

中美企业碳足迹核算方法对比

陈农乐

(湖北工业大学管理学院 武汉 430068)

【摘要】随着污染性工业的累积性发展,生态赤字日益严峻,二氧化碳排放过量便是严重问题之一。本文以美国国家足迹账户和中国生命周期法为例,通过对比研究中美在碳足迹核算具体方法、生命周期边界、碳足迹转移情况、预计碳排放确认以及碳排放因子设置方面的异同,为我国碳足迹核算体系的优化提出建议。

【关键词】碳足迹 核算方法 生命周期 全球足迹网络 碳排放 低碳经济

随着经济的迅猛发展,人类对生态系统的需求早已远远超出了生态圈再生能力。仅在2003年全球所需生物承载力就超出了地球可供能力的25%,生态赤字问题十分严峻,而大部分的生态赤字主要来自于二氧化碳排放。

碳足迹是衡量生态责任的最科学的标准。到目前为止,至少有15种不同的计划和方案来评价产品的碳足迹,如国际标准化组织(ISO)、世界资源研究所(WRI)、法国ADEME、英国标准协会(BSI)发布的《商品和服务生命周期温室气体排放评估规范》(PAS2050)等,不一而足。

美国全球足迹网络(GFN)早就于1997年尝试建立了第一个基于经济足迹测算体系,碳足迹即是其计算构架中6大要素之一。对于碳足迹会计核算标准建立较晚的中国而言,美国的碳足迹计算标准在其结构分类、测算方法上均有一定借鉴意义。

一、美国国家账户碳足迹核算方法

美国的全球足迹网络(GFN)赋权国家足迹账户(NFA)发布经济足迹和生物承载力年报。在2011年的年报中,NFA统计并计算了200多个国家和地区的经济足迹与生物承载力,而碳足迹就是组成NFA的计算构架的6大要素之一。

1. 碳足迹计算方式一。基于产成品的碳足迹计算公式如下(该计算方法详见本文第1项参考文献):

$$EF_p = \sum_i \frac{P_i}{Y_{N,i}} \cdot YF_{N,i} \cdot EQF_i = \sum_i \frac{P_i}{Y_{w,i}} \cdot EQF_i \quad (1)$$

式中: P 表示国内初级产品*i*所释放的二氧化碳总量; $Y_{N,i}$ 表示该国初级产品*i*平均碳吸收能力; $YF_{N,i}$ 表示生产初级产品*i*进入下游生产链生产进一步加工产品国家标准产量因数; $Y_{w,i}$ 表示生产初级产品*i*世界平均产量; EQF_i 表示用于生产初级产品*i*的土地种类(即林地)的等效系数。

式(1)中 $YF_{N,i}$ 是 $YF_{N,i}$ 和 $Y_{w,i}$ 的比率,因此等式的两种

变形形式计算结果应趋同。国家足迹账户(NFA)使用一个等式进行计算。

在执行式(1)的计算之前,还必须计算在国家足迹账户(NFA)中能跟踪到的各种派生产品的产量(Y_w)。初级产品与派生产品之间的关系由产品特定的萃取率表示。

派生产品的萃取率($EXTR_D$)用于计算其有效产量,计算公式如下:

$$Y_{w,D} = Y_{w,P} \cdot EXTR_D \quad (2)$$

式(2)中 $Y_{w,D}$ 和 $Y_{w,P}$ 分别表示派生产品和基础产品的世界平均产量。通常情况存下, $EXTR_D$ 只是派生产品和所需基础产品投入量之间的质量比率。这个比率作为派生产品的技术转换因子,在下列等式中由 TCF_D 表示。

在有些情况下,相同的基础产品能同时产出多种派生产品。例如,大豆油和豆饼(畜牧业)是同时从同一种基础产品中提取的,即大豆。在这种情况下,将基础产品再加工所生产的等量派生产品进行求和时就会导致重复计算。为何解决这个问题,基础产品的碳足迹必须在同时产出的多个派生产品中进行分配。对于派生产品D而言,萃取率的广义公式为:

$$EXTR_D = \frac{TCF_D}{FAF_D} \quad (3)$$

式(3)中的 FAF_D 表示足迹分配系数。这个等式通过TCF加权物价将基础产品的碳足迹在同时产出的多个派生产品之间分配。故此,派生产品的价格代表此派生产品对其基础产品生产的相对激励程度大小。这是国家足迹账户(NFA)整体构架中唯一以货币数据为标准来分配物理流的地方。此外,这种计算方法是建立在一个何时何地价格质量关系都是常数的假设之上,而这种情况在现实中几乎不存在。派生产品的足迹分配系数计算等式如下:

式(4)中的 V_i 表示同时生产的派生产品的市场价格。

在只有一个派生产品的生产链中, FAF_D 等于 1, 萃取率与技术转换因子相等。

$$FAF_D = \frac{TCF_D \cdot V_D}{\sum TCF_i \cdot V_i} \quad (4)$$

2. 碳足迹计算方式二。除了基于产成品的碳足迹计算方法之外, 国家足迹账户(NFA)以土地利用类型为标准将经济足迹的计算划分为 6 大方面, 其中碳足迹的计算以林地为基础, 因此碳足迹也能够以林地吸收量为途径进行计算。承载碳足迹的林地是国家足迹网络建立的经济足迹结构中所规定的唯一专门用来追踪废品的土地利用类型, 而废品是指二氧化碳。

碳经济足迹(EF_C)的计算公式与式(1)类似, 如下:

$$EF_C = \frac{P_C \cdot (1 - S_{Ocean})}{Y_C} \cdot EQF \quad (5)$$

其中: P_C 表示人类行为产生的二氧化碳年均量; S_{Ocean} 表示海洋吸收(或称为“隔离”)的人类行为产生的二氧化碳所占总体的比例; Y_C 表示世界平均每公顷林地年均二氧化碳吸收率。

以上便是国家足迹账户(NFA)所选用的最主要的两种碳足迹计算方式。国家足迹账户自 2010 年起与全球足迹网络(Global Footprint Network)合作, 并在合作的一年内对国家足迹账户足迹计算方法进行了修订, 其中包括数据整理的计算方法的更新、以土地利用类型为基础的计量向全球公顷(GH)为基础的计量转换的实现, 以及海洋吸收人类行为产生的二氧化碳比例的调节。

二、中国基于生命周期法的碳足迹核算方法

2010 年起, 中国为应对生态赤字和欧美出口壁垒制定了一系列对内、对外碳税; 中国目前碳计量方式甚至电子核算系统众多, 其中被广泛承认的是政府间气候变化委员会(IPCC)的基于生命周期法的碳足迹计量。

1. 基本原理。在生命周期理论中, 将企业碳足迹的核算分成采购阶段、生产阶段、销售阶段、报废阶段四个环节分别进行计量(罗春燕、文桂江, 2011)。由于每个环节在产品生产周期中技术需求不同, 每个环节参与作业的能源种类均有所不同, 因而产生的碳排放也不同。将生产全过程分阶段地分析产生碳排放来源, 可以使计算结果更加全面。

2. 核算公式。基于生命周期法的企业碳足迹实物量函数的一般表达式为:

$$F_C = (B_j + P_j + M_j + D_j + A_j) \quad (6)$$

其中: F_C 表示企业碳足迹实物量; B_j 表示采购阶段(Buying)、 P_j 表示生产阶段(Processing)、 M_j 表示销售阶段(Marketing)、 D_j 表示报废阶段(Disposing)中第 i 类排放源引起的第 j 类温室气体排放折算的二氧化碳当量的和; A_j 表示生命周期(Auxiliary)中辅助活动中所产生的碳足迹。

碳足迹实物量的价值量函数为:

$$M_C = (F_C, V_C) \quad (7)$$

其中: M_C 表示碳足迹价值总量, V_C 表示碳足迹实物量的单位价值量。

三、中美企业碳足迹核算方法对比研究

1. 生命周期边界。

(1) 美国环球足迹网络(GFN)。GFN 在其 2009 年发布的《经济足迹标准》中明确表示: 产品的生命周期是指其从生产到报废全过程, 而非仅仅是该产品生命周期的某一子集。

计量范围包括: ①原材料供应耗费, 例如生产、运输一吨钢材所产生的碳排放量。值得一提的是, 采购阶段所产生的碳足迹包括原材料在上游加工时所产生的碳排放, 这使得生产者对原材料的输入流的选择更加谨慎。②外延活动耗费, 包括维持生产活动运转所需的间接消费和耗用。如厂部工人上下班搭乘交通工具所产生的碳排放量。③生产耗费, 与此项经济活动相关的所有活动所产生的碳排放, 都包含于此项经济活动的碳足迹边界之内, 包括制造部门(如工厂)、管理部门(办公室)以及维持生产运作的其他部门的电力、水力等资源耗用间接占用的碳耗用量。④产品销售耗费, 包括将产成品送达消费者过程中所有活动产生的碳排放量, 如物流产生的碳排放量。⑤预计使用耗费, 包括消费者在使用产品过程中所产生的预计碳排放量。如汽车尾气中所含温室气体(如二氧化碳、二氧化硫)的碳排放折合量。⑥产品报废耗费, 包括产品停止使用至处置过程中所产生的碳排放总量。如汽车报废场所电力、水力等资源耗用间接占用的碳耗用量。⑦社会基础设施耗费, 包括该商品消费消费行为促使的社会基础设施建设所产生的碳排放总量。如汽车购买量激增而促使高速公路等交通设施修建所产生的碳排放量。

(2) 中国全生命周期法(LAC)。中国全生命周期法(LAC)的计量边界依据产品具体生产流程而定, 需要根据产品种类、生产工艺和生产类型等因素的变化进行相应的调整和补充。

宏观上可以分成四阶段, 包括: ①原材料采购阶段。包括将被投入生产过程的所有原材料产生的碳排放量, 如原材料运输过程中的碳排放, 运输途中的损耗。②产品生产阶段, 如原料加工产生的直接碳排放量、非流水线作业中半成品运输所产生的碳排放量, 以及保证企业生产活动正常运转过程中燃料、电力及其他能源所占用的碳消耗。③产品销售阶段, 如员工商务旅行搭乘交通工具所产生的碳排放, 货物装载及运输活动产生碳排放。④产品报废阶段, 包括产品停止使用直至清理处置期间产生的碳排放总量。

经过上述对比分析,我们不难发现中美碳足迹核算的生命周期边界存在如下差异:①中国生命周期边界是美国生命周期边界的子集。GFN认定的生命周期边界较LAC多了三个方面,分别是外延活动耗费、预计使用耗费和社会基础建设耗费。②中美碳足迹生命周期边界的起点不同。GFN将原材料在上游加工中的碳足迹纳入企业碳足迹核算范围,LAC边界则不包括原材料上游加工中的碳排放。这使得原材料为半成品或粗略加工产品时,中美企业碳足迹核中会产生数值差异,在其他条件不变情况下,LAC所计算出的碳足迹会小于GFN。

2. 碳足迹转移情况。根据产品生产流程,碳足迹转移情况将从原材料投入阶段、产品生产阶段分别叙述。

原材料投入阶段,GFN将原材料(也即是半成品或粗略加工材料)在上游生产环节所产生的碳足迹转移到产品的生命周期边界内,LAC边界则不包括原材料上游加工中的碳排放,使得碳足迹计量周期不完整,造成碳足迹计算结果的偏差(一般情况下是缩小)。

在产品生产阶段,GFN将包括维持生产活动运转所需的间接消费和耗用,如厂部工人上下班搭乘交通工具所产生的碳排放量,也纳入碳足迹核算范围。LAC边界则不包括生产活动运转所需的间接消费和耗用。全球足迹网络的边界包含内容更广泛,使得生产企业不得不关注与产品生产间接相关的碳排放。

3. 预计碳排放情况。预计碳排放主要发生在产品使用阶段、产品报废阶段和社会基础设施建设阶段。

在产品使用阶段,GFN将消费者在使用产品过程中所产生的预计碳排放量,如汽车燃尾气中所含温室气体(如二氧化碳、二氧化硫)的碳排放折合量,尾气中所燃烧未完全的碳氢化合物碳排放折合量,纳入产品碳足迹计算范围。在LAC中产品使用阶段的碳排放量整体缺失,碳排放的核算边界存在严重断层,产品碳足迹核算结果的科学性大打折扣。

在产品报废阶段,中美碳足迹核算内容均包括产品停止使用直至清理处置期间产生的碳排放总量。

在基础设施建设阶段,GFN将特定商品消费消费行为促使的社会基础设施建设所产生的碳排放总量纳入产品碳足迹核算范围。有助于全社会共同关注产品碳足迹,减少高能耗产品的消费,加速碳足迹核算体系化过程。LAC则并没有将基础设施建设碳排放纳入产品碳足迹核算范围内,虽理论上致使碳足迹核算内容有所欠缺,但结合碳足迹核算体系发展状况而言,是无可厚非的。

4. 碳排放因子情况。全球范围内,碳排放量单位值的公允计算方法之一即是燃料热值与碳排放因子的乘积。出于燃料纯度、燃烧工艺等硬性差异,各国的燃料热值虽略有差异,但由于是非理论缺陷所致,故不考虑。至此,导

致各国碳排放量差异的原因除了各国燃料耗用量的实际差异,还有碳排放因子的设置不同。

中国碳排放因子的设置来自政府间气候变化委员会(IPCC)2006年的统计数据,具体计算公式如下:原始系数:C排放系数×碳氧化因子×(44/12)×1 000(碳氧化因子=1);单位转换:CO₂原始系数×4 186.8×10⁻⁹×10⁻³;建议排放系数:单位转换排放系数×我国热值。

在GFN基于土地种类的碳足迹核算方法中,碳排放量单位值等于基于土地种类的产品碳排放系数与碳排放因子的乘积,其使用的碳排放因子来自美国能源信息管理局(EIA)。

四、中国碳足迹核算体系的建设方向

1. 生命周期边界延展化。中国碳足迹核算的生命周期边界存在严重缺陷。产品使用阶段的碳排放并未被纳入碳足迹核算范围,使得产品销售阶段和产品报废阶段之间出现断层,碳足迹核算不完整。将产品使用阶段的碳排放纳入到产品碳足迹核算范围内,有利于防止生产企业将碳排放量进行恶意转移;有利于强化生产企业责任意识、改进生产工艺,降低产品全生命周期的碳排量。

2. 核算方法本土化。中国的碳足迹核算方法是来自政府间气候变化委员会(IPCC)的生命周期法。虽然IPCC的生命周期核算方法比较科学,但并不是最适于中国的。GFN的碳足迹核算方法是以美国本土为核算对象而是指的,充分考虑了美国的生态环境与碳排放量的平衡关系,其设置相应的碳排放因子,区分不同的土地种类,使得林地成为保护力度最大的区域;关注美国区域环境,考虑到海洋对CO₂的吸收作用。中国的生命周期核算方法只有做到本土化,才能真实反映国家生态环境与碳排放量的关系,从而恰到好处地控制排放量,抑制生态赤字。

3. 碳排放数据库自主化。中国目前的碳排放数据绝大部分是来自政府间气候变化委员会(IPCC)统计数据库,还未能建立本国的自主统计数据库。建立碳排放数据库是进行碳足迹核算的基础,正确核算碳足迹是对碳排放数据统计和碳足迹核算边界正确性的监督。三者相辅相成,缺一不可。中国可以向欧美学习,使得计量与核算的方法完善,但在碳会计准则的建立、碳关税的核定、碳足迹数据库的建立、企业碳足迹透明化以及碳足迹计量的全国性普及以及教育工作上,中国必须自力更生。

主要参考文献

1. Accounting for demand and supply of the Biosphere's regenerative capacity: the National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. Ecological Indicators, 2013; 24

2. IPCC第四次评估报告:气候变化2007. 21世纪经济报道, 2007-04-18