

基于活动水平的山西省县域碳源清单构建研究

杨嘉悦 王静 李娜

北京恒兴华建科技有限公司

摘要：为了提升政府行政层面在县域尺度的碳控措施效率，本研究通过对文献和相关指南的梳理，从工业生产、交通运输、农业生产、畜牧业生产、废物处理、公共建筑、第三产业、人民生活 and 热力生产供应等碳排放方面构建了符合地区特征、与政府管理部门相衔接的山西省县域碳排放源清单。

关键词：县域；碳源清单；山西

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.09.114

作为能源大省，山西省提出了以稳煤、优电为主的能源结构调整策略，围绕碳减排在“十四五”期间做了一系统的部署，实施碳达峰碳中和山西行动。

前人的研究对碳源和碳汇的识别、分类实施的策略进行了积极的探索。但多数研究的碳核算的方法论是基于能源统计年鉴、GDP、人口等宽口径的统计数据^[1-4]。随着国家重点24个行业碳核算相关指南的出台，上述的

核算方法的精确度不够，在县域层面不足以提供更为精确的数据支撑。因此，需要在调研、获取行业数据、对标先进指南的基础上探索适用于山西县域的碳源核算方法。

本次研究通过对山西典型县域进行基于活动水平的碳排放清单核算，旨在针对山西省在碳达峰、碳中和山西行动计划中控碳任务突出的县域，对山西省可持续发展战略具有重要影响及示范效应的地区，构建符合地区特征的基于活动水平的县域碳排放核算清单。

一、碳排放清单界定

根据IPCC指南中碳源主要类别及本研究区域特征，确定了山西省县域碳源清单主要碳排放因子有工业生产、交通仓储、公共建筑、批发零售住宿餐饮等第三产业、农业、畜牧业、废物处理、人民生活 and 热力生产供应九项，每个排放因子有1-4项碳排放源。

表1-1 山西省县域碳源清单

碳汇因子	碳源类型	活动水平数据
工业生产	能源使用	商品能源使用量
	生产过程（煤炭开采及矿后活动）	煤炭开采量
交通仓储	道路交通能源使用	汽油、柴油使用量
	仓储邮政业能源使用	商品能源使用量
公共建筑	能源使用	商品能源使用量
批发零售住宿餐饮等第三产业	能源使用	商品能源使用量
农业	农用物资消耗	化肥施用量
		薄膜使用量
		农药使用量
	农业能源使用	电力灌溉用电量
		农用机械柴油使用量
农田翻耕	翻耕面积	
畜牧业	肠胃发酵	牲畜年饲养量
	粪便管理	牲畜年饲养量
废物处理	固废处理	固体废物处理量
	废水处理	废水处理量
人民生活	能源使用	商品能源使用量
热力生产供应	能源使用	商品能源使用量
	热力购进	热力购进量

二、基于活动水平的碳源核算方法

（一）工业生产碳排放

山西省主要支柱产业为煤炭开采，因此工业生产过程的直接碳排放主要为采掘业碳排放。

①工业生产直接碳排放

研究区域工业企业主要为煤炭开采，煤炭开采及矿

后活动温室气体排放主要为甲烷逃逸。本次研究将甲烷折算为CO₂进行核算。参考《省级温室气体清单编制指南》^[5]及《中国城市温室气体清单编制指南》^[6]，煤炭开采与矿后活动温室气体排放量为煤产量与温室气体排放因子的乘积，公式如下：

$$E = \sum F_i \times ED_i$$

式中:

E——煤炭开采及矿后活动温室气体排放量 (tCO₂) ;

F_i——年煤炭开采量 (万吨)

ED_i——煤炭开采及矿后活动温室气的排放因子 (tCO₂/万吨煤)

i ——活动类型 (如煤炭开采、矿后活动等)

②工业生产能源消耗碳排放

能源消耗是温室气体排放的主要来源。本研究能源消费碳排放参考《中国城市温室气体清单编制指南》中核算方法,能源消耗二氧化碳的排放量,根据能源消耗量和相应的排放因子相乘计算,公式如下:

$$E = \sum F_i \times EF_i$$

式中:

E——分项中能源消耗CO₂排放量 (t) ;

F_i——燃料i的消费量 (kg 或m³)

EF_i——燃料i的排放因子 (kgCO₂/kg或kgCO₂/m³)

i ——燃料类型 (如汽油、柴油、天然气等)

根据《中国城市温室气体清单编制指南》,能源消耗碳排放系数如下:

(二) 交通运输碳排放

核算一个城市交通部门的温室气体排放时,大致分为两种方法:其一是根据燃料消耗量进行估算的计算方法,其二是根据详细的交通活动水平与燃料效率数据进行估算的计算方法。本次将道路运输业分为公路营业性运输和居民生活代步客运。其中公路营业性运输采用燃料消耗量估算法,居民生活代步客运采用车辆行驶距离估算法。

①燃料消耗量估算法具体为:

$$E = \sum F_i \times EF_i$$

其中: E——移动源CO₂排放量 (t) ;

F_i——燃料i的使用量 (t)

EF_i——燃料i的 CO₂排放因子。

②车辆行驶距离估算法具体为:

$$CE = \sum_i \sum_j V_{ij} \times VKT_{ij} \times EF_i$$

式中: CE——温室气体排放量 (t CO₂) ;

V_{ij} ——使用燃料i的车辆j的数量 (辆)

VKT_{ij}——使用燃料i的车辆类型j的年行驶里程 (km / 辆) ;

F_{ij}——车辆j的燃料经济性水平 [t / (km. 辆)] ;

EF_i——燃料i的温室气体排放因子 (t CO₂/t) 。

(三) 农业生产碳排放

农业生产作为国家保障粮食的主阵地,碳排放主要包括化肥和农药的施用、农膜的使用以及翻耕和灌溉使用的柴油消耗。

农业碳排放核算采用各方面活动水平数据与排放因子的乘积进行计算。公式如下:

$$E = \sum F_i \times EF_i$$

其中: E——农业CO₂排放量 (t) ;

F_i——各方面活动水平数据 (t或km²)

EF_i——CO₂排放因子 (t/t或t/km²) 。

(四) 畜牧业生产碳排放

畜牧业碳排放主要来源于两个方面,分别为粪便管理和肠胃发酵。其中粪便管理和肠胃发酵主要产生CH₄和N₂O,本次研究将CH₄和N₂O折算为CO₂进行核算,核算方法引用2017年姚成胜等^[7]相关研究方法。

①畜禽胃肠发酵

根据禽畜瘤胃发酵气体成分分析,CH₄等温室气体占比较高的是牛羊等反刍家畜,其他马、骡、驴、猪和家禽由于胃肠道 CH₄排放量少,本次研究将暂不予统计。

因此,本文在畜禽胃肠发酵方面,碳排放计算公式为:

$$TC_1 = \sum APP_i \times ef_{i1} \times 25$$

式中: TC₁为畜禽胃肠发酵产生的温室气体排放量 (t) ;

i为牲畜种类; APP_i为第i类牲畜的年平均饲养量 (头) ;

ef_{i1}为第i类牲畜胃肠道发酵CH₄排放系数;

25为CH₄的CO₂当量系数。

②畜禽粪便管理

根据粪便在不同的饲养条件下温室气体的成分不同,该项碳排放从厌氧条件下产生的CH₄气体和有氧条件下产生的N₂O气体两部分来进行统计:

其中针对CH₄的排放,计算公式为:

$$TC_2 = \sum APP_i \times ef_{i2} \times 25$$

式中: TC₂为粪便管理系统中CH₄折CO₂后温室气体排放量 (t) ;

i为牲畜种类; APP_i为第i类牲畜的年平均饲养量 (头) ;

ef_{i2}为粪便管理系统中第i类牲畜的CH₄排放系数;

25为CH₄的CO₂当量系数。

粪便管理系统产生的N₂O排放计算公式为:

$$TC_3 = \sum APP_i \times ef_{i3} \times 298$$

式中: TC₃为粪便管理系统中N₂O折CO₂后温室气体排放量 (t) ;

i为牲畜种类; APP_i为第i类牲畜的年平均饲养量 (头) ;

ef_{i3}为粪便管理系统中第i类牲畜的N₂O排放系数;

298为N₂O的CO₂当量系数。

本研究根据牲畜在一年的养殖过程中数量的变化,对年饲养量进行量化调整。当牲畜饲养周期小于1年时,需根据IPCC的相关要求将年出栏量予以调整;其他条件下,将年末存栏量视为年平均饲养量进行核算。其中,在中国生猪、羊、禽类和家兔的饲养周期分别为200天、180天、55天和120天,均小于1年,因此需要对这四者进行调整。

$$APP = \text{Herds}_{\text{end}} \quad \text{if: } \geq 365$$

$$APP = \text{Days}_{\text{live}} \times (\text{NAPA} / 365) \quad \text{if: } < 365$$

式中: APP为牲畜年均饲养量 (头) ;

Herds_{end}为年末存栏量 (头) ;

Days_{live}为牲畜饲养周期 (天) ;

NAPA为年牲畜出栏量 (头) 。

(五) 废物处理碳排放

① 固体废物填埋处理温室气体排放

鉴于固体废物填埋处理产生的CH₄与垃圾和处理方式有关, 本文根据《省级温室气体清单编制指南》, 计算方法如下:

$$E_{CO_2} = (S \times L_0 - R) \times (1 - O_x) \times 25$$

$$S = S_T \times S_F$$

式中: E_{CO₂}指固体废物填埋温室气体排放量 (tCO₂/a);

S指固体废物填埋处理量 (t/a);

S_T指总的固体废弃物产生量 (t/a);

S_F指固体废弃物填埋处理率;

L₀指各管理类型垃圾填埋场的甲烷产生潜力 (tCH₄/t固废), 取值0.0189;

R指甲烧回收量 (t/a), 取值0;

O_x指氧化因子, 取值0.1;

25为CH₄的CO₂当量系数。

② 固体废物焚烧处理二氧化碳排放

根据固体废物的种类及焚烧产生的CO₂排放数量分析, 本研究将矿物碳产生的CO₂排放进行测算, 生物质碳作为信息项进行记录。

因此参考MSW (城市固体废弃物) 焚化产生二氧化碳排放计算的决策树, 采用IPCC《优良做法指南》推荐的计算公式, 即:

$$F_{CO_2} = MSW \times CCW \times FCF \times EF \times 44/12$$

式中: F_{CO₂}为CO₂排放量 (tCO₂/a);

MSW为固体废弃物焚烧量 (t/a);

CCW为MSW中的碳含量比例;

FCF为MSW中的矿物碳含量比例;

EF为焚烧炉的完全燃烧效率。

根据《优良做法指南》提供的关键排放因子, MSW的碳含量 (CCW) 为34%, 矿物质在碳总量中的比例 (FCF) 为40%, 燃烧效率 (EF) 为95%, 上述公式转化为:

$$F_{CO_2} = 0.474 \times MSW$$

③ 废水处理温室气体排放

采用《省级温室气体清单编制指南》推荐的方法估算污水温室气体排放量, 公式如下:

$$E_{CO_2} = (TOW \times EF - R) \times 25/1000$$

$$TOW = TS \times TF$$

式中: E_{CO₂}指污水处理温室气体排放总量 (tCO₂/a);

TOW指污水中有机物总量 (kg BOD/a);

TS指污水处理总量 (t/a);

TF指污水中BOD含量, 生活污水取值0.3kg/t;

EF指排放因子 (kgCH₄/kgBOD), 生活污水取值0.099;

R指甲烷回收量 (kgCH₄/a), 取值0;

25为CH₄的CO₂当量系数。

(六) 公共建筑、第三产业、人民生活碳排放

公共建筑、批发零售住宿餐饮等第三产业、人民生

活等方面碳排放计算采用能源估算法, 核算方法同工业生产能源消耗碳排放。其中农村居民点碳排放主要考虑薪柴燃烧及冬季取暖用煤碳排放。农村薪柴燃烧主要以居民家庭炊事为主, 多为直接燃烧。根据研究成果, 薪柴的CO₂排放公示为:

$$EBG = BM \times C_{cont} \times O_F \times 44/22$$

式中: EBG为薪柴消耗的CO₂排放 (t);

BM为薪柴消耗量 (t);

C_{cont}为生物质含碳量 (%), 取值为45%;

O_F为生物质氧化率 (%), 取值为85%。

(七) 热力生产供应碳排放

① 能源消耗碳排放

热力生产和供应碳排放计算采用能源估算法, 核算方法同工业生产能源消耗碳排放。

② 外调热力间接碳排放

根据《中国城市温室气体清单编制指南》, 外调热力排放数据采用山西省2006-2011年排放因子的平均值, 即0.13tCO₂/MkJ。

三、结论

本研究收集与整理国内外的碳排放核算的相关文献, 参考区域和城市的碳排放量核算清单, 筛选出了符合山西省县域特征的排放源, 结合基层政府的职能部门分工, 从工业生产、交通运输、农业生产、畜牧业生产、废物处理、公共建筑、第三产业、人民生活 and 热力生产供应等碳排放方面构建了符合地区特征、与政府管理部门相衔接的山西省县域碳排放源清单。

参考文献

[1] 建豹, 黄贤金. 基于空间面板模型的碳排放影响因素分析——以长江经济带为例[J]. 长江流域资源与环境, 第24卷第10期 (2015年10月): 1665-1671.

[2] 杜莉丽, 蒋平, 余琦. 马蔚纯城市国民经济与社会发展规划碳排放评估综合指标体系构建与应用——以上海市为例[J]. 生态经济, 第34卷第2期 (2018年2月): 30-36.

[3] 李楠, 邵凯, 王前进. 中国人口结构对碳排放量影响研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21 (6): 19-23.

[4] 夏四友, 杨宇. 基于主体功能区的京津冀城市群碳收支时空分异与碳补偿分区[J]. 地理学报, 第77卷第3期 (2022年3月): 679-696.

[5] 《省级温室气体清单编制指南》.

[6] 《中国城市温室气体清单编制指南》.

[7] 姚成胜, 钱双双, 李政通, 梁龙武. 中国省际畜牧业碳排放测度及时空演化机制[J]. 资源科学, 第39卷第4期 (2017年4月): 698-712.

作者简介: 杨嘉悦 (1985-), 女, 汉族, 河北廊坊人, 毕业于河北工程大学, 城市规划专业, 工程师, 从事低碳规划、碳核算研究。

基金项目: 山西省二氧化碳排放达峰中和自然资源管理领域专项行动方案研究课题。