

文章编号: 2096-1618(2017)06-0662-05

成都市大气 $\text{PM}_{2.5}$ 在冬季不同湿度条件下的污染特征

刘 琴, 印红玲, 邓 靛, 叶倩茹, 曹 震, 邓 旭

(成都信息工程大学资源环境学院, 四川 成都 610225)

摘要:为研究冬季城市大气细颗粒物($\text{PM}_{2.5}$)在不同湿度段的污染特征,选取相对湿度(RH)较高的成都市为研究区域,于2014年冬季划分 $RH<60\%$ 、 $60\%<RH<80\%$ 和 $RH>80\%$ 3个湿度段进行大气 $\text{PM}_{2.5}$ 采样。结果表明:采样期间 $\text{PM}_{2.5}$ 日均浓度范围为 $106.96\sim 233.89\mu\text{g}/\text{m}^3$,超标率100%。 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度和 RH 相关系数 $r=0.473$ 。 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度、总离子浓度及二次离子浓度在 $RH>80\%$ 分别是 $RH<60\%$ 时的1.48倍、1.74倍和1.89倍,与成都市高湿静稳天气造成污染累积有关。主成分分析发现 $RH>80\%$ 时 $\text{PM}_{2.5}$ 的主要来源是燃煤燃油源,而 $RH<60\%$ 时,主要为机动车尾气和扬尘源等。

关键词:环境科学;环境监测;细颗粒物;污染特征;湿度;水溶性离子

中图分类号:X131.1

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2017.06.015

0 引言

近年来频发的雾霾灾害性天气本质是大气细颗粒物($\text{PM}_{2.5}$)污染,是目前中国大多数城市空气的首要污染物。相对湿度(RH)是影响城市 $\text{PM}_{2.5}$ 污染的一个重要因素^[1-2]。随着 RH 的变化,大气 $\text{PM}_{2.5}$ 及其负载的各化学组分尤其是水溶性组分的潮解、风化并引发或促进颗粒物表面的非均相反应、气/粒转化、二次污染物的形成等一系列化学反应,可导致气溶胶粒子群宏观上的物理、化学、光学性质发生明显变化,甚至影响局地气候^[3-4]。 $RH>80\%$ 时,超细粒子通过吸湿增长和粒子间的触碰并导致细颗粒物浓度增高,颗粒物表面发生异相表面化学反应使水溶性无机离子吸湿增长^[5-6];高湿度段硫酸盐的生成速率会发生突跃,而 NO_2 的转化速率能提高到干燥状况下的6倍左右^[7]。高温、高湿和相对稳定的气象条件容易使新生成的气溶胶粒子吸湿增长,凝结、积聚最后形成老化气溶胶,而高浓度的老化气溶胶以及粒子在积聚模态大量堆积的分布特点是造成区域霾形成的重要原因。

成都市位于四川盆地的西部,是中国西南地区最大的城市之一,人口超过1000万,常年处于静风稳定的状态,地面风速很小,年平均风速在 1.5 m/s 以下,不利于污染物的扩散输送。成都气候温润,年均相对湿度在78%左右,利于二次污染物的产生和转化^[8]。城区东西两侧分别为龙泉山脉和邛崃山脉,地形比较封闭,因此成都市大气污染较为严重^[9]。文中选取 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度普遍偏高的冬季作为采样时期,分析成都市

冬季大气 $\text{PM}_{2.5}$ 在不同湿度段的污染特征,为大气污染治理提供科学依据。

1 实验部分

1.1 样品采集

大气 $\text{PM}_{2.5}$ 采样点为2个(市区和郊区),市区采样点位于抚琴西路的四川省辐射环境管理监测中心站楼顶,此处位于成都市区一环内,地处市中心,交通人流量均较大,能较好反映城区中心的大气空气质量;郊区采样点位于下风向的成都信息工程大学航空港校区科教楼楼顶,采样点高度均为19 m,此处位于成都市西南方绕城高速外,能反映郊区的大气空气质量。采样点分布如图1所示。采样时间为2014年12月23日-2014年12月31日(除25、26日下雨外);大气 $\text{PM}_{2.5}$ 样品采用石英滤膜,中流量大气采样器采样(青岛崂山),流速为 100 L/min ,采样周期为23 h,用于分析采样点 $\text{PM}_{2.5}$ 的日均污染状况;不同湿度段 $\text{PM}_{2.5}$ 样品采用聚丙烯滤膜,中流量大气采样器采样(青岛崂山),流速为 100 L/min ,将相对湿度(RH)划分为 $RH<60\%$ 、 $RH=60\%\sim 80\%$ 、 $RH>80\%$ 3个湿度段,根据湿度计进行大气湿度实时监测,当湿度达到临界点时更换采样膜采集不同湿度段样品,分别记录各湿度段采样时间和采样体积,用于比较分析市、郊区不同湿度段的 $\text{PM}_{2.5}$ 污染特征差异。

1.2 样品处理

将采样后的滤膜放入恒温恒湿箱中进行保存,分析天平称量,数据结果精确到 0.0001 g 。

收稿日期:2017-03-09

基金项目:四川省教育厅基金资助项目(重点)(13Z197);国家自然科学基金资助项目(21407014);四川省科技支撑计划基金资助项目(2015GZ0240)



图 1 采样点分布

取样品的 1/2,剪成碎片置于50 mL比色管中,用 25 mL的超纯水分两次超声振荡提取,每次超声时间为1 h,合并两次超声提取液,用0.45 μm的滤膜抽滤,样品溶液分别用阴/阳离子色谱(瑞士万通 761 型及美国戴安 ICS-90A 型)对水溶性无机离子(Na⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、NH₄⁺、K⁺、Cl⁻、F⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻)进行分析。标准曲线的相关性系数均达到0.999以上。

2 结果与讨论

2.1 冬季不同湿度段的 PM_{2.5} 的污染特征

成都市冬季采样期间的 PM_{2.5} 的日均质量浓度的范围为106.96 ~ 233.89 μg/m³,超标率100 %。根据采样期间各湿度段的 PM_{2.5} 质量浓度变化(图 2)可以看出,成都市冬季采样期间 PM_{2.5} 的浓度在 RH>80 % (194.15 μg/m³)时是 RH<60 % (131.32 μg/m³)时的 1.48倍,其中市区在 RH>80 % (195.38 μg/m³)时的 PM_{2.5} 的浓度是 RH<60 % (138.85 μg/m³)的 1.41倍,是 60 % <RH<80 % (159.27 μg/m³)的 1.23倍;郊区在 RH>80 % (191.69 μg/m³)时的 PM_{2.5} 的浓度是 RH<60 % (118.77 μg/m³)的 1.61倍,是 60 % <RH<80 % (188.66 μg/m³)的 1.02倍。无论在郊区还是市区均呈现湿度越大,PM_{2.5} 浓度越大,且郊区高湿度段的 PM_{2.5} 浓度增大趋势大于市区。高湿度段 PM_{2.5} 浓度明显比低湿度段高,这和成都冬季具备的高湿静稳天气有利于超细颗粒物吸湿增大成长为细颗粒物有关^[10]。湿度越大,超细粒子借助液滴完成吸湿增大和成核增大,从较高大气层聚集于低层大气,PM_{2.5} 浓度明显升高。在颗粒物粒谱分布中,颗粒物的吸湿增大是细粒子浓度明显增大的重要原因^[11]。利用 SPSS-Statistics 软件对成都市冬季 PM_{2.5} 质量浓度均与湿度段进行 person 相关性分析,湿度对 PM_{2.5} 浓度的影响表现为正

相关,相关系数 $r=0.437$ ($\rho<0.01$),与大部分研究结果^[12-15]一致,PM_{2.5} 浓度随湿度增大呈增长的趋势。

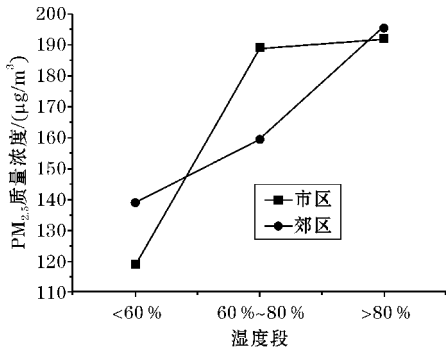


图 2 冬季成都市 PM_{2.5} 各湿度段平均质量浓度

碳组分在颗粒物中是重要的组成部分之一,主要包括 OC 和 EC。成都市冬季采样期间大气 PM_{2.5} 中 OC/EC 平均值为 2.55。利用公式 $OC_{sec} = OC - EC \times (OC/EC)_{min}$ ^[16] 计算得到成都市冬季采样期间二次有机碳平均浓度约为45.91 μg/m³,故成都市冬季的二次污染不可忽略。

2.2 不同湿度段大气 PM_{2.5} 中各水溶性离子的分布特征

成都市冬季采样期间 PM_{2.5} 中总离子质量浓度 (Na⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、NH₄⁺、K⁺、Cl⁻、F⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻) 随湿度的增大呈现出明显的增大趋势,在各湿度段的总离子平均浓度呈正相关(见图 3),其相关性系数为 $r>0.999$,总离子平均浓度在 RH>80 % 时 (43.06 μg/m³)是 RH<60 % 时 (24.68 μg/m³)的 1.74 倍,是 60 % <RH<80 % 时 (33.39 μg/m³)的 1.29 倍;其中市区和郊区颗粒物中水溶性总离子浓度在 RH>80 % 时 (45.12 μg/m³、42.03 μg/m³) 分别是 RH<60 % 时 (23.10 μg/m³、25.63 μg/m³) 的 1.95 倍和 1.64 倍。细粒子中的水溶性无机盐组分具有强吸湿性,随着湿度增大,其浓度也增大,高湿度为离子表面液相反应提供了有利条件^[5,17],均相和非均相反应促进颗粒物表面液膜的形成^[18],气态污染物会在颗粒物表面进行异相表面化学反应,促使更多的离子附着在颗粒物表面。

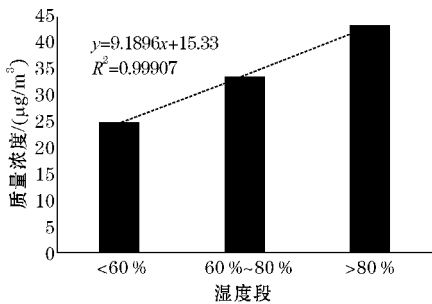


图 3 不同湿度段下成都市冬季 PM_{2.5} 中的总离子浓度

根据颗粒物中各水溶性离子质量浓度分布图(图4)分析可以得出:在低湿度段和高湿度段 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 的总浓度分布均超过颗粒物总离子浓度的50%,其次 Cl^- 百分比比较高。当 $RH < 80\%$ 时, Na^+ (7%)、 Ca^{2+} (7%)、 K^+ (8%) 与 SO_4^{2-} (30%)、 NO_3^- (33%)、

Cl^- (10%)组成的化学组分吸湿参数为 $0 < \kappa < 1.24$,弱吸湿性和强吸湿性组分并存;而当 $RH > 80\%$ 时, K^+ (7%)、 SO_4^{2-} (34%)、 NO_3^- (34%)、 Cl^- (12%)组成的化学组分吸湿参数为 $0.53 < \kappa < 0.89$,均吸湿性较强^[19],在高湿度段强吸湿性离子百分比更大。

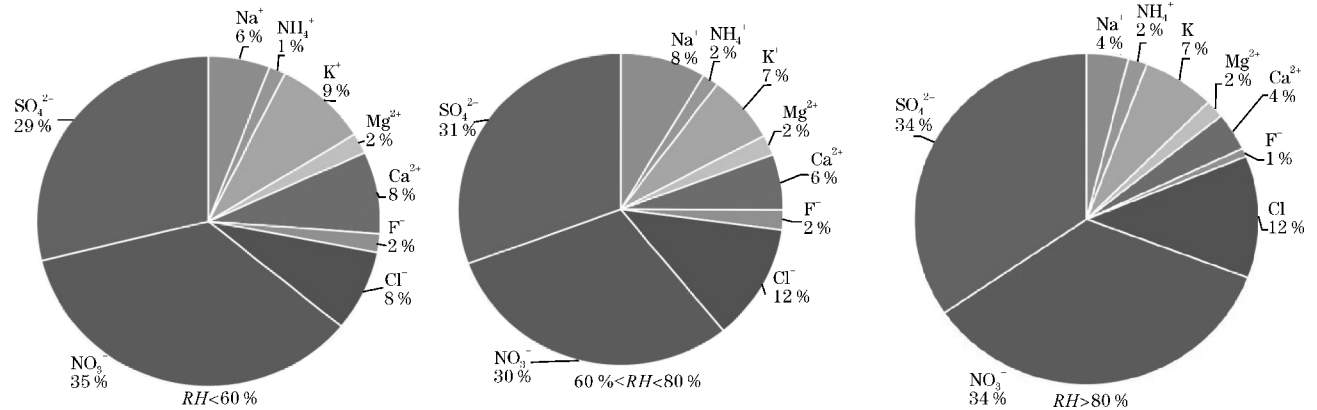


图4 冬季各湿度段 $\text{PM}_{2.5}$ 中各水溶性离子组成百分比

根据各湿度段的总水溶性离子平均浓度(图5),可以看出 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 浓度均随湿度增大有明显增大的趋势,而 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 F^- 浓度与湿度变化之间没有明显的相关关系。 SO_4^{2-} 在 $RH > 80\%$ 时 ($14.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 是 $RH < 60\%$ 时 ($7.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 的2.09倍; NO_3^- 离子浓度在 $RH > 80\%$ 时 ($14.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 是 $RH < 60\%$ 时 ($8.69 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 的1.72倍; Cl^- 在 $RH > 80\%$ 时 ($5.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 是 $RH < 60\%$ 时 ($1.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 的2.61倍,这与氯化钠的临界饱和比较远低于硝酸铵和硫酸铵,而硝酸铵和硫酸铵的临界饱和比相差不大有关,相对湿度越接近临界饱和比,其吸湿性因子变化越显著。和实验室气溶胶模拟结果^[20]不一致的是,在实验室中纯氯化钠和纯硫酸铵在99%的相对湿度下,吸湿因子变化更明显,但研究结果为 Cl^- 在 $60\% < RH < 80\%$ 时浓度增大较快,而在 RH 增大超过80%后, SO_4^{2-} 和 NO_3^- 浓度增长更明显,这可能是由于在实际大气中还存在弱吸湿性的可溶性、不溶性有机物和初级老化产物等,对超细颗粒物的吸湿能力有反作用,致使混合气溶胶临界饱和比降低,不同湿度段下 Cl^- 和 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 吸湿因子有不同程度的显著变化。由于 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 在高湿度段下质量浓度增大趋势更明显,说明其吸湿性因子在高湿度段变化更显著。

$\text{PM}_{2.5}$ 中二次无机离子 (SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+) 总浓度在 $RH > 80\%$ 时为 $30.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 是 $RH < 60\%$ 时 ($16.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 的1.89倍,是 $60\% < RH < 80\%$ 时 ($20.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 的1.47倍。气态 NH_3 先与 H_2SO_4 反应生成硫酸铵, SO_2 在颗粒物表面形成 SO_3^{2-} 和 HSO_3^{2-} , 并在 O_3 的作用下被氧化为 SO_4^{2-} ^[1,9,21], 致使 SO_4^{2-} 的浓度随湿度增大时有明显的增大,同时促进铵盐的形

成,此时不利于硝酸盐的形成^[22]; 剩余的气态 NH_3 再与硝酸反应生成硝酸铵,或者硝酸与其他阳离子反应生成硝酸盐^[23-25], 颗粒物表面和空气中液滴形成 NO_3^- 和气态 HONO , 并和碱性物质 (CaO 和 MgO) 反应生成硝酸盐, NO_3^- 的贡献率随湿度的增大而增大,同时硝酸铵也可以进一步促进 SO_2 在颗粒物表面的转化^[26-28], 相对湿度越大, NH_4^+ 的反应速率越大,冬季低温更是抑制了 NH_4NO_3 的挥发作用^[29], 所以湿度的增大是影响二次离子浓度增大的重要因素。

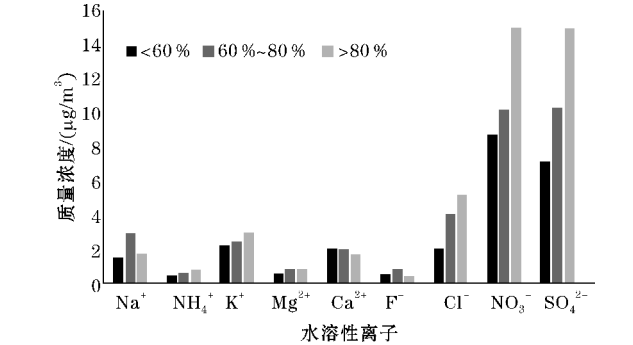


图5 不同湿度段下成都市冬季各水溶性离子平均质量浓度

2.3 各湿度段的来源解析

对采样期间样品用 X 射线荧光光谱仪对 $\text{PM}_{2.5}$ 中的无机元素进行测定,利用 SPSS-Statistics 软件对数据合并进行主成分分析,根据各种无机元素浓度对冬季采样期间在不同的湿度采样的 $\text{PM}_{2.5}$ 进行源解析,数据经过降维,每个因子相关性高的元素和离子结果见表1。其结果结合各类污染源的特征元素^[17] 可以看出,冬季采样期间的污染源因子主要有冶金化工业、扬尘、燃煤尘、燃油尘和机动车。冬季采样期间在 $RH <$

60 % 时,最主要的污染源因子为扬尘和机动车尾气,其次是燃煤;60 % <RH<80 % 时,主要因子为扬尘、燃煤和机动车尾气;高湿度段 RH>80 % 时,主要染源因子为燃煤燃油、机动车以及扬尘。对水溶性离子进行主成分分析结果可以看出在各个湿度段均主要以二次离子污染为主。RH<60 % 时以二次离子为主要的污染源,其次是 Na⁺,可能来源于煤^[30];60 % <RH<80 %

时除了二次离子主要是 Ca²⁺和 F⁻,这可能是来自于扬尘或者建筑粉尘^[31];在 RH>80 % 时主要是二次离子和 Ca²⁺、F⁻和 Cl⁻,主要来源也是煤的燃烧^[31]。成都市冬季采样期间 PM_{2.5}主要来源于扬尘、燃煤以及机动车尾气,属于复合污染,当 RH>80 % 时的 PM_{2.5}主要的来源是燃煤燃油,而在 RH<60 % 时,污染源主要集中在机动车尾气和扬尘等。

表 1 主成分分析结果

时间	湿度段	因子	高因子载荷元素	高因子载荷水溶性离子
冬季	RH<60 %	F1	Pb、Cs、Br、Ga、Ni、Fe、Mn、Cr、Ca、Al、Mg、Zn、Co、As、Se、Te	SO ₄ ²⁻ 、NO ₃ ⁻ 、NH ₄ ⁺
		F2	Ti、S	Na ⁺
		F3	V	
	60 % <RH<80 %	F1	Pb、Br、Cd、Fe、Cr、Ca、Mn、Co、Ni、Cu、Ga、As、Se、Cs	K ⁺ 、Na ⁺ 、SO ₄ ²⁻ 、NO ₃ ⁻
		F2	K、Cl、Si、Na	Ca ²⁺ 、F ⁻
		F3	Te、S	
	RH>80 %	F1	Cd、Br、Se、As、Co、Cr、Si、V、Ni、Ga、Te、Cs	Cl ⁻ 、NO ₃ ⁻ 、NH ₄ ⁺
		F2	Cu、Fe、Mn、K、Cl、Al、Mg、Na	Ca ²⁺ 、F ⁻
		F3	Pb、Mn、S	SO ₄ ²⁻
		F4	F	

3 结束语

成都市冬季采样期间的 PM_{2.5}日均质量浓度的范围为 106.96 ~ 233.89 μg/m³, 超标率达到 100 %, PM_{2.5}的浓度水平和 RH 正相关系数为0.437。在 RH>80 % 时,其浓度水平是 RH<60 % 时的1.48倍,PM_{2.5}中估算 SOC 平均浓度比 EC 浓度高,二次污染不可忽略,这可能与高湿静稳天气下颗粒物在高湿度条件下具有强吸湿性,污染不易扩散,造成污染累积有关。

成都市冬季采样期间 PM_{2.5}中总离子浓度随湿度的增大呈现出明显的增大趋势,总离子平均浓度与 RH 正相关性系数 r>0.999,总离子平均浓度在 RH>80 % 时是 RH<60 % 时的1.74倍,SO₄²⁻和 NO₃⁻的总浓度分布均超过总离子浓度的50 %,二次无机离子总浓度在 RH>80 % 时 (30.59 μg/m³) 是 RH<60 % 时 (16.18 μg/m³) 的1.89倍。主要是由于强吸湿性离子在高湿度下进行表面液相发生异相表面化学反应,尤其是 NO₃⁻和 SO₄²⁻呈现较为明显的随湿度增大而增大的趋势。

成都市冬季采样期间大气 PM_{2.5}的主要来源是冶金化工业、扬尘、燃煤和机动车,以及二次污染。根据无机元素和水溶性离子的主成分分析结果可以看出,当 RH>80 % 时的 PM_{2.5}主要的来源是燃煤燃油,而在 RH<60 % 时,污染源主要集中在机动车尾气和扬尘等。

致谢:感谢 2014 年度校中青年学术带头人科研基金项目 (J201415)对本文的资助

参考文献:

[1] 于兴娜,马佳,朱彬,等. 南京北郊秋冬季相对湿度及气溶胶理化特性对大气能见度的影响[J].

环境科学,2015,36(6):1919-1925.
[2] 戴永立,陶俊,林泽健,等. 2006-2009 年我国超大城市霾天气特征及影响因子分析[J]. 环境科学,2013,34(8):2925-2932.
[3] 潘小乐. 相对湿度对气溶胶散射特性影响的观测研究[D]. 北京:中国气象科学研究院,2007.
[4] 刘新罡,张远航. 基于观测的大气气溶胶散射吸湿增长因子模型研究——以 2006 CARE Beijing 加强观测为例[J]. 中国环境科学,2009,29(12):1243-1248.
[5] 苗红妍,温天雪,王丽,等. 唐山大气颗粒物中水溶性无机盐的观测研究[J]. 环境科学,2013,34(4):1225-1231.
[6] 王宗爽,付晓,王占山,等. 大气颗粒物吸湿性研究[J]. 环境科学研究,2013,26(4):341-349.
[7] 叶兴南,陈建民. 灰霾与颗粒物吸湿增长[J]. 自然杂志,2013,35(5):337-341.
[8] 周敏,陈长虹,王红丽,等. 上海秋季典型大气高污染过程中有机碳和元素碳的变化特征[J]. 环境科学学报,2013,33(1):181-188.
[9] 陈源,谢绍东,罗彬,等. 成都市大气颗粒物组成和污染特征分析(2012-2013)[J]. 环境科学学报,2016,36(3):1021-1031.
[10] 马雁军,王江山,王扬锋,等. 辽宁中部城市群可吸入颗粒物 PM₁₀和 PM_{2.5}的污染特征研究[J]. 气象与环境学,2008,24(5):11-15.
[11] 张鹏妍,黄金香,孙欢欢. 区域 PM_{2.5}污染特征及影响因素研究[J]. 山西建筑,2014,40(3):211-212.
[12] 张智胜,陶俊,谢绍东,等. 成都城区 PM_{2.5}季节污染特征及来源解析[J]. 环境科学学报,2013,33(11):2947-2952.

- [13] 孔祥宇. 成都市中心城区大气重金属污染特征分析与区域扩散预测[D]. 成都: 成都理工大学, 2010.
- [14] 孟昭阳, 张怀德, 蒋晓明, 等. 太原地区冬春季 $PM_{2.5}$ 污染特征及影响因素[J]. 中国科学院研究生院学报, 2007, 24(5): 648–656.
- [15] 徐敬, 丁国安, 颜鹏, 等. 北京地区 $PM_{2.5}$ 的成分特征及来源分析[J]. 应用气象学报, 2007, 18(5): 645–654.
- [16] Malm W C. Cooperative institute for research in atmosphere[R]. NPS visibility Program, Colorado State University, 1999.
- [17] 吴丹, 曹双, 汤莉莉, 等. 南京北郊大气颗粒物的粒径分布及其影响因素分析[J]. 环境科学, 2016, 37(9): 3268–3279.
- [18] Renard J J, Calidonna S E, Henley M V. Fate of ammonia in the atmosphere—a review for applicability to hazardous releases[J]. Journal of Hazardous Materials B, 2004, 108: 29–60.
- [19] Fountoukis C, Nenes A. Isorropia II: a computationally efficient thermodynamic equilibrium model for $K^+ - Ca^{2+} - Mg^{2+} - NH_4^+ - Na^+ - SO_4^{2-} - NO_3^- - Cl^- - H_2O$ aerosols[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2007, 7(17): 4639–4659.
- [20] 江琪, 银燕, 秦彦硕, 等. 黄山地区气溶胶吸湿增长特性数值模拟研究[J]. 气象科学, 2013, 33(3): 237–245.
- [21] Yang W, He H, Ma Q, et al. Synergistic formation of sulfate and ammonium resulting from reaction between SO_2 and NH_3 on typical mineral dust[J]. Physical Chemistry Chemical Physics, 2015, 18(2): 956–964.
- [22] 唐孝炎, 张远航, 邵敏. 大气环境化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [23] 张小曳. 中国不同区域大气气溶胶化学成分浓度, 成与来源特征[J]. 气象学报, 2014, 72(6): 1108–1117.
- [24] Seisel S, Rensen C B, Vogt R, et al. Kinetics and mechanism of the uptake of N_2O_5 on mineral dust at 298 K[J]. Atmospheric Chemistry & Physics, 2005, 5(12): 3423–3432.
- [25] Buzarius G, Zelenyuk A, Brechtel F, et al. Simultaneous determination of individual ambient particle size, hygroscopic and composition[J]. Geophysical Research Letters, 2002, 29(20): 1029–1039.
- [26] Bian H, Zender C S. Mineral dust and global tropospheric chemistry: Relative roles of photolysis and heterogeneous uptake[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2003, 108(4672): 10–29.
- [27] 林立, 孔令东, 陈建民. 硝酸铵对 SO_2 在大气颗粒物表面气-粒转化影响的模拟研究[J]. 高等学校化学学报, 2010, 31(4): 751–755.
- [28] 李友平, 周洪, 张智胜, 等. 成都市城区 $PM_{2.5}$ 中二次水溶性无机离子污染特征[J]. 环境科学, 2014, 35(12): 4439–4445.
- [29] Hamerl K, Laksonen A, Vakeva M, et al. Hygroscopic growth of ultrafine sodium chloride particles[J]. Journal of Geophysical Research, 2001, 106: 20749–20758.
- [30] Wang H L, An J L, Cheng M T, et al. One year online measurements of water-soluble ions at the industrially polluted town of Nanjing, China: sources, seasonal and diurnal variations[J]. Chemosphere, 2016, 148: 526–536.
- [31] 刘庆阳, 刘艳菊, 赵强, 等. 2012年春季京津冀地区一次沙尘暴天气过程中颗粒物的污染特征分析[J]. 环境科学, 2014, 35(8): 2843–2850.

The Pollution Characteristics of $PM_{2.5}$ in Different Humidity Segment in Winter of Chengdu

LIU Qin, YIN Hong-ling, DENG Liang, YE Qian-ru, CAO Zhen, Deng Xu
(College of Resources and Environment, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: In order to study the pollution characteristics of fine particulate matter ($PM_{2.5}$) in different humidity segments during winter, Chengdu City, with high relative humidity (RH), was selected as the study area and the $PM_{2.5}$ samples were collected in winter, 2014. The division of $RH < 60\%$, $60\% < RH < 80\%$ and $RH > 80\%$ represented three humidity segments for sampling. The results showed that the mass concentrations of $PM_{2.5}$ were 106.96–233.89 $\mu g/m^3$ and the standard exceeding ratio was 100% in sampling period. The correlation coefficient of concentration of $PM_{2.5}$ with humidity was 0.473. The concentration of $PM_{2.5}$, total ions and the second inorganic ions during $RH > 80\%$ was 1.48, 1.74 and 1.89 times as much as that in $RH < 60\%$, which was relative with the static stability and higher moisture resulting pollution accumulation. The results of principal component analysis that showed the main sources of $PM_{2.5}$ were coal and oil combustion emissions when $RH > 80\%$, whereas dust and motor vehicles emission were the main sources when $RH < 60\%$.

Keywords: environmental science; environmental monitoring; fine particulate matter; pollution characteristic; humidity; water-soluble ion