

# 煤炭开采的温室气体逸散排放估算研究\*

杨永均<sup>1</sup> 张绍良<sup>2</sup> 侯湖平<sup>1,3</sup>

(1. 中国矿业大学环境与测绘学院, 江苏省徐州市, 221116;

2. 中国矿业大学低碳能源研究院, 江苏省徐州市, 221116;

3. 江苏省资源环境信息工程重点实验室, 江苏省徐州市, 221116)

**摘 要** 研究分析了煤炭开采温室气体逸散排放源及其过程、排放量、估算目标与组织、数据与方法学、质量控制, 结果表明逸散排放的地质分异性、数据非完整性等自然和人为原因造成估算过程数据组织困难, 估算结果不确定性较大; 针对我国估算过程中存在的问题和挑战, 提出了建设基础数据体系、构建混合估算方法、加强质量控制等建议。

**关键词** 煤炭开采 碳效应 逸散排放 清单估算

中图分类号 TD712 文献标识码 A

## The research on the estimation of fugitive greenhouse gas emissions from coal mining

Yang Yongjun<sup>1</sup>, Zhang Shaoliang<sup>2</sup>, Hou Huping<sup>1,3</sup>

(1. School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China;

2. Low Carbon Energy Institute, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China;

3. Jiangsu Key Laboratory of Resources and Environmental Information Engineering, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

**Abstract** This paper introduces the source and process of greenhouse gas emission fugitive from coal mining. The analysis of fugitive emissions estimate target, tissue, data, methodology, and quality control at home and abroad show that, geological differentiation, data non-integrality and other origin have caused difficult data organization and indeterminate estimate results. Some suggestions, such as an integral basic data system should be established, the mixed estimation method should be employed were put forward.

**Key words** coal mining, carbon effect, fugitive emissions, inventory estimate

瓦斯伴煤而生, 煤炭采掘、采后过程中温室气体( $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$ )逸散排放, 其中 $\text{CH}_4$ 排放量约占到全球人类活动排放源的5%, 受到气候变化和资源利用的普遍关注, 被IPCC单列为能源部分的排放源之一, 世界上主要产煤国进行了煤炭开采的国家温室气体编制和煤层气市场化调查。据《煤层气(煤矿瓦斯)开发利用“十二五”规划》和《“十二五”控制温室气体排放工作方案》, 到2015年煤矿瓦斯利用率达到60%以上, 全国单位国内生产总

值 $\text{CO}_2$ 排放比2010年下降17%, 因此, 煤炭开采温室气体逸散排放估算结果对于节能减排评估、温室气体控制、资源保护利用有积极的意义。然而, 在估算过程中存在煤炭开采瓦斯逸散和产量数据统计薄弱、排放因子数据不确定性较大、能源活动数据缺乏等问题, 因此亟待开展煤炭开采的温室气体逸散排放及其清单编制的相关研究工作。

本文通过概述世界主要产煤国逸散排放估算的相关情况, 研究分析国内外逸散排放估算的目标组织、数据与方法学、质量控制, 探索逸散排放估算过程中存在的主要问题和困难, 并在此基础上, 结合我国估算研究现状, 针对估算过程中存在的问题

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目“煤炭开采的碳效应研究”(51074151), 江苏高校优势学科建设工程资助项目

提出了建议, 展望未来逸散排放估算研究趋势, 以期对中国煤炭开采温室气体逸散排放估算及其研究提供借鉴。

## 1 煤炭开采的温室气体逸散

### 1.1 逸散排放源及其过程

煤炭开采温室气体逸散排放主要包括: 采掘活动扰动煤岩层, 赋存瓦斯 (主要是  $\text{CH}_4$ ) 通过地下煤矿的通风和抽放系统、露天煤矿的边坡和地面直接逸散; 采出煤体在后处理过程中, 如加工、储运过程中会继续解析出瓦斯, 低温氧化、非受控燃烧也会排放温室气体; 废弃的地下、露天煤矿可能会通过自然或人为通道继续排放温室气体, 如图 1 所示。

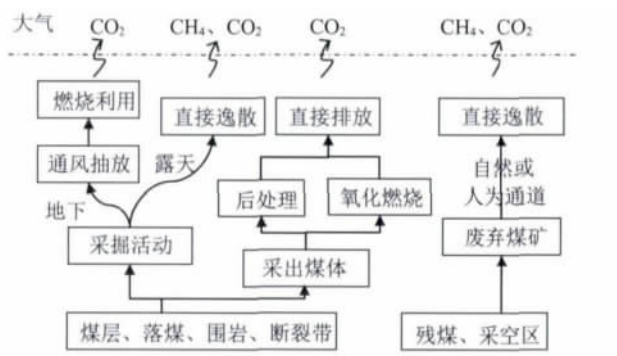


图 1 煤炭开采温室气体逸散排放源及其过程

目前成熟的温室气体清单主要关注的是采掘活动、废弃煤矿排放源, 对于采出煤体中的低温氧化和非受控燃烧和废弃露天煤矿尚没有估算方法。然而, 由于低温氧化、煤层自燃、煤炭堆放源产生的温室气体也不容忽视, 可利用遥感监测、数据实测等方法进行温室气体排放估算。

### 1.2 主要产煤国温室气体逸散排放量

截至 2013 年, 世界主要产煤国中, 美、澳、俄、哈、波五国提供了 1990—2010 煤炭开采温室气体清单, 其他如中国、印度等提交了国家信息通报, 按照 IPCC 提供的方法核算了煤炭开采温室气体逸散量。同时, 《全球 1990—2030 年人为非  $\text{CO}_2$  温室气体排放报告》显示, 我国 2010 年煤炭开采温室气体逸散排放量约 295.5  $\text{Mt CO}_2$  (约 14.07  $\text{Mt CH}_4$ ), 居世界第一, 约占世界总量的 50.2%, 见图 2。中国国家信息通报温室气体清单中估算 2005 年  $\text{CH}_4$  排放量为 12.92  $\text{Mt}$ , 国家瓦斯等级鉴定结果估算中国 2008 年煤矿瓦斯排放量为 14.5  $\text{Mt}$  (未扣除抽放利用部分), 国家发改委能源研究煤炭开采的温室气体逸散排放估算研究\*

所文献报道中国 2000 年排放  $\text{CH}_4$  6.53  $\text{Mt}$ , 煤炭信息研究院文献报道中国 2004 年煤矿通风  $\text{CH}_4$  的排放量为 140 亿  $\text{m}^3$  (约 100.24  $\text{Mt}$ )。可见, 煤炭开采温室气体逸散造成温室效应的同时, 表现出较大的资源利用机会和节能减排潜力。

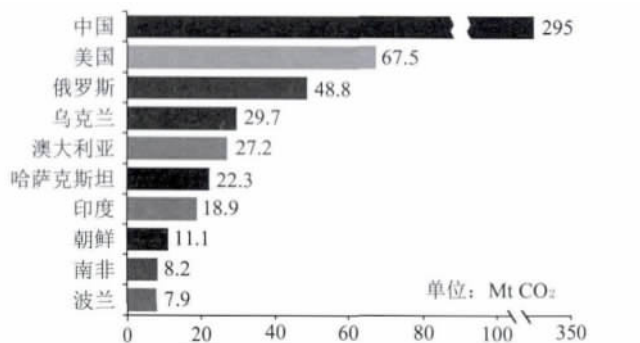


图 2 主要产煤国煤炭开采温室气体逸散情况

## 2 国内外逸散排放估算分析

### 2.1 目标与组织

煤炭开采逸散排放的  $\text{CH}_4$  兼具温室气体、资源特性。编制该项清单的目标在于控制温室气体和保护利用资源, 其作用可用于国家清单编制、组织层次上温室气体排放和清除量化及环境影响评估、煤层气市场化。组织实施清单编制的单位主要有能源管理、环境保护、煤矿安监部门, 面向国家清单编制实施采用“自上而下”的数据调查方法; 面向煤层气市场化的实施采用“煤层气抽放利用专项上报或调查”; 面向瓦斯管理的瓦斯等级鉴定实施采用“自下而上”的数据逐级上报方法。从中国的多次估算结果来看, 由于评估时点和目标、数据内容存在不一致性, 估算结果有较大差异, 清单编制体系尚不能兼顾目标。

### 2.2 数据与方法学

#### 2.2.1 数据

主要产煤国在编制煤炭开采温室气体逸散排放时广泛采用了能源统计数据, 如煤炭及煤层气赋存与产量, 美国煤矿安全健康局 (MSHA)、澳大利亚建设了煤炭生产数据库或数据上报系统; 温室气体逸散排放数据依赖于各国的矿井调查或瓦斯安全管理, 如通风速率、瓦斯含量和等级、瓦斯组分数据, IPCC 提供了国家层面的排放因子数据库, 然而 IPCC 提供的排放因子不能适用于各国的实际煤炭生产情况, 在国家温室气体清单编制过程中采用了适用于本国煤田的数据, 但全球范围内, 仍然缺

乏对废弃煤矿、矿后活动温室气体排放数据的调查，导致数据完整性受到影响。中国煤炭工业统计采取自下而上的逐级上报方式进行，分省市、煤种、隶属统计煤炭产量数据，复旦大学尝试建立中国煤炭流向与潜在碳排放因子数据库（CCEF），矿井瓦斯等级鉴定提供了排放因子数据，在此基础上，国家能源局将中国分为华北、东北等六大区，分别确定排放因子，但我国缺乏对废弃煤矿、露天煤矿、矿后活动温室气体排放的数据调查，仅有小样本瓦斯逸散调研报道。

2.2.2 方法学

估算煤炭开采温室气体逸散排放，相关方法有排放因子、实测、地质统计方法，各方法的用途、适用条件不一样，其估算过程和结果也存在较大的差异，如表 1 所示。主要产煤国采用了排放因子和实测统计相结合的方法编制国家温室气体清单，但对排放因子的细化程度不一样。从已有的估算案例来看，中国国家、区域（省级）温室气体清单编制和矿井尺度的温室气体排放估算均主要采用了排放因子法，瓦斯赋存和扰动有较大的地域不一致性，排放因子地域细化不够，国家层面提供的排放因子数据尚不能满足区域（省级）层次的快速评估。

表 1 煤炭开采温室气体逸散排放估算的相关方法学

| 方法   | 使用   | 评价   |
|------|--|--|
| 排放因子 | 国家（煤田）平均排放系数与煤炭产量之乘积，IPCC 推荐方法，主要产煤国均将其用于国家温室气体清单编制  | 数据较易获取，方法简单，易建立时间序列；排放因子对估算结果影响较大，不确定性较高（至少±50%），需要对排放因子进行分地域细化                                  |
| 实测统计 | 地下、废弃煤矿实测通风抽放或通道系统温室气体排放量，主要用于矿井瓦斯等级鉴定和煤层气利用，辅助用于温室气体清单编制<br>露天煤矿面积或长度因子法、点位测量煤堆低温氧化逸散量、遥感监测统计自燃逸散量，美国、澳大利亚、中国等国将其辅助用于温室气体排放估算 | 数据较难获取，成本大，不易建立时间序列，需建立长期测量体系；估算结果精度高（可达±2%）<br>测量过程不易实施，成本大，估算结果精度较高，但测量数据不具有普适性，适用于单个矿井或煤质逸散估算 |
| 地质统计 | 构建与埋深、瓦斯含量等参数相关的地质统计模型，主要用于地下和露天煤矿瓦斯防治与利用，辅助用于矿井温室气体排放估算   | 数据需求量大，估算结果精度较高（相关文献中精度可达±6%），适用于单个矿井瓦斯涌出预测或温室气体逸散估算   |

2.3 质量控制

在评估过程中组织目标、数据方法等容易造成评估清单不确定，如不同的估算目标选择性估算逸散排放源，造成数据内容不一致，带来估算结果具有非完整性，不同评估方法带来不同层级的不确定性，时间序列保证也存在差异。此外，煤炭开采温室气体逸散本身也具有不确定性，受地质、采矿等多种条件的影响，矿井内瓦斯涌出在时间上具有较大的不确定性，而在空间上又存在地质分异性和分区特征，美国、南非等主要产煤国在评估本国温室气体逸散排放量时，不同地域矿井、不同逸散排放时间上的调研数据也都反应了这一问题，其影响到清单估算结果的准确性。

因此，煤炭开采温室气体逸散清单质量，一方面受到组织和目标、数据和方法学等人为因素的影响，另一方面，估算结果还受到瓦斯涌出自然规律的较大影响。控制清单质量，需要优化评估体系，维护数据完整性和方法准确性，还需要兼顾煤矿瓦斯地质规律，利用其分区特征和涌出规律降低清单

总体不确定性。

3 我国煤炭开采温室气体逸散排放估算建议

由于自然和人为因素带来的数据非完整性、方法不确定性等造成煤炭开采温室气体逸散清单估算过程数据组织困难、估算结果不确定性较大，针对这种问题，我国煤炭开采温室气体逸散排放估算可在以下几个方面加强探索。

3.1 建设基础数据体系

增加我国废弃、露天煤矿、矿后活动的温室气体逸散情况调研，实测温室气体组分、排放系数等，维持逸散源的数据完整性；对产量数据进行动态统计，维持数据的时间序列性。为克服瓦斯涌出的地质分异性，可以利用我国编制的三级瓦斯地质图和瓦斯地质分区理论，细化区域（煤田）排放因子缺省值；充分利用能源统计数据 and 瓦斯等级鉴定资料建设基础数据体系，引入 GIS（地理信息系统）进行数据组织和管理。

3.2 构建混合估算方法

实测统计法,对地下煤矿进行瓦斯监测能获取较为准确的温室气体排放数据。但针对新建矿井、露天煤矿、矿后活动、废弃煤矿,常没有可用的监测数据,则可以利用排放因子法和地质统计法进行逸散排放量进行评估。因此,优先考虑矿井实测统计法,混合运用缺省排放因子和地质统计法,有助于完整评估我国煤炭开采温室气体逸散排放量。

### 3.3 加强估算的质量控制

由于煤炭开采温室气体逸散排放估算结果对于温室气体清单编制、节能减排评估、资源利用有着重要作用,又涉及到国家、组织(区域或省级)、矿井等不同的估算组织边界。因此,估算质量控制应统一温室气体( $\text{CH}_4$ 和 $\text{CO}_2$ )与资源利用( $\text{CH}_4$ )数据内涵、明确估算组织边界、评估所选用的估算方法的不确定性。

## 4 结论与展望

在全球 IPCC 清单编制和煤层气市场化背景下,编制煤炭开采温室气体逸散排放清单对于资源保护利用、节能减排评估和温室气体控制有着积极的意义,但由于受到组织目标不兼顾、数据非完整性、方法学等人为原因和瓦斯涌出规律等自然原因的影响,估算结果不确定性大,不利于国家、区域(省级)层面的清单编制。我国可在基础数据体系、混合估算方法、质量控制方面加强探索,从而完善煤炭开采温室气体逸散排放估算,探索逸散排放的时空分布特征,发现节能减排潜力,促进是在国家和企业温室气体控制、节能减排的低碳发展目标。

参考文献:

[1] 才庆祥,刘福明,陈树召.露天煤矿温室气体排放

(上接第 113 页)掘进时间大大缩短,单月进尺平均提高 30 m,保障了高瓦斯区域的生产衔接。

(3)减少了钻孔施工数量,缩短了施工周期,满足矿井高产高效生产,缓解煤矿抽、掘、采压力,具有较好的安全效益和经济效益。

参考文献:

- [1] 俞启香.矿井瓦斯防治[M].北京:煤炭工业出版社,1992
- [2] 程远平,付建华,俞启香.中国煤矿瓦斯抽采技术的发展[J].采矿与安全工程学报,2009(2)
- [3] 王兆丰,田富超等.羽状千米长钻孔抽采效果考察试验[J].煤炭学报,2010(1)

煤炭开采的温室气体逸散排放估算研究\*

计算方法[J].煤炭学报,2012(1)

- [2] 李宏军,胡予红.中国煤矿甲烷对温室气体贡献量的初步评估[J].中国煤层气,2008(2)
- [3] 郑爽.我国煤层甲烷类温室气体排放及清单编制[J].中国煤炭,2002(5)
- [4] 黄盛初,刘文革,赵国泉.中国煤层气开发利用现状及发展趋势[J].中国煤炭,2009(1)
- [5] 袁晓辉,顾朝林.北京城市温室气体排放清单基础研究[J].城市环境与城市生态,2011(1)
- [6] 刘文革,张斌川,刘馨等.中国煤矿区甲烷零排放[J].中国煤层气,2005(2)
- [7] 朱松丽.澳大利亚能源活动温室气体排放清单编制经验及对我国的借鉴意义[J].气候变化研究进展,2011(3)
- [8] 张晓慧,刘金平.我国地下煤矿温室气体溢散排放研究[J].中国煤炭,2011(7)
- [9] 张子敏,林又玲,吕绍林.中国煤层瓦斯分布特征[M].北京:煤炭工业出版社,1998
- [10] David A. K., Stephen D. P., Sushma S. M. An Improved Inventory of Methane Emissions from Coal Mining in the United States[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2000(50)
- [11] Saghafi A. A Tier 3 method to estimate fugitive gas emissions from surface coal mining[J]. International Journal of Coal Geology, 2012(100)
- [12] Lloyd P. J. D., Cook A. Methane release from South African coal mines[J]. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, 2005(105)

作者简介:杨永均(1990—),男,四川仪陇人,中国矿业大学博士研究生,主要从事矿区节能减排的研究。

(责任编辑 张大鹏)

- [4] 黄鑫业,蒋承林.本煤层瓦斯抽采钻孔带压封孔技术研究[J].煤炭科学技术,2011(10)
- [5] 许太山.高瓦斯矿井综合瓦斯抽采技术实践[J].煤炭科学技术,2012(12)
- [6] 王剑光,王骞.钱家营矿高位钻孔瓦斯抽放参数研究[J].中国煤炭,2013(1)
- [7] 马骏驰,袁树杰,况成斌.低透气性煤层瓦斯抽采技术实践[J].煤炭技术,2012(11)

作者简介:王林(1981—),男,河南焦作人,讲师,现工作于河南理工大学,主要从事瓦斯防治方面的研究。

(责任编辑 张艳华)