桂深. 现代木结构房屋的先进性及发展趋势分析[J]. 产业与科技论坛,2012,11(23):113-114.
Hou Gui-shen. Advancement and development trend of wooden structure building[J]. Industrial and Science Tribune, 2012, 11(23):113-114.
- [3] 蔡汉忠,甄小翠. 湘西传统木建筑构造探析[J]. 森林工程,2012,28(6):94-95.
Cai Han-zhong, Zhen Xiao-cui. An analysis of the xiangxi traditional wood building construction[J]. Forest Engineering, 2012, 28(6):94-95.
- [4] Issa C A, Kmeid Z. Advanced wood engineering: glulam beams[J]. Original Research Article Construction and Building Materials, 2005, 19(2): 99-106.
- [5] Ribeiro A S, de Jesus A M P, Lima A M, et al. Study of strengthening solutions for glued-laminated wood beams of maritime pine wood[J]. Construction and Building Materials, 2009, 23(8):2738-2745.
- [6] 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 Wei-qing, Yang Hui-feng. Experimental study on flexural behavior of engineered wood beams[J]. Journal of Building Structures, 2008, 29(1):90-95.
- [7] Ferrier E, Labossière P, Neale K. Mechanical behavior of an innovative hybrid beam made of glulam and ultrahigh-performance concrete reinforced with FRP or steel[J]. Journal of Composites for Construction, 2010, 14(2):217-228.
- [8] Manalo A C, Aravinthan T, Karunasena W. Flexural behaviour of glue-laminated fibre composite sandwich beams[J]. Composite Structures, 2010, 92(11):2703-2711.
- [9] Khorsandnia N, Valipour H R, Foster S, et al. A force-based frame finite element formulation for analysis of two-and three-layered composite beams with material non-linearity[J]. International Journal of Non-Linear Mechanics, 2014, 62:12-22.
- [10] Yahyaei-Moayyed M, Taheri F. Creep response of glued-laminated beam reinforced with pre-stressed sub-laminated composite [J]. Construction and Building Materials, 2011, 25(5):2495-2506.
- [11] 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]. 建筑结构学报,2010,40(5):50-52,107.
Wang Quan-feng, Li Fei, Chen Hao-jun, et al. Experimental study on bending behavior of timber beams reinforced with GFRP sheets[J]. Journal of Building Structures, 2010, 40(5):50-52,107.
- [12] Huang Dong-sheng, Zhou Ai-ping, Bian Yu-ling. Experimental and analytical study on the nonlinear bending of parallel strand bamboo beams[J]. Construction and Building Materials, 2013, 44:585-592.
- [13] Manalo A C, Aravinthan T, Karunasena W. Flexural behaviour of glue-laminated fibre composite sandwich beams[J]. Composite Structures, 2010, 92(11):2703-2711.
- [14] Toratti T, Schnabl S, Turk G. Reliability analysis of a glulam beam [J]. Original Research Article Structural Safety, 2007, 29(4):279-293.