Advances in Environmental Protection 环境保护前沿, 2023, 13(4), 1080-1094
Published Online August 2023 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/aep
https://doi.org/10.12677/aep.2023.134129

Hans汉斯

2015~2018年我国两广地带典型城市空气污染特征对比分析

罗意然[1,2]，左艳秋[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]华润水泥技术研发有限公司，广东 广州
[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2日；录用日期：2022年11月5日；发布日期：2023年8月30日

摘　要

通过广西南宁、柳州、桂林、贵港和来宾5个典型城市及广东广州、佛山、中山、东莞和肇庆5个典型城市2015年3月1日至2019年2月28日的空气污染监测数据，分析了$PM_{2.5}$和O_3污染的时间变化特征，对比了两个地区典型城市群大气污染异同。结果表明：1) 2015~2018年两广地区典型城市$PM_{2.5}$与O_3年均浓度基本上呈先上升后下降的趋势，广东$PM_{2.5}$浓度整体上低于广西，广西O_3浓度年平均值较广东低。2) $PM_{2.5}$浓度在广西典型城市呈冬春高、夏秋低的特征，在广东呈秋冬高、春夏低的特征。O_3浓度在两广地区典型城市均呈夏秋高、春冬低的特征，且均在冬季达到最低值。3) 两广地区$PM_{2.5}$浓度月均值在6~8月较低，12月和1~2月较高。两广地区O_3浓度均呈双峰型，最高峰出现在5月、9~10月。4) 两广地区在年均浓度方面存在差异，广西$PM_{2.5}$、PM_{10}、CO、SO_2四类污染物年均浓度值略高于广东，O_3、NO_2则低于广东。就地区大气污染物年均浓度方面而言，广西大气污染更为严重。

关键词

$PM_{2.5}$，O_3，空气污染

Comparative Analysis of Air Pollution Characteristics of Typical Cities in China's Guangdong and Guangxi Regions from 2015 to 2018

Yiran Luo[1,2], Yanqiu Zuo[1], Xing Gao[1], Jun Huang[3], Hongqiang Wang[1,4*]

*通讯作者。

文章引用: 罗意然, 左艳秋, 高兴, 黄俊, 王洪强. 2015~2018 年我国两广地带典型城市空气污染特征对比分析[J]. 环境保护前沿, 2023, 13(4): 1080-1094. DOI: 10.12677/aep.2023.134129

[1]College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi
[2]China Resources Cement Technology R & D Co., Ltd., Guangzhou Guangdong
[3]Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing
[4]Guangxi Key Laboratory of Environmental Pollution Control Theory and Technology, Guilin Guangxi

Received: Oct. 2nd, 2022; accepted: Nov. 5th, 2022; published: Aug. 30th, 2023

Abstract

Through air pollution monitoring data from March 1, 2015 to February 28, 2019 in five typical cities in Guangxi Nanning, Liuzhou, Guilin, Guigang, and Laibin, and five typical cities in Guangdong Guangzhou, Foshan, Zhongshan, Dongguan and Zhaoqing, we analyzed the temporal variation characteristics of $PM_{2.5}$ and O_3 pollution and compared the similarities and differences of air pollution in typical urban agglomerations in the two regions. The results show that: 1) The annual average concentrations of $PM_{2.5}$ and O_3 in typical cities in the two regions of Guangdong and Guangxi in 2015-2018 basically showed a trend of rising first and then falling, with the overall $PM_{2.5}$ concentration in Guangdong lower than that in Guangxi and the annual average O_3 concentration in Guangxi lower than that in Guangdong. 2) $PM_{2.5}$ concentrations in typical cities in Guangxi are high in winter and spring, low in summer and autumn, and high in autumn and winter, low in spring and summer in Guangdong. O_3 concentrations in typical cities in both regions are high in summer and autumn, low in spring and winter, and all reach their lowest values in winter. 3) The monthly average of $PM_{2.5}$ concentration in the two regions is lower in June to August and higher in December and January to February. The O_3 concentrations in both regions are bimodal, with the highest peaks occurring in May and September to October. 4) There are differences between the two regions in terms of annual average concentrations; the annual average concentration values of four pollutants in Guangxi $PM_{2.5}$, PM_{10}, CO and SO_2 are slightly higher than those in Guangdong, while O_3 and NO_2 are lower than those in Guangdong. In terms of the annual average concentration of regional air pollutants, the air pollution in Guangxi is more serious.

Keywords

$PM_{2.5}$, O_3, Air Pollution

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

大气环境和人类生存密切相关。随着社会经济的迅速发展，煤炭、石油等大幅消耗，颗粒物、挥发性有机物、硫氧化物、氮氧化物等污染物排放量显著增加，我国的大气污染现状日益严峻，威胁着人类的健康。

大气污染涉及到颗粒物、重金属、有害气体等，其中，$PM_{2.5}$ 污染及其对人体的危害受到广泛关注。$PM_{2.5}$ 是空气动力学当量直径小于等于 2.5 μm 的颗粒物，由于它质量轻、粒径小，长期悬浮在空气中，具有消光作用，会导致能见度下降。$PM_{2.5}$ 还具有比表面大，易携带大量重金属、细菌、病毒等有毒有害物质，严重威胁到人类健康[1]。臭氧污染亦呈加重趋势，当空气中臭氧达到一定浓度时，会导致人体出现明显的神经中毒反应，出现记忆衰退，头疼等情况。因此，改善空气质量的任务还相当艰巨。

广东广西合称为两广，位于中国华南地区。广东是我国第一经济大省，人口多，面积小，工业集中，粤港澳大湾区的建设、港珠澳大桥通车，更是给广东的工业发展注入了活力，与此同时，发展过程中所造成的大气环境污染，也引起了人们的关注。此外，广西作为拥有多个国家森林城市及国家环境保护模范城市的地区，正处于“一带一路”战略、北部湾开发的时代机遇期，毗邻粤港澳，面向东盟最前沿窗口，空气质量的优劣也一直备受关注。影响两广空气质量因素较多，地理环境，工业化城市化进程的加快等都是影响空气质量的重要因素[2]。潘润西等[3]根据广西 14 个城市环境空气质量监测数据及气象资料，分析了广西空气质量概况和污染的基本特征，采用 EOF 分析和后向轨迹聚类分析方法表征了 $PM_{2.5}$ 时空分布模态，结果表明：$PM_{2.5}$ 是广西大气中的主要污染物，年均值呈北高南低的区域特征；大气污染具有地域性、季节性和南北输送特征，污染过程的天气形势变化具有一定规律性。林小平等[4]通过对广东省河源市的空气污染物浓度及相关气象因子的分析，结合后向轨迹聚类分析等手段，研究了河源市秋季与夏季大气污染特性。研究表明：秋季，来自我国东南沿海的气团携带 VOCs 远距离输送会使河源市的臭氧污染相对较严重，臭氧的平均质量浓度最大 8 h 可达 161 $\mu g \cdot m^{-3}$，而受短轨迹气团影响时，对应不利于污染物扩散的静稳天气，除臭氧以外的各项污染物质量浓度均较高，平均的 $PM_{2.5}$ 质量浓度可达 70 $\mu g \cdot m^{-3}$。庄欣等[5]对珠江三角洲 9 个城市 59 个监测点位 2013~2015 年期间的 CO、SO_2、NO_2、O_3、PM_{10}、$PM_{2.5}$ 数据并结合其 24 h 日变化的趋势进行分析，结果表明：CO、SO_2、NO_2、PM_{10}、$PM_{2.5}$ 主要污染区域集中在珠江三角洲西北部和中部地区，主要以广州和佛山两个城市为污染中心，受到本地源排放贡献较大；O_3 污染分布较为复杂，四周污染浓度高，中部浓度低，但广州和东莞两地日变化差异显著，受到本地源影响大。车汶蔚等[6]针对珠海市的大气污染分布格局及气象条件对污染物 SO_2、NO_2 及 PM_{10} 的时空分布特征的成因进行了分析。研究表明，珠海市的污染物浓度空间分布较为均匀，无明显空间变化梯度；但时间分布上存在着冬春高、夏秋低的季节性差异。黄建翔等[7]利用梧州市 4 个空气质量监测站点网上公开发布的污染物在线观测数据进行分析，结果表明：颗粒物为梧州市首要大气污染物，2015~2016 年梧州市 $PM_{2.5}$ 年均浓度分别为 36 $\mu g \cdot m^{-3}$、39 $\mu g \cdot m^{-3}$，均超出国家二级标准(35 $\mu g \cdot m^{-3}$)；$PM_{2.5}$ 季节变化规律为冬 > 秋 > 春 > 夏，PM_{10} 季节变化规律为冬 > 春 > 秋 > 夏。

两广地区由于经济水平、地形地势存在差异，因而大气污染物的时空分布特征和影响因素各有不同。近年来，两广空气污染事件明显增多，其中，较为突出严重的是 $PM_{2.5}$ 和 O_3 污染。本文根据 2015 年 3 月 1 日至 2019 年 2 月 28 日广西壮族自治区南宁、柳州、桂林、贵港和来宾等 5 个城市以及广东省广州、佛山、中山、东莞和肇庆等 5 个城市的空气污染监测数据，分析了上述 10 个城市的 $PM_{2.5}$ 和 O_3 污染的时间变化特征，对比两个地区典型城市群大气污染异同，为两广的大气治理提供科学参考。

2. 数据处理

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，公布的数据包括广州、南宁等我国两广地带共 35 个城市，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 10 个典型城市(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。

3. 结果与讨论

3.1. 年际变化特征

利用 2015~2018 年观测广西壮族自治区 5 个典型城市(南宁、柳州、桂林、贵港和来宾) (如图 1)获得的 $PM_{2.5}$ 浓度小时平均值数据，得到 $PM_{2.5}$ 浓度的年际变化特征，结果示于图 2。

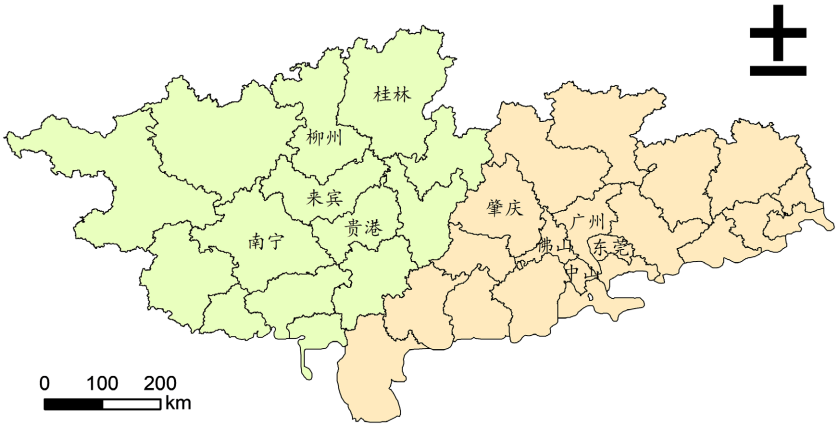

Figure 1. The distribution of the observation points
图 1. 观测点分布图

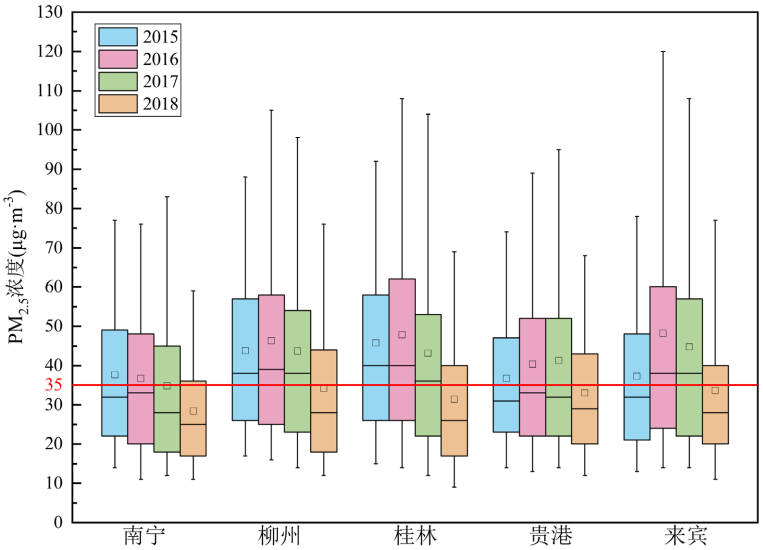

Figure 2. Characteristics of $PM_{2.5}$ interannual variation in Guangxi province (2015~2018)
图 2. 广西典型城市 $PM_{2.5}$ 年际变化特征(2015~2018)

对图 2 进行分析，从整体上看，2015~2018 年广西典型城市 $PM_{2.5}$ 浓度除南宁市外，其余各市浓度均呈先上升后下降的趋势，而南宁市 $PM_{2.5}$ 浓度得到较好控制，逐年得到改善。然而，从上图可以很明显地看到，2015 年至 2017 年各市的 $PM_{2.5}$ 浓度年平均值均超过国家《环境空气质量标准》(GB3095-2012)二级标准(35 μg·m^{-3})，尤其是柳州、桂林两市。2016 年柳州(44.22 μg·m^{-3})、桂林(47.88 μg·m^{-3})、来宾 (48.24 μg·m^{-3})三市的 $PM_{2.5}$ 平均值较高。自 2018 年起，广西区典型城市空气质量状况得到了很明显的改善，$PM_{2.5}$ 浓度平均值明显下降，并处于国家二级标准范围之内。从 5 个城市 $PM_{2.5}$ 浓度分布来看，各城市中位数绝大部分位于四分位距箱体偏上位置，且下触须长度明显短于上触须的长度，说明数据呈偏态分布。2015 年至 2018 年 5 市中位数分别为南宁 32 μg·m^{-3}、33 μg·m^{-3}、28 μg·m^{-3} 和 25 μg·m^{-3}，柳州 38 μg·m^{-3}、39 μg·m^{-3}、38 μg·m^{-3} 和 28 μg·m^{-3}，桂林 39 μg·m^{-3}、40 μg·m^{-3}、36 μg·m^{-3} 和 26 μg·m^{-3}，贵港 31 μg·m^{-3}、33 μg·m^{-3}、32 μg·m^{-3} 和 29 μg·m^{-3}，来宾 32 μg·m^{-3}、38 μg·m^{-3}、38 μg·m^{-3} 和 28 μg·m^{-3}。

利用 2015 年~2018 年观测广东典型城市(广州、佛山、中山、东莞和肇庆)获得的 $PM_{2.5}$ 浓度小时平均值数据，得到 $PM_{2.5}$ 浓度的年际变化特征，结果示于图 3。

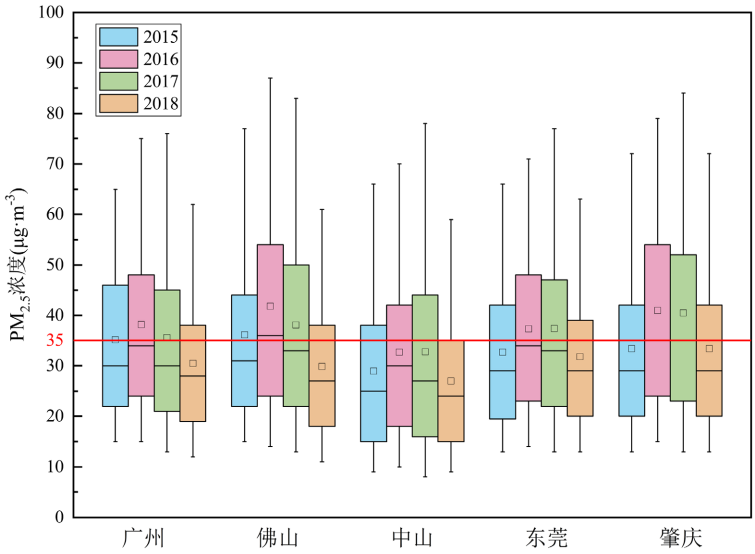

Figure 3. Characteristics of $PM_{2.5}$ interannual variation in Guangdong province (2015~2018)
图 3. 广东典型城市 $PM_{2.5}$ 年际变化特征(2015~2018)

对图 3 进行分析，从整体上看，2015-2018 年广东典型城市 $PM_{2.5}$ 浓度均呈先上升后逐年下降的趋势。其中，2016 年广州(38.16 μg·m^{-3})、佛山(41.77 μg·m^{-3})、肇庆(40.98 μg·m^{-3})三市的 $PM_{2.5}$ 平均值较高。自 2018 年起，广东典型城市空气质量状况也得到了明显的改善，$PM_{2.5}$ 浓度平均值明显下降，并处于国家二级标准范围之内。从 5 个城市 $PM_{2.5}$ 浓度分布来看，除中山市各年中位数均处于四分位距箱体偏下位置外，其余各城市中位数绝大部分位于四分位距箱体偏上位置，且图中所有城市的下触须长度明显短于上触须的长度，说明数据呈偏态分布。2015 年至 2018 年 5 市中位数分别为广州 30 μg·m^{-3}、34 μg·m^{-3}、30 μg·m^{-3} 和 28 μg·m^{-3}，佛山 31 μg·m^{-3}、36 μg·m^{-3}、33 μg·m^{-3} 和 27 μg·m^{-3}，中山 25 μg·m^{-3}、30 μg·m^{-3}、27 μg·m^{-3} 和 24 μg·m^{-3}，东莞 29 μg·m^{-3}、34 μg·m^{-3}、33 μg·m^{-3} 和 29 μg·m^{-3}，肇庆 30 μg·m^{-3}、35 μg·m^{-3}、35 μg·m^{-3} 和 29 μg·m^{-3}。

为更直观了解两广地区典型城市 $PM_{2.5}$ 浓度情况，图 4 列出了 2015~2018 年各市 $PM_{2.5}$ 浓度年均值。从图 4 中可以看到，广西仅南宁市(34.45 μg·m^{-3}) $PM_{2.5}$ 浓度达标，其余城市均超标；广东 $PM_{2.5}$ 浓度达标的城市有广州市(34.85 μg·m^{-3})、中山市(30.38 μg·m^{-3})以及东莞市(34.83 μg·m^{-3})。广西壮族自治区首府南宁市，在 2014 年出台的《南宁市大气污染防治三年行动方案》政策在一定程度上改善了南宁市环境空气质量[8]。广东广州市、中山市、东莞市空气质量较优，与先后颁布实施的《广东省珠江三角洲大气污染防治办法》《广东省大气污染防治行动方案(2014~2017 年)》《中山市大气污染防治实施方案》以及《东莞市大气污染防治 2017 年度实施方案》及《东莞市蓝天保卫战行动方案》等一系列政策有关[9]。从两广典型城市的对比来看，广东的 $PM_{2.5}$ 浓度整体上低于广西，广西细颗粒物污染更为严重。

除 $PM_{2.5}$ 对两广地区的大气污染产生了较大贡献以外，臭氧(O_3)也是导致两广地区大气污染加重的重要成分。低空高浓度臭氧却会对人类和动植物造成了很大的影响，如危害人体肺细支气管与肺泡而引发呼吸道感染、造成神经中毒记忆力衰退、破坏人体免疫功能等，甚至影响农作物生长、降低粮食产量[10] [11]。

自 2013~2016 年，我国 74 个城市 O_3 日最大 8 h 平均第 90 百分位数浓度值由 139 μg·m^{-3} 上升至 154 μg·m^{-3}，浓度增加 10.8%。近年来，越来越多研究表明，由于高温、强光照的条件，夏季与秋季是我国臭氧浓度超标的典型季节。O_3 浓度一般在下午 15 时左右到达峰值，故观测 O_3 浓度可作为判定空气污染程度的指标之一[12]。

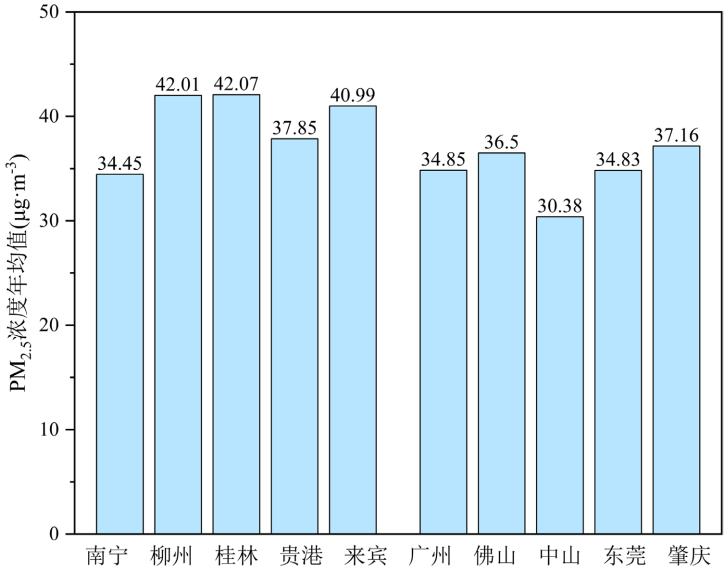

Figure 4. Annual average $PM_{2.5}$ concentration in typical cities of Guangxi and Guangdong province from 2015 to 2018
图 4. 2015~2018 年两广地区典型城市 $PM_{2.5}$ 浓度年平均值

本文利用 2015~2018 年观测两广典型城市获得的 O_3-8 h 浓度(臭氧 8 h 的滑动平均浓度)小时平均值数据，分别得到两地典型城市 O_3-8 h 浓度的年际变化特征，结果分别示于图 5、图 6。

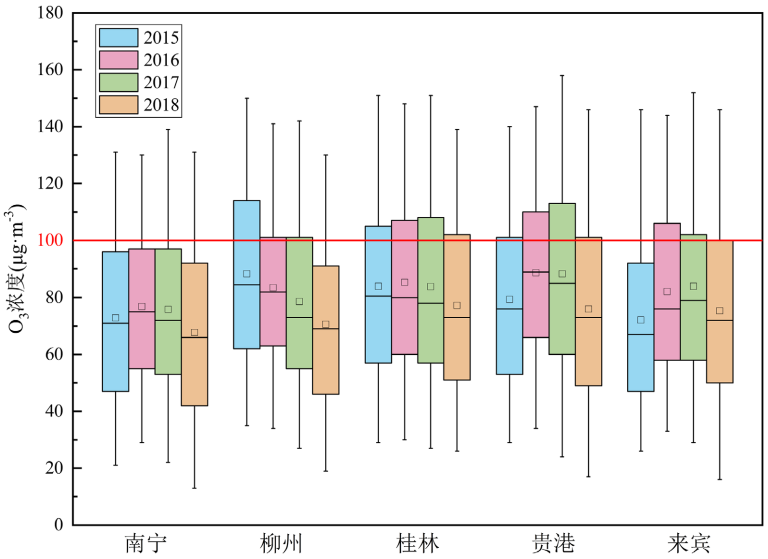

Figure 5. Annual variation characteristics of O_3-8 h in typical city of Guangxi province (2015~2018)
图 5. 广西典型城市 O_3-8 h 年际变化特征图(2015~2018)

对图 5 进行分析，从整体来看，2015~2018 年除柳州市外，广西典型城市 O_3-8 h 浓度呈先上升后下降的趋势；2015 年，柳州市 O_3-8 h 浓度平均值较高，达到 88.29 μg·m^{-3}，从 2016 年开始逐年下降。广西区典型城市 O_3-8 h 平均值均在国家一级标准(100 μg·m^{-3})范围之内，各城市 O_3-8 h 浓度在 2018 年得到了更明显有效的控制。各城市四分距箱体所在的区间，南宁市的箱体整体所在区间低于其他城市，臭氧污染较轻。从 5 个城市 O_3-8 h 浓度分布来看，各城市中位数绝大多数位于四分位距箱体中间或中间偏下位置，数据呈偏态分布。

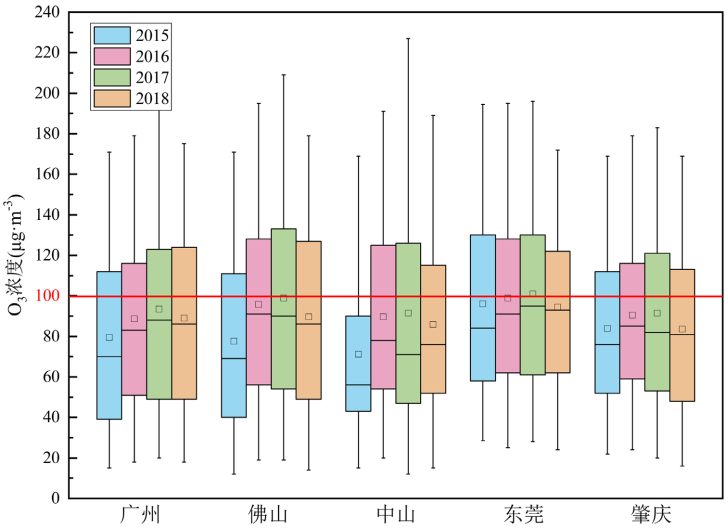

Figure 6. Annual variation characteristics of O_3-8h in typical city of Guangdong province (2015~2018)
图 6. 广东典型城市 O_3-8 h 年际变化特征图(2015~2018)

对图 6 进行分析，从整体来看，2015~2018 年广东典型城市 O_3-8 h 浓度年平均值均呈先上升后下降的趋势，其中，佛山市、东莞市的 O_3-8 h 浓度尤为突出。2017 年东莞市的 O_3-8 h 浓度年平均值达到了 100.83 μg·m^{-3}，超过国家一级标准。除广州市变化不大外，各城市 O_3-8 h 浓度在 2018 年得到了更为明显有效的控制。各城市四分距箱体所在的区间，中山市的箱体整体所在区间低于其他城市，臭氧污染较轻。从 5 个城市 O_3-8 h 浓度分布来看，可见各城市中位数绝大多数位于四分位距箱体中间或中间偏下位置，数据呈偏态分布。

近年来，臭氧已成为广东的首要污染物。究其原因，广东地处亚热带季风气候，汛期受夏季风影响，地面盛行东南风，天气湿热多雨，而非汛期受东北季风影响，地面盛行东北风，天气干燥少雨。以广州、东莞、佛山为代表的珠三角内陆型城市，其相对湿度较相比沿海城市低、城市热岛效应使之气温更高，有利于本地光化学反应的 O_3 生成[13] [14]。为更直观了解两广地区典型城市 O_3-8 h 浓度分布情况，图 7 列出了 2015~2018 年各市 O_3-8 h 浓度年平均值。通过分析两广地区典型城市 O_3-8 h 浓度年平均值，可以看出，广西典型城市 O_3-8 h 浓度年平均值均较广东低，浓度差最大达到 24.27 μg·m^{-3}。

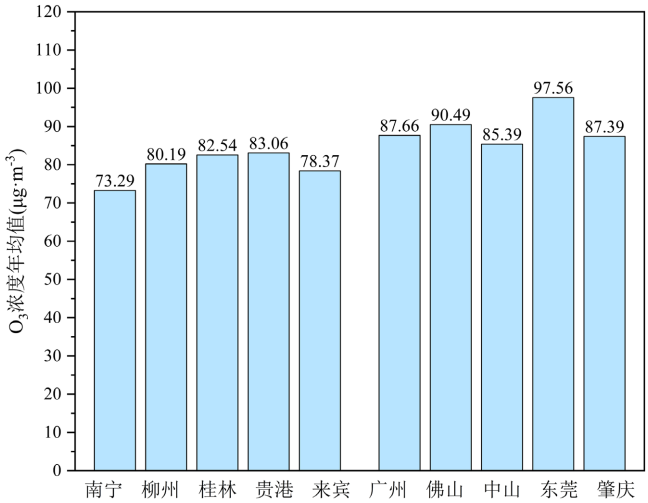

Figure 7. Annual mean value of O_3-8 h concentration in typical cities of Guangxi and Guangdong province from 2015 to 2018
图 7. 2015~2018 年两广地区典型城市 O_3-8 h 浓度年平均值

3.2. 季节变化特征

受气象条件及污染源排放的影响，$PM_{2.5}$ 浓度存在明显的季节变化特征。在同一地区，不同的季节气候或环境的变化均会造成 $PM_{2.5}$ 浓度呈规律波动。为便于研究，将春季定为 3~5 月，夏季定为 6~8 月，秋季定为 9~11 月，冬季定为 12 月~来年 2 月。

广西：

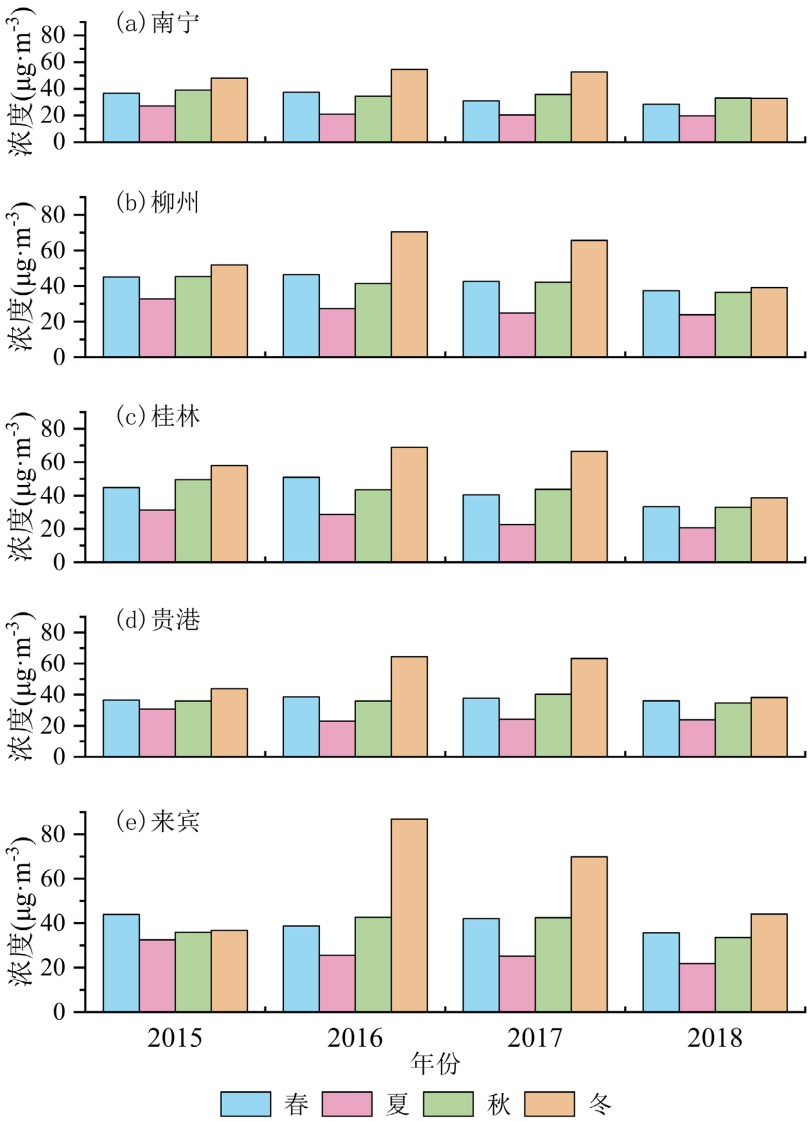

Figure 8. Seasonal variation of $PM_{2.5}$ in typical cities in Guangxi province from 2015 to 2018
图 8. 2015~2018 年广西典型城市 $PM_{2.5}$ 季节变化特征

图 8 是 2015~2018 年广西典型城市 $PM_{2.5}$ 季节变化特征，由图可以明显看出，2015~2018 年广西典型城市的 $PM_{2.5}$ 浓度值冬季最大，其中，2016 年来宾市 $PM_{2.5}$ 冬季浓度值最大，达到 86.86 μg·m^{-3}，超出国家二级标准(75 μg·m^{-3})的范围；位于第二位的是柳州市，2016 年柳州市 $PM_{2.5}$ 冬季浓度值为 70.51 μg·m^{-3}，约为国家一级标准的 2 倍。2015~2018 年广西五市的 $PM_{2.5}$ 浓度值夏季最小，均符合国家一级标准，空气质量状况最好。整体来看，$PM_{2.5}$ 浓度在广西典型城市大部分呈冬春高、夏秋低的特征。

广东：

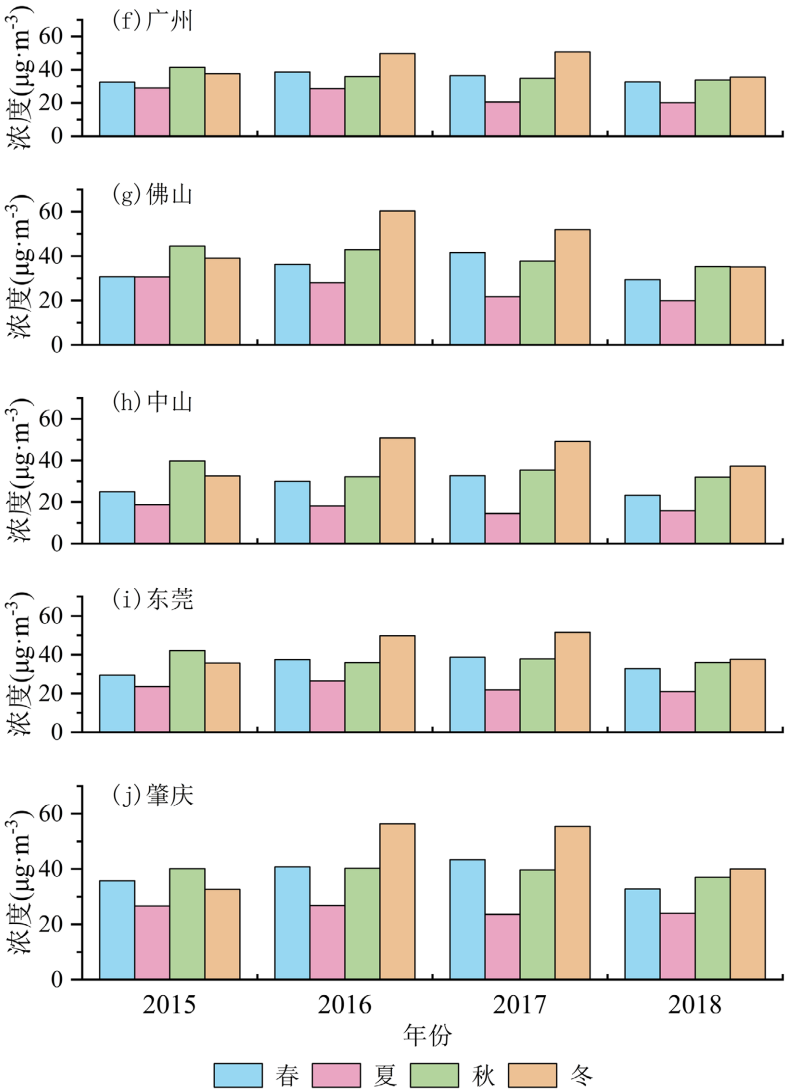

Figure 9. Seasonal variation of $PM_{2.5}$ in typical cities in Guangdong province from 2015 to 2018
图 9. 2015~2018 年广东典型城市 $PM_{2.5}$ 季节变化特征

图 9 是 2015~2018 年广东典型城市 $PM_{2.5}$ 季节变化特征。可以看出 2015~2018 年，广东典型城市 $PM_{2.5}$ 浓度基本呈秋冬高、春夏低的特征，其中，2015 年秋季最高，而从 2016 年开始，$PM_{2.5}$ 污染在冬季最为明显。2016 年，佛山市 $PM_{2.5}$ 冬季浓度值最大，达到 60.30 $\mu g \cdot m^{-3}$，为国家一级标准的 1.7 倍；位于第二位的是肇庆市，2016 年肇庆市 $PM_{2.5}$ 冬季浓度值为 56.37 $\mu g \cdot m^{-3}$，是国家一级标准的 1.6 倍。2015~2018 年广东五市的 $PM_{2.5}$ 浓度值均符合国家二级标准；一年四季中夏季浓度值最小，均符合国家一级标准，空气质量状况最好。

图 10、图 11 分别给出了 2015~2018 年两广典型城市 O_3 季节变化特征。

广西：

图 10 是 2015~2018 年广西典型城市 O_3 季节变化特征。可以看出 2015~2018 年，广西典型城市的 O_3 浓度表现为夏秋高、春冬低，其中，O_3 浓度最高出现在秋季，冬季浓度最低。2015 年夏季柳州市(101.42

μg·m^{-3})、2017 年桂林市(101.90 μg·m^{-3})、贵港市(102.26 μg·m^{-3}) O_3 秋季浓度值较高，平均值超过了国家一级标准(100 μg·m^{-3})。在五个典型城市中，南宁市的臭氧浓度最低。2015~2018 年广西南宁市、来宾市的 O_3 浓度值均符合国家一级标准，空气质量状况最好。冬季，由于太阳辐射较弱，臭氧浓度与太阳光及热作用有关，不易出现光化学污染，故广西典型城市一年四季中冬季浓度值最小[15]。

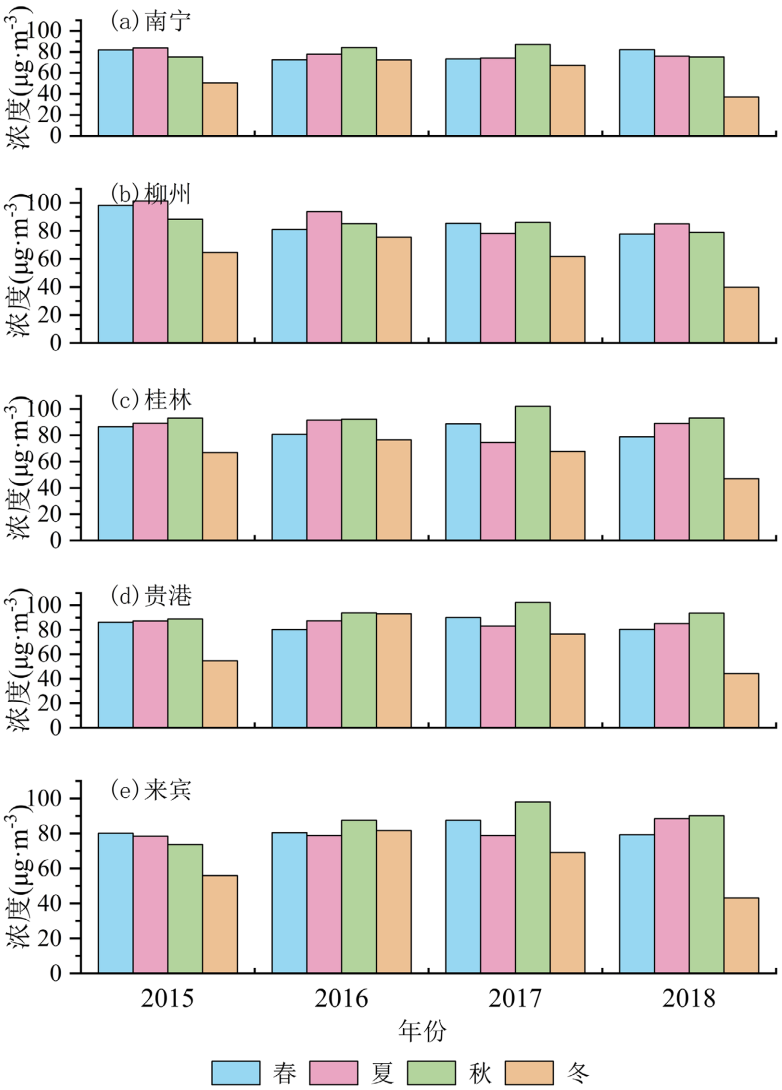

Figure 10. Seasonal variation of O_3-8 h in typical cities in Guangxi province from 2015 to 2018
图 10. 2015~2018 年广西典型城市 O_3-8 h 季节变化特征

广东：

图 11 是 2015~2018 年广东典型城市 O_3 季节变化特征。可以看出 2015~2018 年，广东典型城市的 O_3 浓度与广西类似，呈现夏秋高、春冬低的趋势，O_3 浓度最高出现在秋季，除 2016 年出现反常，春季 O_3 浓度最低外，其余年份冬季浓度最低。2016 年夏季东莞市、2017 年秋季中山市的 O_3 浓度值较高，平均浓度分别达到 118.59 μg·m^{-3}、122.31 μg·m^{-3}，约为国家一级标准的 1.2 倍。在五个典型城市中，中山市、肇庆市的臭氧污染程度较其他城市相比略轻，空气质量状况较好。广东典型城市 O_3 浓度均在冬季达到最低值。

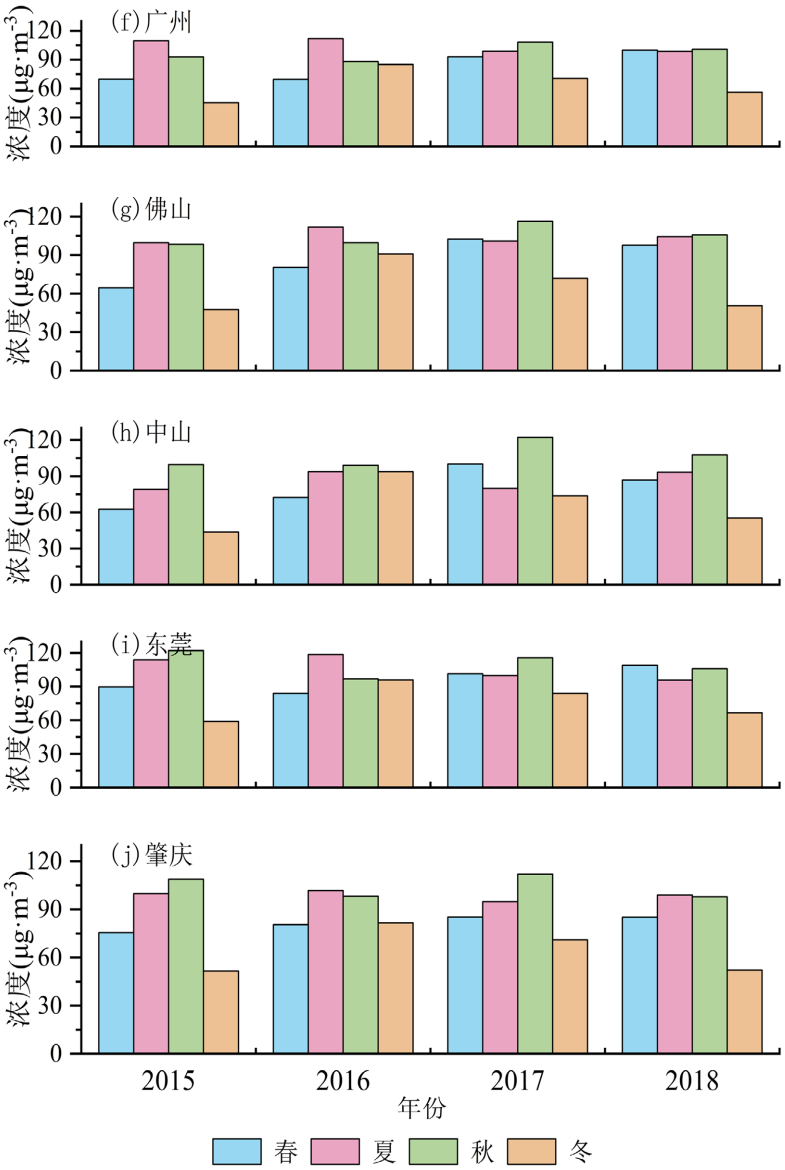

Figure 11. Seasonal variation of O_3-8 h in typical cities in Guangdong province from 2015 to 2018
图 11. 2015~2018 年广东典型城市 O_3-8 h 季节变化特征

3.3. 月均值变化特征

由于相同省份典型城市间月均值变化特征接近，故图 12、图 13 分别给出了 2015~2018 年两广部分城市(广西南宁市、柳州市、桂林市和广东广州市、佛山市、中山市) $PM_{2.5}$ 月均浓度的变化情况。可以看出，两广地区典型城市 $PM_{2.5}$ 浓度月平均值的最小值几乎都出现在 6~8 月，最高值则几乎都出现在 12 月及来年 1~2 月。$PM_{2.5}$ 浓度从每年 9 月份开始上升，12 月份急遽上升，并在 12 月份或来年 1 月达到全年峰值，1 月份以后浓度值逐月下降。冬季大气层结较稳定，风速小、温度低，不利于颗粒物扩散，使其浓度发生累积而增高。而夏季大气层结极不稳定，光照强烈，对颗粒物等污染物的稀释和扩散十分有利。此外，由于夏季雨水充沛，尤其在珠江三角洲地区，受清洁的海洋气团影响，降雨较多，对大气环境起到清洗作用，这些因素均可有效降低颗粒物浓度。

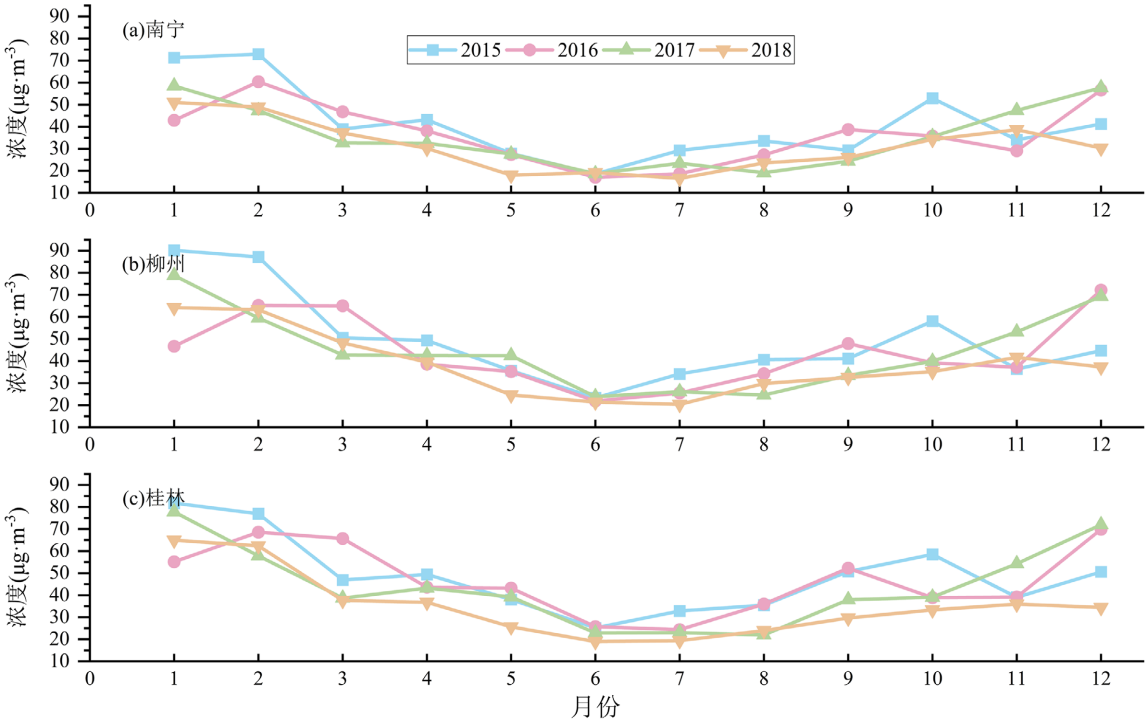

Figure 12. The average monthly average of $PM_{2.5}$ concentration in typical cities in Guangxi province from 2015 to 2018
图 12. 2015~2018 年广西典型城市 $PM_{2.5}$ 浓度月平均值曲线

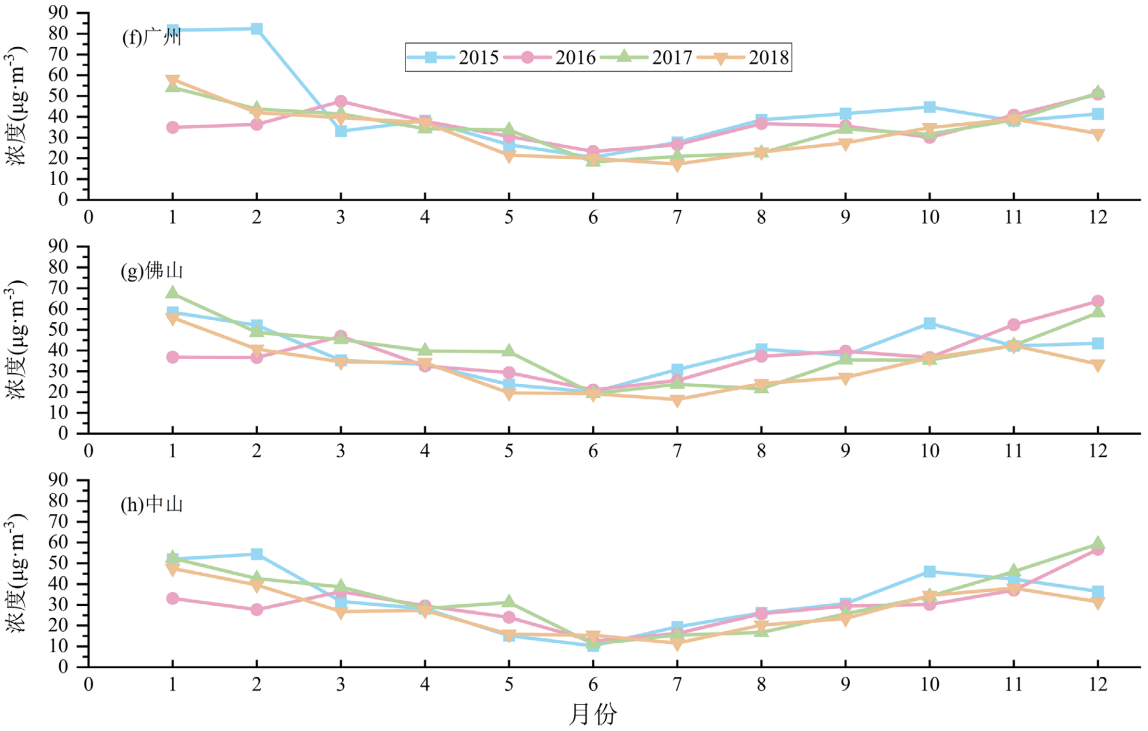

Figure 13. The average monthly average of $PM_{2.5}$ concentration in typical cities in Guangdong province from 2015 to 2018
图 13. 2015~2018 年广东典型城市 $PM_{2.5}$ 浓度月平均值曲线

图 14、图 15 分别给出了 2015~2018 年两广典型城市 O_3 浓度月平均值的变化情况。可以看出，各市

的臭氧浓度基本呈现出春秋高、冬季低的特征。从峰值出现的月份来看，2015~2018 年两广地区臭氧浓

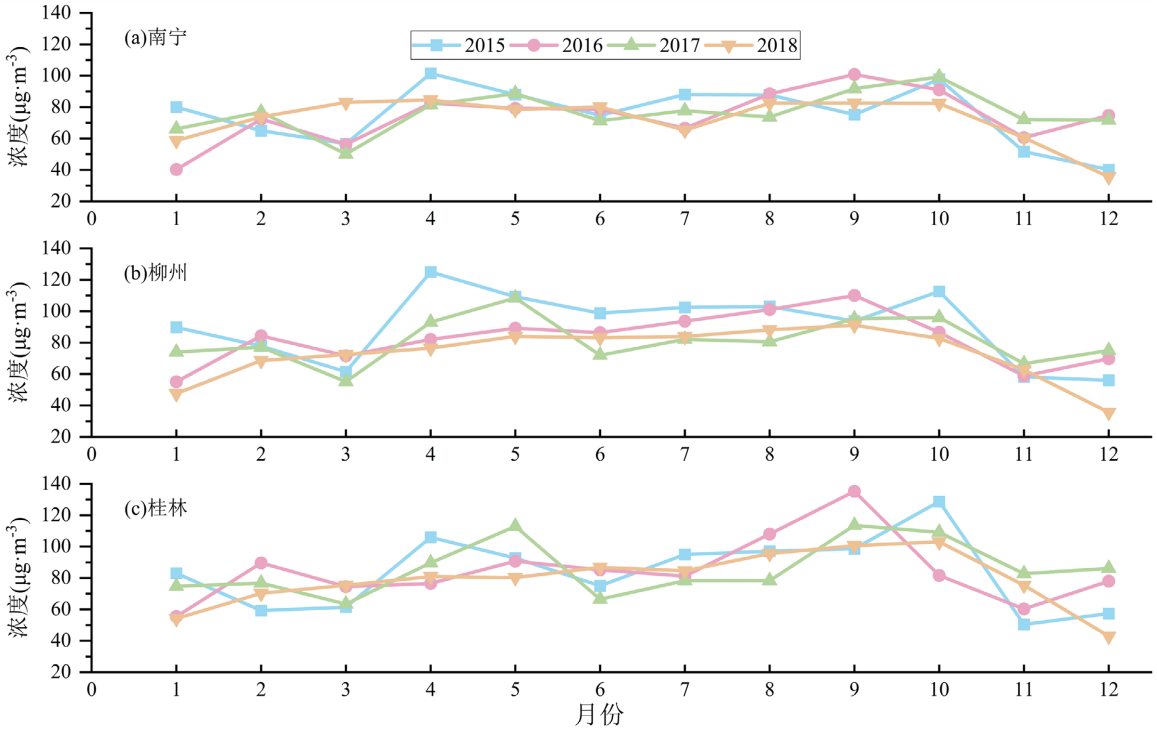

Figure 14. The average monthly average of O_3-8 h concentration in typical cities in Guangxi province from 2015 to 2018
图 14. 2015~2018 年广西典型城市 O_3-8 h 浓度月平均值曲线

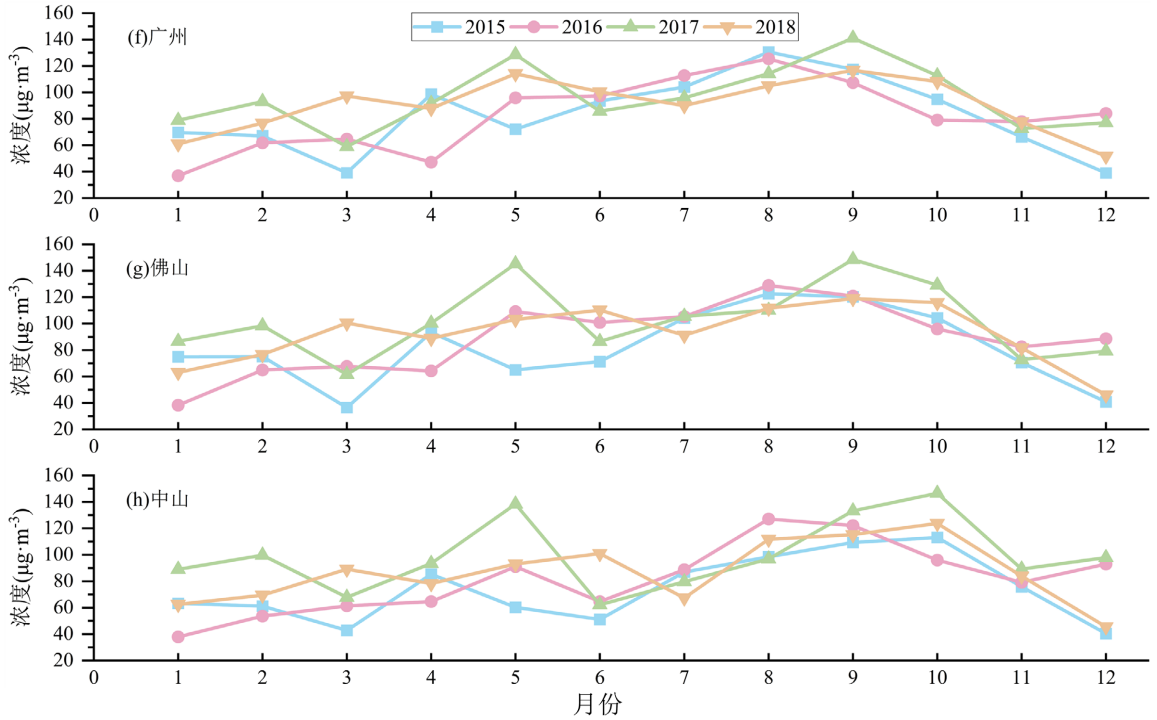

Figure 15. The average monthly average of O_3-8 h concentration in typical cities in Guangdong province from 2015 to 2018
图 15. 2015~2018 年广东典型城市 O_3-8 h 浓度月平均值曲线

度呈现双峰型，第一峰均出现在 3~5 月，其中最高峰主要在每年 5 月；第二峰出现的月份两广稍有不同，广西第二峰出现月份为 9~11 月，最高峰为 10 月，广东第二峰出现月份为 8~10 月，最高峰为 9 月。5~7 月随着降雨增多，对流强，以多云天气为主，到达地面的太阳辐射有限，因而夏季 O_3 浓度较低。12 月至次年 2 月进入冬季，虽然供暖燃煤及发电需求量大，但是由于太阳辐射较弱，紫外线强度小，故不宜形成臭氧，O_3 浓度最低。

3.4. 地区污染物年均浓度值对比

2018 年中国生态环境状况公报显示，全国 338 个地级及以上城市的 $PM_{2.5}$、PM_{10}、CO、NO_2、SO_2、O_3 六项空气污染物平均浓度分别为 39 μg·m^{-3}、71 μg·m^{-3}、151 μg·m^{-3}、14 μg·m^{-3}、29 μg·m^{-3} 和 1.5 mg·m^{-3}。2018 年上述六项空气污染物在全国、广东及广西年均浓度值情况如表 1 所示。

Table 1. Annual mean air pollutants in China, Guangdong and Guangxi province in 2018
表 1. 2018 年全国、广东与广西空气污染物年均值情况(单位：μ g·m^{-3} (CO 为 mg·m^{-3}))

	$PM_{2.5}$	PM_{10}	O_3	SO_2	NO_2	CO
全国	39	71	151	14	29	1.5
广东	31	49	154	10	28	1.1
广西	35	57	128	13	22	1.4

2018 年，除广东 O_3 浓度值较高以外，两广地区其余空气污染物浓度均位于全国平均值以下。两个地区在年均浓度方面存在差异，具体表现为：

1) 整体来看两广地区的空气污染物数值，广西有四类污染物年均浓度值略高于广东。就地区大气污染物年均浓度值方面，广西的大气污染更为严重。

2) 地区污染物年均浓度值详情来看，两广地区的 $PM_{2.5}$、PM_{10} 与 O_3 浓度值均达国家二级标准，SO_2、NO_2、CO 年均浓度值均得到有效控制，达到国家一级标准。

4. 结论

1) 2015~2018 年两广地区典型城市 $PM_{2.5}$ 浓度除南宁市外，其余各市年均浓度均呈先上升后下降的趋势，广东 $PM_{2.5}$ 浓度整体上低于广西。O_3-8 h 浓度在两广地区基本上呈先上升后下降的趋势，广西 O_3-8 h 浓度年平均值较广东低。2018 年，两广地区的 $PM_{2.5}$ 与 O_3-8 h 浓度均得到有效控制。

2) 2015~2018 年 $PM_{2.5}$ 浓度在广西典型城市呈冬春高、夏秋低的特征，在广东呈秋冬高、春夏低的特征。O_3 浓度在两广地区典型城市均呈夏秋高、春冬低的特征，且均在冬季达到最低值。

3) 两广地区 $PM_{2.5}$ 月均浓度在 6~8 月较低，12 月和 1~2 月较高。两广地区 O_3 浓度呈双峰型，第一峰均出现在 3~5 月，其中最高峰主要在每年 5 月；第二峰出现的月份两广稍有不同，广西第二峰出现月份为 9~11 月，最高峰为 10 月，广东第二峰出现月份为 8~10 月，最高峰为 9 月。

4) 2018 年，除广东 O_3 浓度值较高以外，两广地区其余空气污染物浓度均位于全国平均值以下。两个地区在年均浓度方面存在差异，广西 $PM_{2.5}$、PM_{10}、CO、SO_2 四类污染物年均浓度值略高于广东，O_3、NO_2 则低于广东。就地区大气污染物年均浓度方面而言，广西大气污染更为严重。

致　谢

感谢中国空气质量在线监测分析平台的数据支持。

基金项目

国家重点研发计划项目(2018YFC1506304)资助。

参考文献

[1] 卢炬, 肖榆生, 孙哲, 等. PM2.5 污染现状、危害及防治[J]. 中华建设, 2015(03): 118-119.

[2] 余佳露. 广西城市空气质量时空变化特征及影响因素研究[D]: [硕士学位论文]. 桂林: 广西师范大学, 2018.

[3] 潘润西, 陈蓓, 莫雨淳, 等. 广西 PM2.5 时空分布特征及污染天气类型[J]. 环境科学研究, 2018, 31(3): 465-474.

[4] 林小平, 张辉, 徐伟嘉, 等. 河源市夏秋季大气污染的特征分析[J]. 广东气象, 2017, 39(3): 44-48.

[5] 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.

[6] 车汶蔚, 郑君瑜, 邵英贤, 等. 珠海市大气污染时空分布特征及成因分析[J]. 中国环境监测, 2008(5): 82-87.

[7] 黄建翔, 陈磊, 潘彦, 等. 梧州市大气污染特征及变化趋势研究[J]. 广东化工, 2017, 44(10): 143-145, 150.

[8] 刘茜. 广西南宁:凝聚合力擦亮绿城蓝天[J]. 广西节能, 2015(1): 15-16.

[9] 梁素敏. 完善中山市大气污染防治长效机制的措施[J]. 资源节约与环保, 2018(7): 120, 124.

[10] 张娅娜. 天津市臭氧污染控制的研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津工业大学, 2016.

[11] 卢自勇, 李越越, 谭晋, 等. 贵阳市 2013-2016 年臭氧污染特征分析[J]. 环境与可持续发展, 2019, 44(3): 89-92.

[12] 蒋美青, 陆克定, 苏榕, 等. 我国典型城市群 O_3 污染成因和关键 VOCs 活性解析[J]. 科学通报, 2018, 63(12): 1130-1141.

[13] 李明华, 姜帅, 甘泉, 等. 惠州市夏秋季臭氧污染特征和典型污染过程[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2018, 57(5): 29-37.

[14] 刘瑀菲, 汪宇, 潘泽凯, 等. 广东沿海一次臭氧重污染过程的成因分析[C]//《环境工程》编委会, 工业建筑杂志社有限公司. 《环境工程》2019 年全国学术年会论文集(中册). 北京:《工业建筑》杂志社有限公司, 2019: 205-208+272.

[15] 王萍, 刘涛, 杨国林, 等. 中国主要城市臭氧浓度的时空变化特征[J]. 遥感信息, 2019, 34(4): 121-127.