

陈瑞敏, 吴雁, 康文英, 等. 2014. 连续雾霾天气污染物浓度变化及天气形势特征分析 [J]. 气候与环境研究, 19 (2): 209–218, doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2014.13156. Chen Ruimin, Wu Yan, Kang Wenying, et al. 2014. Analysis of pollutant concentrations and characteristics of continuous smoggy weather [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 19 (2): 209–218.

# 连续雾霾天气污染物浓度变化及天气形势特征分析

陈瑞敏 吴雁 康文英 王荣英

河北省衡水市气象局, 衡水 053000

**摘 要** 利用 MICAPS 资料、地面观测资料、NCEP 资料和衡水市环境监测站细颗粒物 (PM<sub>2.5</sub>) 及 PM<sub>10</sub> 浓度资料, 对 2013 年 1 月衡水市出现的连续雾霾天气从 PM<sub>10</sub> 及细颗粒物浓度演变、雾霾天气污染物浓度与地面要素关系、中低层环流形势特征进行了分析, 结果表明: 1) 雾霾天气期间 06:00 (北京时间, 下同) 至 07:00 和 16:00 至 21:00 为 PM<sub>10</sub> 和细颗粒物浓度较低时段, PM<sub>10</sub> 最大值出现在 15:00, 细颗粒物最大值出现在 02:00, 两者并不同时达到极值。2) 雾霾天气污染物浓度与地面湿度并不是简单的正相关或负相关关系, 还和许多其它因素有关。3) 衡水市污染源主要来源于工业污染源、扬尘污染、冬季燃煤采暖、局部污染源及区域性污染。4) 雾霾天气相对湿度和能见度基本呈负相关, 气压变化不大, 风向频率最多为北到东北风, 平均风速一般都在 2 m/s 以下。雾日时大部分时段为雾和霾的混合物。5) 重污染日期间 500 hPa 为平直偏西气流或西北偏西气流, 没有明显的槽脊活动。而污染较轻的时段 500 hPa 为明显的西北气流控制或有槽脊活动。6) 雾霾天气期间大部分日数 08:00 在 850 hPa 以下都存在逆温层; 地面气压场偏弱, 尤其河北平原一带基本为均压场。最后对雾霾天气影响及对策进行了简单探讨。

**关键词** 连续雾霾 污染物 浓度 能见度 逆温层

文章编号 1006-9585 (2014) 02-0209-10

中图分类号 X16

文献标识码 A

doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2014.13156

## Analysis of Pollutant Concentrations and Characteristics of Continuous Smoggy Weather

CHEN Ruimin, WU Yan, KANG Wenying, and WANG Rongying

Hengshui Meteorological Bureau, Hebei Province, Hengshui 053000

**Abstract** Using MICAPS data, surface meteorological observations, reanalysis of NECP data, and PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> concentration data from the Hengshui Environmental Quality Monitoring Station, the continuous smoggy weather that occurred in Hengshui, Hebei Province, in January 2013 was analyzed in terms of the changes in the concentrations of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>, the relationship between pollutant concentrations in smoggy weather and ground elements, and the circulation at the middle and lower levels. The results showed the following: 1) Concentrations of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> were low, from 0600 LST to 0700 LST and from 1600 LST to 2100 LST; the PM<sub>10</sub> concentration was at a maximum at 1500 LST, and the PM<sub>2.5</sub> concentration was the highest at 0200 LST. 2) The relationship between pollutant concentrations in smoggy weather and surface humidity was not a simple positive or negative correlation. 3) The major sources of air pollution are industrial pollution, dust pollution, coal heating in winter, local pollution sources, and regional pollution in Hengshui. 4) During smoggy weather, relative humidity and visibility were negatively correlated, changes in pressure were small, and north to northeasterly winds with a wind speed of less than 2 m/s were most likely to occur. 5) The airflow at 500 hPa on heavy pollution days was primary zonal, while on less polluted days northwest airflow was strong

收稿日期 2013-09-24 收到, 2014-01-24 收到修定稿

作者简介 陈瑞敏, 女, 1968 年出生, 高级工程师, 主要从事气象学研究。E-mail: chenruimin007@sina.com

or there was trough or ridge activity at 500 hPa. 6) During smoggy weather, there was likely to be an inversion layer below 850 hPa at 0800 LST, and the surface pressure field was weak, particularly in the Hebei Plain. Finally, the effects and countermeasures for smoggy weather are discussed.

**Keywords** Continuous haze, Pollutant, Concentration, Visibility, Inversion layer

## 1 引言

近年来,由于雾霾导致的低能见度事件在整个华北区域呈增加趋势,河北中南部的雾霾低能见度天气出现的频率最高,反映出其气溶胶的污染最重(胡亚旦和周自江,2009;吴兑等,2010)。每年的冬半年都是雾霾天气高发季节。雾和霾都是一种低能见度的天气,但两者本质上是完全不同的。雾是指因水汽凝结导致水平能见度低于 1 km 的天气现象,能见度在 1~10 km 时称为轻雾,雾和轻雾的主要成分是水,它们本身并不是污染。霾主要由空气中的污染物导致,即空中悬浮的大量细微颗粒物使水平能见度低于 10 km 的天气现象。气象上区别雾和霾主要依据能见度大小和相对湿度的高低(饶晓琴等,2008)。有雾的时候往往意味着大气比较稳定,而稳定的大气又容易使污染物聚集,所以大雾天气通常会伴随着或轻或重的污染状况。很多时候我国中东部地区出现的低能见度天气,实际上是一些雾霾混合物,早晨相对湿度较高时是雾,白天气温上升湿度下降后又转变成霾。

许多专家学者都对近年来的雾霾天气进行了分析研究(石春娥等,2001;马学款等,2007;雷恒池等,2008;林建等,2008;何晖等,2009;胡朝霞等,2011;赵桂香等,2011;高茜等,2012;王丽涛等,2012;包云轩等,2013;孙彧等,2013),得出许多有益的结论。

2012 年冬季前半段冷空气活动频繁,持续性雾霾天气较少。进入 2013 年 1 月以后,随着冷空气势力减弱,大风天气减少,河北中南部低层大气长时间处于相对稳定的状态,不利于空气的流通和污染物的扩散,雾霾天气逐渐增多,尤其是 10~15 日的雾霾天气、22~24 日、27~31 日的浓雾天气,影响范围之广、持续时间之长和污染程度之重都是比较罕见的。雾霾天气造成能见度偏低,日照减少或无日照,对人民健康和生活、交通运输及温室棚菜生产都造成了很大影响。王丛梅等(2013)研究发现 2013 年 1 月河北中南部地面要素与历史同期相比异常,强逆温层结、干暖盖、地面风向辐合线

等有利出现雾霾和严重污染。本文主要针对衡水市连续雾霾天气污染物浓度变化及天气形势特征进行分析,以期对以后的预报服务工作有所帮助,为当地大气污染治理和分析提供依据。

## 2 实况

衡水市位于河北平原的东南部,地理位置决定了秋冬季多大雾天气,尤其冬季气温低、气压高、降水稀少、气候干燥、风速较小、日照时数少、大气层结稳定、大气逆温出现频率和强度较高,大气污染物不易稀释和沉降,致使大气中总悬浮颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 等污染物大量堆积,容易形成雾霾天气。衡水虽为农业大市,但近年来随着经济社会发展、城市迅速扩大和城市化进程加快,使得空气质量为下降的趋势。

2013 年 1 月河北中南部持续出现雾霾天气,衡水市尤为严重,空气质量综合指数排名位列全国第六。1 月 4 日前能见度较好,一般在 10 km 以上,大部分时段为轻度污染。自 1 月 5 日能见度开始下降,尤其早晨前后能见度较低,空气质量迅速下降,多为中度以上的重度和严重污染,首要污染物为 PM<sub>10</sub> 或细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)。共出现大雾日数 16 d、轻雾 10 d、霾 1 d,有 17 d 无日照,气温整体偏低,日照显著偏少。1 月重度污染及以上的重污染日为 25 d,5~31 日中只有 20 日和 26 日为轻度和中度污染。重污染使空气质量明显降低,呼吸道疾病患者增多,严重影响身体健康。雾霾天气由于能见度较低,对机场、高速公路、轮渡码头等影响较大,交通安全受到很大威胁。

## 3 连续雾霾天气污染物浓度与气象要素的关系

### 3.1 雾霾天气污染物浓度日变化

用 1 月 5~31 日每日逐时 PM<sub>10</sub> 和细颗粒物浓度及相对湿度作雾霾天气 PM<sub>10</sub> 和细颗粒物浓度及相对湿度的日均变化(图 1),发现 06:00(北京时间,下同)至 07:00 和 16:00 至 21:00 为 PM<sub>10</sub> 和细颗粒

物浓度较低时段, 对应相对湿度早晨较高, 14:00 至 17:00 相对湿度处于较低水平, PM<sub>10</sub> 最大值出现在 15:00, 细颗粒物最大值出现在 02:00。简单分析原因如下: 早晨前后湿度较大, 但夜间各种污染物排放明显减少, 故 06:00 至 07:00 PM<sub>10</sub> 和细颗粒物浓度较低; 而白天日出以后湿度逐渐下降, 午后达最低值, 但白天汽车尾气和工厂污染物排放明显增加, 上午至中午时段 PM<sub>10</sub> 和细颗粒物浓度达到最大, 下午相对湿度处于较低水平, 湍流加强促使上下层交换加大, 有利于污染物扩散, 所以下午到 20:00 前后 PM<sub>10</sub> 和细颗粒物浓度较低; 入夜后没有集中供暖的分散小锅炉取暖排放粉尘增加, 再加上湿度增加, 风力减小, 层结稳定, 不利于污染物扩散, 所以夜间段也是 PM<sub>10</sub> 和细颗粒物浓度高值段。

### 3.2 重污染日污染物浓度与近地面湿度变化

1 月衡水雾霾天气的大部分时段空气质量为重度污染或严重污染, 其中 PM<sub>10</sub> 浓度最大值达到 0.904 mg/m<sup>3</sup>、细颗粒物为 0.684 mg/m<sup>3</sup>, 都超过空

气质量分指数 500, 达严重污染。但分析逐时的 PM<sub>10</sub> 和细颗粒物浓度, 发现两者并不是同时达到极值, 图 2 为 2013 年 1 月 7 日 08:00 至 8 日 08:00 逐时 PM<sub>10</sub> 和细颗粒物浓度, 此时段以轻雾和霾天气为主, 相对湿度最大为 85%, 7 日白天能见度 7~10 km, 夜间段逐渐下降, 8 日 08:00 0.9 km, 刚刚达到大雾标准。其中细颗粒物在 8 日 00:00 达 1 月最大值, 而此时的 PM<sub>10</sub> 虽然也较大, 但没有达到极值, 这一时段 PM<sub>10</sub> 在 7 日 15:00 最大, 此时相对湿度仅为 58%, 能见度也达 10 km。

图 3 为 1 月 12 日 20:00 至 13 日 19:00 逐时 PM<sub>10</sub> 和细颗粒物浓度和相对湿度演变, PM<sub>10</sub> 达到月最大值 0.904 mg/m<sup>3</sup>, 细颗粒物为 0.528 mg/m<sup>3</sup>。这一时段 12 日夜间湿度迅速增加, 一直维持轻雾天气, 地面形势处于高压底部、低压倒槽顶部, 气压场较弱, 风速较小, 层结稳定, 所以傍晚前后产生的污染物逐渐聚集, PM<sub>10</sub> 和细颗粒物在 12 日 23:00 至 13 日 05:00 达到高峰时段, 其中 PM<sub>10</sub> 浓度在 13 日

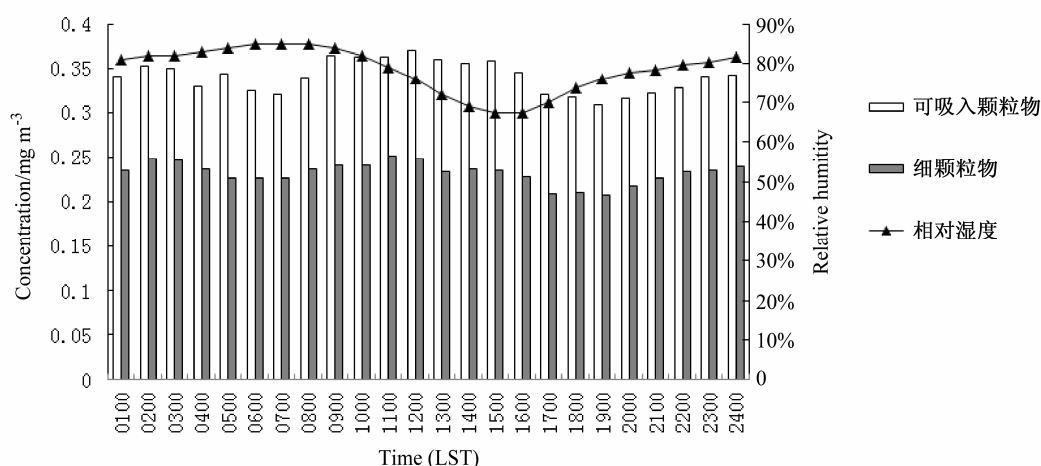


图 1 2013 年 5~31 日 PM<sub>10</sub> 和细颗粒物浓度及相对湿度的日均变化

Fig. 1 Diurnal average variations of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration and relative humidity during 5-31 Jan 2013

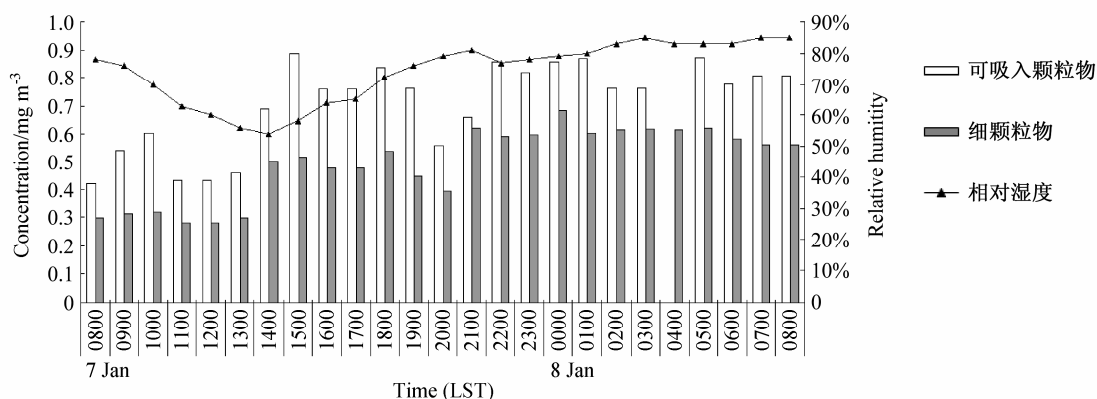


图 2 2013 年 1 月 7 日 08:00 至 8 日 08:00 逐时 PM<sub>10</sub> 和细颗粒物浓度和相对湿度

Fig. 2 Hourly PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations and relative humidity from 0800 LST 7 Jan to 0800 LST 8 Jan 2013

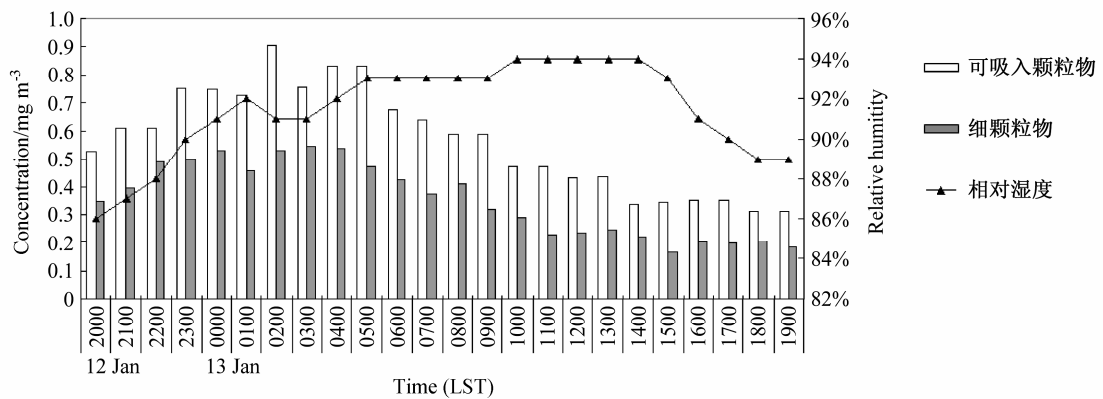


图3 同图2, 但为2013年1月12日20:00至13日19:00

Fig. 3 Same as Fig. 2, but from 2000 LST 12 Jan to 1900 LST 13 Jan 2013

02:00 达到月极值; 13 日白天由于 08:20 至 12:17 出现米雪天气, 故相对湿度在 10:00 至 14:00 达最大 94%, 降雪也对能见度造成很大影响, 08:00 至 13:00 能见度一直小于 1 km。而随着弱降雪降落, PM10 和细颗粒物也随之部分沉降到地面, 其浓度迅速下降, PM10 由严重污染下降为中度污染, 但细颗粒物仍为重度污染。

刘爱霞等 (2012) 指出天津地区相对湿度和污染是影响能见度变化的主要条件, 颗粒物的质量浓度和大气能见度之间存在着复杂的非线性关系。因此衡水市污染物浓度与近地面湿度、能见度之间也并不是简单的正相关或负相关关系, 还和许多因素有关, 比如前期污染物的积累、当日污染物的排放、有无利于污染物扩散或沉降的大气环流背景等。

## 4 衡水市空气污染源分析

郝吉明等 (2005) 分析北京市 PM10 的排放源较为复杂, 在北京市的本地源中, 无组织扬尘 (交通、工地、料堆、裸地) 的排放占了相当大的比例 (37%), 浓度分担率更高, 达到 49% 左右; 其中交通扬尘的排放和浓度贡献率分别为 23% 和 32%, 是扬尘的主要组成部分。工业部门 (包括工业无组织过程) 是第二大排放源, 排放和浓度贡献率分别为 28% 和 21%。再次是机动车 (排放和浓度贡献率分别为 8% 和 14%)、采暖和民用炉灶。

2013 年 1 月衡水市各污染因子对空气质量综合指数贡献统计结果 (表略) 表明, 衡水市城区空气污染各因子中细颗粒物和 PM10 是首要污染因素, 两项之和接近 60%, 其污染占比最大, 其次分别为 CO、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>, 进一步说明影响市区空气质

量的最主要因素是颗粒物, 其贡献占到全部污染的一半以上。衡水城区污染排放源主要有工业点源、工业面源、第三产业源、民用源及机动车排放流动源等。衡水市区只有衡水发电厂、邯钢薄板厂等 8 家国控企业有污染源自动监控系统, 而其它没有污染源监控的生产企业还有上千家, 这些工业点源及面源产生的大量废气没有实时监控, 其它第三产业、民用源及机动车排放流动源等也没有有效监控措施, 所以污染源定量分析难度较大, 下面只能定性进行源分析。

### 4.1 工业污染源影响

衡水市 2012 年国民经济和社会发展统计公报 ([http://www.hstjj.gov.cn\[2013-03-28\]](http://www.hstjj.gov.cn[2013-03-28])) 指出, 衡水全市 2012 年生产总值实现 1011.5 亿元, 按可比价格计算比上年增长 10.4%。大中小型企业增长迅速, 全市上千家大中小型企业的燃煤设施以及生产过程中产生大量废气, 在不利气象条件影响下所排放污染物不易于扩散, 加重了市区空气污染。

### 4.2 扬尘污染影响

2012 年衡水在固定资产投资中, 城乡建设项目投资比上年增长 32.8%。全年施工项目 640 个, 其中新开工项目 349 个。基本建设投资总额增长率或房屋竣工面积增长率较之于改革开放前均为几十倍乃至百倍增长, 建筑扬尘也随之迅猛增加。公路货物运输量比上年增长 12.5%, 货物运输周转量增长 16.8%; 公路旅客运输量增长 13.1%, 旅客运输周转量增长 6.3%; 年末机动车保有总量 72.2 万辆, 比上年增长 11.2%, 随着机动车保有量的逐年增长, 交通扬尘及汽车尾气也是逐年增加的趋势。衡水市区内虽然进行了大范围的扬尘整治, 但无组织扬尘 (交通、工地、料堆、裸地) 的治理还很有限, 建

筑及交通扬尘污染还不能有效遏制, 另外市区还存在着大量的监管死角, 扬尘污染直接影响着市区的空气质量状况。

#### 4.3 冬季采暖影响

污染物排放、大气环境与能源消费活动是密切相关的。衡水市冬季取暖大都采用燃煤, 虽然近几年市区进行了大范围的集中供暖改造, 但电厂、工业、民用等的燃料燃烧造成的粉尘、废气排放量仍然很大, 这种以煤为主, 且大部分集中在市区的能源消费方式, 是造成城区大气污染的一个主要原因。

#### 4.4 局部污染源影响

市区内因路面清扫保洁引起的二次扬尘、市区内垃圾焚烧产生的烟尘对市区的污染贡献也不容忽视。

#### 4.5 区域性污染影响

张志刚等(2004)指出受风场的影响, 1月北京污染的京外源主要影响北京的西南部, 而1月的PM<sub>10</sub>质量浓度分布表明邯郸、邢台和石家庄一带是高浓度区, 受此高浓度区输送的影响, 位于北京偏南方向的衡水颗粒物浓度也会有明显上升。

### 5 雾霾天气的地面要素演变

#### 5.1 雾霾天气的能见度及湿度变化

一般来讲, 雾和霾的区别主要在于水分含量的大小: 水分含量达到90%以上的叫雾, 水分含量低于80%的叫霾。80%~90%之间的, 是雾和霾的混合物, 但主要成分是霾。就能能见度来区分: 如果目标物的水平能见度降低到1 km以内, 就是雾; 水

平能见度在1~10 km的, 称为轻雾或霾; 水平能见度小于10 km, 且是灰尘颗粒造成的, 就是霾。

为做好霾天气现象观测及预报服务工作, 统一规范霾观测判别标准, 按照中国人民共和国气象行业标准《霾的观测和预报等级》(QX/T113-2010), 中国气象局综合观测司气测函(2013)17号补充规定:

(1) 能见度<10.0 km, 排除降水、沙尘暴、扬沙、浮尘、烟幕、吹雪、雪暴等天气现象造成的视程障碍, 相对湿度小于80%, 判识为霾;

(2) 能见度<10.0 km, 排除降水、沙尘暴、扬沙、浮尘、烟幕、吹雪、雪暴等天气现象造成的视程障碍, 相对湿度80%~90%时, 按照地面气象观测规范规定的描述或大气成分指标进一步判识。已建立大气成分监测设备的台站, 可以优先采用大气成分指标作为判识霾的参考依据。

衡水观测站目前还没有大气成分监测设备, 参考了文件的要求, 对霾的观测记录进行设定标准: 与轻雾的差别是相对湿度, 相对湿度小于80%, 判识为霾; 相对湿度80%~90%时, 观测员根据实际进行判别; 相对湿度大于90%, 应判识为轻雾。此判据对观测员操作性较好。

从衡水各日08:00的相对湿度和能见度对比(图4)发现, 自1月6~31日, 08:00相对湿度大部分时段都在80%以上, 最大相对湿度达96%, 只有2 d相对湿度在77%~78%, 对应能见度分别为11 km和7 km, 6日出现霾时, 相对湿度为83%, 能见度3 km。相对湿度和能见度基本呈负相关, 即相对湿度小, 则能见度大, 相对湿度大, 则能见度小。雾日时08:00相对湿度大部分时段为89%~

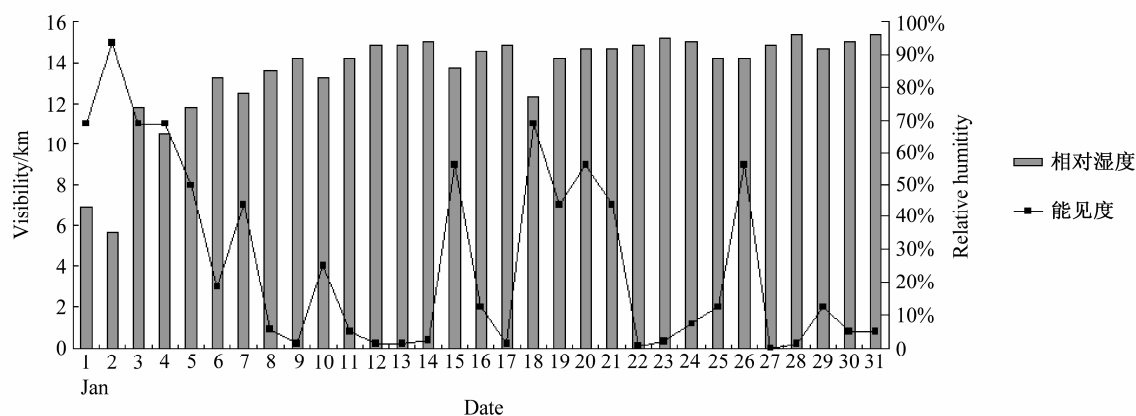


图4 衡水站2013年1月1~31日08:00相对湿度和能见度变化

Fig. 4 The variations of relative humidity and visibility at 0800 LST during 1-31 Jan 2013 at Hengshui station, Hebei Province

94%，尤其 17 日、22 日和 27 日部分县市出现强浓雾，最小能见度 $<50$  m 时，相对湿度也只有 93%，所以大部分时段为雾和霾的混合物。

### 5.2 雾霾天气的地面气象要素变化

从 2013 年 1 月 8 日至 2 月 1 日衡水站的地面气象要素（图 5）可以看出，除 17 日受弱冷空气影响，气压升高到 1040 hPa 外，其它大部分时段气压都在 1020~1030 hPa；雾霾天气时段温度与露点相差很小，尤其 27 日 08:00 以后两者基本重合，空气接近饱和，此时段气压变化不大，风速也较小，即无明显冷空气影响，大气维持准静稳状态，故大雾维持时间长，浓度大，污染物不利于扩散，重污染日较多。

### 5.3 雾霾天气的地面风向风速变化

衡水市的年主导风向为西南南风（SSW）和静风，有冷空气影响时转偏北风，冷空气减弱或变性后很快转为偏南风或静风。因主导风向 SSW，所以污染企业一般建在城市的主导风向的下风方，即北部和东北部。分析 1 月重污染日的风向风速变化，发现风向频率出现最多的为北到东北风，这就意味着风从污染物集中排放区域吹向城区，加大了城区污染物浓度；平均风速一般都在 2 m/s 以下，最大瞬时风速为 5 m/s，出现在 18 日的 11:10，风向为 SSW，受较大风速的影响，18 日白天污染物浓度呈下降趋势，但较大风速吹起的本地沙尘又引起 PM<sub>10</sub> 浓度升高，因此 18 日仍为重污染日。当出现 4 级左右风时，一方面有利于污染物的扩散，另一方面本地大风吹起的沙尘引起 PM<sub>10</sub> 浓度升高，所以要将扬尘污染做为防治重点，可采取“建筑工地停止土方施工，路面增加喷水次数”等措施。

## 6 雾霾天气中重污染日的环流形势特征

### 6.1 500 hPa 平均高度场

1 月重度污染及以上的为 25 d，5~31 日中只有 20 日和 26 日为中度污染。利用 MICAPS 或 NCEP 的  $2.5^\circ$ （纬度） $\times 2.5^\circ$ （经度）再分析资料中 1 日 4 次的 500 hPa 高度分别制作雾霾天气期间重污染日的平均场，发现重污染日期间的 5 日 08:00 至 19 日 20:00、27 日 08:00 至 31 日 20:00 500 hPa 河北上空都为西北偏西气流（图 6a 和 6b），没有明显的槽脊活动，即冷空气主体偏北，冷空气活动较弱。而污染较轻的时段，25 日 20:00 500 hPa 高度场（图 6d）转为明显的槽后脊前西北气流控制，说明有明显冷空气沿西北气流东移南下。20 日污染较轻原因为 19 日 20:00（图 6c）河套一带有一明显西风槽东移影响河北，在 19 日夜间至 20 日衡水出现了中雪，降雪净化了空气，减轻了污染，使得 PM<sub>10</sub> 和细颗粒物浓度迅速下降，由重污染转为轻度污染。

### 6.2 地面气压场

利用 MICAPS 资料制作雾霾天气期间重污染日 08:00 地面气压的平均场，5~19 日地面气压场为蒙古东部高压底部的弱低压带（图略），1 月 27~31 日（图略）地面气压场为低压带前部的弱高压带，气压场都偏弱，尤其河北平原一带基本为均压场，弱气压场是出雾的地面形势之一；20 日 08:00 地面气压场（图 6c）衡水为东高西低形势，东北高压底部、河套倒槽前部的北到东北风形成回流与高空西风槽结合，产生了降雪，降雪有利于 PM<sub>10</sub> 和细颗粒物沉降到地面，大大降低了污染物浓度。25~26

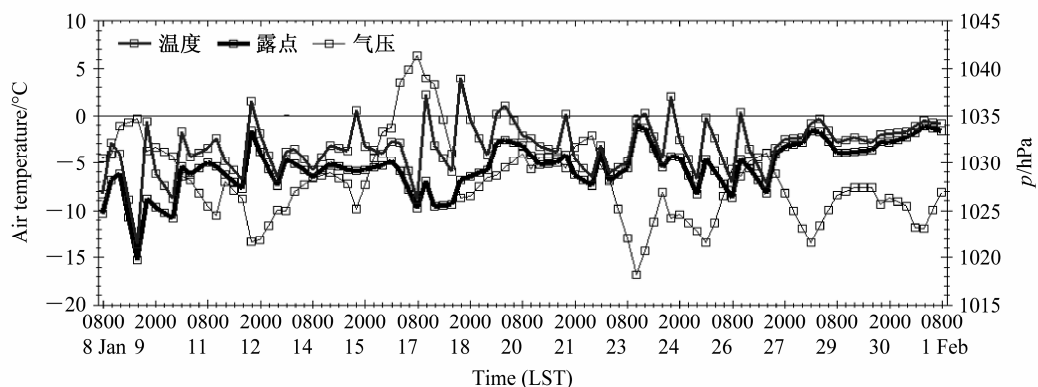


图 5 2013 年 1 月 8 日至 2 月 1 日衡水站的地面温度、露点、气压变化

Fig. 5 The variations of temperature, dew point, and pressure at Hengshui station during 8 Jan–1 Feb 2013

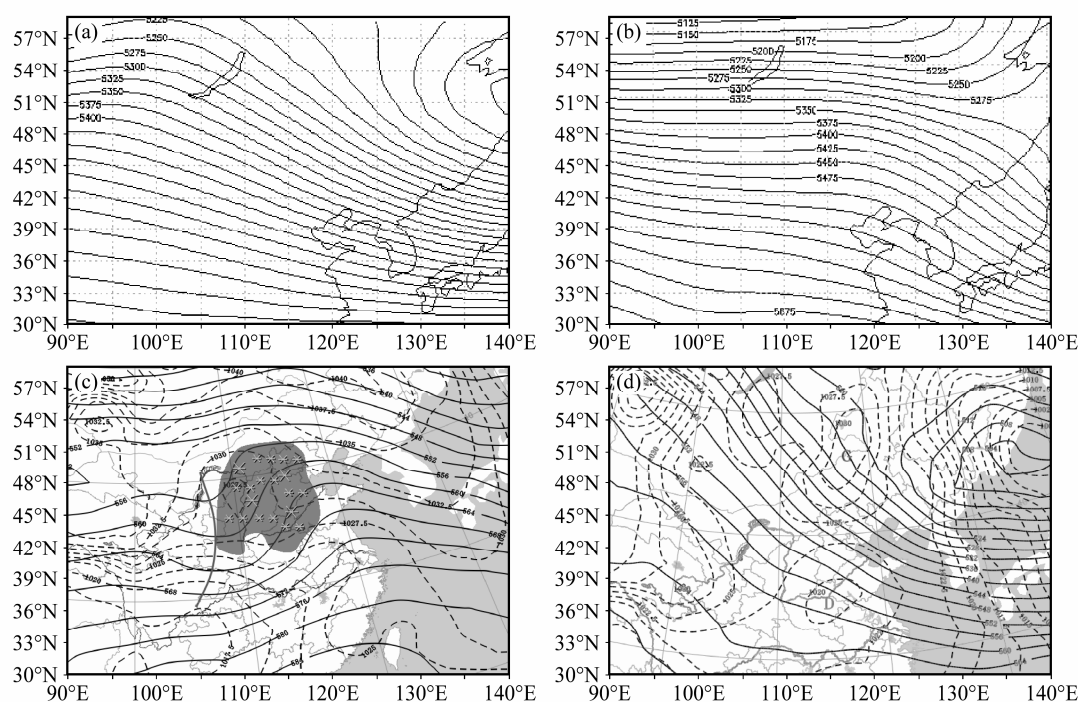


图 6 2013 年 1 月 (a) 5 日 08:00 至 19 日 20:00 和 (b) 27 日 08:00 至 31 日 20:00 500 hPa 平均高度场 (单位: gpm)、(c) 19 日 20:00 500 hPa 高度场 (实线, 单位: dagpm) 和 20 日 08:00 地面气压场 (虚线, 单位: hPa, 阴影为降雪区)、(d) 25 日 14:00 地面气压场 (虚线, 单位: hPa, G 为高压中心, D 为低压中心) 和 20:00 500 hPa 高度场 (实线, 单位: dagpm)

Fig. 6 500-hPa average height field (gpm) (a) from 0800 LST 5 Jan to 2000 LST 19 Jan and (b) from 0800 LST 27 Jan to 2000 LST 31 Jan, (c) 500-hPa height field (solid line, units: dagpm) at 2000 LST 19 Jan and the surface pressure field (dashed line, units: hPa, shading is snow area) at 0800 LST 20 Jan, and (d) the surface pressure field (dashed line, units: hPa, G is the high pressure center and D is the low pressure center) at 1400 LST and 500-hPa height field (solid line, units: dagpm) at 2000 LST on 25 Jan 2013

日 (图 6d) 地面气压场为北高南低, 蒙古东部—内蒙一带有冷高压南压, 气压梯度加大, 偏北风自 25 日下午加大, 雾霾天气消散, 污染物有利于扩散, PM10 和细颗粒物浓度逐渐下降, 表现为 26 日降为中度污染。

### 6.3 低层风场及温度变化

从 1 月 8~31 日的邢台站探空资料分析 (图略), 400~500 hPa 除 11~12 日、17~18 日、24~27 日为西北气流外, 其它大部分时段以平直偏西气流为主, 即无明显冷空气活动。从低层 850 hPa 以下的风场和温度场分析, 共有 4 次浅槽过境, 并分别伴有弱冷空气活动, 分别在 11、15、19、23 日。925~1000 hPa 风速都较小。温度场表明大部分日数 08:00 850 hPa 以下都存在逆温层, 具体表现为: 8~10 日在 925 hPa 附近有弱逆温; 11~14 日逆温加强, 强逆温层在 925 hPa 以下, 对应大雾天气范围大且浓; 15 日逆温层上升到 925~850 hPa, 伴有弱槽活动, 早晨前后云多, 影响了辐射降温, 以轻雾为主; 16 日 925 hPa 附近有弱逆温, 大雾又起; 17 日 08:00 邢台探空显示 (图 7a) 从 1017 hPa 处

—7 °C 到 1004 hPa 处—3 °C 之间, 气压下降 13 hPa、气温上升 4 °C, 即近地面存在强逆温, 形成大范围雾区; 18~19 日 850 hPa 以下都为逆温, 逆温层较厚, 19 日又有弱槽活动, 形成低云, 仍以轻雾为主; 20~21 日无明显逆温, 但受回流和中层弱槽影响出现小雨雪; 22 日开始到 24 日逆温加强, 出现雪后雾, 大雾天气加剧; 25~26 日弱逆温, 轻雾; 27 日 08:00 邢台探空显示 (图 7b) 气压 1005 hPa 处气温—6 °C, 1000 hPa 处气温上升到—4 °C, 987 hPa 处气温上升到—2 °C, 977 hPa 处气温上升到 4 °C, 944 hPa 处气温就上升到 5 °C, 一直到 925 hPa 处还维持 4 °C, 即在 925 hPa 以下形成很强的逆温层 (暖盖), 27~31 日强逆温形势维持, 出现持续性大雾。因此雾霾天气期间大部分日数 08:00 850 hPa 以下都存在逆温层。

## 7 小结

(1) 2013 年 1 月雾霾天气期间 06:00 至 07:00 和 16:00 至 21:00 为 PM10 和细颗粒物浓度较低时

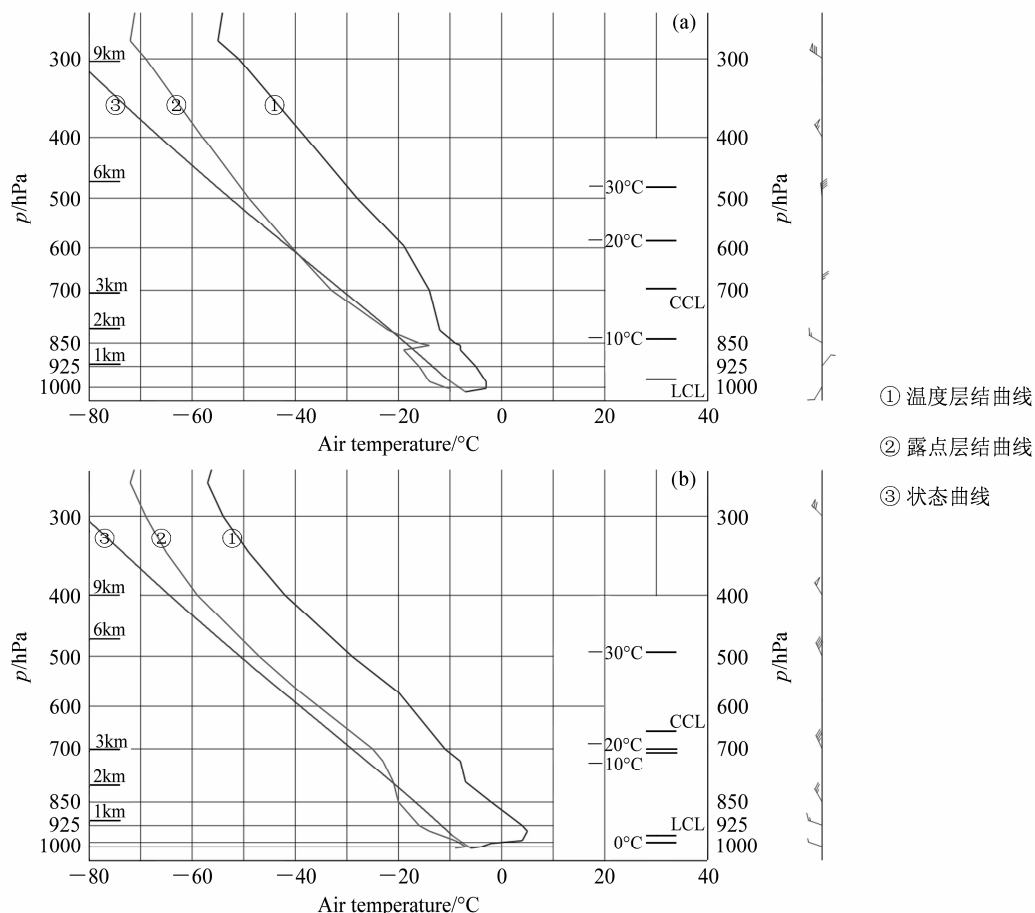


图 7 2013 年 1 月 (a) 17 日和 (b) 27 日 08:00 邢台探空图

Fig. 7 The T-logp diagrams at 0800 LST on (a) 17 Jan and (b) 27 Jan 2013 at Xingtai sounding station

段,对应相对湿度早晨较高,14:00 至 17:00 相对湿度处于较低水平,PM10 最大值出现在 15:00,细颗粒物最大值出现在 02:00,两者并不是同时达到极值。

(2) 雾霾天气污染物浓度与近地面湿度并不是简单的正相关或负相关关系,还和许多其它因素有关。

(3) 衡水市污染源主要来源于工业污染源、扬尘污染、冬季燃煤采暖、局部污染源及区域性污染。

(4) 雾霾天气相对湿度和能见度基本呈负相关,温度与露点相差很小,气压变化不大,风向频率出现最多的为北到东北风,平均风速一般都在 2 m/s 以下,即无明显冷空气影响,大气维持静稳状态。雾日时大部分时段为雾和霾的混合物。

(5) 重污染日期间 500 hPa 为平直偏西气流或西北偏西气流,没有明显的槽脊活动,冷空气活动较弱。而污染较轻的时段 500 hPa 为明显的西北气流控制或有槽脊活动。

(6) 雾霾天气期间大部分日数 850 hPa 以下都存在逆温层,强逆温层在 925 hPa 以下时大雾天气范围大且浓;低层风速较小;地面气压场都偏弱,尤其河北平原一带基本为均压场。

## 8 雾霾天气的影响及对策浅探

随着经济社会发展、城市迅速扩大和城市化进程加快,大气污染日趋严重,由气溶胶颗粒物造成能见度恶化事件越来越多,雾霾天气已成为一种常见环境灾害污染事件。雾霾天气影响人们的身体健康和心理健康,同时使太阳辐射减少,造成农作物减产,也容易引发交通事故(孙亮,2012)。

雾霾天气最主要影响因素是污染排放和气象条件两方面。空气中有污染物,就有可能形成雾霾,但如果此时气象条件适于污染物扩散,就不会形成雾霾天气。北京—天津—河北地区是一个大范围的重污染区域,依据雾霾天气强区域性和大气流动

性, 应立足整体并统一规划, 综合运用各种防治措施, 进行区域联防联控和污染物协同控制, 以有效应对雾霾天气并达到最佳治理效果。

污染物聚集、稀释、扩散受气象条件的制约。对位于北京—天津—河北地区东南部的衡水市自身来说, 应尽快调整产业结构和能源结构、关闭落后产能的小企业、加强黄标车淘汰治理、加强扬尘治理等, 从源头上减少污染物的排放, 同时应充分利用大气的自净能力, 发挥气象在大气污染治理中的作用, 根据不同的天气条件采取有效的污染控制措施。由于环境重污染产生在一定天气背景条件下, 气象部门应加强不利于污染物扩散的气象条件研究, 紧密与环境空气质量相结合, 找出不利污染物稀释、扩散的气象指标, 建立适合衡水市特点的预报预警方法, 加强污染气象条件等级预报预警, 科学研判, 针对即将发生的重污染气象条件做到早预报、及时预警, 为空气污染治理决策提供依据。同时在具备人影作业的条件下, 及时开展人影增雨(雪)作业, 充分利用大气的自净能力改善环境质量。

## 参考文献 (References)

- 包云轩, 丁秋冀, 袁成松, 等. 2013. 沪宁高速公路一次复杂性大雾过程的数值模拟试验 [J]. 大气科学, 37 (1): 124–136. Bao Yunxuan, Ding Qiuji, Yuan Chengsong, et al. 2013. Numerical simulations of a highly complex fog event on Shanghai–Nanjing expressway [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 37 (1): 124–136.
- 高茜, 何晖, 马新成, 等. 2012. 一次大雾形成过程的数值模拟分析 [J]. 气候与环境研究, 17 (6): 821–832. Gao Qian, He Hui, Ma Xincheng, et al. 2012. Numerical study of a dense fog event from 30 Nov to 1 Dec 2009 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 17 (6): 821–832.
- 郝吉明, 王丽涛, 李林, 等. 2005. 北京市能源相关大气污染源的贡献率和调控对策分析 [J]. 中国科学(地球科学), 35 (S1): 115–122. Hao Jiming, Wang Litao, Li Lin, et al. Analysis on the contribution rate and countermeasures of Beijing city energy related atmosphere pollute source [J]. Science in China (Earth Sciences) (in Chinese), 35 (S1): 115–122.
- 何晖, 金华, 刘建忠, 等. 2009. 北京地区一次辐射雾的数值模拟 [J]. 气候与环境研究, 14 (4): 390–398. He Hui, Jin Hua, Liu Jianzhong, et al. 2009. Simulation and analysis of a radiation fog event in Beijing area [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 14 (4): 390–398.
- 胡朝霞, 雷恒池, 董剑希, 等. 2011. 一次区域暖雾的特征分析及数值模拟 [J]. 气候与环境研究, 16 (1): 71–84. Hu Zhaoxia, Lei Hengchi, Dong Jianxi, et al. 2011. Characteristic analysis and numerical simulation of a regional warm fog event [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 16 (1): 71–84.
- 胡亚旦, 周自江. 2009. 中国霾天气的气候特征分析 [J]. 气象, 35 (7): 73–78. Hu Yadan, Zhou Zijiang. 2009. Climatic characteristics of haze in China [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 35 (7): 73–78.
- 雷恒池, 洪延超, 赵震, 等. 2008. 近年来云降水物理和人工影响天气研究进展 [J]. 大气科学, 32 (4): 967–974. Lei Hengchi, Hong Yanchao, Zhao Zhen, et al. 2008. Advances in cloud and precipitation physics and weather modification in recent years [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 32 (4): 967–974.
- 林建, 杨贵名, 毛冬艳. 2008. 我国大雾的时空分布特征及其发生的环流形势 [J]. 气候与环境研究, 13 (2): 171–181. Lin Jian, Yang Guiming, Mao Dongyan. 2008. Spatial and temporal characteristics of fog in China and associated circulation patterns [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (2): 171–181.
- 刘爱霞, 韩素芹, 蔡子颖, 等. 2012. 天津地区能见度变化特征及影响因素研究 [J]. 生态环境学报, 21 (11): 1847–1850. Liu Aaixia, Han Suqin, Cai Ziyang, et al. 2012. Variation trends and affect factors of visibility in Tianjin [J]. Ecology and Environmental Sciences (in Chinese), 21 (11): 1847–1850.
- 马学款, 蔡梦宁, 杨贵名, 等. 2007. 重庆市区雾的天气特征分析及预报方法研究 [J]. 气候与环境研究, 12 (6): 795–803. Ma Xuekuan, Cai Xiangning, Yang Guiming, et al. 2007. Study on fog synoptic characteristics and fog forecast method in Chongqing [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 12 (6): 795–803.
- 饶晓琴, 李峰, 周宁芳, 等. 2008. 我国中东部一次大范围霾天气的分析 [J]. 气象, 34 (6): 89–96. Rao Xiaoqin, Li Feng, Zhou Ningfang, et al. 2008. Analysis of a large-scale haze over middle and eastern China [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 34 (6): 89–96.
- 石春娥, 姚克亚, 马力. 2001. 气溶胶粒子对城市雾影响的模拟研究 [J]. 气候与环境研究, 6 (4): 485–492. Shi Chun'e, Yao Keya, Ma Li. 2001. Numerical studies of effects of aerosols on urban fog [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 6 (4): 485–492.
- 孙亮. 2012. 灰霾天气成因危害及控制治理 [J]. 环境科学与管理, 37 (10): 71–75. Sun Liang. 2012. Hazard and treatment of haze weather [J]. Environmental Science and Management (in Chinese), 37 (10): 71–75.
- 孙彧, 马振峰, 牛涛, 等. 2013. 最近 40 年中国雾日数和霾日数的气候变化特征 [J]. 气候与环境研究, 18 (3): 397–406. Sun Yu, Ma Zhenfeng, Niu Tao, et al. 2013. Characteristics of climate change with respect to fog days and haze days in China in the past 40 years [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 18 (3): 397–406.
- 王丛梅, 杨永胜, 李永占, 等. 2013. 2013 年 1 月河北省中南部严重污染的气象条件及成因分析 [J]. 环境科学研究, 26 (7): 695–702. Wang Congmei, Yang Yongsheng, Li Yongzhan, et al. 2013. Analysis on the meteorological condition and formation mechanism of serious pollution in south Hebei Province in January 2013 [J]. Research of Environmental Sciences (in Chinese), 26 (7): 695–702.
- 王丽涛, 潘雪梅, 郑佳, 等. 2012. 河北及周边地区霾污染特征的模拟研究 [J]. 环境科学学报, 32 (4): 925–931. Wang Litao, Pan Xuemei, Zheng Jia, et al. 2012. A modeling study of the regional haze over Hebei and surrounding areas [J]. Acta Scientiae Circumstantiae (in Chinese), 32 (4): 925–931.
- 吴兑, 吴晓京, 李菲, 等. 2010. 1951~2005 年中国大陆霾的时空变化 [J]. 气象学报, 68 (5): 680–688. Wu Dui, Wu Xiaojing, Li Fei, et al.

2010. Temporal and spatial variation of haze during 1951–2005 in Chinese mainland [J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 68 (5): 680–688.
- 张志刚, 高庆先, 韩雪琴, 等. 2004. 中国华北区域城市间污染物输送研究 [J]. *环境科学研究*, 17 (1): 14–20. Zhang Zhigang, Gao Qingxian, Han Xueqin, et al. The study of pollutant transport between the cities in North China [J]. *Research of Environmental Sciences* (in Chinese), 17 (1): 14–20.
- 赵桂香, 杜莉, 卫丽萍, 等. 2011. 一次持续性区域雾霾天气的综合分析 [J]. *干旱区研究*, 28 (5): 871–878. Zhao Guixiang, Du Li, Wei Liping, et al. 2011. Comprehensive analysis on a durative regional haze and fog [J]. *Arid Zone Research* (in Chinese), 28 (5): 871–878.