

梁韵秋, 孔钰晨, 蔡静蕊, 等. 瓷质餐具聚苯乙烯包装生命周期评价案例分析 [J]. 环境科学与技术, 2013, 36 (12M): 396-401. Liang Yun-qiu, Kong Yu-chen, Cai Jing-rui, et al. Case study of life cycle assessment for expanded polystyrene packaging of ceramic tableware [J]. Environmental Science & Technology, 2013, 36 (12M): 396-401.

瓷质餐具聚苯乙烯包装生命周期评价案例分析

梁韵秋, 孔钰晨, 蔡静蕊*, 顾臻, 宁凯敏

(北京林业大学材料科学与技术学院, 北京 100083)

摘 要 为现有瓷质餐具包装的环境友好性提供理论数据, 文章以一套瓷质餐具为例, 采用生命周期评价 (LCA) 方法, 对瓦楞纸箱、发泡聚苯乙烯生产过程的原料能源消耗, 运输物质消耗及向环境的排放物进行计算和特征化分析并进行环境影响评价, 总环境影响潜力为 $EIL=0.25$ 。结果表明 其对环境的影响主要产生于包装产品的运输过程, 主要影响了资源消耗和全球变暖等环境影响类型。减小其产生的环境影响, 产品生产厂家应就近选择包装供应商, 生产厂家就近销售, 在各地设置分厂分销产品。

关键词 生命周期评价; 餐具包装; 发泡聚苯乙烯

中图分类号 X820.3 **文献标志码** A **doi** 10.3969/j.issn.1003-6504.2013.12M.083 **文章编号** 1003-6504(2013)12M-0396-06

Case Study of Life Cycle Assessment for Expanded Polystyrene Packaging of Ceramic Tableware

LIANG Yun-qiu, KONG Yu-chen, CAI Jing-rui*, GU Gong, NING Kai-min

(College of Materials Science and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract : To provide the theoretical data of environmentally friendly, the existing packaging of ceramic tableware was studied. According to the method of Life cycle assessment (LCA), computing and characterization analysis the environmental effect load was 0.25 eq./ (pa) for one packaging. Its come from the energy consumption of the raw material for corrugated boxes and expanded polystyrene production process and the transportation material consumption and emissions to the environment. The results show that the main environmental impacts caused by the consumption and global warming which were produced by transport. To reduce the environmental impact, product manufacturers should choose the nearest packaging suppliers and nearest sales, and set up branch in various distributions.

Key words : life cycle assessment; tableware packaging; expanded polystyrene

包装作为商品生产和流通的重要组成部分, 随着科技的进步和物质文明的进步得到了巨大的发展。但是, 由于其寿命周期短, 废弃物产生量大的特点, 包装废物给环境保护带来了极大的压力^[1]。近年来, 生命周期评价 (life cycle assessment, LCA) 已日益成为企业进行清洁生产的依据, 以及对产品的环境质量进行管理和产品的环境协调性进行设计的重要工具^[2-3]。国际环境毒理学与化学学会 (society of environmental toxicology and chemistry, SETAC) 将生命周期定义为: 全面地审视一种工艺或产品“从摇篮到坟墓”的整个生命周期有关的环境后果。归纳起来, 对生命周期评价可表述为: 对一种产品及其包装物在生产工艺、原材

料、能源或其他某种人类活动行为的全过程, 包括原材料采掘、原材料加工、产品生产、运输销售、产品使用和回收处置的全过程, 进行资源和环境影响的分析与评价^[4]。

市场上餐具包装多采用纸盒为外包装, 发泡聚苯乙烯为缓冲材料的全面缓冲结构。发泡聚苯乙烯即 EPS, 是一种可模塑的、轻质的、半硬质的、闭孔的和低成本的缓冲材料^[5]。但燃烧时会放出污染环境的苯乙烯气体, 不耐多次冲击, 性脆, 拉伸强度低。即使存在上述问题, 发泡聚苯乙烯仍然是不可替代的优良缓冲材料, 但目前高档餐具包装成本过高, 有个别产品包装成本甚至占产品成本的将近 40%, 高额的包装成本

《环境科学与技术》编辑部: (网址) <http://jks.chinajournal.net.cn> (电话) 027-87643502 (电子信箱) hjkxyjs@126.com

收稿日期 2013-04-15 修回 2013-05-27

基金项目 北京林业大学国家级大学生创新训练项目 (20121002203)

作者简介 梁韵秋 (1990-), 女, 本科生, 主攻产品运输包装设计, (电子信箱) locucumber@163.com; 通讯作者, 女, 讲师, 主要研究运输过程产品性能包装设计, (电子信箱) jruicai@163.com。

为消费者带来很大的经济损失,同时给环境带来一定的负担。因此要重新设计现有包装缓冲结构,减少包装材料用量,并对其进行生命周期评价,以说明其对环境带来的负担。

1 瓷质餐具包装设计

本研究所采用的套装瓷质餐具包括 4 个直径为 110 mm 的碗、2 个直径为 125 mm 的圆盘、2 个直径为 150 mm 的圆盘、2 个 200 mm×120 mm 的长盘以

及两个醋碟。外包装采用 B 楞瓦楞纸板,纸箱采用国际标准箱型 0427 型^[6],纸箱展开图如图 1 所示。缓冲结构采用发泡聚苯乙烯,模塑成型,缓冲结构最大外尺寸为 300 mm×300 mm,最大厚度在 20~30 mm 之间,销售包装最大外尺寸为 $L_0 \times B_0 \times H_0 = 380 \text{ mm} \times 306 \text{ mm} \times 104 \text{ mm}$ 。为保证重心平稳,缓冲结构将 4 个圆盘交叉放于底层,4 个碗放在上层,碗底卧于圆槽内,另外 4 个盘子立放于缓冲结构与外包装之间,利用缓冲结构与外包装缝隙卡住盘子结构如图 2~4。

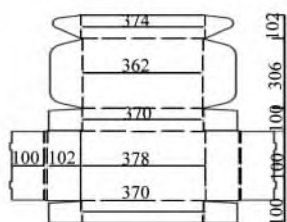
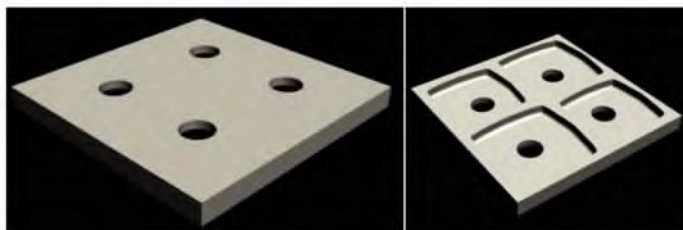


图1 纸箱展开图



(a) 正面

(b) 背面

图2 缓冲垫结构图

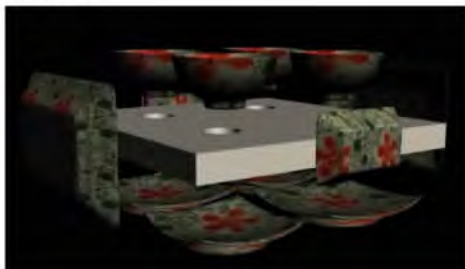


图3 包装内结构



图4 餐具包装

拟定该瓷质餐具生产商为唐山市路北区的某骨质瓷生产厂商,瓦楞纸箱生产商为唐山市河东路某纸箱厂,瓦楞原纸生产商为唐山市玉田县的某纸浆造纸公司,发泡聚苯乙烯生产商为秦皇岛昌黎县某泡沫制品有限公司。该套瓷质餐具运往北京市大兴区某陶瓷城进行销售。全过程拟采用 8 t 的厢式货车作为运输工具。

2 生命周期评价

2.1 LCA 定义目标与确定范围

2.1.1 LCA 目标的确定

针对一套餐具,研究其包装生产、使用和运输过程的环境负荷。为使研究的对象有可比性,本项目以 1990 年某一环境类型为基准,研究 2008–2012 年 5 年整套餐具包装对环境的污染排放并量化其环境负荷。本项目仅考虑中国范围内的生产条件 and 环境因素。本项目功能在于保护产品和评价环境性能。

2.1.2 LCA 范围的确定

本研究通过瓷质餐具包装的生命周期评价,描述其从原料生产,原料采集到销售和使用的整个过程。系统边界为从瓦楞纸板原料采够,苯乙烯颗粒生产到

生产发泡聚苯乙烯,到销售使用的全过程。每个运输阶段的路程采用具体的生产厂家的距离来进行计算。产品及过程中固体废弃物由于其处理方式多为就近运送到废品回收站进行处理,其处理的环节未列入研究系统范围之内。见图 5。研究范围内的数据来源于文献及国家标准^[7-11],相关步骤参考文献^[12]。

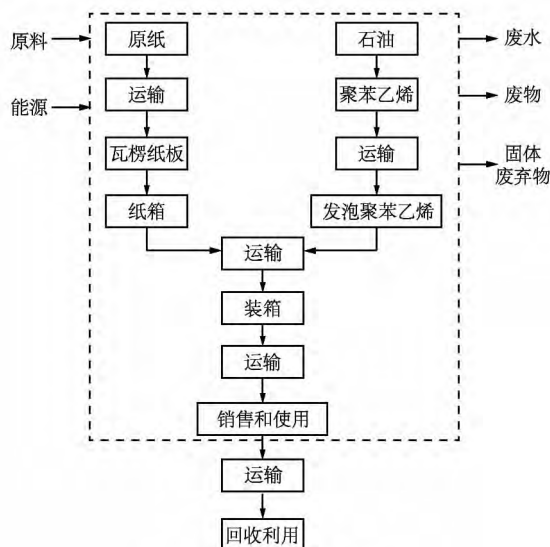


图5 餐具LCA系统边界

2.1.3 产品系统的功能单位

功能单位是度量产品系统输出功能时所采用的单位。只有功能单位一致,不同的产品系统才有可比性。本项目规定功能单位为生产一套骨质陶瓷餐具的完整包装(B 楞瓦楞纸板,无印刷,跌落高度为 800 mm)。

2.2 清单分析

由于国内目前尚无 LCA 基础数据库^[13],本文对相关文献数据和国家标准进行整理,系统边界内每功能单位包装产品加工运输过程的输入(资源消耗、能源消耗)数据清单见表 1,系统边界内每功能包装产品加工运输过程输出数据清单见表 2 和表 3。

表 1 一套餐具销售包装制造及运输输入数据清单

类别	名称	EPS 造粒/g·箱 ⁻¹	EPS 发泡/g·箱 ⁻¹	纸箱成型/g·箱 ⁻¹	运输/g·箱 ⁻¹	废弃处置/g·箱 ⁻¹
资源消耗	煤	4.69×10 ⁻⁶	1.19×10 ⁻⁵	65.9	—	3.43×10 ⁻⁸
	天然气	3.75×10 ⁻⁵	2.55×10 ⁻⁵	—	—	2.34×10 ⁻⁶
	石油	3.13×10 ⁻⁵	8.47×10 ⁻⁶	—	3.91×10 ⁻²	1.17×10 ⁻⁵
	石灰石	7.02×10 ⁻⁸	1.01×10 ⁻⁷	—	—	1.56×10 ⁻⁷
	水	2.38×10 ⁻⁴	6.66×10 ⁻⁴	612	—	—
能源	电	—	—	4.20×10 ⁻²	—	—
原料	原纸	—	—	360	—	—
	淀粉	—	—	6.23	—	—
	NaOH	—	—	0.616	—	—
	H ₂ SO ₄	—	—	1.86	—	—
	打包带	—	—	3.68	—	—

表 2 餐具包装生产运输设备噪声源统计结果

噪声源	噪声级/dB	运转状态
公路运输	92.5	间歇
锅炉鼓风机	85	连续
锅炉引风机	90	连续
空压机	105	连续
泵	80	间歇
模切机	85	连续
打包机	70	连续

2.3 影响评价

国际环境毒理学与化学学会(SETAC)建立了“三步走”模型,即分类、特征化和量化。美国环保局也倾向与这一方法,将影响评价分为 3 个阶段。定量方法相对比较严格,易于对比,国际上定量法一般采用定量模型评价,本研究选用目标距离法,着眼于影响后果,采用目标距离的原则,即某种环境影响类型的严重性用该效应当前水平与目标水平之间的距离来表示。

2.3.1 分类

本研究采用 SETAC 分类方案,主要考虑对资源、人类健康好人生态系统平衡的保护,划分为资源消耗、环境污染及生态系统退化三大类,在每一个大类中又划分若干环境影响类型。包括全球变暖、臭氧层破坏、酸化、光化学烟雾、水体富营养化、慢性职业健康影响、水生生态毒性等^[14]。

2.3.2 特征化

特征化的目的是计算各环境类型的环境影响潜值总和。其常用方法是选择一个环境影响因子作为当量基准,而同一环境影响类型的其他影响因子与当量基准因子^[15]比较得到当量系数,然后折合成基准因子的当量单位,从而将同一环境影响类型的影响因子物质全部转化和汇总为统一单元。

特征化的方法主要有 3 种:(1) 直接导入 LCI 数据;(2) 相关系数法;(3) 环境影响类型的内在特征法。产品环境影响潜值总和,即整个产品系统中所有环境排放影响的总和,用式(1)表示:

$$EP(j)=\sum EP(j)_i=\sum [Q(j)_i\times EP(j)_i] \tag{1}$$

式(1)中,EP(j)为该系统第 j 种潜在环境影响的贡献;EP(j)_i为第 i 种排放物质对第 j 种潜在环境影响的贡献;Q(j)_i为第 i 种物质排放量;EP(j)_i为第 i 种排放物质对第 j 种潜在环境影响的当量因子。

由清单分析(见表 1、表 2 和表 3)通过公式(1)以及相应参数计算得出一套瓷质餐具在本研究范围内的生命周期污染物排放影响潜值,见表 4。

2.3.3 量化

本研究采用目标距离法求出给环境影响类型的权重系数。该权重系数可用式(2)确定:

$$WF(j)=ER(j)_{90}/ER(j)_{T2000} \tag{2}$$

式(2)中,ER(j)₉₀指 1990 年全球或地区某一环境类型环境影响潜值的总和,是权重系数的标准化基准;ER(j)_{T2000}为 2000 年全球或地区某一环境影响类

表 3 一套餐具销售包装制造及运输输出数据清单

类别	名称	EPS 造粒	EPS 发泡	纸箱成型	运输	废弃处置
向水体排放	酸性物质	1.61×10^{-6}	3.04×10^{-9}	—	—	—
	铵盐	3.89×10^{-7}	4.76×10^{-7}	—	3.56×10^{-3}	7.80×10^{-8}
	BOD ₅	5.96×10^{-6}	2.97×10^{-7}	—	1.91×10^{-3}	4.95×10^{-8}
	COD	2.79×10^{-5}	1.14×10^{-6}	3.77×10^{-5}	1.44×10^{-2}	3.38×10^{-7}
	金属物质	1.16×10^{-5}	1.09×10^{-8}	—	—	—
	NO ₃	1.65×10^{-7}	3.00×10^{-7}	—	—	1.35×10^{-7}
	含 N 物质	2.07×10^{-7}	4.64×10^{-7}	7.36×10^{-6}	—	—
	磷酸盐类	9.01×10^{-8}	6.40×10^{-8}	—	—	—
	总有机碳 (TOC)	—	1.13×10^{-5}	—	2.99×10^{-2}	6.53×10^{-7}
	含 P 物质	—	—	4.90×10^{-5}	—	—
	悬浮物	—	—	2.28×10^{-5}	—	—
	NO ₃ ⁻	—	—	—	6.17×10^{-3}	—
	烷烃类	—	3.81×10^{-6}	—	8.80×10^{-4}	1.91×10^{-8}
	NH ₃	2.07×10^{-8}	2.96×10^{-8}	4.90×10^{-6}	—	1.33×10^{-7}
	芳香烃	8.69×10^{-6}	4.68×10^{-8}	5.38×10^{-7}	—	—
	苯 (C ₆ H ₆)	—	7.88×10^{-7}	—	—	—
	丁烷	—	2.00×10^{-6}	—	3.06×10^{-3}	6.67×10^{-8}
	CO ₂	1.03×10^{-2}	1.03×10^{-2}	1.04	155	2.57×10^{-2}
	CO	6.50×10^{-5}	2.34×10^{-4}	—	0.37	2.92×10^{-5}
	乙烷	—	1.34×10^{-5}	—	9.91×10^{-3}	2.27×10^{-7}
对大气排放	乙烯	—	1.43×10^{-5}	—	—	—
	甲醛	—	2.51×10^{-7}	—	—	—
	哈龙 1301 (CF ₃ Br)	—	1.73×10^{-9}	—	—	—
	己烷	—	2.99×10^{-7}	—	1.48×10^{-3}	3.24×10^{-8}
	烃类 (除 CH ₄)	1.85×10^{-4}	7.19×10^{-5}	—	0.520	-8.58×10^{-5}
	CH 化合物	—	3.13×10^{-7}	1.38×10^{-4}	—	-1.56×10^{-7}
	HCl	1.44×10^{-7}	5.95×10^{-6}	—	1.38×10^{-3}	5.14×10^{-7}
	HF	8.27×10^{-8}	2.49×10^{-7}	—	—	—
	H ₂ S	2.07×10^{-8}	5.34×10^{-7}	—	—	—
	CH ₄	3.98×10^{-4}	3.56×10^{-4}	—	0.291	6.35×10^{-6}
	NO ₂	—	8.48×10^{-7}	—	1.73×10^{-2}	3.78×10^{-7}
	NO ₃	1.65×10^{-7}	3.00×10^{-7}	—	—	1.35×10^{-7}
	NO _x	4.89×10^{-4}	1.22×10^{-4}	1.38×10^{-4}	1.72	4.15×10^{-5}
	颗粒物	7.35×10^{-5}	2.85×10^{-5}	1.57×10^{-4}	0.256	3.09×10^{-5}
	戊烷 (C ₅ H ₁₂)	—	2.22×10^{-3}	—	7.48×10^{-3}	8.19×10^{-8}
	丙烷 (C ₃ H ₈)	—	3.87×10^{-6}	—	6.41×10^{-3}	6.98×10^{-8}
	丙烯 (CH ₂ CHCH ₃)	—	3.38×10^{-7}	—	—	—
	H ₂ O	—	0.342	—	—	—
	SO ₂	4.03×10^{-4}	4.58×10^{-4}	5.86×10^{-3}	—	-3.12×10^{-6}
	SO _x	—	—	1.38×10^{-5}	0.598	—
向土壤排放	甲苯 (C ₆ H ₅ CH ₃)	—	3.68×10^{-7}	—	—	—
	固体废物	—	—	4.69×10^{-2}	—	—
	Al	—	5.25×10^{-7}	—	—	—
	Ca	—	2.10×10^{-6}	—	—	—
	C	—	1.56×10^{-6}	—	—	—
	F×10	—	1.05×10^{-6}	—	—	—
	S	—	3.14×10^{-7}	—	—	—

型环境影响潜值的总和,是规定的削减目标值。餐具包装生产运输环境影响潜值加权分析结果,如表 5 所示。

总环境影响潜力计算公式如式 (3) 所示:

表 4 餐具包装生产加工及运输过程环境影响特征化结果 (箱⁻¹)

影响类型	EPS 造粒	EPS 发泡	纸箱成型	运输	废弃处置	总计
全球变暖	4.00×10 ⁻²	2.46×10 ⁻²	1.04	232	2.76×10 ⁻²	233
酸化	7.46×10 ⁻⁴	5.51×10 ⁻⁴	5.98×10 ⁻³	1.70	2.72×10 ⁻⁵	1.71
富营养化	6.68×10 ⁻⁴	1.66×10 ⁻⁴	3.66×10 ⁻⁴	1.14×10 ⁻²	5.66×10 ⁻⁵	1.26×10 ⁻²
臭氧层损耗	—	2.08×10 ⁻⁸	—	—	—	2.08×10 ⁻⁸
光化学烟雾	8.64×10 ⁻⁵	9.59×10 ⁻⁴	5.24×10 ⁻⁵	0.227	1.74×10 ⁻⁷	0.228
气溶胶影响	—	—	2.28×10 ⁻⁵	—	—	2.28×10 ⁻⁵
潜在健康影响(慢性职业健康影响)	7.23×10 ⁻⁹	1.60×10 ⁻⁵	1.71×10 ⁻⁶	0.129	1.60×10 ⁻⁵	0.129
资源消耗	2.03×10 ⁻⁴	1.28×10 ⁻⁴	5.40×10 ⁻²	5.20×10 ⁻²	1.28×10 ⁻⁴	0.106
粉尘和烟尘	7.35×10 ⁻⁵	1.86×10 ⁻⁴	1.57×10 ⁻⁴	0.256	1.86×10 ⁻⁴	0.256
固体废弃物	—	—	4.70×10 ⁻²	—	—	4.70×10 ⁻²

表 5 环境影响潜值量化结果

影响类型	环境影响潜值	分析结果/kg(eq)·(人·a) ⁻¹			
		基准值	标准化值/kg	权重 WFT2000	加权后的环境潜值
全球变暖	233	8 700	2.68×10 ⁻²	0.83	2.22×10 ⁻²
酸化	1.71	36	4.75×10 ⁻²	0.73	3.47×10 ⁻²
富营养化	1.26×10 ⁻²	62	2.04×10 ⁻⁴	0.73	1.49×10 ⁻⁴
臭氧层损耗	2.08×10 ⁻⁸	0.2	1.04×10 ⁻⁷	2.7	1.80×10 ⁻⁷
光化学烟雾	0.228	0.65	0.351	0.53	0.186
粉尘和烟尘	0.256	18	1.42×10 ⁻²	0.62	8.69×10 ⁻³
固体废弃物	4.70×10 ⁻²	251	1.87×10 ⁻⁴	0.61	1.16×10 ⁻⁴

$$EIL=\sum WF(j)\times EP(j) \tag{3}$$

式 (3) 中,EIL 为环境影响潜力 ;WF(j)为第 j 种环境影响类型的环境影响潜值的权重系数 ;EP(j)为第 j 种环境影响类型的环境影响潜值总和。总环境影响潜力或环境影响负荷 (EIL) ,反映了所研究系统在其整个生命周期中对环境系统的压力大小。根据式 (3) 计算出该餐具包装在系统范围内整个生命周期的环境影响潜力 EIL=0.25。该值反映了本项目所研究的餐具包装在其整个生命周期中对环境系统的压力大小,且环境压力随环境影响负荷值的增加而增大。

2.4 结果分析与建议

2.4.1 结果分析

清单分析和影响评价结果表明 (见表 4,表 5) ,此套包装的研究系统边界内对环境的主要影响是光化学烟雾、全球变暖、资源消耗和酸化。光化学污染、全球变暖和酸化影响主要来源于运输过程柴油燃烧所产生的尾气 ;纸箱制造过程消耗较多资源,化石能源的消耗主要是个生产纸箱过程中对煤和电的使用 ;富营养化是由淀粉胶机清洗水排放造成的。

在整套包装生产过程中,运输在整个过程中影响最大,全球变暖、酸化、富营养化、光化学污染、潜在健康影响 (慢性职业健康影响) 、粉尘和烟尘中分别占总

环境影响的 99.57%,99.42%,90.48%,99.56%,99.97%和 99.77%。包装产品产生的固体废弃物,基本上就是整个包装单位。包括瓦楞纸箱和发泡聚苯乙烯,均可降级回收利用。

在整个研究过程中,噪声主要来自于公路运输,和纸箱生产过程的空压机和锅炉引风机,对工人和工厂,公路周围的居民身体健康产生不利影响。

2.4.2 建议

在设计商品时,尽量减少包装材料用量。包装产品所产生的各环境影响类型的环境影响潜力主要集中在运输环节,而不是包装产品本身生产加工以及销售过程中产生环境影响负荷。因此,建议生产厂家就近选择包装供应商,生产厂家就近销售,在各地设置分厂分销产品。减少运输距离可减少环境影响在全球变暖、酸化、水体富营养化等方面的消耗。

3 结论

根据以上研究,一套餐具包装生产和运输环节的总环境影响潜力 EIL=0.25,即每套餐具包装从生产到销售使用整个产品系统在其生命周期中对环境的压力。主要在全球变暖、光化学烟雾、酸化、资源消耗等环境影响类型产生影响。

通过对某款餐具包装生命周期评价的案例分析,

一方面包装材料在生产过程中对环境产生较大影响,改进技术应是以后将面临的重大问题;另一个方面,运输产生的环境负荷几乎决定着整个包装生命周期的环境负荷,运输距离既决定了环境负荷,更决定了运输成本。研究过程中由于数据收集较困难,研究结果有一定局限性。希望在以后的研究中,多积累数据,使研究结果更准确。

[参考文献]

- [1] 苏建宁,李鹤岐,李奋强. 基于知识的绿色包装评价体系[J]. 包装工程, 2003, 4(1): 44-46.
- [2] Markg. Tools for life cycle assessment and eco design [J]. Trans Mat Res SocJpn, 1994, 18A: 81-86.
- [3] Brezeth, Stevelsa, Romboutsj. LCA for eco design: the Dutch experience[C]. Proceedings of First International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing. Tokyo, Japan, Las Alamitos, California: IEEE Computer Society, 1999: 36-40.
- [4] 戴宏民. 包装与环境[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2007: 55-56.
Dai Hong-min. Packaging and Environment[M]. Beijing: Printing Industries Press, 2007: 55-56. (in Chinese)
- [5] 杨铭瑞, 余华, 徐少科, 等. 缓冲包装材料的开发应用[J]. 中国包装工业, 2009(12): 41-43.
Yang Rui-ming, Yu Hua, Xu Shao-ke, et al. Development and application of the cushion packaging materials[J]. China Packaging Industry, 2009(12): 41-43. (in Chinese)
- [6] 孙诚. 包装结构设计 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2011: 366.
Sun Cheng. Packaging Structural Design[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2011: 366. (in Chinese)
- [7] 田亚峰. 运用生命周期评价方法实现清洁生产[D]. 重庆: 重庆大学, 2003.
Tian Ya-zheng. Life Cycle Assessment Methods to Achieve Cleaner Production[D]. Chongqing: Chongqing University, 2003. (in Chinese)
- [8] GB 8978-1996, 污水综合排放标准[S].
GB 8978-1996, Wastewater Discharge Standards[S]. (in Chinese)
- [9] GB 16297-1996, 大气污染物综合排放标准[S].
GB 16297-1996, Atmospheric Pollutant Emission Standards [S]. (in Chinese)
- [10] Magnus, Bengtsson, Bengt Steen. Weighting in LCA – approaches and applications[J]. Environmental Progress, 2000, 19(2): 101-109.
- [11] GB PB1-1999, 轻型汽车污染物排放标准[S].
GB PB1-1999, Emission Standards for LIGHT-duty Vehicles [S]. (in Chinese)
- [12] 李蔓, 王震, 孙德智. 聚乙烯生产生命周期评价的研究[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(5): 191-195.
Li Man, Wang Zhen, Sun De-zhi. Study on life cycle assessment of polythene production[J]. Environmental Science & Technology, 2009, 32(5): 191-195. (in Chinese)
- [13] 杨健, 吴敏, 郝一舒. 污染控制技术的清洁性及其 LCA 评估[J]. 环境科学与技术, 2002, 25(2): 28-29.
Yang Jian, Wu Min, Hao Yi -shu. Cleanness of pollution control technologies and its life cycle assessment (LCA)[J]. Environmental Science & Technology, 2002, 25 (2): 28-29. (in Chinese)
- [14] 邓南圣, 王小兵. 生命周期评价[M]. 北京: 化学工业出版社, 环境科学与工程出版中心, 2003.
Deng Nan-sheng, Wang Xiao-bing. Life Cycle Assessment [M]. Beijing: Chemical Industry Press, Publishing Center of Environmental Science and Engineering, 2003. (in Chinese)
- [15] Jacques Chevalier, Patrick Rousseaux. Classification in LCA: Building of a coherent family of criteria[J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 1999(11): 352-356.
- (上接第 335 页)
- resource savings[J]. Resources conservation and Recycling, 2010, 54: 229-234.
- [10] 李青仁, 苏斌, 李胜钊. 微量元素钴、镍与人体健康[J]. 广东微量元素科学, 2008, 15(1): 66-70.
Li Qing-ren, Su Bin, Li Sheng-chuan. Trace element cobalt, nickel and human health[J]. Guangdong Trace Elements Science, 2008, 15(1): 66-70. (in Chinese)
- [11] 李金惠. 废电池管理与回收[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 1-11.
Li Jin-hui. Manegement and Recycling of Waste Batteries [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 1-11. (in Chinese)
- [12] 荆俊杰, 谢吉民. 微量元素锰污染对人体的危害[J]. 广东微量元素科学, 2008, 15(2): 6-9.
Jing Jun-jie, Xie Ji-min. Hazards of manganese pollution to health[J]. Guangdong Trace Elements Science, 2008, 15(2): 6-9. (in Chinese)
- [13] 杨师. 锂与人体健康[J]. 金属世界, 2000(4): 10.
Yang Shi. Lithium and human health[J]. Metal Word, 2000(4): 10. (in Chinese)
- [14] Sigma 公司 LiPF₆ 产品的安全数据表格 [EB/OL]. <http://www.sigmaaldrich.com/china-mainland.html>.
Sigma Company Date Sheet of LiPF₆ Product [EB/OL]. <http://www.sigmaaldrich.com/china-mainland.html>. (in Chinese)