

# 基于物联网(IoT)和生命周期评价(LCA)的 再生资源管理模式研究

杜经纬,李海涛,梁涛

(中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101)

**摘要:**为了对再生资源实现更为实时高效的管理,同时保证过程的经济性和环境友好性,讨论了基于IoT和LCA的再生资源管理模式,借助IoT技术的感知、收集数据、信息网络传输以及智能处理方面的优势,应用LCA方法对环境效应影响评估方面的理论和方法,将二者应用到再生资源管理领域,以实现对再生资源的高效智能管理;同时,兼顾各类再生资源的环境效应,充分发挥各自的优势,为再生资源管理提供更好的服务。最后以数据为契合点对二者的结合应用进行了探究。

**关键词:**LCA;IoT;再生资源

**中图分类号:**TP399

**文献标志码:**A

**论文编号:**2013-2138

## The Research of Mode of Renewable Resource Management Based on the Internet of Things and the Life Cycle Assessment

Du Jingwei, Li Haitao, Liang Tao

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101)

**Abstract:** In order to achieve real time and efficient management of renewable resources, while ensuring economy and environmentally friendly during the management process, the author discussed the mode of renewable resource management based on the Internet of Things (IoT) and life cycle assessment (LCA). By means of IoT's advantages of perceiving and collecting data, information transmission via network and intelligent processing and the LCA theory and method, it's practicable to achieve efficient and intelligent management of renewable resources and take the environmental effects of various types of renewable resources into account by applying LCA and IoT to the field of renewable resources management. And better service is to be provided for renewable resources management by fully exploiting the respective advantages of IoT and LCA. In the last section of this paper, the combined application of IoT and LCA with data as the integrated point was explored.

**Key words:** LCA; IoT; renewable resources

### 0 引言

当今世界面临着全球人口剧增、资源短缺和环境污染等问题。传统经济<sup>[1]</sup>作为一种“资源-产品-污染排放”的单向线性开放式经济过程,已经不再适应当前的经济发展要求,在这种情况下,循环经济的概念应运而

生。循环经济是一种“资源-产品-再生资源”的闭环反馈式循环过程,它倡导一种与环境和谐的经济发展模式,强调对废弃再生资源的重复利用,减少对环境的影响。

循环经济<sup>[2]</sup>就是在物质的循环、再生、利用的基础

**基金项目:**国家科技支撑计划(2012BAC03B03-2)。

**第一作者简介:**杜经纬,男,1987年出生,河北廊坊人,硕士在读,研究方向:物联网应用及环境资源管理。通信地址:100101北京市朝阳区大屯路甲11号中科院地理所三段3709, E-mail: dujw.11s@igsnrr.ac.cn。

**通讯作者:**李海涛,男,1968年出生,山东荣成人,副研究员,博士,研究方向:物联网应用及环境资源管理。通信地址:100101北京市朝阳区大屯路甲11号中科院地理所三段3724, Tel: 010-64888996, E-mail: liht@igsnrr.ac.cn。

**收稿日期:**2013-08-12, **修回日期:**2013-10-04。

上发展经济,遵循减量化原则(Reduce)、再使用原则(Ruse)和资源化原则(Recycle),即3R原则<sup>[3]</sup>,其基本理念是对再生资源的重复性利用。这里的再生资源是指在社会生产和生活消费过程中产生的,已经失去原有全部或部分使用价值、经过回收、加工处理,能够使其重新获得使用价值的各种废弃物<sup>[4]</sup>。

再生资源具有其特殊性,它的本质是经过一定的技术手段处理后具有再利用价值的废弃物,其废弃物的本质决定了再生资源在回收处理过程中必然对环境存在着直接或间接的影响。因此,对再生资源的管理不同于对普通资源的管理,管理者除了需要了解再生资源的基本属性信息(如种类、名称、产地等)外,还需要了解其从产生、运输到处理的整个过程的状态,并确定再生资源在回收处理过程中造成的环境影响。

目前,对于再生资源的管理仍是以依托回收网点的模式为主<sup>[5]</sup>,缺乏整体有效的管理,环境影响评价也并不是再生资源管理的必要组成部分,难以评估回收过程的环境效应。IoT和LCA是再生资源管理领域的2个重要工具,IoT以其对海量数据的感知和处理能力,以及较强的时效性成为再生资源管理的最佳工具<sup>[6]</sup>,LCA的优势在于评估产品或过程在整个生命周期各阶段的环境影响,并能给出量化的评估结果<sup>[7]</sup>。目前,IoT和LCA在再生资源管理领域已经有了一定规模的应用,但限于二者侧重点的差异,IoT的特点和优势是其较强的时效性,LCA则以产品整个生命周期为研究对象,二者的结合应用研究几乎还是空白。因此,笔者讨论了基于IoT和LCA的再生资源管理模式,充分发挥二者的优势,实现对再生资源高效可靠管理的同时兼顾其环境影响,最后以数据为结合点探讨IoT与LCA在再生资源管理领域的结合应用,以期对再生资源实现实时、高效、经济、环保的管理,并最终形成一种智能的、环境友好的再生资源管理模式。

## 1 IoT及其在再生资源管理中的应用

### 1.1 IoT概述

物联网(Internet of Things, IoT)是“物物相连的互联网”。它依托现有的互联网建立,其核心和基础仍然是互联网,但它的用户末端延伸到了物品与物品之间,对互联网进行了极大地扩展。2012年7月,国际电信联盟远程通信标准化组织(ITU-T for ITU Telecommunication Standardization Sector, ITU-T)第13研究组在ITU-T Y.2060建议书中描述了国际电信联盟(ITU)批准的IoT的定义:“IoT是信息社会的一个全球基础设施,它基于现有和未来可互操作的信息和通信技术,通过物理的和虚拟的物物相联,来提供更好

的服务”<sup>[8]</sup>。

根据IoT的运行过程,IoT在技术架构的层面上可分为:感知层、网络层和应用层。感知层采集各类数据并实现信息上报;网络层提供数据传送通道以及一定的数据处理功能;应用层实现IoT与具体行业应用的结合。IoT应用各种感知技术,采集物体自身及周围环境的信息并实时上传至数据平台,以现有互联网为基础建立起一个影响范围触及所有物品的泛在网络,同时完善的IoT还应具备相应的智能处理能力,实现对物体的智能控制以及对事件的实时准确处理。IoT的上述特点使其对于再生资源管理具有独到的优势,能够实现实时高效的监管。IoT技术架构如图1所示。

IoT是一个新兴的概念,涉及传感器、RFID(射频识别技术)、网络传输技术、云计算等多项关键技术,其基本原理是收集感知末端的海量数据然后进行分析以提供决策支持,IoT依托信息技术,时效性强,能够完成实时的信息反馈,可以说对于再生资源管理具有先天的优势。

### 1.2 IoT在再生资源领域的应用

再生资源种类繁多,涉及工业生产和日常生活的众多方面,不同种类的再生资源在产生源、回收途径、运输方式及处理手段等方面有着不同的特点。在其回收利用过程中,除了要有必要的政策制度方面的保障,在技术上也需要一定手段对其整个过程进行有效的管理。传统的再生资源管理方式多是依托固定回收网点进行,在网点记录再生资源的相关静态数据,如产地、种类、预处理方式等信息,同时依靠相关法规提供支持和督促。这种方式存在如下弊端:工作效率低、缺乏有序的管理;再生资源回收利用率低,资源浪费严重;缺乏信息共享导致回收不及时;管理工作以网点为单位进行,对回收的全过程缺乏整体的监控,无法实现再生资源的追踪和溯源<sup>[9]</sup>。因此,人们需要更为高效可靠的管理方法。IoT以其对海量数据的感知和处理能力成为解决再生资源管理的最好的工具。

IoT的优势在于其对物理世界的探知和控制能力。它将各种信息传感设备通过互联网连接起来,通过这个网络完成物与物之间的信息交互,最终实现对物体的识别、定位、监控。在再生资源领域,IoT主要利用RFID电子标签和GPS等技术对可回收的再生资源进行实时状态和位置的监控,进而完成对再生资源回收利用的有效管理,这项工作主要从3个方面实现<sup>[10]</sup>。

1.2.1 资源收集 利用IoT感知层的各种信息收集手段,收集到必要的再生资源的信息(包括种类、时间、地

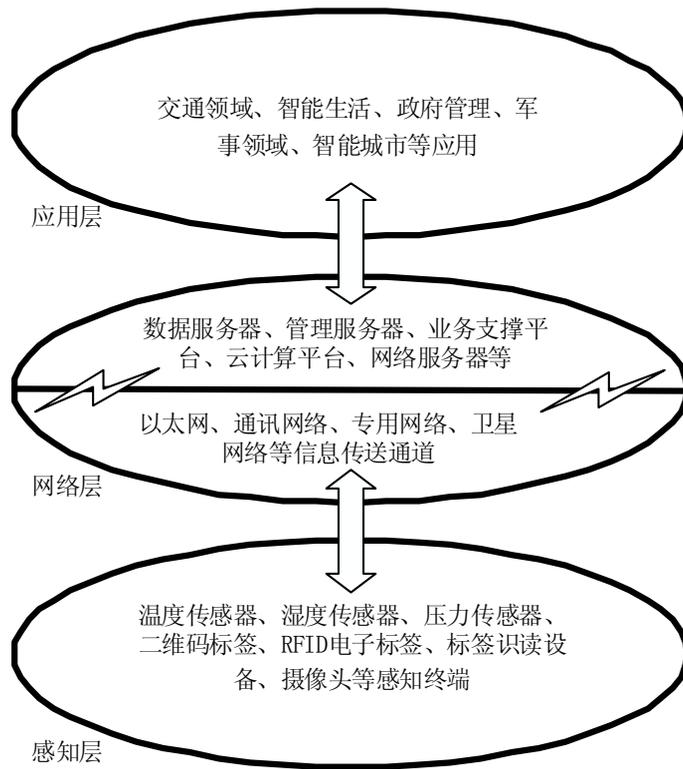


图1 IoT技术架构

点、状态等),并将信息传至再生资源信息管理平台,通过信息平台实现对各种信息的查看以及对设备的管理。这一过程中IoT感知层的信息收集手段(包括RFID技术、条码技术、GPS技术等)发挥主要作用。

1.2.2 资源运输 该阶段的再生资源管理与IoT在物流领域的应用相似<sup>[11]</sup>,通过采集上报运输过程中货品的基本属性以及依靠GPS获取的实时位置信息,由信息管理平台对数据实现监管,并以地图的形式进行可视化展示与管理<sup>[12]</sup>。

1.2.3 资源处理 再生资源的处理即是再生资源运输的最后一站,这里对再生资源进行处理。回收设备上安装RFID阅读器,读取RFID标签的信息并自动进行分类处理,通过管理中心对其最终处理进行统一调配。再生资源变为新的产品,为再生资源的追溯提供了必要的根据。

IoT为再生资源领域所能提供的服务取决于IoT技术的发达程度。就目前的技术来讲,基于IoT的再生资源管理多是借助一维条码、二维条码及RFID电子标签来实现的。李祥<sup>[13]</sup>对城市再生资源研究现状和IoT技术的特点进行了分析,并结合武汉市再生资源管理现状和存在的问题,提出运用先进的IoT技术,构建了武汉市城市再生资源管理信息平台。该信息平台

由智慧收集模块、智慧运输模块和智慧处理模块组成,借助RFID标签、GPS等技术对垃圾的分类收集、分类运输和分类处理的整个过程实现自动化监控与管理。该平台是IoT技术在再生资源领域应用的典型模式:感知末端利用传感器、RFID等技术实现数据收集,运输过程结合GPS等技术进行实时监控,处理过程实时管理,所有过程由后台信息管理中心统一管理,借助云计算等技术对来自感知层的海量数据进行管理、分析及处理。

IoT应用的先进性主要体现在感知层的感知技术手段上。在对再生资源的监管过程中,除了使用标签对物品进行标记外,还可使用温度传感器、湿度传感器、压力传感器等各种传感器,收集物品及其所处环境的温度、湿度、压力等状态信息,实现更为精准的监管。

## 2 LCA及其在再生资源管理中的应用

### 2.1 LCA概述

LCA(Life cycle assessment)即生命周期评价,是一种对产品从“摇篮到坟墓”的整个生命周期内所有阶段的环境影响进行评估的方法<sup>[14]</sup>。“生命周期”一词是指该产品的整个寿命期间所有相关的活动,包括生产、使用和维护,以及最终的处置,也包括容易被人忽视的原材料获取过程<sup>[15]</sup>。

国际标准化组织(ISO)的《ISO14040:环境管理-生命周期评价-原则和框架》<sup>[16]</sup>于1997年6月正式颁布为国际标准,该标准给出了如下的LCA定义:汇总和评估一个产品(或服务)体系在其整个生命周期期间的所有投入及产出对环境造成的和潜在的影响的方法<sup>[17]</sup>。ISO14040同时规定了LCA的技术框架:目标与范围定义(Goal Definition and Scoping)、清单分析(Life Cycle Inventory, LCI)、影响评估(Life Cycle Impact Assessment, LCIA)以及解释说明(Life Cycle Interpretation)。LCA项目多是遵循该框架进行的。

## 2.2 LCA在再生资源领域的应用

再生资源是具有潜在利用价值的废弃物<sup>[18]</sup>,其废弃物的本质决定了在回收、运输和处理的过程中将会产生一定的环境影响。当今世界生态环境问题日益严重,人们对于环保的重视也不同往日。对于再生资源,人们更需要了解其可能产生的环境污染及其潜在的环境效应,并尽可能以量化的形式来显示以指导工业生产活动。这里涉及2方面:一方面,管理者需要了解再生资源在回收利用过程中会产生怎样的环境影响,这种影响是否可以避免或者应采取何种方式来避免或减少,这时定性研究并不能提供有效的指导,人们需要更为准确的定量数据,另一种常见的情形是以环境影响为主要因素比较2种工艺或决策的优劣,这同样需要直观的比较结果;另一方面,再生资源回收利用的目的是将废弃物变为新产品,使其重新具有一定的使用价值,但再生资源的回收利用过程是需要消耗资源、能源等成本的,如果这种成本大于新产品所具有的价值,那么回收利用过程就是不“合算”的,如何确定回收过程是否“合算”或怎样才能“合算”也是再生资源管理需要考虑的问题。LCA是一个评估产品或过程在整个生命周期各阶段的环境影响的方法<sup>[19]</sup>,已经得到较为广泛的应用。将LCA应用到再生资源管理领域,可以有效地对再生资源的环境效应进行量化评估,以提供决策支持。

国际标准化组织ISO定义的LCA技术框架为研究者提供了指导,几乎全部的LCA研究都是按照目标与范围定义、清单分析、影响评估和解释说明几个步骤来进行。Stuart Ross<sup>[20]</sup>使用生命周期评价方法,对塑料包装废弃物的再循环和再使用体系在减少废弃物填埋量的同时,是否能够减少总环境负荷进行了分析,结果表明塑料废弃物的回收和再利用战略可产生重大的环境效益。Anil Barala等<sup>[21]</sup>将LCA应用到综合评价方法中,以其基本分析框架为基础,结合生态效率等环境指标以及投入产出模型,更为精确地量化、评价废弃物管

理体系的环境效应。Peter Beigl<sup>[22]</sup>运用生命周期评价和成本分析的方法,比较了存在再循环利用和不存在再循环利用情景下不同废弃物管理体系的全球变暖潜力效应、酸化潜力效应和净能源使用效应。黄江丽等<sup>[23]</sup>提出了基于生命周期评价的城市生活垃圾管理框架,重点关注垃圾的处理过程,应用LCA方法对北京的不同垃圾处理工艺(包括填埋、焚烧和堆肥)的成本、能耗及环境效应进行分析比较,从理论上为废弃物的管理提供最佳的方法和途径以及强有力的理论依据。固体废弃物的资源化能够减少原材料的消耗以及能源的使用量,一般认为是对环境有利的,于艳红<sup>[24]</sup>、罗宇<sup>[25]</sup>等在固体废弃物资源化的过程中引入了LCA方法,对固体废弃物资源化的整个过程进行识别和量化,评估各阶段物质、能源利用率以及最终处理的环境影响。物质的循环利用率与环境效益不是简单的线性相关关系,应借助LCA综合考虑废弃物资源化的回收利用价值、回收利用成本等综合因素。

LCA可以帮助决策者选择环境影响最小的产品或过程,同时选择过程中LCA信息可以和其他因素如成本和性能数据结合使用<sup>[26]</sup>。LCA的目标并不是简单的实现“达标排放”,而是从源头上改善产品的环境性能,更深层次的使其与环境相容。也可以说LCA的思想指引了一条新型的环保之路,即清洁生产,从原材料的获取到产品生产,再到最终的废弃产品处理,每个过程都与环境达到最大程度的和谐。LCA可以帮助企业了解与其生产活动相联系的环境因素,积极建立完善的环境管理体系,从而肩负起自身的环境责任,制定合理的环境管理方针,其次LCA可协助企业发现与企业活动和产品相关的环境问题的根源,从源头处寻找解决的办法,提高物料和能源的利用率,减少废物排放,降低成本的同时也降低了产品潜在的环境风险,实现全过程的整体控制<sup>[27]</sup>。

## 3 IoT与LCA结合应用探究

### 3.1 二者结合的基础及难点

在再生资源领域,很多学者对IoT和LCA的应用已经做了一些研究工作:杨健等<sup>[19]</sup>利用LCA方法对2种废水处理工艺进行比较,更为科学地揭示其利弊。王冠宇等<sup>[10]</sup>将IoT技术应用于物资回收体系中,并提出了一套可行的基于IoT技术的物资回收解决方案。周晓萃等<sup>[28]</sup>利用LCA方法对生活垃圾进行规划,提出了具体的规划框架和评价方法;上海的“阿拉环保”将IoT技术服务于电子废弃物回收产业,成为中国第1个再生资源公共服务平台<sup>[29]</sup>。IoT和LCA各自在再生资源领域已经有了一定规模的应用。但目前对IoT和

LCA 结合应用的研究很少,究其原因:IoT 是一个信息技术领域的新概念,其模式是对数据的收集和实时传输,再将数据交由信息系统进行分析决策,实现物品的可追溯性是 IoT 的特点,时效性是 IoT 追求的目标;LCA 是一个对产品整个生命周期的环境影响进行分析的方法,它着眼于整个生命周期,同时深入到每个过程对输入输出进行细化分析,LCA 方法的准确与否主要决定于生命周期清单的准确性和环境分析过程的合理性。物品的可追溯性是 LCA 的必要条件,而时效性并非 LCA 方法关注的重点。

### 3.2 契合点的探索

通过分析 IoT 和 LCA 的基本概念和运作模式,数据是二者的契合点。IoT 是建立在数据之上的一项技术,它的大部分数据依靠自身感知层收集,通过网络层的数据传输,最终将数据交由信息系统管理分析;而 LCA 的标准技术框架中,清单分析是重要的起着基础性作用的步骤,它将生命周期各阶段的包括能源、水和材料等在内的输入以及包括空气、固体废弃物、废水等的排放在内的输出罗列出,再由后续的影响评估步骤进行分析,LCA 方法是依赖清单数据来进行的,该清单数据与 IoT 获取的感知数据有部分重叠,所以数据可以成为二者结合应用的一个契合点。

IoT 提供部分数据采集手段、数据以及信息化分析方式,实现对再生资源的状态、位置等的监管,可用于再生资源的追踪和溯源,收集的大量数据可进行后续的综合分析,提供决策支持,同时可为 LCA(主要是 LCI 阶段)提供部分必要的的数据,但 IoT 主要提供技术上的支持,不能提供环境方面的影响评价;LCA 关注于整个过程的环境影响评价,其所需数据一部分可由 IoT 提供,其他数据将以其他途径收集,最终给出环境影响评价报告,为决策者提供优化环境影响方面的决策建议。

技术的进步和人们需求的不断增长要求 LCA 分析必将向实时实地的 LCA 分析发展,要求对物品的环境影响做出实时实地的评估,本质上这相当于缩短了 LCA 分析的时间步长,因而能够比原来的分析手段和监测方法更准确地评价物品的环境影响。IoT 的发展恰好为 LCA 的这一需求提供了良好的监测手段。确切地来讲,发达的 IoT 技术为 LCA 方法提供了时间维度上更为精确的数据,使研究者能够在较小的时间步长内实现满足精度要求的生命周期评价分析。

### 3.3 现状及对未来的展望

目前的问题在于 IoT 技术及理论发展并不十分完善,环境影响方面的标准数据库也有不足(国外的

LCA 软件商所开发的数据库并不适合中国的实际情况,各项指标均有很大差异<sup>[30]</sup>),感知层所能收集的数据有限,只包括再生资源的基本属性、时间、操作人员、GPS 坐标等信息,尚不能提供 LCA 所需的环境影响方面的信息,这使得二者的完美结合还存在困难。

就现阶段技术发展水平而言,IoT 可以为 LCA 提供一定的数据支持。如 IoT 监控系统检测到某有毒害废弃物已存在数年,在做 LCA 分析时就能够根据 IoT 系统得知该信息,对其造成的环境影响进行正确的评估,同时这数年造成的环境影响是可以附加位置标识的,LCA 将提供何种物品在何时何地造成了何种环境影响。此外,二者的结合应用使得对再生资源管理时能够将其环境影响考虑在内,从而辅助政策制定者及管理者做出正确的决策。

展望未来,在技术高度发达的社会条件下,物品所携带的信息不仅包括生产商、产地、价格等,也包括其诞生以来的所有经历,如在何种环境(温度、湿度、光照等)下存在了多长时间,结合实际使用情况在强大的知识库的支持下得到现在的产品状况及其在过去所造成的环境影响,同时根据给定的时间、环境等参数输入,预测出在任何时间、地点将能造成或累计造成的环境影响。此时,基于 LCA 计量的物品对环境的影响已经作为一项基本属性附加到其基本信息里。

## 4 结论与讨论

IoT 这一概念产生于 2005 年的信息社会世界峰会,距今不足 10 年,但其涉及的传感器、RFID、网络通讯等技术储备早已具备。目前,IoT 在物流、智慧医疗、智能电网、智慧城市等领域的应用已初具规模;LCA 起源于 20 世纪 60 年代,经过几十年的发展,其理论、技术已经比较成熟,相关的国际标准也比较完善。在未来的很长时间内,这 2 个工具在再生资源领域将会大放异彩。但 IoT 和 LCA 的结合应用目前几乎仍是空白,其根本原因在于现阶段 IoT 技术发展水平尚不能满足短时间步长 LCA 的需要,同时 IoT 还未在全球范围内全面部署,“IoT”大环境暂时不具备,这也导致现阶段 IoT 和 LCA 的规模化结合应用难以实现。技术是呈加速发展的,相信不久的将来,IoT 和 LCA 会紧密结合,不仅在再生资源管理领域,在社会生产和人类生活的诸多方面都将发挥出不可替代的作用。

## 参考文献

- [1] 燕玉.关于新经济与传统经济的对比分析[J].云南社会主义学院学报,2012(1):266-267.
- [2] 冯之浚.循环经济的范式研究[J].中国软科学,2006(8):9-21.

- [3] 周金应.基于“3R&I”原则的循环经济模式研究[J].四川理工学院学报:社会科学版,2009,24(1):74-76.
- [4] 中华人民共和国商务部,中华人民共和国国家发展和改革委员会,中华人民共和国公安部,中华人民共和国建设部,国家工商行政管理总局,国家环境保护总局.再生资源回收管理办法[EB/OL].Http://www.gov.cn/ziliao/flfg/2007-03/30/content\_566242.htm.
- [5] 王培暄.中国现阶段再生资源产业管理中的问题及对策[J].广西社会科学,2011(3):62-64.
- [6] 杨昭,南琳,高嵩.面向物联网的海量数据处理研究[J].机械设计与制造,2012(3):229-231.
- [7] 何艺,邱琦,罗庆明,等.生命周期评价在中国固体废物环境管理中的应用[J].中国环境管理,2013(1):3-8.
- [8] Telecommunication standardization sector of ITU. Recommendation ITU-TY.2060: Overview of the internet of things [EB/OL].InternationalTelecommunicationUnion.2012.http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I/en.
- [9] 杨履榕,祝圣训.中国再生资源循环经济的策略研究[J].资源开发与市场,2003,19(5):304-306.
- [10] 王冠宇,焦运涛,赵寒涛,等.物联网技术在资源回收体系中的应用研究[J].自动化技术与应用,2012,31(3):44-46.
- [11] 卫菊红.基于RFID技术的物联网在现代物流中的应用[J].电子世界,2011(15):5-6.
- [12] 于山山,王斯锋.基于物联网的智能物流系统分析与设计[J].软件,2012,33(5):6-8.
- [13] 李祥.基于物联网技术的再生资源管理信息平台研究[J].现代情报,2011,31(12):59-63.
- [14] Curran MA. Environmental Life- Cycle Assessment[M].NewYork: Mc Graw-Hill Professional Publishing,1996.
- [15] 霍李江.生命周期评价(LCA)综述[J].中国包装,2003(1):42-46.
- [16] ISO14040. Environmental management- Life cycle assessment- Principles and framework[S].International Organization for Standardization,2006.
- [17] 洪钢.生命周期评估法(LCA)——环境评价的有效工具[J].中国环境产业,1998(3):21-23.
- [18] 周宏春.中国再生资源产业发展现状与存在问题[J].再生资源与循环经济,2008,1(5):5-8.
- [19] 杨健,陆雍森,施鼎方.运用生命周期分析(LCA)评估和选择废水处理工艺[J].工业用水与废水,2000,31(3):4-6.
- [20] Ross S, Evans D. The environmental effect of reusing and recycling a plastic-based packaging system[J].Journal of Cleaner Production, 2003,11(5):561-571.
- [21] Baral, A, Bakshi B R. Emergy analysis using US economic input - output models with applications to life cycles of gasoline and corn ethanol[J].Ecological Modelling,2010,221(15):1807-1818.
- [22] Beigl P, Salhofer S. Comparison of ecological effects and costs of communal waste management systems[J].Resources, Conservation and Recycling,2004,41(2):83-102.
- [23] 黄江丽,王泽,王伟.用生命周期评价北京市城市垃圾处理工艺[J].能源环境保护,2004,18(4):59-62.
- [24] 于艳红.在固体废弃物资源化中引入生命周期评价(LCA)方法[J].中国资源综合利用,2003(1):35-37.
- [25] 罗宇.生命周期评价(LCA)与固废资源化[J].山西建筑,2010,36(28):348-349.
- [26] Tukker, A. Life cycle assessment as a tool in environmental impact assessment[J].Environmental Impact Assessment Review,2000,20(4):435-456.
- [27] Pieragostini C, Mussati M C, Aguirre P. On process optimization considering LCA methodology[J].Journal of Environmental Management,2012,96(1):43-54.
- [28] 周晓萃,徐琳瑜,杨志峰.城市生活垃圾生命周期分析及处理规划研究[J].中国环境管理,2011(2):33-37.
- [29] 冯琍萍,袁丹,刘芳.利用物联网打造再生资源社会回收平台[J].再生资源与循环经济,2011,4(9):31-32.
- [30] 王俊尉,谷晋川,杨萍.LCA方法的技术框架与信息化开发[J].能源与环境,2006(4):7-9.