

“竹材液化新材料”专题

竹材液化树脂发泡材料的性能与技术要求

刘乐群, 钱 华, 王 进, 王衍彬, 刘本同

(浙江省林业科学研究院, 浙江杭州 310023)

摘要: 根据生产性试验,对竹材液化树脂发泡材料及复合发泡材料的制备工艺进行修正和完善,并对其性能和技术要求进行探讨。分析结果表明:竹材液化树脂发泡材料及复合发泡材料的制备工艺成熟,可实现重复性生产;参考或借鉴相应的国家标准测试方法,可全面测试材料的性能;产品规格尺寸能够满足装配式建筑工程要求。

关键词: 竹材; 液化树脂发泡材料; 复合发泡材料; 性能; 技术要求

中图分类号: S795; TQ323.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2012)05-0009-05

Properties and Technical Requirement of Foaming Material from Liquefied-Bamboo Resin

LIU Le-qun, QIAN Hua, WANG Jin, WANG Yan-bin, LIU Ben-tong

(Zhejiang Forestry Research Institute, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: Based on information of pilot scale production of foaming material and composite foaming materials from liquefied bamboo resin, the properties and technical requirements of the materials were discussed. The results indicated that the processing technologies of the materials were feasible, that testing methods referred to current national standards for the properties were available, and that the product dimensions of the materials could met the requirements of prefabricated construction.

Key words: bamboo; liquefied resin foaming material; composite foaming material; property; technical requirement

竹材液化树脂发泡材料是以竹材加工剩余物为原料,经筛选、粉碎、液化、树脂化、硬成型发泡等工艺制成的新型工程材料,具备质轻高强、抗震缓冲、保温隔热、隔音降噪、阻燃环保等性能^[1],是生物质材料加工利用方式和技术创新。竹材液化树脂发泡材料制备的墙体材料,可以制作大规格尺寸的墙板,易于实现工厂化生产,建筑施工效率远高于砌砖和砌块施工的效率,是目前为止新型墙体材料领域的科技新成

果。竹材液化树脂发泡材料的产业化,既给新型建筑墙体材料领域带来新的变革,也推动竹材产业跨入更广泛的高值化新材料发展领域。

为实现竹材液化发泡材料的工业化生产,使之成为具有影响力的新型建筑材料和竹材工业领域创新型产业,需要对其提出通用技术要求,指导和规范该新型材料的产业化发展。

作为新型建筑材料,竹材液化发泡材料的性能和技术要求是一个系统工程,不仅涉及产品自身的理化性能和规格尺寸,还涉及建筑安装等多方面的技术要求。结合国家林业局林业标准化项目对产品的任务要求,及本项研究成果,笔者着重对竹材液化树脂发

收稿日期: 2012-08-08; 修改日期: 2012-08-16

基金项目: 国家林业局林业标准化项目(2012LY100); 浙江省重大科技专项农业项目(2008C12037)。

作者简介: 刘乐群(1962—),男,浙江省林业科学研究院高级工程师。

泡材料及复合发泡材料的性能和技术要求进行探讨。

1 竹材液化树脂发泡材料制备的工艺特点

竹材液化树脂发泡材料的制备工艺要求,在前述文章中已有系列介绍^[2-4],根据示范生产线生产试验的结果,将相关的技术关键点总结归纳如下。

1.1 竹材液化产物

本项目利用酚醇液化制备竹材液化产物^[2],是根据竹材化学结构中,各组分与液化剂液化效果不同的原理而发明。以往的研究只强调液化率,对高反应活性的小分子液化产物得率很少关注,而高反应活性的小分子液化产物是制备各种高性能新型材料的前提,也是许多液化工艺仅停留在试验室阶段,而无法实现产业化的原因所在。成功的液化试验,其液化率应 $>90\%$,且高反应活性小分子液化产物的得率也要 $>90\%$ 。另外,制备工艺需严格调控,否则高反应活性小分子液化产物可发生缩聚反应,生成新的结构复杂,且不具备可发性的无效大分子聚合物。

1.2 发泡用竹材液化产物树脂

竹材液化树脂的制备工艺并不复杂^[3],关键是制备具有良好可发性的树脂。如果液化产物中生成较多的大分子聚合物,当其质量分数超过 15% 后,树脂黏度增高,则不具备可发性;采用质量分数为 10% 的NaOH溶液搅拌稀释黏度时发现,液体中呈现许多难以稀释的黑色粘稠颗粒状物。

当树脂化反应时间控制在 60 min 内,制备树脂的黏度在 $4\ 000\sim 5\ 000\text{ mPa}\cdot\text{s}$,pH值为 $6.8\sim 7.0$ 时,竹材液化产物具有较好的可发性。

1.3 液化产物树脂发泡材料

发泡过程中,发泡剂的发泡速度与固化剂的固化速度应处于动态平衡状态^[4],故需严格控制发泡材料与各组分的质量比、模具的起始温度、加温速度和保温时间等参数。现场生产试验表明,只要严格按照规定控制工艺条件,制备的发泡材料泡孔细小、密布均匀、强度高。

1.4 复合发泡材料

不同的建筑应用环境与场合,对墙体材料的性能要求不同^[5]。通过对相关工艺条件进行控制,如减少发泡剂用量;降低模具起始温度;调高熟化温度等,可使制备的发泡材料的主要特征更加突出。如用水泥

纤维板覆面制备的复合发泡材料,其粘结强度达到 1.10 MPa ,超过现行国家标准中规定的人造板表面胶合强度的指标值。表明利用复合发泡工艺,理论上可以制造出适用性广泛的轻质发泡建筑墙体材料。

2 竹材液化树脂发泡材料性能和技术要求

2.1 竹材液化树脂发泡材料性能

竹材液化树脂发泡材料,是以竹材液化产物树脂为原料,施加发泡剂、固化剂、活性剂,快速充分搅拌均匀后,注入模具中发泡而制备的一种非承重材料,只承担保温隔热、隔音降噪、阻燃的作用,可用于外墙夹心(内装配)保温材料、内隔墙夹心(外装配式)保温隔音材料、吸音材料等。

根据发泡材料的制备特性及主要应用方向,参照泡沫塑料现行的国家标准,确定了考察竹材液化树脂发泡材料的主要性能指标如下:

1) 表观密度 ρ_0 :材料的表观密度与材料的强度和导热性相关,是自然状态下单位体积发泡材料的质量,可用来计算材料的孔隙率、体积、质量及结构自重等。按照GB/T 6343-2009《泡沫塑料及橡胶 表观密度的测定》进行测试。

$$\rho_0 = m/V_0 \quad (1)$$

式中: ρ_0 —表观密度, g/cm^3 ; m —材料的质量, g ; V_0 —自然状态下材料的体积,又称表观体积, cm^3 。

密度太低,影响材料的强度和阻燃性能;反之,增加生产成本。生产试验现场制备产品的表观密度为 $0.06\sim 0.12\text{ g}/\text{cm}^3$ 。

2) 压缩强度 σ_m :用以衡量发泡材料的力学性能,决定材料的使用性能。发泡材料的压缩强度与孔隙率成反比线性关系,按GB/T 8813-2008《硬质泡沫塑料压缩性能的测定》测试。

$$\sigma_m = F_m/A_0 \quad (2)$$

式中: σ_m —压缩强度,MPa; F_m —试件相对形变 $>10\%$ 时的最大压缩力,N; A_0 —试件初始横截面积, mm^2 。

生产试验制备的发泡材料的压缩强度达 $0.20\sim 0.50\text{ MPa}$,超过了GB/T 21558-2008《建筑绝热用硬质聚氨酯泡沫塑料》中Ⅲ类(适用于有更高承载要求,且有抗压、抗压缩蠕变要求的场合)的压缩强度值(0.18 MPa),也是目前已有报道的生物质发泡材料

压缩强度的最高值。

3) 导热系数 λ : 是衡量发泡材料保温性能的重要指标, 按 GB/T 10294-2008《绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 防护热板法》测定。

导热系数与泡孔形式、表观密度、含水率密切相关, 孔隙率越高, 表观密度越低, 导热系数也越低。但密度太低造成材料疏松, 导热系数反而升高。在满足压缩强度的前提下, 降低表观密度可获得较好的保温性能; 此外, 材料的含水率对其保温性能影响显著, 因此, 要求发泡材料在干燥状态下使用。

$$\lambda = Qd / (t_1 - t_2)AZ \quad (3)$$

式中: λ —材料的导热系数, $W/(m \cdot K)$; Q —传导的热量, J ; d —材料厚度, m ; A —材料的传热面积, m^2 ; Z —热传导时间, h ; $(t_1 - t_2)$ —材料两侧温度差, K 。

生产试验制备的发泡材料的导热系数为 0.028~0.040, 比酚醛树脂发泡材料和聚氨酯发泡材料的导热系数略高^[6-7], 原因是在发泡材料的制备过程中, 积聚了大量水分, 即使经过熟化干燥, 仍有一定水分存在。所以, 发泡材料需在干燥环境中存放一段时间后再使用。

4) 平均吸声系数 α : 表示材料对声能的吸收能力。 α 值越大, 材料的吸声效果越好。吸声系数与声波的频率及入射角度有关, 故以从各个方向入射声音的平均值表示, 采用 125~4 000 Hz 的六个频率进行测试。六个频率的 $\alpha > 0.2$ 者, 可称为吸声材料^[8]。

$$\alpha = E_a / E_0 \quad (4)$$

式中: α —平均吸声系数; E_a —吸收的声能; E_0 —射到材料表面的总声能。

本试验制备的发泡材料的平均吸声系数为 0.36~0.87, 降噪系数值 0.64, 吸声性能等级为 II 级, 是优良的吸声材料。

5) 阻燃性能: 材料的防火阻燃性能来自于两方面: 材料自身的化学组分结构形成的阻燃能力; 人为添加防火阻燃剂形成的阻燃能力。

竹材液化树脂发泡材料, 具有特殊的化学组分结构, 在未使用任何阻燃剂的情况下, 临界氧指数最低值为 41.7, 高于聚苯乙烯 (≥ 30)、聚氨酯泡沫 (≥ 32)、聚乙烯泡沫 (≥ 32)、酚醛泡沫 (≥ 35) 等材料^[9], 达到 B1 级难燃材料的要求, 显示该材料在阻燃方面

的优良性能。参照 GB/T 2406.2-2009《塑料 用氧指数法测定燃烧行为 第2部分: 室温试验》, 以氧指数 OI 为阻燃性能的衡量指标。

$$OI = c_f + kd \quad (5)$$

式中: OI—氧指数, 以体积分数%表示; c_f —最后测定的氧浓度, 以体积分数%表示; d —氧浓度的差值, 以体积分数%表示; k —根据试样反应类型获得的系数。

6) 甲醛释放限量: 制备液化产物树脂时, 甲醛与液化产物的量比为 1.1^[4], 因此, 需对发泡材料的甲醛释放限量进行测试, 以确定发泡材料是否能直接应用于室内。

按照 GB 18580-2001《室内装饰装修材料人造板及其制品中甲醛释放限量》和 GB/T 17657-1999《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》进行测试, 得到甲醛释放量为 0.05~0.10 mg/L, 满足现行国家标准 E₁ 级 (≤ 1.5 mg/L) 的要求, 可直接用于室内。

2.2 复合发泡材料技术要求

为满足不同建筑对墙体材料的不同要求, 可选择不同的覆面材料与发泡材料进行复合, 制备复合发泡材料。在未考虑复合发泡材料不同应用场所的设计、安装等配套技术规则的情况下, 仅针对复合发泡材料自身特性, 提出了 6 项技术要求:

1) 体积密度 ρ_0 : 即自然状态下单位体积材料的质量。由于表面材料的贴覆, 复合发泡材料的体积密度有所增加。

$$\rho_0 = (m_1 + m_2) / V_0 \quad (6)$$

式中: ρ_0 —体积密度, g/cm^3 ; $(m_1 + m_2)$ —复合发泡材料(发泡材料+覆面材料)的质量, g ; V_0 —材料在自然状态下的体积, 或称表观体积, cm^3 。

生产性试验制备的样品的体积密度为 0.16~0.35 g/cm^3 。

2) 表面硬度 HW: 表征材料表面抵抗其他硬物刻划或压入的能力。参照 GB/T 17657-1999《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》进行测试。

$$HW = P / (\pi d \times h) \quad (7)$$

式中: HW—表面硬度, MPa; P —钢球载荷, 2 450 N; π —圆周率; d —钢球直径, 5 mm; h —压痕深度, mm。

生产试验制备的复合发泡材料, 硬度为 10.0~

60.0 MPa,超过了住建部对有关“内隔墙—轻质条板”材料表面硬度的规定,达到室内隔墙对承重和挂重物墙面的建筑需要。

3) 抗压强度 R 与抗弯载荷:是承重墙体材料的关键技术指标,参照 GB/T 11837-2009《混凝土管用混凝土抗压强度试验方法》和 GB/T 8812.1-2007《硬质泡沫塑料 弯曲性能的测定》测试。

$$R=F/(b \times h) \quad (8)$$

式中: R —抗压强度,MPa; F —试件被破坏时的最大载荷,N; b —试件宽度,mm; h —试件厚度,mm。

测试结果显示,复合发泡材料的抗压强度达 1.5~10.05 MPa,抗弯载荷达 2 200~3 300 N,而普通发泡材料无法同时具备这 2 项性能。故复合发泡材料可用于建造有较高力学强度要求的建筑墙体。

4) 空气隔声量 R :是衡量建筑材料隔声降噪性能的主要指标。按 GB/T 19889.3-2005《声学 建筑和建筑构件隔声测量 第 3 部分:建筑构件空气声隔声的实验室测量》和 GB/T 50121-2005《建筑隔声评价标准》进行。

$$R=10 \lg(W_1/W_2) \quad (9)$$

式中: R —空气隔声量,dB; $W_1(W_2)$ —入射到(透过)受测试件的声功率, W 。

复合发泡材料试样的空气隔声量测试结果显示,随着声频由 100 Hz 增加到 3 150 Hz,隔声量持续明显增加,由 21.6 dB 增加到 53.8 dB,显示了复合发泡材料良好的隔声性能。空气声计权隔声量达 37 dB。

5) 阻燃性能:复合发泡材料的阻燃性能由覆面材料和泡沫材料共同决定。参照 GB/T 2406.2-2009《塑料 用氧指数法测定燃烧行为 第 2 部分:室温试验》,复合发泡材料的临界氧指数,最小值为 38.1。如在制备竹帘板复合发泡材料的过程中,发泡树脂液体浸湿、渗入到竹帘板内部,使其获得了阻燃效果。测试时观察到,在 1 380 °C 火焰的作用下,竹帘板表面碳化形成阻燃碳层,有效地保护了碳层内的发泡材料,且无滴落物、卷曲、熔化等现象,也不具备火焰传播性,满足 B1 级难燃材料的要求。

2.3 发泡材料与复合发泡材料其他技术要求

发泡材料和复合发泡材料作为新型建筑材料,除了上述各项技术条件外,还涉及材料的规格尺寸、外观质量等相关要求。

1) 尺寸规格:为实现建筑材料的装配式生产,产品应有多种规格尺寸。材料采用模具发泡的形式制造,对模具要求较高。若采用连续式发泡模铸制造工艺,则可以生产任何规格尺寸的发泡材料和复合发泡材料。根据模具生产特点和建筑尺寸要求,建议按表 1 进行发泡材料的尺寸设计。

表 1 竹材液化树脂发泡材料的规格尺寸

Tab. 1 Specification size of bamboo liquefied

resin foam material			
类别	长度/mm	宽度/mm	厚度/mm
模具 发泡 材料	600	500	60,75,100
	800	600	60,75,100
	1 000	500~800	60,75,100,125
	1 200	500~800	60,75,100,125,150
连续 模铸 发泡 材料	1 000	600	60,75,100
	1 220	800	60,75,100
	1 530	800~1 000	60,75,100,125
	1 830	800~1 200	60,75,100,125
	2 140	800~1 200	60,75,100,125,150
	2 440	1 220	60,75,100,125,150
	3 000~5 400	1 000~1 220	60,75,100,125,150

2) 外观质量:参照现行的各类泡沫材料标准对产品外观质量的要求,结合本项目试验制备产品的外观质量水平,分别按发泡材料和复合发泡材料确定外观质量技术要求,见表 2、3。

表 2 竹材液化树脂发泡材料的外观质量要求

Tab. 2 Appearance quality of bamboo liquefied

resin foam material	
部位	外观要求
板面	板面平整,无明显凹凸、翘曲、变形,表面清洁、色泽均匀,无胶痕、油污,无明显划痕、磕碰、伤痕等
切口	切口平直,切面整齐,无毛刺,切口无大块剥落

表 3 复合发泡材料外观质量参考标准

Tab. 3 Reference standards of composite foaming

material appearance quality	
复合发泡材料的类别	外观质量参考标准
装饰单板复合发泡材料	GB/T 15104-2006《装饰单板贴面人造板》
彩钢板面复合发泡材料	GB/T 12754-2006《彩色涂层钢板及钢带》
竹模板复合发泡材料	JG/T 156-2004《竹胶合板模板》
水泥纤维板复合发泡材料	GB/T 24312-2009《水泥刨花板》
中密度纤维板复合发泡材料	GB/T 11718-2009《中密度纤维板》

3 结论

1) 经过生产性试验的修正,竹材液化树脂发泡材料与复合发泡材料的制备工艺基本成熟。

2) 发泡材料的各项性能指标的测试方法均有可参考或借鉴的依据,经过试验及相应的修改完善,可形成操作性强、完整的检测方法。

3) 主要性能测试结果显示,发泡材料和复合发泡材料能够满足不同场所对建筑材料的性能要求。

4) 发泡材料和复合发泡材料具有多种规格尺寸,在装配式工厂化生产条件下制备,可满足规范化、高效率的建筑工程要求。

参考文献:

- [1] 刘乐群,孙丰文,刘杨,等. 竹材液化制备墙体新材料的研究进展[J]. 木材工业,2012,26(1):15-19.
- [2] 刘乐群,刘杨,孙丰文,等. 竹材酚醇液化及其甲醛树脂的 FT-IR 分析[J]. 生物质化学工程,2011,45(6):31-34.
- [3] 刘杨,刘乐群,王宇红,等. 竹材加工剩余物液化及液化产物制备发泡树脂的工艺研究[J]. 木材工业,2012,26(2):10-13.
- [4] 刘乐群,汪洪根,孙丰文,等. 竹材液化树脂发泡工艺的研究[J]. 木材工业,2012,26(3):11-14.
- [5] 刘乐群,王进,钱华,等. 竹材液化树脂发泡材料性能测试及应用评价[J]. 木材工业,2012,26(4):5-8.
- [6] 殷宜初. 新型防火节能轻质墙体材料—酚醛泡沫彩钢夹心板[J]. 保温材料与节能技术,2010(2):1-4.
- [7] 田军县. 无机砂浆覆面聚氨酯保温复合板及外墙外保温工程应用研究[J]. 新型建筑材料,2012(4):25-26.
- [8] 彭立民,梁善庆,傅峰,等. 我国木质吸音材料的发展现状分析[J]. 木材工业,2012,26(3):29-32.
- [9] 胡子恒. 高分子材料防火性能研究 I 酚醛泡沫树脂的阻燃性及其增韧改性[J]. 广东建材,2008(12):8-9.

(责任编辑 姜征、孟凡丹)

2013 年《林产化学与工业》征订启事

刊号:CN 32-1149/S; ISSN 0253-2417

双月刊,1981 年创刊,由中国林科院林产化学工业研究所、中国林学会林产化学化工分会共同主办,全国林产化工行业学术期刊。

被美国《化学文摘》(CA)核心期刊、乌利希国际期刊指南,英国《英联邦农业和生物科学文摘》(CAB Abstracts)、《林产品文摘》(FPA)、《皇家化学学会系列文摘》(RSC),俄罗斯《文摘杂志》,“中国科学引文数据库(CSCD)”、“中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”、“RCCSE 中国核心学术期刊(A)”、“中国期刊全文数据库”、“中国学术期刊综合评价数据库”、“万方数据——数字化期刊群”、“中文科技期刊数据库”、“中国核心期刊(遴选)数据库”、《中国学术期刊文摘》、《中国农业核心期刊概览 2010》等大型刊库收录,2008、2011 年被评为中国精品科技期刊。

报道范围 可再生的木质和非木质生物质资源的化学加工与利用,包括生物质能源、化学品、新材料、天然活性成分和制浆造纸等,如松脂化学、生物质能源化学、生物质炭材料、生物基功能高分子材料、胶黏剂化学、森林植物资源提取物化学利用、环境保护工程、木材制浆造纸为主的林纸一体化和林产化学工程设备研究设计的成果。

双月月未出版,大 16 开,定价:国内 15 元/期,全年 90 元;国外 15 美元/期,全年 90 美元。国内邮发代号:28-59;国外发行代号:Q5941。

地址:江苏南京锁金五村 16 号林化所内(210042)

电话/传真:025-8548 2493

Email: cifp@vip.163.com

http://www.cifp.ac.cn

2013 年《生物质化学工程》征订启事

刊号:CN32-1768/S; ISSN 1673-5854

双月刊,由中国林科院林产化学工业研究所主办,国内外公开发刊,全国生物质化工行业的技术类刊物。

美国《化学文摘》(CA)收录期刊、《乌利希国际期刊指南》收录、RCCSE 中国核心学术期刊(A)、2010 年中国农业核心期刊、“中国期刊全文数据库”、“中文科技期刊数据库”、“万方数据——数字化期刊群”、“CEPS 中文电子期刊服务”全文收录期刊、“中国学术期刊综合评价数据库”统计刊源期刊《CAJ-CD 规范》执行优秀期刊。

报道内容 松脂化学、生物质能源化学、生物质炭材料、生物基功能高分子材料、胶黏剂化学、森林植物资源提取物化学利用、环境保护工程、木材制浆造纸为主的林纸一体化和林产化学工程设备研究设计等方面的研究成果。

主要栏目 研究报告、综述评价、行业热点、国内外信息。

读者对象 生物质化学工业、林产化学工业、林业、农业、森工、能源、轻工、化工、环保、医药、食品、土产、商检、外贸等行业,从事科研、教学、生产、经营、设计工作等相关人士。

A4 开 56 页,单月月底出版。国内邮发代号 28-205,每册定价 10.00 元,全年 60.00 元。国外发行代号 BM 2743,年定价 60 美元。

地址:江苏南京锁金五村 16 号林化所内(210042)

电话/传真:025-8548 2492

Email: bce@vip.163.com

http://www.bce.ac.cn