

经济预测分析

第 26 期

国家信息中心

2021年07月06日

各地区各行业能源利用碳排放 核算方法应用研究

内容摘要：本文对各地区、各行业能源利用碳排放核算方法进行了应用探讨。对于区域层面碳排放核算，考虑了各个地区的电力和热力碳排放因子时空动态变化、区域电力按照“生产地”原则计算碳排放、能源标准量转换系数动态变化等因素；对于行业层面碳排放核算，以工业行业为例，直接使用工业分行业终端能源消费量的标准量，不同时期电力和热力的碳排放采用动态间接核算等。该方法能够较为准确地核算各地区、各行业能源利用碳排放。

能源利用碳排放核算方法的不确定性因素主要包括排放监测时带来的相关误差、建立核算模型引起的不确定性、排放因子的核算存在错误或者误差、核算方法选择带来的不确定性、基础数据可获得性带来的误差、未知碳源的确定、使用减少二氧化碳气体排放技术给计量减排的部分数值带来的不确定性等等。为了减少碳排放核算的不确定性，提高核算的精确度，在对区域碳排放、区域工业碳排放、工业分行业碳排放三个层面的碳排放核算上，需要考虑碳排放系数和化石能源标准量转换系数随时间动态变化带来的影响，有必要对各地区、各行业能源利用碳排放核算方法进行改进。本文将以减少核算误差为原则，探讨省级区域层面上碳排放总量、省级区域层面上工业碳排放、工业行业层面上碳排放的核算方法。

一、区域碳排放核算方法

在核算区域碳排放时，重点考虑以下几个方面：

①二氧化碳排放主要来源于终端消费和能源加工转换中的火力发电与供热过程中的能源消费，其他能源加工转换过程（如洗选煤、炼焦、炼油及煤制油、制气、天然气液化、煤制品加工等）和运输、输配损失能源产生的二氧化碳排放较少，不予考虑。

②受区域能源消费结构不一、节能减排技术进步（如自主研发和技术引进）等因素的影响，各个地区的电力和热力碳排放因子差异较大，为更精确地核算区域电力和热力的二氧化碳排放，不从能源终端消费的电力和热力对二氧化碳进行核算，而是从能源加工转换过程中的火力发电与供热消耗的原煤、洗精煤、其他洗煤、型煤、焦炭、焦炉煤气、其他煤气、其他焦化产品、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气、炼厂干气、其他石油制品、天然气等 17 种排放因子相对稳定的能源品种（简称 17 种能源品种，下同）进行间接核算。

③ 区域电力既有本地火力发电也有外来供电,为更精确核算区域电力碳排放,按照“生产地”原则计算本省(区、市)调出量的碳排放,并减去外省(区、市)调入量的碳排放,电力调入调出量的碳排放因子采用当年全国火力发电碳排放因子。

④ 《中国能源统计年鉴》中的地区能源平衡表只公布实物量,虽然 17 种能源品种标准量转换系数相对比较稳定,但是由于受火力发电、热力、终端消费能源结构的影响,火力发电、热力、终端消费的能源标准量转换系数有所差异,为更精确地核算区域能源消费标准量,运用全国能源平衡表中的标准量与实物量对火力发电、热力、终端消费的能源标准量转换系数分别进行计算。

⑤ 终端消费各类能源的碳排放系数借鉴联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)的《国家温室气体清单指南》上的排放清单,各类化石能源的碳排放系数采用 IPCC 排放清单的碳排放系数。其中 IPCC 排放清单中无其他洗煤和型煤的碳排放系数,用国家发改委能源研究所的碳排放系数替代。

根据 IPCC 碳排放计算指南,结合我国区域能源统计数据的特点,本文对区域碳排放量的计算公式表述为:

$$\begin{aligned}
 C_{it} &= \frac{44}{12} \times \left(\sum_{j=1}^{17} Z_{ijt} + \sum_{j=1}^{17} D_{ijt} + \sum_{j=1}^{17} R_{ijt} + O_{it} - I_{it} \right) \\
 &= \frac{44}{12} \times \left(\begin{aligned} &\sum_{j=1}^{17} ZE_{ijt} \times \delta Z_{ijt} \times \eta Z_{ijt} + \sum_{j=1}^{17} DE_{ijt} \times \delta D_{ijt} \times \eta D_{ijt} \\ &+ \sum_{j=1}^{17} RE_{ijt} \times \delta R_{ijt} \times \eta R_{ijt} + (OE_{it} - IE_{it}) \times \delta E_t \times \eta E_t \end{aligned} \right) \quad (1)
 \end{aligned}$$

公式 1 中, C_{it} 为区域 i 在时间 t 的二氧化碳排放量, Z_{ijt} 为区域 i 第 j 种终端能源消费在时间 t 的碳排放量, D_{ijt} 为区域 i 能源加工转换中的火力发电过程中第 j 种能源消费在时间 t 的碳排放量, R_{ijt} 为区域 i 能源加工转换中的供热过程中第 j 种能源消费在时间 t 的碳排放量, O_{it} 为区

域 i 在时间 t 的电力本省(区、市)调出量的碳排放量, I_{it} 为区域 i 在时间 t 的电力外省(区、市)调入量的碳排放量。

Z_{ijt} 为区域 i 在时间 t 第 j 种终端能源消费量, δZ_{ijt} 为区域 i 在时间 t 第 j 种终端能源的标准量转换系数, ηZ_{ijt} 为区域 i 在时间 t 第 j 种终端能源的碳排放系数。 DE_{ijt} 为区域 i 能源加工转换中的火力发电过程中在时间 t 第 j 种能源消费量, δD_{ijt} 为区域 i 能源加工转换中的火力发电过程中在时间 t 第 j 种能源消费的标准量转换系数, ηD_{ijt} 为区域 i 能源加工转换中的火力发电过程中在时间 t 第 j 种能源消费的碳排放系数。

RE_{ijt} 为区域 i 能源加工转换中的供热过程中在时间 t 第 j 种能源消费量, δR_{ijt} 为区域 i 能源加工转换中的供热过程中在时间 t 第 j 种能源消费的标准量转换系数, ηR_{ijt} 为区域 i 能源加工转换中的供热过程中在时间 t 第 j 种能源消费的碳排放系数。 OE_{it} 为区域 i 在时间 t 的电力本省(区、市)调出量, IE_{it} 为区域 i 在时间 t 的电力外省(区、市)调入量, δE_{it} 为在时间 t 我国电力消费的标准量转换系数, ηE_{it} 为在时间 t 我国电力消费的碳排放系数。

终端能源消费、火力发电、供热过程中能源消费标准量转换系数以及区域间电力调入调出的电力标准量转换系数和碳排放系数采用以下公式计算:

$$\begin{aligned} \delta Z_{ijt} &= \frac{ZEB_{jt}}{ZES_{jt}}, \delta D_{ijt} = \frac{DEB_{jt}}{DES_{jt}}, \delta R_{ijt} = \frac{REB_{jt}}{RES_{jt}}, \delta E_{it} = \frac{ZEEB_{it}}{ZEES_{it}} \\ \eta E_{it} &= \frac{\frac{44}{12} \times \sum_{j=1}^{17} DE_{jt} \times \delta D_{jt} \times \eta D_{jt}}{ZEEB_{it}} \end{aligned} \quad (2)$$

公式 2 中, δZ_{ijt} 为时间 t 第 j 种终端能源的标准量转换系数, 对于不同区域来说, 在同一年份标准量转换系数相同, ZEB_{jt} 为时间 t 第 j 种终端能源消费的标准量, ZES_{jt} 为时间 t 第 j 种终端能源消费的实物量。

δD_{ijt} 为时间 t 火力发电过程中第 j 种能源的标准量转换系数, 对于

不同区域来说，在同一年份其标准量转换系数相同， DEB_{jt} 为时间 t 火力发电过程中第 j 种能源消费的标准量， DES_{jt} 为时间 t 火力发电过程中第 j 种能源消费的实物量。

δR_{jt} 为时间 t 供热过程中第 j 种能源的标准量转换系数，对于不同区域来说，在同一年份其标准量转换系数相同， REB_{jt} 为时间 t 供热过程中第 j 种能源消费的标准量， RES_{jt} 为时间 t 供热过程中第 j 种能源消费的实物量； δE_t 为时间 t 电力终端能源的标准量转换系数， $ZEEB_t$ 为时间 t 电力终端能源消费的标准量， $ZEES_t$ 为时间 t 电力终端能源消费的实物量。

ηE_t 为时间 t 电力碳排放系数，我国火力发电主要是利用燃烧燃料（煤、石油及其制品、天然气等）得到热能发电，其碳排放系数由火力发电过程中各能源消费量决定，受能源消费结构、电力生产技术等因素的影响，电力碳排放系数每年变化较大，因此有必要对不同区域、不同时间段的电力调入调出计算不同的碳排放系数，用能源加工转换中火力发电过程消费的各能源碳排放总量除以终端能源消费量作为电力碳排放系数 ηE_t 。

区域碳排放核算流程如图 1 所示：

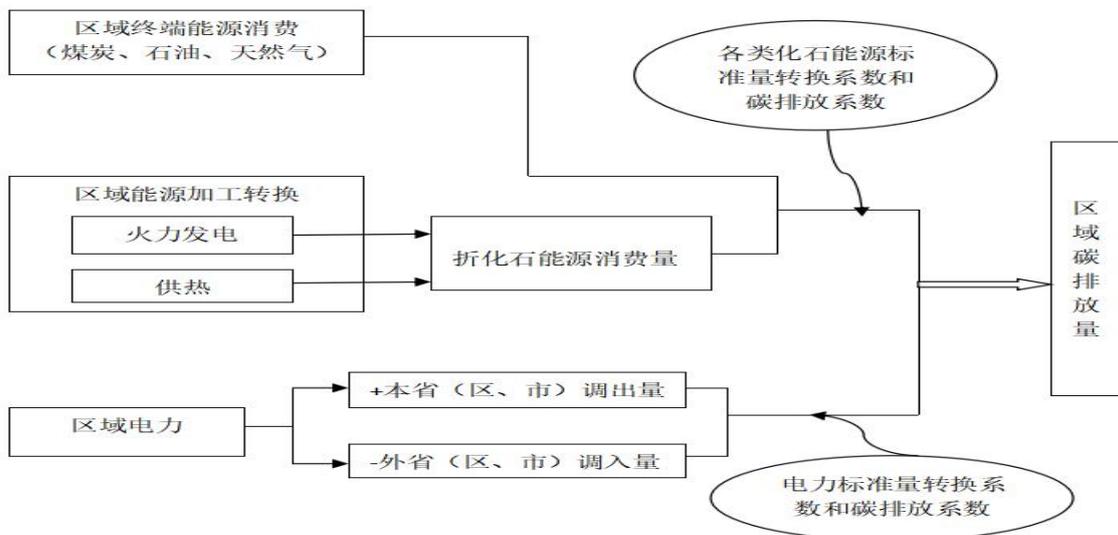


图 1 区域碳排放核算流程

中国 30 个省市（西藏除外）的 17 种能源品种的终端能源消费实物量、电力和热力终端消费量以及其火力发电、供热过程中的一次能源投入量实物量数据来源于《中国能源统计年鉴》中的《地区能源平衡表》。各类能源实物量的标准量折算系数通过历年《中国能源统计年鉴》中的《中国能源平衡表》中的实物量和标准量进行核算。

本省（区、市）调出量、外省（区、市）调入量数据来源于《中国能源统计年鉴》中的《地区能源平衡表》，电力调入调出量的实物量的标准量折算系数通过历年《中国能源统计年鉴》中的《中国能源平衡表》中的实物量和标准量进行核算，其碳排放因子采用当年全国火力发电碳排放因子，通过计算当年全国火力发电一次能源消费碳排放与电力消费量的比重作为电力碳排放因子。

二、区域工业碳排放核算方法

在核算区域工业碳排放时，重点考虑以下几个方面：

① 区域工业二氧化碳排放主要来源于终端消费（包括电力和热力），不考虑与工业相关的能源加工转换和运输、输配损失能源产生的二氧化碳排放。

② 受区域能源消费结构不一、节能减排技术进步（如自主研发和技术引进）等因素的影响，各个地区的终端能源消费中电力和热力碳排放因子差异较大，为更为精确地核算区域工业电力和热力的二氧化碳排放，从能源加工转换过程中的火力发电与供热消耗的 17 种排放因子相对稳定的能源品种对能源终端消费的电力和热力碳排放因子进行间接核算，进而对区域工业终端能源消费中的电力和热力二氧化碳排放进行较为精确地核算。

③ 与区域碳排放核算相同，运用《中国能源平衡表》中的标准量

与实物量对终端消费（包括电力与热力）的能源标准量转换系数分别进行计算。

④终端消费各类能源的碳排放系数与区域碳排放核算中的碳排放系数相同，电力和热力的碳排放采用动态间接核算。

根据 IPCC 碳排放计算指南，结合我国区域工业能源统计数据的特点，本文对区域工业碳排放量的计算公式表述为：

$$\begin{aligned}
 C_{it} &= \frac{44}{12} \times \left(\sum_{j=1}^{17} Z_{ijt} + D_{it} + R_{it} \right) \\
 &= \frac{44}{12} \times \left(\sum_{j=1}^{17} ZE_{ijt} \times \delta Z_{ijt} \times \eta Z_{ijt} + DE_{it} \times \delta D_{it} \times \eta D_{it} + RE_{it} \times \delta R_{it} \times \eta R_{it} \right)
 \end{aligned} \tag{3}$$

公式 3 中， C_{it} 为区域 i 在时间 t 的工业二氧化碳排放量， Z_{ijt} 为区域 i 工业第 j 种终端能源消费在时间 t 的碳排放量， D_{it} 为区域 i 工业能源终端消费中的电力消费在时间 t 的碳排放量， R_{it} 为区域 i 工业能源终端消费中的热力在时间 t 的碳排放量。

ZE_{ijt} 为区域 i 工业在时间 t 第 j 种终端能源消费量， δZ_{ijt} 为区域 i 工业在时间 t 第 j 种终端能源的标准量转换系数， ηZ_{ijt} 为区域 i 工业在时间 t 第 j 种终端能源的碳排放系数。

DE_{it} 为区域 i 工业能源终端消费中电力在时间 t 的消费量， δD_{it} 为区域 i 工业能源消费中电力在时间 t 的标准量转换系数， ηD_{it} 为区域 i 工业能源消费中电力在时间 t 的碳排放系数。

RE_{it} 为区域 i 工业能源终端消费中热力在时间 t 的消费量， δR_{it} 为区域 i 工业能源消费中热力在时间 t 的标准量转换系数， ηR_{it} 为区域 i 工业能源消费中热力在时间 t 的碳排放系数。

终端能源消费（包括电力和热力）标准量转换系数以及区域工业终端能源消费中的电力和热力碳排放系数采用以下公式计算：

$$\begin{aligned}
\delta Z_{ijt} &= \frac{ZEB_{jt}}{ZES_{jt}}, \delta D_{ijt} = \frac{DEB_{jt}}{DES_{jt}}, \delta R_{ijt} = \frac{REB_{jt}}{RES_{jt}} \\
\eta D_{it} &= \frac{\frac{44}{12} \times \sum_{j=1}^{17} DE_{ijt} \times \delta D_{ijt} \times \eta D_{ijt}}{ZDB_{it}} \\
\eta R_{it} &= \frac{\frac{44}{12} \times \sum_{j=1}^{17} DR_{ijt} \times \delta R_{ijt} \times \eta R_{ijt}}{ZRB_{it}}
\end{aligned} \tag{4}$$

公式 4 中， δZ_{ijt} 为时间 t 第 j 种工业终端能源的标准量转换系数，对于不同区域来说，在同一年份标准量转换系数相同， ZEB_{jt} 为时间 t 第 j 种工业终端能源消费的标准量， ZES_{jt} 为时间 t 第 j 种工业终端能源消费的实物量。

δD_{ijt} 为时间 t 工业终端能源消费中电力的标准量转换系数，对于不同区域来说，在同一年份其标准量转换系数相同， DEB_{jt} 为时间 t 工业终端能源消费中电力消费的标准量， DES_{jt} 为时间 t 工业终端能源消费中电力消费的实物量。

δR_{ijt} 为时间 t 工业终端能源消费中热力的标准量转换系数，对于不同区域来说，在同一年份其标准量转换系数相同， REB_{jt} 为时间 t 工业终端能源消费中热力消费的标准量， RES_{jt} 为时间 t 工业终端能源消费中热力消费的实物量。

ηD_{it} 为区域 i 工业能源消费中电力在时间 t 的碳排放系数，受区域工业能源消费结构、电力生产技术等因素的影响，不同区域不同时间电力碳排放系数差异较大，因此有必要对不同区域不同时间分别计算电力碳排放系数，用各地区能源加工转换中火力发电过程消费的各能源碳排放总量除以终端能源消费量的电力作为电力碳排放系数 ηD_{it} 。

ηR_{it} 为区域 i 工业能源消费中热力在时间 t 的碳排放系数，受区域工业能源消费结构、热力生产技术等因素的影响，不同区域不同时间热力碳排放系数差异较大，因此有必要对不同区域不同时间分别计算

热力碳排放系数,用各地区能源加工转换中供热过程消费的各能源碳排放总量除以终端能源消费量的热力作为热力碳排放系数 ηR_{ii} 。

区域工业碳排放核算流程如图 2 所示:

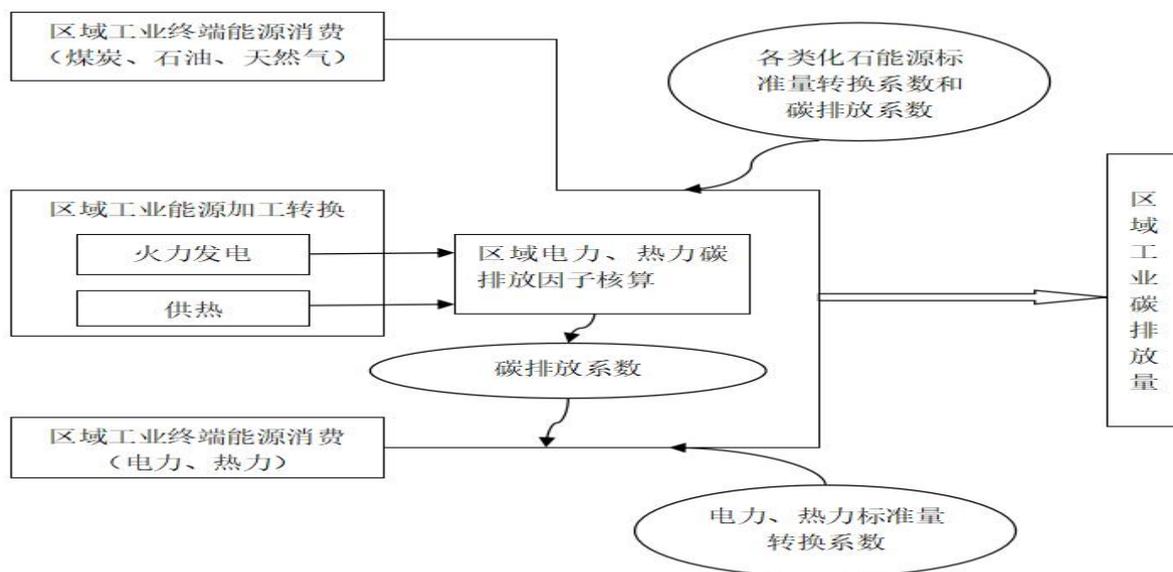


图 2 区域工业碳排放核算流程

三、工业分行业碳排放核算方法

在核算工业分行业碳排放时重点考虑以下几个方面:

①工业分行业二氧化碳排放主要来源于终端消费(包括电力和热力),不考虑与工业相关的能源加工转换和运输、输配损失能源产生的二氧化碳排放。

②受能源消费结构不一、节能减排技术进步(如自主研发和技术引进)等因素的影响,不同时期终端能源消费中电力和热力碳排放因子差异较大,为更为精确地核算工业分行业电力和热力的二氧化碳排放,从能源加工转换过程中的火力发电与供热消耗的 17 种排放因子相对稳定的能源品种对能源终端消费的电力和热力碳排放因子进行间接核算,进而对工业分行业终端能源消费中的电力和热力二氧化碳排放进行较为精确地核算。

③由于《中国能源统计年鉴》中有工业分行业终端能源消费量的标准量,因此无需运用全国能源平衡表中的标准量与实物量对终端消费(包括电力与热力)的能源标准量转换系数分别进行间接核算,直接使用工业分行业终端能源消费量的标准量更为精确。

④终端消费各类能源的碳排放系数与区域碳排放核算中的碳排放系数相同,不同时期电力和热力的碳排放采用动态间接核算。

⑤根据《国民经济行业分类标准》,将工业行业细分成41个两位数工业行业。

根据IPCC碳排放计算指南,结合我国工业分行业能源统计数据的特点,本文对工业分行业碳排放量的计算公式表述为:

$$\begin{aligned}
 C_{it} &= \frac{44}{12} \times \left(\sum_{j=1}^{17} Z_{ijt} + D_{it} + R_{it} \right) \\
 &= \frac{44}{12} \times \left(\sum_{j=1}^{17} ZSE_{ijt} \times \eta Z_{ijt} + DSE_{it} \times \eta D_{it} + RSE_{it} \times \eta R_{it} \right)
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

公式5中, C_{it} 为工业分行业 i 在时间 t 的二氧化碳排放量, Z_{ijt} 为工业分行业 i 第 j 种终端能源消费在时间 t 的碳排放量, D_{it} 为工业分行业 i 能源终端消费中的电力消费在时间 t 的碳排放量, R_{it} 为工业分行业 i 能源终端消费中的热力在时间 t 的碳排放量。

ZSE_{ijt} 为工业分行业 i 在时间 t 第 j 种终端能源消费量的标准量, ηZ_{ijt} 为工业分行业 i 在时间 t 第 j 种终端能源的碳排放系数。

DSE_{it} 为工业分行业 i 能源终端消费中电力在时间 t 消费量的标准量, ηD_{it} 为工业分行业 i 能源消费中电力在时间 t 的碳排放系数。

RSE_{it} 为工业分行业 i 能源终端消费中热力在时间 t 消费量的标准量, ηR_{it} 为工业分行业 i 能源消费中热力在时间 t 的碳排放系数。

工业分行业终端能源消费中的电力和热力碳排放系数采用以下公式计算:

$$\eta D_{it} = \frac{\frac{44}{12} \times \sum_{j=1}^{17} DSE_{jt} \times \eta D_{jt}}{ZDB_t} \quad (6)$$

$$\eta R_{it} = \frac{\frac{44}{12} \times \sum_{j=1}^{17} DSR_{jt} \times \eta R_{jt}}{ZRB_t}$$

公式 6 中， ηD_{it} 为工业分行业 i 能源消费中电力在时间 t 的碳排放系数，受能源消费结构、电力生产技术等因素的影响，工业分行业不同时间电力碳排放系数差异较大，因此有必要对不同时间分别计算电力碳排放系数，用全国能源加工转换中火力发电过程消费的各能源碳排放总量除以终端能源消费量的电力作为电力碳排放系数 ηD_{it} 。

ηR_{it} 为工业分行业 i 能源消费中热力在时间 t 的碳排放系数，受能源消费结构、热力生产技术等因素的影响，工业分行业不同时间热力碳排放系数差异较大，因此有必要对不同时间分别计算热力碳排放系数，用全国能源加工转换中供热过程消费的各能源碳排放总量除以终端能源消费量的热力作为热力碳排放系数 ηR_{it} 。

工业分行业碳排放核算流程如图 3 所示：

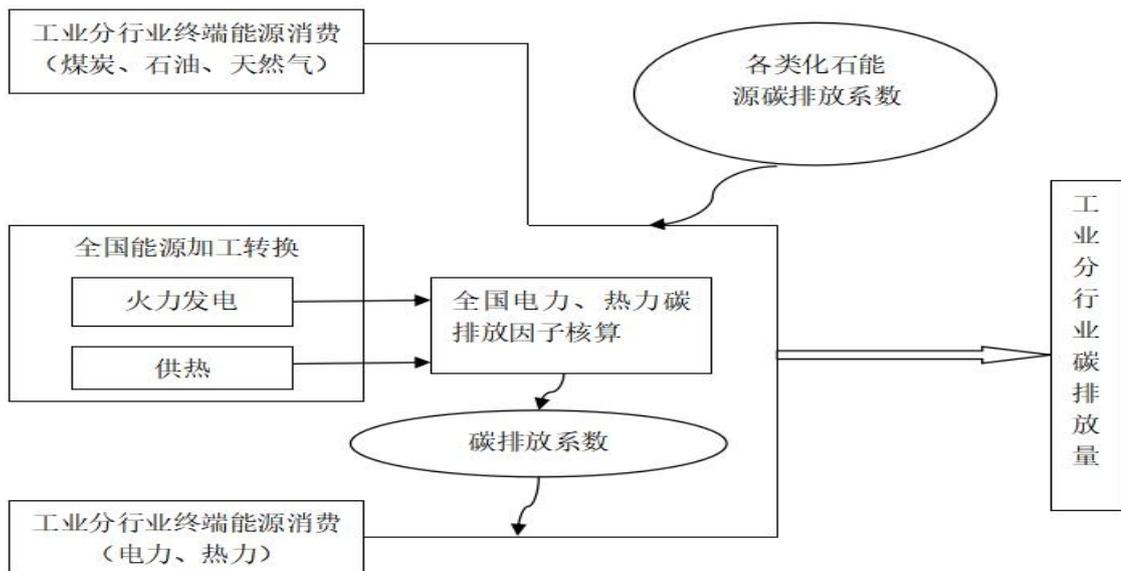


图 3 工业分行业碳排放核算流程

煤炭开采和洗选业、石油和天然气开采业等 41 个工业行业的原煤、洗精煤、其他洗煤、型煤、焦炭、焦炉煤气、其他煤气、其他焦化产品、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气、炼厂干气、其他石油制品、天然气、电力、热力等能源品种的终端能源消费实物量数据来源于《中国能源统计年鉴》中的《工业分行业终端能源消费量(标准量)》。各类化石能源的碳排放系数采用 IPCC 排放清单的碳排放系数。

(执笔: 肖宏伟)

编辑部地址: 北京三里河路58号国家信息中心预测部
联系电话: 68557142, 68557122
电子邮箱: gxfx@sic.gov.cn

邮编: 100045
传真: 68558210