

浅析碳核算数据模型及碳核算标准化体系建设

郭建军 廖权虹* 白可 马明炜 冯嘉莘

(河南省标准化和质量研究院)

摘要: 文章立足于碳核算标准化体系的建立,梳理了碳核算相关政策背景及我国碳核算标准体系的发展,并整理出碳排放的主要核算方法和模型,基于上述研究,形成了碳核算标准化体系的基本构想,为碳核算标准化顶层设计提供决策依据,解决目前我国碳核算相关标准较为缺乏,尤其是分行业的碳排放核算标准体系尚未建立,全生命周期的碳核算边界不明晰,各行业没有统一的碳核算标准规范,难以适应碳核算自下而上层层采集、同一行业核算口径一致的要求等问题。核算体系标准化将在数据基础支撑、促进低碳发展、提升竞争力、国际接轨以及可持续发展等方面,对经济社会发展作出应有的贡献。

关键词: 碳排放,碳核算,碳核算数据模型,碳核算标准化体系

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2024.11.017

A Brief Analysis of the Carbon Accounting Data Model and the Construction of Carbon Accounting Standardization System

GUO Jian-jun LIAO Quan-hong* BAI Ke MA Ming-wei FENG Jia-shen

(Henan Institute of Standardization and Quality)

Abstract: Based on the establishment of the carbon accounting standardization system, this study summarizes the policy background of carbon accounting and the development of China's carbon accounting standards system, and the main accounting methods and models of carbon emissions. There is no unified carbon accounting standard and specification for various industries, and it is difficult to adapt to the requirements of bottom-up collection of carbon accounting and consistent accounting caliber in the industry. The standardization of the accounting system will make due contributions to economic and social development in terms of data base support, promoting low-carbon development, enhancing competitiveness, international integration and sustainable development.

Keywords: carbon emissions, carbon accounting, carbon accounting data model, carbon accounting standardization system

基金项目: 本文受河南省市场监督管理局科技计划项目“碳核算数据模型及碳核算标准化体系建设”(项目编号: 222400410239)资助。

作者简介: 郭建军, 硕士研究生, 副高级工程师, 研究方向为标准化技术应用。

廖权虹, 通信作者, 本科, 教授级高级工程师, 研究方向为标准化技术服务及物品编码技术。

白可, 硕士研究生, 助理工程师, 研究方向为标准化技术应用。

马明炜, 硕士研究生, 助理工程师, 研究方向为标准化技术应用。

冯嘉莘, 硕士研究生, 助理工程师, 研究方向为标准化技术应用。

0 引言

中共十八大以来,在习近平生态文明思想指引下,中国贯彻新发展理念,将应对气候变化摆在国家治理更加突出的位置,不断提高碳排放强度削减幅度,不断强化自主贡献目标,以最大努力提高应对气候变化力度,推动经济社会发展全面绿色转型,建设人与自然和谐共生的现代化。党的二十大报告提出“完善能源消耗总量和强度调控,重点控制化石能源消费,逐步转向碳排放总量和强度‘双控’制度”。这一报告进一步明确了碳排放控制的方向和目标。在2024年全国标准化工作要点中,关于碳达峰碳中和的政策文件占据了重要位置。随着上述政策的逐步实施,我国碳排放控制工作取得了显著成效,为实现碳达峰碳中和目标奠定了坚实基础。

碳排放数据模型标准体系的建设是全球气候治理的重要组成部分,有助于各国共同应对气候变化挑战,实现全球温控目标。在低碳经济转型过程中,拥有先进的碳排放数据模型标准体系将提升国家在国际市场上的竞争力,吸引更多的低碳技术和投资。通过标准体系的国际互认和合作,加强各国在碳排放数据监测、核算和报告方面的交流与合作,共同推动全球低碳经济的发展。同时,碳排放数据模型标准体系的建设与生态文明建设的目标高度契合,有助于推动经济社会全面绿色转型,实现人与自然和谐共生的美好愿景。

1 我国碳核算标准化工作的发展

我国碳核算标准化工作相较于国外研究总体起步较晚。前期工作主要由少数研究机构结合国家有关研究项目开展。其中,工业和信息化部电子工业标准化研究院承担了国家科技部“十二五”科技支撑计划有关项目,开展了有关电子信息产品碳足迹方法学的研究,并承担相关产品种类规则标准制修订项目,主要有两个委员会负责环境及温室气体领域的标准化工作,全国环境管理标准化技术委员会环境管理体系分技术委员会(SAC/TC 207)

主要负责环境管理体系等领域的标准化工作,对国际标准化组织环境管理技术委员会环境管理系统分技术委员会(ISO/TC 207)。此外,全国电工电子产品与系统的环境标准化技术委员会(SAC/TC 297)成立了温室气体排放工作组,开展相关研究。近3年,可以查询的相关研究见表1。

表1 近3年碳核算研究重要事件

事件名称	事件时间	事件概述
STIRPAT模型发布	2024年2月23日	STIRPAT模型作为一种新的环境影响评估视角和方法,预测人类活动对环境的影响
全国首个电力大数据碳排放模型研发成功	2022年11月14日	中国科学院等机构研发的电力大数据碳排放模型,为碳排放核算提供创新支持
“云计算碳排放核算模型”发布	不详(提及在2022可信云大会上)	中国信通院发布国内首个云计算碳排放核算模型,为行业提供标准和参考
生命周期评估LCA的发展	2024年6月27日	通过适当的模型和技术,对环境影响进行量化结果汇总和排序
温室气体核算方法学梳理	2021年9月18日	对国内外温室气体排放数量的核算方法进行了监督测量和核算两种方法的梳理

2 碳排放主要核算方法与模型

2.1 碳排放的主要核算方法

目前,碳排放量的核算主要有3种方式,这些方法各有优缺点,适用于不同的场景和需求。

2.1.1 排放因子法

特点:通过将活动数据(如:能源消耗量)乘以相应的排放因子来估算温室气体排放量。适用范围最广、应用最为普遍。本方法简单易懂,数据获取相对容易,是适用范围最广、应用最为普遍的一种碳核算办法,适用于国家、省份等较为宏观的核算层面。但排放因子的准确性对结果影响较大,且不同来源的排放因子可能存在差异,导致核算结果的不确定性。

计算公式:温室气体(GHG)排放 = 活动数据(AD) × 排放因子(EF)。

适用范围:适用于国家、省份、城市等较为宏观的核算层面。

数据来源:活动数据AD是导致温室气体排放的生产或消费活动的活动量,如:每种化石燃料的

消耗量、石灰石原料的消耗量、净购入的电量、净购入的蒸汽量等。排放因子EF是与活动水平数据对应的系数,包括单位热值含碳量或元素碳含量、氧化率等,表征单位生产或消费活动量的温室气体排放系数。EF既可以采用IPCC、美国环境保护署、欧洲环境机构等提供的已知数据(即缺省值),也可以基于代表性的测量数据来推算。有的模型中,也提出了根据需要乘以全球变暖潜值(GWP)。

2.1.2 质量平衡法

特点:基于具体设施和工艺流程,计算碳输入与输出的差值。这种方法基于物质的输入和输出进行计算,通过建立一个系统的物质平衡方程来确定排放量。它通常需要详细的输入和输出数据。该方法考虑了碳在原料、产品和废物中的流动,能够更准确地反映碳排放的实际情况。但由于需要详细的工艺流程和物料数据,数据获取和处理的难度较大。

计算公式:根据具体行业的特点,可能会涉及到复杂的化学反应方程式和物料平衡方程。一般计算方法为:二氧化碳(CO₂)排放 = (原料投入量 × 原料含碳量 - 产品产出量 × 产品含碳量 - 废物输出量 × 废物含碳量) × 44/12。

适用范围:适用于那些可以详细追踪物质流动的行业,如:化工、制药等。比较适用于企业碳排放核算,特别是在非化石燃料燃烧过程中。

2.1.3 实测法

特点:这种方法直接测量实际排放量,通常使用传感器和其他监测设备来获取精确的数据。该方法的优点是基于实际测量数据,结果准确度高,适用于需要高精度碳排放数据的场合。局限性是测量设备成本较高,且需要专业的操作和维护,如:烟气排放连续监测系统(CEMS)、大型工业设施的碳排放实时监测等。

计算公式:直接测量排放源的排放量,不需要预先设定的排放因子或平衡方程。

适用范围:适用于可获取高精度数据的场合,如:烟气排放连续监测系统(CEMS)。

2.2 不同行业的碳排放核算模型

2.2.1 钢铁生产企业温室气体排放核算

就具体业务而言,钢铁生产企业的温室气体排放主要涵盖以下4个方面。

(1)燃料燃烧排放:这包括钢铁生产企业内净消耗的化石燃料燃烧产生的CO₂排放。排放源分为固定源和移动源。固定源主要涉及焦炉、烧结机、高炉、工业锅炉等固定燃烧设备;移动源则包括用于生产和物料运输的车辆及厂内搬运设备等。

(2)工业生产过程排放:在钢铁生产的烧结、炼铁、炼钢等关键工序中,由于使用外购的含碳原料(如:电极、生铁、铁合金、直接还原铁等)和熔剂的分解、氧化过程,会产生额外的CO₂排放。这些排放源于原料中的碳元素在特定生产条件下的化学反应。

(3)净购入使用的电力、热力产生的排放:企业为生产活动而净购入的电力和热力(如:蒸汽),其生产过程中隐含产生的CO₂排放也需计入企业的排放总量。尽管这些排放实际发生在电力和热力生产企业,但作为电力和热力的使用者,钢铁企业需承担相应的排放责任。

(4)固碳产品隐含的排放:在钢铁生产过程中,部分碳元素会被固化在最终产品(如:生铁、粗钢)和副产品(如:以副产煤气为原料生产的甲醇等固碳产品)中。由于这部分碳并未直接排放到大气中,因此在计算企业温室气体排放总量时,应从总排放量中扣除这些固碳产品所隐含的CO₂排放。

因此,钢铁企业的碳排放量主要由以下模型进行计算:

$$E_{CO_2} = E_{\text{燃烧}} + E_{\text{过程}} + E_{\text{电和热}} - R_{\text{固碳}}$$

其中:

E_{CO_2} 为企业CO₂排放总量,单位为吨CO₂(tCO₂)。

$E_{\text{燃烧}}$ 为企业所有净消耗化石燃料燃烧活动,包括固定源(如:焦炉、高炉)和移动源(如:运输车辆)的化石燃料燃烧产生的CO₂排放量,单位为吨CO₂(tCO₂)。

$E_{\text{过程}}$ 为企业工业生产过程,特别是烧结、炼铁、炼钢等工序中外购含碳原料分解和氧化产生的CO₂排放量,单位为吨CO₂(tCO₂)。

$E_{\text{电和热}}$ 指净购入电力、热力产生的隐含排放,即

企业购买的电力和热力在生产过程中产生的CO₂排放量,单位为吨CO₂(tCO₂)。

R_{固碳}指产品中固化的碳所对应的CO₂排放,单位为吨CO₂(tCO₂),应从总量中扣除。

单项计算公式则按照排放因子法

$E_i = \sum_{i=1}^n AD_i * EF_i$ 进行计算。参数按照国家相关标准进行选择。

2.2.2 化工生产企业温室气体排放核算

化工生产企业以石油烃或矿物质为主要原料,通过化学或相关工艺生产多种化学制品及材料的企业。《京都议定书》附件A规定了6种温室气体,分别为二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亚氮(N₂O)、氢氟碳化物(HFCs)、全氟化碳(PFCs)和六氟化硫(SF₆)。《中国石油天然气生产企业温室气体排放核算方法与报告指南》中要求石油天然气生产企业同时核算CO₂和CH₄两种温室气体。

具体计算模型:化工生产企业的温室气体(GHG)排放总量等于化石燃料燃烧CO₂排放量,加上火炬燃烧排放量,加上各个业务环节的工艺放空排放和逃逸排放之和(其中非CO₂气体应按全球增温潜势,即GWP值,折算成CO₂当量),减去企业的CH₄和CO₂回收利用率,再加上企业净购入电力和净购入热力的隐含CO₂排放量。即:

$$E_{GHG} = E_{CO_2_燃烧} + E_{GHG_火炬} + \sum s (E_{GHG_工艺} + E_{GHG_逃逸}) s - R_{CH_4_回收} \times GWP_{CH_4} - R_{CO_2_回收} + E_{CO_2_净电} + E_{CO_2_净热}$$

其中:

E_{GHG}为企业温室气体排放总量,单位为吨CO₂当量;

E_{CO₂燃烧}为企业由于化石燃料燃烧活动产生的CO₂排放,单位为吨CO₂;

E_{GHG_火炬}为企业因火炬燃烧导致的温室气体排放,单位为吨CO₂当量;

E_{GHG_工艺}为企业各业务类型的工艺放空排放,单位为吨CO₂当量;

E_{GHG_逃逸}为企业各业务类型的设备逃逸排放,单位为吨CO₂当量;

s为企业涉及的业务类型,包括油气勘探、油气开采、油气处理、油气储运业务;

R_{CH₄回收}为企业的CH₄回收利用率,单位为吨CH₄;

GWP_{CH₄}为CH₄相比CO₂的全球变暖潜势(GWP)值。根据IPCC第二次评估报告,100年时间尺度内1吨CH₄相当于21吨CO₂的增温能力,因此GWP_{CH₄}等于21;

R_{CO₂回收}为企业的CO₂回收利用率,单位为吨CO₂;

E_{CO₂净电}为企业净购入电力隐含的CO₂排放,单位为吨CO₂;

E_{CO₂净热}为企业净购入热力隐含的CO₂排放,单位为吨CO₂。

单项计算公式按照排放因子法或其变式进行碳排放折算得到。比如:企业的化石燃料燃烧CO₂排放量基于企业边界内各个燃烧设施分品种的化石燃料燃烧量,乘以相应的燃料含碳量和碳氧化率,再逐层累加汇总得到。基本公式可以表述为:

$$E_{CO_2_燃烧} = \sum_j \sum_i (AD_{i,j} * CC_{i,j} * OF_{i,j} * 44/12)$$

式中,E_{CO₂燃烧}为企业的化石燃料燃烧CO₂排放量,单位为吨CO₂;i,j分别代表化石燃料的种类和燃烧设施序号;AD_{i,j},j为燃烧设施j内燃烧的化石燃料品种i消费量;CC_{i,j},j为设施j内燃烧的化石燃料i的含碳量;OF_{i,j},j为燃烧设施j燃烧的化石燃料i的碳氧化率,取值范围为0~1。

《中国石油天然气生产企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》还给出了火炬燃烧、油气开采业务工艺放空排放等相关业务的核算方法。

2.2.3 陆上交通运输企业温室气体排放核算

陆上交通运输企业温室气体排放也是碳排放的重要方面,《陆上交通运输企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》提供了多种核算方法,包括但不限于基于活动的排放因子法、物料平衡法、质量平衡法等,具体选择取决于排放源的特性和数据的可获得性。数据来源方面,鼓励企业采用官方发布的排放因子、企业实际监测数据、燃料消耗记录、电力热力账单等多种渠道相结合的方式,确保核算结果的准确性和可靠性。为确保核算数据的质量,指南强调了数据收集、处理、校验及审核的全过程管理。要求企业建立健全的数据管理制度

度,明确数据采集标准、存储方式、分析方法及校验流程,并定期对核算结果进行内部审核和外部审计,确保数据的完整性、准确性和可追溯性。

2.2.4 公共建筑运营单位(企业)温室气体排放核算

《公共建筑运营单位(企业)温室气体排放核算方法和报告指南(试行)》明确界定了温室气体、排放源、运营边界等关键概念,为后续的核算工作提供了清晰的框架。核算边界通常包括建筑能源消耗(如:电力、燃气、燃油等)、交通(如:员工通勤、物流运输等,视具体情况而定)、废弃物处理等直接排放和间接排放。核算方法上,采用“活动数据乘以排放因子”的基本方法,结合不同排放源的特点,分别制定了详细的核算步骤和计算公式。

2.2.5 机械设备制造温室气体排放核算

《机械设备制造企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》给出了机械设备制造行业温室气体(GHG)排放核算体系。

具体计算模型:机械设备制造企业的温室气体排放总量应等于边界内所有生产系统的化石燃料燃烧所产生的排放量、工业生产过程排放量,以及企业净购入的电力和热力产生的排放量之和。即:

$$E=E_{\text{燃烧}}+E_{\text{过程}}+E_{\text{热力}}+E_{\text{电力}}$$

其中,各单项按照排放因子法结合质量平衡法进行计算。例如:

$$E_{\text{燃烧}}=\sum_{i=1}^n (ADi * EFi)$$

$$ADi= NCVi * FCi$$

$$EFi=CCi * OFi * 44/12$$

对于电气设备或制冷设备生产过程中有SF₆、HFCs和PFCs的泄漏造成的排放,则可以用全球变暖潜势系数GWP进行折算。即:

$$ETDi=(IBi-IEi+ACi-DIi) * GWPi$$

对于数据,指南强调数据收集的完整性和准确性,提出数据校验和质量控制的方法,鼓励企业采用图表、图形等直观方式展示核算结果,为机械设备制造企业提供了全面、系统的温室气体排放核算与报告指导。

3 碳排放核算标准体系构建设想

3.1 建立碳排放标准化数据模型

全面梳理各行业碳排放的基础信息数据、产品碳排放数据及核算边界、组织机构碳排放数据及核算边界、项目碳排放数据及核算边界、园区碳排放数据及核算边界、碳排放减排技术数据等方面。

3.1.1 确定碳排放基础信息数据

碳排放基础信息数据主要包括相关组织机构的基本信息,如:名称、组织机构代码、地址、法人信息、联系方式等,用于碳排放主体的信息确认。

3.1.2 明确产品碳排放数据及核算边界

主要包括产品全生命周期分阶段的碳排放数据,如:产品的生产、包装、贮存、运输、销售、使用、销毁等各阶段产生的碳排放量的计算方法和验证方法、计算误差等内容,并依据产品的阶段对生产厂商、相关物流、经销商、消费者确定主体的核算边界。

3.1.3 明确组织机构碳排放数据及核算边界

主要包括组织机构日常工作及活动(产品生产不计入)中的碳排放数据,如:办公消耗、工作期间的人员交通及日常消费等活动产生的碳排放量的计算方法、验证方法、计算误差等内容,并对组织机构日常工作及活动确定相关主体的核算边界。

3.1.4 明确开展中项目碳排放数据及核算边界

开展中产生的碳排放数据,如:工程建设项目、单项市政工程项目等,包括项目运营中产生的碳排放量的计算方法、验证方法、计算误差等内容,并对项目运营中的相关主体确定核算边界。

3.1.5 明确园区碳排放数据及核算边界

主要包括各类园区如:工业园区、农业园区、生活园区等的碳排放数据,主要包括碳排放数据的计算方法、验证方法、计算误差等内容,并对各类园区的相关主体确定碳排放核算边界。

3.1.6 明确碳排放减排技术数据

明确碳排放减排技术数据,主要包括采用各种减排技术降低碳排放量的估算方法、估算误差、验证方法等。

3.1.7 探讨碳排放与经济效益关联数据

主要用于计算碳排放量与经济效益的关联程度,为研究全省GDP增长率与碳排放量密切度做好数据准备,从GDP增长的纬度估算河南省碳达峰的碳排放量。

3.2 搭建碳核算标准体系框架

碳核算标准体系由综合基础类标准分体系、核算方法标准分体系、核算边界标准分体系、验证方法标准分体系、碳核算工作标准分体系组成,具体如下。

3.2.1 综合基础类标准分体系

碳核算管理的综合性和基础性的标准,包括标准化导则、术语与缩略语定义以及数值与数据、量和单位、测量等综合基础类标准。综合基础类标准分体系框架如图1所示。

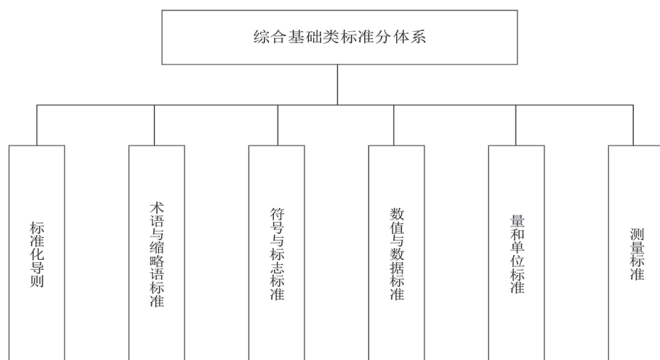


图1 综合基础类标准分体系

3.2.2 核算方法标准分体系

碳核算确定核算方法标准分体系,主要

包括产品、项目、组织机构、园区、减排技术核算、经济关联计算等方面的量化标准、核算标准及核算报告标准等。核算方法标准分体系框架如图2所示。

3.2.3 核算边界标准分体系

碳核算确定核算边界的相关标准,包括产品、项目、园区、组织机构、减排技术应用、经济关联计算等确定核算边界及核算边界评价改进的技术和评价标准等,如图3所示。

3.2.4 验证方法标准分体系

碳核算验证方法相关的标准,包括产品、项目、园区、组织机构、减排技术应用、经济关联计算等核算误差、核算评价与改进、核算质量控制标准等。验证方法标准分体系框架如图4所示。

3.2.5 碳核算工作标准分体系

开展碳核算工作相关的标准,包括工作体制、工作机制、工作评价等方面的标准。碳核算工作标准分体系框架如图5所示。

3.3 碳核算标准化体系搭建流程

3.3.1 成立专家研究组

组建行业专家,分别从标准化对象和标准化要素提取、碳核算标准化需求分析等方面对企业行业研究。搜集国内外关于企业行业碳排放、碳核算、碳减排等相关方案进行归纳、整理、分类、分析,为碳排放数据模型及标准化核算体系研究奠定基础。

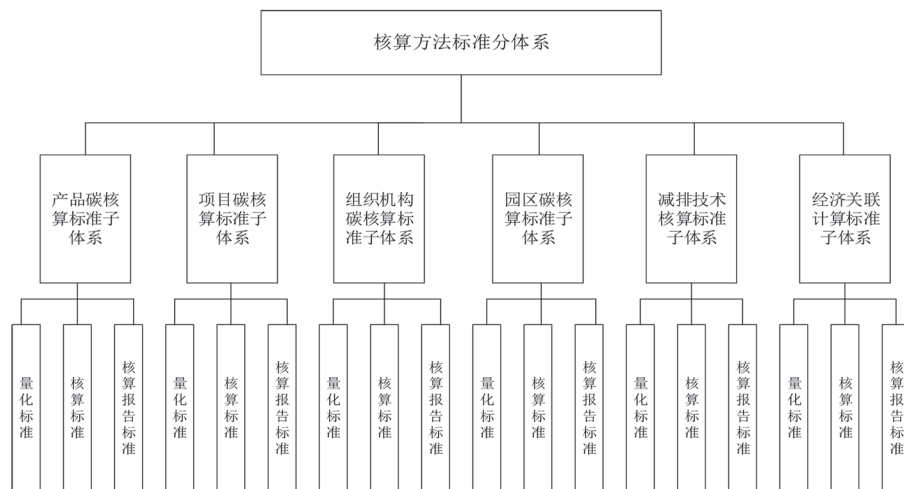


图2 核算方法标准分体系

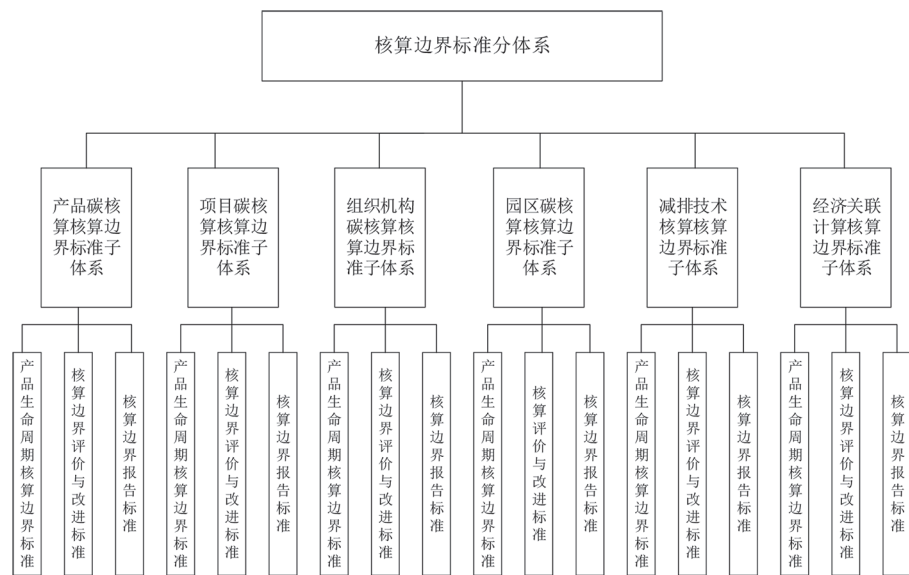


图3 核算边界标准分体系

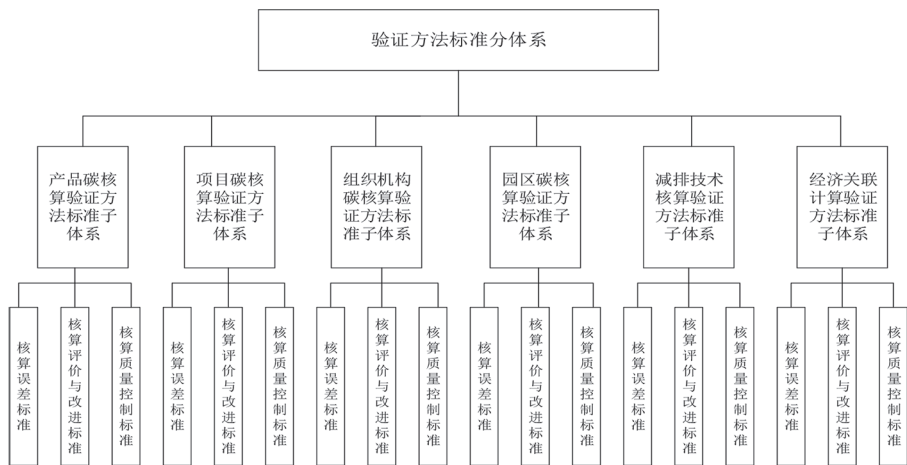


图4 验证方法标准分体系

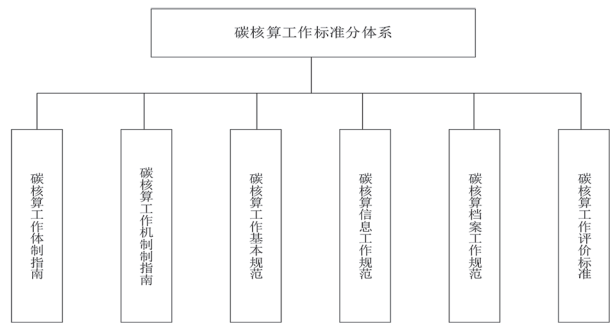


图5 碳核算工作标准分体系

贯彻以理论知识为基础，以社会实践为根本的思想，对各行业碳排放数据模型的建立方法和标准化核算体系重点内容进行调研分析，以此对标准化各环节进行整体布局和设计，保证研究体系结构的逻辑性、科学性、可行性。

3.3.3 定性与定量分析

采用定性定量综合分析的方法对碳排放数据模型的模型分类及组成、标准化核算体系的应用进行研究；确定碳排放数据模型的估算方法、核算边界、验证方法及标准化核算体系的具体内容。

3.3.2 系统分析

4 结 语

碳核算体系标准化对我国实现碳达峰和碳中

和目标将产生深远影响,碳核算体系作为评估组织或个人碳足迹、指导减排行动的重要工具,其标准化工作对于推动全球气候治理、促进经济与社会可持续发展具有重要意义。

参考文献

- [1] 阎西康,罗钦予,邱天,等. 基于人流量视角下的公共建筑碳排放模型与实证研究[J]. 河北工业科技, 2024,41(04):282-290.
- [2] 中国政府网. 国家发展改革委、国家统计局、生态环境部联合印发《关于加快建立统一规范的碳排放统计核算体系实施方案》[EB/OL].
- [3] 乔庆,谢小风,邓慧萍,等. 基于全生命周期的建筑加压调蓄系统碳核算方法研究[J]. 给水排水, 2024,60(04):107-116.
- [4] 郑玉蓉,王耀龙,张飞,等. 露天煤矿碳排放核算及碳中和实现路径:以魏家崮煤矿为例[J]. 中国矿业, 2024,33(05):80-88.
- [5] 张丽华. 基于LCA的农业生产活动碳、氮足迹核算模型及时空格局[D]. 济南: 山东师范大学, 2024.
- [6] 沈金君. 基于ISMA-SVR的工业园区碳排放预测模型研究与应用[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2024.
- [7] 刘博,王晓荣,刘伯约,等. 基于生命周期思想的油页岩原位开采碳排放核算[J]. 油气与新能源, 2024,36(01):54-58+65.
- [8] 周玮,潘峰,吴秀山. 分布式风电并网的全生命周期碳核算研究与分析[J]. 价值工程, 2024,43(03):28-30.
- [9] 孙颖,范金,贾卫国. 实现碳达峰的阶段性与有效路径研究——基于绿色GDP核算视角[J]. 工业技术经济, 2023,42(12):95-104.
- [10] 肖志雄,李伟. 基于生命周期评价方法的石灰石矿山碳排放核算模型研究[J]. 采矿技术, 2023,23(06):195-200.
- [11] 费伟良,牛乐,刘景洋,等. 工业园区碳排放核算与因素分解实证分析[J]. 环境工程学报, 2023,17(11):3744-3753.
- [12] 何大海,苟艺. 电动汽车碳减排核算模型分析及碳普惠应用[J]. 科技资讯, 2023,21(19):61-65.
- [13] 胡永焕,陈之浩,卞龙江,等. 面向电力物资的低碳物流体系研究[J]. 现代企业文化, 2023(27):21-24.
- [14] 徐宏祥,武威,刘利波,等. 黑岱沟选煤厂碳排放核算研究[J]. 煤炭工程, 2023,55(09):16-22.
- [15] 郑屹,吴玥玥,杨俊宴. 基于高精度地表覆被类型数据的市域尺度碳收支核算[J]. 风景园林, 2023,30(09):37-44.
- [16] 杨帆,杨秀. 基于核算模型的城市碳中和路径研究方法构建——以成都市为例[J]. 城市发展研究, 2023,30(06):113-123.
- [17] 刘军,潘天骐,赵慧慧,等. 基于主成分回归的老生活垃圾填埋场好氧修复过程碳减排核算模型[J]. 环境工程, 2023,41(09):133-139.
- [18] 刘铁牛,郭少华,张笛,等. 国内外工业碳排放数据平台建设现状与应用展望[J]. 能源环境保护, 2023,37(04):121-130.
- [19] 雷沁怡,刘翠玲,赵林燕. “双碳”目标下省级碳排放达峰监测体系的研究与实践[J]. 电气技术与经济, 2023(03):105-108.
- [20] 李海英,任凤玉,丁航行. 双碳背景下铁矿崩落法低碳高效开采理论模型构建[J]. 化工矿物与加工, 2023,52(05):18-23.
- [21] 李玲. 建筑全生命周期碳排放测算模型研究进展及展望[J]. 江西建材, 2023(02):394-396.
- [22] 毕延强. 天然纤维纺织产品生命周期碳储存核算方法及应用研究[D]. 上海: 东华大学, 2023.
- [23] 王进君,郭建华. 风煤富集区域的风-氢-煤化工多能耦合系统碳排放核算与低碳效益评估[J]. 高电压技术, 2023, 49(01):94-104.
- [24] 费杰,杨孟,张惠玉,等. 江苏省设区市尺度的碳排放核算及影响因素研究[J]. 三峡生态环境监测, 2023,8(02):26-35.