

千岛湖区域酸雨污染成因分析

文 军¹, 罗献宝¹, 骆东奇¹, 方志发²

(1. 广西大学, 南宁 530005; 2. 淳安县环境保护监测站, 浙江 淳安 311700)

摘要: 从1996年以来, 千岛湖的酸雨呈现为酸雨频率逐年上升的趋势, 各年度酸雨率均超过80%, 酸雨平均pH值降低至接近4.0。大气监测资料表明, 千岛湖流域内大气中SO₂和NO_x的含量多年来一直保持在国家一级标准以内; 其指标表现出下降的趋势, 与流域内酸雨问题日渐加重的趋势相反; 而TSP和降尘在近年中的变化趋势不明显, 两项目指标均呈现出较小的波动变化的特征。由于相关分析和关联分析结果显示, 千岛湖流域酸雨的变化与流域内近地大气中污染物的含量变化无关, 说明酸雨的来源很可能来自于区域以外其它地区的输入。综合千岛湖流域的地形、风向等因素分析, 酸雨污染物可能是来自于浙江省东部的经济发达地区。而对1996年千岛湖无酸雨的异常现象的分析结果则表明, 安徽省境内地区也可能是酸雨污染物输入的另一来源。

关键词: 千岛湖; 酸雨; 污染成因; 分析

中图分类号: X517 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005)02-0042-04

Analysis of Cause of Formation Acid Rain Pollution in Qiandao Lake Area

WEN Jun¹, LUO Xian-bao¹, LU O Dong-qi¹, FANG Zhi-fa²

(1. Guangxi University, Nanning 530005, China;
2. Environmental Protection Department of Chunan County, Chunan, Zhejiang 311700, China)

Abstract: The occurrence frequency of acid rain in the Qiandao Lake region has been increasing gradually since 1996. The yearly occurrence rate of acid rain is over 80%. The average pH value of acid rain is approaching 4.0. The atmosphere data indicates a decline trend of SO₂ and NO_x whose proportions have been maintained below the national first-class standard, which is in striking contrast to the increasingly severe situation of acid rain. Significant change trends are not discovered on TSP and falling dust. Both fluctuate in a narrow range in recent years. The results of correlation analysis and association analysis demonstrate that the change of acid rain in the Qiandao Lake region is independent of the atmosphere contamination change in low altitude, which indicates that the sources of acid rain may come from other regions. According to the analysis of comprehensive factors such as topography and wind direction in the Qiandao Lake region, the sources of acid rain may come from the eastern developed areas in Zhejiang Province. It is strange that in the Qiandao Lake region there was no acid rain in 1996. An analysis of this abnormal phenomenon indicates that some areas in Anhui Province are probably another source of acid rain.

Key words: the Qiandao Lake; acid rain; pollution cause of formation; analysis

杭州市位于我国酸雨危害严重的地区, 全市均属于国家酸雨控制区, 其酸沉降问题十分严重。据统计, 杭州市酸雨造成的经济损失每年达13.9亿元。1998年杭州全市酸雨率平均达57.6%, 其中临安达94.4%, 全市降水pH范围为3.54~7.58。临安市是全市酸雨最严重的地区, 而酸雨较严重的还有杭州市区、桐庐和建德。工业较发达的萧山、富阳和余杭反而相对较轻, 这与污染源的分布并不完全吻合, 这反映了酸雨形成机制的复杂性。从1998年数据看, 杭州市的酸雨分布有西移的趋向, 各县市的酸雨率逐步趋向接近“十五”规划。因此, 位于杭州市西部淳安县的千岛湖流域正面临着日益严

重的酸雨的威胁。由于酸雨对于整个生态和社会系统的危害很大, 必须全面而正确地分析千岛湖区域酸雨成因, 为千岛湖区域酸雨防治的宏观调控提供理论依据。

1 研究区域及环境概况

1.1 研究区概况

千岛湖所在的淳安县位于浙江省西部, 地处钱塘江上游, 介于东经118°21′~119°20′之间, 北纬29°11′~30°02′之间, 1959年新安江水电站建成后, 形成了汇水面积达10442 km², 水域面积573 km², 平均水深34 m, 库容量178.4亿 m³

¹ 收稿日期: 2004-08-07
基金项目: 杭州市旅游委员会专项资金JY03080项资助
作者简介: 文军(1970-), 男, 广西大学农学院副教授, 生态学博士, 主要从事教学与科研工作, 研究方向为生态风险评价与环境规划, 已在各类刊物发表科研论文近40篇。

的千岛湖。千岛湖所处的淳安县属山地丘陵区,由低山、丘陵、小型盆地、谷地和水库组成。地势四周高,中间低。西北大部分山地海拔在600~1 000 m之间,东部海拔在400~600 m之间。千岛湖周围有800 m以上的高峰80余座,其中最高峰是位于南部白马乡的磨心尖,海拔1 523 m。淳安全县森林覆盖率71%。淳安县位于亚热带季风气候北缘,气候温暖湿润,雨量充沛,四季分明,光照充足。光、温、水的地域差异明显,年平均气温17.0℃,较邻近区域偏高约0.1~0.7℃。年均降水量1 675 mm,主要集中在3~9月,自10月至次年2月降水量相对较少。县境夏季最长,冬季次之,春季和秋季都较短,年均日照时数1 951 h,年平均雨日155 d,年平均相对湿度76%。由于受千岛湖巨大水体的影响,无霜期在258~266 d,较邻近地区长16~30 d。年均蒸发量1 381.5 mm,年平均结冰期23.4 d,年均风速2.1 m/s,风向随季节转换,冬半年盛行东北风(9月~翌年3月),夏半年多东南风(4~8月),常年盛行东北风。据1961~2000年气象资料,年平均风速为2.1 m/s,各月都有大风发生,4~9月为多发期,其中8月最多,9月风速最大,6月最小。

1.2 监测概况

浙江省从1983年开始进行全省降水的酸性普查,1985年起把降水中酸度测定作为逢雨必测项目,继而在全省建立了25个降雨监测网^[3]。由于淳安县在1996年前属非酸雨区,此前酸雨问题并不突出,故在淳安县环境保护监测站并未设立酸雨监测点,仅在县环保大楼顶设大气降水监测点1个,对降水量、pH值两项指标逢雨必测,2002年开始监测降水电导率。淳安县的空气常规监测设华谱和港城两个监测点,分别代表生活区和生产区,所监测项目有SO₂、NO₂、TSP、降尘、硫酸盐速率和氟化物六项。其中SO₂、NO₂和TSP采用24 h自动采样,SO₂和NO₂每周采样3 d,TSP每周采样2 d,其余项目每月采样一次。

2 分析方法

2.1 研究指标

2.1.1 降雨平均pH值

采用氢离子雨量加权法计算

$$pH_{平均} = -\lg[H^+]_{平均}$$

式中: $pH_{平均} = \frac{\sum [H^+]_i \times V_i / \sum V_i}{[H^+]_i}$ ——氢离子当量浓度; V_i ——各次样品的降水量(mm)。

2.1.2 酸雨率

$$酸雨率\% = (酸雨量 / 总降水量) \times 100\%$$

2.1.3 空气质量指数

$$P_i = C_i / S_i \quad Y = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n P_i \quad I = \overline{X \times Y}$$

式中: C_i ——污染物 i 的年平均值; S_i ——污染物 i 评价标准; P_i ——污染物 i 的单项质量指数; X ——污染物的单项指数(P_i)中最大值; Y ——污染物的单项指数(P_i)的平均值; I ——综合大气质量指数。

计算中所采用的执行标准系根据GB3095-1996《环境空气质量标准》中二级标准的规定结合浙江省有关规定,各监测指标的具体评价标准分别是:二氧化硫0.15 mg/m³,氮氧化物0.10 mg/m³,TSP0.30 mg/m³,降尘8.0 t/(km²·月)。

2.2 研究方法

在酸雨的成因分析中分别采用了相关分析和灰色关联

分析^[4,5]。相关分析是基于概率的理论基础研究因素之间的静态关系,其对于随机现象的相关性有很好的解析力。由于千岛湖的整个水体系统存在很大的不确定性(即灰色系统),在酸雨成因分析中我们尝试使用灰色关联分析结合相关分析进行研究。关联度分析与相关分析的理论基础不同,它是基于灰色系统的灰色过程,是对因素间时间序列的比较,通过对动态过程发展态势的量化分析,可以为主要因素的判断指出方法途径,其对预测宏观现象的发展有良好的应用效果。

3 千岛湖区域酸雨污染成因分析

酸雨的形成机制相当复杂,一般认为它与区域内大气中的酸性和碱性物质组成及含量有关,而大气中酸碱物质的来源既可能来自当地,也可能通过外源性的区域输运带入,其在空间跨度上可以高达上千公里,这类酸雨污染的研究通常需要进行跨地域性的合作研究。本次千岛湖的酸雨风险评价仅就区域内的大气污染物与酸雨之间关系进行分析,以空气质量监测数据和降水监测资料作为研究对象。

3.1 大气环境分析

3.1.1 空气质量指数分析

研究小组收集了淳安县环境保护监测站自1991至2002年来的大气常规监测数据,分别计算各监测项目的环境质量指数并计算综合指数,计算结果如下:

表1 千岛湖区域1991~2002年度空气质量指数分析表

年份	SO ₂	NO _x	TSP	降尘	各项均值	综合指数
1991	0.213	0.200	0.167	0.590	0.293	0.415
1992	0.193	0.220	0.330	0.620	0.341	0.460
1993	0.120	0.230	0.513	0.870	0.433	0.614
1994	0.167	0.210	0.310	1.340	0.507	0.824
1995	0.253	0.210	0.303	0.650	0.354	0.480
1996	0.193	0.200	0.233	1.750	0.594	1.020
1997	0.227	0.220	0.613	0.920	0.495	0.675
1998	0.120	0.170	0.173	0.550	0.253	0.373
1999	0.140	0.180	0.267	0.605	0.298	0.425
2000	0.067	0.130	0.263	0.753	0.303	0.478
2001	0.040	0.100	0.207	0.758	0.276	0.457
2002	0.047	0.160	0.263	0.658	0.282	0.431
均值	0.148	0.186	0.304	0.839		0.554

根据表中数据,自1991~2002年来,淳安县大气综合指数在总体上均能达到国家一级清洁水平,仅1996年略微降入二级的尚清洁水平,表明千岛湖流域的空气质量在此期间一直保持着十分良好的状态。1996年的异常应该与该年总降雨量低有关系,如前述逐年雨量数据显示,1996年的总降雨量是这期间的最低水平,因此,该年空气质量下降显然与降水冲刷对空气的净化量少有关。

在各单项污染物中,SO₂、NO_x与TSP的分指数一直处于低于1.0的水平,而降尘分指数则于1994年和1996年分别达到1.34和1.75,其余年份也都能维持在1.0水平以内。这说明,近年来千岛湖流域空气质量下降的风险因素主要来自于降尘。

3.1.2 空气质量指数趋势分析

分别对各单项指数和综合指数进行Spearman秩次相关

性检验,分析各监测项目在 1991~2002 年间的变化趋势,得出结果如表 2 所示。

表 2 千岛湖区域 1991~2002 年度各单项指数和综合指数趋势分析

指数	<i>r_s</i>	<i>n</i>	<i>r</i> _{0.05}	<i>r</i> _{0.01}
SO ₂	- 0. 636	12		
NO _x	- 0. 734	12		
TSP	- 0. 245	12	0. 532	0. 661
降尘	0. 042	12		
综合指数 I	- 0. 224	12		

结果显示,SO₂和NO_x出现极显著的下降趋势,而TSP、降尘和综合指数的变化趋势不明确,具体数据表现出有非常轻微的波动变化。因此可以认为,SO₂和NO_x对于千岛湖流域的空气质量甚至酸雨风险的威胁正在逐年减轻,这对于整个流域而言是非常有利的,而TSP和降尘的波动变化仍是现存的两个关键的风险来源,必须给予足够的重视,采取有效地措施控制或减少其对总体空气质量的不良影响。

3. 1. 3 空气质量指数相关性分析

分析自 1991~2002 年间各监测项目所代表污染物空气质量指数间的相关性,计算相关系数如表 3 所示。

表 3 千岛湖区域 1991~2002 年度各单项指数和综合指数相关性分析

	SO ₂	NO _x	TSP	降尘	综合指数
SO ₂	1				
NO _x	0. 785* *	1			
TSP	0. 281	0. 548	1		
降尘	0. 192	0. 230	0. 122	1	
综合指数	0. 313	0. 378	0. 283	0. 982* *	1

结果表明,在 1991~2002 年间,各空气监测项目中仅有降尘与综合指数间的变化存在极显著水平的相关性,这进一步揭示了降尘是这期间影响千岛湖流域空气总体质量的最主要因素。值得注意的是,在其它各监测项目中,SO₂和NO_x间的相关性也达到了极显著水平,这暗示着千岛湖流域空气中的SO₂和NO_x很有可能存在共同的污染源,而其它各污染物则可能存在不同来源,这一分析结果对于研究各污染物对流域内酸雨影响很有意义。

3. 2 各监测项目的季节变化分析

研究收集到 2000~2002 年三年中大气监测的各季度的完整资料,以此分别计算这三年间各项污染物的平均值,代表近期资料分析其季度变化规律,具体如表 4 所示。

表 4 千岛湖区域 2000~2002 年度各监测项目季节变化分析

	SO ₂	NO _x	TSP	降尘	硫酸盐
一季度	0. 010	0. 017	0. 103	5. 48	0. 21
二季度	0. 005	0. 011	0. 064	7. 06	0. 19
三季度	0. 005	0. 007	0. 057	6. 35	0. 17
四季度	0. 008	0. 016	0. 067	4. 83	0. 21

计算结果显示,SO₂、NO_x、TSP 和硫酸盐四个监测项目的季节变化表现出相同的规律,即一、四季度都高于二、三季度。由于这四个项目所代表的污染物与酸雨的形成有关,将这一分析结果与前述分析进行比较可发现,四个项目的季节变化规律与酸雨的季节分布规律是相一致的,即是与酸雨同步发生。与之不同的是,表中显示降尘的季节比较却是二、三季度均高于一、四季度,表明流域内降尘与酸雨并不存在正相关。

3. 3 大气质量与酸雨的关系分析

3. 3. 1 相关性分析

结合降水监测数据和环境空气监测数据,分析 1992 年至 2002 年间各大气监测项目与降水量、酸雨率和降雨 pH 均值之间的相关性,见表 5。

表 5 1992~2002 年大气监测项目与降水量、酸雨率和降雨 pH 均值相关性分析

	SO ₂	NO _x	TSP	降尘	降水量	酸雨率	pH 均值
降水量	- 0. 145	0. 021	0. 093	- 0. 394	1		
酸雨率	- 0. 764* *	- 0. 855* *	- 0. 477	- 0. 594*	0. 260	1	
pH 均值	0. 717* *	0. 766* *	0. 374	0. 645*	- 0. 194	- 0. 961* *	1

表中结果显示,降水量与SO₂、NO_x、TSP 和降尘间的无显著相关性,说明由降水产生的冲刷与大气中污染物浓度的变化没有直接联系,这应该是在此期间流域内的雨量波动过大而掩盖了降水的冲刷作用。

对于其它监测项目与酸雨的关系,本次相关分析结论明显偏离酸雨的一般规律,如表中数据显示,通常和酸雨形成有直接关系的SO₂和NO_x两项指标与酸雨率存在极显著的负相关关系,而降尘和酸雨率的关系也达到了显著水平,这似乎表明大气中酸性污染物含量愈高则酸雨率越低,这与通常规律明显不符;与之对应的是,SO₂和NO_x与酸雨平均 pH 值之间则出现极显著的正相关关系,也即是大气中高含量的SO₂和NO_x对于酸雨平均 pH 值的上升有利;而酸雨率与酸雨平均 pH 值之间也存在极显著的负相关关系。

这种与酸雨形成有关的大气污染因素与酸雨指标之间的异常关系,表明千岛湖流域酸雨特征不服从本源性污染物排放成因,也就是外源性酸雨前体物的输入很可能是造成千岛湖流域内酸雨污染的主要原因。已有前述结论支持这一观点:(1)流域内大气中酸性污染物SO₂和NO_x的含量一直处于国家一级标准以内,并且在年际变化中呈逐年显著下降的走势,而与之相矛盾的是流域内酸雨率和酸雨的平均 pH 值却出现逐年恶化的趋势;(2)酸性污染物SO₂和NO_x之间存在极显著的正相关性,这是二者具有共同污染源的特征,而该特征也符合外源性污染物输入的规律。

3. 3. 2 灰色关联度分析

以SO₂、NO_x、TSP、降尘和降水量的年际资料为子序列,同时以酸雨率和酸雨 pH 均值的年际资料作为母序列,分析两序列各因子之间的灰色关联度。运算参数分别是:原始数据经初值化转换,分辨系数取 0. 5 执行灰色关联分析,获得关联矩阵如表 6 所示。

表 6 千岛湖区域各监测项目灰色关联分析矩阵

	SO ₂	NO _x	TSP	降尘	降水量	均值
酸雨率	0. 628	0. 648	0. 615	0. 582	0. 643	0. 623
pH 均值	0. 745	0. 859	0. 790	0. 742	0. 736	0. 774
均值	0. 687	0. 754	0. 702	0. 662	0. 689	

灰色关联分析显示,酸雨率与本地大气污染物的关联度由大到小依次是:NO_x> 降水量> SO₂> TSP> 降尘,而酸雨 pH 均值与本地大气污染物的关联度由大到小依次是NO_x> TSP> SO₂> 降尘> 降水量。就总体分析,大气中的NO_x含量对酸雨的综合影响明显高于其它各监测项目,如表中显示该项目与酸雨的平均关联度值达到 0. 754;说明本地近地表NO_x对酸雨的影响较大;表中数据还显示,大气和降水的综合作用对酸雨平均 pH 值的影响远高于其对酸雨率的影响

(0.774> 0.623),说明酸雨率受本地近地表大气污染物的影响力低。因此,千岛湖流域的酸雨主要由外源输入的可能性得到进一步肯定。虽然上述分析显示降尘对千岛湖流域的大气质量负荷高于其它项目,而关联分析则显示其与流域内酸雨的关联度均小于其它各监测项目,这说明降尘的污染仅仅限于对大气质量的影响,其对日趋严重的酸雨问题的影响不大,属于低胁迫的风险因子。

3.3.3 异常年份酸雨分析

从研究小组的水质分析结果显示,1996年千岛湖的水质状况曾出现了极为剧烈的“污染峰”现象,而与之形成鲜明对比的是该年千岛湖区域的酸雨状况却出现极为显著的好转,这种异常状态的出现对于千岛湖区域的整个生态环境而言,都明显偏离了前后几年的正常变化趋势。根据水文和气象资料显示,该年千岛湖区域遭遇到有实测记录以来的最大洪灾,然而,千岛湖所在地的淳安县在该年的总降雨量却是多年来的最低水平,这显然表明该年洪灾的输入是由流域内其它地区的降水量突增所造成的。酸雨的异常表现在于这一年淳安县大气各项污染物的监测指数与前后几年差别并不大(降尘例外,这多与该年本地的低降水量有关,数据如下表),而酸雨状况却明显低于前后几年的水平。对这种变化的合理分析可以先假设在正常年份中的酸雨污染是来自于外源性输入的酸雨前体物,由于该年周边其它地区经历了高强度的降水,而雨水的冲刷大幅减少了进入淳安县的酸雨前体物的输入,因此在该年的大气污染水平处于相对正常的状态下却出现了酸雨率为零的情况。

表7 千岛湖异常年份前后各2年各监测项目对比分析								
	SO ₂	NO _x	TSP	降尘	降水量	酸雨率	pH均值	pH _{min}
1994	0.025	0.021	0.093	10.72	1564.2	23.7	5.61	4.35
1995	0.038	0.021	0.091	5.20	1758.0	24.5	5.91	5.03
1996	0.029	0.020	0.070	14.00	1084.5	0.0	6.29	5.82
1997	0.034	0.022	0.184	7.36	1470.6	28.0	5.34	4.38
1998	0.018	0.017	0.052	4.40	1437.2	58.3	4.78	4.27

如果以上假设成立,即1996年千岛湖的零酸雨率的确实是因为该年周边地区高强度降雨的冲刷减少了酸雨污染物的外源性输入,由于千岛湖流域所覆盖的大部分面积位于安徽省境内,安徽省境内也可能是千岛湖区域酸雨污染物输入的另一来源。

3.4 其它成因分析

3.4.1 周边地区的影响

根据浙江省环保系统历年的监测统计资料显示,在“六五”期间全省降水pH平均值在5.0以上,酸雨频率在35%以下,酸雨主要出现在杭州、宁波、温州和舟山等浙北、浙东地区,浙南地区只有温州一块孤立的酸雨区,并且浙北的酸雨污染要大于浙东、浙南地区。“七五”期间,全省降水pH年均值基本上降至5.0以下,酸雨频率比“六五”期间有所上升,范围也有扩大,丽水、临海、衢州和开化等地也出现了较多的参考文献:

[1] 钟汉珍,袁泉. 长江流域酸雨危害及对策分析[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2002, (3): 18– 21.
[2] 近藤次朗(日). 环境科学入门[M]. 刘鸿亮,等译. 北京: 中国环境科学出版社, 1987. 12.
[3] 徐德才. 酸雨污染与防治: 浙江区域酸雨趋势与防治对策[J]. 煤矿环境保护, 1995, 9(4): 25– 28.
[4] 武悦. 关于灰色系统模型GM(1, 1)适用范围的讨论[J]. 北京工业大学学报, 1999, 25(1): 72– 75.
[5] 邓聚龙. 灰色系统, 社会、经济[M]. 北京: 国防出版社, 1985. 1– 245.

酸雨。在“八五”期间,酸雨污染有了明显的增强,浙江省除龙泉周围一些地区外,已全部被酸雨区所覆盖,并出现了三块严重的酸雨区。浙北地区是全省酸雨范围最大、中心强度最高的严重酸雨区,主要在杭州、临安、安吉、湖州、余杭和绍兴一带,全省酸雨覆盖面积达95%,降水pH年均值在4.7以下,酸雨率达63.3%,杭州、宁波、金华、丽水、临安、舟山和普陀的酸雨率已大于80%。酸雨在浙江省已经形成了一个由杭州、金华、宁波三大城市为核心的三角形重酸雨区域^[3]。随着酸雨问题在浙江全省范围内的不断蔓延和加重,加上千岛湖区域在地理位置上刚好毗邻于三角形重酸雨区的西部方位,其近年开始出现酸雨并且情况迅速加剧的原因很可能是受到全省酸雨总体发展趋势的影响。

3.4.2 地形和气象因素

千岛湖所处的淳安县属浙西山地丘陵区,由中低山、丘陵、小型盆地、谷地和水库组成,地势四周高,中间低。西北部大部分山地海拔在600~1000m之间,东部海拔在400~600m之间。因此,整个千岛湖区域地形的总体走势是西高东低,这种地形结构使得淳安县很容易蓄积来自于东部地区的大气污染物。更为严重的是,多年的气象资料表明,淳安县夏半年盛行东南风,而冬半年则多为东北风,因此冬半年的盛行风向显然促进了浙江东部地区的大气污染物对淳安县大气环境的输入。如前分析千岛湖酸雨的季节分布规律表明,其冬季酸雨问题明显比夏季严重。

4 结论与讨论

千岛湖流域内大气中SO₂和NO_x的含量多年一直保持在国家一级标准以内;并表现出下降的趋势,这与流域内酸雨问题日渐加重的趋势相反;而TSP和降尘在近年的变化趋势不明显,两项指标均呈现出较小的波动变化的特征。通过相关分析和关联分析,千岛湖流域酸雨的变化与流域内近地大气中污染物的含量变化无关,即千岛湖区域酸雨的来源很可能来自于区域以外其它地区的输入。综合千岛湖流域的地形、风向等因素分析,酸雨污染物可能主要来自浙江省东部的经济发达地区。而对1996年千岛湖无酸雨的异常现象的分析结果则表明,安徽省境内地区也可能是酸雨污染物输入的来源之一。

酸雨的分析数据来自淳安县环境监测站的监测,由于导致酸雨的胁迫因子多来自千岛湖周边区域,由于缺乏周边区域的酸雨统计数据和其它导致酸雨产生污染数据,以及缺乏酸雨成分的分析数据,对酸雨的分析还有待进一步地深入和探讨。综合上述,千岛湖的酸雨问题在不断恶化的同时表现出其成因的不确定性,根据现有的监测资料尚无法明确其酸雨前体物主要来源,对已有资料的分析基本可以排除本地污染物排放的影响,而确定千岛湖酸雨的成因需要开展针对性的专门监测和研究,如建立酸雨监测网点、分析监测酸雨的化学组成或开展酸雨跟踪研究等。