

# 福建省臭氧污染变化特征分析

靳少非<sup>1, 2</sup>

(1 闽江学院海洋学院地理科学系, 福州 350108; 2福建省信息处理与智能控制重点实验室, 福州 350108)

**摘要:** 福建省夏季易发生臭氧污染, 为了解福建省臭氧变化特征, 利用中国环境监测总站全国城市空气质量实时发布平台的实时数据分析了福建省各地级市2015—2017年逐小时臭氧平均变化。研究表明, 莆田市是福建省臭氧平均浓度最高的城市; 福建省各城市2015—2017年逐日臭氧浓度均呈现增加趋势, 且存在明显的月变化动态。福建省各地区周末臭氧浓度低于工作日臭氧浓度。该研究结果可为不同地区臭氧管控提供参考。

**关键词:** 臭氧, 污染, 福建

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.03.008

## Characteristics of Ozone Concentration Changes from 2015 to 2017 in Fujian Province

Jin Shaofei<sup>1, 2</sup>

(1 Department of Geography, Ocean College, Minjiang University, Fuzhou 350108)

2 Fujian Provincial Key Laboratory of Information Processing and Intelligent Control, Fuzhou 350108)

**Abstract:** Fujian Province is susceptible to ozone pollution in summer. In order to understand the characteristics of ozone change in Fujian Province, this study analyzed the changes in the hourly average ozone concentration from 2015 to 2017 in all cities of Fujian Province. For this purpose, the real-time data of the National Urban Air Quality Real-time Publishing Platform of China Environmental Monitoring Station were used. The results showed that Putian City had the highest average ozone concentration compared to other cities in Fujian Province. The daily ozone concentration in all cities of Fujian Province presented an increasing trend with obvious monthly fluctuation from 2015 to 2017. The ozone concentration at the weekend was lower than that during the working days in all regions of Fujian Province. The results of this study could support ozone control in Fujian Province in the future.

**Keywords:** ozone, pollution, Fujian

### 0 引言

臭氧作为大气中痕量气体, 虽然浓度含量较低, 但其浓度变化对于人体健康能够产生很大的影响。当臭氧浓度超过 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 时, 臭氧能够对人体呼吸系统产生较强的刺激感<sup>[1-2]</sup>。

近地面臭氧污染浓度已成空气质量指标中重要组成部分。近地面臭氧主要通过氮氧化物以及挥发性有机物的光化学反应产生。在工业革命后数次臭氧污染事件中, 19世纪40年代发生在洛杉矶的光化学污染事件使得公众以及科学群体加大了对近地面臭氧的检

测。在臭氧产生过程中, 较强的太阳辐射以及高温天气有利于光化学反应的发生, 进而导致高浓度臭氧的产生<sup>[3]</sup>。

福建省地处我国中亚热带地区, 年平均气温 $17\sim 21^\circ\text{C}$ , 植被覆盖率高, 有“八山一水一分田”之称。由于福建省的高温特征, 以及植物所释放的挥发性有机物, 能够在日照强烈的时段产生高浓度的臭氧, 并有发生潜在的光化学污染的可能<sup>[3]</sup>。近年来也有研究关注福建省管辖区域对于臭氧排放<sup>[4-5]</sup>及其与天气条件之间的关系<sup>[3-7]</sup>。

本文通过对2015—2017年福建省各地级市臭氧浓度变化特征进行分析, 得到福建省近地面臭氧浓度变化特征, 此研究以期探索福建省各地区臭氧污染浓度变化提供基础数据。

### 1 数据与研究方法

在本研究中, 逐小时臭氧提取于中国环境监测总站“全国城市空气质量实时发布平台”。福建省各

收稿日期: 2019年3月18日; 修回日期: 2019年4月20日

作者: 靳少非(1987—), Email: jinsf@tea.ac.cn

资助信息: 国家自然科学基金项目(41701099); 福建省自然科学基金项目(2019J01768); 福建省信息处理与智能控制重点实验室开放基金(MJUKF-IPIC201812); 福建省高校杰出青年科研人才培养计划

地级市2015—2017年逐小时臭氧数据被记录至数据库。该平台由中国环境监测总站根据《环境空气质量标准》(GB3095—2012)和《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》(HJ633—2012)的有关规定发布的全国空气质量总体状况,数据经过质量检查。本研究共分析了福建省9个城市的臭氧浓度变化。这9个城市分别为:福州、厦门、泉州、漳州、莆田、三明、南平、龙岩以及宁德。经多次检查发现每个城市的数据无缺失。

在统计分析方面,本研究使用局部加权回归(locally weighted regression, Loess)分析每个城市2015—2017年逐日的臭氧浓度变化,使用月平均方法分析每个城市逐月臭氧浓度变化,最后结合2015—2017年所有周末以及法定节假日区分工作日和周末来探索工作日与周末臭氧浓度变化比较。相对于传统的线形回归方法,局部加权回归方法为一种非参数方法,可以有效避免欠拟合,减小了较远数据的干扰,在拟合过程中仅与较近的数据有关,同时可有效模拟出圆滑的数据变化过程。本研究所使用的统计及绘图软件为R语言<sup>[8]</sup>。

## 2 结果

表1显示的为福建省各地级市2015—2017年臭氧浓度的描述性统计结果。臭氧中位数最大的为莆田市,其臭氧中位数为58.13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,紧随其后的高浓度

城市为福州市和泉州市,其中位数分别为57.21以及56.33  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。臭氧中位数最低的城市为三明市,其浓度为33.46  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。2015—2017年福建省各城市臭氧平均值排序与中位数基本相似,不同的是,泉州市臭氧浓度平均值(59.44  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )略高于福州市臭氧平均浓度(58.95  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )。2015—2017年,福建省臭氧浓度最高值发生在莆田市,为167.83  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

表1 福建省2015—2017年臭氧浓度(单位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )基本统计量  
Table 1 Statistics of the ozone concentration (unit:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) during 2015–2017 in Fujian Province

	最小值	1/4分位	中位数	平均值	3/4分位	最大值
福州	8.91	42.56	57.21	58.95	72.75	157.13
厦门	11.25	39.56	50.87	53.66	65.11	129.92
泉州	10.46	41.16	56.33	59.44	73.98	149.83
漳州	7.54	37.29	47.92	50.31	60.96	138.44
莆田	4.67	41.96	58.13	61.35	77.31	167.83
三明	3.42	23.75	33.46	36.18	47.79	103.33
南平	12.58	38.45	50.25	53.08	64.86	132.04
龙岩	1.88	30.52	41.71	44.29	55.76	122.04
宁德	1.73	32.94	49.25	51.50	68.21	162.42

图1给出了2015—2017年福建省各城市逐日臭氧浓度变化趋势。可以得知,福建省各城市2015—2017年逐日臭氧浓度均呈现增加趋势。其中值得注意的是,在2017年,莆田市、宁德市分别发生过三次以及两次臭氧日平均浓度超过150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的情况。对各个城

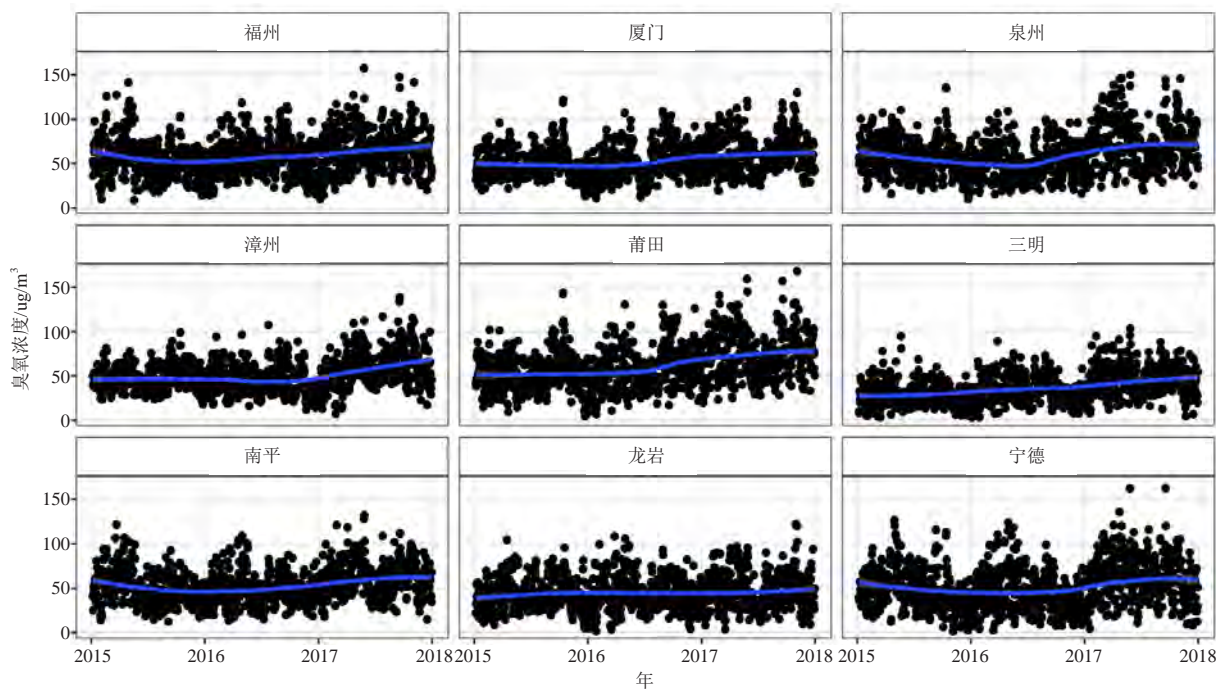


图1 2015—2017年福建省各城市逐日臭氧浓度变化(蓝色曲线表示为局部加权回归曲线)

Fig. 1 Changes in the daily ozone concentration during 2015–2017 in some cities in Fujian Province (The blue line in each plot represents the locally weighted regression line)

市2015—2017年月平均浓度趋势图分析可得出臭氧浓度月变化特征（图2）。福建省各城市臭氧月平均浓度变化基本为3—5月以及9—10月为两个高峰时段。此外，由于之前有研究表明空气污染存在典型的周末效应，当对福建省各城市周末与工作日比较结果得知

福建省臭氧污染存在反周末效应，即各城市工作日臭氧平均浓度显著高于周末臭氧平均浓度（ $P=0.007$ ，图3）。其中，宁德市周末与工作日晚间臭氧平均浓度相差最大，其工作日臭氧平均浓度为 $52.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，周末臭氧平均浓度为 $49.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

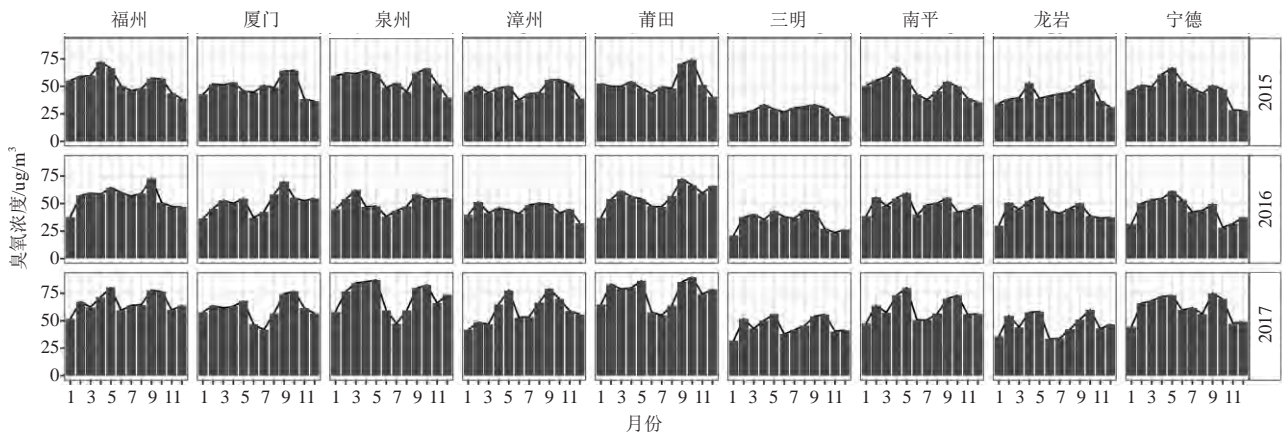


图2 2015—2017年福建省各城市逐月臭氧浓度变化

Fig. 2 Changes in the monthly ozone concentration in cities of Fujian Province from 2015 to 2017

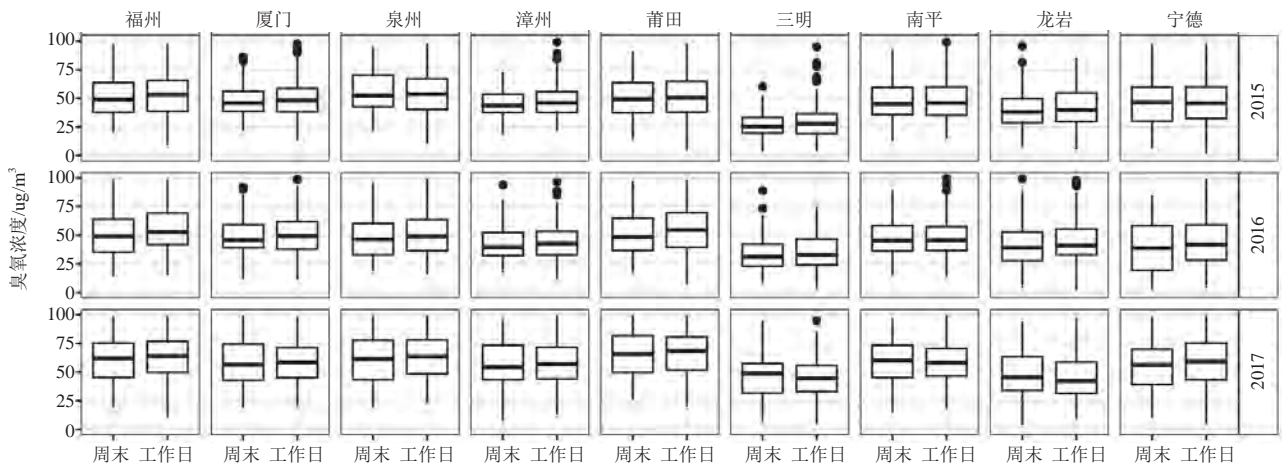


图3 2015—2017年福建省各城市工作日与节假日臭氧浓度比较（箱式图中离散点为臭氧观测值的异常高值，中间横线为臭氧浓度中位数）

Fig. 3 Ozone concentration in working days and the weekend days for cities in Fujian Province during 2015–2017 (The scatter points in each plot represent the high anomaly, the black line in the middle box represents the median value of the ozone concentration)

### 3 小结

近些年来，福建省空气质量总体处于良好水平。但日益增加的臭氧污染为福建省空气治理增加了挑战及难度。为此，福建省生态环境厅于2018年出台《福建省臭氧污染防治指南（试行）》，从政府及职能部门规划等六个方面进行具体部署，其中主要分为分级分类防控、强化源头控制、细化分析预判以及落实固定源减排措施四大步骤防控臭氧。

目前，福建省臭氧超标主要由光化学反应型、本

地积累型、水平输送型、垂直输送型等四种构成<sup>[3]</sup>。由于臭氧形成的机理并不是本研究的目的，因此更关注臭氧的动态变化。2015—2017年，莆田市和泉州市是福建省臭氧平均浓度最高的两个城市。这与之前的研究结果相吻合<sup>[3]</sup>，即2015—2016年福建省沿海地区的臭氧年平均浓度高于内陆。由于莆田与泉州市也是福州市工厂较多的城市，因此，《福建省臭氧污染防治指南（试行）》也对该两个城市中VOCs排放企业进行分级分类调控。三明市作为全国集体林业综合改

革试验示范区, 具有大面积的林地面积, 同时为治理臭氧污染, 三明市制定并印发《三明市臭氧污染防治指南(试行)》, 推测是三明市臭氧浓度最低的主要原因。

此外, 本研究发现福建省各城市2015—2017年逐日臭氧浓度均呈现增加趋势, 该结果对于未来更加严格调控福建省臭氧排放起到了指示意义。最后, 本研究还发现福建省各地区周末臭氧浓度低于工作日臭氧浓度。该结果表明福建省臭氧排放存在反周末效应<sup>[9]</sup>, 推测可能由于周末出行降低等原因, 周末臭氧前体物的输出低于工作日臭氧前体物的输出量所引起。

本研究通过对2015—2017年福建省各地级市臭氧浓度变化特征进行分析, 发现福建省各城市在此期间逐日臭氧浓度均呈现增加趋势, 且存在反周末效应。

此研究可为福建省进一步加强对臭氧排放调控提供参考价值。

#### 参考文献

- [1] 孔琴心, 刘广仁, 李桂忱. 近地面臭氧浓度变化及其对人体健康的可能影响. 气候与环境研究, 1999, 4(1): 63 - 65.
- [2] 郭远珍, 彭密军. 臭氧与生态环境. 北京: 化学工业出版社, 2013.
- [3] 王宏, 蒋冬升, 谢祖欣, 等. 福建省近地层臭氧时空分布与超标天气成因. 中低纬山地气象, 2018, 42(1): 1-6.
- [4] 谢瑞加. 泉州市区臭氧污染特征研究. 环境科学与管理, 2018, 43(10): 68-70.
- [5] 徐慧, 张哈, 邢振雨, 等. 厦门冬春季大气VOCs的污染特征及臭氧生成潜势. 环境科学, 2015, 36(1): 11-17.
- [6] 王宏, 陈晓秋, 余永江, 等. 福州近地层臭氧分布及其与气象要素的相关性. 自然灾害学报, 2012, 21(4): 175-181.
- [7] 王宏, 林长城, 陈晓秋, 等. 天气条件对福州近地层臭氧分布的影响. 生态环境学报, 2011, 20(Z2): 1320-1325.
- [8] R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2019.
- [9] Tan P H, Chou C, Liang J Y, et al. Air pollution "Holiday Effect" resulting from the Chinese New Year. Atmospheric Environment, 2009, 43(13): 2114-2124.

(上接20页)

员要及时与市政部门沟通加强行洪排涝工作力度。

#### 参考文献

- [1] 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告(1): 中国气候变化的历史和未来趋势. 气候变化研究进展, 2007, 3(s1): 1-5.
- [2] 李刚, 张鹭. 基于微波探测资料的全球大气亮温长期变化趋势研究. 气象科学, 2016, 36(1): 10-19.
- [3] 沈澄, 孙燕, 尹东屏, 等. 江苏省暴雨洪涝灾害特征分析. 自然灾害学报, 2015, (2): 203-212.
- [4] 孙继松, 何娜, 王国荣, 等. "7.21" 北京大暴雨系统的结构演变特征及成因初探. 暴雨灾害, 2012, 31(3): 218-225.
- [5] 赵会霞, 郑景云, 葛全胜. 1755-1849年苏皖地区重大洪涝事件复原分析. 气象科学, 2004, 24(4): 460-467.
- [6] 沈红霞, 杜付然, 江海涛, 等. 南京主城区设计暴雨计算研究. 水资源与水工程学报, 2017, 28(6): 74-78.
- [7] 庄智福, 王珂清, 杨杰, 等. 镇江市新一代暴雨强度公式研制及雨型设计. 气象科学, 2015, 35(4): 506-513.
- [8] 王彬雁, 赵琳娜, 巩远发, 等. 北京降雨过程分型特征及短历时降雨重现期研究. 暴雨灾害, 2015, 34(4): 302-308.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 室外排水设计规范(GB50014-2006, 2014年版). 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [10] 植石群, 宋丽莉, 罗金铃, 等. 暴雨强度计算系统及其应用. 气象, 2000, 26(6): 30-33.
- [11] 吴雪剑, 费建芳, 程小平, 等. 一次暴雨过程降水强度“双峰”结构成因分析. 气象科学, 2014, 34(3): 252-260.
- [12] 莫洛可夫 M B, 施果林. 雨水道与合流水道. 北京: 建筑工程出版社, 1956.
- [13] Chow V T. Frequency analysis of hydrologic data with special application to rainfall intensities. University of Illinois Bulletin, 1953, 414: 79-80.
- [14] Keifer G J, Chu H H. Synthetic storm pattern for drainage design. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 1957, 83(4): 1-25.
- [15] Pilgrim D H, Cordery I. Rainfall temporal patterns for design floods. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 1975, 101(1): 81-95.
- [16] 王敏, 谭向诚. 北京城市暴雨和雨型的研究. 水文, 1994, (3): 1-6.
- [17] 岑国平, 沈晋, 范荣生. 城市设计暴雨雨型研究. 水科学进展, 1998, 9(1): 41-46.
- [18] 王光明, 廖玉芳, 曾向红, 等. 湖南短历时暴雨雨型分析. 暴雨灾害, 2017, 36(1): 86-90.
- [19] 住房和城乡建设部, 中国气象局. 城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则. 北京: 气象出版社, 2014.
- [20] 成丹, 陈正洪. 不同选样方法对Pilgrim & Cordery设计暴雨雨型的对比研究. 气象与环境科学, 2018, 41(1): 132-137.
- [21] 成丹, 陈正洪, 方怡. 宜昌市区短历时暴雨雨型特征. 暴雨灾害, 2015, 34(3): 249-253.
- [22] 王彬雁, 赵琳娜, 巩远发, 等. 北京降雨过程分型特征及短历时降雨重现期研究. 暴雨灾害, 2015, 34(4): 302-308.
- [23] 顾春新. 城市短历时暴雨强度公式及参数确定方法研究. 南京: 河海大学, 2007.
- [24] 刘艳辉, 唐灿, 李铁锋, 等. 地质灾害与降雨雨型的关系研究. 工程地质学报, 2009, 17(5): 656-661.
- [25] 纪小敏, 周毅, 曹帅, 等. 江苏省治涝设计暴雨研究. 江苏水利, 2017, (7): 44-47.