

唐山工业新区冬季采暖期大气污染变化特征研究

周瑞^{1,2}, 辛金元², 邢立亭¹, 王晓元², 封孝信³, 吉东生², 王跃思^{2*}

(1. 济南大学资源与环境学院, 济南 250002; 2. 中国科学院大气物理研究所大气边界层物理与大气化学国家重点实验室, 北京 100029; 3. 河北理工大学材料学院, 唐山 063009)

摘要:为研究唐山工业新区采暖期大气污染变化状况, 2009~2010年冬季唐山工业新区的唐山市、迁安市和曹妃甸3个地区观测研究表明, 唐山工业新区冬季采暖期间大气污染严重, NO、NO₂、SO₂、CO、PM_{2.5}和PM₁₀区域平均日均值分别达到(26±28)、(52±27)、(72±53)、(3 500±3 600)、(82±65)和(164±121) μg·m⁻³; NO和SO₂平均浓度采暖期是采暖前后的2.5倍, NO₂和PM₁₀增长30%, CO和PM₁₀日均值超标率(国家二级标准)分别为27%和40%, PM_{2.5}日均值超标率(WHO IT1标准)为38%。所测污染物统计日变化为双峰型, 峰值分别出现在08:00和18:00左右, 而CO呈现早晨08:00单峰型, 夜间累积增加; 在早交通高峰和采暖高峰的双重影响下, NO、SO₂和CO早高峰突出, 日均峰值分别达到50、90和5 100 μg·m⁻³, NO₂、PM_{2.5}和PM₁₀峰值对称且相对平缓, 最高值分别为56、105和202 μg·m⁻³。后向轨迹聚类统计表明仅在偏北气流作用下及冷空气过境时新区大气污染物才能清除, 而在偏南、偏东气流下极易造成污染积累或对京津地区的输送。

关键词:唐山工业新区; 采暖期; 大气污染; 后向轨迹聚类

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2011)07-1874-07

Variation of Air Pollution in New Tangshan Industrial Area During Winter Heating Period

ZHOU Rui^{1,2}, XING Jin-yuan², XING Li-ting¹, WANG Xiao-yuan², FENG Xiao-xin³, JI Dong-sheng², WANG Yue-si²

(1. College of Resources and Environment, Ji'nan University, Ji'nan 250002, China; 2. LAPC, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 3. College of Material Science, Hebei Polytechnic University, Tangshan 063009, China)

Abstract: To illuminate the air pollution situation of the new Tangshan industrial area in the heating period, the observation of atmospheric pollutants was conducted in Tangshan City, Qianan City and Caofeidian Town from Oct. 2009 to Apr. 2010. The result showed that air pollution was serious in the area in winter. The regional mean concentration of NO, NO₂, SO₂, CO, PM_{2.5} and PM₁₀ reached (26±28), (52±27), (72±53), (3 500±3 600), (82±65), (164±121) μg·m⁻³ in the heating period, respectively. The concentration of NO and SO₂ was 2.5 times in the heating period more than in the non-heating period. The concentration of NO₂ and PM₁₀ increased by ~30%. The rates that CO and PM₁₀ exceeded the National Ambient Air Quality Standard II were 27% and 40%; and the rate that PM_{2.5} exceeded the WHO IT1 Standard was 38%. The typical diurnal variations of NO, NO₂, SO₂, PM_{2.5} and PM₁₀ were similar with peaking at 08:00 and 18:00, but the diurnal variation of CO was single peak at 08:00 with accumulating in evening. The peaks of NO, CO and SO₂ were very high in morning because of the rush hours and the heating, which were 50, 90, and 5 100 μg·m⁻³, respectively. The peaks of NO₂, PM_{2.5} and PM₁₀ were relatively gentle, which were 56, 105, and 202 μg·m⁻³, respectively. The cluster analysis of backward trajectories showed only the northerwinds, the cold airs can wash away the air pollution, while the southerwinds and easternwinds can easily accumulate the pollutants or transport the pollutants to the Beijing-Tianjin region.

Key words: new Tangshan industrial area; heating period; air pollution; the cluster analysis of backward trajectories

唐山作为京津冀地区乃至华北区域重要的能源和工业材料产业支撑地, 对推动整个环渤海经济圈的发展有着举足轻重的作用, 但近年来环境问题日益突出。据2009年唐山市环境状况公报报道, 唐山市大气污染物的主要成分为可吸入颗粒物、二氧化硫和二氧化氮, 其中二氧化硫所占比重较大^[1]。已有研究表明, 整个京津冀地区大气污染是相互输送和交换的, 呈现区域复合污染趋势^[2,3], 因此唐山市大气环境状况是与整个京津冀地区大气环境紧密联

系的。北方地区冬季供暖以燃煤为主, 整个采暖期SO₂的排放量会大量增加, 浓度会是非采暖期的3~5倍^[4~7], 相应大气颗粒物的浓度也会增加, 影响空

收稿日期: 2010-08-10; 修订日期: 2010-10-18

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q02-03); 国家高技术研究发展计划(863)项目(2006AA06A301); 北京市科技计划公益应用类项目(D09040903670902)

作者简介: 周瑞(1985~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为资源与环境, E-mail: zhourui@dq.cern.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: wys@mail.iap.ac.cn

气质量和能见度,对人体呼吸系统和免疫系统等也会造成危害^[8,9]。NO_x、SO₂、CO、PM_{2.5}和 PM₁₀作为城市大气环境中重要污染物,会对人体健康和生态环境产生显著影响,目前唐山工业新区关于上述污染物的综合研究还较少,特别是近年来唐山地区的快速发展和北京市某些工业企业的迁入,重工业排放叠加冬季供暖燃煤排放对城市空气质量造成的影响尚不清楚。本研究以唐山市、迁安市、曹妃甸观测站为唐山工业新区代表性站点,讨论了冬季采暖期大气中 NO_x、SO₂、CO、PM_{2.5}和 PM₁₀变化特征,以期今后唐山工业新区大气环境状况变化与防控措施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 观测站点和时间

唐山市观测站位于河北理工大学校园内(39°37'N,118°09'E),采样点设在研究生院办公楼4楼楼顶(距地12 m);迁安市观测站位于迁安市第一实验小学校园内(40°N,118°41'E),采样点设在教学楼4楼楼顶(距地12 m);曹妃甸观测站位于唐海县曹妃甸新区经济开发区委员会院内(39°16'N,118°26'E),采样点设在办公楼4楼顶(距地12 m),站点位置如图1所示。3个观测站所处位置地形平坦,受局地环流影响较小,周围5 km内多为文教、行政和居民区,无高大建筑物和明显的局地排放源。本研究选择2009年10月~2010年4月的连续观测资料进行分析研究。

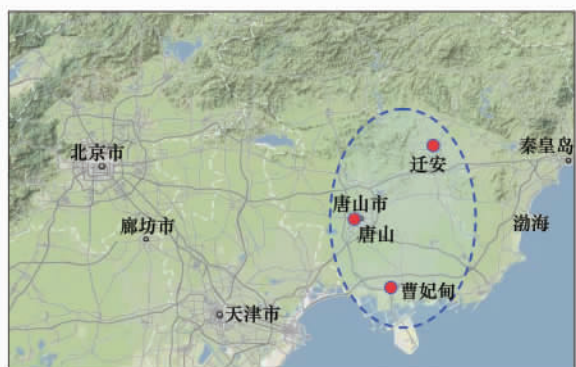


图1 观测站位置示意

Fig.1 Location of measuring sites

1.2 观测方法

观测站统一采用美国热电公司在线观测仪器。42i型 NO-NO₂-NO_x化学发光法分析仪,最低检测限为0.5 μg·m⁻³,零漂<0.5 μg·(m³·d)⁻¹,跨漂:±1%·(d)⁻¹。43i型 SO₂脉冲荧光分析仪,最低检测

限为2.6 μg·m⁻³,零漂<2.6 μg·(m³·d)⁻¹,跨漂:±1%·(d)⁻¹。48i型 CO非分光红外吸收法分析仪,最低检测线为46 μg·m⁻³,零漂<115 μg·(m³·d)⁻¹,跨漂:±1%·(d)⁻¹。文中所有气态污染物单位均采用唐孝炎等^[10]给出的转换因子由ppb近似转化成μg·m⁻³。TEOM 1400a PM_{2.5}/PM₁₀颗粒物监测仪,最低检测限:0.06 μg·(m³·h)⁻¹,质量分辨率:0.1 μg·m⁻³,精度:±1.5 μg·(m³·h)⁻¹。气体观测都采用共进气系统进样,颗粒物观测为独立进样系统。所有仪器设备每周定期标定与维护,以确保观测数据质量。

2 结果与讨论

2.1 污染物长时间变化特征

表1列出了唐山工业新区冬季采暖期(2009年11月~2010年3月)和采暖前后(2009年10月和2010年4月)3个观测站氮氧化物(NO、NO₂)、二氧化硫(SO₂)、一氧化碳(CO)、颗粒物(PM_{2.5}、PM₁₀)日均值浓度及其超标情况。图2给出了观测期间3个观测站大气污染物浓度月变化情况。所测污染物国家空气质量二级标准分别为:NO₂日均值标准为120 μg·m⁻³,SO₂日均值标准为150 μg·m⁻³,CO日均值标准为4 000 μg·m⁻³,PM₁₀日均值标准为150 μg·m⁻³。国内现在还没有PM_{2.5}标准,本研究用WHO IT1规定的日平均值75 μg·m⁻³进行参考。

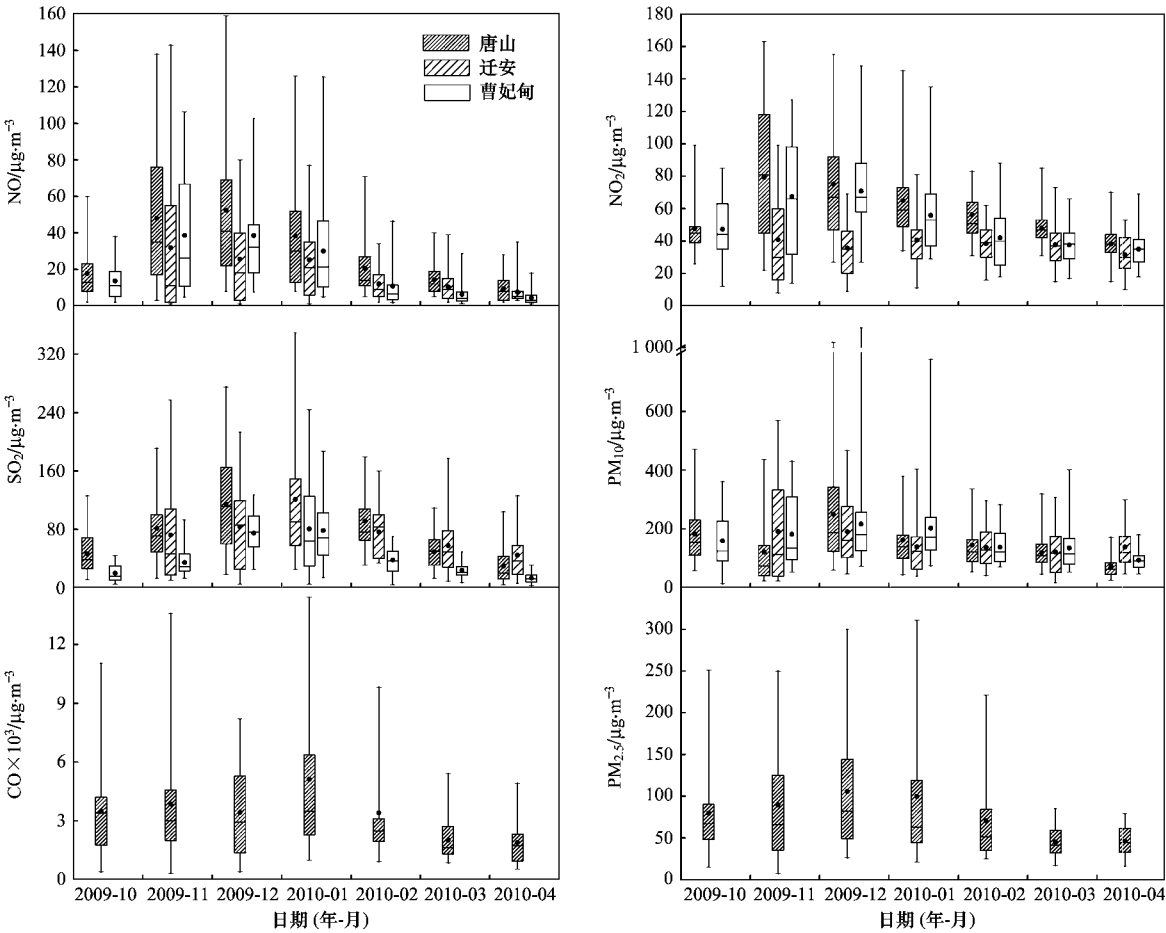
采暖开始后,观测站污染物浓度都呈现先增加后逐渐降低的过程,往往12月达到最高值,与北方地区冬季气温在12月达到最低点相对应;采暖期各类污染物平均浓度相对于采暖前和采暖后平均浓度都显著增加,其中以NO和SO₂最为显著,增幅都在1倍以上,与北方地区采暖主要以燃煤为主相关;颗粒物超标情况严重,即使非采暖期超标率也可以达到30%以上,采暖期甚至可以超过40%;唐山市观测站大部分污染物浓度值较其他两观测站高,与唐山市居住人口稠密并以重工业为主有一定关系。

NO唐山市观测站的日均值变化范围为3~159 μg·m⁻³,平均浓度为34 μg·m⁻³,采暖期NO浓度是采暖前后的2.3倍;迁安市观测站的日均值变化范围为1~143 μg·m⁻³,平均浓度为21 μg·m⁻³,采暖期NO浓度是采暖前后的3倍;曹妃甸观测站的日均值变化范围为1~126 μg·m⁻³,平均浓度为24 μg·m⁻³,采暖期NO浓度是采暖前后的2.7倍。NO主要来源于机动车和燃烧排放^[11,12],进入采暖期后

表 1 大气污染物浓度日均值特征统计/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 1 Statistics of daily average concentrations of atmospheric pollutants/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

监测站	污染物	采暖期		采暖前后	
		2009-11 ~ 2010-03	超标率/%	2009-10、2010-04	超标率/%
唐山	NO	34 ± 31	—	15 ± 21	—
	NO ₂	64 ± 28	6	44 ± 21	0
	SO ₂	92 ± 60	15	40 ± 43	0
	CO	3 500 ± 3 600	27	2 600 ± 3 100	16
	PM _{2.5}	82 ± 65	38	68 ± 61	24
	PM ₁₀	159 ± 124	40	134 ± 119	31
迁安	NO	21 ± 24	—	7 ± 10	—
	NO ₂	39 ± 18	0	32 ± 17	0
	SO ₂	74 ± 54	10	44 ± 56	0
	PM ₁₀	156 ± 113	40	138 ± 100	40
曹妃甸	NO	24 ± 26	—	9 ± 17	—
	NO ₂	54 ± 26	2	41 ± 25	0
	SO ₂	51 ± 25	2	16 ± 18	0
	PM ₁₀	176 ± 125	47	128 ± 106	27
三站平均	NO	26 ± 28	—	10 ± 15	—
	NO ₂	52 ± 27	3	39 ± 21	0
	SO ₂	72 ± 53	9	30 ± 41	0
	PM ₁₀	164 ± 121	42	122 ± 100	31



线顶点分别表示月最大值、最小值;黑色圆点表示月平均值

图 2 污染物浓度月变化

Fig. 2 Monthly variation of atmospheric pollutants

整个唐山工业新区 NO 平均浓度是采暖前后的 2.6 倍,与燃烧过程源增加和冬季光化学汇减少直接相关。

NO_2 唐山市观测站的日均值变化范围为 22 ~ 163 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,平均浓度为 64 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,采暖期 NO_2 浓度是采暖前后的 1.5 倍,共有 9 d 超过国家空气质量二级标准,超标率为 6%;迁安市观测站的日均值变化范围为 8 ~ 99 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,平均浓度为 39 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,采暖期 NO_2 浓度是采暖前后的 1.2 倍,小时均值达到了国家二级标准;曹妃甸观测站的日均值变化范围为 14 ~ 148 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,平均浓度为 54 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,采暖期 NO_2 浓度是采暖前后的 1.3 倍,共有 3d 超过国家空气质量二级标准,超标率 2%。 NO_2 主要来源于机动车排放^[13, 14],因而唐山市观测站平均浓度最高,且超标情况严重。整个唐山工业新区采暖期相对于采暖前后 NO_2 平均浓度虽有上升,但变化不明显,未表现出 NO_2 源与其他季节的显著变化^[15]。统计分析表明,3 个观测站中唐山市和曹妃甸观测站的 NO 和 NO_2 具有显著相关性(r 为 0.74、0.81),一方面可能是因为两地排放源比较相似,另一方面可能是因为两地受相同天气过程影响比较大。

SO_2 唐山市观测站的日均值变化范围为 13 ~ 349 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,平均浓度为 92 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,采暖期 SO_2 浓度是采暖前后的 2.3 倍,共有 22 d 超过国家空气质量二级标准,超标率为 15%;迁安市观测站的日均值变化范围为 5 ~ 257 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,平均浓度为 74 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,采暖期 SO_2 浓度是采暖前后的 1.7 倍,共有 14 d 超过国家空气质量二级标准,超标率为 10%;曹妃甸观测站的日均值变化范围为 4 ~ 187 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,平均浓度为 51 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,采暖期 SO_2 浓度是采暖前后的 3 倍,共有 3 d 超过了国家空气质量二级标准,超标率 2%。由于 SO_2 主要来源为工业生产与燃烧排放^[16, 17],冬季供暖燃煤而产生的大量排放,使 SO_2 浓度显著增高,是采暖前后的 2.4 倍。唐山工业新区一些重工业企业多分部在唐山市和迁安市周围,曹妃甸作为一个新兴的经济开发区尚未全面启动,因而 3 个观测站大气污染严重程度也呈现出依次递减趋势。唐山市大气污染中 SO_2 所占比重较大,煤是唐山市最主要的能源,大气污染也以烟煤型为主,近年来工业废气的排放总体上呈上升趋势,且工业区大气污染指数明显高于全市平均。 SO_2 的过量吸入会损害人体呼吸系统,短期暴露会造成呼吸道疾病,长期暴露将引起心肺系统组织病变^[18];

同时 SO_2 也能形成酸雨和气溶胶影响气候和环境的变迁。

唐山市观测站 CO 的日均值变化范围为 300 ~ 14 400 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,平均浓度为 3 500 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,采暖期 CO 浓度是采暖前后的 1.3 倍,共有 35 d 超过国家空气质量二级标准,超标率为 27%。城市大气中 CO 主要来源于矿物质燃料的不完全燃烧和汽车尾气排放,其浓度在大气含碳微量气体中仅次于 CO_2 和 CH_4 ,已达 10^{-6} 量级(体积比)^[19]。唐山市 2009 年冬季大气 CO 浓度比北京 2004 年采暖期浓度值 $(3\,300 \pm 2\,300) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ^[20] 高 6%,与其工业企业大量燃煤直接相关。

唐山市区观测站 $\text{PM}_{2.5}$ 的日均值变化范围为 7 ~ 311 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,平均浓度为 82 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,共有 56 d 超过 WHO IT1 标准,超标率为 38%,采暖期浓度较采暖前后升高 21%。为分析粗($\text{PM}_{2.5-10}$)、细粒子($\text{PM}_{2.5}$)对 PM_{10} 的贡献,计算了 $\text{PM}_{2.5}$ 与 PM_{10} 比值($\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$)为 0.6,说明 PM_{10} 的质量浓度主要集中在 $\text{PM}_{2.5}$ 以下,由于 $\text{PM}_{2.5}$ 粒子体积小、重量轻和数量多,干湿沉降过程对其清除效率低,导致其在大气中停留时间长,输送距离远,影响范围很大,表现为一种区域性污染物。 PM_{10} 唐山市区观测站的日均值变化范围为 23 ~ 1 020 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,平均浓度为 159 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,共有 57 d 超过国家空气质量二级标准,超标率为 40%;迁安观测站的日均值变化范围为 17 ~ 569 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,平均浓度为 156 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,共有 59 d 超过国家空气质量二级标准,超标率为 40%;曹妃甸观测站的日均值变化范围为 53 ~ 1 076 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,平均浓度为 176 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,共有 70 d 超过国家空气质量二级标准,超标率为 47%;整个唐山工业新区采暖期间较采暖前后 PM_{10} 平均浓度上升幅度约 30%。采暖期 3 个观测站超标情况严重,都达到 40% 以上。除此之外,冬季个别的沙尘天气可使 PM_{10} 日均值超过 1 000 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。2009 年 12 月 25 日一次沙尘暴过程,唐山和曹妃甸 PM_{10} 日均值分别达到了 1 020 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 1 076 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。高浓度的颗粒物会对人的呼吸系统有直接的刺激作用,还能作为病毒、细菌的载体传播疾病,同时通过对光的散射效应而降低能见度,是现今我国城市首要的大气污染物^[21, 22]。2000 ~ 2007 年全国重点城市 PM_{10} 冬季平均值为 $(125 \pm 48) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ^[23],而唐山工业新区浓度值平均为 164 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,远高于全国城市平均水平且超出国家二级日均值标准。唐山新区大气颗粒物污染严重,

大量工矿企业排放和地方快速城市化建设是导致大气可吸入颗粒物高居不下的主要原因.

2.2 污染物日变化分析

为了进一步了解唐山工业新区大气污染物浓度的日变化特征,统计了唐山工业新区 3 个观测站采暖期污染物的日变化形式,参见图 3. 总体而言 3 个观测站污染物日变化的趋势存在一定的相似性,但峰值、低值产生的时间、大小上存在一定的差异.

NO、NO₂ 具有双峰型日变化特征,早上上班高峰期车流量增大,会排放大量汽车尾气,同时也是供暖繁忙期,燃烧排放也比较集中,加之混合层还未发展光化学反应比较弱的共同作用,使得 3 个观测站的 NO、NO₂ 在 07:00~09:00 之间出现浓度最高值,其中唐山市浓度值为 (69 ± 69) 和 (71 ± 38) μg·m⁻³,迁安市浓度值为 (33 ± 35) 和 (39 ± 17)

μg·m⁻³、曹妃甸浓度值为 (47 ± 58) 和 (58 ± 28) μg·m⁻³,三站平均浓度为 (50 ± 58) 和 (56 ± 29) μg·m⁻³. 之后浓度快速下降,一方面随着大气对流混合的增强,近地面氮氧化物快速扩散稀释,另一方面由于其被大气中增加的臭氧光化学反应消耗,午后 13:00~15:00 浓度降至最低,18:00 之后其浓度小幅度累积上升,且整个夜晚一直维持这种相对较高的浓度状态,直至第 2 d 早晨达到峰值. 3 个观测站 NO、NO₂ 的变化趋势具有相似性,但日较差存在一定的差异.

SO₂ 日变化特征与 NO 相似,冬季采暖期其浓度变化受供暖燃烧排放影响比较大. 上午供暖繁忙期的 08:00~10:00 浓度最高,3 个观测站中唐山市峰值浓度为 (143 ± 126) μg·m⁻³,迁安市的峰值浓度为 (92 ± 83) μg·m⁻³,曹妃甸的峰值浓度为 (70 ± 56) μg·m⁻³,三站平均浓度为 (90 ± 90) μg·m⁻³. 随

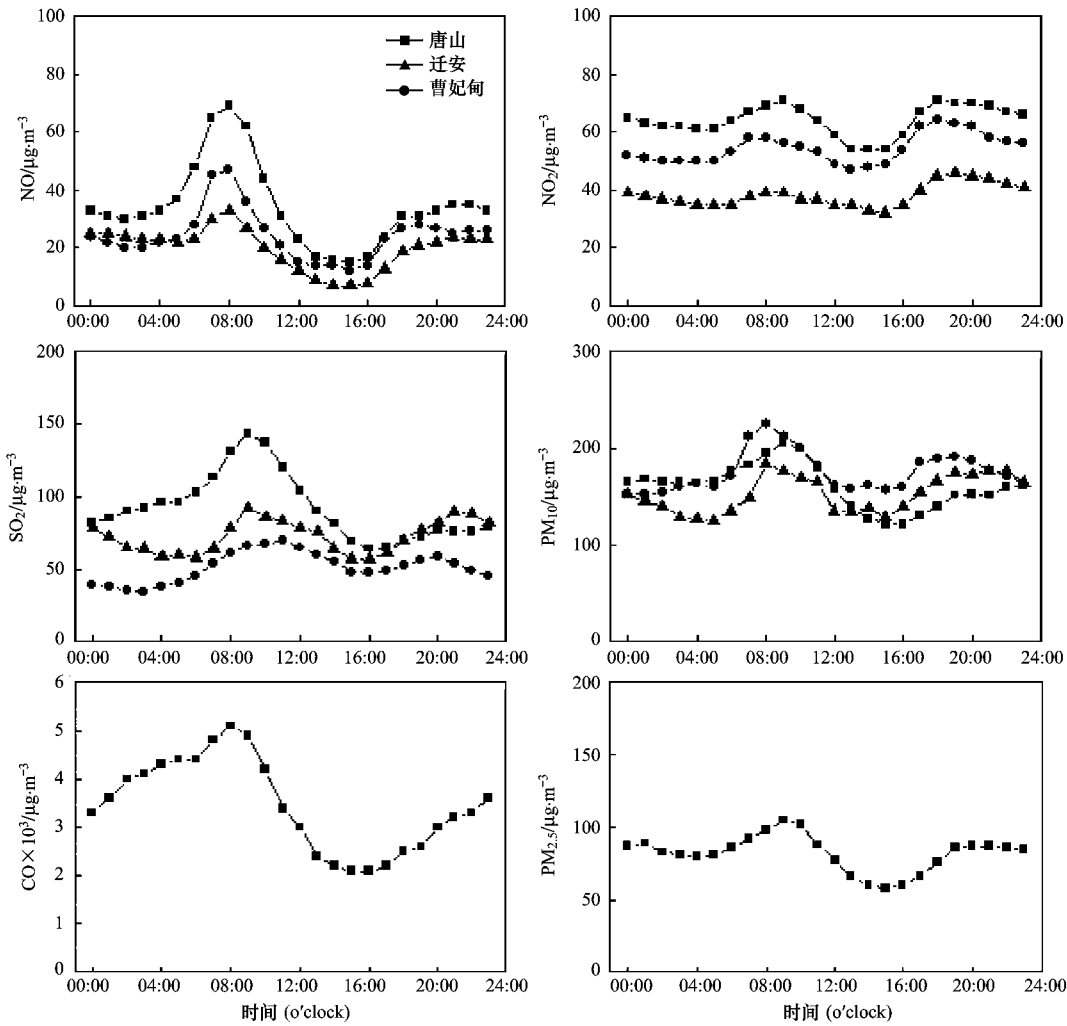


图 3 污染物浓度的日变化

Fig.3 Diurnal cycles of atmospheric pollutants

着中午及午后对流旺盛,区域与高空混合加强,使得 SO_2 逐步下降,在 16:00 左右浓度达到最低值.傍晚,1 d 中第 2 个供暖繁忙期到来,加之大气稳定度增加,混合层下降,污染物扩散能力快速减弱, SO_2 积累浓度迅速上升.唐山市大气小时平均浓度和日较差高于迁安和曹妃甸,与其城市人口多、供暖集中和具有较大的地表粗糙度有关.

CO 日变化与 NO_x 和 SO_2 变化情况不大一致,呈现早晨 08:00 单峰型,峰值浓度可达 $(5\,100 \pm 4\,400) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,与交通高峰导致的机动车排放源短时大量增加有关,随着交通早高峰的结束,浓度开始逐渐下降,至午后 15:00 ~ 16:00 达到最低值,之后开始回升,并在夜间累积增加.其日变化的形成机制与 SO_2 相同.

PM_{10} 也是双峰型变化,变化较为平缓,上午的峰值在 08:00 左右,为机动车高扬尘与燃烧排放所致,其中唐山市峰值浓度为 $(206 \pm 173) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,迁安市峰值浓度为 $(184 \pm 143) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,曹妃甸峰值浓度为 $(196 \pm 225) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,三站平均浓度为 $(202 \pm 172) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$;下午峰值在 19:00,浓度值分别为 (162 ± 178) 、 (176 ± 165) 和 $(191 \pm 135) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.唐山市大气中的 $\text{PM}_{2.5}$ 日变化形式和 PM_{10} 类似,峰值浓度分别为 (105 ± 98) 和 $(87 \pm 73) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.值得注意的是,曹妃甸大气中 PM_{10} 小时平均浓度比唐山和迁安都高,新兴工业区建设造成裸地面积大、重型运输车辆和建筑机械较多,直接导致局地大气中粗颗粒物浓度较高.

2.3 污染物来源分析

利用 HYSPLIT 轨迹模式(模拟起点为唐山市观测站,模拟高度为 500 m,3 d 的后向轨迹,截止时间为每天的 08:00)结合聚类法对唐山工业新区气团主要来向进行分析,得出唐山工业新区气团主要来源可以分为 6 类(见图 4).北部和北部偏西强气流 I、V 类气团对唐山工业新区的 PM_{10} 有一定的清除作用,2 类气团出现频率分别为 26.5% 和 12.2%,浓度均没有超过 $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$;强劲干冷的北风能迅速清除污染物,且北风主要来自相对清洁的内蒙古山区,本身携带的污染物浓度较低.而经过京津地区、河北西南部与东部的偏西北、东北气流 II、III、IV 类气团对唐山地区 PM_{10} 输送明显,出现频率分别为 12.9%、38%、5%,唐山工业新区 PM_{10} 浓度分别可达 (200 ± 99) 、 (165 ± 98) 、 $(185 \pm 122) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,都出现了超标情况;以上 3 类气团途径地多为污染严重的区域,加之北方冬季采暖以燃煤为主,在西北风主导风向下,京津冀地区污染物输送对唐山工业新区的影响也不容忽视.对于较弱东南气流 VI 类气团,虽然出现频率只有 5%,但对唐山工业新区乃至京津唐地区的污染物易造成显著累积,致使地区 PM_{10} 的平均浓度可高达 $(240 \pm 137) \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.近年来华北地区秋冬季节多次发生区域性重污染事件表明,唐山工业新区冬季大气污染所产生的影响不仅影响局地,对周边区域必然造成显著影响^[24].唐山工业新区处于燕山山前东风带上,受稳定的高压系统南

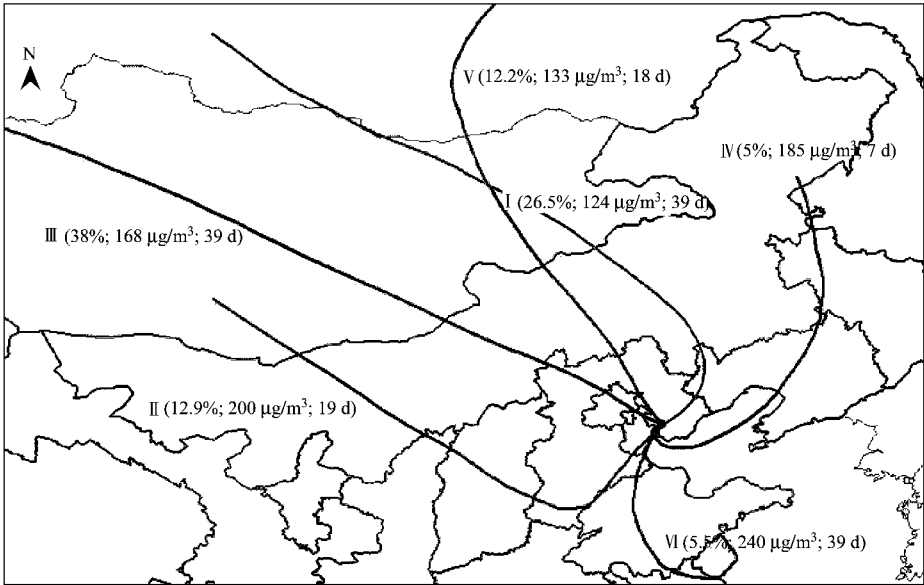


图 4 观测期间唐山工业新区污染物来源后向轨迹聚类

Fig. 4 Air mass backward trajectories for new Tangshan industrial area during observation period

部、低压系统北部或同步影响,从而形成的持续均匀的偏东气流,如Ⅳ、Ⅵ类气团;在此情况下,导致唐山地区污染物向京津两地的输送;加之西部和北部燕山山脉的遮挡,极易形成京津唐地区污染物的快速叠加累积,从而形成严重的区域性污染^[25]。

3 结论

(1) 唐山工业新区受工业排放和燃煤取暖的影响,采暖期 NO、SO₂ 平均升高约 1.5 倍,NO₂ 与 PM₁₀ 平均升高约 30%,PM_{2.5} 升高约 20%,大气污染严重。CO 寿命长时空分布均匀,日变化幅度主要受混合层高度影响,呈单峰型;其它各类污染物平均日变化受到较为一致的排放时间与混合层高度变化的影响,呈现为典型的城市地区早晚双峰型变化。

(2) 唐山工业新区污染物超标情况比较严重,CO 超标率为 27%,PM₁₀ 呈现为区域性污染,超标率平均达到 40% 以上,PM_{2.5}/PM₁₀(唐山市区)为 0.6,细粒子所占比重较大,超标率高达 38%,区域性污染贡献值较高。

(3) 在冬季较弱的偏西和偏东气流的影响下,唐山工业新区的大气质量易受到京津区域及河北南部与东部的污染物输送的影响,特别是在偏南气流的影响下,污染物积累显著,大气污染严重;仅在偏北气流、及冷空气作用下,有利于新区大气污染物清除扩散。

参考文献:

[1] 唐山市环境保护局. 2009 年唐山市环境状况公报[EB/OL].
http://www. tshbj. gov. cn,2010-06-07.

[2] Xin J Y, Wang Y S, Tang G Q, *et al.* Variability and reduction of atmospheric pollutants in Beijing and its surrounding area during the Beijing 2008 Olympic Games[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, **55**(18):1937-1944.

[3] 张志刚,高庆先,韩雪琴,等. 中国华北区域城市间污染物输送研究[J]. 环境科学研究,2004, **17**(1):14-20.

[4] Sun Y, Wang Y S, Zhang C C. Measurement of the vertical profile of atmospheric SO₂ during the heating period in Beijing on days of high air pollution[J]. Atmospheric Environment, 2009, **43**(2):468-472.

[5] 周贺玲,田晓飞,张绍恢. 廊坊市 SO₂ 污染及相关气象条件[J]. 资源与产业,2009, **11**(1):111-113.

[6] 韦意双,蔡旭晖,范绍佳,等. 北京地区冬季 SO₂ 浓度的时空分布和年际变化特征研究[J]. 环境保护科学,2007, **33**(6):1-4.

[7] 段欲晓,徐晓峰. 北京地区 SO₂ 污染特征及气象条件分析[J]. 气象科技,2001, **1**(4):11-14.

[8] 杨勇杰,王跃思,温天雪,等. 采暖期开始前后北京大气颗粒物中化学元素特征及来源[J]. 环境科学,2008, **29**(11):3275-3279.

[9] 车瑞俊,刘大锰,袁杨森. 北京冬季大气颗粒物污染水平和影响因素研究[J]. 中国科学院研究生院学报,2007, **24**(5):556-563.

[10] 唐孝炎,张远航,邵敏. 大气环境化学[M]. (第二版). 北京:高等教育出版社,2006. 710-711.

[11] 刘洁,张小玲,徐晓峰,等. 北京地区 SO₂、NO_x、O₃ 和 PM_{2.5} 变化特征的城郊对比分析[J]. 环境科学,2008, **29**(4):1059-1065.

[12] Streets D G, Waldhoff S T. Present and future emissions of air pollutants in China: SO₂, NO_x, and CO [J]. Atmospheric Environment, 2000, **34**(3):363-374.

[13] 潘月鹏,王跃思,胡波,等. 北京奥运时段河北香河大气污染观测研究[J]. 环境科学,2010, **31**(1):1-9.

[14] Mazzeo N A, Venegas L E, Choren H. Analysis of NO, NO₂, O₃ and NO_x concentrations measured at a green area of Buenos Aires City during wintertime [J]. Atmospheric Environment, 2005, **39**(17):3055-3068.

[15] 王晓元,辛金元,王跃思,等. 唐山夏秋季大气质量观测与分析[J]. 环境科学,2010, **31**(4):877-885.

[16] 田贺忠,郝吉明,陆永琪,等. 中国生物质燃烧排放 SO₂、NO_x 量的估算[J]. 环境科学学报,2002, **22**(2):204-208.

[17] 安俊琳,王跃思,李昕,等. 北京大气中 SO₂、NO_x、CO 和 O₃ 体积分数变化分析[J]. 生态环境,2007, **16**(6):1585-1589.

[18] 刘吉福. 空气中悬浮颗粒物与呼吸系统疾病关系研究进展[J]. 环境与健康杂志,2007, **24**(11):933-935.

[19] 刘小红,洪钟祥,李家伦,等. 北京气象塔秋季大气 O₃、NO_x 及 CO 浓度变化的观测实验[J]. 自然科学进展,2000, **10**(4):338-342.

[20] 安俊琳,王跃思,李昕,等. 北京大气中 NO、NO₂ 和 O₃ 浓度变化的相关性分析[J]. 环境科学,2007, **28**(4):706-711.

[21] 阚海东,陈秉衡. 我国大气颗粒物暴露与人群健康效应的关系[J]. 环境与健康杂志,2002, **19**(6):422-424.

[22] 於方,过孝民,张衍燊,等. 2004 年中国大气污染造成的健康经济损失评估[J]. 环境与健康杂志,2007, **24**(12):999-1003.

[23] 李杨. 2000-2007 年中国重点城市 PM₁₀ 的时空变化特征[J]. 干旱区资源与环境,2009, **23**(9):51-54.

[24] 孙扬,王跃思,刘广仁,等. 北京地区一次大气环境持续严重污染过程中 SO₂ 的垂直分布分析[J]. 环境科学,2006, **27**(3):408-414.

[25] 吴丹,辛金元,孙扬,等. 2008 年奥运期间华北区域大气污染物本底浓度变化与分析[J]. 环境科学,2010, **31**(5):1130-1138.