

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2015.04.001

罐装薯片包装的生命周期评价

谢 勇, 王凯丽, 谭海湖

(湖南工业大学 包装与材料工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 对罐装薯片包装进行了生命周期评价, 包括从原材料的获取、生产加工, 工厂、消费者的运输, 到包装容器的使用、二次回收使用, 废弃物处理等包装的生命周期环节, 对其能量消耗、环境影响等进行了评价。分析结果表明: 纸铝塑复合包装的环境负荷主要体现在原材料的获取阶段, 集中在燃料能源的消耗, 其中纸材料加工的环境负荷要大于塑料与铝; 填埋、焚烧、再利用这3种处置方式对环境的影响主要集中在化石燃料的消耗、土地占用和无机物对人体的损害上。因此, 在维持现有结构的情况下, 实行材料减量化和容器轻量化是提高包装环保适性最直接、有效的途径。

关键词: 生命周期评价; 罐装薯片包装; 环境影响; 能量消耗

中图分类号: X384

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2015)04-0001-06

LCA of Canned Potato Chip Packaging

Xie Yong, Wang Kaili, Tan Haihu

(School of Packaging and Materials Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract : The life cycle assessment(LCA) of canned potato chip packaging was conducted covering the phases of acquisition and processing of raw materials, transportation from manufactures to consumers, use of packaging containers, recycling and waste disposal etc., with the energy consumption and environmental impact also being evaluated. The conclusion showed: environmental impact of the composite packaging is mainly in the material acquisition phase, i.e. the fuel consumption. The environmental impact of paper processing is much greater than those of plastic and aluminum. The impact of three disposal methods of landfill, incineration and recycling were focused on fossil fuel consumption, land occupation and inorganic substances damage to human body. Therefore, material reduction and container lightweight are the most direct and effective ways to improving packaging environmental adaptability while maintaining the existing structure.

Key words: life cycle assessment; canned potato chip packaging; environmental impact; energy consumption

0 引言

对于包装企业而言, 能源利用效率的提高直接关系到企业的运营状态, 而利用生命周期评价法

(life cycle assessment, LCA) 了解和评估包装容器制造过程中的能量等资源消耗是行之有效的^[1-4]。1969年, 美国中西部资源研究所对可口可乐饮料的不同包装容器的资源消耗和环境释放进行了全程的跟踪

收稿日期: 2015-05-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61170101)

作者简介: 谢 勇(1964-), 男, 湖南攸县人, 湖南工业大学教授, 主要从事包装防伪技术与功能包装材料方面的研究,
E-mail: hutxy@126.com

通信作者: 王凯丽(1990-), 女, 山东临沂人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为包装印刷防伪, E-mail: kartherion@qq.com

与定量分析,这是LCA的最早应用^[1]。1990年,国际环境毒理学与化学学会(Society of Environmental Toxicology Chemistry, SETAC)在美国的佛蒙特州召开了第一个关于生命周期的国际研讨会,正式提出了生命周期的概念。

按照SETAC的定义,LCA是指在产品、生产工艺以及产品活动的整个周期内(包括原材料提取加工、生产运输、使用维护、循环及处置等环节)对环境的影响评价,是对产品从生成到失去使用价值整个生命周期的一种评价方法。根据ISO14040标准定义的生命周期评价框架,生命周期评估主要包括4部分:目标和范围界定、清单分析、影响评价以及解释改善。LCA现已逐渐成为一种环境特征分析和辅助决策工具,用以评估商品和服务流程的环境负荷,在清洁生产审计、产品生态设计、废物管理、生态工业等方面有着大量的应用^[4-6]。在包装行业,LCA可以用于评估产品的整体环境负担,包括用于产品生产到生命周期结束的产品处置,提高材料的回收率以使材料循环利用,从而降低如塑料包装袋的低回收率所造成的环境压力等。第一个涉及食品包装,并从环境发展的角度把LCA当作生产加工决策支持工具的应用案例,是A. Zabaniotou等人^[4]于2003年对用于6枚鸡蛋包装的聚苯乙烯薄膜和可循环使用的纸张所进行的研究。

目前,市场上的防潮包装主要有塑料袋(瓶)、玻璃瓶、金属罐、纸基铝塑复合容器等。纸基铝塑复合材料因具有优良的复合包装性能而得到了厂家和消费者的广泛认可。因此,本文拟以市场上较为常见的罐装薯片包装为例,对原材料获取、生产加工、产品运输及其废弃物处理、二次回收再用等阶段所产生的能耗,进行数据收集、分析与评估,以期使生产者能更好地了解该类包装容器在生产与流通过程中的资源消耗,为制造更加环保的生态包装产品提供理论参考。

1 目标和范围的界定

1.1 目标定义

本研究对象是以罐装薯片为代表的纸基铝塑复合包装容器;研究范围包括原材料的获取及生产加工,工厂及消费者的运输,包装容器的使用、二次使用,废弃物处理等产品生命周期内的材料、能源消耗及环境排放。

膨化食品是将原料进行油炸或高温压差膨胀而得来的,因易吸收水分而导致食品软化、发霉;薯片中的蛋白质、脂肪易与空气中的氧气发生反应,产

生的高能量易导致微生物繁殖,不宜食用,因此,此类食品需进行防潮密封包装。影响防潮包装储运、货架期的主要因素有:实际储运环境的温度、湿度及相对温湿度差,防潮阻隔材料的防渗透性能,干燥剂性能,封口质量,包装环境卫生安全性以及包装运输过程中的包装完整性等。水汽、氧气的渗透是所有膨化食品包装首先要考虑的影响因素,除了以纸基铝塑复合材料罐装外,常采用的包装形式还有铝塑复合的枕式袋包装,即向包装袋内充入氮气等惰性气体,具良好密封性能和阻隔性能的包装材料可以有效阻止水汽与氧气的进入,减缓食品氧化。气体产生的膨胀体积也会使内容物避免受到机械、外部偶然因素的挤压,避免压溃内装产品,保护产品的完整性。本科研小组的调查发现,相较于枕式袋,罐装薯片的保质期通常要长100~200 d。罐装薯片因其包装具有较好的外形,且可以更好地保持其内装食品的完整性,加之具有货架占有面积、运输占有体积较小,内容信息在货架上能较好地显示和方便食用等优势,对消费者的购买行为产生了一定的促进作用。

1.2 范围界定

纸基铝塑复合罐由铝箔、塑料薄膜与牛皮纸或纸板复合而成,具有单一材料不可比拟的复合性能,可被加工成多种形状,其中使用最多的是圆柱形复合罐。图1所示为生产罐装薯片的工艺流程及能量消耗组成的生命周期系统边界,本文的研究将在此系统范围内进行^[4-5]。

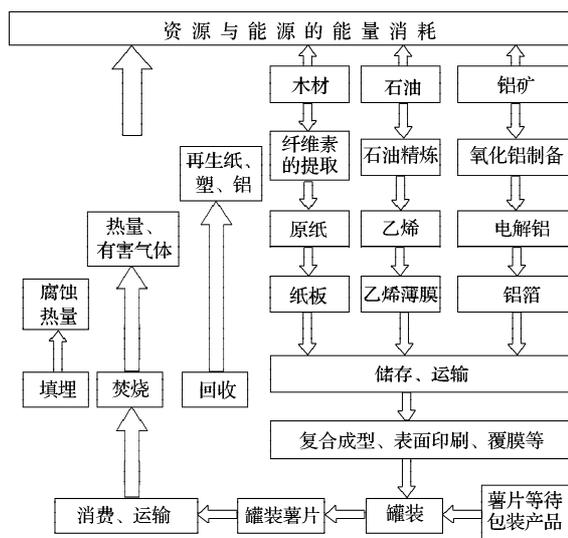


图1 罐装薯片包装容器的生产工艺流程及生命周期系统边界

Fig. 1 Process of canned potato chip packaging containers and system boundary of LCA

2 清单分析

罐装薯片包装常用圆柱形纸基铝塑罐材料,一般包括外表层、纸板层、内表层等。外表层的主要作用为展示产品信息,其材料常选用印刷性能较好的纸张,其表面覆盖的薄膜可减少纸张表面磨损,保护印刷图文,阻隔水汽,保证纸板强度,并产生光滑、闪亮的视觉效果。纸板层的主要作用是保证罐材成型,保持罐身强度,防止流通过程中外界条件对内装食品的损坏,通常由2~3层长纤维纸板压合制作而成。内表层以铝箔为主要材料。铝箔是世界公认的具较好延展性和阻隔性能的材料,其质量的好坏会直接影响复合膜的柔软度、阻湿性能以及剥离强度等。铝箔的耐折性能较差,在使用过程中会产生针孔而降低其阻隔性能,所以多与高分子材料复合使用,综合铝箔的高阻隔性能和高分子薄膜的柔韧性,如图2所示,可看到与铝箔层复合的薄膜层。封口具有和罐身相似的材料构成,底部为金属冲压板,以保证销售过程产品展示的稳定性。

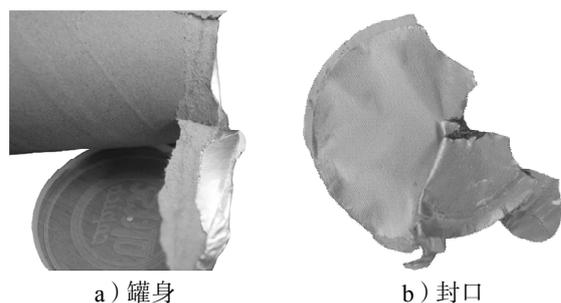


图2 罐装薯片包装结构及材料组成

Fig. 2 Structure and material composition of canned potato chip packaging

3 生命周期评价

纸基铝塑复合包装在生命周期评价中影响最大的是原材料的获取,对环境的影响主要体现在对石化燃料的消耗、土地の利用、无机物对人体的伤害、燃烧等处理方式对大气的影 响等方面。其中,对使用后的包装材料的处置方式主要有填埋、焚烧和再生3种,各处置方式对环境的影响由大到小依次为:填埋>焚烧>再生。在原料获取阶段,原木砍伐对环境的影响较大,纸的生产因为会产生废水、黑液等,对环境影 响也很大。中国对纸和塑料的回收率都不是很高,但是由于纸未被回收的部分可以在一定时间段内降解,有利于环境保护。表1所示为在生命周期评价中对环境影响较重的指标类型,包括如CO₂排放量、水消耗量等^[5]。

表1 生命周期环境影响指标举例

Table 1 Example of LCA environmental indicators

指标	单位	描述
全球变暖	kg CO ₂	CO ₂ 释放会导致气候变化, 甲烷或其他导致气候变暖的气体释放到大气中的指标也可以等式变换后用CO ₂ 量表示
光化学烟雾	kg C ₂ H ₄ eq	阳光与释放到大气中的特殊气体(包括NO _x , VOCs, PANs和臭氧等)反应, 对逐渐升高的潜在光化学烟雾事件进行统计
富营养化	kg PO ₄ ³⁻ eq	含营养盐的物质(主要是磷、氮化物)进入土壤和水系统, 改变群落生态, 海藻生长产生相关的有毒影响
土地占用	hm ² /a	一定时间内建筑环境占据林业、农业的生产加工土地
水消耗	kg H ₂ O	净用水量
固体废弃物	kg	净固体废弃物产生量
煤炭、石油燃料	MJ 余量	获取资源所需要的附加能量, 包括煤炭和石油, 对藏量的消耗导致藏量降低

3.1 基材生产阶段

本文中主要涉及的3类包装材料分别是纸板、塑料薄膜和铝箔, 原材料获取阶段的原材料使用量来自对利乐公司生产30 kg纸塑铝复合牛奶包装数据, 部分生产阶段能耗资料来自于文献[5]对Ecoinvent数据库的收集。将3种材料生命周期过程中的能源消耗、污染物排放量进行统计, 得出其生命周期评价状况, 本阶段具体的生命周期清单见表2。

表2 原材料获取阶段的生命周期清单

Table 2 Life cycle list of raw materials for Al-PE-Pa complex package

原材料类型	消耗量	一次能源消耗			污染物排放				
		原煤	原油	其他	CO ₂	SO ₂	NO _x	烟尘	COD
纸板	21.93	473.0	2.0	木材41.7	7.3	0.04	0.07	0.02	5.07×10 ⁻¹
塑料	5.3	0.7	4.5	无	9.0	0.03	0.02	0.03	1.16×10 ⁻²
铝箔	1.3	12.8	0.2	铝土矿4.78	28.0	0.20	0.10	0.40	1.15×10 ⁻³

分析表2中的数据可以知道, 3种材料中消耗量最多的是纸, 为21.93 kg; 其次是塑料, 为5.3 kg; 最少的是铝箔, 为1.3 kg。一次能源总体消耗量最大的也是纸板, 且消耗量最大的为原煤; 铝箔生产阶段产生了较多的CO₂、SO₂、NO_x和烟尘。

3.1.1 纸材料生命周期评价

纸作为包装材料, 具有易折叠成型、可进行多种个性化的结构设计、印刷性能较好等优点, 且纸包装材料使用后丢弃的环境负荷较小, 表3和表4为某

厂生产 1 t 涂布白纸板的生命周期能耗^[6]。

表 3 白纸板生产的原材料使用能耗

Table 3 Material consumption in paperboard production

kg · t ⁻¹					
废纸利用率/%	木材	漂白木浆	清水	硫酸铝	碳酸钙
87.5	1 325	110	113 000	15	100
45~46	1 688	450	130 000	15	100

废纸利用率/%	瓷土	丁苯橡胶	烧碱	漂白剂
87.5	80	30	204	51
45~46	80	30	270	68

表 4 白纸板生产的废弃物排放能耗

Table 4 Waste consumption in paperboard production

加工环节	能 量 消 耗											
	电能 / (tce · t ⁻¹)	热能 / (tce · t ⁻¹)	烟尘 / (kg · t ⁻¹)	H ₂ S/ (kg · t ⁻¹)	CH ₃ CH ₂ / (kg · t ⁻¹)	SO ₂ / (kg · t ⁻¹)	CO ₂ / (kg · t ⁻¹)	NO _x / (kg · t ⁻¹)	排水量 / (m ³ · t ⁻¹)	SS/ (m ³ · t ⁻¹)	BOD/ (kg · t ⁻¹)	COD/ (kg · t ⁻¹)
原材料获取	6	0	10	0	0	12.8	2 130	4.81	3.7	2.1	0.6	0.6
制浆	218	314	4.6	3.5	1.9	20	0	26	11.2	3.3	6.3	18.9
漂白	0	0	0	0	0	0	0	0	26	3.3	25.5	0
抄纸加工	210	314	210	0	0	0	0	0	63	47.7	50.1	0
总计	434	628	14.6	3.5	1.9	32.8	2 130	30.81	103.9	56.4	82.5	19.5

3.1.2 塑料生命周期评价

塑料薄膜生产对能量的消耗主要集中为煤、电、石油等的资源能量消耗，生产和使用过程产生的废水、废气及固体废弃物对生态环境的负荷影响较大。本文所研究的塑料为聚乙烯，表 5 显示了生产 1 kg 聚乙烯塑料的能耗情况^[7]，表 6 显示了生产 1 t 聚乙烯塑料所产生的污染物排放情况^[8]。

表 5 聚乙烯塑料生产能耗表

Table 5 Energy consumption in polyethylene plastic production

工 序	物 耗/t	能耗/10 ⁶ kJ
原油开采	水 49.87	510.34
运输	石油 85.05, 水 12.73	924.82
原油蒸馏	轻烃 459.17, 化工轻油 1 392.77	842.65
乙烯制造	C ₃ 72.48, C ₄ 442.87, 水 29.98, 加氢尾油 565.13	24 785.90
聚乙烯制造	乙烯 958.93, 乙炔 37.07, 己烯 20.07, 水 21.42	5 210.13

表 6 聚乙烯塑料生产排放污染物清单

Table 6 Pollutant emission list in polyethylene plastic production

工 序	气 体 排 放 量					废水	固体 废弃物
	CO ₂	SO ₂	NO _x	CO	TSP		
原油开采、运输	13.09	0.10	0.39	0.10	4.33	0.34	36.21
原料蒸馏、裂解、 分离、净化	68.21	0.37	0.30	0.78	0.44	4.06	37.36
聚合反应、 树脂脱气	2.13	-	0.27	1.76	-	1.27	0.21
运输、产品包装	0.21	-	-	-	0.01	-	0.92

分析表 3 和表 4 中的数据可以得出，高回收率的纸浆产生等量纸张所需消耗木材、漂白木浆、清水和漂白剂等较少，因而能量消耗上也较少。SO₂、CO₂ 和 NO_x 是排放量最多的气体。为降低耗能，在不影响包装性能的前提下适度降低纸板用量，或用再生纸张或填充纸板代替能耗较高和生产周期较复杂的纸张，提高纸板回收率，均能显著降低能耗。将纸张进行某些微结构设计，如微细瓦楞，便于纸板具有较好的力学性能和较少的克重。

根据表 6 所示污染物排放清单可以看出，在聚乙烯塑料生产过程中，排放最多的废气是 CO₂，且在原料蒸馏、裂解等提炼工序中产生的量最多，占统计总数的 74.7%，原油开采工序产生了较多的固体废弃物，占统计总数的 46.7%。针对此种现状，提高对塑料制品的回收，减少对原料的开采与初次提炼是减少表格中“原料蒸馏、裂解、分离、净化”能耗的有效方法。

3.1.3 铝箔生命周期评价

铝箔是采用高纯度电解铝经过压制而成，具有无毒、无味、优良的导电性、遮光性、极高的防潮性等优势，是目前一种无法被替代的包装材料。几乎所有要求不透光、高阻隔的包装材料都用铝箔作为阻隔层。铝箔在食品包装材料中的应用，主要体现在具有对水汽阻隔作用的铝塑真空包装。表 7 所示为文献[9]收集的 26 家铝型材企业的能耗数据，以及折合每种能源种类所占总折合煤量的百分比^[10]。

表 7 铝型材生产能源消耗表

Table 7 Energy consumption in aluminum production

能源种类	实物量	折合煤量/t	百分比/%
原煤	6.086 6 × 10 ⁴ t	4.344 6 × 10 ⁴	23.95
电力	4.661 0 × 10 ⁸ kW · h	5.728 4 × 10 ⁴	31.57
燃料油	2.054 7 × 10 ⁴ t	2.935 3 × 10 ⁴	16.18
柴油	2.764 8 × 10 ⁴ t	4.028 5 × 10 ⁴	22.20
天然气	5.611 3 × 10 ⁶ m ³	6.991 7 × 10 ³	3.85
液化石油气	1.667 2 × 10 ³ t	4.069 1 × 10 ³	2.24

分析表 7 中的数据，可以看出铝型材生产过程对

电力和原煤的能量消耗最大,但相比其他两种包装材料,其再生和回收率相对较高,并且具有较高的循环次数,综合影响上比前两者的环境影响要小。优化电解铝工艺降低生产提炼过程中的能量消耗,是有效降低铝型材生产过程能量消耗的方法。

3.2 废弃物处理阶段

表8给出了3种废弃物处理方式的能源消耗、材料消耗及环境影响^[11-12]。数据来源为文献[12]对北京某纸业有限公司处置30 kg纸塑铝产生的能耗统计。

表8 填埋、焚烧、回收再利用的能量消耗

清单数据类型		处理方式		
		焚烧	填埋	回收再用
能源消耗	原煤	489.8	489.8	503.3
	石油原油	8.9	8.8	9.0
材料消耗	木材	41.65	41.65	41.65
	铝土矿	4.8	4.8	4.8
环境负荷	CO ₂	222.1	179.9	200.7
	SO ₂	0.5	0.5	0.7
	NO _x	0.4	0.4	0.5
	烟尘	0.6	0.6	1.2

分析表8中的数据,可知3种废弃物处置方式对环境的影响主要集中在石化燃料的消耗、土地占用和无机物对人体的损害上。不同的处置方式下,释放的气体、粉尘及固体废弃物等有所不同,相比其他两种处置方式,回收再用需要消耗更多能源,但其差异不大,因其大部分材料的能源消耗主要集中在材料的获取阶段。

3.3 运输阶段

运输方式不同,产生的能量消耗也不同,影响对产品的生命周期评价。表9显示了不同运输方式运送单位质量物品的生命周期清单,纸与塑料原材料的获取阶段使用海运,铝箔国内运输选用20 t载货车,包装处置阶段的运输分2种运输方式,城区内使用20 t载质量货车,城区外使用10 t载质量货车。

由表9中的数据可以得出,海运运输方式的运输量最大,但同时对能源的消耗量也较大,产生的环境污染物也相对较多;10 t货车运输方式的能源消耗量和环境污染物的排放量次之;20 t货车运输方式的能源消耗量和污染物排放总体相对最少,但其运输量也较少,对于具体的排放物质也有不同^[13-14]。

表9 运输阶段的生命周期清单

Table 9 LCA list in transport stage

运输方式	运输量/(t·km)	能源消耗/kg		环境污染物排放/kg		
		原煤	原油	CO ₂	SO ₂	CO
海运	714	0.78	1.98	7.80	9.66 × 10 ⁻²	1.60 × 10 ⁻²
20 t货车	1.2	3.52 × 10 ⁻³	9.74 × 10 ⁻²	1.98 × 10 ⁻¹	1.33 × 10 ⁻⁴	2.47 × 10 ⁻²
10 t货车	2.06	3.13 × 10 ⁻³	8.67 × 10 ⁻²	2.21	2.36 × 10 ⁻⁴	1.17 × 10 ⁻³

4 结论

在以本文研究对象为代表的包装生产过程中,原材料获取阶段产生的能源消耗最多,加工阶段对第一资源的消耗(如天然气、原油),以及CO₂、氮氧化物、二氧化硫、芳香烃、废水等废弃物的释放,对环境的影响最大。具体结论如下:

1) 包装生产阶段,影响最大的是对资源的影响,然后是对大气变化、人类健康和生态质量的影响。

2) 生命周期评价可对材料生产、加工及产品运输使用、废弃物处理等包装周期的能量消耗进行量化,根据每个环节的能量消耗,可进行有针对性的节能减排控制。纸虽然具有较好的可回收、易降解性能,但是纸是3种材料中一次能源消耗最大和对原材料的消耗最大的。

3) 聚乙烯塑料生产过程中,排放最多的废气为CO₂;铝型材生产过程对一次能源如电力和原煤的能

量消耗最大,但相比其他2种包装基材,有较高的再生和回收率,有利于环境保护。

包装的能耗评估对包装环境友好要求的实现有重要意义,生命周期评价是有效的评估方式。在维持现有结构的情况下,材料减量化、容器轻量化是提高包装环保性的最直接、有效的途径。

参考文献:

- [1] 付振喜,牛淑梅,王振华.包装生命周期评价标准现状[J].中国包装工业,2012(13):3-4.
Fu Zhenxi, Niu Shumei, Wang Zhenhua. Packaging Standard of Life Cycle Assessment[J]. China Packaging Industry, 2012(13):3-4.
- [2] Del Borghi A, Gallo M, Strazza C, et al. An Evaluation of Environmental Sustainability in the Food Industry Through Life Cycle Assessment: The Case Study of Tomato Products Supply Chain[J]. Journal of Cleaner Production,

- 2014, 78: 121-130.
- [3] Kit L Yam, Dong Sun Lee. Emerging Food Packaging Technologies: Principles and Practice[M]. Sawston: Woodhead Publishing, 2012: 380-403.
- [4] Zabaniotou A, Kassidi E. Life Cycle Assessment Applied to Egg Packaging Made from Polystyrene and Recycled Paper[J]. Journal of Cleaner Production, 2003, 11(5): 549-559.
- [5] Siracusa V, Dalla Rosa M, Romani S, et al. Life Cycle Assessment of Multilayer Polymer Film Used on Food Packaging Field[J]. Procedia Food Science, 2011(1): 235-239.
- [6] 谢明辉, 李 丽, 黄泽春, 等. 典型复合包装的全生命周期环境影响评价研究[J]. 中国环境科学, 2009, 29(7): 773-779.
- Xie Minghui, Li Li, Huang Zechun, et al. Environmental Impact Estimation of Al-PE-Pa Complex Package Using Life Cycle Assessment[J]. China Environmental Science, 2009, 29(7): 773-779.
- [7] 徐晓春. 涂布白板纸纸业产品生命周期研究及环境影响评价[J]. 现代农业科技, 2011(21): 286-289, 291.
- Xu Xiaochun. LCA and Environment Impact Assessment on Coated Paperboard[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2011(21): 286-289, 291.
- [8] 谢明辉, 李 丽, 乔 琦, 等. 塑料牛奶包装及处置方式生命周期环境影响研究[J]. 中国环境科学, 2011, 31(11): 1924-1930.
- Xie Minghui, Li Li, Qiao Qi, et al. Environmental Impacts from Milk Plastic Package and Waste Treatments of Entire Life Cycle[J]. China Environmental Science, 2011, 31(11): 1924-1930.
- [9] Siracusa V, Ingraio C, Giudice A L, et al. Environmental Assessment of a Multilayer Polymer Bag for Food Packaging and Preservation: An LCA Approach[J]. Food Research International, 2014, 62: 151-161.
- [10] 谢鹏程, 罗 佩. 铝型材企业能源利用现状[J]. 中国能源, 2010, 32(6): 42-44.
- Xie Pengcheng, Luo Pei. Energy Use Situation of Aluminum Company[J]. Energy of China, 2010, 32(6): 42-44.
- [11] 沈 忱, 周长波, 李旭华, 等. 电解铝行业清洁生产案例分析及推行建议[J]. 环境工程技术学报, 2014, 4(3): 237-242.
- Shen Chen, Zhou Changbo, Li Xuhua, et al. Case Analysis and Suggestions of Implementing Cleaner Production in Aluminum Electrolytic Industry[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2014, 4(3): 237-242.
- [12] Lundie S, Peters G M. Life Cycle Assessment of Food Waste Management Options[J]. Journal of Cleaner Production, 2005, 13(3): 275-286.
- [13] 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 Minghui, Li Li, Huang Zechun, 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.
- [14] Esther Sanyé -Mengual, Jordi Oliver-Solà, Gasol C M, et al. Life Cycle Assessment of Energy Flow and Packaging Use in Food Purchasing[J]. Journal of Cleaner Production, 2011, 25: 51-59.

(责任编辑: 廖友媛)