

水泥工业生命周期评价及其应用

王瑞蕴, 尹靖宇, 李保金, 方 群

(北京国建联信认证中心有限公司, 北京 100831)

摘 要:水泥作为我国国民经济建设的重要基础原材料,其生产过程中能源消耗、污染物排放等相关问题同样备受社会各界关注。本文通过介绍LCA及其应用,分析水泥工业生命周期中环境影响评价,为优化产品工艺、改善生产方式来减小产品生产过程中的环境影响提出意见。

关键词:水泥工业;生命周期评价;应用

中图分类号: TQ172

文献标识码: C

文章编号: 1671-8321 (2018) 05-0120-04

前 言

水泥作为我国国民经济建设的重要基础原材料,目前国内外尚无一种材料可以替代它的地位。随着我国经济的高速发展,水泥在国民经济中的作用越来越大,其产量也日益增长。据统计,2015年水泥产量为23.48亿吨;2016年我国累计水泥产量为24.03亿吨,同比增长2.5%。中国水泥产量占全球水泥产量的60%^[1],名副其实的水泥大国。水泥行业的高产量同时也为环境影响带来负面作用,其生产过程中能源消耗、污染物排放等相关问题同样备受社会各界关注。为治理水泥工业污染问题,同时推进行业绿色转型,近年来国家也出台了相关政策引导水泥企业的生态化建设。在这些相关政策法规中,均引入了“全生命周期(life cycle)”的理念,即均考虑从原材料的生产、产品的生产直至产品使用后的处置,对环境影响的技术和方法^[2]。而针对一个产品系统的生命周期中输入、输出及潜在环境影响的汇编和评价,ISO 14040将其定义为生命周期评价(life cycle assessment, LCA)。是系统化、量化分析和评价产品及其生产流程综合环境负荷的方法,也是辨识环境问题、优化改进方案、实现节能减排的重要手段^[3]。本文基于LCA理论的基础上,根据水泥工业特点分析其生产过程中环境影响评价及相关的应用领域。

一、生命周期评价方法简介

产品生命周期理论是美国哈佛大学教授雷蒙德·弗农(Raymond Vernon)1966年在其《产品周期中的国际投资与国际贸易》一文中首次提出的,1969年美国西部研究所用此理论对可口可乐公司的饮料包装瓶进行了从原材料开采至废弃物最终处置的全过程的研究。之后这一理论迅速发展。国际环境毒理学学会(SETAC)、美国环保局(1993)、美国环保局(1993)、ISO(1997)分别对生命周期评价进行了定义^[4]。

LCA最终的定义被定为对一个产品系统的生命周期中输入、输出及其潜在环境影响的汇编和评价,该定义出自ISO 14040:2006《环境管理生命周期评价原则与框架》。生命周期评价的思想要求对产品从原料开采直至最终报废的整个生命周期全过程中的资源、能源投入和环境排放进行量化分析,辨识和评价减少物料消耗及环境影响的机会。生命周期评价的主体包括四个阶段,目的和范围的确定(Goal and Scope Definition, GSD)、清单分析(Life Cycle Inventory, LCI)、影响评价(Life Cycle Impact Assessment, LCIA)以及解释(Life Cycle Interpretation),其关系如图1所示。

目标与范围的确定需要根据研究对象的地域广

度、时间跨度等多因素，确定生命周期的评价目标，以此来界定研究对象的功能单位、系统边界、生命周期环节、环境影响类型等因素。清单分析即对产品系统边界内和整个生命周期内，对所有输入与输出物质进行数据收集与整理，并通过计算得出所需要的数据清单，作为环境影响评价的分析基础和依据。生命周期影响评价是对清单分析中的环境影响作定量或定性的描述和评价，进行环境影响分析，为核心阶段，主要包括：环境影响分类、特征

化、归一化和加权评价。该阶段可通过软件来实现，现阶段市场主流的计算软件包括Simapro、Gabi等。生命周期解释根据一定的评价标准，对影响评价结果做出分析解释，识别出产品的薄弱环节和潜在的改善机会，为达到产品的生态最优化目的提出改进建议。

就产品生命周期评价而言，主要具有以下特点：首先产品生命周期评价是面向的是产品系统，其对象是企业所生产的某种或者某类产品；其次产品生命周期评价是对产品或服务“从摇篮到坟墓”的全过程的评价，这也体现在生命周期评价的定义中；第三，由于生命周期评价过程中的LCIA阶段是对环境影响进行分类、特征化、归一化的过程，因此产品生命周期评价也是一种系统性、定量化的评价方法；第四，该种评价方法充分重视了环境影响的评价方法，同时也是一个开放性的评价体系。

二、LCA的应用

鉴于LCA全生命周期的思想和框架，通过成原材料的采集直到产品废弃后的处置的全过程分析，可以识别对环境影响最大的生产过程，并且可以对比评估不同工艺流程的资源效益，降低产品生产过程的成本，同时最大限度减少对环境的影响。是一种评价产品或生产工艺在整个生命周期中所造成环境影响的方法，成为一种重要的产品环境特性确认手段和企业环境管理的支持工具。

在应用领域，LCA方法在政府层面、企业层面均

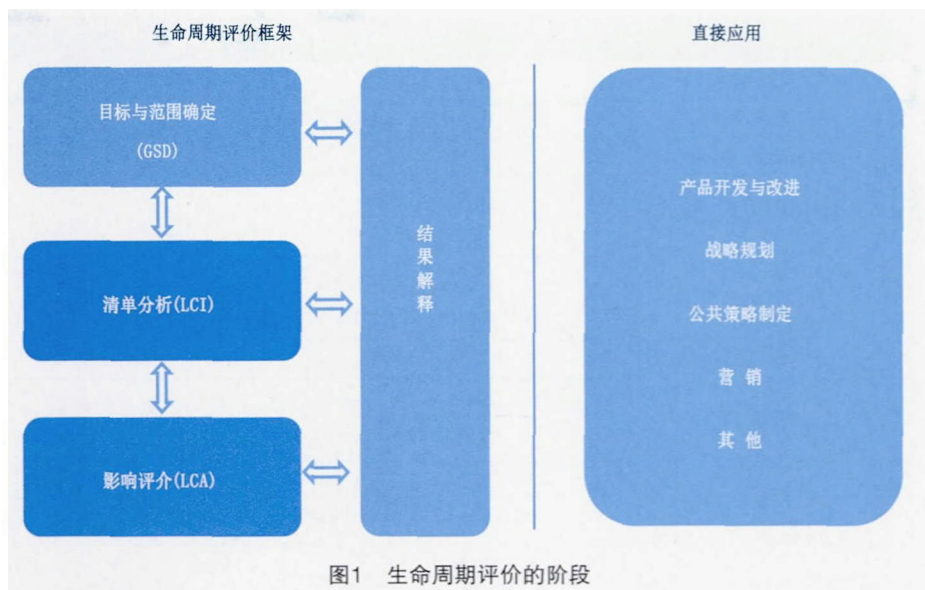


图1 生命周期评价的阶段

有应用。环境问题日益突出，政府在制定环境政策、财税补贴方案制度以及制定政策依据方面均有采纳生命周期评价，此外，还开发系列生态标志以及制定相关制度。针对企业而言，利用生命周期评价进行产品生态设计、技术改进等综合考虑成本、质量和环境等方面。

1 .LCA在国外应用现状

国外对于生命周期评价理论体系研究较为成熟，因此对其应用更加广泛。在企业层面的应用主要基于产品的生态设计理念，较多的大企业非常重视对产品的环境标志的标识工作，引进LCA为产品授予“绿色”标签即产品的环境标志来提供量化依据，如瑞典的“产品生态项目”、北欧的“环境友好产品开发计划”、荷兰的“生态设计计划”和“生态指数计划”等均将LCA纳入企业的深层次发展规划中。

在政府层面，国外运用LCA理论来引导制定相关的政策法规，如：将LCA应用于面向产品的绿色采购政策来引导市民的消费方向；废弃物的处置管理方面，帮助选择最佳方案。

2 .LCA在国内应用现状

ISO14040系列标准于1998年~2003年间等同转化为国家标准GB/T24040系列标志着我国LCA的研究应用上升到国家标准层面，也意味着我国对生命周期影响评价的逐步重视。纵使我国LCA的应用研究较晚，尚未形成系统成熟的统一评价体系，但是随着经济和技术的进步、国家环境政策执行力度的加强以及企业

表1 LCA的应用及说明

方法名称	标准	对象	说明
生命周期评价LCA	SETACT, 提出ISO14040-44	产品	通用的方法框架
环境产品声明EPD	ISO14025	产品	第三方认证的LCA报告可比性: 产品种类规则PCR
生态档案Ecological Profile	欧盟EuP/ErP 生态设计指令	产品	用能产品、能耗相关产品提供LCA/EP报告
产品碳足迹PCF	英国PAS 2050 GHG protocol ISO 14067……	产品	单一温室气体指标
产品水足迹PWF	ISO14046	产品	单一水耗指标
产品环境足迹PEF	法国BP X30-323 欧盟PEF Guide	产品	14类影响指标产品种类规则PEFCR
组织环境足迹OEF	GHGP Scope 3 欧盟OEF Guide ISO14072	企业、 组织	评价企业总消耗和排放及生命周期上下游影响组织种类规则OEFCR

环境意识的进一步提高,生命周期评价与政策制定、企业生产理念息息相关。

目前,LCA的应用涉及到很多行业,如建筑材料、高分子材料、石化产品等领域,较多的研究者通过对产品全生命周期分析和研究,提出了更为优化、对环境更为友好的工艺改进措施、原材料替代措施等方案。在企业层面主要的应用方式有两种:基于LCA的产品生命周期报告和基于LCA的产品生命周期改进。基于LCA的产品生命周期报告主要包括III型环境声明(EPD)、生态档案报告以及产品环境足迹等,如表1所示^[5]。基于LCA的产品生命周期改进主要包括生态设计、清洁生产、绿色采购与供应链管理。

3.III型环境声明(EPD)

国内外对生命周期评价为基础的产品声明的需求不断增长,并日益受到各国的重视,如产品的环境声明等。产品环境声明分为I型、II型和III型,其中III型环境声明(Environmental Product Declaration, 以下简称EPD)。EPD从本质上来说是由ISO14025所规定的III型环境标志,是一份经第三方核实和验证的产品质量(或者服务质量)与环境表现双优的数据表达,是生命周期评价LCA的一种表现形式/语言。目前有瑞典、丹麦、韩国、日本等国均开展了EPD工作。其应用较为广泛,尤其在建筑领域,随着国内外绿色建筑、建材的评价标准(如LEED、三星绿色建筑评价标准等)及其认证市场规模的日益扩大,作为上述认证的加分项,建筑领域的EPD认证逐渐得到国内建筑及建材企

业的重视。

EPD作为由第三方机构进行严格评审、检测和评估的一类环境标志,其评价标准的一致性不容忽视,为此各国从事EPD相关工作的机构(如瑞典环科院、UL认证公司、建造与环境材料研究所——IBU等)陆续开展了一系列规则的开发,这些规则在ISO14025、温室气体议定书产品生命周期计量和报告标准、以及PAS2050补充规则中被定义为产品种类规则(Product Category Rule, 以下简称PCR)。产品类别涵盖了建筑、能源、纺织、机械、电子、材料(玻璃、金属、木材等)、汽车整车及零部件等。其中受到市场需求的影响,建筑相关产品尤为受到重视。目前,国内制定了浮法玻璃、钢铁产品和建材产品的PCR操作规程,其中符合我国国情的建筑领域建材产品的PCR包括水泥、预拌混凝土、预拌砂浆、卫生陶瓷、陶瓷砖(板)等标准由国建联信认证中心执笔编制。

三、水泥工业生命周期评价

在水泥工业的应用中,国内外均有大量利用生命周期理论研究对其生产过程中的环境影响评价进行对比分析,包括对资源、能源消耗及污染物排放等进行统计分析,并通过改变生产工艺、原材料种类、替代原料的使用,填补了水泥生命周期评价研究相关理论和方法的一些空白,为中国混合型水泥的发展提供数据支持,推动水泥行业和建筑业的可持续发展。

在生命周期分析目的明确后,需要确定评价范围、边界,以及重要的环境影响类别,具体到水泥生产过

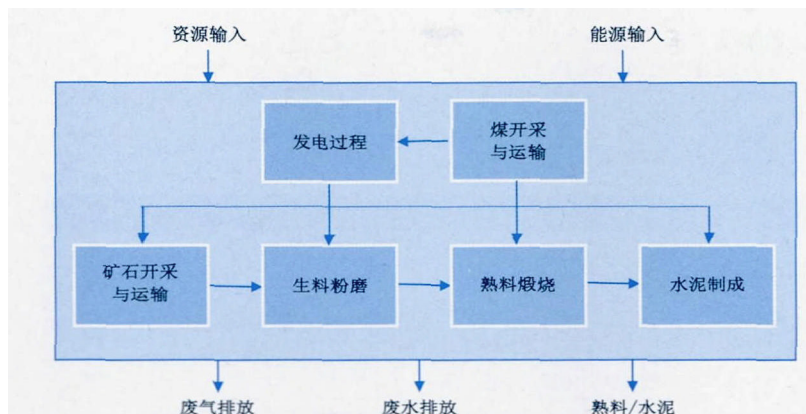


图2 水泥生命周期评价的系统边界

表2 水泥生产生命周期环境影响种类

环境影响指标	种类
资源消耗	石灰石、黏土、石膏、砂岩、粉煤灰、煤矸石、高炉矿渣、铁粉等
能源消耗	煤、汽油、柴油、电力消耗
污染物排放	大气污染物
	颗粒物、SO ₂ 、NO _x 、HF、汞及其化合物、氨、CO ₂
	污水污染物

表3 水泥生产环境影响特征化类型及单位

序号	环境影响特征化类型	单位
1	资源耗竭 (Resource depletion, RD)	kg Fe eq.
2	气候变化 (Climate change, CC)	kg CO ₂ eq.
3	化石能源耗竭 (Fossil depletion, FD)	kg oil eq.
4	颗粒物形成 (Particulate matter formation, PMF)	kg PM10 eq.
5	人体毒性 (Human toxicity, HT)	kg 1, 4-DB eq.
6	酸化 (Terrestrial acidification, TA)	kg SO ₂ eq.

程,评价范围主要包括生料制备、熟料煅烧和水泥粉磨三个工序,如图2所示。边界确定为从原料获得到产品出厂前的整个过程,涉及到的资源、能源消耗和污染物排放见表2。

根据表2水泥生产特点,与其资源消耗、能源消耗、污染物排放相关的必要影响类型,主要包括资源耗竭(RD)、气候变化(CC)、化石能源耗竭(FD)、颗粒物形成(PMF)、人体毒性(HT)以及酸化(TA),如表3所示。

通过环境影响类型参数特征化计算,得到水泥生产的各类环境影响潜力值,最终分析得出水泥生产流程环境影响由大到小顺序依次为气候变化、化石能源耗竭、酸化、人体健康毒性^[6]。经分析水泥制备各工段的环境影响大小依次为熟料煅烧阶段>水泥粉磨制成>运输阶段>矿石原料开采>生料粉磨制备。其环境影响主要环节为熟料煅烧阶段和水泥粉磨阶段。因此,应着重考虑水泥煅烧过程中排放的大量污染气体,粉磨中消耗的大量电力和产生的大量粉尘污染,以及

运输过程中非甲烷系碳氢化合物的排放,以减少水泥生产过程中的环境影响^[7]。同时采取相应工艺改变方式来改善环境影响,如采用工业废渣替代原材料、预热分解系统和余热发电改进等。

四、结 论

LCA作为一种系统化、定量分析和评价产品及其生产流程综合环境负荷的方法,成为辨识环境问题、优化改进方案、实现节能减排的重要手段。利用生命周期评价方法和理论,针对具体的产品和流程,建立基于LCA的环境影响计算和分析方法,能够为环境热点辨识提供依据。同时通过分析特定产品的生产过程中其资源能源输入、污染物排放,可以得出产品制备过程中各工段的环境影响排序,为优化产品工艺、改善生产方式来减小产品生产过程中的环境影响,推进行业绿色转型做出贡献。

参考文献:

- [1][http://www.ccement.com/zhuanti/ht/20170801/\[DB/OL\]](http://www.ccement.com/zhuanti/ht/20170801/[DB/OL]).
- [2]黄春林,张建强,沈淞涛.生命周期评价综述[J].环境技术,2004,(1):29-35.
- [3]ISO international standard 14044.Environmental management—life cycle assessment—requirements and guidelines, 2006 (E) [S].
- [4]SETAC.guidelines for life-cycle assessment: a code of practice[S]. Brussel: SETAC, 1993.9
- [5][http://www.doc88.com/p-6751996003345.html\[DB/OL\]](http://www.doc88.com/p-6751996003345.html[DB/OL]).
- [6]崔素萍,黎瑶,李琛,王亚丽.水泥生命周期评价研究与实践[J].中国材料进展,2016,35(10):761-768+790.
- [7]徐小宁.中国水泥工业的生命周期评价[D].大连理工大学,2013.