

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2015.04.007

印刷服务碳足迹评价方法及碳排放计算器的开发

皮阳雪, 陈海生, 熊立贵, 李 娜

(中山火炬职业技术学院 包装印刷系, 广东 中山 528436)

摘要: 以印刷服务业为研究对象进行了碳足迹评价, 建立了适用于印刷服务的碳足迹评价模型, 并在此基础上开发了一款碳排放计算器。通过对4家典型书刊印刷企业的实地调研, 完善了实施碳足迹评价的数据收集方案, 获得了来自于行业的实际初级数据和次级数据, 包括印前、印刷、印后加工3个阶段的碳排放系数, 为碳排放计算器的研发打下基础。基于生命周期法的印刷服务碳足迹评价方法能够较好地确定印刷服务的碳排放源, 研发的碳排放计算器有助于印刷企业计算企业内部的“碳成本”消耗情况。60多家印刷企业的试用结果表明, 该碳排放计算器的企业满意度高达83%, 实现节能减排30%, 管理成本下降3.6%, 企业平均利润上升2.5%。这一结果表明, 所研发的计算器能较好地反映印刷服务的碳排放水平, 从而有利于指导行业有效开展低碳减排工作, 为客户在全行业内比较产品和服务时提供比较精确的计算方法。

关键词: 印刷服务; 碳足迹; 碳排放计算器

中图分类号: TS801.8

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2015)04-0035-06

Printing Service Carbon Footprint Evaluation Methods and Development of Carbon Emission Calculator

Pi Yangxue, Chen Haisheng, Xiong Ligui, Li Na

(Department of Packaging and Printing, Zhongshan Torch Polytechnic, Zhongshan Guangdong 528436, China)

Abstract: By taking printing service as the object of study, carbon footprint was assessed with the establishment of carbon footprint evaluation model for printing service, upon which a carbon emission calculator was developed. After field research in four typical book printing enterprises, the carbon footprint evaluation data collection program was improved with the acquisition of actual primary data and secondary data of carbon emission factors, covering the stages of prepress, printing, and post-press finishing, which laid the foundation for the development of carbon emission calculator. The printing service carbon footprint assessment method based on lifecycle could be a good method to determine the source of the printing carbon emissions. More than 60 printing enterprises' trial results indicated 83% degree of satisfaction for the carbon calculator with 30% energy saving and emission reduction, 3.6% reduction in management costs, and average 2.5% increase in corporate profits. The results showed that the research and development of the calculator could well reflect the carbon emission level in printing service, thus guide the carbon emission reduction, and provide more accurate calculation method for clients when it comes to comparing the products and services.

Key words: printing service; carbon footprint; carbon emission calculator

收稿日期: 2015-05-13

基金项目: 中山市科技计划基金资助项目(2014A2FC339)

作者简介: 皮阳雪(1974-), 男, 湖南永州人, 中山火炬职业技术学院讲师/工程师, 硕士, 主要从事印刷工艺和绿色印刷研究,
E-mail: pyx19741105@163.com

0 引言

所谓“碳”，特指二氧化碳等温室气体。印刷品的碳足迹（carbon footprint）评价，是指分析印刷企业在生产过程中引起的温室气体排放的来源环节，并计算其总的排放量，用以描述企业的能源意识和行为对自然环境产生的影响^[1]。

对于印刷企业而言，确定其生产过程中的碳足迹是减少企业碳排放行为的第一步，它能够帮助企业辨识自身的生产在生命周期中主要的温室气体排放过程，以利于制定有效的碳减排方案^[2]。另外，企业通过对产品的碳足迹分析，可以改善内部的运营，节能减排，节省成本；还可以作为一项营销策略，帮助企业获得竞争优势，特别是有国际贸易业务的印刷企业，面对绿色贸易壁垒的挑战，更应该主动与国际接轨，积极开展印刷服务的碳足迹评价工作，加快绿色印刷进程^[3]。

在当前全球气候变暖的趋势下，印刷碳足迹评价工作日渐得到各国的重视。我国作为全球的印刷大国，在印刷行业推行绿色生产责无旁贷。相比欧美等发达国家，我国的印刷服务碳足迹评价工作起步较晚，直到2011年，由中国环境保护部环境发展中心和中国印刷技术协会共同开展了对书刊以及塑料包装印刷的碳足迹评价研究，且以PAS 2050，即《商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》，ISO 16759等作为主要参考标准^[4]，完成了《印刷产品/服务碳足迹行业层面评价指南》《书刊印刷服务碳足迹评价实施规则》等标准的编制^[5]。但由于相关数据的收集等工作十分复杂，尚未建立完善的数据库，所以有关印刷碳足迹的评价研究与应用在业界尚处于初始阶段，无论从理论方法还是应用方面，都亟待发展，还未达到实际应用的地步。因此，本文探索以印刷服务作为研究对象进行碳足迹评价，建立适用于印刷服务的碳足迹评价模型，并在此基础上研发一款碳排放计算器，以方便计算印刷服务的碳排放水平，指导印刷包装企业有效开展低碳减排工作。

1 印刷服务碳足迹评价方法

1.1 评价方法的选择

当前，碳足迹的评价方法主要包括生命周期评价法（life cycle assessment, LCA）、投入产出评价法（input-output, IO）和混合分析评价法（hybrid-IO-LCA）。这3种评价方法中，生命周期评价法又称过程分析法（process analysis, PA）^[6]，用于分析产品或

服务在整个生产环节（过程）中的碳排放，即碳足迹。由于LCA的计算过程考虑了生命周期中的每个碳排放节点，所得到的数据相比另外两种评价方法的更加详细、准确，计算思路和方法也更易于被行业接受，所以生命周期评价法适合于印刷产品/服务的碳足迹计算，且国际上已有成熟的相关标准可供参考，如PAS 2050、全球印刷产品碳足迹计算的共同基础——ISO 16759^[7]等。由此确定，本文的研究工作同样基于生命周期评价法。

1.2 系统边界的确定

基于生命周期评价法的碳足迹评价中，如何划分系统的边界至关重要^[8]。对于印刷的碳足迹评价，存在印刷产品和印刷服务两种对象的评价模型。一般而言，印刷产品的生命周期要长于印刷服务的，印刷服务只是印刷产品生命周期的一部分，两者最大的区别在于系统边界的划分不同，印刷品生命周期中的印刷承印物和印刷品的消费、废弃物处理过程不包含在印刷服务中。

就目前印刷行业的生产特点而言，印刷企业大多是为客户代加工生产，因此以印刷服务为对象开展碳足迹评价工作，能更真实地反映印刷企业的碳排放水平，从而能有效地指导印刷企业开展节能减排工作。

本文选择纸类印刷制品的加工生产服务为研究对象，包括出版物印刷和包装装潢印刷。以出版物印刷中的书刊印刷服务为例，基于生命周期评价的理论，借鉴《商品和服务全生命周期的温室气体排放评价规范》，结合书刊印刷服务的特点，确定书刊印刷服务的系统边界^[9]，如图1所示。

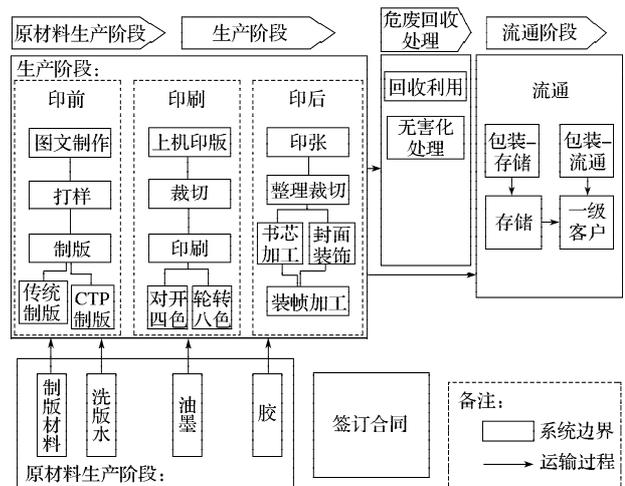


图1 书刊印刷服务碳足迹评价系统边界
Fig. 1 Carbon footprint system boundary of book printing service

书刊印刷服务的系统边界范围主要包括：合同

签订—原材料生产—印刷生产—危废物处理—产品流通至一级客户。其中,印刷生产过程可以分为3个阶段,即印前阶段、印刷阶段和印后阶段,各阶段的具体操作内容如下:

1) 印前阶段。此阶段包括图文制作、打样输出、制版输出(传统制版和CTP制版)以及此阶段所使用的原材料运输、废弃物处理等。

2) 印刷阶段。此阶段包括采用单张纸对开4色和轮转8色(4+4)平版印刷、原材料的生产和运输、溶剂的回收以及废弃物的处理等。

3) 印后阶段。此阶段主要包括印张的折页、配帖、锁线、书芯加工、封面整饬(覆膜、烫金、UV上光等),以及书刊的装帧加工(骑订、胶订)等工序,同时包含原材料的生产和运输、废弃物的处理、印刷成品存储阶段的能源消耗以及成品分配至一级客户的过程。

2 印刷服务碳足迹评价的数据收集

印刷服务碳足迹评价中的数据,包括初级数据和次级数据。其中,初级数据是企业在生产活动中所积累的数据,因而该数据具有实际代表性和准确性;次级数据是通过文献资料等其他来源所获得的数据,仅供参考使用^[10]。

2.1 初级数据的收集

初级数据是指对生产流程中每个环节活动行为的量化值,包括测量值和基于测量值的计算值2方面。初级数据的收集主要通过企业的统计调查和日常积累获得,包括企业的年度统计、企业报表、各主管部门的检查报告、环保部门的监测报告等。初级数据主要包括每个生产阶段的能源、原材料、运输方面的数据及相关信息。以书刊印刷服务为例,其印前、印刷、印后3阶段的数据收集清单见表1。

表1 书刊印刷服务碳足迹评价初级数据收集清单
Table 1m Primary data collection list of carbon footprint for the book printing service

阶段	类型	数据收集对象
印前	能源	电力(包括国家电网和自发电)、柴油(耗用量)
	原材料	CTP版/PS版的生产量,墨盒/油墨、打样用纸、显影液、定影液、胶片、洗版水、CTP版、PS版等
	运输	原材料的耗用量,废弃物的产生种类、处理量、处理公司及处理方式 打样品寄送地区及寄送方式,各原材料供货商名称、地址及运输方式
印刷	能源	电力(包括国家电网和自发电)、柴油(耗用量);
	原材料	印刷品的印制量(印张),液化石油气、油墨、润版液、洗车水、橡皮布、喷粉等原材料的耗用量,废弃物的处理量、处理公司及处理方式
	运输	原材料供应商名称、地址及运输方式
印后	能源	电力(国家电网和自发电)、柴油(耗用量)
	原材料	印刷成品的生产量(印张),锁线、骑马钉、胶订用胶、UV油墨、烫金、覆膜、覆膜胶、精装书壳硬板、脊背网纹拉伸膜、箱纸板等原材料的耗用量,废弃物的处理量、处理公司及处理方式
	运输	印刷成品分配至客户指定地区及配送方式,原材料供应商名称及运输方式

2.2 次级数据的收集

次级数据是指印刷企业从印刷服务生命周期所有生产环节直接测量或基于直接测量计算值以外的其他来源所获得的数据。次级数据一般通过公共信息获得,包括国内外正式出版的文献或其他研究成果,各类统计年鉴报表以及其他印刷企业已完成的生命周期评价或公开的数据库等^[11]。通常来说,次级数据包括运输距离和碳排放系数。碳排放系数的收集对象很广,包括书刊印刷服务周期的诸多数据,例如电力、燃油、液化石油气、公路运输、海运和空运、打样用纸、CTP版材、油墨/墨盒、显影液、定影液、洗车水、润版液、橡皮布、锁线、骑马钉、瓦楞纸板、胶片、喷粉、烫金纸、精装书壳硬板、覆膜用薄膜、胶订用胶、覆膜用胶、拉伸膜、木托盘

等^[12-13]。以上所列对象的碳排放系数见表2。

表2 书刊印刷服务的碳排放系数
Table 2 Carbon emission factors of book printing service

类型	碳排放系数	类型	碳排放系数
电力	0.993 9	骑马钉	6.470
柴油(自发电)	0.873 3	瓦楞纸板	0.500 7
液化石油气	0.953 8	胶片	2.940
公路运输	0.194 1	喷粉	0.111
海运/空运	0.181 0/0.294 2	烫金纸	2.905
打样用纸	1.550	精装书壳硬板	0.989
CTP版材	22.4	覆膜用薄膜	3.667
油墨/墨盒	2.081 0/16.0	胶订用胶	2.430
显(定)影液等	0.013 21	覆膜用胶	3.187
橡皮布	26.971 6	拉伸膜	3.443
锁线	5.90	木托盘	173.740

表2中,电力、柴油自发电的碳排放系数单位为

kgCO₂eq/(kW·h)，公路运输、海/空运的碳排放系数单位为 kgCO₂eq/(t·km)，显影液、定影液、洗车水、润版液的碳排放系数单位为 kW·h/L，打样用纸的系数单位为 kgCO₂eq/t，其它系数单位均为 kgCO₂eq/kg。

3 碳足迹计算及碳排放计算器研发

3.1 碳足迹的计算

碳足迹计算通常是指以研究对象在基准年的单位功能、单位活动数据展开的分析核算，其具体的计算公式如下：

$$E = \sum E_i = \sum (F_i \times E_{Fi} + F_{is} \times E_{Fis}) \quad (1)$$

式中：*E* 为印刷服务在评价过程中的单位功能的碳足迹结果；

- E_i* 为排放源 *i* 以二氧化碳当量表示的碳排放量；
- F_i* 为排放源 *i* 的单位功能的水平数据；
- F_{is}* 为排放源 *i* 在评价过程中的运输距离；
- E_{Fi}* 为排放源 *i* 的碳排放系数；
- E_{Fis}* 为排放源 *i* 在相应运输方式下的交通碳排放系数^[14]。

3.2 碳排放计算器的研发

运用以上印刷服务碳足迹的评价模型和碳足迹的计算方法，并且针对印刷企业的生产工艺特点采取卓有成效的技术措施实现节能减排，是当前和今后印刷企业面临的一个重大课题^[15]。印刷服务碳排放计算器的应用开发，就是将印刷服务碳足迹评价的理论方法转化为实际应用，对印刷服务过程中的碳排放进行量化计算、监督和评价，并通过计算印刷服务在印前、印刷、印后工艺环节的能源消耗，使用的原材料，运输过程等的碳足迹，累计即可得到印刷服务的总碳排放量^[16]。

印刷服务碳排放计算器由输入模块、运算模块以及输出模块组成。按照生命周期评价法的原理，输入模块包括印前、印刷、印后 3 个工艺单元及各自对应的能源消耗、原辅材料使用、危废处理、包装存储、交通运输、排放系数等计算选项，包含了书刊印刷服务过程所有的环节，其丰富的选项设计，不仅适用于书刊印刷服务的碳足迹评价，同样适用于包装装潢印刷服务的碳足迹评价。所研发碳排放计算器的设计原理如图 2 所示。

基于图 2 所示设计原理开发的印刷服务碳排放计算器，其外形设计上借鉴了普通的数学计算器外形，具有结构简单、流程清晰、布局合理、功能直观、使用方便等特点。将复杂抽象的印刷服务碳足迹评价理论方法在实体工具上运用，为行业企业计算印刷服务的碳排放量提供了切实可行的方法。

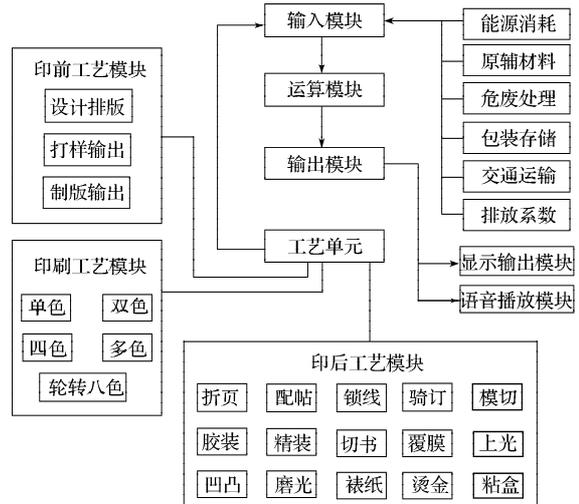


图 2 碳排放计算器的设计原理

Fig. 2 Design principles of the carbon emission calculator

所研究开发的碳排放计算器由壳体（1）、显示屏（2）、选项（3）、语音播放（4）等 4 部分组成。其中选项（3）由运算符选项（31）、工艺单元选项（32）、计算选项（33）、数字输入选项（34）组成（具体分布见图 3）。

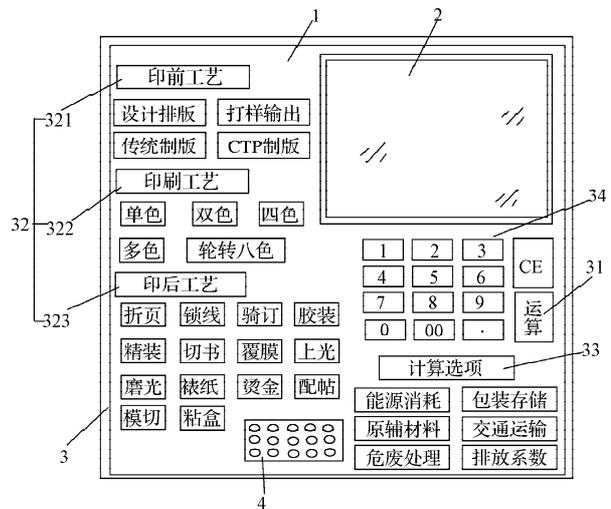


图 3 碳排放计算器

Fig. 3 Carbon emission calculator

进行印刷服务碳排放计算时，首先在工艺单元（32）中选择该服务采用的某个生产工艺，然后在计算选项（33）里，对所选工艺连接的行为，用数字输入（34）和运算符（31），逐一计算其碳排放量，所用到的排放系数来自企业收集的初级数据或次级数据。每计算一个生产工艺所得的碳排放量，计算器会自动记忆，并按同样的方法，将印刷服务采用的所有生产工艺进行逐个计算。计算完成时，系统会给出该印刷服务总的碳排放量，通过显示屏显示或语音播报，碳排放量的计算方法如前文的公式（1）。

3.3 碳排放计算器的应用

2014年3月,本项目组选择了广东珠三角地区的4家大中型印刷企业,进行碳排放计算器的试用。所选择的4家印刷企业,主要从事中小学课本、高档画册、国家重点图书、期刊、文件等的印刷服务。之所以选择它们为试用对象,是因为其主营业务类似,工艺流程基本相同。

为了能够在企业间对比以说明问题,选择国内发行的某期刊为评价对象,该期刊各期的总页码为192页,开本为大16开,每期12印张,采用4+4对开印刷,共需96张对开印版,当期印刷量为8万册,4家企业各自印刷2万册。为了方便收集数据,保证数据的客观性与准确性,此次碳足迹的评价范围仅包括印前阶段、印刷阶段和印后阶段,不包括产品到客户的运输过程。印前阶段以每张对开印版为评价单位,印刷和印后阶段以每个印张为评价单位,所得计算结果如表3所示。

表3 运用碳排放计算器计算所得4家企业的碳排放量
Table 3 Carbon emissions calculated for four companies

生产阶段	排放类型	企业				排放单位
		1	2	3	4	
印前阶段	能源	1.262	0.882	17.618	1.514	kgCO ₂ eq/ 对开版
	原材料	10.781	9.962	9.650	9.889	
	小计	12.043	10.844	27.268	11.403	
印刷阶段	能源	0.338	0.009	0.002	0.003	kgCO ₂ eq/ 印张
	原材料	0.001	0.001	0.001	0.001	
	小计	0.339	0.010	0.003	0.004	
印后阶段	能源	0.013	0.013	0.016	0.001	kgCO ₂ eq/ 印张
	原材料	0.008	0.006	0.014	0.001	
	小计	0.021	0.019	0.030	0.002	
总计		12.403	10.873	27.301	11.409	

对表3中的数据进行分析,可发现以下问题:

1) 企业3在印前阶段的碳排放量明显高于其它3家企业;

2) 企业1在印刷阶段的碳排放量远高于其它3家企业;

3) 企业4在印后阶段的碳排放量明显低于其它3家企业;

4) 企业2总的碳排放水平低于其它3家企业。

针对以上现象,并结合其实际操作过程,分析其可能的原因如下:

1) 企业3在印前阶段,仅由1名员工同时操作5台CTP机进行印版输出,由于人手不够,5台机器的换版工作不能连续,机器时而处于工作状态,时而处于长时间的空闲等待状态,无形中导致了电能的消耗增长。

2) 企业1采用的是轮转8色机印刷,而其它3家企业采用的是单张纸4色机印刷,由于轮转印刷的烘干工序采用液化石油气作为燃料,故其碳排放量明显增高。

3) 企业4印后阶段的生产员工大部分接受过技能培训,经验丰富,生产效率较高,因而能将物料损耗控制在较低水平。

4) 企业2是业界著名的印刷企业,主营海外业务,出口产品比例高达85%,且因其探索实施节能减排工作多年,绿色环保意识已融入企业文化中,印刷服务的碳排放水平已接近或达到国际标准,其出口产品都贴上了碳足迹标签,产品在生命周期内的碳排放水平一目了然。

综上,碳排放计算器的实用意义在于:一是方便企业进行印刷服务的碳排放量计算,找到主要的碳排放源;二是有利于指导企业开展低能减排工作。比如,对于企业1,在保证印刷效果、阅读质量、生产时效的前提下,可以优先考虑采用单张纸平版4色印刷工艺;对于企业3,要提高其印前CTP设备的利用率,以避免不必要的能源消耗。而企业2和企业4的某些成功经验都值得其它企业借鉴与学习。

4 结语

所研发的碳排放计算器,在60多家印刷企业中进行试用。历经1a多试用期后的评价结果表明,企业的满意度高达83%,指导企业平均实现节能减排30%,管理成本平均下降3.6%,企业利润平均上升2.5%,可见其经济效益和社会效益均较为显著。

由此可得,采用生命周期法对印刷服务进行碳足迹评价,符合当前印刷行业的实际情况。只要系统的边界划分科学合理,重视对初级数据和次级数据的收集,建立相对完善的数据库,借助开发的碳排放计算器,企业完全可以将印刷服务碳足迹评价的理论方法在实际生产中进行应用,对印刷企业开展节能减排工作、加快发展绿色印刷有着积极的作用。

参考文献:

- [1] 王伟伟,杨福馨,胡安华.包装产业的低碳技术研究与应用[J].包装学报,2010,2(4):42-45.
Wang Weiwei, Yang Fuxin, Hu Anhua. Research and Application of Low-Carbon Technologies in Packaging Industry[J]. Packaging Journal, 2010, 2(4): 42-45.
- [2] 聂柞仁.碳足迹与节能减排[J].中国材料进展,2010,29(2):60-63.
Nie Zuoren. Print Carbon Footprint and Energy Saving &

- Emission Reducing[J]. *Materials China*, 2010, 29(2): 60-63.
- [3] 于小迪,董大海,张晓飞.产品碳足迹及其国内外发展现状[J].*经济研究导刊*, 2010(19): 182-183.
Yu Xiaodi, Dong Dahai, Zhang Xiaofei. Product Carbon Footprint Label and Current Development Status[J]. *Economic Research Guide*, 2010(19): 182-183.
- [4] Publicly Available Specification. PAS 2050 Specification for the Assessment of the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Goods and Services[S]. London: British Standards Institution, 2008: 35-36.
- [5] 季栋梁.印刷品的碳足迹:上[J].*印刷杂志*, 2011(10): 18-22.
Ji Dongliang. Carbon Footprint: One[J]. *Printing Field*, 2011(10): 18-22.
- [6] 杨光,鄂玉萍.低碳时代的包装设计[J].*包装工程*, 2011, 32(4): 81-83.
Yang Guang, E Yuping. Packaging Design in Low-Carbon Time[J]. *Packaging Engineering*, 2011, 32(4): 81-83.
- [7] International Standardization Organization. ISO 16759 Graphic Technology-Quantification and Communication for Calculating the Carbon Footprint of Print Media Products [S]. Shevat Switzerland: ISO, 2013: 17-19.
- [8] 田彬彬,徐向阳.基于生命周期的产品碳足迹评价与核算分析[J].*中国环境管理*, 2012(5): 21-26.
Tian Binbin, Xu Xiangyang. Assessment and Accounting the Product Carbon Footprint Based on the Life Cycle[J]. *Chinese Journal of Environmental Management*, 2012(5): 21-26.
- [9] 白璐,孙启宏,乔琦.生命周期评价在国内的研究进展评述[J].*安徽农业科学*, 2010, 38(5): 2553-2555.
Bai Lu, Sun Qihong, Qiao Qi. Review of Research Progress of Life Cycle Assessment in China[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(5): 2553-2555.
- [10] 何晓辉.印刷材料VOCs含量测试[J].*中国印刷与包装研究*, 2014, 6(1): 66-70.
He Xiaohui. Test on Contents of VOCs in Printing Materials [J]. *China Printing and Packaging Study*, 2014, 6(1): 66-70.
- [11] 黄娜,王洪涛,范辞冬,等.基于不确定度和敏感度分析的LCA数据质量评估与控制方法[J].*环境科学学报*, 2012, 32(6): 1529-1536.
Huang Na, Wang Hongtao, Fan Cidong, et al. LCA Data Quality Assessment and Control Based on Uncertainty and Sensitivity[J]. *Acta Science Environmental*, 2012, 32(6): 1529-1536.
- [12] 冷彩凤,付家平,赵骁,等.绿色印刷之低酒精润版液探究[J].*包装工程*, 2014, 35(23): 149-152.
Leng Caifeng, Fu Jiaping, Zhao Xiao, et al. Green Printing with Low-Alcohol Fountain Solution[J]. *Packaging Engineering*, 2014, 35(23): 149-152.
- [13] 年鹤,王晓敏.瓦楞纸箱生产碳足迹的计算方法与实例分析[J].*包装工程*, 2012, 33(5): 86-89.
Nian He, Wang Xiaomin. Calculation Method and Case Analysis of Carbon Footprint in Corrugated Carton Production[J]. *Packaging Engineering*, 2012, 33(5): 86-89.
- [14] 张健,张再生,陈宏毅.低碳经济与政府作用分析[J].*东北大学学报:社会科学版*, 2011, 13(1): 38-42.
Zhang Jian, Zhang Zaisheng, Chen Hongyi. Analysis of Low-Carbon Economy and What Role the Government Should Play[J]. *Journal of Northeastern University: Social Science*, 2011, 13(1): 38-42.
- [15] 严格,张红霞.绿色印刷的环保检测方法研究[J].*包装工程*, 2012, 33(9): 150-153.
Yan Ge, Zhang Hongxia. Assessing and Testing Environmentally Positive Factors in Eco-Friendly Printing[J]. *Packaging Engineering*, 2012, 33(9): 150-153.
- [16] 郝发义.具有可操作性的碳足迹计算方法及具体实践[J].*印刷技术*, 2008, 8(16): 31-34.
Hao Fayi. Operable Carbon Footprint Calculation Method and Practice[J]. *Printing Technology*, 2008, 8(16): 31-34.

(责任编辑:廖友媛)