

典型复合包装的全生命周期环境影响评价研究

谢明辉^{1,2}, 李 丽^{2*}, 黄泽春², 朱雪梅², 孙体昌¹ (1.北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083; 2.中国环境科学研究院, 固体废物污染控制技术研究所, 北京 100012)

摘要: 采用生命周期评价法研究了牛奶纸塑铝复合包装的全生命周期环境影响, 并与塑料包装的环境影响进行比较评价。通过现场和资料调研的方式获得整个生命周期的能量物质的输入输出和环境外排的数据。结果表明, 纸塑铝复合包装和塑料包装的环境影响值分别为 5.225、4.670Pt, 在整个生命周期中, 环境影响比重最大的是原材料获取阶段, 两者均在 80%左右。塑料包装在化石资源消耗方面是纸塑铝复合包装的 2 倍多, 由于化石资源消耗是不可再生的, 因此其对环境的影响无法通过相关途径降低。纸塑铝复合包装的环境影响较大的原因是其尚未得到很好的回收再生利用, 通过发展铝塑分离再生技术和提高纸塑铝复合包装回收率可以降低其环境影响。

关键词: 生命周期评价; 纸塑铝复合包装; 塑料包装; 环境影响

中图分类号: X825 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2009)07-0773-07

Environmental impact estimation of Al-PE-Pa complex package using life cycle assessment. XIE Ming-hui^{1,2}, LI Li^{2*}, HUANG Ze-chun², ZHU Xue-mei², SUN Ti-chang¹ (1.Civil and Environment Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2.Research Institute of Solid Waste Management, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China). *China Environmental Science*, 2009,29(7): 773~779

Abstract: The environmental impact of complex packages made of aluminum, polyethylene and paper board (Al-PE-Pa) and plastic packages were estimated using life cycle assessment (LCA) and compared. The input and output streams of mass and energy, as well as the environmental emission, were obtained from literatures and field investigation. Environmental impact of Al-PE-Pa and plastic package were 5.225Pt and 4.670Pt, respectively. In the entire life cycle of these two selected packages, the environmental impact raising from raw materials supply was highest, accounting for 80% of total environmental impact of their life cycle. The environmental impact of plastic package on fossil resources consumption was two times as that of complex package. However, it could be hard to decrease the environmental pressure from plastic packages because the fossil is a non-renewable resource and confronted with exhausted circumstances. Comparatively, Al-PE-Pa complex package caused more environmental impact because of lower recovery and reuse, which can be improved by developing material recovery or other appropriate recycling technology to improve the cyclic materials flows and recycling ratio.

Key words: life cycle assessment (LCA); Al-PE-Pa complex package; plastic package; environmental impact

近年来,为了解决塑料包装造成的白色污染问题,以纸塑铝为典型代表的复合包装已占据软饮料包装市场份额的 6.5%^[1],尤以乳品包装为重,成为替代塑料包装首要选择。然而,由于国内尚无完善的包装废物的回收体系,复合包装很难实现分类收集^[2]。另一方面由于纸塑铝复合包装再生回用技术发展缓慢,铝塑部分难以实施有效的分离再生利用^[3],直接导致每年有数万 t 复合包装被当成垃圾扔掉,不仅污染了环境,而且给生活垃圾的回收处置造成困难。因此,从包装废物产生的源

头建立资源节约的考核标准,淘汰合理性较差的包装产品,从而减少包装废物的产生,是有效解决包装废物产生的唯一途径。环境影响评价作为包装产品合理性评价内容中的重要部分,其结果将直接影响包装合理性的好坏。传统的包装产品环境影响评价仅局限于单个开发项目或某一阶段的环境影响,忽略了产品在整个生命周期内的能

收稿日期: 2008-12-11

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAC02A13)

* 责任作者, 副研究员, li_li@craes.org.cn

源消耗及污染物排放影响.本研究选择牛奶包装为研究对象,对单位包装量的环境影响进行评价,引入生命周期评价(LCA)的分析方法,旨在对包装产品生命周期排放清单进行分析比较,为典型复合包装合理性评价提供方法依据.

1 研究内容

选用目前占我国市场份额最大的利乐公司产纸塑铝复合牛奶包装和普通的塑料牛奶包装,基于 ISO14040-14043 中介绍的生命周期评价理论^[4],采用 Eco-indicator99^[5]环境影响评价方法对其进行评价.由于国内对塑料包装进行过 LCA 研究,故本研究评价过程以纸塑铝复合包装为主,评价涉及的流程主要包括原材料获取、包装生产、包装运输、包装废弃处置 4 个阶段.

2 研究方法

2.1 功能单位和系统边界界定

在进行数据收集和评价前要对功能单位和系统边界进行界定.在比较评价中,相同的功能单位和系统边界界定可得出公平公正的结果^[6].本研究的功能单位界定为 1000L 牛奶的包装产品,

即 1000 个 1L 的纸塑铝复合牛奶包装,其重量为每个 30g,总重量为 30kg;5000 个 200mL 的塑料牛奶包装袋,其重量为每个 3.31g,总重量为 16.55kg.

评价内容在生产阶段由于一些辅助材料用量较小,所产生的环境负荷也较小,所以被排除在评价范围之外^[7],如在铝生产过程中的石灰石、氟化钙等,另外生产过程中设备和固定资产的折旧维修也不在评价范围之内^[8].评价内容不涉及包装产品的使用阶段,这主要是由于大多数牛奶包装产品生产线和牛奶灌装线基本同步进行,不存在异地运输情况.另外,本研究与以往国内外 LCA 应用研究有所不同的是,将产品废弃后的再生利用加入到生命周期之中,而国内外一般在产品使用阶段之后都按填埋处置处理.本研究将纸塑铝复合包装的回收再生造纸部分包括在生命周期内,但由于目前国内铝塑分离工艺仍不能实现大规模工业生产,大量的实际生产数据仍难以获取,因此,本研究的生命周期评价界定为原材料获取、包装生产、包装运输、包装处置 4 个生命阶段,铝塑废物部分按垃圾填埋处置计算,如图 1 所示(虚线表示不在评价范围之内).

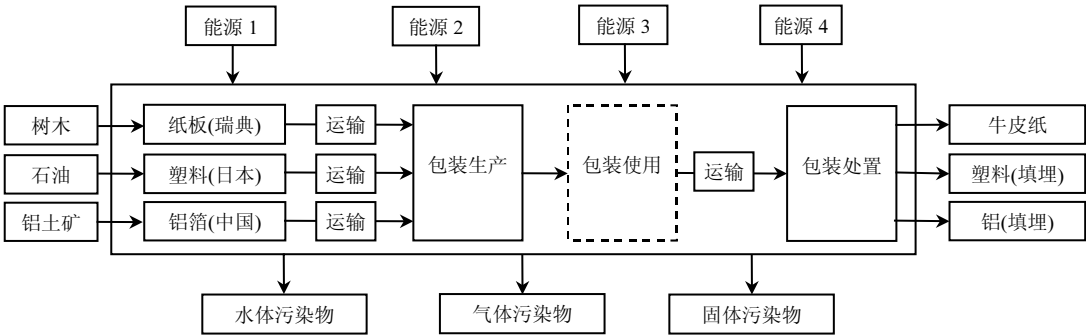


图 1 纸塑铝复合牛奶包装评价框架

Fig.1 Assessment frame of Al-PE-Pa complex package

由图 1 可见,所界定的研究范围贯穿于整个包装产品的生命周期阶段,并将运输能耗列入研究框架中,这是目前国内多数 LCA 应用时未涉及到的阶段.

2.2 数据收集

数据收集分为 2 类,即背景数据和前景数

据的收集.背景数据主要是由科研机构或企业通过数据调研,然后根据整个区域的经济技术发展水平修正编制而成的基础数据,如我国电力生命周期排放清单等,这部分数据可以通过数据库、网络资源、发表的期刊文献等方式获取.由于研究对象在整个生命周期所消耗的能

源主要包括:电、原煤和天然气,因此背景数据由两部分组成,一部分来源于狄向华等^[9]编制的我国火力发电单位电量(1kW·h)的生命周期清单(表 1).另一部分是袁宝荣等^[10]编制的我国单位化石能源(即 1kg 原煤和 1m³ 天然气)生产的生命周期清单(表 2).我国天然气的开采损耗率均为 30%左右,主要是开采过程的能源消耗引起的.

表 1 我国火力发电单位电量(1kW·h)的生命周期清单
Table 1 Life cycle inventory related to 1 kW·h electricity production of thermal power plants in China

能源类型	一次能源消耗量(kg)			环境污染物外排量(kg)						
	原煤	天然气*	原油	CO ₂	SO ₂	NO _x	烟尘	CH ₄	CO	NM VOC
电	4.0×10 ⁻¹	6.9×10 ⁻³	7.73×10 ⁻³	1.07	9.93×10 ³	6.46×10 ⁻³	2.0×10 ⁻⁴	2.6×10 ⁻³	1.55×10 ⁻³	4.87×10 ⁻⁴

注:*天然气单位为m³(以下表注同表1)

表 2 我国单位化石能源生产的生命周期清单
Table 2 Life cycle inventory related to 1 kg/m³ fossil fuel production in China

能源类型	一次能源消耗量(kg)			环境污染物外排量(kg)						
	原煤	天然气*	原油	CO ₂	SO ₂	NO _x	烟尘	CH ₄	CO	
原煤	1	5.13×10 ⁻⁸	8.59×10 ⁻⁴	6.19×10 ⁻³	7.45×10 ⁻⁶	4.29×10 ⁻⁵	9.07×10 ⁻⁴	9.32×10 ⁻³	5.17×10 ⁻⁶	
天然气*	1.18×10 ⁻³	1.32	3.27×10 ⁻²	7.48×10 ⁻²	1.91×10 ⁻⁴	1.87×10 ⁻⁴	9.18×10 ⁻⁵	7.32×10 ⁻⁶	7.23×10 ⁻⁶	

前景数据如生产过程的能源消耗量等,获取方式如以下 4 个阶段.

原材料获取阶段.原材料使用量来自本研究对利乐中国北京公司的调研数据:生产 30kg 的纸塑铝复合牛奶包装需要纸板 21.93kg,塑料 5.29kg,铝箔 1.34kg.其中纸板和塑料为瑞典和日本进口,所以生产过程数据来自 Ecoinvent 数据库;铝为国内生产,数据的获取可参考国内关于我国铝的生命周期清单分析数据^[11];由于目前国内铝箔生产技术水平基本与国际水平一致,铝箔加工过程数据选用 Ecoinvent 数据库欧洲标准工业数据.原材料数据清单见表 3.

表 3 原材料获取阶段的生命周期清单
Table 3 Life cycle inventory of raw materials for Al-PE-Pa complex package

原材料 消耗量		一次能源(资源)消耗量(kg)				环境污染物外排量(kg)									
类型	(kg)	原煤	天然气'	原油	其他	CO ₂	SO ₂	NO _x	烟尘	CH ₄	CO	NMVOC	COD	BOD	TOC
纸板	21.93	4.73×10 ²	2.15×10 ⁻¹	1.96	木材: 41.65	7.26	3.86×10 ⁻²	6.56×10 ⁻²	1.95×10 ⁻²	9.74×10 ⁻³	8.33×10 ⁻³	2.17×10 ⁻²	5.07×10 ⁻¹	8.99×10 ⁻²	1.83×10 ⁻¹
塑料	5.29	7.05×10 ⁻¹	4.09	4.45	无	8.97	2.66×10 ⁻²	2.01×10 ⁻²	2.78×10 ⁻²	8.56×10 ⁻²	1.45×10 ⁻²	2.54×10 ⁻²	1.16×10 ⁻²	3.60×10 ⁻³	4.24×10 ⁻³
铝箔	1.34	1.28×10	2.63×10 ⁻¹	2.22×10 ⁻¹	铝土矿': 4.78	2.80×10 ²	2.31×10 ⁻¹	1.35×10 ⁻¹	4.31×10 ⁻¹	7.39×10 ⁻²	6.61×10 ⁻¹	1.06×10 ⁻²	1.15×10 ⁻³	0	0

运输阶段.运输过程产生的环境负荷可由运输负荷量乘以单位运输环境负荷计算得出.即:运输过程产生的环境负荷=运输负荷量×单位运输环境负荷.其中,运输负荷量常用运载重量与运输距离的乘积来表述(t·km).运输阶段主要包括两部分:原材料获取的运输过程和包装处置的运输过程.原材料获取阶段的纸板和塑料采用洲际货轮运抵中国,运输距离按斯德哥尔摩和东京到天津港距离计算,铝箔国内运输选用 20t 载货卡车^[12],运输距离按中国八大铝厂与北京之间距离和产量百分比加权获得;包装处置阶段的运输分城内运输和城外运输 2 部分,城区内使用 2t 轻型载重货车,城区外使用 10t 重型载重货车^[13].运输距离来自本研究对北京联合开源再生资源回收利用

有限公司的调研数据,单位运输负荷计算只考虑模型选择美国 EPA 的 MOBILE^[14]模型,暂不考虑燃料上游清单和燃料燃烧清单,其环境外排计算运输时二次扬尘的环境影响^[15].清单数据见表 4.

表 4 运输阶段的生命周期清单
Table 4 Life cycle inventory of transport for Al-PE-Pa complex package

运输形式	运输负荷 量(t·km)	一次能源消耗量(kg)			环境污染物外排量(kg)							
		原煤	天然气*	原油	CO ₂	SO ₂	NO _x	CH ₄	CO	NMVOC	PM ₁₀	NO ₂
海运	714	7.79×10 ⁻¹	2.08×10 ⁻¹	1.98	7.80	9.66×10 ⁻²	1.02×10 ⁻¹	5.56×10 ⁻³	1.60×10 ⁻²	7.21×10 ⁻³	1.12×10 ⁻²	0
20t 卡车陆运	1.34	9.20×10 ⁻⁴	1.53×10 ⁻⁶	2.55×10 ⁻²	1.92×10 ⁻¹	6.37×10 ⁻⁵	1.35×10 ⁻³	1.58×10 ⁻⁵	2.72×10 ⁻⁴	9.25×10 ⁻⁵	2.57×10 ⁻⁵	6.70×10 ⁻⁶
20t 货车陆运	1.2	3.52×10 ⁻³	5.87×10 ⁻⁶	9.74×10 ⁻²	1.98×10 ⁻¹	1.33×10 ⁻⁴	1.71×10 ⁻³	5.20×10 ⁻⁵	2.47×10 ⁻²	4.78×10 ⁻³	2.58×10 ⁻⁵	1.44×10 ⁻⁵
10t 货车陆运	2.06	3.13×10 ⁻³	5.21×10 ⁻⁶	8.67×10 ⁻²	2.21×10 ⁻¹	2.36×10 ⁻⁴	5.01×10 ⁻³	2.24×10 ⁻⁵	1.17×10 ⁻³	8.80×10 ⁻⁴	1.54×10 ⁻³	6.37×10 ⁻⁶

生产阶段.本阶段数据来自本研究对利乐中合牛奶包装需要消耗天然气 0.15m³,消耗电
国北京公司的调研数据,即生产 30kg 的纸塑铝复 6.18kW·h(表 5).

表 5 生产阶段的生命周期清单
Table 5 Life cycle inventory of production for Al-PE-Pa complex package

耗能类型	消耗量	一次能源消耗量(kg)			环境污染物外排量(kg)						
		原煤	天然气*	原油	CO ₂	SO ₂	NO _x	烟尘	CH ₄	CO	NMVOC
天然气*	0.15m ³	1.76×10 ⁻⁴	1.97×10 ⁻¹	4.89×10 ⁻³	1.12×10 ⁻²	2.86×10 ⁻⁵	2.80×10 ⁻⁵	1.37×10 ⁻⁵	1.09×10 ⁻⁶	1.08×10 ⁻⁶	0
电	6.18kW·h	2.46	4.27×10 ⁻²	4.77×10 ⁻²	6.61	6.13×10 ⁻²	3.99×10 ⁻²	1.25×10 ⁻¹	1.61×10 ⁻²	9.57×10 ⁻³	3.01×10 ⁻³

处置阶段.处置再生数据为本研究对北京鑫宏鹏纸业有限公司的调研,处置 30kg 纸塑铝复合包装能再生 18kg 的牛皮纸,共耗电 11.4kW·h,耗标煤 6.45kg.剩余 12kg 铝塑部分由于市政垃圾低位热值偏低不利于焚烧处理^[16],且北京市政垃圾约 90%以填埋为主^[17],所以按卫生填埋处置计算,填埋阶段环境外排数据可参考郭颖杰^[18]关于我国城市生活垃圾处理系统清单数据,物耗能耗数据可参考 Francesco 等^[19]关于卫生填埋的物耗能耗清单数据见表 6.

表 6 处置阶段的生命周期清单
Table 6 Life cycle inventory of treatment for Al-PE-Pa complex package

处置	能耗 类型	消耗量	一次能源消耗量(kg)			环境污染物外排量(kg)							
			原煤	天然气*	原油	CO ₂	SO ₂	NO _x	烟尘	CH ₄	CO	NM VOC	其他
造纸	电	11.4kW·h	4.53	7.88×10 ⁻²	8.81×10 ⁻²	1.22×10 ¹	1.13×10 ⁻¹	7.36×10 ⁻²	2.30×10 ⁻¹	2.96×10 ⁻²	1.77×10 ⁻²	5.55×10 ⁻³	无
	标煤	6.45kg	9.03	4.63×10 ⁻⁷	7.76×10 ⁻³	1.55×10 ¹	1.51×10 ⁻¹	9.03×10 ⁻²	3.28×10 ⁻¹	8.43×10 ⁻²	2.01×10 ⁻²	4.72×10 ⁻³	无
填埋	12kg 铝塑废物		1.28×10 ⁻²	2.17×10 ⁻⁴	1.44×10 ⁻²	1.32	4.08×10 ⁻⁴	2.09×10 ⁻⁴	6.46×10 ⁻⁴	5.66×10 ⁻¹	6.75×10 ⁻⁵	1.52×10 ⁻⁵	COD:0.33
													BOD:0.16
													氨氮:0.03
													SS:0.22

本研究的 LCA 数据均源自发生地,基本实现了生命周期评价的本地化,而这也正是制约和阻碍 LCA 在我国发展的重要因素之一.

2.3 影响评价

比较常用的 LCA 评价方法有 EI99、CML2001、EDIP2003 等^[20-21],考虑到本研究对象的原材料获取在不同地域且 70%的原材料来源欧洲,所以选用较为常用的 EI99 方法.此方法通过对产品各生命周期的环境负荷清单数据进行特征化、标准

化、归一化后得出所对应的环境影响值,单位用

Pt(10^{15} t)表示.利用 SimaPro7.1 软件,用获取的数据资料对纸塑铝复合包装进行了全生命周期的评价,可以得出纸塑铝复合包装的环境影响潜值为 5.225Pt.为了方便计算,将运输阶段分开,一部分为原材料运输,一部分为废弃处置阶段的运输并已计算入相应的处置方式中(通过调研可知,北京市纸塑铝复合包装产品回收率为 10%,其余 90%都进入卫生填埋系统).

表 7 纸塑铝复合包装全生命周期评价结果
Table 7 LCA results of Al-PE-Pa complex package

影响类别	原材料获取	原材料运输	生产阶段	废弃处置	
				再生(10%)	填埋(90%)
致癌物(Pt)	0.037	0.005	0.008	-0.003	0
有机物对呼吸系统损害(Pt)	0	0	0	0	0.001
无机物对呼吸系统损害(Pt)	1.023	0.467	0.181	0.031	0.025
气候变化(Pt)	0.021	0.043	0.040	0.033	0.163
辐射(Pt)	0	0.001	0	0	0
臭氧层破坏(Pt)	0	0	0	0	0
生态毒性(Pt)	0.035	0.025	0.007	-0.004	0
酸化/富营养化(Pt)	0.117	0.055	0.023	0.006	0.005
土地占用(Pt)	0.887	0.007	0	-0.165	0
矿产资源(Pt)	0.272	0.001	0	-0.001	0
化石资源(Pt)	1.546	0.323	0.037	-0.042	0.016
总计(Pt)	3.938	0.926	0.297	-0.145	0.209

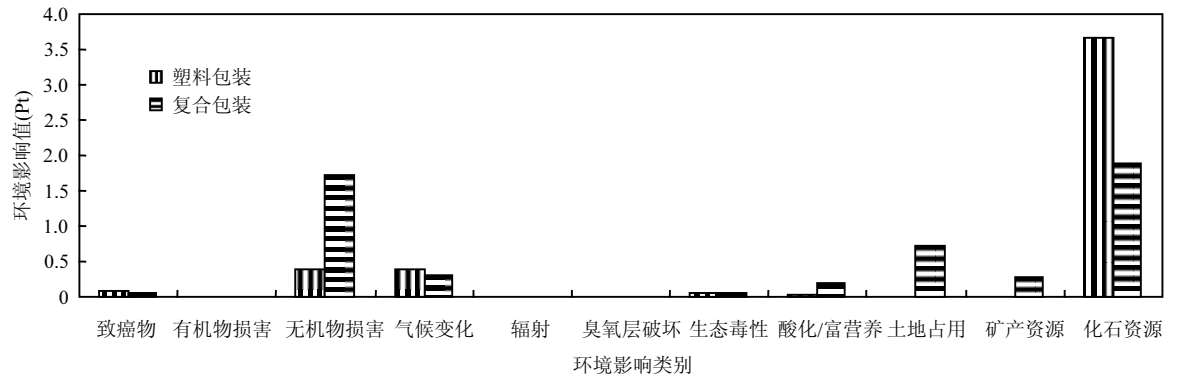


图 2 塑料和纸塑铝复合包装比较评价结果
Fig.2 Plastic and Al-PE-Pa complex package evaluation results and comparison

由表 7 可以看出,原材料获取阶段的环境影响值占据了整个生命周期阶段的 80%,即包装材料的选择直接决定了包装产品 LCA 评价结果.这样的结果和包装行业自身特性是十分相符的,因为包装行业基本都属于来料加工行业,加工过程中的三废排放很少,所以包装材料获取阶段的三废排放就占据了整个包装产品生命周期较大的部分,从而直接决定了评价结果的好坏.这在一定程度上也说明了本研究的数据来源的客观真实性.

采用秦凤贤等^[22]对塑料牛奶包装的清单数据,并通过调研得到的目前我国塑料包装回收率为 35%,其余 65%按焚烧处理.在相同的功能单位和系统边界下,同样选用 EI99 评价方法比较得出塑料包装和纸塑铝复合包装的 LCA 评价结果,如图 2 所示,其中塑料包装的环境影响值为 4.670Pt.由图 2 可以看出,塑料包装在化石资源消耗方面的环境影响约占整个生命周期环境影响

的 79%, 远远大于纸塑铝复合包装。这是因为塑料包装的原材料主要来源于原油, 属于不可再生资源, 无法通过其他途径降低其环境影响。而这也正是纸塑铝复合包装虽然环境影响值高于塑料包装, 但却更具有优越性的一个重要因素。

另外, 纸塑铝复合包装的无机物环境影响也较大, 这主要是因为原材料在海运过程和铝的生产过程中, NO_x 、 SO_2 和颗粒物排放量较大。

2.4 改善评价

由表 7 可见, 纸塑铝复合包装处置阶段的再生技术虽然仅回收了纸基部分, 但处置阶段的环境影响已为负值, 即说明再生处置纸塑铝复合包装可以给环境带来正面影响, 如果其中铝塑分离技术能得到工业化的推广, 废弃的纸塑铝复合包装进一步分离再生出铝和塑料, 势必会加大纸塑铝复合包装在环境影响方面的优越性, 这也是降低其环境影响的一种途径。

通过调研发现, 北京地区的纸塑铝复合包装回收率不高, 仅为 10%, 所以其在处置阶段材料再生的优势未能进一步体现出来, 如果提高回收率, 设定回收率为 α , 则纸塑铝复合包装环境影响值可由式(1)计算得出:

$$E = E_{\text{RM}} + E_{\text{RT}} + E_{\text{P}} + E_{\text{T}} \quad (1)$$

式中: E_{RM} 为原材料获取阶段的环境影响值; E_{RT} 为原材料运输阶段的环境影响值; E_{P} 为生产阶段的环境影响值; E_{T} 处置阶段的环境影响值。

在本研究中, 前三者为固定值, 即 $E_{\text{RM}}=3.938\text{Pt}$, $E_{\text{RT}}=0.926\text{Pt}$, $E_{\text{P}}=0.297\text{Pt}$ 。由于处置过程主要分为两部分, 即再生和填埋, 所以 E_{T} 与再生部分环境影响值(E_{u})和填埋部分环境影响值(E_{l})有关, 可以用一个函数来表示, 即:

$$E_{\text{T}} = f(E_{\text{u}}, E_{\text{l}}) \quad (2)$$

E_{u} 可由再生运输过程的环境影响量和再生过程环境影响相加而得, 即:

$$E_{\text{u}} = 0.000706 \times 30 \times \alpha + 0.00166 \times 30 \times \alpha + (-0.0508) \times 30 \times \alpha \quad (3)$$

式中: 0.000706 为单位重量回收的纸塑铝复合包装用 2t 货车在市区由消费者运输到中转打包点的环境影响值; 0.00166 为单位重量纸塑铝复合包装用 10t 货车由中转打包点运输到再生工厂的

环境影响值; -0.0508 为单位重量纸塑铝复合包装再生利用的环境影响值。

E_{l} 可由处置运输过程的环境影响值和处置过程环境影响值相加而得, 即:

$$E_{\text{l}} = 0.000265 \times 30 \times (1-\alpha) + 0.000847 \times 30 \times (1-\alpha) + 0.00663 \times 30 \times (1-\alpha) \quad (4)$$

式中: 0.000265 为单位重量未回收进入市政垃圾的纸塑铝复合包装用 2t 货车在市区由消费者运输到垃圾中转站的环境影响值; 0.00166 为单位重量纸塑铝复合包装用 10t 货车由垃圾中转站运输到填埋场的环境影响值; 0.00663 为单位重量纸塑铝复合包装填埋处置的环境影响值。所以:

$$E_{\text{T}} = E_{\text{u}} + E_{\text{l}} = 0.232 - 1.685\alpha \quad (5)$$

将 E_{RM} 、 E_{RT} 、 E_{P} 和式(5)带入式(1)可得:

$$E = 5.393 - 1.685\alpha \quad (6)$$

通过式(6)可以计算出纸塑铝复合包装在界定环境影响值下的 α , 在本研究中, 如果以提高回收率来作为减低环境影响的手段, 当纸塑铝复合包装 α 为 43% 的时候, 即可达到与塑料包装相同的环境影响, 当 $\alpha > 43\%$ 时, 纸塑铝复合包装在环境协调性方面完全优于塑料包装。因此, 提高 α 可作为另外一条降低纸塑铝复合包装环境影响的途径。

本研究对纸塑铝复合牛奶包装和塑料牛奶包装的比较评价仅局限在环境影响方面, 包装功能和包装成本并没有考虑在内, 而这也是评价包装产品时非常重要的 2 个方面。目前在中国“十一五”科技支撑计划重大项目“清洁生产与循环经济的关键技术与示范研究”中已采用本研究方法并结合包装功能、成本对牛奶包装进行了全面的评价。

3 结论

3.1 纸塑铝复合牛奶包装和塑料牛奶包装的全生命周期环境影响值分别为 5.225Pt 和 4.670Pt, 且在原材料获取阶段的环境影响在整个生命周期阶段所占比重均在 80% 左右。

3.2 塑料包装在化石资源消耗方面对环境影响占据整个生命周期环境影响的 79%, 是纸塑铝复合包装的 2 倍多。

3.3 纸塑铝复合包装在化石资源消耗、无机物排放方面和土地占用对环境影响较大,其次是气候变化、酸化/富营养化.考虑到化石资源的不可再生性,从可持续发展角度来看,发展纸塑铝复合包装比发展塑料包装更具有优越性.

3.4 改善纸塑铝复合包装的环境影响可以通过以下 2 种途径:一种是发展再生技术,将铝塑进一步分离成为塑料和铝,这势必大大降低其环境影响;另一种是提高回收率,当其回收率超过 43%时,则纸塑铝复合包装的环境影响小于塑料包装.

参考文献:

- [1] 黄颖为,齐银玲.食品包装的主流—复合包装 [J]. 印刷世界, 2007(1):42-43.
- [2] 杨 凯,徐启新,林逢春,等.包装废物减量及回收体系构建研究 [J]. 中国环境科学, 2001,21(2):189-192.
- [3] 胡明秀.包装废弃物污染现状及综合利用探讨 [J]. 中国包装, 2004(3):61-63.
- [4] Rebitzer G, Kekvall T, Frischknecht R, et al. Life cycle assessment Part1: framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications [J]. Environmental International, 2004, 30(5):701-720.
- [5] Pre Consultants. The Eco-indicator 99 A damage oriented method for life cycle impact assessment manual for designers [M]. Netherlands: Amersfoort. Pre. Consultants, 2001.
- [6] 王寿兵,胡 聃,吴千红,等.生命周期评价及其在环境管理中的应用 [J]. 中国环境科学, 1999,19(1):77-80.
- [7] Consoli F, Allen D, Boustead I, et al. Guidelines for life-cycle assessment: A 'Code of practice' [M]. Belgium Brussels: SETAC, 1993.
- [8] Ciambone D F. Environmental life cycle analysis [M]. Florida: Lewis Publishers, 1997.
- [9] 狄向华,聂祚仁,左铁镞.中国火力发电燃料消耗的生命周期排放清单 [J]. 中国环境科学, 2005,25(5):632-635.
- [10] 王 峥,郝维昌,周才华,等.铝的生命周期评价研究 [C]//2006 年材料科学与工程新进展—“2006 北京国际材料周”论文集. 北京:化学工业出版社, 2006.
- [11] 袁宝荣,聂祚仁,狄向华,等.中国化石能源生产的生命周期清单-生命周期清单的编制结果 [J]. 现代化工, 2006,26(4):59-61.
- [12] 刘颖昊,刘 涛,沙高原,等.货物运输的生命周期清单模型 [J]. 安徽工业大学学报, 2008,25(2):205-207.
- [13] 马丽萍,王志宏,龚先政.城市道路两种货车运输的生命周期清单分析 [C]//2006 年材料科学与工程新进展—“2006 北京国际材料周”论文集. 北京:化学工业出版社, 2006.
- [14] USEPA. User's Guide to MOBILE5 [Z]. Washington D C: USEPA, 1995.
- [15] 张承中,刘立忠,李 涛.单辆机动车二次扬尘量化计算的实验研究 [J]. 环境工程, 2002,20(5):38-40.
- [16] 陈鲁言,钟姗姗,潘智生.香港、广州、佛山和北京市政垃圾的成分比较及处理策略 [J]. 环境科学, 1997,18(3):58-61.
- [17] 马晓鹏.北京生活垃圾处理技术综合评选和垃圾物流优化调度研究 [D]. 北京:清华大学, 2005.
- [18] 郭颖杰.城市生活垃圾处理系统生命周期评价 [D]. 大连:大连理工大学, 2003.
- [19] Francesco C, Silvia B, Sergio U. Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: landfilling, sorting plant and incineration [J]. Energy, 2008,23(8):1-8.
- [20] Hauschild M Z, Zwicky M, Potting J, et al. Spatial differentiation in life cycle impact assessment-the EDIP2003 methodology Guidelines from the Danish EPA [M]. Copenhagen: Technical University of Denmark, 2004.
- [21] Dreyer L C, Camilla L, Hauschild M Z, et al. Comparison of three different LCIA methods: EDIP97, CML2001 and Eco-indicator 99. Does it matter which one you choose [J]. International Journal of LCA, 2003,8:191-200.
- [22] 秦凤贤,朱传第.用 LCA 方法评价牛奶包装对环境的影响 [J]. 乳业科学与技术, 2006,28(4):163-165.

作者简介: 谢明辉(1981-),男,安徽淮北人,北京科技大学土木与环境工程学院博士研究生,主要从事固体废物资源化利用和产品生命周期评价研究.发表论文 10 余篇.