

基于生命周期评价法的碳足迹核算体系： 国际标准与实践

童庆蒙, 沈 雪, 张 露, 张俊飏

(华中农业大学 经济管理学院/湖北农村发展研究中心,
湖北 武汉 430074)



摘 要 对现有 ISO 及各国发布的 LCA 碳足迹核算标准体系与实践进行梳理, 对不同标准间所存在的核算单位、范围等核心要素进行剥离和识别, 并将各国标准置于一个比较分析的框架中。结论表明, 虽然各个标准存在一些差异, 但是国际化和普适性已经成为未来 LAC 碳足迹核算体系发展的共识。提出我国的 LCA 碳足迹核算标准体系应做到尽量与国际接轨的同时, 还要考虑到本土特色, 并增强标准的适用广度。

关键词 生命周期评价法; 碳足迹; 温室气体; 标准体系

中图分类号: X 820.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-3456(2018)01-0046-12

DOI 编码: 10.13300/j.cnki.hnwkxb.2018.01.006

随着人类工业文明的迅速发展, 造成大量的温室气体排放, 全球气候变暖已经成为世界各国关注的重要环境议题。2015 年 12 月 12 日, 《联合国气候变化框架公约》近 200 个缔约方相聚一堂, 一致同意并通过了《巴黎协议》, 明确指出各方应加强协作, 把全球的平均气温较工业化前升高控制在 2 摄氏度以内, 并为把升温控制在 1.5 摄氏度以内而努力, 低碳和减排已经成为人类文明和社会发展的共识之一, 因此核算产品或组织的碳足迹, 即引起温室气体排放的总量, 也成了环境经济与管理领域重要的工作。一般而言, 碳足迹核算的方法包括投入产出分析、生命周期评价法(life cycle assessment, LCA), 能源矿物燃料排放量计算, Kaya 碳排放恒等式法等^[1], 其中投入产出法以整个经济系统为边界, 较为宏观, 已经产生了对美国^[2-3], 中国^[4], 英国^[5], 澳大利亚^[6]以及全球^[7]的研究成果。针对更为微观的组织和产品层面, 近年来 LCA 已经成了国际公认的主流核算方法^[8-10]。

根据国际标准化组织的定义, 生命周期评价指的是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^[11], 其核算阶段包括完全生命周期(从摇篮到坟墓, business to consumer, B2C), 即原材料生产、制造、配送销售, 使用, 废弃等五个阶段; 以及部分生命周期(从摇篮到大门, business to business, B2B), 其中仅包括原材料生产、制造、配送销售三个阶段。由于 LCA 碳足迹评价的不是某一段时间段, 也不是某个特定服务区域的碳足迹, 而是基于整个生命周期的统计, 因此具有时间上的延续性和空间上的完整性^[12], 并且能够从系统尺度对产品或服务的碳足迹影响进行评估^[13]。因此, 使用 LCA 能够对产品或组织在其生命周期范围内的各个阶段的排放量进行明确, 从而有利于生产者识别高排放点进行减排, 促进社会的低碳化发展。虽然在实践和应用中仍存在客观性不足、数据完整性和精度有限等问题^[14], 但 LCA 依然凭借其基于全过程、全功能和全方位角度的强大分析能力逐渐被理解和接受。

当核算所包含温室气体种类、系统边界、数据要求和取舍标准等具体环节的设定不同时, LCA 会

收稿日期: 2017-04-12

基金项目: 国家自然科学基金青年项目“水稻全生命周期的碳足迹演化及对气候变化的响应机制研究——以长江中下游地区为例”(41501213); 中央高校基本科研业务费专项“湖北粮食作物碳足迹演化机理与减排策略研究——以水稻为例”(2662015QC061); 华中农业大学经济管理学院研究生科技创新“春蕾计划”(201506)。

作者简介: 童庆蒙(1992-), 男, 博士研究生; 研究方向: 资源与环境经济学。

产生相应的统计差别,因此需要对核算体系有所确立。为了规范 LCA 的碳足迹核算体系,国际组织以及各国的环境等有关部门均出台和发布了一系列文件来进行指导。本文在梳理世界上现有的主流 LCA 碳足迹核算规范及其实践应用状况的基础上,对核算标准中的核心要素进行辨识和剥离,并对主要标准文件中的要素差异进行分析,以期呈现出利用生命周期法进行碳足迹核算所需规范和体系的国际化架构,并为中国相关体系的建立提供对策和建议。

一、国际标准及实践

1.ISO 国际标准系列

针对全球气候变化所带来的严重后果,为了敦促各组织机构采取减排措施,国际标准化组织 (ISO)很早就开始对产品碳足迹的核算方法制定一系列的规范。并且随着 LCA 在环境影响评价中的作用日益增强,针对生命周期评定还出台了具体的指导要求和指南^[11-15]。在根据国际标准委员会分类的 ISO/TC 207 标准系列中,就有 ISO/TC 207/SC 5 和 ISO/TC 207/SC 7 两个标准小组委员会负责与 LCA 和温室气体排放核算的相关标准,通常情况下,两个标准的组合构成了 LCA 碳足迹核算的体系。ISO 发挥了其充分的国际影响力,已经形成了一批成熟的碳足迹核算规范,在实践中也取得了不俗的成果(见图 1、图 2)。

在 ISO 14040 系列标准中,最重要的就是 ISO 14040:2006 和 ISO 14044:2006 这两个标准,它们构成了 LCA 环境影响的基本框架,虽然没有特别指出适用于特定的 GHG 排放,但包括了对空气的排放影响。其中 ISO 14040 包括了 7 个章节和 1 个附录,并给出 46 个术语,对生命周期评价的原则、阶段、主要特征、总体概念、方法学框架、生命周期清单分析、生命周期影响评价、报告、鉴定性评审做出了规定,是对 LCA 最早的完整标准^[11]。ISO 14044 则对生命周期评价的方法学框架、报告和鉴定性评审给出了要求和指南,对前者进行了有力的补充^[15]。ISO14040 规定的生命周期评价的框架包括了目标和范围的确定、生命周期清单分析、影响评估以及相应的结果解释,此后的碳足迹的核算体系基本延续了这一框架(见图 3)。

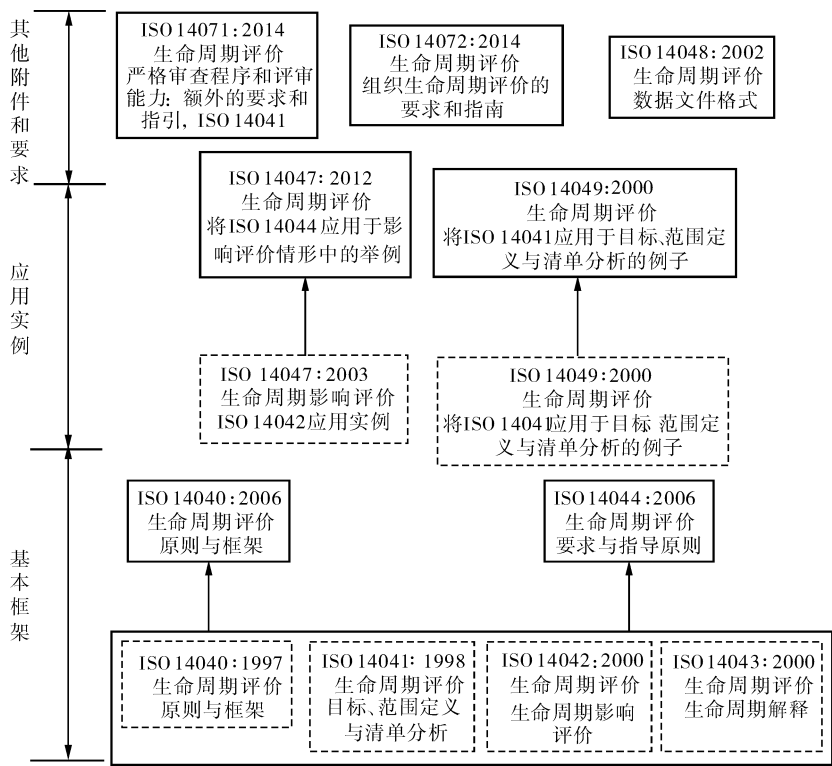
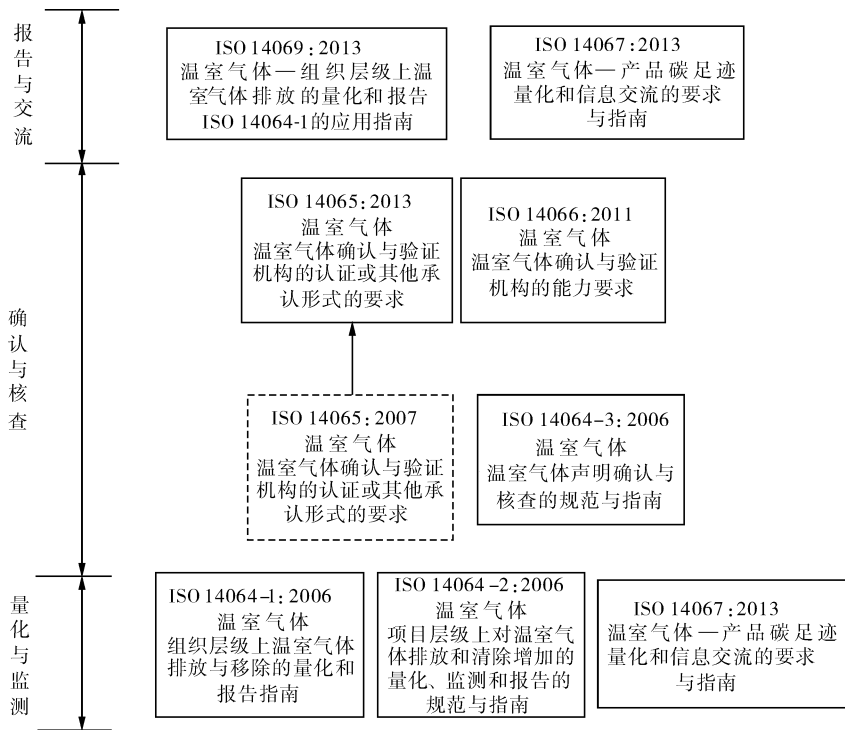


图 1 “环境管理—生命周期评价”系列标准



注:虚线框表示不再使用的标准,箭头表示版本的替代与更新。其中 ISO 14067 同时包含了量化与信息交流;对于 ISO 14064-1~3 和 ISO 14067 标准,官方仍在进一步修正和完善;ISO 14080(气候行动之方法的框架与原则指南)也处于起草阶段。

图 2 “环境管理—温室气体”系列标准

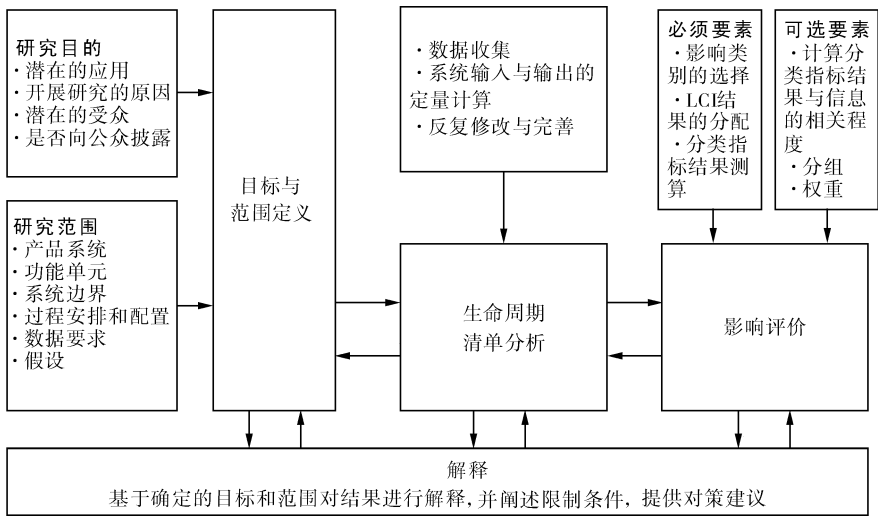


图 3 生命周期评价框架(ISO 14040:2006)

ISO 14060 系列标准是特别针对温室气体管理所制定,ISO 14064-1~2 分别对组织和项目层面温室气体排放的量化与监测进行了规范。不仅确定了温室气体排放的边界、排放限值,还对具体的减排措施、项目以及规划提出了要求^[16-17]。2013 年,作为公众最为期待的碳足迹核算的国际标准,ISO 14067 正式出炉,首次确定将 LCA 作为量化产品碳足迹(CFP)的技术方法。ISO 14067 吸取了现有所有标准中的精华部分,旨在协调这些技术规范,在全球形成一个面向市场的共识性框架文件。其中 ISO14067-2《产品的碳足迹 第二部分:信息交流》标准明确了信息交流的原则,给出了有关交流的参与性、透明性、相关性和公平性四条原则,同时还深化和加强了对产品种类规则(PCR)的应用,明确指

出如果碳足迹信息用于消费者交流,则应使用 PCR,并依据 ISO 14025 对 CF-PCR 的最低要求进行规定^[18]。这是具有革命性意义的,基于此标准,世界各国生产的产品都可以在一个口径下进行环境影响的碳足迹评估,对于产品国际贸易、消费者的市场选择都会产生深远的影响。

基于 ISO 标准的生命周期碳足迹核算已经涌现出了不少的研究成果,包括 Strehlke^[19]、Svanes 等^[20]。随着 ISO 14060 系列标准,特别是 ISO 14067 的颁布和逐渐完善,基于此的应用与研究将会越来越多,其影响力也会日益增强。就如同奥地利联邦环境部部长 Klaus Radunsky 的评价:ISO 14067 标准的发布具有里程碑式的影响力,不仅可以促进重要领域的温室气体减排,还能提高人们对碳减排的关注度,促进低碳经济发展^①。

2.温室气体议定书 (GHG Protocol)

温室气体议定书(GHG Protocol)的本意指的是由世界资源研究所和世界可持续发展工商理事会共同主持并联合政、商界及众多组织参与的一个合作项目,其初创于 1998 年,旨在发展一套国际公认的温室气体核算和报告的标准和工具,并推动其应用从而实现全球范围内的低碳经济。迄今为止,已经针对不同的组织形式、不同部门的温室气体排放制定了合适的标准(见表 1)。除了最初发布的标准外,GHG Protocol 后来还进行了修订,附加了将核算体系中包含的温室气体种类在原来 6 种的基础上增加了 NF₃等补充性文件(由于文本数较少,表中未列出)。

表 1 GHG Protocol 标准系列

边界	议定书名称	发布年份	主要应用与目的
企业组织	企业核算与报告标准	2004	为公司和组织制定排放清单提供指导;定量和报告企业温室气体排放
	企业价值链(范围 3)核算与报告标准	2011	使公司评估整个价值链的排放影响并识别最有效的减排方法;范围 3 包括了 15 个类别的排放活动
产品	产品生命周期核算与报告标准	2011	了解产品全生命周期内的排放量并聚焦于最大的减排机会;满足消费者对环境信息的需求
项目	项目议定书	2005	最全面与政策中立的核算工具,用于量化减排项目的效果;
	土地利用、土地利用变化与林业	2006	对土地利用及其变化活动的温室气体排放效应进行量化和报告;与项目议定书并用
	并网发电项目	2007	对电力项目的温室气体减排提供核算与指南;与项目议定书并用
地区	社区规模温室气体排放清单	2014	帮助城市制定温室气体排放清单,包括设立基准清单与减排目标,并跟踪表现;通过标杆管理与聚集性分析进行评价
政策与目标	政策与行动标准	2014	为评估政策和行动的温室气体效应提供标准化方案;提高减排的有效性,引导资源投资达到最佳效果
	减排目标标准	2014	对国家和地区的减排进展提供标准化评估方法;同“政策与行动标准”一并使用

《产品生命周期核算与报告标准》简称《产品标准》)是 LCA 在世界范围内较具影响力的另一个规范文件。虽然气候变化只是环境评估的一部分,但《产品标准》在碳足迹的核算方法上仍延续了 ISO LCA 的标准(主要是 14040 和 14044)。但与之不同的是,在生命周期评价阶段和方法上存在一定的差异。《产品标准》GHG 的研究步骤更为细致(如图 4),此外明确了采用的生命周期核算方法为归因法,即通过将生命周期中所有相关归因过程联系起来,统计产品分析单元的温室气体排放与移除。既在 ISO 所提出的相关法上有所明确,也与结果法进行了区别,后者在将过程纳入生命周期边界时,更注重其对结果的影响。

GHG Protocol 的进步之处还在于对数据的搜集以及质量予以足够的关注和重视,并且提出了要制定数据管理计划以便实时更新,在对数据的质量要求上一共提出了 5 个指标(见表 2)。同时,标准

① ISO.Greenhouse gas emissions-ISO 14067 to enable worldwide comparability of carbon footprint data http://www.iso.org/iso/home/news_index/news_archive/news.htm?refid=Ref1643

中还规定了进程中可用的数据选择类型包括:直接排放数据(现场测量排放了 10 千克 CO₂)、过程活动数据(初级数据:投入的 5 公升柴油;次级数据:该过程平均使用了 8 升柴油)以及最终活动数据(花费了 10 美元)共三种,进一步规范了核算数据格式。



图 4 ISO LCA 与《产品标准》GHG 的研究步骤对比

表 2 GHG Protocol 确立的数据质量指标

指标	解释
技术代表性	数据反映在排放过程中使用真实技术的程度
时间范围的代表性	反映给定过程的实际时间(例如年)或年限的程度。
地区代表性	反映清单边界内过程的实际地区位置的程度(例如国家或地址)
完整性	数据在过程中具备的统计上的代表性
精确性	数据源、数据采集方法和用于获取数据的验证程序的可靠程度

GHG Protocol 系列标准在全球也被广泛运用到实践中。自从 2001 年最早版本的 GHG Protocol 发布,就已经有超过 1 000 家商业和其他组织据此发展了自身的温室气体排放清单。世界五百强企业中,有超过三百家(如现代汽车公司)使用 GHG Protocol 标准帮助对自身产品和组织的碳足迹减排,此外学术界也获得了相关成果^[21]。GHG Protocol 2011 也是产品碳足迹国际标准 ISO 14067 规范的重要参考来源之一,得到了中国等发展中国家的认可。

二、各国采用的 LCA 碳足迹核算标准以及实践

1.英 国

2008 年 10 月,由 Carbon Trust 和英国环境、食品和乡村事务部联合发起,并由英国标准协会(BSI)发布的《PAS 2050:2008 商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》是全球出现最早的碳足迹核算体系。虽然其本身并不是严格意义上的标准,而是一种具有协商性质的公共可用规范,但其融合了 ISO 14040-44、14048 等国际标准,采用了 IPCC 气候变化报告的成果,内容简洁又不失权威性,是目前少有已经被确定的、含有公开具体算法、广受欢迎的产品碳足迹标准之一。该标准对产

品和服务的生命周期碳足迹核算的分析单位、系统边界、数据要求和计算方法都进行了明确和规范。PAS 2050 适用的系统边界不仅是企业到企业(B2B),还有企业到消费者(B2C),同时涵盖了工业产品和化石能源的排放处理方式,更是特别指出了包括土地利用方式变更在内的农业温室气体排放核算方式^[22]。经过几年的实践与改进,BSI 再次发布了《PAS 2050:2011 规范》,与早前版本不同的是,除了内容的修正与补充(如增加了对产品类别规则的强制性要求),还提供了一个指导性文件^[23],以便于使用者能够更好地评估产品的碳足迹、确定高排放点并在供应链中实施减排。

历经数年的应用与发展,PAS 2050 规范的影响力早已超出了英国本土。韩国和澳大利亚等国在利用 LCA 方法核算产品或服务碳足迹时,均会对其进行参考。目前许多跨国公司,包括可口可乐、苏格兰-纽卡斯尔啤酒公司、法国达能公司等均已尝试执行 PAS 2050 规范对自身产品进行碳足迹评价并取得了良好的效果。百事集团旗下的食品品牌 Walkers(薯片)参照 PAS 2050 标准,引导产品参加碳足迹标准的示范实践,结果显示生产每公斤薯片能源消耗下降了 33%;苏格兰哈里法克斯银行也通过服务的碳足迹核算,在改进旗下网点的 ATM 时发现,单个 ATM 的能耗可以减少 30%,除了达到节能减排的环保目的,有调查显示,参与 PAS 2050 实践的企业品牌认知度和社会形象都得到了一定程度的提升。2010 年,90%的英国家庭都购买了贴有碳标签(Carbon Label)的产品,而其数值就是基于 PAS 2050 评价方法得到的。此外,基于该标准的学术研究也取得了丰硕的成果^[24]。

2. 日 本

为了响应“福田蓝图”所提出的长期减排目标,2009 年 3 月,日本出台了适用于所有产品和服务的碳足迹产品分类规则,同年 4 月 20 日,日本工业标准委员会(JISC)发布了日本国家标准 JIS TS Q 0010:2009 产品碳足迹量化和标签基本准则,日本也成为最早制定碳足迹核算国内标准的亚洲国家。虽然在内容和执行步骤上基本沿袭了 PAS 2050 的核算体系,可以说是英标的日本版,但是其也有强烈的自身特色。例如,TS Q 0010 更加注重和强化了产品分类,并对分类规则加以完善。由于 TS Q 0010 标准要求产品碳足迹的计算需以产品分类规则(PCR)为基础,因此起草各类产品的 PCR 成为日本建立碳足迹体系的重要工作内容之一,特别针对食品和蔬菜等产品,已经制定了各种产品种类规则。例如 2009 年发布的《PCR 草案注册及 PCR 审核标准》和《产品碳足迹计算和查证的沟通准则》等^[25]。

2012 年 3 月,日本共有 495 项产品(约 100 家企业)通过了产品碳足迹的评估,并在实践中建立了排放因子数据库(已达 1 200 项数据),其成为日本国家生命周期评估资料库(LIME)的重要组成部分^[25],在生命周期核算碳足迹的实践中迈出了坚实的步伐。随着日本政府的大力推动,Sapporo 啤酒、Aeon 超市、Lawson 便利店以及松下电器等多家企业先后宣布加入碳标签计划,这些公司的产品需要经过碳足迹验证并且加贴碳标签之后才能够获准进入市场,TS Q 0010 标准已然成为日本国内产品碳足迹核算最重要的技术性规范。

3. 欧 盟

2013 年 9 月,欧盟出台了“建立绿色产品统一市场”政策,并颁布了产品环境足迹(product environmental footprint,PEF)和组织环境足迹(organization environmental footprint,OEF)标准,标志着欧盟市场开始采用统一的绿色评价方法,即基于 LCA 的环境足迹评价法^[26]。PEF 就包括了产品的碳足迹等资源环境指标,并参考了众多现有的温室气体核算体系标准。由于 PEF 规范的要求适用于所有出口到欧盟的产品,因此迅速受到各方欢迎。欧盟委员会对此制定了为期三年的试验计划,并邀请公司等组织和团体参与到产品环境足迹类别规则(product environmental footprint category rules,PEFCR)的制定中。PEF 的特别之处在于,它不仅包括了 LCA 评价方法的目的、范围、排放系数、环境足迹影响类型等内容,还包括了 14 种环境影响,除了对气候变化的影响和对臭氧减少的影响外,也有富营养化的影响(水生生态系统)、对自然资源的影响(矿物)等^[27],其取代现有欧盟通行使用的产品水足迹、碳足迹等环境影响规范(如法国的 BP X30-323 标准),建立统一的核算和评价体系的野心极大。

2013 年 9 月 13 日,欧盟公布了第一轮 PEF/OEF(组织环境足迹)的申请情况,来自欧盟成员国、亚洲和美国在内众多行业的企业、行业协会和研究机构提出了申请,总计达到了 46 类产品/行业共 89 份申请,其中纺织、家具、能源等行业的企业最多。2014 年 3 月,欧盟开始了第二轮 PEF/OEF 试验阶段的申请。2016 年 3 月,欧盟启动了一项新的计划,旨在追踪、分析并减少牛肉、猪肉和羊肉等包装生鲜肉类对环境的影响^①,这项由欧洲肉品加工及畜牧业贸易联盟牵头实施的“PEF 肉类产品计划”正是国际领先的农产品碳足迹核算和减排计划。

4.其他国家和地区

除了以上国家外,近年来泰国、韩国等其他国家也在积极推动全生命周期产品碳足迹核算体系的建立和推广,并出台了一系列既与国际接轨,又符合国内特色的标准和规范。例如由泰国国家技术委员会与温室气体管理组织(TGO)等机构联合发布的《产品碳足迹国家指南》就明确了采用 LCA 方法进行核算(NTCCFP,2010),其采用的原则和基本框架正是来源于 ISO 14040 和 ISO 14044 标准。韩国环境部依据 2009-10 号通告制定了《碳足迹标签制度的指导方针》,其中条款 1 就阐明了采用的核算方法就是 LCA 法,并针对能用性和非能用型产品提出了相应的计算规范^[28]。同时,智利和新西兰也针对葡萄酒等农产品制定了碳足迹和标签标准,新加坡等国也在逐步尝试对产品的碳量化和报告。放眼世界,各国都在为实现低碳和绿色发展而推动碳量化与核算体系的建设,全生命周期评价法已经成为碳足迹核算的公认方法,得到了世界各国的认可,其成果在国际产品贸易中会发挥着越来越重要的作用,因此可以预见,实现全球范围内产品碳足迹的交流与信息共享将在不久成为可能。

三、LCA 碳足迹核算在中国的发展历程

我国台湾也是最早尝试利用 LCA 法进行碳足迹测算的地区之一。2010 年 2 月,台湾环保署公布了《产品与服务碳足迹计算指引》^[29],为产品的全生命周期碳足迹核算提供了一个可以参考的范本,以弥补 ISO 14067 国际标准出台之前空窗期的碳足迹核算问题,并于 2013 年之后依据国际标准对本土标准进行了修订,期间台湾中油石化部、东明油墨等企业均照此标准完成了对自身产品的认定。2011 年 5 月,台湾工业局开始执行“制造业产品碳足迹辅导与推广计划”,目的就是要协助业者建立一套能与国际接轨的“碳足迹”制度。在推动产品碳足迹的信息交流方面,其环保署 2011 年与英国签订了合作备忘录,推动双边产品碳足迹标签的相互验证机制,经过 3 年多的努力,台湾品牌欧莱德的茶树洗发精成为第一个成功通关的商业案例。

反观内地,LCA 碳足迹核算则起步较晚,发展较慢。其实,ISO 14040 系列国际标准公布之初,就已经等同转化为中国国家标准(GB 24040 系列标准),但总体来看,这些标准基本都是延续了国际做法,缺乏创新,属于典型的“拿来主义”,而且缺乏 LCA 与碳足迹核算之间的深度关联。此后,虽然我国相继颁布了《省级温室气体清单指南》《区域温室气体排放计算方法》等指导性文件^[30],但所提出的方法覆盖面少、适用性窄,总体来说我国的碳足迹核算的相关研究和实践进展较为缓慢,直至目前,也没有针对 LCA 碳足迹核算的统一标准。但是近年来国家已经陆续出台文件支持和鼓励 LCA 的研究与应用,例如 2013 年 3 月,由国家发改委、环保部和工信部编制的新版《清洁生产评价指标体系编制通则》中就提出要“参考生命周期评价的理论”^[31]。

2015 年,国家标准委发布了首批温室气体管理国家标准,对企业温室气体的排放范围、排放方法提出了统一的要求。虽然在针对十个重点行业的核算标准中,并没有直接涉及“生命周期”,但是从其核算边界来看,基本覆盖了企业和产品生命周期的大部分阶段。例如在水泥生产中,就包括了原材料处理、生产中电热消耗以及其他产品排放等重要排放源^[32]。虽然该套标准在形式上在向国际标准靠拢,但是在数据质量要求、核算的生命周期阶段覆盖程度等方面仍显不足,因此引进国际成熟的标准

① 猪价格网.欧洲启动新计划 评估肉类生产的环境影响 <http://www.zhujiage.com.cn/article/201603/601682.html>

成为提升我国标准质量的重要途径。中国标准化研究院(CNIS)资源与环境标准化研究所与英国标准协会(BSI)就曾于 2008 年成功向英国大使馆 SPF 基金申请资金,将 PAS 2050 引入中国,推广碳足迹评价的方法^[33],但现实中,国际标准与国内行业的接轨程度不高。与官方推动进程的缓慢不同,民间和商界对于 LCA 碳足迹核算的推广工作已经取得了可观的成果。设立于成都的亿科环境科技有限公司就是我国专业从事生命周期评价解决方案的机构,其不仅开发了全功能 LCA 专业软件 eBalance,还联合多家单位创立了中国生命周期基础数据库(CLCD),是国内目前唯一可公开获得的 LCA 基础数据库,为中国 LCA 研究提供了精确的本土数据支持。此外,一些跨国企业也开始接触碳足迹国际标准,2012 年必维集团为中粮集团旗下的淀粉产品实施了碳盘查,所依据的核算规范就是 PAS 2050 标准,中粮也成为中国大陆食品行业中第一个实施 PAS 2050 的央企^①。

四、LCA 碳足迹核算标准的核心要素

虽然 LCA 核算体系能够适用的范围很广,大到组织企业,小到某个具体的产品,但其核心要素基本保持一致。以产品碳足迹为例,LCA 碳足迹核算的核心要素可分为以下几个部分:核算单位、核算范围、数据要求以及结果与评价。其中核算单位包括了碳足迹的计量单位和不同温室气体的换算标准等;核算范围包括了被纳入体系的温室气体种类、系统边界和取舍标准等;数据要求包括了数据来源和质量;结果与评价包括了结果的计算方式,以及是否进行不确定分析等。这四个要素构成了 LCA 碳足迹核算体系的核心部分,也是各个标准和规范的差异来源。

1. 核算单位

虽然从学术研究的角度来看,碳足迹的度量和核算包括了面积和质量两种,但在实践中,考虑到操作的可行性以及结果的可比性,国际标准一般采用的是温室气体(GHG)的排放量作为衡量对象,同时用 CO₂当量(CO₂e)作为核算单位。由于造成温室效应的排放物有很多,考虑到它们对气候变化的影响,IPCC 将各种 GHG 的辐射强迫的影响与等量 CO₂进行关联,从而产生一个系数,叫做全球增温潜势(global warming potential,GWP),如根据最新的 GWP 换算系数,CH₄的 100 年 GWP 值为 25,即在 100 年内,1 吨甲烷的碳足迹(或者对温室效应的贡献)等同于 25 吨二氧化碳。总体而言,对于这一核心要素,国际标准以及各国的本土规范之间并无太大差异,可以说是碳足迹核算体系构建的共识之一。

2. 核算范围

对于被纳入到碳足迹核算范围的温室气体,不同的标准所定义的范围也有所不同。除了 CO₂外,《京都议定书》中规定的 GHG 还有甲烷(CH₄)、氧化亚氮(N₂O)和氢氟碳化物(HFCs)等 5 种,日本、WRI 以及我国均采用的是这种标准。PAS 2050、欧盟 PEF 和我国台湾则采用的是 IPCC 报告中所包含的 60 多种温室气体。ISO 也意识到了包含的 GHG 种类对碳足迹测算的影响,因此在 ISO 14067 规范中对此进行了扩充,可以预见,在未来核算体系发展过程中,温室气体的种类将会愈发完善和多元化。

系统边界通常意味着需要制定一组准则来确定那些单元属于产品系统的一部分,进而会涉及哪些部分会被包含在碳足迹核算的预期范围之内。一般就产品系统的核算而言,所包含的阶段如果越详细,那么结果就会越精确。大部分的标准都会强调是从原材料的获取开始,以产品寿命终结(弃置或再利用)为结束作为产品系统的流程,期间还会涉及的阶段包括运输、储存等等,但是一般关于资本、人力等难以衡量碳产出的中间环节都不予考虑。有时,LCA 只需要对产品的部分生命周期进行足迹评价,如 ISO 14067 就允许了“从摇篮到大门”的边界存在。

取舍标准代表的是对与单元过程或产品系统相关的物质和能量流动的数量,或环境影响的重要

① AVING GLOBAL NETWORK.<http://cn.aving.net/news/view.php?articleId=244754>

程度是否应该被排除在研究范围之外所规定的门槛。通常可以用其排放量占总量的百分比来表示,如 1%(PAS 2050、GHG Protocol 和《产品与服务碳足迹计算指引》)、5%(TS Q 0010)。在 ISO 的国际标准中,并没有提出明确的百分比取舍值,但是也要求所达到的排放量要对环境产生显著的影响。

3.数据要求

各核算标准中对于数据的质量要求甚高,除了初级数据(直接测量得到)外,对于次级数据往往要求来自于具有权威性的机构或出版物^[23],而且应是尽可能的准确和优质。欧盟 PEF 对此做出了明确要求,提出 70% 以上的数据来源要达到了“好”及其以上,这意味着这些数据的质量评级(data quality rating, DQR)要小于 3.0。目前国际上已经有较为完备的 LCA 数据库,例如国际生命周期基准数据系统(ILCD)、欧盟 LCA 基础数据库(ELCD)等,关于生命清单和部分数据均可从中获取。对于排放因子的选择,除了 IPCC 报告所公布的因子数据外,各个国家和地区也依据本土特点组建了自己的排放因子库(TS Q 0010、台湾保护署等),而我国所采用的数据均要求来自于行业调研,排放系数参考年鉴或政府出版物。

4.结果与评价

对于不同阶段的碳足迹计算方式,一般采用的是 IPCC 提供的基本方程:GHG 排放 = AD × EF,其中,AD 代表的是活动数据,EF 为排放因子(或排放系数),即通过消耗量乘以单位碳排放量的加总来代表总排放量。该方法简洁明了,应用最为广泛。针对较为复杂的细节,各标准也采取了一定的处理方式。PAS 2050 不仅对产品使用阶段和报废处置阶段排放影响的加权计算进行了规范,还对产品碳储存、可再生利用材料的排放方式均进行了统一。

核算结果的评价与报告是整个碳足迹核算体系最后也是关键的一环,前者通常包括了对核算结果的敏感度分析、不确定性分析等,既是对结果精度的检验,也是挖掘排放贡献来源的重要途径。例如 GHG Protocol 对不确定性的评估做了充分的说明,其包含的不确定类型包括了参数不确定性(活动数据、排放因子和影响评价的不确定性)、场景不确定性(方法学和情境的不确定性)和模型的不确定性(局限性)。欧盟 PEF 规定了产品碳足迹报告除了主体内容(研究目标、研究方位、编制和记录资源使用和排放量、计算和解释 PEF 影响核算结果等)外,还需要有摘要(系统边界的描述、可实施的环境改进措施、整体结果不确定性的评估)和附件(假设条件、审核者的资质证明等),如有必要还可以添加一个保密性报告。

不同生命周期产品碳足迹核算规范或标准对比见表 3。

五、结论与建议

随着全球各国纷纷启动减排战略,碳排放核算是所有政策与措施制定的基础与核心,其重要性不言而喻。应用碳足迹评价方法不仅可以挖掘低成本的减排机会,提高企业和组织绿色竞争力,还顺应了国家低碳发展的潮流。此外,随着各方核算体系逐渐成熟,未来各国利用产品或组织的碳足迹来设置贸易壁垒的可能性大大增加。因此无论是从实现减排的目标出发,还是从增强自身的产品“硬”实力、抵御贸易风险的角度来看,采纳并使用一套广泛认可的碳足迹测算标准对各国而言都有着不容忽视的实践意义。

本文在梳理各主流国际标准的基础上,为生命周期评价法的碳足迹核算体系勾勒出了一个初步的框架。可以发现:无论是国际标准化组织,还是各国环保部门,都在积极尝试将 LCA 引入到产品或组织的碳足迹核算中,甚至将其作为唯一指定的方法,碳足迹核算方法显示出主流化、统一化的趋势;虽然不同的标准间存在差异,但其各自的优势和特色也很突出,可谓各有千秋,如 ISO 框架的体系性、欧盟 PEF 的包容性以及日本的 PCR 等等,同时绝大部分标准都呈现出国际化与本土特色相结合的特征;虽然暂时还没有出现一个全球统一的核算标准,但全球实现碳足迹的沟通与交流已是必然,如欧盟 PEF 和 PAS2050 系列标准出色的实践效果让人对此抱有一种可以预期的希望。遗憾的

表 3 不同生命周期产品碳足迹核算规范或标准对比

规范或标准	PAS 2050	JIS TS Q 0010:2009	PEF	ISO 14044	ISO 14067	GHG Protocol	产品与服务碳足迹计算指引	温室气体排放核算方法与报告指南
发布单位	英国标准委员会，Carbon Trust	日本工业标准委员会	欧盟委员会	国际标准化组织(ISO)	国际标准化组织(ISO)	WRI; WBCSD	中国台湾环境保护署	中国国家标准化管理委员会
温室气体种类	IPCC 的 60 多种 (有 GWP 值)	主要《京都议定书》要求的 6 类气体	IPCC 的 60 多种 (有 GWP 值)	主要《京都议定书》要求的 6 类气体	IPCC 的 60 多种 (有 GWP 值)	主要《京都议定书》要求的 6 类气体以及 NF ₃	IPCC 的 60 多种 (有 GWP 值)	《京都议定书》要求的 6 类气体
系统边界	从原材料到使用完毕和废弃,不包括资本产品和人力资源等	采购到废弃和回收 5 个阶段	包括产品供应链上的所有环节;包括前台进程和后台进程	依据研究的目标和范围而定;最后的系统边界由计算结果和敏感性分析而定	从原料获取到弃置;同时包括摇篮到坟墓,以及摇篮到大门	从原料获取到弃置结束;直接过程和间接过程都需要;摇篮到坟墓、摇篮到大门	原材料、能源、制造与服务供应、制造场所运营、产品运输、储存、使用和处理;不含人力、销售等	主营业务内所有生产设施产生的温室气体排放
数据来源	经同行评议的出版物;ILCD	通用数据;政府建立的排放因子数据库	达到质量要求的;ILCD&ELCD	具有代表性;满足敏感性分析要求;ILCD	基于控制的独立过程;兼顾定量与 ILCD	使用质量指标评价后的数据;EE-IO 模型;ILCD	尽可能的最优品质数据;环保署碳足迹计算服务平台;DoITPro 数据库	年鉴或行业调研数据;有资质的专业机构检测等
适用目标	B2B&B2C	B2C	B2B&B2C	B2B&B2C	B2B&B2C	B2B&B2C	B2B&B2C	未明确
取舍标准	对碳足迹达到 1% 的实质贡献都应包含在内,至少 95% 的预期排放	根据产品分类规则(PCR)而定	未明确	基于物质、能量流动或者环境显著水平	基于物质、能量流动或显著水平	1% 以上的实质贡献;通过上限假设来判定是否有意义并进行报告	1% 以上的实质贡献;至少 95% 的功能单位预期生命周期 GHG 排放	未明确
主要引用的规范或标准	ISO 14040 ISO 14044 IPCC (2007)	ISO 14040; ISO 14064; IPCC (2007)	IPCC 2007; PAS 2050; IPCC (2007)	ISO 14001 ISO 14021 ISO 14047-50	ISO 14064-6; PAS 2050; GHG Protocol	ISO 14044; IPCC 2006; PAS2050	CNS 14040; CNS 14044; PAS 2050	省温室气体清单编制指南; 中国能源统计年鉴; IPCC (2007)

注：本表是在梳理所有列出标准文件的基础上，参考现有研究^[34-36]以及欧盟的《PEF 指南》^[26]形成；“未明确”指的是未能在该标准中找到相关的描述。

是,我国在 LCA 碳足迹核算体系构建和推广的道路上迟迟没有重大突破,虽然官方的推动行为开始见诸报道,民间应用也小有成绩,但总体而言离国际前沿仍有不小差距。因此,对我国未来的 LCA 碳足迹标准体系构建提出了几点建议:

(1)推动与国际标准接轨。只有真正做到国际化,经过标准核算的结果才具有一定的权威性和可比性,在产品国际贸易中才能得到认可,例如欧盟 PEF 就是充分借鉴了现有标准的优秀成果所形成的独特体系。因而必须基于已有标准(如 ISO 系列)制定完备的 LCA 评价框架,增加所包括的温室气体种类、拓展系统边界,产品分类与主流 PCR 衔接,搭建真正具有国际背景的核算体系。

(2)充分考虑本土元素。在排放因子和数据来源上,各国的采用的方法不尽相同,究其根本原因还是能源结构、数据库完成度等因素不一致。应该依据我国的排放特征,在符合国际主流的要求下对标准进行本土化,并推动中国 LCA 基础数据库的建立。此外广泛联合和号召国内外企业积极参与到体系建设中,对评价指标、数据要求等具体核心要素进行丰富和讨论。可以看到日韩等亚洲国家和地区,之所以能够快速推广碳足迹和碳标签,企业的主动参与贡献颇多。

(3)强化标准的普适性。国内已经出台的《温室气体排放核算方法与报告指南》具有典型的行业导向,属于短期政策设计的结果,治标不一定治本。从长远来看,在考虑行业覆盖的同时,制定一个如同 PAS 5050 那样能够针对所有产品和服务的普适性核算标准对我国低碳发展而言至关重要,同时也能使足迹结果在国际上得到更为广泛的承认。

参 考 文 献

[1] 计军平,马晓明.碳足迹的概念和核算方法研究进展[J].生态经济,2011(4):76-80.

[2] MATTHEWS H S,HENDRICKSON C T,WEBER C L.The importance of carbon footprint estimation boundaries [J].Environmental science & technology,2008,42(16):5839-5842.

[3] WEBER C L,MATTHEWS H S.Quantifying the global and distributional aspects of american household carbon footprint [J].Ecological economics,2008,66(2/3):379-391.

[4] 孙建卫,陈志刚,赵荣钦,等.基于投入产出分析的中国碳排放足迹研究[J].中国人口·资源与环境,2010,20(5):28-34.

[5] DRUCKMAN A,JACKSON T.The carbon footprint of UK households 1990-2004:a socio-economically disaggregated,quasi-multiregional input-output model [J].Ecological economics,2009,68(7):2066-2077.

[6] WOOD R,DEY C J.Australia's carbon footprint [J].Economic systems research,2009,21(3):243-266.

[7] HERTWICH E G,PETERS G P.Carbon footprint of nations;a global,trade-linked analysis [J].Environmental science & technology,2009,43(6):6414-6420.

[8] PEHNT M,HENKEL J.Life cycle assessment of carbon dioxide capture and storage from lignite power plants[J].International journal of greenhouse gas control,2009,3(1):49-66.

[9] CHAU C K,LEUNG T M,NG W Y.A review on life cycle assessment,life cycle energy assessment and life cycle carbon emissions assessment on buildings[J].Applied energy,2015,143(7):395-413.

[10] EDWARDS L,KNIGHT J,HANDLER R,et al.The methodology and results of using life cycle assessment to measure and reduce the greenhouse gas emissions footprint of “Major Events” at the university of Arizona[J].The international journal of life cycle assessment,2016,21(4):536-554.

[11] ISO.ISO14040-2006;International standards;environmental management-life cycle assessment-principles and frameworks[S].Geneva;ISO,2006.

[12] 梁龙,陈源泉,高旺盛.基于生命周期的循环农业系统评价[J].环境科学,2010(11):2795-2803.

[13] 赵薇,孙一桢,张文宇,等.基于生命周期方法的生活垃圾资源化利用系统生态效率分析[J].生态学报,2016(22):7208-7216.

[14] 黄春林,张建强,沈淦涛.生命周期评价综论[J].环境技术,2004(1):29-32.

[15] ISO.ISO14044-2006;International standards;environmental management-life cycle assessment-requirements and guidelines[S].Geneva;ISO,2006.

[16] ISO.ISO14064-1;Greenhouse gases;specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emission and removal[S].Geneva;ISO,2006.

[17] ISO.ISO14064-2;Greenhouse gases;specification with guidance at the project level for quantification,monitoring and reporting of

greenhouse gas emission reductions or removal enhancements[S].Geneva:ISO,2006.

[18] ISO.ISO14067:Carbon footprint of products-requirements and guidelines for quantification and communication[S].Geneva:ISO, 2012.

[19] STREHLKE P.Life cycle assessment of sandwich structures[J].Reinforced plastics,2010,54(4):38-40.

[20] SVANES E,ARONSSON A K S.Carbon footprint of a Cavendish banana supply chain[J].The international journal of life cycle assessment,2013,18(8):1450-1464.

[21] LEE K H.Integrating carbon footprint into supply chain management;the case of hyundai motor company (HMC) in the automo-
bile industry[J].Journal of cleaner production,2011,19(11):1216-1223.

[22] BSI.PAS2050:Specification of project and service life cycle greenhouse gas assessment[S].London:British Standards,2008.

[23] BSI.PAS2050:Specification of project and service life cycle greenhouse gas assessment[S].London:British Standards,2011.

[24] BRANDÃO M,LEVASSEUR A,KIRSCHBAUM M U F,et al.Key issues and options in accounting for carbon sequestration and
temporary storage in life cycle assessment and carbon footprinting[J].The international journal of life cycle assessment,2013,18
(1):230-240.

[25] 杨楠楠.日本建立产品碳足迹体系的经验及启示[J].中国人口·资源与环境,2012(S2):161-165.

[26] European Commission.Product environmental footprint (PEF) guide[S].Brussels:EC,2013.

[27] 陈欢,李翔,陈泽勇.欧盟产品环境足迹研究[J].信息技术与标准化,2013(8):21-25.

[28] 张海玲,张宏.日韩两国建立碳足迹标签制度的共同经验及启示[J].东北亚论坛,2012(2):28-34.

[29] 中国台湾“行政院”环境保护署.产品与服务碳足迹计算指引[S].中国台北:“行政院”环境保护署,2010.

[30] 王荣婧.国内外温室气体排放核算标准体系现状与分析[J].科技展望,2014(10):32.

[31] 国家发改委.清洁生产评价指标体系编制通则(试行)[S].北京:国家发展改革委员会,2013.

[32] 国家发改委.中国水泥生产企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)[S].北京:国家发展改革委员会,2013.

[33] 王晶晶.BSI 携手 CNIS 成功举办 PAS 2050:2008 中文版发布会[J].中国标准化,2009(2):82-82.

[34] 白伟荣,王震,吕佳.碳足迹核算的国际标准概述与解析[J].生态学报,2014(24):7486-7493.

[35] 王吉凯.基于产品生命周期的碳排放计算方法研究[D].合肥:合肥工业大学,2012.

[36] 蒋婷.碳足迹评价标准概述[J].信息技术与标准化,2010(11):15-18.

(责任编辑:金会平)