中国电力行业大气污染物排放时间特征谱研究

伯　鑫[1,2]　阚　慧[3]　陈金胜[4]　封　雪[5]　李时蓓[1,2]

（1. 环境保护部环境工程评估中心　北京　100012；
2. 环境保护部国家环境保护环境影响评价数值模拟重点实验室 北京 100012；
3. 南京大学环境规划设计研究院股份公司　南京　210093；
4. 浙江环科环境咨询有限公司　杭州　310000；
5. 中国环境监测总站，北京 100012）

摘　要　针对目前我国火电、热电等电力行业大气排放清单的建立缺乏高时间分辨率的分配方法，制约大气污染源解析、空气质量预报等工作准确性等问题，基于2014年全国电力行业烟气在线监测数据，建立火电、热电及电力行业总体月变化及24小时变化特征曲线，提高中国电力行业大气排放清单时间廓线的代表性和时间精度。

关键词　排放清单　火电　时间谱　在线监测　排放特征；

1　背景

基金项目：清华大学环境学院重点学术机构2015年度开放基金课题

电力行业是我国国民经济、社会发展的支柱产业，是大气污染物的重要来源［1］。环境统计数据显示［2］，2014年我国独立火电厂1908家，机组4983台，消耗煤炭195103.3万t，排放烟气量18.54万亿m3，排放二氧化硫、氮氧化物、烟尘量分别为525.3万t，670.8万t，195.8万t，电力行业二氧化硫、氮氧化物和烟尘排放量均位于各工业行业前列。加强电力行业大气污染物排放控制，对改善区域环境空气质量具有重要意义。

国内外研究主要集中于火电排放清单、火电大气污染模拟等[3~6]，中国排放清单研究缺乏高时空分辨率的分配方法，严重制约了大气污染源解析、空气质量预报等工作的准确性。郑新梅等［7］在问卷调查和资料查阅的基础上建立了南京市电力行业二氧化硫排放清单；Zhang等［8］根据发电量数据推测我国火电源NOx排放的月变化规律，王占山等［9］参照我国及欧洲地区火电源的排放规律研究成果，开展火电厂大气污染物排放清单的时间分配，默认各污染物排放规律相同；张英杰等［10］根据在线监控数据建立了江苏省电力行业月变化特征曲线。电力行业污染源排放是实时动态变化的，污染物排放量等随时间的变化波动性较大，但现有的电力行业排放清单的时间分配方法大多借鉴国外研究结果，或根据短时抽样监测结果建立污染排放时间廓线，计算得到的时间廓线缺乏代表性和时间精度。

本研究基于中国电力行业大气污染物在线监测数据，采用统计学方法，从时间维度分析描述我国电力行业大气污染物排放的月变化及24小时变化特征谱，为火电、热点等电力行业大气排放清单的建立及区域环境空气质量管理提供数据支撑。

2　电力行业在线监测数据情况

本研究团队已建立中国火电行业排放清单、中国钢铁行业排放清单等（http：//ieimodel.org/）[11]，其中2014年中国电力行业大气污染源在线监测数据来源于环境保护部环境监察局。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

依据专家经验，剔除在线监测污染物浓度数据不符合给定数字特征规律或数据存在问题的排口。经质量控制后，电力行业大气污染源在线监测企业744家，排污口1217个。

本研究中电力行业包括火力发电（燃煤、燃天然气、燃油等）、垃圾发电、生物质发电、热电、自备电厂等，其中火力发电（燃煤、燃天然气、燃油等）为纯火电行业，热电行业包括集中供热发电和非集中供热发电。本研究重点分析电力行业总体及火电、热电企业大气污染物排放月变化及24小时变化趋势，2014年在线监测电力企业烟尘、SO_2、NO_x等污染物排放量及企业分布情况见表1和图1。由表1可以看出，安装在线监测火电企业和热电企业在数量上基本持平，两者总和占在线监测电力企业总量的91.8%。由图1可见，在线监测电力企业主要集中在山东、浙江、江苏、内蒙古等省份，总体呈现东部地区多于西部地区，北方地区多于南方地区的空间分布特征。

表1 2014年电力行业在线监测数据及污染物排放情况

行业类别	企业数量（家）	排污口（个）
火电	341	671
热电	342	467
其他	79	342
电力行业总计	744	1217

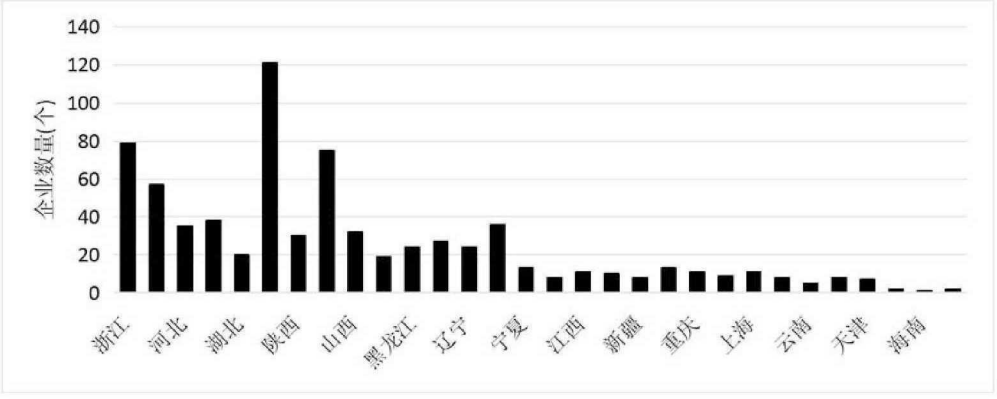


图1 电力行业在线监测数据中各省企业数量分布

3 2014年电力行业排放时间特征谱分析

3.1 月排放时间谱

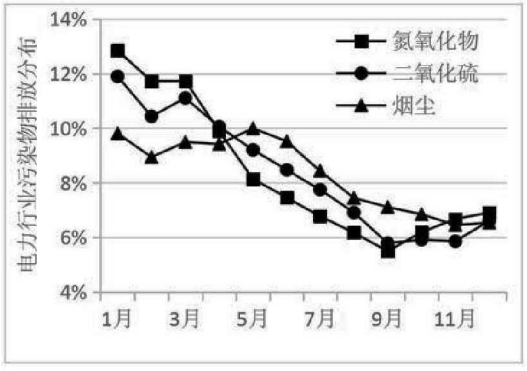


图2 电力行业总体污染物排放月变化特征谱

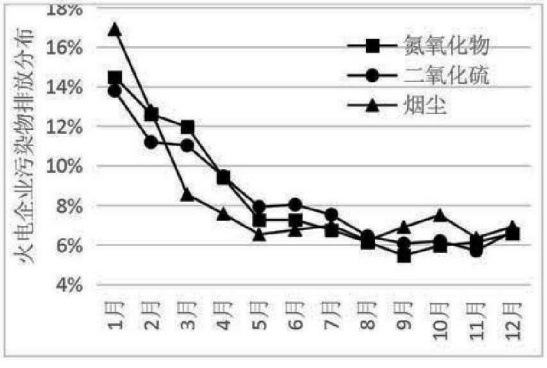
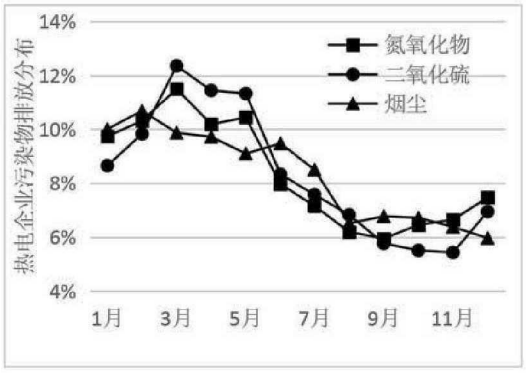


图3 火电企业污染物排放月变化特征谱

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



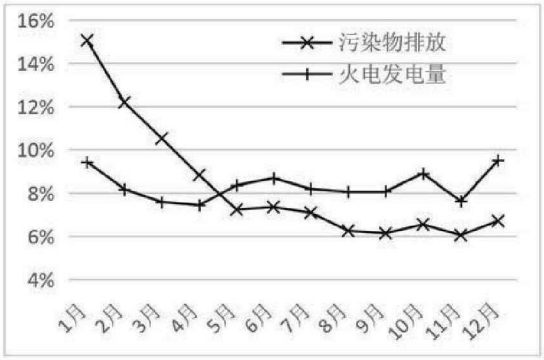
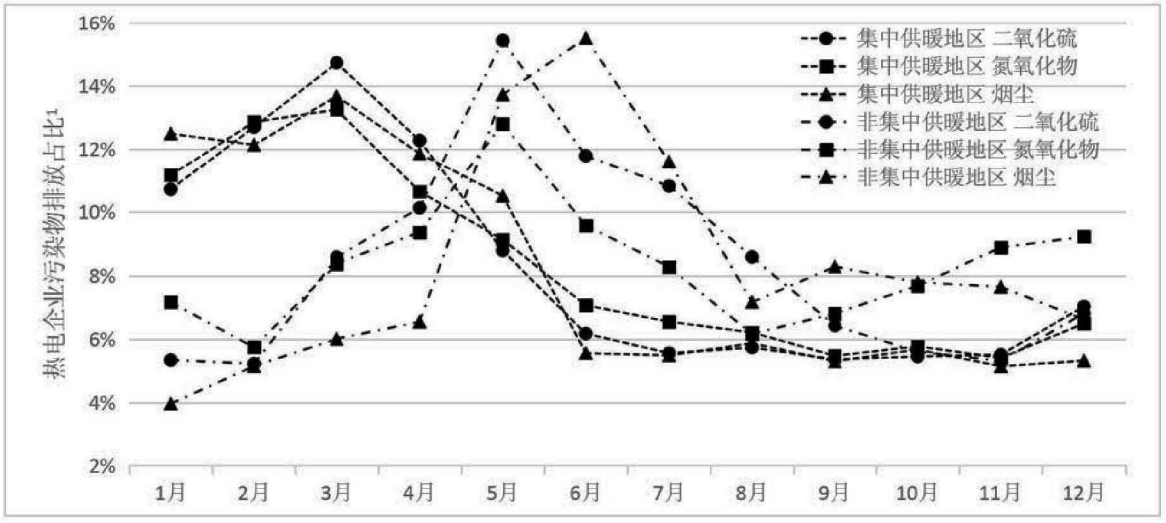


图 4　热电企业污染物排放月变化特征谱　图 5　火电发电量与污染物排放量分布对比图

图 2～图 4 分别为以电力企业大气污染源在线监测数据建立的电力行业总体、火电企业和热电企业污染物排放月变化特征谱。如图所示，电力行业总体月变化趋势与火电企业月变化趋势基本相同，均为 1 月份污染物排放量最大，总体逐月变小，至 10 月～12 月污染物排放量趋于稳定。根据环境保护部发布的《关于执行大气污染物特别排放限值的公告》，重点控制区域火电企业自 2014 年 7 月 1 日起执行《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223—2011）特别排放限值。由图可以看到执行特别排放限值后，火电企业污染物排放量下降趋势明显。总体而言，2014 年电力行业总体排放所占比例依次为冬季（12 月、1 月、2 月）28.56%、春季（3 月、4 月、5 月）29.68%、夏季（6 月、7 月、8 月）22.98%、秋季（9 月、10 月、11 月）18.78%，火电企业排放所占比例依次为冬季 33.96%、春季 26.57%、夏季 20.71%、秋季 18.76%。

根据国家统计局公布的国家数据（http：//data. stats. gov. cn/），将 2014 年全国火力发电量月变化趋势与火电企业大气污染物排放月变化特征进行对比分析（图 5），可以看出自 2014 年 7 月起，全国火力发电量与在线监测火电企业大气污染物排放量月变化趋势总体相同，两者相关系数约为 0.50，具有较为显著的相关性。

全国热电企业大气污染物月变化特征与我国北方地区实施集中供暖周期基本一致，呈现出 3 月～5 月排放量高、8 月～11 月排放量低的特征，最高值（3 月）与最低值（11 月）的比例为 1.83；同时也存在秋夏季排放量低，春冬季排放量高的季节变化特征，最高值（春季）与最低值（秋季）的比例为 1.72。



注：污染物分布百分数均为各地区各月份污染物排放量占该地区全年污染物排放量的比例

图 6　集中供暖和非集中供暖地区热电企业污染物排放月变化特征谱

鉴于我国南北方地区集中供暖政策的差异，本研究在线监测热电企业按集中供暖地区和非集中供暖地区划分，探讨热电企业大气污染物排放月变化特征。其中，黑龙江、吉林、辽宁、北京、天津、河北、山东、山西、宁夏、内蒙、甘肃、青海、新疆、西藏为集中供暖省份，其余地区均为非集中供暖省份。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

集中供暖和非集中供暖地区在线监测热电企业二氧化硫、氮氧化物、烟尘等大气污染物排放月变化特征见图 6。从中可见，集中供暖地区热电企业污染物排放月变化规律与全部热电企业排放月变化规律总体一致，在 3 月份存在污染物排放量最大峰值，自 4 月开始排放量逐渐降低，至 7 月份趋于稳定，在 11 月达到最小值，与我国集中供暖地区供热时间很好的吻合。非集中供暖地区污染物排放在 2 月、5 月及 10 月存在峰值，最大值（5 月）与最小值（2 月）的比例为 2.60，月变化波动较大。与在线监测热电企业污染物排放相比，非集中供暖地区缺少 11 月的峰值，反映了 12 月在线监测热电企业污染物排放的升高与集中供暖有直接关系，这与现有研究结果基本吻合[13,14]。

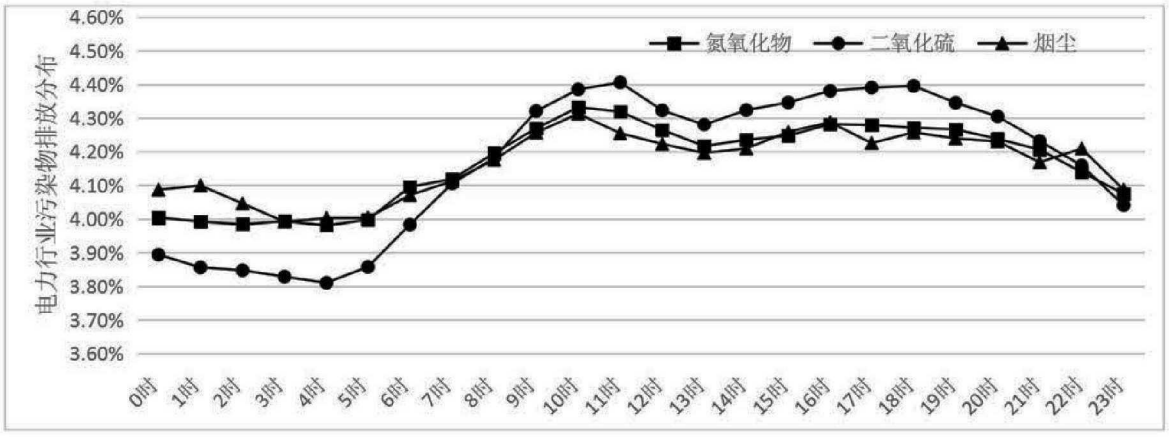


图 7　电力行业总体污染物排放 24 小时变化特征谱

3.2　24 小时排放时间谱

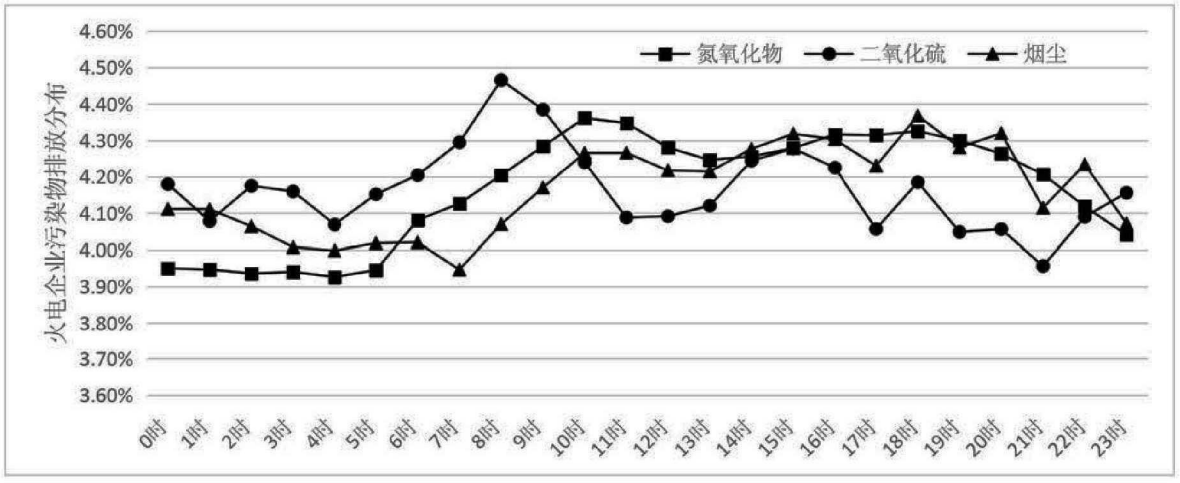


图 8　火电企业污染物排放 24 小时变化特征谱

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

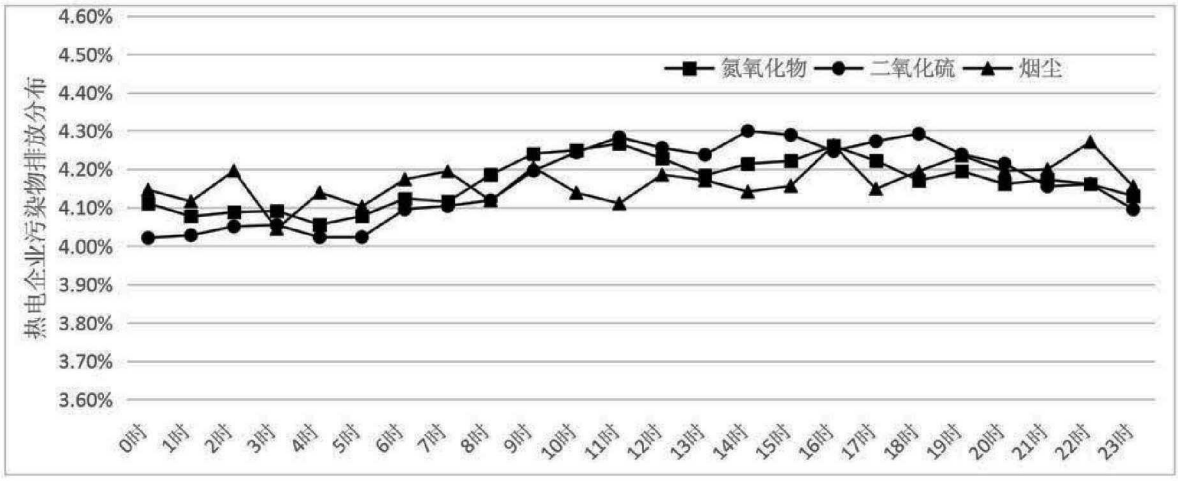


图 9　热电企业污染物排放 24 小时变化特征谱

以 2014 年电力企业在线监测数据为基础建立的电力行业总体、火电企业及热电企业大气污染物排放 24 小时变化特征谱如图 7～图 9。由图可见，在线监测电力行业总体和火电企业污染物排放在 0～23 时呈现的变化趋势基本一致，即一天内总体存在“三降两升”。火电企业大气污染物排放在凌晨 4 时左右出现最低值（3.93%），随后逐渐增加至上午 10 时左右增加至最高值（4.34%），中午 13 时左右出现低谷（4.23%），午后再次逐渐上升至下午 16 时左右出现峰值（4.32%），随后污染物排放量平缓降低。火电企业大气污染物排放 24 小时内变化特征与社会生产和居民生活规律吻合，自上午 5 时开始，社会活动电力负荷需求水平快速上升至上午高峰，低谷期与居民出行、作息时间一致，即居民室内活动的减少，社会电力负荷需求也有所降低[12]。

在线监测热电企业大气污染物排放在 24 小时内波动不大，排放最大值出现在 16 时左右，最小值出现在凌晨 3 时左右，最大值（4.26%）与最小值（4.06%）的比例为 1.05。与火电企业相比，热电企业污染物排放受社会生产和居民活动的影响较小。

4 结论

1）我国火电、热电等电力企业接入烟气在线监测系统的企业主要集中在山东、浙江、江苏、内蒙古等省份，总体呈现东部地区多于西部地区，北方地区多于南方地区的空间分布特征。

2）电力企业大气污染物排放月变化较大，随季节变化污染物排放量波动较大；热电企业大气污染物排放变化与我国北方地区集中供暖周期总体一致；电力企业大气污染物排放小时变化受社会生产和居民生活等活动强度影响。

3）基于全国电力行业大气污染物在线监测数据，分别建立了电力行业总体、火电行业、热电行业的大气污染物排放月变化及 24 小时变化特征曲线，为我国电力行业高时间分辨率大气排放清单的建立及环境空气质量管理提供数据支撑。

参考文献

[1] 汪俊，王祖光，赵斌，等．中国电力行业多污染物控制成本与效果分析［J］．环境科学研究，2014（11）：1314－1322.

[2] 中华人民共和国环境保护部．中国环境统计年报（2014）［R］．北京：中国环境出版社，2015.

[3] 伯鑫，王刚，温柔，等．京津冀地区火电企业的大气污染影响［J］．中国环境科学，2015，35（2）：364－373.

[4] Liu F，Zhang Q，Tong D，et al. High－resolution inventory of technologies，activities，and emissions of coal－fired power plants in China from 1990 to 2010［J］. Atmos. Chem. Phys.，2015，15，13299－13317.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[5] 赵瑜．中国燃煤电厂大气污染物排放及环境影响研究［D］．清华大学，2008.
[6] 朱法华，王临清．煤电超低排放的技术经济与环境效益分析［J］．环境保护，2014，(21)：28－33.
[7] 郑新梅，李文青．南京市电力行业二氧化硫排放清单的建立及减排建议［J］．安徽农学通报，2016（06）：106－107.
[8] Zhang Q，Streets D G，He K，et al. NOx emission trends for China，1995 - 2004：The view from the ground and the view from space［J］. Journal of Geophysical Research：Atmospheres，2007，D22（112）.
[9] 王占山，车飞，潘丽波．火电厂大气污染物排放清单的分配方法研究［J］．环境科技，2014（02）：45－48.
[10] 张英杰，孔少飞，汤莉莉，等．基于在线监测的江苏省大型固定燃煤源排放清单及其时空分布特征［J］．环境科学，2015（08）：2775－2783.
[11] 伯鑫，李时蓓．全国火电行业污染源排放清单建设研究［A］//中国环境科学学会．2014 中国环境科学学会学术年会（第三章）［C］．北京：中国环境科学出版社，2014：1506－1510.
[12] 朱文波，李楠，黄志炯，等．广东省火电污染物排放特征及其对大气环境的影响［J］．环境科学研究，2016（06）：810－818.
[13] 李金珂，曹静．集中供暖对中国空气污染影响的实证研究［J］．经济学报，2017（03）.
[14] Liang X，Zou T，Guo B，et al. Assessing Beijing's PM2.5 pollution：severity，weather impact，APEC and winter heating：Proc. R. Soc. A. The Royal Society：Mathmetical，Physical and Engineering Science，2015［C］. 20150257.

致谢：本课题得到清华大学环境学院重点学术机构开放基金课题经费的资助．

作者简介：伯鑫（1983－），男，山东烟台人，高工，博士研究生，主要研究方向为排放清单以及大气污染模拟．发表论文 40 余篇．boxinet@gmail.com

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net