

基于5年OMI卫星数据分析台风对珠三角臭氧廓线变化影响

韦玉婷¹, 王洪强¹, 陈明涛¹, 王潞椰¹, 黄俊^{2*}

¹桂林理工大学环境科学与工程学院, 广西 桂林

²中国科学院空天信息创新研究院, 北京

收稿日期: 2022年9月25日; 录用日期: 2022年10月31日; 发布日期: 2023年8月30日

摘要

在各种观测方法中, 卫星遥感具有覆盖范围广、时间序列长、重复频次高的优点, 是目前最主要的观测大气臭氧的手段之一。珠三角是我国台风登陆频次最多的地区之一, 也是我国受台风影响最大的地区之一, 为更好地了解珠三角地区台风登陆前后臭氧廓线变化情况、对台风进行预报预警、防控臭氧污染, 本文选用2016.3~2021.2共5年登陆珠三角地区19个单台风登陆前后OMI卫星臭氧廓线, 分析单台风登陆珠三角地区前后臭氧廓线的变化情况, 结果发现: 1) 单台风影响珠三角地区臭氧垂直分布, 从而导致臭氧廓线台风前后不同; 2) 珠三角单台风大多在夏秋两季登陆; 3) 19个单台风案例中, 台风后对流层和平流层臭氧柱浓度均降低的案例有12个, 对流层和平流层臭氧柱浓度均升高的案例有2个, 平流层和对流层臭氧柱浓度变化趋势相反的案例有5个。

关键词

珠三角, 台风, 臭氧廓线

Analysis of Typhoon Impact on Ozone Profile Changes in the Pearl River Delta Based on 5-Year OMI Satellite Data

Yuting Wei¹, Hongqiang Wang¹, Mingtao Chen¹, Luye Wang¹, Jun Huang^{2*}

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

²Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing

Received: Sep. 25th, 2022; accepted: Oct. 31st, 2022; published: Aug. 30th, 2023

*通讯作者。

文章引用: 韦玉婷, 王洪强, 陈明涛, 王潞椰, 黄俊. 基于5年OMI卫星数据分析台风对珠三角臭氧廓线变化影响[J]. 环境保护前沿, 2023, 13(4): 1066-1079. DOI: 10.12677/aep.2023.134128

Abstract

Among various observation methods, satellite remote sensing has the advantages of wide coverage, long time series, and high repetition frequency, making it one of the most important means of observing atmospheric ozone at present. The Pearl River Delta is one of the regions with the highest frequency of typhoon landfall in China, and also one of the regions most affected by typhoons. In order to better understand the changes in ozone profiles before and after typhoon landfall in the Pearl River Delta region, predict and warn typhoons, and prevent and control ozone pollution, this article selects OMI satellite ozone profiles before and after 19 single typhoon cases landfall in the Pearl River Delta region from March 2016 to February 2021, and analyzes the changes in ozone profiles before and after single typhoon landfall in the Pearl River Delta region. The results showed that: 1) The single typhoon affects the vertical distribution of ozone in the Pearl River Delta region, resulting in different ozone profiles before and after typhoons; 2) Most single typhoons in the Pearl River Delta make landfall in summer and autumn; 3) Among the 19 single typhoon cases, there were 12 cases where the concentration of ozone column in the troposphere and stratosphere decreased after the typhoon, 2 cases where the concentration of ozone column in the troposphere and stratosphere increased, and 5 cases where the trend of changes in ozone column concentration in the stratosphere and troposphere was opposite.

Keywords

Pearl River Delta, Typhoon, Ozone Profile

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

臭氧(O₃)是一种微量气体,也是重要的温室气体之一,主要存在于大气平流层中,可以吸收紫外线和大部分对地球生物有害的太阳短波辐射并保护地球生态系统,而近地面大气里的臭氧却是一种二次污染物[1] [2] [3] [4]。高浓度的臭氧不仅会影响人类和地表生物的生存,还会影响对流层与平流层之间的大气化学、辐射、动力、热力等过程[5] [6]。近年来,全球的臭氧浓度呈现逐年增加的趋势,臭氧污染已成为普遍且难以处理的大气污染之一[7]。很多国家也逐步认识到了高浓度臭氧带来的危害并逐渐重视臭氧污染控制,“十四五”以来,臭氧污染防治已成为我国大气污染防治的重点,但如何防控臭氧污染仍是个棘手的问题[8] [9]。

大气臭氧是大气环境科学和全球气候变化研究的重要领域,且臭氧总量及其垂直分布的变化对气候变化有重要影响[10],而台风影响着大气臭氧的垂直分布。因此,研究台风前后珠三角地区臭氧廓线特征,可为臭氧污染的防控提供参考。在各种观测方法中,卫星遥感具有覆盖范围广、时间序列长、重复频次高的优点,是目前最主要的观测大气臭氧的手段之一。因此,本文选取2016.3~2021.2连续五年内登陆珠三角前后三天以及登陆期间的OMI臭氧廓线进行对比,分析珠三角地区台风前后臭氧廓线变化情况。

2. 数据和方法

2.1. 数据

臭氧廓线数据来自OMI的Level 2臭氧产品OMO3PR,该产品采用V.8版算法,误差在10%以下。

数据的存储和发布采用 NASA 发布 EOS (Earth Observation System)数据产品的标准格式 HDF-EOS 5 Swath, 每个数据结构包含数据域、数据介绍域和地理坐标数据域。该产品对臭氧柱浓度进行观测和记录, 包含从地面到大气层顶 18 层高度的臭氧廓线数据, 包括 17~0 层, 其中 17~12 层对应着对流层, 12~0 层对应着平流层。每一层臭氧柱浓度以 DU(Dobson Unit)为单位。该数据格式详细信息可参考 OMI 大气产品文档(<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/AIRS/ozone/documentation/docs/omi-spie-2003.doc>)。

台风案例为 2016.3~2021.2 期间影响到珠三角地区的所有单台风, 数据取自中央气象台台风网(<http://typhoon.nmc.cn/web.html>)。

2.2. 方法

臭氧廓线数据处理方法为: 先用 NASA 官方网站推荐的小程序 1 批量下载 HDF 格式的原始全球臭氧廓线数据, 再通过 NASA 官方网站推荐的小程序 2 从 OMO3PR 原始数据中提取出珠三角地区 (112°~114°E, 21°~23°N)臭氧廓线并转化为 csv 格式, 剔除无效数据后再利用 EXCEL 计算出臭氧廓线均值, 最后用 origin 画出对应的臭氧廓线图。

本文台风时间范围为: 台风逼近珠三角区域 1000 m 内开始, 远离研究区域 1000 m 外结束, 台风之前三天为台风开始往前推三天, 台风之后三天为台风结束往后推三天。由于存在台风之间间隔很短或是同时登陆的现象, 台风影响叠加, 无法取到单个台风前后 3 天的臭氧廓线数据, 因此, 本文不讨论台风之间间隔小于 3 天的多台风案例。

3. 结果与讨论

3.1. 珠三角单台风前后臭氧廓线对比

2016~2021 五年期间珠三角单台风出现日期如下表 1。

Table 1. Date of occurrence of single typhoon in Pearl River Delta in five years

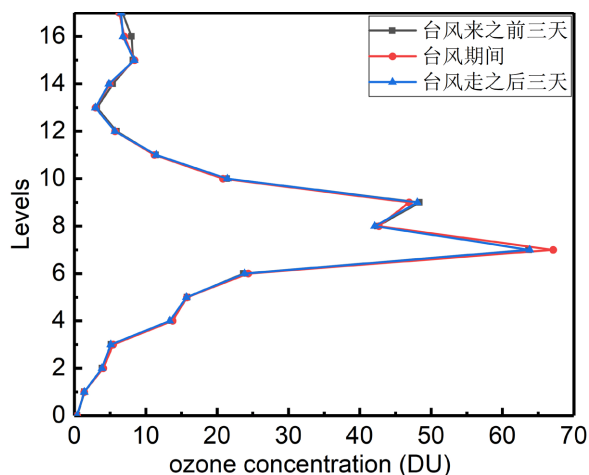
表 1. 五年珠三角单台风出现日期

台风编号与名称	前三天	期间	后三天
1601 尼伯特 NEPARTAK	7.4~7.6	7.7~7.10	7.11~7.13
1608 电母 DIANMU	8.12~8.14	8.15~8.20	8.21~8.23
1612 南川 Namtheun	8.28~8.30	8.31	9.1~9.3
1617 鲇鱼 MEGI	9.24~9.26	9.27~9.30	10.1~10.3
1724 海葵 HAIKUI	11.7~11.9	11.10~11.13	11.14~11.16
1806 格美 GAEMI	6.10~6.12	6.13~6.15	6.16~6.18
1816 贝碧嘉 BEBINCA	8.6~8.8	8.9~8.17	8.18~8.20
1826 玉兔 YUTU	10.27~10.29	10.30~11.3	11.4~11.6
1904 木恩 MUN	6.29~7.1	7.2~7.5	7.6~7.8
1907 韦帕 WIPHA	7.27~7.29	7.30~8.4	8.5~8.7
1926 海鸥 KALMAEGI	11.15~11.17	11.18~11.20	11.21~11.23
1928 北冕 KAMMURI	12.1~12.3	12.4~12.5	12.6~12.8
1929 巴蓬 PHANFONE	12.24~12.26	12.27~12.29	12.30~1.1

Continued

2001 黄蜂 Vongfong	5.13~5.15	5.16~5.18	5.19~5.21
2002 鸚鵡 Nuri	6.9~6.11	6.12~6.14	6.15~6.17
2003 森拉克 Sinlaku	7.28~7.30	7.31~8.2	8.3~8.5
2006 米克拉 Mekkhala	8.6~8.8	8.9~8.11	8.12~8.14
2011 红霞 Noul	9.14~9.16	9.17~9.18	9.19~9.21
2022 环高 Vamco	11.9~11.11	11.12~11.15	11.16~11.18

珠三角 2016.3~2021.2 五年期间单台风前后臭氧廓线对比如图 1~19。



注：1) 1 DU 表示标态下单位面积上有 0.01 mm 厚臭氧；2) 17 层(距地面 3 km)、16 层(距地面 5 km)、15 层(距地面 9 km)、14 层(距地面 12 km)、13 层(距地面 14 km)、12 层(距地面 16 km)、11 层(距地面 18 km)、10 层(距地面 20 km)、9 层(距地面 23 km)、8 层(距地面 26 km)、7 层(距地面 31 km)、6 层(距地面 33 km)、5 层(距地面 35 km)、4 层(距地面 39 km)、3 层(距地面 42 km)、2 层(距地面 47 km)、1 层(距地面 52 km)和 0 层(距地面 56 km)。

Figure 1. Comparison of ozone profiles before and after typhoon NEPARTAK

图 1. 台风“尼伯特”前后臭氧廓线对比

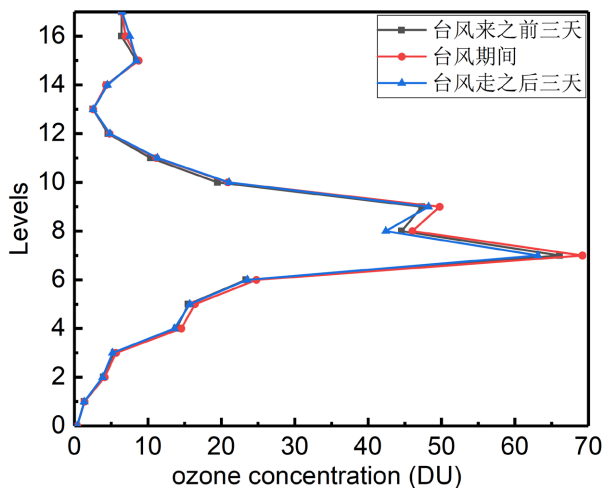


Figure 2. Comparison of ozone profiles before and after typhoon DIANMU

图 2. 台风“电母”前后臭氧廓线对比

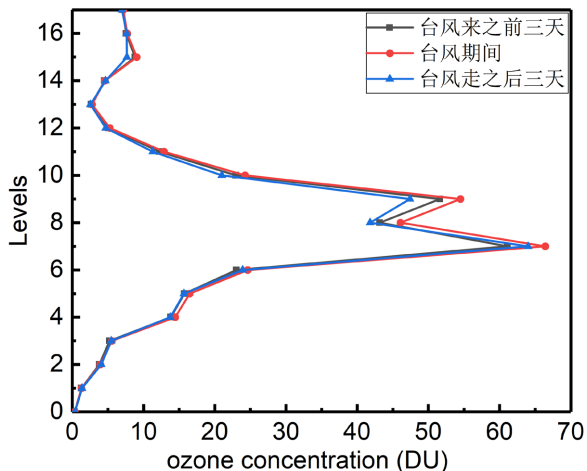


Figure 3. Comparison of ozone profiles before and after typhoon Namtheun
图 3. 台风“南川”前后臭氧廓线对比

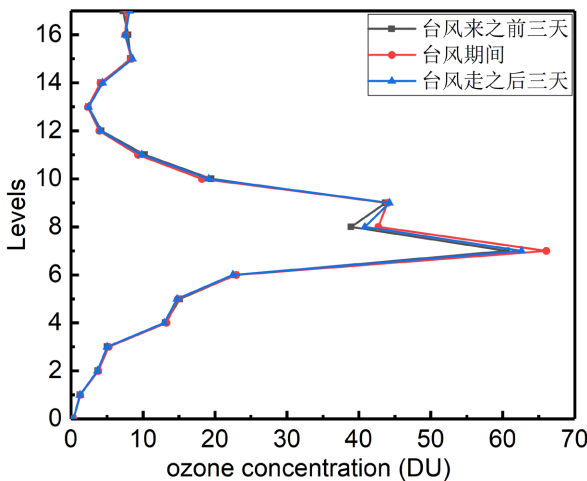


Figure 4. Comparison of ozone profiles before and after typhoon MEGI
图 4. 台风“鲑鱼”前后臭氧廓线对比

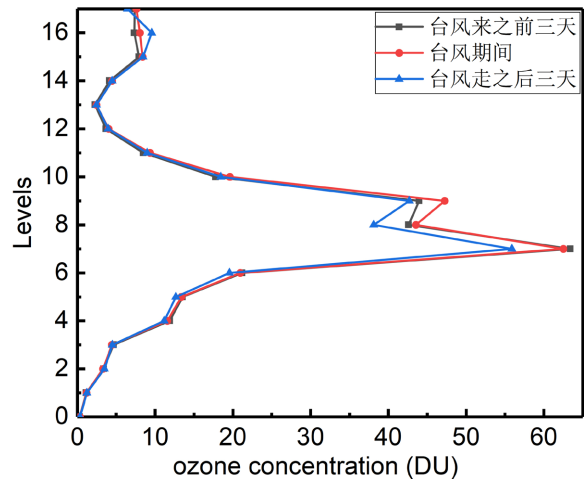


Figure 5. Comparison of ozone profiles before and after typhoon HAIKUI
图 5. 台风“海葵”前后臭氧廓线对比

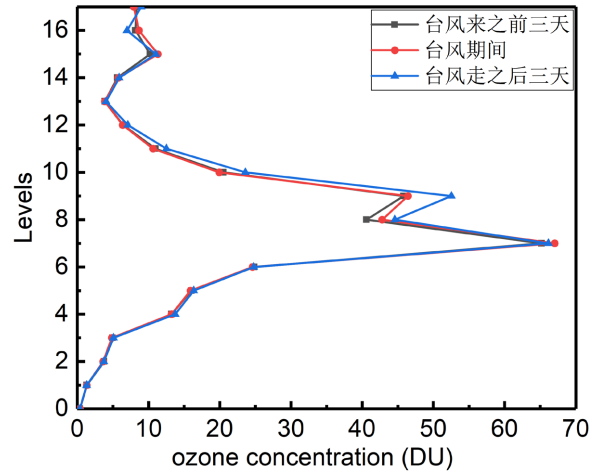


Figure 6. Comparison of ozone profiles before and after typhoon GAEMI
图 6. 台风“格美”前后臭氧廓线对比

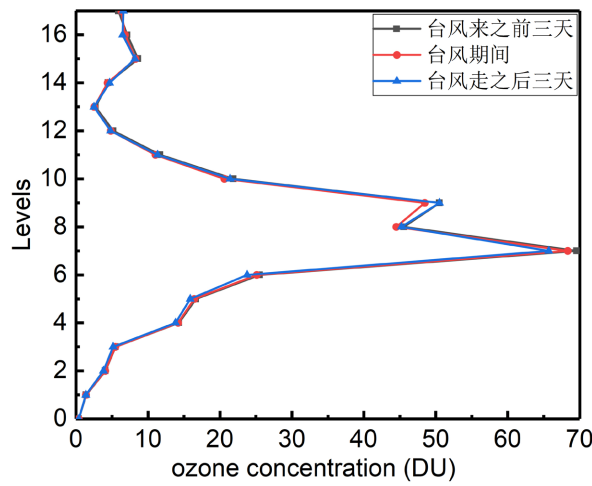


Figure 7. Comparison of ozone profiles before and after typhoon BEBINCA
图 7. 台风“贝碧嘉”前后臭氧廓线对比

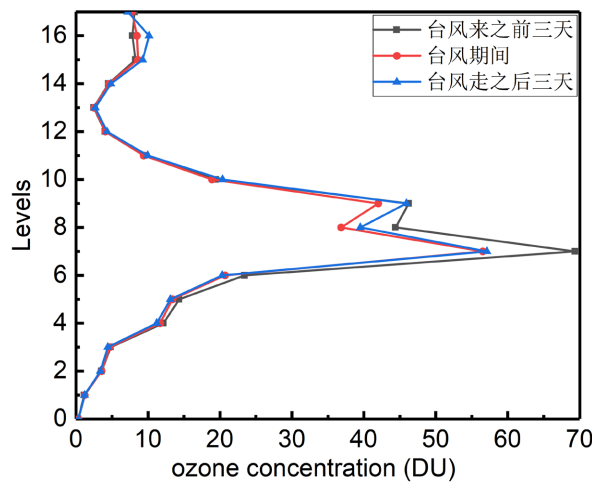


Figure 8. Comparison of ozone profiles before and after typhoon YUTU
图 8. 台风“玉兔”前后臭氧廓线对比

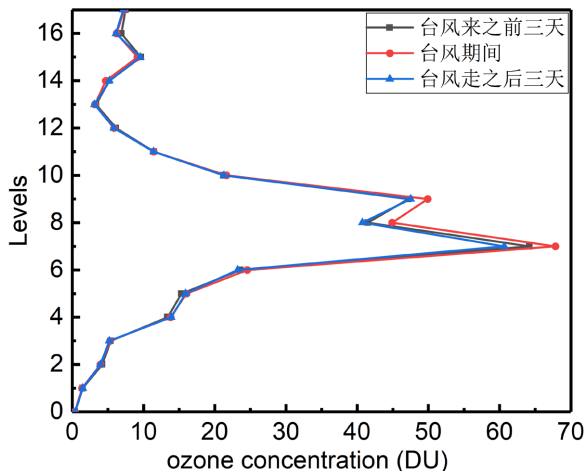


Figure 9. Comparison of ozone profiles before and after typhoon MUN
图 9. 台风“木恩”前后臭氧廓线对比

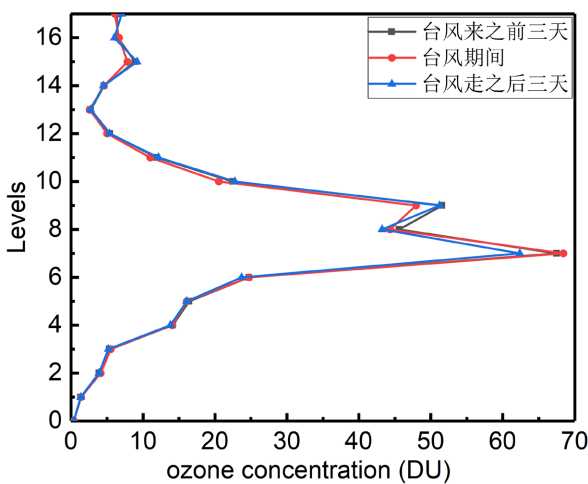


Figure 10. Comparison of ozone profiles before and after typhoon WIPHA
图 10. 台风“韦帕”前后臭氧廓线对比

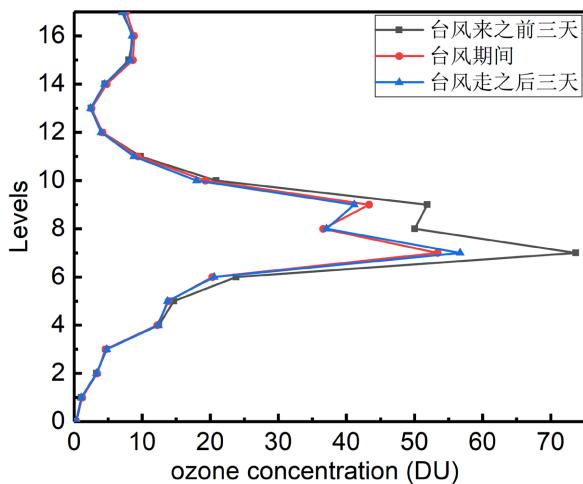


Figure 11. Comparison of ozone profiles before and after typhoon KALMAEGI
图 11. 台风“海鸥”前后臭氧廓线对比

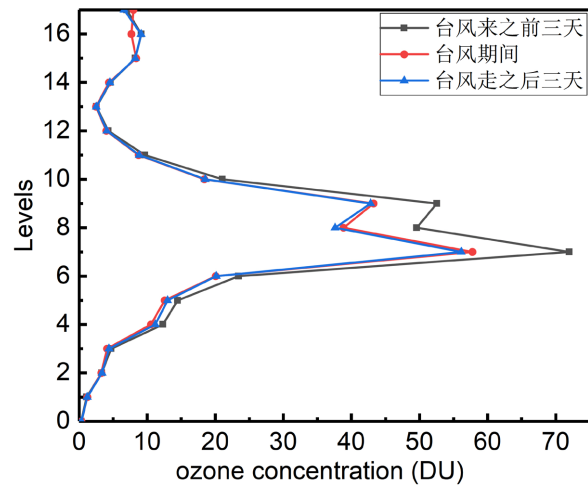


Figure 12. Comparison of ozone profiles before and after typhoon KAMMURI
图 12. 台风“北冕”前后臭氧廓线对比

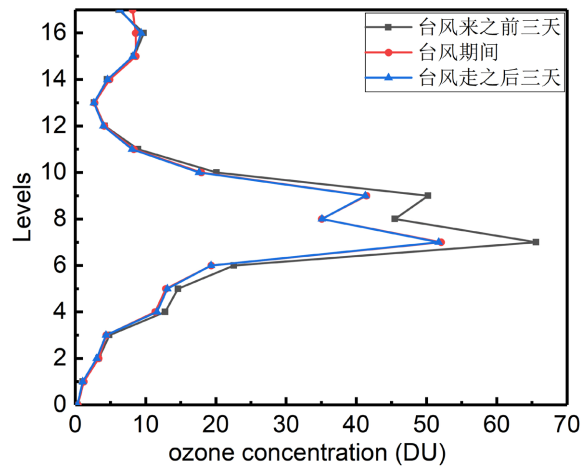


Figure 13. Comparison of ozone profiles before and after typhoon PHANFONE
图 13. 台风“巴蓬”前后臭氧廓线对比

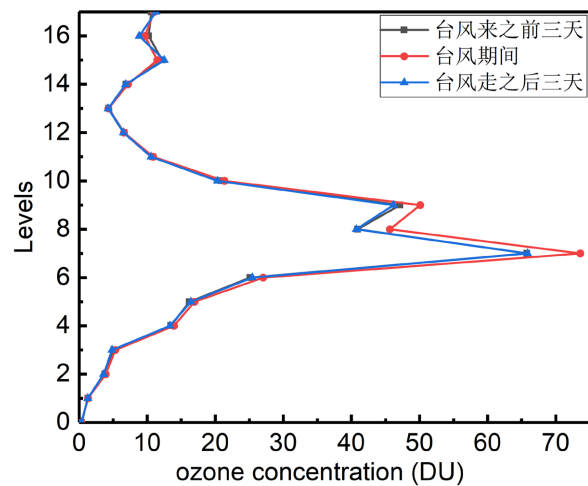


Figure 14. Comparison of ozone profiles before and after typhoon Vongfong
图 14. 台风“黄蜂”前后臭氧廓线对比

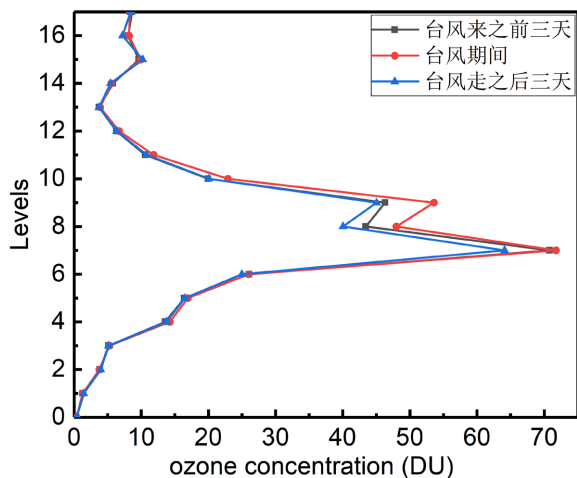


Figure 15. Comparison of ozone profiles before and after typhoon Nuri
图 15. 台风“鹦鹉”前后臭氧廓线对比

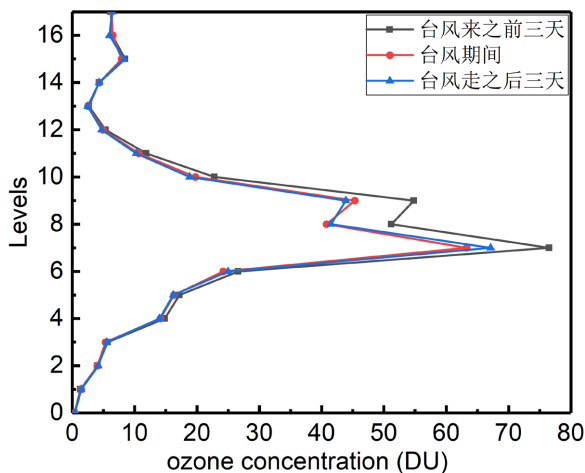


Figure 16. Comparison of ozone profiles before and after typhoon Sinlaku
图 16. 台风“森拉克”前后臭氧廓线对比

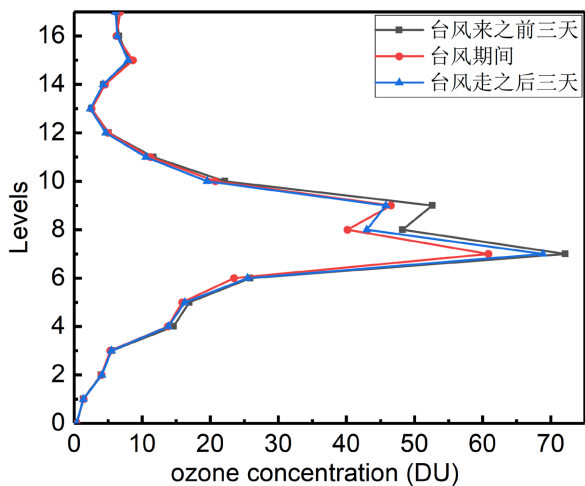


Figure 17. Comparison of ozone profiles before and after typhoon Mekkhal
图 17. 台风“米克拉”前后臭氧廓线对比

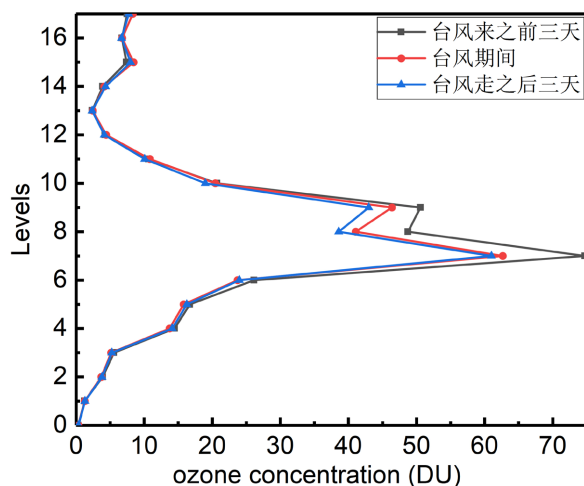


Figure 18. Comparison of ozone profiles before and after typhoon Noul
图 18. 台风“红霞”前后臭氧廓线对比

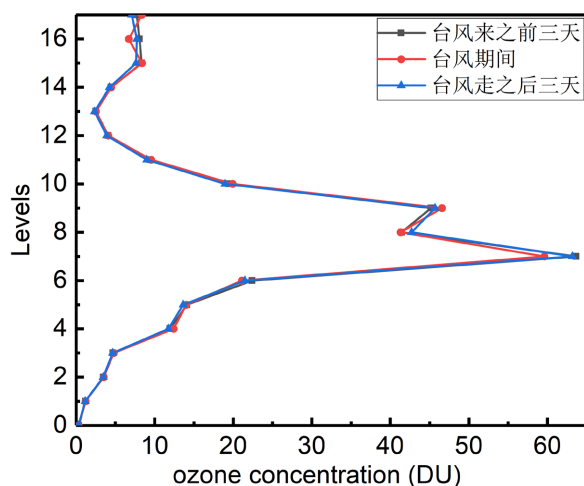


Figure 19. Comparison of ozone profiles before and after typhoon Vamco
图 19. 台风“环高”前后臭氧廓线对比

由图 1~19 可见，台风前后臭氧廓线均有所变化，但变化程度不同，这可能与台风路径、台风强度、动力抬升条件、生物排放以及跨区域输送等有关。

为更好了解台风影响臭氧廓线的机制，对 2016.3~2021.2 五年内珠三角地区 19 个单台风案例在台风前后臭氧浓度升高与降低最明显的层数和变化比例进行统计，如表 2。

Table 2. Changes of ozone profile before and after typhoons in Pearl River Delta
表 2. 珠三角台风前后臭氧廓线变化情况

序号	台风案例	升高最明显层数(层)	升高比例	降低最明显层数(层)	降低比例
1	尼伯特	15	1.69%	16	14.98%
2	电母	16	17.66%	8	4.87%
3	南川	2	7.37%	15	13.17%
4	鲇鱼	17	12.31%	0	5.48%

Continued

5	海葵	16	30.58%	17	12.71%
6	格美	10	15.07%	16	14.73%
7	贝碧嘉	17	11.62%	16	9.19%
8	玉兔	16	29.45%	7	17.66%
9	木恩	0	3.93%	16	10.97%
10	韦帕	17	10.97%	9	7.59%
11	海鸥	17	2.98%	8	25.91%
12	北冕	0	10.70%	8	24.16%
13	巴蓬	17	3.05%	8	22.82%
14	黄蜂	17	6.36%	16	13.55%
15	鹦鹉	0	9.42%	16	10.53%
16	森拉克	0	9.67%	9	19.90%
17	米克拉	1	2.58%	9	12.93%
18	红霞	15	7.99%	8	20.87%
19	环高	10	3.09%	15	8.54%

由表 2 可见, 珠三角 19 个台风案例中, 有 4 个台风案例在台风后 3 天对流层低层臭氧浓度变化最明显, 由此可见, 5 年内, 有 4 个台风主要影响着珠三角对流层低层臭氧分布, 如表 3; 有 12 个台风案例主要影响珠三角对流层与平流层臭氧分布, 如表 4; 有 3 个台风案例主要影响珠三角平流层臭氧分布, 如表 5; 由此可见, 19 个台风均促进了平流层垂直方向上臭氧的输送。统计发现, 这些台风过程基本上发生在夏秋两季。

Table 3. The single typhoon cases of Pearl River Delta mainly affect the distribution of ozone in the lower troposphere

表 3. 珠三角主要影响对流层低层臭氧分布单台风案例

序号	台风案例	台风过程所处季节
1	尼伯特	夏季
2	海葵	秋季
3	贝碧嘉	夏季
4	黄蜂	春季

Table 4. The single typhoon cases of Pearl River Delta mainly affect the distribution of ozone in the tropospheric and stratospheric

表 4. 珠三角主要影响对流层与平流层臭氧分布单台风案例

序号	台风案例	台风过程所处季节
1	电母	夏季
2	南川	夏季
3	鲇鱼	秋季

Continued

4	格美	夏季
5	玉兔	秋季
6	木恩	夏季
7	韦帕	夏季
8	海鸥	秋季
9	巴蓬	冬季
10	鹦鹉	夏季
11	红霞	秋季
12	环高	秋季

Table 5. The single typhoon cases of Pearl River Delta mainly affect the distribution of ozone in the stratospheric
表 5. 珠三角主要影响平流层臭氧分布单台风案例

序号	台风案例	台风过程所处季节
1	北冕	冬季
2	森拉克	夏季
3	米克拉	夏季

3.2. 珠三角台风前后对流层与平流层臭氧柱浓度变化

为更好了解台风影响大气臭氧垂直分布情况,对 2016.3~2021.2 五年内珠三角地区 19 个单台风案例前后 3 天的对流层与平流层臭氧柱浓度变化情况进行统计,如表 6。

Table 6. Stratospheric and tropospheric ozone column concentration changes before and after typhoons in Pearl River Delta
表 6. 珠三角台风前后平流层与对流层臭氧柱浓度变化情况

台风案例	对流层臭氧柱浓度			平流层臭氧柱浓度		
	台风前(DU)	台风后(DU)	变化幅度	台风前(DU)	台风后(DU)	变化幅度
尼伯特	37.395	35.125	-6.07%	257.106	256.076	-0.40%
电母	32.803	34.291	4.53%	256.176	254.370	-0.71%
南川	35.685	34.145	-4.32%	259.279	254.692	-1.77%
鲇鱼	34.226	35.055	2.42%	238.601	241.154	1.07%
海葵	32.736	35.380	8.08%	236.055	221.065	-6.35%
格美	42.632	43.935	3.06%	253.984	271.674	6.96%
贝碧嘉	33.924	33.140	-2.31%	272.126	263.056	-3.33%
玉兔	35.198	38.398	9.09%	252.556	230.981	-8.54%
木恩	38.608	36.944	-4.31%	255.462	251.325	-1.62%
韦帕	28.139	34.794	23.65%	270.541	261.405	-3.38%
海鸥	34.925	34.881	-0.13%	270.700	221.837	-18.05%

Continued

北冕	35.862	35.104	-2.12%	268.749	221.672	-17.52%
巴蓬	35.652	35.116	-1.50%	253.981	210.467	-17.13%
黄蜂	50.930	50.284	-1.27%	257.577	255.498	-0.81%
鸚鵡	42.152	32.911	-21.92%	264.119	252.624	-4.35%
森拉克	33.315	32.034	-3.84%	292.491	252.914	-13.53%
米克拉	33.042	31.662	-4.18%	280.410	259.270	-7.54%
红霞	32.183	33.278	3.40%	278.017	240.902	-13.35%
环高	35.226	32.955	-6.45%	241.471	239.917	-0.64%

由表 6 可见, 在 19 个台风案例中, 与台风前相比, 台风后对流层和平流层臭氧柱浓度均降低的案例有 12 个; 对流层和平流层臭氧柱浓度均升高的案例有 2 个; 平流层和对流层臭氧柱浓度变化趋势相反的案例有 5 个, 如表 7。

由表 7 可见, 珠三角 5 个台风案例前后对流层与平流层臭氧柱浓度升高与降低变化趋势相反, 由于台风引起的垂直运动会导致对流层与平流层的物质交换[11], 由此推测这些台风促进了珠三角地区对流层与平流层臭氧的垂直方向的输送。其中, 对流层臭氧柱浓度变化幅度范围为: 3.40%~23.65%, 平流层臭氧柱浓度变化幅度范围为: -13.35%~8.08%。可见, 这些单台风促进了珠三角臭氧在垂直方向上的输送, 而其余台风案例前后平流层和对流层臭氧柱浓度变化趋势一致可能是因为水平输送与光化学作用大于垂直输送作用。

Table 7. Stratospheric and tropospheric ozone column concentration change trend opposite before and after Pearl River Delta typhoon case

表 7. 珠三角台风前后平流层与对流层臭氧柱浓度变化趋势相反台风案例

序号	台风案例	臭氧柱浓度变化幅度	
		对流层	平流层
1	电母	4.53%	-0.71%
2	海葵	8.08%	8.08%
3	玉兔	9.09%	-8.54%
4	韦帕	23.65%	-3.38%
5	红霞	3.40%	-13.35%

4. 结论与展望

综上, 本文得出以下结论:

- 1) 单台风影响珠三角地区臭氧垂直分布, 从而导致臭氧廓线台风前后不同;
- 2) 珠三角单台风大多在夏秋两季登陆;
- 3) 19 个单台风案例中, 台风后对流层和平流层臭氧柱浓度均降低的案例有 12 个, 对流层和平流层臭氧柱浓度均升高的案例有 2 个, 平流层和对流层臭氧柱浓度变化趋势相反的案例有 5 个。

以上结论可用通过臭氧廓线变化趋势来推测台风登陆情况, 从而起到预报和预警的作用。

致 谢

感谢中国气象台台风网和 NASA 提供数据支持,感谢国家重点研发计划项目(2018YFC1506304)资助。

基金项目

国家重点研发计划项目(2018YFC1506304)资助。

参考文献

- [1] 刘寅. FY-3A 气象卫星臭氧总量数据的质量控制方案及其在台风 Tembin (2012)和 Isaac (2012)中的应用[J]. 大气科学, 2014, 38(6): 1066-1078.
- [2] 耿福海, 刘琼, 陈勇航. 近地面臭氧研究进展[J]. 沙漠与绿洲气象, 2012, 6(6): 8-14.
- [3] 韩余, 周国兵, 陈道劲, 等. 重庆市臭氧污染及其气象因子预报方法对比研究[J]. 气象与环境学报, 2020, 36(4): 59-66.
- [4] 李顺姬, 李红, 陈妙, 等. 气象因素对西安市西南城区大气中臭氧及其前体物的影响[J]. 气象与环境学报, 2018, 34(4): 59-67.
- [5] 陈立新, 邓慧颖, 林晖, 等. 天气尺度条件下武夷山市臭氧演变规律及污染成因分析[J]. 海峡科学, 2021, 174(6): 67-73.
- [6] 陈莉, 高云峰, 忽建永, 等. 东亚季风及台风过程与臭氧含量变化的关系分析[J]. 高原山地气象研究, 2017, 37(1): 66-72.
- [7] 宋佳颖, 刘旻霞, 孙瑞弟, 等. 基于 OMI 数据的东南沿海大气臭氧浓度时空分布特征研究[J]. 环境科学学报, 2020, 40(2): 438-449.
- [8] 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[J]. 生态环境学报, 2011, 20(Z2): 1320-1325.
- [9] 赵少华, 杨晓钰, 李正强, 等. 臭氧卫星遥感六十年进展[J]. 遥感学报, 2022, 26(5): 817-833.
- [10] 石广玉, 许黎, 吕位秀, 等. 0-33 公里大气臭氧和气溶胶垂直分布的气球观测[J]. 科学通报, 1986(15): 1165-1167.
- [11] 陈丹, 苏涛. 台风“麦莎”活动期间 TTL 区域的物质分布特征分析[J]. 气象科学, 2016, 36(6): 760-769.