

木质-橡胶多功能环保复合材料的研究现状和应用前景

赵君¹, 王向明², 常建民¹, 杜洪双¹

(1. 北京林业大学木材科学与技术学院, 北京 100083; 2. 加拿大国家林产工业技术研究院, 魁北克 加拿大)

摘要: 本文论述了采用 MDI-UF 为胶粘剂胶合木材刨花与废弃轮胎橡胶颗粒制备木质-橡胶多功能环保复合材料的研究现状、生产工艺、性能优势、环保效果和应用和发展前景。该产品与人造板相比具有更多的功能, 可应用领域非常广阔并可循环再利用, 环保效果好, 市场潜能非常巨大。

关键词: 木材刨花; 废旧轮胎橡胶; 复合材料; 生产工艺; 多功能性; 应用; 环境效益

中图分类号: TS653.3, X705 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-7461(2007)01-0136-05

Present Situation and Application Prospect of Multifunctional Environmental Wood-Rubber Composite Materials

ZHAO Jun, WANG Xiang-ming, CHANG Jian-min, DU Hong-shuang

(1. Wood Science and Material Technology College, Beijing Forest University, Beijing 100083; 2. Forintek, Canada)

Abstract: The present situation, feasibility, manufacture processing technology and excellent characteristics of wood-rubber composite materials were outlined. The composite are composed of waste tire rubber and wood spill and polyurethane diisocyanate (MDI) and UF are used as binder to cure scrap tires and wood spill. Commercial properties of the composite board are better than those of wood particleboard, and the products can be applied in many fields. There are bright prospect as the composite because of the features of recycling and environment protection.

Key words: wood spill; waste tire rubber; feasibility; manufacturing technology; function; environmental benefit

随着汽车工业的发展, 日益增多的废旧轮胎再利用以及废旧轮胎的“黑色污染”已经成为世界性难题。全世界每年有 15 亿条轮胎报废, 其中得到可回收利用的只占 10%~20%^[1]。日本每年报废轮胎在 1 亿条以上; 而轮胎使用量最大的美国 2000 年以来, 年报废轮胎在 3 亿条左右。中国 2004 年轮胎产量达到 2.39 亿条居世界第二, 而 2005 年产生的废旧轮胎已超过 1.12 亿条, 约 320 万 t^[2]。我国已成为世界最大的橡胶消费国和橡胶进口国, 然而废旧轮胎循环利用率仅有 10% 左右, 远低于发达国家。废旧轮胎的循环利用不仅能够缓解我国橡胶资源的匮乏问题, 又可节约大量资金。寻求更加有效的方法来解决废弃轮胎的再利用和“黑色污染”问题在我国显得尤为紧迫, 这对于发展循环经济、建立节约型社会意义十分重大^[3]。

中国森林资源紧缺, 人均森林面积仅有 0.11 hm², 为世界平均水平的 1/6; 人均森林蓄积量 8.6

m³, 只有世界平均水平的 1/8。合理利用和节约木材并寻求木材替代品以缓解木材供求的紧张局面, 满足人民生活 and 工业建设的需要已经成为我国材料科学的重要课题^[4]。发展木质复合材料是合理利用和节约木材的有效途径。目前我国生产的复合材料产品的种类较少、使用性能等方面与先进国家相比存在较大差距^[5,6], 尤其在环保及多功能方面差距更为明显。随着生活水平的提高, 人们对材料的环保性能和多功能性能的要求也越来越高, 发展绿色环保多功能木质复合材料已经成为国内外的发展趋势^[7,8]。

1 概况

木质-橡胶复合材料是采用将废弃轮胎中的加强筋经机械除去后粉碎成橡胶颗粒和木纤维、木屑或刨花作原材料, 用环保高强度的 MDI-UF 胶粘剂胶接制备。由于轮胎橡胶的突出特征, 从而使木质

- 废旧轮胎橡胶复合材料具有了吸音隔声、高抗冲击性、阻尼减震、耐磨、耐老化、防静电、防蛀、防水、防腐等特点,还具有隔热保温,环保等优点^[9,10]。

1.1 生产工艺

1.1.1 原料制备

(1)木材刨花 将木材原料主要以木材及木材加工剩余物、枝桠材为主,送入刨切机在刨切机前装有金属探测器,避免带金属的原木损坏刀具,切割成符合工艺要求规定的木材刨花。由于工艺要求木片的规定尺寸要均匀,必须将木片进行筛选成符合规定长2~15 mm 宽1.5~3 mm 厚0.2~0.8 mm 的木刨花并进行干燥。

(2)橡胶颗粒 将废弃轮胎中的加强筋经专用机械除去后粉碎制成1~7 mm 的橡胶颗粒。

1.1.2 木刨花与废旧轮胎橡胶颗粒的混合水平

木刨花在复合板材料中作为增强体,随着木刨花含量的增加,复合材料的内结合强度、静曲强度、弹性模量增加。根据不同的应用领域对复合材料性能的

要求主要采用不同的木刨花与废旧轮胎橡胶颗粒的混合水平(表1)。

表1 木刨花与废旧轮胎橡胶颗粒的混合水平

Table 1 Level of wood particle and rubber crumb

序号	木刨花	废旧轮胎橡胶颗粒
1	100	0
2	85	15
3	65	35
4	50	50
5	25	75

1.1.3 胶粘剂的选用 脲醛胶(UF)具有良好的粘接性能,低成本胶粘剂,但脲醛树脂胶易于释放有害的游离甲醛。而异氰酸酯(MDI)能与木质和橡胶进行粘接并结合强度高,不含游离甲醛但成本较高,故将UF和MDI混合使用,降低制造成本。

1.1.4 木质-橡胶多功能环保复合板的制造生产工艺 木质-橡胶多功能环保复合板的制造工艺流程图1。

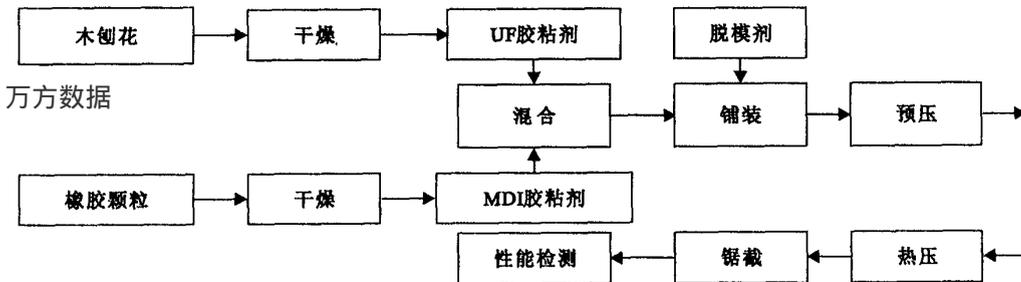


图1 木质-橡胶多功能环保复合板的制造工艺流程图

Fig.1 Process of manufacturing wood-tire rubber crumb multifunctional environmental composite materials

(1)将制备好的木刨花,橡胶颗粒分别干燥,符合要求后;(2)将配制好的MDI和UF胶粘剂作为胶料分别对橡胶颗粒和木材刨花进行施胶;(3)脱模技术处理 采用MDI胶粘剂,在热压过程中存在粘板问题,必须进行脱模技术处理;(4)铺装 将以施胶的木刨花和橡胶颗粒混合均匀,然后铺装成均匀密实满足工艺要求的合格板坯;(5)预压 铺装后的板坯比较蓬松,强度小易断,必须对板坯进一步压实。预压压力为1.5~2.0 MPa,时间为30 mm·sec⁻¹;(6)热压 热压的加压过程分四段:快速闭合阶段,加压前段,加压后段,高压阶段。热压的三大要素:温度为180℃、热压压力为4.00~6.00 MPa、热压时间为220~240 s;(7)后期处理 后期处理包括:冷却、锯割、堆垛、和中间存放工序。

1.2 性能优势和应用领域

相对于普通人造板,木质-橡胶多功能环保复合材料主要具有以下特性优势^[11-13]:

(1)隔音吸声效果好 木质-橡胶复合材料具有

非常强的隔音吸声作用,可用于住宅的室内装修及体育场馆、大型超市等公共场所,在隔音吸声作用上是人造板所无法比拟的。

(2)高效吸收冲击能量和阻尼减震 木质-橡胶复合材料具有较强的抗冲击能力及防震效果,这是因为橡胶相的存在使材料的抗破坏能力大大提高,冲击强度可以提高到几倍或几十倍。

(3)具有优良的防水、防腐、防蛀性能 由于采用MDI作胶粘剂,橡胶作为主原料,使木质-橡胶复合材料具有优良的防水、防腐、防蛀性能,随着橡胶颗粒和MDI施胶量的增加,其防水、防腐、防蛀性能更加显著。

(4)防静电、阻热保温等其它功能 木质-橡胶复合材料的隔热保温作用使其可作为保温材料。另外,橡胶具有绝缘性,木质-橡胶复合材料可作防静电材料。

由于木质-橡胶复合板具备以上优越性能,使其不但可以用于普通人造板应用的领域,提高在传统

应用领域的竞争性,而且还可用于特殊场合,在隔音吸声性能方面,复合材料用于实验室、住宅、体育馆等运动场所、公共场所;公路隔音板、飞机场周围建筑及楼顶、天棚板隔音、音响等行业;在高效吸收冲击能量和阻尼减震性能方面,复合材料用于飞机、火车、汽车的厢体制造和内装饰材料、墙板、包装材料,如容器、包装板、货物托盘等,尤其,易损、防震等设备的包装用材;在防水、防腐、防蛀性能方面,地板基材、木结构房屋及室外用材;家具制造和建筑材料;在防静电、绝缘性能方面,用于电视、电脑、航天航空领域;在阻热保温性能方面,用于住宅及建筑门窗材料等。通过调整橡胶颗粒与木刨花的配比水平和 MDI 的施胶量及橡胶颗粒尺寸,可制备成复合人们要求和用途的多种功能复合材料,木质-橡胶复合材料的多功能环保特性使其具有广阔的应用及市场前景^[14,15]。

1.3 环境效益

废弃轮胎的“黑色污染”造成的危害已大于“白色污染”。目前,废旧轮胎仅有少部分被用于柏油公路及运动场用料,但绝大部分无法回收再利用。木质-橡胶多功能环保复合材料为利用废旧轮胎开辟了一条全新的途径。另一方面减少新的橡胶资源的需求量,同时减少制备橡胶与其他材料合成的生产成本^[16]。仅从以上两点木质-橡胶多功能环保复合材料就具有很好的经济环境效益。

木质-橡胶复合材料在制备时,采用了 MDI 作胶粘剂,UF 用量较少,有极少的游离甲醛释放,不能造成游离甲醛释放的污染,更迎合了现代人的要求。

因此,木质-橡胶多功能环保复合材料的开发和应用具有非常好的环境效益,尤其在环保呼声日益高涨的今天,该产品的成功研发与应用具有更加重要的意义^[17]。

2 研究现状

在国际上,木质-橡胶多功能环保复合材料的研究和应用较前沿,到目前为止,国内还未发现有木质-橡胶多功能环保复合材料的研究和报道。仅有使用 MDI 胶粘剂制备非木质刨花板的研究。

2.1 异氰酸酯(MDI)在非木质刨花板的应用

异氰酸酯(MDI)胶粘剂主要用于制备农作物秸秆、稻草人造板,由于农作物秸秆含有较高的硅和蜡对木材工业中传统的脲醛树脂、酚醛树脂等胶粘剂的胶合有很大的阻碍作用。多年来人们在致力于木材胶粘剂在农作物秸秆的研究发现,异氰酸酯胶粘剂(MDI)是一种化学活性很强的物质,能与活性氢的物质如水、胺、醇、脲和酸等反应,并生成特别牢固

的聚氨酯键,与麦秸可以粘用于制造人造板^[18]。花军、陆仁书等^[19,21]研究发现,二苯基甲烷二异氰酸酯胶粘剂(MDI)是制造非木质刨花板最好的胶粘剂,并且对于制板原料含水率要求低,固化时间短,生产和使用过程中,不散发有害气体游离甲醛,无毒,施胶量低。华冬^[20]研究了异氰酸酯在麦秸板中所起的作用,结果表明,异氰酸酯易溶于有机溶剂,由于它分子体积较小,很容易透入一些多孔粘接材料,从而提高了胶接性能。它与吸附在被胶接材料表面上水分及含水氧化物等发生化学反应,或在碱性的被粘接物表面上自行聚合,这些反应导致在界面上产生化学键,因而大大提高了胶结性能。陆仁书、濮安彬^[21]通过对稻草作为刨花板原料进行研究,由于稻草的纤维素含量低,SiO₂含量高,用 UF 胶难以制造出合格的产品,可利用提高密度到 0.80 g·cm⁻³或提高施胶量到 6% 的方法,使稻草刨花板性能达到优等品的指标。于文吉^[22]等针对异氰酸酯树脂对麦秸原料的胶合性能以及特点进行研究,异氰酸酯树脂能够渗透麦秸表面的薄膜,形成有效的胶合,适量增湿能改善麦秸板的物理力学性能。顾继友等^[23,24]对异氰酸酯胶粘剂制造稻草刨花板进行试验研究结果表明,密度是影响稻草刨花板各项性能的著性因子,各项性能随着密度的增大而得以改善,提高板的密度是改善板材各项性能的一种有效方法。

虽对 MDI 胶粘剂进行了许多研究,但总的来说,到目前为止真正成功应用于生产中还存在许多不足。主要原因:(1) MDI 价格大大高于 UF 胶粘剂,如何降低生产成本。(2) 由于 MDI 粘剂的-NC 活性较高,粘接性能,热压时造成成品板与金属模板粘附,因此,必须通过内或外脱膜剂的使用来解决这一问题,这也增加了产品的成本。(3) 具有较大的毒性。游离的 MDI 单体对于眼粘膜具有强烈的刺激催泪作用,长期吸入二异氰酸酯会损伤肺部,引起头痛、支气管炎、哮喘等疾病^[25]。(4) 由于固化剂中-NCO 基非常活泼,易与空气中的水反应,对施工环境中的潮气非常敏感,使施工极为不便,容易导致粘接失败,所以该胶并未获得广泛的商业使用。

2.2 木质-废旧轮胎橡胶多功能环保复合材料的研究

多年来,国外学者在木质-废旧轮胎橡胶复合材料方面作了一些探索性工作,但相关研究和报道较少。Han-seung Yang 等人^[26]研究了麦秸与废弃轮胎复合板,研究表明,采用 MDI 胶合的麦秸与废弃轮胎复合板具有与木制橡胶复合板同样的力学性能。并且,麦秸与废弃轮胎复合板也显示较好的隔

音、绝缘、抗腐蚀、抗腐烂特性;麦秸与废弃轮胎复合板可抗冲击、柔韧性较好、低廉。HANAFI ISMAIL, R. M. JAFFRI and H. D. ROZMAN^[27]通过对油棕榈木纤维-天然橡胶复合板的深入研究发现,掺入MDI,PF,UF胶粘剂的油棕榈木纤维-天然橡胶复合板制备时,胶粘剂的固化时间和内结合力随着施胶量的增加而增大。但硫化时间和固化率减少。掺入胶粘剂的油棕榈-天然橡胶复合板增加了部分物理力学和机械性能,如拉伸强度,拉伸模量及硬度。而复合板的拉伸性,疲劳寿命减少。随着各种胶粘剂施胶量的增加,复合板的界面结合应力增加。X. MICHAEL SONG, JIANN - YANG H. WANG yan^[28,29]通过对木质-废旧轮胎橡胶复合板的研究表明,木纤维与橡胶颗粒的混合比例,MDI的施胶量对复合板的物理力学,机械性能的影响非常显著。MDI能成功的胶合木质纤维与废弃轮胎颗粒合成多功能复合材料并且随着在木纤维-废弃轮胎橡胶颗粒中木纤维的比例的增加,MDI施胶量的增加,复合板的MOE,MOR,IB、杨式模量都增加。

综合以上的研究结果可以发现,国外研究者主要对木质-废旧轮胎橡胶多功能环保复合材料在物理力学和机械性能方面进行了研究,并没有系统的对木质-废旧轮胎橡胶复合材料胶合机理进行深入研究,尤其在生产工艺、工业化推广上还未见报道。对于木质-废旧轮胎橡胶多功能环保复合材料必须进行全面系统的深入研究。

3 存在问题

虽然,木质-废旧轮胎橡胶多功能环保复合材料具有许多性能优势和巨大市场潜能,但在目前的研究中还存在以下几个方面的主要问题:

3.1 制备采用单一的MDI胶粘剂,成本较高

MDI树脂具有环保、强度高、固化速度快、耐久性能好、对被胶接材料适应性强等优点^[30],受到木材工业部门的普遍重视。但异氰酸酯树脂价格非常昂贵,单独在人造板生产中使用异氰酸酯树脂在生产成本上目前尚不可行^[31,32],将普通脲醛树脂和MDI混合使用以降低成本是一条可探索的途径^[33,34]。本项研究正是在这样的背景下提出的。

3.2 仅考虑用木纤维与废旧轮胎橡胶颗粒制备木质-橡胶复合材料

木质-橡胶复合材料在实际应用时,需要较高的强度。木纤维与废旧轮胎橡胶颗粒的接触比面积较小,胶合强度相对较低,要提高强度必须增加胶粘剂的用量而提高了生产成本。如采用木刨花等与废旧轮胎橡胶颗粒作原料,木刨花与废旧轮胎橡胶颗粒

接触比面积较大,胶合时强度相对较高。在达到同样的胶合强度时施胶量较少,生产成本较低。

3.3 密度对木质-橡胶复合材料性能的影响^[35,36]

密度对复合材料性能的影响很大,尤其在IB、MOR、MOE等非常显著。必须全面系统的对密度的影响进行研究分析并建立数据模型。

3.4 建立合理的生产工艺

木质-橡胶复合材料迎合现代人环保、个性化、多功能的要求,具有巨大的发展空间和市场潜能,并且该新型产品作为全新材料填补材料行业一项空白。必须对其生产工艺进行深入的研究,建立完备的生产工艺及流程,走产业化道路^[37]。

3.5 橡胶颗粒尺寸最佳临界值(吸音隔声、抗冲击强度、阻尼减震等)系统的研究

在橡胶含量一定时,颗粒尺寸越大,粒子数越少,颗粒间距离越大,显然这对引发银纹和终止银纹都不利,增韧效果不佳,银纹现象能吸收大量的能量。但是通过大量实验表明,颗粒尺寸太小不利终止银纹,也没有明显的增韧效果。因此,存在一个临界的橡胶颗粒尺寸^[38]。橡胶颗粒尺寸对吸音隔声、抗冲击强度、阻尼减震等性能非常重要^[39]。

4 发展前景

由于木质-橡胶复合材料比原本木材制品具有更多优良性能,并且能够解决废弃轮胎再利用问题,减少"黑色污染",具有广阔的发展前景。但是,由于现有的木质-橡胶复合材料制备生产工艺不够完善,对于木质-橡胶复合材料的主要性能研究不够清楚,制造产品成本过高,到目前为止,国内外还没有实现工业化生产。关于木质-橡胶复合材料的研究和开发将主要集中在以下几个方面^[40]:

4.1 加强胶粘剂MDI和UF合成机理的研究

由于对于MDI和UF混合施胶用于木材和橡胶的研究到目前为止在国内外还没见报道,MDI和UF混合施胶反应比较复杂,通过利用扫描/环境电子显微镜观测木材刨花与橡胶颗粒胶接界面的微观结构,进一步深入研究MDI和UF胶接机理。

4.2 进一步降低木质-橡胶复合材料的制造成本

由于国内刚开始规模生产MDI胶粘剂,MDI的价格高,达28000元·t⁻¹以上,而UF在胶粘剂中价格仅有1700元左右,并且胶接木材效果较好,因此,通过深入研究MDI和UF混合配比水平,使用最佳的MDI和UF配比水平作胶粘剂,有效的降低制造复合材料的成本。

4.3 加强橡胶颗粒尺寸最佳临界值的研究

橡胶颗粒尺寸的大小对于木质-橡胶复合材料

的吸音隔声、高抗冲击性、阻尼减振性能起到较明显的效果,通过现代先进电子仪器观测,当木质-橡胶复合材料中橡胶颗粒受到声音和强冲击力的作用时的微观结构及通过现代仪器测定复合材料的吸音隔声、高抗冲击性、阻尼减震效果,最终确定橡胶颗粒尺寸的最佳临界值^[41]。

4.4 加强木质-橡胶环保复合材料的开发

通过调整施胶量和木质与橡胶的配比水平,可按照人们的意愿和用途,制备出适合不同应用领域的多功能产品,并提高木材使用价值和应用空间。

4.5 进一步提高科技含量及附加值

将木质-橡胶与其他材料进一步复合,如当今先进复合材料是指比强度大于 $4 \times 10^6 \text{ cm}$ 和比模量大于 $4 \times 10^8 \text{ cm}$ 的结构复合材料,目前,木质复合材料其相应值为 105 cm 和 107 cm。要使木质复合材料变成先进复合材料必须加入高强度的碳纤维等材料。木质-橡胶复合材料经纳米等先进技术处理,可研制出功能更强大、应用范围更广泛的现代尖端高科技产品^[42]。

4.6 为工业化生产奠定基础

通过对本质-橡胶多功能环保复合材料的深入研究,明确了 MDI 和 UF 合成机理,确定了橡胶颗粒最佳临界值,研究出较完备的规模化复合材料制备生产工艺,进一步降低木质-橡胶复合材料的制造成本,工业化生产木质-橡胶多功能环保复合材料将成为实现^[43]。

参考文献:

- [1] 魏清林,武策. 废旧轮胎的回收利用[J]. 山西建筑,2004,30(7):126.
- [2] 叶可舒. 对我国轮胎工业发展形式的思考[J]. 轮胎工业,2003,(3):17-18.
- [3] 姜治云. 我国废旧轮胎资源循环利用的现状及其发展前景[J]. 中国轮胎资源综合利用,2005,6(6):6-8.
- [4] 钱小瑜. 我国木材资源可持续发展商榷[J]. 人造板通讯,2005(5):8-9.
- [5] 李坚. 走向 21 世纪的木质复合材料[J]. 世界林业研究,1995(3):34-39.
- [6] 王恺. 木质纤维复合材料——一种有发展前景的复合材料[J]. 木材工业,1994(2):32-35.
- [7] 吴人洁. 复合材料[M]. 天津:天津大学出版社,2000. 12.
- [8] 徐滨雁. 木质复合材料研究概况[J]. 林业科技情报,2002(4):42-43.
- [9] 傅政. 橡胶材料性能与设计应用[M]. 北京:化学工业出版社,2003.
- [10] 杨清芝. 现代橡胶工艺学[M]. 北京:中国石化出版社,1997.
- [11] 山下晋一,金子东. 交联剂手册[M]. 北京:化学工业出版社,1990.
- [12] 叶克林,陶伟根. 新世纪我国木材科学与技术展望[J]. 木材工业,2001,15(1):3-6.

- [13] 张双保,杨小军. 木质复合材料的研究现状与前景[J]. 建筑人造板,2001(2):9-13.
- [14] 李坚. 木材科学[M]. 北京:高等教育出版社,1999.
- [15] 吕文华,赵广杰. 木材/木质复合材料阻燃技术现状及发展趋势[J]. 木材工业,2002,16(6):31-34.
- [16] 庚晋,白杉. 废旧轮胎回收利用现状和利用途径[J]. 再生资源研究,2003,12(4):11-15.
- [17] 王正,郭文静,高黎. 木塑复合刨花板性能、应用及发展趋势[J]. 人造板通讯,2005(9):23-26.
- [18] 张壁光,于志明,赵广杰,等. 木材科学与技术研究发展[M]. 北京:中国环境科学出版社,2004.
- [19] 花军. 异氰酸酯胶麦秆刨花板施胶量的研究[J]. 林产工业,2001,12(5):36-42.
- [20] 华冬. 异氰酸酯胶剂在麦秸板制造中的作用研究[J]. 建筑人造板,2001(1):31-33.
- [21] 陆仁书. 异氰酸酯胶壳板物理力学性能影响因素分析. 陆仁书文集[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,2002. 66-68
- [22] 于文吉,周月,任丁华,等. 异氰酸酯麦秸均质板的制造工艺[J]. 木材工业,2001,15(3):3-4
- [23] 顾继友,高振华. 异氰酸酯稻草刨花板制造工艺的研究[J]. 林产工业,2000,11(3):14-18.
- [24] 顾继友主编. 胶剂与涂料[M]. 北京:中国林业出版社,1999.
- [25] 虞兆年. 涂料工艺第二分册[M]. 北京:化学工业出版社,1996.
- [26] Han-seung Yang, Dae-Jun kim, Young-Kyu Lee. Possibility of using waste tire composites reinforced with rice straw as construction materials[J]. Bioresource Technology 2004. 95:61-65.
- [27] HANAFI ISMAIL, JAFFRI R M, ROZMAN H D. Oil palm wood four filled natural rubber composites: The effects of various bonding agents[J]. Intern J. Polymeric Mater,2001(49):311-322.
- [28] Song X M, Hwang J-Y. A study of the microscopic characteristics of fracture surface of MDI bonded wood fiber-recycled tire rubber composites using scanning electron microscopy[J]. Wood and Fiber Science,1997,29(2):131-141.
- [29] Song X M, Hwang J-Y. Mechanical properties of composites made with wood fiber and recycled tire rubber[J]. Forest Prod. J. 2001,51(5):45-51.
- [30] Mospreuve H, Knaub P. Proceedings of Polyurethane World Congress[C]. Canada: Vancouver, 1993. 297
- [31] Hsu, Wu-I-Isiung E. Adhesive systems and products formed using same and methods for producing said adhesive systems and products [P]. US6297313. 2001,10,2.
- [32] 艾军,陆仁书. 人造板用异氰酸酯胶剂的性质与应用[J]. 林产工业,2002,13(3):3-7.
- [33] 于红卫. 异氰酸酯胶剂在人造板中应用效果的研究[J]. 林产工业,2004,15(1):23-27.
- [34] 林巧佳. 异氰酸酯胶无毒低密度杉木刨花板的制造[J]. 木材工业,2000,14(3):27-30.
- [35] Jones N. Optimising the properties of straw based particleboard [D]. M. phil thesis. University of Wales, Bangor 1997.
- [36] 王伟宏,陆仁书,谭海彦,等. 异氰酸酯胶麦秸刨花板密度对力学性能的影响[A]. 全国农业剩余物及非木材纤维的综合利用新技术研讨会论文集. [C]. 哈尔滨,2001. 81-86.

- [19] 张建国. 福建森林综合效益计量与评价[J]. 生态经济, 1994 (5):1-6, (6):10-16.
- [20] 周庆生. 生态经济型防护林体系效益评价原则和指标体系[J]. 林业经济, 1993(6):54-57.
- [21] 雷孝章, 王金锡, 彭沛好, 等. 中国生态林业工程效益评价指标体系[J]. 自然资源学报, 1999, 14(2):175-182.
- [22] 慕长龙. 长江中上游防护林工程效益评价研究[D]. 北京林业大学, 1998.
- [23] 王宏兴. 多目标决策灰色关联投影法在小流域水土保持生态工程综合效益评价中的应用[J]. 水土保持研究, 2003, 10(4):43-45.
- [24] 庞恒才, 安和芳, 张全平, 等. 黑龙江省天然林保护工程生态效益评价[J]. 林业勘察设计, 2001, 118(2):26-27.
- [25] 谭俊. 国有林区天然林资源保护与经济社会发展问题[J]. 内蒙古林业调查设计, 1999, (3):85-88.
- [26] 赵德缙, 彭学林, 陈世虎. 实施天保工程封山育林效益评价[J]. 防护林科技, 2004, (5):54-55.
- [27] 段绍光, 吴明作, 王慈民, 等. 河南省天然林保护工程效益评价分析[J]. 北京林业大学学报(社会科学版), 2002, 1(4):38-41.
- [28] 支玲, 林德荣, 李怒云, 等. 西部退耕还林工程社会影响评价——以会泽县、清镇市为例[J]. 林业科学, 2004, 40(3):2-11.
- [29] 侯军岐, 张社梅. 黄土高原地区退耕还林还草效果评价[J]. 水土保持通报, 2002, 22(6):29-31.
- [30] 高军, 贾志文, 刘艳华, 等. 乌拉特中旗退耕还林工程试点阶段性社会经济效益评价[J]. 内蒙古林业调查设计, 2003, 26(1):20-22.
- [31] 侯宁. 从青海大通县看退耕还林效益[J]. 林业经济, 2003, (3):29-30.
- [32] 梅再美, 熊康宁. 喀斯特地区水土流失动态特征及生态效益评价——以贵州清镇退耕还林示范区为例[J]. 中国岩溶, 2003, 22(2):136-143.
- [33] 宫伟光, 向开馥, 王明忠, 等. 防护林区区域性生态效益的评价[J]. 东北林业大学学报, 1997, 28(1):1-7.
- [34] 李卫忠, 郑小贤, 赵鹏祥. 生态公益林建设效益评价指标体系初探[J]. 内蒙古大学学报, 2001, 22(2):12-15.
- [35] 张会楠. 从人与自然的关系社会的可持续发展[J]. 世界林业研究, 1997, 10(4):51-55.

(上接第 140 页)

- [37] 白川. 使用高黏度黏结剂的橡胶木质复合板的成型加工装置的研究[J]. 林产试验场报, 2002, 16(5):35-38.
- [38] 邓本诚. 橡胶并用与橡胶共混技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.
- [39] 雪. 日本利用废旧轮胎制涂料[J]. 新型建筑材料, 2003.
- [40] 季佳. 木材胶粘剂生产技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [41] Brydson J. A. Rubber Chemistry [M]. London, Cambridge Press: 1978. 69-73.
- [42] 马岩. 纳微米科学与技术木材工业的应用前景展望[J]. 林业科学, 2001, 37(6):109-112.
- [43] 沈贵, 张文玲. 中国木材工业现状与未来[J]. 林产工业, 2002, 30(1):3-5.

(上接第 151 页)

- [6] Duncan J, Stow D, Franklin J. Assessing there lationship between spectral vegetation indices and shrub cover in the Jornada Basin, NewMexico[J]. International Journal Remote Sensing, 1993, 14(18):3395-3416.
- [7] Larsson H. Linear regressions for canopy cover estimation in Acacia wood lands using Landsat-TM/MSS and SPOTHRV-XS data [J]. International Journal Remote Sensing, 1993, 14(11):2129-2136.
- [8] 张仁华. 实验遥感模型及地面基础[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [9] 陈云浩, 李晓兵, 史培军. 北京海淀区植被覆盖的遥感动态研究[J]. 植物生态学报, 2001, 25(5):588-593.
- [10] 雷丽萍, 胡德水, 江平. 森林虫害的遥感监测模式研究[J]. 遥感信息, 1995(3):20-21.
- [11] 胡良军, 邵明安. 论水土流失研究中的植被覆盖度量指标[J]. 西北林学院学报, 2001, 16(1):40-43.
- [12] 王劲峰. 中国自然区划[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [13] 许鹏. 草地资源调查规划学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [14] Fung T. Situ W. Environmental quality and its changes, ananalysis is using NDVI[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(5):1011-1024.
- [15] Macleod RD, Congalton RG. A quantitative comparison of change-detectional gorithms for monitor in geel grass from Remotely sens data[J]. Photogrammetric of Engineering and Remote Sensing, 1998, 64(3):207-210.
- [16] 陈正宜. 晋陕蒙接壤地区脆弱生态系统遥感监测与管理研究[M]. 北京: 宇航出版社, 1994. 24-36.