

福建省酸雨及其 气象条件研究文集

主 编：林长城

副主编：蔡义勇 林祥明



气象出版社

China Meteorological Press

福建省酸雨及其气象条件 研究文集

主 编：林长城

副主编：蔡义勇 林祥明

气象出版社

内容提要

本文集系在完成 2002 年福建省科技厅重大科技计划项目——《福建省酸雨的形成机理及其控制对策研究》的基础上,选取了 29 篇科技论文汇编而成。内容主要涉及福建省酸雨的基本特征、酸雨成因、酸雨污染物来源、分布、输送过程及酸雨的天气背景分析和大气物理过程对酸雨的影响、酸雨污染物的发展趋势与控制对策研究等方面许多有价值、有创新性的科研成果。

图书在版编目(CIP)数据

福建省酸雨及其气象条件研究文集/林长城主编.

—北京:气象出版社,2008.8

ISBN 978-7-5029-4579-4

I. 福… II. 林… III. ①酸雨-研究-福建省-文集
②酸雨-污染防治-福建省-文集 IV. X517-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 132252 号

Fujiansheng Suanyu Jiqi Qixiang Tiaojian Yanjiuwenji

福建省酸雨及其气象条件研究文集

林长城 主编

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:俞卫平 王萃萃 陈彬彬

封面设计:王 伟

责任校对:赵 媛

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

字 数:380 千字

版 次:2008 年 8 月第 1 版

定 价:45.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@263.net

终 审:周诗健

责任技编:吴庭芳

印 张:14

印 数:1—1000

印 次:2008 年 8 月第 1 次印刷

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换。

序一

《福建省酸雨的形成机理及其控制对策研究》是福建省科技厅科技计划项目,由福建省气象、环保部门和中国科学院大气物理研究所合作研究完成。该项目发挥中央和地方科研力量相结合、理论研究和实践部门相结合的优势,充分利用中国科学院大气物理研究所建立和发展的先进的数值模拟研究方法,及福建省环保、气象部门长期规范的监测、观测资料与科学实验手段,对福建省的酸雨环境问题和规律进行系统和深入的研究,在福建省酸雨的基本特征、酸雨成因、酸雨污染物来源、分布、输送过程及酸雨的天气背景分析和大气物理过程对酸雨的影响等方面取得极有意义的科学认识和创新性的科研成果。这些成果为查明福建省酸雨成因、酸雨污染物来源、分布、输送过程提供了极有价值的基础性背景资料,有助于科学评估福建省酸雨的状况和危害程度,为福建省环保部门制定酸雨污染控制对策,控制酸雨污染危害提供了科学依据。现在该项目组将所有研究论文汇编成集,不仅具有一定的科学价值和社会效益,也为福建省今后进一步开展酸雨污染研究和酸雨污染发展趋势与控制对策研究提供了可以借鉴的科学研究手段和方法。

在“十一五”国民经济建设计划期间,福建省担负着重要的“海西建设”和可持续发展任务,福建省环保部门、气象部门及其他科研部门在讨论酸雨污染控制对策、控制酸雨污染危害等方面有着重要责任,让我们携手共同努力作出贡献。

国家气象中心

李泽椿

(中国工程院院士)

2008年6月26日

序二

酸雨问题是个令世人瞩目的重大环境问题。我国在 20 世纪 90 年代出现了一批降水 pH 均值小于 4 的地区,成为全球酸雨污染最严重的地区之一。闽东南沿海为福建省酸雨污染的中心区域,其中福州、厦门、三明、泉州、漳州和龙岩等六城市被列为国家酸雨控制区。

我国历来十分重视对酸雨的科学研究,取得了一系列丰硕成果,基本上掌握了全国及重点酸雨区、酸沉降的形势、趋势。在酸雨来源、形成机制、酸性物质的大气输送方面取得了重要的研究成果。在“八五”期间开展的“沿海经济发展地区酸沉降特征与防治研究”工作,重点对北方青岛地区和南方的闽南厦门地区进行科技攻关,采用大气物理和大气化学相结合的方法,通过现场常规和集中综合观测,进行模拟和预测,对我国东部沿海地区酸雨的成因进行较系统的分析,获得了许多有意义的科学认识。我国的酸沉降研究填补了世界中低纬度广大区域重酸雨污染区(东亚)酸雨研究的空白,达到了世界先进水平。

近十多年来,福建省各城市的降水酸度没有明显减弱的趋势,酸雨出现率亦居高不下,说明酸雨对我省的危害仍没有得到有效遏制。由福建省气象、环保部门和中国科学院大气物理研究所等科技人员所承担的福建省科技厅下达的《福建省酸雨的形成机理及其控制对策研究》课题,在借鉴前期研究的基础上,运用新技术、新方法完成了该科技计划项目。该项目分析研究了福建省酸雨基本特征、形成机制及输送规律以及有关形成酸雨的天气背景与气象条件和酸雨控制对策,取得很多有价值的科研资料和创新性的科研成果,为我省进一步深入开展酸雨研究提供了重要的科学依据。

为了总结研究成果,揭示福建省酸雨的真实面貌,为福建省制定酸沉降控制方案作参考,项目组将本研究报告汇编成书。作为一名始终关注酸雨研究的环境科技工作者,在此表示衷心的感谢。让我们进一步加强协作,扬长避短,切磋共进,在酸雨研究领域取得更大的成就。

福建省环境保护局

边归国

(高级工程师)

2008 年 7 月 1 日

前 言

酸雨已成为引人注目的全球环境问题之一,福建省酸雨污染也普遍存在,福州、厦门、三明、泉州、漳州和龙岩等六市被列为国家酸雨控制区,闽东南沿海为酸雨污染的中心区域。2002年由福建省气象科学研究所为牵头单位,联合福建省环境监测中心站、中国科学院大气物理研究所共同承担了福建省科技厅科技计划项目——《福建省酸雨的形成机理及其控制对策研究》。该项目主要针对福建省酸雨污染状况开展酸雨形成机理及气象条件等方面研究,并在此研究的基础上提出相应的控制福建省酸雨污染的措施和对策。该项目研究内容主要有:

1. 福建省酸雨的基本特征及其影响因素的观测分析研究;
2. 福建省酸雨的天气背景分析及大气物理过程对酸雨的影响研究;
3. 福建省酸雨的形成和清除过程研究;
4. 福建省酸雨污染物的来源及其输送规律研究;
5. 福建省酸雨污染物的发展趋势与控制对策研究。

该项目发挥中央和地方科研力量相结合、理论研究和实践部门相结合的优势,依托和利用福建省气象部门、环保部门所建立的气象监测网、环境监测网,在取得大量气象、酸雨和大气成分的监测、观测资料基础上,运用中国科学院大气物理研究所所建立和发展的先进的数值模拟研究模式和方法,以及天气学、统计学、环境评价学等方面的理论,对福建特殊的酸雨环境问题和规律进行系统和深入的研究,在福建省酸雨的基本特征、酸雨成因、酸雨污染物来源、分布、输送过程及酸雨的天气背景分析和大气物理过程对酸雨的影响、酸雨污染物的发展趋势与控制对策研究等方面获得许多有价值、有创新性的科研成果,基本上完成项目设定的科研内容和任务。在此工作过程中项目组曾在国内外学术刊物和学术会议上发表多篇学术论文,现在将其汇编成此文集,文集中还特意将福建省气象科学研究所其他课题组近期涉及酸雨研究的文章作为附录一并列入,以飨读者。

《福建省酸雨及其气象条件研究文集》是在福建省气象部门、环保部门和中国科学院大气物理研究所有关领导关心、勉励、指导下完成的,同时离不开福建省气象部门、环保部门多个基层观测台站,特别是九仙山气象站科技工作人员的辛苦努力和宝贵的支持,在此一并表示衷心感谢。

《福建省酸雨的形成机理及其控制对策研究》课题组

林长城

2008年7月2日

目 录

前言

序一

序二

福州气象条件与酸雨的关系研究·····	林长城 林祥明 邹燕等(1)
福建省大气致酸污染物变化趋势分析·····	赵卫红 林秋平 林长城等(8)
福建省硫沉降量变化的分析与比较 ·····	屈玉 肖辉 王振会等(13)
福建高山、重点城市春季 TSP 对降水酸度的影响 ·····	林长城 肖辉 赵卫红等(23)
福建省沿海城市城区和郊区酸雨观测的对比分析 ·····	林长城 蔡义勇 赵卫红等(31)
闽南地区酸雨特征与其影响天气系统的统计分析 ·····	刘京雄 林长城 蔡义勇等(40)
福建省九仙山自然保护区云雾水、雨水的酸度分析·····	林长城 赵卫红 蔡义勇等(47)
2006 年“珍珠”台风影响期间福建省降水酸度分布特征分析 ·····	
·····	林长城 魏应植 赵卫红等(54)
Modeling Study of Photochemical Ozone Creation Potential of Non-Methane Hydrocarbon ·····	XIAO Hui ZHU Bin(60)
福建省城市酸性降水特征及变化趋势 ·····	赵卫红 林秋平 林长城(73)
福建省致酸污染物减排效果分析及控制目标 ·····	赵卫红(79)
福建省酸雨变化趋势及成因分析 ·····	赵卫红(84)
福建省城市城区和郊区及高山酸雨观测的对比分析 ·····	林长城 赵卫红 王祖炉等(92)
闽西地区酸雨与地面气象因子的关系研究·····	王新强 林长城 王祖炉(103)
福建省南部地区酸雨与地面气象条件的关系分析·····	马治国 林长城 王新强等(109)
福建中东部地区酸雨与天气系统的关系研究·····	林长城 刘京雄 蔡义勇等(114)
福建省酸雨气象潜势预报模型探讨·····	蔡义勇 林长城 刘京雄等(123)
闽西地区酸雨及其影响天气系统的统计分析·····	刘京雄 林长城 陈治杰等(134)
福建省东部地区酸雨与地面气象条件的关系分析·····	马治国 林长城 王新强等(141)
闽西北邵武市酸雨与气象条件的关系研究·····	吴德辉 李白良 林长城等(148)
福建省北部地区酸雨与地面气象条件的关系分析·····	马治国 林长城 王新强等(155)
厦门市酸雨分布特征与气象条件的关系分析·····	连东英 李白良 林长城等(161)
福建省 9 个城市硫沉降量浅析·····	肖辉 屈玉 刘新罡等(168)
福建省主要城市降水离子特征及沉降量现状分析·····	赵卫红(177)
闽北地区酸雨特征与其影响天气系统的统计分析·····	刘京雄(184)
福建省云下雨水酸化过程的数值模拟研究·····	肖辉 屈玉 林长城等(191)
福州市酸雨时空分布特征及变化趋势·····	林长城 林祥明 陈敬平等(199)
国内酸雨研究综述 ·····	林祥明 岳辉英(205)
福州地区强酸性和碱性降水的天气特征·····	林祥明 林长城 叶光营等(210)

福州气象条件与酸雨的关系研究^{*}

林长城¹ 林祥明¹ 邹燕² 张玲³

(1. 福建省气象科学研究所; 2. 福建省气象影视中心; 3. 福建省气象台)

摘 要 本文利用 1991—2000 年福州市的探空、雨量和酸雨资料探讨了不同气象条件对降水酸度、酸雨出现率的影响,结果表明:雨量对降水酸度、酸雨出现率有着明显影响;逆温特征越明显,降水酸度越酸,酸雨出现率越大;1 500 m 上空风对福州酸雨有着明显的影响;在暖平流控制下降水酸度不仅酸性强且酸雨出现率大;随着 K 指数增大,酸雨出现率逐渐减小。

关键词 气象条件 降水酸度 酸雨 酸雨出现率

1 引言

酸雨($\text{pH} < 5.60$)对生态的危害日趋严重,已成为全球倍受关注的环境污染问题之一。福州市属于国家酸雨控制重点城市,近 10 多年福州市酸雨虽然 pH 值的年均值有显著上升的趋势,但酸雨出现率却无明显减少,说明酸雨对福州市的危害并没有得到改善^[1]。降水酸度的变化除了受当地大气污染物化学性质和源场变化的影响外,气象条件的变化对降水酸度影响也是相当明显的^[2~4]。因为不同气象条件下对当地大气污染物的水平和垂直扩散的抑制作用不尽相同,当大气污染物的化学性质和源场保持相对恒定的情况下,气象条件的变化完全会影响和改变降水酸度的性质。为此酸雨研究从原来重点对致酸污染物排放和输运的研究,逐步开始重视开展气象条件与酸雨关系的研究。本文利用 1991—2000 年福州市环保部门设置的 3 个酸雨监测点观测的 pH 值资料,结合气象部门对应观测的雨量、探空资料,来探讨不同气象条件对福州降水酸度、酸雨出现率的影响,旨在为今后开展福州市酸雨气象潜势预报提供客观依据。

2 资料来源与处理

本文选取福州市区内的 3 个监测点:监测站、仓前站、和洋下站 1991—2000 年监测的酸雨资料,对于代表福州市每个观测日的 pH 值是通过三个监测点的 pH 值进行雨量加权平均而求得。10 年共取得降水酸度资料 693 个样本。

为了客观反映不同气象条件的变化情况,选择以下 6 个气象因子直接表征:①雨量:通常

^{*} 基金项目:福建省科技厅重大科技计划项目(2002F004)和福建省气象局 2000 年科研项目共同资助。

本文发表于《热带气象学报》,2005,21(3)

以酸雨观测日的日雨量为准,②逆温层,③K指数,④冷暖温度平流,⑤1 500 m 高度的风向,⑥1 500m 高度的风速。②—⑥的数据是利用福建省气象台探空站逐日观测的 08 时和 20 时探空资料经处理而获得的。对于 06 时起至 18 时前开始观测的酸雨资料,用 08 时观测的探空资料来分析;对于 18 时起至次日 06 时前的酸雨资料,用 20 时的探空资料。

3 结果与分析

3.1 雨量与酸雨的关系

福州市四季降水表现不尽相同,春季绵绵细雨,特点为强度均匀且时间长;夏季降水多数是在局地不稳定的天气条件下出现,强度大且时间短;而秋季和冬季的降水特点则是强度小且时间短。在酸雨观测中发现:不同雨量下的降水酸度相差各异。这里以每次酸雨观测所取得的雨量按五个等级(毛毛雨: $0.1 \leq R < 2$,小雨: $2 \leq R < 10$,中雨: $10 \leq R < 25$,大雨 $25 \leq R < 50$,暴雨: $R \geq 50$,R 的单位为 mm)进行划分,并对不同雨量等级下降水的 pH 平均值(以下均以 pH 值表示)、酸雨出现率的变化情况进行分析,结果见表 1。

由表 1 可见:五个雨量等级的降水酸度、酸雨出现率相差明显,每个雨量等级里的 pH 值均低于 5.60 为酸雨,随着雨量的增大,pH 值呈“U”型变化,其中中雨的降水酸度最高为 4.77;酸雨出现率也随雨量增大逐渐增多,雨量达到中雨以上时酸雨出现率基本维持在 50% 以上变化,说明雨量大酸雨出现的机会多。

表 1 为五个雨量等级下降水酸度、酸雨出现率的统计结果

项目	毛毛雨	小雨	中雨	大雨	暴雨
pH 值	5.15	4.91	4.77	4.86	5.01
酸雨出现率(%)	20	45.96	53.92	51.82	53.57

根据文献[5]对降水酸碱性的划分标准,不同雨量等级下各种酸性降水的统计结果见表 2。由表 2 可见:中雨时出现强酸性降水的机会最多为 43.62%,其次为小雨,毛毛雨出现强酸性降水的机会最小;酸性降水主要出现在小雨里为 43.33%,其次分别在大雨和中雨里;轻度酸性降水多数出现在小雨和中雨里;毛毛雨出现酸雨的机会最小,中雨和小雨最易出现不同酸度的酸雨。分析结果与沈志来等^[6]在上海地区观测的结果有相似之处,但与黄美元等^[7]在重庆地区观测的结果则相反,可见降水酸度除了与雨量大小有关外,很大程度还取决于局地污染物的性质和气象条件的变化。

表 2 为不同雨量等级下三种酸度降水出现率的统计结果

项目	样本数	毛毛雨	小雨	中雨	大雨	暴雨
强酸性出现率(%)	94	1.06	32.98	43.62	18.09	4.26
酸性出现率(%)	90	2.33	43.33	22.22	23.33	8.89
轻度酸性出现率(%)	156	1.28	39.10	35.90	12.18	11.54

福州市四季的划分为:春季为 3—6 月、夏季为 7—9 月、秋季为 10—11 月和冬季为 12—2 月。不同季节下降水酸度、酸雨出现率随雨量变化的结果见图 1 和图 2。

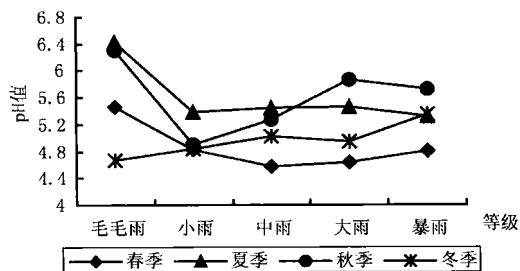


图1 福州四季 pH 值随雨量的变化

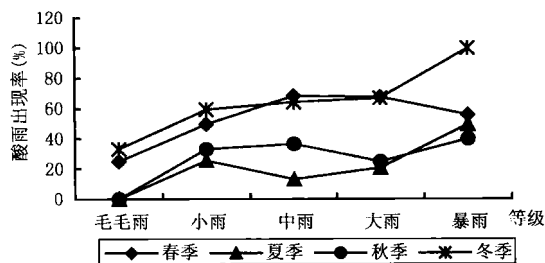


图2 福州四季酸雨量变化的分布情况

由图1和图2可见,四季里同一雨量等级的降水酸度相差较大。夏季、秋季毛毛雨的 pH 值均高于 5.60,几乎没有酸雨出现;冬季、春季毛毛雨的 pH 值均低于 5.60,酸雨出现率仅在 30%左右变化。小雨除了冬季的 pH 值略有升高外,其余三个季节的 pH 值都降低,夏、秋两季 pH 值从原来大于 6.0 下降到 5.6 以下;冬、春两季的酸雨出现率从毛毛雨的 30%增大到 50%左右,夏、秋两季酸雨出现率也增大到 30%左右。在中雨以上的降水里春季、夏季的 pH 值分别维持在 4.4~4.8 和 5.2~5.6 范围内变化,春季酸雨出现率随雨量变化维持在 55%以上,而夏季酸雨出现率随着雨量增大而增多;秋季的 pH 值随着雨量增大而升高,特别是在雨量达到大雨以上时,降水的 pH 值超过 5.6,酸雨出现率从中雨起变化不明显,基本维持在 30%左右;冬季的 pH 值在雨量达到中雨时略有回升,但酸雨出现率则随雨量增大明显提高,如雨量达到暴雨以上时酸雨出现率为 100%。可见四季不同雨量的降水对其 pH 值的大小和酸雨出现率的变化有着相当大的影响。另外,从图1和图2还可以看出春、冬二季酸雨最为严重,不同雨量等级下其降水酸度、酸雨出现率均甚于夏、秋二季。

3.2 逆温层对酸雨的影响

福州出现降水前大气层结如果比较稳定,时常伴有逆温出现,就使得低层大气污染物难以向上扩散,在局部形成污染物堆积。一旦降水出现,在云下“冲刷”作用下降水酸度将发生明显变化。图3为1991—2000年福州探空站08时和20时观测资料给出的福州市逆温逐月出现率的统计结果(图中细实线)。

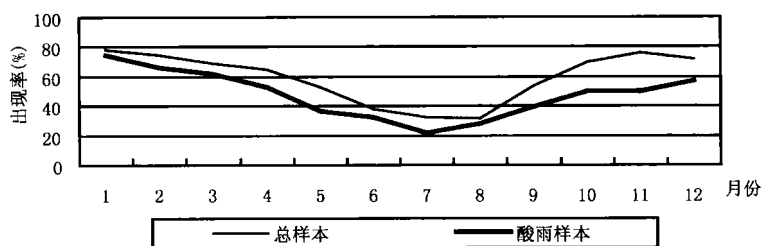


图3 福州市逆温逐月出现率的分布结果

由图3可见,10年当中逆温出现率的逐月平均变化基本呈单峰型变化,10月至4月之间最易出现逆温,出现率高达60%左右;而7—8月份出现逆温的机率最低,仅为30%左右;两者相差近一倍。本文693个样本中出现逆温的情况如图3中的粗实线,由图3看出:693个样本中逆温出现率的逐月平均变化趋势与10年逐月观测的统计结果基本相同,说明本文酸雨样本

所对应的逆温资料具有一定的代表性。冬季和春季出现逆温的机会远比夏季来得多的事实进一步说明这两个季节里大气低层垂直对流活动相对比较弱,有利于逆温形成,抑制大气低层的污染物的水平和垂直方向的扩散,由于福州的低层大气污染物的化学性质(如 TSP 气溶胶,另文分析)表现为酸性,对降水酸度的缓冲能力弱,加上福州市空气污染物冬半年明显大于夏半年^[8],这可能就是春、冬两季的酸雨较夏季和秋季严重的原因之一^[1]。

以下用三个表征逆温性质的特征量来反映逆温与酸雨之间的关系。这三个特征量分别为:逆温层底高、逆温层强度和逆温层厚度。

3.2.1 逆温层底高对酸雨的影响

福州地形为盆地,四周环山,除东面有 800 m 左右的高山外,其余均低于 600 m,考虑到逆温层底高超过 1 600 m 以上对当地大气污染物扩散影响较小,所以把逆温层底高超过 1 600 m 的情况归为一档。为此,我们把逆温层底高(以海拔高度为准)分为以下六个等级: $H < 100$ m, $100 \sim 399$ m, $400 \sim 699$ m, $700 \sim 999$ m, $1000 \sim 1599$ m, $H \geq 1600$ m。结果见图 4 和图 5。

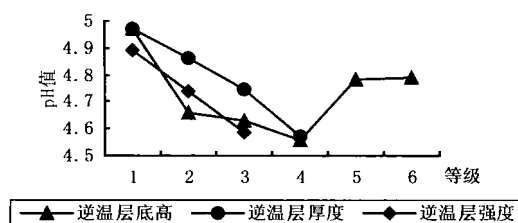


图 4 不同逆温层条件下 pH 值的变化结果

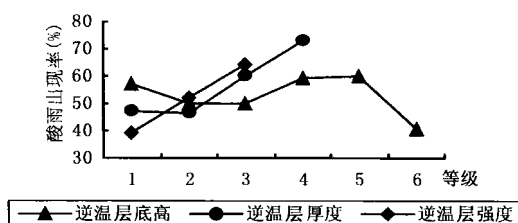


图 5 不同逆温层条件下酸雨出现率的变化结果

由图 4 和图 5 可见,当逆温层底高低于 100 m 时,pH 值为 4.97;在逆温层底高介于 100~1 000 m 范围内随着逆温层底高的抬升,pH 值逐渐降低,达到 1 000 m 时 pH 值降至最低为 4.56;当逆温层底高超过 1 000 m 之后,pH 值又逐渐升高并趋于平缓,并在 4.8 附近变化;逆温层底高对酸雨出现率的影响则表现在当逆温层底高低于 1 600 m 时,酸雨出现率在 55% 附近波动,一旦其底高超过 1 600 m,酸雨出现率则下降到 40% 附近,说明逆温层底高的抬升,有利于大气低层污染物的水平和垂直扩散,使酸雨出现的机会减少。

3.2.2 逆温层厚度对酸雨的影响

逆温层厚度的定义是取自第一层逆温底高与第一层逆温顶高的差值,由于逆温层厚度越厚,逆温层下部的大气污染物就越难向上扩散,局地的大气污染物越易堆集,降水时云下雨滴冲刷致酸作用就越明显。考虑到不同逆温层厚度对降水酸度、酸雨出现率的影响有所不同,把逆温层厚度分为四个等级: $0 < HD < 100$ m, $100 \sim 299$ m, $300 \sim 500$ m, $HD \geq 500$ m。结果见图 4 和图 5。

由图 4 和图 5 可见,逆温层厚度的变化对降水酸度和酸雨出现率的影响是非常明显的。随着逆温层厚度的逐渐增大,pH 值逐渐变小,如 pH 值由初始 5.0 变酸至 4.6 以下;而酸雨出现率则由低于 50% 逐渐上升,并超过 70%。

3.2.3 逆温层强度对酸雨的影响

逆温层强度是以第一层逆温顶高与第一层逆温底高之间的温差除以其逆温层厚度而获得的。逆温层强度越大,即使逆温层厚度较薄,同样可以阻止其底部的大气污染物向上扩散,有利于局地大气污染物堆积。这里把逆温层强度(取逆温层强度 $> 0.01^{\circ}\text{C}/100$ m 的情况)按大气干、湿绝热直减率的标准划分为三个等级: $0.01 \leq \gamma < 0.4$, $0.4 \leq \gamma < 0.98$, $\gamma \geq 0.98$ 。分析的

结果见图 4 和图 5。

由图 4 和图 5 可见,逆温层强度的变化与降水中降水酸度大小、酸雨出现率的变化关系密切。逆温层强度增强时,pH 值就变得越来越低,酸雨出现的机会就越来越大,说明强逆温层出现时,局地的大气污染物确实难以通过水平和垂直方向进行扩散,加上福州市大气污染物表现为酸性特征,降水冲刷的作用使得 pH 值变得越小,酸雨出现率则越大。

从以上逆温层的底高、厚度和强度对酸雨影响的分析结果来看,当降水前逆温层底部维持福州四周高山平均海拔高度附近、逆温层厚度越厚和逆温层强度越强时,对降水酸度贡献就越明显,使得降水酸度变得越酸、酸雨出现机会越多。

3.3 1 500 m 上空风向、风速对酸雨的影响

当大气污染源保持相对恒定的情况下,风对局部大气污染源的扩散有着明显的影响,福州地形为盆地,四周群山环抱,地面风向四季多变。为了探讨不同风向对酸雨的影响,同时考虑到“大气中 SO_2 及其衍生物平流的平均高度为 $1\,200\sim1\,500\text{ m}^{[9]}$ ”,这里选择福州市上空 $1\,500\text{ m}$ 高度的风向和风速进行分析。

3.3.1 风向对酸雨的影响

图 6 和图 7 为福州市 $1\,500\text{ m}$ 上空不同风向下 pH 值的变化结果。当福州市的 $1\,500\text{ m}$ 上空出现东南风时,pH 值最低为 4.76,这可能与位于福州市东南方 20 km 处的华能发电厂所排发的 SO_2 有关;当 $1\,500\text{ m}$ 上空吹偏南风时,pH 值均较其他风向来得低;而出现偏北风或东风时,pH 值则比较高,特别是吹东北风时其 pH 值最高为 5.44。 $1\,500\text{ m}$ 上空的 不同风向对酸雨出现率影响也很大,其中吹东南风时酸雨出现率接近 70%,可见在此风向下发电厂所排放的 SO_2 对福州降水酸度确实有明显的影 响;其次是偏西南风下酸雨出现率均超过 40%,而北风或东北风下酸雨出现率仅只有 30%左右,与东南风相比两者相差一倍多。

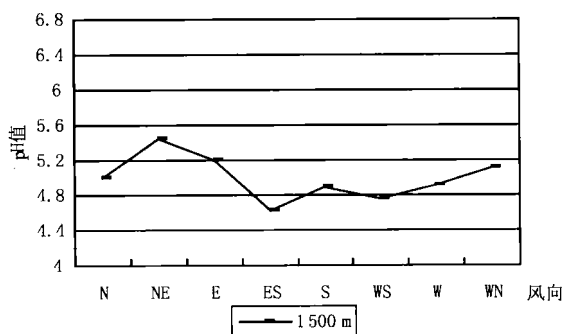


图 6 不同风向下 pH 值的变化结果

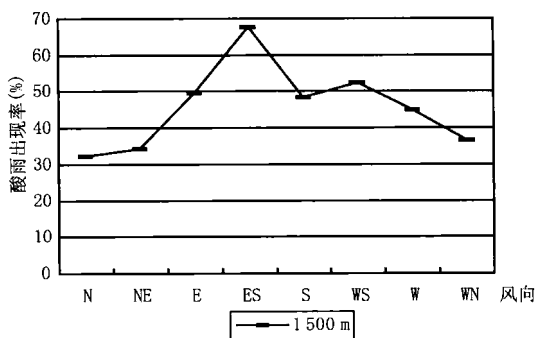


图 7 不同风向下酸雨出现率的分布结果

3.3.2 风速对酸雨的影响

风速大小虽然决定着当地大气污染物对外扩散速度,同时也预示着当地受上游污染源污染影响的程度;只有当致酸污染物的输入量小于输出量时,风速对当地的降水酸度降低才起缓冲作用。反之,当地的降水酸度将升高。这里对风等级的划分是根据福州市地面历年各个风速等级出现频率情况进行的,为此把 $1\,500\text{ m}$ 上空的风速分为三个等级,其中: $0\sim2$ 级风为一级 ($<3.4\text{ m/s}$), $3\sim5$ 级风为二级,大于 5 级以上的风为三级 ($>10.8\text{ m/s}$), $1\,500\text{ m}$ 上空的风速对降水酸度、酸雨出现率的影响结果见图 8 和图 9。

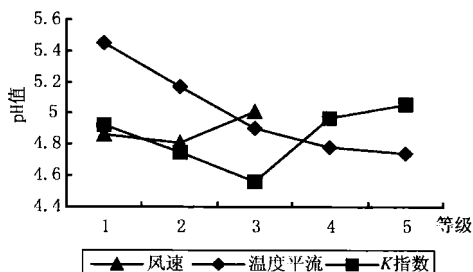


图8 不同气象条件下 pH 值的变化结果

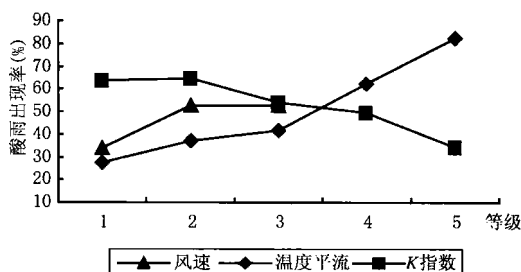


图9 不同气象条件下酸雨出现率的变化结果

由图8和图9可见,当1500 m上空的风速低于2级风时,pH值为4.86,酸雨出现率低于35%;而风速处于3~5级风之间时,pH值有所降低,降水出现酸雨的机会明显增加,达到53%左右;风速一旦超过5级时,虽然酸雨出现率没有明显变化,但pH值反而回升,达到5.0的水平。说明1500 m上空风速的变化对福州降水酸度、酸雨出现率有一定的影响,这种影响应当是局地污染源和外来污染源共同作用的结果。

3.4 温度平流对酸雨的影响

温度平流是描述温度水平输送强度的物理量,用于判别冷、暖平流对大气层结稳定度的影响。考虑到大气中致酸污染物的输送带通常位于850 hPa高度附近,所以这里利用850—700 hPa之间的温度平流变化情况来探讨不同温度平流情况下对降水酸度、酸雨出现率的影响。根据冷、暖温度平流的强度(T_w)分为以下五个等级: $-100 < T_w < -18$ °C/d, $-18 \leq T_w < -3$ °C/d, $-3 \leq T_w < 3$ °C/d, $3 \leq T_w < 18$ °C/d, $18 \leq T_w < 100$ °C/d,结果见图8和图9。

由图8和图9可见,在850—700 hPa之间不同强度的冷、暖温度平流对降水酸度的影响是十分明显的,当冷平流的强度小于 -18 °C/d时,不但pH值比较高为5.45,同时酸雨出现率也较小,仅为27%左右;随着冷平流向暖平流转换,pH值不断降低,酸雨出现率也逐渐增大。如当暖平流的强度大于 18 °C/d时,降水中的pH值为4.74,其酸雨出现率超过80%,可见同样等级的不同冷、暖平流,其酸雨出现率相差有3倍之多,应当说福州市上空在暖平流控制下的降水酸度不仅酸且出现酸雨的机会大。

3.5 K指数对酸雨的影响

K指数(气团指数)通常用来判别局地大气垂直稳定度的变化,K值愈大表示大气层结愈不稳定,出现雷雨天气的机率就越大。那么在这种气象条件下对降水酸度、酸雨出现率有何影响?对于K指数大小的分级依照北美地区在研究K值与雷雨天气之间关系的统计结果进行划分为5级: $K < 20$, $20 \leq K < 25$, $25 \leq K < 30$, $30 \leq K < 35$, $K \geq 35$,统计的分析结果见图8和图9。

由图8和图9可见,随着K指数的增大,pH值逐渐降低,当K指数超过30之后又逐渐升高;而酸雨出现率则是随K指数的增大从64%一路减小到34%左右,说明当有雷雨天气出现且范围较大时酸雨出现的机会相对比较为稳定天气下的降水小,印证了不稳定气象条件有利于大气低层污染的垂直和水平方向的扩散,局地污染源对降水酸度的贡献变小的事实。

4 结论

(1)福州市雨量的大小对降水酸度有着明显的影响,雨量达到中雨等级时降水酸度最高,酸雨出现率随雨量增大而增多。强酸性降水多数出现在中雨和小雨当中,毛毛雨出现酸雨的机会较少。四季中不同雨量等级降水对其降水酸度的大小和酸雨出现率的变化有着相当大的影响,总体上看春、冬二季降水酸度、酸雨出现率甚于夏、秋二季。

(2)福州市逆温出现率的逐月变化呈单峰型,10月至4月之间最易出现逆温,7—8月份出现逆温的机会最小。逆温对福州市的降水酸度有着的明显影响,当逆温层底高越靠近周边高山平均海拔高度、逆温层厚度越厚和逆温层强度越强,对降水酸度贡献就越明显,酸雨出现的机会越多。

(3)1 500 m上空的风向对福州市降水酸度有着明显的影响,当1 500 m上空出现东南风时,pH值最低,酸雨出现率最大;当出现偏北风或东风时,pH值最高,酸雨出现率较低。当1 500 m上空的风速处于3~5级风时,pH值最低,出现酸雨的机会也最多。风速的变化带来降水酸度和酸雨出现率的变化,说明福州酸雨是由局地污染源和外来污染源共同作用造成的。

(4)在850~700 hPa之间不同强度的冷、暖温度平流对降水酸度的影响十分明显,福州市上空在冷平流控制下pH值不但高且酸雨出现率也低,在暖平流控制下pH值低且酸雨出现机会也大。

(5) K 指数变化直接反映降水酸度的变化,随着 K 指数的增大,酸雨出现率逐渐减小。

参考文献

- [1] 林长城,林祥明等.福州市酸雨时空分布特征及变化趋势.气象,2001,增刊,16-20.
- [2] 杨东贞.酸雨与气象条件的关系.酸雨文集,中国环境科学出版社,1989,487-494.
- [3] 高学杰,林一骅,赵宗慈.用区域气候模式模拟人为硫酸盐气溶胶在气候变化中的应用.热带气象学报,2003,19(2):169-176.
- [4] 黄健,李福娇,江奕光等.广州白云山风景区酸雨布.热带气象学报,2003,增刊,126-135.
- [5] 程新金,黄美元.降水化学特性的一种分类分析方法.气候与环境研究,1998,3(1):82-88.
- [6] 沈志来,黄美元等.上海地区云水和雨水酸度及其化学组分分析.大气科学,1989,13(4):460-466.
- [7] 黄美元,沈志来等.重庆地区云水和雨水酸度及其化学组分的观测分析.大气科学,1988,12(4):389-395.
- [8] 林祥明,林永登,冯宏芳等.利用地面气象资料进行福州市空气质量日预报.热带气象学报,2001,17(3):320-326.
- [9] 胡倬.酸雨的气象解释及可能性探讨.环境科学,1984,5(1):73-76.

福建省大气致酸污染物变化趋势分析^{*}

赵卫红¹ 林秋平¹ 林长城² 肖辉³ 饶世琦¹

(1. 福建省环境监测中心站,福州 350003; 2. 福建省气象科学研究所,福州 350001;

3. 中国科学院大气物理研究所,北京 100029)

摘 要 以 1991—2002 年环境监测数据为基础,采用秩相关系数检验方法,对福建省大气中致酸污染物的时间和空间变化趋势进行了综合分析,结果表明 SO_2 和总悬浮颗粒物的浓度呈显著下降趋势, NO_x 浓度总体呈上升趋势;城市规模与空气污染特征相关,城市所处的区位不同,空气污染程度仍有较大差别;空气污染程度与酸雨污染并不成正比。

关键词 致酸污染物 变化趋势 综合分析

1 引言

随着经济的快速发展,福建省城市化水平不断提高,城市大规模的建设和对资源、能源需求的增长,使得工业和城市生活废气不断增加,不可避免地对城市环境空气质量带来影响。酸雨是大气污染的一种表现形式,它形成的先决条件是必须有致酸前体物的来源,大气中 SO_2 , NO_x 等致酸前体物是酸性降水产生的主要影响因子。从“九五”以来全省酸雨分析的结果上看^[1],福建省煤炭等燃料消耗量在全国属低水平,大气中主要污染物 SO_2 , NO_x 和烟尘排放量属于低排放区,大气环境质量较好, SO_2 , NO_x 和总悬浮颗粒物年均值均达到国家环境空气质量二级标准,但酸性降水却比较严重。俞绍才等^[2]研究了厦门酸雨的季节分布特点后认为该地区的酸雨可能以外来源为主。本文根据福建省的具体特点并结合一些城市的大气污染和自然条件,采用 Spearman 秩相关系数法^[3],对福建省 1991—2002 年 12 年间,大气中致酸污染物的变化趋势、空间分布进行了定量分析和探讨。

2 大气污染物总量控制

2.1 福建省大气污染物总量控制

近年来,福建省国民经济、城市建设和社会进步保持较快的发展速度,能源生产和消费规模不断扩大,工业废气排放总量有所增加,“九五”与“八五”期间相比,增长幅度为 28.1%。为

^{*} 基金项目:福建省科技厅重大科技计划项目(2002F004)。

本文发表于《环境科学动态》,2005,10(2)

了控制城市空气污染,福建省制定了一系列政策、法规、制度和措施,空气污染防治取得了显著成效。“九五”以来,全省大气中主要污染物的排放量均控制在总量指标内。2002年,福建省废气中 SO_2 排放量为 19.31 万 t,烟尘排放量为 8.36 万 t,工业粉尘排放量为 14.76 万 t,分别较“九五”末的 2000 年削减了 14.18%,27.30%和 52.9%。

2.2 与周边省份大气污染物排放比较

酸雨的形成与大气输送密切相关,有害气体经源排放进入大气中,受到大气环流影响会向较远距离输送。一个地区的酸雨污染可能来自几百千米以外的污染源,酸性污染物及其变化产物长距离传输是导致区域性酸性降水的主要原因^[4]。要弄清福建省酸雨的来源及成因仅有本地区的污染数据是不够的,为此,收集了江苏、广东、安徽、浙江、江西等周边省份 1995 年、2002 年污染物排放量的数据(见表 1)。这些省份位于我国东南部经济发展较快的地区,也是 SO_2 排放相对集中的区域,福建省的排放源与这些周边省份相比是很低的,仅江苏一个省的 SO_2 排放量就是福建省的 4.5 倍,广东省和浙江省的 SO_2 排放量分别是福建省的 4.0 倍和 2.2 倍;福建省烟尘和工业粉尘的排放量均低于周边省份。

表 1 福建省与周边省份大气污染物排放量比较

省份	二氧化硫(万 t)		烟尘(万 t)		工业粉尘(万 t)	
	1995 年	2002 年	1995 年	2002 年	1995 年	2002 年
福建	16.66	19.31	12.28	8.36	21.71	14.76
江西	36.2	29.29	38.3	15.84	22.9	23.89
安徽	49.2	39.66	63.2	24.31	22.0	24.09
广东	56	97.55	23.0	19.25	64.17	33.56
浙江	54.1	62.4	26.23	19.7	18.71	32.6
江苏	92.4	105.52	41.09	36.99	26.95	22.57

3 大气致酸污染物变化趋势分析

3.1 大气致酸污染物年际变化

3.1.1 SO_2

研究表明,燃煤排放的大量 SO_2 等大气污染物是酸性降水的主要致酸物质^[5]。根据监测,1991—2002 年,福建省城市 SO_2 年均值范围在 0.014~0.031 mg/m^3 ,均达到国家空气质量二级标准。采用 Spearman 秩相关系数检验法对 12 年间全省城市空气中 SO_2 年均值进行定量分析,经检验, SO_2 年均值与时间的秩相关系数为 -0.878,下降趋势明显,表明污染减轻。

各城市中,福州市 1991—1993 年 SO_2 年均值出现超标。近年来,福建省努力调整能源结构,使煤炭在能源结构中的比重有所下降,同时推广使用优质低硫煤,加强节能和技术改造,提高能效,使燃煤排放的污染物大大减少,对于控制污染物排放,改善城市空气质量起到重要作用。经过治理整顿,各城市 SO_2 年均值均未出现超标,多数城市年均值有不同程度下降,福州、宁德、漳州和南平下降趋势显著。

3.1.2 NO_x

NO_x 是降水酸化的另一原因,主要来源于石化燃料的高温燃烧。有资料表明,在流动与固定源排污负荷分担比中,机动车占 70% 以上。全省 NO_x 污染水平较低,12 年来,各城市年均值都在国家二级标准以下波动,但全省 NO_x 平均值与时间的秩相关系数为 +0.834,大于秩相关系数临界值,表明随时间变化上升趋势明显。福建省规模大、人口集中、机动车较多的城市,如福州、厦门等, NO_x 浓度均呈上升趋势,主要原因与机动车排气污染有关,近年来,全省机动车数量激增,2002 年百人机动车拥有率为 8.0%,较 1991 年上升了 6.1 个百分点。机动车数量的增加,导致机动车尾气排放量的加大,造成大气中 NO_x 浓度上升。

随着经济的快速发展,人民生活水平的提高,城市机动车保有量的增加势在必然, NO_x 浓度客观上潜在着继续升高的可能,福建省部分大中城市空气环境面临煤烟型污染和机动车排气污染的双重压力。

3.1.3 总悬浮颗粒物

除形成酸性沉降的 SO_2 和 NO_x 外,对降水酸度有影响的就是大气中颗粒物,颗粒物对降水的化学性质具有十分重要的决定作用^[6]。一些地区颗粒物对酸化有缓冲能力,可在不同程度上缓冲降水中的酸性物质,但有些地区颗粒物对酸化的缓冲能力很低。据监测,“八五”期间,福建省城市总悬浮颗粒物平均值超过国家空气质量二级标准,“九五”以来,通过综合治理,总悬浮颗粒物污染逐年减轻,达到国家环境空气质量二级标准。福建省总悬浮颗粒物平均值与时间的秩相关系数为 -0.904,表明随时间变化下降趋势明显,污染有所减轻。

各城市中,三明和龙岩为福建省尘类污染最重的城市,历年来,总悬浮颗粒物年均值和日均值都超过国家环境空气质量二级标准,多数年份日均值超标率大于 20%;全省日均值最大超标率 69.5% 出现在三明市(1992 年)。12 年来,除厦门、泉州和龙岩总悬浮颗粒物浓度变化不显著外,其余城市均呈显著下降趋势。

3.2 大气致酸污染物季度变化

福建省城市空气质量季节变化显著,第一季度污染略重,各项污染物的季平均值高于其他三个季度,第三季度空气质量最好。空气质量季节变化与福建省酸雨污染有的季节性变化基本一致,多数城市第一、二季度酸雨频率最高,降水 pH 值最低,为污染最重的季节。第一季度主导风向为北风,此时恰逢北方各省采暖季节,燃煤消耗量大,污染物排放集中、排放量大,随着冷空气的南下,大量污染物入侵福建省;酸雨的季节性变化与各季度的污染条件和气象条件密切相关,每年 2—5 月,福建省往往出现连阴雨天气,主要是这时冬季风开始衰退,夏季风逐渐强盛,大陆冷气团与海洋暖气团在南方交汇相持形成准静止锋天气的结果。这种天气湿度大,潮湿的水汽与烟尘微粒形成凝结核构成雾状,使污染物粒子下沉积聚在低层大气中,形成大面积的酸性降雨。

3.3 大气致酸污染物空间变化

3.3.1 按城市规模分类比较

根据国家规定的城市规模分级标准,城市人口大于 100 万人的为特大城市,50~100 万人为大城市,20~50 万人为中等城市,小于 20 万人为小城市。福建省 23 个城市中属于特大城市和大城市的分别有省会城市福州和国际性港口风景城市厦门,其余均为中小城市。按人口划分,各类城市大气中主要污染物浓度见表 2。