

半干法石膏纤维板工艺研究

I. 原料配比、密度等对板材性能的影响

张宜生 陈士英 龙玲

摘要 本研究是建立在我国资源和工业技术基础之上,探讨利用木纤维以半干法制造石膏纤维板(GFB)的生产工艺;提出了半干法石膏纤维板的工艺方案,并建立了密度、木膏比、水膏比与板材性能的数学模型。结果表明:密度(D)增加,板材力学性能显著提高,木膏比(W/G)、水膏比(H/G)有较强的交互影响。木膏比增大,板材反弹率和吸水厚度膨胀率(TS)增加,纤维形态、蒸煮工艺对板材静曲性能无显著影响,纤维形态对内结合强度(IB)和吸水厚度膨胀率影响显著。

关键词 石膏纤维板;木纤维;半干法;数学模型

Study on Gypsum Wood Fiber Board by Semi-dry Process

Part I. Effects of Raw Material Mixture and Board Density on Board Properties

Zhang Yisheng Chen Shiyong Long Ling

(Research Institute of Wood Industry, CAF, Beijing 100091)

Abstract In this study gypsum fiber board (GFB) was reinforced with wood fiber prepared by defibrator. The paper described the relationship between mechanical properties and wood/gypsum (W/G) ratio, water/gypsum (H/G) ratio and density was also established a mathematics models concerned. The results showed that $MOR/MOE/IB$ increased significantly along with density increase; W/G ratio and H/G ratio were cross-impacted, which had strong influence on board properties; both spring-back and TS increased along with W/G increase; fiber pattern had significant effect on both IB and TS ; and defibering condition had little effect on MOR/MOE .

Keywords Gypsum fiber board (GFB); Wood fiber; Semi-dry process; Mathematics model

1 前言

石膏纤维板是一种以建筑石膏为胶凝材料,以各种纤维(主要为纸纤维)为增强材料的新型绿色建筑材料。其综合性能指标等于或优于纸面石膏板,加工性能和装饰性能类同于普通人造板,但防火性能、环保性能更加优异,具有较强的经济竞争能力和较大的应用发展潜力,因此近十年来在国外发展迅速。

1972年德国就开始工业生产石膏纤维板。因在国外废纸是一相对充裕的再生资源,利用废纸在经济上和节约资源上有较强优势,故石膏纤维板研究开发的主要方向在利用废纸纤维作增强材料上,而用木纤维增强的石膏纤维板研究较少。在生产工艺方面,为

减少过程中的加水量,以减少板材的干燥成本,国外几种主要生产工艺加水量差别较大,还没有真正意义的半干法生产工艺方式^[1]。本研究是在我国资源和工业技术基础之上,探讨利用木纤维采用半干法制造石膏纤维板的生产工艺技术,为我国石膏纤维板生产发展提供依据。

2 试验材料和方法

2.1 试验材料

2.1.1 石膏粉 建筑石膏,产地山西省洪洞县,按国标 GB 9776—88《建筑石膏》检测,该石膏粉标准稠度 0.62,初凝时间 8 min,终凝时间 30 min,抗折强度 2.48 MPa,抗压强度 5.09 MPa。

2.1.2 木纤维 采用河北产杨木(*Populus* spp.)木片热磨而成,纤维筛分值如表 1。

收稿日期 1998-06-17

国家科技部农村司“推动林业科技工作一体化”重点研究项目。

本文作者分别为:中国林科院木材工业研究所副研究员,研究员,助理研究员,北京 100091

表 1 纤维筛分值

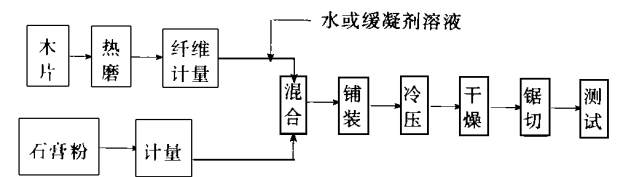
Tab. 1 Wood fiber screen distribution					
纤维种类	筛分值(%)				
	留于 9 目	留于 16 目	留于 32 目	留于 60 目	通过 60 目
F ₁ 纤维	5.83	14.95	21.52	19.40	38.31
F ₂ 纤维	27.01	15.69	21.55	16.57	19.18
F ₃ 纤维	43.87	18.28	16.10	10.46	11.29

注: F₁ 纤维利用 CC-12/12-ICP(奥地利 Sprout-Waltron 公司产)热磨机自制, F₂、F₃ 纤维取自北京木材厂湿法纤维板生产线。

2.1.3 缓凝剂 柠檬酸三钠(化学纯)。

2.2 试验板制作流程

采用半干法工艺流程。



试验板为单层匀质结构,幅面 34.5 cm×36 cm,厚 1.1 cm,通过缓凝剂控制板材终凝时间在 100 分钟左右,按刨花板国家标准(GB/T 4897—92)测定板材的静曲强度(MOR)、弹性模量(MOE)、内结合强度(IB)、2 小时和 24 小时吸水厚度膨胀率(TS₁、TS₂),实际密度(D)、反弹率等。

3 试验设计

3.1 密度、纤维形态、木膏比、水膏比对板材性能的影响

先采用正交试验法进行探索试验,未考虑因子间交互作用,选用正交表 L₁₈(6×3⁶),因子及水平有:

木膏比(W/G):0.07、0.1、0.15、0.2、0.25、0.3

纤维筛分值(F):F₁、F₂、F₃

水膏比(H/G):0.3、0.4、0.5

密度(D):1.1、1.2、1.3

在以上研究的基础上,优选出最佳纤维筛分值,木膏比区间定为 0.1~0.3,水膏比、密度区间不变,依法补充成全水平试验(45 次),测试结果进行多元回归统计分析。

3.2 热磨条件对板材性能的影响

热磨条件:

①蒸煮压力 0.8 MPa,蒸煮时间 1.5 min;

②蒸煮压力 0.4 MPa,蒸煮时间 5 min。

按最佳木膏比、水膏比和纤维筛分值制造试件。

4 结果与讨论

按试验数据对各因素显著性分析以及回归结果见表 2、3,图 1、5、6、7,采用综合平衡法进行分析^[2],

表 2 显著性分析结果

Tab. 2 Significance of variance factor					
方差名称	MOR	MOE	IB	TS ₁	TS ₂
W/G	*	*	*	*	*
F			*		*
H/G	*	*	*	*	
D	*	*	*	*	
误差					

* * 表示显著水平为 α=0.01, * 表示显著水平为 α=0.05。

表 3 F₂ 纤维增强的石膏纤维板回归数学模型

Tab. 3 Mathematics models (at fiber F ₂)		
测试项目	回归方程	相关系数(R)
静曲强度	MOR=37.0412-334.457x-	0.9548
	612.668y+3659.52xy+400.26x ² +	
	1595y ² -4574.4x ² y-9148.8xy ² +	
	11436x ² y ² +20.819d	
弹性模量	MOE=-8628.0394-5147.8755x-	0.9254
	32842.322y+170491.9xy-	
	30650.13x ² +55386.2y ² -340260xy ²	
	+10815.326d	
内结合强度	IB=1.7026-9.675x-28.882y+	0.9032
	114.56xy+32.19x ² +35.84y ² -	
	98.4x ² y-89.6xy ² +1.13d	
24 h 吸水厚度膨胀率	TS ₂ =-1.6085+18.8235y	0.9577

注: x 代表 H/G, y 代表 W/G, d 代表 D。

k 值表示因子在 i 水平下测试项目值之和的平均值。

4.1 纤维形态对板材性能的影响

图 1、表 2 显示,纤维筛分值即纤维形态不是影响板材静曲性能的主要因素,中等细度纤维(F₂ 纤维)增强石膏纤维板的 MOR、MOE 指标较好。纤维形态对 IB、TS 影响较显著,因热磨后纤维束内纤维之间的结合受到损伤,若纤维束增粗,板材的 IB 降低,由此也导致 TS 升高,如图 3、图 4 显示出粗纤维的板材 TS 相对较高。纤维增强复合材料的强度取

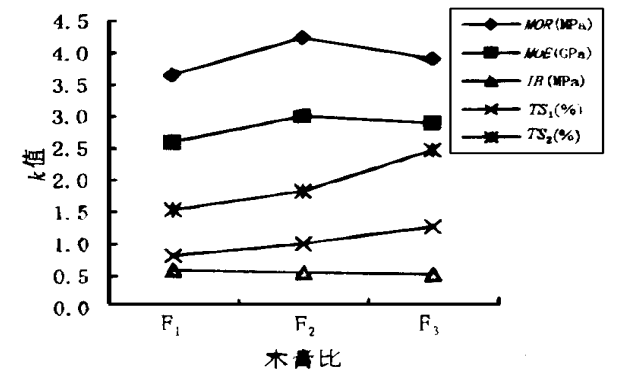


图 1 纤维形态对石膏纤维板性能的影响

Fig. 1 Effect of fiber pattern on GFB properties

决于纤维强度、纤维与基体的粘结强度、基体的剪切强度^[3],对受静曲载荷破坏的试件分析可看出,试件

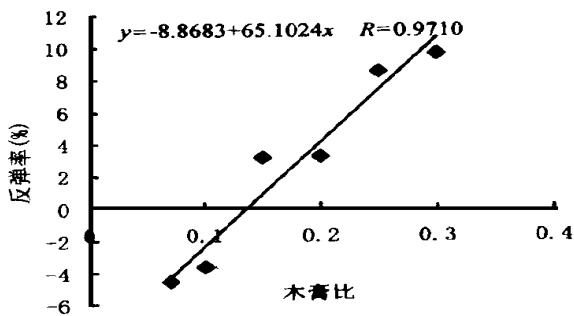


图2 木膏比与反弹率的关系

Fig. 2 Relationship between W/G ratio and spring-back

破坏表现为木纤维拉断,由此可见纤维自身强度是木纤维增强石膏纤维板的关键。综合以上分析,F₂纤维增强石膏纤维板的综合性能较好。

4.2 木膏比与板材厚度反弹、吸水厚度膨胀率的关系

木膏比增加,板厚反弹增大。试件名义厚度为11 mm时,对板材厚度的统计分析表明,板材实际厚度和木膏比有较强的线性关系,实际板厚=10.058+7.02 W/G , $R=0.9546$,木膏比在0.07~0.3内,反弹率在-4.5%~9.6%之间,反弹率小于零表示在同等压力下,板材实际厚度小于名义厚度,如图2所示。图中回归方程反映出反弹率与木膏比存在约65倍的关系。

木膏比对TS影响显著。木膏比增加,吸水厚度膨胀率增大,24 h吸水厚度膨胀率约是2 h吸水厚度膨胀率的2倍。在试验范围内,2 h的吸水厚度膨胀率<3%,与其它无机胶凝人造板的商用指标相同,如图3、图4、图5所示。

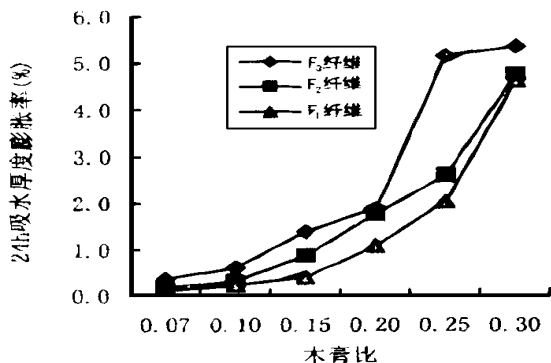


图3 纤维形态、木膏比与2 h吸水厚度膨胀率关系

Fig. 3 Effect of fiber pattern and W/G ratio on 2 h TS

4.3 木膏比、水膏比与板材性能的相互关系

木膏比、水膏比是影响板材性能的主要因素,两者间有较强的相互作用。从图5、表3可见,木膏比在0.07~0.3区间内与MOR、MOE呈二次曲线关系,木膏比在0.25左右静曲性能指标较好。图6、表

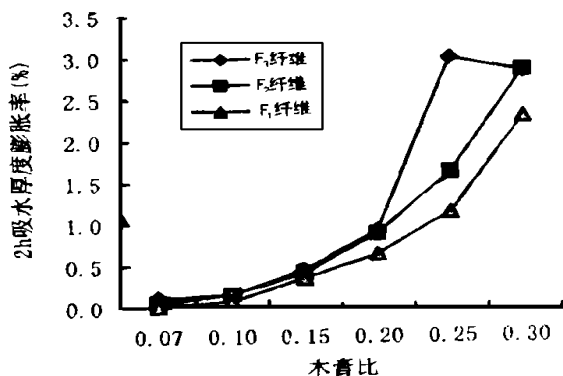


图4 纤维形态、木膏比与24 h吸水厚度膨胀率的关系

Fig. 4 Effect of fiber pattern and W/G ratio on 24 h TS

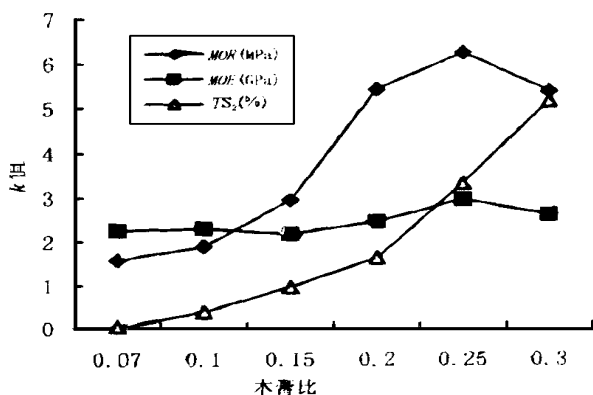


图5 木膏比与石膏纤维板性能的关系

Fig. 5 Effect of W/G ratio on GFB properties

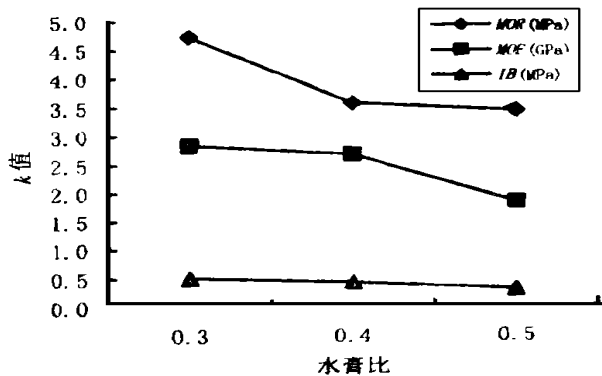


图6 水膏比与石膏纤维板性能的关系

Fig. 6 Effect of H/G ratio on GFB properties

3显示,随水膏比增大,强度指标呈下降趋势,水膏比在0.3左右时板的静曲性能指标较好。如木膏比取定值,水膏比增大,相对纤维含水率增加,由于纤维与水的表面动力原因,水在纤维表面呈珠状,加入石膏粉后纤维表面纯石膏珠状体增大,板材呈现出Kraemer所描述的“桔皮效应”^[1],这样纤维与石膏分离度增大,纤维增强作用减弱,导致强度指标下降。但含水量过少石膏胶凝将受到影响,可见木膏比与水膏比

值的大小对强度的影响是互相关联的。

由表 3 进一步分析强度性能与木膏比、水膏比的关系。单纯用数学的方法难以计算出最佳的试验因子水平。由回归方程分别求解 MOR 、 MOE 、 TB 对木膏比(y)的二阶偏导,水膏比在试验范围内得出:

$$\frac{\partial^2(MOR)}{\partial(y)^2} < 0$$

$$\frac{\partial^2(MOE)}{\partial(y)^2} < 0$$

结合正交试验结果,可确定在试验范围内,木膏比取定值下, MOR 、 MOE 存在最大值。令 $\frac{\partial(MOR)}{\partial(y)}=0$,得方程:

$$y = \frac{306.334 - 1829.76x + 2287.2x^2}{1595 - 9148.8x + 11436x^2} \quad (R)$$

即 MOR 最大值时,木膏比、水膏比满足方程(R)的关系。同理得出 MOE 最大值时,木膏比、水膏比满足方程(E):

$$y = \frac{1.6421 - 8.5246x}{5.5306 - 34.026x} \quad (E)$$

图 7 直观表示了方程 R、E 的关系。在试验范围内, MOE 达到极值时,木膏比变化区间为 0.1957~0.2268; MOR 达到极值时,水膏比在 0.35~0.45 内变动,木膏比曲线平缓,变化区间在 0.2540~0.2614。利用网格法,格距定为 0.001,在试验范围内,通过计算机搜索,从板材性能、生产成本和生产工艺控制角度出发,木膏比取 0.261,水膏比取 0.35 较好。

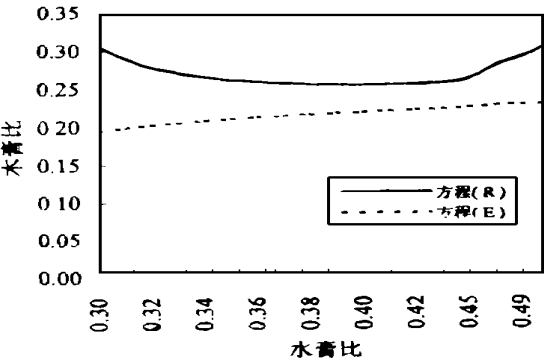


图 7 水膏比、木膏比的关系 (MOR 、 MOE 有极大值下)

Fig. 7 H/G ratio versus W/G ratio at MOR_{max} and MOE_{max} , respectively

4.4 密度对板材性能的影响

密度对板材 MOR 、 MOE 、 IB 影响显著。表 3 数学模型显示,密度(d)与 MOR 、 MOE 、 IB 存在较强的线性关系,密度越高上述三强度越高。但密度增加,对 TS 影响不显著。见图 8。

4.5 热磨条件对板材性能的影响

在相同的最佳原料配比下,用不同热磨蒸煮条件

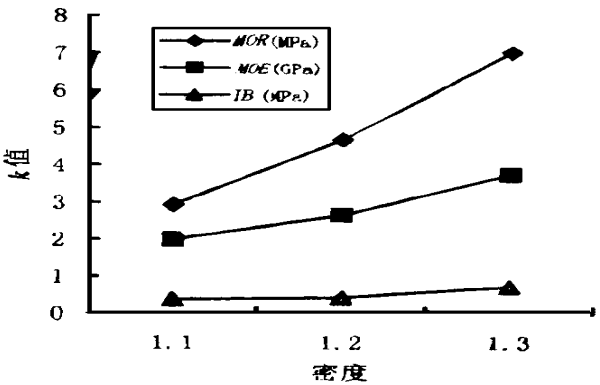


图 8 密度对石膏纤维板性能的影响

Fig. 8 Effect of board density on GFB properties

制备的纤维各压板 3 张,经测试对比, MOR 、 MOE 、 IB 、 TS 值差别无规律性,数值差 $<6\%$,热磨条件与板材性能没有明显的关联。

4.6 最优工艺条件

综合以上结果,半干法石膏纤维板的原料最优配比是: W/G 0.261, H/G 0.35,按我国纤维板厂的常规热磨条件,制成 F_2 纤维形态,板材性能指标经验证为: MOR 8.8 MPa, MOE 3.4 GPa, IB 0.56 MPa, TS_1 0.83%, TS_2 1.92%。

5 结论

5.1 采用本半干法工艺路线试制的石膏纤维板,性能可达到使用要求。最佳工艺条件: F_2 纤维, W/G 为 0.261, H/G 为 0.35, D 为 1.2 g/cm³。产品的性能指标介于石膏刨花板和纸面石膏板之间。

5.2 纤维形态对板材静曲性能没有明显影响,对内结合强度和吸水厚度膨胀率影响显著,纤维自身强度是板材强度的关键因素,热磨蒸煮条件对板材性能没有显著影响。

5.3 密度、水膏比、木膏比是影响板材性能的主要因素。密度增大,强度指标增高;木膏比与水膏比间有较强相互作用;木膏比增大,板材反弹率和吸水厚度膨胀率增加,木膏比由 0.07 增到 0.257 时,强度呈上升趋势,再增加则强度下降;水膏比过量增加,板材强度亦下降。

6 参考文献

1 Egon f Kraemer, Karsten H Lempfer. Gypsum Fiberboard History and Outlook. Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials. Forest Products Society (USA), 1991

2 陈魁. 试验设计与分析. 清华大学出版社, 1996

3 赵渠森编译. 复合材料. 国防工业出版社, 1985