

文章编号: 1000-5692(2004)01-0001-05

# 雷竹-水泥混合物的水化特性研究

俞友明<sup>1,2</sup>, 余学军<sup>3</sup>, 於琼花<sup>4</sup>, 傅深渊<sup>2</sup>, 姜志宏<sup>2</sup>

(1. 南京林业大学 木材工业学院, 江苏 南京 210037; 2. 浙江林学院 工程学院, 浙江 临安 311300

3. 浙江林学院 生命科学学院, 浙江 临安 311300; 4. 浙江省临安市林业局, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 用测定雷竹-水泥-水系统水化热的方法, 研究了雷竹 *Phyllostachys praecox* 与水泥的相适应性, 并以阻凝系数与适合系数来评定其相适应性。结果表明: ①雷竹对水泥的水化过程有很大的阻碍作用, 对2种水泥的阻凝系数均为 $\infty$ ; 适合系数均小于68%。②化学助剂能明显地改善雷竹与水泥的相适应性, 从选择的4种化学助剂来看, 其作用效果依次为  $\text{CaCl}_2 > \text{BaCl}_2 > \text{NaCl} > \text{Na}_2\text{SiO}_3$ 。③预处理可明显改善雷竹与水泥的相适应性, 雷竹用冷水、热水与  $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  的 NaOH 溶液预处理后加入化学助剂  $\text{CaCl}_2$ , 对425号水泥的阻凝系数依次为13.0%, 10.0%, 9.5%; 对525号水泥则为11.0%, 9.0%, 7.3%; 而适合系数均大于68%。④不同水泥对雷竹和水泥混合物水化特性也有影响, 高标号的525号水泥与雷竹的相适应性比低标号的425号水泥与雷竹的相适应性强。图2表4参18

**关键词:** 木材加工; 雷竹; 竹材; 水泥; 混合物; 水化特性

**中图分类号:** TS653.5; S784 **文献标识码:** A

水泥刨花板是以木质刨花和水泥为主要原料, 加水及一些化学助剂, 经搅拌、成型加压和养护而制成的一种复合建筑材料, 具有防潮、防腐、阻燃、防虫和尺寸稳定等良好的性能, 在国外已成为一种新型的建筑材料。国内的学者也进行了一系列的研究, 取得了一定的成果<sup>[1~8]</sup>。在我国, 木材资源相对贫乏, 林业生产从以依靠天然林向人工林转变, 研究非木本植物原料替代木本原料来生产水泥刨花板显得尤其有意义。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

雷竹 *Phyllostachys praecox*: 采自浙江林学院苗圃, 4年生, 直径4~5 cm。水泥: 425号普通硅酸盐水泥, 浙江缙云县产; 525号普通硅酸盐水泥, 浙江江山市产。化学助剂:  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{BaCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , 均为分析纯。

### 1.2 方法

1.2.1 竹粉的调制 将雷竹锯成3~5 cm长的截段后, 人工剖分成细火柴杆状, 气干, 然后用植物

收稿日期: 2003-10-22; 修回日期: 2003-12-24

基金项目: “九五”浙江省科学技术厅重点资助项目(96210265)

作者简介: 俞友明(1969-), 男, 浙江武义人, 讲师, 从事木材和木质复合材料研究。E-mail: yuyouming@zjfc.edu.cn

粉碎机粉碎过筛,取通过20目而留于40目筛网上的竹粉,在恒温下烘至绝干备用。

1.2.2 竹粉的预处理方法 ①冷水处理:室温下取雷竹粉50g置于烧瓶内,加入500mL的冷水(水温35℃),用搅拌器搅拌浸泡8h,然后滤出竹粉,并用冷水洗涤3次,再在恒温下烘至绝干后备用。

②热水处理:同上取雷竹粉50g置于烧瓶内,加入70℃热水500mL,并置于电热水浴锅上浸渍8h,然后如上处理后备用。

③10g·kg<sup>-1</sup>的NaOH溶液处理:在室温下取雷竹粉50g置于烧瓶内,加入10g·kg<sup>-1</sup>的NaOH溶液500mL后,用搅拌器搅拌8h,然后如上处理后备用。

④空白处理:调制的竹粉不经任何处理,即粉碎过筛后再在恒温下烘至绝干后备用。

1.2.3 竹粉与水泥混合物的调制和水化温度测定 雷竹粉与水泥混合物的配比如表1。按表1所示配比,将水加入一定容积的塑料容器中,并将化学助剂溶于其中(无化学助剂的场合略去此步骤),进而加入竹粉,最后加入水泥,搅拌均匀(在2min内充分搅拌)。搅拌均匀的混合物置入用一定厚度的发泡塑料自制的测温装置中,定时测定其水化温度和到达最高温度的时间。另外,测定纯水泥的水化特性以作比较。每种试验重复3次,取其平均值。

1.2.4 雷竹粉与水泥混合物相适性评定 原料是否适合于用来制造水泥刨花板,取决于原料与水泥的相适性。评定其相适性有各种各样的方法<sup>[9~13]</sup>。在国内普遍采用最高水化温度与达到的时间和

表1 使用或不使用化学助剂的竹材水泥混合物的配合比

Table 1 Weight ratio of bamboo and cement mixture with or without additive

普通硅酸盐水泥/g (425号或525号)	蒸馏水/g	雷竹粉/g	化学助剂/g
200.0	90.5	15.0	10.0(不加时为0)

Moslemi等提出的最大温差与到达最高温度的时间为评定指标<sup>[3,5,8,13]</sup>。国外学者对木材与水泥相适性评定指标进行比较表明:Hachmi提出的木材与水泥混合物适合系数(C<sub>A</sub>)为评定指标,其方法最佳<sup>[11]</sup>。本文以木材与水泥混合物的最高水化温度与达到的时间、阻凝系数(I)及适合系数(C<sub>A</sub>)为指标进行综合评定。

$$I = [(t_2 - t_2')/t_2'] \times [(T_2' - T_2)/T_2'] \times [(S' - S)/S'] \times 100\%$$

其中:T<sub>2</sub>, t<sub>2</sub>为混合物的最高水化温度(℃)及到达此温度所需的时间(h); T<sub>2</sub>', t<sub>2</sub>' 纯水泥的最高水化温度(℃)及到达此温度所需的时间(h); S为混合物水化温度曲线上升时的最大斜率; S'为纯水泥水化温度曲线上升时的最大斜率。

$$C_A = (A_{wc}/A_{nc}) \times 100\%$$

其中:A<sub>wc</sub>为混合物水化开始后在24h内的水化发热量,即室温与水化曲线所围的面积(h·℃); A<sub>nc</sub>为纯水泥水化开始后在24h内的水化发热量(h·℃)。

## 2 结果与分析

### 2.1 雷竹和水泥混合物的水化特性

各种混合物的水化温度时间曲线见图1和图2,纯水泥和水的混合物的水化特性曲线只有2个峰。一般认为,第1峰值主要是由于析出钙矾石(Aft)新晶相时产生的放热反应所形成。第2峰由于C<sub>3</sub>S形成产生的水化热<sup>[18]</sup>。理论上讲,水泥的完全水化要经历的时间很长,但其大部分水化热在水泥凝结硬化的初期释放。从混合物的水化特性曲线(图1和图2)及计算结果(表2和表3)可知,雷竹-水泥-水混合物的最高水化温度远低于纯水泥的水化温度,且到达此温度的时间比纯水泥的迟十几到二十几个小时;其阻凝系数和适合系数分别为∞和小于68%<sup>[11]</sup>,说明雷竹对水泥的水化过程有大的阻碍作用。因为竹材和木材的化学组成成分相似,木材中的抽提物及可溶性的糖分、单宁对水泥的固

化起着抑制作用<sup>[14, 15]</sup>, 竹材中也有相类似的成分<sup>[16]</sup>。

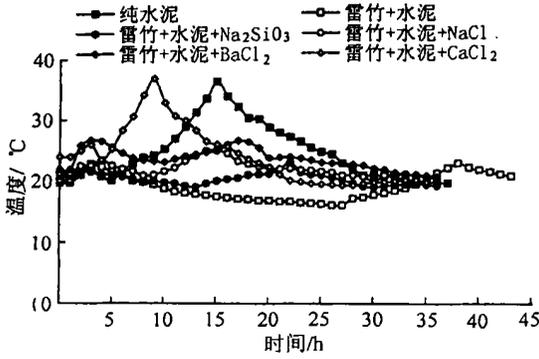


图 1 425 号水泥及其混合物水化温度曲线

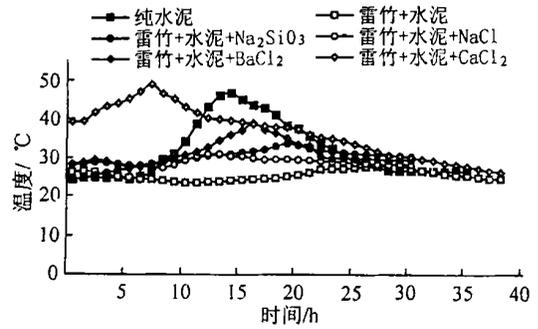


图 2 525 号水泥及其混合物水化温度曲线

Figure 1 The hydration temperature curves of 425# cement and its mixtures Figure 2 The hydration temperature curves of 525# cement and its mixtures

表 2 425 号水泥和雷竹混合物的水化特性

Table 2 Hydration characteristics of 425# cement and *Phyllostachys praecox* wood mixture

材料种类	助剂	最高水化温度 $T_{max}/^{\circ}C$	到达 $T_{max}$ 时间/h	室温/ $^{\circ}C$	$I/\%$	$C_A/\%$
纯水泥	无	36.8	15.0	15.0	0	100
	无	23.1	38.0	15.0	$\infty$	26.0
雷竹	$Na_2SiO_3$	23.1	22.0	17.2	$\infty$	32.0
	NaCl	26.0	14.5	17.2	189.0	48.0
	$BaCl_2$	27.0	17.5	17.2	116.0	55.0
	$CaCl_2$	34.0	9.0	15.0	24.0	80.0

表 3 525 号水泥和雷竹混合物的水化特性

Table 3 Hydration characteristics of 525# cement and *Phyllostachys praecox* wood mixture

材料种类	助剂	最高水化温度 $T_{max}/^{\circ}C$	到达 $T_{max}$ 时间/h	室温/ $^{\circ}C$	$I/\%$	$C_A/\%$
纯水泥	无	47.1	13.5	22.0	0	100
	无	28.1	28.5	23.0	$\infty$	29.5
雷竹	$Na_2SiO_3$	30.7	19.5	23.0	$\infty$	40.0
	NaCl	31.0	12.5	23.0	189.0	48.0
	$BaCl_2$	38.8	16.0	23.0	116.0	63.0
	$CaCl_2$	49.7	7.3	23.0	24.0	87.0

## 2.2 化学助剂对雷竹和水泥混合物水化特性的影响

由表 2 和表 3 及图 1 和图 2 可见, 雷竹和水泥的混合物添加化学助剂后, 两者之间的相适应性得到明显的改善。混合物的最高水化温度提高, 到达最高水化温度的时间缩短, 阻凝系数普遍减小, 适合系数增大。选择的 4 种化学助剂对改善混合物的相适应性效果, 以适合系数和阻凝系数的大小和最高水化温度及到达此温度的时间来衡量, 效果最好的为  $CaCl_2$ , 其他依次为  $BaCl_2$ , NaCl 和  $Na_2SiO_3$ 。因为  $CaCl_2$  可提高水泥中氧化钙的溶解度, 促进水泥矿物质成分的水解和水化作用, 促使水泥凝结; 而  $CaCl_2$  与水泥的矿物成分化合成氯铝酸钙和氯硅酸钙, 加快水泥硬化。

## 2.3 预处理对雷竹和水泥混合物水化特性的影响

比较表 2、表 3 和表 4 可知, 采用 3 种预处理后的竹粉并添加  $CaCl_2$  为助剂时, 雷竹对水泥的相适应性得到了进一步的改善。预处理后混合物的最高水化温度都比相应未处理混合物最高水化温度和相应纯水泥水化温度高, 到达此温度的时间都比后两者短。其阻凝系数大大减小, 适合系数大大增加, 且  $>68\%$ <sup>[11]</sup>, 已完全适合于用作半干法水泥刨花板生产的原料。

比较3种处理方法的效果,以 $10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{NaOH}$ 最好,次之为热水,再次为冷水。因为热水抽提物的数量较冷水抽提物多,热水抽提物中含有的聚糖较多, $10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{NaOH}$ 溶液除能溶解冷水和热水所溶解的物质外,还能溶解出部分木素、聚戊糖、聚己糖、树脂酸及糖醛酸等<sup>[16,17]</sup>。

表4 经不同处理的雷竹和水泥混合物的水化特性

Table 4 Hydration characteristics of 525<sup>#</sup> cement and *Phyllostachys praeox* wood mixture by different treatments

助剂	水泥标号	最高水化温度 $T_{\max}/^{\circ}\text{C}$	预处理方法	到达 $T_{\max}$ 时间/h	室温/ $^{\circ}\text{C}$	$I/\%$	$C_A/\%$
CaCl <sub>2</sub>	425	47.1	冷水处理	38.1	16	13.1	88.5
		28.1	热水处理	39.4	16	10.4	90.0
		30.7	$10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{NaOH}$	41.4	16	9.5	91.4
	525	31.0	冷水处理	50.7	24	11.3	89.3
		38.8	热水处理	53.5	24	9.0	93.3
		49.7	$10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{NaOH}$	55.7	24	7.3	95.1

## 2.4 不同水泥对雷竹和水泥混合物水化特性的影响

水泥的质量也影响雷竹-水泥-水混合物水化特性,由表2和表3可知。标号高的水泥,其最高水化温度高,反之则低。标号高的水泥到达最高温度的时间短,反之则长。它们对同一种材料的水泥混合物的水化特性的影响也呈现相同的规律。由表2、表3和表4可见,无论添加或不添加化学助剂,预处理或不预处理,使用525号水泥的,其混合物的最高水化温度比425号水泥的要高许多,到达最高水化温度的时间要短许多。

## 3 结论

雷竹对水泥有强烈的阻凝作用。

添加化学助剂能明显改善雷竹与水泥的相适应性,从而使阻凝系数减小,适合系数提高,从选择的4种化学助剂来看,其作用效果为 $\text{CaCl}_2 > \text{BaCl}_2 > \text{NaCl} > \text{Na}_2\text{SiO}_3$ 。

雷竹粉预处理可明显改善其与水泥的相适应性,作用效果依次为 $10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{NaOH} > \text{热水} > \text{冷水}$ 。

不同水泥对雷竹和水泥混合物水化特性的影响,雷竹与标号高的525号水泥的亲水性比低标号的425号水泥要强。

## 参考文献:

- [1] 馬壘飛, 黒木康雄, ドウワイトエユセビオ, 他. 竹質セメントボードの製造(第1報) 竹材混合セメントペーストの水和特性[J]. 木材学会誌, 1996, 42(1): 34-42.
- [2] 卢晓宁, 张祥, 洪中立. 热压水泥刨花板工艺研究[J]. 木材工业, 1991, 5(3): 1-6.
- [3] 陈广琪, 时维铎. 杨木水泥刨花板工艺的研究[J]. 木材工业, 1992, 6(3): 12-15.
- [4] 馬壘飛, 黒木康雄, 永富辨, 他. 竹質セメントボードの製造(第2報) 竹材混合セメントペーストの水和特性に及ぼす添加剤の効果[J]. 木材学会誌, 1997, 43(9): 754-761.
- [5] 余德新, 宋一然, 康远发. 竹材-水泥混合物水化特性初探[J]. 竹子研究汇刊, 1991, 10(3): 11-17.
- [6] 馬壘飛, 川井秀一, 佐佐木光. 竹質セメントボードの製造(第6報) 熱圧成形ボードの性質に及ぼすシリカフュームの添加と加熱養生の効果[J]. 木材学会誌, 1999, 45(1): 25-33.
- [7] 叶良明, 余学军, 韩红, 等. 高竹和水泥混合物的水化特性[J]. 浙江林学院学报, 2002, 19(1): 1-4.
- [8] 叶良明, 金永明, 傅深渊, 等. 水泥刨花板快速固化添加剂的选择研究[J]. 浙江林学院学报, 2002, 19(1): 5-8.
- [9] Sandermann W, Kohler R. Studies on mineral-bonded wood material [J]. *Holzforchung*, 1964, 18(12): 53-59.
- [10] Liu Z T, Moslemi A A. Influence of chemical additives on the hydration characteristics of western larch wood-cement-water mixtures [J]. *For Prod J*, 1986, 36(7/8): 37-43.
- [11] Hachmi M, Moslem A A, Campbell A G. A new technique to classify the compatibility of wood with cement [J]. *Wood Sci Tech*, 1990, 24: 345-354.
- [12] Weatherwax R C, Tarkow H. Effect of wood on the setting of portland cement [J]. *For Prod J*, 1964, 14(2): 567-570.
- [13] 韦益民, 刘正添, 李强. 水泥刨花板生产中原辅材料适应性的评估方法与装置[J]. 木材工业, 1995, 9(1): 5-9.
- [14] Biblis E J, Lo C. Sugars and other wood extractives effect on the setting of southern pine-cement mixtures [J]. *For Prod J*, 1968, 18(80): 28

- 34 -

- [15] 刘正添, 韦益民, 李强. 38 种木材对水泥水化的抑制作用[J]. 林业科学, 1989, 25 (6): 529 - 535.
- [16] 陈友地, 秦文龙, 李秀玲, 等. 10 种竹材化学成分的研究[J]. 林产化学与工业, 1985, 5 (4): 32 - 39.
- [17] 陈佩蓉, 屈维均, 何福望. 纸浆造纸实验[M]. 北京: 轻工业出版社, 1990. 29 - 50.
- [18] 荒井康夫. セメントの材料科学[M]. 東京: 大日本図書株式会社, 1991. 154 - 160.

## A study of the hydration characteristics of *Phyllostachys praecox* wood-cement-water mixtures

YU You-ming<sup>1,2</sup>, YU Xue-jun<sup>3</sup>, YU Qiong-hua<sup>4</sup>, FU Shen-yuan<sup>2</sup>, JIANG Zhi-hong<sup>2</sup>

(1. College of Wood Industry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 2. School of Engineering, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. School of Life Sciences, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 4. Forest Enterprise of Lin'an City, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** The compatibility of *Phyllostachys praecox* and cement is studied with the method of measuring hydration in the *P. praecox* wood-cement-water system. The inhibitory index  $I$  and the compatibility factor  $C_A$  are applied to evaluation of its compatibility. The results show that *P. praecox* wood has serious inhibition on the hydration of cements. The inhibitory index  $I$  and the compatibility factor  $C_A$  to two cements are  $\infty$  and less than 68% respectively. Additives can improve compatibility of *P. praecox* wood and cements. Additives effects are as follows:  $\text{CaCl}_2 > \text{BaCl}_2 > \text{NaCl} > \text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Pretreatments can also improve its compatibility with cements. Adding  $\text{CaCl}_2$  after pretreatment with cold water, hot water and  $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{NaOH}$ , the inhibitory indexes  $I$  to grade 425 cement are 13.0%, 10.0%, 9.5% respectively; to grade 525 cement are 11.0%, 9.0%, 7.3%; the compatibility factors  $C_A$  to two kinds of cement are both greater than 68%. Different cements have different effects on the hydration characteristics of *P. praecox* wood-cement-water mixture. The compatibility between *P. praecox* and grade 525 cement is better than that between *P. praecox* and grade 425 cement. [ Ch, 2 fig. 4 tab. 18 ref. ]

**Key words:** wood processing; *Phyllostachys praecox*; bamboo wood; cement; mixture; hydration characteristics