

DOI: 10.5846/stxb201508161710

江志兰, 向思静, 王洪涛, 侯萍, 庄志红, 刘宇, 彭玲, 潘晓勇, 王炼. 基于在线供应链调查的产品生命周期评价. 生态学报 2016, 36(22): 7185-7191.  
Jiang Z L, Xiang S J, Wang H T, Hou P, Zhuang Z H, Liu Y, Peng L, Pan X Y, Wang L. Product life cycle assessment based on online survey along supply chain. Acta Ecologica Sinica 2016, 36(22): 7185-7191.

## 基于在线供应链调查的产品生命周期评价

江志兰<sup>1,2</sup>, 向思静<sup>1,2</sup>, 王洪涛<sup>1,\*</sup>, 侯萍<sup>2</sup>, 庄志红<sup>3</sup>, 刘宇<sup>3</sup>, 彭玲<sup>3</sup>, 潘晓勇<sup>3</sup>, 王炼<sup>4</sup>

1 四川大学建筑与环境学院, 成都 610065

2 成都亿科环境科技有限公司, 成都 610065

3 四川长虹电器股份有限公司, 绵阳 621000

4 四川长虹格润再生资源有限责任公司, 成都 610404

**摘要:** 产品生命周期评价(LCA)中的供应链数据收集非常困难而且效率低下,因而在产品LCA研究中常常近似处理、甚至忽略供应链实际生产过程,严重影响了LCA的数据质量与可信度。开发专门的供应链数据收集工具是解决这一问题的有效途径。介绍了可进行在线供应链调查、建模与计算分析的LCA系统eFootprint,基于该系统提出了在线的LCA工作方法,通过长虹三菱冰箱的应用案例验证了系统与方法的可行性,为提高产品LCA的效率和质量提供了新的解决方案。

**关键词:** 生命周期评价; 供应链; 数据收集; 在线评价系统

## Product life cycle assessment based on online survey along supply chain

JIANG Zhilan<sup>1,2</sup>, XIANG Sijing<sup>1,2</sup>, WANG Hongtao<sup>1,\*</sup>, HOU Ping<sup>2</sup>, ZHUANG Zhihong<sup>3</sup>, LIU Yu<sup>3</sup>, PENG Ling<sup>3</sup>, PAN Xiaoyong<sup>3</sup>, WANG Lian<sup>4</sup>

1 College of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu 610065, China

2 IKE Environmental Technology Co., Ltd., Chengdu 610065, China

3 Sichuan Changhong Electric Co., Ltd., Mianyang 621000, China

4 Sichuan Changhong Green Renewable Resources co., Ltd., Chengdu 610404, China

**Abstract:** In product life cycle assessment (LCA), investigation of supply chain is so difficult and time-consuming that it is often overlooked, which significantly compromises LCA quality and credibility. Specialized tools for supply chain investigation are expected to solve this problem. An online LCA system, namely eFootprint, was introduced in this paper; this system was developed to conduct full LCA study online, including supply chain investigation, life cycle modeling, and analysis. Based on eFootprint's features, the guidelines for conducting LCA online were proposed. A pilot study of a refrigerator showed that eFootprint is a promising solution for more efficient and higher quality LCA work.

**Key Words:** Life cycle assessment (LCA); supply chain; data collection; online assessment system

生命周期评价是定量化、系统化评价产品整个生命周期中所造成资源环境影响的标准评价方法<sup>[1]</sup>,是产品环境管理的重要基础。产品LCA依赖于大量的数据收集,一部分来自于企业和供应链的实际生产过程调查(称为实景过程数据 Foreground process and primary data),另一部分则来自LCA数据库(称为背景过程数据

基金项目: 中国清洁发展机制基金资助项目

收稿日期: 2015-08-16; 修订日期: 2016-05-30

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wanght@scu.edu.cn

<http://www.ecologica.cn>

Background process and secondary data)。其中实景数据在很大程度上决定了 LCA 结果的数据质量和结论的可信度,因此一些 LCA 方法标准对实景数据收集作出了具体要求。世界资源研究所 WRI/WBCSD 在《温室气体核算体系:企业价值链(范围三)核算与报告标准》<sup>[2]</sup>中提到企业应从供应商及价值链上收集一手数据(即实景数据),以更好地呈现企业供应链上的活动,从而确定供应链内最大的能源、原材料和资源消耗所在。《PAS2050:商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》<sup>[3]</sup>要求产品生命周期碳足迹的贡献至少有 10% 来自供应链实景过程。韩国《Guidelines for Carbon Footprint of Products》标准<sup>[4]</sup>规定一级供应商需收集实景数据,二级及以上供应商可采用背景数据。

尽管产品供应链实景数据对 LCA 研究非常重要,但目前很多产品 LCA 研究并未进行供应链生产过程的调查<sup>[5-13]</sup>而是采用原料消耗量、甚至产品材质含量,配合原材料基础数据库进行计算。这不仅影响了数据质量,难以辨别实际生产过程的重点环节,产品供应链协同改进更无从谈起,从根本上削弱了 LCA 的意义和应用价值。尤其是采用产品材质含量进行计算,其实忽略了生产过程的材料损耗、能耗和环境排放,是一种粗略的估算方法,难以支撑 LCA 的实际应用和发展。

造成这一现状的主要原因一方面是由于 LCA 的供应链数据收集工作难度大<sup>[14]</sup>,普遍仍采用现场走访企业、人工处理数据调查表、通过邮件和电话形式沟通确认,造成数据收集工作效率低下;另一方面更为重要和根本的原因是缺乏针对供应链数据收集的 LCA 软件工具。

针对企业开展 LCA 以及供应链数据收集困难的问题,国内亿科环境公司已经开发了完全在线的 LCA 系统 eFootprint,不仅可以在线完成供应链数据收集,而且可以在线完成 LCA 建模与计算分析,并开展了实际应用案例研究。基于 eFootprint 系统,本文提出了在线开展供应链调查和 LCA 的工作方法,介绍了长虹美菱冰箱的研究案例,进一步探讨了在线 LCA 系统的发展方向。

## 1 国内外 LCA 软件工具

目前国内外开展 LCA 工作时主要采用单机版软件工具,国外常见的主流软件主要有:德国 PE 国际有限公司研发的 GaBi 软件,用于进行产品和工艺的生命周期分析,数据库庞大,涵盖 600 个单元过程,5000 条清单数据;荷兰 PR6 咨询公司研发 SimaPro 软件,集成了 Eco-Indicator99, Ecopoints97(CH), CML2001 等在内的生命周期评价方法,重点针对产品研发和产品设计;美国 Ecobilan 公司开发的 TEAM<sup>TM</sup> 软件,针对复杂的工业系统及相关的生命周期计算分析,数据库涵盖了金属类、纸类、废弃物管理领域方面的数据;瑞典 CIT Ekologik 开发的 LCAiT 软件,是第一个采用图形界面的 LCA 软件,用于产品与过程的环境负荷分析。国内仅有的全面的 LCA 分析软件是有四川大学与成都亿科环境科技有限公司开发的 eBalance 软件,拥有中国本地化的基础数据库并兼容 Ecoinvent 与 ELCD 数据库,支持碳足迹在内的 PEF14 种环境影响评价。

以上各类 LCA 软件工具尽管有强大的计算分析功能,较为丰富的基础数据库,支持不同类型环境影响的评价分析,但共同存在的缺陷是均为单机软件工具,主要以本地化人工录入与导入数据完成建模计算,无法实现来自产品供应商数据的自动采集,不能解决 LCA 供应链数据收集的问题。但 LCA 软件工具开发商已经意识到了这一问题,并开始研发专门的工具。2015 年 8 月 GaBi 软件开发商 PE 国际有限公司发布了在线的供应链数据收集工具 LCA Hub,声称能将“LCA 工作效率提升 30%”,同时也能得到更准确的数据”,尽管其 LCA 建模与计算分析仍然需要在 GaBi 软件中完成,但数据收集已开始向在线系统发展。国内亿科环境公司的 eFootprint 系统已经实现了从数据收集到建模计算分析等全程在线的生命周期评价。

## 2 在线的 LCA 工作方法

LCA 分为 4 个基本步骤,分别是目标与范围定义、清单分析、影响评价和结果解释<sup>[1]</sup>,都可以在 eFootprint 系统中完成。eFootprint 是一个在线信息系统,可以部署在公有云服务器上作为公共平台,企业也可在内部服务器上自建系统。用户无需下载和安装,通过浏览器访问系统就可以开展 LCA 工作。系统的工作流程如图 1

所示。企业用户创建产品模型并完成自身的生产过程调查,对于重要的物料消耗,可以在线向供应商发出数据请求,获得供应商的产品模型和数据,结合系统包含的基础数据库,最终完成产品的生命周期建模与计算分析。此外,经许可的第三方或审核认证机构也可以在线进行数据核查。

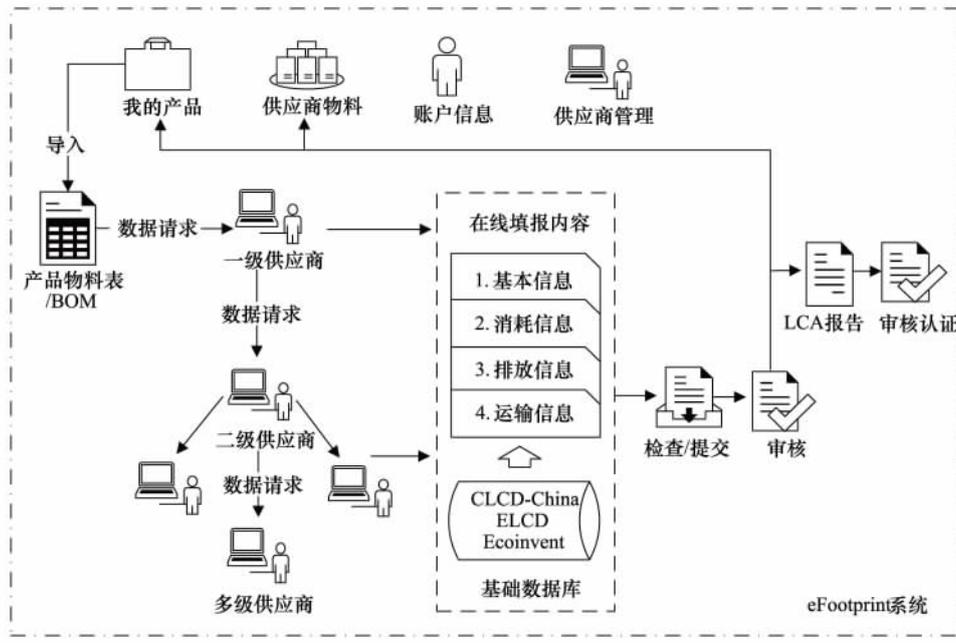


图1 eFootprint 系统工作流程

Fig.1 Work flow of eFootprint system

在供应链调查过程中,供应商用户也有自己的原材料和供应商,也能在系统中继续调查自己的上游供应商,从而实现多级供应链的调查。这既是提高 LCA 数据质量和可信度的有效方法,更是未来开展多级供应链协同改进的基础。对于大多数用户而言,通常既是产品的生产企业,同时也是下游客户的供应商,因此用户使用系统的方式非常相似,具体的工作方法如下。

## 2.1 目标与范围定义

目标与范围定义是 LCA 研究的第一步,是后续工作步骤中选择和判断的主要依据来源<sup>[15]</sup>。用户登录系统后,可以创建新的产品模型,并描述 LCA 的目标与范围,包括功能单位、时间地区代表性、技术代表性、是否代表特定生产者及供应链或代表行业平均等,范围定义包括系统边界、取舍原则与环境影响类型。本系统可以进行多种环境影响类型指标的计算与分析,例如欧盟产品环境足迹(Product Environmental Footprint, PEF)建议的 14 种环境影响类型,如全球暖化、酸化、富营养化、一次能源消耗、不可再生资源消耗、水耗、可吸入无机物等。

## 2.2 数据收集与录入

LCA 需收集各个过程的物料消耗、能耗、排放以及运输数据。通常情况下,企业生产活动范围的数据应最先被收集,其中物耗来源于产品设计方案、生产统计、生产工艺资料等,能耗主要来源于生产统计或按设备功耗估算,排放数据来源于现场监测、物料平衡估算、产排污系数等,运输数据来源于企业进出货记录。上述原始数据需要进行处理,得出生产单位数量产品的物耗、能耗、排放和运输数据,称为过程清单数据(Inventory data),随后录入产品模型中相应生产过程下的消耗表与排放表中。

对于结构复杂的产品,如机械类、电子电器类产品,为简化其繁杂的零部件和物料数据录入工作,系统可直接导入产品物料表 BOM(Bill of Materials)。BOM 表包含多层级零部件及其相关属性,如规格型号、编码、制造商等信息,导入后系统可自动建立多层级产品生命周期树形模型,在提高数据录入效率的同时,也较好保证了数据的完整性与准确性。若产品的原料较为简单,也可在系统中手工逐项添加消耗。

系统支持完整记录每项清单数据的数据来源。选择各项消耗或排放清单数据,可以添加其算法公式以及公式所包含各项原始数据的数值和资料来源,系统可自动将原始数据计算为单位产品的清单数据。这有利于确保数据的透明度、可追溯、可重复,为模型数据的更新与审核提供了便利。

产品和原料的运输过程可能因运输工具改变而分为多个运输路段,甚至可能是从多个始发地到多个目的地的多条运输路径。系统支持详尽记录和计算产品、各项消耗和排放的多路径、多路段的运输过程,包括运输毛重、各条路径的运输份额、各运输路段的起止地点、运输距离、运输工具类型,并与相应运输数据库关联和计算。

产品生命周期还包括使用和废弃处置过程。使用过程数据主要来源产品特征数据或使用阶段调查,如根据使用寿命、工作方式判断使用过程的投入排放。产品废弃回收数据来源于最终回收商对废弃产品的处置活动,数据收集类似于企业生产数据的收集。

### 2.3 供应链调查

为提高产品生命周期评价的数据质量和可信度,识别供应链上重要环节的环境影响,判断分析可改进环节,应该对重要物料的供应链生产过程进行调查。所调查的物料包含零部件、辅料及包装,对于次要零部件和辅料可不调查实际生产过程和运输,而采用其材料含量和基础数据库进行近似计算,不含稀贵和高纯成分、重量很小的零部件和用量很少的辅料可根据取舍原则忽略,具体调查建议参见表 1。

表 1 数据调查方式建议

Table 1 Recommended Data investigation requirements

物料种类 Material types	重量比 Weight ratio <sup>*</sup>	调查要求 Investigation requirements
重要物料 Key materials	$a \geq 5\%$	应调查物料生产过程
次要物料 Minor materials	$1\% < a < 5\%$	可按材质含量和基础数据库近似计算
不重要的物料 Unimportant materials	$a \leq 1\%$	可忽略,总共忽略的部分不能超过产品重量的 5%

\* 物料重量与产品重量的比值

供应链调查过程包括发送数据请求、供应商提交模型和数据、数据审核。系统根据产品模型中物料属性,可以判断外协外购物料并为其生成数据请求列表,企业用户参照表 1 的调查建议,在生成的请求列表中选择需要进行供应链调查的物料并将数据请求发送给相应的一级供应商。数据请求内容包括需要调查物料的名称、规格型号、功能单位、填报须知等信息,可设置请求回复的期限。请求发送后系统将邮件通知供应商,提醒供应商及时查看与处理请求。

供应商登录系统后,可以创建新的产品模型或者选择已有的产品模型用以回复收到的数据请求。供应商可以编辑录入其产品生产过程的消耗、排放、运输数据,数据收集与处理方式如 2.2 的描述。在完成模型数据收集填报后将请求回复给企业用户。企业用户可以审核供应商提供的模型和数据,审核通过后该物料的模型和数据自动合并到企业产品的模型中,从而扩展了产品模型中实景过程。

一级供应商还可以继续发送数据请求给二级供应商,从而实现多级供应链的调查,这是提高 LCA 数据质量和可信度的有效方法。而且,企业与各级供应商可以同时进行数据收集和在线填报,从而极大地提高了供应链上数据调查的效率。

### 2.4 关联数据库

基础原材料和能源消耗通常不用调查供应链生产过程,而直接关联基础数据库,即可得到完整的使用寿命模型,并进行计算分析。本系统的基础数据库包括中国生命周期核心数据库 CLCD<sup>[16]</sup>、欧盟 ELCD<sup>[17]</sup> 和瑞士 Ecoinvent<sup>[18]</sup> 数据库,可以提供国内外主要基础原材料和能源的背景过程数据。

数据库的选择应遵循以下原则:①数据代表性,应优先选择代表原材料和能源产地生产水平的公开数据库,数据的参考年限应优先选择近年数据,仅在没有符合要求的原产地数据的情况下,可以选择国外同类技术数据作为替代;②数据完整性,背景数据库本身应该完整,应该包含主要的基础原材料和能源的开采与制造过

程,即覆盖这些基础原材料和能源从资源开采到出厂为止的过程,保证产品生命周期的完整性;③数据一致性,所有被选择的背景数据均应覆盖产品评价中所选取的环境影响类型。

随着供应链调查与产品 LCA 工作的积累,产品与物料数据库不断激励,包括企业自己的生产过程数据和供应商提供的零部件和原材料的 LCA 数据,后续产品的评价若有相同或相似物料投入时,可直接关联物料数据库,通过数据重用可以提高 LCA 工作效率。

## 2.5 检查与审核

数据收集录入与关联数据库的工作完成后,需对产品模型数据进行检查。在单元过程上可通过输入与输出的质量对比进行物料平衡检查,检查出如单位有误或出入较大的清单数据。在模型层面上可进行消耗与排放的完整性检查以及供应链调查进度检查。完整性检查一方面是检查需追溯的上游过程数据是否有遗漏,并根据取舍原则判断是否需要继续追溯;另一方面是检查排放表中是否涵盖了要评价的影响类型所包含的物质。进度检查主要是包含各级供应商当前数据请求处理状态,是否提交或审核。产品模型数据检查能快速发现问题并查遗补缺,为模型数据完整性、可靠性提供帮助。

企业需审核上游供应商回复的数据请求,若模型数据有误将返回给供应商修改,可在留言处说明修改内容,待所有物料模型审核通过后即完成了整个产品的建模与数据填报。

系统还支持第三方在线评审,将评审请求发送给外部评审专家,专家可以在线审核所有数据及其数据来源,而并不需要拷贝模型数据,有利于数据的保密。由于产品模型中完整记录了所有数据来源,这对评审工作的顺利展开是十分有利的。用户还可根据自己意愿发布评审后的结果,通过网络平台进行更广泛的 LCA 交流。

## 2.6 计算结果与分析

系统能计算产品全生命周期及树形模型上各过程的环境影响,也可以对不同供应商零部件影响结果进行比对分析。系统能得出不同环境影响类型指标的计算结果,并按照产品树形结构展开显示各零部件的环境影响大小,即过程累积贡献。通过分析清单数据敏感度确定对结果影响最大的清单数据,找到最重要的改进点。此外,计算结果辅以图表直观显示,结果可供导出。

## 3 案例应用

在 eFootprint 系统上 2 周内完成了长虹美菱冰箱的一级供应链调查和产品 LCA,在 1 周内完成了 8 家一级供应商共 14 个外购部件生产数据的调查。

长虹美菱三门冰箱(型号 BCD206-K3B,容积 206L)的生产过程数据来源于美菱生产现场调查与产品 BOM 表,销售运输数据来自合作物流公司统计数据,使用过程数据根据产品特征数据分析得到,主要通过产品使用寿命与日电耗计算出使用阶段的电耗,废弃回收过程数据来源于长虹格润再生资源责任有限公司拆解现场调查,根据 ISO14044 标准<sup>[19]</sup>建议的方法,冰箱拆解回收后得到再生铝、铜、铁、塑料,按照再生材料的市场价值与初级材料市场价值的比值进行分配,由于再生材料抵扣了初生材料生产造成的环境影响,产生了环境效益,故再生材料的环境影响为负值。图 2 为冰箱生命周期各阶段对不同环境影响类型指标的贡献。

所调查的外购部件包括重量比大于 5% 的如压缩机、冷藏蒸发器总成、冷冻蒸发器总成、包装箱的生产过程,还包括如温控盒组件、电源线、门封条、果菜盒、压缩机底板组件等重量占比小于 5% 的零部件生产过程,其余大部分为企业自制件,只忽略了如粘胶海绵、不干胶标贴、纸胶带、牙膏辅料总重量不超过 1% 的部分。最终调查结果显示来自供应商调查的外购部件 GWP 贡献占冰箱产品生产总贡献的 25.6%。图 3 展示了冰箱主要零部件的全球暖化潜值。

对比供应商调查前后冰箱生产的 GWP 值,调查前为 216.5 kgCO<sub>2</sub>,调查后为 245.8 kgCO<sub>2</sub>。增加部分一方面是由于通过供应商数据填报,零部件的子零件及材质更加精确完整的结果;另一方面是补充完善了供应商零部件现场生产以及运输的环境影响的结果,供应商调查前后主要零部件 GWP 值对比见图 4,从图中能看

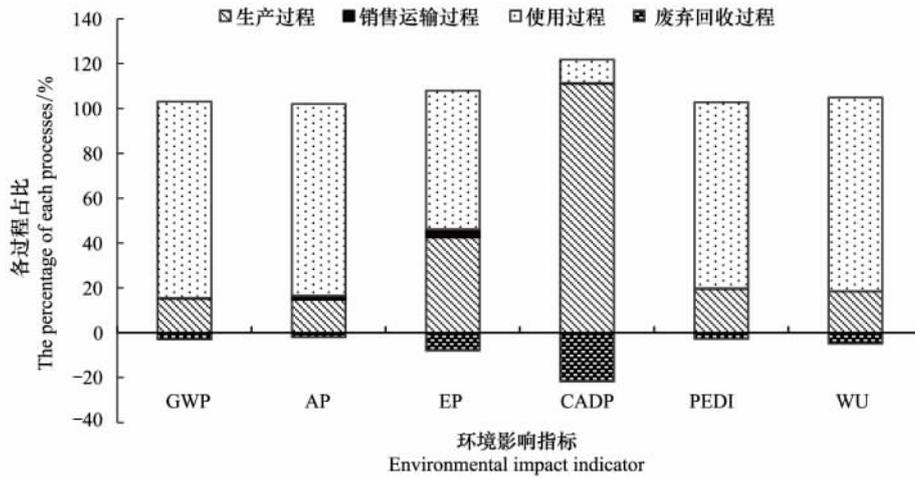


图 2 冰箱生命周期各阶段对多种环境影响类型指标的贡献

Fig. 2 The contribution of each life cycle stages to multiple environmental impact category indicators

GWP:全球变暖潜值 Global warming potential ,AP:酸化潜值 Acidification potential ,EP:富营养化潜值 Eutrophication potential ,CADP:中国资源消耗潜值 Chinese resource depletion potential ,PED:一次能源消耗 Primary energy demand ,IWU:工业用水量 Industrial water use

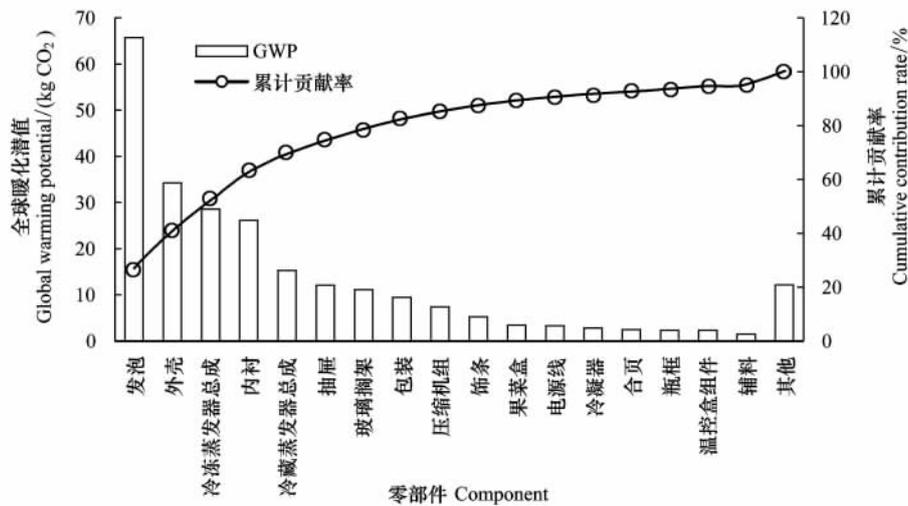


图 3 冰箱主要零部件全球暖化潜值

Fig. 3 The global warming potential of main components of refrigerator

出压缩机调查后的影响比调查前更小,是因为调查前整机厂没有压缩机具体的子零件重量与材质数据,粗略的根据压缩机的重量全部按钢铁材质处理关联数据库,计算得到的结果,这与供应商填报后将压缩机细化至70个子零件,并补充压缩机生产的能耗排放得到的结果相比,准确度不高。由此可见,应用 eFootprint 系统开展供应商调查、收集实景过程数据对提高 LCA 数据质量是非常有帮助的。

此外,在应用系统开展供应商调查工作时,参与填报的供应商均未参加系统培训或 LCA 相关讲座,仅依照系统填报指南与系统在线协助完成此次调查,从最初的数据请求发出到供应商填报完毕到最后全部审核通过耗时 2 周,这在一定程度上说明了系统的易操作性,提高了企业与供应商的 LCA 工作效率。

#### 4 结论与讨论

从 eFootprint 的功能设计和工作方法看,在线 LCA 系统彻底改变了 20 多年来的 LCA 传统工作模式。传统 LCA 软件只能安装在单台计算机上、任何时候只能一个人使用,使用此计算机和软件的用户只能独立完成

数据收集、建模、计算分析等工作,这极大限制了 LCA 案例调查和研究的范围以及深入程度。而在线 LCA 系统允许多个用户、多级供应商同时填报数据,共建一个产品 LCA 模型,这使得复杂产品生命周期研究成为可能。

从 eFootprint 应用案例的效果来看,在线 LCA 系统成倍地提高了供应链数据调查和产品 LCA 研究的工作效率,也改善了 LCA 数据质量。通过在线发送数据请求、导入 BOM、记录数据来源等功能,简化、规范了数据填报和审核工作,企业技术人员经过简单培训或讲解即可使用。随着人员能力建设、企业和供应商数据的积累,这项工作还可以更加简便和快捷。同时,直接调查供应链生产过程、减少使用数据库数据,也是提高 LCA 数据质量的最有效方法,是支撑 LCA 更广泛应用的重要基础。

但从 eFootprint 应用案例的实施过程看,尽管越来越多的行业领先企业都重视并积极开展 LCA 研究,但目前供应链的配合程度仍然比较低,大多数供应商并不了解相关方法及其意义,这导致多级供应链调查的协调工作非常困难。这个问题一方面是需要领先企业、行业、政策乃至社会的持续推动,另一方面也可以在工具层面集成更多功能,为企业提供更多实用价值。例如, RoHS、REACH、WEEE、冲突矿产等国内外环保法规都涉及供应链环境信息的调查,可以与 LCA 调查工作集成,减少冗余的工作环节和冗余的数据,同时增加调查工作的价值。借助各方面的法规和客户要求,推动供应链参与。

eFootprint 系统目前已增加了材料与有害物质声明、再生利用率计算、冲突矿产声明等功能,可以帮助企业建立更全面、更高效的产品及供应链环境管理系统,未来可以用于企业绿色采购和绿色供应链管理,支持产品生态设计和供应链协同改进,满足市场、政策和社会对企业环保的要求,为企业可持续发展提供支持,这也是产品生命周期评价的根本目标。

#### 参考文献(References):

- [1] ISO. ISO14040: International Standards: Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework. 2006.
- [2] WRI, WBCSD. GHG protocol: corporate value chain (Scope 3) accounting and reporting standard. 2011.
- [3] BSI. PAS 2050: 2008 Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. 2008.
- [4] KEITI. Guidelines for carbon footprint of products. 2009.
- [5] Ryu J, Kim I, Kwon E, Hur T. Simplified life cycle assessment for eco-design. International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing. Tokyo, Japan: IEEE, 2003: 459-463.
- [6] 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.
- [7] 刘志峰, 韩雪飞, 张雷. 基于汽车材料数据系统的 LCA 方法及应用. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2015, 38(1): 1-6.
- [8] 孙铤, 刘晶茹, 杨东, 吕彬. 家用空调碳足迹及其关键影响因素分析. 环境科学学报, 2014, 34(4): 1054-1060.
- [9] 王志慧, 王洪涛, 黄娜, 范辞冬. 纸塑铝复合包装材料的碳足迹评价与认证. 环境科学研究, 2012, 25(6): 712-716.
- [10] 辛兰兰, 贾秀杰, 李方义, 王晓伟, 陈孝旭. 面向机电产品方案设计的绿色特征建模. 计算机集成制造系统, 2012, 18(4): 713-718.
- [11] 杨鸣, 于随然, 赵新明. 一种面向中小企业的 LCA 软件开发思想及开发实践. 环境科学与管理, 2011, 36(5): 9-13.
- [12] 张晓璐. 简化生命周期评价方法及其案例研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2013.
- [13] 马盼虎, 栾忠权. 模块化思想的产品生命周期评价研究与应用. 北京机械工业学院学报, 2007, 22(4): 23-27.
- [14] Yung W K C, Chan H K, So J H T, Wong D W C, Choi A C K, Yue T M. A life-cycle assessment for eco-re-design of a consumer electronic product. Journal of Engineering Design, 2011, 22(2): 69-85.
- [15] 郑秀君, 胡彬. 我国生命周期评价(LCA)文献综述及国外最新研究进展. 科技进步与对策, 2013, 30(6): 155-160.
- [16] 刘夏璐, 王洪涛, 陈建, 何琴, 张浩, 姜睿, 陈雪雪, 侯萍. 中国生命周期参考数据库的建立方法与基础模型. 环境科学学报, 2010, 30(10): 2136-2144.
- [17] DG Joint Research Center. European reference life cycle database ELCD. 2014 [2015-07-25]. [http://eplca.jrc.ec.europa.eu/?page\\_id=126](http://eplca.jrc.ec.europa.eu/?page_id=126).
- [18] Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Ecoinvent database. 2015 [2015-08-03]. <http://www.ecoinvent.ch/>.
- [19] ISO. ISO 14044: International Standards: Environmental management-Life cycle assessment-Requirements and guidelines. 2006.

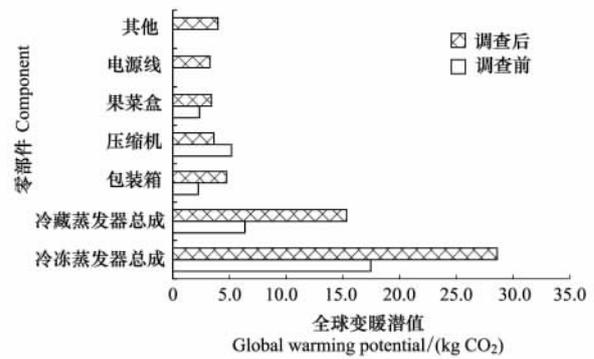


图4 供应商调查前后主要零部件全球变暖潜值对比  
Fig.4 The comparison of global warming potential of main components before and after the supplier survey