

包装废弃物物质流分析框架及指标的建立

王仁祺, 戴铁军

(北京工业大学循环经济研究院, 北京 100124)

摘要:介绍了物质流分析的基本框架和指标,详细论述了传统物质流分析框架和指标用于包装废弃物的物质代谢存在的不足。对改进传统物质流分析框架和指标使其适用于包装废弃物物质代谢分析的可行性进行了分析,指出了改进需遵循的基本原则,进一步对新框架的模块组成、指标选择及其他说明3个方面进行了阐述,并给出了应用实例。新改进的物质流分析框架和指标能够更清楚表征废弃物进入环境后的具体流量和流向,为量化描述包装废弃物及固体废弃物物质代谢状况提供了分析模式。

关键词:包装废弃物;物质流分析;框架;指标

中图分类号: 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2013)11-0016-07

Foundation of Packaging Waste Material Flow Analysis Frame and Index

WANG Ren-qi, DAI Tie-jun

(Institute of Recycling Economy, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: This thesis introduces the basic frame and index of traditional Material Flow Analysis and discusses its shortage in detail when used to analyse the packaging waste. Doing a feasibility analysis on improving basic frame and index of traditional material flow analysis to make them available for packaging waste, pointing out the basic principle of improving the traditional ones, making further discussions on the form of new frame, the choice of index and other illustrations, lastly, application examples are given. The new frame and index can show the flow quantity and flow direction of packaging waste more clearly and can provide the analysis model to quantitatively describe the material metabolism of packaging waste and even solid waste.

Key words: packaging waste; material flow analysis; frame; index

近年来,我国包装工业总产值以每年 18% 以上的增长速度快速发展^[1-2],2011 年,我国包装工业总产值突破 1.2 万亿元,同比增长 12%^[1],已成为我国主要工业门类排行第 14 位^[1]的支柱型产业。我国已经成为世界上仅次于美国的第二大包装大国。

包装工业的迅速发展使包装废弃物大量产生,国内已有的研究成果多集中在阐述包装废弃物的回收方法(途径)及现状^[3-5]、产生或回收特性及回收体系^[6-9]、资源化利用或管理政策、对策研究^[10-13]等,缺少对包装产品转化为包装废弃物后具体流量和流向的重视、研究和有效调控,进而引起资源浪费严重和环境污染加剧等问题。物质代谢思想为分析包装废弃物的具体流量和流向提供了理论指导,物质流分析

作为其主要的分析方法为研究工作奠定了方法支持。以包装废弃物为研究对象,采用传统物质流分析框架和指标进行物质代谢分析时,存在诸多不足,因此,改进传统的物质流分析框架和指标,建立针对包装废弃物的物质代谢分析的框架和指标,有助于理清包装废弃物的具体流量和流向,有助于对包装废弃物的回收状况进行深入分析^[4],有助于找出资源浪费、环境污染的根源,更有助于凭借物质代谢分析结果制定提高包装废弃物再生利用水平的环境管理政策。

1 物质代谢分析常用框架和指标

物质代谢的研究需要借助适当的方法才能得以

收稿日期: 2013-01-30

基金项目:北京市重点学科“资源、环境及循环经济”项目(033000541212002);中国工程院重大项目(40104001201105)

作者简介:王仁祺(1988-),男,宁夏中卫人,北京工业大学循环经济研究院硕士生,主攻废物管理与废物经济。

开展,经过多年的探索,研究人员发现物质流分析(MFA)能够对特定空间和时间下系统中物质的流动或储存予以系统性评价,能够将物质流动的来源、路径、中间过程以及最终的去向有效联系,能够通过比较总输入、储存和过程输出来控制简单的物质平衡^[14],它为物质代谢分析的开展提供了强有力的方法支持,这种显著特征促使物质流分析在物质代谢研究中得到了广泛应用。

根据研究对象构建适宜的框架和指标,是采用物质流分析法进行物质代谢研究的重要基础,因此,合理的框架和指标成为物质代谢分析中不可或缺的组成部分。物质代谢随着物质流分析法逐渐发展成熟,已形成了较为固定的研究框架和评价指标。

1.1 MFA 的基本框架

从图 1 可以看出,传统 MFA 分析框架分为物质

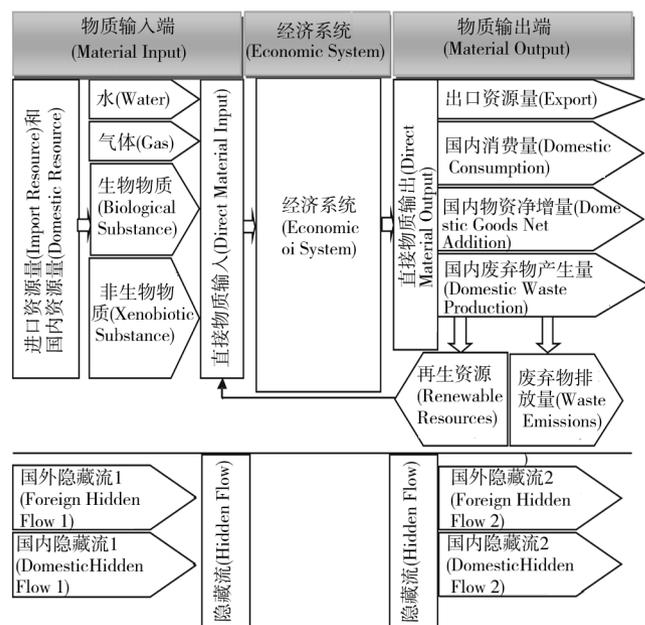


图 1 MFA 的基本框架

Fig. 1 The basic frame of material flow analysis

输入端、经济系统和物质输出端 3 个模块。其中,物质输入端包含直接物质输入和隐藏流 2 个子模块。直接物质输入用来描述来自国外和国内直接进入社会经济系统的自然物质,即进口资源量和国内资源量,而进口资源量包括从其他国家进口的各类资源和产品;国内资源量又可以进一步细分为水、气体、生物物质和非生物物质 4 类。隐藏流,也称生态包袱,由于无论是国内资源还是进口资源,其获取过程都需要动用环境中大量的其他物质才可以实现,因此,隐藏

流也被用于表示开采所需资源中必须开采但又未能进入产品生产及流通到市场中的开采量,陆钟武等人也将其称作“非使用开采量”。隐藏流又可以被细分为国内隐藏流和国外隐藏流 2 个部分,前者被用于表示对本国环境产生的影响,后者虽然不对本国环境产生影响,但是影响进口国的环境。隐藏流常通过隐藏流系数(Hidden Flow Coefficient, HFC)来衡量。第二模块主要是社会经济系统,它连接着物质输入端和物质输出端,成为构成决定系统两端物质流量的重要枢纽,因此,经济系统是物质流分析框架中的核心模块。第三模块称为物质输出端,主要包括直接物质输出和隐藏流 2 个子模块。其中,直接物质输出具体包含出口资源量、国内消费量、国内物资净增量和国内废弃物产生量 4 个部分。出口资源量和国内消费量分别表征由国内输出到国外和本国内消费的资源和产品数量;国内物资净增量主要是指新增的基础设施、建筑、交通运输工具等各类物资库存净增量;国内废弃物产生量则主要是指工业三废,即废气、废水和固体废弃物。值得一提的是,国内废弃物产生量并不是完全被直接排放入自然环境,它可以进一步细分为再生资源量和废弃物排放量两部分,所以,最终直接被排入环境的国内废弃物产生量只是废弃物排放量这一部分,而再生资源作为物质输入端的特殊部分最终被流入经济系统。至此,由上可知,物质输入端实际包含直接物质输入、隐藏流和再生资源输入 3 个子模块。需要注意的是,在先前的研究中,我国对废弃物再生利用的工作重视程度相对缺乏,表现在对废弃物产生量缺乏详细统计并且回收再利用工作的重视程度非常薄弱,致使再生资源量在物质输入端的贡献非常小,在现实中表现为各类废弃物大量丢弃,废弃物造成的环境污染和资源浪费成为 21 世纪的焦点。

1.2 MFA 的指标

将已有的研究成果^[15-20]中典型的指标进行归纳,见表 1,可以看出,这些指标侧重点主要集中在以下几个方面:(1)表征物质输入端原料开采、进口等关系的物质输入指标;(2)表征物质输出端的产品输出、废弃物排放等关系的物质输出指标;(3)表征经济系统内(或区域内)物质消耗、库存情况的物质消耗及平衡指标;(4)将上述个别关键指标与人口基数或者 GDP 相匹配得到的强度及效率指标;(5)表征经济增长与资源、能源消耗及由此引起的环境恶化三者之间关系的综合性指标等。

表 1 物质流分析的典型指标

Tab. 1 The typical index of material flow analysis

大类	亚类	计算表达式
输入指标	直接物质输入量	直接物质输入量 = 国内物质开采量 + 进口量
	物质输入总量	物质输入总量 = 国内物质开采量 + 进口量 + 国内隐藏流
	国内物质总需求量	国内物质总需求量 = 国内物质开采量 + 国内隐藏流
	物质需求总量	物质需求总量 = 国内物质开采量 + 进口量 + 国内隐藏流 + 进口隐藏流
输出指标	国内物质总输出量	国内物质总输出量 = 国内物质输出量 + 国内隐藏流
	直接物质输出量	直接物质输出量 = 国内物质输出量 + 出口量
	物质输出总量	物质输出总量 = 国内物质输出量 + 出口量 + 国内隐藏流
消耗及平衡指标	物质库存净增量	物质库存净增量 = 物质需求总量 - 物质输出总量
	物质贸易平衡	物质贸易平衡 = 进口量 - 出口量
	国内物质消耗量	国内物质消耗量 = 国内物质开采量 + 进口量 - 出口量
强度及效率指标	物质消耗强度	物质消耗强度 = 国内物质消耗量 ÷ 人口基数 或 国内物质消耗量 ÷ GDP
	环境效率	环境效率 = 废弃物产生总量 ÷ GDP
	物质生产力	物质生产力 = GDP ÷ (国内物质开采量 + 进口量 - 出口量)
综合指数	弹性系数	弹性系数 = 物质消耗(污染物排放)增速 ÷ 经济增速

2 MFA 基本框架和指标存在的不足

2.1 MFA 的基本框架的不足

由图 1 可知,传统 MFA 的框架分为原料输入、物质在社会经济系统流通以及物质输出三大模块,各个环节表示的意义相对简单。原料输入端主要是指人类从自然环境中获取生产原料并使之进入人类社会经济系统的过程;物质在社会经济系统流通环节是指自然环境中的物质以生产原料的形式进入人类经济系统,经加工、储存、运输、消费等各个环节在社会经济系统中进入不同的流通领域,形成不同的流通过程;物质输出端主要表征经过社会经济系统产生的生产、生活物质的具体流量和流向。

如果将该分析框架应用于包装废弃物的物质代谢分析存在的不足主要有以下几点。

第一,两者的侧重点不同。传统的物质流分析框架更侧重于关注物质从原料开采、进口直至最终的产品输出、消费和报废的整个过程,而包装废弃物的物质代谢分析会更侧重于产品报废后的转化、流通和处理行为。

包装材料完成原有功能被废弃后,还要经过拾荒者的回收、运输、加工、再生利用、无害化处理等一系列过程,部分废弃包装材料被再利用或者资源化,作为产

品再次返回经济系统,彻底没有使用价值或者无法使其再生利用的则予以无害化处理。因此,从研究涉及的跨度来讲,传统物质流分析的框架其应用的侧重点更加宏观,更注重关注物质在整个生命周期中的具体演化;相对来讲,包装废弃物的物质代谢分析需要更加详细的分析框架,更注重包装材料被废弃后的转化、流通和处理行为,研究的领域更加细化,研究的跨度相对较小。所以,以传统物质流分析的框架从原料开采到废弃物排入自然环境整个视角分析包装废弃物的物质代谢是不科学的,分析过程显得过于粗糙且不彻底。

第二,两者研究所具备的基础条件不对等。传统物质流分析框架的研究对象的起点往往是从自然界开采或者进口的物质,这类物质是社会经济增长、企业获取利润、消费者获得服务满足的主要载体,所以,对于这类物质采用传统物质流分析框架的研究相对比较成熟,形成了稳定的研究框架和评价指标,对其具体流量有相对完善和权威的数据统计;而包装废弃物在方面的研究很是缺乏,主要表现在缺少对包装废弃物物质代谢的关注和重视,缺少匹配的研究框架和指标,缺少研究所需要的完善,权威性的数据统计。因此,采用传统的物质流分析框架对包装废弃物进行物质代谢分析具有较低的可操作性。

2.2 传统 MFA 指标的不足

由表 1 可知,已有物质流分析的各项评价指标完

全是根据传统物质流分析框架的基本构成设置的,具有很强的针对性,这些指标都与传统物质流分析框架中的组成内容相关。当研究的内容由开采物质或进口物质转变为包装废弃物时,继续使用原有的评价指标已不再合适。

以原有评价指标中的国内物质开采量和国内隐藏流为例,前者表示从国内自然界开采或获取的水、气体、生物物质(BS)和非生物物质(XS),后者表示开采所需资源中必须开采但又未能进入产品生产及流通到市场中的开采量;对包装废弃物进行物质代谢分析时,物质输入端是以社会经济系统中产生的包装废弃物为输入原料的,两者的物质输入来源和属性存在本质上的差异;另外,由于包装废弃物来源于社会经济系统中已有的废弃物,不存在“开采所需资源中必须开采但又未能进入产品生产及流通到市场中的开采量”,即没有隐藏流。

通过以上2个典型指标概念的分析可知,它们已难以直接作为包装废弃物物质代谢分析的评价指标;另外,由于以前缺乏对废弃物物质代谢分析的重视和研究,针对废弃物产生量及再生利用情况缺乏完善的、权威性的数据统计,致使传统物质流分析框架中的绝大多数指标概念都难以直接应用到废弃物物质流分析框架中。所以,传统物质流分析框架中的指标对包装废弃物物质代谢分析已不在具有可行性,必须予以改进。

3 MFA 基本框架和指标的改进

3.1 改进 MFA 基本框架和指标的可行性分析

完整的物质代谢过程包含物质输入、物质循环和物质输出,在这样的代谢过程中研究对象可以是原材料、产品、废弃产品、再生产品,甚至还可以是生产、加工过程中产生的废料,选取这些物质中的任何一种为研究对象都可以将其划分成物质输入、物质循环以及物质输出的三段式物质代谢过程。废弃物物质代谢就是选取包装废弃物为研究对象,通过三段式的代谢过程对包装废弃物的具体流量和流向进行分析。

由此可知,包装废弃物物质代谢是对整个物质代谢过程的进一步细化,是其中的一个子过程,它是对传统物质代谢环节中的特定流量和流向进行了进一步的放大。因此,传统用于分析从原料开采到被人类废弃排入自然环境整个物质代谢过程的分析框架,可

以通过改进被用于废弃物的物质代谢分析。

3.2 改进 MFA 基本框架和指标遵循的原则

3.2.1 遵循质量守恒定律

与以往采用物质流分析框架研究物质代谢的载体相比,本文研究对象是包装废弃物。基于研究对象已经发生改变,物质流分析涉及的研究区间也必然发生相应改变。以纸包装为例,如果选取纸包装这种材料为研究对象,在进行物质流分析时,需要从纸生产的原料获取阶段到纸包装材料被废弃并循环利用得到再生纸制品,整个研究区间都要予以追踪研究,但是如果选取纸包装废弃物为研究对象,在其被废弃前的整个流通过程我们可以忽略,只需要考察它进入自然环境到被回收并循环利用得到再生纸制品整个过程,使研究的区间极大缩减。质量守恒定律是物质流分析的基本准则,该准则并不因为选取的研究对象发生改变而改变,也不会因为研究的范围发生变化而不再适用。所以,将传统物质流分析框架改进为适用于包装废弃物的物质代谢分析的研究框架时,质量守恒定律依然适用。

3.2.2 遵循并延伸循环经济的3R原则

物质流分析为促进循环经济的发展提供了有力的决策支持工具,废弃物是连接两者的重要桥梁。废弃物是物质流分析的重要载体,而物质流分析为推进循环经济、建设循环型社会提供了重要保障,另外,循环经济已有的研究理论成果、指标也在开展物质流分析的过程中找到了应用平台,所以,它们之间是一种相辅相成、互相促进的关系。

废弃物物质代谢分析框架在传统基本分析框架的基础上,可以引入循环经济的相应概念或指标。一方面,这是由本文研究对象的独特性决定的。循环经济理论中3R原则(减量化、再利用和资源化)中,减量化原则侧重于从物质输入端来减少物料、能源的投入来达到既定的生产消费目的,再利用原则侧重于对废弃材料反复利用来产生经济效益,而资源化原则侧重于产品在完成使用功能后通过技术等手段使其重新被利用。由上述分析可知,可以将循环经济3R原则中的再利用原则和资源化原则引入废弃物物质代谢的分析框架中,而且可在上述基础上进一步延伸得到再利用率、资源化量、再利用率、资源化率以及再生产品量等指标。

4 新框架和指标的设置及应用举例

4.1 框架设置

通过对包装废弃物具体流向的认真梳理,结合物质代谢分析的基本思想,本研究构建的包装废弃物物质代谢分析框架见图2。

再生资源输入模块 (Renewable Resources Input Module)		再生利用模块 (Recycling Module)		再生产品输出模块 (Regeneration Product/Output Module)
包装材料国内生产量(Domestic Production Quantity of Packaging Material)	包装废弃物资源总量 (Total Quantity of Packaging Waste)	再生利用量 (Recycling Quantity)	包装废弃物再利用量 (Packaging Waste Reuse Quantity)	再生纸量(Recycled Paper Quantity)
			包装废弃物资源化量 (Packaging Waste Recycling Quantity)	再生金属(Recycled Metal Quantity)
废弃后存而不用量 (No Use Quantity)		再生塑料(Recycled Plastic Quantity)		
包装材料进口量 (Packaging Material Input Quantity)		包装废弃物损失量 (Packaging Waste Loss Quantity)	城市生活垃圾处理场损失量 (City Loss Quantity)	再生玻璃(Recycled Glass Quantity)
包装材料再利用量 (Amount of Recycling)	流向农村环境的损失量(Rural Loss Quantity)		再生能源(Recycled Energy Quantity)	
包装材料出口量 (Packaging Material Output Quantity)	净存量 (Net Stock)			

图2 包装废弃物物质流分析框架

Fig. 2 Material flow analysis framework of packaging waste

4.2 框架解释

包装废弃物物质代谢分析框架与传统物质流分析框架一样,由三大模块构成,为区别于传统物质流分析的模块命名,分别将三大模块称为再生资源输入模块、再生利用模块以及再生产品输出模块。其中,再生资源输入模块录入再生资源初始质量,它由国内资源生产量、资源进口量、资源出口量及再利用量4部分组成。具体到包装废弃物,即包装材料国内生产量、包装材料进口量、包装材料出口量、包装废弃物再利用量。上述4部分还可简单划分为净存量及国内资源总量两大部分。再生利用模块记录再生资源在该模块内的具体流量和流向,主要是资源再生利用量、废弃后存而不用量和总损失量。在再生利用模块,根据再生资源的不同流向分为再利用量和资源化量。在总损失量模块,按照城镇和农村的不同流向,分为城市生活垃圾处理场中损失量和农村环境中损失量两部分。具体到包装废弃物,分别为包装废弃物再利用量、包装废弃物资源化量、包装废弃物存而不用量、包装废弃物损失量。再生物质输出模块记录再

生产品和再生能源的输出数量和流向。按照包装材料的原料来分,包装废弃物主要分为纸包装废弃物、塑料包装废弃物、金属包装废弃物、玻璃包装废弃物和复合包装废弃物等,所以,再生产品输出模块主要表征再生纸、再生塑料、再生金属、再生玻璃和再生能源的输出量。

4.3 指标设置

研究对象发生改变,原有的评价指标已不能直接利用,需要同步调整和优化。结合本文的研究对象和研究目的,将原有评价指标灵活调整。由于新指标紧密结合研究需要,表现出更强的实用性、针对性和可操作性,具体见表2。

表2中,再利用量、资源化量、再利用率、资源化率、再生利用量、循环利用率等指标的设置是分别根据循环经济的3R原则,即减量化(Reduce)、再利用(Reuse)、资源化(Recycle)衍生而来,是对该原则的继承和延伸。这些指标有望在评价包装废弃物以及固体废弃物的物质代谢研究中发挥作用。

4.4 相关说明

经过改进的包装废弃物物质流分析框架和指标与传统的物质流分析框架和指标相比,前者对废弃物的物质代谢状况具有更清晰的流量和流向指示,更有助于找出包装废弃物的损失去向和数量,进而为制定有针对性的废弃物管理及环境治理政策提供更加可靠的依据。由于我国对包装废弃物特定流向的数据缺乏可靠的、系统的统计,致使在具体操作时可能会产生一定的难度,所以,实际研究中可以根据具体情况予以适当取舍或灵活变通,争取通过该框架和指标,对我国包装废弃物的物质代谢状况予以尽可能合理的表征。

4.5 应用举例

根据改进的框架和设置的指标,对2006年我国纸包装废弃物各个流向的数据予以查阅和测算,绘制出2006年我国纸包装废弃物的物质代谢分析图,见图3。

由图3可知,2006年,主要纸包装材料进口量258万t,主要纸包装材料出口量63万t,因此,主要纸包装材料贸易平衡量为195万t;纸包装废弃物回收制浆量1695.6万t,再生利用量2779.3万t,再利用量1083.6万t,包装废弃物资源量3898万t,2006年包装工业生产总值为6000亿元,则回收制浆量占纸包装废弃物资源量的43.5%,循环利用率为71.3%,

表 2 包装废弃物物质流分析指标

Tab.2 Material flow analysis indicators of packaging waste

大类	亚类	表达式
包装废弃物输入指标	包装废弃物输入量	包装废弃物输入量=包装废弃物产生量=包装材料消费总量=包装废弃物资源总量
	包装材料消费总量	包装材料消费总量=包装材料国内生产量+包装材料进口量+再利用量-包装材料出口量-净存量
包装废弃物再生利用指标	包装废弃物产生量	包装废弃物产生量=包装废弃物再生利用量+废弃后存而不用量+总损失量
	包装废弃物再生利用量	包装废弃物再生利用量=再利用量+资源化量
包装废弃物输出指标	再生模块输出量	再生模块输出量=再生产品量+再生能源量
	再生模块输出产值	再生模块输出产值=再生产品产值+再生能源产值
包装废弃物平衡指标	包装材料贸易平衡量	包装材料贸易平衡量=包装材料进口量-包装材料出口量
	包装废弃物存而不用量	包装废弃物存而不用量=包装废弃物产生量-包装废弃物再利用量-包装废弃物资源化量-包装废弃物总损失量
	包装废弃物总损失量	包装废弃物总损失量=城市生活垃圾处理场量+农村环境损失量
包装废弃物强度及效率指标	包装废弃物回收率	包装废弃物回收率=包装废弃物回收量÷包装废弃物产生量
	包装废弃物再利用率	包装废弃物再利用率=包装废弃物再利用量÷包装废弃物产生量
	包装废弃物资源化率	包装废弃物资源化率=包装废弃物资源化量÷包装废弃物产生量
	包装废弃物循环利用率	包装废弃物循环利用率=包装废弃物再生利用量÷包装废弃物产生量
	包装废弃物生产力	包装废弃物生产力=包装废弃物输出模块生产总值÷包装废弃物输入量
	包装废弃物产生强度	包装废弃物产生强度=包装废弃物产生量÷包装工业生产总值

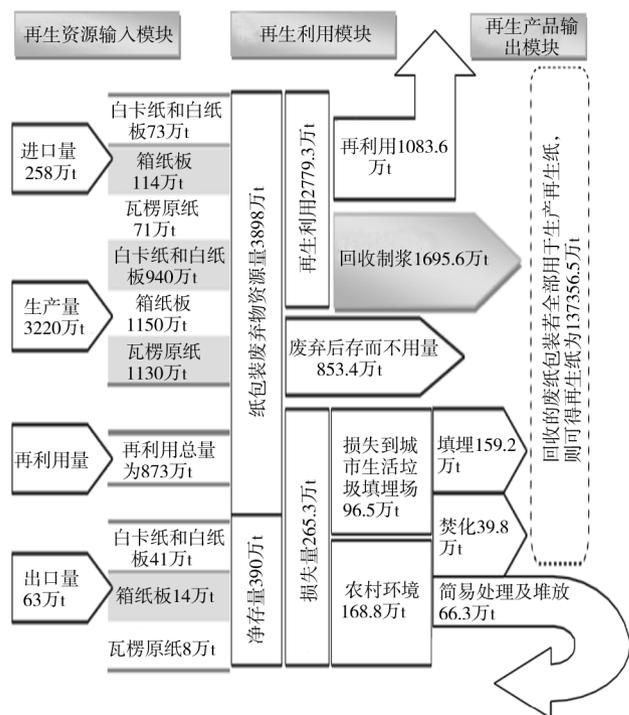


图 3 我国纸包装废弃物的物质代谢(2006 年)

Fig.3 Metabolism of paper packing waste in China (2006)

再利用率 27.8%, 纸包装废弃物产生强度为 6 497 吨/亿元。

5 结论

包装废弃物的物质代谢需要与之匹配的物质流分析框架和指标,才能更加客观地描述和评价其代谢效果。介绍了传统物质流分析框架和指标,指出传统物质流分析框架和指标用于包装废弃物物质代谢分析中存在的不足,阐述了改进 MFA 基本框架和指标的可行性和应遵循的原则,最后,结合研究对象和目的,对传统 MFA 基本框架和指标进行了改进并给出应用举例。所建立的包装废弃物物质代谢分析框架和指标为可观评价废弃物物质代谢效果提供了理论支撑和方法支持,不仅适用于包装废弃物的物质代谢分析,也可推广至固体废弃物物质代谢分析的研究中。

参考文献:

- [1] 中国物流与采购联合会编. 中国物流年鉴 2012(上册)[M]. 北京:中国财富出版社,2012:163. China Federation of Logistics and Purchasing Series. China Logistics Yearbook 2012(Top Volume)[M]. Beijing: China's Wealth Press,2012:163.
- [2] 曾欧,罗亚明. 中国包装工业生态化建设研究[J]. 包装

- 工程,2008,29(5):151-153.
- ZENG Ou, LUO Ya-ming. Study of Ecological Construction in China Packaging Industry [J]. Packaging Engineering, 2008,29(5):151-153.
- [3] 于鑫,高欣宝,宣兆龙. 包装废弃物的回收利用与包装设计改进[J]. 包装工程,2000,21(1):48-50.
- YU Xin, GAO Xin-bao, XUAN Zhao-long. The Analyse of Packaging Castoff Reclaim and Packaging Designing Amelioration [J]. Packaging Engineering, 2000,21(1):48-50.
- [4] 彭国勋,许晓光. 包装废弃物的回收[J]. 包装工程,2005,26(5):10-13.
- PENG Guo-xun, XU Xiao-guang. Reclaim of Package Waste [J]. Packaging Engineering, 2005,26(5):10-13.
- [5] 胡爱武,傅志红. 塑料包装废弃物的回收处理途径[J]. 包装工程,2002,23(3):94-95.
- HU Ai-wu, FU Zhi-hong. Recycling Approach for Plastics Packaging Castoff [J]. Packaging Engineering, 2002, 23(3):94-95.
- [6] 金雅宁. 包装废物的产生特性及回收体系研究[D]. 北京:北京化工大学,2009.
- JIN Ya-ning. The Analysis of the Generation Character and the Recycle System of Packaging Waste [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2009.
- [7] 周炳炎,郭琳琳,李丽,等. 我国塑料包装废物的产生和回收特性及管理对策[J]. 环境科学研究,2010,23(3):282-287.
- ZHOU Bing-yan, GUO Lin-lin, LI Li, et al. Characteristics of Generation and Recycling of Plastic Packaging Waste in China and Management Countermeasures [J]. Research of Environmental Sciences, 2010,23(3):282-287.
- [8] 周炳炎,李丽,鞠红岩,等. 我国纸包装废物产生特性和回收状况研究[J]. 再生资源与循环经济,2010,3(4):32-35.
- ZHOU Bing-yan, LI Li, JU Hong-yan, et al. Generation Character and Recycling Status of Waste Paper Package in China [J]. Renewable Resources and Circular Economy, 2010,3(4):32-35.
- [9] 周炳炎,金雅宁,李丽. 我国金属包装废物产生和回收特性分析. 再生资源与循环经济,2010,3(5):33-36.
- ZHOU Bing-yan, JIN Ya-ning, LI Li. Generation and Recycling Character of Waste Metal Package in China [J]. Renewable Resources and Circular Economy, 2010,3(5):33-36.
- [10] 熊志文. 我国包装废弃物资源化利用管理政策研究[D]. 南昌:江西理工大学,2011.
- XIONG Zhi-wen. Study on Utilization and Management Policy of Packaging Waste in China [D]. Nanchang: Jiangxi University of Technology, 2011.
- [11] 赵延伟. 包装废弃物综合治理研究[J]. 包装工程,2000,21(6):1-4.
- ZHAO Yan-wei. Compactum Litter Integrated Manage [J]. Packaging Engineering, 2000,21(6):1-4.
- [12] 赵延伟. 包装废弃物综合治理研究[J]. 包装工程,2001,22(1):5-8.
- ZHAO Yan-wei. Compactum Litter Integrated Manage [J]. Packaging Engineering, 2001,22(1):5-8.
- [13] 袁晓莉. 论包装废弃物治理的3R原则与对策[J]. 青岛科技大学学报(社会科学版),2003(2):53-55.
- YUAN Xiao-li. The Principle of 3R and Countermeasures of Harnessing Waste Package [J]. Journal of Qingdao University of Science and Technology (Social Sciences), 2003(2):53-55.
- [14] BRUNNER P H, RECHBERGER H. Practical Handbook of Material Flow Analysis [M]. Boca Raton London New York Washington, D. C: Lewis Publishers, 2004.
- [15] 李刚. 基于可持续发展的国家物质流分析[J]. 中国工业经济,2004(11):11-18.
- LI Gang. Material Flow Analysis of Nations Based on Sustainable Development [J]. China Industrial Economy, 2004(11):11-18.
- [16] 徐明,张天柱. 中国经济系统的物质投入分析[J]. 中国环境科学,2005,25(3):324-328.
- XU Ming, ZHANG Tian-zhu. Material Input Analysis of China Economic System [J]. China Environmental Science, 2005,25(3):324-328.
- [17] 高广阔,张能进. 中国能源需求预测及供给对策[J]. 电力技术经济,2005,17(3):9-14.
- GAO Guang-kuo, ZHANG Neng-jin. Energy Demand Forecast for China and Supply Countermeasure [J]. Electric Power Technologic Economics, 2005,17(3):9-14.
- [18] 刘敬智,王青,顾晓薇,等. 中国经济的直接物质投入与物质减量分析[J]. 资源科学,2005,27(1):46-51.
- LIU Jing-zhi, WANG Qing, GU Xiao-wei, et al. Direct Material Input and Dematerialization Analysis of Chinese Economy [J]. Resources Science, 2005,27(1):46-51.
- [19] 夏传勇. 经济系统物质流分析研究述评[J]. 自然资源学报,2005,20(3):415-421.
- XIA Chuan-yong. Review on Studies of Economy-wide Material Flow Analysis [J]. Journal of Natural Resources, 2005,20(3):415-421.
- [20] 毕军,黄和平,袁增伟,等. 物质流分析与管理[M]. 北京:科学出版社,2009:31-32.
- BI Jun, HUANG He-ping, YUAN Zeng-wei, et al. Material Flow Analysis and Management [M]. Beijing: Science Press, 2009:31-32.