DOI:10.19789/j.1004-9398.2016.05.010

临安本底站 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{1.0}$ 中水溶性无机离子的污染特征

李杏茹[1] 程玲珑[2] 刘雨思[1] 丁小荣[1] 徐宏辉[3*]

(1. 首都师范大学化学系,北京 100048; 2. 首都师范大学资源环境与旅游学院,北京 100048;
3. 浙江省气象科学研究所,浙江 杭州 310008)

摘 要

长江三角洲在经济高速发展的同时,经历了较为严重的大气污染,受到了越来越多的关注. 本研究于2009年4月(代表春季)、7月(代表夏季)和10月(代表秋季)在临安区域本底观测站使用低流量大气颗粒物采样器(FRM Omni sampler, BGI Inc., USA)同步采集了 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{1.0}$ 样品,并用离子色谱(IC)分析了样品中的水溶性无机离子(阴离子: F^-, Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}; 阳离子: Na^+, NH_4^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}). 结果表明: 临安区域本底站 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{1.0}$ 中水溶性无机离子总浓度夏季最低. NH_4^+、SO_4^{2-} 和 NO_3^- 是最主要的无机离子,在 $PM_{2.5}$ 中占水溶性无机离子总浓度的比值分别为78%(春季),85%(夏季)和80%(秋季),在 $PM_{1.0}$ 中占水溶性无机离子总浓度的比值分别为78%(春季),83%(夏季),79%(秋季). NH_4^+ 和 SO_4^{2-} 的摩尔比均 > 2,表明 SO_4^{2-} 完全被 NH_4^+ 中和,可能主要以 $(NH_4)_2SO_4$ 的形态存在. $PM_{2.5}$ 和 $PM_{1.0}$ 中 NO_3^-/SO_4^{2-} 质量比的变化范围分别为0.31 ~ 0.84和0.44 ~ 0.63,说明临安市以固定源污染为主.

关键词: $PM_{2.5}$, $PM_{1.0}$, 临安区域本底站, 水溶性无机离子.
中图分类号: X131.1

大气气溶胶是指大气与悬浮在其中的固体和液体微粒共同组成的多相体系[1],目前大气气溶胶习惯上是指悬浮在大气中的固体和液体粒子. 大气气溶胶的粒径范围从几个nm到100 μm,通常把空气动力学直径≤10 μm的颗粒物定义为 PM_{10},又称为可吸入颗粒物; 空气动力学直径≤2.5 μm的颗粒物定义为 $PM_{2.5}$,又称为可入肺颗粒物; 空气动力学直径<1.0 μm的颗粒物定义为 $PM_{1.0}$,可直接进入肺泡内,并可能进入血液通往全身. 粒径越小,比表面积也越大,在环境空气中停留的时间越长,越容易吸附其他有害物质,也越容易被人吸入支气管和肺部[2-3]. 水溶性无机离子是大气气溶胶的重要组成部分[4-6],占 $PM_{2.5}$ 的50% ~ 60%[7],其主要成分如硫酸盐、硝酸盐和铵盐等亲水性较强的离子主要富集在粒径 < 1.0μm的颗粒物中,可直接影响大气降水的酸度[8],其强烈的吸湿性,能够在低于水的饱和蒸汽压下形成液滴,从而影响大气的光学性质及能见度,进而导致地球-大气系统能量的平衡变化[9-10],因此,对大气气溶胶中水溶性无机离子的研究是非常有意义的[11-13].

随着社会和经济的发展,以上海为主的长江三角洲城市群在经历了十几年的经济繁荣的同时,也经历了较为严重的大气污染,成为我国重要的大气污染区域之一. 近年来,国内外的专家学者对该区域大气气溶胶中水溶性无机离子进行了深入的研究和探讨. 徐宏辉等分析了杭州地区与临安本底站的水溶性离子的浓度及粒径分布特征,研究表明,城市地区的污染天气是水溶性离子污染源产生的关键原因[14]. 王格慧等对南京市五个站点的水溶性离子的化学特征进行了研究[15],结果表明市中心和交通密集区与居民区、社区以及工业区相比,颗粒物的浓度较高,SO_4^{2-}、NO_3^-、NH_4^+、Ca^{2+}、K^+ 和 Na^+ 也具有相同的特点. 姚振坤等对上海城区和临安本底站 $PM_{2.5}$ 的物化特征及来源进行了解析[16]. 然而对该区域大气亚微米颗粒物($PM_{1.0}$)中水溶性无机离子的研究较少.

临安区域大气本底站(119°44′E,30°18′N,海拔138.6 m)是中国气象局最早建设的3个区域本底站之一,位于浙江省临安市横畈镇大罗村,南距临

收稿日期: 2015-12-22
* 通讯作者. E-mail: forsnow@126.com

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

安市区约 10 km,东距杭州市区约 50 km,东北距上海市约 300 km. 周围多丘陵、林地和农田,植被覆盖良好,属于典型的亚热带气候区域. 随着长江三角洲大气污染的加剧,代表长江三角洲区域大气成分特征的临安大气本底站的气溶胶浓度也很高,2006 年、2007 年该站 PM_{10} 的年均浓度分别为 83 $\mu g \cdot m^{-3}$、85 $\mu g \cdot m^{-3}$ [17],分别超过国家一级标准(GB 3095 – 1996) 107.5%、112.5%. 因此,对临安本底站大气颗粒物 $PM_{1.0}$ 中水溶性无机离子的研究可以更好地了解气溶胶污染形成机制,同时对进一步探索长江三角洲地区气溶胶 $PM_{1.0}$ 的污染形成机制及其传输规律具有重要的意义.

1　材料与方法

1.1　采样地点

采样点设在临安区域大气本底站,监测站周围 6 km 范围内没有人为活动产生的污染源,周围 3 km 范围内无大型村落.

1.2　样品的采集

于 2009 年 4 月(春季)、7 月(夏季)、10 月(秋季) 使用低流量的采样器(FRM Omni sampler, BGI Inc., USA) 在临安大气本底污染监测站同步采集 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{1.0}$ 的气溶胶样品,采样流量为 5 L/min,采样时间为 24 h,滤膜选用 Whatman 混合纤维素滤膜(PTFE, 47 mm, Whatman Inc., Maidstone, UK),采样后将采样膜放于聚乙烯塑料袋中,置于冰箱(–18 ℃) 避光保存至分析. 自动气象站距采样点约 20 m,相对湿度、风速等气象数据均由自动气象站获得(表 1).

表 1　采样期间主要气象参数

季节	风速/($m \cdot s^{-1}$)	温度/℃	相对湿度/%
春季	2.29	16.07	63.48
夏季	1.91	28.41	77.19
秋季	1.62	16.30	82.00

1.3　样品分析

准确切取 1/2 采样膜放入塑料小瓶中,加入 50 mL去离子水(18.2 MΩ·cm),恒温超声提取 30 min,静置,然后经 0.45 μm 滤膜过滤后用离子色谱检测其中的水溶性离子,其中阳离子 Na^+、NH_4^+、K^+、Mg^{2+}、Ca^{2+} 使用 ICS-80 离子色谱进行检测,色谱柱为 CS12, CSRS Ⅱ 抑制器,淋洗液为 22 $mmol \cdot L^{-1}$ 的 MSA,流速为 0.5 $mL \cdot min^{-1}$. 阴离子 F^-、Cl^-、NO_3^-、SO_4^{2-} 使用 ICS-1100 离子色谱进行检测,色谱柱为 Dionex AS19 分离柱,AMMS Ⅲ 抑制器,淋洗液为 20 $mmol \cdot L^{-1}$ 的 KOH,流速 1 $mL \cdot min^{-1}$. 各离子的最低检测限均小于 0.03$mg \cdot L^{-1}$. 实验过程中对空白膜也进行了相同的处理和检测. 由于空白值远低于样品的值,其影响忽略不计. 采样期间一共获得 151 个样品(4 月份为 55 个,7 月份为 43 个,10 月份为 53 个),每月至少保证每种粒径有 20 个有效样品.

2　结果与讨论

2.1　水溶性离子的污染特征

表 2 给出了临安市春季、夏季、秋季 3 个季节中大气气溶胶 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{1.0}$ 中主要水溶性无机离子的浓度. 春季中,$PM_{2.5}$ 的总水溶性无机离子的浓度为 37.57 ± 15.58 $\mu g \cdot m^{-3}$,其中 NH_4^+、SO_4^{2-} 和 NO_3^- 是最主要的水溶性无机离子,3 种离子的浓度变化范围分别在 2.98 ~ 15.02、2.14 ~ 25.50、0.69 ~ 28.90 $\mu g \cdot m^{-3}$,平均浓度为 8.55、13.41、7.68 $\mu g \cdot m^{-3}$,占总离子质量分数依次是 22%、36% 和 20%,共计 78%. $PM_{1.0}$ 的总水溶性无机离子的浓度为 25.48 ± 12.40 $\mu g \cdot m^{-3}$,其中 NH_4^+、SO_4^{2-} 和 NO_3^- 是最主要的水溶性无机离子,3 种离子的浓度变化范围分别在 1.66 ~ 13.54、1.36 ~ 18.52、0.80 ~ 25.38 $\mu g \cdot m^{-3}$,平均浓度为 6.06、8.45、5.28 $\mu g \cdot m^{-3}$,占总离子质量分数依次是 24%、33% 和 21%,共计 78%.

夏季中,$PM_{2.5}$ 的总水溶性无机离子的浓度为 27.11 ± 17.31 $\mu g \cdot m^{-3}$,其中 NH_4^+、SO_4^{2-} 和 NO_3^- 是最主要的水溶性无机离子,3 种离子的浓度变化范围分别在 1.72 ~ 18.53、4.87 ~ 33.70、0.74 ~ 25.20 $\mu g \cdot m^{-3}$,平均浓度为 5.94、13.04、4.10 $\mu g \cdot m^{-3}$,占总离子质量分数依次是 22%、48% 和 15%,共计 85%. $PM_{1.0}$ 的总水溶性无机离子的浓度为 17.53 ± 13.54 $\mu g \cdot m^{-3}$,其中 NH_4^+、SO_4^{2-} 和 NO_3^- 是最主要的水溶性无机离子,3 种离子的浓度变化范围分别在 1.05 ~ 19.22、1.72 ~ 33.30、0.49 ~ 19.41 $\mu g \cdot m^{-3}$,平均浓度为 3.55、7.50、3.27 $\mu g \cdot m^{-3}$,占总离子质量分数依次是 20%、43%、19%,共计 82%.

秋季中,$PM_{2.5}$ 的总水溶性无机离子的浓度为 37.69 ± 16.81 $\mu g \cdot m^{-3}$,其中 NH_4^+、SO_4^{2-} 和 NO_3^- 是最主要的水溶性无机离子,3 种离子的浓度变化范围分别在 2.20 ~ 17.63、4.17 ~ 29.14、1.89 ~

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

33.48 μg·m^{-3},平均浓度为 7.10、12.41、10.43 μg·m^{-3},占总离子质量分数依次是 19%、33%,28%,共计 80%. PMV 的总水溶性离子的浓度为 25.43 ± 12.40 μg·m^{-3},其中 NH_4^+、SO_4^{2-} 和 NO_3^- 是主要的水溶性无机离子,3 种离子的浓度变化范围分别在 0.59 ~ 10.52、2.22 ~ 33.30、0.80 ~ 25.38 μg·m^{-3},平均浓度为 4.88、10.23、5.01 μg·m^{-3},占总离子质量分数依次是 19%、40%、20%,共计 79%.

表 2 临安市 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{1.0}$ 中水溶性无机离子浓度 μg·m^{-3}

月份	项目	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}
春季	$PM_{1.0}$	0.84 ±0.57	6.06 ±2.72	1.81 ±1.60	0.76 ±0.76	1.39 ±1.04	0.28 ±0.19	0.60 ±0.68	5.28 ±4.68	8.45 ±3.71
	$PM_{2.5}$	1.00 ±0.71	8.55 ±3.54	2.26 ±0.94	0.91 ±0.44	1.75 ±0.88	0.63 ±0.85	1.38 ±1.35	7.68 ±5.87	13.41 ±5.56
	$PM_{1.0}/PM_{2.5}$	0.84	0.7	0.8	0.83	0.79	0.44	0.43	0.69	0.63
夏季	$PM_{1.0}$	0.55 ±0.44	3.55 ±3.75	0.66 ±0.37	0.35 ±0.37	1.09 ±0.56	0.25 ±0.22	0.32 ±0.30	3.27 ±2.06	7.50 ±5.50
	$PM_{2.5}$	0.57 ±0.28	5.94 ±3.96	0.87 ±0.31	0.41 ±0.39	1.29 ±0.72	0.27 ±0.22	0.82 ±0.75	4.10 ±3.09	13.04 ±8.42
	$PMV/PM_{2.5}$	0.96	0.59	0.76	0.85	0.84	0.93	0.39	0.8	0.58
秋季	$PM_{1.0}$	0.93 ±0.34	4.88 ±2.34	1.88 ±0.93	0.15 ±0.11	1.15 ±0.44	0.27 ±0.23	0.93 ±.90	5.01 ±4.46	10.23 ±6.09
	$PM_{2.5}$	1.73 ±0.76	7.10 ±3.73	3.33 ±1.47	0.32 ±0.20	1.55 ±0.76	0.54 ±0.58	1.07 ±1.20	10.43 ±8.51	12.41 ±6.64
	$PM_{1.0}/PM_{2.5}$	0.54	0.69	0.56	0.47	0.74	0.5	0.87	0.48	0.82

由上述春、夏、秋 3 个季节的水溶性无机离子浓度可知,$PM_{2.5}$ 中总水溶性无机离子的浓度分别为 37.57 ± 15.58 μg·m^{-3}(春季)、27.11 ± 17.31 μg·m^{-3}(夏季)、37.69 ± 16.81 μg·m^{-3}(秋季),$PM_{1.0}$ 中分别为 25.48 ± 12.40 μg·m^{-3}(春季)、17.53 ± 13.54 μg·m^{-3}(夏季)、25.43 ± 12.40 μg·m^{-3}(秋季),可以看出夏季的总离子浓度最小,春、秋季的总离子浓度相差不大. 这与孟邵阳[18]、杨东贞[19]等对临安本底站大气气溶胶的研究结果一致. NH_4^+、SO_4^{2-} 和 NO_3^- 为最主要的二次离子,这三种离子的浓度总体上都为 SO_4^{2-} 最高,NH_4^+ 和 NO_3^- 相当,且 SO_4^{2-} 的质量分数明显高于 NH_4^+、NO_3^-,这说明临安市颗粒物的主要致酸性物质是 SO_4^{2-}[20]. SO_4^{2-} 主要来源于 SO_2 与氧化剂的均相和非均相反应,说明区域内工业燃煤排放二氧化硫对临安市细颗粒物中 SO_4^{2-} 的贡献较大[21]. 同时从 $PMV/PM_{2.5}$ 的数值可以看出,大部分离子主要分布在 $PM_{1.0}$ 中.

NH_4^+ 和 NO_3^- 的浓度在夏季达到了最低值,主要是由于夏季大气垂直扩散强,温度高,降雨充沛,对大气颗粒物有清除作用,此外可能受来自东南或西南比较清洁的海洋气团的影响. 这与北京[12,22]夏季二次离子浓度较高的情况不同,而与同样地处长江三角洲上海市[23-24]夏季二次离子浓度比其他三个季节低的情况吻合.

Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 是土壤、沙尘颗粒物中的典型离子. Mg^{2+} 的季节变化趋势为春季 > 夏季 > 秋季,Ca^{2+} 的季节变化趋势为春季 > 秋季 > 夏季,二者都是春季浓度最大,这可能是由于北方沙尘天气对临安本底站 Ca^{2+}、Mg^{2+} 的分布有一定的影响[25].

K^+ 主要来源于生物质燃烧、土壤、燃煤与燃油以及海洋源等[26],其中,生物质燃烧排放的 K^+ 含量较高[27],因此,K^+ 通常被当作生物质燃烧的示踪离子[28]. 临安本底站 K^+ 的浓度在秋季最高,这说明秋季 K^+ 部分来源于生物质的燃烧. 此外,来源于土壤尘的粒子通常粒径较大,这说明土壤扬尘对 $PM_{2.5}$ 中的 K^+ 有部分贡献.

Na^+ 主要来源于海洋,临安本底站靠近沿海,海盐离子对大气气溶胶的组成影响较大,Na^+ 的季节变化不是很明显. Cl^- 除了来自于海盐外,也可能来源于燃煤及生物质燃烧[29]. $PM_{2.5}$ 中春、夏、秋季中 Cl^-/Na^+ 质量比平均值的变化范围是 0.48 ~ 0.78,$PM_{1.0}$ 中其变化范围是 0.45 ~ 0.67,说明部分 Na^+ 可能来源于地面扬尘[5].

2.2 相关性分析

图 2(a)、(b)分别给出了 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{1.0}$ 中 SO_4^{2-} 和 NH_4^+ 相关性分析,可以看出 SO_4^{2-} 和 NH_4^+ 有较好的相关性,说明二者具有相似的来源. $PM_{2.5}$ 中春、夏、秋季 SO_4^{2-} 与 NH_4^+ 的相关系数 R^2 分别为 0.69、0.88 和 0.66,$PM_{1.0}$ 中分别为 0.68、0.54 和 0.78. $PM_{2.5}$ 与 $PM_{1.0}$ 相比,夏季 $PM_{2.5}$ 中 SO_4^{2-} 与 NH_4^+ 的相关性明显强于春、秋季,说明夏季 $PM_{2.5}$ 中 SO_4^{2-} 与 NH_4^+ 结合得更稳固;秋季 $PM_{1.0}$ 中二者的相关性较强,说明 SO_4^{2-} 与 NH_4^+ 有更好的结合. 无论是 $PM_{2.5}$ 还是 $PM_{1.0}$ 中,回归方程的斜率即 SO_4^{2-} 和 NH_4^+ 的摩尔比均小于 1∶2,表明采样期间临安本底站 SO_4^{2-} 可完全被 NH_4^+ 中和,可能主要以 $(NH_4)_2SO_4$ 的形式存在. (c)、(d)分别为 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{1.0}$ 中 NO_3^- 和 NH_4^+ 相关性分析,可以看出二者的相关系数的变化范围为 0.65 ~ 0.78,说明 NO_3^- 和

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

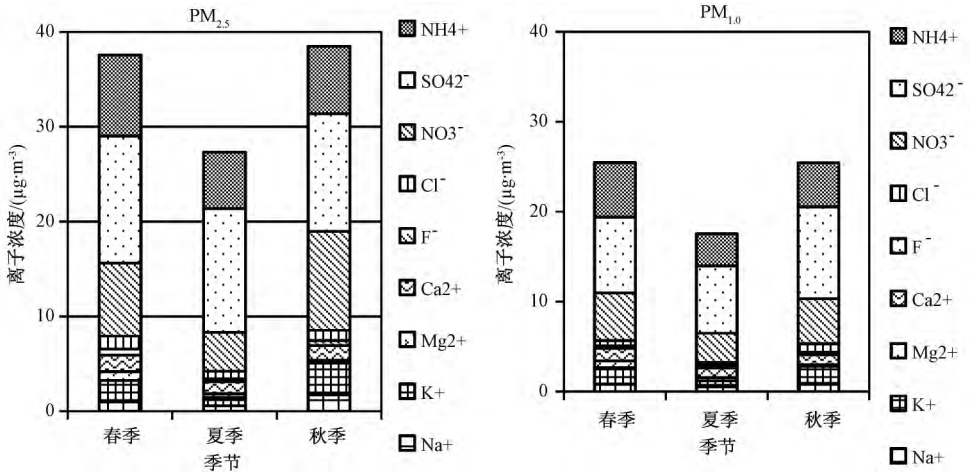


图 1　$PM_{2.5}$、$PM_{1.0}$ 中水溶性离子浓度的季节变化

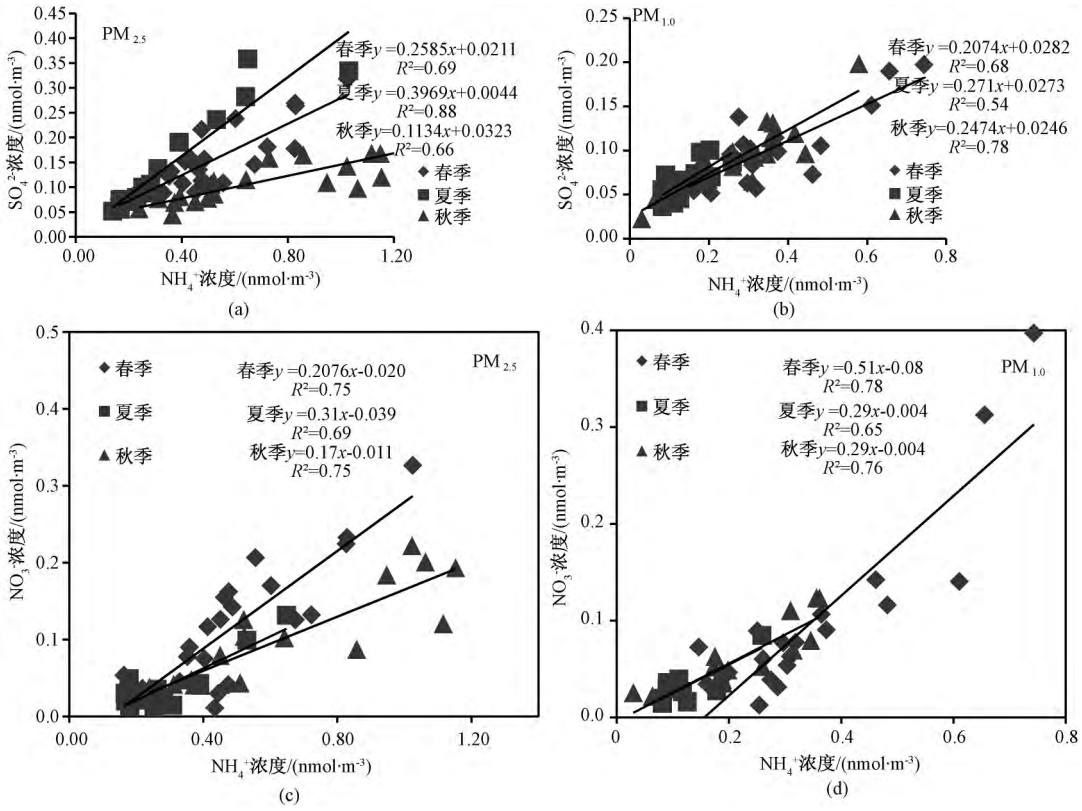


图 2　$PM_{2.5}$ 和 $PM_{1.0}$ 中 NH_4^+、SO_4^{2-}、NO_3^- 相关性

NH_4^+ 也具有较好的相关性. 但斜率小于 1，说明 NO_3^- 没有完全与 SO_4^{2-} 结合后的 NH_4^+ 结合，即 NO_3^- 有剩余. 由于临安本底站周围没有明显的 NO_x 和 SO_2 的排放源，其颗粒物中 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 主要来源于远距离输送过程中的二次生成，这一部分 NO_3^- 可能在远距离输送过程中由于光照的作用，分解生成硝酸气体和氯化氢气体，与 Ca^{2+}、Mg^{2+} 发生反应，形成硝酸钙、硝酸镁、氯化钙、氯化镁等[14].

2.3　$PM_{2.5}$ 和 $PM_{1.0}$ 中 NO_3^- 与 SO_4^{2-} 的质量比

SO_4^{2-} 与 NO_3^- 为二次气溶胶，是大气气溶胶中主要的阴离子，一般反应了人类活动对大气环境的影响. 其中，SO_4^{2-} 主要来自于煤炭燃烧释放的 SO_2 排放源位置相对固定; 而 NO_3^- 则主要来自于石油、天然气的燃烧，排放源大多为机动车辆，相对来说处于移动状态. 汽油、柴油燃烧排放的 NO_x/SO_x 质量比为 8 ~ 13，燃煤排放的比值为 0.5[30]. 因此，气溶

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

胶中 NO_3^-/SO_4^{2-} 的大小反映了固定源与移动源的相对重要性[12,22]. 本研究中,春、夏、秋季 $PM_{2.5}$ 中 NO_3^-/SO_4^{2-} 质量比平均值分别为 0.57、0.31、0.84,$PM_{1.0}$ 中分别为 0.63、0.44、0.49. 由此可以看出,夏季 NO_3^-/SO_4^{2-} 的质量比达到了最小值,这主要是由于夏季温度较高,硝酸盐在温度较高时其稳定性较差,而 SO_4^{2-} 在夏季有利于发生光化学反应,促进气-粒转化过程发生. 秋季 $PM_{2.5}$ 中 NO_3^-/SO_4^{2-} 二者的比值明显大于 $PM_{1.0}$ 中,其原因可能是秋季硝酸铵分解,而且氮氧化物和气态的硝酸与粗粒子的表面容易发生反应,形成硝酸钙、硝酸镁,从而富集在较大粒径中[25]. 但是,无论在 $PM_{2.5}$ 还是在 $PM_{1.0}$ 中,NO_3^-/SO_4^{2-} 的质量比都小于 1,说明临安本底站以固定源污染为主.

3 结 论

(1) 临安市春、夏、秋季大气气溶胶 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{1.0}$ 中,夏季的总水溶性离子浓度最低. 春、夏、秋季中最主要的水溶性离子为 NH_4^+、SO_4^{2-} 和 NO_3^-,且 SO_4^{2-} 所占比例最大. 从 $PM_{1.0}/PM_{2.5}$ 的比值来看,大部分离子主要分布在 $PM_{1.0}$ 中,说明 $PM_{1.0}$ 对临安市的污染较为严重.

(2) 临安大气气溶胶在 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{1.0}$ 中季节变化不一致,$PM_{2.5}$ 中离子浓度的季节排序为秋季 > 春季 > 夏季,$PM_{1.0}$ 中为春季 > 秋季 > 夏季. NH_4^+ 和 NO_3^- 的浓度在夏季达到了最低值,主要是由于夏季大气垂直扩散强,温度高,降雨充沛,对大气颗粒物有清除作用.

(3) NH_4^+ 与 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 在 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{1.0}$ 中都具有较强的相关性,NH_4^+ 和 SO_4^{2-} 的摩尔比均 > 2∶1,表明 SO_4^{2-} 被 NH_4^+ 完全中和,可能主要以 $(NH_4)_2SO_4$ 的形态存在.

(4) 春、夏、秋季,$PM_{2.5}$ 和 $PM_{1.0}$ 中 NO_3^-/SO_4^{2-} 质量比的平均值分别是 0.57、0.31、0.84; 0.63、0.44、0.49,均小于 1,说明说明临安市以固定源污染为主.

参 考 文 献

[1] 王明星. 大气化学[M]. 北京:气象出版社,1999. 166-167.

[2] IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change 2001: The Scientific Basis [M]. London: Cambridge University Press, 2001.

[3] 任丽新,游荣高,吕位秀,等. 城市大气气溶胶的物理化学特性及其对人体健康的影响[J]. 气候与环境研究. 1999, 4(1): 67-73.

[4] 赵亚南,王跃思,温天雪,等. 长白山 $PM_{2.5}$ 中水溶性无机离子观测研究[J]. 环境化学, 2011, 30(4): 812-815.

[5] 郭照冰,陈天蕾,陈天,等. 香河地区大气气溶胶中水溶性离子观测及分析[J]. 环境化学, 2010, 29(4): 764-765.

[6] 赵亚南,王跃思,张凯,等. 工作日、双休日和春节期间 PM_{10} 中水溶性离子浓度变化特征[J]. 环境科学研究, 2008, 21(5): 150-153.

[7] Shen Zhenxing, Cao Junji, Richard Arimoto, et al. Ionic composition of TSP and PM(2.5) during dust storms and air pollution episodes at Xi'an, China [J]. Atmospheric Environment, 2009, 43: 2911-2918.

[8] 徐宏辉,王跃思,温天雪,等. 北京大气气溶胶中水溶性离子的粒径分布和垂直分布[J]. 环境科学, 2007, 28(01): 14-19.

[9] Leaitch W R, Strapp J W, Isaac G A, et al. Cloud droplet nucleation and cloud scavenging of aerosol sulphate in polluted atmospheres [J]. Tellus B, 2010, 36(5): 328-344.

[10] 寿幼平,高晓梅,王静,等. 济南秋季大气 $PM_{2.5}$ 中水溶性离子的在线观测[J]. 环境科学研究, 2010, 23(01): 41-47.

[11] 王京丽,谢庄,张远航,等. 北京市大气细粒子的质量浓度特征研究[J]. 气象学报, 2004, 62(01): 104-111.

[12] Wang Y, Zhuang G, Tang A, et al. The ion chemistry and the source of $PM_{2.5}$ aerosol in Beijing [J]. Atmospheric Environment, 2005, 39(21): 3771-3784.

[13] 赵普生,张小玲,孟伟,等. 京津冀区域气溶胶中无机水溶性离子污染特征分析[J]. 环境科学, 2011, 32(06): 1546-1549.

[14] 徐宏辉,刘洁,王跃思,等. 杭州地区大气气溶胶中水溶性离子特征的城郊对比分析[J]. 环境化学, 2009, 28

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(04): 598 – 599.

[15] Wang G H, Wang H, Yu Y J, et al. Chemical characterization of water-soluble components of PM_{10} and $PM_{2.5}$ atmospheric aerosols in five locations of Nanjing, China [J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(21): 2893 – 2902.

[16] 姚振坤, 冯满, 吕森林, 等. 上海城区和临安本底站 $PM_{2.5}$ 的物化特征及来源解析 [J]. 中国环境科学, 2010, 30(3): 289 – 295

[17] 浙江省气象局. 2007 年长江三角洲区域大气本底站年报.

[18] 孟邵阳, 贾小芳, 张仁健, 等. 2010 年长江三角洲临安本底站 $PM_{2.5}$ 理化特征 [J]. 应用气象学报, 2012, 23(04): 424 – 432.

[19] 张养梅, 颜鹏, 杨东贞, 等. 临安大气气溶胶理化特征季节变化 [J]. 应用气象学报, 2007, 18(5): 635 – 643.

[20] 李彩霞, 李彩亭, 曾光明, 等. 长沙市夏季 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 中水溶性离子的污染特征 [J]. 中国环境科学, 2007, 27(5): 599 – 603.

[21] 陶俊, 张仁健, 董林, 等. 夏季广州城区细颗粒物 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{1.0}$ 中水溶性无机离子特征 [J]. 环境科学, 2010, 31(7): 1417 – 1424.

[22] Meng Z Y, Lin W L, Jiang X M, et al. Characteristics of atmospheric ammonia over Beijing, China [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2011, 11: 6139 – 6151.

[23] Ye B M, Ji X L, Yang H Z, et al. Concentration and chemical composition of $PM_{2.5}$ in Shanghai for a 1-year period [J]. Atmospheric Environment, 2003, 37: 499 – 510.

[24] Wang Y, Zhuang G S, Zhang X Y, et al. The ion chemistry, seasonal cycle, and the sources of $PM_{2.5}$ and TSP aerosol in Shanghai [J]. Atmospheric Environment, 2006, 40(16): 2935 – 2952.

[25] 徐宏辉, 刘洁, 王跃思, 等. 临安本底站大气气溶胶水溶性离子浓度变化特征 [J], 环境化学, 2012, 31(6): 798 – 802.

[26] Wang H B, Shooter D. Water soluble ions of atmospheric aerosols in three New Zeal and cities: seasonal changes and sources [J]. Atmospheric Environment, 2001, 35: 6031 – 6040.

[27] Raveendran K, Ganesh A, Khilar K C. Influence of mineral matter on biomass pyrolysis characteristics [J]. Fuel, 1995, 74(12): 1812 – 1822.

[28] 宋宇, 唐孝炎, 张远航, 等. 北京市大气细粒子的来源分析 [J]. 环境科学, 2002, 23(6): 11 – 16.

[29] 徐宏辉, 王跃思, 杨勇杰, 等. 泰山顶夏季大气气溶胶中水溶性离子的浓度及其粒径分布研究 [J]. 环境科学, 2008, 29(02): 2305 – 2309.

[30] 沈振兴, 李丽珍, 杜娜, 等, 西安市春季大气细粒子的质量浓度及其水溶性组分的特征 [J]. 生态环境, 2007, 04: 1193 – 1198.

Characteristics of Water-soluble Inorganic Ions in $PM_{2.5}$ and $PM_{1.0}$ Conducted in Lin'an City in 2009

Li Xingru[1]　Cheng Linglong[2]　Liu Yusi[1]　Ding Xiaorong[1]　Xu Honghui[3]

(1. Department of Chemistry, Capital Normal University, Beijing　100048; 2. College of Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing　100048; 3. Zhejiang Meteorological Science Institute, Hangzhou Zhejiang　310008)

Abstract

With the rapid economic development, the regional characteristics of the urban air pollution in Yangtze River delta is more and more serious, and has attracted more attentions than before. $PM_{2.5}$ and $PM_{1.0}$ aerosol samples were sampled by low volume sampler (FRM Omni sampler, BGI Inc., USA) in spring, summer, autumn in 2009 at altitude of 138.6m of Lin'an. The water-soluble inorganic ionic concentrations were analyzed by IC (anions: F^-, Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}; cations: Na^+, NH_4^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}). The result shows that the lowest concentration of total water-soluble inorganic ions was in summer among the three seasons in Lin'an. NH_4^+、SO_4^{2-} and NO_3^- were the

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

dominant contributors of water-soluble inorganic ions, the percent of them in $PM_{2.5}$ were 78% (spring), 85% (summer), 80% (autumn), in $PM_{1.0}$ were 78% (spring), 83% (summer), 79% (autumn). The molar concentration ratio of SO_4^{2-} and NH_4^+ was < 1∶2. NH_4^+ neutralized SO_4^{2-} completely, which the existing forms were probably $(NH_4)_2SO_4$. The mass ratio of NO_3^-/SO_4^{2-} variations in $PM_{2.5}$ and $PM_{1.0}$ were respectively 0.31 ~ 0.84、0.44 ~ 0.63, indicating that the sustained sources have mainly influences on air in Lin'an.

Key words: $PM_{2.5}$, $PM_{1.0}$, Lin'an regional background station, water-soluble inorganic ions.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net