

南昌市环境空气污染时空变化特征及影响因素研究¹

晏彩霞 周旋 张华敏 黄娴 盛燕茹 聂明华 丁明军

(江西师范大学 地理与环境学院, 鄱阳湖湿地与

流域研究教育部重点实验室, 江西 南昌 330022)

【摘要】: 选取 2014~2017 年南昌市不同时间尺度 AQI 及主要空气污染物数据, 利用 GIS 技术、神经网络分析、后向轨迹模型及地统计分析方法, 分析了南昌市环境空气污染时空变化特征及影响因素。结果表明, 南昌市近年来空气质量总体变化不大, 空气质量等级以良为主, 占全年比例为 57%~61%。但首要污染物变化较大, 即 $PM_{2.5}$ 比例显著下降, NO_2 和 O_3 比例显著上升, PM_{10} 变化不大。南昌市空气污染季节变化显著, 冬春季空气质量较差, 以 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 污染为主, 夏季空气质量最好, 以 O_3 污染为主。空气污染周变化以周末及周一污染较重、周四污染最轻, 说明南昌市空气污染除了与群众出行习惯有关, 还存在其他影响因素。南昌市空气质量日变化呈双峰型 (9:00~11:00 和 20:00~22:00), 主要受上、下班高峰期带来的交通尾气影响。南昌市空气污染空间变化呈典型的“郊区-市区”分布, 其中 AQI、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_2 、CO 值均以市区较高、郊区较低, 而 O_3 的空间分布规律正好相反, 这主要与城区 NO_x 排放较多, O_3 易与其迅速反应而消耗有关。后向轨迹聚类分析结果表明, 来自本地的短轨迹气团占比高, 对 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 、 O_3 的影响大。气象因素上, $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 受相对湿度影响较大, O_3 受温度影响较大。

【关键词】: 空气质量指数 (AQI) 时空分布 SOM PCA 后向轨迹

【中图分类号】: TP79;S127 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227 (2019) 06-1446-14

近年来随着人口的迅速增长及城市经济的快速发展, 大气污染问题已成为全球性环境问题之一^[1]。据统计, 在全球范围内因户外空气污染所造成的人口过早死亡数量已达 370 万人^[2], 其中中国因空气污染而造成的过早死亡人数已近 140 万^[3]。长期暴露在污染空气中可引发心血管及慢性呼吸道疾病, 甚至是肺癌。因此, 城市空气质量日益受到政府及百姓的关注。在党的十九大报告中习近平总书记指出, 要“持续实施大气污染防治行动计划, 打赢蓝天保卫战”。2013 年新空气质量评价体系 (用空气质量指数 AQI 代替空气污染指数 API) 的使用、2016 年新《环境空气质量标准 (GB3095-2012)》的实施、2017 年新《环境保护法》的实施等一系列举措均表明了国家对大气污染问题的高度重视。

造成空气污染的因素主要是污染源及气象条件, 但对于一个地区而言, 污染源相对固定, 因而不利的气象条件往往是造成重污染事件的直接原因^[4,5]。就污染源而言, 空气污染因子主要来自生产及生活排放, 如工业排放、汽车尾气排放、生活燃煤等。研究表明, 以建筑用地为主的土地利用类型空气污染较严重^[6], 制造业及发电行业煤炭消费量对 AQI 的影响较大^[7]。有关气象条件对

作者简介: 晏彩霞 (1986-), 女, 博士, 副教授, 主要从事纳米颗粒物与污染物环境地球化学行为研究。E-mail: wysycx@foxmail.com; 丁明军, E-mail: dingmingjun1128@163.com。

基金项目: 国家自然科学基金 (41601521, 41601523); 江西省教育厅科技计划项目 (GJJ150307, GJJ160320)。

空气质量影响的研究比较多,风、气压、大气稳定度、降水、温度、湿度等均能够影响大气污染物的形成、扩散、迁移及转化^[8~12],尤其是大尺度高空背景下的高压环境是造成持续型污染天气的主要成因^[13~15]。然而,不同地区的污染源及气象条件均不同,因而造成城市空气污染的主要污染物及其影响因素也不同。

江西省地处中国东南部,南昌是其省会,也是长江中游城市群的三大中心城市之一。近年来南昌市人口增长及经济发展较快,相应的空气污染问题也日益增多。同时江西也是酸雨的重灾区,南昌在 2015 年甚至出现“逢雨必酸”的现象。然而有关南昌市空气质量状况评价的研究目前还非常少。陈翔翔等^[16]研究了 1960~2014 年南昌市霾天气气象要素及主要大气污染物变化特征,发现南昌市霾天气秋冬季多,主要污染因子为 PM_{10} 。赵阳等^[17]研究了南昌市 $PM_{2.5}$ 的浓度水平及时空分布特征与来源,发现 $PM_{2.5}$ 冬春季偏高,空间分布呈由东南向西北递减的规律。早期还有针对南昌市酸雨、大气颗粒物中污染物方面的研究^[18,19]。而有关南昌市 O_3 的研究更是空白。在生态环境部部长李干杰向全国人大作《2017 年度环境状况和环境保护目标完成情况的报告》时指出,2017 年颗粒物浓度持续下降,但 O_3 问题日益突显,是日后重点关注对象。因此,本文以南昌市为研究区域,选取 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_2 、CO、 O_3 为主要污染物,探究其不同时间尺度下的变化规律及空间分布特征,以期对南昌市空气污染防治及公共健康提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 数据来源

南昌市环保局在南昌市共设置 9 个环境空气质量监测站点,分别为机电学校、建工学校、京东镇政府、林科所、省林业公司、省外办、省站、武术学校、象湖。2017 年 9 个监测站点的每日逐小时空气质量数据来源于江西省环境保护厅网站(<http://www.jxepb.gov.cn/>)。单指标数据包括南昌市 2014~2018 年除夕、大年初一、二分二至(春分、夏至、秋分、冬至)的逐小时数据及 2017 年 4、7、10 月及 2018 年 1 月每日逐小时污染及其气象数据(主要包括温度、湿度、风速)来自于中国空气质量在线监测分析平台(<https://www.aqistudy.cn/>)。2014~2017 年南昌市逐日 AQI、质量级别、首要污染物数据来自于中国环境保护部数据中心(<http://datacenter.mep.gov.cn>)。后向轨迹模型使用的气象数据为 GDAS1 数据(全球资料同化系统 <ftp://arlftp.arl.hq.noaa.gov/archives>)。

1.2 数据处理

利用 9 个监测站点的每日逐小时数据算出每种污染因子的日均值,在日均值基础上再算出每一季节的平均值及年均值。同样地,利用南昌市 2014~2017 年逐日数据算出 AQI 及其他污染因子的月均值。南昌市 AQI 及主要污染物浓度值的逐小时数据为 2014~2017 年二分二至逐小时数据的平均值。另外,2017 年数据实际为 2017 年 3 月至 2018 年 2 月数据,以方便季节变化数据的分析。利用 Excel 软件完成以上平均值计算。本文中的折线图、饼图、柱形图使用 Origin16.0 制作。利用 Matlab2012a 软件及自组织神经网络分析法(SOM)对 2017 年 9 个监测站点的四季数据进行分析。利用 SPSS19.0 软件进行相关分析及主成分分析(PCA)。利用 ArcGIS10.0 及反距离插值法(IDW)进行污染物的空间分布规律分析。利用 Hysplit4 软件进行后向轨迹模拟分析,并利用该模型进行轨迹聚类分析。

2 结果与讨论

2.1 南昌市空气污染时间变化特征

2.1.1 日变化特征

利用 2014~2018 年二分二至的逐小时 AQI 及 6 种空气污染数据分析了南昌市空气污染日变化特征(图 1)。总体来说,南昌市

AQI、PM₁₀、PM_{2.5}、NO₂、CO 的日变化特征均呈现“W”形,两个峰值分别出现在 9:00~11:00 和 20:00~22:00,表明上、下班高峰期带来的交通尾气污染是南昌市空气污染日变化的主导因素。该结果与南昌市、宁波市、深圳市的 PM_{2.5} 污染规律相同^[17,20,21]。南昌市 O₃ 日变化以午后 14:00 最高,这是因为午后太阳紫外线最强烈,大气中的 NO_x 和挥发性有机物在紫外线作用下发生光化学反应产生 O₃,而 SO₂ 的日变化特征不明显。相关分析表明,AQI 与 PM₁₀、PM_{2.5}、NO₂、CO 浓度值呈极显著正相关关系 ($r>0.561, p\leq 0.004$),与 O₃ 浓度值呈极显著负相关关系 ($r=-0.772, p<0.001$),表明对南昌市空气污染日变化影响较大的污染因子主要是 PM₁₀、PM_{2.5}、NO₂,其次是 CO,而 O₃ 浓度在 PM₁₀、PM_{2.5}、NO₂ 污染较小时起主要作用。此外,各污染物间以 PM₁₀ 与 PM_{2.5} 的相关性最强 ($r=0.896, p<0.001$),二者均与 NO₂、CO 显著正相关 ($r>0.448, p\leq 0.028$),与 O₃ 呈极显著负相关关系 ($r<-0.521, p\leq 0.009$),而 SO₂ 与其他污染物基本不相关。近年来,随着机动车数量的增多,机动车排放的 CO 及 NO₂ 占总排放量的比例逐年增加^[22~24]。同时研究表明,颗粒物污染与 CO 及 NO₂ 浓度分布特征具有相似规律^[25]。结合本文相关分析结果,说明南昌市空气污染日变化中主要污染物浓度与机动车尾气排放有关。

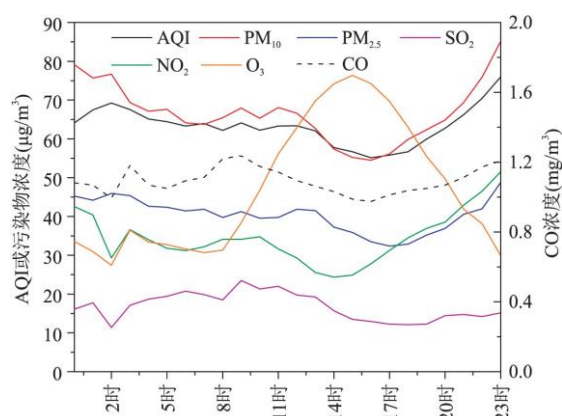


图 1 2014~2017 年南昌市 AQI 及主要空气污染物浓度日变化

中国人春节期间燃放烟花爆竹的习惯是造成春节期间空气污染的主要原因。因此,南昌市自 2017 年开始在重点区域禁止燃放烟花爆竹。本文利用 2014~2018 年除夕及大年初一的逐小时 AQI 及 6 种空气污染数据分析了南昌市近年来除夕夜的空气污染变化(图 2),以初探禁令成效。结果表明,除 O₃ 外,均有明显的“春节效应”。但总体而言,自 2017 年开始,春节期间空气质量明显好转,尤其是 PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂ 浓度明显降低。从除夕年夜饭开始至大年初一早上(7:00~次日 7:00)是烟花爆竹集中燃放时间,2014 年 AQI 值在 500 附近,而 2018 年 AQI 值已降低至 100 左右,相应地,PM₁₀、PM_{2.5} 浓度从大于 400 µg/m³ 降低至 100 µg/m³ 左右,2018 年 SO₂ 浓度值降低至 20 µg/m³ 以下。这些结果说明,春节期间禁止燃放烟花爆竹对控制空气污染成效明显,尤其是对 PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂ 浓度的控制效果显著。

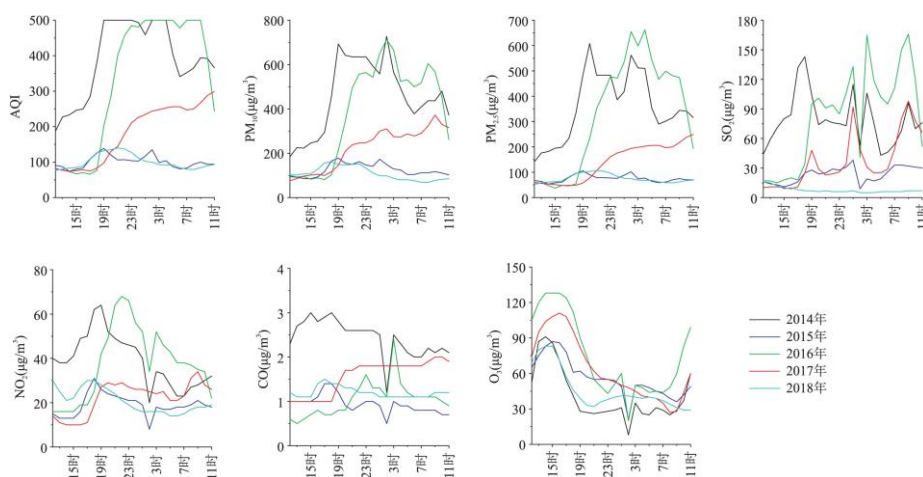


图 2 2014~2018 年南昌市除夕至大年初一 AQI 及主要空气污染物浓度小时变化

2.1.2 周变化特征

利用 2015~2017 年 AQI 及主要空气污染物逐日数据统计出南昌市 AQI 及污染物矩平百分比周变化特征(图 3)。结果表明, 南昌市 AQI 及主要污染物的矩平以周一和周末较高, 周四的矩平最低, 周二、周三较接近平均值。该结果说明南昌市空气污染存在明显的“周末效应”, 但南昌市的这种“周末效应”与上海、成都等地的相反^[15, 26], 说明南昌市在周末仍有较大的出行量。AQI 及主要空气污染物在周一的矩平较高、周四的矩平较低, 说明南昌市空气污染除了与群众出行习惯有关, 还存在其他影响因素。

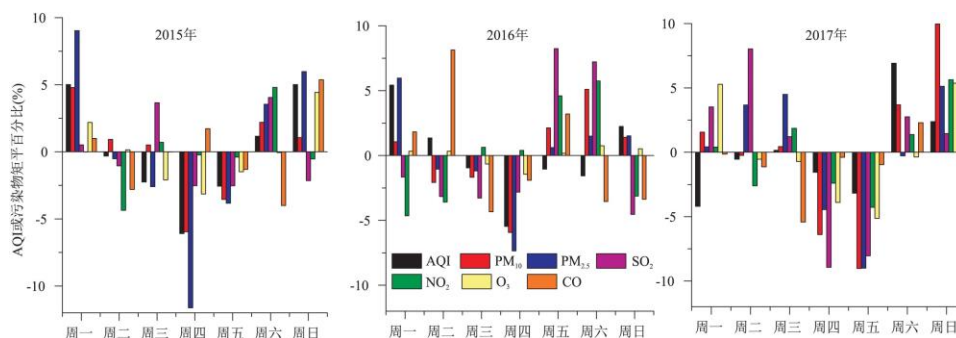


图 3 2015~2017 年南昌市 AQI 及主要空气污染物浓度矩平百分比周变化

2.1.3 月变化特征

统计了 2014~2017 年 AQI 及主要空气污染物的月变化特征(图 4)。结果表明, 南昌市 AQI、PM₁₀、PM_{2.5}、NO₂、CO 的月变化特征均呈现“V”形, 两个峰值分别出现在 1~3 月和 10~12 月, 表明冬季污染较严重。从 3 月开始, 空气逐步好转, 直至 7 月空气质量达到全年最好; 从 9 月开始直至次年 1 月, 空气污染逐步加重并达到峰值。南昌市 O₃ 月变化规律与日变化相似, 其高值出现在温度较高的 5~9 月。该结果与其他南方城市空气污染月变化规律相似^[9, 15]。同样地, SO₂ 的月变化特征也不明显。相关分析结果与日变化规律相似, AQI 与 PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂、CO 浓度值呈极显著正相关关系($r>0.761$, $p\leq 0.004$), 与 O₃ 浓度值呈极显著负相关关系($r=-0.706$, $p=0.010$), 表明对南昌市空气污染月变化影响较大的污染因子为 PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂、CO。此外, 各污染物间相关关系亦与日变化相似, 且相关性更高(正相关: $r>0.806$, $p\leq 0.002$; 负相关: $r<-0.751$, $p\leq 0.005$)。南昌市属于典型的亚热带季风气候区, 冬季吹偏北风, 空气污浊, 加上冬季静稳天气较频繁, 降雨较少, 因此不利于污染物扩散; 夏季气温高, 降雨多, 有利于污染物去除。

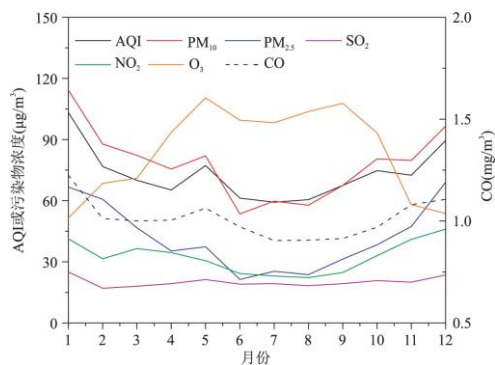


图 4 南昌市 AQI 及各主要空气污染物浓度值月变化

2.1.4 季节变化特征

按照气象学原理南昌市四季可划分为:3~5 月为春季,6~8 月为夏季,9~11 月为秋季,12 月~次年 1、2 月为冬季。根据国家环境保护部对空气质量级别的划分(HJ633-2012): $AQI \leq 50$ 为优, $51 \leq AQI \leq 100$ 为良, $101 \leq AQI \leq 150$ 为轻度污染, $151 \leq AQI \leq 200$ 为中度污染, $201 \leq AQI \leq 300$ 为重度污染。本文统计分析了 2017 年 3 月至 2018 年 2 月期间南昌市各级别空气质量四季占比情况(图 5)及首要污染物占比情况(图 6)。总体而言,2017 年南昌市空气质量等级以良为主,所占各季度比例为 48%~66%。夏季的空气质量最好,空气质量状况为优的比例达 49%;冬季空气质量最差,空气质量状况为优的比例只有 18%,其中轻度及其以上空气污染天数占比达 17%。春季虽未出现中度或重度污染天气,但轻度污染天气占比为四季中最高(20%)。秋季空气质量为优的天数仅次于夏季,但中度或重度污染天气比例为四季中最高(3%)。四季首要污染物情况差异较大,其中 PM_{10} 在春季出现频率最高(54%)、 O_3 在夏季出现频率最高(89%)、 $PM_{2.5}$ 及 NO_2 在冬季出现的频率最高(分别为 47%、26%)。夏季的首要污染物种类最少,只有 O_3 和 PM_{10} ;而春季最多,除 SO_2 及 CO 外均有出现;冬季无 O_3 污染,但 NO_2 与颗粒物(即 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$)的混合污染天数比例最大(4%)。 SO_2 及 CO 在这一年内作为南昌市首要污染物天数均未出现。

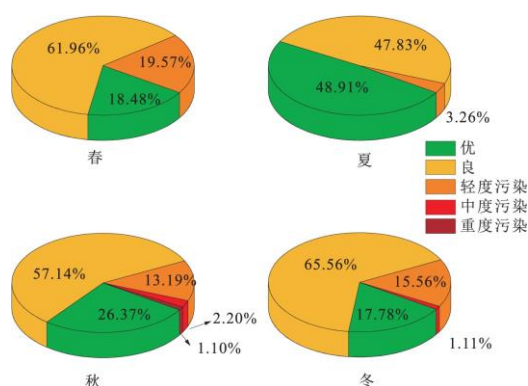


图 5 2017 年南昌市四季不同环境空气质量级别占比图

主要空气污染物在四季的浓度分布情况可利用自组织神经网络呈现,结果如图 7 所示。图 7a 为统一距离矩阵图(U-matrix 图),其高值表示与周围神经元间的距离较大、与周围神经元间的性质差异较大^[27,28]。因此,U-matrix 图可用于对样品进行聚类分析。由图可知,图 7a 被明显的分为左上角、左下角、右下角几个区域。结合样本(图 7b)及四季(图 7c)映射分布图可知,左上角区域主要为夏季样本、左下角区域主要为春季样本,而右下角区域主要为冬季样本。说明 SOM 可将不同监测站点不同季节的污染物浓度区分开来。同时,从图 7b 还可看出,同一季节下样本 4 和 8(即林科所和武术学校)分布位置更靠上方,而样本 5、6、7(即省林业公司、省外办、省站)分布位置更靠下方,表明林科所和武术学校的污染较轻,省林业公司、省外办、省站的污染较严重,这与二者分别位于郊区及市区有关。

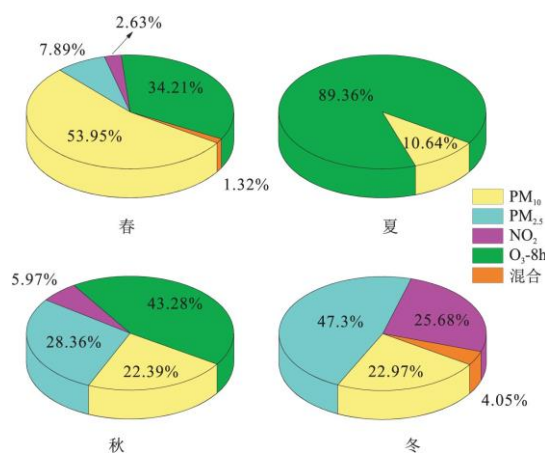


图 6 2017 年南昌市四季首要污染物占比

注:混合指 NO₂ 与 PM₁₀ 或 PM_{2.5} 同时作为首要污染物。

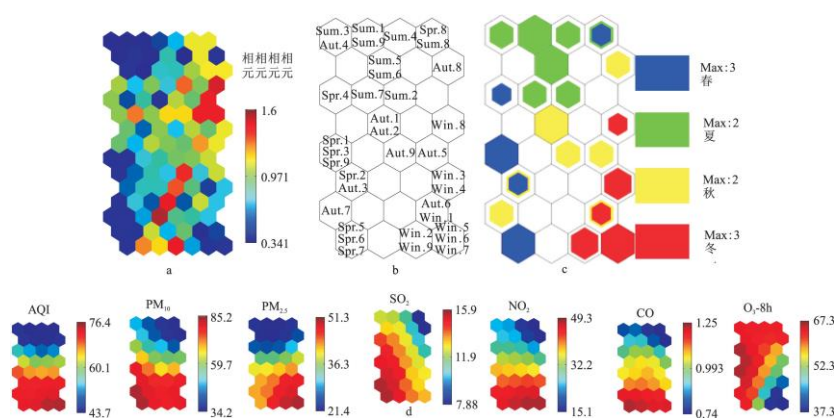


图 7 2017 年南昌市 AQI 及主要空气污染物浓度 SOM 映射分布图

注:a.U-matrix 图;b.样本映射分布图,图中 Spr.、Sum.、Aut.、Win. 分别代表春夏秋冬四季,图中数字 1~9 分别代表机电学校、建工学校、京东镇政府、林科所、省林业公司、省外办、省站、武术学校、象湖;c.不同季节样本映射图;d. AQI 及主要空气污染物可视化图,图中各污染物单位为 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,其中 CO 为 mg/m^3).

图 7d 为 AQI 及主要空气污染物的可视化映射图。由图可知,AQI 值冬季最高、春季次之、夏季最小。 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 NO_2 分布规律与 AQI 相似,但 PM_{10} 以春季浓度偏高、 $\text{PM}_{2.5}$ 以冬季偏高。 SO_2 与 CO 的浓度在春季最高、冬季次之、夏季最小。 O_3 高值出现在春季、夏季次之、冬季最低。由此可见,南昌市空气污染冬春季节较严重、秋季次之、夏季最轻。

2.1.5 年变化特征

图 8 为南昌市 2014~2017 年逐日 AQI (图 8a) 及其月均值 (图 8b)。由图可知,近几年南昌市空气质量总体变化不大。线性拟合结果表明 (图 8b),2015 年空气质量相对较好,2017 年最差,2014 年紧随其后,说明南昌市近几年空气质量属于波动变化。从全年各级别空气质量天数来看 (图 9),2014~2017 年南昌市空气质量级别以良为主,占全年比例为 57%~61%。轻度污染及其以上污染天数分别为 68、51、45 和 62 天,所占全年比例分别为 19%、14%、12%和 17%。2015 年空气质量为优的天数最多 (98 天)、2014 年最少 (88 天)。

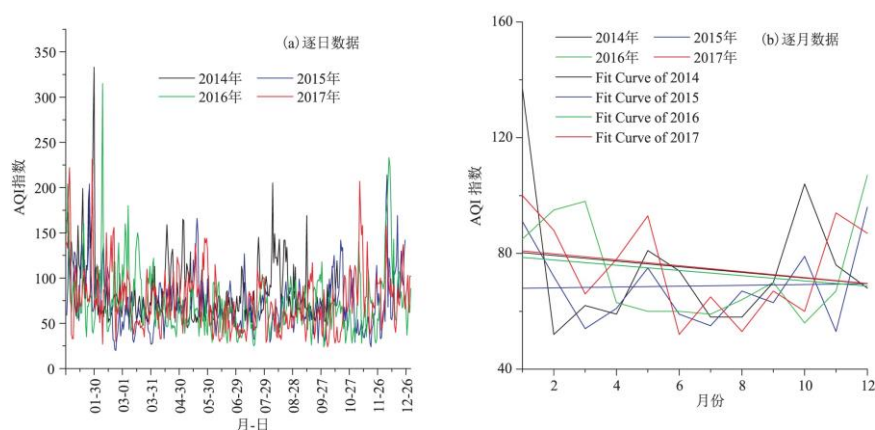


图 8 南昌市 2014~2017 年 AQI 值

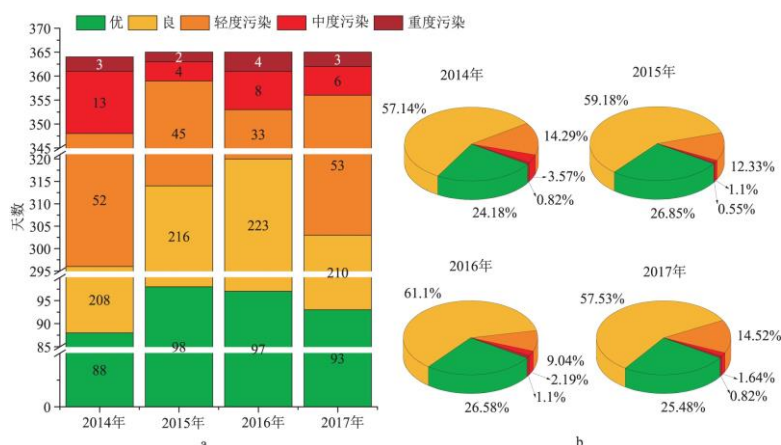


图 9 2014~2017 年南昌市不同环境空气质量级别天数及占比

虽然从 AQI 值看,近几年南昌市空气质量未有较大改善,但每日首要污染物在近年来变化较大,其结果如图 10 所示。可以看出,2014~2017 年南昌市颗粒物占比显著降低,其中 $PM_{2.5}$ 比例从 2014 年的 57% 下降至 2017 年的 30%,但 PM_{10} 占比变化不大,在 2015 年其比例甚至比 2014 年增加了 10%。而 NO_2 和 O_3 占比逐年增加, NO_2 比例从 2014 年的 0% 增加至 2017 年的 4.41%, O_3 比例从 2014 年的 11% 增加至 2017 年的 36%。首要污染物占比虽能反应一个地区主要污染物的变化情况,但治理成效最直接的表现则是主要污染物浓度的降低。

为了分析南昌市近年来的大气污染治理成效,本文进一步分析了南昌市主要污染物年变化特征(图 11)。可以看出,2014~2017 年南昌市 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度均有所降低,其中 $PM_{2.5}$ 降低效果更显著,同时 SO_2 浓度降低最为显著,但 NO_2 、 CO 、 O_3 浓度上升趋势较明显。因此,不难看出造成近年来南昌市 AQI 值波动变化的主要原因是颗粒物污染治理成效初显,但以汽车尾气排放为主导因素的 NO_2 、 CO 、 O_3 污染日益严重。自 2013 年开始,南昌市不断推行大气污染防治措施,制定和实施了《江西省落实大气污染防治行动计划实施细则赣府发[2013]41 号》、《关于进一步加强机动车排气污染防治监督管理工作的通知》、《江西省大气污染防治条例》等一系列条例措施,并于 2017 年 7 月正式出台了《南昌市大气污染综合治理工作方案》,主要针对工业企业大气污染、各类扬尘污染、锅炉排气污染、机动车排气污染、餐饮油烟污染等方面,但从主要污染物浓度年变化看还需要进一步推行颗粒物污染治理,同时要加强 NO_2 、 CO 、 O_3 污染治理。

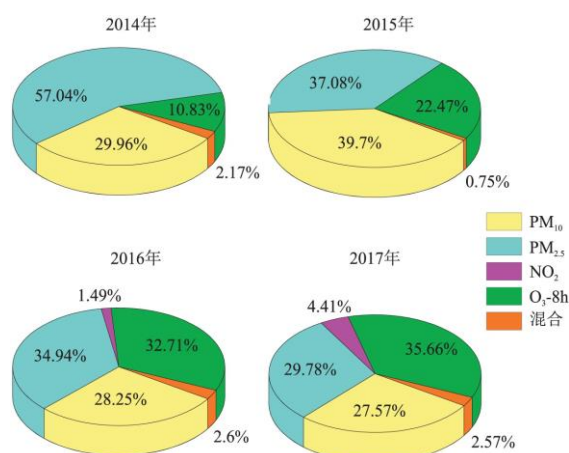


图 10 2014~2017 年南昌市首要污染物占比

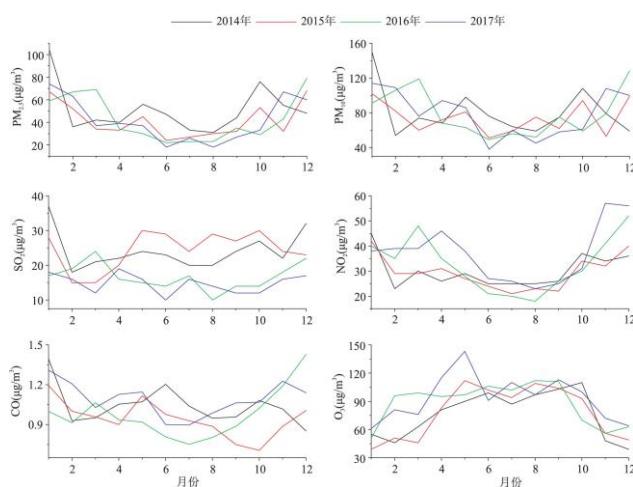


图 11 2014~2017 年南昌市主要污染物浓度变化

2.2 南昌市空气污染空间变化特征

利用 GIS 技术空间插值法中的 IDW 法对 2017 年南昌市 9 个监测站点的 AQI 及 6 种污染因子进行了空间变化特征分析 (图 12)。结果表明 2017 年南昌市空气污染空间变化特征呈现“郊区-市区”两极分化特点。总体来说, AQI 值以市区较高, 尤其是监测点 5、6、7 所在区域, 但即使是位于郊区的监测点 8, 其 AQI 值也在 50 左右, 表明南昌市总体而言空气质量等级为良。与 AQI 值空间分布规律一致的污染因子有 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_2 、 CO , 即呈现市区污染重、郊区污染轻的特点。但 O_3 的空间分布规律正好相反, 即郊区的 O_3 污染重、市区污染轻。类似规律在北京市 O_3 时空分布研究中也发现, 即北京市郊区及对照监控点的 O_3 浓度要高于城区及交通污染监控点, 这是因为在城区由于交通尾气污染排放的 NO_x 较多, O_3 在城区易与其发生光化学反应, O_3 被迅速消耗^[29]。

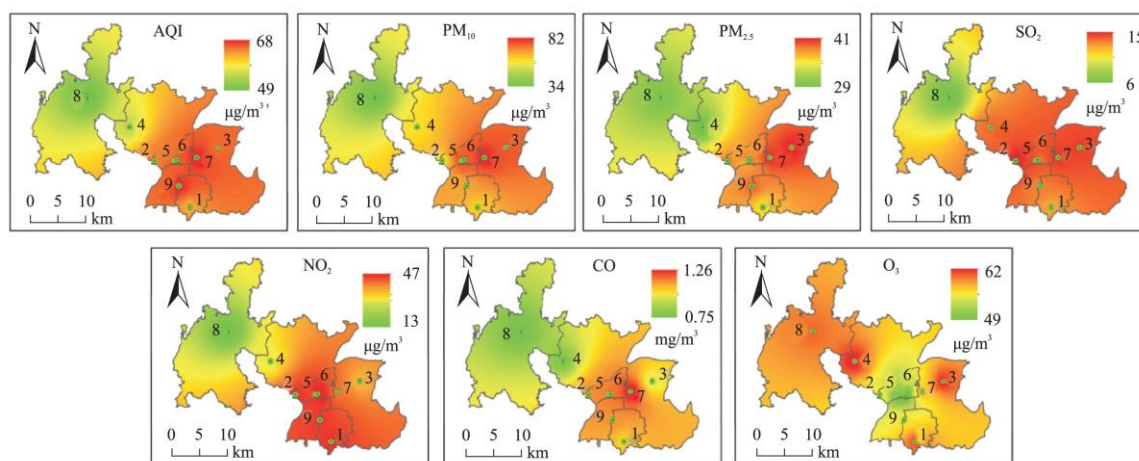


图 12 2017 年南昌市 AQI 及主要污染物浓度空间变化

注: 数字 1~9 分别代表机电学校、建工学校、京东镇政府、林科所、省林业公司、省外办、省站、武术学校、象湖下同。

本文进一步分析了南昌市 2017 年 AQI 的四季空间变化特征(图 13)。可以看出,南昌市四季 AQI 值与 SOM 分析一致,即夏季空气质量最好、冬季最差。四季空间变化特征与全年基本一致,即呈现出市区污染重、郊区污染轻的特点,但不同季节略有差异。其中,春、秋季郊区(站点 4 和 8)与市区的差异更显著;相比之下,夏、冬季的差异更小。换言之,南昌市空气质量夏季总体较好、冬季总体较差,春秋季居中,但市区-郊区空间差异更大。

2.3 南昌市空气质量影响因素分析

2.3.1 后向轨迹聚类分析

以南昌省市林业公司监测站点为目标点,以 2017 年 3 月至 2018 年 2 月全年为模拟时段,以每日 12:00(UTC)为后推起始时间,利用 Hysplit4 后向轨迹软件模拟每日气流运动的 72 小时后向轨迹(距地 500m),并根据气流轨迹途经区域、移动速度和方向将四季数据分为 5 类,同时利用 ArcGIS 软件得到南昌市四季后向轨迹聚类结果图(图 14)。由图可知,移动速度缓慢的短轨迹气团在四季中所占的比例较高,春夏秋冬四季分别为 34%(C2)、31%(C1)、26%(C3)、29%(C1);而移动速度较快的长轨迹气团所占比例较低,但四季长轨迹气团的来向差异较大,春冬季主要来自西北方向(春季 C1 占比 6%;冬季 C2 占比 16%),夏季主要来自东南沿海(C5 占比 3%),秋季主要来自东北方向(C4 占比 8%)。并且,夏季来自南部海洋的气团比例最高(C2 和 C3 占比 54%)。

基于南昌市气流后向轨迹聚类分析结果,对 C1~C5 轨迹对应的 AQI 及主要污染物浓度进行算术平均值统计分析,以探究各类气团影响下的大气污染物浓度分布特征(表 1)。可以看出,春季以短轨迹气团(C2)和来自邻省的气团(C3)所对应的 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 、CO 浓度较高,以东北方向来的气团(C5)和短轨迹气团(C2)对应的 O_3 浓度较高,表明南昌市春季 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 、CO 污染主要来自本地及邻省,而 O_3 污染主要来自本地和东北方向的长三角地区。类似地,夏季 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 、CO 污染主要来自本地短轨迹气团(C1),并且 O_3 污染也出现了与春季相似的规律,即来自本地(C1)和东北方向(C4)的气团所携带的 O_3 浓度高。秋季南昌市 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 、CO 污染均主要来自赣南地区(C3)。冬季南昌市 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 污染主要来自西北方向(C2)及赣西地区(C3)。

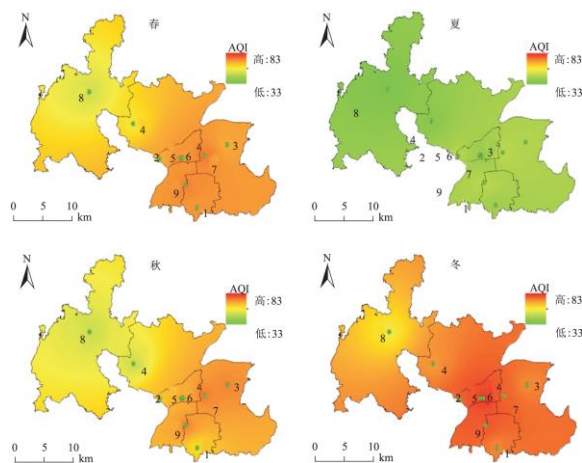


图 13 2017 年南昌市 AQI 四季空间变化

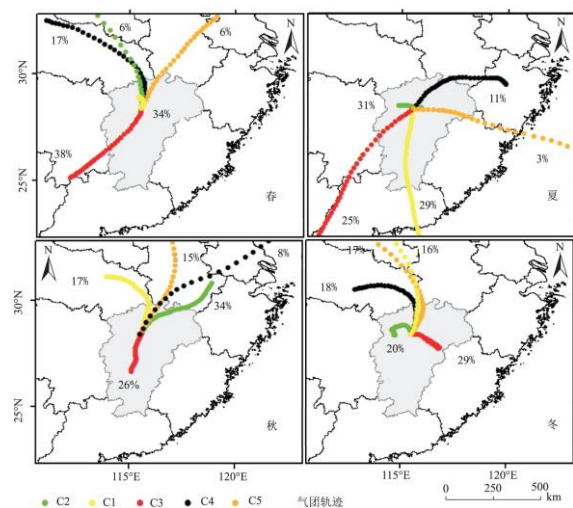


图 14 2017 年南昌市气团轨迹聚类结果

表 1 2017 年南昌市四季各类气流轨迹与相应污染物浓度值

季节	气流轨迹	AQI	PM _{2.5}	PM ₁₀	SO ₂	NO ₂	CO	O ₃	所占比例(%)
春	C1	73	22	87	12	35	0.8	98	5.4
	C2	90	38	91	17	45	1.2	137	32.6
	C3	73	42	90	18	43	1.1	92	37.0
	C4	67	34	69	13	33	1.0	100	16.3
	C5	86	25	52	12	28	0.8	142	5.4
夏	C1	67	26	56	11	29	1.0	117	30.4
	C2	53	20	47	17	24	0.8	95	28.3
	C3	48	16	39	15	26	0.9	83	23.9
	C4	62	23	51	8	20	1.1	111	10.9
	C5	56	17	45	9	17	1.0	102	3.3
秋	C1	77	42	73	13	34	1.1	110	33.0
	C2	70	41	76	13	38	1.1	93	16.5
	C3	81	50	85	16	45	1.2	73	25.3
	C4	42	16	30	7	20	0.9	74	7.7
	C5	73	45	81	14	39	1.1	104	14.3

冬	C1	78	53	81	13	46	1.3	43	18.9
	C2	87	59	99	15	44	1.1	84	15.6
	C3	81	55	93	15	54	1.2	54	27.8
	C4	68	45	68	11	39	1.0	63	17.8
	C5	75	47	90	14	50	1.1	75	16.7

2.3.2 气象因素

2017 年南昌市代表月每日逐小时气象要素(包括温度、湿度、风速)变化如图 15 所示。南昌市四季气温差异明显,1 月份气温在 10℃ 以下,7 月份气温在 25℃ 以上,4 月及 10 月差异不大,以午后气温最高。相反地,相对湿度以午后最低。南昌市全年湿度季节性差异不大,以 1 月份略高,但湿度日变化显著,以每日午后湿度最小。南昌市风速年均值为 2 级,以 4 月份最高,1 月份最低,每日以午后最大。

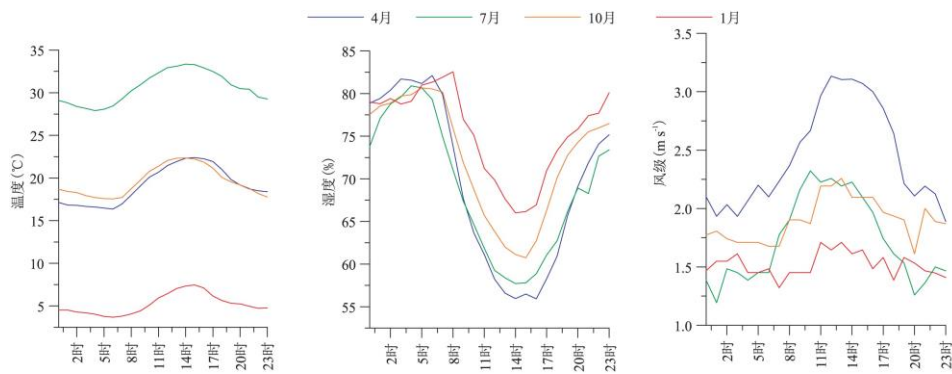


图 15 2017 年代表月南昌市气象参数变化

利用南昌市 2017 年代表月每日逐小时 AQI、6 种污染物浓度及相应气象数据进行主成分分析(PCA),结果如图 15 所示。PCA 结果表明,前 3 个主成分已能够解释所有参数,成分 1~3(PC1-3)的贡献率分别为 48%、21%和 11%。载荷矩阵结果表明(图 16a),AQI、PM₁₀、PM_{2.5}、NO₂在 PC1 上具有较大正载荷,而湿度在 PC1 上具有较大的负载荷,表明 PC1 代表颗粒物及 NO₂ 污染,并且 PC1 与湿度呈负相关。O₃与温度在 PC2 上具有较大正载荷,表明 PC2 代表 O₃ 污染水平,并且 PC2 与温度呈正相关。风速在 PC3 上具有较大正载荷(图 16b),SO₂在 PC3 上具有较大负载荷,表明 PC3 代表 SO₂ 污染,并且 SO₂ 污染与风速呈负相关。PCA 输出的样本得分结果表明(图 16c):(1)4 月和 1 月样本在 PC1 上的得分相对较高,表明南昌市冬春季污染严重,主要污染因子为 PM₁₀、PM_{2.5}、NO₂,受相对湿度影响较大,即相对湿度越小,空气污染越严重;(2)7 月和 1 月样本在 PC2 上分别具有较高和较低得分,表明南昌市 O₃ 污染在 1 月较小、7 月较大,受温度控制;(3)2017 年代表月样本在 PC3 上得分呈波动变化,表明南昌市 SO₂ 污染季节变化不明显。

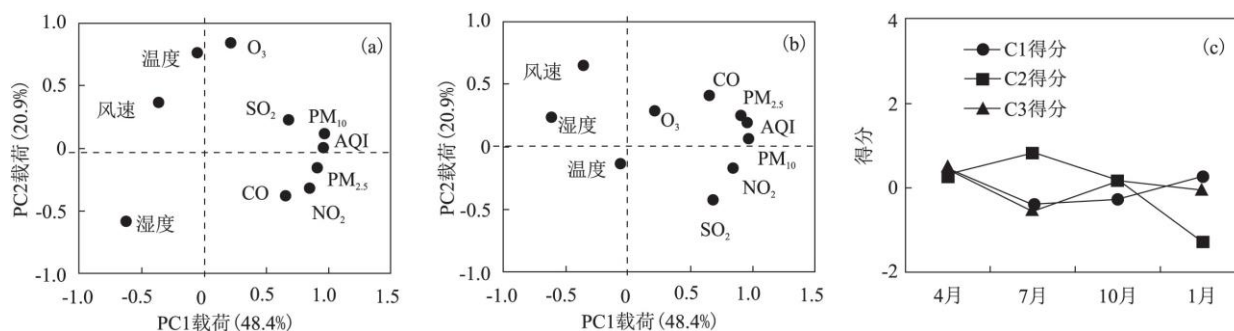


图 16 主成分载荷及得分情况

3 结论

(1) 南昌市环境空气污染时间变化特征: AQI 日变化呈“W”形, 峰值分别出现在 9:00~11:00 和 20:00~22:00, 主要污染因子为 PM₁₀、PM_{2.5}、NO₂, 上、下班高峰期带来的交通尾气污染是主导因素; AQI 周变化以周一和周末较高、周四最低, 说明南昌市空气污染除了与群众出行习惯有关, 还存在其他影响因素; AQI 月变化呈“V”形, 峰值分别出现在 1~3 月和 10~12 月 (即冬春季), 主要污染因子为 PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂, 这与冬季静稳天气频繁不利于污染物扩散有关; O₃ 污染规律相反, 以 6~8 月 (即夏季) 污染较重; AQI 近几年呈波动变化, 以优良天数占主导, 其中 PM₁₀ 的污染变化不大、PM_{2.5} 的治理成效显著, 同时 NO₂ 和 O₃ 污染日益凸显。

(2) 南昌市环境空气污染空间变化特征呈现“郊区-市区”两极分化特点, AQI、PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂、CO 值均以市区较高、郊区较低, 但 O₃ 的空间分布规律正好相反。

(3) 2017 年南昌市以短轨迹气团所占比例最高, 并且春夏季短轨迹气团在所对应的 PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂ 均较高, 而春夏季 O₃ 污染主要来自本地和长三角地区; 长轨迹气团所占比例最少, 但对冬季 PM_{2.5}、PM₁₀ 污染有较大影响。南昌市 PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂ 污染的主导气象因子为相对湿度, O₃ 污染的主导气象因子为温度。此外, 南昌市 PM_{2.5} 污染主要与城镇生活烟尘排放有关, PM₁₀ 污染主要与工业烟尘排放有关, NO₂ 和 O₃ 污染主要与汽车尾气排放有关。

参考文献:

- [1] GURJAR B R, JAIN A, SHARMA A, et al. Human health risks in megacities due to air pollution[J]. Atmospheric Environment, 2010, 44 (36): 4606-4613.
- [2] GORDON T, STANEK L W, BRONW J. Pollution, air in encyclopedia of toxicology. In: Wexler P (ed) Encyclopedia of toxicology (third edition) [M]. Academic Press, Oxford: 995-1002.
- [3] WHO. WHO' s first global report on antibiotic resistance reveals serious, worldwide threat to public health (2014) [R]. Geneva: World Health Organization
- [4] ZIOMAS I C, MELAS D, ZEREFOS C S, et al. Forecasting peak pollutant levels from meteorological variables[J]. Atmospheric Environment, 1995, 29 (24): 3703-3711.
- [5] GIORGI F, MELEUX F. Modelling the regional effects of climate change on air quality[J]. Comptes Rendus Geoscience, 2007, 339 (11-12): 721-733.

-
- [6] 邹滨, 许珊, 张静. 土地利用视角空气污染空间分异的地理分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2017, 42(2): 216-222.
- [7] PU H, LUO K, WANG P, et al. Spatial variation of air quality index and urban driving factors linkages: Evidence from Chinese cities[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2017, 24(5): 4457-4468.
- [8] 邓霞君, 蔡振群, 项晓美, 等. 浙江省空气质量及主要气象因子的影响分析[J]. 环境科学与技术, 2014(s2): 372-377.
- [9] 肖建能, 杜国明, 施益强, 等. 厦门市环境空气污染时空特征及其与气象因素相关分析[J]. 环境科学学报, 2016, 36(9): 3363-3371.
- [10] 王媛林, 王哲, 陈学舜, 等. 珠三角秋季典型气象条件对空气污染过程的影响分析[J]. 环境科学学报, 2017, 37(9): 3229-3239.
- [11] 杨旭, 张小玲, 康延臻, 等. 京津冀地区冬半年空气污染天气分型研究[J]. 中国环境科学, 2017, 37(9): 3201-3209.
- [12] 许文轩, 田永中, 肖悦, 等. 华北地区空气质量空间分布特征及成因研究[J]. 环境科学学报, 2017, 37(8): 3085-3096.
- [13] 廖晓农, 张小玲, 王迎春, 等. 北京地区冬夏季持续性雾-霾发生的环境气象条件对比分析[J]. 环境科学, 2014, 35(6): 2031-2044.
- [14] 李云婷, 王占山, 安欣欣, 等. 2015 年“十一”期间北京市大气重污染过程分析[J]. 中国环境科学, 2016, 36(11): 3218-3226.
- [15] 陈镭, 马井会, 甄新蓉, 等. 上海地区空气污染变化特征及其气象影响因素[J]. 气象与环境学报, 2017, 33(3): 59-67.
- [16] 陈翔翔, 胡磊, 彭王敏子, 等. 1960-2014 年南昌市霾天气气象要素及主要大气污染物变化特征[J]. 气象与环境学报, 2016, 32(5): 114-121.
- [17] 赵阳, 胡恭任, 于瑞莲, 等. 2013 年南昌市区 PM_{2.5} 的浓度水平及时空分布特征与来源[J]. 环境科学研究, 2017, 30(6): 854-863.
- [18] 蔡哲, 贺志明, 唐春燕, 等. 南昌市酸雨特征与气象条件关系分析研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(21): 11292-1129.
- [19] 彭希琰, 何宗健, 刘小真, 等. 南昌市大气 PM_{2.5} 中多环芳烃的来源解析[J]. 环境污染与防治, 2009, 31(10): 28-32.
- [20] 王占山, 李云婷, 陈添, 等. 2013 年北京市 PM_{2.5} 的时空分布[J]. 地理学报, 2015, 70(1): 110-120.
- [21] 戴伟, 高佳琪, 曹罡, 等. 深圳市郊区大气中 PM_{2.5} 的特征分析[J]. 环境科学, 2012, 33(6): 1952-1957.
- [22] 郝吉明, 吴烨, 傅立新, 等. 北京市机动车污染分担率的研究[J]. 环境科学, 2001, 22(5): 1-6.
- [23] 郝吉明, 王丽涛, 李林, 等. 北京市能源相关大气污染源的贡献率和调控对策分析[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2005, 35(S1): 115-122.

-
- [24]冷中笑, 张新华, 格丽玛. 新疆机动车氮氧化物排放现状及控制对策[J]. 新疆环境保护, 2014, 36(1):22-25.
- [25]沈敏霞, 曹军骥, 张宁宁, 等. 西安市道路 PM_{2.5}NO₂CO 水平浓度分布特征[J]. 环境科学研究, 2017, 30(1):130-136.
- [26]谢雨竹, 潘月鹏, 倪长健, 等. 成都市区夏季大气污染物浓度时空变化特征分析[J]. 环境科学学报, 2015, 35(4):975-983.
- [27]聂泽宇, 邬剑宇, 吴小东, 等. 荧光溶解性有机质 EEMs 的新旧自组织映射图解分析方法比较研究[J]. 环境科学学报, 2017, 37(1):357-369.
- [28]聂明华, 黄娴, 晏彩霞, 等. 利用 PARAFAC 及 SOM 研究不同来源及粒径胶体的三维荧光光谱特征[J]. 环境科学学报, 2018, 38(09):3672-3681.
- [29]王占山, 李云婷, 陈添, 等. 北京市臭氧的时空分布特征[J]. 环境科学, 2014(12):4446-4453.