

马北玲, 吕欣, 陈星, 等. 火电厂大气排放监测大数据分析 & 政策影响研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(7): 73–79. [MA Beiling, LV Xin, CHEN Xing, et al. Analysis of atmospheric emission monitoring big data of thermal power plants and study on the policy impact [J]. China population, resources and environment, 2019, 29(7): 73–79.]

火电厂大气排放监测大数据分析 & 政策影响研究

马北玲^{1,2} 吕欣^{2,3} 陈星⁴ 陈晓红^{1,2}

(1. 湖南工商大学旅游管理学院/大数据与互联网创新研究院, 湖南 长沙 410205;

2. 中南大学商学院/两型社会与生态文明协同创新中心, 湖南 长沙 410083;

3. 国防科技大学系统工程学院, 湖南 长沙 410073; 4. 湖南省生态环境厅, 湖南 长沙 410014)

摘要 火电行业作为我国能源消耗和大气环境污染物排放的重点行业, 既是承担国家减排目标责任的主力军, 也是体现减排成效的突破口。为进一步研究和分析国家大气污染防治的政策效果, 特别是分析促进火电企业减排的主要因素, 本文以 2006—2015 年湖南省 300 MW 及以上大型火电企业燃煤机组发电过程中烟气排放的 SO_2 、 NO_x 等连续监测大数据为基础, 对主要污染物年、月、日、区域的变化及差异进行挖掘, 并对各排放特征的形成原因和影响因素进行分析。研究结果总体上反映了大气污染治理政策体系的整体演进特征和规制效果, 以及火电厂对中央政策的响应速度和程度。具体而言, 除了政策的影响之外, 月度变化特征跟区域的能源结构、气候环境紧密相关; 日变化特征跟企业的社会责任意识差异及选择的环保设施运行工况有关。根据在线排放特征影响因素分析, 提出了火电厂大气排放监测大数据绿色调度智能化和环境信用评价应用的建议。研究结果说明, 基于监测数据的政策影响研究对以计量经济学模型为主的政策效果评估方法是一个补充。此外, 对于政府提高污染治理的精细化管理水平, 进一步完善大气污染治理政策也有重要意义。

关键词 火电厂; 环境大数据; 数据特征; 大气污染治理政策

中图分类号 X51 **文献标识码** A **文章编号** 1002-2104(2019)07-0073-07 **DOI**: 10.12062/cpre.20181105

电力行业既是能源生产和消费的重点行业, 也是大气污染防治的重点领域。“十一五”“十二五”期间, 随着经济的快速发展, 电力工业发展迅速, 发电量由 2006 年的 28 499 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 增加到 2015 年的 57 400 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。其中, 火力发电量由 2006 年的 23 741 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 增加到 2015 年的 42 307 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ^[1-3]。火力发电过程中排放的 SO_2 、 NO_x 等前体物二次生成的细颗粒物是 $\text{PM}_{2.5}$ 的重要来源^[3-5], 给中国环境带来了巨大挑战。不过, 随着新能源发电稳步增长, 火电发电量占比由 2006 年的 83.31% 下降为 2015 年的 73.71%, SO_2 、 NO_x 排放量占全国排放量比重则由 2006 年的 52.15% 和 55.59% 分别下降为 2015 年的 10.8% 和 9.72%^[1-2], 火电企业污染排放显著降低。深入分析和研究国家大气污染防治政策效果及促进火电企业

减排的因素, 对国家进一步完善大气污染治理政策、推动中国经济可持续高质量发展具有重要意义^[6], 也可为其他行业减排提供经验借鉴。

近年来, 以大数据为代表的新一代信息技术在我国电力行业中广泛应用, 电力数据自动采集并形成了一定规模, 为采用大数据分析研究我国火电厂大气排放特征及其影响因素奠定了基础、提供了可能。但是, 目前国内的研究还大多停留在有关大数据的概念探讨和应用分析^[7-10]。虽然国外有不少电力大数据的研究, 但主要集中于理论模型分析, 并着眼于电力预测和智能电网效率提升等问题^[11-14]。因此, 就目前而言, 将大数据分析应用于大气污染治理政策影响方面的实证研究很缺乏。对于大气污染治理政策的研究, 目前学者已从分析大气污染治理政

收稿日期: 2018-10-23 修回日期: 2019-04-28

作者简介: 马北玲, 博士后, 副教授, 主要研究方向为创新管理和环境资源管理。E-mail: mbling@126.com。

通信作者: 陈晓红, 博士, 教授, 博导, 中国工程院院士, 主要研究方向为决策理论、两型社会建设。E-mail: csu_cxh@163.com。

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划集成项目“大数据驱动的公共管理决策创新模式与集成示范平台”(批准号: 91846301); 国家自然科学基金重点项目“面向环境管理的嵌入式服务决策理论与平台”(批准号: 71431006); 国家自然科学基金优秀青年科学基金项目“大数据挖掘与应急管理”(批准号: 71522014); 湖南省社科基金项目“雾霾背景下电力企业节能减排技术采用及其效率研究”(批准号: 15YBB052); 湖南省科技计划项目(批准号: 2017RS3040, 2018JJ1034, 2016JJ6048); 湖南省社科智库课题(批准号: CXKT2016004); 2017 年湖南商学院青年创新驱动计划项目(批准号: 17QD0010)。

策的不足和实施困境^[1]、评估大气污染治理政策的效果^[13]、分析大气污染治理政策执行的影响因素^[14]、寻找最优的大气污染治理经济政策^[15]以及讨论大气污染治理政策的国际经验借鉴^[16]等方面展开了讨论,但仅有少量学者对大气污染治理政策与电力企业减排关系进行了研究^[22-23]。这些文献对于我们理解大气环境规制的实施效果提供了重要基础。但是总体而言,上述研究大多是基于抽样调查数据或年度统计数据,数据样本有限,数据量相对较少,并且收集时间间隔长,受到同期干扰因素多,在政策分析的针对性和及时性方面受到颇多限制。本文尝试使用火电厂大气排放监测分钟级数据,识别火电厂主要大气污染物排放时空变化特征,探究具有潜在联系因素之间的相关性,扩充政策评价的内涵,以更加准确真实地反映国家大气污染治理政策与火电厂污染减排之间的关系,为政府提高精细化管理水平,进一步完善大气污染治理政策提供更具体和针对性的参考。

1 数据来源与处理

本研究的数据取自 2006—2015 年湖南省 300 MW 及以上各燃煤机组发电过程中烟气排放连续监测的分钟级历史数据。根据原国家环境保护总局先后发布的《火电厂烟气排放连续监测技术规范》(HJ/T75-2001)及《国定污染源烟气排放连续监测技术规范》(HJ/T75-2007),湖南省 300 MW 及以上燃煤机组于 2004 年底、2007 年底分别完成了烟气在线连续自动监测系统(CEMS)的配套建设使用 and 监测数据的传输联网。火电厂烟气在线连续自动监测系统(CEMS)由污染物监测系统、烟气参数子系统、数据采集、传输与处理子系统等组成,主要测定烟气中颗粒

物浓度、气态污染物浓度及烟气中温度、压力、流速或流量、含湿量、含氧量等烟气参数。该监测数据从“十一五”期间作为环保总量减排核查、核算依据逐步应用发展至当前环保排污收费的核定依据,实现了从定性应用到定量应用的飞跃,数据可靠性高。

烟气排放连续监测数据是客观评价火电企业减排成效、实施火电企业减排管理与决策的基本依据。为分析国家环保政策对火电行业减排的关联效果,本文以 2006—2015 年湖南省 300 MW 及以上大型火电企业燃煤机组发电过程中烟气排放连续监测的 SO_2 、 NO_x 的流量分钟级排放大数据约 5.6 亿条为基础,进行了数据处理工作:①以小时、日、月、年为时间单位,统计单台机组和所有机组气态污染物的平均排放浓度、月度排放总量、年度排放总量;②利用所有机组气态污染物的年度排放总量统计数据及年度发电总量电网调度数据,统计气态污染物的年均排放强度;③分区域对单台机组气态污染物的排放量、流量进行汇总,计算区域平均排放浓度。基于上述整理的气态污染物排放数据,开展统计分析:以时间、空间为分析角度,绘制污染物排放浓度、排放总量、排放强度的时间变化特征图及不同火电厂的差异特征图。

2 火电厂大气污染物排放监测大数据分析

2.1 火电厂大气污染物年度排放变化趋势分析

首先分析火电厂大气污染物年度排放变化趋势,排放总量和排放强度年度变化趋势如图 1。2006—2015 年,在装机容量和年发电总量不断增加的前提下,湖南省火电机组 SO_2 和 NO_x 年排放总量和排放强度均大幅下降,但两者的下降幅度和下降趋势存在较大的差异: SO_2 下降幅度

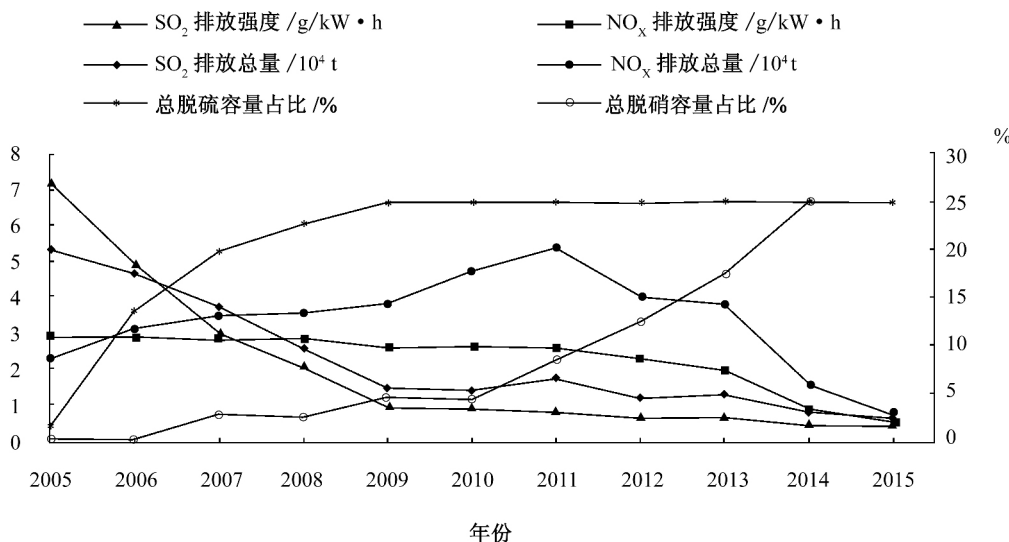


图 1 2005—2015 年湖南省脱硫、脱硝容量占比和火电污染排放变化

较大,呈整体下降及先快后慢的时段性变化趋势; NO_x 下降幅度相对较小,呈先上升、后下降的时段性变化趋势。

SO_2 年排放总量和排放强度从 2005 年的 19.99 万 t 和 $7.23 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$ 分别下降至 2015 年的 2.39 万 t 和 $0.42 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$,降幅 88.04% 和 94.19%。其中,2006—2009 年,排放总量从 2005 年的 19.99 万 t 大幅锐减至 2009 年的 5.35 万 t,平均每年下降 3.66 万 t,排放强度也从 2005 年的 $7.23 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$ 大幅锐减至 2009 年的 $0.97 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$,平均每年下降 $1.57 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$; 2010—2015 年,排放总量从 2009 年的 5.35 万 t 平缓下降至 2015 年的 2.39 万 t,平均每年下降 0.49 万 t,排放强度也从 2009 年的 $0.97 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$ 平缓下降至 2015 年的 $0.42 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$,平均每年下降 $0.09 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$ 。

NO_x 年排放总量和排放强度从 2005 年的 8.66 万 t 和 $2.9 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$ 分别下降至 2015 年的 2.9 万 t 和 $0.51 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$,降幅 66.51% 和 82.41%。其中,2006—2011 年,排放总量从 2005 年的 8.66 万 t 先上升到 2011 年 20.41 万 t,平均每年上升 1.96 万 t,排放强度从 2005 年到 2011 年基本维持不变,基本维持在 $2.77 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$ 左右; 2012—2015 年,排放总量从 2011 年的 20.41 万 t 大幅锐减到 2015 年 2.9 万 t,平均每年下降 4.38 万 t,排放强度从 2011—2013 年缓慢下降,平均每年下降 $0.29 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$,从 2014 年初到 2015 年末快速下降,平均每年下降 $0.73 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$ 。

2.2 火电厂污染物月度排放总量变化趋势分析

本文分析了火电厂大气污染物每年的月度排放变化趋势,按年度绘制月度排放量变化趋势图,发现每年 SO_2 、 NO_x 的月度排放量变化趋势均大致呈“W”型,选取 2015

年图形(如图 2)举例说明:1 月、8 月、12 月的月度排放量为“W”的三个高点,6 月和 9 月的月度排放量为“W”的二个低点。其中 SO_2 的三个高点数值分别为:3 002.57 t、2 457.05 t、2 082.64 t;二个低点数值分别为:1 680.74 t、1 613.36 t。 NO_x 的三个高点数值分别为:3 086.4 t、2 704.13 t、2 243.27 t;二个低点数值分别为:1 902.04 t、1 758.38 t。

2.3 不同火电厂日排放浓度特征分析

本文分析了火电厂大气污染物的日排放浓度变化趋势,绘制了不同电厂机组日排放浓度变化趋势图,并选用 GB13223—2011 执行年份的 2014 年度日均浓度变化趋势图分析,发现以下特征:①所有电厂机组日平均排放浓度存在明显的时间节点差异;②不同排放浓度区间的机组台数存在明显数量差异;③不同电厂日平均排放浓度呈现三种排放模式:经济模式、环保模式、中间模式。基于 SO_2 和 NO_x 日排放浓度变化具有一致性的特点,以 SO_2 典型排放代表机组日均浓度变化情况(如图 3)予以分析说明,A、B、C 为典型代表机组 SO_2 排放浓度日平均线。

2014 年,所有电厂机组 SO_2 日平均排放浓度于 7 月 1 日存在明显的时间节点差异变化,图 3 中 A、B、C 典型代表机组的 SO_2 日平均排放浓度上半年分别为 300.4 mg/m^3 、 238.3 mg/m^3 、 129.1 mg/m^3 ,下半年分别为 150.3 mg/m^3 、 127.5 mg/m^3 、 99.4 mg/m^3 。

2014 年,不同电厂机组 SO_2 日平均排放浓度存在明显差异,为有效分析排放差异的原因,将实际排放浓度与环保排放限值比值的区间对应的排放模式予以分类:经济排放模式(75%~100%)、中间排放模式(50%~75%)、环保排放模式(<50%)。统计不同电厂机组日排放浓度

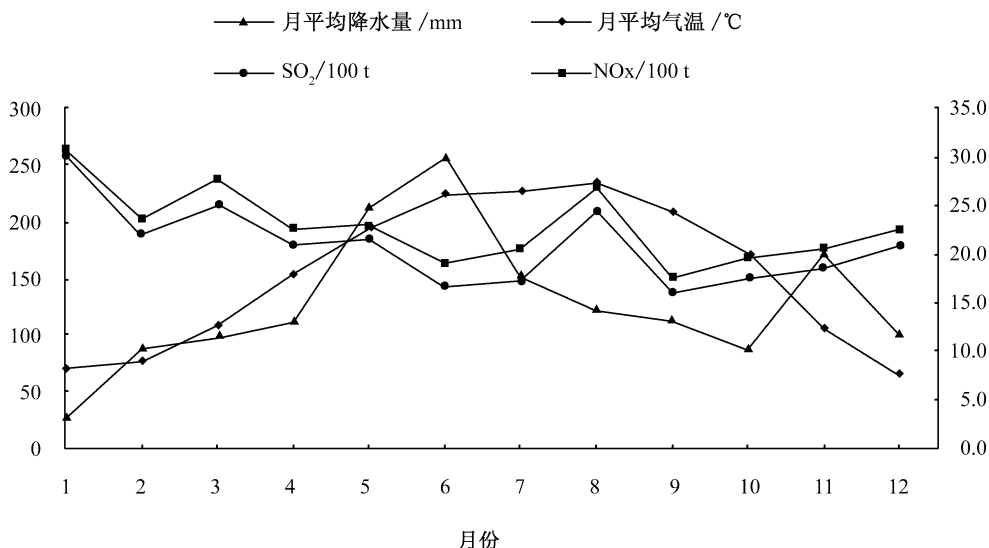


图 2 2015 年湖南省月均气温、降雨量和火电污染排放变化

变化趋势图发现:39 台发电机组中 15 台为经济排放模式、21 台为中间排放模式、3 台为环保排放模式。大部分电厂机组选择了经济排放模式与中间排放模式,极少数电厂机组选择了环保排放模式。

2.4 不同区域火电厂大气污染物排放浓度特征分析

本文分析了单个区域内所有火电企业燃煤机组大气污染物的年平均排放浓度。这些火电机组主要分布在湖南省 14 个地市州的 10 个行政区域内,覆盖率为 71.43%,在地域分布上具有较好的代表性。统计分析显示,长沙与湖南其他区域的机组年排放浓度存在显著差异。2015 年长沙 SO_2 年平均排放浓度为 16.28 mg/m^3 ,而其他区域为 $80.27 \sim 143.62 \text{ mg/m}^3$,年平均排放浓度为 111.73 mg/m^3 。其他区域 SO_2 年平均排放浓度约为长沙区域的 7 倍,存在显著差异。

3 火电厂大气排放监测数据分析结果探析

3.1 环保政策对年度排放变化趋势的影响

自 2006 年《十一五减排规划纲要》首次将节能减排目

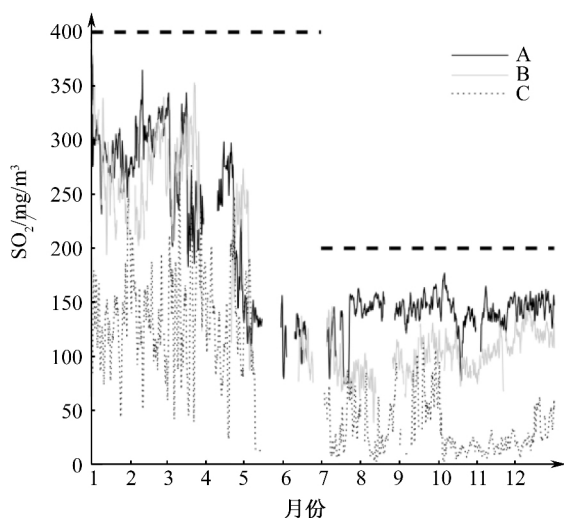


图 3 2014 年 A、B、C 厂某机组 SO_2 日排放浓度分布

标列为约束性指标开始,至 2015 年国家先后从减排目标、环保标准、实施措施、激励机制和监管要求等方面对火电企业减排出台了 9 项环保政策(见图 4)。湖南火电企业充分响应和积极应对,加大脱硫、脱硝减排设施改造投入,加强环保设施运行管理,同时完善减排监测和基础管理。2015 年底, SO_2 在 2005 年排放总量基数上减少了 88%, NO_x 在 2010 年排放总量的基数上减少了 83.5%,下降幅度远高于国家 17.2% 及 10% 的要求(见图 1),为全国及湖南省全面完成“十一五”“十二五”主要大气污染物减排目标作出了重大贡献。同时,依据 SO_2 、 NO_x 年排放强度和排放量的时段性变化趋势与国家减排政策出台时间的对应关系,可从微观角度体现国家大气污染治理政策对“十一五”“十二五”期间减排成效引导和促进作用。

具体来看,根据《十一五减排规划纲要》,从 2006 年起,湖南省火电机组开始全面实施增装石灰石——石膏湿法烟气脱硫装置改造,至 2009 年底,烟气脱硫机组容量占比从 2005 年底的 5.9% 上升到 100%,见图 1。脱硫装机容量占比变化趋势与图中 SO_2 排放总量和强度快速下降变化趋势及 2009 年为下降拐点相吻合。2009—2015 年期间,在无新增脱硫改造项目的基础上, SO_2 排放总量、排放强度依然呈缓慢下降趋势,排放总量平均每年下降幅度为 9.2%,排放强度平均每年下降幅度为 9.5%,主要得益于 2011 年 7 月发布的《火电厂大气污染物排放标准》和“十二五”期间一系列的环保电价政策和监管办法等对火电企业减排效果的促进作用。

从图 1 中可以看出,2005—2011 年,与 SO_2 大幅锐减的趋势相反, NO_x 年排放总量呈逐年上升趋势,但是排放强度基本没变,主要原因是 2011 年 3 月,国家才出台 NO_x 减排政策,要求氮氧化物排放总量在 2010 年基础上减少 10%。从 2011 年起,湖南省火电机组开始全面实施增装 SCR 脱硝装置改造,至 2014 年底,烟气脱硝机组容量占比从 2010 年底的 17.8% 上升到 100%,见图 1。脱硝装机容量

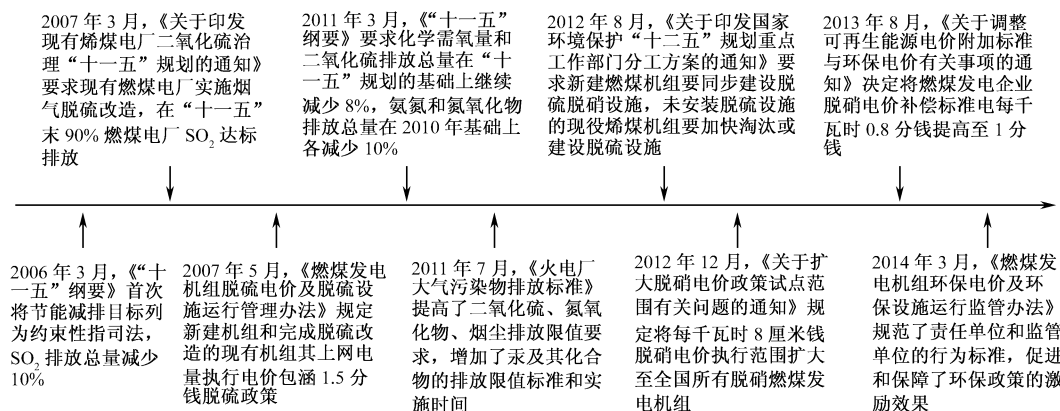


图 4 2006 年以来国家火电企业减排政策汇总

量占比变化趋势与 NO_x 排放总量和强度快速下降变化趋势相吻合。

3.2 清洁能源发电优先上网政策和气温对月度排放变化趋势的影响

由于火电月度排放量变化趋势是由火电月度发电量变化造成的,而火电月度发电量的变化是基于湖南电力能源结构并受气温和清洁能源供电量的变化共同影响导致的,因而需要从这两方面去分析其对月度排放变化趋势的影响。湖南电力能源结构主要包括火电、水电、风电、太阳能发电、生物质等新能源,截至 2015 年,火电占比 56.23%,水电占比 39.44%,新能源占比 4.33%。湖南清洁能源主要包括水电、风电、太阳能发电、生物质发电等,2015 年清洁能源供电量占全省总用电量的 43.36%,其中水电占比为 95.76%。在各类发电上网方面,湖南省长期以来均执行清洁能源优先上网原则,而 2009 年 12 月颁布的《可再生能源法》更是从政策上强化了该原则要求。因此在分析清洁能源发电优先上网政策对火电月度排放变化的影响时,主要以水电作为代表进行分析。

为分析 SO_2 、 NO_x 的月度排放数据分别与月均气温和降雨量的相关关系,我们用一元多项式对相关数据进行回归分析,但由于样本量较小,还需要结合相关系数的大小判断。通过分析发现, SO_2 、 NO_x 与气温的相关系数分别为 0.670 8 和 0.629 3,显著性分别为 0.092 和 0.133,两者呈现明显的 U 型相关; SO_2 、 NO_x 与降雨量的相关系数分别为 -0.57 和 -0.559,显著性分别为 0.067 和 0.074,两者呈现明显的负相关。这两种相关性可以解释为,气温影响社会用电需求量,气温越高或越低,用电量越大,污染排放越高,因而气温与火电厂月度污染排放 U 型相关;而在给定用电需求量的情况下,降雨量越大则水电发电量越大。由于清洁能源发电有优先上网的优惠政策,增加的水电替代部分火电,使火电发电量相应降低,因而降雨量与火电厂月度污染排放负相关。

回归分析结果和湖南省气温、降雨量与火电月度排放量的变化情况基本相符。湖南的用电需求受气温影响较大。在极冷和极热的天气,发电量大幅上升,图 2 展示了 2015 年湖南省月均气温的变化情况。月均气温大体呈倒“U”型分布,冬寒冷而夏酷热,其中 12 月平均气温达到最低为 7.7℃,其次是 1 月 8.2℃,8 月平均气温达到最高为 27.3℃。这和 SO_2 、 NO_x 月排放总量变化趋势中的极值点 1 月、8 月、12 月相吻合。湖南降水资源丰富,年降雨量大,但受季节因素影响,月度降雨量极不均匀。2015 年湖南省月均最小降雨量为 1 月的 27.4 mm,月均最大降雨量为 6 月的 257.7 mm,月度降雨量的分布变化如图 2 所示。这和 SO_2 、 NO_x 月排放总量 W 型变化趋势是基本相反的。

3.3 激励政策对不同火电厂日均排放差异的影响

为促进火电行业主要大气污染物的减排,国家推行实施的激励政策主要为环保电价补贴和排污费差别收费。其中环保电价补贴政策具有一定的激励性和约束性:①开始于 2007 年 5 月的燃煤机组脱硫电价,完善于 2013 年 9 月全面执行的脱硫、脱硝、除尘环保电价;②单位电量的脱硫、脱硝、除尘环保电价补贴标准为 2.7 分/ $\text{kW} \cdot \text{h}$;③火电企业环境义务中的主要大气污染物排放浓度值执行标准由《火电厂大气污染物排放标准》(GB13223-2003)升级至《火电厂大气污染物排放标准》(GB13223-2011)。对比 2.3 节中所发现的“所有电厂日平均排放浓度存在明显的时间节点差异”,火电厂日排放浓度在新排放标准政策实施后呈现明显大幅度下降(如图 3),表明环保电价补贴政策对火电企业污染物日均排放浓度达标排放的激励效果。

排污费差别收费政策具有鼓励性而非强制性:①2014 年 9 月,国家发展改革委、财政部、环保部印发了《关于调整排污费征收标准等有关问题的通知》(发改价格[2014]2008 号);②企业污染物排放浓度值低于国家或地方规定的污染物排放限值 50% 以上的,减半征收排污费,折算到单位电量的排污费减收额度为 0.06 分/ $\text{kW} \cdot \text{h}$;③火电企业环境义务中的主要大气污染物排放浓度执行标准仍为《火电厂大气污染物排放标准》(GB13223-2011),不强制要求企业污染物排放浓度值低于《火电厂大气污染物排放标准》(GB13223-2011)规定的污染物排放限值 50% 以上。根据 2.3 节对火电厂日排放浓度变化的大数据分析,我们发现不同电厂日平均排放浓度同时呈现三种排放模式:经济模式、环保模式、中间模式,说明现有排污费差别收费政策取得了一定的减排效果。但大部分电厂排放模式属于中间模式,环保模式比例较低,意味着在国家污染物排放限值内存在弹性时,企业倾向于选择刚好符合国家标准;若要促进企业自愿采取环保模式,应从企业社会责任意识、行为及结果等方面进一步完善相关激励政策。

3.4 大气污染物特别排放限值政策对区域排放差异的影响

2011 年 7 月,《火电厂大气污染物排放标准》(GB13223-2011)规定了重点区域的大气污染物特别排放限值,2013 年 2 月,环保部印发了《关于执行大气污染物特别排放限值的公告》(公告 2013 年第 14 号),公告明确湖南长沙市为“三区十群”47 个重点控制区域之一,2014 年 7 月开始执行特别排放限值标准。而其他区域电厂火电机组 SO_2 执行《火电厂大气污染物排放标准》(GB13223-2011)排放限值标准要求的 $200 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。根据大气污染物特别排放限值要求和国家发改委、环保部和国

家能源局于2014年9月联合印发的《煤电节能减排升级与改造行动计划(2014—2020年)》(发改能源[2014]2093号),长沙区域火电机组提前实施完成了超低排放改造工程,因此长沙区域与其他区域火电企业燃煤机组 SO_2 年排放浓度存在显著差异。

4 结论及政策建议

本文通过分析火电厂大气污染物排放在线监测数据,对主要污染物年、月、日、区域的变化及差异进行挖掘,以了解火电厂大气污染物排放特征及政策的影响。研究发现:①火电厂 SO_2 、 NO_x 年排放强度和排放量随国家减排政策相继出台呈阶段状下降;② SO_2 、 NO_x 月度排放量变化趋势大体呈“W”型;③所有电厂日平均排放浓度存在明显的时间节点差异,不同电厂日平均排放浓度呈现三种排放模式:经济模式、环保模式、中间模式;④重点区域火电厂 SO_2 、 NO_x 平均排放浓度显著低于周边区域。总体上,反映了大气污染治理政策体系的整体演进特征和规制效果,以及火电厂对中央政策的响应速度和程度。具体而言,除了政策的影响之外,月度变化特征还跟区域的能源结构、气候环境紧密相关;日变化特征跟企业的社会责任意识差异和选择的环保设施运行工况也有关。

根据火电厂大气污染物排放监测数据变化特征及影响因素,对相关部门提出以下建议:第一,绿色智能调度应用。根据湖南火电厂大气污染物月排放总量W型变化的影响因素,建议开发电力大数据绿色调度智能化功能,充分考虑区域内能源结构、气温、降雨量等地域特征因素对用电需求和发电结构的影响,采集相关影响因素的数据信息,利用大数据技术获取其精准预测的绿色调度方式,实现绿色人工调度向绿色智能型调度转变。第二,环境信用评价应用。根据不同电厂日均排放浓度的三种模式及原因分析,建议根据企业机组运行的日排放浓度与环保排放限值的比值对应的三种模式,开发数据统计及企业环保排放模式识别判断功能,并应用于火电厂环保信用等级评价体系及激励机制完善。一方面,完善火电厂环保信用等级评价体系,将数据统计和识别结果纳入火电厂环保信用等级评级依据,达到环保排放模式的才能评为绿色企业;另一方面,健全环保信用激励机制,基于大气污染排放监测数据分析结果,对不同排放模式企业的计划电量实施差异化分配,鼓励企业向环保排放模式转变。

本研究基于监测数据的政策影响研究,能最直接从火电厂大气排放数据中发现问题,可以更真实、客观地反映火电厂的排放特征及政策的影响,对以计量经济学模型为主的政策效果评估方法是一个补充。本研究对火电厂大气排放特征进行了多视角、直观的呈现,为未来的政策

评估提供了新的思路。但是受到数据采集的约束,此次研究只探讨了湖南火电厂大气排放特征,对其他省份的排放特点未做分析,今后的研究会增强研究的完整性。一方面,未来将采用实证策略(如PSM-DID)和大数据相结合的方法定量识别国家大气污染治理政策对火电企业减排的影响,从而识别政策的因果效应;另一方面,将排放大数据和经济数据合并进一步分析政策的经济绩效和环境绩效,进而检验我国环境规制是否存在双重红利,也是未来研究的重要方向。

(编辑:刘照胜)

参考文献

- [1] 中国电力企业联合会. 中国电力行业年度发展报告 2007 [R]. 2007.
- [2] 中国电力企业联合会. 中国电力行业年度发展报告 2016 [R]. 2016.
- [3] 莫华, 朱法华, 王圣. 火电行业大气污染物排放对 $\text{PM}_{2.5}$ 的贡献及减排对策 [J]. 中国电力, 2013(8): 1-6.
- [4] CHEN X H, TANG X B. Spatial and temporal distribution of $\text{PM}_{2.5}$ pollution and control strategy in Chang-Zhu-Tan city cluster [J]. Frontiers of engineering management, 2016(2): 171-181.
- [5] TANG X B, CHEN X H, TIAN Y. Chemical composition and source apportionment of $\text{PM}_{2.5}$: a case study from one year continuous sampling in the Chang-Zhu-Tan urban agglomeration [J]. Atmospheric pollution research, 2017, 8(5): 885-899.
- [6] 陈诗一, 陈登科. 雾霾污染、政府治理与经济高质量发展 [J]. 经济研究, 2018, 53(2): 20-34.
- [7] 邓传华. 电力大数据的应用前景与面临的挑战研究 [J]. 河北省科学院学报, 2015(3): 66-69.
- [8] 吴凯峰, 刘万涛, 李彦虎, 等. 基于云计算的电力大数据分析技术与应用 [J]. 中国电力, 2015, 48(2): 111-117.
- [9] 揭骏仁. 智慧电厂的物联网环境监测平台 [J]. 北京: 北京交通大学, 2013.
- [10] 崔立真, 史玉良, 刘磊, 等. 面向智能电网的电力大数据存储与分析应用 [J]. 大数据, 2017, 3(6): 42-54.
- [11] ANEIRO S G, VILAR J, RAÑA P. Short-term forecast of daily curves of electricity demand and price [J]. International journal of electrical power and energy systems, 2016, 80: 96-108.
- [12] ORTIZ M, UKAR O, AZEVEDO F, et al. Price forecasting and validation in the Spanish electricity market using forecasts as input data [J]. International journal of electrical power and energy system, 2016, 77: 123-127.
- [13] ZHOU K L, YANG S L. Understanding household energy consumption behavior: the contribution of energy big data analytics [J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2016, 56: 810-819.
- [14] DIAMANTOULAKIS P D, KAPINAS V M, KARAGIANNIDIS G K. Big data analytics for dynamic energy management in smart grids [J]. Big data research, 2015, 2(3): 94-101.

- [5] ZHOU K L, FU C, YANG S L. Big data driven smart energy management: from big data to big insights [J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2016, 56: 215–225.
- [6] HE X, AI Q, QIU R C, et al. A big data architecture design for smart grids based on random matrix theory [J]. IEEE transactions on smart grid, 2017, 8(2): 674–686.
- [7] 姜玲, 叶选挺, 张伟. 差异与协同: 京津冀及周边地区大气污染治理政策量化研究 [J]. 中国行政管理, 2017(8): 126–132.
- [8] ZHANG Z G, JIN X C, YANG Q X, et al. An empirical study on the institutional factors of energy conservation and emissions reduction: evidence from listed companies in China [J]. Energy policy, 2013, 57: 36–42.
- [9] 孟凡蓉, 王焕, 陈子韬. 基于扎根理论的大气治理政策执行影响因素及机制研究 [J]. 软科学, 2017, 31(6): 34–37.
- [10] 邵帅, 李欣, 曹建华, 等. 中国雾霾污染治理的经济政策选择——基于空间溢出效应的视角 [J]. 经济研究, 2016, 51(9): 73–88.
- [11] 魏巍贤, 王月红. 跨界大气污染治理体系和政策措施——欧洲经验及对中国的启示 [J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(9): 6–14.
- [12] 卓子涵, 李万新, 白重恩. 火电企业 SO₂ 排放的地区差异性分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(11): 96–100.
- [13] ZHOU K, YANG S L, SHEN C, et al. Energy conservation and emission reduction of China's electric power industry [J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2015, 45: 10–19.

Analysis of atmospheric emission monitoring big data of thermal power plants and study on the policy impact

MA Bei-ling^{1,2} LV Xin^{2,3} CHEN Xing⁴ CHEN Xiao-hong^{1,2}

(1. Tourism Management School, Hunan University of Technology and Business/Institute of Big Data and Internet Innovation, Changsha Hunan 410205, China; 2. Business School, Central South University/Collaborative Innovation Center of Resource-conserving and Environment-friendly Society and Ecological Civilization, Changsha Hunan 410083, China; 3. College of Systems Engineering, National University of Defense Technology, Changsha Hunan 410073, China; 4. Ecology and Environment Department of Hunan, Changsha Hunan 410014, China)

Abstract The thermal power industry is a major contributor to China's energy consumption and emission of atmospheric environmental pollutants. It is not only the main force shouldering the national objective of emission reduction, but also the breakthrough point of the emission reduction effect. As a further study and analysis on the effects of national atmospheric pollution prevention and control policies, especially the factors that promote the emission reduction of thermal power enterprises, based on the continuous monitoring of SO₂ and NO_x emissions from coal-fired units in the power generation process of large thermal power enterprises of 300 MW and above in Hunan Province from 2006 to 2015, this paper conducts an in-depth analysis of the annual, monthly, daily and regional changes and differences of major pollutants as well as the formation causes and influencing factors of each emission characteristic, which generally reflects the overall evolution characteristics and regulatory effects of the air pollution control policy system as well as the speed and extent of thermal power plants' response to central policies. Specifically, in addition to the impact of policies, the characteristics of monthly changes are closely related to the regional energy structure and climate environment; the characteristics of daily changes are related to the differences in corporate social responsibility awareness and the operating conditions of environmental protection facilities selected by the enterprises. Based on the above analysis on the factors that affect the online emission characteristics, suggestions for the application of intelligent green dispatching of atmospheric emission monitoring big data and environmental credit evaluation of thermal power plants are proposed. The research results indicate that the policy impact research based on monitoring data is a great supplement to the policy effect evaluation method with a focus on the econometric model. In addition, it is of great significance for the government to improve the level of detailed management of pollution control and further improve the air pollution control policies.

Key words thermal power plant; environmental big data; data characteristics; air pollution control policy