

重点行业二氧化碳 排放统计方法研究 ——基于环境统计报表制度

董文福 傅德黔 景立新 唐桂刚 等 / 著

ZHONGDIAN HANGYE
ERYANGHUATAN
PAIFANG
TONGJI FANGFA YANJIU
JIYU HUANJING TONGJI
BAOBIAO ZHIDU

中国环境出版社

重点行业二氧化碳排放统计方法研究

——基于环境统计报表制度

董文福 傅德黔 景立新 唐桂刚 等著

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

重点行业二氧化碳排放统计方法研究: 基于环境统计报表制度/董文福等著. —北京: 中国环境出版社, 2014.4

ISBN 978-7-5111-1720-5

I. ①重… II. ①董… III. ①二氧化碳—排气—研究
IV. ①X511

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第025678号



出版人 王新程
责任编辑 张维平 宋慧敏
封面设计 金 喆

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街16号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67112738 (管理图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2014年6月第1版
印 次 2014年6月第1次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 12.25
字 数 260千字
定 价 46.00元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

从发达国家温室气体排放统计与监测在环境管理中日渐重要的地位，以及国内排放控制对统计监测工作的迫切需求看，我国相关的统计监测工作已经滞后，该项工作的“常态化”仅是时间问题。环境统计监测部门如何开展温室气体排放统计监测？已有的制度和程序需要做哪些调整与衔接？均需要有长期安排。

我国温室气体排放总量中二氧化碳（CO₂）排放量占据了绝对比例，从我国 CO₂ 排放结构看，火电、水泥、钢铁三个行业排放占主导地位，减排工作落脚点也应该放在这三个行业上。因此，要确定环境统计监测部门开展 CO₂ 排放统计监测工作的前期目标，即：①将 CO₂ 排放统计监测纳入环境统计体系。基于企业及地方报送的数据会成为国家今后总量控制、交易乃至环境监管数据的基础，立足于现有的统计监测制度和工作基础，建立一套统计监测方法与工具，首先对火电、钢铁、水泥行业 CO₂ 数据展开统计，积累有关经验，继而建立一套完整的温室气体统计监测制度和科学的方法论。②为相关环境管理决策和科学研究提供数据基础。目前国内研究人员在计算温室气体的排放量时，由于缺乏微观层面的活动水平数据，多采用 IPCC（International Panel on Climate Change）推荐的排放系数，这使得计算结果存在较大的误差和不确定性。若开展 CO₂ 的排放统计，就可获取工业企业尺度上的详细数据，从而为计算出符合中国国情的工业行业 CO₂ 排放系数提供翔实的数据基础，还能实现宏微观层面核算的排放结果之间的比较，有利于摸清我国 CO₂ 的排放量，为应对气候变化的环境管理决策提供支撑。

中国环境监测总站早在 2008 年就着手研究将温室气体纳入环境监测与统计的方法，并考虑进行试点。国内没有现成的经验，只能将发达国家的做法做参考，相关工作是在非常薄弱的基础上开展的。一套完整的统计监测指标体系需要经得起实践检验，由于形势紧迫，只能边研究、边试点；我国涉及温室气体排放的行业类型较多，优先考虑研究和试点那些排放量占据绝对地位的温室气体类型和重点污染源行业。因此，确定了理论研究、试点试验、扩大试点、调整与衔接、全国性统计试验的工作路径。

（1）理论研究阶段

2008 年起，环境统计监测部门开始参与环境保护部重点财政项目《温室气体排放统计核算与环境监管能力建设》研究，承担温室气体排放统计技术方法研究和重点行业排放统计试点。研究明确了首先选择火电、水泥、钢铁三个重点污染源工业行业与 CO₂ 进行研究和试点，工作任务包括总结发达国家与国际性组织的基本做法，从理论上、从排放统计指

标体系上进行研究。2008年年底,按照“排放源—排放过程—排放量理论计算方法—需要采集的指标”框架,从物耗、设备、工序、产能等方面确定了CO₂排放源的主体指标项,同时增加了企业信息和经营状况等辅助指标项,形成了火电、水泥和钢铁行业的CO₂排放统计表格。

(2) 试点试验阶段

2009年,将统计监测的理论指标体系按“符合环境统计工作的特点与要求”进行梳理,形成重点污染源行业CO₂排放统计指标体系,提出可填报、可核算的统计报表,供试点试验之用,目标是初步验证统计报表在实际工作中的可操作性,积累统计监测经验。确定西部城市——贵阳市作为试点试验城市,由贵阳市环境监测中心站配合完成试点研究工作。通过试点试验初步形成了水泥行业由原料、工艺、设备、中间与最终产品等7项40个指标构成的统计报表,火电行业由物耗、设备、工序、产能等27个指标构成的统计报表。钢铁行业计划在2010年开展试点试验工作。

(3) 扩大试点阶段

2010年,为完善试验阶段的指标体系和统计报表,研究人员选择南京市典型的火电、水泥、钢铁工业企业扩大试点,让企业进行填报,在填报过程中对于指标的可获取性、采集难度等进行评估,修订指标体系与报表,完善指标解释。为吸取国际现行CO₂排放统计方法的做法和经验,考虑与国际现行做法接轨,着重分析美国国家环境保护局(Environmental Protection Agency, EPA)、国际能源署(International Energy Agency, IEA)、国际钢协(World Steel Association, WSA)和世界可持续发展工商理事会(World Business Council for Sustainable Development, WBCSD)等国际组织的统计方法。

(4) 调整与衔接阶段

2011年,就“十二五”期间环境统计指标体系中的火电、水泥和钢铁三个重点污染源工业行业的《工业企业污染排放及处理利用情况》报表能否满足国内外主要的CO₂统计方法进行评估。在常州市选取若干典型企业进行排放量现场监测,一方面对试点采用的指标体系核算结果进行验证,另一方面对温室气体排放现场采样及实验室监测方法积累认识。研究人员通过扩大试点工作提出了基于《工业企业污染排放及处理利用情况》报表的三个重点污染源工业行业的统计监测指标体系和计算工具。

(5) 全国性统计试验阶段

2012年和2013年,就能否依据《工业企业污染排放及处理利用情况》数据库统计出火电、水泥和钢铁三个重点污染源工业行业的全国排放量,设计了环境统计数据审核方法,基于2011年和2012年上报的行业环境统计数据,计算出了三个行业的各企业、各省市及全国的排放总量与排放强度,并与国内外公开报道的CO₂排放数据进行了对比。最终提出了一套基于现有环境统计监测制度、根据重点污染源行业企业填报的《工业企业污染排放及处理利用情况》表格来统计CO₂排放量的方法论。2012年在杭州市对全国各省级环境

监测中心站负责环境统计工作的工作人员进行了培训, 以期为全面展开 CO₂ 排放统计监测进行人力资源准备。

本书是对上述 2008—2013 年研究工作的阶段性总结, 针对企业层级 CO₂ 排放统计核算工作的层级匹配、国际可比性、统计的可行性、核算的可操作性、结果的精准度等关键问题展开理论研究和实证分析。基本思想是: 首先, 从统计核算目标与内容、国家管理需求出发, 分析企业层级在我国三级统计核算体系中的定位, 使该层级的目标与内容与上两级匹配; 其次, 对发达国家、国际组织的统计核算方法进行比较研究, 找出共性与差异性及其对我国的启示, 使统计指标和核算方法不失国际可比性; 再次, 提出边界清晰、结构合理、指标简洁的统计指标体系和基于严密逻辑数据链的核算方程组, 与现有企业物料消耗和能源消费的台账记录、“十二五”环境统计报表相衔接; 最后, 从 2012 年和 2013 年环境统计数据库中抽取企业样本, 结合典型企业现场监测, 通过实证分析对理论方法进行验证或调整, 最终提出统计指标和核算方法。

本书主要包括以下 5 个方面:

(1) 基于环境统计报表核算与国家清单、地方清单的层级关系。分析企业统计核算与上两级核算在指标体系、数据标准、测算方法、结果运用等方面的逻辑关系, 确定该层级的总体框架、指标体系构架、数据标准、计算标准等。

(2) 国外统计核算方法对比及启示。对欧盟、美国、日本等主要发达国家与经济体以及 ISO (International Organization for Standardization)、国际能源署 (IEA)、国际钢协 (WSA)、世界可持续发展工商理事会 (WBCSD)、IPCC 等国际组织关于统计核算的制度安排、方法与流程等进行比较, 分析对我国的启示, 从而保证核算的国际可比性及国情差异性。

(3) 基于环境统计报表核算的指标体系、排放量计算和数据质量控制方法。提出边界清晰、结构合理、指标简洁的核算指标体系, 包括涉及计算的主体指标项以及反映企业基础信息的辅助指标项; 提出能够计算出排放量的方程组; 从数据链的逻辑性、计算指标的完整性、关键数据的合理性设计数据质量审核流程, 提高统计核算结果的精准度。

(4) 基于环境统计报表核算的制度安排。研究统计指标体系的数据可获得性、数据质量和数据缺口, 分析现有企业物料消耗和能源消费的台账记录、“十二五”环境统计报表对构建统计指标体系与实现统计核算过程的支撑能力, 提出三者相衔接方案, 从而保障统计核算的可操作性。

(5) 基于环境统计报表核算的实证分析。选择火电、水泥和钢铁三个重点行业, 从 2012 年和 2013 年全国环境统计数据库中抽样进行理论统计核算, 抽取典型企业结合监测部门现场监测, 对理论核算展开实证分析, 并在地区和国家层级上进行汇总。

全书共分为 8 章。第 1 章: 从国家与省级清单编制工作、重点行业排放统计实践和排放监测实践三个方面, 对国内重点工业行业 CO₂ 排放统计核算进展展开文献研究。第 2 章:

对欧盟、英国、日本、德国、美国、澳大利亚等发达国家或经济体的重点行业 CO₂ 排放统计监测实践进行综述研究。第 3 章：从物耗与产品、流程与设备、排放源与影响因素分析重点工业行业的 CO₂ 源，设计由主体项和辅助项两部分指标构成的理论统计指标体系供试点使用。第 4 章：基于我国“十二五”环境统计报表制度对重点工业行业企业填报和地区汇总的要求，提取统计 CO₂ 排放量的相关指标，分析该报表对国内外相关 CO₂ 排放统计核算方法的支撑能力，基于 C 元素迁移平衡构建基于环境统计报表的 CO₂ 排放统计指标体系。第 5 章：介绍环境统计报表支撑火电行业 CO₂ 排放统计案例。第 6 章：介绍环境统计报表支撑水泥行业 CO₂ 排放统计案例。第 7 章：介绍环境统计报表支撑钢铁行业 CO₂ 排放统计案例。第 8 章：探讨 CO₂ 排放统计核算与监测数据如何服务于环境管理决策工作。参考文献列出了近年来的国内外相关研究。

本书适合从事工业行业 CO₂ 排放统计与核算研究的科研人员、环境统计与监测系统的工作人员、对温室气体排放与监管有兴趣的企业、政府官员、NGO 工作者和公众阅读，也可作为相关领域研究生的教辅材料。本书仅代表作者观点，偏颇、不当、失误之处敬请读者指正。

作者

2013 年 12 月

目 录

导 言	1
1 CO ₂ 排放与重点污染源工业行业	1
2 CO ₂ 减排在环境统计监测工作中的重要性	1
3 CO ₂ 排放统计监测与环境统计监测部门工作的关系	2
4 开展 CO ₂ 排放统计监测面临的问题	3
5 CO ₂ 排放统计核算与监测的国内外形势	4
6 CO ₂ 排放统计核算工作趋势	4
1 国内重点行业 CO ₂ 排放统计监测进展	6
1.1 CO ₂ 排放统计实践	6
1.2 CO ₂ 排放统计理论研究	23
1.3 CO ₂ 排放监测实践	25
2 国外重点行业 CO ₂ 排放统计监测实践	28
2.1 美国	28
2.2 德国	31
2.3 英国	33
2.4 日本	39
2.5 澳大利亚	42
2.6 欧盟	47
3 重点行业 CO ₂ 排放示踪指标与基础算法	51
3.1 火电行业 CO ₂ 排放源	51
3.2 水泥行业 CO ₂ 排放源	58
3.3 钢铁行业 CO ₂ 排放源	66
3.4 重点行业 CO ₂ 排放统计指标选择	73
4 基于环境统计报表制度的 CO ₂ 排放量统计方法	83
4.1 火电行业统计指标体系与核算方法	83
4.2 水泥行业统计指标体系与核算方法	90
4.3 钢铁行业统计指标体系与核算方法	97

5	火电行业 CO ₂ 排放统计案例	113
5.1	环境统计数据质量审核	113
5.2	企业层级计算	117
5.3	汇总层级计算	125
5.4	计算结果讨论	129
6	水泥行业基于环境报表统计 CO ₂ 排放案例	132
6.1	环境统计数据质量审核	132
6.2	企业层级计算	136
6.3	汇总层级计算	142
6.4	计算结果讨论	149
7	钢铁行业基于环境报表计算 CO ₂ 排放案例	152
7.1	环境统计数据质量审核	152
7.2	企业层级计算	153
7.3	汇总层级计算	166
7.4	计算结果讨论	167
8	CO ₂ 排放统计监测数据应用服务	169
8.1	国内环境管理服务	169
8.2	国外环境管理服务	170
	参考文献	180
	后记	188

导 言

1 CO₂排放与重点污染源工业行业

GHG (Greenhouse Gas) 是指大气中那些吸收并重新放出红外辐射的自然的和人为的气态成分, 包括水汽、二氧化碳、甲烷、氧化亚氮等。根据《京都议定书》, 需要控制二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄)、氧化亚氮 (N₂O)、氢氟碳化合物 (HFCs)、全氟碳化合物 (PFCs) 和六氟化硫 (SF₆) 6 种 GHG, 其中, CO₂ 被广泛认为是产生温室效应并导致全球气候变暖的主要气体。观测数据表明: 其体积分数已从工业革命以前的 280×10^{-6} 上升到近年的 367×10^{-6} , 增加了 25% 以上。

1994 年《中国国家 GHG 清单》报告了 CO₂、CH₄ 和 N₂O 三种 GHG 的排放, 总排放量为 36.50 亿 t 二氧化碳当量, 其中 CO₂、CH₄ 和 N₂O 分别占 73.05%、19.73% 和 7.22%。就 CO₂ 而言, 排放量为 30.73 亿 t, 其中能源活动排放 27.95 亿 t, 工业生产过程排放 2.78 亿 t。能源活动的 CO₂ 排放全部来源于化石燃料燃烧, 其中工业部门排放 12.23 亿 t, 占 43.75%, 能源生产和加工转换部门排放 9.62 亿 t, 占 34.40%。工业生产过程的 CO₂ 排放主要来源于水泥、石灰、钢铁和电石的生产过程, 前三者的比例达到了 98.57%。

2005 年《中国国家 GHG 清单》报告了包括 CO₂、CH₄、N₂O、HFCs、PFCs 和 SF₆ 6 种 GHG 的排放, 排放总量约为 74.67 亿 t 二氧化碳当量, 其中 CO₂、CH₄ 和 N₂O 分别占 80.03%、12.49% 和 5.27%。CO₂ 排放量所占比例比 1994 年提高了近 7 个百分点。在 2005 年全国 CO₂ 排放总量中, 能源燃料燃烧的工业 CO₂ 排放和工业过程的 CO₂ 排放之和占排放总量的 85%。

由此可见, 我国 CO₂ 排放主要来自重点污染源工业行业, 并且这种排放格局在 1994—2005 年一直没有改变, 并且比例呈上升趋势。

所以, 我国 GHG 减排工作需要首先抓 CO₂ 排放, 而控制重点污染源工业行业的排放是当务之急。

2 CO₂减排在环境统计监测工作中的重要性

当前, GHG 减排已成为全球性事务, 国际社会通过《联合国气体变化框架公约》和《京都议定书》规定了发达国家在 GHG 减排中应承担的义务。无论是从我国应承担的国际责任, 还是从我国可持续发展的内在要求来看, CO₂ 等 GHG 的减排已成为亟待解决的问题。随着“后京都时代”的到来, 我国必将成为全球履约中的焦点, 所承受的压力也将越来越大。

2009年11月25日温家宝总理在其主持召开的国务院常务会议上明确提出,中国政府决定到2020年全国单位国内生产总值CO₂排放比2005年下降40%~45%,作为约束性指标纳入“十二五”及以后的国民经济和社会发展中长期规划,并制定相应的国内统计、监测、考核办法加以落实。在2011年12月公布的《“十二五”控制温室气体排放工作方案》(国发[2011]41号)中明确提出:“大幅度降低单位国内生产总值二氧化碳排放,到2015年全国单位国内生产总值二氧化碳排放比2010年下降17%。控制非能源活动二氧化碳排放和甲烷、氧化亚氮、氢氟碳化物、全氟化碳和六氟化硫等温室气体排放取得成效。应对气候变化政策体系、体制机制进一步完善,温室气体排放统计核算体系基本建立,碳排放交易市场逐步形成”。

“十二五”期间CO₂排放强度将作为重点内容纳入国家“十二五”科技发展规划与相关技术产业发展规划,单位国内生产总值CO₂排放的指标将分配到各地或相关行业,该工作的基础是尽快建立GHG排放统计核算体系。国务院已明确提出:建立GHG排放基础统计制度,将GHG排放基础统计指标纳入政府统计指标体系,建立健全涵盖能源活动、工业生产过程、农业、土地利用变化与林业、废弃物处理等领域,适应GHG排放核算的统计体系,特别是重点排放单位要健全GHG排放和能源消费的台账记录。在加强GHG排放核算工作中,提出研究制定重点行业、企业GHG排放核算指南,构建国家、地方、企业三级GHG排放基础统计和核算工作体系,建立负责GHG排放统计核算的专职工作队伍和基础统计队伍。

由此可见,通过CO₂排放量统计来“摸清家底”,通过监测工作来跟踪减排目标,是我国应对气候变化的重要手段,且对企业、行业、地方和国家多个层面上的环境统计监测工作有着重大需求。

3 CO₂排放统计监测与环境统计监测部门工作的关系

早在1980年,国务院环资委与国家统计局联合建立了环境保护统计制度,在综合反映环境状况、服务于环境管理和科学决策方面发挥了重要作用。环境统计部门建立的包含二氧化硫、烟尘、粉尘和氮氧化物等废气的污染排放统计体系,为主要废气污染物的总量控制和“减排”提供了翔实的数据支持,为相关环境政策的制定、颁布和实施提供了可靠的统计基础,并为环境大气质量的改善作出了应有的贡献。应国内外GHG减排形势所驱,纳入GHG是环境统计监测部门加强和完善环境统计监测指标体系的重要内容。

目前,我国多个部门积极部署、展开了一系列工作,虽然各方的工作在导向、层面、目标、内容、方法和着力点上有所不同,但仍存在很大程度的相关性,其中最为基础的工作是GHG排放监测统计。环保部门牵头的重点污染源工业行业GHG排放统计与监测工作的目标是:基于环境管理在GHG排放方面的需求,使环境统计监测工作成为未来环境管理解决GHG问题的抓手,着眼于重点污染源工业行业和企业层面。

从统计与监测GHG排放的工作基础、统计效率、人力资源、制度保障等方面看,环境统计与监测部门无疑具有突出优势。环境统计与监测部门的污染物日常监测、统计报表覆盖了GHG排放源所在的各个行业,对与排放源及排放量相关的设备、原料、工艺等均有填报。由于GHG排放是伴生在主要污染物产生的过程之中,可以将与之相关的统计指

标纳入主要污染物或行业的环境统计报表,通过补充增加新指标,根据设定的统计核算公式即可计算排放量,从而无需另外制作一套统计报表。

环境统计与监测部门有遍布全国的监测站,日常工作就是负责收集、汇总、审核和管理全国及全球环境质量监测、污染源排放数据与信息。将 GHG 排放统计纳入环境监测站的工作范围,无需另起炉灶建设一套针对 GHG 排放的统计制度,有可靠的制度保障。与 GHG 排放相关的行业均在环保部门的日常监测之下,有统计员与企业环保工作联系人定期沟通,有稳定的机构和充足的人员兼顾完成填报 GHG 排放,有可靠的人力资源基础。

有此夯实的基础和便利条件,环境统计监测部门的工作必须尽快将研究 GHG 排放统计纳入工作实务中,使之成为企业、行业、地方和国家应对气候变化的重要抓手。

4 开展 CO₂ 排放统计监测面临的问题

从国内外应对气候变化工作发展形势来看,对 GHG 排放进行监测统计已经成为当前环境管理工作的重要抓手。无论是制定国家方案,还是制定行业部门、地区的排放规划或减排行动,从获取分析排放特征所需的基础数据,再到评价减排管理政策措施的效果,在履行国际公约或承诺和提高自身管理能力中,监测统计自始而终地发挥着重大作用。监测统计方法与工具是获得科学、准确的 GHG 排放统计数据的重要手段,科学、严格并具可操作性的制度设计又是有效开展监测统计的保障,这些方面的国内基础都十分薄弱。

(1) GHG 统计监测制度建设滞后

发达国家经验表明:监测统计制度是应对气候变化不可或缺的重要手段。只有拥有一套完善的、符合国情的、与国际接轨的排放监测统计体系,才能有助于履行已经参加或缔结的多个应对气候变化的国际公约或条约,提高缔约伙伴的信心,在一定程度上增加重大气候变化国际谈判话语权。与发达国家相比,我国 GHG 排放监测统计制度建设尤为滞后,一直以来是科研和实践工作的薄弱环节。长期缺乏执行联合国公约、开展环境外交所需要的大量科学的监测统计数据,对我国在复杂的国际局势中维护国家利益和发展大局造成严重障碍。

当前面临的紧要问题是:国内暂无配套的监测统计制度来保障我国向国际社会承诺的 2020 年 CO₂ 减排目标和国务院提出的将 CO₂ 排放量作为约束性指标的工作目标。

(2) 监测统计方法与工具研发十分薄弱

只有通过一套制度来规定排放计算标准和监测统计操作程序,政府才能精确地估计 GHG 排放量,从而达到监测和报告本国 GHG 排放水平的目的。由于起步晚,我国在 GHG 排放统计监测方法与工具研发方面的基础工作十分薄弱,主要是基于 IPCC 排放系数的宏观核算方法,与欧美发达国家的企业层面的 GHG 排放统计监测能力相距甚远。尽管有研究者已经在火电、水泥、钢铁等重点行业开展了排放因子研究与排放总量的测算,但由于方法论上存在的分歧和统计监测范围的差异,不仅覆盖行业少,而且计算精度不高,不可避免地产生“数字争议”。在国际上也是如此,例如,2010 年国际能源署发布的《CO₂ Emission from Fuel Combustion Highlights 2010》称中国已经成为全球最大的 CO₂ 排放国家,此报道数据的可靠性倍受我国的质疑。缺乏一套统一的统计监测方法与工具,不仅制约本国监控 GHG 排放的能力,也无从构建一个自愿的或强制性的 GHG 排放监控平台。

5 CO₂ 排放统计核算与监测的国内外形势

目前,多数发达国家均建立了较为完整的 GHG 排放统计与监测方法及其保障制度,为本国减排工作和国际谈判提供了坚实的数据基础。

美国方面,在应对全球气候变化中,联邦最高法院裁定二氧化碳(CO₂)属于大气污染物,EPA 应当监管 CO₂ 排放。2009 年,EPA 依据《清洁空气法》(Clean Air Act)所授予的权限起草了《GHG 排放强制报告制度》,为保证 GHG 排放报告的质量,报告单位需要按相关要求对排放进行统计与监测。可以安装并运行规定的在线监测仪器(Continuous Emission Monitoring System, CEMS),在无法获得、安装并运行规定的监测仪器时,获得 EPA 批准后,可采用其他统计与监测方法。

其他发达国家方面,英国通过《GHG 计量和报告指南》保证排放统计核算数据的准确性,同时规定碳排放贸易参与者都必须按照相关条例严格监测和报告企业每年的排放状况,并设有第三方独立认证机构进行核实。德国和欧盟将监测统计与排放许可有机结合,通过对每年气候保护执行情况进行跟踪监督的机制,以确保履行在欧洲和全球范围内的减排承诺。澳大利亚对计算 GHG 的排放、能源生产和消费的方法与标准进行了统一规定。日本规定 GHG 排放量较大单位需要计算排放量,向主管部门及时报告,并有义务向公众公布。

6 CO₂ 排放统计核算工作趋势

在由国家、地方、企业构成的我国三级 GHG 排放基础统计和核算工作体系中,企业层级的统计核算工作尚未开展,地方和国家层面立足于清单工作。国内对企业核算的边界、统计指标与核算方法、制度安排、数据质量控制等基础问题的研究仍处于探索阶段,集中在国外做法介绍及对我国的启示、我国企业核算的理论研究两个方面。前者文献报道十分广泛,涉及已实施企业核算的主要发达国家的自愿或强制报告制度;后者文献报道较少,基于物料衡算法或排放系数提出火电、水泥和钢铁行业及一般工业行业核算 CO₂ 排放量的一般方法。

国内已有研究基于物料平衡法或排放系数法提出了统计核算企业排放量的方法,以理论核算为主,实证分析缺乏现场排放监测数据支撑,核算过程缺少统计制度安排,与已有的企业台账和国家环境统计指标体系之间缺乏有效衔接,也没有考虑与国家 and 地方核算层级进行匹配。在实践当中,自 2009 年 11 月国务院提出到 2020 年全国单位国内生产总值 CO₂ 排放比 2005 年下降 40%~45% 的约束性目标,2010 年 2 月全国人大常委会确定了逐步建立和完善 GHG 排放的统计监测体系的行动目标,2011 年 12 月国务院发布的《“十二五”控制 GHG 排放工作方案》提出了加快建立我国三级 GHG 排放统计核算体系,2012 年国家发改委正式批准了上海等 7 个省(市)启动碳排放交易试点。然而,当前实践或借用 ISO 和国外的自愿与强制报告方法,或另起炉灶重做一套核算报表,没有与我国现行环境统计报表制度相结合,脱离了“一套表”为核心的工作思路,核算的工作效率、可行性和可操作性并不高。因此,针对现状和存在的问题开展基于环境统计报表的 GHG 排放

统计方法研究既是一个科学问题，同时也是国家管理需要解决的一个现实问题。

展开企业层级统计核算已是国际发展趋势和国内形势所迫，环境统计报表是企业级向上可汇总成地方和国家级，通过其能够理顺企业与国家和地方核算的层级关系，才能发挥出环境统计报表对我国 GHG 控制的支撑作用。核算方法应基于国情，兼顾国际做法取得较高的国际可比性，如此才能支撑国际气候谈判和企业排放交易。基于企业物料消耗能源消费的台账记录和“十二五”环境统计报表体系，通过梳理和调整，建立一套完整、规范的统计指标与核算方法，能提高不同层级 GHG 统计核算的工作效率和可操作性。

1 国内重点行业 CO₂ 排放统计监测进展

1.1 CO₂ 排放统计实践

1.1.1 清单编制工作

根据《联合国气候变化框架公约》要求，所有缔约方应按照 IPCC《国家温室气体（GHG）清单指南》编制各国的 GHG 清单，这是应对气候变化的一项基础性工作，用于识别出 GHG 的主要排放源，了解各部门排放现状，预测未来减缓潜力。我国清单编制工作在国家和省级两个层面展开。

1.1.1.1 国家级清单

（1）火电行业

火电行业估算采用了能源中的固定源燃烧方法，可采用 3 种层级方法。方法 1，根据国家能源统计和缺省排放因子的燃料燃烧。方法 2，根据国家能源统计及特定国家排放因子的燃料燃烧，如果可能，该因子源自国家燃料特性。方法 3，依据与特定技术排放因子共同使用的燃烧技术的燃料统计和数据，包括模式的使用和可获得的设备及排放数据。

①方法 1：排放估算需要各种燃料源类别、燃料量数据及缺省排放因子，计算公式如下。

$$\text{GHG 排放量} = \text{燃料消耗} \times \text{排放因子} \quad (1-1)$$

式中：GHG 排放量——按燃料类型给出的 GHG 排放量，kg；

燃料消耗——燃烧的燃料量，TJ；

排放因子（GHG 燃料）——按燃料类型给出的 GHG 缺省排放因子，kg/TJ。

对于 CO₂，假设氧化因子为 1。若按来自源类别的气体计算总排放量，按式 1-2 计算。

$$\text{GHG 的总排放} = \sum \text{燃料（排放）} \quad (1-2)$$

②方法 2：在方法 2 下，式中方法 1 缺省排放因子由特定国家排放因子替换，可以通过考虑特定国家数据进行制定，例如，使用的燃料碳含量、碳氧化因子、燃料属性和技术发展状况；排放因子可因时而异，对于固体燃料，应该考虑在灰烬中残留的碳量亦可随时间而变化。

③方法 3：方法 1 和方法 2 要求使用源类别的平均排放因子和各源类别的燃料组合，排放取决于使用的燃料类型、燃烧技术、运作条件、控制技术、维护的质量、用于燃烧燃

料的设备年龄。在方法 3 中, 将燃料燃烧统计分布于不同的可能性, 并使用取决于这些差异的排放因子, 使这些变量和参数与技术相关, 在此技术表示任何设备、燃烧过程或可能影响排放的燃料性能, 估算方法见式 1-3。

$$\text{各技术的 GHG 排放量} = \text{燃料消耗 (燃料、技术)} \times \text{排放因子} \quad (1-3)$$

式中: 排放量 (GHG 气体、燃料、技术) ——按燃料类型和技术给出的 GHG 排放, kg;

燃料消耗 (燃料、技术) ——每种技术类型燃烧的燃料量, TJ;

排放因子 (GHG 气体、燃料、技术) ——按燃料和技术类型给出的 GHG 排放因子, kg/TJ。

当某种技术燃烧的燃料量无法直接了解时, 可通过基于源类别的技术参数的模型进行估算。

燃料消耗 (燃料、技术) = 燃料消耗 (燃料) × 渗透 (技术), 其中渗透 (技术) 为给定技术占据的全部源类别的比例, 该比例的确定可以依据输出数据, 如产生的电能, 这可确保各种技术间利用的差异得到适当分配。

(2) 水泥行业

水泥生产中的 CO₂ 产生于生产熟料。熟料是一种球状中间产品, 磨细后与少量硫酸钙 [石膏 (CaSO₄ · 2H₂O) 或硬石膏 (CaSO₄)] 加入成水凝水泥。生产熟料时, 主要成分为碳酸钙 (CaCO₃) 的石灰石被加热或煅烧成石灰 (CaO), 同时放出 CO₂ 作为其副产品。CaO 与原材料中的二氧化硅 (SiO₂)、氧化铝 (Al₂O₃) 和氧化铁 (Fe₂O₃) 进行反应产生熟料 (主要是水硬硅酸钙)。非 CaCO₃ 的碳酸盐的原材料比例通常很小, 其他碳酸盐 (如果有) 主要以杂质的形式存在于初级石灰石原材料之中。在熟料制造过程中需要少量 MgO (通常为 1%~2%) 用做熔剂, 但是如果含量超过就会影响水泥质量。水泥可以完全由进口熟料制成 (磨成), 这种情况下水泥生产设施可以考虑为具有零过程相关 CO₂ 排放。在制造熟料期间可能会生成水泥窑尘 (Cement kiln dust, CKD), 排放估算应考虑与 CKD 有关的排放。

①方法 1: 通过使用水泥产量数据估算熟料产量。

$$\text{CO}_2\text{排放} = \sum [(M_{c_i} \times C_{cl_i} - \text{Im} + \text{Ex}) \times \text{EF}_{\text{clc}}] \quad (1-4)$$

式中: CO₂ 排放——来自水泥生产的 CO₂ 排放, t;

M_{c_i} ——生产的 i 类水泥重量 (质量), t;

C_{cl_i} —— i 类水泥的熟料比例, %;

Im——熟料消耗的进口量, t;

Ex——熟料的出口量, t;

EF_{clc} ——特定水泥中熟料的排放因子, tCO₂/t 熟料; 缺省熟料排放因子 (EF_{clc}) 经修正用于 CKD。

②方法 2: 熟料生产数据的使用。

$$\text{CO}_2\text{排放} = M_{cl} \times \text{EF}_{cl} \times \text{CF}_{\text{ckd}} \quad (1-5)$$

式中: CO₂ 排放——来自水泥生产的 CO₂ 排放, t;

M_{cl} ——生产的熟料重量（质量），t；

EF_{cl} ——熟料的排放因子，tCO₂/t 熟料；

CF_{ckd} ——CKD 的排放修正因子。

③方法 3：碳酸盐给料数据的使用。

取得生产熟料时消耗的碳酸盐类型（成分）和数量有关的非集合数据集、所消耗碳酸盐的各个排放因子可采用方法 3，计算过程减去 CKD 内未返回炉窑的任何未煅烧的碳酸盐，若 CKD 完全煅烧或全部返回炉窑，则此 CKD 修正因子为零，不包括未煅烧的 CKD 可能会稍微高估排放。此外，石灰石和页岩（原材料）还可能包含一定比例的有机碳（油原），而其他原材料（例如烟灰）可能包含碳残渣，这些物质会在燃烧时产生额外的 CO₂。

$$CO_2 \text{ 排放} = \Sigma(EF_i \times M_i \times F_i) - M_d \times C_d \times (1 - F_d) \times EF_d + \Sigma(M_k \times X_k \times EF_k) \quad (1-6)$$

式中：CO₂ 排放——来自水泥生产的 CO₂ 排放，t；

EF_i ——特定碳酸盐 i 的排放因子，tCO₂/t 碳酸盐；

M_i ——炉窑中消耗的碳酸盐 i 重量或质量，t；

F_i ——碳酸盐 i 中获得的部分煅烧比例，%；

M_d ——未回收到炉窑中的 CKD 重量或质量（即“丢失的”CKD），t；

C_d ——未回收到炉窑中 CKD 内原始碳酸盐的重量比例，%；

F_d ——未回收到炉窑中 CKD 获得的煅烧比例，%；

EF_d ——未回收到炉窑中 CKD 内未煅烧碳酸盐的排放因子，tCO₂/t 碳酸盐；

M_k ——有机或其他碳类非燃料原材料 k 的重量或质量，t；

X_k ——特定非燃料原材料 k 中总的有机物或其他碳的比例，%；

EF_k ——油原（或其他碳）类非燃料原材料 k 的排放因子，tCO₂/t 碳酸盐。

（3）钢铁行业

钢铁生产包括冶金焦生产、熔渣生产、芯块生产、铁矿加工、炼铁、炼钢、铸钢、鼓风炉燃烧、焦炉煤气等主要过程，发生在鼓风炉、碱性氧气炼钢炉（Basic oxygen furnace, BOF）或平炉（Open hearth furnace, OHF）。

①冶金焦生产

有 3 种方法估计源自焦炭生产的排放量：

其一：排放量 = 焦炭消耗量 × EF_{CO_2}

排放量——源自焦炭生产的 CO₂ 或 CH₄ 排放量，t；

焦炭——生产的焦炭量，t；

EF ——排放因子，tCO₂/t 焦炭产量或 tCH₄/t 焦炭产量。

其二：源自现场焦炭生产的 CO₂ 排放 = $[CC \times C_{CC} + \Sigma(PM_a \times C_a) + BG \times C_{BG} - CO \times C_{CO} - COG \times C_{COG} - \Sigma(COB_b \times C_b)] \times 44/12$

CO₂ 排放——在能源部门报告的源自现场焦炭生产的 CO₂ 排放量，t；

CC——现场综合钢铁生产设施中焦炭生产所消耗的炼焦煤量，t；

PM_a——其他过程材料 a 的数量，材料 a 的数量是在现场焦炭生产和钢铁生产设施中，用于焦炭和熔渣生产的消耗量，t；

BG——焦炉中消耗的鼓风炉气体量，m³（或其他单位，如 t 或 GJ）；