

2015~2018年桂林市空气污染特征分析

蒙宁静^{1,2}, 左艳秋¹, 黄耀锋¹, 刘平鑫¹, 高兴¹, 黄俊³, 王洪强^{1,4*}

¹桂林理工大学环境科学与工程学院, 广西 桂林

²广西大学资源环境与材料学院, 广西 南宁

³中国科学院空天信息创新研究院, 北京

⁴广西环境污染控制理论与技术重点实验室, 广西 桂林

收稿日期: 2022年10月23日; 录用日期: 2022年10月25日; 发布日期: 2023年6月30日

摘要

根据桂林市2015~2018年大气主要污染物和气象数据的在线监测数据, 分析了各污染物的浓度水平、季节变化、后向轨迹特征及气象条件影响。结果表明, 2015~2018年桂林市的主要污染浓度为PM_{2.5}、PM₁₀和O₃, 其中各污染物浓度呈现逐年下降的趋势, PM_{2.5}、PM₁₀浓度存在明显的冬高夏低季节特征, 而O₃则表现出秋高冬低季节特征。桂林市主要大气污染物的月度变化, PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂、SO₂以及CO的月均浓度变化趋势大致相似, 均呈“U”型, 最高值出现在1月、2月和12月, 最低值出现在6月、7月和8月, 1~5月污染物质量浓度开始下降, 6~7月趋于平稳, 8~12月呈上升趋势; O₃的变化趋势呈双峰结构, 第一个峰值出现在4月和5月, 第二个峰值出现在9月和10月。AQI月均值先减小后增大, 冬季总体数值最大, 将污染天数与桂林市周边监测点相比较, 得出与桂林市的污染天数相似的周边监测点有永州、邵阳、郴州、衡阳、清远、来宾、和柳州。桂林市2015~2018年的中度污染、重度污染和严重污染的后向轨迹分析中, 冬季桂林高空气团的污染来源在500 m、1000 m、1500 m上的气团轨迹主要来自西南方向, 其次为东北方向, 研究得出后向轨迹气团的轨迹方向与风向存在显著关系。

关键词

PM_{2.5}, O₃, AQI, 空气污染, 后向轨迹

Air Pollution Characteristics Analysis in Guilin from 2015~2018

Ningjing Meng^{1,2}, Yanqiu Zuo¹, Yaofeng Huang¹, Pingxin Liu¹, Xing Gao¹, Jun Huang³, Hongqiang Wang^{1,4*}

¹College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

²School of Resources, Environment and Materials, Guangxi University, Nanning Guangxi

³Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing

*通讯作者。

文章引用: 蒙宁静, 左艳秋, 黄耀锋, 刘平鑫, 高兴, 黄俊, 王洪强. 2015~2018年桂林市空气污染特征分析[J]. 环境保护前沿, 2023, 13(3): 744-759. DOI: 10.12677/aep.2023.133091

⁴Guangxi Key Laboratory of Environmental Pollution Control Theory and Technology, Guilin Guangxi

Received: Oct. 23rd, 2022; accepted: Oct. 25th, 2022; published: Jun. 30th, 2023

Abstract

Based on the online monitoring data of the main atmospheric pollutants and meteorological data in Guilin from 2015 to 2018, we analyzed the concentration levels, seasonal changes, backward trajectory characteristics and the influence of meteorological conditions for each pollutant. The results show that the main pollution concentrations in Guilin from 2015 to 2018 were $PM_{2.5}$, PM_{10} and O_3 , in which the concentration of each pollutant showed a decreasing trend year by year, with $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations having obvious seasonal characteristics of high winter and low summer, while O_3 showed seasonal characteristics of high autumn and low winter. The monthly changes of the main air pollutants in Guilin, $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 , SO_2 and CO have similar monthly average concentration trends, all in a “U” shape. The highest values appear in January, February and December, and the lowest values appear in June, July and August; the quality concentration of pollutants begins to decline from January to May, tends to stabilize from June to July, and shows an upward trend from August to December. The trend of O_3 showed a bimodal structure, with the first peak occurring in April and May and the second peak in September and October. The monthly average value of AQI first decreases and then increases, with the largest overall value in winter. Comparing the number of polluted days with the surrounding monitoring points in Guilin, it is concluded that the surrounding monitoring points with similar number of polluted days in Guilin are Yongzhou, Shaoyang, Chenzhou, Hengyang, Qingyuan, Laibin, and Liuzhou. In the backward trajectory analysis of moderate, heavy and severe pollution in Guilin from 2015 to 2018, the pollution sources of Guilin high altitude air masses on 500 m, 1000 m and 1500 m in winter were mainly from the southwest direction followed by the northeast direction, and the study concluded that there was a significant relationship between the trajectory direction of backward trajectory air masses and wind direction.

Keywords

$PM_{2.5}$, O_3 , AQI, Air Pollution, Backward Trajectory

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

大气是人类和生物赖以生存的环境，然而近年来，人们对环境的危害与日俱增，造成严重的环境污染[1] [2] [3]。大气又是承受人类对环境的破坏的重要环节，矿物燃料燃烧、汽车尾气排放、人们环保意识薄弱及缺乏科学的城市规划导致各种城市大气污染问题的出现[4] [5]。现阶段，城市大气污染的问题已经越来越严重，严重危及人们的身体健康和生命安全[6] [7]。城市空气颗粒物和气体污染物是世界公认的寿命缩短和导致心脏病、呼吸道疾病的元凶[8]。

近年来，随着经济水平、人口数量和各行各业的快速发展，受典型盆地地形、降水季节性分布不均匀、冬季逆温天气多等“先天不足”的自然地理条件限制，桂林市城市环境空气质量受到相关的地理气候的影

响,出现了以颗粒物($PM_{2.5}$ 和 PM_{10})为特征污染物的大气污染。刘永祺等[9]对2002~2007年重庆市环境质量资料做统计分析,评价了近几年重庆市的大气环境污染状况,并分析了重庆市大气污染的主要特征及其影响因素;徐冉等[10]利用常规观测资料和改进的后向轨迹模型(TrajStat)对2016~2017年秋冬大气重污染时段的颗粒物浓度、气象要素和气团传输路径进行了综合分析;郭蒙蒙等[11]根据郑州市2014~2017年大气主要污染物和气象数据的在线监测数据,分析了各污染物的浓度水平、季节变化、比值特征及气象条件影响;曹杨等[4]利用2014年5月~2017年12月的成都市环境空气质量监测资料分析了成都市空气污染情况及污染物浓度时空变化特征;何涛等[12]对2013~2015年常州市冬季 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 、CO数据进行分析,并结合HYSPLIT4.9模式研究不同气团来源对常州市各污染物浓度的影响及潜在污染源区分布特征;闫世明等[13]采用环境空气质量指数(AQI)统计分析了2014~2018年太原市秋冬季大气污染特征和输送路径及潜在源区分析;庄欣等[14]研究了基于日变化特征的珠江三角洲大气污染空间分布。桂林一直以来以优美宜人的山水景色著称,每年吸引着大量海内外游客前来观赏旅游,因此对桂林市的大气研究很有必要。本文利用桂林市环境空气质量监测资料,分析空气污染情况,并从各个监测点了解污染物浓度的年际变化、季节变化、月变化和日变化的时空变化特征,利用美国海洋与大气研究中心(NOAA)的HYSPLIT模型进行桂林市污染物来源的后向轨迹分析,以期为桂林市大气污染防治和研究提供理论依据。

2. 数据处理

目前桂林市设有4个空气质量自动监测点,分别是桂林市监测站($N25^{\circ}15'39.55''$, $E110^{\circ}15'52.99''$)、龙隐路小学($N25^{\circ}16'7.71''$, $E110^{\circ}18'33.55''$)、八中($N25^{\circ}15'46.37''$, $E110^{\circ}17'52.99''$)、电子科大尧山校区($N25^{\circ}16'55.43''$, $E110^{\circ}19'17.49''$),4个监测点空间分布跨度大,在空间上跨越城西、城东、城南和城北的广大城市建成区,覆盖面积广,基本可以较全面地代表桂林市的空气环境质量水平。

数据基于中国空气质量在线监测分析平台(<https://www.aqistudy.cn/>),该平台每小时公布一次空气污染状况数据,包括 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、CO、 NO_2 、 O_3 和 SO_2 的小时平均值,由于各个点布设的时间不一致,本研究仅统计包含连续观测4年的22个城市2015年3月1日至2019年2月28日,并基于日平均值进行统计,需要说明的是,数据首先剔除了异常值0。桂林市各监测点分布图如图1。

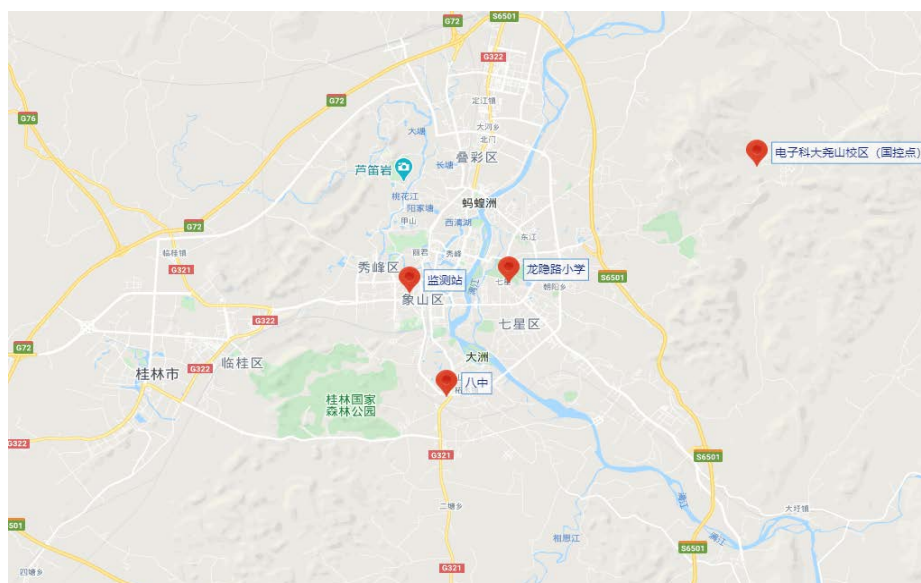


Figure 1. Map of the four monitoring points in Guilin
图 1. 桂林市四个监测点分布图

3. 结果与讨论

3.1. 污染物质量浓度年际变化特征

利用中国空气质量在线监测分析平台 2015 年 3 月 1 日~2019 年 2 月 28 日的 $PM_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , CO , NO_2 和 O_3 等污染物的质量浓度逐小时数据, 基于日均值进行统计, 并对六种污染物质量浓度的年际变化规律进行分析。

如图 2 所示, 为桂林市 2015 年 3 月 1 日~2019 年 2 月 28 日的年际变化曲线。由图 2 可知, 桂林市各污染物浓度总体均呈下降趋势。其中 $PM_{2.5}$ 在 2015~2017 年的年平均浓度分别为 $45.91 \mu g/m^3$ 、 $41.92 \mu g/m^3$ 和 $43.25 \mu g/m^3$, 符合国家 24 小时二级标准限值, 而在 2018 年平均浓度为 $31.33 \mu g/m^3$, 达到国家 24 小时一级标准限值; PM_{10} 在 2015~2017 年的年平均浓度分别为 $63.83 \mu g/m^3$ 、 $66.17 \mu g/m^3$ 和 $59.50 \mu g/m^3$, 符合国家 24 小时二级标准限制, 在 2018 年平均浓度为 $46.42 \mu g/m^3$, 符合国家 24 小时一级标准限制。其余各污染物的浓度水平均低于国家一级标准限制, 说明桂林市首要污染物为 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 颗粒物, 且以复合污染为主。与计晓梅等[15]得出桂林市首要污染物为细颗粒物、颗粒物污染突出且以复合污染为主等污染特征的研究结果相似。出现这一现象的原因有多种, 其中主要是桂林市机动车尾气、城市扬尘、燃煤锅炉废气和砖场烟尘等大量排放废气, 同时也有治理措施不足, 缺少相关的法律法规, 监管不当等原因。对此, 桂林市自 2012 年以来相继发布了多项改善空气质量的文件, 2014 年桂林市生态环境局制定了《桂林市机动车排气污染防治方法》、《桂林市机动车排气污染防治实施方案》, 对机动车的尾气排放严格落实检验标准, 后又出台了《桂林市全面整治燃煤小锅炉实施方案》, 要求使用清洁能源, 并对燃煤锅炉进行改造和淘汰, 对桂林市各砖场进行了整治和淘汰。王超等[16]经过几年的努力和严格把关, 桂林市的环境改善明显, 到 2018 年, 桂林市的细颗粒污染物已经得到控制, 年平均颗粒污染物浓度已符合国家 24 小时一级标准限值。

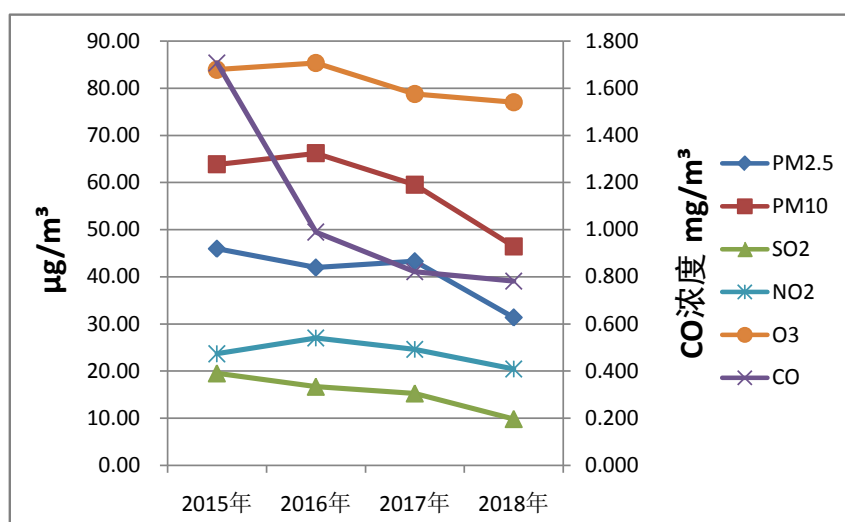
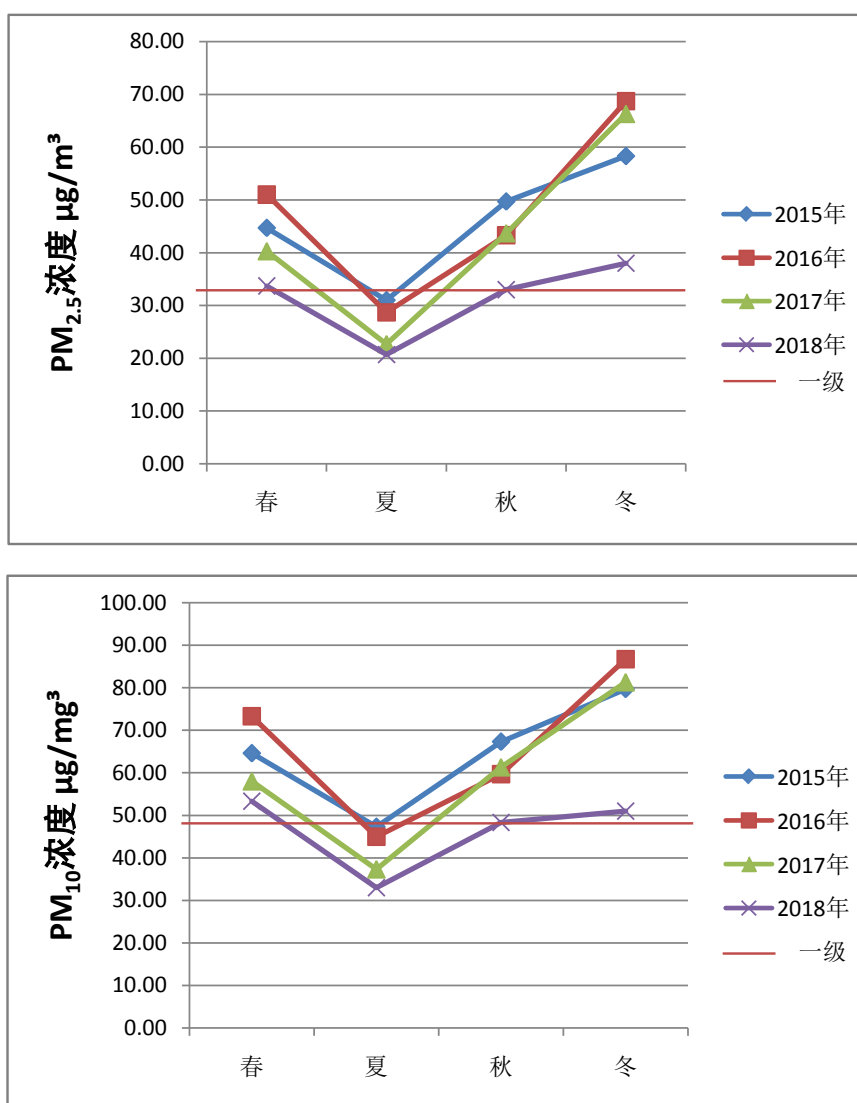


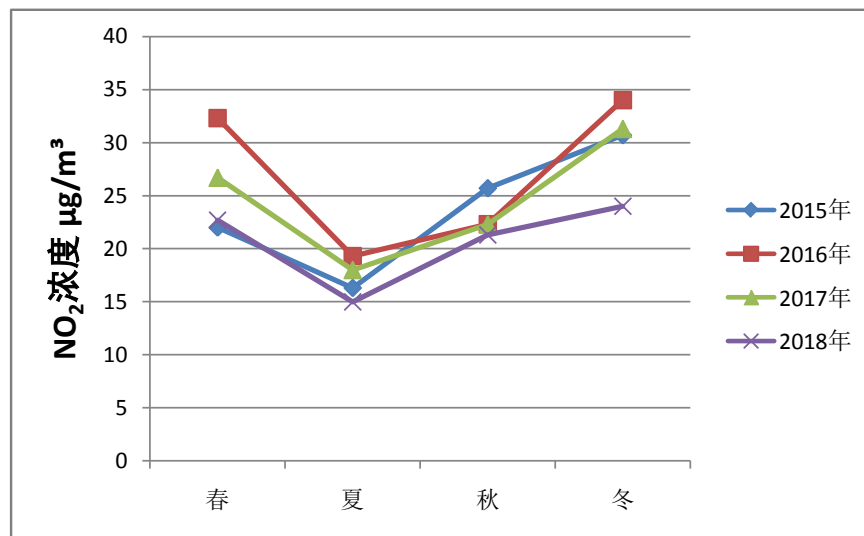
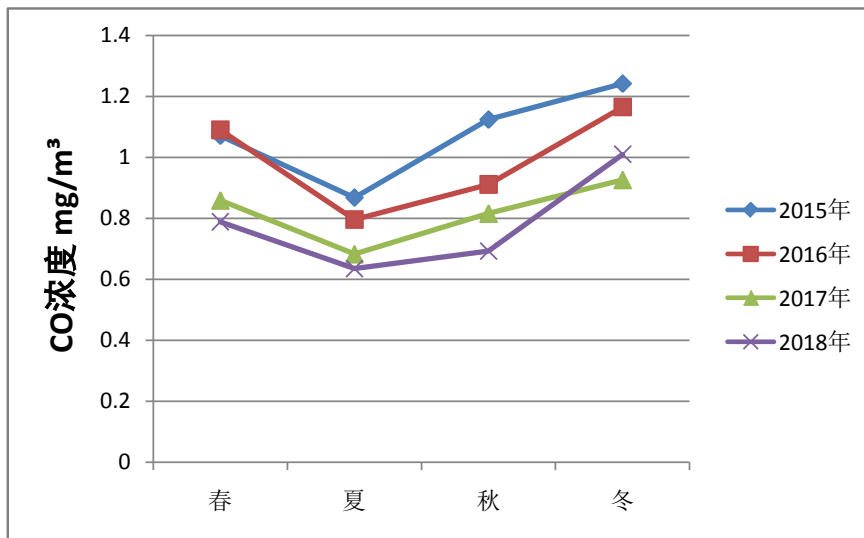
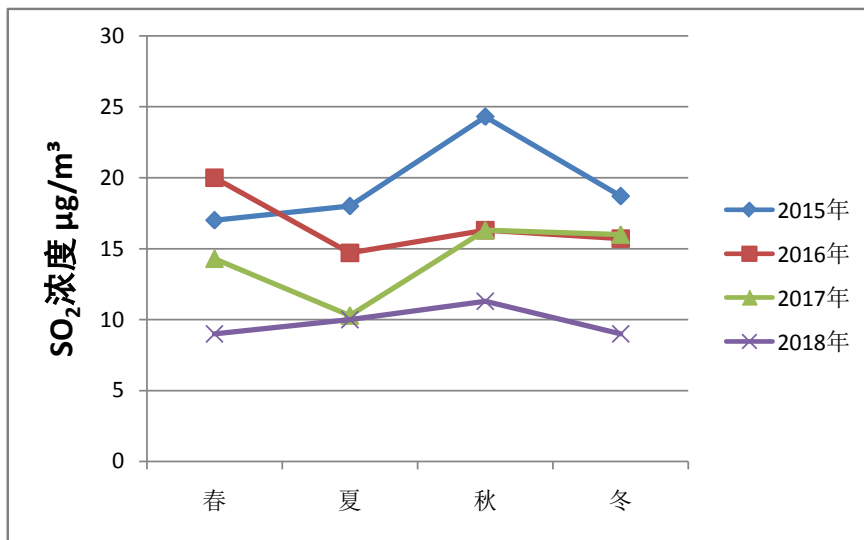
Figure 2. Interannual variation characteristics of Guilin city
图 2. 桂林市年际变化特征

3.2. 季节变化特征

桂林市 2015~2018 年主要大气污染物具有明显的季节差异(见图 3), $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 和 CO 六种主要污染物浓度均表现出冬高夏低的变化特征, 而 O_{3-8h} 呈现出秋高冬低的情况。桂林市秋季时温度

仍然很高, 加剧光化学反应, 且因秋季风速大, 东北风盛行, 受到沿海季风气候的影响, 江西、湖南、福建、广东等工业化集中的省所产生的 O_3 , 在还未被分解为氧分子和氧原子时就到达桂林, 导致 O_{3-8h} 升高, 桂林市 2016~2018 年风玫瑰图见图 4。近年来, 桂林市颗粒污染问题最为严峻。本研究期间, 冬季的主要污染物为 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 。春季、秋季和冬季时 $PM_{2.5}$ 的浓度平均值分别为 $42.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $42.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $57.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (小于 $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 处于国家二级标准, 夏季 $PM_{2.5}$ 的平均浓度为 $25.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (小于 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 处于国家一级标准; PM_{10} 在春季、秋季以及冬季时的平均浓度为 $62.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $59.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $74.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (小于 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 在国家二级标准限制内, 夏季时平均浓度符合国家一级标准限制(小于 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 空气质量等级优良。由此可知, 桂林市 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 具有明显的季节差异, 两种污染物浓度均具有“冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季”的变化规律。造成这一季节差异的原因可能是冬季气温低, 易出现静风和逆温现象, 导致颗粒污染频发。而夏季气温高, 大气对流活动加强, 有利于大气污染物的扩散, 降水量充足, 对大气污染物也具有较好的清除作用[17]。 O_3 以日最大 8 小时平均作为浓度限值标准, 在秋季时平均浓度为 $102.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 超过了国家一级空气质量标准, 成为秋季的主要污染物。





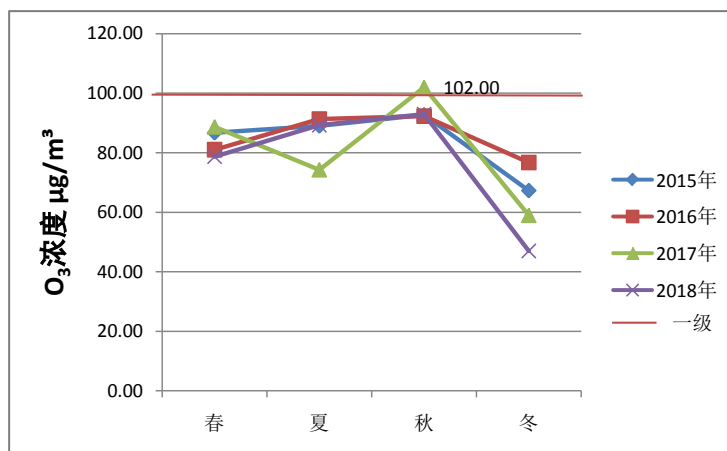


Figure 3. Seasonal variation characteristics of Guilin city
图 3. 桂林市季节变化特征

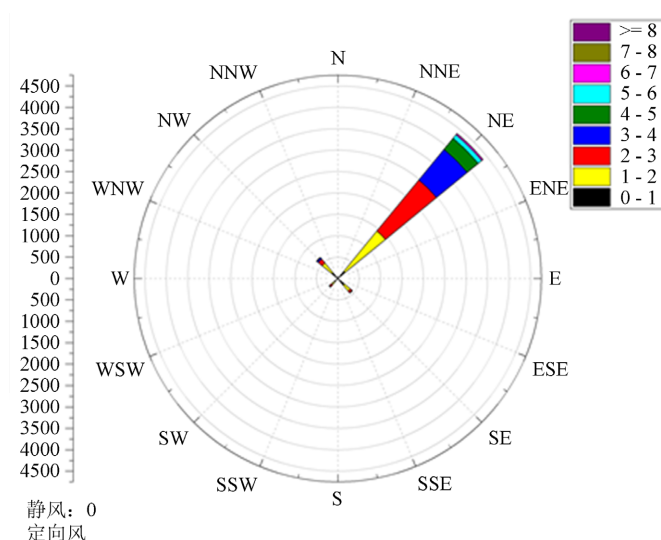


Figure 4. Wind rose map of Guilin city from 2016 to 2018
图 4. 桂林市 2016~2018 年风玫瑰图

3.3. 月均值变化特征

图 5 是桂林市全年温度曲线变化图；图 6 是 2015~2018 年桂林市主要大气污染物的月度变化，PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂、SO₂ 以及 CO 的月均浓度变化趋势大致相似，均呈“U”型，最高值出现在 1 月、2 月和 12 月，最低值出现在 6 月、7 月和 8 月，1~5 月污染物质量浓度开始下降，6~7 月趋于平稳，8~12 月呈上升趋势。主要原因是桂林市的多年平均降水量为 1888 mm，降水主要出现在 4~7 月份，降水日数多且降水量大，有利于空气污染物的沉降，洗刷和清除大气污染物，且 6~7 月由于大气层结不稳定，夏季对流活跃，垂直方向上产生的剧烈运动不利于逆温层的形成，有利于污染物的稀释和扩散。10 月后，秋冬季逆温层长期维持，桂林市微风少，静稳天气不利于大气中污染物的稀释和扩散[15]。而桂林市 O₃ 的变化趋势呈双峰结构，随着夏季来临，气温逐渐升高，日照强度增大，第一个峰值出现在 4 月和 5 月，之后随着降水量的增大，到达地面的紫外辐射减弱，使得生成臭氧的光化学反应减弱，降水时云量多，云层吸收来自大气界面上的太阳紫外光的短波辐射，不利于形成臭氧的光化学反应，直接导致近地面臭氧层浓

度的降低[18]; 第二个峰值出现在9月和10月, 此时桂林市的气温温度仍然很高, 短波紫外辐射加强, 增强了大气中氧分子的分解和臭氧的形成。在2015年10月, 南风盛行, 其可能是造成其臭氧浓度增高的原因, 因亚热带地区持续高温, 臭氧增多, 上风向有污染源, 风会把高浓度的臭氧输送到桂林, 使桂林臭氧浓度增大。

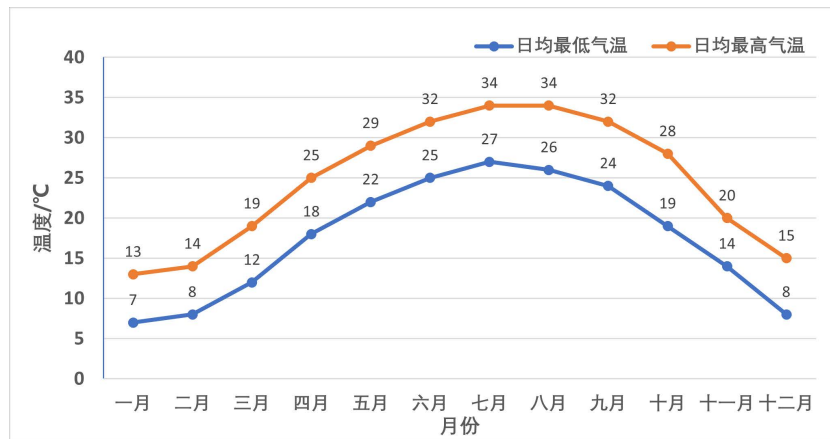
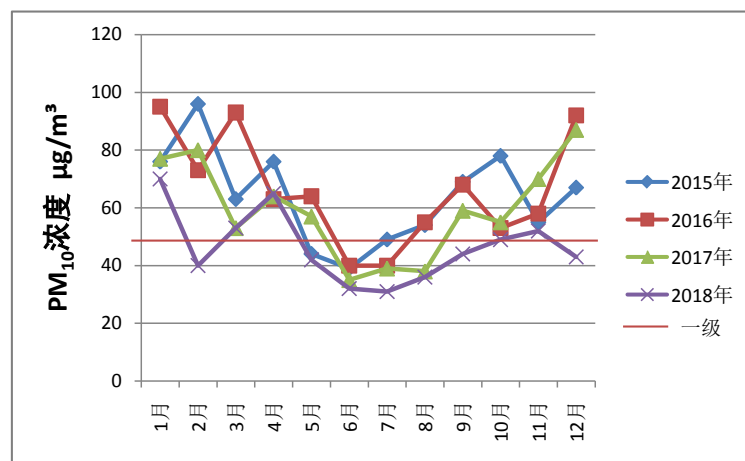
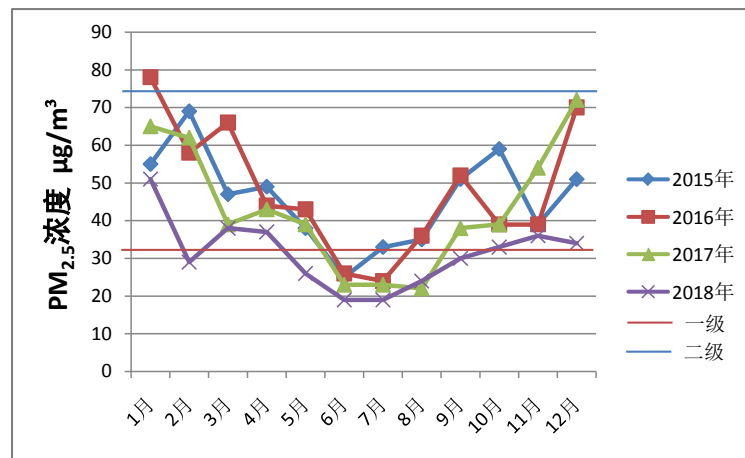
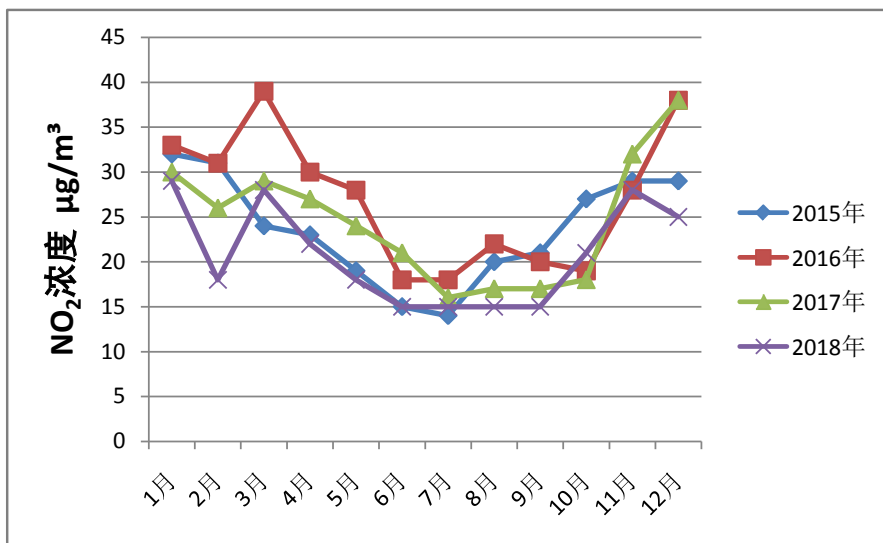
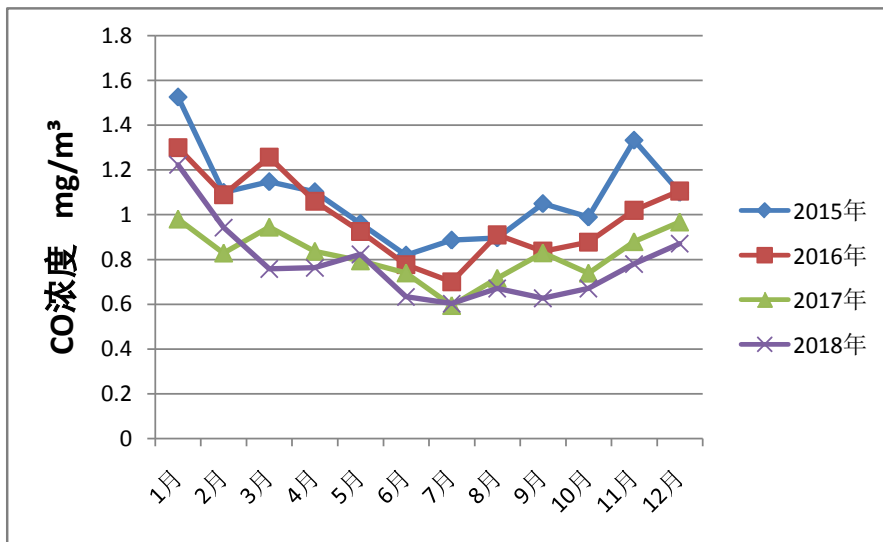
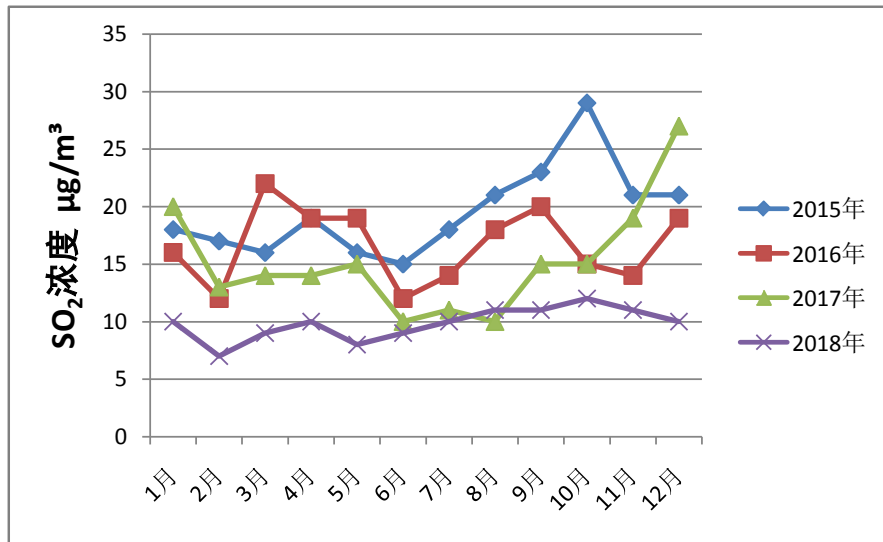


Figure 5. Annual temperature profile in Guilin
图 5. 桂林市全年温度曲线





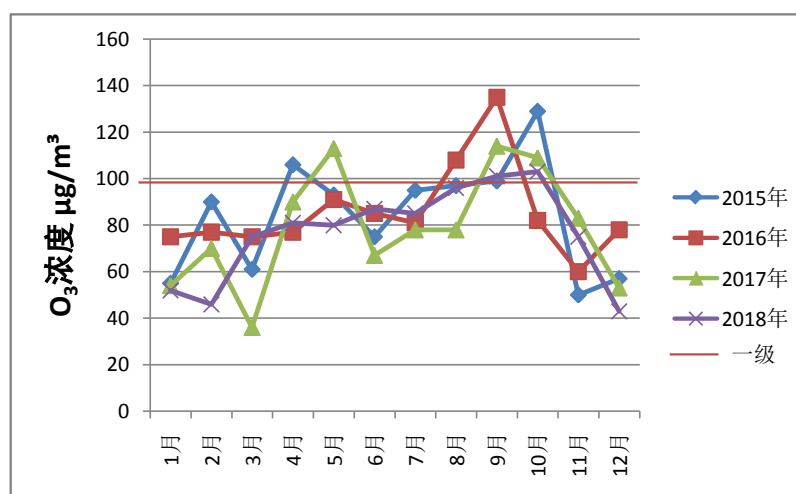


Figure 6. Monthly change characteristics of Guilin City
图 6. 桂林市月变化特征

3.4. 污染天分析

根据《环境空气质量标准》(GB3095-2012)制定的空气质量指数规定,将 AQI 值分为 6 级: 0~50、51~100、101~150、151~200、201~300、>300,分别对应空气质量等级优、良好、轻度污染、中度污染、重度污染和严重污染。空气质量指数(AQI)越大,对应的级别越高,说明大气污染越严重,对人体的健康影响也越明显。桂林市的 AQI 天数占比如图 7,根据桂林市 2015 年 3 月 1 日~2019 年 2 月 28 日的有效测量天数为 1460 天,环境空气质量达标天数 1262 天,达标天数比例为 86.43%,空气质量以优良为主,其中空气质量一级优的天气出现 600 天,占比 41.10%;二级良的天气出现 662 天,占比 45.34%;轻度污染 162 天,占比 11.1%;中度污染 30 天,占比 2.05%;重度污染 6 天,占比 0.41%;未出现严重污染天气。

桂林市 2015~2018 年 AQI 月平均值如图 8 所示,从图 5 可以看出桂林市 AQI 月均值呈现出“凹”型分布,其中 6 月和 7 月为全年 AQI 最低的月份,且其月 AQI 等级均为优。12 月和 1 月 AQI 月平均值最高。桂林市的首要污染物为 PM_{2.5} 和 PM₁₀,夏季时天气晴朗,不利于近地面逆温层的形成,有利于细颗粒物污染物的扩散,且夏季降水多,有利于空气中的细颗粒物沉降,所以在夏季 6 月和 7 月份时 AQI 值最小;而 12 月和 1 月为冬季,人们燃煤采暖,增大空气中颗粒物的浓度,冬季又有利于逆温层,导致冬季颗粒污染物浓度加大, AQI 值也相应增大。

研究桂林市 2015~2018 年 AQI 年均变化如图 9 所示,图 9 表明与 2015 年相比,桂林市 2018 年的空气质量已明显趋于好转。这说明,自 2012 年以来桂林市批复了《桂林国际旅游胜地建设发展规划纲要》、《桂林市空气质量与经济应急工作实施细则(试行)》、《桂林市大气污染防治专项行动方案》以及一系列“清洁能源”、“调整产业结构”、“加强监管制度”、“提高企业自身环保意识”等控制大气污染的治理措施,2014 年桂林市环保局又制定了《桂林市机动车排气污染防治办法》、《桂林市机动车排气污染防治实施方案》等方案,这些治理措施特别是针对机动车尾气、城市扬尘、燃煤锅炉和砖场烟尘的治理收效明显。

由桂林市周边各监测点(图 10),图 11(a)、图 11(b)为桂林市与其周边监测点的污染天数对比图,2015 年 3 月~2019 年 2 月,桂林市大气的污染等级的中度污染、重度污染和严重污染天数分别为 0 天、6 天和 30 天,与桂林市的污染天数相似的周边监测点有永州、邵阳、郴州、衡阳、清远、来宾、和柳州。其中

永州、邵阳、郴州、衡阳在湖南，清远位于广州，湖南、广州等两个城市较发达，其城市工业化较广西、贵州等城市更发达，机动车尾气、城市扬尘等产生的大气污染问题更加突出。而柳州在广西是工业城市，且柳州市比邻桂林市，其污染物对桂林的城市有所贡献。来宾市多年来环保基础薄弱，市政建设和交通扬尘以及工业生产产生的烟粉尘使空气中的可吸入颗粒物偏高，工业窑炉设备和技术落后，监管力度薄弱，来宾市地处亚热带低纬度季风区，地形处盆地，受气象条件影响，污染物不易扩散。

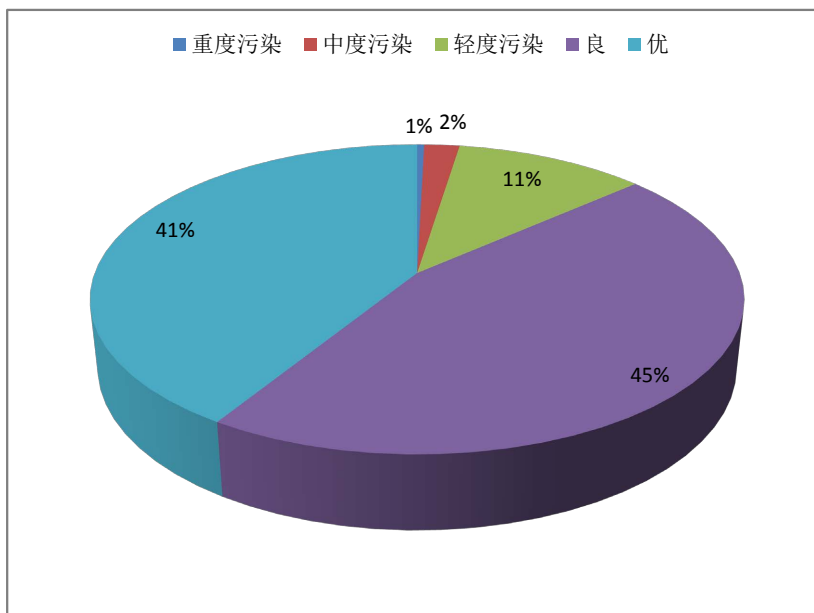


Figure 7. Percentage of AQI days in Guilin
图 7. 桂林市 AQI 天数占比

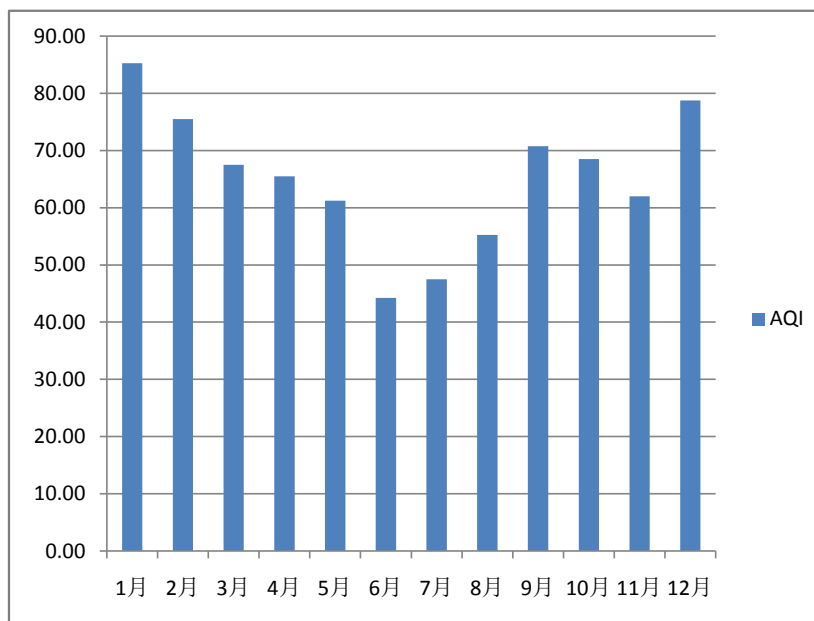


Figure 8. Monthly average of AQI from 2015 to 2018
图 8. 2015~2018 年 AQI 月平均值

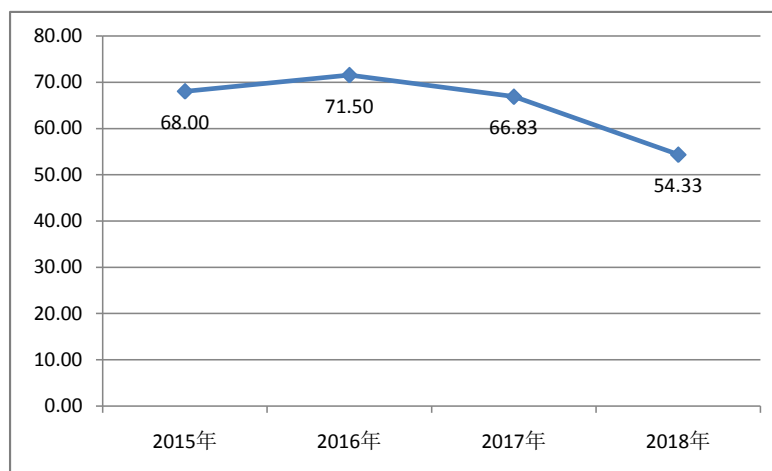


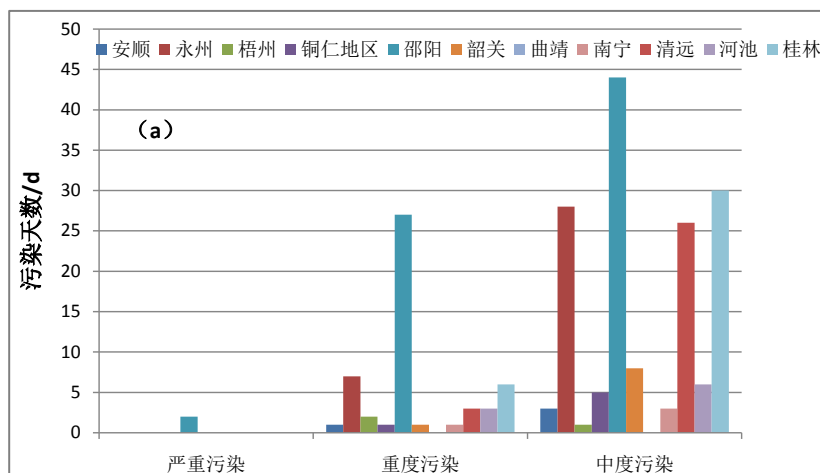
Figure 9. Annual average change of AQI curve

图 9. AQI 年均变化曲线图



Figure 10. Monitoring points in and around Guilin

图 10. 桂林市及周边各监测点



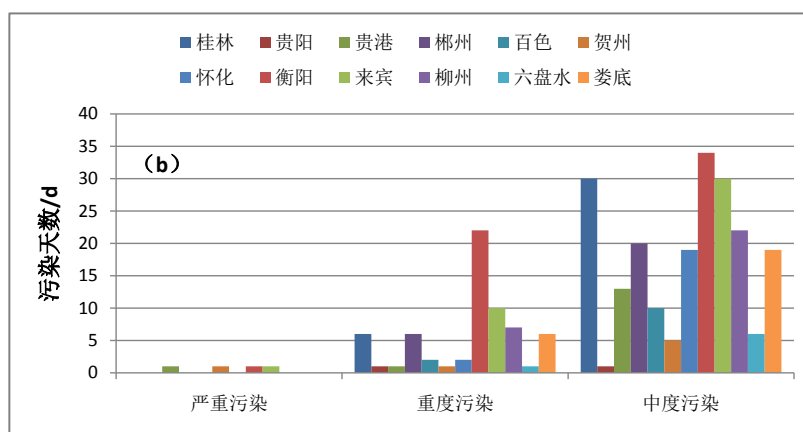


Figure 11. Comparison of the number of polluted days between the monitoring sites around Guilin and Guilin

图 11. 桂林周边各监测点与桂林的污染天数对比

3.5. 后向轨迹分析

根据《环境空气质量标准》(GB3095-2012)制定的空气质量指数规定, 将 AQI 值分为 6 级: 0~50、51~100、101~150、151~200、201~300、>300, 分别对应空气质量等级优、良好、轻度污染、中度污染、重度污染和严重污染。对中度污染、重度污染和严重污染进行后向轨迹绘图分析(如果这些天数太多, 可以选取典型时间分析, 例如按春夏秋冬季节选取时间)。

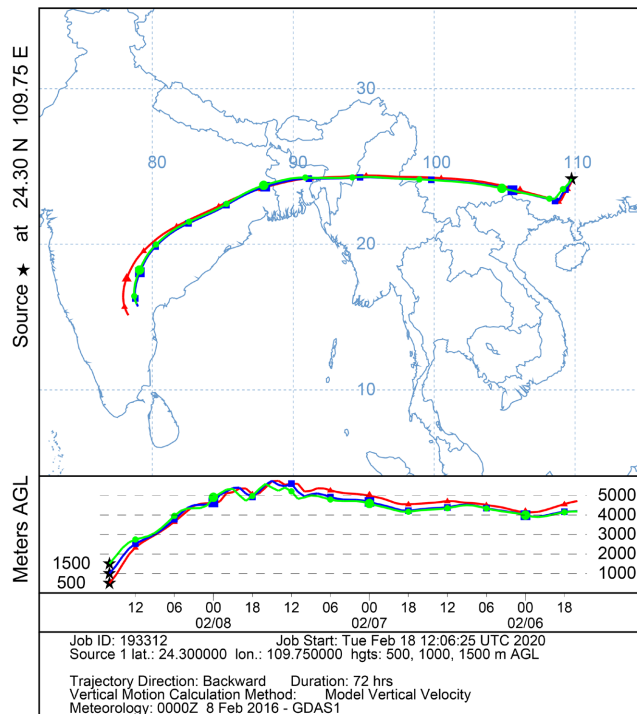
HYSPLIT 模型是美国海洋与大气研究中心(NOAA)环境空气实验室(ARL)开发用于计算和分析大气污染物的输送和污染物扩散轨迹的模型, 为了研究桂林市 2015~2018 年的中度污染、重度污染和严重污染的污染天, 并对其主要污染物气团的后向轨迹特征, 以桂林市的经纬度坐标(24.30°N, 109.75°N)为受点, 设置 500 m, 1000 m, 1500 m 三个高度, 每天 00:00、06:00、12:00 和 18:00 为计算起始时间, 分别收集研究期间桂林市全年的 72 h 后向轨迹进行分析。根据以上分析可知(2.3 小节), 桂林市主要污染物为 PM_{2.5} 和 PM₁₀, 其主要污染季节集中在冬季(2.2 小节), 对于桂林冬季的中度污染、重度污染天(如表 1), 选取季节性典型污染天进行分析, 画出冬季桂林市的后向轨迹图(如图 12)。由图 12(a)、图 12(b)分析发现, 2016 年 1 月、2 月和 2017 年 1 月 28 日冬季桂林高空气团的污染来源在 500 m、1000 m、1500 m 上的气团轨迹均来自西南方向, 轨迹为长轨迹, 说明桂林市的污染为传输污染, 且运动速度较短轨迹快, (闫世明等、刘超等、何涛等)受到中国喜马拉雅山脉天然屏障的阻碍, 污染物由云南地区传输至桂林, 查看桂林市历史天气可知, 在 2016 年冬季和 2017 年 1 月 28 日的重度污染天, 桂林的天气风向主要是南风天气, 受到南风天气的影响, 后向轨迹路径呈现出由西南方向传来的特征。又图 12(c)分析可知, 桂林市一次重度污染天气来自东北方向, 结合桂林市历史天气可知, 桂林市在 2017 年 1 月 5 日冬季常受到西北风天气的影响, 高空气团的移动路径污染源来自江西等地, 受到沿海气候的影响, 传输至桂林市。以上分析可知, 桂林市 2015~2018 年的污染天气与风向存在显著的污染关系。

Table 1. Number of moderately and severely polluted days in Guilin from 2015 to 2018

表 1. 2015~2018 年桂林市中度、重度污染天数情况

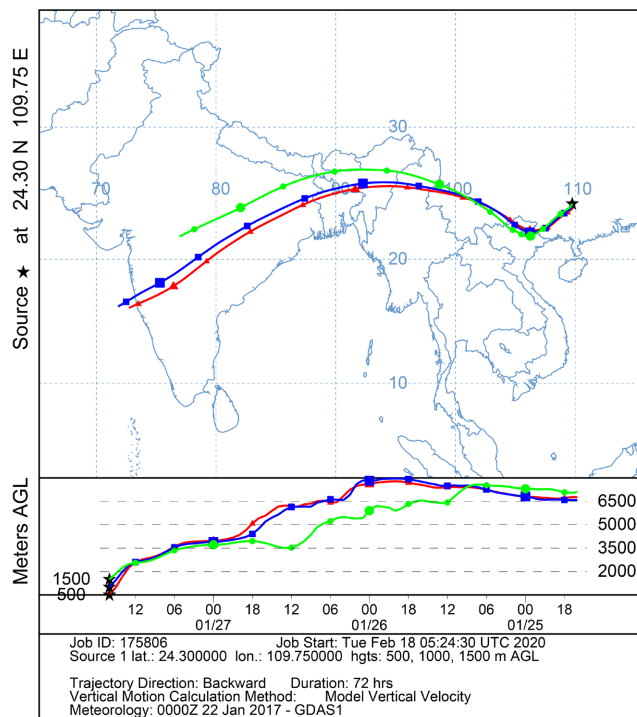
污染等级 \ 季节	春	夏	秋	冬
中度污染	5 天		1 天	24 天
重度污染				6 天

NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 1600 UTC 08 Feb 16
GDAS Meteorological Data



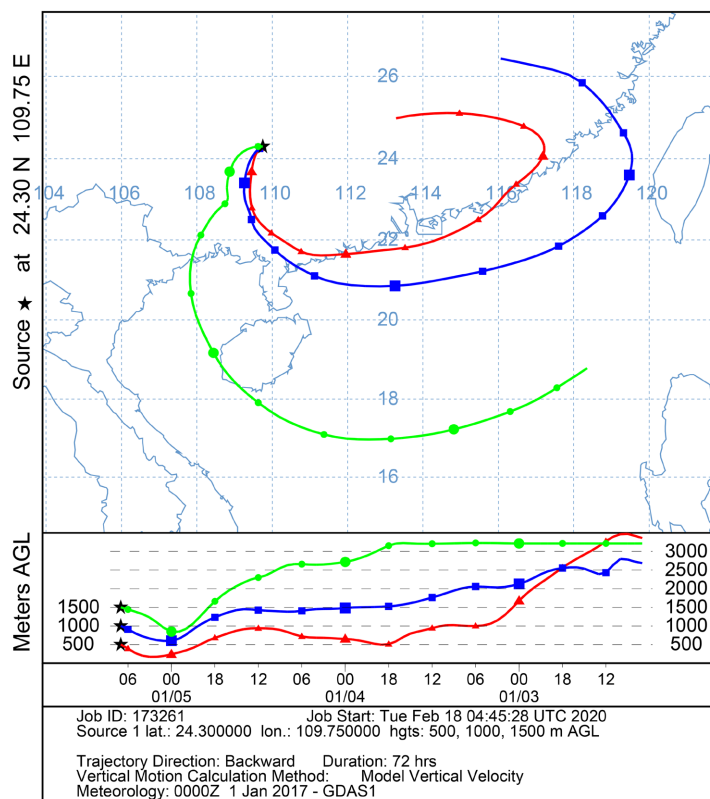
(a)

NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 1600 UTC 27 Jan 17
GDAS Meteorological Data



(b)

NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0700 UTC 05 Jan 17
GDAS Meteorological Data



(c)

Figure 12. Backward trajectory map of Guilin

图 12. 桂林市后向轨迹图

4. 结论

桂林市大气各主要污染物浓度逐年下降，空气质量逐年改善。大气污染物的浓度水平、AQI 分布均具有显著的季节变化特征。统计分析得出桂林市主要污染物为细颗粒物、 O_3 -8h，桂林市机动车尾气、城市扬尘、燃煤锅炉废气和专场烟尘是造成颗粒污染物的主要原因。

气象条件对大气污染物的影响具有季节性差异。夏季温度高、降水多有利于大气污染物的去除，冬季静风频率高、降水少、易形成逆温气候是造成颗粒污染物频发的重要因素。

根据《环境空气质量标准》(GB3095-2012)制定的空气质量指数规定，分析桂林市 AQI 值，得出桂林市 2015~2018 年的空气质量等级优良，与桂林市的污染天数相似的周边监测点有永州、邵阳、郴州、衡阳、清远、来宾、和柳州。

桂林市 2015~2018 年 HYSPLIT 后向轨迹模型，冬季桂林高空气团的污染在近地面上的气团轨迹大多来自西南方向，也有少部分是东北方向传输，风向在其中扮演着中演角色，桂林市的风向主要是南风天气，其次为东北风。其中长轨迹传输对桂林市大气污染物的贡献更为显著。

基金项目

国家重点研发计划项目(2018YFC1506304)资助。

参考文献

- [1] 张泽, 徐跃通. 2005~2012 年山东中南部四大城市大气环境质量状况分析[J]. 鲁东大学学报(自然科学版), 2014, 30(1): 73-77.
- [2] 陈渤黎, 吴晶璐, 刘银峰, 等. 2012~2014 年常州市大气污染特征分析研究[J]. 环境科学与管理, 2017, 42(1): 114-119.
- [3] 刘超, 花丛, 康志明. 2014~2015 年上海地区冬夏季大气污染特征及其污染源分析[J]. 气象, 2017, 43(7): 823-830.
- [4] 曹杨, 王晨曦, 刘炜桦, 等. 2014~2017 年成都市大气污染特征分析[J]. 高原山地气象研究, 2019, 39(1): 48-54, 73.
- [5] 许波, 张英杰, 吴序鹏, 等. 2016 年夏季淮安市大气污染特征及成因分析[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(27): 316-321.
- [6] 赵娜. 城市大气污染成因及治理对策[J]. 资源节约与环保, 2019(11): 81, 86.
- [7] 周海军. 包头市大气颗粒物环境地球化学特征[D]: [博士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2018.
- [8] 熊新竹, 陶双成, 高硕晗, 等. 北京典型主城区冬季大气污染特征分析[J]. 生态环境学报, 2017, 26(7): 1167-1173.
- [9] 刘永祺, 李大鹏, 倪长健. 重庆市大气污染特征及其影响因素分析[J]. 四川环境, 2009, 28(3): 28-32.
- [10] 徐冉, 张恒德, 杨孝文, 等. 北京地区秋冬季大气污染特征及成因分析[J]. 环境科学, 2019, 40(8): 3405-3414.
- [11] 郭蒙蒙, 姜楠, 王申博, 等. 郑州市 2014~2017 年大气污染特征及气象条件影响分析[J]. 环境科学, 2019, 40(9): 3856-3867.
- [12] 何涛, 彭燕, 乔利平, 等. 常州市冬季大气污染特征及潜在源区分析[J]. 环境科学研究, 2018, 31(3): 487-495.
- [13] 闫世明, 王雁, 郭伟, 等. 太原市秋冬季大气污染特征和输送路径及潜在源区分析[J]. 环境科学, 2019, 40(11): 4801-4809.
- [14] 庄欣, 黄晓锋, 陈多宏, 等. 基于日变化特征的珠江三角洲大气污染空间分布研究[J]. 中国环境科学, 2017, 37(6): 2001-2006.
- [15] 计晓梅, 唐丽嵘, 彭靖恺, 等. 桂林市 2015 年环境空气污染特征分析及控制对策[J]. 四川环境, 2016, 35(6): 95-98.
- [16] 王超, 谭茜予, 陈韵姿. 桂林市大气污染治理现状分析[J]. 辽宁工业大学学报(社会科学版), 2017, 19(2): 41-44.
- [17] 王成祥, 刘加珍. 聊城市空气质量现状及污染原因分析[J]. 气象与环境学报, 2016, 32(1): 108-112.
- [18] 陈世俭, 童俊超, Bayashi, K.K., 等. 气象因子对近地面层臭氧浓度的影响[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2005, 39(2): 273-277.