



生命周期评价体系在人造板工业的应用及研究进展

张方文 于文吉

摘要: 笔者总结了当前国内外人造板工业生命周期评价体系LCA的应用及研究进展,分析了生命周期评价体系在我国人造板工业领域应用存在的不足之处,包括人造板LCA研究面有待扩大、数据清单质量较低及人造板本土化数据库缺乏,并对LCA在我国人造板工业领域的未来应用进行了展望。

关键词: 生命周期评价;人造板;工业应用;研究进展

中图分类号:TS653 文献标识码:A 文章编号:1001-5299(2015)11-0018-05

A Review of LCA's Application to Wood-based Panels Industry and Research Progress

ZHANG Fang-wen YU Wen-ji

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: The application of LCA and its research progress at home and abroad of wood-based panel industry was summarized in this paper, the shortcomings of the life cycle assessment system's application at the China's wood-based panel areas were analyzed, including the narrow LCA study scope in wood-based panel, low list data quality, and lack of localization data inventory database. And the LCA application of China's wood-based panel in the future was also presented in this article.

Key words: Life cycle assessment; Wood-based panels; Industry application; Research progress

生命周期评价(Life cycle assessment, LCA)是评价产品在整个生命周期中造成的环境影响的方法,是一个评价与产品、工艺或行动相关的环境负荷(包括原材料的提取和加工,生产、运输和分配,使用、再使用和维护,再循环以及最终处置)的客观过程^[1]。LCA为产品系统实施全面的环境质量管理提供了依据。目前,国内外围绕着材料、产业及其制品的LCA指标体系和方法的构建展开了诸多研究,并且颁布了相关的标准。LCA在中国的应用领域十分广泛,其在中国木材工业领域的应用始于21世纪。

相比之下,由于不同于其他工业化程度高的先进行业,2000年前我国人造板工业发展长期受困于生产设施简陋、工艺流程不规范、工业自动化程度低等因素的影响,我国对人造板的LCA研究甚少。而2000年后我国人造板行业进入快速发展阶段,人造板现代化装备水平与生产线规模逐年提高,我国人造板产品质量

稳步提升,特别是2006年我国力压各国成为世界人造板业第一生产大国^[2],国内对于人造板的LCA研究明显增多。而如今,高品质的人造板产品已广泛应用于居民生活的方方面面,人们对于人造板产品以及人造板生产型企业的环境负荷的关注度也日益提高。

1 生命周期评价体系的工具

为了做好软件LCA评估,近年来,国内外已开发出数十个用于LCA的软件,以及用于环境管理系统(EMs)的软件。这些软件在计算方法和特点上有所区别,有一些是企业或研究机构的内部软件,也有相当数量的商业软件。这些软件的开发促进了LCA的全面应用,其中比较著名的LCA评价工具大部分来自于欧洲:德国的GaBi软件由Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde公司开发并建立了完整的数据库,它主要偏重于工业应用领域;荷兰的Simapro软件由PRé Consultants公司开发,其使用的是Ecovane数据库,侧重于基础理论研究;以及瑞典Chalmers Industriteknik公司开发的LCAIT和英国Pira International公司研发

张方文,博士研究生,中国林科院木材工业研究所

于文吉(通讯作者),单位同第一作者,E-mail:yuwenji@caf.ac.cn

收稿日期:2015-07-17



的PEMS。另外还有来自美国Ecobalance公司开发的TEAM^[3,4]等。

2009年国内首个具有自主知识产权的通用型生命周期评价(LCA)软件——eBalance发布,它由亿科环境科技有限公司(IKE)研发,并组建了国内目前最为完整和完善的LCA数据库CLCD。

2 国内外研究现状及发展趋势

2.1 国外人造板行业生命周期评价体系的研究

欧美等发达国家正式将LCA应用于木材加工领域最早可以追溯到上世纪90年代;其后加拿大的Forintek研究所于1992年设立了木质材料LCA项目研究组;1995年,欧共体诸国的木材关联研究机构成立了科学技术合作行动E9小组(COST Action E9)^[5]致力于林木产物的LCA研究;1996年,美国CORRIM联盟开始对木质制品进行LCA研究;1997年,日本针对木材生产及其运输、木质材料、木结构房屋、木材资源利用等展开LCA研究。在这些研究中,LCA报告所涉及的木质产品从木质原料到木质加工产品,涵盖了中密度纤维板(MDF)、刨花板和地板的非结构用人造板,以及包括定向刨花板(OSB)、胶合板、单板层积材和胶合木的结构用材,研究成果颇为丰富^[6]。

2.1.1 国外中密度纤维板(MDF)行业LCA研究

加拿大A. Fröhwald^[7]对加拿大11个工厂分析结果表明:综合不同工厂的原材料输入、胶水类型、具体产品质量,工艺上的差异(干燥、热压等),各工厂木材的利用效率基本为87%~89%,施胶量波动幅度为7.8%~11%。而70%~97%的能量来自可再生能源,电力消费变化的范围在90 kW·h/m³至160 kW·h/m³间波动。2007年,加拿大的Beatriz Rivela^[8]等采用LCA对中密度纤维板生产过程的敏感性分析表明:产品的运输和电力构成对环境负荷的重大影响。2013年,加拿大^[9]另一项研究提供了一个加拿大MDF工业全面的cradle-to-gate LCA。2014年, Richard D. Bergman^[10]的研究主要数据收集自7家代表北美96%人造板产能的企业,分析显示生产1m³的烘干纤维板累积分配能源为8.63GJ/m³,生产过程建模后出现的排放数据为生物质和化石燃料二氧化碳,排放量分别是43.2 kg/m³和298kg/m³。

日本的学者对中密度纤维板的生产过程进行了研究。发现备料系统的电力消耗最高,在健康危害和资源破坏方面影响最大;脲醛胶的使用对生态系统造成了较大破坏。环境负荷受产品的运输和电力影响较生命周期评价体系在人造板工业的应用及研究进展——张方文

大,这表明产品能源消耗与所需的运输距离为正比关系;而燃煤发电的比例越大,环境负荷越大^[11,12]。

2.1.2 国外刨花板(PB)行业LCA研究

2006年,日本纤维板工业会^[6]对刨花板(PB)的研究发现:PB制造过程中的CO₂排放量,蒸汽制造贡献了60%,电力消耗贡献了40%,LCA结果受胶黏剂类型的影响有限。同年,加拿大的Beatriz Rivela等^[13]采用LCA对刨花板生产过程进行分析表明:砂光工序对人体健康损害最大,刨花制备工序对生态和资源的负荷影响最大。2013年,加拿大的LCA “cradle-to-gate”研究^[14]表明制造阶段,尤其是烘干和板材成型阶段,对刨花板的生命周期评价影响较大;纤维制备和资源运输到工厂只占产品环境影响的较小份额。

2.1.3 国外定向刨花板(OSB)行业LCA研究

Enrico Benetto.etc研究^[15]旨在根据ISO 14040—44的标准,通过生命周期评价(LCA)汽相干燥环境提供的附加值。研究目的是比较OSB生产流程以前和当前的环境表现。实验证明LCA绝对是从环境的角度来识别、比较其他类设计的最好工具。

2012年,加拿大Athena Sustainable Materials Institute^[16]进行的研究旨在为加拿大9.5mm1m³(体积)的OSB提供“cradle-to-gate”环境概要,为加拿大的OSB产业开发提供生命周期数据和评估结果影响因素。2005年,美国D.E.Kline^[17]通过研究4个东南部的OSB制造工厂来研究东南部OSB生命周期。调查的工厂代表调查地区大约18%的OSB产量。2013年,美国Maureen Puettmann等^[18]收集到了美国主要木制品生产企业的LCA生命周期清单数据。生命周期清单数据涵盖了从森林再生成品、包装到准备装运的每个阶段的数据。

在欧洲,EGGER公司^[19]为制造生命周期模型,使用了综合软件系统GaBi 4(GaBi 2006)。Kronospan^[20,21]还曾利用LCA改进产品,使OSB生产过程对环境的影响整体减少5%,并于2007年11月获FEDIL国家工业环境奖。

2.1.4 国外其他人造板行业LCA研究

加拿大Forintek^[22]的报告指出,未来,LCA的全球化趋势在生物质能源、纤维高分子材料、纳米结晶纤维素等领域,LCA评价有望得以发展。同时,随着LCA全球化趋势的不断增强,要逐步完善LCA评价系统、更新LCA数据库,以使LCA更加符合木材加工领域的实际情况。2005年,美国J.B. Wilson^[23]曾调查收集太平洋西北部和东南部针叶胶合板生产设施。



2.2 国内人造板行业生命周期评价体系研究

与欧美、日本等国相比, LCA在21世纪才开始应用于我国木材加工领域,而用于竹木等林产品的研究甚少。国内学者还没有开始利用LCA评价软件对林产品整个生命周期中物质和能量的输入、输出进行定量分析,并研究其整个生命周期的环境影响。中南林业科技大学以刨花板、中密度纤维板为研究对象的LCA研究是迄今为止唯一有文献记载的研究,但也仅限于对产品的生命周期评价进行定性或半定量的描述。

我国人造板工业在生产过程中消耗大量资源, 环境污染较为严重。且由于制造过程中添加了胶黏剂、防水剂等其他物质, 使其再资源化率下降, 浪费了资源和能源^[24,25]。针对人造板产业的研究, 多半考虑产品的物化性能和使用性能, 很少考虑其环境属性。随着人造板产业升级, 为提高我国人造板产品在国际市场上的竞争力, 我们很有必要抓紧开展针对人造板的环境影响评价研究工作。

2.2.1 国内MDF行业LCA研究

2006年, 薛拥军、向仕龙等^[26]对MDF的生产过程进行了生命周期评价及模式分析, 并详细分析了我国现阶段MDF生产和使用过程的资源利用、能源消耗、污染物的产生、废弃物的利用等因素对环境的影响, 各生产阶段对环境的影响。同年, 刘文金^[27]以MDF为研究对象, 以“环境负荷”为综合性指标, 揽括了生产使用过程中的所有环节, 并确定了研究过程中采样点的选择、数据收集、编目分析、评价模型建立、权重系数确定等具体方法, 从4项分项指标维度(选定资源、能源、废弃物、使用过程中的挥发物污染)进行评价, 并探讨了中密度纤维板生态循环周期评价的数学模型。2009年, 薛拥军等^[28]采用生命周期评价的方法对板式家具和中密度纤维板生产过程对环境的影响进行了评估, 对中密度纤维板产品, 构建了生产系统综合评价模型。

2.2.2 国内PB行业LCA研究

2007年, 向仕龙、魏新莉等^[29]从生命周期的角度分析了刨花板生产阶段的环境特性。他们根据刨花板生产阶段的环境特性, 从能源消耗、原材料消耗方面、环境影响方面寻找造成环境影响的关键环节, 为改善刨花板生产工艺、减少环境污染提供依据。其选用的评价指标包括能源消耗、原材料消耗和环境影响(分为废气、污水、噪音)3个方面。研究结果表明: 刨花板制备中主要能源消耗过程是刨花制备、刨花干燥和板坯铺装热压, 占比达70%~75%; 生产1m³的刨花板产品需

要消耗1.4m³的小径木枝桠材原料; 得出刨花板整个生产过程所产生的环境负荷值(包括二氧化碳、污水排放量和噪音)。

2.2.3 国内OSB行业LCA研究

OSB作为国际人造板行业中不可置疑的新秀产品, 是一种资源环境友好、性能优良的新型结构板材。然而, 我国OSB产业发展却一直不尽人意, 直到2010年才有第一条真正意义的规模化连续生产线投产, 尽管近年来不少现代化OSB工厂接连开工建设和陆续投产, 乐观预计2015年底我国OSB总产能将突破100万m³^[30]。在LCA研究方面, 国内针对OSB以及胶合板等结构用人造板产品的研究几乎为空白。

2.2.4 国内其他人造板行业LCA研究

2007年, 王爱华^[30]对竹地板与实木地板的生产过程进行生命周期评价。其采用的软件是SimaPro 6.0。研究结果表明: 在竹地板的生命周期中, 环境负荷最大的环节依次是竹条生产阶段, 板坯生产、地板成品生产和使用阶段。整个生产阶段中, 资源损害较大; 在实木地板的生命周期中, 环境负荷最大的环节依次是地板生产阶段, 地板废弃和使用阶段; 整个生产阶段中, 资源损害、能源消耗较大。总体而言, 从工艺水平的角度分析, 实木地板的环境影响优于竹地板, 但影响结果相差微乎其微。

2010年, 李晓平^[31]以农作物秸秆人造板为研究对象, 利用生命周期评价法对其全生命周期的环境特性进行了定性评价, 并与木质人造板的环境特性进行对比分析。研究结果表明: 农作物秸秆人造板较木质人造板在保护土地资源、固碳和保护森林资源方面都具有明显的优势, 而在钢材、混凝土、玻璃、化石能源、人力、电力和水资源等消耗方面与木质人造板无明显差异。2011年, 余翔^[32]以竹集成材地板和竹重组材地板为研究对象, 采用SimaPro 6.0环境影响评价软件进行了生命周期评价。研究结果表明: 竹重组材地板的原料利用率高, 经济效益显著, 总体上看, 制造1m²竹重组材地板造成的环境负荷大约是竹集成材地板的1.61倍。

3 生命周期评价体系在我国人造板领域应用存在的问题

1) LCA人造板研究面有待扩大。我国是世界最大的人造板生产国, 人造板品种极为丰富, 目前我国人造板现有文献记载的LCA研究仅覆盖了中密度纤维板、刨花板、农作物秸秆人造板及部分竹材人造板产

品,而市场产销两旺的胶合板,细木工板,结构型板材如集成材、定向刨花板、单板层积材新型人造板产品,以及特殊用途的水泥刨花板、石膏刨花板、阻燃板、防潮板、耐水板和隔音板等其它人造板品种还均未涉及。

2) LCA数据清单质量较低。在评价我国人造板产品的生命周期时,研究人员往往参照产品的典型生产工艺和全国平均水平,同时通过个人的专业判断来获取数据,这容易使数据不准确,从而导致结论错误。在实际操作过程中,包括系统边界、数据收集和影响类型等是通过主观界定的,数据的随意性较大;其次,胶黏剂品种的使用对于LCA的环境评估影响较大,要充分考虑不同的胶种如PF/UF/MUF/MDI以及不同工艺的影响,但木材工业用胶黏剂、相关能源、电力和运输等系统缺乏权威的统计标准,为此我国人造板LCA研究时不得不避开胶黏剂或使用他国的统计标准。

3) 人造板本土化数据库缺乏。尽管我国人造板工业发展实际水平与发达国家存在一定差异,但我国并没有建立较为完整的人造板行业数据库,目前我国已开展的木材加工领域LCA应用均广泛采用的是欧美国家的数据库。因为LCA结论的可靠性很大程度上取决于LCA基础数据库,考虑到如中国电能、水源、天然气、煤炭等能源结构与主要发达国家有所不同,我们需要对数据进行本土化修正,以修正消耗等量能源的环境负荷数据^[33]。

4 生命周期评价体系在我国人造板领域的应用展望

随着全球环境意识的增强,作为资源高度依赖型的人造板工业,必须严格遵循可持续发展原则,才能走出一条高科技、高效益、低消耗、少污染的新型环境材料的路子^[34]。我国人造板行业在LCA方面的研究比较薄弱,尤其是对OSB、胶合板等结构用人造板品种的研究方面几乎空白。这些薄弱、空白的领域亟待完善,需由各方努力建立起一套比较完整的人造板产品LCA评价指标体系,将具有很强的现实意义。

这就要求我们从生命周期的角度分析或综合评价人造板的环境属性,系统评估其整个生命周期(原材料采集、单元制备、干燥施胶、铺装热压成型、货物运输、使用维护、回收处理、再利用)的环境负荷值^[35]。这将便于人们系统、全面地认识人造板的性能,同时服务于产业转型升级,为我国人造板工业赢得发展先机,赢得竞争优势,赢得美好未来,推动我国人造板行业真正由中国制造走向中国创造。

参考文献

- [1] 邓南圣,王小兵. 生命周期评价[M]. 北京:化学工业出版社, 2003.
- [2] 国家林业局. 2014年中国林业统计年鉴[M]. 北京:中国林业出版社, 2014:87-89.
- [3] Linda M Gustafsson, Pal Borjesson. Life Cycle Assessment in Green Chemistry—A comparison of various industrial wood surface coatings[J]. Int J LCA, 2007, 12(3):152-159.
- [4] PR & Consultants. 2014. SimaPro 8 Life-Cycle assessment software package, Version 7. Plotter 12, 3821 BB Amersfoort[EB/OL]. [2014-03-22]. The Netherlands, <http://www.pre.nl/>.
- [5] Gerfried Jungmeier, Frank Wemer, Anna Jarnehammar, et al. Allocation in LCA of wood-based products: Experiences of cost action E9 (Part I. Methodology) [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2002, 7(5):290-294.
- [6] 谢立生. 木材工业生命周期评价研究现状[J]. 木材工业, 2010, 24(5):28-31.
- [7] Fr ü hwald A, University of Hamburg/Germany Hasch J, Kronopol Zary/Poland. Life Cycle Assessment of Particleboards and Fibreboards[R]. 1998.
- [8] Beatriz Rivela. Life cycle inventory of medium density fiberboard[J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2007, 12(5):143-150.
- [9] Athena Sustainable Materials Institute Ottawa, ON. A Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment of Canadian Medium Density Fiberboard (MDF)—2013 Update[R]. September, 2013.
- [10] Richard D Bergman. Life-Cycle Inventory Analysis of Cellulosic Fiberboard Production in North America[C]. Proceedings of the 57th International Convention of Society of Wood Science and Technology, June 23-27, 2014 - Zvolen, SLOVAKIA.
- [11] 寺岛敏, 加藤庆子, 服部顺昭, 等. 刨花板的生命周期清单分析[C]. 第2届EILCA学会研究发表会讲演要旨集, 东京, 2007.
- [12] 过本广树, 服部顺昭, 涌田良一. 湿法硬质纤维板的生命周期清单分析[C]. 第3届日本LCA学会研究发表会讲演要旨集, 京都, 2008.
- [13] Beatriz Rivela, Almudena Hospido, Teresa Moreira, et al. Life cycle inventory of particleboard: A case study in the wood sector[J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2006, 11(2):106-113.
- [14] Athena Sustainable Materials Institute Ottawaon. A Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment of Canadian Particleboard—2013 Update[R]. September, 2013.
- [15] Enrico Benetto, Marko Becker and Joëlle Welfring. Life Cycle Assessment of Oriented Strand Boards (OSB): from Process Innovation to Ecodesign[J]. Environmental Science & Technology, 2009, 43(15), 6003-6009.
- [16] Athena Sustainable Materials Institute. A Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment of Canadian Oriented Strand Board: An Update[R]. October, 2012.
- [17] Kline D E. Gate-to-gate life cycle inventory of oriented strandboard production[J]. Wood and Fiber Science, 2005, 37(Special Issue):74-84.
- [18] Maureen Puettmann, Elaine Oneil, Earl Kline, et al. Cradle to Gate Life Cycle Assessment of Oriented Strandboard Production from the Southeast[R]. April, 2013.
- [19] EGGER EUROSTRAND® OSB EGGER OS' Brace®. Environmental Product Declaration according to ISO 14025[R]. Institut Bauen und Umwelte.V. Declaration number:EPD-EHW-2008112-E.25. February, 2012.

(下转第30页)



剪切木破率均达95%以上,差异性较小。每组的湿态剪切强度均高于标准规定的上限3.9MPa,其中组4的湿态剪切木破率为100%,这可能是由于等离子体可有效活化材料表面进而提高了材料表面的润湿性从而弥补HMR对材料表面润湿性的折损^[7]。组5湿态剪切木破率为81%,远低于组4,说明过度的等离子体处理会损伤材料表面基体,对胶合性能有所损伤。

3 结论

1) 综合剥离率与剪切强度等胶合性能评价指标及参照前人研究成果^[12],得出:GFRP增强竹木复合结构用集成材木梁的胶合界面优化工艺为:GFRP表面不作处理;木材与竹材表面分别预先以2.5、1.25 m/min送料速度进行5次射频功率为400W的等离子体处理,随即以150g/m²的涂布量涂布HMR。

2) 胶合性能测试结果表明:GFRP/竹胶合试材浸渍剥离率为0,试材胶层仅在第二轮煮沸剥离循环时有些微剥离,干态、湿态剪切木破率均在97%以上;竹/木胶合试材在经两轮浸渍、煮沸剥离循环后胶层均未产生剥离,干湿态剪切木破率均高于96%。

4 结束语

笔者研究了GFRP/结构用集成材的优化胶合界面改性处理工艺,但在胶合界面改性机理方面的研究不足,未来可通过接触角、表面自由能等参数改性处理表面的润湿性,亦可采用XPS测定改性表面的元素化合

物组成结构以探究等离子体预处理、HMR二次处理对胶合界面改性的内在机理。

参考文献

- [1] 陈小英,陈明政,李唐宁. FRP片材预应力加固技术国内外研究现状[J]. 山西建筑, 2009, 35(8):62-64.
- [2] Brunner M, Schnueriger M. Timber beams strengthened by attaching prestressed carbon FRP laminates with a gradiented anchoring device[C]. Proceedings of the international symposium on bond behaviour of FRP in structure, 2005:465-471.
- [3] 王锋,王增春,何艳丽. 预应力纤维材料加固木梁研究[J]. 空间结构, 2005, 11(2):34-38.
- [4] Martin L, Properzi M, Pichelin F. Pre-stressed FRP for the insitu strengthening of timber structures[C]. Proceedings of 9th World Conference on Timber Engineering WCTE, 2006.
- [5] 刘一星,赵广杰. 木质资源材料学[M]. 北京:中国林业出版社, 2004:202.
- [6] 秦吉红,丁百川. BFRP与竹材界面粘结性能的影响因素[J]. 工业建筑, 2014, 43(增刊):184-186.
- [7] 王洪艳,杜官本. 冷等离子体技术在木竹材表面改性中的应用及研究进展[J]. 化学与黏合, 2013, 35(1):57-60.
- [8] 黄河浪,卢晓宁,薛丽丹,等. 用氧等离子体处理改善竹地板胶合性能[J]. 浙江林学院学报, 2006, 23(5):486-490.
- [9] 张真真. 玄玻璃纤维增强树脂/木质复合材料界面胶合[D]. 南京:南京林业大学, 2012.
- [10] 马春梅,申士杰,张鹏翼. BFRP增强结构用集成材胶合性能的研究[J]. 木材加工机械, 2013(1):27-30.
- [11] Gardner D J, Tze W T, Shi S Q. Adhesive wettability of hydroxymethyl resorcinol (HMR) treated wood[C]. Proc. of the Wood Adhesives 2000 Conf. Forest Products Society, Madison, WI, 2000:321-327.
- [12] 邱晨. FRP/低温等离子处理胶合工艺研究[D]. 北京:北京林业大学, 2014.

(责任编辑 张国萍)

(上接第21页)

- [20] Kronoply OSB/Kronopol OSB Kronoply GmbH, Kronopol Sp. z o.o., Kronofrance SAS. Environmental Product Declaration in according to ISO 14025[R]. Institut Bauen und Umwelt.V. Declaration number:EPD-KRO-2009111-E.20, October, 2011.
- [21] New and environmentally friendly OSB panels LIFE05 ENV/LU/000047 ECOSB[R]. Layman's Report.Kronospan Luxembourg S.A., B. P. 109, L-4902 Sanem, Luxembourg, 2008.
- [22] Athena Sustainable Materials Institute. A Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment of Canadian Softwood Plywood Sheathing:An Update[R]. October, 2012.
- [23] Wilson J B and Sakimoto E T. Gate-to-gate life-cycle inventory of softwood plywood production[J]. Wood and Fiber Science, 2005, 37 (Special Issue): 58-73.
- [24] 洪紫萍,王贵公. 生态材料导论[M]. 北京:化学工业出版社, 2001.
- [25] 王新杰,曹武军. 产品生命周期评价体系研究[J]. 郑州轻工业学院学报, 2003(2):35-38.
- [26] 薛拥军,向仕龙,刘文金. 中密度纤维板产品的生命周期评价[J]. 林业科技, 2006, 31(6):47-49.
- [27] 刘文金. 中密度纤维板生态循环周期评价理论的研究[J]. 中南林学院学报, 2006, 26(4):117-119.
- [28] 薛拥军,王君. 板式家具产品的生命周期评价[J]. 木材工业, 2009, 23(4):22-25.
- [29] 向仕龙,魏新莉,刘文金. 从生命周期角度评价刨花板的环境特性[J]. 中南林业科技大学学报, 2007(6):166-168.
- [30] 王爱华. 竹/木质产品生命周期评价及其应用研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2007.
- [31] 李晓平,周定国,于艳春,等. 利用生命周期评价法评价农作物秸秆人造板的环境特性[J]. 浙江林学院学报, 2010, 27(2):210-216.
- [32] 余翔. 竹集成材地板和竹重组材地板生命周期评价(LCA)比较研究[D]. 福州:福建农林大学, 2011.
- [33] 李慧媛,黄思维,周定国. 生命周期评价体系在我国木材加工领域的应用[J]. 世界林业研究, 2013, 26(2):54-59.
- [34] China. Global Forest Resources Assessment 2010 Country Report [M]. Rome: Food and Agriculture Organization of The United Nations, 2010:15.
- [35] 邓金锋. 生命周期评价法(LCA)在环境评估中的应用[J]. 海峡科学, 2009(6):123-124.

(责任编辑 余珊)