

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.12.025

木塑复合材料改性研究进展*

张晓萌¹, 马玲玲¹, 李晶^{1,2}, 解琼玉^{1,2}, 徐殿斗¹, 杨国胜³

(1. 中国科学院高能物理研究所, 北京 100049; 2. 成都理工大学, 成都 610059;

3. 放射线防护研究中心废弃物技术开发研究组, 放射线医学综合研究所, 日本千叶 263-8555)

摘要:介绍了木材改性中的聚合物基木塑复合材料和木基木塑复合材料, 主要关注了聚合物基木塑材料和木基木塑材料的制作工艺、常用化学制剂、性能优势、市场用途及存在问题, 并对其发展前景进行了展望。

关键词:木塑复合材料; 聚合物基; 木基; 挤出成型; 加热法; 辐射法

中图分类号: TQ320, TS6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)12-0108-06

Research Progress of Modifying Wood Plastic Composites

Zhang Xiaomeng¹, Ma Lingling¹, Li Jing^{1,2}, Xie Qiongyu^{1,2}, Xu Diandou¹, Yang Guosheng³

(1. Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 3. Office of Biospheric Assessment for Waste Disposal,

Research Center of Radiological Protection, National Institute of Radiological Sciences, Chiba 263-8555, Japan)

Abstract : The polymer-based and wood-based wood plastic composites were introduced, the emphases were focus on the fabrication process, common chemicals, performance, use in market and existing problems. The development trend of wood plastic composites was expected.

Keywords : wood plastic composite ; polymer-based ; wood-based ; extrusion molding ; heating ; irradiation

2010 年中国国内木材需求总量约为 3.6 亿 m³, 供需缺口达到 1.2 亿 m³。随着需求的增加, 供需缺口逐年增大, 预计 2015 年达 1.5 亿 m³, 2020 年达 2 亿 m³, 到 2050 年接近 6 亿 m³[1]。木材资源供应愈发严重不足的形势将在一定程度上影响我国整个国民经济的发展。速生丰产木材因其生长周期短、成材率高、经济效益好等显著特点而受到越来越多厂商和研究者的青睐。我国人工速生林主要品种有杨木、柳木、桦木、泡桐和桉木等。然而, 速生木材与天然针叶木、阔叶木相比, 存在着材质差、纤维短、易变形、易腐朽虫蛀等缺点, 无法满足高档木材加工业的要求, 缺乏应用价值与经济价值。因此, 研究者以基于物理、化学原理的新技术对速生木材进行改性, 使其性能得到大幅度提升甚至达到优质天然木材的性能[2], 早在 20 世纪 30 年代, 改性后的压缩木就曾用于欧美军用飞机以防雷达探测, 目前速生木材改性技术是世界发达国家重点研究的技术领域之一。

木塑复合材料 (WPC) 就是木材改性的一种, 目前, WPC 主要分为聚合物基 WPC 和木基 WPC 两类。聚合物基 WPC 是将木纤维、木粉、刨花、锯末、植物纤维等与塑料混合, 经过单螺杆、双螺杆挤出成型或热压成型工艺制作而成。木基 WPC 是向木材中注入化学试剂 (多为有机单体), 然后在热引发剂或热辐射源的引发下, 使化学试剂在木材中聚合

固化所得的产品。

WPC 兼有木材和塑料的特点, 其硬度、耐磨强度、顺纹抗压强度、横纹抗压强度、尺寸稳定性等各项性能均较未处理木材有显著提升, 同时, WPC 的吸湿膨胀性、热导率、阻燃性、耐腐蚀性和抗生物性能也得到改善。WPC 因其不改变木材固有优良性能, 并能克服速生木材材质差、易变形、易变色、易生物降解等缺点, 使木材的使用性能得到大幅度提高, 并因具有新的木材功能, 可满足木材市场的更多需求[3], 越来越引起木材厂商的青睐及研究者的重视。此外, WPC 制造过程中, 还可通过添加色料、防腐剂、阻燃剂、抗静电剂等获得各种附加功能的改性木材, 从而为木材的增值利用拓展出新的途径[4]。如具有抗菌作用的 WPC, 可用于医院、诊所、候诊室和厕所等, 以避免这些场所细菌传染的危险[5]。WPC 的研究随着其广泛的应用得以快速的发展。

目前, 国内外已有多家公司实现 WPC 产品商业化生产。美国 WPC 加工起源于 20 世纪 60 年代中叶, WPC 因其硬

* 国家自然科学基金项目 (11275216, 11075171)、中国地质调查局专项 (12120113002400)

联系人: 徐殿斗, 研究员, 主要研究方向为环境中痕量持久性有毒污染物的核分析方法学

收稿日期: 2013-09-18

度高、耐磨而大量应用于地板产业。在 WPC 领域,美国市场 1990 年至 2010 年的增长率都保持在 10% 以上,远远高于同期塑料工业的总体增长率,到 2011 年,美国市场 WPC 需求总值约为 54 亿美元。我国对 WPC 的研究始于 20 世纪五六十年代,截至 2005 年年底,我国直接从事 WPC 研究开发、生产的企事业单位已逾 150 家,从业人员数万人, WPC 制品年产量已接近 10 万 t,年产值可超过 8 亿元人民币。

笔者重点归纳国内外 WPC 的生产现状、不同生产工艺过程及其存在问题,并进行分析,以便对 WPC 产品进一步的研究方向有更清晰的认识,在大幅度增加速生木材附加值的同时,可规模化的替代天然优质木材,更好地促进 WPC 材料的商业化生产以及 WPC 产品的推广,使其经济效益和社会效益得到充分发挥。

1 聚合物基 WPC

聚合物基 WPC 的主要组分为塑料和木粉,辅以各种化学试剂。聚合物基 WPC 大多采用挤出成型制作,即将木粉或木纤维等与塑料粒子混合,通过螺杆挤出机挤出成型,这也是目前我国 WPC 商业化生产的主要工艺。其中塑料成分占较大比例,木粉和塑料结合后,物理力学性能有一定程度提高,可应用在建材、汽车业、装饰材料、日常生活用品等方面。

由于木粉表面羟基的强极性和分子间氢键的存在,导致亲水性木粉和热塑性树脂之间具有较差的分散性和表面粘合性,进一步影响了 WPC 的各项性能^[6],因此需要对木粉进行改性,提高木粉和热塑性树脂的界面相容性。目前大多采用加入偶联剂和增容剂的化学方法对木粉进行改性,减少木粉表面的羟基官能团数量或使树脂基体与木粉之间引入横向交联和相容,提高聚合物基 WPC 的力学性能。偶联剂如硅烷、异氰酸酯、钛酸酯、铝酸酯等会通过其亲水基团与木粉表面产生相互作用,亲油基团与树脂产生相互作用,从而改善木粉与树脂的相容性。用于 WPC 的增容剂主要是马来酸酐(MAH)等带有酸酐基团或羧酸基团的高分子,其能与木粉表面的羟基反应产生化学联结;或采用与共混两相或多相都能良好相容的共性增容剂,从而改善两相间的相容性^[7]。加入增容剂和偶联剂后, WPC 的物理力学性能均得到大幅度提高。表 1 为研究中用到的主要改性剂。

目前市场上的聚合物基 WPC 以聚乙烯(PE)基 WPC 为主,约占 65%,聚氯乙烯(PVC)基 WPC 占 16% 左右,聚丙烯(PP)基 WPC 占 14% 左右。但聚合物基 WPC 存在界面强度不高、受到撞击或局部压力容易受损的缺点,难满足某些复杂家具设计要求。我国产业化生产的 WPC 产品大多数为聚合物基 WPC,产品在应用领域方面还有一定的局限性,没能充分发挥出 WPC 产业的经济效益和社会效益,所以需

表 1 WPC 研究中用到的改性剂及其主要作用

改性剂	作用	效果	主体材料
MAH 接枝 PE, PE-HD, PP, PS, 多元共聚物, 丙烯酸等 ^[8-12]	增容剂	MAH 可以与木粉表面的羟基形成氢键和酯键,进而提高木粉和聚合物的相容性,加强木粉和聚合物的粘附和连接作用,有效传递应力和承受载荷,显著提高 WPC 的力学性能	PE / 木粉, PE-HD / 木粉, 酚醛树脂 / 木粉, PP / 木粉
乙烯-甲基丙烯酸共聚物 ^[13]	增容剂	增强、增容效果,从而改善加工性能和力学性能	PE-HD / 木粉
三元乙丙橡胶 ^[14]	增韧剂	改善 WPC 的韧性	PP / 木粉
硅烷 ^[15-17]	偶联剂	硅烷水解产生硅醇与木粉上的羟基形成氢键,木粉表面的缩合硅烷和聚合物基体间形成范德华力或化学键,从而使 WPC 的物理力学性能等得到全面提升	PVC / 木粉
1,4-二苯基异氰酸酯, 亚甲基二苯基异氰酸酯 ^[18]	偶联剂	具有显著降低木粉表面极性、削弱其亲水性的作用	乙酸乙酯 / 木纤维
NaOH 溶液 ^[19-20]	对木粉进行预处理	去除半纤维素和小分子酯类等不稳定物质,使得增容剂和偶联剂在木粉表面有较好的化学键合,有利于木粉在聚合物中分散	PP / 木纤维
乙烯-乙酸乙酯共聚物, 乙烯丙烯酸共聚物, 甲基丙烯酸甲酯-丁二烯-苯乙烯三元共聚物 ^[21]	连接	起到连接、增韧、粘结作用	PE-HD / 木粉
蜜胺, 酚醛树脂和脲醛树脂 ^[21]	粘接剂	既起强化粘接的作用,又可作为刚性粒子吸收能量,提高复合材料的强度	PE-HD / 木粉
氯化聚乙烯 ^[22]	改性剂、阻燃剂	加工性、分散性和冲击强度等有较大提高,阻燃效果尤为明显	PVC / 木粉
苯乙烯-丁二烯-苯乙烯 ^[23]	增韧剂	使复合材料的破坏模式由以界面脱粘为主转为纤维和基体断裂为主,冲击性能显著提高	PE-HD / 木粉

要进一步提高聚合物基 WPC 的性能及产品多样性,制定 WPC 相关性能评价标准体系,形成一定规模的产业集群。

2 木基 WPC

木基 WPC 的成型方法主要分为化学加热法和辐射法,通过加热或辐射的方式,使浸入木材内部的化学试剂发生单体聚合、交联或与木材间发生接枝固化反应,在木材内部形成网状结构。木基 WPC 的研究起源于 20 世纪 60 年代,但早期由于辐射源设备价格较高,所以采用加热聚合工艺居多。现在随着辐照加工行业的快速发展,辐射法制备工艺因其操作更加简便、改性效果优良而越来越引起人们的重视。

加热法主要分为引发剂法和热压法,引发剂法需要在浸渍液中加入反应活性高的聚合引发剂,例如过氧化物、偶

氮类等,引发剂促进浸渍液在木材内部加热聚合固化;热压法是在加热过程中进行真空加压,浸渍物与木材组分发生交联反应^[24]。辐射法 WPC 大多不需要引发剂,聚合反应完全,可分为 γ 射线辐射法、高能电子加速器辐射法、紫外线辐照法(需要引发剂)。表 2 对比了辐射法和加热法制造木基 WPC 的工艺过程。

表 2 辐射法和加热法制造 WPC 的工艺对比^[4]

项目	辐射法		化学加热法	
	γ 射线辐射法	电子束辐射法	热压法	引发剂-促进剂法
聚合时加热	不需	不需	必需	稍微加热
浸渍液可使用时间	长	长	短	热短
处理木材情况	大断面木材处理均匀	薄单板	大断面木材处理时有不均匀	大断面木材处理时有不均匀
穿透效果	穿透程度大	穿透程度小		
设备要求	需要大辐射设备、防护投资大	需要大辐射设备,可连续化生产	不需要过大的设备	不需要过大的设备
对人体危害	大	轻度	无	无

最佳工艺条件的确定是木基 WPC 的重点和难点,如化学加热法中温度的控制、热压过程中温度和压力的控制、辐射剂量、有机制剂种类及用量的选择。辐射方向不同,改性材料的效果就可能不同^[25],而且过高的温度和辐射剂量会导致木材细胞壁中起骨架作用的纤维素和半纤维素降解,进而降低木材的抗冲击性,使木材的脆性增加^[26-27];过低的温度和辐射剂量不能产生足够的固化效果,有机制剂不能和木材纤维发生充分的接枝聚合反应,改性效果不佳。有机制剂的选择是木基 WPC 制作中又一要点,一般选择小分子量的有机制剂,大分子物质较难浸入木材细胞内部。在一定条件下,小分子物质较易进入木材内部,利用木材本身所具有的网状结构,进入木材内部的化学试剂通过主价键(化学键)和副价键(范德华引力和氢键)与木材纤维紧紧结合在一起^[28]。化学试剂可以与木材纤维结构中的羟基发生化学反应,形成醚键、酯键或缩醛等,联结成更加紧密的网状结构,进而降低了木材结构中羟基活性和木材亲水性,同时提高了木材的尺寸稳定性和力学性能^[29]。

2.1 化学加热法制作 WPC

1965 年第一次出现利用引发剂催化加热制备 WPC 的方法,1966 年美国 AMF 公司安装了第一条利用催化剂加热法生产 WPC 的生产线。从此研究者开始关注加热法工艺中温度、时间、压力、pH 值的确定,热处理温度和时间对木材力学强度和尺寸稳定性都有显著影响,经过一定程度的热处理后,木材改性剂与木质纤维成分发生聚合反应,材料的力学性能、抗湿胀性、尺寸稳定性都得到提高,并且具有了一定

的防腐和阻燃性能^[30-42]。陈瑞英等^[43]在速生意大利杨木密实化处理的热压工艺中,研究其压缩前的含水率、压缩时间、热压温度、压缩率、压缩后的厚度,得到处理材料的顺纹压缩强度提高 51.3%,弯曲强度提高 45.3%,弯曲弹性模量提高 70.1%,横纹径向、弦向压缩强度分别提高 118%,249%,端面、径面、弦面硬度分别提高 118%,61.2%,85.3%,冲击韧性提高 20.2%,耐磨性提高 108%。也可将有机树脂对木材进行填充,再通过热压工艺,制得树脂/木基复合材料^[44]。

目前研究中多选择酚醛树脂、异氰酸酯、脲醛树脂、甲基丙烯酸甲酯等小分子量的有机制剂进行浸渍处理。为了赋予改性木材更加优良的力学性能以增加其用途,有些研究者会首先对树脂进行改性处理。例如脲醛树脂使用中,研究过聚顺丁烯二酸二乙醇酯和三聚氰胺对脲醛树脂改性^[38]、脲醛树脂和蒙脱土结合使用^[45]、三聚氰胺改性脲醛树脂然后进行加热固化^[35]、纳米填料对脲醛树脂进行改性^[31,46]等,改性后的浸渍物与木材纤维之间有更好的交联作用,进而使得改性 WPC 的吸水性、力学性能及尺寸稳定性等均得到进一步提高。表 3 为加热法中用到的主要有机制剂。

表 3 加热法中用到的主要有机制剂

改性制剂	功能
酚醛树脂 ^[34,36,47]	小分子量的酚醛树脂通过浸渍可以进入到木材细胞内部,进而发生反应,提高木材的尺寸稳定性、力学性能等;分子量较大的酚醛树脂很难浸渍到木材内部
异氰酸酯 ^[48]	在弱碱性条件下可以与木材纤维素反应生成含氮的酯键,达到改善木材尺寸稳定性和抗生物侵害、阻燃的目的
脲醛树脂 ^[28,31-32,38,45-46]	改性后的脲醛树脂与木材之间有很好的交联聚合作用,从而提高改性木材的吸水性、力学强度及尺寸稳定性等
甲基丙烯酸甲酯、苯乙烯 ^[31-32,37,40-42,49]	能显著增强木材的力学性能,但苯乙烯不能浸渍到细胞壁内,而是粘附在细胞壁表面和细胞腔上
糠醇分子 ^[50-51]	糠醇分子与木材细胞内部结构发生聚合反应,能长时间存在于木材细胞壁内,起到填充木材细胞作用
乙二醇单体 ^[41]	增强木材的弯曲强度和硬度

2.2 辐射法制作 WPC

辐射法制作 WPC 的主要工艺流程如图 1 所示。

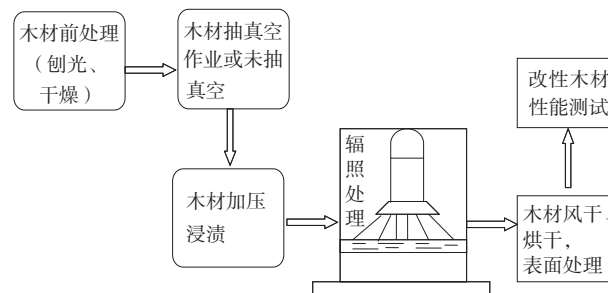


图 1 辐射法制作木基 WPC 的主要工艺流程

木材预处理主要包括木材干燥和抽真空处理。木材力学性能与木材含水率大小有很大关系,木材含水过多或过少都会导致力学性能变差,而且木材内部水分含量多少也会影响化学试剂的浸入,所以进行木材干燥和抽真空处理是制作木基 WPC 的重要前提。而且,研究发现,木材经过有机试剂浸渍处理后,浸入木材内部的化学物质使得木材的传质传热更加均匀,在干燥过程中减少了开裂变形等干燥缺陷现象;另一方面,由于浸入木材内部的化学物质表面含有羟基、氨基等吸水性基团,在浸渍物未完全聚合时,其对木材中的水分具有吸附作用,在干燥初期阻碍了水分的瞬间蒸发,从而减少了木材内部因为干燥而导致的力学性能缺陷等^[52]。木材浸渍后含水率梯度降低,浸渍液取代了一部分水分在木材中的空间位置,减少了木材细胞在水分遇热快速挥发时带来的木材结构破坏,降低木材的干燥应力^[53-54]。

干燥后的木材放入密封罐中进行抽真空处理,把木材细胞内及细胞间隙中的存留气体抽出,更有利于化学试剂的浸入。目前木基 WPC 制备中浸渍工艺大多采用抽真空-加压浸渍法,例如将木材放在密封罐中抽真空至 -0.1 MPa 左右,保压 $0.5\sim 1\text{ h}$,然后再加压保压。研究表明,抽真空作业可以促进更多的化学制剂进入木材内部,从而增大化学制剂与木材接枝率,进而显著提升 WPC 的外在物理性能^[55]。

浸渍有机制剂多选择酸酯类、醇类、醛类、胺类中小分子量的化合物进行浸渍处理。水溶性小分子量的改性剂通过扩散作用渗透到木材细胞内部,浸入到木材内部的制剂固化后,生成的聚合物不仅填充了木材内部孔隙,增容木材内部结构,甚至可以与木材结构内的某些官能团发生交联聚合反应,产生结合力很强的化学键及范德华力和氢键,形成更加紧密的立体网状结构填充于木材细胞壁内,从而使得改性木材的密度增大,强度提高,尺寸稳定性增强,减少了木材湿胀易变形性和生物降解易感性^[56-57]。尽管木基 WPC 相对于速生木材有较高的成本,但其可以应用在高价值的木材产品上。可以根据不同用途和不同需要,添加不同化学试剂,采用不同的固化工艺,得到符合不同要求的改性木材。

甲基丙烯酸甲酯和苯乙烯,辅以其它试剂是辐射法木基 WPC 制作中常用到的试剂^[58-59]。另外,研究者也尝试过环氧树脂、丙烯酸羟丙酯等结合二羟甲基丙烷三丙烯酸酯^[60]、丙烯腈^[61]、脂环族二丙烯酸酯结合正式反式 $1,3/1,4$ -环己烷二甲醇^[62]、把木材用 NaOH 预处理^[63]等,得到使用寿命更长、硬度更高、耐化学药品腐蚀性更好、固化效果更好的改性木材。一般情况 35 kGy 辐照剂量使得改性木材性能最佳^[59]。S. M. Trey 等^[64]在利用甲基丙烯酸酯和聚乙二醇丙烯酸酯浸渍松木块工艺中,发现聚乙二醇可以进入细胞内部,使得酯类能更好地与木块结合且不易浸出,在木块

内部形成网状结构,最终提高改性木材的硬度、韧性、尺寸稳定性等性能。

辐照后的改性木材后期加工主要有木材漂白或木材染色处理等。木材漂白是指用化学方法,使木材色泽变浅或褪色的技术^[65],可除去木板表面的色斑和变色等。木材染色是指采用物理或化学方法,改变木材颜色以及防止木材变色,从而提高木材的装饰性和附加值^[66]。

3 展望

辐射法制备的 WPC 有很好的性能,能满足各种用途,有很好的经济效益和社会效益,该工艺是核技术和林产业交叉发展起来的高技术产业,值得进行大力推广和实现工业化生产。但在我国还没有形成规模化工业生产,主要原因在于科研院所、木材加工商、辐照加工厂家没有很好地结合。辐射法木基 WPC 技术的规模化生产需要多个单位参与推广,争取早日实现产业化生产,并且可根据市场需求改进工艺,生产出具有特定性能的改性木材,拓宽改性木材应用领域,使得 WPC 得到更好的应用,充分发挥其经济效益和社会效益。

在 WPC 科学研究方面建议做到以下几点:

- (1) 要探索出一条安全、可行、稳定、对环境无污染的改性工艺;
- (2) 可通过添加不同化学试剂及不同剂量,使改性木材具有某一用途或具有特定的性能,如特殊的硬度、耐磨性等;
- (3) 针对不同木材制定出详细可靠的改性木工艺流程行业标准,比如处理原木大小、干燥含水率程度、化学试剂浸入量及稀释程度、固化程度、达到的力学性能标准等;
- (4) 保证成本合理、易于推广。

参考文献

- [1] 谭秀凤. 中国木材供需预测模型及发展趋势研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2011.
Tan Xiufeng. The forecast model and development trend for China timber supply and demand [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2011.
- [2] Hill C A S, et al. Journal of Materials Science, 2012, 47(7): 3191-3197.
- [3] Ahmed S A, et al. Wood and fiber Science, 2012, 44(1): 85-93.
- [4] 唐辉, 等. 中国塑料, 1999, 13(7): 64-67.
Tang Hui, et al. China Plastics, 1999, 13(7): 64-67.
- [5] 王桂荣. 林业机械与木工设备, 2010, 38(7): 43-44.
Wang Guirong, et al. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2010, 38(7): 43-44.
- [6] 赵义平, 等. 中国塑料, 2001, 15(12): 17-20.
Zhao Yiping, et al. China Plastics, 2001, 15(12): 17-20.
- [7] 李跃文. 玻璃钢/复合材料, 2009(4): 93-99.

- Li Yuewen, et al. Fiber Reinforced Plastics / Composites, 2009(4):93-99.
- [8] 李兰杰,等. 中国塑料, 2005, 19(10):39-43.
- Li Lanjie, et al. China Plastics, 2005, 19(10):39-43.
- [9] 宋国君,等. 塑料, 2006, 35(6):46-49.
- Song Guojun, et al. Plastics, 2006, 35(6):46-49.
- [10] 雷文,等. 塑料工业, 2007, 35(6):192-195.
- Lei Wen, et al. China Plastics Industry, 2007, 35(6):192-195.
- [11] 吴远楠,等. 包装工程, 2006, 27(6):85-87.
- Wu Yuannan, et al. Packaging Engineering, 2006, 27(6):85-87.
- [12] 刘文鹏,等. 塑料, 2005, 34(5):21-24.
- Liu Wenpeng, et al. Plastics, 2005, 34(5):21-24.
- [13] 王如寅,等. 中国塑料, 2005, 19(11):63-66.
- Wang Ruyan, et al. China Plastics, 2005, 19(11):63-66.
- [14] 庄乃银,等. 现代塑料加工应用, 2004, 16(3):13-15.
- Zhuang Naiyin, et al. Modern Plastics Processing and Applications, 2004, 16(3):13-15.
- [15] Sombatsomporn N, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2005, 96(1):213-221.
- [16] Chotirat L, et al. International Journal of Adhesion & Adhesives, 2007, 27(8):669-678.
- [17] Abdelmouleh M, et al. Composites Science and Technology, 2007, 67(7-8):1 627-1 639.
- [18] Thielemans B, et al. Composites Science and Technology, 2008, 68(15 / 16):3 193-3 201.
- [19] Pickering K L, et al. Composites, Part A: Applied Science and Manufacturing, 2007, 38:461-468.
- [20] Pickering K L, et al. Composites, Part A: Applied Science and Manufacturing, 2003, 34(10):915-926.
- [21] 尹以高,等. 塑料工业, 2002, 30(6):20-22.
- Yin Yigao, et al. China Plastics Industry, 2002, 30(6):20-22.
- [22] 陈智修. 聚氯乙烯, 2004(5):19-20.
- Chen Zhixiu. Polyvinyl Chloride, 2004(5):19-20.
- [23] 崔益华,等. 宇航材料工艺, 2006(4):23-28.
- Cui Yihua, et al. Aerospace Materials & Technology, 2006(4):23-28.
- [24] Gao Z H, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2007, 104(5):2 980-2 988.
- [25] 刘干. 广西轻工业, 2009(3):30-31.
- Liu Gan. Guangxi Journal of Light Industry, 2009(3):30-31.
- [26] Devi R R, et al. Wood Science and Technology, 2012, 46(1-3):299-315.
- [27] Wu G F, et al. Advanced Materials Research, 2010, 46:129-131.
- [28] Gao Z H, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2007, 104(5):2 980-2 985.
- [29] Lesar Bostjan, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2011, 120(3):1 337-1 345.
- [30] 蒲俊文,等. 一种用于木材改性的药液加压浸注设备: 中国, CN101618559[P], 2010-01-06.
- Pu Junwen, et al. A kind of device with liquid pressurized infusion for wood modification: China, CN101618559[P], 2010-01-06.
- [31] 时尽书,等. 北京林业大学学报, 2006, 28(2):123-128.
- Shi Jinshu, et al. Journal of Beijing Forestry University, 2006, 28(2):123-128.
- [32] 武国峰,等. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(4):1 083-1 086.
- Wu Guofeng, et al. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(4):1 083-1 086.
- [33] 武国峰,等. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(11):3 078-3 082.
- Wu Guofeng, et al. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(11):3 078-3 082.
- [34] 薛凤莲,等. 北京林业大学学报, 2009(31):112-116.
- Xue Fenglian, et al. Journal of Beijing Forestry University, 2009(31):112-116.
- [35] 李龙哲,等. 木材工业, 2009, 23(3):40-42.
- Li Longzhe, et al. China Wood Industry, 2009, 23(3):40-42.
- [36] 江泽慧,等. 人工林软质木材表面压密方法及其产品: 中国, CN1333113A[P], 2002-01-30.
- Jiang Zehui, et al. The methods of plantation soft wood surface compaction and its products: China, CN1333113A[P], 2002-01-30.
- [37] 何文,等. 木材工业, 2013, 27(1):17-20.
- He Wen, et al. China Wood Industry, 2013, 27(1):17-20.
- [38] 邱国福,等. 林业科技, 1998, 23(2):46-47.
- Qiu Guofu, et al. Forestry Science & Technology, 1998, 23(2):46-47.
- [39] 谢桂军,等. 广东林业科技, 2009, 25(3):42-45.
- Xie Guijun, et al. Guangdong Forestry Science and Technology, 2009, 25(3):42-45.
- [40] Zhang Y L, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2006, 99(4):1 674-1 683.
- [41] Umit C Y, et al. Bioresource Technology, 2005, 96(9):1 003-1 011.
- [42] Magalhaes W L E, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2004, 91(3):1 763-1 769.
- [43] 陈瑞英,等. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2005, 34(3):324-329.
- Chen Ruiying, et al. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition, 2005, 34(3):324-329.
- [44] 杨霞. 吉林林业科技, 2006, 35(3):39-40.
- Yang Xia. Jilin Forestry Science and Technology, 2006, 35(3):39-40.
- [45] Yu X C, et al. Journal of Wood Science, 2011, 57(6):501-506.
- [46] Cai X L, et al. Wood Fiber Science, 2007, 39(2):307-318.
- [47] Furuno T, et al. Wood Science and Technology, 2004, 37:349-361.
- [48] Lee H L, et al. Holzforschung, 2004, 58(3):311-315.
- [49] Bergman R, et al. Forest Product Journal, 2009, 59(10):64-71.
- [50] Nordstierna L, et al. Holzforschung, 2008, 62(6):709-713.
- [51] Pilgard A, et al. Environmental Toxicology Chemistry, 2010,

- 29(9):1 918-1 924.
- [52] 武国峰. 速生杨木原位聚合改性技术及机理的研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- Wu Guofeng. Modification of fast-growing poplar wood by in-situ polymerization and cross-linking reaction mechanism[D]. Beijing:Beijing Forestry University, 2012.
- [53] Gonzalez-Pena M M, et al. Polymer Degradation Stability, 2009, 94:2 184-2 193.
- [54] Windeisen E, et al. Wood Science and Technol, 2007, 41:523-536.
- [55] 阎强, 等. 化学进展, 2010, 22(2 / 3):450-457.
- Yan Qiang, et al. Progress in Chemistry, 2010, 22(2 / 3):450-457.
- [56] Babinski L. Journal of Archaeological Science, 2011, 38(7):1 709-1 715.
- [57] Atar M, et al. African Journal of Biotechnology, 2011, 10(15):2 867-2 874.
- [58] Humar M, et al. Bulletin of Materials Science, 2011, 34(1):113-119.
- [59] Zaki A. Radiation Physics and Chemistry, 2005, 75:1 075-1 079.
- [60] 伍晓利, 等. 化学工程与装备, 2010(12):16-19.
- Wu Xiaoli, et al. Chemical Engineering & Equipment, 2010(12):16-19.
- [61] 赵杰, 等. 辽东学院学报, 2009, 16(2):107-110.
- Zhao Jie, et al. Journal of Liaodong University, 2009, 16(2):107-110.
- [62] Baikerikar K K, et al. Coat Technol Res, 2010, 7(2):175-188.
- [63] Rahman M M, et al. Materials and Design, 2009, 30:2 191-2 197.
- [64] Trey S M, et al. ACS Applied Materials & Interfaces, 2010(2): 3 352-3 362.
- [65] 刘志佳, 等. 木材工业, 2009, 23(2):40-42.
- Liu Zhijia, et al. China Wood Industry, 2009, 23(2):40-42.
- [66] 彭万喜, 等. 木材工业, 2005, 19(6):17.
- Peng Wanxi, et al. China Wood Industry, 2005, 19(6):17.

我国大容量塑料光纤技术突破难关, 跻身世界前列

我国科学家经过多年努力, 终于攻克了从本体聚合法直接生产聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 突变型塑料光纤的技术难关, 掌握了批量连续化生产塑料光纤技术。记者近日从中科院理化技术研究所获悉, 该所这一产业化技术已经成熟, 破除了日本公司在国际上的垄断地位。

近几年全球塑料光纤的需求量迅速增加, 2005 年 PMMA 塑料光纤销售额已经达到数十亿美元。而适用于数据传输的低损耗 PMMA 塑料光纤, 目前只有日本三菱公司能够生产, 每年我国均从日本进口大量的 PMMA 塑料光纤。

据该项目负责人甄珍和刘新厚研究员介绍, 中科院理化所掌握了从原材料提纯、经本体聚合直接拉制光纤整套技术。其核心技术是高纯度光纤级 PMMA 光学模塑料 (芯层材料) 以及皮层材料的制备技术。在研制过程中, 中国科学院理化技术所先后开发了具有自主知识产权的单分子扩散转移原料提纯新技术, 平推式薄层管式与双螺杆复合系统的本体聚合制备高纯度光纤级 PMMA 原料以及与之相配套的包层材料技术, 并成功地解决了产业化的相关问题。

据悉, 目前该所已研制成功日产 10 万 m PMMA 塑料光纤的全自动流水线, 连续数月稳定生产出光衰减在 170 ~ 200 dB/km 的 PMMA 光纤, 累计生产出数百万米低损耗塑料光纤。同时, 该所还具备批量生产光衰减为 150 dB/km 的阶跃型 PMMA 光纤潜能, 产品技术指标达到国际同类产品的最好水平。低衰减 PMMA 光纤连续化批量生产技术的问世, 标志我国在该领域跻身世界先进行列。

当今信息技术的发展迫切需要信息容量大的光纤材料, 对通讯网络带宽的要求越来越高。塑料光纤具有芯径大、质地柔软、联结容易、质量轻、价格便宜、传输带宽大等优点, 在宽带接入网系统、家庭智能网络系统、数据传输系统、汽车智能系统、工业控制系统以及纺织、照明、太阳能利用系统等方

面的应用市场潜力巨大。

(塑料五金网)

陶氏化学舒泰龙™挤塑板成功用于中国冷链项目

冷链是挤塑板的主要应用领域之一。挤塑板凭借优异的保温性能、高抗压强度和低吸水率, 成为除聚氨酯 (PUR) 保温材料外冷库的主要保温材料。

在中国, 冷库的结构形式以多层土建库为主, 约占市场的 70%, 主要的保温材料为现场喷涂 PUR 和挤塑板。但是长期以来挤塑板的主要应用领域是在冷库的地面, 而在墙体和顶棚的应用非常少。

陶氏化学建筑应用业务部亚太区团队加大了挤塑板在冷库领域的应用, 和国内专业的设计院——国内贸易工程设计研究院深入合作, 成功赢得了深圳某农产品物流冷库项目, 第一次在冷库项目中把舒泰龙™挤塑板应用在冷库的墙面和顶棚内保温, 开发了完整的陶氏挤塑板冷库保温系统, 大大提高了冷库的长期保温性能, 为客户带来直接的经济利益, 同时提高了环境保护。

该农产品物流冷库项目为五层冷库, 设计常温库 2 间, -18℃低温冷库 4 间, 设计吨位 3 万 t; 常温库地面、墙面和顶棚为 100 mm 厚的舒泰龙™挤塑板内保温系统, 低温库地面、墙面和顶棚为 200 mm 厚的舒泰龙™挤塑板内保温系统。共计使用舒泰龙™挤塑板 5 000 m³。该项目施工完毕后陶氏化学受到设计院和客户的一致好评。随着该冷库的使用成功, 陶氏化学公司将在全国冷库项目上推广使用舒泰龙™挤塑板冷库保温系统。

负责该项目的陶氏化学建筑应用业务部大中华区重点客户经理王德浩说道: “在国家发改委的《农产品冷链物流发展规划》的大好形势下, 以及深圳农产品物流冷库项目的成功实施, 我们将以深圳市农产品股份有限公司为冷链业务的里程碑, 扩大冷链市场的发展, 开拓挤塑板业务的新纪元!”

(环聚网)