

# 生命周期评价在电子废弃物管理中的应用前景

洪梅<sup>1</sup>, 宋博宇<sup>1,2,3</sup>, 丁琼<sup>2</sup>, 何连生<sup>3</sup>, 林洪义<sup>1</sup>

1. 吉林大学环境与资源学院, 长春 130026
2. 环境保护部环境保护对外合作中心, 北京 100035
3. 中国环境科学研究院, 北京 100012

**摘要** 电子废弃物具有数量多、危害大、潜在价值高的特性, 由于其具有丰富的可回收资源而被人们称之为“城市矿山”。但是如果对其管理不当, 则会造成严重的环境污染, 威胁到人类健康及生态安全。生命周期评价是一种用于评估与产品和服务有关的潜在环境影响的技术, 其可以为电子废弃物管理提供一套系统的观点, 汇总、评价其废弃后的各个过程中的消耗、排放及污染等各种指标, 以帮助识别废弃电器电子产品管理过程中的潜在环境危害, 指导电子产品的设计、流向及最终废弃的观念, 为管理者提供决策支持。本文结合电子废弃物的特点, 分析了在电子废弃物管理中引入生命周期评价方法的重要性, 并探讨了生命周期评价在电子废弃物管理中的应用前景及存在的难点。

**关键词** 生命周期评价; 电子废弃物; 应用前景; 难点

中图分类号 X82

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.33.011

## Application Prospect of Life Cycle Assessment in E-waste Management

HONG Mei<sup>1</sup>, SONG Boyu<sup>1,2,3</sup>, DING Qiong<sup>2</sup>, HE Liansheng<sup>3</sup>, LIN Hongyi<sup>1</sup>

1. College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130026, China
2. Foreign Economic Cooperation Office, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100035, China
3. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

**Abstract** The e-waste, characterized by its large quantity, the great hazard and a high potential value, is also called the "urban mine" due to various recyclable resources in it. However, the e-waste is related to a severe environment pollution and will become a threat to human health and ecological safety, if not properly managed. The life cycle assessment is a type of technology that evaluates the potential environment effects of products and services. This technology will help to identify the potential environment hazard in the management process of abandoned electrical products, to guide the design and the flow of electrical products, to establish the conception of abandoned products, and to support the management on the decision-making, by generating a series of systematic conclusions, including parameters in the consuming, emission and pollution processes after the electrical products are abandoned. This paper discusses the application prospect and existing difficulties of the lifecycle assessment in the e-waste management.

**Keywords** life cycle assessment; e-waste; application prospect; difficulties

### 0 引言

电子废弃物, 俗称电子垃圾, 包括各种废旧电脑、通信设

备、打印机、复印机、电视机、电冰箱、空调、洗衣机等, 也包括构成这些产品的零部件、元器件及潜在材料。作为一种特殊

收稿日期: 2012-07-26; 修回日期: 2012-09-18

作者简介: 洪梅, 教授, 研究方向为环境污染模拟与评价, 电子信箱: hongmeizhangbo@163.com

的再生资源,电子废弃物具有数量多、危害大及潜在价值高的特点。由于电子废弃物种类繁多且含有大量的重金属及其他有毒有害物质,近年来受到国内外广泛关注。

联合国开发计划署(UNDP)的报告指出,全球每年投放市场的电子产品数量巨大,且每年都在快速上升。在欧盟,2005年投入市场的电子产品总量已超过了930万t<sup>[1]</sup>;2000—2005年,中国的CRT彩色电视、冰箱、空调、电脑和手机的数量增长迅速。2005年大约售出1400万台电脑<sup>[2]</sup>。手机的增长尤为迅速,2006年大约有10亿件<sup>[3]</sup>。2009年7月联合国环境规划署(UNEP)发布的Recycling-From E-waste to Resources显示,2010年中国将产生230万t电子废物。目前的电子废弃物每5年就增加16%—28%,比总废物量的增长速度快3倍。

电子废弃物的组成成分极其复杂,含有重金属、铅、含溴阻燃剂或其他卤族化学物质等有害物质,如处置不当,会对环境和人体健康造成巨大的危害<sup>[4]</sup>。20世纪90年代起,广东贵屿、浙江台州等地,一些人对非法进口的废旧家电进行拆解,并用强酸提炼重金属,很多非法小作坊以焚烧等落后工艺拆解废旧电器。这些非正规的电子废物拆解区的水体、空气和土壤等环境介质中都检测到了包括PCBs、PAHs和二噁英以及某些重金属在内的污染物质<sup>[5-9]</sup>。

鉴于电子废弃物不当处置所带来的高污染性,巴塞尔公约、国际化学品战略管理方针(SAICM)等分别对其进行了密切关注,UNDP、UNEP、联合国工业发展组织(UNIDO)等国际组织也针对电子废弃物组织开展了一系列全球和区域性行动,以防止由于其非法跨境转移和非正规的处理处置所造成的环境、健康风险。目前中国也加大了对电子废弃物的管理力度,不但出台了一系列的政策法规、技术标准规范电子废弃物的管理,同时在2012年6月出台的废物资源化科技工程“十二五”规划中,列入了包括电子废弃物在内的一些废物资源化的总体思路。但是总体来讲,中国对于电子电器产品报废后的收集、运输、堆放、处置等过程中部分环节的污染物产生情况还不十分清楚,对于废旧家电处置过程的污染物释放途径尚没有深入的认识,对于因污染物释放而造成的环境、生态、人体健康影响也尚未深入研究。由于电子废弃物处理处置过程中可能造成一系列的环境影响和健康危害,需要采用一种有效的评价工具来评估电子废物管理策略、处置工艺的合理性和可行性,以识别电子电器产品在废弃管理中的环境影响。

## 1 生命周期评价简介

### 1.1 生命周期评价的发展

ISO14040对生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)进行了定义:汇总和评价一个产品、过程(或服务)体系在其整个生命周期的投入及产出对环境已造成的和潜在的影响的方法。生命周期评价对产品或服务“从摇篮到坟墓”的全过程中涉及到的环境问题进行定性或定量的分析或评价,是为

产品研发、工艺选择、决策制定等方面提供支持的一种重要的环境管理工具<sup>[10]</sup>。

生命周期评价一般分为互相联系的4步,即目标和范围的确定、清单分析、影响评价和结果解释<sup>[11]</sup>。在应用生命周期评价时,首先根据研究目的确定研究范围,编制产品系统中有关输入和输出的清单,评价与这些输入输出有关的潜在环境影响,最后解释影响评价的结果。

早在20世纪60年代末,生命周期评价的萌芽思想就已出现。1969年,美国西部研究所对可口可乐公司的饮料包装进行了评价,该研究从原材料的采掘到废弃物的处置进行全过程的跟踪,但是其只停留在对能量消耗的评估,而未考虑其他影响类型。而后学术界对生命周期的方法论开始了深入的研究,国际毒物和化学学会(SETAC)对其进行了发展与完善,将生命周期评价扩充到了对能源消耗、资源消耗及环境影响的评价研究。20世纪90年代,随着可持续思想的普及,生命周期评价受到越来越多的产业界、政府、国际组织及科研机构的关注与重视。如1990年,SETAC在美国佛蒙特州召开了讨论关于生命周期评价一般概念的国际会议,首次提出了生命周期评价的概念;1994年,北欧部长委员会讨论了生命周期评价纲要;美国环保局出版了LCA方法学指南,且在政府政策制定,产品生命周期设计和城市废物管理等领域注重生命周期评价的应用,国际上一些著名的企业集团也都积极关注LCA的研究与应用。自此,生命周期评价进入了迅猛发展的阶段。

### 1.2 生命周期评价的应用

经过40多年的发展,生命周期评价已成为越来越重要的环境管理工具。随着LCA研究方法不断成熟,研究范围也逐渐拓展。目前,越来越多的研究者及研究机构正在积极地将LCA方法引入和应用在各个领域当中。(1) LCA应用在工业领域中。工业是世界经济的主导产业,各种产品的加工、生产都会或多或少的产生环境影响,因此LCA被广泛地应用于工业领域的产品(工艺)评价等方面。如李蔓等<sup>[12]</sup>对聚乙烯生产过程中的环境协调性进行生命周期评价,识别出此过程中的主要污染环节及污染类型,认为轻烃、石脑油裂解及裂解气分离是造成污染物排放的最主要工序,光化学烟雾是其造成的最主要的环境影响。Manish等<sup>[13]</sup>对制糖工业及制糖工业的副产品进行了生命周期评价,识别了其主要的产污环节及典型污染物。(2) LCA应用在农业领域中。不同的种植方式和农业管理模式会对环境造成不同的影响,目前有不少研究者在农业领域引入了生命周期评价,用以评估农业生产、食品供应等过程的环境交换。如Thomas等<sup>[14-15]</sup>研究了有机农业和综合农业两种不同农业模式,大量生产和集约型生产两种不同生产方式的环境负荷, Maria等<sup>[16]</sup>用LCA评估了西澳大利亚蓝莓、莴苣和蘑菇3种农产品的果蔬供应链过程中的全球变暖潜力。(3) LCA应用在能源、资源及其再生领域中。由于近年来能源、资源匮乏问题日益凸显,能源、再生资源类的生命周期评价引起了研究者较多的关注。国内外已有较多使用生

命周期评价的方法评估能源生产、使用的环境负荷的相关案例<sup>[17-20]</sup>。在资源再生利用等领域中,也有部分研究者分析了城市废水回用<sup>[21-22]</sup>、电子废物中金属回收<sup>[23]</sup>等过程的环境影响负荷。(4) 环境管理领域。LCA 在废物管理、修复技术选择等方面做出了大量的贡献。国内外研究者对城市固体废物的不同处理方案及管理策略进行了大量的研究,如 Hong 等<sup>[24]</sup>、Mufide 等<sup>[25]</sup>、Ozeler 等<sup>[26]</sup>分别利用生命周期评价研究了不同地区的城市固体废物管理方案的环境影响。在工业固体废物方面,Chen 等<sup>[29]</sup>对钢铁企业固废综合利用进行了研究,评价了4种不同的转炉钢渣内部回用工序的环境影响。Peter 等<sup>[28]</sup>考虑到地下水修复过程中可能出现的二次污染问题,对卡尔斯鲁厄地区的某废弃天然气生产厂地下水污染修复的两种不同处置技术的环境影响进行了评估。(5) 其他领域。LCA 除了在以上领域被广泛应用,在一些服务业、建筑业、新兴产品等方面也有所应用。如金声琅等<sup>[29]</sup>初步建立了酒店服务业的生命周期模型,讨论了生命周期评价在酒店服务业的应用前景。Tsai 等<sup>[30]</sup>以 LCA 方法为基础,评价建筑项目从计划、实施到最后使用阶段整个生命周期的能源消耗和二氧化碳排放情况。

## 2 电子废弃物管理中引入生命周期评价的重要性

电子废弃物作为一种特殊的可再生资源,含有大量的有

价物质,具有非常高的回收价值。电子废弃物与其他固体废物所不同的是其价值与危害都高于其他固体废物,并且其中的 CRT 玻璃、电路板等都是目前废物管理中的难点。

电子废弃物具有高资源性。欧洲资源和废物管理专题中心数据显示,电子废弃物中含有占总量 47.9% 的铁和钢,12.7% 的有色金属,20.6% 的塑料以及其他有价值物质。通过回收和再生利用电子废弃物中资源的成本大大低于直接从矿石、原材料等冶炼加工获取资源的成本,且节约能源。但是若对其管理不善,则会带来不可忽视的环境风险与人体健康风险。表 1 为电子废弃物在回收和处置过程中可能的环境污染物质。

在电子废弃物管理中,除处理处置方法不当会出现环境污染和资源浪费等问题之外,如果未能进行合理的产业布局,未考虑电子废弃物处理处置之外的其他共生环节,也会引起上述问题。鉴于电子废弃物的高资源性和高污染性,如何兼顾电子废弃物的经济效益及环境效益的一致性则成为了当前重要的议题。生命周期评价恰恰可以为电子废弃物管理提供一套系统的观点,汇总、评价其废弃后的各个过程中的能源消耗、排放及污染等各种指标,以帮助识别废弃电器电子产品管理过程中的潜在环境危害,指导电子产品的设计、流向及最终废弃的观念,为管理者提供决策支持。为了能

表 1 电子废弃物回收处理过程中的潜在污染

Table 1 Potential contamination in the process of recycling and treatment of e-waste

污染物	产生组件
卤化物	
多溴联苯醚,多溴联苯,四溴双酚 A	阻燃剂
多氯联苯	冷凝器,电容器,转换器
氟氯烃	绝缘泡沫,冷却装置
多环芳烃	产品的燃烧
多卤代芳烃,多氯二苯并二噁英,多氯二苯并呋喃	PVCs 或其他塑料产品的低温燃烧
重金属及其他金属	
锑	阻燃剂,塑料
硒	老式复印机
砷	发光二极管中的砷化镓
钡	阴极射线管中的吸气剂
6 价铬	数据磁盘
铍	电源箱
镉	镍镉充电电池,CRT 显示器的荧光层,打印机碳粉
铅	CRT 屏幕,电池,线路板
锂	锂电池
汞	LCD 背后照明的荧光灯,一些碱性电池,水银开关
镍	镍镉电池,镍氢电池,CRT 中的电子枪
稀土元素	CRT 中的荧光层
其他	
碳粉	激光打印机/复印机的硒鼓
放射性物质	
镭	医疗设备,火灾探测器,烟雾探测器的主动传感原件

够更好地监督电子废弃物管理中的污染问题,兼顾其经济效益和环境效益,有必要在电子废弃物管理中引入生命周期评价。

### 3 LCA 在废弃电器电子产品管理中的应用前景

SETAC 和 ISO 的文件中列举了一些 LCA 的作用,例如:(1) 帮助提供产品系统与环境之间相互作用的尽可能完整的概貌;(2) 促进全面和正确地理解产品系统造成的环境影响;(3) 为关注产品或受产品影响的相关方之间进行交流和对话奠定基础;(4) 向决策者提供关于环境效益的决策信息,包括估计可能造成的环境影响、寻找改善环境的时机与途径、为产品和技术选择提供判据等等。一般来讲,国内外将生命周期评价常常用于直接应用、产品开发与改进、战略规划、公共政策支持等方面。例如,在直接应用方面, Kim 等<sup>[31]</sup>对 CRT 显示器从生产到最后处置的全过程进行生命周期评价,认为使用阶段是 CRT 显示器对环境造成的影响最大; Socolof 等<sup>[32]</sup>通过对对比 CRT 和 LCD 两种显示器的生命周期评价结果,表明 LCD 在大部分环境影响类型中造成的环境负荷都小于 CRT 显示器,但是其富营养化潜力和水体毒性潜力均大于 CRT 显示器。在战略规划方面, Sven 等<sup>[33]</sup>利用生命周期评价评估餐厨垃圾的 4 种不同管理策略,识别了这 4 种策略的主要环境影响,判别了最佳管理策略。Ayalo 等<sup>[34]</sup>使用多维生命周期评价方法,对以色列的软饮料容器的废物管理政策进行了研究,认为应将国际贸易产品的生命周期影响造成的外部成本内部化,这样才能促进可持续发展。威尔士环保局也是通过可持续评价和生命周期分析的方法,分析资源利用、废物运输到最终处理处置全过程的环境成本与环境效益,以选择废物管理的策略。在产品开发与改进方面,某电冰箱生产厂通过评价其电冰箱生产使用过程中的环境影响,认为在这一过程中,氟氯烃(CFC)造成的环境影响最为严重,最终研发了不含 CFC 的电冰箱。在公共政策支持方面,北欧及欧盟已经制定了一些环境产品政策,尤其是欧盟产品环境标志计划,已经对洗碗机、卫生间纸巾、电灯泡等产品颁布了环境标志<sup>[35]</sup>。

对于电器电子产品来讲,LCA 方法是识别和评价其环境影响的国际标准方法,也是最有效的管理工具之一<sup>[36]</sup>。目前国际上关于电子废弃物生命周期评价的研究仍较少,就文献检索情况而言,相对较多的研究为利用生命周期评价的方法研究个人电脑<sup>[31-32,37-38]</sup>,另外还有少数对手机<sup>[38]</sup>和电视机的研究<sup>[36,40]</sup>。国内张建普<sup>[41]</sup>对电冰箱全生命周期的环境影响进行了研究。

综合生命周期评价在其他领域发挥的作用并结合电子废弃物的特点,笔者认为,从环境管理的角度,生命周期评价方法可以用于污染特性的识别、处置工艺的选择、研发与改进以及政策与规划的制订等 3 个方面。以下对 LCA 在这 3 个方面的应用予以介绍。

(1) 对于电子废弃物的管理阶段,可以利用生命周期评

价的方法,识别废弃物产生、运输、处置全过程的污染特性。针对某一电子废弃物的处理处置工艺,通过清单数据的调查,可以帮助管理人员和公众了解各处置环节中污染物的产生情况;同时通过环境影响评估,可以识别电子废弃物从产生到处置过程中各环节的环境影响并判断电子废弃物处置过程中造成的何种环境影响最为严重,判断处理处置过程中重点污染环节及重点污染物。

(2) 处置工艺的选择、促进工艺的研发与改进。目前电子废弃物处理处置工艺多种多样,到底何种工艺对环境影响最小、处理效率或资源回收率较高?利用生命周期评价并结合其他评估方法(如经济型评估等),将环境影响与其他要素结合起来,为处置工艺的选择提供依据。除此之外,也可通过生命周期评价对工艺、方案的评估结果,为废弃电器电子产品的处理处置策略和处置方案的研发和选择提供理论指导。

(3) 生命周期评价还可以结合城市发展的规划,通过评价不同回收策略、不同管理体系等方面,优化政府对废弃电器电子产品的管理及对运输、收集布点等环境管理体系方面的规划;也可与其他方法结合,评估区域电子废弃物管理的经济、环境效益,对电子废物的环境管理决策提供科学依据,有效地支持环境管理部门的环境政策制定。

## 4 结论与建议

### 4.1 在电子废弃物中引入 LCA 的难点

在废弃电器电子产品管理中引入生命周期评价,可以有效地帮助管理者和群众识别污染特性,支持处置工艺的研发、促进处置工艺的改进及帮助制定政策与规划,对电子废弃物处理处置的全过程进行监督,对政府或者企业对电子废弃物的再利用、资源化、最终处置的可持续管理提供有力的支持。但是目前来讲,在电子废弃物管理中引入生命周期评价还存在以下难点。

#### (1) 数据获取困难

详尽、真实的数据清单是生命周期评价的基础,而中国废弃电器电子产品回收处理及综合利用行业由个体作坊向规范化、规模化和产业化的转变正属于起步阶段,且由于技术秘密及企业人为限制等原因,迄今还没有一套完整的数据库予以借鉴,导致生命周期评价所需的数据来源不统一,无法利用真实准确和完善的数据进行生命周期分析。

#### (2) 评价技术尚不完善

虽然各国研究者对于生命周期评价方法进行了大量的研究,但是目前评价技术仍不完善。例如电子废弃物中的各物质组份非常复杂,且更新换代速度非常快,对于其中使用的新材料及产生的新污染物,可能得不到其生态毒性或者环境影响的相关支持数据,因此无法保证评价的准确性。

### 4.2 建议

根据中国目前的研究现状,对在废弃电器电子产品管理中引入生命周期评价有几点建议。

(1) 应尽快建立符合中国国情的废弃电器电子产品生命周期清单数据库。生命周期评价所需的数据种类繁多,数据量大,且表现出地域性、复杂性的特点,如果没有详细的数据,很难使其发挥应有作用,因此应注重建立面向废弃电器电子产品的环境负荷数据。

(2) 应尽快完善生命周期评价技术。迄今为止,国内外对于清单数据与环境影响类别之间特征化指标的计算、权重的确定等方面仍没有被广泛接受的统一标准,生命周期评价中的影响评价方法和基准体系仍需完善。

(3) 应对废弃电器电子产品管理的生命周期评价结果与产品的清洁生产、绿色设计等结合起来。在废弃电器电子产品管理中引入生命周期评价的目的不仅仅是识别污染特性和判断末端处置工艺的优劣,而是要从源头上消除污染,使产品设计从传统的“摇篮到坟墓”思想向“摇篮到摇篮”理念转变。

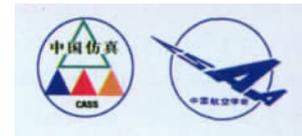
### 参考文献 (References)

- [1] Huisman J, Magalini F, Kuehr R. Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)[R]. Bonn: United Nations University, 2007.
- [2] He W Z, Li G M, Ma X F, et al. WEEE recovery strategies and the WEEE treatment status in China[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2006, B1(36): 502-512.
- [3] Li B, Du H Z, Ding H J, et al. E-waste recycling and related social issues in China[J]. *Energy Procedia*, 2011, 5: 2527-2531.
- [4] The Basel Action Network. Exporting harm: The high-tech trashing of Asia[R]. Seattle, WA: Basel Action network, 2002.
- [5] Wong M H, Wu S C, Deng W J. Export of toxic chemicals -A review of the case of uncontrolled electronic-waste recycling[J]. *Environmental Pollution*, 2007, 149(2): 131-140.
- [6] Li H R, Yu L P, Sheng G Y. Severe PCDD/F and PBDD/F pollution in air around an electronic waste dismantling area in China[J]. *Environment Science & Technology*, 2007, 41(16): 5641-5646.
- [7] Leung A, Cai Z W, Wong M H. Environmental contamination from electronic waste recycling at Guiyu, southeast China [J]. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 2006, 8(2): 21-33.
- [8] 罗勇, 余晓华, 杨中艺, 等. 电子废物不当处置的重金属污染及其环境风险评价 I 电子废物焚烧迹地的重金属污染[J]. *生态毒理学报*, 2008, 3(1): 34-41.  
Luo Yong, Yu Xiaohua, Yang Zhongyi, et al. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2008, 3(1): 34-41.
- [9] Wong C S C, Duzgoren Aydin N S, Aydin A. Evidence of excessive releases of metals from primitive e-waste processing in Guiyu, China[J]. *Environmental Pollution*, 2007, 148(1): 62-72.
- [10] Bhat I K, Prakash R. LCA of renewable energy for electricity generation systems-A review[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, 13(5): 1067-1073.
- [11] Hong J, Li X, Cui Z. Life cycle assessment of four municipal solid waste management scenarios in China[J]. *Waste Management*, 2010, 30(11): 2363-2369.
- [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.
- [13] Li Man, Wang Zhen, Sun Dezhi. *Environmental Science & Technology*, 2009, 32(5): 191-195.
- [13] Chauhan M K, Varun, Chaudhary S, et al. Life cycle assessment of sugar industry: A review[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, 15(7): 3445-3454.
- [14] Nemecek T, Dubois D, Huguenin-Elie O, et al. Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming[J]. *Agricultural Systems*, 2011, 104(3): 217-232.
- [15] Nemecek T, Huguenin-Elie O, Dubois D, et al. Life cycle assessment of Swiss farming systems: II. Extensive and intensive production[J]. *Agricultural Systems*, 2011, 104(3): 233-245.
- [16] Gunady M G A., Biswas W, Solah V A. et al. Evaluating the global warming potential of the fresh produce supply chain for strawberries, romaine/icos lettuces (*Lactuca sativa*), and button mushrooms (*Agaricus bisporus*) in Western Australia using life cycle assessment (LCA)[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2012, 28: 81-87.
- [17] Hacatoglu K, Rosen M A, Dincer I. Comparative life cycle assessment of hydrogen and other selected fuels [J]. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2012, 37(13): 9933-9940.
- [18] Yan X Y, Crookes R J. Life cycle analysis of energy use and greenhouse gas emissions for road transportation fuels in China [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, 13(9): 2505-2514.
- [19] Pang S H, Frey H C, Rasdorf W J. Life cycle inventory consumption and emissions for biodiesel versus petroleum diesel fueled construction vehicles [J]. *Environmental Science and Technology*, 2009, 43 (16): 6398-6405.
- [20] Ou X M, Zhang X L, Chang S Y, et al. Energy consumption and GHG emissions of six biofuel pathways by LCA in (the) People's Republic of China[J]. *Applied Energy*, 2009, 86(S1): S197-S208.
- [21] Munoz I, Todriguez A, Rosan R, et al. Life Cycle Assessment of urban wastewater reuse with ozonation as tertiary treatment: A focus on toxicity-related impacts[J]. *Science of the Total Environment*, 2009, 407 (4): 1245-1256.
- [22] Zhang Q H, Wang X C, Xiong J Q, et al. Application of life cycle assessment for an evaluation of wastewater treatment and reuse project-case study of Xi'an, China[J]. *Bioresour Technol*, 2010, 101 (5): 1421-1425.
- [23] Bigum M, Brogaard L, Christensen T H. Metal recovery from high-grade WEEE: A life cycle assessment[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2012, 207-208: 8-14.
- [24] Hong J L, Li X Z, Cui Z J. Life cycle assessment of four municipal solid waste management scenarios in China[J]. *Waste Management*, 2010, 30 (11): 2363-2369.
- [25] Banar M, Cokayfil Z, Ozkan A. Life cycle assessment of solid waste management options for Eksisehir, Turkey[J]. *Waste management*, 2009, 29(1): 54-62.
- [26] Ozeler D, Yetis U, Demirel G N. Life cycle assessment of municipal solid waste management methods: Ankara case study[J]. *Environment International*, 2006, 32(3): 405-411.
- [27] Chen B, Yang J X, Ouyang Z H. Life cycle assessment of internal Recycling options of steel slag in Chinese iron and steel industry[J]. *Journal of Iron and Steel Research, International*, 2011, 18(7): 33-40.
- [28] Bayer P, Finkel M. Life cycle assessment of active and passive groundwater remediation technologies[J]. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2006, 83(3-4): 171-199.

- [29] 金声琅, 曹利江. 酒店服务业生命周期评价体系研究[J]. 资源开发与市场, 2008, 34(1): 34-36.  
Jin Shenglang, Cao Lijiang. *Resource Development & Market*, 2008, 24(1): 34-36.
- [30] Tsai W H, Liu S J, Lin J Y, *et al.* Incorporating life cycle assessments into building project decision-making: An energy consumption and CO<sub>2</sub> emission perspective[J]. *Energy*, 2011, 36(5): 3022-3029.
- [31] Kim S, Hwang T, Overcash M. Life cycle assessment study of color computer monitor[J]. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2001, 6(1): 35-43.
- [32] Socolof M L, Overly J G, Geibig J R. Environmental life-cycle impacts of CRT and LCD desktop computer displays [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2005, 13(13-14): 1281-1294.
- [33] Lundie S, Gregory M P. Life cycle assessment of food waste management options [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2005, 13(3): 275-286.
- [34] Ayalon O, Avnimelech Y, Schechter M. Application of a comparative multidimensional life cycle analysis in solid waste management policy: The case of soft drink containers[J]. *Environmental Science & Policy*, 2000, 3(2-3): 135-144.
- [35] 杨建新, 王如松. 生命周期评价的回顾与展望[J]. 环境科学进展, 1998, 6(2): 21-28.
- Yang Jianxin, Wang Rusong. *Advances in Environmental Sciences*, 1998, 6(2): 21-28.
- [36] Song Q B, Wang Z S, Li J H, *et al.* Life cycle assessment of TV sets in China: A case study of the impacts [J]. *Waste Management*, 2012, 32(10): 1926-1936.
- [37] Duan H B, Eugster M, Hischer R, *et al.* Life cycle assessment study of a Chinese desktop personal computer [J]. *Science of the Total Environment*, 2009, 47(5): 1755-1764.
- [38] Noon M S, Lee S J, Cooper J S. A life cycle assessment of end-of-life computer monitor management in the Seattle metropolitan region [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2011, 57: 22-29.
- [39] Scharnhorst W, Hilty L M, Joliet O. Life cycle assessment of second generation and third generation mobile phone networks [J]. *Environment International*, 2006, 32(5): 656-675.
- [40] Hischer R, Baudin I. Life study of a plasma television device [J]. *Life Cycle Assessment*, 2010, 15(5): 428-438.
- [41] 张建普. 电冰箱全生命周期环境影响评价研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2010.  
Zhang Jianpu. Research on refrigerator life cycle environmental impact assessment[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University 2010.

(责任编辑 吴晓丽)

## ·学术动态·



## “第八届全国仿真器学术年会”征文

中国系统仿真学会仿真器专业委员会与中国航空学会自控分会仿真技术专业委员会拟于2013年8月中上旬在昆明联合召开“第八届全国仿真器学术年会”,同时召开专业委员会全体会议。

征稿范围 (1) 仿真系统体系结构 (2) 仿真系统建模理论与方法 (3) 仿真系统环境(包括视景、运动、仪表、声音等)仿真技术 (4) 仿真系统控制技术 (5) 仿真系统支撑环境; (6) 仿真系统标准及规范 (7) 仿真系统的应用及维护 (8) 仿真系统的可信度研究 (9) 半实物仿真技术 (10) 嵌入式仿真技术 (11) 自然环境(SNE)仿真技术 (12) 虚拟现实、可视化技术 (13) 仿真支撑平台技术 (14) 仿真模拟训练系统相关技术 (15) 体系对抗仿真及评估技术 (16) 作战仿真系统及应用 (17) 仿真标准化技术 (18) 其他。

摘要提交日期 2013年4月15日

论文提交日期 2013年5月15日

联系电话 :13552328963

电子信箱 fzqhy2013@126.com

大会网站 <http://www.china-simulation.com/xueshudongtai/huiyizhengwen/>

2012-05-30/364.html