

包装产品生态效率量化评价方法探讨

王润桃, 霍李江, 王文生

(大连工业大学, 大连 116034)

摘要: 在综述了生态效率概念及其国内外应用研究现状的基础上,探讨了包装产品生态效率量化评价方法和指标体系框架,构建了包装产品生态效率评价模型,阐述了关于包装价值的涵义与量化方法,以此表征了基于研究对象资源消耗、能源消耗和所致环境负荷分析的综合效益水平,为包装产品评价提出了新思路。并以瓦楞纸箱为例,进一步说明了针对指定包装产品生态效率评价的具体指标定义和计算方法,其量化结果与分析为改善瓦楞纸箱生产系统提供了数据参考。

关键词: 包装产品评价; 生态效率; 包装价值; 瓦楞纸箱

中图分类号: TB488; X171 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)07-0001-03

Study on Quantitative Eco-efficiency Evaluation Method of Packaging Products

WANG Run-tao, HUO Li-jiang, WANG Wen-sheng

(Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

Abstract: A quantitative evaluation method and indicator system framework of eco-efficiency for packaging products were discussed based on overview of the concept and applications of eco-efficiency at home and abroad. Eco-efficiency evaluation model of packaging products was established. The meaning and quantitative method of packaging value in the model were expounded. The comprehensive benefit level of evaluated target was characterized by the model based on resource consumption, energy consumption and environmental load, which was a new idea for packaging product evaluation. Corrugated board box was taken as an example to explain the specific indicator definition and calculation method of eco-efficiency evaluation for designated packaging products. The purpose was to provide reference for improving corrugated board box production system.

Key words: evaluation of packaging products; eco-efficiency; packaging value; corrugated board box

为了减少包装产品的环境影响,人们已尝试对纸、塑料、金属和玻璃等包装材料进行生命周期评价^[1-6],但其指标上的单一性往往影响不同包装方案以及产品之间的可比性,不能为决策者和消费者提供直接与透明的科学指导。1990年 Schaltegger 和 Sturm 提出了生态效率的概念,即研究对象所产生的价值与其所致环境影响的比值^[7]。美国庄臣父子公司(SC Johnson Wax)也早在1990年实施生态效率管理,使公司产生的废弃物减少了50%,包装材料减少了25%,采用16%的可降解性原材料,并使用再生能源,满足了1/3的能源需求,同时使得废水的重复使用率达95%以上。该方法使其产品的收益提高50%,每年节省2 000多万美元^[8]。目前,生态效率

概念的应用是在3个层面上,即面向企业、面向行业和面向区域及国家发展^[9]。近年来产品的生态效率研究渐渐从企业的生态效率研究中分离出来,并涉及到与产品生产、使用有关的一切环节,包括生产技术的革新、废旧产品的处理等。Park做了关于废旧洗衣机的生态效率分析^[10]。Stefanie比较评价了固体废物的4种末端处理技术包括卫生填埋、生物处理、现代焚烧和高温处理的生态效率^[11]。Tohru对日本兵库生态城中的废旧汽车和家用电器的闭环回收系统的生态效率进行了分析^[12]。德国BASF集团研发出用生态效率评价产品生命周期的一整套方法和生态效率管理应用软件,迄今已做过220项分析。该软件从6个方面评价产品的生态效率:原材料消耗,能

收稿日期: 2011-12-30

作者简介: 王润桃(1986—),女,山西忻州人,大连工业大学硕士生,主攻包装印刷产品评价。

源消耗,土地使用,空气、水和固体废物的排放,有毒物质的使用和排放,材料滥用和潜在的风险^[13]。文中研究对象是面向我国企业层面的包装产品及其生产,旨在将生态效率的理念应用到包装产品生命周期不同环节的评价与管理,为有效降低成本、改善经济与环境绩效和指导新产品新工艺研发提供数据参考。

1 包装产品生态效率及其指标体系

包装产品生态效率基本描述如下^[7]:

$$\text{包装产品生态效率} = \frac{\text{包装产品价值}}{\text{包装产品环境影响}} \quad (1)$$

式(1)中包装产品价值是指包装产品自身价值与其包装服务的价值之和。包装产品自身价值是指其基于特定生产加工过程而产生的价值,包装服务的价值是指该包装产品在使用过程中为内装物带来的附加值或为实现内装物属性与功能而产生的价值。包装产品环境影响是指在其生命周期内的资源、能源消耗和产生的环境负荷的大小^[14]。

根据包装产品特点及环境影响分析结果^[15-17],确定包装产品生态效率评价指标体系见表1。

表1 包装产品生态效率评价指标体系

Tab. 1 Eco-efficiency evaluation index system of packaging products

评价类别	评价子类	评价指标
包装产品价值	包装产品自身价值、包装服务价值	
	资源消耗	原料消耗量、水消耗量
	能源消耗	煤消耗量、电消耗量
环境影响	温室效应、人类健康影响(致癌作用)、人类健康影响(慢性疾病)、水体生态毒性、土地生态毒性、酸化、富营养化、光化学氧化、固体废物排放	
	环境负荷	

2 包装产品生态效率评价计算模型^[16,18-20]

在量化计算中,包装产品价值为包装产品自身价值与包装服务价值之和,或单一包装产品自身价值,或单一包装服务价值,视评价对象系统边界而定,见式(2)~(4)。

$$V = V_p + V_s \quad (2)$$

式中: V 为包装产品价值,元; V_p 为包装产品自身价值,元; V_s 为包装服务价值,元。

$$V_p = SV_p - C_p \quad (3)$$

式中: SV_p 为包装产品的销售价,元; C_p 为包装产品的成本,元。

$$V_s = (SV_c - C_c) \times \frac{AC_p}{C_c} \quad (4)$$

式中: SV_c 为内装物的销售价,元; AC_p 为获取其包装的价格,元; C_c 为内装物的生产成本与获取其包装的价格之和,元。

包装产品生态效率的分项指标设定为资源效率、能源效率和环境效率。其资源效率定义为包装产品单位资源消耗量所产生的价值,见式(5);包装产品的能源效率定义为包装产品单位能源消耗量所产生的价值,见式(6);包装产品的环境效率定义为包装产品的价值与其环境影响的比值,见式(7)。

$$r = \frac{V}{R_p} \quad (5)$$

式中: r 为包装产品的资源效率; V 为包装价值,元; R_p 为产生 V 元包装价值的包装产品所消耗的资源量,不包括回收资源,元或千克。

$$e = \frac{V}{E_p} \quad (6)$$

式中: e 为包装产品的能源效率; E_p 为生产 V 元包装价值的包装产品所消耗的能源量,元或千克或千瓦时。

$$q = \frac{V}{Q_p} \quad (7)$$

式中: q 为环境影响效率; Q_p 为产生 V 元包装价值的包装产品造成的环境影响值,元。

3 案例分析

瓦楞纸箱是典型的包装制品之一,仅2011年上半年中国瓦楞纸箱产量就为1 280.84万吨,同比增长率为16.68%^[21],瓦楞纸箱的需求量逐年上涨,但瓦楞纸箱生产过程对资源、能源的消耗及产生的污染物,对环境造成了越来越大的负面影响。在提倡绿色包装、低碳包装的今天^[22],减少包装产品带来的生态环境影响刻不容缓。笔者以瓦楞纸箱为例具体讨论了包装产品生态效率分析方法。

3.1 瓦楞纸箱生产工艺生态效率评价因子

瓦楞纸箱生产工艺流程可以分为纸板工序、制版工序、印刷工序和成箱工序四大工序,该工艺流程需要消耗电、煤、水、原纸、淀粉、油墨、版材等能源和物

质材料。在制得瓦楞纸箱成品的同时产生废气、废水、固体废弃物和噪声^[17-23]。因此,其生态效率评价指标可以确定为包装价值、资源消耗、能源消耗和环境负荷四大类别,其各评价类别所包含的具体评价因子见表 2。

表 2 瓦楞纸箱生态效率评价指标类别与因子
Tab.2 Eco-efficiency evaluation index category and factor of corrugated box

评价类别	评价子类	评价因子	单位	
包装价值		瓦楞纸箱自身价值	元	
		瓦楞纸箱包装服务价值	元	
资源消耗		原纸消耗量	元	
		淀粉消耗量	元	
		NaOH 消耗量	元	
		硼砂消耗量	元	
		安定剂消耗量	元	
		架桥剂消耗量	元	
		感光树脂版消耗量	元	
		菲林片消耗量	元	
		显影液消耗量	元	
		定影液消耗量	元	
		油墨消耗量	元	
	环境影响		白乳胶消耗量	元
			打包带消耗量	元
		水消耗量	元	
能源消耗	电		元	
	煤		元	
		温室效应物质排放		
		人类健康影响(致癌作用)物质排放		
		人类健康影响(慢性疾病)物质排放		
		水体生态毒性物质排放		
	环境负荷	土地生态毒性物质排放		
		酸化物质排放		
		富营养物质排放		
		光化学氧化物质排放		
	固体废物排放			
	合计		元	

注:环境负荷计算时,并未按单项计算,采用整体评估。

3.2 瓦楞纸箱生产工艺生态效率量化评价

根据对大连地区瓦楞纸箱企业的实际生产调研,以其数据为例进行瓦楞纸箱生产工艺生态效率量化评价。以纸箱厂月产量 1.5×10^6 m² 瓦楞纸箱箱坯(3层瓦楞纸板,采用柔性版印刷方式,印刷面积约为30%)为功能单位,系统边界定义为从原纸供给到制得瓦楞纸箱成品的生产过程。故包装价值为瓦楞纸

箱自身价值即生产该功能单位瓦楞纸箱所产生的利润值;其资源效率为该功能单位瓦楞纸箱生产过程单位资源消耗量所产生的利润值;其能源效率为该功能单位瓦楞纸箱生产过程单位能源消耗量所产生的利润值;其环境效率为该功能单位瓦楞纸箱生产过程产生的利润值与其环境影响之比。

该评价对象系统边界定义及其系统输入与输出见图 1,系统输入量化值见表 3。在系统输出量化计算

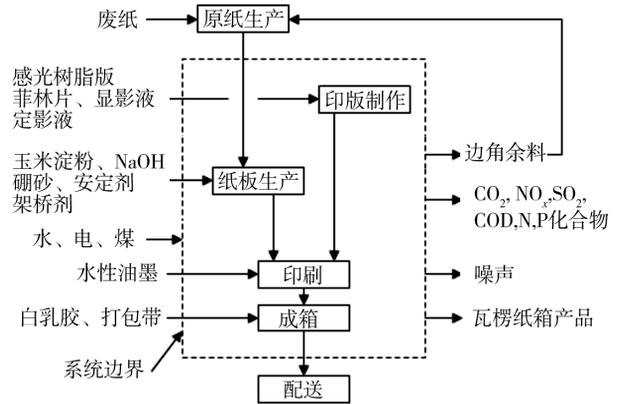


图 1 评价对象系统边界定义及其系统输入与输出

Fig.1 Boundary definition, inputs and outputs of evaluation target

表 3 评价对象系统输入量化值

Tab.3 Input quantities of evaluation target

项目	资源/万元	能源/万元
原纸	171	电 5.6
淀粉	5.01	煤 7.53
NaOH	0.22	
硼砂	0.06	
安定剂	0.06	
架桥剂	0.47	
柔性版	0.09	
油墨	7.26	
白乳胶	0.45	
打包带	0.43	
水	0.07	
合计	185.12	13.13

中,采用 J EMAI-LCA Pro 软件及其数据库^[24],该软件由日本产业环境管理协会开发,依据 ISO 14040 系列标准制定 LCA 技术框架,可操作性强,数据库可扩展,在国内外生命周期评价中被广泛应用。以货币单位表示功能单位瓦楞纸箱生产过程环境影响总值,为 3 130 万日元,合计人民币 254 万元^[24];据实际调研,生产该功能单位瓦楞纸箱约产生 84.85 万元利润。

经计算,评价对象的资源效率为 0.46、能源效率为 6.42、环境效率为 0.33。所调研企业瓦楞纸箱生产过程资源消耗量较大,主要原因是原纸利用率不够高,原纸占资源输入量的 90%以上,若原纸的利用率提高,瓦楞纸箱的资源效率、能源效率和环境效率都将随之提高。瓦楞纸箱生产过程排放的废弃物较多,致使环境效率较低。若将废弃物合理利用,减少排废量,环境效率将有所提高。然而,本研究调研企业数量有限,属于区域性研究。为进一步提高数据的准确性,还需大量调研不同瓦楞纸箱企业的生产状况。

实践中,瓦楞纸箱生产系统可以采用不同工艺与技术方法。例如,印刷工序除柔版印刷技术外还可以采用凹版预印技术;在成箱工序中除采用胶粘外还可以采用钉接方式。针对采用不同工艺与技术方法的瓦楞纸箱生产系统,可以采用上述量化方法分析各自生态效率值,然后加以量化比较,从而优选出各项效率指标及综合效益水平高的生产工艺,加以推广。对于采用相同工艺与技术方法的瓦楞纸箱生产系统,鉴于各个企业生产与技术管理水平的不同,也会产生不同的生态效率量化结果。借此方法,可以得出达标生产系统的生态效率评价结果。参考此结果,可有针对性地改善不达标生产系统;也可以此为数据基础,制定相关工艺标准,提高生产管理水平。

4 结语

生态效率是一种同时考虑社会、经济效益和环境影响的多指标评价与管理的概念,目前在发达国家已被用作研发新产品或新工艺的标志性指标之一。通过建立包装产品生态效率评价指标体系及计算模型,以瓦楞纸箱为例,选取资源效率、能源效率和环境效率进行瓦楞纸箱生态效率评价,得出瓦楞纸箱生产过程资源效率、能源效率和环境效率的量化值,可对不同生产系统的综合效益加以比较,从而突破过去单一指标的评价局限。生态效率这一多指标评价方法为包装产品及其生产系统的综合评价和技术管理提出了新的思路,可为包装生产者和决策者提供科学地指导。

参考文献:

[1] SPITZLEY D V, KEOLEIAN G A, MCDANIEL J S. Life Cycle Design of Milk and Juice Packaging[J]. National Risk Management Research Laboratory Cincinnati,

1997(8):1-4.

- [2] 谢明辉,李丽,黄泽春,等.纸塑铝复合包装处置方式的生命周期评价[J].环境科学研究,2009,22(11):1299-1304.
XIE Ming-hui, LI Li, HUANG Ze-chun, et al. Life Cycle Assessment of Environmental Impacts of Al-PE-Pa Laminated Packaging and Waste Treatments[J]. Research of Environmental Sciences, 2009, 22(11): 1299-1304.
- [3] 李兆坚. 可再生材料生命周期能耗算法研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2006, 14(1): 50-58.
LI Zhao-jian. Energy Consumption Algorithm of Renewable Materials Life-cycle[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2006, 14(1): 50-58.
- [4] 高峰, 聂祚仁. 生命周期评价与铝、镁应用中的节能减排效果[J]. 新材料产业, 2010(8): 38-43.
GAO Feng, NIE Zuo-ren. Life-cycle Assessment With Aluminum, Magnesium Application Effect of Energy Saving and Emission Reduction[J]. Advanced Materials Industry, 2010(8): 38-43.
- [5] 殷新建. 碎玻璃的回收利用对环境影响的生命周期评价[J]. 玻璃, 2008(1): 39-42.
YIN Xin-jian. Life Cycle Analysis of Effect of Cullet Reutilization on Environment[J]. Glass, 2008(1): 39-42.
- [6] HUO Li-jiang, SAITO K. Environmental Impact Evaluation of Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(11): 65-68.
- [7] SCHALTEGGER Stefan, STURM Andreas. Okologische Rationalitat Ansatzpunkte Zur Ausgestaltung You Okologieorientierten Management Instrumenten[J]. Die Untermehmung, 1990(4): 273-290.
- [8] DeSIMONE, Popoff F. Eco-efficiency. The Business Link to Sustainable Development [M]. Cambridge: Massachusetts MIT Press, 1997.
- [9] 吕彬, 杨建新. 生态效率方法研究进展与应用[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3898-3906.
LV Bin, YANG Jian-xin. Review of Methodology and Application of Eco-efficiency[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(11): 3898-3906.
- [10] PARK J, HAEMYUNG O, KYOUNGHOON C. Tackling Challenges in Measuring and Communicating Eco-efficiency[C]//Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 2006.
- [11] STEFANIE Hellweg, GABOR Doka, GÖRAN Finnveden. Assessing the Eco-efficiency of End-of-Pipe Technologies with the Environmental Cost Efficiency Indicator: A Case Study of Solid Waste Management[J]. Journal of Industrial Ecology, 2005, 9(4): 189-203.

- [12] TOHRU Morioka, KIYOTAKA Tsunemi, YUGO Yamamoto, et al. Eco-efficiency of Advanced Loop-closing Systems for Vehicles and Household Appliances In Hyogo Eco-town: A case Study of Solid Waste Management[J]. Journal of Industrial Ecology, 2005, 9(4): 205-221.
- [13] 孙源远, 武春友. 工业生态效率及评价研究综述[J]. 科学与科学技术管理, 2008(11): 192-194.
SUN Yuan-yuan, WU Chun-you. Industrial Ecological Efficiency and Evaluation Research and Reviewed Summarize[J]. Scientology and Science Technology Management, 2008(11): 192-194.
- [14] 任宪姝, 霍李江. 生命周期评价在印刷与包装领域中的应用研究进展[J]. 包装工程, 2008, 29(10): 217-219.
REN Xian-shu, HUO Li-jiang. Progress of Application Research of Life Cycle Assessment in Printing and Packaging Field [J]. Packaging Engineering, 2008, 29(10): 217-219.
- [15] 姜峰, 李青海, 李剑锋, 等. 基于 LCA 法的包装材料环境友好性的评价[J]. 山东大学学报, 2006, 36(6): 10-13.
JIANG Feng, LI Qing-hai, LI Jian-feng, et al. The Assessment of the Packaging Materials' Environmental Friendly Character Based on the LCA Methodology[J]. Journal of Shandong University, 2006, 36(6): 10-13.
- [16] HUO Li-jiang, SAITO K. Sustainability Assessment for Optimizing Logistics-oriented Protective Packaging Design[J]. 日本包装学会誌, 2010, 19(3): 203-214.
- [17] 任宪姝, 霍李江. 瓦楞纸箱生产工艺生命周期评价案例研究[J]. 包装工程, 2010, 31(5): 54-57.
REN Xian-shu, HUO Li-jiang. Case Study of Life Cycle Assessment for Corrugated Board Box Production Technology[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(5): 54-57.
- [18] 王飞儿, 史铁锤. 基于物质代谢的中国纺织业生态效率评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(6): 116-120.
WANG Fei-er, SHI Tie-chui. Assessment for Eco-efficiency of China's Textile Industry Based on Material Metabolism[J]. China's Population·Resources and Environment, 2008, 18(6): 116-120.
- [19] HUO Li-jiang, SAITO K. Multidimensional Life Cycle Assessment on Various Molded Pulp Production Systems[J]. Packaging Technology and Science, 2009, 22(5): 261-273.
- [20] HUO Li-jiang, SAITO K. An Evaluation Method for Quantifying Sustainability of Protective Cushioning[J]. Journal of Applied Packaging Research, 2010, 4(1): 1-14.
- [21] 2011 年上半年中国瓦楞纸箱产量统计分析[EB/OL]. [2011-07-20]. <http://www.askci.com/news/2011-07/20/40209732.shtml>.
China Corrugated Board Box Output Statistical Analysis In the First Half of 2011 [EB/OL]. [2011-07-20]. <http://www.askci.com/news/2011-07/20/40209732.shtml>.
- [22] 戴宏民, 戴佩燕. 中国绿色包装的成就、问题及对策(下)[J]. 包装学报, 2011, 3(2): 7-13.
- [23] 杨瑞丰. 瓦楞纸箱生产实用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
YANG Rui-feng. Production Practical Technology of Corrugated Board Box [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [24] JEMAI-LCA Profunctions and Features [EB/OL]. [2008-12]. http://www.jemai.or.jp/CACHE/lca_details_lcaobj6.cfm.

(上接第 57 页)

- [5] 张改梅, 胡玉玲. 不同规格蜂窝纸板缓冲性能的研究[J]. 包装工程, 2008, 29(10): 77-79.
ZHANG Gai-mei, HU Yu-ling. Study on the Performance of Honeycomb Paperboard with the Different Size [J]. Packaging Engineering, 2008, 29(10): 77-79.
- [6] 王冬梅. 纸蜂窝压缩临界应力经验评估[J]. 包装工程, 2007, 28(8): 14-15.
WANG Dong-mei. Critical Compression Stress Evaluation for Paper Honeycomb [J]. Packaging Engineering, 2007, 28(8): 14-15.
- [7] 骆光林, 朱大鹏. 蜂窝纸板缓冲机理[J]. 包装工程, 2002, 23(5): 118-120.
LUO Guang-lin, ZHU Da-peng. The Cushion Mechanism of The Fibreboard [J]. Packaging Engineering, 2002, 23(5): 118-120.
- [8] GB/T 2679, 纸和纸板环压强度的测定[S].
- [9] 彭国勋. 物流运输包装设计[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2008.
- [10] GB 8168, 包装用缓冲材料静态压缩试验方法[S].
- [11] 辛成龙, 郭彦峰. 蜂窝纸板静态缓冲特性的实验研究与分析[J]. 包装工程, 2008, 29(1): 56-58.
XIN Cheng-long, GUO Yan-feng. Experimental Research and Analysis on Static Cushioning Properties of Honeycomb Paperboard [J]. Packaging Engineering, 2008, 29(1): 56-58.