

特约专栏

中国材料生命周期分析数据库开发及应用

龚先政, 聂祚仁, 王志宏, 高峰, 陈文娟, 左铁镛

(北京工业大学材料科学与工程学院, 北京 100124)

摘要: 生命周期分析作为广泛使用的环境管理工具, 用于量化评价产品系统整个生命周期内的潜在环境影响, 其具体应用需要大量的不同层次、不同地区和不同技术水平的相关环境负荷数据和评价方法体系数据的支撑。在系列国家科技计划的支撑下, 调研了典型材料生产的环境负荷数据, 开展了中国材料环境数据库(SinoCenter)的研究, 建立了中国材料生命周期分析数据库平台。数据库包含公用系统, 典型材料(钢铁、建筑材料、有色金属、高分子材料、联接材料)等70多个数据集, 近十万条环境负荷数据, 并简要介绍了数据库的主要功能及数据库的技术和商业应用。

关键词: 环境负荷; 生命周期分析; 数据库

中图分类号: X828 文献标识码: A 文章编号: 1674-3962(2011)08-0001-07

Development and Application of Chinese Database for Materials Life Cycle Assessment

GONG Xianzheng, NIE Zuoren, WANG Zhihong, GAO Feng,
CHEN Wenjuan, ZUO Tieyong

(College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: Life cycle assessment is the most efficient environmental management method to analyze the potential environmental impacts of productions across their life cycles. It needs a great deal of environmental loads data and methodology data relevant to specific levels of spatial and temporal differentiation or productivity level of different countries. Environmental loads of the main material industries were investigated under the support of some national research and development projects. The database framework of LCA and dataset were developed. LCA database named SinoCenter has about seventy LCI datasets with more than one hundred thousand environmental loads in total, and each LCI dataset is an individual one, which includes the public dataset of energy products and transportation, and materials dataset, such as iron and steel, non-ferrous materials, polymer products, building materials and solder material. Finally, key figures and applications in technical and commercial fields are briefly introduced.

Key words: environmental loads; life cycle assessment; database

1 前言

生命周期分析(Life Cycle Assessment, LCA)作为量化产品系统整个生命周期内潜在环境影响的重要方法, 已经广泛应用于产品的环境协调性评价、清洁生产审计、产品生态设计、生态工业等领域, 该方法的ISO技术框架包括目的与范围的确定、编目分析(Life Cycle

Inventory, LCI)、影响评价和结果解释4大部分^[1-2]。其中, 编目分析是成熟且最重要的环节, 成熟主要是指其分析与计算方法趋于完善, 而重要性则是需要大量环境负荷基础数据的支撑, 包括能源与资源消耗、环境排放等基础编目数据。LCA数据涉及范围广泛, 包括全球、地域、地区、企业、不同行业的环境负荷数据。LCA数据的地域性强, 不同国家、地域的环境标准差异, 数据通用性较差。LCA评估实施者很难获得全面的、最新的、精确的和适应性强的数据。因此, 环境负荷数据成为LCA实践的基础, 很多国家、研究单位和商业性咨询公司致力于建立专业的LCA数据库, 几乎每种材料的LCA数据库都在建设和完善的过程中, 比较著名并广泛应用的有十多个, 如瑞士Ecoinvent、荷兰IVAM、德国Gabi数据库、瑞典SPINE@CPM、美国LCI数据库、欧洲ILCA Data等^[3-6]。我国在LCA数据方面

收稿日期: 2011-04-28

基金项目: 国家863计划(7150040130, 2001AA320201, 2007AA03Z432);
国家“973”计划(2007CB613206); 国家支撑计划
(2006BAE04B09, 2006BAF02A23, 2007BAE42B05-4); 北京市重点基金(2081001); 国家杰出青年科学基金
(50525413)

通信作者: 龚先政, 男, 1967年生, 研究员

的工作起步于 20 世纪末期,在“九五”国家“863”计划的大力支持下,收集、整理了国内主要材料产业(钢铁、水泥、铝、工程塑料、建筑涂料、陶瓷等)的第一手环境负荷数据,并在北京工业大学建立了材料环境协调性评价基础数据库(SinoCenter)平台^[7-10]。在持续的“863”计划、“973”计划、国家支撑计划和北京自然科学基金的支持下,经过 10 多年的不懈努力和发 展,该数据库已具有较大的规模,积累材料生命周期分析基础数据近 10 余万条,并在技术和商业上开展了具体的应用。

2 生命周期分析数据特征

2.1 生命周期分析数据类型

生命周期分析,就是对产品系统“从摇篮到坟墓”的整个生命历程的环境负荷分析和环境影响评价,其实践过程首先是量化产品的环境负荷(资源消耗、环境排放),然后根据一定的方法体系评估产品系统对环境的潜在损害程度。因此,生命周期分析需要技术领域、环境领域和数据特征 3 方面的相关信息^[11]。

技术领域信息指人类活动本身及其对环境的直接影响数据,如产品的生产工艺流程和各流程的相互层次关系;各个流程的输入数据(资源消耗、能源消耗)和输出数据(产品、废气、废液、废弃固体排放等)的种类和数量等。技术领域的数据主要来自于各种材料/产品生产系统(钢铁、水泥、涂料、陶瓷等)的环境负荷清单;ISO14040 系列标准对执行 LCA 所要求的技术信息,如目标与范围、功能单元等;LCA 评价方法体系数据,如 Eco-Indicator, CML2000 等;LCA 数据交换格式 SPOLD, ECOSPOLD 等。

环境领域信息包括人类活动的地理特征和环境特征,体现为环境指数,如相同的资源消耗和废物排放在不同环境中的影响程度不一样,影响效果通过建立环境损害类型进行表征,表现为评价方法模型和数据,如 Eco-indicator, CML 等方法的分类与特征化、标准化和归一化及权重数据。此外,在特定场景分析条件下,LCA 通常采用相应 的环境控制标准数据进行简要分析,因此,国内外相关环境排放标准数据也是重要的环境领域数据。

数据特征信息,用于描述与理解 LCA 数据的内涵与外延特征,表现为数据质量信息,如数据的统计性特征、来源、文档属性、时间性、数据获取方法、地理属性和代表性等方面的数据特性。

2.2 LCA 数据特点

LCA 数据的显著特点主要体现在 2 个方面:一是数据的复杂和多样性,二是数据的地域性。

2.2.1 LCA 数据的复杂性和多样性

LCA 数据包括评价方法指标数据、评价项目信息数据、相关文献资讯、评价模型数据和环境负荷数据等。其中以评价方法指标和项目环境负荷的数据量最大,不同评价方法指标体系不同,相关数据不尽相同。因此环境负荷数据对不同评价项目,自然存在更大的差异。环境负荷数据不仅涉及到资源消耗,能源投入,而且涉及到环境排放(空气排放、水体排放、固体和土壤排放)数据。环境排放数据不仅有物质排放,而且还有非物质排放。

2.2.2 LCA 数据的地域性

由于不同国家或地区资源分布的不平衡、科技水平的不同层次、能源消耗的不对称,材料或产品在整个生命周期中对环境的影响存在很大的差异,决定了环境负荷数据的空间差异,即用当地的技术水平去衡量在特定条件下的环境负荷数据。

3 数据库框架设计与平台

3.1 LCA 数据库框架^[11]

材料环境协调性评价基础数据库,不仅包括材料(产品)的环境负荷信息,同时还包括评价体系和相关的系统信息。数据库总体框架,包括系统框架库、评价方法库、研究对象管理库、标准参考库、基础物质库、度量单位库、文献资料库、材料性能库,见图 1。其中,最重要的是评价方法库、研究对象库和开放式网络数据库。

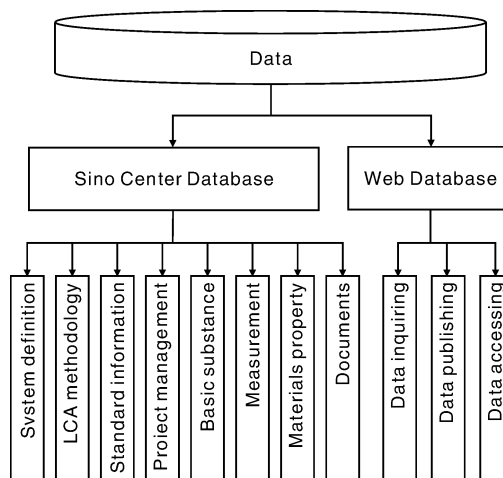


图 1 材料生命周期分析数据库框架

Fig. 1 The framework of database for materials life cycle assessment

评价方法库(LCA Methodology)包含评价方法及对应的评价指标体系数据。评价方法数据库主要基于 ISO14040 框架与国际上广泛使用的 Eco-indicator99, CML 等 LCA 评价指标体系。

研究对象库(Project Management)是整个数据库的核心,所有的材料环境负荷数据都是基于研究对象进行管理,也是LCA实践和开发商业LCA数据集的基本数据源。

网络数据库(Web database)包括基于SinoCenter数据库的网络查询与数据访问。

3.2 数据库平台

数据库的实现是基于Web服务-浏览器模式的网络平台,在Windows 2003平台上安装和配置了SQL Server 2008企业版的后台数据库,前台通过授权进行数据库操作和访问,见图2。



图2 材料生命周期分析数据库网络平台

Fig. 2 The platform of database for materials life cycle assessment

4 材料LCA数据库的主要内容

4.1 数据采集方法与数据质量控制

生命周期环境负荷数据的获取方法及数据来源,是LCI数据及LCA数据库质量的重要保证。我们开发的LCI数据集,是在国家“863”计划、“973”计划等国家支持计划和北京重点基金的支持下,与主要工业及行业部门合作,在企事业单位的密切配合下,取得的材料生产过程环境负荷资料,并基于LCA方法,通过建立相应的模型,开发完成的各类材料及公用系统的编目清单数据集。

为保证数据质量,主要工作集中在原始数据的获取方法与检验,包括以下几方面:①设计数据调查问卷或要收集的数据格式,到企业进行实地调研;②吸收提供数据的企业、行业协会为重要的合作伙伴;③数据调研人员实地测量数据,主要是环境排放数据;④行业、国家发布的公开数据,如各种统计年鉴的报表数据;⑤专业领域工程计算数据,对于个别缺乏的数据,可以利用专业领域知识进行计算获得。

在实际数据采集过程中,综合运用这些方法,较好地保证了数据质量。同时,在形成最终数据集时,还分别与相关行业专家交流、讨论,进行详细的数据检验和严格的数据审核,在源头上保证数据具有较高的质量。

4.2 公用系统数据集

4.2.1 电力产品清单^[12-14]

现代社会里,几乎所有的人类活动都离不开电力,因此电力生命周期清单是开展材料产业乃至所有工业产品生命周期评价的基础性数据。电力清单的系统边界是电力生产过程,包括诸如燃料燃烧、污染消除技术、电力输送及其他与燃料相关的生命周期过程。涵盖范围包括化石燃料的消耗、气态污染物、液态污染物及固体废弃物的排放。对于火力发电,煤炭、原油和天然气的开采和运输过程都包括在研究范围中。对于核能发电,则涵盖了铀矿石的开采、加工与运输过程。相关的基础设施,包括厂房、大坝等建筑物的建设与运行,未包含在电力清单内。

通过调查和收集相关的发电技术参数和消耗燃料的特性数据,建立了相关污染排放模型,并根据我国电厂自用电率和供电的线路损失率,计算得到中国单位电力生产和售电的生命周期排放清单,主要包括一次能源(原煤、原油、天然气)消耗,气态污染物(As , Zn , Pb , Hg , Cd , CH_4 , 烟尘, $NM VOC$, V , Cr , SO_2 , CO_2 , CO , Ni , NO_x)排放,液体污染物(废水、 COD),固态污染物排放,放射性废气和废水排放等。

4.2.2 化石能源产品清单^[15-17]

化石能源一直是人类社会发展的主要能源,人类所需初级能量的80%以上均来自化石能源。化石能源的生产和使用是整个工业生产系统中的重要环节,我国是世界第二大能源消费国和第三大能源生产国。

化石能源清单的系统边界为化石燃料生产的生命周期过程,包括开采过程的能源消耗,工艺过程直接排放,相关工业锅炉排放,运输过程排放以及主要原燃料的生命周期消耗与排放。所有数据均为全国平均水平,涉及的环境性排放包括液态污染物,固体废弃物和 CO_2 , SO_2 , NO_x , CH_4 , CO , 烟尘等气态排放物,构成化石能源生产生命周期清单。

4.2.3 交通运输清单^[18-19]

物流环节是现代社会的组成部分,材料、产品和服务只有经过交通运输等环节,才能最终达到生产者、使用者,实现商品的具体价值。但交通运输环节会引起大量能源消耗和污染物排放。针对国内的主要交通运输类型(长江流域水运、珠江流域水运、公路运输、铁路运输、管道运输等),不同的运输工具(中轻型货车、重型货车、火车、拖船、驳船等),不同的运输路况(城市道路、高速公路、乡村道路等),开发了相应的交通运输清单,即功能单位(吨公里)的资源消耗、能源消耗,温室气体、氮氧化物、二氧化硫、一氧化碳和挥发性有机物等污染物。

4.3 材料清单数据集

材料环境负荷清单是中国材料生命周期分析数据库的核心, 针对量大、面广的典型材料开展了相关的生命周期清单编制。

4.3.1 钢铁材料编目清单数据集^[20-21]

钢铁材料是使用最广泛的材料, 也是大量消耗资源、能源和污染排放显著的工业。钢铁材料环境负荷数据集, 基于中国企业的生产情况和行业统计报告, 代表了不同地区、不同技术水平企业的环境负荷状况。环境负荷数据均基于工序单元进行数据管理。数据集的范围是从“摇篮到大门”的环境负荷数据, 针对不同的生产流程, 以工序为基本功能单元进行数据组织和管理, 如电炉长流程生产钢铁材料, 包括采矿工序、选矿工序、烧结工序、焦化工序、炼铁工序、炼钢工序和轧钢工序, 形成钢铁材料环境负荷数据集。数据集仅是特定工序单元的过程数据, 与能源和交通运输等基础数据相结合, 可以得到完整的钢铁材料编目清单。目前, 数据集包含了我国 70 余家主要的钢铁材料生产企业的环境负

荷数据。

4.3.2 建筑材料编目清单数据集^[22-25]

建筑材料也是我国目前消耗的主要量大、面广材料, 在国家“863”计划等支撑计划的支持下, 与水泥、玻璃、陶瓷和墙体材料 4 大专业协会和生产企业密切合作, 开展了 LCA 研究, 共收集水泥、玻璃、陶瓷、墙体材料等领域 115 个以上的代表性企业的典型生产工艺(流程)的原始生产数据, 按照 ISO14040 和 ISO14044 生命周期评价规范, 对数据进行了生命周期清单计算和数据规范化处理, 得到了代表我国建材行业现状的水泥、玻璃、建筑卫生陶瓷、烧结墙体材料及其生产过程物质消耗、能源消耗及污染物排放的流程清单数据, 建立了基于生产流程的材料环境负荷清单数据集, 见表 1。

在生命周期评价的技术体系下, 仅以水泥的生命周期清单计算为例予以说明, 清单分析首先要确定研究目的与范围, 时间边界界定为 2005~2007 年, 系统边界则选取水泥生产工艺中生料制备、熟料煅烧及水泥粉磨三个工序, 如图 3。

表 1 建筑材料环境负荷数据清单

Table 1 The life cycle inventory of environmental loads for building materials

Material	Investigated enterprises	Dataset of life cycle inventory
Cement	37 enterprises including 32 pre-calcination kiln and 5 vertical kiln process	96 datasets including 80 for pre-calcination kiln, 16 for vertical kiln
Glass	12 enterprises	42 datasets for float process
Ceramics	28 enterprises including 4 Sanitary ceramics, 24 building ceramics	58 datasets including 12 for Sanitary ceramics, 36 for building ceramics
Wall materials	38 enterprises	38 datasets

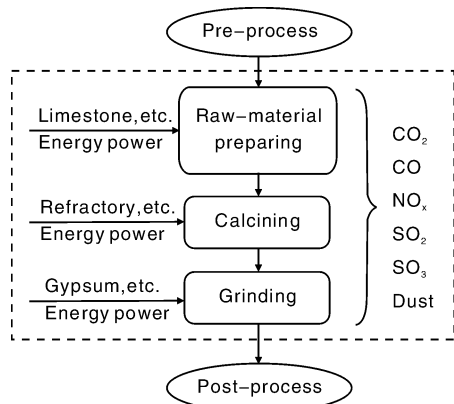


图 3 水泥生命周期清单的系统边界

Fig. 3 System boundary of cement life cycle inventory

此外, 还开发了其它建筑材料, 如石膏板、木地板、复合地板、胶合板、竹地板、SBS 防水材料、保温材料的环境负荷编目清单。这些清单的完成, 为开展建筑物全生命周期能源分析、环境影响分析提供了基础的

科学数据。

4.3.3 有色金属编目清单数据集^[26-29]

针对我国主要有色金属(铜、铅、锌、铝、镁、锡、银), 按照 LCA 的技术框架, 建立了各类材料面向生产工艺过程的编目清单, 图 4 为原镁编目清单的工艺过程和系统边界。

4.3.4 高分子材料清单数据集^[30-32]

基于 LCA 分析及 LCI 编制方法, 开发了主要化工材料及产品的环境负荷清单数据集, 如乙烯、聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚苯乙烯(GPPS)、聚氯乙烯(PVC), 部分涂料, 以及 3 类可降解塑料(聚碳酸亚丙酯、聚乳酸薄膜材料和非石油基聚碳酸酯)的环境负荷清单数据。

4.3.5 联接材料编目清单数据集^[33]

针对传统锡铅焊料(Sn37Pb)、4 种典型无铅焊料(Sn-3.8Ag-0.7Cu, Sn-3.5Ag, Sn-0.7Cu 和 Sn-9Zn), 按照不同焊料形态(焊膏和焊料棒), 对它们的生产阶段(焊料原料金属生产过程和焊料生产过程)和应用阶段

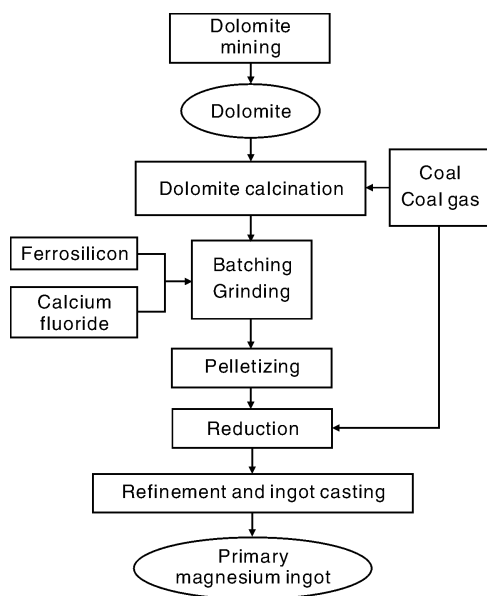


图4 皮江法炼镁工艺流程

Fig. 4 Technical flow of the Pidgeon process

(焊接过程)的不同生命周期阶段进行清单编制,建立相关数理模型并进行计算,建立了焊料不同生命周期阶段的编目清单,为联接材料生产与应用的LCA分析提供了基础数据。

4.4 评价方法库^[34,3]

评价方法数据库,选择性地分析了目前广泛使用的LCA评价方法的特点,主要包括Eco-indicator 99, CML, 和IPCC等评价体系的框架,如物质环境负荷数据的特征化因子、损害评价类型、标准化因子和权重因子。重点对Eco-indicator 99指标体系,进行了本地化研究,结合我国的资源特点,建立了42种金属矿产和58种非金属矿产的本地化资源损害因子、归一化因子。同时,基于我国土地资源状况,建立了不同土地使用与转换的土地资源损害因子和归一化因子。

4.5 引进的LCA环境负荷数据库

目前,引进了国外著名LCA环境负荷数据库,如Simapro, Umberto, Gabi, DEAM, IVAM 和 Ecoinvent, 主要涉及日用品、造纸、钢铁、石化、有机(无机)材料、能源、运输和电子产品等方面的环境负荷数据,它们也是材料环境协调性评价基础数据库的重要组成部分,为开展我国材料/产品的LCA比较研究提供了基础数据。

5 材料生命周期网络数据库的功能

上述LCA清单及相关内容,可以通过中国材料研究会环境材料分会、材料环境协调性评价技术中心网站(www.cnmlca.com)进行查询和访问,以下仅以建筑材料为例对主要功能进行简要说明。

5.1 分类查询

分类查询是通过关键词查询不同行业、企业及生产工艺的清单数据,用户可以通过输入相关关键字查询相应的数据,见图5。



图5 分类查询结果(水泥行业)

Fig. 5 Inquired results by different materials classification sector (cement)

5.2 清单查询

在分类查询的基础上,可进一步得到与选定流程或全生命周期的清单数据,见图6。

年份	企业代码	项目名称	物料名称	流量	单位
2005-2006	BMC2001	西华2006年水泥干法	水泥输入	0.0704	吨
			水泥输出	0.0251	吨
			高硅渣料	0	吨
			电力	34.6	kwh/t
			粉云	0.00125	吨
			石灰石	1.27	吨
			电力	34.6	kwh/t
			废渣	0.134	吨
			燃料油	4.55E-05	吨
			CO2	0.26	吨
			CO	0.000437	吨
			H2O	0.00134	吨
			SO2	0.00125	吨
			石膏	0.0079	吨
			粉煤灰	0.139	吨
			电力	30.9	kwh/t

图6 选定流程的LCI查询结果

Fig. 6 Life cycle inventory results for selected flow

6 数据库应用

根据多年来的研究和积累,开发了集成中国材料生产环境负荷数据、公共体系数据(能源系统数据、交通运输数据)、中国资源环境负荷特征化因子和土地占用环境影响特征化因子的中国生命周期分析数据集,已经在技术上和商业上得到一定程度的推广和应用:

(1)为国家/行业相关标准、规范的制定提供了数

据和方法,如建材行业水泥、玻璃、陶瓷、墙体材料的节能标准制定、水泥清洁生产规范制定提供了数据和方法;

(2)为一系列国际合作研究项目提供数据支撑,如加拿大木业协会的“北京木结构、轻钢结构和混凝土结构多层多户式住宅建筑的生命周期分析”研究项目、中美加三国“镁质车体前端结构研究与开发”(MFERD)项目等;

(3)为加拿大 Athena Institute、加拿大国家资源研究院、英国 Pira International 机构、APEC 执行成员 JEMAI(日本产业环境协会)等 20 余家国外研究机构提供了中国 LCA 基础数据支持和咨询服务,并得到他们的一致肯定和认可;

(4)已经形成为商业数据集,可按材料种类独立销售与使用。荷兰 Pré 咨询公司已经购买了我们的中国材料环境负荷集,并将应用于他们的 LCA 服务平台 Sima-Pro 软件系统。

中国生命周期清单数据库的建立和应用,将为我国节能减排、碳排放(碳足迹)分析、清洁生产审计等提供科学、基础数据支撑。

参考文献 References

- [1] ISO. ISO14040: 2006, *Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework*[S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2006.
- [2] ISO. ISO 14044: 2006, *Environmental Management-Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines* [S]. Geneva: International Organization for Standardization[S], 2006.
- [3] Swiss Centre for Life Cycle Inventories. *The Ecoinvent Database* [EB/OL]. (2011-03). www.ecoinvent.ch.
- [4] Industrial Environmental Informatics (IMI). *The SPINE@ CPM Database*[EB/OL]. (2010-10). http://databases.imi.chalmers.se/imiportal/.
- [5] National Renewable Energy Laboratory (NREL). *The USA Life Cycle Inventory Database*[EB/OL]. (2010-10). http://www.nrel.gov/lci/.
- [6] European Commission-DG Joint Research Centre. *The European LCI Database*[EB/OL]. (2010-10). http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/index.vm.
- [7] Gong Xianzheng (龚先政), Nie Zuoren (聂祚仁), Wang Zhihong (王志宏), *et al.* Research and Development of Chinese LCA Database and LCA Software[J]. *Rare Metals*, 2006, 25: 101-104.
- [8] Gong Xianzheng (龚先政), Zhang Qun (张群), Liu Yu (刘宇), *et al.* 建材类生命周期清单网络数据库的研究与开发[J]. *Journal of Beijing University of Technology*(北京工业大学学报), 2009, 35(7): 997-1001.
- [9] Gong Xianzheng (龚先政), Nie Zuoren (聂祚仁), Wang Zhihong (王志宏). 典型材料环境协调性评价数据库框架的研究[J]. *Journal of Wuhan University of Technology*(武汉理工大学学报), 2004, 26(3): 12-14.
- [10] Nie Zuoren (聂祚仁), Gao Feng (高峰), Chen Wenjuan (陈文娟), *et al.* 材料生命周期的评价研究[J]. *Materials Reviews*(材料导报), 2009, 23(7): 1-6.
- [11] Gong Xianzheng (龚先政). *Basic Database Researches for Life Cycle Assessment of Materials* (材料环境协调性评价基础数据库的研究)[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2007.
- [12] Di Xianghua (狄向华). *Several Fundamental Researches in The Life Cycle Assessment for Mineral Resources and Materials* (资源与材料生命周期分析中若干基础问题的研究)[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2006.
- [13] Di Xianghua (狄向华), Nie Zuoren (聂祚仁), Zuo Tiejong (左铁镛). 中国火力发电燃料消耗的生命周期排放清单[J]. *China Environmental Science*(中国环境科学), 2005, 25(5): 632-635.
- [14] Di, X H, Nie Z R, Yuan B R, *et al.* Life Cycle Inventory for Electricity Generation in China[J]. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2007(5): 331-336.
- [15] Yuan Baorong (袁宝荣). *Measurement Method for Sustainable Development of Chemical Industry and Its Application* (化学工业可持续发展的度量方法及其应用研究)[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2006.
- [16] Yuan Baorong (袁宝荣), Nie Zuoren (聂祚仁), Di Xianghua (狄向华), *et al.* 中国化石能源生产的生命周期清单(II)—生命周期清单的编制结果[J]. *Modern Chemical Industry*(现代化工), 2006(4): 59-61.
- [17] Yuan Baorong (袁宝荣), Nie Zuoren (聂祚仁), Di Xianghua (狄向华), *et al.* 乙烯生产的生命周期评价(I)目标与范围的确定和清单分析[J]. *Chemical Industry and Engineering Progress*(化工进展), 2006, 25(3): 334-336.
- [18] Ma Liping (马丽萍). *Study on Road Transport Localization of Material Life Cycle Assessment Basis*(材料生命周期评价基础之道路交通本地化研究)[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2007.
- [19] Zhang YuFeng (张宇峰), Gong Xianzheng (龚先政). 长江水路货会的生命周期清单分析[J]. *Science Technology and Industry*(科技和产业), 2011, 11(2): 64-67.
- [20] Zhou Hemin (周和敏). *Life Cycle Assessment on Iron and Steel Processes*(钢铁材料生产过程环境协调性评价研究)[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2000.
- [21] Gong Xianzheng (龚先政), Nie Zuoren (聂祚仁), Wang Zhihong (王志宏). 钢铁材料环境负荷数据集的研究[J]. *Research on Iron and Steel*(钢铁研究), 2006(4): 49-52.
- [22] Chen Wenjuan (陈文娟). *The Study on Life Cycle Assessment of Float Glass Production* (平板玻璃生产的生命周期评价研究)[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2007.
- [23] Li xiaoPeng (李晓鹏). *The Life Cycle Assessment of Sanitary*

- Ware in China(我国卫生陶瓷生命周期影响评价研究)[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2009.
- [24] Luo Nan (罗楠). *Research on Environmental Impact of Sintered Brick Production in China*(中国烧结砖制造过程环境负荷研究)[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2009.
- [25] Zhang Qun (张群). *The Research and Development of Life Cycle Analysis Network Database of Materials*(材料生命周期分析网络数据库的研究与开发)[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2009.
- [26] Gao Feng (高峰). *Research on Life Cycle Assessment and the Application in China Magnesium Industry*(生命周期评价研究及其在中国镁工业中的应用)[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2008.
- [27] Gao F, Nie Z R, Wang Z H, et al. Life Cycle Assessment of Primary Magnesium Production Using the Pidgeon Process in China[J]. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 2009, 14: 480-489.
- [28] Gao F, Nie Z R, Wang Z H, et al. Greenhouse Gas Emissions and Reduction Potential of Primary Aluminum Production in China[J]. *Science in China, Series E: Technological Sciences*, 2009, 52(8): 2 161-2 166.
- [29] Gao F, Nie Z R, Wang Z H, et al. Resource Depletion and Environmental Impact Analysis of the Magnesium Produced Using the Pidgeon Process in China[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2006, 18(3): 749-754.
- [30] Chen Hong (陈红), Hao Weichang (郝维昌), Shi Feng (石凤), et al. 几种典型高分子材料的生命周期评价[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*(环境科学学报), 2004, 24(3): 545-549.
- [31] Meng Xiance (孟宪策). *Life Cycle Assessment of Lycarbonate and Poly-lactic Acid*(聚碳酸酯和聚乳酸的生命周期评价)[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2010.
- [32] Li Yongjie (李永杰). *Life Cycle Assessment of CO₂-based Biodegradable Polymers*(二氧化碳基聚合物生命周期评价)[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2007.
- [33] Wang Xiaoxia (王晓霞). *Life Cycle Assessment of Lead-Free Solders*(无铅焊料的生命周期评价)[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2008.
- [34] Pré Consultants. *The report of Eco-indicator 99*[EB/OL]. (2011-03). www.pre.nl.

新型热光伏电池转换效率大幅提高

据美国《大众科学》报道，热光伏系统(TPV)能将热转化为电，但其转化效率一直比较低。美国科学家研制出了一种新方法，对一块钨的表面进行操作后，其释放出的光波能被光电池最大限度地利用。并基于此思路研制出一种纽扣光电池，其能源转化效率为同样大小和重量锂离子电池的4倍。相关研究发表在《物理学评论A》杂志上。

半个世纪前，科学家们就研制出了热光伏系统，这种系统让一个光伏电池和任何热源“联姻”以加热一种名为热发射器的材料，随后，热发射器会朝光伏电池的二极管发射光和热以产生电力。这种热发射器发射的红外线比太阳光谱中的还要多。10年前问世的低能带隙光伏材料能比标准硅基光伏电池吸收更多红外线辐射。但是，热量浪费一直很严重，使得这些设备的能效比较低。

领导该研究的美国麻省理工学院军用纳米技术研究所(ISN)的工程师伊恩·塞兰诺维茨表示,解决办法是设计出一种新热发射器,其仅仅发射出光伏电池的发光二极管能吸收、并能最大限度地将其转化为电力的波长,同时抑制其他波长。塞兰诺维茨团队在钨的表面蚀刻了数十亿个纳米大小的凹坑。当钨吸收热量时——不管热量来自于太阳、碳氢燃料、正在衰变的放射性同位素还是其他热源——其会发出亮光,而且发射光谱不断变化,因为每个凹坑就像一个谐振器,能释放出特定波长的光波。他们基于此制造出了一块纽扣电池,其由丁烷提供燃料,运行时间是同样重量锂离子电池的4倍,当电力耗尽后,只需加入少量新鲜燃料,就能立即给该电池充电。他们还制造出了另一块由一种放射性同位素的衰变提供热源的电池,其能持续发电30年,不需要添加燃料也不需要维修保养,有望成为执行长时间太空飞行任务设备的理想电源。美国能源部信息中心提供的数据表明,当今所使用的能量中,有92%的能量都需要经过将热能转化为机械能再转化为电能这一过程。但现有机械能系统的效率相对较低,而且无法缩小尺寸以应用于传感器、智能手机或医疗监控设备中。

塞兰诺维茨表示：“能将不同来源的热转化为电力而无需移动零件非常实用，廉价有效地并在小规模上做到这一点非常重要。”塞兰诺维茨确信，进一步的研究可将这种电池的能量密度提高3倍，“届时，新电池能让智能手机持续使用一周。”

(来源：科技网)