

国家自然科学基金重大项目

中国地区大气臭氧 变化及其对气候环境的影响 (二)

周秀骥 主编

气象出版社

239
46
35

中国环境科学出版社 (1990)

中国地区大气环境 变化及其对全球环境的影响

白 冰

中国科学院

北京 100029

国家自然科学基金重大项目

中国地区大气臭氧 变化及其对气候环境的影响 (二)

周秀骥 主编

气象出版社
1998.5

内 容 简 介

本书主要介绍了国家自然科学基金重大项目“中国地区大气臭氧变化及其对气候环境的影响”1995~1996年度外场观测试验、资料分析、实验室模拟、理论分析与数值模拟等方面的研究成果。通过对大气动力、大气辐射、大气化学过程与生态过程系统的相互作用及变化机理的揭示,为评估我国大气臭氧及其前体物的变化特征和对环境、生态可能产生的影响提供了科学依据。

本书可供气象、环境、生态、海洋、航空、化工等部门的科技人员及大专院校的师生阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国地区大气臭氧变化及其对气候环境的影响 (2)/
周秀骥主编. —北京:气象出版社,1997.7
ISBN 7-5029-1991-0

I. 中… II. 周… III. 臭氧层-变化-影响-气候环境-研究-中国 IV. X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 13149 号

中国地区大气臭氧变化及其对气候环境的影响 (二)

周秀骥 主编

责任编辑:王桂梅 终审:周诗健

封面设计:陶国庆 责任技编:陶国庆 责任校对:王梅

* * *

气象出版社 出版

(北京海淀区白石桥路 46 号 邮政编码:100081)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

* * *

开本:787×1092 1/16 印张:20.75 字数:531 千字

1997 年 7 月第一版 1997 年 7 月第一次印刷

印数:1—600 定价:34.00 元

ISBN 7-5029-1991-0/P·0863

前 言

本论文集反映了 1995~1996 年度,国家自然科学基金重大项目“中国地区大气臭氧变化及其对气候环境的影响”所取得的主要成果。

根据项目预定目标与计划,课题组已完成了我国典型地区的观测工作,建立了数据资料库,可供进一步深入的分析研究,并对我国一些典型地区平流层及对流层大气臭氧变化规律取得了不少新的认识。对于我国有关大气臭氧前体物的自然排放源以及人为排放源进行了新的调查、观测与分析,较系统地给出了这些排放源的全国分布,不少结果都是新的研究成果。在实验室内进行的有关大气臭氧均相以及多相光化学反应的实验模拟研究,也取得了很多新的成果。大气臭氧数值模拟工作有了新的进展,二维平流层—对流层动力、辐射和光化学耦合模式已经投入应用,在大气臭氧收支以及青藏高原臭氧低值中心的数值模拟方面,取得了可喜的成果。对流层大气臭氧以及大气气溶胶的数值模拟工作也取得了新的试验结果。所有这些结果为重大项目最终取得高水平成果奠定了较为坚实的基础。

大气臭氧变化及其对气候环境的影响是一个相当复杂的过程,既涉及到大气动力学、大气辐射及大气化学过程,又关联到一系列化学、生态和生物过程以及这些过程之间的相互作用,深入揭露中国地区大气臭氧变化的机制以及对我国气候环境与生态的影响,有待于今后大量研究分析工作。但我们的初步结果可以表明,大气臭氧变化及其对气候环境与生态的影响,是我国一个重大的大气科学与环境科学问题,密切关系到我国社会经济的持续性发展,其重要性可能更甚于酸雨与温室效应。

刘品女士在本论文集的编辑出版方面做了大量工作,付出了辛勤劳动,气象出版社为本论文集的及早出版给予了有力的支持和帮助,在此谨表以衷心的感谢。

周秀骥

1997 年 4 月 30 日

目 录

前言

我国东北地区大气本底条件下地面臭氧与气象条件研究	丁国安、徐晓斌等(1)
青岛市沙子口站地面大气臭氧、气溶胶及其前体物的观测研究(2)	李金龙、梁宝生等(11)
使用轨迹方法和扩散模式分析中国地区地面 SO_2 的浓度	颜鹏、罗超等(17)
北京中关村地区春季大气光化学氧化形势	邵可声、姜斌等(26)
西宁地区臭氧探空与 Brewer Umkehr 观测比对试验结果分析	刘奇俊、周秀骥等(42)
青海高原臭氧垂直廓线特征	刘奇俊、周秀骥等(50)
中国大气臭氧资料数据库结构剖析	何 嵩士、颜鹏等(59)
UV-B 的 Brewer 观测与数值模拟分析	郑向东、刘奇俊等(69)
青海高原大气臭氧廓线的逆转法观测研究	郭松、周秀骥(79)
香河地区大气的气溶胶化学特征	许黎、樊小标等(86)
我国南方福建和四川两省部分典型树木非甲烷碳氢化合物排放量的测定及研究	白郁华、邓大跃等(94)
流动式采样法测定阔叶树种排放非甲烷碳氢化合物的分析研究	邓大跃、白郁华等(100)
海洋浮游植物产生二甲基硫的测定	胡敏、方晨等(107)
海洋二甲基硫的生物生产研究	蒋林、胡敏等(116)
中国地区生物质燃烧释放的含碳、氮、硫痕量气体	庄亚辉、王效科等(124)
土壤释放的痕量 OCS 通量动态测定初探	曹美秋、庄亚辉(131)
氧化亚氮在中国北方森林和草原土壤中排放	刘晔、牟玉静等(136)
北京石油化工区秋季臭氧及相关物种变化趋势研究	曾立民、张远航等(143)
中国大陆 CH_4 和 N_2O $1^\circ \times 1^\circ$ 网格排放估计	白乃彬(151)
酮的紫外光解机理	李红志、李强等(162)
臭氧在低温冰晶及硫酸盐渗入冰晶上粘着系数研究	牟玉静、刘晔等(168)
三氯甲烷、四氯化碳、CFC-12 和 HCFC-22 在 PURALOX 表面上粘着系数与流速关系的 研究	牟玉静、刘晔等(175)
异戊二烯与臭氧反应体系的初步研究	李爽、陈忠明等(182)
氟里昂致冷剂替代物大气环境影响研究	陈忠明、邵可声等(189)
CH_3Br , CH_2Br_2 与 OH 自由基反应速率常数测定及其在大气中的寿命	张德强、钟晋贤等(197)
溴代烷烃的臭氧消耗潜势值的计算	钟晋贤、张德强(203)

大气微量气体和臭氧变化的二维模式研究	樊小标、石广玉(207)
海洋大气边界层中气溶胶产生和发展的数值模拟	赵春生、秦瑜(215)
中国地区对流层臭氧变化和输送的数值研究——区域性气象模拟(1).....	
.....	王喜红、李兴生(225)
中国地区对流层臭氧变化和输送的数值研究——区域性化学模拟(2).....	
.....	王喜红、李兴生(235)
二维全球平流层-对流层动力、辐射和光化学耦合模式的研究	
Ⅲ. 对流层臭氧的收支.....	刘煜、李维亮等(245)
青藏高原及其邻近地区流场结构季节性变化的特征分析	
.....	卞建春、李维亮等(257)
夏季青藏高原上空臭氧总量低值区形成的模拟试验	付超、李维亮等(274)
全球平均臭氧总量预测研究	任传森、周秀骥等(286)
中国地区大气臭氧变化趋势的预测方法研究	史久恩、周秀骥等(292)
全球大气臭氧变化的准两年振荡	任福民、王梅华等(299)
青藏高原地区大气臭氧的低频变化	王梅华、任福民等(307)
大气臭氧变化对我国农业的可能影响及防护对策	王春乙、关福来(312)
紫外辐射增加对我国农业生产的影响及其对策	郑有飞、王春乙(318)

Contenes

Study on Relation of Between Surface O_3 to Meteorological Conditions under Atmospheric Background in Northeastern China	Ding Guoan Xu Xiaobin et al. (10)
Monitoring and Research of Ground Atmospheric Ozone, Particle and Its Precursor at Shazikou Station in Qingdao City(2)	Li Jinlong Liang Baosheng et al. (16)
Using Trajectory Methods and Dispersion Models to Discern the Variation of Sulfur Dioxide Air Concentrations in China	Yan Peng Luo Chao et al. (25)
The Situation of Atmospheric Photochemical Oxidation at Zhongguancun in Beijing in Spring	Shao Kesheng Jiang Bin et al. (41)
Intercomparison of Ozone Vertical Profiles Between ECC Ozonesonde and Brewer Umkehr Measurements Over Tibet	Liu Qijun Zhou Xiuji et al. (49)
Ozone Vertical Profile Characteristics Over Qinghai Plateau	Liu Qijun Zhou Xiuji et al. (58)
The Structure Analysis of Atmospheric Ozone Data—base of China	He Zhuanshi Yan Peng et al. (68)
UV-B Radiation: An Analysis for the Brewer Measurements and the Model calculation at three sites	Zheng Xiangdong Liu Qijun et al. (78)
The Umkehr Observation and Analysis of Atmospheric Ozone Profiles over Qinghai-Tibetan Plateau	Guo Song Zhou Xiuji (85)
Chemical Characteristics of Individual Particles over Xianghe	Xu Li Fan Xiaobiao et al. (93)
Measurement of NMHC Emission from some Typical Trees in Fujian and Sichuan Area of China	Bai Yuhua Deng Dayue et al. (99)
Determination of NMHC Emitted from Deciduous Trees Using A Flow Through Chamber	Deng Dayue Bai Yuhua et al. (106)
Research on the Relationship between DMS Concentration and Marine Phytoplankton	Hu Min Fang Chen et al. (115)
Research on the Biogenic Production of Marine Dimethylsulfide	Jiang Lin Hu Min et al. (123)
Trace Gases Emitted during Biomass Burning in China	Zhuang Yahui Wang Xiaoke et al. (130)
Determination of Carbonyl Sulfide Fluxes from Soil	Cao Meiqiu Zhuang Yahui (135)
N_2O Emissions from Forest and Grassland Soils in Northern China	Liu Ye Mu Yujing et al. (142)
The Study of O_3 and Related Species in Autumn in Petrochemical Region of Beijing	Zeng Limin Zhang Yuanhang et al. (150)

Estimation of Emissions of CH ₄ and N ₂ O per 1°×1° Grid Square in China In 1992	...	Bai Naibin et al. (161)
Photodissociation Mechanism of Ketones at 193nm	.....	Li Hongzhi Li Qiang et al. (167)
The Sticking Coefficients of Ozone on Ice and Doped-ice Surfaces	.....	Mu YuJing Liu Ye et al. (174)
The Relationship between Velocities and the Sticking Coefficients of CHCl ₃ , CCl ₄ , CFC-122 and HCFC-22 on PURALOX	.....	Mu YuJing Liu Ye et al. (181)
A Tentative Study of Isoprene-O ₃ Reaction System	.....	Li Shuang Chen Zhongming et al. (188)
The Study of Atmospheric Environment of CFC Refrigerant Substitutes	.....	Chen Zhongming Shao Kesheng et al. (196)
Kinetics for the Reaction of Hydroxyl Radicals with CH ₃ Br and CH ₂ Br ₂ and Their Atmospheric Lifetime	.....	Zhang Deqiang Zhong Jinxian (202)
Calculations of Ozone Depletion Potentials of Brominated Alkanes	.....	Zhong Jinxian Zhang Deqiang (206)
The Behavior of Atmospheric Trace Gases and Ozone as Examined by a Two- Dimensional Model	.....	Fan Xiaobiao Shi Guangyu (214)
Numerical Modeling of Production and Evolution of Atmospheric Aerosols in the Remote Marine Boundary Layer	.....	Zhao Chunsheng Qin Yu (224)
A Numerical Study on Variation and Transport of Tropospheric Ozone in China—Si- mulated Regional Meteorological Field(1)	.....	Wang Xihong Li Xingsheng (234)
A Numerical Study on Variation and Transport of Tropospheric Ozone in China —Simulated Regional Chemical Field(2)	.....	Wang Xihong Li Xingsheng (244)
Development of the 2-D Coupled Stratospheric-Tropospheric Dynamical-Radiative- Chemical Model Ⅲ. Budget of Ozone in Troposphere	.....	Liu Yu LI Weiliang (256)
Analysis of the Seasonal Variation Feature of the Wind Structure over Tibetan Plateau and Its Surroundings	.....	Bian Jianchun Li Weiliang et al. (273)
Numerical Simulation of the Formation of Ozone Valley over Tibetan Plateau in Summer	.....	Fu Chao Li Weiliang et al. (285)
The Research of Predicting the Globally Averaged Total Column Ozone	.....	Ren Chuansen Zhou Xiuji et al. (291)
Study on the Trends of Ozone Variations in China	.....	Shi Jiuen Zhou Xiuji et al. (298)
The Quasi-Biennial Oscillation in Changes of Ozone over the Globe	.....	Ren Fumin Wang meihua et al. (306)
The low Frequency Features of Ozone variations in Tibet	.....	Wang meihua Ren Fumin et al. (311)
The Potential Effects and Protective Strategies of O ₃ Concentration Change on Chinese Agriculture	.....	Wang Chunyi Guan Fulai (317)
Effects of Enhanced Ultraviolet Radiation on Agricultural Production in China and Its Countermeasures	.....	Zheng Youfei Wang Chunyi (324)

我国东北地区 大气本底条件下地面臭氧与气象条件研究

丁国安 徐晓斌 向荣彪 李兴生

(中国气象科学研究院,北京,1000081)

张忠华

(龙凤山大气本底站,黑龙江省五常市,150259)

摘 要

1994年8月13日~1995年7月30日,在黑龙江省的龙凤山本底站进行了为期一年的臭氧及其前体物的综合观测。本文分析了这一年地面臭氧(O_3)和气象条件的关系。观测结果表明,夏秋季晴天地面 O_3 日变化呈双峰型,日振幅 $27\sim 28\text{ppb}$ ^①。阴天仍可看出日变化,但日振幅较小(14ppb)。雨天 O_3 日变化不规则。秋冬和夏季08时随地面风速增大($0.0\sim 6.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),地面 O_3 浓度也相应增加。各季有较多时次当测站吹S、SSW、SW和WSW风时,地面 O_3 浓度较高。冬春和秋季晴天08和14时随着总辐射增加,地面 O_3 浓度也相应加大。夏季晴天 O_3 峰值段大于冬季峰值段 20ppb 以上,夏季总辐射峰值段几乎是冬季峰值段的两倍。秋季五个晴天龙凤山本底站平均地面 O_3 浓度与经度相似,但纬度较低的临安本底站平均地面 O_3 浓度平均低 14ppb ,这主要是因为两地纬度不同而造成的总辐射差异(峰值差约 $100\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)所引起的。

关键词:地面 O_3 浓度 气象条件

一、前 言

从1994年8月13日起,在黑龙江五常市龙凤山大气本底站进行了为期一年的臭氧及其前体物的综合观测。观测项目包括地面臭氧、臭氧总量、 NO_x 、 SO_2 、 CO_2 、甲烷、CO、NMHC、气溶胶、太阳辐射和气象因素等。其中地面 O_3 、臭氧总量、 NO_x 、 SO_2 、太阳辐射(可见光、红外和紫外)项目利用仪器连续观测。所使用的仪器分别为:美国TE公司的Model 49 O_3 仪(地面 O_3)、Model 43S SO_2 仪、Model 42S NO_x 仪以及美国APPLEY公司的高精度分光光度计(295、395和695nm),加拿大BREWER O_3 仪(O_3 总量)。所有观测仪器在进入现场前都进行了标定,观测过程中还对地面 O_3 仪进行了标定。龙凤山本底站是我国气象部门仅有的三个区域大气背景浓度观测站之一,属于WMO全球大气监测网(GAW)。观测站远离五常市区(50km),邻近水库,地处张广才岭余脉的小山顶上,小山遍布松树林,山下是大片稻田,四周没有大的局地污染源。本文分析了这一年地面 O_3 和气象条件的关系。

^① ppb表示某成分(此处为 O_3)的体积分数为 10^{-9} ,全文同。

二、结果分析

1. 不同天气条件下地面 O_3

分别统计了秋季龙凤山晴、阴、雨天地面 O_3 各小时平均,其参加统计天数分别为 23、10 和 13 天。因为缺少典型多云天气,所以此处未列入。秋季晴天地面 O_3 浓度日变化为典型的双峰型,6 时(北京时)左右为最低值(28.9ppb),日出后浓度逐渐增加,下午约 5 时达到最高值(56.1ppb),而后逐渐降低直到子夜,在凌晨前一个很小的峰值出现后又下降,直到日出,其日振幅为 27.2ppb,地面 O_3 浓度最高值几乎为最低值的两倍。阴天的日变化虽远不如晴天规则,但仍可以看出有一定日变化及双峰型,最低值出现时间较晴天推迟 1~2h,最低值为 24.1ppb,最高值(38ppb)出现时间提前 2h,而后不规则地下降直到第二天日出。阴天的日较差(13.9ppb) 仅约为晴天的 1/2。雨天地面 O_3 日较差最小(7.6ppb),日变化极不规则,这和降雨出现时间以及降雨强度有一定的关系(图 1)。11 时之前,阴天地面 O_3 浓度甚至低于雨天,这可能与雨天各次降雨时间及强度不同以及参加统计的天数较少有关。

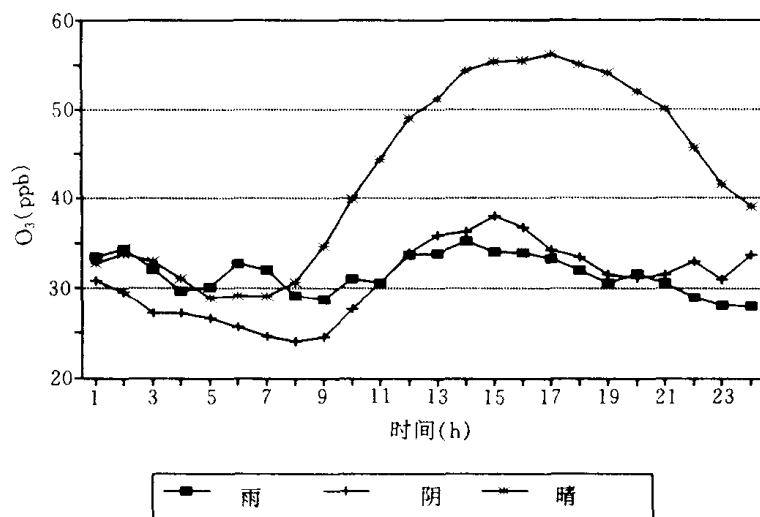


图 1 龙凤山本底站秋季不同天气条件下,地面 O_3 浓度
(1994 年 9~11 月)

对于其它季节晴天而言(见图 2),夏季也出现双峰型日变化,其日振幅(28.7ppb)略高于秋季。冬春季看不出明显的双峰特征,冬季的日振幅最小(仅为 9.7ppb),春季的日振幅居中(17.2ppb)。从日变化来看夏季午后的 O_3 浓度反而略低于秋季,这可能与秋季的 NO_x 较高有关。阴天虽然日振幅较小些,但其它季节仍可以看出日变化,其夏、冬和春季最大日振幅分别为 16.3ppb、8.8ppb 和 6.9ppb。其它季节有明显降水(包括降雨和降雪)天气,地面 O_3 平均日变化和秋季一样也不规则,其日变化差值大约在 7ppb~10ppb。

降水对地面 O_3 的影响是十分明显的,而且能够迅速地在地面 O_3 浓度反映出来。1995 年 5 月 9 日 7~20 时出现连续性降水,雨量为 10.3mm,此前地面 O_3 浓度都在 50ppb 以上,7 时之后反而逐渐下降。1994 年 9 月 19 日 1~14 时连续性降水雨量为 8.0mm,这一天的各小时 O_3 浓度比秋季有雨天气 O_3 平均日变化中对应各小时浓度要低约 10ppb(见表 1)。我们在庐山也曾观测到过此类现象^[1]。

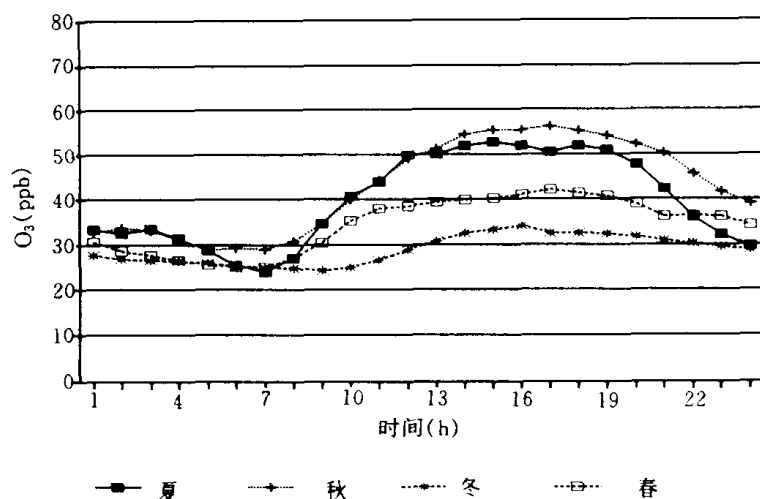


图2 龙凤山本底站不同季节晴天地面 O_3 平均日变化
(1994年8月~1995年7月)

表1 龙凤山典型雨日地面 O_3 浓度变化(1994年8月~1995年7月)

时 间	0时	1时	2时	3时	4时	5时	6时	7时	8时	9时	10时	11时
1995年5月9日	46.5	52.0	51.8	53.5	54.8	54.2	51.2	50.1	41.6	40.4	36.0	35.7
1994年9月19日	34.3	35.9	21.8	18.9	23.3	26.3	30.6	24.9	20.7	19.8	23.7	25.0
1994年秋季(雨天平均)	33.5	34.3	32.1	29.7	30.1	32.7	32.0	29.2	28.8	31.1	30.6	33.7
时 间	12时	13时	14时	15时	16时	17时	18时	19时	20时	21时	22时	23时
1995年5月9日	35.9	37.3	39.8	39.4	30.0	26.7	24.8	24.9	23.7	22.0	23.5	24.4
1994年9月19日	24.8	26.5	28.6	25.1	24.3	22.0	18.7	21.7	17.5	19.1	18.6	17.0
1994年秋季(雨天平均)	33.9	35.2	34.1	34.0	33.3	32.0	30.6	31.7	30.6	29.0		

2. 风

(1) 风速

统计了各季 01、08、14 和 19 时四个时次的不同风速组相应的平均地面 O_3 浓度(见表 2), 有较多的时次随着风速的增加相应地面 O_3 浓度呈增加的趋势。秋季以 08 时最为典型, 从 $0.1 \sim 1.0$ 到 $5.1 \sim 6.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 风速组, 风速平均每增加 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, O_3 浓度增加约 2.7ppb。14 时大致也出现过类似的现象。对于 01 和 19 时随着风速的变化 O_3 浓度变化较小, 其从 $1.1 \sim 2.0$ 到 $5.1 \sim 6.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 风速组, 风速每增加 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 地面 O_3 浓度分别增加约 1.6ppb 和 1.0ppb。对于冬季而言, 01 时的风速和 O_3 似乎有相反的关系, 其它时次风速和地面 O_3 关系不明显。春季 08 时风速增加, 地面 O_3 浓度相应也增加。从 $0.1 \sim 1.0$ 到 $5.1 \sim 6.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 风速组, 风速每增加 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 地面 O_3 浓度增加约 2ppb。01 时除 $0.1 \sim 1.0$ 和 $1.1 \sim 2.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 两组外, 从 $2.1 \sim 3.0$ 到 $5.1 \sim 6.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 风速每增加 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, O_3 浓度增加约 5ppb。14 和 19 时风速和地面 O_3 关系不甚明显。夏季 08 时, 风速和地面 O_3 呈一致的变化关系。从 $0.1 \sim 1.0$ 到 $5.1 \sim 6.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 风速每增加 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 地面 O_3 增加约 3.8ppb。01 时变化较小, 风速每增加 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 地面 O_3 增加约 1.8ppb。14 和 19 时变化虽不太规则, 但在高风速时也出现高的 O_3 浓度, 如 14 时 $5.1 \sim 6.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 风速组所对应 60.9ppb 地面 O_3 值。19 时 $4.1 \sim 5.0$ 和 $5.1 \sim 6.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 风速

组分别对应 50.2ppb 和 51.8ppb 地面 O₃ 值。

表 2 龙凤山不同季节和时次地面风速组及相应的地面 O₃ 平均浓度(ppb)
(1994 年 8 月~1995 年 7 月)

季节	时间	风 速 (m · s ⁻¹)									
		0.1~1.0	1.1~2.0	2.1~3.0	3.1~4.0	4.1~5.0	5.1~6.0	6.1~7.0	7.1~8.0	8.1~9.0	
秋	01:00	O ₃	36.1	30.6	30.7	33.4	35.9	37.0	47.9	57.2	61.3
		个例数	7	10	21	17	13	4	2	3	1
	08:00	O ₃	25.1	28.8	28.4	35.3	38.9	38.9	53.3	71.9	
		个例数	5	10	25	14	12	2	2	3	
	14:00	O ₃	38.8	44.9	49.4	43.7	52.7	49.7	44.5	59.6	62.1
		个例数	4	13	18	13	10	7	4	3	2
	19:00	O ₃	46.1	43.8	41.1	49.0	43.1	47.9	57.0	68.8	
		个例数	4	20	12	15	14	3	3	2	
	日 均	O ₃	—	32.1	37.4	43.5	48.2	54.0	57.4		
		个例数		32	17	13	6	2	2		
冬	01:00	O ₃	30.7	30.8	28.4	27.0	26.6	28.9	20.7		
		个例数	3	7	16	21	17	1	2		
	08:00	O ₃	30.4	26.4	22.8	26.1	23.5	25.8	24.4	39.2	
		个例数	4	17	11	17	11	5	2	1	
	14:00	O ₃	36.1	33.4	34.7	34.0	34.3	36.3	34.0	27.0	32.2
		个例数	1	14	19	11	10	3	3	2	2
	19:00	O ₃	35.5	32.6	33.2	30.2	32.5	32.3			
		个例数	4	6	16	21	12	5			
	01:00	O ₃	39.6	32.8	31.3	31.6	34.7	46.5	37.2		
		个例数	3	10	20	23	16	5	2		
春	08:00	O ₃	27.5	30.7	31.4	33.0	37.5	37.7	32.4	40.4	
		个例数	14	16	14	16	7	11	2	4	
	14:00	O ₃	39.9	43.6	36.8	42.5	46.7	39.9	39.9	41.5	57.5
		个例数	6	10	12	15	10	9	14	4	
	19:00	O ₃		43.6	38.0	39.0	35.8	41.3	42.6		
		个例数		18	22	17	10	12	4		
	01:00	O ₃	23.5	21.0	23.7	28.8					
		个例数	2	9	19	10					
	08:00	O ₃	25.3	30.2	27.6	30.7	38.5	44.4			
		个例数	19	13	11	5	5	2			
夏	14:00	O ₃	41.5	41.1	39.0	40.0	36.3	60.9			
		个例数	6	13	20	10	3	3			
	19:00	O ₃	32.9	36.3	38.0	33.9	50.2	51.8			
		个例数	3	14	19	14	2	2			
	01:00	O ₃									
		个例数									

我们还比较了秋天日平均风速和地面 O₃ 日平均浓度的关系(图 3),可以看出不少日平均风速峰值对应于地面 O₃ 日平均浓度的峰值。特别在儒略日的 290~310 天期间,出现三次日平均风速值 > 6m · s⁻¹ 的风速峰值(这也是秋季唯一的三个峰值),它们正好对应于三个地面 O₃ 日平均最高值。

(2) 风向

在分析中不考虑出现次数 < 3 的风向。秋季 01 时主要是 S、SSW 和 SW 三个风向 O₃ 浓度较高(分别为 40.7ppb、43.0ppb 和 43.5ppb)。08 时主要是 SSW 和 WSW 方向 O₃ 浓度(49.3ppb 和 46.0ppb)较高。而 14 和 19 时则看不出那一个风向下地面 O₃ 浓度有明显的偏高趋势。夏季 01 时 SSW 风 O₃ 浓度较其它风向高(38.4ppb),08 时以 S、WSW 和 N 风向 O₃ 浓度较

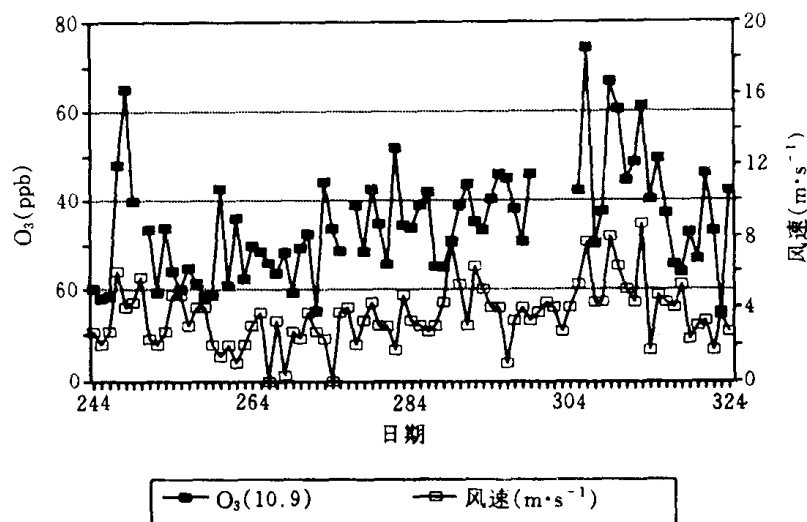


图3 龙凤山本底站日平均风速和地面 O_3 日平均浓度
(1995年9~11月)

高,分别为 38.7、42.3 和 42.1ppb。14 时 SSW、SW 和 WSW 及 SE 风向下的地面 O_3 浓度较高 (48.6ppb、53.4ppb、58.3ppb 和 50.6ppb)。19 时 SW 和 WSW 风向下地面 O_3 浓度较高 (45.8ppb 和 42.8ppb)。春季 01 时 SSW 风向地面 O_3 浓度较高 (39.4ppb)。14 时除了 S、SSW、SW 和 WSW 风向出现较高值之外,NE 和 SSE 风向地面 O_3 浓度也较高。08 和 19 时看不出哪一风向下有明显较高的 O_3 浓度。冬季均未发现风向与地面 O_3 有明显的关系(见表 3)。

综上所述,观测期间于龙凤山南和偏西南方向对龙凤山本底站有某种地面 O_3 输送机制。哈尔滨(距离约 250km)位于龙凤山本底站的 NW 方向,然而该方向并未见地面 O_3 高浓度值出现。显而易见其对龙凤山观测站地面 O_3 浓度没有很大影响。由此可以推论,在龙凤山南和偏西南方向可能有输送的影响。

3. 总辐射

按照 $100W \cdot m^{-2}$ 间隔,统计晴天和多云天气不同总辐射强度间隔相应的平均 O_3 浓度。分别按照两种类型进行分析:08 和 14 时 O_3 对应于同一时间的辐射强度;10 和 16 时的 O_3 分别对应于 8 和 14 时的辐射强度。秋季 08 时的 O_3 浓度随着总辐射强度的增加,总的趋势是增加的,大约每增加 $100W \cdot m^{-2}$,平均 O_3 浓度增加约 1ppb。10 时的 O_3 浓度随着总辐射的增加比 08 时规则,而且增加的幅度稍大些(总辐射每增加 $100W \cdot m^{-2}$, O_3 浓度约增加 2.5ppb)。14 和 16 时辐射强度和 O_3 的关系除去 $100 \sim 200W \cdot m^{-2}$ 这一组可能因为参加统计的个例数较少外(各为 5 个),大约总辐射每增加 $100W \cdot m^{-2}$,平均 O_3 浓度增加 2ppb 以上。而且 16 时的平均 O_3 浓度和 14 时总辐射的关系比 14 时平均 O_3 浓度和 14 时总辐射关系更加规则(图 4)。

冬季各时次 O_3 和总辐射之间的关系比秋季更加明显也更加规则。总辐射大约每增加 $100W \cdot m^{-2}$,相应 08 时平均 O_3 浓度增加 3.6ppb,10 时平均 O_3 浓度增加 3.2ppb。14 时辐射大约每增加 $100W \cdot m^{-2}$,相应 14 时平均 O_3 浓度增加 2.8ppb,相应的 16 时平均 O_3 浓度增加 3.5ppb。春季地面 O_3 和总辐射之间的关系大致与冬季相同,除 16 时 $601 \sim 700W \cdot m^{-2}$ 这一组外,随着总辐射的增加,地面 O_3 也呈增加趋势。08 时总辐射每增加 $100W \cdot m^{-2}$,相应 08 时地面 O_3 浓度增加 3.1ppb,10 时平均 O_3 浓度增加 2.9ppb。14 时总辐射每增加 $100W \cdot m^{-2}$,相应 14 时平均 O_3 浓度增加 1.6ppb,16 时平均 O_3 浓度增加 2.1ppb。夏季由于晴天很少,没有足够

的资料可以统计。

表 3 龙凤山本底站不同季节和时次不同风向下平均地面 O₃ 浓度(ppb)

(1994 年 8 月~1995 年 7 月)

季节	时间	风 向																	
			N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	WSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
秋	01:00	O ₃	38.9	23.5	31.8	—	40.1	28.3	23.4	27.1	40.7	43.0	43.5	26.4	36.3	30.3	34.2	27.4	32.0
		个例数	1	1	1		2	1	5	15	25	2	7	3	6	1	2	2	3
	08:00	O ₃	15.9	25.9	—	—	26.9	—	28.4	30.9	37.6	49.3	32.6	46.0	29.7	28.3	35.5		
		个例数	3	1			1	10	12	24	7	6	3	3	2	1			
	14:00	O ₃	49.5	63.8	32.9	63.1	60.4	47.8	50.3	57.4	48.7	50.1	52.8	48.2	43.0	50.4	38.4	47.7	
		个例数	5	1	2	1	1	1	1	1	15	5	11	2	7	9	8	6	
	19:00	O ₃	51.3	51.7	44.1	47.4	47.5	—	33.0	45.0	47.2	49.5	46.4	38.1	44.8	56.9	44.1	31.7	
		个例数	4	2	6	2	1		3	4	19	4	12	2	6	1	7	3	
冬	01:00	O ₃	31.9	—	—	—	32.8	32.4	—	32.6	28.5	27.5	25.1	25.8	22.9	26.6	29.0	—	—
		个例数	5				1	1		3	22	6	15	4	5	4	1		
	08:00	O ₃	—	—	—	—	33.9	31.0	27.6	27.7	26.8	25.7	21.3	29.2	20.1	27.8	27.5	—	—
		个例数					1	1	4	5	22	7	16	2	5	3	1		
	14:00	O ₃	31.3	33.6	—	—	—	—	—	36.4	31.7	31.8	33.3	41.1	34.8	32.3	37.6	35.4	—
		个例数	9	1						1	10	7	16	2	8	4	7	7	
	19:00	O ₃	33.3	32.7	—	34.5	—	—	34.1	32.5	31.4	27.1	32.0	33.3	30.4	37.1	34.4	27.6	41.7
		个例数	4	2		1			2	1	17	5	11	5	10	1	5	1	2
春	01:00	O ₃	24.9	30.7	32.2	32.7	41.1	36.3	36.8	35.2	35.1	39.4	30.3	30.6	27.8	—	31.3	28.1	44.7
		个例数	3	1	2	1	1	3	1	11	21	14	7	3	6	4	3	1	
	08:00	O ₃	24.9	—	31.6	—	—	36.7	32.2	35.4	37.2	34.3	32.8	28.5	28.0	35.4	24.1	29.1	19.6
		个例数	3		3			3	7	7	24	14	11	5	1	1	5	2	1
	14:00	O ₃	37.2	36.1	51.1	—	—	—	—	47.2	45.0	43.2	45.6	48.6	39.9	38.9	36.2	36.7	—
		个例数	7	3	2					5	10	16	5	2	8	5	7	7	
	19:00	O ₃	—	—	39.9	—	48.4	48.4	42.4	44.4	43.5	41.3	37.9	38.0	32.2	40.3	36.0	34.7	—
		个例数			4		2	1	3	1	19	9	7	5	6	7	11	9	
夏	01:00	O ₃	24.1	25.0	11.4	—	26.3	23.4	27.4	19.1	25.0	38.4	22.7	—	—	13.2	—	17.7	—
		个例数	1	1	2		1	1	4	11	11	5	1			1		1	
	08:00	O ₃	42.1	—	20.5	22.6	13.1	27.2	23.5	29.3	38.7	33.0	22.0	42.3	17.9	—	27.5	31.9	36.5
		个例数	2		5	2	1	1	13	8	13	8	1	1	1		1	1	2
	14:00	O ₃	40.0	39.0	29.2	23.3	41.6	39.3	50.6	—	39.1	48.6	53.4	58.3	40.6	—	31.4	37.5	—
		个例数	9	3	3	1	4	1	7		11	6	4	2	6		3	2	
	19:00	O ₃	31.9	—	26.9	40.8	33.9	—	35.3	30.9	38.6	38.3	45.8	42.8	36.0	39.8	32.8	35.1	22.1
		个例数	3		3	2	1		3	2	15	4	7	2	1	2	5	7	1

以上分析可以看出：①同一辐射强度的 O₃ 浓度午后比上午 08 时大约高 20ppb 以上，这可能与不同时间光化学反应速率有关，午后湍流加强，有利于光化学反应速率的增加。②延后 2h 平均 O₃ 浓度和辐射强度的关系优于同时间 O₃ 浓度和辐射强度的关系，看来光化学反应有一个滞后效应。地面 O₃ 浓度与红外辐射及紫外辐射的关系与以上分析的总辐射情况大致相同。

辐射和 O₃ 的关系也可以从季节的差异看出。图 5 分别列出晴天夏季和冬季的地面 O₃ 各小时平均值以及相应的辐射小时平均值。可以看出夏季地面 O₃ 的峰值段大约在 50ppb 以上，冬季地面 O₃ 的峰值段仅为 30ppb 以上，两个峰值段几乎相差 20ppb。对应地面总辐射夏季峰值段在 800W·m⁻²，而冬季总辐射峰值段仅为 400~450W·m⁻²，二者相差约一倍。

我们将龙凤山本底站和环境条件相同、经度相似的浙江临安本底站分别选择秋季五个相

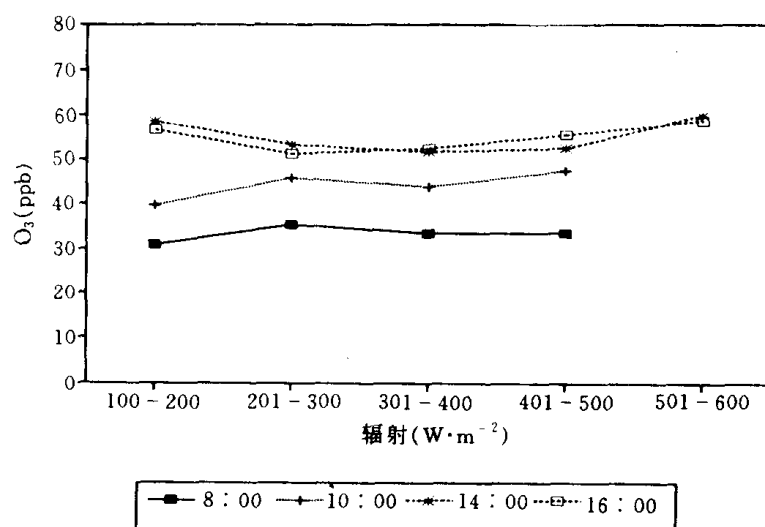


图4 龙凤山本底站不同时间地面 O_3 浓度与总辐射强度
1994 年 9~11 月

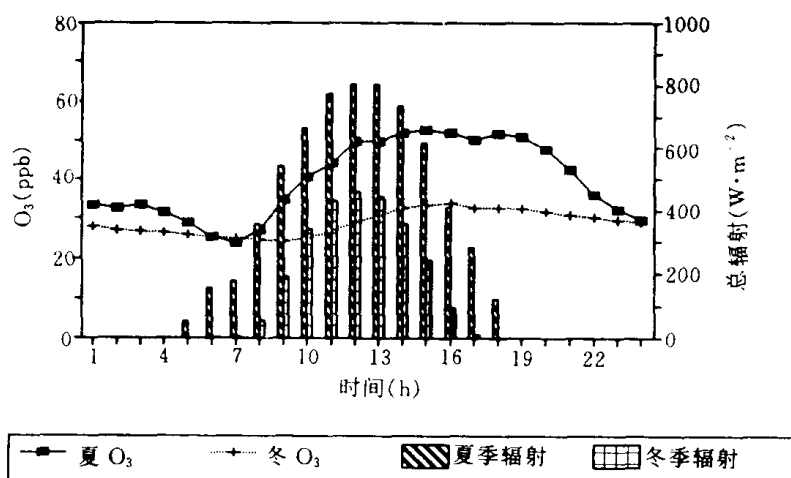


图5 龙凤山本底站夏季和冬季平均地面 O_3 日变化和总辐射日变化
(1994 年 8 月~1995 年 7 月)

同晴天 O_3 浓度小时平均进行比较(图 6), 二者的日变化趋势十分接近。所不同的是除 08 时外, 临安本底站所有时间的 O_3 平均浓度都高于龙凤山, 而且绝大多数差值在 6~24ppb。日出后这个差值较小, 10 时之后二者之间差值逐渐增大, 最大差值 24ppb 出现在 15 时, 两者地面 O_3 浓度差值的平均值为 11ppb。这种差异的主要原因之一在于两者纬度的明显不同(龙凤山 $44^{\circ}44'N$ 、临安 $30^{\circ}18'N$)所引起的总辐射差异: 上午两个站的总辐射差异并不大, 然而从 10 时开始逐渐增大, 其最大值出现在 12 时($94W \cdot m^{-2}$), 而后逐渐减少, 直到日末。

4. 温度和日照

用不同的日平均温度统计相应的日平均 O_3 浓度, 看不出有规则地变化。不同的日照时间和相应的日平均 O_3 浓度也看不出有规则的变化。

5. 相关分析

表 4 列出了各季度日平均 O_3 浓度和风速、温度、 SO_2 和 NO_x 日均值以及总辐射和日照时间日累计值之间的相关系数。由于样品多少不同, 为便于比较我们分别列出了 40、60、70 和 90 个样品置信度为 0.01 的临界相关系数。日平均地面 O_3 和日平均风速以及日平均 SO_2 除冬季

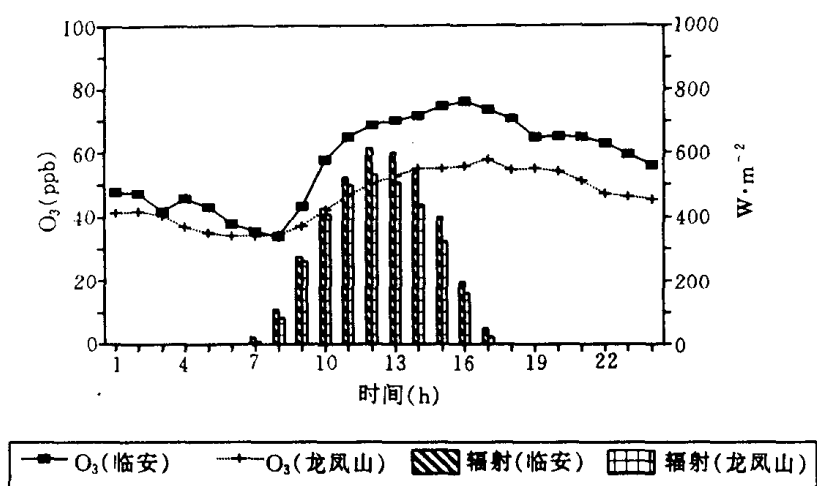


图6 南北测点O₃日变化比较(1994年9~11月)

外,各季呈明显正相关,这种相关性尤以秋季最为明显。冬春季地面O₃日平均值和辐射日累计值相关略微明显,春季地面O₃日平均值和温度日均值相关比较明显。由此可见,除了风速以及SO₂日均值,其它要素和地面O₃日均值基本相关不甚显著(个别季节除外)。这说明,分析地面O₃浓度和气象要素的关系时仅用日均值是不够的,还应做更细致的分析研究。

表4 O₃和其它要素相关系数

季节	SO ₂	NO _x	G	V	S	T	
春	相关系数	0.333	-0.159	0.312	0.339	0.201	0.584
	样品个数	90	90	90	90	90	90
夏	相关系数	0.474	0.334	0.135	0.392	0.326	0.355
	样品个数	60	60	60	60	60	60
秋	相关系数	0.748	-0.079	0.153	0.618	0.335	-0.029
	样品个数	72	44	72	72	72	72
冬	相关系数	-0.183	-0.132	0.461	-0.308	0.222	0.303
	样品个数	69	69	69	69	69	69
G:总辐射(MJ·m⁻²) V:风速(m·s⁻¹) S:日照时间(h) T:温度(°C)							
f=90			a=0.01	P=0.2673			
f=70			a=0.01	P=0.3017			
f=60			a=0.01	P=0.3248			
f=40			a=0.01	P=0.3932			

注:f=样品个数;a=置信度;P临界相关系数。

三、结 论

(1)夏秋季晴天地面O₃呈双峰型日变化,日振幅27~28ppb,阴天仍可看出地面O₃的日变化,但日振幅较小(秋季约14ppb),雨天地面O₃变化不规则,日变化差值7~10ppb,这与降雨时间和强度有一定的关系。

(2)秋季08和14时,春季01和08时,夏季01和08时,随着地面风速的增加,地面O₃浓度相应增大。风速>7.0m·s⁻¹时,地面O₃浓度有较大的增加。