

DOI:10.13205/j.hjgc.202303030

宁礼哲,张哲,蔡博峰,等. 2020年中国区域和省级电网温室气体排放因子研究[J]. 环境工程,2023,41(3):222-228.

2020年中国区域和省级电网温室气体排放因子研究

宁礼哲¹ 张哲^{2*} 蔡博峰^{2*} 周才华³

(1. 浙江吉利控股集团数字科技板块,北京 100176; 2. 生态环境部环境规划院碳达峰碳中和研究中心,北京 100043;
3. 中环联合认证中心,北京 100101)

摘要:在“双碳”目标背景下,温室气体排放核算以及数据质量管理工作的的重要性逐渐提升。用电排放是企业重要排放源,电网排放因子会直接影响核算结果。总结分析了国内电网排放因子研究情况,在2020年等公开数据的基础上,计算了2020年中国区域电网排放因子和省级电网排放因子,并与2010年数据进行对比分析。结果表明,2020年电网排放因子相对2010年电网因子下降趋势明显,且地区间差异增大。2020年省级电网排放因子与其对应区域电网排放因子偏差率平均值达到23%。与区域电网排放因子相比,省级电网排放因子核算结果更为精确可明显改善温室气体排放核算的数据质量,因此更适合用于估算用电隐含排放。

关键词:省级电网;区域电网;温室气体;排放因子

RESEARCH ON CHINA'S REGIONAL AND PROVINCIAL ELECTRICITY GHG EMISSION FACTORS IN 2020

NING Lizhe¹, ZHANG Zhe^{2*}, CAI Bofeng^{2*}, ZHOU Caihua³

(1. Zhejiang Geely Holding Group Digital Technology Sector, Beijing 100176, China;
2. Center for Carbon Neutrality, Chinese Academy of Environmental Planning, Beijing 100043, China;
3. China Environment United Certification Center, Beijing 100101, China)

Abstract: Facing with the “double carbon” target of China, the importance of greenhouse gas (GHG) emission accounting and data quality management has gradually increased. Electricity emission is an important emission source of enterprises, and the electricity emission factors will directly affect the accounting results. On the basis of the published date such as Yearbook 2022, the regional electricity emission factors and provincial electricity emission factors for 2020 were calculated and compared with the data in 2010. The results showed that the power emission factor in 2020 was decreasing compared with that in 2010, and the difference between regions was increasing. The average deviation rate of the provincial grid emission factors from their corresponding regional grid emission factors reached 23% in 2020. Compared with regional electricity emission factors, provincial electricity emission factors were more accurate in accounting results, and significantly improved the quality date for greenhouse gas emission accounting, so they were more suitable for estimating electricity implied emissions.

Keywords: provincial power grid; regional power grid; greenhouse gas; emission factor

0 引言

为应对全球气候变化引发的一系列环境危机,中

国提出了“2030年前二氧化碳排放达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和”的双碳目标,通过制度、政

收稿日期:2022-12-20

基金项目:国家自然科学基金项目“基于排放情景-空气质量模型的中国城市‘双达’评估方法研究”(72074154)

第一作者:宁礼哲(1996-),男,助理工程师,主要从事企业温室气体排放管理与咨询方面工作。ninglizhe@outlook.com

*通信作者:张哲(1996-),女,助理研究员,主要研究方向为温室气体排放核算和碳达峰碳中和研究。zhangzhe@caep.org.cn

蔡博峰(1977-),男,研究员,主要研究方向为温室气体清单方法学和碳达峰碳中和路径研究。caibf@caep.org.cn

策和技术等手段努力降低碳排放,实现高质量可持续发展^[1]。净购入电力隐含排放占组织碳排放总量份额显著^[2],在现有温室气体核算标准中^[3,4],净购入电力隐含排放一般基于排放因子法计算,即排放量=净外购电量×电网排放因子。净外购电量可以通过电表监测获取,目前常用的工业三相电能表精度已经达到0.5 S,其监测误差在±0.5%以内,不仅数据获取方便,且准确可靠。电网排放因子计算应当依据本地供应商提供数据,但很难追溯到用户用电的具体来源,供应商无法提供准确数据。在这种情况下,国家发展和改革委员会研究编制《中国发电企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》等24个行业碳排放核算,指南中电网平均排放因子核算采用电隐含排放。由于电网等级不同,分为区域电网和省级电网等,不同级别电网对应的发电厂所应用的发电技术结构不同,其排放因子也不同^[5]。

同时,电网排放因子的时效性值得关注。目前在企业温室气体排放核算中,仍有部分区域使用2016年甚至2012年国家发布的省级和区域电网排放因子,随着近年来大量平价可再生能源迅速并网发电,上述数据与实际情况偏差逐渐增加,既无法反映我国电力系统绿色低碳发展的水平,也不利于客观评估企业碳减排成效。

随着社会、政府、投资人对社会气候变化关注度上升,各种显性或隐形的碳排放政策对我国商品出口贸易造成一定困扰^[6]。空间精确、时效性显著的电网排放因子会准确量化我国企业和产品的碳排放,有助于绿色电力资源省市发展企业出口^[7]。采用统计年鉴中最新公布的2020年能源与电力数据等计算各省级行政区的电网碳排放因子,对于准确计算地区、组织碳排放非常重要。

1 中国电网排放因子研究现状

中国目前常用的电网排放因子主要分为4个体系,分别是:

1)生态环境部主持编制的《减排项目中国区域电网基准线排放因子》,该数据基于清洁发展机制(CDM)《电网系统排放因子计算工具》计算。主要用于开发符合CDM规则的中国重点减排领域CDM项目以及中国温室气体自愿减排项目(CCER项目)^[8]。计算电量边际排放因子(operating margin, OM)时只计算火力发电量,不包括水电、风电、太阳能和核电机组的供电,因此不适用于核算净购入电力隐含碳排放。

2)区域和省级电网平均排放因子。当前已有2010年区域和省级电网平均排放因子(2013年10月发布)^[9]、2011年和2012年区域电网排放因子(2014年9月发布)^[10]、2012年省级电网排放因子(2016年5月发布)。2019年4月生态环境部在印发的《关于商请提供2018年度省级人民政府控制温室气体排放目标责任落实情况自评报告的函》中,以附件形式列出2018年省级电网排放因子^[11]。该数据可以用于地区、行业、企业及其他单位核算电力消费所隐含的二氧化碳排放量,与国际常用的电网排放因子含义相同,包含了水电、核电等发电企业的贡献,并将电网排放因子的精度由区域电网提升到省级电网。同时,该数据不仅考虑从国外净购入电量引起的排放,还考虑区域电网间、区域电网和省级电网、省级电网之间的电力调入调出隐含的排放。但其仍存在数据相对陈旧,无法反映近年来我国电网低碳水平的情况。

3)从2021年开始生态环境部每年更新《企业温室气体排放核算与报告指南 发电设施》,用于指导纳入全国碳市场的电力行业温室气体排放核算工作,并在文件中给出了全国电网的排放因子。基于碳排放权交易公平性的角度考虑,该数据只提供全国电网排放因子,没有区域电力结构差异,与企业实际用电情况有较大偏差。

4)一些专家学者也对电网排放因子进行研究,侯萍等^[12]在2010年中国区域电网基准线排放因子基础上,考虑了电力生产技术对电网排放因子的影响,获得了适用于组织的电网排放因子。宋然平等^[13]基于《温室气体议定书》,从原始数据出发,提出了企业外购电排放因子,相较于之前研究,该数据不仅考虑了发电过程中CO₂排放,还考虑了CH₄和N₂O排放,首次得到区域电网二氧化碳当量(CO₂e)排放因子。马翠梅等^[6]在区域电网排放因子基础上进一步提出省级电网排放因子,不仅考虑了区域以及省级电网间电力交换的影响,还给出了区域向省级电网供电量的近似算法。

电网排放因子更新频率越密集、电网划分越细致,其准确性越高,代表性越强,越接近区域外购电力消费造成的实际碳排放,对指导组织减排方向具有重要意义。但是考虑到计算电网排放因子所需的电力和能源统计数据通常是每年更新,并且组织温室气体排放核算周期通常为自然年,因此基于自然年计算电力排放因子较为合适。

本文在国家发展和改革委员会《2010年中国区域及省级电网平均二氧化碳排放因子》中提到的区域和省级电网排放因子计算方法的基础上,采用最新公布的2020年能源和电力数据,计算得到2020年中国区域和省级电网温室气体排放因子。

2 计算方法

2.1 计算逻辑

区域与省级电网排放因子的计算方法类似,分为三步^[13,5]:1)确定电网边界,及其覆盖的地理区域。2)计算区域电网间电力净调度电量,确定区域电网间电力流向图。对于省级电网,不仅需要确定省级电网间的电力净调度量,还需要确定各省与其对应的区域电网间的电力交换量,其近似计算方法参照式(6)。3)从电力净调出区域或省份出发,按照电力调度流向逐次计算每个区域和省级电网排放因子。如果3个及以上电网之间存在环状送电情况,如图1所示,华中电网向华东电网净送出电力,华东电网向南方电网净送出电力,南方电网向华中电网净送出电力,则无法按照顺序逐一求解每个电网排放因子,可以利用排放量恒等关系构建方程,即电网总排放量=电网总用电量×电网排放因子=本地发电排放量+其他地区调入电量×调入地区电力排放因子,同时求解3个电网排放因子。

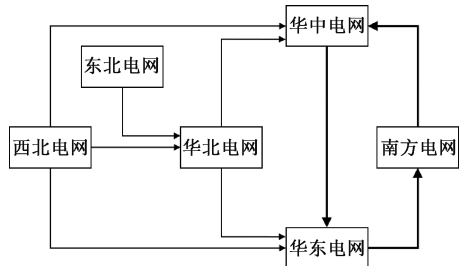


图1 2020年区域电网间电力流向关系

Figure 1 Diagram of power flow between regional power grids in 2020

2.2 电网边界确定

《2010年中国区域及省级电网平均二氧化碳排放因子》将区域电网边界统一划分为东北、华北、华东、华中、西北和南方区域电网,不包括西藏自治区、香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾省^[9]。其中,华北区域电网包含蒙西地区(除赤峰、通辽、呼伦贝尔和兴安盟外的内蒙古其他地区),东北区域电网覆盖蒙东地区(赤峰、通辽、呼伦贝尔和兴安盟)。目前多数数据源无法区分蒙东和蒙西地区,参考生态环境部公布的《2019年度减排项目中国区域电网基准

线排放因子》^[8],将内蒙古自治区划归为华北电网,不再单独区分蒙东和蒙西电网。因此,上述电网边界包括的地理范围如表1所示。

表1 各区域电网覆盖地域

Table 1 The geographical scope of China's regional power grids

电网名称	覆盖的地理范围
华北区域电网	北京市、天津市、河北省、山西省、山东省、内蒙古自治区
东北区域电网	辽宁省、吉林省、黑龙江省
华东区域电网	上海市、江苏省、浙江省、安徽省、福建省
华中区域电网	河南省、湖北省、湖南省、江西省、四川省、重庆市
西北区域电网	陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区
南方区域电网	广东省、广西壮族自治区、云南省、贵州省、海南省

按照省级电网边界与省级行政区域边界相一致的原则,将中国的省级电网划分为北京、天津、河北、山西、内蒙古、山东、辽宁、吉林、黑龙江、上海、江苏、浙江、安徽、福建、河南、湖北、湖南、江西、四川、重庆、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆、广东、广西、云南、贵州和海南电网。暂不考虑西藏自治区、香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾省4个地区的省级电网。

2.3 排放因子计算

电力排放因子是区域范围内,发电产生和调入电力隐含的温室气体排放量与其对应的电量的比值^[6]。其中,对于研究区域*i*,其电量应包含以下来源:区域*i*覆盖的地理范围内,扣除发电厂自用电量后的上网电量,即发电厂的净上网电量;区域*j*向区域*i*净送出的电量;对于省级电力排放因子计算,还需要统计区域电网向省级电网净送出的电量;*k*国向区域*i*净出口的电量。其中,区域*j*和区域*i*均为东北、华北、华东、华中、西北和南方区域电网之一,*k*为向区域*i*净出口电量的其他国家。

因此在计算温室气体排放因子时,应包含上述所有来源电量的温室气体排放。对于区域电网排放因子,计算公式见式(1):

$$EF_{grid,i} = [Em_{grid,i} + \sum_j (EF_{grid,j} \times E_{imp,j,i}) + \sum_k (EF_k \times E_{imp,k,i})] / [\sum_q E_{grid,i,q} + \sum_j E_{imp,j,i} + \sum_k E_{imp,k,i}] \quad (1)$$

式中: $EF_{grid,i}$ 为区域电网*i*的排放因子, $tCO_2e/(10^4 kW \cdot h)$; $Em_{grid,i}$ 为区域电网*i*覆盖的地理范围内发电产生的直接温室气体排放量(由式(2)计算得到), $t CO_2e$; $EF_{grid,j}$ 为向区域电网*i*净送出电量的区域电网*j*的温室气体排放因子, $t CO_2e/(10^4 kW \cdot h)$; $E_{imp,j,i}$ 为

区域电网 j 向区域电网 i 净送出的电量, $10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$; EF_k 为向区域电网 i 净出口电量的 k 国发电温室气体排放因子, $\text{t CO}_2\text{e}/10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$; $E_{\text{imp},k,i}$ 为 k 国向区域电网 i 净出口的电量, $10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$; $E_{\text{grid},i}$ 为区域电网 i 覆盖的地理范围内,应用 q 类型技术发电厂的年净上网电量[由式(4)计算得到], $10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$; q 为火电、水力发电、风力发电、核能发电以及太阳能发电之一。

其中,区域电网 i 覆盖的地理范围内,发电产生的直接温室气体排放量($Em_{\text{grid},i}$),可以通过化石燃料消耗量(FC_m)、燃料平均低位发热量(NCV_m)以及燃料排放因子(EF_m)乘积求得,如式(2)所示。

$$Em_{\text{grid},i} = \sum_m (FC_m \times NCV_m \times EF_m \div 100) \quad (2)$$

式中: FC_m 为电网 i 覆盖的地理范围内用于发电的化石燃料 m 的消费量, 10^4 t (固体或液体燃料)、 10^8 m^3 (气体燃料); NCV_m 为化石燃料 m 的平均低位热值, MJ/t (固体或液体燃料)、 $\text{MJ}/10^4 \text{ m}^3$ (气体燃料); EF_m 为化石燃料 m 的温室气体排放因子(CO_2 排放因子由式(3)计算得到), $\text{g CO}_2\text{e}/\text{MJ}$; m 为发电消费的化石燃料种类。

在计算不同种类温室气体排放量时,式(2)中的燃料排放因子(EF_m)来源不同:对于 CO_2 排放量,应基于燃料,选择中国本土数据,根据式(3)计算求得;对于 CH_4 、 N_2O ,由于缺少更精确数据,可以直接使用基于燃料热量的排放因子。

$$EF_m = CC_m \times OF_m \times \frac{44}{12} \quad (3)$$

式中: CC_m 为化石燃料 m 的单位热值含碳量, g/MJ ; OF_m 为化石燃料 m 的碳氧化率, %; $\frac{44}{12}$ 为碳到二氧化碳的换算系数。

在计算本区域内电厂的净上网电量时,应当扣除发电企业自身用电量,如式(4)所示:

$$E_{\text{grid},i,q} = E_{\text{plant},i,q} \times (1 - \text{PCR}_{i,q}) \quad (4)$$

式中: $E_{\text{plant},i,q}$ 为区域电网 i 覆盖的地理范围内,应用 q 类型技术的电厂年发电量, $10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$; $\text{PCR}_{i,q}$ 为区域电网 i 覆盖的地理范围内,应用 q 类型技术发电厂平均厂用电率, %。

省级电网排放因子计算方法与区域电网类似,仅增加1种电力来源——区域电网 i 向 p 省净送出的电量。省级电网排放因子计算如式(5)所示。

$$EF_p = [Em_p + \sum_n (EF_n \times E_{\text{imp},n,p}) + \sum_k (EF_k \times E_{\text{imp},k,p}) + (EF_{\text{grid},i} \times E_{\text{imp},i,p})] / [\sum_q E_{p,q} + \sum_n E_{\text{imp},n,p} + \sum_k E_{\text{imp},k,p} + E_{\text{imp},i,p}] \quad (5)$$

式中: EF_p 为 p 省电网的温室气体排放因子, $\text{t CO}_2\text{e}/(10^4 \text{ kW} \cdot \text{h})$; Em_p 为 p 省发电产生的温室气体直接排放量[参照式(2)], $\text{t CO}_2\text{e}$; EF_n 为向 p 省净送出电量的 n 省电网温室气体排放因子, $\text{t CO}_2\text{e}/10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$; $E_{\text{imp},n,p}$ 为 n 省向 p 省净送出的电量, $10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$; EF_k 为向 p 省净出口电量的 k 国发电温室气体排放因子, $\text{t CO}_2\text{e}/(10^4 \text{ kW} \cdot \text{h})$; $E_{\text{imp},k,p}$ 为 k 国向 p 省净出口的电量, $10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$; $EF_{\text{grid},i}$ 为区域电网 i 的温室气体排放因子, $\text{t CO}_2\text{e}/(10^4 \text{ kW} \cdot \text{h})$; $E_{\text{imp},i,p}$ 为区域电网 i 向 p 省净送出的电量[由式(6)计算得到], $10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$; $E_{p,q}$ 为 p 省,应用 q 类型技术发电厂年净上网电量[参照式(4)], $10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$; p 为北京、天津等30个省份之一; n 为向 p 省净送出电量的其他省份; k 为向 p 省净出口电量的国家; i 为 p 省所在区域电网; q 为火电、水力发电、风力发电、核能发电以及太阳能发电之一。

其中,区域电网 i 向 p 省净送出的电量按式(6)计算:

$$E_{\text{imp},i,p} = \max((E_{u,p} - E_p - \sum_n E_{\text{imp},n,p} - \sum_k E_{\text{imp},k,p}), 0) \quad (6)$$

式中: $E_{u,p}$ 为 p 省年度全社会总用电量, $\times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

3 数据来源

3.1 活动水平数据

发电燃料消费量(FC_m)数据源自《中国能源统计年鉴 2021》^[14];火电、水电、风电、太阳能发电量($E_{p,q}$)数据源自《中国电力统计年鉴 2021》^[15],核电发电量以及厂用电率($\text{PCR}_{i,q}$)数据源自《2020年电力工业统计资料汇编》^[16];跨省电量交换($E_{\text{imp},n,p}$)和进出口电量($E_{\text{imp},k,p}$),以及全社会总用电量($E_{u,p}$)数据源自《2020年电力工业统计资料汇编》^[16]。

3.2 燃料排放因子数据

3.2.1 燃料含碳量(CC_m)

燃料含碳量数据主要采用2011年发行的《省级温室气体清单编制指南(试行)》^[17]第1章(能源活动)的表1.5(公共电力与热力),少量数据采用“国家碳市场帮助平台”^[18]《2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories》^[19]和《中国温室

气体清单研究:2005》^[20]。

3.2.2 燃料碳氧化率(OF_m)

燃煤的碳氧化率按照 2022 年 12 月发布的《企业温室气体排放核算与报告指南 发电设施》^[21]中提供的最新数据,取 99%。其他燃料类型按照 2011 年《省级温室气体清单编制指南(试行)》^[17]中给出的能源行业平均氧化率:燃油(98%)和燃气(99%)。少量其他燃料,如其他焦化产品和石蜡等采用《省级温室气体清单编制指南(试行)》^[17]和《中国温室气体清单研究:2005》^[20]中数据。

3.2.3 燃料平均低位发热量(NCV_m)

燃料平均低位发热量数据主要摘自《中国能源统计年鉴 2021》^[14],部分数据来源于《公共机构能源资源消耗统计制度》(2017 年版)^[22]以及《2019 年度减排项目中国区域电网基准线排放因子》^[8]。

3.2.4 燃料的 CH_4 与 N_2O 排放因子

由于缺少中国本土数据,因此各类燃料的 CH_4 和 N_2O 排放因子采用《2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories》^[19]提供的缺省排放因子。

3.2.5 进口电量隐含的温室气体排放因子(EF_k)

2020 年中国与周边多国存在电力跨境交易,以向周边国家售电,支持边境地区发展为主。但仍有特殊情况,2020 年通过黑龙江省从俄罗斯联邦净购入 302804 万 $kW \cdot h$ 电、通过云南省从缅甸联邦共和国净购入 72694 万 $kW \cdot h$ 电^[16]。上述两国电网 CO_2 排放因子采用 International Renewable Energy Agency (IRENA)^[23]公布数据,俄罗斯联邦电网 CO_2 排放因子为 295 $g CO_2/(kW \cdot h)$,缅甸联邦共和国电网 CO_2 排放因子为 262 $g CO_2/(kW \cdot h)$ 。

3.2.6 全球升温潜值(GWP)

计算 CO_2e 使用《气候变化 2019:联合国政府间气候变化专门委员会第六次评估报告》^[24]中提出的 100 年全球变暖潜势值。 GWP_{CH_4} 取 29.8, GWP_{N_2O} 取 273。

4 结果分析

4.1 区域电网温室气体排放因子

2010 年和 2020 年中国区域电网排放因子对比如表 2 所示。可知: CO_2 是最主要的温室气体,平均占比为 99.59%;在六大区域中,电网排放因子的差距仍然较大,最高的华北电网[9.02 $tCO_2e/(10^4 kW \cdot h)$]是最低的南方电网的 2.16 倍。并且相比 2010 年数据,各

区域间极差从 4.27 扩增至 4.84,说明在 2010—2020 年区域电网低碳化差异仍在加大。排放因子标准差从 3.71 扩大到了 4.19,也表明区域低碳发展的不平衡性在增加。但是,排放因子的平均值已经从 2010 年的 8.52 $t CO_2e/(10^4 kW \cdot h)$ 降低到 6.55 $t CO_2e/(10^4 kW \cdot h)$,下降了 23%,表明我国发电结构正在逐渐向可再生能源转换,电力低碳化水平正在逐步提升。

表 2 2010 年和 2020 年中国区域电网排放因子对比

Table 2 Comparison of China's regional power emission factors for purchased electricity in 2010 and 2020

区域	2020 年				2010 年			
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2e	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2e
东北	8.57	84.27	119.39	8.60	10.08	112	163	10.81
西北	6.78	71.09	103.24	6.81	8.14	86	126	8.18
华中	4.33	42.83	59.88	4.35	6.66	69	99	6.69
华北	8.99	88.79	121.78	9.02	10.91	112	162	10.96
华东	6.28	63.94	86.62	6.31	7.74	81	114	7.77
南方	4.16	43.86	56.22	4.18	6.66	72	99	6.69

2010 年和 2020 年 CO_2e 排放量对比如图 2 所示。可知:相较 2010 年数据,2020 年各区域电网排放因子均有明显下降。其中,南方区域下降绝对值和相对比例均最大,10 年间下降了 38%,降至 4.18 $tCO_2e/(10^4 kW \cdot h)$,与南方电网实施西电东送战略、建设可再生能源远距离送电通道、构建“市场+计划”的西电东送机制等措施,大力促进可再生能源消纳有关^[25]。西北区域下降速率稍慢,仅有 17%,这可能与西北区域新增火力装机较多(42%)有关^[15,26]。

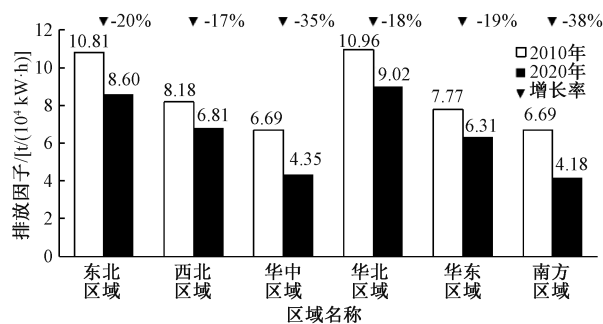


图 2 2010 年和 2020 年 CO_2e 排放量对比

Figure 2 Comparative diagram of CO_2e emission in 2010 and 2020

4.2 省级电网温室气体排放因子

与区域电网排放因子相同, CO_2 仍是省级电网主要排放的温室气体。但是省市间的差异更加明显,最高的河北省与最低的青海省之间排放因子 CO_2e 极差为 10.07 $t/(10^4 kW \cdot h)$,相差 11.5 倍,相较 2010 年有所增大。省级电网 CO_2e 排放因子平均值从

8.24 t/(10⁴ kW·h)降低至6.30 t/(10⁴ kW·h),排放因子下降幅度明显,除河北省有微增外,其余省份均有不同程度下降。降幅最大为云南省,达到73%;降幅最小的是广西壮族自治区,仅有1%,各省级电网平均降幅约为26%。河北省情况值得商榷。河北省发电煤气用量居全国之首,2020年消耗各类燃气1369.36亿m³,仅发电8亿kW·h时,总体热效率不足1%^[15,27],显著低于常见的“煤气锅炉+蒸汽轮机”发电机组30%~39%的热效率,与高效的CCPP机组热效率相差更为悬殊^[28]。同时,河北省排放因子与2010—2020年间河北省火电发电量占比从96.85%降到79.86%的现状相悖^[29],可能存在统计口径不一致情况。

中国省级电网排放因子整体呈现东北高,西南低的趋势,详见表3。电网排放因子较高的省份主要集中在东北和华北北部,均位于秦岭—淮河800 mm等降水量界线以北,水力资源匮乏,并且山西、内蒙古、宁夏、黑龙江均为我国重要煤炭产区,煤炭资源丰富、稳定、便宜,电力结构中煤电占主导,因此电网排放因子较高。值得注意的是,北京虽也位于该区域,但北京电网排放因子明显低于周边地区,主要原因是北京市推行天然气发电取代煤电。电网排放因子较低地区主要分布在西南地区,该地区河流密集且落差大,水电资源丰富,是当地主要电力来源,因此排放因子较低。

表3 2020年中国省级电网排放因子

Table 3 China's provincial power emission factors for purchased electricity in 2020 t/(10⁴ kW·h)

省份	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO _{2e}	省份	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO _{2e}
辽宁	8.85	85.41	119.46	8.88	江苏	7.28	72.56	95.58	7.30
吉林	8.85	90.22	132.25	8.89	浙江	5.44	57.47	80.37	5.46
黑龙江	8.51	87.47	127.57	8.55	安徽	7.98	80.05	115.72	8.01
北京	6.84	78.77	78.16	6.87	福建	5.09	52.48	72.89	5.11
天津	8.95	97.41	109.16	8.98	江西	6.41	62.27	88.17	6.44
河北	11.00	93.26	116.57	11.04	河南	7.56	76.93	110.64	7.59
山西	8.99	93.47	130.38	9.03	湖北	3.31	32.95	46.23	3.32
内蒙古	10.49	108.08	160.42	10.54	湖南	4.85	46.45	63.45	4.87
山东	7.85	78.38	112.52	7.88	重庆	4.42	43.52	59.87	4.44
陕西	6.76	72.31	99.52	6.79	四川	1.23	11.36	14.14	1.23
甘肃	4.59	47.33	70.16	4.61	广东	4.61	50.44	61.86	4.63
青海	0.96	10.05	14.98	0.96	广西	5.18	49.35	65.76	5.20
宁夏	8.53	88.40	130.43	8.57	海南	4.87	53.66	70.88	4.89
新疆	8.01	83.92	123.70	8.05	贵州	4.41	46.57	67.34	4.43
上海	5.74	59.62	73.62	5.76	云南	1.48	13.46	18.42	1.48

虽然省份电网排放因子有较强的地域特征,但相

同区域内不同省份的发电结构不同,导致本省电网排放因子与区域电网排放因子有明显差距。最突出的是青海省,青海省电网排放因子仅是西北区域电网排放因子的14.1%,这是因为青海省发电装机结构以水电(30%)、风电(21%)和光伏发电(40%)为主,2020年青海可再生能源发电量占总发电量比例高达86%^[15],但是西北电网内的新疆、宁夏、陕西均是我国重要煤炭生产基地,火电仍然是其当地主要电力来源。即使去除特例,省级与区域电网排放因子偏差率平均值达23%,中位数为16%。因此在核算用电排放时,使用省级电网排放因子与使用区域电网排放因子有接近20%的差距,无法展现不同省份低碳能源发展的成果,并不利于横向对比企业排放总量与强度等特征。

5 结论与展望

电网排放因子是核算用电隐含碳排放的重要基础。本文在前人基础^[5,13]上,将区域和省级电网排放因子数据更新到2020年,便于企业更加精确的核算自身用电排放。结果表明,不论使用区域电网排放因子还是省级电网排放因子,都能在一定程度上反映我国电网低碳发展的趋势,也表现出我国区域电力低碳发展速度和程度不均匀的现状,普遍呈现“南快北慢”“南高北低”的情形,并且地区间差异有进一步加大趋势。同时省级电网排放因子与区域电网排放因子差异仍然较大,差异最大地区接近90%,平均也有23%的差异。电网覆盖范围越小,相应的电网排放因子越接近单位电力实际排放^[27]。因此使用省级电网排放因子更能准确计算企业用电隐含碳排放。省级电网排放因子差异更加显著,能够有效推动企业和政府转变自身电力结构,积极开发低碳电力,提升发、用电效率,提升企业在市场中竞争力和地区对企业吸引力。

本研究有待改善的方向:

1) CH₄和N₂O排放因子取决于燃烧技术和工作条件,而在各燃烧装置和各段时期之间其差异很大^[19]。由于缺乏中国本土数据,本文采用《2006年IPCC国家温室气体清单指南》提供的缺省值,该数值可能与中国实际数据存在偏差。

2) 由于缺少西藏发电燃料消耗数据,目前仍然无法合理计算西藏电网排放因子。西藏通过多条输电线路与青海、四川等地相连,并实现向四川省供电。本文对四川省和华中电网从西藏自治区购入电量以

及购入电量隐含的排放均不纳入计算。这会导致四川省和华中电网排放因子与实际值存在偏差。西藏自治区火力发电量仅占自治区总上网电网 1.12%^[15],电力低碳化程度高,排放因子较小。西藏自治区向四川省净送出电量仅占四川发电量 0.14%,因此不会对本文得出的计算结果产生显著影响。

参考文献

- [1] 吴百苗,张一梅,栗帅,等. 基于 LCA 的污水处理方案碳中和综合影响评价[J]. 环境工程,2022,40(6):130-137.
- [2] 刘惠,蔡博峰,张立,等. 中国电力行业 CO₂ 减排技术及成本研究[J]. 环境工程,2021,39(10):8-14.
- [3] RANGANATHAN J, CORBIER L, BHATIA P, et al. The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard, Revised Edition [R]. Washington: World Resources Institute (WRI), World Business Council for Sustainable Development(WBCSD). 2004.
- [4] International Organization for Standardization(ISO). ISO 14064-1 Greenhouse Gases-Part 1: Specification with Guidance at Theorganization Level for Quantification and Reporting of Greenhouse Gas Emission and Removal[S]. 2018.
- [5] 马翠梅,李士成,葛全胜. 省级电网温室气体排放因子研究[J]. 资源科学,2014,36(5):1005-1012.
- [6] 任亚楠,田金平,陈吕军. 中国工业产品出口贸易及碳关税影响研究[J]. 中国环境管理,2022,14(6):100-109.
- [7] 吴必轩,钱国强. 揭秘:欧盟“碳关税”将如何处理间接排放与绿电使用[EB/OL]. (2022-12-23) <https://opinion.caixin.com/2022-12-23/101981267.html>.
- [8] 生态环境部. 2019 年度减排项目中国区域电网基准线排放因子[Z]. 2020.
- [9] 国家发展和改革委员会应对气候变化司. 2010 年中国区域及省级电网平均二氧化碳排放因子[Z]. 2013.
- [10] 国家发展和改革委员会应对气候变化司. 2011 年和 2012 年中国区域电网平均二氧化碳排放因子[Z]. 2014.
- [11] 生态环境部. 关于商请提供 2018 年度省级人民政府控制温室气体排放目标责任落实情况自评报告的函[Z]. 2019.
- [12] 侯萍,王洪涛,张浩,等. 用于组织和产品碳足迹的中国电力温室气体排放因子[J]. 中国环境科学,2012,32(6):961-967.
- [13] 宋然平,朱晶晶,候萍,等. 准确核算每一吨排放:企业外购电力温室气体排放因子解析[R]. 华盛顿:世界资源研究所,2013.
- [14] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴 2021[M]. 北京:中国统计出版社,2022.
- [15] 中国电力企业联合会. 中国电力统计年鉴 2021[M]. 北京:中国统计出版社,2021.
- [16] 中国电力企业联合会统计与数据中心. 2020 电力工业统计资料汇编[M]. 北京:中国电力企业联合会,2021.
- [17] 省级温室气体清单编制指南编写组. 省级温室气体清单编制指南(试行)[R]. 国家发展和改革委员会,2010.
- [18] 国家应对气候变化战略研究和国际合作中心. 全国碳市场百问百答[R]. 中国环境出版集团,2022.
- [19] Change IPOC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [M]. Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies,2006.
- [20] 国家发展和改革委员会应对气候变化司. 中国温室气体清单研究:2005[M]. 北京:中国环境出版社,2014.
- [21] 生态环境部办公厅. 企业温室气体排放核算与报告指南 发电设施[Z]. 2022.
- [22] 国家机关事务管理局. 公共机构能源资源消费统计制度[Z]. 2017.
- [23] International Renewable Energy Agency. Statistical Profiles[EB/OL]. <https://www.irena.org>,2022.
- [24] IPCC, Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2021.
- [25] 胡飞雄,周保荣,卢斯煜. 南方电网促进可再生能源消纳的实践及发展展望[J]. 中国电力,2018,51(1):22-28.
- [26] 《中国电力年鉴》编辑委员会. 中国电力年鉴 2015[M]. 北京:中国电力出版社,2016.
- [27] 孟振平. 南方电网碳达峰碳中和路径[J]. 电力设备管理,2021(6):21-22.
- [28] 贺泓铭. 探讨提升煤气发电热效率的措施[J]. 四川冶金,2022,44(2):67-70.
- [29] 王汉新,王兆云,张枫. “双碳”目标下河北电力行业碳达峰路径的情景分析[J]. 河北地质大学学报,2022,45(6):92-97.

(上接第 209 页)

- [53] 天津市市场和质量监督管理委员会. 工业企业挥发性有机物排放控制标准:DB12/524—2014[S]. 天津,2014.
- [54] 河北省质量技术监督局. 工业企业挥发性有机物排放控制标准:DB 13/2322—2016[S]. 石家庄,2016.
- [55] 四川省质量技术监督局. 四川省固定污染源大气挥发性有机物排放标准:DB51/2377—2017[S]. 成都,2017.
- [56] 陕西省质量技术监督局. 挥发性有机物排放控制标准:DB61/T 1061—2017[S]. 西安,2017.
- [57] 张青梅,刘湛,罗华飞,等. 国内外印刷业挥发性有机物排放标准比较研究[J]. 环境保护科学,2018,44(5):47-51,67.