

姚青,刘敬乐,韩素芹,等. 2016. 天津城区春节期间大气气溶胶污染特征和数浓度分布. 气象, 42(4):443-449.

天津城区春节期间大气气溶胶污染特征 和数浓度分布^{*1}

姚 青 刘敬乐 韩素芹 樊文雁

天津市气象科学研究所, 天津 300074

提 要: 利用天津城区 2009—2014 年春节期间大气气溶胶观测资料和相关气象资料, 重点分析 2013 和 2014 年春节期间气溶胶污染特征, 探求燃放烟花爆竹以及气象条件对春节期间大气气溶胶的影响。结果表明, 受燃放烟花爆竹影响, 春节期间 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度最高值均发生在除夕夜间; 持续雾-霾天气条件下燃放烟花爆竹, 造成 2013 年除夕夜间 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度峰值达到 $1240 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 是近年来最严重的一次; 2014 年春节期间烟花爆竹燃放量有所减少, 加之空气扩散条件较为有利, $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度显著低于 2013 年; 不同天气条件下, 气溶胶数浓度谱分布特征存在明显差异, 燃放烟花爆竹期间气溶胶数浓度水平与严重雾-霾天气相当。

关键词: 春节, 气溶胶, 污染特征, 数浓度, 天津

中图分类号: P402

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.04.007

Pollution Characteristics and Number Concentration of Atmospheric Aerosol During Spring Festival in Tianjin

YAO Qing LIU Jingle HAN Suqin FAN Wenyan

Tianjin Institute of Meteorological Sciences, Tianjin 300074

Abstract: Based on atmospheric aerosol mass concentration and relative meteorological data in Tianjin urban areas during the Spring Festivals of 2009—2014, the distribution characteristics of aerosol concentration spectrum were gained and the impact factors of these distribution characteristics including fireworks and meteorological conditions were analyzed. The results showed that $\text{PM}_{2.5}$ mass concentration reached its peak value in the New Year Eve due to firing fireworks. With the continuous fog and haze during the Spring Festival, firing fireworks made the $\text{PM}_{2.5}$ concentration reach $1240 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ in 2013 and this is the highest value in recent years. During the Spring Festival of 2014, the decreasing amount of fireworks and good condition of pollutant dispersion were the causes for lower $\text{PM}_{2.5}$ mass concentration than in 2013. Distribution characteristics of aerosol number concentration spectrum had significantly differences in different weather conditions. Aerosol number concentrations during firing fireworks were comparable with that of fog and haze events.

Key words: Spring Festival, aerosol, pollution characteristics, number concentration, Tianjin

* 公益性行业(环保)科研专项(201409001)和天津市科技支撑计划项目(13ZCZDSF02100)共同资助
2014 年 11 月 24 日收稿; 2016 年 2 月 16 日收修定稿
第一作者: 姚青, 主要从事大气环境与大气化学研究. Email: yao.qing@163.com

引 言

春节是中国最重要的传统节日,节日期间燃放烟花爆竹的习俗由来已久,在增加节日欢乐气氛的同时,由此导致的安全与环境问题也不容忽视。国内学者对于北京(李令军等,2006)、兰州(赵素平等,2012)、上海(王广华等,2011)、西安(王繁强等,2008)、泉州(赵金平等,2011)等地烟花爆竹燃放期间大气气溶胶的质量浓度、化学组分和数浓度谱分布特征,以及烟花爆竹燃放对空气质量的影响进行了广泛研究。张小玲等(2008)针对 2006 年春节期间北京城近郊区的观测发现,除夕和元宵节大量燃放烟花爆竹可导致气溶胶浓度短时间快速上升,但对 SO_2 和 NO_2 影响不大。赵素平等(2012)对兰州市 2011 年春节期间气溶胶数浓度谱分布特征的研究表明,燃放烟花爆竹导致气溶胶数浓度升高,其贡献主要集中在 $0.5\sim 1.0\ \mu\text{m}$ 粒径段,其数浓度分布特征与金军等(2007)的研究结果基本一致。

国内相关研究以往多集中关注燃放烟花爆竹对于气溶胶质量浓度及其化学组分的影响,较少涉及气溶胶数浓度谱分布特征(赵素平等,2012;金军等,2007),且观测时段普遍较短,多为一个观测期,缺乏多年连续观测的对比研究。张小曳(2014)对不同区域气溶胶化学成分质量浓度水平与组成的评估表明,华北与关中平原气溶胶污染最为严重,2013 年 1—3 月北京及周边地区 $\text{PM}_{2.5}$ 污染呈区域性高值、污染局地积累以及由南向北输送的特征(靳军莉等,2014)。本研究采用 2009—2014 年春节期间大气气溶胶质量浓度和相关气象资料,并重点分析 2013 和 2014 年气溶胶数浓度谱分布特征,探求燃放烟花爆竹以及气象条件对春节期间大气气溶胶的影响,以期为空气质量预报和空气污染防治提供依据。

1 资料与方法

本研究的观测点位于中国气象局天津大气边界层观测站($39^\circ 06' \text{N}$ 、 $117^\circ 10' \text{E}$,海拔高度 2.2 m,台站编号:54517,以下简称为观测站)院内,该站点位于天津市城区南部,其北距快速路约 200 m,东距友谊路—友谊南路约 100 m,西面和南面主要为住宅区,交通源有一定的影响。测点离地高约 3 m,下垫面为草地,周围为气象观测场和办公区,无明显污染

源,观测点能够代表典型城区。本研究所涉及的春节期间为除夕及其前三天至正月十六,合计 20 d,包含了除夕和元宵节两个烟花爆竹燃放的高峰时段,重点观测时间为北京时 2013 年 2 月 6—25 日和 2014 年 1 月 27 日至 2 月 15 日,其中 2013 年 2 月 9 日和 2014 年 1 月 30 日为除夕,2013 年 2 月 24 日和 2014 年 2 月 14 日为元宵节。

PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度数据来自于美国 Thermo 公司生产的 TEOM 系列 RP1400a 环境气溶胶监测仪,采样流量 $16.7\ \text{L} \cdot \text{min}^{-1}$,检测限 $0.06\ \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,测量上限 $1500\ \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,质量分辨率为 $0.01\ \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,精度 $1.5\ \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ (1 h)、 $0.5\ \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ (24 h)。气溶胶数浓度资料由德国 Grimm 公司生产的 Grimm 180 气溶胶监测仪观测获得,该仪器可提供粒径 $0.25\sim 32\ \mu\text{m}$,共 31 个通道的气溶胶数浓度,分别为 $0.25\sim 0.28$ 、 $0.28\sim 0.30$ 、 $0.30\sim 0.35$ 、 $0.35\sim 0.40$ 、 $0.40\sim 0.45$ 、 $0.45\sim 0.50$ 、 $0.50\sim 0.58$ 、 $0.58\sim 0.65$ 、 $0.65\sim 0.70$ 、 $0.70\sim 0.80$ 、 $0.80\sim 1.0$ 、 $1.0\sim 1.3$ 、 $1.3\sim 1.6$ 、 $1.6\sim 2.0$ 、 $2.0\sim 2.5$ 、 $2.5\sim 3.0$ 、 $3.0\sim 3.5$ 、 $3.5\sim 4.0$ 、 $4.0\sim 5.0$ 、 $5.0\sim 6.5$ 、 $6.5\sim 7.5$ 、 $7.5\sim 8.5$ 、 $8.5\sim 10.0$ 、 $10.0\sim 12.5$ 、 $12.5\sim 15.0$ 、 $15.0\sim 17.5$ 、 $17.5\sim 20.0$ 、 $20.0\sim 25.0$ 、 $25.0\sim 30.0$ 和 $30.0\sim 32.0\ \mu\text{m}$,为便于研究,合并其中的 $\text{PM}_{1.0}$ 、 $\text{PM}_{1.0\sim 2.5}$ 和 $\text{PM}_{2.5\sim 10}$,相应的数浓度依次记作 $\text{PN}_{1.0}$ 、 $\text{PN}_{1.0\sim 2.5}$ 和 $\text{PN}_{2.5\sim 10}$,其中 $\text{PN}_{1.0}$ 包含粒径 $0.25\sim 1.0\ \mu\text{m}$ 的粒子,2014 年 2 月 7—12 日(正月初八至正月十三)因仪器故障造成气溶胶数浓度资料数据缺失。大气能见度资料采用美国 Belfort 公司生产的 MODLE 6000 型前向散射能见度仪测量,仪器测量上限为 20 km,下限为 6 m,精度 10%。所有测量数据经过质量控制,并按相关要求处理成小时均值和日均值,其中气溶胶数浓度资料采用 5 min 数据,同期的气温、气压、相对湿度、风向和风速等气象资料采用天津市城区国家气象观测站的自动气象站数据。

2 结果与讨论

2.1 历年春节期间气溶胶浓度特征

图 1 给出了 2009—2014 年春节期间观测站点 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度的平均值与最大小时值,其中 2010 年春节期间因仪器和通讯故障,气溶胶和能

能见度数据缺失较多未讨论。从图中可见,除 2014 年春节 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度较低外,其他年份均超出 $\text{PM}_{2.5}$ 国家二级质量标准(日均值 $75\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), PM_{10} 质量浓度则仅有 2009 年高于国家二级质量标准(日均值 $150\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$),历年春节期间 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度最大小时值均发生在除夕夜间的 00—03 时, $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度均在 $400\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 以上,2013 年除夕夜间甚至高达 $1240\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, PM_{10} 质量浓度也高达 $1388\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,也是近几年本站观测的最高值。

2013 年春节期间气溶胶质量浓度,尤其是 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度高于近几年同期观测值,也与当时我国中东部地区罕见的持续雾-霾天气爆发有关。有关研究表明,天气系统弱、强冷空气活动少和极其不

利于污染物扩散的局地气象条件及地理位置,是造成雾-霾严重污染形成的外部条件(王跃思等,2014;刘梅等,2014),气象因子可以解释本次雾-霾天气逐日变化的 2/3(张人禾等,2014),花丛等(2015)分析了 2013 年 1—2 月北京、石家庄和太原雾-霾和晴天天气的地面风场特征及 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度分布状况,刘梅等(2014)也对江苏地区雾-霾天气持续和增强机制进行了分析。在本观测站开展的观测试验也表明,持续雾-霾天气下大气消光主要来自于细粒子的散射(姚青等,2014a),而较常年均值偏高的相对湿度(RH)是造成气溶胶吸湿增长和大气能见度降低的重要因素(姚青等,2014b)。

表 1 给出了 2009—2014 年春节期间常规气象因素和大气能见度资料,2012 年春节期间大气能见度较高,低能见度频率(能见度小时值低于 10 km)仅为 26%,这与当年春节期间的气象条件紧密相关,2012 年春节期间平均气温和相对湿度显著低于其他年份,西风带来的干冷气流占主导地位,有利扩散条件有助于气溶胶浓度的降低。2013 年春节期间正值罕见的大范围强雾-霾天气持续期间,高气溶胶浓度和高 RH 相伴发生(姚青等,2014a),因而造成同期大气能见度平均值最低。历年春节期间气象特征的统计分析可以给出大气污染状况在气象背景方面的初步解释,但由于气溶胶浓度分布还受排放源类型和强度,以及气象场演变状况的影响,其特征还需结合源排放情况和气象因素作进一步细致的分析。

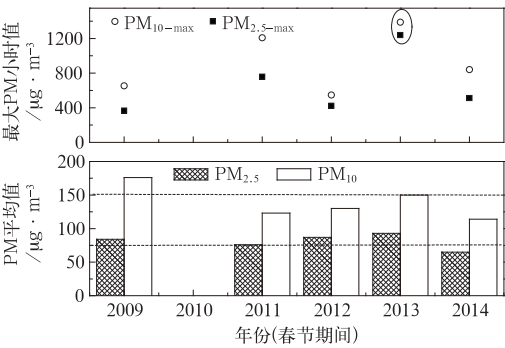


图 1 2009—2014 年春节期间天津
大气气溶胶质量浓度分布
Fig.1 Variations of aerosol mass concentration in Tianjin
during the periods of Spring Festival in 2009—2014

表 1 2009—2014 年春节期间天津气象因素和气溶胶质量浓度统计描述
Table 1 Descriptive statistics of meteorological factors and $\text{PM}_{2.5}$ mass concentration
in Tianjin during the periods of Spring Festival in 2009—2014

年份	气温 / $^{\circ}\text{C}$	气压 /hPa	RH /%	高湿频 率*/%	主导 风向	风速 / $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	静小风 频率/%	降水量 /mm	能见度 /km	低能见度 频率**/%	$\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度 / $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
2009	0.4	1024	50	16	W	1.5	60	0	10.75	52	84
2010	0.8	1023	46	11	E	1.7	42	1.6	/	/	/
2011	-0.6	1025	45	8	SW	0.8	88	6.7	11.50	51	76
2012	-3.1	1029	39	4	W	1.4	56	0	14.07	26	87
2013	-0.4	1028	54	17	SW	1.4	55	0.1	10.22	54	93
2014	1.3	1026	47	8	SW	1.5	48	0	11.30	49	65

注: * RH 小时值 $\geq 80\%$ 作为高湿; ** 能见度小时值 $< 10\text{ km}$ 作为低能见度。

2.2 春节期间气溶胶和气象因素逐时分布

图 2 和图 3 分别给出了 2013 和 2014 年春节期间气溶胶质量浓度、大气能见度和气象因素的逐时分布状况。大气能见度在一定程度上可以反映空气

质量优劣,影响大气能见度的主要因素既包含气溶胶和污染气体等环境因素,也包含雾、沙尘等天气现象,持续发生的低能见度天气现象往往与雾-霾等灾害性天气密切相关,本研究以能见度小时值持续 24 h 以上低于 10 km 作为持续低能见度天气,则

2013 年春节期间天津城区经历了 5 次持续低能见度天气过程(图 2 中的 L1~L5),2014 年则有 4 次持续低能见度天气过程(图 3 中的 L6~L9),相关低能见度天气过程中能见度、相对湿度、气溶胶质量浓度以及雾-霾天气划分见表 2 所示。

2013 年发生的 5 次低能见度天气事件中,过程 L1、L2 和 L5 的 RH 较低,一般不超过 80%,属典型的霾天气,由于受到除夕夜间烟花爆竹燃放的影响,过程 L1 的气溶胶浓度显著高于其他几次过程,过程 L2 的气溶胶浓度和 RH 都高于 L5,因而能见度

低于 L5;过程 L3 和 L4 气溶胶浓度较高, RH 长时间维持在 80%左右,L4 还包含一次持续时间 8 h 的雾过程, RH 最高达到 97%,能见度低至 50 m,依据《地面气象观测规范》(中国气象局,2007)达到强浓雾级别,这种雾-霾相间的天气下 RH 较高,一方面利于气溶胶吸湿增长,增大其散射能力,另一方面雾中大量液滴直接消光,对大气能见度衰减的影响远高于单纯的霾天气,在 2014 年春节期间的 4 次低能见度天气事件中也存在这种情况,过程 L7 尽管气溶胶浓度并不高, $PM_{2.5}$ 质量浓度略超过国家二级标

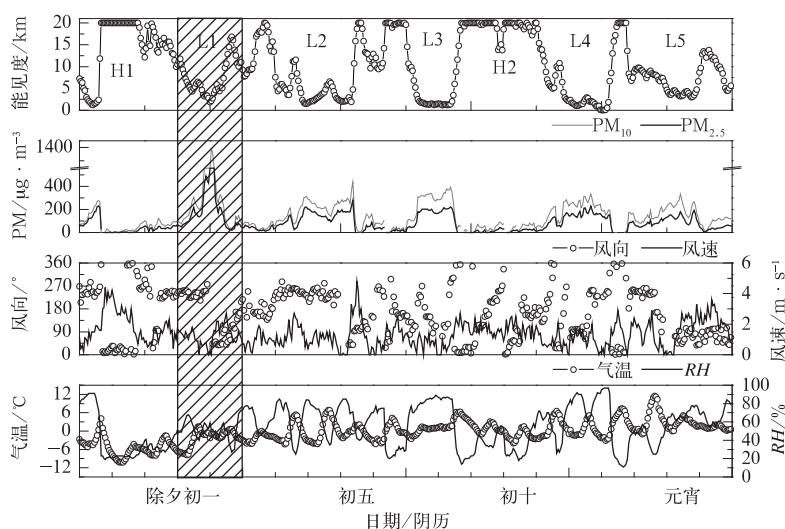


图 2 2013 年春节期间天津气溶胶质量浓度与气象因素的逐时分布
Fig. 2 Hourly variation of meteorological factors and aerosol mass concentration during the 2013 Spring Festival in Tianjin

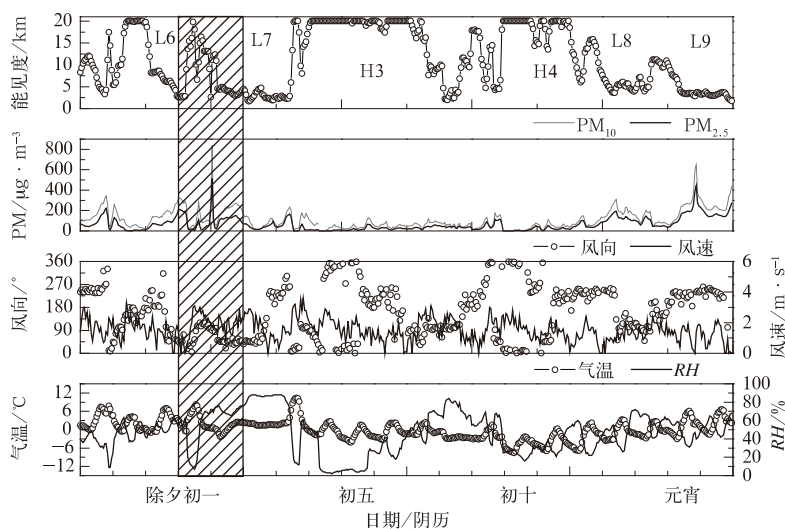


图 3 同图 2,但为 2014 年春节期间
Fig. 3 Same as Fig. 2, but during 2014 Spring Festival in Tianjin

表2 2013和2014年春节期间天津低能见度天气过程的统计描述
Table 2 Descriptive statistics of PM_{10} and $PM_{2.5}$ in the low visibility weather during the 2013 and 2014 Spring Festivals in Tianjin

年份	低能见度过程	发生时间	能见度/km	RH /%	$PM_{2.5}$ / $\mu g \cdot m^{-3}$	PM_{10} / $\mu g \cdot m^{-3}$	影响因素
2013	L1	2月9日04:00至2月10日11:00	5.18	53	282	395	霾
	L2	2月12日16:00至2月14日09:00	3.37	67	161	244	霾
	L3	2月16日03:00至2月17日13:00	2.90	80	162	273	霾和轻雾
	L4	2月20日18:00至2月22日07:00	2.24	80	151	233	霾和雾
	L5	2月22日20:00至2月25日01:00	6.30	55	100	175	霾
2014	L6	1月29日04:00至1月30日06:00	5.93	54	112	203	霾
	L7	1月31日05:00至2月2日11:00	3.27	80	80	134	霾和轻雾
	L8	2月11日22:00至2月13日11:00	5.42	52	117	176	霾
	L9	2月14日01:00至2月15日23:00	4.01	50	172	249	霾

准,但在较高 RH 影响下,霾与轻雾天气交替,大气能见度也显著低于其他几次过程。雾与霾的区分多采用能见度结合 RH 判定,但在气象观测实践中,其界限往往难以确定,且经常相互转化(吴兑,2006),基于大气能见度和 RH 的高分辨率资料有助于了解雾-霾天气过程中气象因素的细微变化(毕凯等,2012),并用于判断雾、轻雾与霾的主导地位及其演变规律。2013年2月6—9日我国大部分地区经历了寒潮天气过程,2月17—20日则经历了一次中等强度冷空气过程(安林昌等,2013),2014年2月也有类似的天气过程(杨寅等,2014)。伴随着气温的剧烈下降和高风速,大气中的污染气团被清洁气团快速取代,同时大气湍流活动增强,边界层高度增大,积聚在近地面的污染物快速扩散,造成以气溶胶为代表的大气污染物在水平和垂直方向上得到较为彻底的清除, $PM_{2.5}$ 质量浓度迅速降至仪器检测限附近,大气能见度升至20 km,表现为图2中的两次持续高能能见度过程(H1和H2),以大风降温为标志的冷锋过境导致细粒子最大程度的清除(姚青等,2012)。

天津城区春节期间烟花爆竹零售一般从农历腊月二十三开始,至正月十五结束,燃放高峰一般发生在除夕和元宵节。2014年除夕夜间气溶胶浓度显著低于2013年,与2014年除夕烟花爆竹燃放量减少有关,2013年1—2月的全国大范围持续雾-霾天气发生后,空气污染问题日益受到全社会重视,“美丽天津·一号行动”《天津市清新空气行动方案》和《天津市重污染天气应急预案》等相继出台,在加强扬尘污染控制、机动车限行限购、能源结构优化等措施的基础上,对2014年春节期间烟花爆竹燃放加强限制和管理,使得2014年天津烟花爆竹燃放数量较

往年有明显降低,据北方网消息,烟花爆竹零售点的数量较2013年春节减少了18.8%,且大力提倡燃放环保型烟花爆竹(北方网,2014a),天津市气象局也首次发布烟花爆竹燃放气象指数,预报称除夕至初三,天津地区烟花爆竹燃放气象指数为3~4级,不适宜燃放烟花爆竹(北方网,2014b),这一系列举措客观上减少了2014年春节期间因燃放烟花爆竹形成的污染排放量。此外,气象条件也是影响除夕和元宵夜间气溶胶的重要因素,2013年除夕白天天津城区主要受西南来向的静小风控制, RH 在40%~70%,低风速下污染物不易扩散,加之2013年除夕放假,市民提前燃放烟花爆竹,除夕白天 $PM_{2.5}$ 质量浓度持续维持在100~200 $\mu g \cdot m^{-3}$,空气质量达到轻微至重度污染之间,大气能见度自除夕04时起降至10 km以下,夜间高密度燃放烟花爆竹又加剧了空气污染,气溶胶浓度快速升高至近年来罕见的高值,除夕夜间 $PM_{2.5}$ 质量浓度也一度超过2013年1月持续雾-霾天气的峰值(姚青等,2014b);而2014年除夕白天天津城区主要受偏东风控制,风速较大,白昼气温上升较快(日最高气温8.2℃),活跃的边界层运动有利于污染物快速扩散,白昼多数时刻 $PM_{2.5}$ 质量浓度维持在优—良,大气能见度仅在烟花爆竹燃放的高峰时刻(1月30日23:00至31日01:00)低于10 km,其他时刻都在10 km以上,2014年除夕为工作日,白天市民较少燃放烟花爆竹,加之空气污染扩散条件有利,因而2014年除夕夜间气溶胶浓度显著低于2013年同期水平。

2.3 气溶胶数浓度谱分布特征

图4给出了2013和2014年春节期间气溶胶数浓度的逐5 min资料分布状况,为便于区分各粒径

段数据,图中的数浓度采用对数坐标,由图可见 PN_1 显著高于 $PN_{1\sim 2.5}$ 和 $PN_{2.5\sim 10}$, PN_1 贡献了气溶胶数浓度的 99.8% 以上, $PN_{1\sim 2.5}$ 高于 $PN_{2.5\sim 10}$, 但均处在同一数量级中。2013 年春节期间 PN_1 和 $PN_{1\sim 2.5}$ 变化趋势相近 ($R=0.77$, 图略), 从图 4 中可见 2013 年春节期间发生了 5 次高浓度 PN_1 持续过程, 这与表 2 中的 5 次低能见度天气过程相对应。前期研究表明, 气溶胶数浓度, 尤其是 PN_1 在 $RH<80\%$ 时与大气能见度具有较高的相关性(姚青等, 2014b), 图 4 中椭圆框标出的部分显示, 2013 年除夕日 PN_1 持续增高, 且浓度一度达到仪器测量上限 (1.7×10^4 个 $\cdot\text{cm}^{-3}$), 远高于 2014 年同期 PN_1 的最高值 (3.1×10^3 个 $\cdot\text{cm}^{-3}$)。

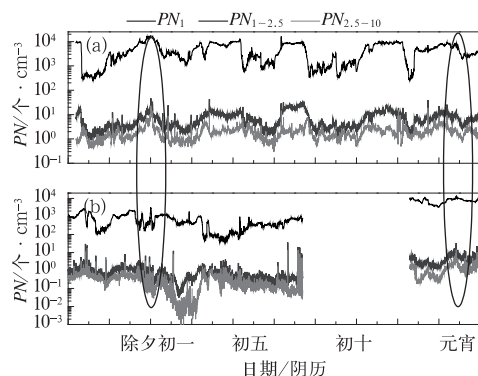


图 4 2013 年(a)和 2014 年(b)春节期间天津气溶胶数浓度分布

Fig. 4 Hourly variation of aerosol number concentration during the 2013 (a) and 2014 (b) Spring Festivals in Tianjin

值得注意的是, 2014 年元宵节期间空气质量达到严重污染级别, 晚间 $PM_{2.5}$ 质量浓度一度高达 $444\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 接近当年除夕期间最高值 ($512\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), 这与较高的 PN_1 有关, 元宵节晚间 PN_1 最高值 (1.3×10^4 个 $\cdot\text{cm}^{-3}$) 系除夕期间最高值的 4 倍, 2013 年元宵节期间的 2 倍, 较高的 PN_1 可能与临近春节末期市民在元宵节夜间大量集中燃放烟花爆竹(央广网, 2014)有关, 加之元宵节当日静小风等气象条件不利于空气污染物扩散, 加剧了空气污染程度。

需要说明的是, 本研究中气溶胶质量浓度数据来自于 TEOM 系列 RP1400a 环境气溶胶监测仪, 该仪器设定进气加热至 50°C , 以避免水蒸气冷凝, 但样气中的水汽仍可吸附于气溶胶中, 测定的是“环境”气溶胶, 高湿状态下测定的 $PM_{2.5}$ 质量浓度可能

偏大, 田世丽等(2014)的研究表明 $PM_{2.1}$ 样品在干燥环境下 ($10\%RH$) 其质量浓度较之通常的恒温恒湿 ($50\%RH$) 条件下, 存在显著的降低, 即可说明环境气溶胶中含有一定量的水分; 数浓度资料来自于 Grimm 180 气溶胶监测仪, 该仪器采用光散射法测量, 采用 Nafion 管等温除湿, 保持进气 RH 在 40% 以下, 样气中的水汽不进入样气室, 因而测量的是“干”气溶胶, 或至少说明样品中的水汽低于 RP1400a 环境气溶胶监测仪的样气。2014 年除夕夜间 $PM_{2.5}$ 最高值 (1 月 31 日 01 时, $512\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 时 RH 为 72% , 元宵节期间 $PM_{2.5}$ 最高值 (2 月 14 日 21 时, $444\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 时 RH 则为 40% , 除夕期间 RH 较高可能是造成气溶胶数浓度低于元宵节期间而质量浓度却略高于元宵节期间的重要原因。

Vecchi 等(2008)的研究表明, 烟花爆竹燃放期间 $0.5\sim 1.0\text{ }\mu\text{m}$ 气溶胶数浓度在 1 h 内增加了 6.7 倍, 李令军等(2006)的研究表明, 北京除夕期间气溶胶数浓度峰值为 $0.55\sim 0.65\text{ }\mu\text{m}$, 烟花爆竹燃放后生成的气溶胶主要集中在 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下的粒径段, 有研究表明不同天气条件下气溶胶数浓度谱分布存在较大的差异, 图 5 给出了 2013 和 2014 年春节期间常见的几种天气, 如雾、霾和晴好天气下, 以及烟花爆竹燃放高峰期气溶胶数浓度谱分布状况, 其中 2013 年洁净天气采用高能见度天气 H1 资料, 时长 55 h, $PM_{2.5}$ 质量浓度为 $22\pm 20\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; 霾天气采用低能见度天气 L2 资料, 时长 42 h, $PM_{2.5}$ 质量浓度为 $161\pm 44\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; 雾天气为 2 月 21 日 21:00

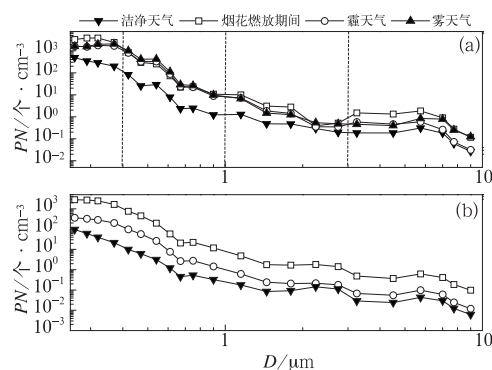


图 5 2013 年(a)和 2014 年(b)春节期间天津典型天气条件下气溶胶数浓度谱分布特征

Fig. 5 Distribution of aerosol number concentration under typical weather conditions during the 2013 (a) and 2014 (b) Spring Festivals in Tianjin

至22日05:00资料,时长8h,PM_{2.5}质量浓度为144±17 μg·m⁻³;烟花爆竹燃放高峰采用2月9日19:00至10日05:00,时长10h,这段时间PM_{2.5}质量浓度为584±303 μg·m⁻³,持续处于严重污染级别,且显著高于前后相邻时段。从图5中可见洁净天气下气溶胶数浓度在各粒径段均为最低,与污染时段相差约一个数量级;2013年春节期间烟花爆竹燃放对气溶胶数浓度谱分布的影响主要体现在0.25~0.4和1~6 μm粒径段,这与2014年春节期间显著不同,后者体现在所有粒径段浓度均差异明显,与赵素平等(2012)的研究不同,这可能与2013年春节期间严重雾-霾天气下,0.4~1.0 μm粒径段气溶胶数浓度本身较高有关。

3 结 论

(1) 2009—2014年春节期间天津城区大气PM_{2.5}质量浓度最高值均发生在除夕夜间,表明受燃放烟花爆竹影响较大,2013年受持续严重雾-霾天气影响,除夕夜间PM_{2.5}质量浓度达到1240 μg·m⁻³,是近年来最严重的一次。

(2) 2014年春节期间在加强烟花爆竹燃放管理,发布烟花爆竹燃放气象指数等措施的作用下,烟花爆竹燃放量有所减少,加之空气扩散条件较为有利,PM_{2.5}质量浓度为65 μg·m⁻³,低于2013年;除夕夜间高峰值为512 μg·m⁻³,不足2013年的50%。

(3) 不同天气条件下,气溶胶数浓度谱分布特征存在明显差异,燃放烟花爆竹期间气溶胶数浓度最高,2013年燃放烟花爆竹期间气溶胶数浓度峰值与严重雾-霾天气相对应。

参考文献

- 安林昌,张芳华. 2013. 2013年2月大气环流和天气分析. 气象, 39(5): 659-664.
- 北方网. 2014a. 春节期间津城无雪 除夕至初三不宜燃放烟花爆竹. 天津: 北方网[2014-05-27]. <http://news.enorth.com.cn/system/2014/01/29/011648536.shtml>.
- 北方网. 2014b. 春节烟花爆竹零售点陆续开张 禁止销售品种增多. 天津: 北方网[2014-04-04]. <http://news.enorth.com.cn/system/2014/01/22/011627812.shtml>.
- 毕凯,王广河,毛节泰. 2012. 2009年上海浦东新区能见度资料的深度分析. 气象, 38(2): 220-227.
- 花丛,张碧辉,张恒德. 2015. 2013年1—2月华北雾、霾天气边界层特征对比分析. 气象, 41(9): 1144-1151.
- 金军,王英,李令军,等. 2007. 北京春节期间大气颗粒物污染及影响. 环境污染与防治, 29(3): 229-232.
- 靳军莉,颜鹏,马志强,等. 2014. 北京及周边地区2013年1—3月PM_{2.5}变化特征. 应用气象学报, 25(6): 690-700.
- 李令军,李金香,辛连忠,等. 2006. 北京市春节期间大气污染分析. 中国环境科学, 26(5): 537-541.
- 刘梅,严文莲,张备,等. 2014. 2013年1月江苏雾霾天气持续和增强机制分析. 气象, 40(7): 835-843.
- 田世丽,潘月鹏,刘子锐,等. 2014. 不同材质滤膜测量大气颗粒物质量浓度和化学组分的适用性——以安德森分级采样器为例. 中国环境科学, 34(4): 817-826.
- 王繁强,蔡新玲,周阿舒. 2008. 春节期间燃放烟花爆竹对西安市大气主要污染物质量浓度的影响. 安全与环境学报, 8(1): 82-86.
- 王广华,林俊,姚剑,等. 2011. 上海市郊春节期间大气颗粒物及其组分的粒径分布. 环境化学, 30(5): 913-919.
- 王跃思,姚利,王莉莉,等. 2014. 2013年元月我国中东部地区强霾污染成因分析. 中国科学: 地球科学, 44(1): 15-26.
- 吴兑. 2006. 再论都市霾与雾的区别. 气象, 32(4): 9-15.
- 央广网. 2014. 京津冀元宵节遭遇严重雾霾 烟花爆竹加剧空气污染. 北京: 央广网[2014-05-27]. http://china.cnr.cn/yaowen/201402/t20140215_514855566.shtml.
- 杨寅,何立富. 2014. 2014年2月大气环流和天气分析. 气象, 40(5): 642-648.
- 姚青,蔡子颖,韩素芹,等. 2014a. 天津冬季雾霾天气下颗粒物质量浓度分布与光学特性. 环境科学研究, 27(5): 462-469.
- 姚青,蔡子颖,韩素芹,等. 2014b. 天津冬季相对湿度对气溶胶浓度谱分布和大气能见度的影响. 中国环境科学, 34(3): 596-603.
- 姚青,韩素芹,蔡子颖. 2012. 天津一次持续低能见度事件的影响因素分析. 气象, 38(6): 688-694.
- 张人禾,李强,张若楠. 2014. 2013年1月中国东部持续性强雾霾天气产生的气象条件分析. 中国科学 地球科学, 44(1): 27-36.
- 张小玲,徐敬,李腊平. 2008. 不同气象条件下烟花爆竹燃放对空气质量的影响研究. 气象与环境学报, 24(4): 6-12.
- 张小曳. 2014. 中国不同区域大气气溶胶化学成分浓度、组成与来源特征. 气象学报, 72(6): 1108-1117.
- 赵金平,徐亚,张福旺,等. 2011. 泉州郊区春节燃放烟花时段大气污染特征. 环境科学, 32(5): 1224-1230.
- 赵素平,余晔,何建军,等. 2012. 兰州市2011年春节期间颗粒物浓度及其谱分布特征. 中国环境科学, 32(11): 1939-1947.
- 中国气象局. 2007. 地面气象观测规范第4部分: 天气现象观测. QX/T 48-2007 中华人民共和国气象行业标准. 北京: 气象出版社.
- Vecchi R, Bernardoni V, Cricchio D, et al. 2008. The impact of fireworks on airborne particles. Atmos Environ, 42(6): 1121-1132.