

在线监测应用于中国碳排放监测的 相关问题和制度建议

张 钦 张 达 张希良*

摘要:高质量的排放数据是碳交易的基础,监测方法的选取对于建立可靠的碳排放监测制度,提高碳排放数据准确性至关重要。本文首先建立了一套在线监测碳排放的标准方法,进而基于北京市部分工业企业在线监测和碳试点数据,定量评估了在线监测与现有监测制度下排放因子法所得碳排放数据之间的差距。在此基础上通过进一步识别将在线监测应用于碳排放监测面临的主要挑战,提出了提升在线监测数据质量,在电力行业开展在线监测法监测碳排放试点工作等若干政策建议。

关键词:碳交易;在线监测;连续排放监测系统

一、引言

高质量的碳排放数据是碳交易的基础,一套可靠的碳排放监测、报告与核查制度是碳交易体系建设运行的基石。其中,监测是指碳排放数据和信息的收集过程,监测方法的选取是监测制度建设的关键。目前,国际上主流的碳排放监测方法大致可分为两大类:基于核算的方法和在线监测法。前者并不直接测量CO₂排放,而是通过排放因子法或物料平衡法核算企业或设施的活动来推算活动导致的CO₂排放;后者又称直接测量法,顾名思义,该方法借助连续排放监测系统(CEMS)对排放主体所排气体中的CO₂浓度和烟气流量进行实时的测量,进

*张钦,清华大学能源环境经济研究所,邮政编码:100084,电子邮箱:zhangqin11@foxmail.com;张达(通讯作者),清华大学能源环境经济研究所,邮政编码:100084,电子邮箱:zhangda@mail.tsinghua.edu.cn;张希良,清华大学能源环境经济研究所,邮政编码:100084,电子邮箱:zhang_xl@mail.tsinghua.edu.cn。

本文系清华大学-INDITEX可持续发展基金资助项目“企业连续在线监测系统大数据应用于环境治理实践研究:统计分析和实地试验”(TISD201915)、国家自然科学基金重大项目“绿色低碳发展转型路径与政策的综合研究”(71690244)的阶段性成果。感谢清华大学-中国长江三峡集团有限公司气候变化治理机制与绿色低碳转型战略联合研究中心对本文的支持。感谢匿名审稿专家提出的宝贵修改建议,文责自负。

而得到实时、连续的CO₂排放量(WRI, 2014)。

从国际上看,两类监测方法在美欧等发达国家皆有较为成熟的应用。美国环保署清洁空气市场部(CAMD)于2009年启动了强制性温室气体报告项目制度(GHGRP)^①,该项目所覆盖的电力企业普遍采用在线监测法来监测CO₂排放(EPA, 2009;董文福等,2011),而美国能源信息署(EIA)则主要依据排放因子法监测CO₂排放(EIA, 2011),两者隶属于具有不同授权的联邦机构,为开展监测方法对比研究提供了数据基础。欧盟碳排放交易体系(EU ETS)纳入设施则按照相关规则采用基于核算的方法或在线监测法来监测CO₂排放(EC, 2012)。作为监测制度的核心,不同碳排放监测方法之间的对比研究在国际上备受学者们关注。首先是针对不同监测方法所得排放数据差距水平的分析,Ackerman和Sundquist(2008)、Quick(2014)、Borthwick等(2011)、Gurney等(2016)等研究匹配了美国CAMD和EIA提供的电力企业CO₂排放数据,分析了在线监测法和排放因子法所得碳排放数据的差距水平。Evans等(2009)和Lee等(2014)则基于企业案例审查了在线监测法和基于核算的方法所得碳排放数据的差距。研究发现,两类监测方法所得碳排放数据具有一定的差距,且总体上看在线监测法得到的碳排放数据高于基于核算的方法。其次是针对不同监测方法不确定性水平及来源的分析, Lee等(2014)、Quick和Marland(2019)等学者认为,在线监测法测量碳排放数据的不确定性范围低于基于核算的方法,前者的不确定性主要来源于烟气流量的测量,后者的不确定性主要来源于净热值的测量和排放因子的选取,相比之下烟气浓度的测量较为可靠。

从国内来看,自2013年“五市两省”碳交易试点陆续启动以来,各碳交易试点中碳排放数据的监测以及目前全国碳排放权交易体系拟纳入企业的排放核算与报告工作皆依赖于排放因子法。但同时,我国也在实践中不断创新,探索建立更加科学、高效、可持续的碳排放监测机制。2019年1月,中国电力企业联合会发布的《发电企业碳排放权交易技术指南(征求意见稿)》包括了排放因子法和在线监测法两种碳排放监测方法,并提及将环境管理领域的在线监测应用于碳排放监测领域(中国电力企业联合会,2019)。该方案的提出主要鉴于以下三点考虑:第一,自2013年底,超过14000家国家重点监控企业被要求安装CEMS并开展污染物在线监测(Karplus et al., 2018)。目前,国内主要高耗能企业特别是大型火电厂对SO₂、NO_x和颗粒物等污染物的在线监测已相对成熟,可以借助相对便捷的方法使得现有CEMS同时实现CO₂排放连续在线监测。第二,随着2018年政府机构改革,我国应对气候变化工作调整至生态环境部,碳排放控制与大气污染物排放控制的协同治理工作更加受到重视,为将在线监测法应用于碳排放监测的政策制定和实施提供了有利条件。第三,在线监测法在美国等发达国家已

^①GHGRP纳入了全美所有年排放总量超过25000吨CO₂当量的设施。

经有了成熟的运用,为我国提供了丰富的运行和监管经验。但是,目前国内尚未出台针对在线监测法监测碳排放的规范标准和指南,相关方法学正处于讨论设计阶段,且暂无成熟的落地试点。因此,国内学界针对两类碳排放监测方法的研究相对较少。张丽欣等(2013)、周颖等(2013)针对两类监测方法在国际上的应用和异同进行了定性的描述和讨论,李鹏等(2021)总结归纳了国内外在线监测方法的应用现状,并剖析了在我国碳市场中应用在线监测方法面临的问题和挑战。定量研究方面,仅有段志洁等(2014)选取某燃煤电厂的一个火电机组作为试点,对两类监测方法所得的碳排放数据进行了比对研究。

鉴于此,本文尝试弥补国内学界在两类碳排放监测方法定量对比研究领域的空白,并探索将在线监测法应用于碳排放的监测中。通过建立一套规范的在线监测碳排放的方法,本文以北京市部分工业企业为案例,定量评估在线监测法所得碳排放与现有碳排放监测制度下排放因子法所得碳排放数据之间的差距,进而基于实证研究结果,识别在线监测法监测碳排放的主要挑战,希望为设计适合中国的碳排放权交易体系监测制度提出建议。

二、研究方法

由于目前政府主管部门尚未出台针对在线监测法监测碳排放的规范标准和指南,故本研究基于环保部门对于在线监测制度的现有规定,在参考美欧等发达国家应用在线监测法监测碳排放的经验的基础上,尝试建立一套规范的在线监测法。

(一)通过在线监测数据计算企业碳排放

根据烟气连续排放监测系统(CEMS)连续测量排口直接排放气体中的 CO_2 浓度和烟气流体积,可获得所排气体中的 CO_2 含量。通过这种方法,可以获得多种时间尺度下的 CO_2 排放量,小时碳排放量进一步积分即可得到单日、月度、季度和年度的碳排放总量。较为理想的情况下,企业所安装的CEMS应包括单独的 CO_2 监测单元,实现 CO_2 浓度的直接测量。

但是,目前国内工业企业所安装的CEMS绝大多数并未配备单独的 CO_2 监测单元,仅能实现气态污染物 NO_x 和 SO_2 浓度、颗粒物浓度、烟气参数(温度、压力、流速或流量、湿度、含氧量等)的测量,无法直接测量所排气体中的 CO_2 浓度。考虑到燃料燃烧过程的 CO_2 排放(不涉及工业过程排放或吸附剂产生的碳排放)可通过含氧量推算所排气体中的 CO_2 浓度,本文参考环保部出台的《固定污染源烟气(SO_2 、 NO_x 、颗粒物)排放连续监测技术规范》(国家环境保护部,2017),依据式(1)由CEMS测量的小时含氧量(百分比形式)推算所排烟气中的 CO_2 体积浓度,进而根据式(2)将烟气中 CO_2 的体积浓度转化为 CO_2 质量浓度。该方法与美国强制温室气体报告制度中对未安装 CO_2 监测单元情况下碳排放监测方法的规定是一致的。需要强调的是,该方法仅适用于计算燃料燃烧过程的碳排放,而不适用于工业过程排放或吸附剂产生碳

排放情形。

$$C_{CO_2} = C_{CO_2, \max} \times (1 - \frac{C_{O_2}}{20.9/100}) \quad (1)$$

$$CC_{CO_2} = \frac{44}{22.4} \times 10^6 \times C_{CO_2} \quad (2)$$

式(1)中 C_{CO_2} 为所排烟气中的 CO_2 体积浓度(%), $C_{CO_2, \max}$ 是指燃料燃烧产生的最大 CO_2 体积百分比,不同燃料类型取值不同,近似值见表1(国家环境保护部,2017)。对于 $C_{CO_2, \max}$ 在一定取值区间的情况,为便于计算,统一取该区间的中位值。式(2)将体积浓度 C_{CO_2} 转换为质量浓度 CC_{CO_2} (mg/m^3),其中常数44为 CO_2 气体分子量(g/mol),常数22.4为标准状况下的气体摩尔体积(L/mol)。

表1 燃料燃烧产生的最大 CO_2 体积百分比 $C_{CO_2, \max}$ 近似值表

燃料类型	$C_{CO_2, \max}$ (%)	燃料类型	$C_{CO_2, \max}$ (%)	燃料类型	$C_{CO_2, \max}$ (%)
烟煤	18.4~18.7	燃料油	15.0~16.0	湿性天然气	10.6
贫煤	18.9~19.3	石油气	11.2~11.4	干性天然气	11.5
无烟煤	19.3~20.2	液化石油气	13.8~15.1	城市煤气	10.0

通过积分每小时的 CO_2 排放量即每小时的 CO_2 质量浓度乘以对应的小时烟气流量,可得到排口的年碳排放总量 E_{CO_2} , 加总各排口的年碳排放总量即可得到企业的年碳排放总量。排口的年碳排放总量 E_{CO_2} 具体计算过程如式(3)所示:

$$E_{CO_2} = \sum_{d=1}^{366} E_{CO_2, d} = \sum_{d=1}^{366} \sum_{h=1}^{24} E_{CO_2, d, h} = \sum_{d=1}^{366} \sum_{h=1}^{24} (CC_{CO_2, d, h} \times V_{gas, d, h}) \quad (3)$$

其中, d 和 h 分别表示天和小时, E_{CO_2} 为排口的年碳排放总量, $E_{CO_2, d}$ 为排口第 d 天的碳排放量, $E_{CO_2, d, h}$ 为排口第 d 天第 h 小时的碳排放量, $CC_{CO_2, d, h}$ 为排口第 d 天第 h 小时的 CO_2 排放浓度, $V_{gas, d, h}$ 为排口相对应小时内的烟气体积流量。

(二)在线监测数据中缺失值的替代处理

对高频的小时级别在线监测数据而言,数据缺失是较为普遍的现象,且该问题是在线监测法所得碳排放数据不可忽视的误差来源。因此,合理替补在线监测数据中的缺失值是实现 CO_2 排放总量准确测量的关键。

美国的在线排放监测系统运行规范要求,视缺失前数据质量认证和数据完整率的具体情况,用缺失前720小时或2160小时的最大值、95分位值、90分位值或缺失前后一段时间内的均值替代缺失时段内的污染物排放浓度和烟气流速(EPA, 2009)。EU ETS的温室气体数据监测与报告规定,用整个报告期或能够反映缺失时段情况的特定适当时期内的95%置信区间上限替代缺失数据(EC, 2012)。根据环保部出台的《固定污染源烟气(SO_2 、 NO_x 、颗粒物)排放连

续监测技术规范》(国家环境保护部,2017)的规定,在线监测设备非正常运行时段如CEMS故障期间、维修期间、超期限未校准时段、失控时段以及有计划(质量保证/质量控制)的维护保养、校准等时段均被视为数据无效时间段,期间的 NO_x 、 SO_2 、颗粒物等主要污染物的排放量按照表2进行修约,污染物浓度和烟气参数不修约。

表2 环境保护部规定的CEMS数据无效时间段处理方法

季度有效数据 捕集率 α	连续失控 小时数 $N(\text{h})$	替代值
$\alpha \geq 90\%$	$N \leq 24$	上次校准前180个有效小时排放量最大值
	$N > 24$	上次校准前720个有效小时排放量最大值
$75\% \leq \alpha < 90\%$	—	上次校准前2160个有效小时排放量最大值

本文参考上述一系列规定,确定采用如下在线监测缺失数据替代方案。考虑到现实中存在缺失时段实际为企业季度性停产^①或长期关停期间的可能性,且按照环保部门的相关规定,企业计划停运一个季度以内的不得停运CEMS,计划停运超过一个季度的需要向当地环保部门备案后方可停运CEMS。因此,对于缺失时段超过一个季度的,研究不进行数据替代,其他情况下视缺失时段长短,用失效前一段时间内的数据均值进行替代(如表3所示)。由于研究所用数据为日度数据而非原始的小时级别,故方案中以缺失天数为指标。虽然本文的研究以均值替代方案为主要依据,但也同时制定了另一种更为严格的最大值替代方案,两种方案导致的结果差异可以体现缺失数据替代方案选择带来的不确定性。

表3 研究所采用的缺失数据替代方案

缺失时间段 D (天)	均值替代方案(主要采用该方案)	最大值替代方案
$D=1$	失效前7个有效日 CO_2 排放量的均值 ^②	失效前7个有效日 CO_2 排放量的最大值
$1 < D \leq 90$	失效前30个有效日 CO_2 排放量的均值	失效前30个有效日 CO_2 排放量的最大值
$D > 90$	视作企业长期关停,不进行数据替代	

(三)两种监测方法所得碳排放差距的定义

为了系统地比较在线监测法与排放因子法用于碳排放监测的差异,研究采用相对差距(Individual Relative Difference, IRD)来衡量两种碳排放监测结果之间的差距。为表述方便,记在线监测法所得碳排放为 $E_{\text{CEMS},i}$,排放因子法所得碳排放为 $E_{\text{ETS},i}$,则相对差距IRD由 $E_{\text{CEMS},i}$ 与 $E_{\text{ETS},i}$ 的差值占 $E_{\text{CEMS},i}$ 与 $E_{\text{ETS},i}$ 平均值的比例来表征(如式(4)所示)。

^①例如,对热力生产和供应业企业而言,一般只在每年的11月到来年3月正常运转,其余时段皆处于停产状态。

^②需要注意的是,进行缺失数据替代时需前溯7或30个有效数据,而非7或30天。若前溯过程中遇到缺失天数则跳过,继续前溯。

$$IRD_i = \frac{E_{CEMS,i} - E_{ETS,i}}{(E_{CEMS,i} + E_{ETS,i})/2} \quad (4)$$

三、研究数据

本文以北京市部分工业企业为案例,定量评估在线监测法与现有碳排放监测制度下排放因子法所得碳排放数据之间的差距。

本文所用数据来源于北京市碳排放权交易体系企业核查结果和北京市国家重点监控企业污染物在线监测数据库。前者覆盖北京市所有年排放总量超过5000吨CO₂当量的近一千家企业,包括经第三方核查机构核查的2012—2017年企业碳排放量(可细分为燃烧过程排放、工业过程排放和间接排放),均采用排放因子法计算CO₂排放量。后者包括55家北京市国家重点监控企业的99个排口的2016年部分在线监测数据,包括各排口的主要污染物(NO_x、SO₂、颗粒物)的日均浓度和单日排放量,各排口的年均小时含氧量和数据分布情况。

由于并非所有排口都具有有效的在线监测数据,99个排口中含有效数据的排口仅有62个,分别隶属于33个排污企业。通过企业名称这一标识,对上述两套数据所含企业进行逐个匹配,成功匹配企业15家,包括38个排口。因水泥制造行业和石化生产行业存在工业过程CO₂排放,不适用于通过在线监测数据计算企业碳排放,故被排除在本研究范围外。剔除这两类企业后,剩余企业12家,共包括26个排口,形成本文的分析对象。表4总结了这12家企业共计26个排口的行业分布情况和对应的主要能源消费品种。

表4 12家企业共计26个排口的行业分布和主要能源消费品种

行业分布	企业数目	排口数目	主要能源消费品种	
火力发电行业	9	19	一般烟煤	2个排口
			天然气	17个排口
热力生产和供应行业	2	6	一般烟煤	
其他工业	1	1	天然气	
总计	12	26	—	

相对完整的在线监测数据是实现碳排放量准确核算的基础,但实践中不可避免地会发生不同程度的数据缺失现象。本文考察的26个排口中有25个存在不同程度的数据缺失,仅1个排口具有全年366天的完整数据。表5列出了26个排口的2016年在线监测有效数据天数,平均有效天数为127天,部分排口数据缺失十分严重。从缺失行为和时长统计上看,26个排

口总计出现 95 次缺失,平均每次缺失时间段长约 65 天,近七分之一-的情况下每次缺失 1 天,近一半的情况下每次缺失时长不足 10 天。

表 5 26 个排口的 2016 年有效数据天数统计分布

排口数	年度有效天数(天)					
	平均数	中位数	25 分位值	75 分位值	最小的四个值	最大的四个值
26	127	69	38	236	5, 8, 13, 18	258, 278, 297, 366

数据质量是在线监测应用于碳排放监测的基础,研究所用在线监测数据需满足一定的完整性、准确性和真实性要求。经研究检验,上述 12 家企业(共计 26 个排口)中有 3 家企业(共计 5 个排口)的在线监测数据存在明显异常,部分排口在线监测数据存在数量级错误,还有部分排口半数以上天数的在线监测数据数值完全相等,另有 6 家企业(共计 12 个排口)因数据缺失过于严重,无法按照缺失值替代处理方法进行修约,数据较为准确、完备的企业仅余 3 家,共计 9 个排口。3 家企业中 2 家为火力发电企业(记为企业 A 和 B),1 家为热力生产和供应企业(记为企业 C)。基于这 3 家有效企业数据可以开展在线监测法与排放因子法所得碳排放的差距分析。由于在线监测法监测得到的是企业直接排放气体中的 CO₂ 含量,应当对标北京市碳排放权交易体系企业数据库中的燃烧过程排放,而非总排放量。

四、研究结果

囿于数据限制,研究未能获得原始的小时级别在线监测数据,仅知各排口的主要污染物(NO_x、SO₂、颗粒物)的日均浓度和单日排放量以及各排口的年均小时含氧量。为此,研究首先通过主要污染物(NO_x、SO₂、颗粒物)的日均浓度和单日排放量来反推单日的烟气体积流量,经交叉校准后,以年均含氧量替代日均含氧量代入式(3)用于碳排放量的计算。

将三家有效企业的在线监测数据计算的碳排放量与现有碳交易监测制度下由排放因子法所得的碳排放量进行对比分析,碳排放数据的相对差距分别为 7.2%、-11.9%、6.8%,与多位学者基于发达国家大量企业数据得到的分析结果基本一致(Ackerman & Sundquist, 2008; Borthwick et al., 2011; Quick, 2014; Gurney et al., 2016)。图 1 直观展示了三家企业两种监测方法所得碳排放的数据一致程度,图中 X 轴为在线监测法所得碳排放数值 E_{CEMS} (吨)的对数值, Y 轴为排放因子法所得碳排放数值 E_{ETS} (吨)的对数值,图中斜率为 1 的等值线(蓝色虚线)表示两种监测方法计算得到的碳排放相等。数据点越靠近等值线意味着该企业的两种监测方法的测量差值越小,数据点位于等值线下方表示在线监测法所得碳排放大于排放因子法,反之同理。数据点旁标注了对应企业的两种监测方法所得碳排放的相对差距(IRD),当在线监测法衡量的碳排放高于排放因子法时,IRD 为正,反之为负。两类监测方法所得碳排放数据存在偏差不可避免且正负不一,源于两类监测方法皆存在测量误差和不确定性,现有研究认

为,在线监测法的不确定性主要源于烟气流量的测量,排放因子法的不确定性主要源于净热值的测量和排放因子的选取。

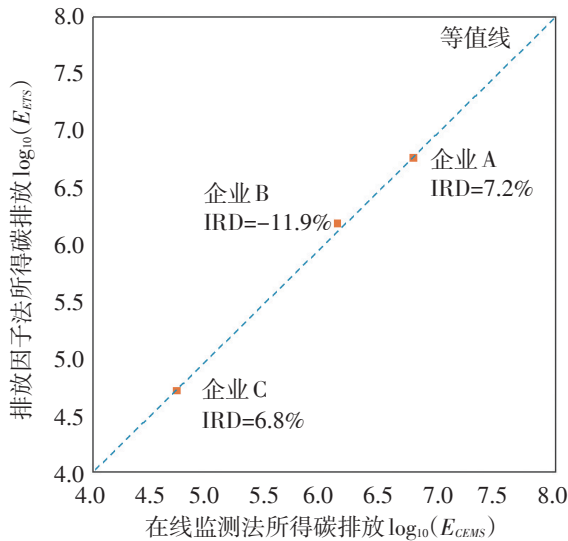


图1 三家企业的在线监测法和排放因子法所得碳排放数据的一致程度

五、总结与讨论

本文尝试建立了一套规范的在线监测碳排放的标准方法,并以北京市部分工业企业为案例,定量评估在线监测法所得碳排放与现有碳排放监测制度下排放因子法所得碳排放数据之间的差距。结果显示,两种监测方法所得碳排放的相对差距从-11.9%到7.2%不等,与发达国家同类研究所得的结果区间一致。

基于研究结果和发现,本文进一步识别了将在线监测应用于碳排放监测面临的三点主要挑战,具体如下:

第一,现有针对常规污染物的在线监测系统收集数据的质量不足以支撑其在碳排放监测中的应用。数据质量是将在线监测应用于碳排放监测的必要基础和前提,但目前相当一部分企业的在线监测数据质量无法满足数据应用要求。在第三部分中,以北京市部分工业企业为案例,研究发现不少企业在线监测数据缺失严重,近三分之二排口的全年数据完整率不足50%,且部分企业和排口的在线监测数据存在问题。因数据质量原因,本文初始匹配的12家企业共计26个排口中,最后仅余3家企业共计9个排口的在线监测数据可以应用于分析。数据质量问题是目前将在线监测应用于碳排放监测的主要挑战之一。

第二,缺失数据替代方案的选取和烟气流量数据的测量误差给监测结果带来较大的不确定性。缺失数据替代方案的选取和烟气流量数据的测量误差是在线监测法监测碳排放不确定性的两个主要来源。首先,对高频的连续在线监测数据而言,数据缺失现象是十分普遍的,

而缺失数据替代方案的选取会给监测结果带来较大的不确定性,尤其是对于碳排放量随时间波动幅度较大的企业而言。本研究主要依赖于均值替代方案,但和最大值替代方案相比,两种方案下企业的碳排放量差距可高达15.8%。其次,实现烟气流量的精准测量是提高在线监测法计算碳排放数据可靠性的关键,这是一项极具挑战性的任务。大量的科学研究都认为烟气流量的测量误差是导致在线监测法所得碳排放数据不准确的最主要因素。企业烟囱口的弯头、减压器、风扇等组成的网络会产生复杂的速度场(如有倾斜速度分布的旋流),导致精准测量烟气流速变得困难。较高的烟气温度、水蒸气饱和、缺氧等因素又带来了更多的测量障碍。

第三,高昂的投资成本和维护成本给推广在线监测方法监测碳排放带来了难度。根据美国环保署(EPA)的估算,对于已安装CEMS设备但未安装CO₂监测单元的排口而言,仅增加一个CO₂监测单元约需要2万美元。目前,国内企业安装的CEMS普遍未配备CO₂监测单元,国内市场中安装CO₂监测单元的单价也在10万元左右,而一个企业还可能具有多个排口,且后期的设备维护和日常管理也会带来不小的开销。使用在线监测法监测碳排放带来较高费用完全由政府财政负担或由企业自行承担都是不现实的,高昂的经济成本给推广在线监测方法监测碳排放带来了难度。

目前,政府主管部门已经开始探索将在线监测应用于碳交易体系中的数据监测,针对未来在线监测数据可能的应用,本文结合分析发现提出以下两点政策建议:

第一,与常规污染物监管建立起协同机制,共同推进企业在线监测数据的质量提升。企业在线监测的数据质量是数据应用的基础和关键。目前,环保主管部门正在尝试探索将在线监测数据应用于环保领域的超标判定和气候变化领域的碳排放总量控制,两项工作可以相互结合形成协同效应,共同推进企业在线监测数据质量的提升。同时积极开展在线监测数据的质量管理和相关立法执法工作。比如,进一步明确规范在线监测数据完整性要求并配合行政处罚手段加以贯彻落实,打击在线监测数据弄虚作假行为,提高数据真实性,构建在线监测数据质量常态化评估报告机制,并将数据质量管理纳入到对企业在线监测运行情况的日常监管中等。

第二,在电力行业部分企业中开展利用在线监测系统监测碳排放的试点工作。考虑到目前中国电力行业在线监测设备安装普及度高,全国碳排放权交易体系也首先以电力行业为突破口启动,其具备完整的、经核查验证的碳排放数据,可以以试点的形式将在线监测法应用于部分电力行业企业的碳排放监测中。在试点过程中,逐步加强对排放因子法与在线监测法差距水平和来源、不确定性水平、适用条件、优缺点的理解,通过试点探索适合中国本土特色的碳排放监测方法。

本研究针对将在线监测应用于碳排放监测这一热点话题开展了初步的探索,一定程度上

弥补了国内该领域定量研究的空白。目前,一些发电集团已经开始探索采用在线监测法监测碳排放,未来也将给学者们提供更好的数据基础供分析研判。在线监测法能否成为中国碳排放监测制度的主流方法尚有待时间的检验和实践的证实。

参考文献:

- [1] 董文福,刘泓汐,王秀琴,劳月娥,殷培红. 美国温室气体强制报告制度综述[J]. 中国环境监测, 2011, 27(2): 18-21.
- [2] 段志洁,张丽欣,李文波,陈琳,王振阳. 燃煤电力企业温室气体排放量量化方法对比分析[J]. 中国电力, 2014, 47(2): 120-125.
- [3] 国家环境保护部. HJ 75-2017固定污染源烟气(SO₂、NO_x、颗粒物)排放连续监测技术规范[R]. 2017.
- [4] 李鹏,吴文昊,郭伟. 连续监测方法在全国碳市场应用的挑战与对策[J]. 环境经济研究, 2021, 6(1): 77-92.
- [5] 张丽欣,段志洁,燕百强,陈伟,张礼兴. 美国和欧盟温室气体管理机制对我国电力行业碳排放管理的启示[J]. 中国电力, 2013, 5: 77-82.
- [6] 中国电力企业联合会. 发电企业碳排放权交易技术指南(征求意见稿)[R]. 2019.
- [7] 周颖,张宏伟,刘兰翠,蔡博峰,张战胜. 欧盟和美国温室气体排放监测对中国的借鉴意义[J]. 中国环境监测, 2013, 29(5): 1-5.
- [8] Ackerman, K. V. and E. T. Sundquist. Comparison of Two U.S. Power-Plant Carbon Dioxide Emissions Data Sets [J]. Environmental Science & Technology, 2008, 42: 5688-5693.
- [9] Borthwick, R. P., J. Whetstone, J. C. Yang, and A. M. Possolo. Examination of United States carbon dioxide emission databases[R]. 2011.
- [10] European Commission(EC). Commission Regulation (EU) No 601/2012 of 21 June 2012 on the Monitoring and Reporting of Greenhouse Gas Emissions Pursuant to Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council[R]. 2012.
- [11] Evans, S., S. Deery, and J. Bionda. How Reliable are GHG Combustion Emission Factors [R]. 2009.
- [12] Gurney, K. R., J. Huang, K. Coltin. Bias Present in US Federal Agency Power Plant CO₂ Emissions Data and Implications for the US Clean Power Plan [J]. Environmental Research Letters, 2016, 11(6):064006
- [13] Karplus, V. J., S. Zhang, D. Almond. Quantifying Coal Power Plant Responses to Tighter SO₂ Emissions Standards in China [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2018, 115(27): 7004-7009.
- [14] Lee, S., Y. Choi, J. Woo, et al. Estimating and Comparing Greenhouse Gas Emissions with Their Uncertainties Using Different Methods: A Case Study for an Energy Supply Utility [J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2014, 64(10): 1164-1173.
- [15] Quick, J. C. Carbon Dioxide Emission Tallies for 210 US Coal-Fired Power Plants: A Comparison of Two Accounting Methods [J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2014, 64(1): 73-79.
- [16] Quick, J. C. and E. Marland. Systematic Error and Uncertain Carbon Dioxide Emissions from US Power Plants [J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2019, 69(5): 646-658.
- [17] US Environmental Protection Agency (EPA). Mandatory Greenhouse Gas Reporting [EB/OL]. (2009-10-30) [2021-9-20]. <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=fd328d31eb41253e807826ed06da8066&mc=true&node=pt40.23.98&rgn=div5>.
- [18] US Energy Information Administration (EIA). Documentation for Emissions of Greenhouse Gases in the

United States 2009 [EB/OL]. (2011-3-31)[2021-9-20]. https://www.eia.gov/environment/emissions/ghg_report/.

[19] World Resource Institute (WRI), World Bank Group. Guide for Designing Mandatory Greenhouse Gas Reporting Programs[R]. 2014.

Application of Online Monitoring to China's Carbon Emission Trading System: Key Issues and Policy Recommendations

Zhang Qin, Zhang Da and Zhang Xiliang

(Institute of Energy, Environment and Economy, Tsinghua University)

Abstract: High-quality emissions data is the foundation of carbon emissions trading, and the selection of monitoring methods is essential for establishing a reliable carbon emissions monitoring system and improving the accuracy of carbon emissions data. This study establishes a set of standardized online monitoring methods to monitor carbon emissions and quantitatively evaluates the gap between carbon emissions data obtained by online monitoring method and carbon emissions data obtained by emission factor method based on relative data of some industrial firms in Beijing. In addition, this study identifies three main challenges in applying online monitoring to carbon emissions monitoring and makes several policy recommendations for future mechanism design such as improving the quality of online monitoring data and launching pilot projects for applying online monitoring method to monitor carbon emissions in the power industry.

Keywords: Carbon Emissions Trading System; Online Monitoring; Continuous Emissions Monitoring System

JEL Classification: P18, Q58

(责任编辑:卢 玲)