第 24 卷 第 3 期
2008 年 06 月

热 带 气 象 学 报
JOURNAL OF TROPICAL METEOROLOGY

Vol.24, No.3
Jun., 2008

文章编号：1004-4965(2008)03-0303-04

济南市霾气候特征分析及其与地面形势的关系

王建国[1]，王业宏[2]，盛春岩[2,3]，
高慧君[2]，杨晓霞[2]，张华[4]

(1. 山东省气象局，山东 济南 250031； 2. 山东省气象台，山东 济南 250031;
3. 山东省气象科学研究所，山东 济南 250031；
4. 国家气候中心中国气象局气候研究开放实验室，北京 100081)

摘　　要：利用济南市 1951～2006 年地面气象观测资料，对济南市霾日数的变化规律进行了统计分析，并结合地面风速和气压场形势对霾与气象条件的关系进行了分析。结果发现：1980 年代～1990 年代霾日数最多，近几年有下降的趋势；秋冬季霾日数较多，夏季较少；霾发生的天气型主要有冷高压型、低压槽型等；污染物 PM_{10} 的浓度与霾的发生有密切关系。

关　键　词：霾； 气候统计特征； 天气型

中图分类号：X16　　文献标识码：A

1 引　　言

空气中的粉尘、硫酸与硫酸盐、硝酸与硝酸盐、黑碳、有机碳氢化合物等粒子能使大气混浊，视野模糊并导致能见度恶化，如果水平能见度小于 10 km 时，将这种不是由水滴、冰晶组成的气溶胶系统造成的视程障碍称为霾天气[1-3]。近年来随着工业的快速发展、污染物排放和城市悬浮物的大量增加，空气质量、大气污染和城市状况越来越引起人们的关注。特别是霾的出现对人类的影响很大，不仅导致大气能见度降低，增加交通事故的次数，而且还能诱发鼻炎、支气管炎、小儿佝偻病等多种疾病，危害人体健康。霾和轻雾都是能见度小于 10 km 的天气现象，容易混淆，其主要区别在相对湿度上[3-4]。吴兑等[4]发现珠江三角洲的气溶胶污染中，主要是细粒子污染。已有研究表明，空气污染的变化与气象条件有密切关系，周亚军等[5]研究了广州空气污染指数特征及其与地面气压型的关系。李琼等[6]发现大气中的污染物浓度不仅与当天的天气类型有着密切联系，而且与前几天的天气类型的持续时间、地面气压场等天气因素均有关系。纪忠萍等[7]研究了广州市空气污染的变化特征并进行预报。罗森波等[8]对广州市大气污染与气象条件关系进行了统计分析。关于霾的分析研究，刘爱君等[9]指出霾日数的年际变化大多与大气中的污染物浓度有关，而月季的变化多受天气形势和气象条件所控制。江崟等[10]分析了 2003 年深圳市霾气候特征及影响因素。钱峻屏等[11]研究了汕尾市雾霾天气的能见度多时间尺度特征。济南作为省会城市，人口众多，经济发展迅速，机动车拥有量、建筑工地扬尘量和工业耗煤量、工业废气排放量都在不断增加，霾天气较为常见。但对霾天气的历史气候特征，尚未开展相关的研究。因此，分析济南市霾天气气候特征，对于环境治理、开展霾天气预报等均有重要意义。

2 资料和方法

本文使用1951～2005年济南地面观测的能见度、湿度、天气现象资料，2002～2005年SO_2、NO_2和PM_{10}的日平均浓度。定义当日平均能见度(MOR)小于10 km、日平均相对湿度(RH)小于90%，并排除降水日的情况为一个出现大气霾的日子[3-4]。依据上述资料和方法，计算了济南市55年的霾日数。

收稿日期: 2006-12-13; 修订日期：2007-09-03

基金项目：山东省气象局 2008 年重点课题“山东省雾霾天气预报预警技术研究”（2007sdqxz06）；国家重点基础研究发展计划资助(项目编号：2006CB403707)共同资助

作者简介: 王建国，男，江苏人，高级工程师，主要从事天气预报业务。E-mail: wjg@sdan.com.cn

3 济南市霾天气的气候特征

3.1 济南霾日数的长期变化趋势

图1是济南市过去55年霾天气(MOR＜10 km，RH＜90%变化曲线，可以看到，济南市年霾日数总体呈上升趋势。1950年代～1970年代，霾天气较少，每年霾天气不足60天，但年霾日数呈缓慢上升的趋势。自1980年代初开始，该地区的能见度急剧恶化，霾天气显著增加，最多一年超过190天(1992年)。其中有3次较大波动，1980年代初～1985年是霾天数第一次明显的上升时期，年平均在140天以上，每2～3天就有一次霾天气。霾日数的这种变化体现了改革开放后山东的第一次经济大发展。当时我国环境保护法规还不完善，环境保护措施刚刚起步，大气污染物直接排放，气溶胶污染较为严重；1985年后出现了好转，但霾日数仍在每年100天以上，这可能与我国当时的环境政策有关，济南市开展的消烟除尘措施有效地改善了能见度；而后随着经济发展规模扩大，机动车尾气、煤燃烧、扬尘共同作用下的复合型空气污染形成了第二次能见度恶化时段，时间大体是在1991～1999年，1992年霾天数达到190天，平均不到两天就有一次。霾日数在2000年之后显著下降，原因可能有两种，一方面可能与济南地面观测站搬迁有关系；另一方面与1990年代中后期济南市实行“青山、碧水、蓝天”计划，积极进行环境保护和污染控制有关。

3.2 济南市霾日数的月、季和年代分布特征

从图 2 来看，济南市霾日数存在明显的季节性变化，霾主要出现在 10 月到次年的 3 月，其中 12 月份最多，平均达 11 天；其次为 1 月，平均 10.3 天，6 月霾日数最少，仅有 3.5 天，其次为 5 月 3.6 天。图 3 给出了各季平均霾日数分布，冬季霾日数为 29.4 天，占全年的 39%，秋季占 25.2%，秋、冬季占全年霾日数的 64.2%，夏季霾日数最少，仅为 12.1 天，占全年的 16.1%。表现出秋冬季霾日数多，春夏季少的分布特征。

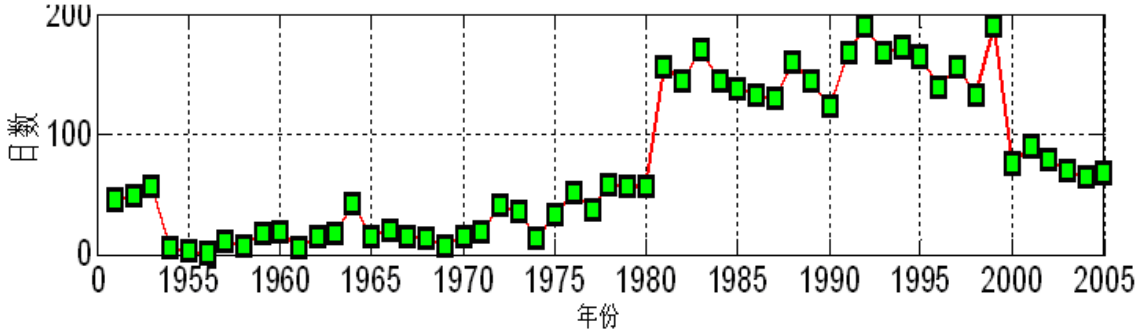


图 1 济南市 1951～2005 年霾天气 MOR＜10 km, RH＜90%出现天数。

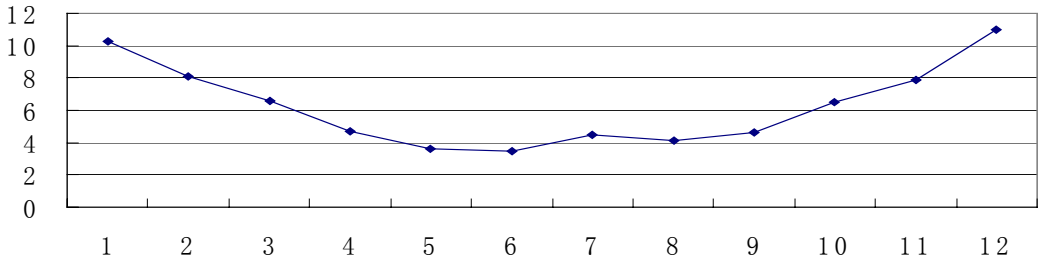


图 2 济南市逐月平均霾日数变化

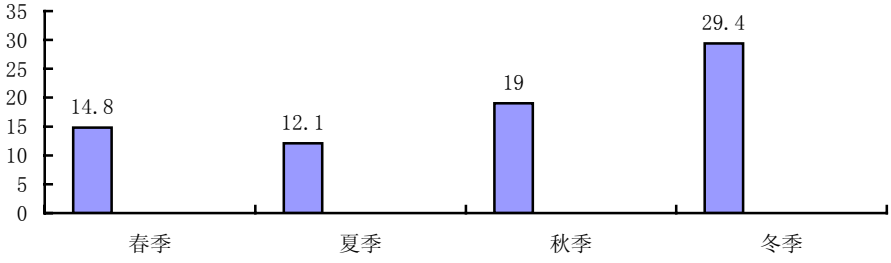


图 3 济南市霾日数的季节变化

表 1 是济南不同年代霾发生频率。可以发现霾出现日数在 1950 年代年平均为 21.4 天，1960 年代有所减少，为 16.5 天；1970 年代是 1960 年代的 2 倍多，1980 年代和 1990 年代霾出现日数显著上升，平均日数分别达到 144.1 天和 155.4 天。

表 1　济南市霾日数年代季变化

年代	1950	1960	1970	1980	1990
年平均/日	21.4	16.5	39.9	144.1	155.4

4　济南市霾的典型天气类型

霾的出现与气象条件关系密切，通过对 2006 年霾天气出现时地面形势分析，发现各种天气形势下均有可能出现霾。一般霾天气出现时地面气压场较弱，风速较小，最大风速为 4 m/s，最小为 1 m/s，平均 2.5 m/s 以下。

表 2 为济南市出现霾天气时 14 时地面风向出现频率，可以看出，济南市出现霾天气以西北风为主，占 64%，与高压前部控制一致；吹东北风的占 19%，与高压脊控制一致，吹东风、东南风、西南风和南风时出现霾的概率较小，分别为 3.5%、2%、8%、3.5%，与低压控制一致，说明济南市在低压影响下出现霾的天气概率较小。同时对 2006 年济南市大雾天气进行了普查，结果发现上述霾天气发生时，无大雾天气出现。

表 2　2006 年济南市出现霾天气时 14 时风向频率(%)

风向	NW	NE	SW	SE	S	E
频率	64	19	8	2	3.5	3.5

主要天气型为：

(1) 冷高压型，占 64.5%，地面图上济南市处于冷高压或变性冷高压控制之下，天气晴好，有霾生成影响能见度。此种形势主要分为两种，一种为高压前部，此种形势下的霾天气主要出现在秋冬季节，高压主体在河套或蒙古地区，当在河套地区时强度较弱，在蒙古时高压强度较强，特别是高压前部在山东省北部有弱气旋性弯曲更易出现霾天；另一种高压底部型，高压主体在东北，济南市位于高压底部偏东气流中，最后一种是入海高压后部型，济南市处于入海高压后部，以均压场为主，有时西北太平洋有台风向东北方向移动，此种类型的霾一般出现在夏季。

(2) 低压槽型，占 13.5%。此种天气形势分两种，一种是低压主体位于蒙古东部到东北地区，低槽向南延伸至山东省，济南市处于低压槽底部偏南气流控制之下；另一种在河套地区东部和山东东部为弱高压，济南市处于两高压之间的低压区。

(3) 倒槽型，此种类型的霾一般出现在夏季。依据倒槽位置一般分两种，一种在河套及其以南地区有东北西南向或南北向倒槽，倒槽中心的位置偏西，济南市处于倒槽前部东南或西南气流下；另一种是江淮流域有倒槽，倒槽中心在江淮流域，济南市位于倒槽顶部，在这种形势下，天空多云，但湿度较低，达不到雾的标准。

(4) 冷锋过境型，地面图上冷锋较弱，冷空气过境之后易出现霾。

(5) 冷锋前部型，锋面位于河套东部到华北中北部地区，处于偏南气流之下。

另外，济南市受较强冷高压控制或地面有气旋产生且伴随强降水时最不易出现霾天。

5　能见度与 SO_2、NO_2 和 PM_{10} 浓度的关系

为进一步了解济南市霾天气与 SO_2、NO_2 和 PM_{10} 等大气污染物浓度的关系，表 3 给出了 2002～2005 年各种天气出现时，能见度与污染物浓度 SO_2、NO_2 及 PM_{10} 之间的相关系数。可以看到，能见度(除去大雾及降水天气)与污染物的相关系数都是负值，说明霾天气发生时污染物的浓度增加，PM_{10} 与能见度的相关系数最大，为−0.397 7，通过了显著性水平 α=0.001 的显著性检验，而能见度与其他两种污染物的相关系数较小，均未通过检验。大雾天气发生时能见度与污染物的相关系数分别为−0.176 8、0.139 9 和−0.138 3，相关系数都不高。逐日能见度与污染物的相关系数都为负值，PM_{10} 与能见度的相关系数为−0.245，显著性水平达到 α=0.02 的显著性检验。由此来看，PM_{10} 浓度的增加与能见度下降(霾天气)关系密切。

表 3　2002～2005 年各种天气时能见度与 SO_2、NO_2 和 PM_{10} 的相关系数

污染物	SO_2	NO_2	PM_{10}
能见度(除去大雾和降水)	−0.087 5	−0.158 7	−0.397 7
大雾天气	−0.176 8	0.139 9	−0.138 3
逐日能见度	−0.037 1	−0.058 6	−0.245 0

6　结　　论

(1) 济南市霾天气主要出现在 10 月～次年 3 月，12 月最多，平均达 11 天，6 月最少，仅有 3.5 天。秋冬季占全年霾日数的 64.2%，夏季占全年的 16.1%。

(2) 济南市霾日数，1950 年代～1970 年代较少，每年不到 60 天，1980 年代～1990 年代年霾日数较高，在

100 天以上，2000 年后霾日数明显下降。

(3) 霾天气的出现与气象条件有密切关系，冬季冷空气活动频繁，大气层结稳定，再加上济南处于采暖季，污染物难以扩散，霾日数较多；夏季是济南市的雨季，强对流天气时有发生，霾日数相对较少。普查地面形势发现冷高压型和低压槽型为霾发生的主要天气型，占总发生日数的 78%。

(4) 大气中颗粒物(PM_{10})的浓度与能见度下降(霾天气)有密切关系。

参 考 文 献：

[1] 中央气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 1979: 22-27

[2] 吴兑. 关于霾与雾的区别和霾天气预警的讨论[J]. 气象，2005，31(4)：3-7

[3] 吴兑. 再论都市霾与雾的区别[J]. 气象，2006，32(4)：9-15

[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] 周亚军，熊亚丽，肖伟军，等. 广州空气污染指数特征及其与地面气压型的关系[J]. 热带气象学报，2005, 21(1) ：93-99

[6] 李琼，李福娇，叶燕翔，等. 珠江三角洲地区天气类型与污染潜势及污染浓度的关系[J]. 热带气象学报，1999，15(4)：363-369

[7] 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

[8] 罗森波，罗秋红，谢炯光，等. 广州市大气污染与气象条件关系的统计分析[J]. 热带气象学报，2006，22(6): 567-573

[9] 刘爱君，杜尧东，王惠英，等，广州市霾天气的气候特征分析[J]. 气象，30(12)：68-71

[10] 江崟，曹春燕，2003年深圳市霾气候特征及影响因素[J]. 广东气象，2004，20(4): 14-15

[11] 钱峻屏, 黄菲, 黄子眉，等. 汕尾市雾霾天气的能见度多时间尺度特征分析[J]. 热带地理, 2006(04): 308-313

ANALYSIS OF CLIMATIC CHARACTERISTICS OF HAZE IN JI′NAN

WANG Jian-guo[1], WANG Ye-hong[2], SHENG Chun-yan[2, 3],
GAO Hui-jun[2], YANG Xiao-xia[2], ZHANG Hua[4]

(1. Shandong Meteorological Administration, Ji ′nan 250031, China;
2. Shandong Provincial Meteorological Observatory, Ji ′nan 250031, China;
3. Shandong Institute of Meteorology, Ji ′nan 250031, China;
4. Laboratory of Climate Study, National Climate Center, CMA, Beijing 100081)

Abstract: In this paper, the climatic statistical characteristics of annual number of haze days in Ji′nan, Shandong province, are analyzed using the station observation data from 1951 to 2005, and the surface situations favorable to forming haze are analyzed based on surface wind speed and pressure. The results show that the number of haze days is very high from 1980's to 1990's with more than 100 days, significantly descending since the year 2000; further more, there are more haze days in winter and autumn than in summer and spring; the main surface weather pattern for forming the haze is that the Ji′nan is under the control of a cold high pressure and a low pressure trough; there is important effect of PM_{10} on haze weather.

Key words: haze; climate statistical characteristics; synoptic type