

石膏与纤维的混合性能评价

张宜生* 龙玲 陈士英

摘要 研究了多种混合方式对混合料均匀性的影响以及对石膏纤维板半干法生产的适应性。结果表明: 3种搅拌方式适合半干法工艺生产, 其中悬浮气流式搅拌负面影响较小; 混合料颗粒径越大, 静曲强度越低; 混合料均匀性与石膏比 (H/G)、木膏比 (W/G) 相关, 可用一定义的 k 值定量描述。

关键词 石膏纤维板 (GFB); 半干法; 混合; 均匀性

Assessment of Homogeneity of Gypsum/Wood Fiber Admixture

Zhang Yisheng Long Ling Chen Shiyong

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091)

Abstract This paper discusses blending properties of gypsum fiberboard (GFB) by semi-dry process. 4 kinds of blending were examined by means of surveying the granule size of admixture, testing moisture content (MC), scanning electron microscopy (SEM), etc. The results showed that for semi-dry process, 3 kinds of blending methods were available in which the side effects of airflow blending method was lowest. The granule size of admixture played a central part in the bending strength of GFB, the bigger the granule size of admixture, the lower MOR of GFB. The admixture homogeneity depended upon both ratio of water/gypsum (H/G) and ratio of wood/gypsum (W/G) which could be described by k -function.

Keywords Gypsum fiberboard (GFB); Semi-dry process; Blending; Homogeneity

以原料混合时的加水量多少区分, 石膏纤维复合材料生产经历了料浆法、湿法、半干法的发展过程, 几种工艺方式的差别主要表现在混合方式、加水量和工艺路线上, 三者相互关联。混合方式和加水量影响石膏与纤维的混合均匀性, 并直接影响板材性能。从降低板材生产干燥能耗考虑, 加水量以少为好, 但加水量过低, 石膏的流动性下降, 原料较难混合均匀。因此, 搅拌方式是决定半干法工艺混合料均匀性的关键。本研究采用半干法工艺研究石膏与纤维的混合特性, 试图评价几种混合方式对混合料均匀性的影响以及工艺的适应性。

1 试验材料和试验方法

1.1 试验材料

石膏粉 建筑石膏, 产地山西省侯马市。按建筑石膏国标 GB 9776-88测得: 标准稠度 0.65, 初凝时间

6 min, 终凝时间 27 min, 抗折强度 2.73 MPa, 抗压强度 4.66 MPa, 堆积重 890 g/L, 细度 2.48%。

木纤维 热磨纤维, 树种为河北油松 (*Pinus tabulaeformis*), 滤水度平均为 11.59%, 含水率 14.9%, 堆积密度 26.7 kg/m³。

1.2 试验方法

采用半干法工艺路线^[1], 试验板为单层均质结构, 规格尺寸 34 cm×36 cm×1.1 cm, 密度 1.15 g/cm³, 木膏比 (W/G) 0.07~0.3, 水膏比 (H/G) 0.3~0.5。石膏与纤维经手工初混后, 分别采用不同搅拌方式混合至均匀状态基本不变化。混合方式有:

高速桨式	2 900 r/min;
低速轮式	60 r/min;
针刺式	750 r/min;
悬浮气流式	风量 30 m ³ /h, 风压 980 Pa

1.3 评价方法

目测石膏纤维混合物料颗粒尺寸, 并用电镜观察石膏结晶状态和与纤维混合状态, 来判断混合均匀状

况;参照刨花板国家标准 GB/T 4897-92测试板的静曲强度和原料含水率变化,进行混合性能分析对比

2 结果与讨论

2.1 搅拌方式对半干法工艺的适应性

Heine等^[2]在研究采用半干法工艺时石膏与刨花的混合搅拌方式,搅拌时间与板强度的关系时发现,不同的搅拌方式显著影响石膏的水化终点,板的静曲强度和反弹量;在同种搅拌方式下,随着搅拌时间的延长,石膏水化终点明显加快,搅拌时间过长,使石膏初期结晶受损伤,亦导致板材静曲强度下降,反弹增加。本试验在 W/G 为 0.261 H/G 为 0.35 条件下,研究搅拌方式对半干法生产工艺的适应性。搅拌时间控制在混合料均匀状态达基本不变后的最短时间,且通过混合料性能的变化来反映搅拌方式对半干法工艺的适应性(见表 1)。

表 1 搅拌方式对混合料固化的影响

Tab. 1 Effect of solidifying on admixture characteristics									
搅拌方式	搅拌时间 s	水化时间 min	混合料含水率* %			混合料堆积重 g/cm ³	静曲强度		
			搅拌前	搅拌后	变化率		平均值	变异系数	数%
高速桨式	4	85	27.76	26.92	-3.02	0.221	7.63	5.79	
低速轮式	100	102	27.76	26.55	-4.36	0.98	2.73	35.89	
针刺式	10	90	27.76	26.88	-3.17	0.223	7.87	6.76	
悬浮气流式	0.8	98	27.76	25.00	-9.94	0.232	8.12	6.58	

* 样品在 110℃ 下烘 20 min 的绝对含水率,石膏水化水忽略不计。

由表可见,混合料经搅拌后水分有明显损失,损失率在 3.02%~9.94% 之间。高速桨式、低速轮式、针刺式搅拌的水分损失主要是搅拌机械磨擦导致混合料温度上升,加速了水分的蒸发,实际混合料的 H/G 在 0.329~0.335 之间;悬浮气流式搅拌水分损失最大,主要是水分被搅拌气流带出,实际混合料的 H/G 为 0.315。

不同搅拌方式对混合料性能以及板材性能影响程度不同。高速桨式、针刺式及悬浮气流式 3 种搅拌方式的混合料均匀状态基本相近,板的 MOR 在 7.63~8.12 MPa,终凝时间在 85~98 min,可达到半干法工艺对板材强度和石膏水化时间的要求。其中悬浮气流式搅拌对石膏初期结晶破坏较少,对混合料的促凝影响最小,终凝时间最长,对石膏纤维板强度影响也较小。低速轮式搅拌的混合料纤维分散性差,结团现象严重。实测数据反映,混合料堆积重较小,板的 MOR 过低,不能达到板材性能的要求,故不再采用。

2.2 搅拌方式对纤维的影响

按表 1 的搅拌时间搅拌纯纤维原料,搅拌前后纤维

维形态的变化见表 2。

表 2 纤维筛分值比较

Tab. 2 Wood fiber screen distribution from different blending methods

纤维搅拌方式	筛分值 %				
	留于 9 目	留于 16 目	留于 32 目	留于 60 目	通过 60 目
未搅拌	11.17	12.97	21.96	19.37	34.52
高速桨式	9.32	11.87	22.04	20.11	36.66
低速轮式	11.03	12.92	22.01	19.35	34.69
针刺式	9.65	12.33	21.88	19.61	36.53
悬浮气流式	9.99	12.56	21.96	19.79	35.70

表中数据显示,除低速轮式搅拌外,其余 3 种搅拌方式对纤维筛分值影响不大,留于 16 目上的纤维量略减少,通过 32 目的纤维量略增多,即短细小纤维量增多。由于石膏纤维板的 MOR 主要取决于纤维或纤维束自身强度,内结合强度和吸水厚度膨胀率取决于纤维束的粗细^[1],纤维变短变细有利于内结合强度的提高和吸水厚度膨胀率的降低,而对 MOR 影响较小。因此可以认为,几种搅拌方式对纤维形态的改变及对板材性能的负影响较小。

2.3 混合料配比对混合料均匀性的影响

按半干法工艺,原料的混合先是将定量的水和添加剂喷入纤维原料中,搅拌均匀后再加入石膏进行搅拌。纤维原料加入定量的水和添加剂后,纤维含水率为 MC_F 。

$$MC_F = \frac{H/G}{W/G} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

与石膏混合后,混合料的含水率为 MC_M 。

$$MC_M = \frac{H/G}{W/(G+1)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

分析试验结果,搅拌后混合料颗粒径大小与加水量、纤维体积和石膏体积之间存在一定的关系,混合料成团的颗粒径用定义标量 k 值来表示,

$$k = \frac{MC_M}{\frac{1}{0.98} + \frac{W/G}{0.02675}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中: 0.89 为石膏粉堆积重, g/cm^3 ; 0.02675 为纤维堆积重, g/cm^3 。

由式 (1)、(2) 和 (3) 计算的原料含水率指标见表 3。

由公式计算,纤维与石膏混合前的含水率在 100%~714% 之间,过量水分主要附着于纤维束表面,加入石膏搅拌后,混合料的均匀性与 W/G 和 H/G 密切相关。在 W/G 不变条件下,随着 H/G 值上升,混合料颗粒径增大;在 H/G 不变条件下,随着 W/G 值增大,混合料颗粒径减小。 $k < 3$ 时,混合料颗粒

表 3 原料含水率指标

Tab. 3 Properties parameter of material moisture content

水 膏 比	木膏比 W/G											
	0.07			0.1			0.15			0.2		
	含水率 $F\%$			含水率 $F\%$			含水率 $F\%$			含水率 $F\%$		
	纤维	混合料	k 值	纤维	混合料	k 值	纤维	混合料	k 值	纤维	混合料	k 值
0.3	428.6	28.0	7.50 ^b	300.0	27.3	5.61 ^b	200.0	26.1	3.88 ^b	150.0	25.0	2.91 ^p
0.4	571.4	37.4	9.99 ^a	400.0	36.4	7.48 ^a	266.7	34.8	5.17 ^b	200.0	33.3	3.88 ^b
0.5	714.3	46.7	12.49 ^a	500.0	45.5	9.35 ^a	333.3	43.5	6.46 ^a	250.0	41.7	4.84 ^b

注:混合料成团颗粒径: p-细粉状,颗粒径 < 0.6 mm;; b-珠状,颗粒径= 0.6~ 3 mm; a-团状,颗粒径> 3 mm 以下同。

呈粉状,混合较均匀, k 在 3.1~ 6.4之间时,混合料颗粒成珠状,有部分细小纤维与石膏粉结团, $k> 6.4$ 时,混合料纤维束与石膏结团,纤维分散性差,混合料不均。可见混合料的颗粒径取决于混合料含水量同混合料体积的比值 k 值过大,存在过剩水,而过剩水是影响混合料成团性和板材强度的主要因素^[3]。扫描电镜图片(图 1~ 6)分别显示了石膏与纤维的 3 种混合状态:①混合料颗粒呈团状,纤维成团较多,较大,纤维束较粗(图 1a),石膏晶体主要包裹在纤维束或纤维团表面(图 1b);②混合料颗粒呈珠状,纤维的分散性得到改善,但仍有一定量的小纤维束形成珠状团,未分散开(图 2);③混合料颗粒呈细粉状,纤维分散较好,纤维束、纤维团相对较少、较小(图 3a),石膏晶体不均匀地分布在纤维表面(图 3b)。

2.4 混合料对比对 GFB强度和终凝速度的影响

高速桨式、针刺式、悬浮气流式 3 种搅拌方式与混合料对比对物料均匀性及板材性能的影响见表 4

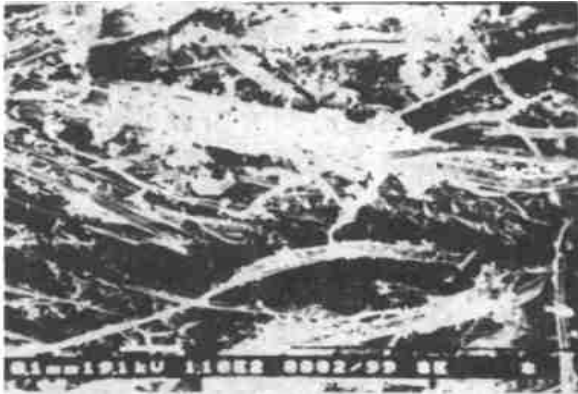
混合料均匀性直接影响石膏纤维复合材的石膏



(a) (b)

图 1 团状混合料

Fig. 1 Agglomerate admixture at $W/G=0.15$, $H/G=0.5$



(a) (b)

图 2 珠状混合料

Fig. 2 Ball admixture at $W/G=0.2$, $H/G=0.4$

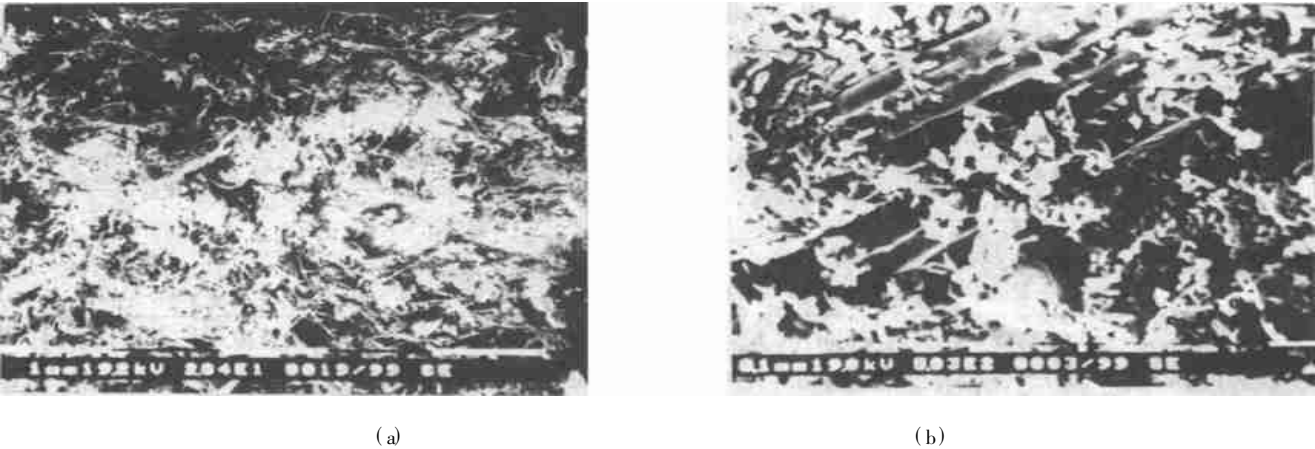


图 3 细粉状混合料

Fig. 3 Powdery admixture at $W/G=0.3$, $H/G=0.4$

表 4 混合料均匀性与 GFB 静曲强度

Tab. 4 Admixture homogeneity versus MOR

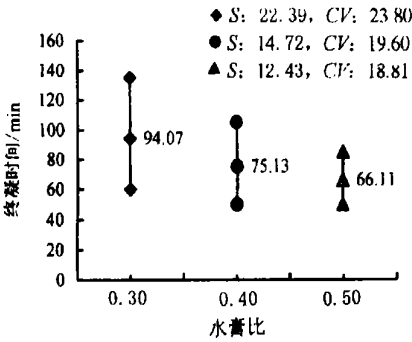
石膏比 H/G	不同木膏比 (W/G) 时板的静曲强度 /MPa					
	0.07	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
0.3	1.92 ^b	3.53 ^b	5.52 ^b	6.10 ^b	6.44 ^b	6.17 ^b
0.4	1.60 ^a	1.86 ^a	4.45 ^b	5.03 ^b	7.22 ^b	6.81 ^b
0.5	— ^a	1.12 ^a	2.75 ^a	4.18 ^b	5.56 ^b	5.23 ^b

晶阵与纤维之间的结合强度,决定了板材的孔隙率。传统的石膏纤维板(废纸纤维)经改进后,石膏晶阵孔隙率从 51% 降至 18%, MOR 增加了 3 倍,孔隙率反映的混合料均匀性是影响板材强度性能的主要因素^[4,5]。一般无缺陷木材拉伸强度约 70 MPa,而单根纤维拉伸强度约 700 MPa^[6]。本研究采用的工厂热磨纤维分离度较低,板材断裂主要是纤维束拉断,远没有发挥出单根纤维的强度。严格地说,此种板材应是纤维束增强石膏板。由表 4 可见,混合料的均匀性对 MOR 有显著影响:混合料成团状时,板的 $MOR < 2.8\text{ MPa}$;混合料成珠状时, MOR 在 3.5~5.6 MPa 之间;混合料成细粉状时, MOR 在 6.1~7.3 MPa 之间。其他条件相同的情况下,细粉状混合料制成的板材的 MOR 是团状料的 3 倍。

石膏比对混合料终凝时间有较强的影响(见图 4)。石膏比增大,原料终凝时间缩短。

3 结论

- 1) 高速桨式、针刺式、悬浮气流式搅拌方式适合石膏纤维板半干法工艺生产,其中悬浮气流式对混合料性能的负影响最小。
- 2) 搅拌可造成纤维形态的改变,但对石膏纤维板性能的负影响较小。
- 3) 混合料的均匀性与石膏比、木膏比密切相关,可用 k 值来衡量。混合料单位体积含水量增大,混合



S —样本方差; CV —变异系数

图 4 石膏比对终凝时间的影响

Fig. 4 Effect of H/G ratio on the end of hydration of gypsum plasters

料颗粒径增大,物料均匀性差。

4) 混合料均匀性是影响板材强度的主要因素,混合料颗粒径越大,板的强度越低。

4 参考文献

- 1 张宜生,等. 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. 木材工业, 1998, 12(5): 8~11
- 2 Heine W, Kober K D, Lempfer K. Influence of Homogeneity on Process and Mechanical Properties of Gypsum Bonded Particle-board. WKI-Kurzbericht, Nr. 1986, 35
- 3 Sattle H. Useful Effects by Decrease of Water Surplus at Manufacture of Gypsum Bonded Fiberboard's. WKI-Kurzbericht, Nr. 1994, 42
- 4 Sattle H. The Importance of Porosity for the Properties of Hardened Gypsum Plaster Products. International Cement-Lime-Gypsum, 1997, 50(1): 54~62
- 5 Sattle H. Influence of Matrix Porosity on Bending Strength of Gypsum-bonded Fiberboard's. WKI-Kurzbericht, Nr. 1994, 32
- 6 Robert S. Coitus P. Wood Fiber Plaster Composites. Appita 1988, 41(1): 43~46