文章编号:1674-7070(2013)02-0120-07

1993—2004 年华东部分地区酸雨的时空分布特征及其与气象条件的关系

张明明[1]　杨军[1]　黄志勇[2]　徐静馨[1]

摘要

分析华东地区 15 个酸雨观测站的 1993—2004 年数据资料,结果显示华东地区的酸雨灾害在全国范围内较为严重,其中以长江以南的浙江、福建地区尤为突出. 1993—2004 年华东地区降水的酸度呈现出先减轻后加重的趋势. 降水量是影响华东酸雨的电导率和 pH 值的重要因素. pH 值季节变化由高到低为夏、秋、冬、春,酸雨频率随季节的变化不显著. 对同期 15 个观测站的电导率变化的分析显示,12 年间华东地区降水的电导率呈现先稳定后变幅增大的趋势,降水酸度和电导率的年际变化存在显著的正相关关系. 应当对影响降水酸度和电导率的相关大气成分加强监测与研究.

关键词

华东地区;时空分布;pH 值;电导率;气象条件

中图分类号 P401

文献标志码 A

收稿日期 2012-03-09

资助项目 公益性行业(气象)科研专项(GYHY(QX)20090612)

作者简介

张明明,女,硕士生,主要研究方向为大气物理与大气环境. mmll20060201@163.com

杨军(通信作者),男,博士,副教授,主要从事大气物理与大气环境的相关研究工作. jyang@nuist.edu.cn

1　南京信息工程大学　大气物理学院,南京,210044

2　中国气象局　武汉暴雨研究所,武汉,430000

0　引言

随着工业的发展和城市化进程的加剧,酸雨已经成为 21 世纪人类所面临的 4 个主要环境问题之一,是跨越国界的全球性灾害[1-2]. 东亚地区已成为继欧洲和北美之后的世界第三大酸雨区,而我国的酸雨以降水酸性最强、区域面积最大的特点成为东亚主要的强酸雨中心区[3]. 华东地区包括上海市、山东省、江苏省、安徽省、江西省、浙江省和福建省,自然环境条件优越,物产资源丰富,是中国综合技术水平较高的经济区. 其北部基本上以平原为主,南部多以山地丘陵为主,气候南北差异大,淮河以北为温带季风气候,以南为亚热季风气候,雨量集中于夏季. 从 20 世纪 70 年代末起,经过 80 年代的急剧发展,到 90 年代中期,酸雨污染区也逐渐趋向稳定[4-5].

我国科研工作者已经对酸雨的形成、危害、治理等方面进行了大量的研究,但大多关注于某个省或市的酸雨的时空分布以及气象要素对该地酸雨的影响,而缺少区域化大范围的统计成果. 本文利用中国气象局在华东地区布设的酸雨监测站 1993—2004 年的酸雨数据及同期华东地区气象数据,分析了华东部分地区酸雨 pH 值、酸雨频率和电导率的时空分布特征与变化,并初步分析了气象条件对酸雨的 pH 值和电导率的影响,以期为相关部门监测或控制酸雨提供一些依据,这对有效控制酸雨污染、减少酸雨带来的损失具有现实意义.

1　资料与方法

1) 数据资料来源. 采用中国气象局在华东地区布设的江苏(徐州、淮阴、南京和常州)、安徽(合肥、黄山)、浙江(杭州、临安)、山东(青岛、泰山)、福建(福州、厦门、邵武)和江西(庐山、赣州)共 15 个酸雨监测站点 1993—2004 年的酸雨监测数据,以及中国气象数据库共享服务网提供的气象观测站同时段的气象资料,包括月平均温度、月平均气压、月平均相对湿度、月平均风速、月平均降水量等.

2) 计算方法. 降水 pH 平均值及降水电导率平均值的计算方法采用雨量加权法. 酸雨频率是指在降水的总次数中,pH < 5.6 的降水发生比例,即:酸雨频率 = (酸雨样品数/降水样品数) × 100%.

2 结果与讨论

2.1 酸雨的年际变化特征

通常采用降水强度法来评测一个地区的酸雨程度,降水强度是以降水 pH 值的年平均来表示的. 表 1 为国家环境保护部制定的酸雨强度分级标准.

表 1 酸雨强度分级标准

Table 1 Grading standard of acid rain intensity

pH 值	酸雨强度
≤4.00	强酸性
>4.00 且≤4.50	较强酸性
>4.50 且≤5.60	弱酸性
>5.60 且≤7.00	中性
>7.00	碱性

在标准状况下只考虑 CO_2 和纯水平衡的条件时,其 pH 值为 5.58,所以多年来国际上一直将 pH = 5.60 作为未受污染的天然降水的背景值[2]. pH < 5.60 的降水被认为是酸雨,其酸性的增加大多来自于人为污染,因此,pH 值是否小于 5.60 已被国际上用作判别雨水是否受到人为污染的重要指标之一[6]. 干洁大气中除了 CO_2 以外,还存着少量痕量气体,如 SO_2、H_2S、HCl 等,因此有可能使得降水进一步酸化. 在无人为污染的地区,自然降水的 pH 值一般是 5.00 ~ 5.20.

2.1.1 降水 pH 值的年际变化

图 1 是华东地区 1993—2004 年降水 pH 年均值变化曲线. 由图 1 可知华东地区 pH 年均值的 12 年平均值是 4.96,属酸雨区,但 1993—1998 年 pH 年均值均低于 4.96. 降水 pH 值主要与大气中的 SO_2 有关. 大气中的 SO_2 可以通过不同的途径形成硫酸,包括气相反应、溶解在水滴中进行液相反应以及粒子表面的多相化学反应,SO_2 是引起酸雨的主要污染气体[7]. 为了改善大气环境,控制大气中 SO_2 酸雨发展,我国于 1995 年通过了《大气污染防治法》,1998 年又将涉及 27 个省(市、区)的 110 万 km^2 的国土范围划为酸雨控制区和二氧化硫(SO_2)污染控制区(即“两控区”)[8]. 1999 年我国华东地区酸雨状况出现明显好转,并在 2000—2001 年出现波动,2001 年以后 pH 年均值又有明显的下降趋势. 王文兴等[9]指出,1995—2006 年间全国的 SO_2 和 NO_x 排放总量呈现出“V”字形的变化,这与本文得出的华东地区降水酸度变化的趋势相一致. 大气中 NO_x 可以通过氧化溶于水形成硝酸,是另一重要的致酸物质. 随着我国汽车保有量的显著增加,1996—2004 年间中国东部工业区上空下层大气中 NO_x 的质量浓度增加了约 50%,并且年增长速度还有加速趋势[10-11],这导致我国酸雨污染类型由原来的硫酸型逐步转变为硫酸与硝酸混合型[12-15].

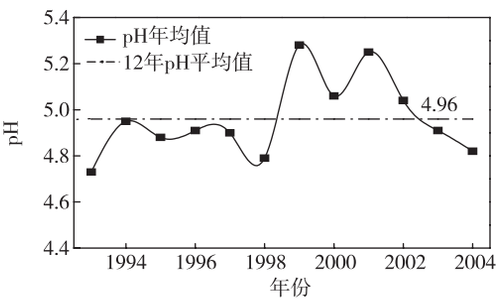


图 1 1993—2004 年华东地区降水 pH 年均值变化

Fig. 1 Trend of annual mean precipitation pH from 1993 to 2004 in East China

图 2 是华东地区降水 pH 年均最大值和最小值的变化曲线和线性拟合. 由图 2 可知,pH 年均最大值属于碱性,pH 年均最小值处于强酸性和较强酸性范围. 华东地区 1993—2004 年的 pH 年均最大值呈下降趋势,减值率达 0.039 5 a^{-1},减幅较大,并且通过了 $\alpha = 0.01$ 的 t 检验,说明 pH 年均最大值是极显著减小的. 同时,pH 年均最小值呈上升趋势,增值率达 0.033 4 a^{-1},增幅较小,但通过了 $\alpha = 0.05$ 的 t 检验,表明 pH 年均最小值是显著增加的. 可以看出治理酸雨过程中在控制强酸雨的酸度方面还是有一定的成效的.

2.1.2 酸雨频率的年际变化

图 3 反映了华东地区 12 年酸雨频率年际变化曲线. 明显看出,酸雨频率先减少后增加,在 1999 年降低至 38.5% 以下. 其中 1993—1998 年酸雨频率下降趋势平缓并且频率值维持在 50% 上下的较高水平,1999 年酸雨频率显著减少,2000 年和 2001 年相较于 1999 年有波动回升,但仍处于 45% 以下. 酸雨频率自 2002 年开始大幅度增加,2004 年酸雨频率高达 58%,几乎与 1993 年持平. 说明在 20 世纪 90 年代后期华东地区的酸雨得到一定程度的控制,不过,2001 之后酸雨频率又恢复增长,这与 NO_x 对酸雨的贡献越来越大,华东地区酸雨类型转变程度的加剧密切相关. 这也显示出“两控区”政策已不能完全抑制酸雨情况的发展,迫切需要出台能有效控制酸雨的新政策.

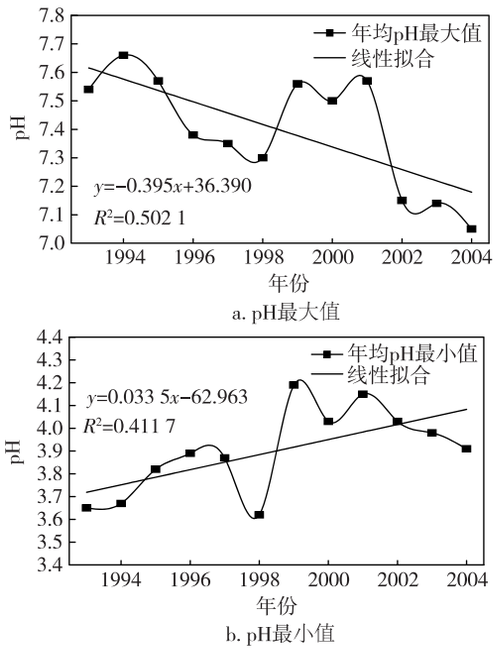


图 2　华东地区降水 pH 最大值和最小值及线性拟合曲线

Fig. 2　The maximum and minimum values of precipitation pH and linear fitting curves in East China

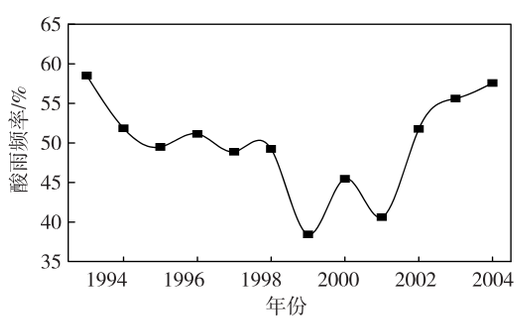


图 3　1993—2004 年华东地区酸雨频率的年际变化

Fig. 3　Annual variation trend of acid rain frequency from 1993 to 2004 in East China

2.2　酸雨的季节变化

图 4 为华东地区 12 年的降水 pH 值和酸雨频率月变化曲线. 由 pH 值变化曲线可知:pH 值在 12 月—次年 5 月变化趋势较平缓且较低;6—11 月 pH 值呈现“M”状,在 9 月出现最低值 5.22,7 月出现最大值 5.37,但总体明显高于 12 月—次年 5 月. 可以看出华东地区 pH 值的变化具有一定的季节变化特征,夏秋季高,冬春季低,顺序依次为夏 > 秋 > 冬 > 春. 从酸雨频率柱状图中可知,华东地区各月酸雨频率均值在 20% ~40%之间,其中 5 月出现最大值 31.82%,9 月出现最小值 24.5%,频率值波动较大,6—10 月变化趋势与 pH 曲线的趋势相同,但季节特征并不显著,按照大小顺序排列分别为春季(29.25%) > 夏季(28.96%) > 冬季(27.97%) > 秋季(27.63%).

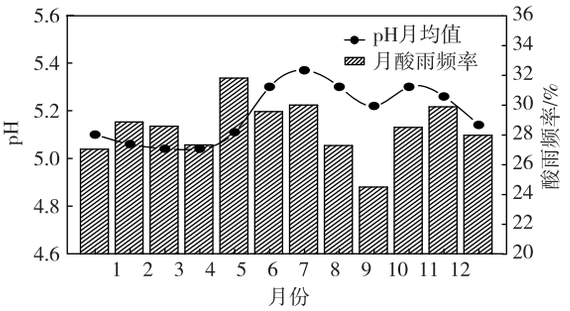


图 4　华东地区 pH 值和酸雨频率月变化曲线

Fig. 4　Monthly changes of precipitation pH and acid rain frequency in East China

2.3　酸雨的空间分布

2.3.1　降水 pH 值空间分布

受当地气候环境等各方面影响,酸雨的特征也表现出地区差异. 图 5 为华东地区 15 个酸雨观测站 1993—2004 年的降水 pH 加权平均值和降水 pH 加权年均最大值、最小值的空间分布. 由图 5 可见,杭州和临安的 pH 加权平均值、最大值和最小值相较于其他站点数值较小,黄山的值最大. 杭州北部的半山火力发电厂和杭州钢厂耗煤量占全市耗煤量的一半,每年排出大量酸性气体,是酸雨的主要污染源[16],从而使得杭州成为重酸雨区;临安处于杭州的西北山区,四周没有明显出口,局地排入或杭州输送的酸雨前体物不易向外输送,因扩散不利造成酸雨前体物停留时间过长而形成干沉降[17]. 由图 5 还可见:杭州、临安、福州、厦门、邵武、庐山、青岛的 pH 年均值都低于 5.0,除徐州、淮阴、黄山外,其他站点均低于 5.6;pH 最大值和最小值和年均值的分布基本相同,pH 最小值很低,普遍低于 4.0. 长江以南四川盆地以东广大地区是我国降水酸性最强的区域,其 pH 值均低于欧洲和北美降水酸性最高的地区(pH 为 4.2) 和日本(pH 为 4.4),这可能是目前世界降水酸性最强的地区[9]. 华东处于这个强酸雨区之中,其区域内也有明显的地区差异,其中浙江和福建的酸雨尤为严重. 大气中氨的含量、土壤酸碱性质及大气颗粒物中碱性物质浓度的差异等自然因素是造成中国酸雨区域特征明显的重要原因之一[18]. 王文兴等[3,19]研究发现,长江以南地区大气颗粒物中碱性物质浓度低,其缓冲能力低于北方,降水中的碱性物质主要来源于土壤中,而土壤中的碱性粒子由南至北是递增的,这就导致相较于华东北部地区,其

南部地区的土壤碱性物质含量和土壤 pH 值比较低,进而有可能引起南部地区的酸雨灾害更严重.

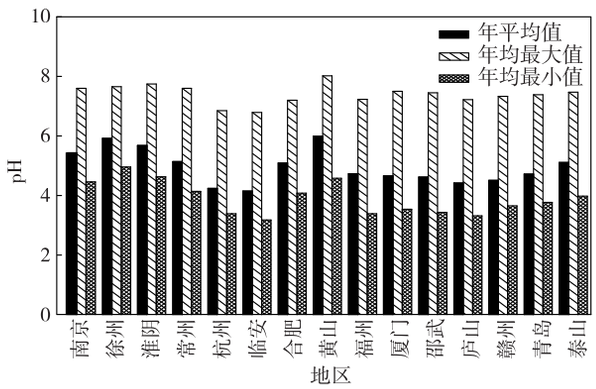


图 5　华东地区降水 pH 平均值、最大值和最小值空间分布

Fig. 5　Spatial distributions of mean, maximum and minimum values of precipitation pH in East China

2.3.2　酸雨频率的空间分布

图 6 为华东地区 15 个站点 12 年来酸雨频率空间分布. 由图 6 可知:黄山和徐州的酸雨频率较低,在 10% 以下;杭州、临安、庐山、赣州、厦门、福州酸雨频率均超过 60%,其中杭州和临安酸雨频率最高,都在 80% 以上,酸雨污染严重. 结合图 5 中各地的 pH 平均值、最大值和最小值,酸雨频率较高的站点其酸雨酸性较强,浙江和福建地区的酸雨污染较为严重.

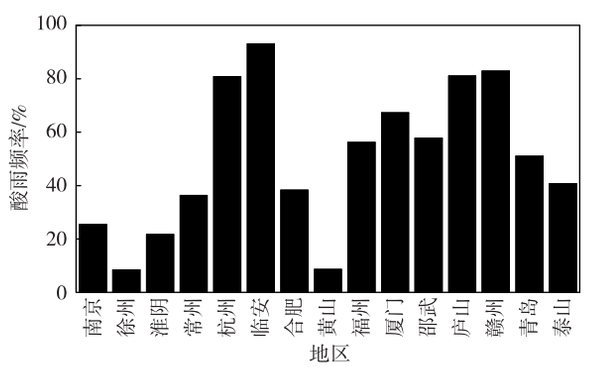


图 6　华东地区 12 年酸雨频率空间分布

Fig. 6　Spatial distribution of acid rain frequency for 12 years in East China

2.4　酸雨年平均线性趋势空间分布

采用一元线形回归方法,分析华东地区降水 pH 值及酸雨频率年平均线性变化趋势(显著性水平达到 0.05 表示显著变化). 结果表明:南京、淮阴、常州 pH 值显著增加,徐州、临安、黄山 pH 值增加(不显著),其他站点 pH 值降低(不显著);南京、淮阴酸雨频率有显著减小的趋势,徐州、常州、杭州、黄山酸雨频率减小(不显著),其他站点酸雨频率有增加的趋势(不显著). 由此可见,江苏省的酸雨得到了较好的控制,其他地区酸雨的治理仍不容乐观.

2.5　电导率的分布特征

大气中的各种污染气体和颗粒物的可溶成分融入降水会使降水的导电能力增加,所以电导率的大小在一定程度上反映出降水中这些物质的多寡程度,也是降水被环境物质污染的指标之一.

2.5.1　电导率的时间分布

电导率是酸雨测量的重要观测值之一. 图 7 是华东地区降水电导率均值时间变化曲线. 1993—1999 年(除 1996 年)电导率值均低于 40 $\mu S \cdot cm^{-1}$,并于 1993 和 1998 年出现 2 个低值 36.49 和 36.95 $\mu S \cdot cm^{-1}$,1999 年电导率首次突破40 $\mu S \cdot cm^{-1}$,2001 年出现最大值 46.08 $\mu S \cdot cm^{-1}$,2002 年重新跌至 40 $\mu S \cdot cm^{-1}$以下. 对比图 7 中的降水 pH 年均值变化曲线,不难发现 1993—2003 年华东地区降水的电导率和 pH 值存在显著的正相关关系. 而造成 2004 年特殊的原因有可能是 pH 测量的总体精度受台站技术状态影响,酸雨观测网 pH 值测量存在一定的误差[20],也有可能与降水中离子的组成等因素有关,这需要进一步研究.

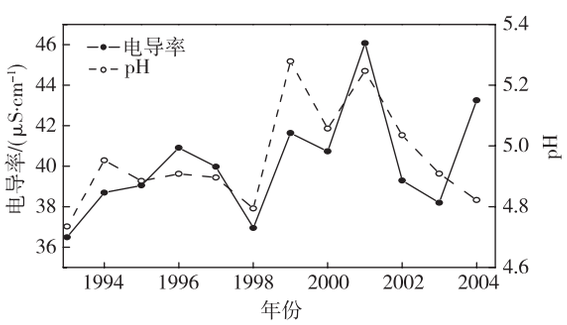


图 7　华东地区降水电导率和 pH 值年际变化

Fig. 7　Annual variation trends of precipitation conductivity and pH in East China

图 8 是降水 pH 年均值和电导率年均值的线性拟合曲线,两者的相关系数 $R^2 = 0.431\ 1$,并通过了 $\alpha = 0.05$ 的 t 检验的验证,说明两者有明显的正相关,即电导率越高,pH 值越高,电导率越低,pH 值越低.

2.5.2　电导率的空间分布

图 9 给出了华东地区 12 年降水电导率年均值空间分布. 可以看出,电导率的地区差异明显,青岛

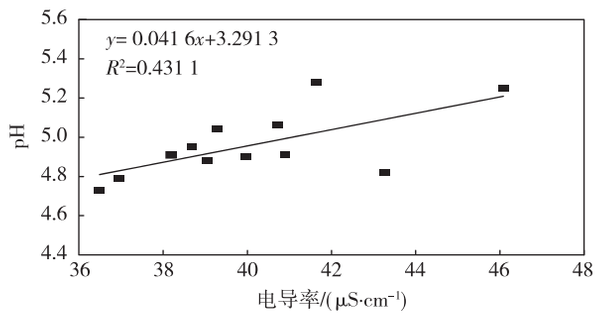


图 8　降水 pH 年均值和电导率年均值的线性拟合

Fig. 8　Linear relationship between annual mean precipitation pH and conductivity

电导率最高,接近 79 μS·cm^{-1},最低值是邵武和黄山为 25 μS·cm^{-1},其余站点大约在 40 μS·cm^{-1}左右. 一般认为,电导率大于 50 μS·cm^{-1},表示空气质量差,污染物浓度较高[6]. 由此可知,黄山和邵武的空气质量较好,而青岛的空气质量较差,主要由煤烟型污染所致[21].

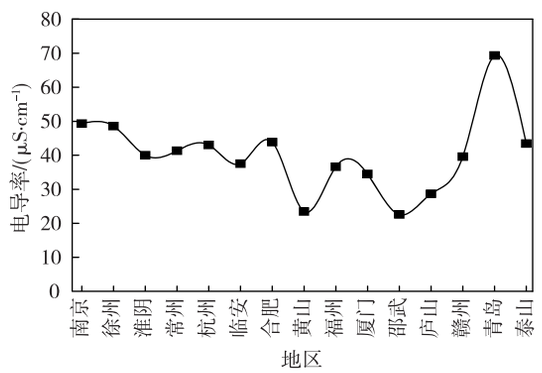


图 9　华东地区 12 年降水电导率年均值空间变化曲线

Fig. 9　Spatial variation of precipitation conductivity for 12 years in East China

2.6　华东酸雨和气象因素的关系

降水量是影响降水的电导率和 pH 值的重要因素. 从图 10 中不难看出:降水量在冬季最少,对应的电导率在冬季较高,而 pH 值较低;降水量在夏季较高,电导率较低,pH 值较高. 因为降水量大在一定程度上稀释了大气污染物的浓度,净化了空气[22],而且降水量大伴随着雨滴粒径大,其下落速度快,相比于粒径较小的云滴,其在空中停留的时间短,污染物通过雨除和冲刷过程进入雨滴少[2]. 9 月降水量减少到 74. 91 mm,同时 pH 值减小到 5. 22,10 月 pH 值出现回升,这是因为较 9 月而言,10 月降水量减少的幅度小,而电导率增加明显,这可能是碱性离子的含量增多影响了降水的酸度. 自 10 月起,降水 pH 值出现下降. 通过 2—4 月和 10—12 月降水量值的对比,2—4 月降水量相对较多,pH 值却很低,几乎是一年中最低值,而且此时的电导率与 pH 值有明显的正相关,一方面有可能是由于降水中碱性离子的含量减少,另一方面也可能与气象因素的影响有关. 从表 2 中可以看出,2—4 月的相对湿度较 10—12 月略高,而相对湿度高有利于 SO_2 的转化[3],从而降低 pH 值.

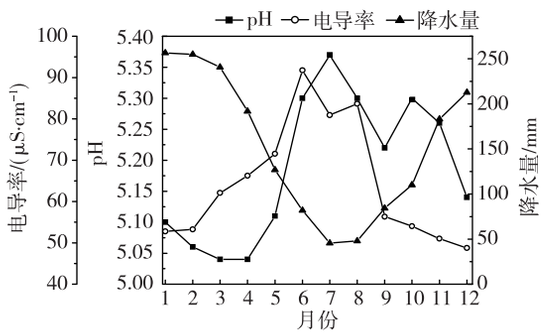


图 10　降水量、电导率和 pH 值的月变化特征

Fig. 10　Monthly changes of precipitation, conductivity and pH value

表 2　华东地区酸雨与气象因素的关系

Table 2　Relationship between acid rain and meteorological factors in East China

月份	相对湿度/%	降水量/mm	风速/(m·s^{-1})	电导率/(μS·cm^{-1})	pH
1	70. 20	58. 60	3. 01	95. 96	5. 10
2	70. 15	60. 74	3. 06	95. 63	5. 06
3	72. 53	101. 31	3. 23	92. 53	5. 04
4	73. 32	120. 32	3. 24	81. 87	5. 04
5	74. 24	144. 50	3. 07	67. 68	5. 11
6	78. 76	237. 36	3. 01	57. 86	5. 30
7	80. 71	187. 60	2. 97	49. 93	5. 37
8	82. 12	200. 27	2. 85	50. 46	5. 30
9	75. 78	74. 91	2. 84	58. 40	5. 22
10	71. 69	64. 29	2. 83	64. 04	5. 30
11	70. 48	50. 51	2. 97	79. 97	5. 26
12	69. 11	40. 03	2. 98	86. 39	5. 14

利用表 2 中的数据,对电导率和风速进行线性拟合,发现两者存在明显的正相关,风力越大,电导率也越大,这与李相文[23]研究中电导率与风力的大小相关的结论相符合. 这是因为风速大有利于地面扬沙等过程,使空气中的离子增加,但是风速大小对 pH 值的影响不明显. 风速的大小可能影响污染物的

传输和扩散,这主要还与气溶胶的成分、风向以及污染源等因素有关,需要对局部地区的情况进一步研究分析. 因此影响华东地区 pH 值和电导率季节变化的气象因素主要是降水量的变化.

3 结论

1) 华东地区 12 年的降水 pH 平均值是 4.96,而根据中国气象局布设的酸雨监测站数据的计算可知全国同期降水 pH 平均值是 5.39,华东地区酸雨灾害较全国平均水平偏重,其中以浙江、福建地区尤为突出. 杭州和临安的降水 pH 年均值、最小值、最大值均最小,黄山的最大. 黄山和徐州的酸雨频率较低,在 10% 以下,杭州、临安、庐山、赣州、厦门、福州的酸雨频率均超过 60%. 分析华东地区降水的酸度在这 12 年期间的变化,可将其可分为 3 个阶段:1993—1998 年为前期,1999—2001 年为中期,2001—2004 年为后期. 前期酸雨 pH 值稳定在 4.7 ~ 4.9 之间波动变化,酸雨污染较严重,中期呈波动减弱趋势,酸雨污染有所缓和,后期又出现污染加重趋势. SO_2 排放总量有所抬头以及 NO_x 的排放量持续增长是导致污染加重的主要原因.

2) 对电导率变化的分析显示,12 年间华东地区降水中电导率呈现与 pH 值相一致的增减趋势,两者具有显著的正相关关系. 其中 1993—1998 年电导率值相对较低,1999 年起出现大幅波动,并连续 3 年大于 40 $\mu S \cdot cm^{-1}$,在 2002 年重新降至 40 $\mu S \cdot cm^{-1}$ 以下. 空间分布上,青岛的年均电导率高达 79 $\mu S \cdot cm^{-1}$,表明降水中离子数多,空气污染严重,邵武和黄山的电导率为 25 $\mu S \cdot cm^{-1}$,表明空气质量好.

3) 降水量是影响华东地区酸雨的电导率和 pH 值的重要因素,降水 pH 值随季节的变化表现为夏秋季高,冬春季低,顺序依次为夏 > 秋 > 冬 > 春,酸雨频率的季节变化特征不显著.

参考文献

References

[1] 邓伟,刘荣花,熊杰伟,等. 当前国内酸雨研究进展[J]. 气象与环境科学,2009,32(1):82-87
DENG Wei,LIU Ronghua,XIONG Jiewei,et al. Research progress of acid rain in China[J]. Meteorological and Environmental Sciences,2009,32(1):82-87

[2] 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
TANG Xiaoyan,ZHANG Yuanhang,SHAO Min. Atmospheric environmental chemistry[J]. Beijing:Higher Education Press,2006

[3] 王文兴. 中国酸雨成因研究[J]. 中国环境科学,1994,14(5):323-329
WANG Wenxing. Study on the origin of acid rain formation in China[J]. China Environmental Science,1994,14(5):323-329

[4] Tang J,Xu X B,Ba J,et al. Trends of the precipitation acidity over China during 1992—2006[J]. Chinese Science Bulletin,2010,55(17):1800-1807

[5] Hao J M,Duan L,Zhou X L,et al. Application of a LRT model to acid rain control in China[J]. Environmental Science & Technology,2001,35(17):3407-3415

[6] 中国气象局. 酸雨观测业务规范[M]. 北京:气象出版社,2005
China Meteorological Administration. Specifications for monitoring of acid rain[M]. Beijing:China Meteorological Press,2005

[7] 秦瑜,赵春生. 大气化学基础[M]. 北京:气象出版社,2003
QIN Yu,ZHAO Chunsheng. Introduction to atmospheric chemistry[M]. Beijing:China Meteorological Press,2003

[8] 刘炳江,郝吉明,贺克斌,等. 中国酸雨和二氧化硫污染控制区区划及实施政策研究[J]. 中国环境科学,1998,18(1):1-7
LIU Bingjiang,HAO Jiming,HE Kebin,et al. Study on designation of acid rain and SO_2 pollution control areas and policy implementation[J]. China Environmental Science,1998,18(1):1-7

[9] 王文兴,丁国安. 中国降水酸度和离子浓度的时空分布[J]. 环境科学研究,1997,10(2):1-7
WANG Wenxing,DING Guoan. The geographical distribution of ion concentration in precipitation over China[J]. Research of Environmental Sciences,1997,10(2):1-7

[10] Zhao Y X,Hou Q. Characteristics of the acid rain variation in China during 1993—2006 and associated causes[J]. Acta Meteorological Sinica,2010,24(2):239-250

[11] Richter A,Burrows J P,Nüβ H,et al. Increase in tropospheric nitrogen dioxide over China observed from space[J]. Nature,2005,437(7055):129-132

[12] 张赟,李代兴. 我国酸雨污染现状及其防治措施初探[J]. 北方环境,2011,23(8):121-122
ZHANG Yun,LI Daixing. China's acid rain pollution status and control measures[J]. Northern Environment,2011,23(8):121-122

[13] 罗益华,励珍. 宁波市区近十年酸雨污染趋势分析[J]. 环境科学与技术,2011,34 (12H):252-253
LUO Yihua,LI Zhen. Trend analysis of acid rain pollution for ten years in urban of Ningbo[J]. Environmental Science & Technology,2011,34(12H):252-253

[14] 王文兴,许鹏举. 中国大气降水化学研究进展[J]. 化学进展,2009,21(2/3):266-281
WANG Wenxing,XU Pengju. Research progress in precipitation chemistry in China[J]. Progress in Chemistry,2009,21(2/3):266-281

[15] Huang Y L,Wang Y L,Zhang L P. Long-term trend of chemical composition of wet atmospheric precipitation during 1986—2006 at Shenzhen City,China[J]. Atmospheric Environment,2008,42(16):3740-3750

[16] 孙介夫,许梅德. 试论杭州的酸雨及其控制[J]. 污染防治技术,1994,7(3):33-35
SUN Jiefu, XU Meide. The Hangzhou acid rain and its control[J]. Pollution Control Technology, 1994, 7(3): 33-35

[17] 金辉,徐德才,叶俊. 浙江西北山区酸雨成因研究[J]. 重庆环境科学,1998,20(5):26-29
JIN Hui, XU Decai, YE Jun. Study on the origin of acid rain formation in northwest mountain area of Zhejiang [J]. Chongqing Environmental Science, 1998, 20(5): 26-29

[18] 冯砚青. 中国酸雨状况和自然成因综述及防治对策探究[J]. 云南地理环境研究,2004,16(1):25-28
FENG Yanqing. Summary of acid rain's status, causes of natural formation and counter measures research in China [J]. Yunnan Geographic Environment Research, 2004, 16(1): 25-28

[19] 王文兴,张婉华,石泉,等. 影响我国降水酸性因素的研究[J]. 中国环境科学,1993,13(6):401-407
WANG Wenxing, ZHANG Wanhua, SHI Quan, et al. Research on influencing factors of precipitation acidity in China[J]. China Environmental Science, 1993, 13(6): 401-407

[20] 汤洁,程红兵,于晓岚,等. 全国酸雨观测网未知水样考核结果的统计分析[J]. 气象,2007,33(12):75-82
TANG Jie, CHENG Hongbing, YU Xiaolian, et al. Evaluation of results of station inter-comparison with blind samples in acid rain monitoring network in China[J]. Meteorological Monthly, 2007, 33(12): 75-82

[21] 亓靓,宋传真,董君. 青岛市"十五"期间酸雨特征及成因浅析[J]. 环境科学与管理,2007,32(8):44-46
QI Liang, SONG Chuanzhen, DONG Jun. The analysis on the characteristic and causes of acid rain in Qingdao[J]. Environmental Science and Management, 2007, 32(8): 44-46

[22] 唐信英,罗磊,张虹娇. 西南地区酸雨时空分布特征研究[J]. 高原山地气象研究,2009,29(2):33-36
TANG Xinying, LUO Lei, ZHANG Hongjiao. The study on the space-time distribution characteristics of acid rain in southwest[J]. Plateau and Mountain Meteorology Research, 2009, 29(2): 33-36

[23] 李相文. 赤峰市降水电导率变化及其相关因素的探讨[J]. 干旱环境测,1994,8(3):176-179
LI Xiangwen. Precipitation conductivity change and its effecting factor in Chifeng city[J]. Arid Environmental Monitoring, 1994, 8(3): 176-179

Distribution characteristics of acid rain from 1993 to 2004 in East China and its relation with meteorological factors

ZHANG Mingming[1] YANG Jun[1] HUANG Zhiyong[2] XU Jingxin[1]

1 School of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 Institute of Heavy Rain, China Meteorological Administration, Wuhan, Wuhan 430000

Abstract This paper analyzes the data of 15 acid rain monitoring stations in East China from 1993 to 2004, and the results show that the acid rain disasters were serious in East China, especially in Zhejiang and Fujian province which are in south of the Yangtze River. The precipitation acidity in East China from 1993 to 2004 shows a trend of decrease then increase, while the precipitation is the most important factor affecting the conductivity and pH value. The seasonal precipitation pH value is in descending order from summer, autumn, winter, to spring, but the acid rain frequency does not change obviously with season shift. The precipitation conductivity from the 15 stations is analyzed, and the results show that the conductivity remains stable then fluctuates in big range during the 12 years, and there is a significantly positive correlation between precipitation acidity and conductivity. The monitoring and research on the composition of atmosphere and precipitation acidity should be strengthened in future meteorological work.

Key words East China; spatial and temporal distribution; pH value; conductivity; meteorological factor