

研究与开发

水泥刨花板快速固化工艺的研究

刘义海 陈士英

摘要 以毛白杨、兴安落叶松和普通硅酸盐水泥为主要原料,采用二氧化碳气体喷射法研究水泥刨花板的快速固化工艺,探讨了水灰比、二氧化碳气体压力、养护条件等对水泥反应特征和水泥刨花板性能的影响。结果表明:最佳制板工艺参数为:CO₂气体压力0.7 MPa,通气时间3 min,木灰比0.2(毛白杨)或0.5(落叶松),水灰比0.35(毛白杨)或0.4(落叶松);水灰比不但影响成板的可能性,而且对反应特征和水泥刨花板的力学性能影响显著;CO₂压力在0.5~0.8 MPa之间对刨花板力学性能影响不显著,但对水泥的反应特征具有强烈影响;养护条件与板的最终性能关系密切,充足的水分和碱性环境可以改善刨花板性能;通过二氧化碳气体喷射可以减少或消除木材内含物对水泥固化的阻碍作用;CO₂气体喷射法与冷压法压制的水泥刨花板性能相差较大。

关键词 水泥刨花板;二氧化碳气体喷射法;养护条件

Study on Fast Setting Technology for Cement Bonded Particleboard

Liu Yihai Cheng Shiyong

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

Abstract In this study, poplar, larch and Portland cement was used as main raw materials for making cement bonded particleboard(CBP), and a series of experiments was conducted to investigate the curing process of CBP by carbon dioxide injection. In addition, effects of density, particle/cement ratio, water/cement ratio, gas pressure, injection time, etc. on properties of the board were examined, respectively. The results showed as follows

(1) The optimum technological parameters of manufacturing CBP were CO₂ gas pressure of 0.7 MPa; injection time of 3 minutes; particle/cement ratio of 0.2(poplar) or 0.5(larch); water/cement ratio of 0.35(poplar) or 0.4(larch).

(2) Water/cement ratio not only determined the possibility of board formation but also greatly influenced the reaction characteristics and the mechanical properties of CBP.

(3) Carbon dioxide pressures between 0.5~0.8 MPa slightly affected the mechanical properties of CBP, but intensely influenced the reaction characteristics of cement and carbon dioxide.

(4) Curing conditions were closely related to the ultimate strength of the board. The curing conditions with sufficient water and alkaline contents could improve the properties of the board.

(5) Carbon dioxide injection could reduce or eliminate the detrimental cement curing inhibition of wood extractives.

(6) Properties of the CBP showed a great difference from that of conventional CBP.

Keywords Cement bonded particleboard; Carbon dioxide injection CBP process; Curing conditions

1 前言

水泥刨花板具有优良的阻燃、耐水、抑菌虫、耐侯、隔音和尺寸稳定等性能^[1],且无甲醛释放问题和石棉建材对人体健康的有害影响^[2],是一种很有发展前途的轻质建筑材料。1989年芬兰 Rauma-Repola公司和匈牙利 Falco公司合作发明的二氧化碳气体喷

射法生产水泥刨花板^[3],不但扩大了利用树种的范围,而且缩短了水泥固化时间,有利于水泥刨花板的大规模和快速生产。

本试验目的旨在寻求不同树种刨花的最佳制板工艺条件;确定水灰化、二氧化碳气体压力、养护条件等因素对水泥刨花板性能、水泥反应特征的影响;比较二氧化碳法和冷压法的压制条件和板材的性能。

收稿日期: 1996-12-16
刘义海、陈士英:中国林科院木材工业研究所实习研究员、研究员,北京 100091

2 试验材料与方法

2.1 试验设备及操作

喷射二氧化碳气体压板的主要结构及其与橡胶软管连接如图 所示

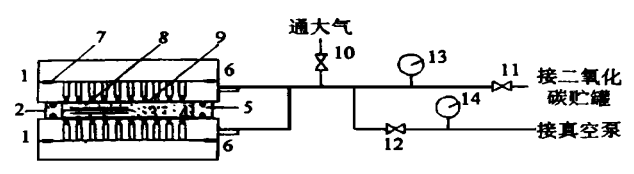


图 1 喷射二氧化碳设备简图

Fig. 1 Diagram of carbon dioxide injection

- 1.带孔喷气压板; 2.热电偶线; 3.板坯; 4.密封框兼作厚度规;
- 5. O形橡胶条; 6. 橡胶软管接头; 7.密封橡胶带; 8.金属小管;
- 9.玻璃布; 10~ 12 阀门; 13.压力表; 14.真空表

2.2 试验原料

刨花树种 毛白杨 (*Populus tomentosa*) 采于北京西郊,兴安落叶松 (*Larix gmelini*) 采自黑龙江佳木斯地区

水泥 52# 普通硅酸盐水泥
二氧化碳气体 高纯 CO₂罐贮气体

2.3 试验方法

2.3.1 最佳制板工艺参数的确定 在保持水泥刨花板目标密度 1.2 g/cm³不变的条件下,着重探讨水灰比、CO₂气体压力及喷射时间对板的静曲强度、内结合强度、吸水厚度膨胀率的影响,以确定最佳工艺参数。以毛白杨刨花为例选择正交表 L₉ (3⁴)^[4]进行正交试验,不考虑交互作用。因素水平安排如表 1 每号试验重复三次。

表 1 因素、水平安排

Tab. 1 Experiment factors and levels				
水 平	木灰比 A	水灰比 B	CO ₂ 压力 C (MPa)	通 CO ₂ 时间 D (min)
1	0.20	0.25	0.5	3
2	0.25	0.30	0.7	5
3	0.30	0.35	0.8	7

2.3.2 根据最佳制板工艺条件,以毛白杨刨花为例,探索水灰比、CO₂压力、养护条件等对水泥刨花板性能、反应特征等的影响。

2.3.3 比较二氧化碳法和冷压法的压制条件和板材的性能。

2.4 性能测试

以水泥刨花板的 28天强度作为最终强度。其性能测试大部分参照水泥刨花板暂行试验方法进行^[5]。

3 试验结果与讨论

3.1 最佳制板工艺参数的确定

毛白杨水泥刨花板的正交试验结果见下表 2

表 2 正交试验结果

Tab. 2 Testing results

序号	MOR (MPa)			IB (MPa)			TS (%)		
1	5.46	6.37	4.03	0.47	0.29	0.54	0.11	0.26	0.07
2	3.44	4.92	3.82	0.35	0.39	0.39	0.12	0.25	0.41
3	3.20	4.68	5.85	0.69	0.40	0.48	0.52	0.09	0.21
4	3.67	5.73	4.59	0.23	0.21	0.28	0.09	0.05	0.12
5	3.64	3.97	4.00	0.28	0.28	0.28	0.14	0.09	0.21
6	8.17	4.92	5.15	0.41	0.37	0.59	0.50	0.23	0.23
7	4.09	5.14	4.34	0.19	0.24	0.20	0.13	0.14	0.12
8	4.57	4.39	4.30	0.23	0.23	0.22	0.29	0.28	0.05
9	5.03	3.88	5.26	0.43	0.34	0.47	0.30	0.15	0.37

综合考虑 MOR、IB、TS 的方差分析和各水平平均值,选定对毛白杨水泥刨花板质量有利的水平为 A₂B₃C₁D₂。对于落叶松水泥刨花板,由于其正交实验结果变异性大,不能采用方差分析以确定最佳制板工艺条件,需经反复试验得出最优制板工艺条件。

3.2 水灰比

在制板过程中,水灰比有两方面的影响,一是对成板可能性和水泥反应特征的影响,二是对板材性能的影响。

3.2.1 水灰比对成板可能性和反应特征的影响 水灰比是保证水泥的水化作用和水泥与刨花充分混合的重要参数。水灰比过大,刨花易成团,团内部刨花出现“缺胶”现象,因铺装成型时不易打散而导致铺装不均,并且在水泥硬化时,由于水泥空隙度大,对水泥刨花板的强度带来不利影响,另外还影响成板的可能性。反之,如水灰比太小,又会造成水泥与刨花粘合不好,搅拌时,底层水泥颗粒较多,铺装时水泥在板坯中分布不均,而且水泥水化不完全,板的强度下降。用 CO₂法压制毛白杨水泥刨花板,当木灰比在 0.20~ 0.35 之间时,水灰比的适宜范围为 0.25~ 0.35,而对于落叶松水泥刨花板,木灰比为 0.40~ 0.60 时,水灰比则宜为 0.35~ 0.50。

在合适的水灰比范围内,水灰比小,板坯内部孔隙率比较高,二氧化碳气体容易穿透并均匀渗透到整个板坯内部,提高了 Ca(OH)₂与 CO₂的反应程度,因而板材的初始静曲强度比较高。反之当水灰比较大时,过量的水分可能堵塞或占据了板坯内部孔隙及通道,阻碍二氧化碳气体的均匀渗透,致使初始强度比较低。当水灰比大于 0.40 时,板坯内部特别是芯层的水泥几乎没有与 CO₂气体发生反应,所以当板材从压机取出后,刨花与水泥之间的结合力不足以克服刨花的回弹力,导致板坯表面局部有鼓起现象。且水灰比越大,越容易出现“鼓泡”。

另外,加水量对水泥中氢氧化钙和二氧化碳的反应程度和温度影响比较大。对于毛白杨水泥刨花板,

木灰比为 0.20,水灰比在 0.20~ 0.35 之间时,试件对二氧化碳的吸收量随水灰比增加而增加,但水灰比在 0.35~ 0.60 范围内时,二氧化碳的吸收量却呈相反的趋势(见图 2)。

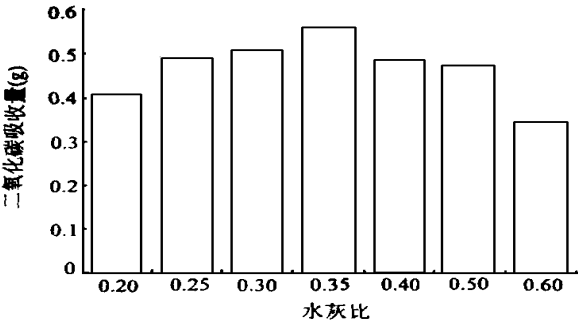


图 2 水灰比对二氧化碳吸收量的影响

Fig. 2 Effect of water /cement ratio on carbon dioxide uptake

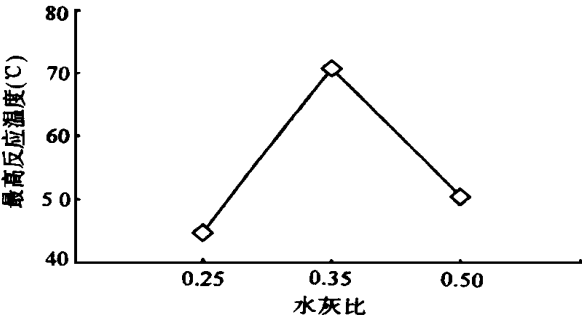


图 3 水灰比与最高反应温度的关系

Fig. 3 Relation between water /cement ratio and the utmost reaction temperature

木灰比保持不变,水灰比在 0.20~ 0.35 之间增加时,提高了水泥的水化量和水化程度而对板坯的多孔性影响甚小,所以与试件中的水泥产生水化反应的 CO₂气体量增加,最高反应温度也增大。但是,当水灰比在 0.35~ 0.60 之间时,虽然水泥的水化程度提高了,但是过多的水分严重减少了板坯的多孔性,阻止了二氧化碳气体的渗透,从而使参加反应的二氧化碳气体量减小,最高反应温度也降低(见图 3)。

3.2.2 水灰比对水泥刨花板性能的影响 水灰比是影响水泥刨花板性能的主要因素之一。在塑料袋密封养护条件下,水灰比在 0.25~ 0.35 范围内,对板材的最终力学性能如静曲强度、弹性模量、内结合强度以及握螺钉力影响显著,并随水灰比增大,各力学指标值也增大,如图 4~5 所示。水泥刨花板密封在塑料袋中无外加水的养护条件下,板的内部含水量对水泥后期结晶程度影响比较大。水分越多,水泥结晶程度越高,从而提高了板的各项力学性能,但对平衡含水率和吸

水厚度膨胀率的影响不明显(见图 6)。

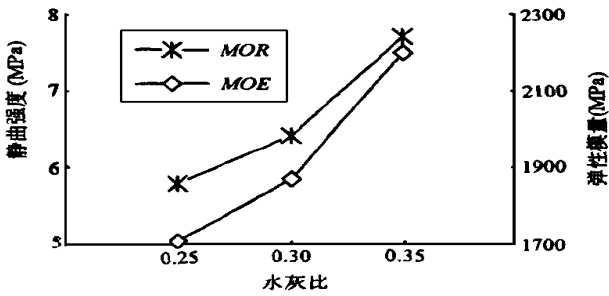


图 4 水灰比对静曲强度和弹性模量的影响

Fig. 4 Effect of water /cement ratio on MOR and MOE

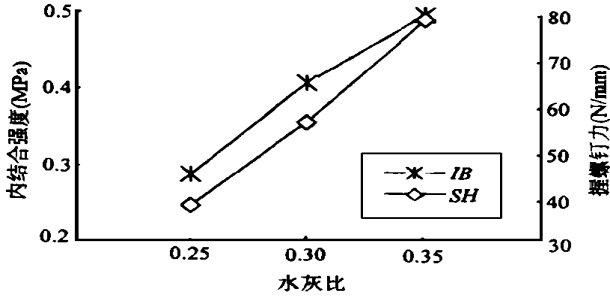


图 5 水灰比对内结合强度和握螺钉力的影响

Fig. 5 Effect of water /cement ratio on IB and SH

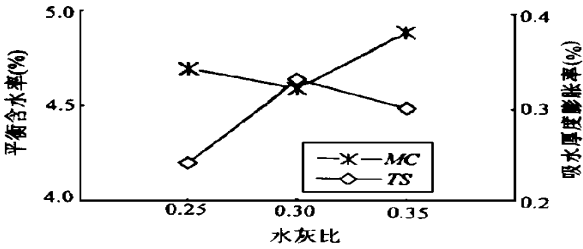


图 6 水灰比对平衡含水率和吸水厚度膨胀率的影响

Fig. 6 Effect of water /cement ratio on EMC and TS

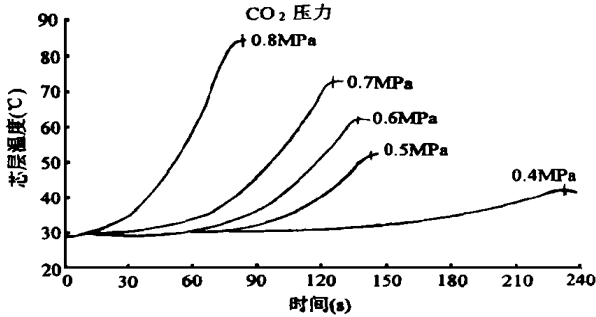


图 7 CO₂气体压力对芯层温度上升过程的影响

Fig. 7 Effect of CO₂ gas pressure on core-layer temperature

3.3 二氧化碳气体压力对水泥反应特征和静曲强度的影响

当二氧化碳气体压力低于 0.4 MPa 水泥刨花板

目标密度为 1.2 g/cm^3 时, CO_2 不易穿透板坯到达其内部扩散, 芯层温度上升极小, 不能成板。气体压力在 $0.4\sim 0.8\text{ MPa}$ 之间变化将对板坯芯层温度上升趋势产生强烈影响, CO_2 气体压力越大, 芯层开始升温时刻越早, 温度上升过程的曲线斜率越大, 如图 7 所示。 CO_2 气体压力增大可以提高水泥的最高反应温度, 缩短达到最高反应温度的时间, 如当 CO_2 气体压力从 0.4 MPa 增至 0.8 MPa 时, 板坯芯层的最高反应温度提高近 2 倍, 至最高反应温度的时间减少约 2 倍, 同时还可改善板的初始静曲强度, 但是最终静曲强度却随 CO_2 气体压力增大而减小, 见图 8 9 和表 3

笔者认为, 根据气体方程:

$$PV = \frac{m}{M}RT \quad m = P \frac{VM}{RT}$$

对于同一种气体, 保持体积 V 温度 T 不变, 压力 P 越大, 气体量 m 越多。因此当 CO_2 压力增大时, 一方面 CO_2 更容易充满板坯内部孔隙, 另一方面上下压板之间的 CO_2 气体量也增多, 从而与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的反应更加剧烈和完全, 所以最高反应温度增大, 达到最高反应温度的时间缩短, 初始强度增高。但在后期养护过程中, 碱性环境有益于水泥凝固和结晶^[2], 由以上所述可知, 二氧化碳气体压力增大, 水泥刨花板

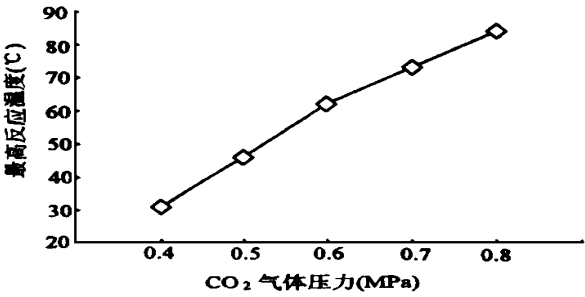


图 8 CO_2 气体压力与最高反应温度的关系

Fig. 8 Relation between CO_2 gas pressure and the utmost reaction temperature

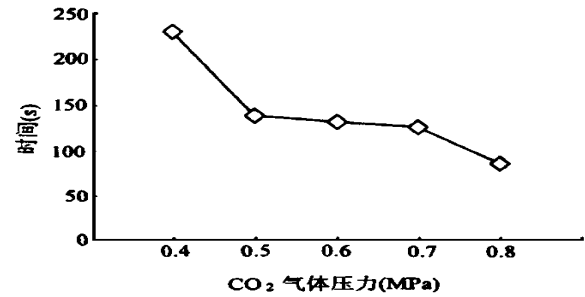


图 9 CO_2 气体压力与至最高反应温度时间的关系

Fig. 9 Relation between CO_2 gas pressure and the time approaching the utmost reaction temperature

表 3 CO_2 气体压力对反应特征和静曲强度的影响数据测试

Tab. 3 Effect of CO_2 gas pressure on reaction characters and MOR of boards

CO_2 气体压力 (MPa)	最高反应温度 ($^{\circ}\text{C}$)	至最高反应温度时间 (s)	初始 MOR (MPa)	最终 MOR (MPa)
0.4	31	229	—	—
0.5	46	138	3.64	5.25
0.6	62	131	3.75	5.03
0.7	73	125	3.94	4.48
0.8	84	85	4.03	4.32

中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 数量减少, 水泥的 pH 值下降。

3.4 木材抽出物对反应特征和静曲强度的影响

本试验以毛白杨和落叶松的热水抽出液代替自来水与刨花、水泥混合, 经过 CO_2 气体喷射, 结果表明抽出液对水泥与 CO_2 气体的反应特征影响不显著, 见表 4

表 4 抽出液对反应特征的影响

Tab. 4 Effect of wood extractives on reaction characters

	最高反应温度 ($^{\circ}\text{C}$)	至最高反应温度时间 (s)
自来水+ 落叶松刨花	61	115
抽出液+ 落叶松刨花	57	120
自来水+ 毛白杨刨花	69	131
抽出液+ 毛白杨刨花	71	125

板材密封在塑料袋中养护时, 经浸提处理的刨花和抽出液对水泥刨花板的静曲强度增长过程及最终强度值的影响因树种不同而异。由于毛白杨的冷、热水抽出物和游离糖含量比较低, 所以毛白杨刨花对水泥的阻凝作用非常小。因此, 在 CO_2 法中, 毛白杨刨花浸提与否对水泥刨花板的静曲强度影响较小; 但对于落叶松刨花, 其抽出物和游离糖含量远远高于毛白杨, 因而经冷、热水浸提以后的落叶松刨花制造水泥刨花板, 可以提高板的静曲强度。落叶松刨花经浸提后, 可以大大减少其中对水泥有阻凝作用的成分, 而使水泥刨花板的后期强度增长较多。从图 10 中还可以看出, 落叶松热水抽出液和未处理刨花、水泥混合, 通过 CO_2 喷射压制的刨花板, 最终静曲强度明显降低。因为落叶松木材中的含糖量很高, 经热水浸提后, 刨花中的游离糖及半纤维素降解形成的单糖都进入抽出液中, 这些物质在经 CO_2 喷射而凝固的水泥颗粒表面形成薄层, 使水分子难以渗透进入水泥颗粒内部, 很大程度上抑制了水泥的后期水化和结晶, 从而使板的强度减小。

3.5 养护条件对水泥刨花板强度的影响

根据水化反应速度的变化和组织结构形成特点, 水泥的水化过程可分为四个阶段: 初始反应期、休止期、凝结期和硬化期^[6]。水泥和水混合后立即发生

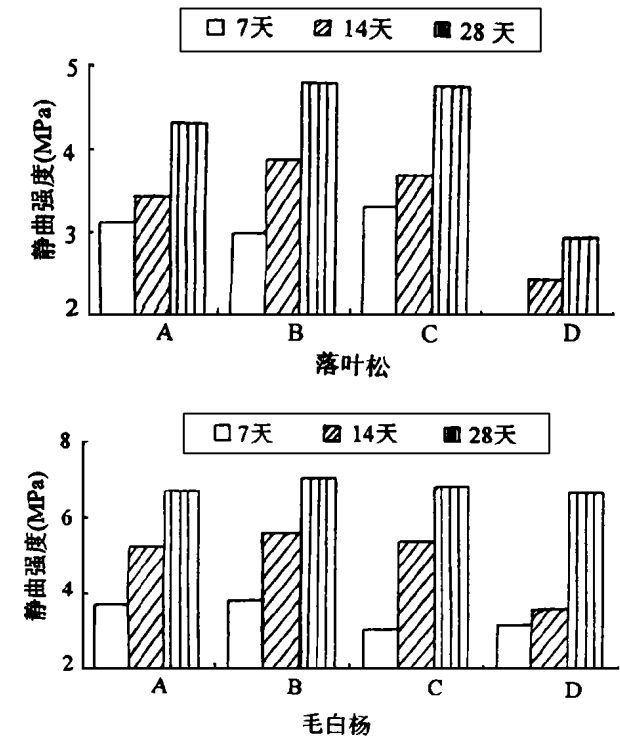


图 10 木材抽出液对水泥刨花板静曲强度的影响
Fig. 10 Effect of wood extractives on MOR of CBP

A. 未浸提刨花+ 自来水; B. 冷水浸提刨花+ 自来水;
C. 热水浸提刨花+ 自来水; D. 未浸提刨花+ 抽出液

水化反应,前 5 分钟内称为初始反应期。在这个阶段内,仅约 1% 的水泥水化^[7]。CO₂气体喷射板坯之前,水泥的水化反应主要停留在初始反应期。虽然二氧化碳气体喷射法使刨花板在短时间内获得较高的初始静曲强度,但后期养护条件对刨花板最终静曲强度的影响仍然比较显著。

从图 11 中可知,虽然初始静曲强度基本相同,但是经过不同条件养护,最终静曲强度大小依次按塑料袋密封、自来水浸泡、Ca(OH)₂溶液浸泡递增。水泥刨花板从压机取出后直接浸入水中或 Ca(OH)₂溶液中,由于渗透压的作用,将有充足的水分进入板内部孔隙中,使水泥颗粒充分接触水分,得以继续水化,改善了水泥后期结晶程度。反之,密封在塑料袋中而无外加水,由于水灰比较小,板中的水分不充足,渗透压减小,水泥颗粒内部的未水化核心不能水化,结合水量下降,影响了水泥的结晶效果,强度降低。浸在氢氧化钙溶液中,板的静曲强度高于自来水中的,原因可能是碱性环境可以促进水泥的结晶。

3.6 CO₂气体法和冷压法制造水泥刨花板的比较

以毛白杨刨花、普通硅酸盐水泥为主要原料,在木灰比、水灰比相同的条件下,采用 CO₂气体法和冷

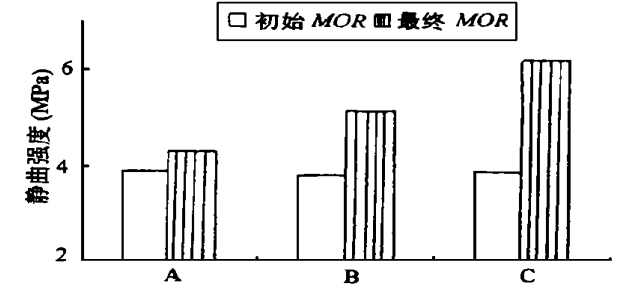


图 11 养护条件对水泥刨花板静曲强度的影响
Fig. 11 Effect of curing condition on MOR of CBP

A. 塑料袋中密封 28 天; B. 在自来水中浸泡 7 天后密封在塑料袋中 2 天; C. 在 Ca(OH)₂ 溶液中浸泡 7 天后密封在塑料袋中 2 天

压法制造普通硅酸盐水泥刨花板,密度相近时,板子性能差别很大,如表 5 所示。

表 5 CO₂气体法和冷压法制造的水泥刨花板性能比较
Tab. 5 Properties comparison between CO₂ injection CBP and conventional CBP

比较项目	CO ₂ 气体法	冷压法
加压时间 (min)	5	480
回弹系数 (%)	25.2	6.7
密度 (g/cm ³)	1.26	1.22
静曲强度 (MPa)	6.74	9.36
弹性模量 (MPa)	2110	3095
内结合强度 (MPa)	0.57	0.65
握螺钉力 (N/mm)	81.4	98.4
厚度膨胀率 (%)	0.49	1.21
平衡含水率 (%)	3.4	12.2

以普通硅酸盐水泥为无机胶凝材料,通过 CO₂法压制的水泥刨花板,卸压后板的初始强度较低,静曲强度一般不大于 4.0 MPa,内结合强度不大于 0.4 MPa,所以板材反弹比较大,破坏了 CO₂喷射过程中形成的网状结构,同时刨花之间的间距增大,不利于附在刨花表面上的水泥晶体之间的相互连接,因而后期强度增长很少,最终强度比较低。对于冷压法,由于加压时间比较长,水泥早期水化凝固的强度大于刨花的回弹力,致使板材的最终回弹系数比较小,所以最终力学性能好。

经 CO₂喷射压制的普通硅酸盐水泥刨花板,其初始强度比较低,主要有三个原因: 1) 普通硅酸盐水泥中的 C₃S 含量不及硅酸盐水泥中 C₃S 含量的 1/3,而 C₂S 含量较之高得多。其水化产物之一 Ca(OH)₂量比硅酸盐水泥少得多,并且普通硅酸盐水泥的 C₃A 含量较高,消耗了部分 Ca(OH)₂,因而使板坯中总的 Ca(OH)₂量减少,影响板材的初始强度。2) C₃S 具有较高的强度,特别是较高的早期强度,而 C₂S 的早期

(下转第 20 页)

辅助设施,设备占地面积大,但生产工艺成熟可靠,设备已做到机电一体化,生产过程可实现程序控制,可生产8~40 mm厚的板材。由于半干法有较成熟的生产工艺技术和较系统的生产设备,产品质量可靠,因而目前世界各国普遍推行这种生产工艺方法。

以下是 Bison 公司的设备生产的半干法水泥刨花板的性能指标:

密度	1 200~ 1 350 kg/m ³
幅面	3 200 mm× 1 250 mm
厚度公差	± (1. 0~ 1. 5) mm
成品板含水率	9± 3%
断裂模量	7~ 11 N/mm ²
抗压强度	15 N/mm ²
内结合强度	0. 4 N/mm ²
吸水厚度膨胀率(12h)	1. 2%
吸水厚度膨胀率(24h)	1. 8%
弹性模量	300 N/mm ²
吸声能力	18 mm厚的板可吸收 35dB的噪声

5 结束语

(上接第7页) 强度较低,因此使用 C₃S含量低、C₂S含量高的普通硅酸盐水泥,经 CO₂喷射压制的板材,其初始强度必然较低。3)普通硅酸盐水泥是由硅酸盐水泥熟料掺入不大于15%的活性混合材料以及适量石膏,经磨细制成的水硬性胶凝材料。许多学者认为,对于掺活性混合材料较多的水泥,由于水化过程中混合材料与 Ca(OH)₂反应,使水泥中氢氧化钙逐渐减少。这也将降低板材的初始强度。

在 CO₂法中,如果以硅酸盐水泥代替普通硅酸盐水泥, M. H. Simatupang^[8]的试验结果表明板材的初始静曲强度可提高至 5. 0~ 6. 0 MPa,刨花板的最终强度也符合国际标准,并且水泥中 C₃S和 C₂S含量的微小变化将使刨花板的强度相差很大,使用 C₃S含量高的水泥制造水泥刨花板,可以提高板材的性能。

4 结论

(1) CO₂气体喷射法生产水泥刨花板,加压时间可从冷压法的8小时缩短至4~5分钟,制板最佳工艺条件为: CO₂气体压力0. 7 MPa,通 CO₂时间3 min,木灰比0. 20(毛白杨)、0. 50(落叶松)、水灰比0. 35(毛白杨)、0. 40(落叶松)。

(2) 确定合适的水灰比至关重要,对于毛白杨水泥刨花板,水灰比为0. 35是 CO₂吸收量、芯层最高反应温度值的临界点。

(3) CO₂气体压力变化强烈影响反应特征, CO₂气体压力增大可提高最高反应温度和水泥刨花板的

我国正在大力推行墙体材料改革,为水泥刨花板的发展提供了广阔的前景。由于半干法水泥刨花板生产线中的某些设备与普通刨花板相同或类似,可在现有基础上,通过设备制造厂与科研院所的合作,参考国外先进技术与经验,开发出技术先进、性能可靠的半干法水泥刨花板生产线。

目前,水泥刨花板在我国建筑领域的实际应用还十分有限,其原因是多方面的。因此,有关部门应协调配合,共同完善水泥刨花板用于建筑材料的技术标准、使用方法及施工规范等。只有这样,水泥刨花板才能在我国新型墙体材料的使用中真正占有一席之地。

6 参考文献

- 1 白雪松. 水泥刨花板生产与研究进展. 木材工业, 1991, 5(2): 37
- 2 王玉琳. 比松公司的水泥刨花板. 建筑人造板, 1993, (4): 30~ 34
- 3 涂平涛. 论水泥刨花板生产的工艺技术与装备的选择. 林产工业, 1997, 24(1): 1~ 4
- 4 Bison System Cement-board Plants
- 5 湖北省钟祥市新型建筑材料公司年产2万 m³水泥木屑刨花板节能扩建项目可行性研究报告
- 6 力促新型墙体材料“九五”跃上新台阶. 科技日报, 1996-11-26

初始强度,缩短至最高反应温度所需要的时间,但板的最终强度和 pH值反而下降。

(4) 毛白杨、落叶松抽出物对水泥浆与 CO₂的反应特征无明显影响,但落叶松抽出物对刨花板的强度有不良影响。

(5) 养护条件对水泥刨花板最终强度影响较大,充足的水分和碱性养护环境可提高板材的强度。

(6) 以普通硅酸盐水泥为无机胶凝材料,采用 CO₂法压制的水泥刨花板强度低于冷压法。

5 参考文献

- 1 Hofstrand A D. etc. Curing Characteristics of Wood Particle from Nine Northern Rocky Mountain Species Mixed with Portland Cement. Forest Products Journal, 1994, 34(2).
- 2 黄速汝, 陈载永. 省产材用于木材粒片水泥板制造之研究 (1), 不同树种粒片与波特兰水泥混合之凝结性质. 林产工业(台湾), 1992, 10
- 3 Simatupang M H. etc. Technologies for Rapid Production of Mineral-bonded Wood Composite Boards. In Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials. 1992
- 4 北京大学数学力学系概率统计组编. 正交设计法. 化学工业出版社, 1979
- 5 北京建筑材料科学研究所. 水泥刨花板暂行试验方法, 1980
- 6 《胶凝材料学》编写组. 胶凝材料学. 中国建筑工业出版社, 1979
- 7 南京工学院等编. 混凝土学. 中国建筑工业出版社, 1981
- 8 Simatupang M H. etc. Preparing and Characteristics of Rapid Setting Cement Bonded Particleboard Made by Carbon Dioxide Injection. Holz als Roh-und Werkstoff, 1993(5): 309