

珠江三角洲风场对空气质量的影响*

张人文^{1,2}, 范绍佳¹

(1. 中山大学环境科学与工程学院大气科学系, 广东 广州 510275;
2. 民航中南空管局气象中心, 广东 广州 510405)

摘要: 利用2006-2008年珠江三角洲11个地面气象站逐日14:00风场资料与粤港珠三角区域空气监控网11个监测子站的区域空气质量指数(RAQI)数据, 分析研究风场对空气质量的影响。结果表明: 珠江三角洲无论干湿季, 北部、东部空气质量比南部、西部好, 中部是空气质量较差的地区。区域污染输送对珠江三角洲空气质量有重要影响: 区域平均风速大于2.6 m/s时不会出现区域性空气污染, 区域平均风速大于3.2 m/s时空气非常清洁; 区域平均风速小于1.8 m/s时区域空气污染严重; 风速介于1.8~2.6 m/s时空气质量变化比较复杂。

关键词: 空气质量; 影响; 风场; 污染输送; 珠江三角洲

中图分类号: P49 文献标志码: A 文章编号: 0529-6579(2011)06-0130-05

Study of the Influence of Wind Field on Air Quality over the Pearl River Delta

ZHANG Renwen^{1,2}, FAN Shaojia¹

(1. Department of Atmospheric Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;
2. Meteorological Center, Air Traffic Administration of Mid-Southern China, Guangzhou 510405, China)

Abstract: Using daily data of wind speed and wind direction recorded at 14:00 during 2006-2008 at 11 surface weather stations of the Pearl River Delta (PRD) and daily data of Regional Air Quality Index (RAQI) from 11 monitoring stations of the Hong Kong and Guangdong Pearl River Delta Air Quality Monitoring Network, the influence of wind field on air quality over the PRD were studied. Both in dry and wet seasons, the air quality of northern and eastern regions is better than that of southern and western regions of the PRD, and the air quality of central areas of the PRD is the worst. Regional transport has a great impact on the air quality of the PRD. When the regional mean wind speed (RMVS) is greater than 2.6 m/s, the air quality of the PRD is good. When RMVS is greater than 3.2 m/s, the air of PRD is very clean. When RMVS is less than 1.8 m/s, the air pollution of the PRD is serious. When RMVS is between 1.8 m/s and 2.6 m/s, the air quality of the PRD shows a complex change.

Key words: air quality; wind; influence; regional transport; Pearl River Delta

珠江三角洲是我国三大城市群之一, 近年区域性、复合型空气污染特征显著, 能见度变差趋势明显^[1-2], 个别城市灰霾天数甚至超过200 d^[3-4]。

研究表明空气质量主要取决于污染源排放和气象条件, 在污染源排放相对稳定的条件下, 气象条

件对空气质量变化起主导作用^[5]。气象条件受地理位置、季节、大尺度天气背景与层结稳定度控制, 还受城市、山区、海陆等不同下垫面局地边界层结构的影响^[6]。

风场是影响空气质量的主要气象条件之一。风

* 收稿日期: 2011-02-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40875007, 90715031); 国家863计划资助项目(2006AA06A306)

作者简介: 张人文(1988年生), 女, 硕士研究生; 通讯作者: 范绍佳; E-mail: eesfsj@mail.sysu.edu.cn

速对污染物有水平搬运和稀释冲淡作用，风向使污染物总是分布在污染源的下风向。一般风速越大，对污染物的扩散能力越强，污染物浓度越低；风速越小，污染物浓度越高，静风时污染最重。但另一方面，风速越大则烟气的抬升高度越低，反而会增加污染物的地面浓度，风速对空气质量的影响比较复杂^[6]。文献[7-10]研究表明区域和长距离污染物输送对空气质量有重要影响。Banta等^[11]研究发现局地风速小于2.5 m/s时高O₃污染事件才会发生，局地风速大于5 m/s时O₃浓度均较低。文献[12-13]研究表明中远距离输送对北京空气质量影响不小；文献[14-17]发现珠江三角洲城市间的污染相互作用显著，静小风过程对珠三角灰霾天气有重要影响。

目前对珠江三角洲风场与空气质量关系的研究，有少数利用实测资料研究个别城市风速对空气质量影响，主要集中在数值模拟研究，还没有人利用实测资料定量研究珠江三角洲区域风速与区域空气质量的关系^[14-21]。为此，本文收集利用2006-2008年珠江三角洲11个地面气象站逐日风场资料与粤港珠三角区域空气监控网11个监测子站的区域空气质量指数(RAQI)资料，定量分析研究珠江三角洲风场对空气质量的影响。

1 研究资料

选取2006-2008年珠江三角洲地区广州、深圳、珠海、中山、东莞、新会、惠阳、顺德、南海、三水、从化11个地面气象站逐日14:00的风向、风速，粤港珠三角区域空气监控网广州麓湖、深圳荔园、珠海唐家、中山紫马岭、东莞豪岗、江门东湖、惠州下铺、佛山顺德金桔咀、佛山惠景城、肇庆城中、从化天湖11个环境监测子站逐日的区域空气质量指数(RAQI)，站点分布见图1

区域空气质量指数RAQI是粤港珠三角区域空气监控网综合考虑二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)、臭氧(O₃)和可吸入颗粒物(PM₁₀)4种主要空气污染物浓度而得到的区域空气质量综合指标^[1]，RAQI越大则区域空气污染程度越高。一共分为5个等级，RAQI为3~4，表示该区域内污染物浓度普遍超过国家环境空气质量二级标准；RAQI大于4，表示该区域内空气污染物浓度已严重超标^[22]。本文定义RAQI大于3(即空气质量等级为四级或五级)的日为污染日。

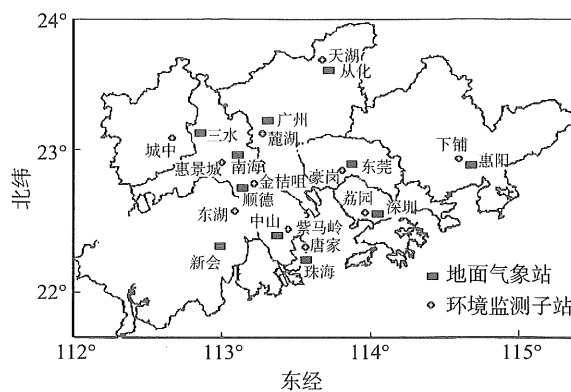


图1 地面气象站与环境监测子站位置分布图

Fig. 1 Spatial distribution of surface weather stations and environmental monitoring stations

2 结果与分析

2.1 珠江三角洲空气质量变化特征

图2给出2006-2008年珠江三角洲11个不同城市环境监测子站RAQI平均值。

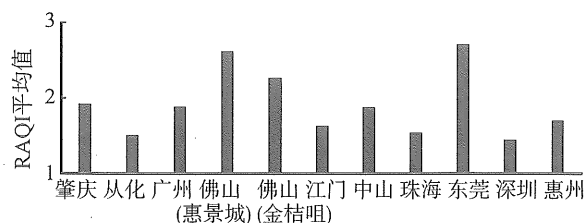


图2 2006-2008年珠江三角洲不同城市RAQI平均值

Fig. 2 Comparison of average RAQI in different cities over the Pearl River delta from 2006 to 2008

从图2可见，珠江三角洲不同城市空气质量状况存在较大差异。东莞RAQI平均值最高，从化RAQI平均值最低；珠江三角洲中部(东莞、佛山、广州)空气质量较差。

图3为2006-2008年珠江三角洲11个环境监测子站局地静小风时的空气质量等级及对应的区域平均风速。从图3可见，广州、佛山、东莞为局地静小风时，珠江三角洲区域平均风速也较小，空气质量较差，易出现五级严重污染现象；局地污染物排放较大地区，静小风时容易出现空气污染，局地污染物排放较小地区，静小风时不一定出现空气污染；当珠江三角洲区域平均风速达到一定时，由于污染物区域输送，污染物排放较少地区可能出现污染。如从化地区局地静小风时，在区域平均风速达3 m/s情况下，会出现空气质量为四级的污染状况。

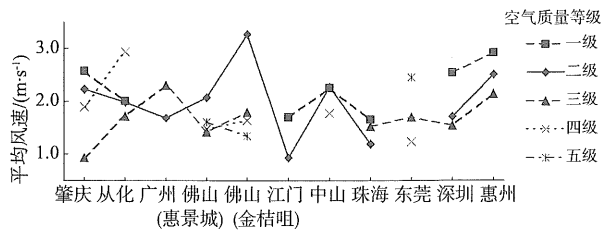


图 3 2006 - 2008 年珠江三角洲不同子站局地静小风空气质量等级及对应的区域平均风速

Fig. 3 Local RAQI grades with small or calm wind at different stations vs. regional average wind speed over the PRD from 2006 to 2008

珠江三角洲灰霾天气主要发生在干季 (10 - 3 月)^[23]。为分析珠江三角洲不同地区干、湿季空气质量变化, 图 4 给出 2006 - 2008 年珠江三角洲 11 个监测子站湿季 (4 - 9 月)、干季 (10 - 3 月) RAQI 平均值等值线图。

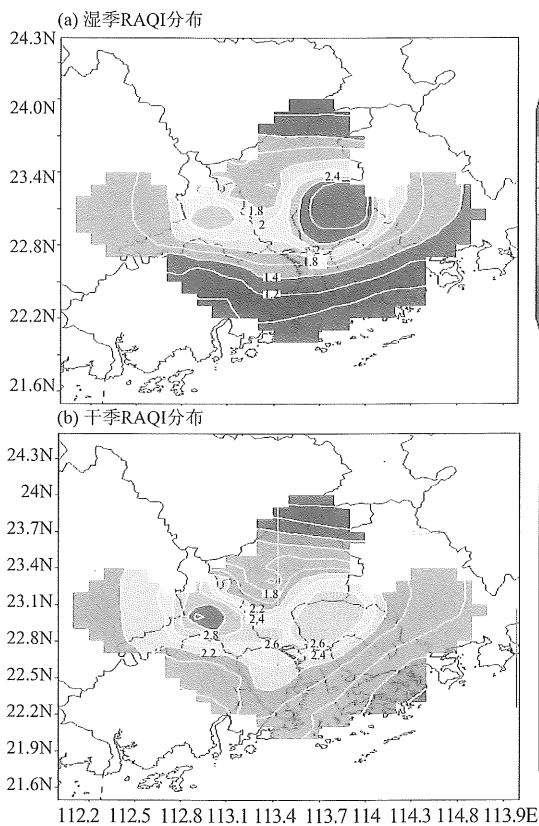


图 4 2006 - 2008 年珠江三角洲湿季、干季 RAQI 平均值等值线分布图

Fig. 4 Distribution of average RAQI in wet season and dry season over the PRD from 2006 to 2008

从图 4 可见, 无论干、湿季, 珠江三角洲不同地区空气质量的差异都较大。珠江三角洲北部、东部比南部、西部清洁, 中部是空气质量最差的地区。

2.2 风场对珠江三角洲空气质量影响

空气污染是一个区域性的环境问题, 城市空气污染影响一般可分为局地影响、城市间输送影响和远距离输送影响 3 类。

由表 1 结果可见, 不同风向下珠江三角洲不同监测子站出现污染日数有明显差异。东莞、佛山惠景城、佛山金桔咀子站在各风向下出现污染的日数都较多, 深圳、惠州子站不同风向下出现污染的日数都很少, 其余子站污染日主要出现在个别风向上: 肇庆、中山、江门 3 个子站偏北风时出现污染日数最多; 珠海偏东风时出现污染日数最多; 从化和广州偏南风时出现污染日数最多。这明显与珠江三角洲地区冬半年主导风向为东北风、夏半年主导风向为东南风有关, 下游地区易受上游和中部地区污染物输送影响。

表 1 2006 - 2008 年不同风向下珠江三角洲不同监测子站污染日数

Table 1 Numbers of pollution days at different monitoring stations controlled by different wind directions over PRD

风向	北部		西部		南部		中部		东部		
	从化	江门	肇庆	中山	珠海	广州	东莞	惠景城	金桔咀	惠州	深圳
N	0	10	29	22	0	1	24	23	22	5	1
NNE	0	10	22	23	1	3	20	32	9	10	1
NE	0	11	15	26	5	1	19	29	22	1	3
ENE	1	9	16	14	9	5	29	10	20	0	1
E	0	9	4	4	12	2	20	20	28	1	2
ESE	3	4	4	2	13	8	14	13	9	0	0
SE	0	2	16	1	3	10	17	33	17	2	0
SSE	5	5	4	0	1	10	9	12	15	0	0
S	1	0	3	0	0	8	15	15	10	1	0
SSW	6	0	2	0	0	5	32	18	2	0	0
SW	5	0	0	0	0	2	14	10	3	1	5
WSW	1	0	1	1	0	3	6	9	0	1	0
W	3	1	2	2	0	8	6	7	8	2	1
WNW	1	0	0	3	0	1	19	9	9	2	2
NW	2	0	2	8	1	5	8	23	15	2	1
NNW	1	2	9	20	0	3	18	27	21	1	1
静风	2	0	1	1	0	0	2	7	4	0	0
合计	31	63	130	127	45	75	272	297	214	29	18

图 5 给出珠江三角洲空气质量为优、中、差 3 个代表子站从化、中山、佛山惠景城不同空气质量等级时的风向及平均风速。从图 5 可见, 风场对不同子站空气质量影响很大, 从化出现五级污染主要集中在 SSE 与 SW 两个风向上, 中山出现五级污染集中在偏北的几个风向上, 而佛山惠景城除 SW 方向外其余风向都出现五级空气污染。这与从化、中山、佛山惠景城的地理位置不同有明显关系, 佛山

惠景城位于珠江三角洲核心区，处于污染下风向。

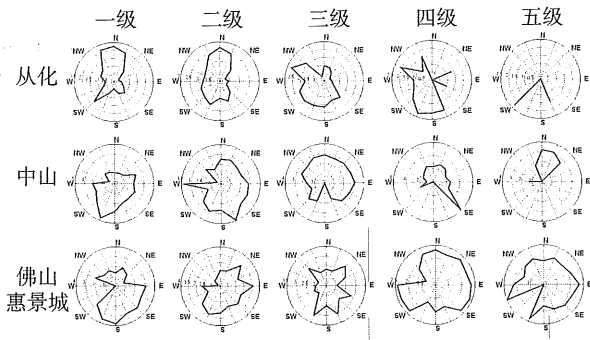


图 5 2006 - 2008 年从化、中山、佛山惠景城不同空气质量等级时的风向及平均风速
 Fig. 5 Directions and wind speed of Conghua, Zhongshan, Hui Jing City of Foshan on different RAQI grads

从图 6 可明显看出，从化偏南风出现污染时，其南部地区均为偏南风，风速矢量平均值较大，使从化以南珠江三角洲地区的污染物输送至从化，导致从化地区出现污染；中山偏北风出现污染时，其北部地区均为偏北风，使中山以北地区污染物输送至中山，导致中山地区空气污染。

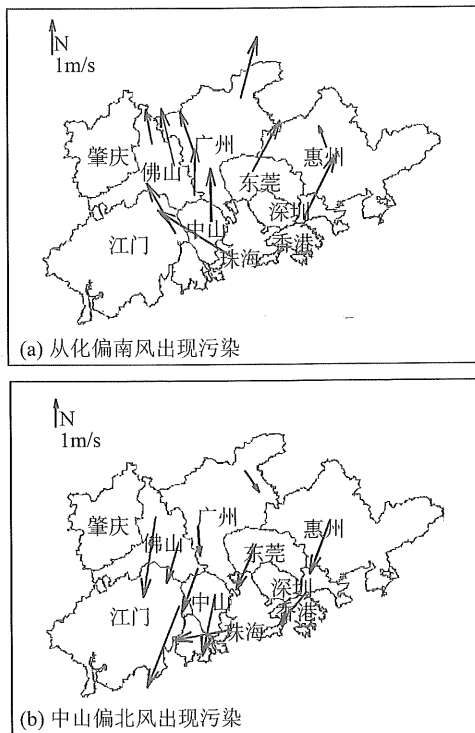


图 6 2006 - 2008 年从化偏南风出现污染、中山偏北风出现污染时珠三角各地平均风矢量
 Fig. 6 The average wind vector of the PRD air pollution occurred in Conghua or Zhongshan from 2006 to 2008

图 7 表明，从化、中山、佛山惠景城 RAQI 基本随平均风速减小而增大，平均风速越大，RAQI 越小，空气质量越好；但风速中等时，RAQI 为波动式变化，也可能出现 RAQI 较大的现象。珠江三角洲其他站点 RAQI 与风速的关系也相类似（图略）。

图 8 给出珠江三角洲区域 11 个监测子站 RAQI 平均值与区域 11 个气象站平均风速的统计关系。图 8 表明，随区域平均风速减小，珠江三角洲区域平均 RAQI 呈增大趋势。区域平均风速大于 3.2 m/s 珠江三角洲空气非常清洁 (RAQI < 1.0)，区域平均风速大于 2.6 m/s 不会出现区域性空气污染 (RAQI < 2.0)；区域平均风速小于 1.8m/s 时区域空气污染严重 (RAQI > 3.0)；区域平均风速介于 1.8 ~ 2.6 m/s 之间时，RAQI 变化比较复杂，有可能出现污染，也有可能不出现污染。

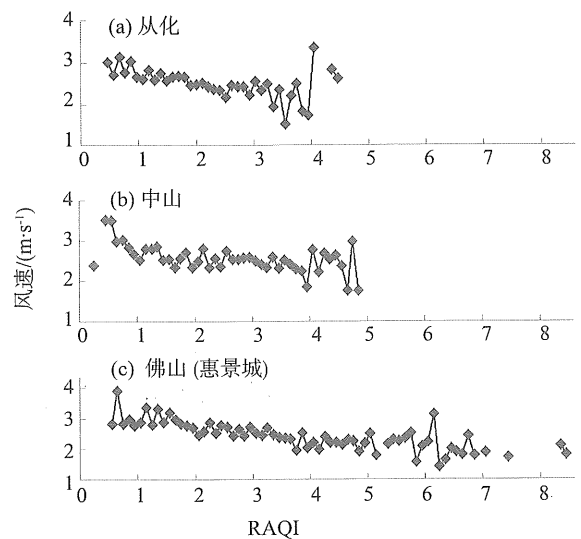


图 7 2006 - 2008 年从化、中山、佛山惠景城 RAQI 随风速变化
 Fig. 7 RAQI change with wind speed in Conghua, Zhongshan and Foshan Huijing City from 2006 to 2008

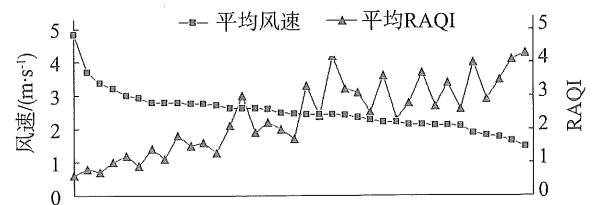


图 8 珠江三角洲区域 RAQI 平均值随区域平均风速的变化
 Fig. 8 The RAQI change with the mean wind speed change over the PRD

图 8 结果说明, 风场对珠江三角洲空气质量有重要影响, 区域平均风速小于 1.8 m/s 时区域空气污染严重, 区域平均风速中等时(介于 $1.8 \sim 2.6 \text{ m/s}$ 之间), 上游污染物排放量较大地区污染输送有可能导致下游污染物排放量较少地区出现空气污染, 但关系比较复杂, 仍需要进一步研究。

3 结 论

根据 2006 - 2008 年珠江三角洲 11 个地面气象站逐日 14:00 风向、风速和粤港珠三角区域空气监控网 11 个监测子站逐日区域空气质量指数 RAQI 的综合研究, 可得到下述结论:

1) 珠江三角洲不同区域空气质量差异较大。北部、东部整体空气质量比南部、西部好, 中部空气质量最差。

2) 珠江三角洲城市间污染输送影响明显。上游污染物排放量较大地区的污染输送, 有可能导致下游污染物排放量较少地区出现空气污染。

3) 珠江三角洲区域平均风速大于 2.6 m/s 时不会出现区域性空气污染, 区域平均风速大于 3.2 m/s 时空气非常清洁; 区域平均风速小于 1.8 m/s 时会出现较严重区域性空气污染; 风速介于 $1.8 \sim 2.6 \text{ m/s}$ 之间, 有可能出现污染, 也有可能不出现污染, 空气质量变化比较复杂。

由于缺少排放资料, 本文未能分析排放量改变对空气质量的影响, 部分结论仍需进一步验证。

参考文献:

- [1] 广东省环境保护监测中心站, 香港特别行政区环境保护署. 粤港珠江三角洲区域空气监控网络监测结果报告[R], 2006 - 2008.
- [2] 黄健, 吴兑, 黄敏, 辉, 等. 1954 - 2004 年珠江三角洲大气能见度变化趋势[J]. 应用气象学报, 2008, 19(1): 61 - 70.
- [3] 广东省气象局. 广东省气候公报[R]. 2006 - 2008.
- [4] 吴兑, 毕雪岩, 邓雪娇, 等. 珠江三角洲大气灰霾导致能见度下降问题研究[J]. 气象学报, 2006, 64(4): 510 - 517.
- [5] 张裕芬, 朱坦, 冯银厂, 等. 气象因素对环境空气质量达标的影响分析[J]. 城市环境与城市生态, 2006, 19(4): 33 - 36.
- [6] 刘彩霞, 边玮. 天津市空气质量与气象因子相关分析[J]. 中国环境监测, 2007, 23(5): 63 - 70.
- [7] COURYA C, DILLNER A M. Trends and sources of particulate matter in the Superstition Wilderness using air trajectory and aerosol cluster analysis [J]. Atmospheric Environment, 2007, 41: 9309 - 9323.
- [8] BERGE R, LUMBRERAS J, VARDOULAKIS S, et al. Analysis of long-range transport influences on urban PM_{10} using two-stage atmospheric trajectory clusters [J]. Atmospheric Environment, 2007, 41: 4434 - 4450.
- [9] COHEN D D, CRAWFORD J, STELCER E, et al. Long range transport of fine particle windblown soils and coal fired power station emissions into Hanoi between 2001 to 2008 [J]. Atmospheric Environment, 2010, 44: 3761 - 3769.
- [10] WANG F, CHEN D S, CHENG S Y, et al. Identification of regional atmospheric PM_{10} transport pathways using HYSPLIT, MM5-CMAQ and synoptic pressure pattern analysis [J]. Environmental Modelling & Software, 2010, 25: 927 - 934.
- [11] BANTA R M, SENFF C J, ALVAREZ R J, et al. Dependence of daily peak O_3 concentrations near Houston, Texas on environmental factors: Wind speed, temperature, and boundary-layer depth [J]. Atmospheric Environment, 2011(5): 162 - 173.
- [12] 孟伟, 高庆先, 张志刚, 等. 北京及周边地区大气污染数值模拟研究[J]. 环境科学研究, 2006, 19(5): 11 - 18.
- [13] 任阵海, 苏福庆. 大气输送的环境背景场[J]. 大气科学, 1998, 22(4): 454 - 459.
- [14] 王淑兰, 张远航, 钟流举, 等. 珠江三角洲城市间空气污染的相互影响[J]. 中国环境科学, 2005, 25(2): 133 - 137.
- [15] 陈燕, 蒋维楣, 郭文利, 等. 珠江三角洲地区城市群发展对局地大气污染物扩散的影响[J]. 环境科学学报, 2005, 25(5): 700 - 710.
- [16] 吴兑, 廖国莲, 邓雪娇, 等. 珠江三角洲灰霾天气的近地层输送条件研究[J]. 应用气象学报, 2008, 19(1): 1 - 9.
- [17] WU D, TIE X X, LI C C, et al. An extremely low visibility event over the Guangzhou region: A case study [J]. Atmospheric Environment, 2005, 39(35): 6568 - 6577.
- [18] 纪忠萍, 罗森波, 邝建新, 等. 广州市空气污染的变化特征及预报[J]. 热带气象学报, 2006, 22(6): 574 - 581.
- [19] 陈吟晖, 姜丽萍, 朱舒曼. 中山市地面气象要素与环境空气质量的关系[J]. 广东气象, 2006, 2: 36 - 39.
- [20] 王艳, 柴发合, 刘厚凤, 等. 长江三角洲地区大气污染物水平输送场特征分析[J]. 环境科学研究, 2008, 21(1): 22 - 29.
- [21] 范绍佳, 王安宇, 樊琦, 等. 珠江三角洲大气边界层特征及其概念模型[J]. 中国环境科学, 2006, 26(增刊): 4 - 6.
- [22] 张铁男, 李倩倩, 罗运阔, 等. 珠三角区域空气质量指数(RAQI)的研究[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(3): 9 - 14.
- [23] 陈欢欢, 吴兑, 谭浩波, 等. 珠江三角洲 2001 - 2008 年灰霾天气过程特征分析[J]. 热带气象学报, 2010, 26(2): 147 - 155.