

碳足迹与绿色建材



住房和城乡建设部科技与产业化发展中心
中国建材检验认证集团股份有限公司

组织编写

中国建筑工业出版社

《中国建材》编辑部

碳足迹与绿色建材

住房和城乡建设部科技与产业化发展中心
中国建材检验认证集团股份有限公司

组织编写

主编：刘洪波
副主编：马林成
编委：刘洪波、刘成刚、王瑞强、李永成、王明、周成林、王成斌、赵平、侯时明、李秋元、李永成

主编单位：住房和城乡建设部科技与产业化发展中心
参编单位：中国建材检验认证集团股份有限公司



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

碳足迹与绿色建材/住房和城乡建设部科技与产业化发展中心, 中国建材检验认证集团股份有限公司组织编写. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 12

ISBN 978-7-112-21346-7

I. ①碳… II. ①住…②中… III. ①建筑材料-无污染技术 IV. ①TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 252193 号

责任编辑: 张文胜

责任设计: 李志立

责任校对: 李美娜 芦欣甜

碳足迹与绿色建材

住房和城乡建设部科技与产业化发展中心
中国建材检验认证集团股份有限公司

组织编写

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

唐山龙达图文制作有限公司制版

北京君升印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 7 字数: 172 千字

2017 年 12 月第一版 2017 年 12 月第一次印刷

定价: 25.00 元

ISBN 978-7-112-21346-7

(31062)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

编 委 会

主 编：刘敬疆

副 主 编：马振珠

编写组成员：赵春芝 周继恒 龚先政 何更新 管 辰
陈 璐 蒋 荃 武庆涛 赵霄龙 邵高峰
张旭东 刘珊珊 刘 翼 马丽萍 张晓然
徐 莹 张澜沁 魏建勋 王瑞蕴 刘庆祯
崔素萍 兰明章 林波荣 富 丽 王 刚
周丽玮 王洪涛 赵 平 张时聪 李秋义
李本强

主编单位：住房和城乡建设部科技与产业化发展中心

中国建材检验认证集团股份有限公司

参编单位：中国建筑材料科学研究总院

中国建筑科学研究院

中国建筑材料联合会

中国建筑材料工业规划研究院

中国建筑标准设计研究院

中国建筑科学研究院环能战略中心

北京国建联信认证中心有限公司

北京建筑材料科学研究总院

北京工业大学

北京康居认证中心

清华大学

四川大学

青岛理工大学

前 言

为了减少温室气体排放，减缓地球变暖，我国遵守《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》基本框架，把应对气候变化纳入国民经济和社会发展规划，培育以低碳排放为特征的新的经济增长点。加快建设以低碳排放为特征的工业、建筑、交通体系，开展低碳经济试点示范，推动形成资源节约、环境友好的生产、生活和消费方式。碳足迹是企业应对低碳时代多个步骤中的第一步，只有全面了解企业或产品的温室气体排放水平，才能在企业中建立减排标杆，并为接下来设计减排项目提供依据。

当前，我国仍处在工业化、城镇化发展的重要阶段，能源消费和二氧化碳排放总量大，并且还将继续增长。建材工业是我国经济建设的重要基础行业，是我国的高能耗、高排放产业和减少碳排放的重点关注领域。以“节能、减排、安全、便利、可循环”为特征的绿色建材日益受到国家的高度重视，相继发布了一系列的政策文件，指导绿色建材评价和促进绿色建材的应用。

2015年10月，住房和城乡建设部、工业和信息化部联合发布《绿色建材评价技术导则（试行）》，在该评价导则编写之初，为了与国际绿色产品评价保持同步，高端引领国内绿色建材的发展，在减排指标中加入了“提供碳足迹报告”这项内容。实际评价过程中，正是基于企业提供的产品碳足迹报告，笔者积累了产品碳足迹的大量数据，由此提出产品碳足迹的基准值，所以将碳足迹纳入绿色建材评价指标体系是可行的。只有企业真正了解产品在同类产品碳足迹中的大小和对气候变化的影响，才会采取可行的措施减少产品的碳足迹。

本书着眼于建材工业的绿色低碳发展，基于我国开展建材碳足迹的研究基础，通过深入调研国外建材产品碳足迹评价及管理方法，结合我国建筑和建材领域特点，研究建立了开展碳足迹所遵循的规则——碳足迹产品种类规则，详细分析了预拌混凝土、预拌砂浆、陶瓷砖、卫生陶瓷、建筑节能玻璃、保温材料、砌体材料七类产品从原材料开采、原材料和能源运输、产品生产各阶段的碳排放，探索建立了七类产品的碳足迹排放基准值，为我国绿色建材低碳发展提供理论和实践依据。

碳足迹量化指标的建立，使消费者对产品生产的环境影响有一个量化认识，继而引导其消费决策。企业通过产品碳足迹分析，可以改善内部运营、节能减排、节省成本，同时还可以作为一项营销策略，由此获得竞争优势。绿色建材碳足迹指标的量化推动了绿色建筑碳足迹的量化评价，为我国未来实行碳排放总量控制、碳交易、碳税收等政策提供技术保障。

本书的出版得到了行业同仁的大力支持，在此表示深深的感谢！

由于笔者水平有限，缺憾不足之处在所难免，希望读者批评指正并提出建议。

目 录

第 1 章 综述	1
1.1 目的意义	1
1.2 研究目标、内容与技术路线	3
第 2 章 国外产品碳足迹发展现状	5
2.1 产品碳足迹评估与标识在英国的的发展	5
2.2 产品碳足迹评估与标识在德国的的发展	6
2.3 产品碳足迹评估与标识在日本的发展	7
2.4 产品碳足迹评估与标识在美国的发展	8
2.5 产品碳足迹评估与标识在韩国的发展	10
2.6 产品碳足迹评估与标识在瑞士的发展	10
2.7 产品碳足迹评估与标识在法国的的发展	10
第 3 章 我国碳足迹研究基础	13
3.1 产品碳足迹评估与标识在台湾的发展	13
3.2 我国大陆碳足迹评估与标识的发展	13
3.3 碳足迹标准化	14
3.4 碳足迹基础数据库和评价软件	15
3.5 建材行业开展的碳排放研究	16
3.6 存在的问题与建议	16
第 4 章 碳足迹的计算方法和标准	19
4.1 过程分析法	19
4.2 投入产出法	20
4.3 计算方法/模型的选择	21
4.4 碳足迹评估技术标准	22
4.5 基于生命周期分析的国际标准内容解析	28
第 5 章 原材料碳足迹核算研究	32
5.1 电力生产的 LCA 基础清单数据库区域化研究	32
5.2 交通运输方式	34
5.3 预拌混凝土的生命周期分析	37
5.4 烧结空心砖的生命周期分析	40
5.5 加气混凝土砌块的生命周期分析	42
5.6 轻集料混凝土砌块的生命周期分析	44

第 6 章 产品生产制造过程碳足迹研究 47

6.1 建材产品碳足迹—产品种类规则制定 47

6.2 产品生产制造过程中的碳排放计算 52

6.3 难点和解决方案 62

第 7 章 产品使用、围护、拆除及后处理过程的碳足迹研究 64

第 8 章 进一步的研究方向与建议 66

附录 67

附录 1 建材产品碳足迹—产品种类规则研究 (CF-PCR) 67

附录 2 七类产品绿色建材评价的碳足迹量化指标研究 74

第 1 章 综 述

1.1 目的意义

20 世纪末以来,以全球变暖为主要特征的气候变化问题已被列为全球性十大环境问题之首,引发国际社会的广泛关注。二氧化碳过度排放,温室效应愈演愈烈,全球可持续发展事业面临严峻挑战。为了减少温室气体排放,减缓地球变暖,1992 年 5 月在巴西里约热内卢举行了首次“地球首脑会议”,通过了《联合国气候变化框架公约》;1997 年 12 月,在第三次会议上签署了《京都议定书》,规定从 2009 年到 2012 年期间,主要工业化国家的温室气体排放量要在 1990 年的基础上平均减少 5.2%,其中欧盟将 6 种温室气体的排放量削减 8%,美国削减 7%,日本削减 5.2%;2000 年 11 月,美国在海牙举行的第 6 次缔约方大会中宣布退出《京都议定书》;2007 年 12 月,第 13 次缔约方大会在印度尼西亚巴厘岛举行,会议着重讨论“后京都”问题,即《京都议定书》第一承诺期在 2012 年到期后如何进一步降低温室气体排放的问题,联合国气候变化大会通过了“巴厘岛路线图”,启动了加强《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》全面实施的谈判进程,致力于在 2009 年年底完成《京都议定书》第一承诺期在 2012 年到期后全球应对气候变化新安排的谈判并签署有关协议;2009 年 12 月,第 15 次缔约方大会在丹麦哥本哈根举行,共同讨论第二期(2020 年)减排目标,192 个国家,多个谈判阵营,最终意见不一。哥本哈根会议的召开使得低碳经济再次成为全球瞩目的焦点,以低能耗、低污染、低排放为基础的低碳经济是应对全球气候变暖的全新经济模式。

进入 21 世纪以来,我国经济持续快速增长,迅速成为世界第一大煤炭消费国,第二大能源消费国和二氧化碳排放国。根据国际能源署统计,2015 年我国二氧化碳量将达到 8.6 亿 t,超过美国的 6.4 亿 t 居世界第一位,预计在 2015~2030 年间,我国人均二氧化碳排放量可能达到世界平均水平。当前,我国仍处在工业化、城镇化发展的重要阶段,能源消费和二氧化碳排放总量大,并且还将继续增长。建设低碳社会,实现绿色低碳发展,已成为我国转变经济发展方式、实现可持续发展的必然选择。低碳之路既是我国实现可持续发展的必由之路,也是我国树立负责任的大国形象,为保护全球气候环境,抑制全球气候变暖做出积极贡献的现实选择。

我国遵守《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》基本框架,把应对气候变化纳入国民经济和社会发展规划,培育以低碳排放为特征的新的经济增长点,加快建设以低碳排放为特征的工业、建筑、交通体系,开展低碳经济试点示范,推动形成资源节约、环境友好的生产、生活和消费方式。2014 年,国家发展和改革委员会印发《国家应对气候变化规划(2014—2020 年)》,明确了 2020 年前我国应对气候变化工作的主要目标是:全面完成控制温室气体排放的行动目标,单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降

40%~45%；到2030年碳排放强度比2005年下降60%~65%。2016年4月22日，我国作为缔约方签署了《巴黎气候变化协定》，未来15年内投入30万亿元减排，进一步凸显了我国实施节能减排和低碳转型的坚定决心。

应对气候变化的核心问题是控制和减缓二氧化碳等温室气体的排放，于是“低碳”这一概念走到了历史的前台。在全球气候变化的大背景下，碳足迹、低碳经济、低碳技术、低碳社会等一系列新概念、新政策应运而生。气候变化问题不仅是全球环境问题，更是涉及各国经济能否可持续发展的重大问题。发展低碳经济作为应对气候变化、促进可持续发展的一项战略选择，正日益受到国际社会的高度关注。而发展低碳经济，离不开政策制度的创新和发展，其中制定温室气体排放管理标准、研究碳足迹计算方法、建立碳标签标识制度以及碳关税等贸易政策工具被认为是构建气候变化政策体系的一项重要内容。

建材工业是我国经济建设的重要基础行业，是我国的高能耗、高排放产业和减少碳排放的重点关注领域。2012年，建材行业二氧化碳排放量为17.6亿t，占全国二氧化碳排放总量的18.5%，比2000年增长1.1倍。因此，建材行业的碳减排对实现我国碳减排目标是十分重要的。我国的建材行业主动性碳减排启程于2005年，但“减碳”努力，起初主要还是着力于对现有“三高”产能的“关停并转”，从2009年起，尤其是2013开始的“十二五”期间及2016年开始的“十三五”期间，“减碳”更多借助生产工艺、生产工装、生产手段的技术升级和创新，及以生命周期评价方法为主的绿色产品评价技术，致力于绿色产业的大力发展和产业化应用。

绿色建材日益受到国家的高度重视，包括近年发布的《绿色建筑行动方案》（国办发[2013]1号）和《国家新型城镇化规划（2014—2020年）》等均提出“要大力发展绿色建材”。此外，为切实促进绿色建材的生产和应用，工业和信息化部住房和城乡建设部两部门联合发布了《促进绿色建材生产和应用行动方案》，《绿色建材评价标识管理办法》《绿色建材标识管理办法实施细则》和《绿色建材评价技术导则（试行）》，这些文件更是将绿色建材评价的内容具体化、指标化。绿色建材主要包含“节能、减排、安全、便利、可循环”五个部分，其中在减排部分主要针对建材产品在生产过程中废物的排放。在《绿色建材评价技术导则（试行）》编写之初，应社会各界要求，在减排部分加入了“是否有碳足迹报告”指标，另一方面，在全球碳排放要求日益严格的今天，碳排放已经成为衡量产品绿色度的一个重要指标，但由于缺乏具体的量化比较，评价指标体系不能体现产品碳足迹水平对绿色程度的影响。

“碳足迹”的概念缘起于“生态足迹”，主要是指在人类生产和消费活动中所排放的与气候变化相关的气体总量，分析产品生命周期或与活动直接和间接相关的碳排放过程。建材产品碳排放度量应基于全生命周期的观点，即“碳足迹”评估方法。所谓碳足迹，是指运用生命周期评价（LCA）的方法，定量化计算产品全生命周期过程中相关的温室气体排放量。碳足迹作为LCA方法的重要应用之一，已逐渐成为世界范围内评估产品碳排放的主导方法。基于此，一方面可以全面、客观地审视建材产品全生命周期过程中的能源与环境问题，为建材企业持续改善工艺、改进产品提供内在支撑；另一方面，碳足迹声明及认证作为一种有效的市场促进机制，可以为推动企业开展节能减排提供积极有效的外部动力，同时对于克服日益严峻的国际贸易壁垒也具有重要作用。

所以，针对我国典型建材产品不断加强碳足迹研究，可为建材行业减少碳排放提供理

论基础和依据；开展建材产品低碳评价技术研究对于促进建材工业的可持续发展，实现我国二氧化碳排放控制系列行动目标具有重要意义。因此，研究将建材产品碳排放量化指标纳入绿色建材评价指标体系，对于科学、客观地评估建材产品的绿色度具有重要意义，同时也将为建材工业落实《工业领域应对气候变化行动方案（2012—2020年）》发挥积极作用。而作为建筑业的物质基础，建材产品的碳排放还是建筑物生命周期碳排放的重要组成部分，因此科学评估建材产品碳排放对于度量建筑物的碳排放也具有重要意义。

1.2 研究目标、内容与技术路线

1.2.1 研究目标

着眼于建材工业的绿色低碳发展，研究将碳足迹纳入绿色建材评价指标体系的可行性。通过深入调研国外建材产品碳足迹评价及管理辦法，结合我国建筑和建材领域特点，研究提出绿色建材评价评分项指标体系中统筹碳足迹的可行量化指标。根据指标数值分布，拟设得分区间。

1.2.2 研究内容与技术路线

由于基于全生命周期的产品碳足迹评估及认证尚缺乏产业链上下游足够的數據支持，已形成的建材产品的低碳评价标准均只注重生产制造阶段，并非基于实际意义上的全生命周期，而要获得足够的數據支持则需要全社会各行业，特别是相关上下游产业都有碳足迹评估基础，目前各单位虽已开展了许多碳足迹研究工作，但由于没有在统一的核算方法和边界设定规则下进行，因而结果各不相同。在目前条件下，可以借助已有的相关研究成果以及相关行业数据，研究采用统一的核算方法和边界设定规则，从产品的原材料本身及其运输过程、产品生产制造过程、产品运输、安装维护和使用过程、产品用后的拆除与后处理过程的碳排放展开研究工作，得到相对比较全面准确的、具有可比性的量化碳足迹数据。

根据上述研究得到的结果，比较同类产品量化碳足迹水平，确定量化指标，纳入绿色建材评价的指标体系。

通过不断的发展和数据累积，最终达到将建材产品基于全生命周期的产品碳足迹量化指标纳入绿色建材评价指标体系中。

本书选取砌体材料、保温材料、预拌混凝土、建筑节能玻璃、陶瓷砖、卫生陶瓷、预拌砂浆七类产品作为典型研究对象。

(1) 国外建材产品碳足迹评价及管理辦法调研

通过查阅资料与技术交流，对国际先进国家建材产品碳足迹评估及认证制度、技术发展现状，包括碳足迹评估方法、技术路线、认证模式、推广机制、管理辦法，应用实践等进行深入、广泛调研，并对其异同点展开对比研究。调研世界范围内先进国家与建材行业相关的碳足迹、EPD^①、PEF^②的评价及管理辦法。

① EPD：产品环境声明，Environmental Product Declaration。

② PEF：产品环境足迹，Product Environmental Footprint。

(2) 温室气体种类确定

通过调研确定建材行业各相关产品的温室气体排放种类：二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）、氢氟碳化物（HFCs）、全氟碳化物（PFCs）及六氟化硫（SF₆），最终结果通过温室效应因子转化为二氧化碳当量。

(3) 产品原材料本身以及运输过程带入碳足迹研究

首先针对各产品的不同特点，通过研究确定计入碳足迹评估的原材料种类与边界，然后研究原材料带入碳足迹的可行量化计算方法。

(4) 产品生产制造过程的碳足迹研究

通过广泛、深入的行业调研，展开七类产品生产制造碳足迹影响因素与评估方法研究，形成具有可比性的计算方法。

(5) 产品使用、围护、拆除以及后处理过程的碳足迹研究

研究内容包括产品出厂后的运输、安装、使用性能、拆除过程、后处理过程对碳足迹的量化贡献。

(6) 碳足迹与主要性能关系研究

研究产品（主要是保温材料）主要性能对碳足迹的影响，建立碳足迹与产品主要性能量化关系。

(7) 建立数据库

综合原材料带入及制造过程的碳足迹数据，形成各产品碳足迹量化指标，并构建各产品的生产制造期碳足迹数据库。

(8) 建立碳足迹评价规则

研究确定碳足迹评价核算规则和边界确定原则，为开展各类产品碳足迹评价奠定基础性的技术标准依据；研究制定七类典型产品的碳足迹评价实施规则，明确进行碳足迹认证的基本步骤和要求，为开展各类产品碳足迹评价奠定基础性核查准则。

(9) 将碳足迹量化指标纳入绿色建材评价评分项指标体系

在七类典型产品行业内开展碳足迹评价示范，通过分析比较将碳足迹量化指标纳入绿色建材评价评分项指标体系。

本章参考文献

- [1] 姚燕. 全力推进节能减排引领中国建材工业发展低碳经济. //中国建材产业发展研究论文集. 北京：中国建材工业出版社，2010.
- [2] 张雄. 建立碳交易平台和低碳认证体系 [J]. 建设科技，2010，(4)：34~35.
- [3] 胡莹菲，王润等. 中国建立碳标签体系的经验借鉴与展望 [J]. 经济与管理研究，2010，(3)：16~19.
- [4] 陈洁民. 碳标签：国际贸易中的新热点 [J]. 对外经贸实务，2010，(2)：93~95.
- [5] 冯相昭，赖晓涛等. 关注低碳标准发展新动向——英国 PAS2050 碳足迹标准 [J]. 环境保护，2010，(3)：74~76.

第2章 国外产品碳足迹发展现状

随着全球人口和经济规模不断增长，人类活动产生的温室气体的排放加速了全球气候变化及环境影响，而且这种影响越发严重。政府间气候变化专业委员会（IPCC）指出，自20世纪中叶至今观测到的全球变暖现象，很可能（90%以上的概率）是由于人类活动排放温室气体形成的温室效应导致的。统计数据表明，由于工业革命以后大量化石能源的使用，人类生产、生活导致的温室气体排放约占全球温室气体排放总量的90%以上。如何有效地减少温室气体排放成为国际政治、经济及学术研究关注的热点之一。在此背景下，各国政府和相关机构都纷纷开展了碳足迹评价方法的研究，并制定了相关的评价标准或规范，以便衡量产品、服务、组织、城市及国家的温室气体排放量，为减排方案的制订提供决策依据，在此基础上，还进一步推出了“碳标签”。

产品碳足迹评估与标识表明企业应对气候变化的决心，是帮助个人和组织评估其对环境影响的重要工具。碳足迹评估有助于企业减少今后温室气体的排放量，还可以为企业制定环境报告提供准确有效的参考依据。企业进行产品碳足迹评估是可持续发展的第一步，进而可管理和优化生产与运输流程，减少二氧化碳的排放。企业通过产品碳足迹评估，可以改善内部运营，节省成本，还可以作为一项营销策略帮助企业获得竞争优势。此外也是满足市场需求和达到国际要求的有效途径，是促进沟通和合作的桥梁。碳足迹标识制度通过对低碳产品授予低碳标识，引导和鼓励企业开发低碳产品技术，向低碳生产模式转变，最终达到减少全球温室气体排放的效果。

在国际上，产品碳足迹评估与标识已经被广泛应用。随着产品碳足迹评估技术的不断发展和完善，很多企业基于市场营销和社会责任，开始根据碳足迹评估结果，管理和优化生产运输流程，并自发开展产品碳足迹的评估和披露。与此同时，越来越多的国家在相关机构的支持和倡导下，评估和披露产品生命周期内的碳排放环境行为，并向产品授予碳标识，开展低碳产品认证。全球已有6个国家的50家企业完成70类产品的碳足迹公告，包括风力、水力、核能发电、食品、纺织品、家具、木材与纸制品、塑橡胶、玻璃、化学品、机械设备和服务业等。欧洲许多国家已经规定，没有碳标识的产品不允许进入当地市场。总体来看，英国、美国、法国、德国、日本、韩国等国的碳足迹评估与标识发展比较迅速。

2.1 产品碳足迹评估与标识在英国的发展

在全球范围来说，英国是世界上较早关注气候变化的国家之一，也是最早开展碳足迹评估并推出产品碳标识制度的国家。2001年，为应对气候变化，鼓励企业推广使用碳标签，英国成立了一个由政府投资、按企业模式运行的碳信托公司（Carbon Trust），其运作的资金来源主要为英国的气候变化税。目标是通过帮助商业和公共部门减少二氧化碳的

排放,并从中寻求低碳技术的商业机会。2006年,碳信托公司开展了“碳削减标志计划(Carbon Reduction Label Scheme)”,成为开创低碳产品认证的先锋。2007年5月,英国环境、食品和乡村事务部(Defra)公布了基于碳信托试点项目的自愿性计划,建议商家在商品标签上注明该产品在生产、运输和配送等过程中所产生的碳排放量,以告知消费者该商品对全球变暖的影响程度,当时就有120多家商家表示愿意加入。英国的碳标签包括碳足迹标签与碳减量标签,前者仅表明生产者已申请了产品的碳排放量核算,后者是由英国碳信托公司授权生产者在商品包装上标明其已消减温室气体的一种标识,表明生产者不仅做出减排承诺,并且已成功减少温室气体的排放。2010年,90%的英国家庭都购买了标注碳足迹标签的产品。碳标签已经在全世界得到了推广,同时,碳信托与世界许多国家和地区进行合作。

2008年颁布的《商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》(Publicly Available Specification, PAS 2050,以下简称PAS 2050)由英国标准协会(BSI)、碳信托公司(Carbon Trust)和英国环境、食品与农村事务部(Defra)联合制订和发布,于2008年10月29日开始生效。PAS 2050是第一部基于ISO 14040和ISO 14044通过统一的方法评估组织产品生命周期内温室气体排放的标准。该标准属于公开可获得规范,主要包括两个文件《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》以及《〈PAS 2050规范〉使用指南》(该标准已于2011年更新),它们对于产品碳足迹的定义、温室气体排放的相关数据以及如何评价产品的碳足迹作了详尽的分析介绍,其开放性有力地提高了PAS 2050的接受程度和英国碳削减标志的市场权威性。目前很多国家或私人企业所进行的产品碳排放评估活动在不同程度上都参考了该标准。

此外,英国还致力于为PAS 2050标准争取国际发展空间,在世界范围内以技术支持和技术合作的形式增强英国标准和碳标志的影响力,并且积极参与国际标准化组织的低碳产品标准制定工作。

2.2 产品碳足迹评估与标识在德国的发展

德国是欧洲国家中低碳发展法律框架最完善的国家之一。2007年,德国联邦教育与研究部在“高技术战略”框架下制订了气候保护高技术战略。该战略确定了未来研究的4个重点领域,包括气候预测和气候保护的基础研究、气候变化后果、适应气候变化的方法和气候保护的政策措施研究。2008年,德国议会上院通过温室气体减排新法案,要求德国到2020年的温室气体排放在1990年的基础上削减40%。

2008年4月,在世界自然基金会(WWF)、应用生态研究所(Oko-Institut)、波茨坦气候影响研究协会(PIK)、THEMAI等机构的共同发起下,德国启动了产品碳足迹评估与标识试点工作。该试点以ISO 14040和ISO 14044作为产品碳足迹计算的方法学基础,并按照PAS 2050规定的方法和步骤展开。试点历时1年半,期间共有10家大型跨国企业参加了该试点,产品案例涉及绝缘材料、厕纸、红酒稳定剂、冰冻食品、鸡蛋、草莓、咖啡、洗发水、洗涤剂、密封胶、包装密封剂、运动包、包装硬纸盒、电话或网络连接线等。以期通过对试点案例的深入研究,获取产品碳足迹评估的经验并提出建议,为国际产品碳足迹的统一实施做出积极贡献。德国目前的产品碳足迹标识并未标注具体的碳足

迹数值，只是表示该产品经过了碳足迹评估。

2.3 产品碳足迹评估与标识在日本的发展

日本碳标签制度的模式也是类似于英国的自愿型模式，采取的是由政府主导、专业机构具体实施、并且由政府采取一些方式进行鼓励和支持碳标签制度的发展。1998年，日本政府成立了以内阁首相为主席的减缓全球变暖对策促进中心，并通过了《全球变暖对策促进法》。2008年6月，时任首相福田康夫提出日本新的防止全球气候变暖的对策，即著名的“福田蓝图”，表示日本减排的长期目标是到2050年温室气体排放量比2008年减少60%~80%。“福田蓝图”的提出是日本低碳战略正式形成的标志。2008年7月，日本内阁会议通过了“低碳社会行动计划”（Action Plan for Achieving a Low-carbon Society），根据“福田蓝图”提出了日本实现低碳社会的目标、具体措施及行动日程等。“低碳社会行动计划”的内容之一，是使产品（或服务）的碳排放“可视化”（visualization），即通过计算产品（或服务）的CO₂排放量并在产品（或服务）上加贴碳足迹标签的方式向消费者明示产品整个生命周期的碳排放量，以此来促进碳减排。为此，日本开展了为期3年的产品碳足迹评估试点项目。并在ISO 14040/44和ISO 14025等国际标准的基础上，于2009年4月颁布《PCR规划草案注册及PCR认证规则》和《TSQ 0010产品碳足迹评估和标识通则》（General Principles for the Assessment and Labeling of Carbon Footprint of Products），为产品碳足迹的量化与标注规定了一般原则，同年8月实施《日本碳足迹标识制度》，对TSQ 0010中关于碳标签的详细信息作进一步补充。

TSQ 0010标准包含五大部分：第一至第三部分为范围、参考规范、术语和定义，第四和第五部分为产品碳足迹的计算方法和标识方法，是TSQ 0010标准的核心内容，包括：（1）确定产品碳足迹量化的对象。TSQ 0010规定需要纳入PCF量化的对象包括《京都议定书》要求减排的六类温室气体：CO₂、CH₄、N₂O、HFCs、PFCs以及SF₆，其中量化的主要对象是CO₂，因为碳排放首先是排放CO₂，通常将温室气体排放简称为碳排放。（2）采用生命周期评价法核算产品碳足迹。生命周期评价法（Life Cycle Assessment, LCA）主张从产品的采购、运输、加工、销售和善后等各个阶段，计算并评估该产品的碳排放。LCA法有自下而上（Bottom-up Based）过程分析法和自上而下（Top-down Based）的投入产出分析法。日本主要采用LCA法来核实产品从“摇篮”到“坟墓”全过程的碳足迹。（3）确定碳足迹的产品种类规则。不同产品种类的生命周期环境影响各不相同，同一类别的产品需要制定相应的产品种类规则（Product Category Rules, PCR）。PCR是指在一个已定的方法论内，对某一产品或产品类别的碳足迹计算规定特殊的规则和假定。日本采用循序渐进的方式，先后制定了73类产品的种类规则，绝大多数为农产品、电器类产品。PCR不仅可以保证数据和整个系统的稳定性，而且保证了同一种类产品的生命周期碳排放具有可比性。PCR成为日本建立碳足迹体系的重要工作内容之一。

根据TSQ 0010，产品碳足迹计算就是把产品生命周期中每一过程的所有量化数据（称为“活动数据”），按以下公式计算出温室气体排放量并加总。温室气体排放量 = \sum （活动 i × 温室气体排放因子 i ），公式中， i 代表某一过程，“活动”可理解为由计算碳足迹的组织（企业）识别出的包括物料的输入输出、能源的使用、运输等在内的单元过程，

组织（企业）负责收集活动的实际量化数据（如生产所消耗的物料、电力等）或基于假设情形得到活动数据（如产品使用或回收阶段消耗的电力等）。TSQ 0010 规定，一般情况下，组织（企业）应采用初级数据 [组织（企业）内部直接测量搜集的数据] 作为活动数据，只有在初级数据难以获得时，才可采用二级数据 [组织（企业）引用的外部通用数据、参考数据和其他 LCA 研究数据]。“温室气体排放因子”是单位活动数据排放的温室气体量，例如电力的排放因子可表示为 $\text{CO}_2\text{e/kWh}$ 。在甄选排放因子时，应选择具有可靠性和通用性、数据面广且更新及时的数据库，因此宜选用政府已建立的排放因子数据库作为排放因子的来源。TSQ 0010 要求，在不采用通用数据作为排放因子时，组织（企业）必须证明其合理性。

建立碳足迹体系的重要目标之一就是使碳信息“可视化”，使消费者能够获取关于产品碳排放的正确信息，并通过消费者的选择和评价来促使企业进行碳减排，实现社会的低碳化转型。通过加贴碳标签的形式向公众传达产品碳足迹评估的结果是碳信息“可视化”的主要途径。TSQ 0010 对产品碳足迹的标识制定了基本规则和可选行动。TSQ 0010 关于产品碳足迹标识的基本规则主要包括三个方面：其一，原则上应把全生命周期的碳排放量标示在每一个产品上；碳排放的单位应为“克 CO_2 当量 ($\text{g CO}_2\text{-equivalents}$)”，“千克 CO_2 当量 ($\text{kg CO}_2\text{-equivalents}$)”和“吨 CO_2 当量 ($\text{tCO}_2\text{-equivalents}$)”，而实际标识单位应为“克 (g)”，“千克 (kg)”和“吨 (t)”；考虑到地区（两个或更多生产地点）差异和季节差异，为节约成本和避免消费者混淆，同一类产品应标示其碳排放的平均值。其二，标识产品碳足迹的组织（企业）应不断减少碳排放，但不强制规定其减排的具体目标；若组织（企业）有意愿向消费者宣告其具体减排目标，可授权使用附加和可选标识，同时考虑授权达成目标的企业加贴额外可选标识。其三，应审慎制定标签规则，采用统一标签。标签上需标示产品碳排放的绝对数值；标签应便于消费者理解和比较，组织（企业）应通过互联网等其他途径公开产品碳足迹的详细信息；一般来说，碳标签应加贴在产品或其包装上面，除此之外，组织（企业）还可以选择将其用在网站、宣传册、环境报告、价签和二维码上等。从有效吸引消费者和方便企业两方面出发，应制定关于碳标签的位置和大小的确定规则，也要根据产品大小建立相应标准。为了更有效地实施碳减排，TSQ 0010 也允许组织（企业）在某些情况下灵活对待碳标识基本规则，采取可选行动，如在碳标签上标示减排率，标识不同过程（阶段）的碳排放，提示不同使用方式的减排效果等。对于在使用过程中排放大量温室气体的家电等耐用消费品，TSQ 0010 允许组织（企业）标识产品使用寿命、每使用 1 年所排放的 CO_2 当量等额外信息。

2.4 产品碳足迹评估与标识在美国的发展

美国的碳标签活动目前主要由民间机构主导，共有三类：第一类为 Carbon Label 碳标识，由 Carbon Label California 公司推出，以全生命周期分析方法为核算准则，旨在帮助消费者选择更低碳排放的产品。目前，该碳标签主要在食品中使用，如保健品和经认证的有机食品。第二类为 Carbon Free 碳标识，是首个针对碳中和产品开发的碳标签，由华盛顿的 Carbon Fund（碳基金）公司推出并负责日常管理，其核算准

则为 Carbon Fund 公司基于 LCA 自行推出的碳足迹协议。评价复审工作每年定期进行,由第三方认证机构负责组织。目前,Carbon Free 碳标识实施的对象主要包括服装、糖果、灌装饮料、电烤箱、组合地板等。第三类为气候意识碳标签 (Climate Conscious),由 Climate Conservancy 公司推出,并负责管理及评价,是基于全生命周期评价方法确立核算准则。气候意识碳标签不是以具体数字来区分产品碳含量的多少,而是将碳标签的等级从高到低依次划分为金、银、铜,等级越高,产品的碳排放量也就越低,从而引导消费者在购买过程中选择碳等级高的产品和服务,培育低碳消费的生活方式。

其中碳基金公司在推动碳标签认证制度过程中表现突出。碳基金公司 (Carbonfund.org) 是美国的碳减少和补偿的机构,成立于 2003 年,总部设在美国东部的马里兰州。Carbonfund.org 通过与超过 300 家企业 and 非盈利机构合作,其中包括 Discovery 频道这种有影响力的媒体,也有诸如 Dell、Lancome 等世界知名的跨国公司,开展宣传活动,让公众了解气候变化的危险,推动个人、企业和机构的环保和减排活动。它是芝加哥气候交易所 (Chicago Climate Exchange) 的成员和美国碳注册 (American Carbon Registry) 的发起成员之一。

碳基金公司的碳足迹计算采用美国环境署能源信息管理局以及其他主要来源的数据,开发了一套针对每个能源类别或能源使用的二氧化碳排放的评估方法。想要取得碳基金公司的 Carbon free 标签,需要符合其碳足迹产品认证协议 (Carbon Free[®] Product Certification Carbon Footprint Protocol)。Carbon free 证书是由碳基金及公共健康和安全组织 (The Public Health and Safety Organization, NSF) 联合推出的。NSF 负责证书的管理方面的事务,碳基金则负责证书的碳中和方面的管理。

碳足迹产品认证协议 (Carbon Free[®] Product Certification Carbon Footprint Protocol) 的目的是为 Carbon Free 认证产品的碳足迹的测定提供指南和范围。在这个协议中明确指出,为保证 Carbon Free 认证产品的碳足迹的一致性,计算碳足迹时需要使用以下三种方法之一:ISO 14044:2006《生命周期评价标准》和 PAS:2050《商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》或由世界资源研究所 (WRI) 及世界可持续发展工商理事会 (WBCSD) 等组织发布的《产品碳足迹评价方法》。同时,也提供了企业在创建生命周期评价时可用到的数据库:一是美国国家能源部可再生能源实验室 (National Renewable Energy Laboratory- NREL) 的美国生命周期清单数据库 (US Life Cycle Inventory Database),另一个是欧洲 LCA 平台 (European LCA platform)。产品上有 Carbon free 标识则表明该产品的碳足迹已透过碳抵减的方式抵消,且经过专业第三方团体认证,是碳中和的产品。

在碳标签制度立法方面,美国各州走在了联邦的前面。比如美国加利福尼亚州,2009 年出台的碳标签法案制定了一个由州空气资源委员会进行管理的碳足迹方案,通过引导企业自主选择加注碳标签的方式对在加州范围内出售的产品进行碳信息标准化管理。因为美国退出了《京都议定书》,美国联邦层面的立法一直处于空白,直到 2009 年众议院通过的《美国清洁能源和安全法案》和奥巴马政府上台后通过的《低碳经济法案》,才弥补了发展碳标签制度的联邦立法空白。

2.5 产品碳足迹评估与标识在韩国的发展

韩国低碳产品认证由承担Ⅲ型环境标志项目的韩国生态产品研究(KOECO)负责。2007年,10家韩国企业在政府碳标识示范项目下,对其产品赋予了碳标识。2009年2月韩国发布了《碳标签认证指南1、2、3》,并开始实施碳标识制度,运行模式为政府支持的市场化运行机制。

韩国的碳足迹核算标准包括ISO系列标准、PAS 2050、温室气体标准以及韩国Ⅲ型环境声明标准等。韩国产品碳标识标出来产品在生命周期(包括生产、营销、使用及废弃处置等阶段)的温室气体排放量。其标识包括两种类型,也可视为其低碳产品认证制度的两个阶段。其一为“温室气体排放量标志”,在标志上显示产品的碳足迹,目前,包括航空运输、TFT-LCD玻璃衬底、燃气锅炉、水过滤设备、洗衣机、衣柜、洗发液、豆腐等在内的产品和服务获得了该类碳标志。其二为“低碳”标志,对获得“温室气体排放”标志的产品达到国家有关碳足迹的最低消减目标时,可获得“低碳”标志。今后在积累一定行业数据之后,韩国会逐渐开展第二类“低碳标志”认证。

2.6 产品碳足迹评估与标识在瑞士的发展

为规范市场竞争秩序,实现产品和服务的优化升级,加速形成低碳消费社会,瑞士在2008年就推出了统一适用于产品和服务的Climatop碳标签,并以全生命周期评价方法为基础设定核算标准。

瑞士的碳标识是由企业自行发起的。瑞士最大的连锁超市Migros于2007年启动了产品碳标识项目。顾客可以在Migros的一些自有品牌的产品上找到认证机构Climatop授予的碳标识。该标识不仅展示产品的碳含量,而且还证明贴有碳标识的产品比同类产品的碳效率高20%。该项目所使用的碳足迹计算方法是由碳削减公司MyClimate负责的。MyClimate对Migros的产品使用了混合EIO-LCAs方法进行碳计算,既对每个产品的独特方面进行详细的生命周期分析,还使用全球生命周期清单数据库Ecoinvent对产品的一般特征进行分析和追溯。

目前,经Climatop标识核验的产品包括环保购物袋、有机原料蔗糖、奶油、洗衣液、洗衣粉、卫生纸、洗碗巾、电池等。

2.7 产品碳足迹评估与标识在法国的发展

与英国相比,法国的碳标签制度同样也是由政府主导,采取自愿原则,但是随着国民议会以立法的形式确立了产品碳足迹信息披露制度和相继出台的一系列强制性政策,使得法国碳标签制度比英国在某种程度上体现了一定的强制性。在碳标签制度立法出台之前,法国的企业就自行设计开展了碳标签方案,并且得到了政府环境和能源机构的支持。因其企业的性质,其应用不需要得到政府授权。2006年,卡西诺(Casino)作为法国著名的超市巨头,采用由Bio智能服务环境咨询公司(Bio IS)公司开发的生命周期计算方法推