

中国酸雨研究综述

吴丹,王式功,尚可政

(兰州大学大气科学学院,甘肃 兰州 730000)

摘要:回顾了我国开展酸雨研究以来所取得的各方面研究成果,主要包括酸雨的定义、空间分布特征、化学特征、影响酸雨pH值的因素、酸雨对生态社会的影响以及酸雨控制的对策和方法6个方面。研究表明,海洋降水pH值以4.8、内陆降水以5.0作为酸雨的界限更为合理,我国酸雨空间分布存在明显的地域差异,南方酸雨比北方严重,且以城市为中心分布,我国降水中总离子浓度很高,酸雨是典型的硫酸性酸雨,降水酸度与 $(\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-)/(\text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+})$ 的浓度比值有着高度的正相关;酸雨的形成不仅仅取决于酸性物质的排放,还与酸性物质的迁移和扩散、土壤的性质、大气中的氨、大气颗粒物及其缓冲能力和气象条件有关,酸雨对生态系统、建筑物和人体健康都造成了严重危害,我国酸雨还有进一步加重的趋势,因此必须进一步加强和发展酸雨控制的对策和方法。

关键词:酸雨定义,空间分布,化学特征,成因,危害,控制对策

中图分类号:P426.615

文献标识码:A

酸雨是我国现阶段面临的严重环境问题。我国酸雨面积已占国土面积的40%,成为继欧洲和北美之后的第3大酸雨区^[1]。由于酸雨的严重危害,我国的经济建设遭受了很大损失,人民生活也受到了较大影响。研究表明,仅在我国酸雨污染比较严重的江苏、浙江、安徽等11个省、自治区,酸沉降引起的森林木材储蓄量减少和农作物减产所造成的直接经济损失每年分别高达44亿和51亿人民币,11个省的年生态效益经济损失约为459亿元^[2]。1872年英国化学家Smith在《空气和雨:化学气象学的开端》中首次提出酸雨这个概念^[3],到20世纪40年代酸雨引起了各国学者的普遍关注,此后展开了对酸雨各方面的大量研究^[4]。我国开展酸雨研究的时间比国外要落后一段时间,1974年在北京开始对酸雨进行监测,其后陆续在其他城市也展开了研究,并在1989年开始建立全国的酸雨监测网^[5],国家也高度重视酸雨的研究,在七、八两个五年计划中,都将酸雨列为重点课题^[6-7]。本文从几个方面对我国近年来在酸雨研究方面所取得的成果进行总结,希望对今后的研究能起到一定的帮助和启发。

1 酸雨的定义

根据常规定义,酸雨是指pH值 <5.6 的大气降水^[8],是由于人类活动排放的大量酸性物质,主要是含硫化合物和含氮化合物,在大气中被氧化成不易挥发的硫酸和硝酸,并溶于雨水降落到地面所形成的^[9-11]。在未被污染的大气中,可溶于水且含量较大的酸性气体是 CO_2 ,如果只把 CO_2 作为影响天然降水pH值的因素,根据全球 CO_2 的平均浓度,考虑其弱酸平衡,即可计算出天然的未受污染的大气降水背景值为5.6,此值为国际上一直通用的判断酸雨的界限值^[7,12]。但是,由于实际大气中除 CO_2 外,还存在着其他复杂的化学成分,如有机酸和对酸性物质能起到缓冲作用的各种碱性离子等,因此,只考虑一个单一因子 CO_2 是不确切的^[13]。由于世界各地条件不同,如地质、气象、水文、工业生产等差异,会造成各地区降水pH的背景不同,故用pH为5.6作为判断降水酸性的依据存在不合实际的情况^[12,14]。

对全球背景降水的研究中^[15-16],选取了中国丽

收稿日期:2005-11-11 改回日期:2006-03-31

基金项目:国家自然科学基金项目(40375015)、博士学科点专项科研基金资助课题(200307300019)和科技部“西部开发科技行动”重大项目“祁连山空中云水资源开发利用研究”(2004BA901A16)共同资助

作者简介:吴丹(1983-),女,湖北仙桃人,硕士研究生,研究方向为气象学。

江玉龙雪山山麓、印度洋的阿姆斯特丹、北冰洋的阿拉斯加、太平洋的凯瑟琳、大西洋的委内瑞拉以及百慕大群岛等人为活动少、基本不受外来源污染的地区。这些地方分别代表内陆、海洋和海洋与内陆相连接的清洁降水背景点,观测结果见表 1。4 大洋降水背景 pH 统计值为 4.8,丽江为 5.0。因此,海洋降水以 4.8 作为定义酸雨的界限,内陆降水以 5.0 作为界限更为合理^[13]。由于绝大部分的酸雨研究都是基于酸雨的传统定义,因此本文下面的论述也是以传统定义为基础的。

表 1 内陆与海洋降水 pH 背景值

Tab. 1 The pH values for different precipitation background in some inland and ocean regions

背 景 点	样本数	pH 平均值
内陆丽江	180	4.99
印度洋阿姆斯特丹	26	4.92
北冰洋阿拉斯加	16	4.96
太平洋凯瑟琳	40	4.96
大西洋委内瑞拉	14	4.81
大西洋百慕大群岛	67	4.79

2 酸雨的空间分布

我国酸雨已成为普遍性的污染问题。在 1982 年的酸雨普查中发现除吉林、甘肃和临夏外,其他 20 多个省、市、自治区均出现酸雨,酸雨已覆盖国土面积的 40%^[17]。1999 年 106 个城市的 pH 值监测结果表明,降水年均 pH 值范围在 4.3 ~ 7.47。pH 值 < 5.6 的城市有 43 个,占统计城市的 40.6%,怀化、景德镇、遵义、宜宾、赣州等南方城市的酸雨频率达 80%^[18]。

我国酸雨分布存在明显的地域差异,降水 pH < 5.6 的区域主要分布在秦岭淮河以南、青藏高原以东的广大地区;华中、华南、西南及华东地区存在酸雨污染严重的中心区域;北方地区只有局部地区如青岛、图们等地出现酸雨。20 世纪 80 年代以来以重庆、贵阳为代表的西南地区是中国酸雨污染最严重的地区;20 世纪 90 年代以来,以长沙、株洲、赣州、南昌等城市为中心的华中酸雨区污染水平超过西南酸雨区,成为全国酸雨污染最严重的地区;西南酸雨区虽然有所缓和,但仍维持较严重的水平;华南酸雨区主要分布在珠江三角洲及广西东部地区,总体格局变化不大;华东酸雨区,包括长江中下游地区

及南至厦门的沿海地区,小尺度上的污染格局有所波动,但总体来说,较华中、西南酸雨区弱,而北方地区年均 pH 值 < 5.6 的城市主要分布在青岛、图们中心的区域^[19]。

我国的酸雨污染以城市局地污染为主,并以城市为核心呈现多中心分布。在西南的重庆污染区,华南的长沙污染区和洪江污染区,都是由于城市和厂矿企业污染物的低空排放,使其附近的 SO₂ 浓度比其他地区高,降水酸度也较高^[17]。

3 酸雨的化学特征

降雨中的主要化学离子一般包括阳离子: H⁺、Ca²⁺、NH₄⁺、Na⁺、K⁺、Mg²⁺,阴离子: SO₄²⁻、NO₃⁻、Cl⁻、F⁻、HCO₃⁻^[7]。在我国降水中总离子浓度很高,相当于欧洲、北美和日本的 3 ~ 5 倍,反映出我国大气污染严重^[20]。

我国降水中的主要致酸物质是 SO₄²⁻ 和 NO₃⁻,其中 SO₄²⁻ 浓度是 NO₃⁻ 离子浓度的 5 ~ 10 倍,远高于欧洲、北美和日本的比值。因此,我国酸雨是典型的硫酸性酸雨,这是因为我国的矿物燃料主要是煤,且煤中的含硫量较高,成为大气中硫的主要来源^[21~22]。

监测数据显示^[23~24],降水中的硫酸根和硝酸根平均浓度之和,在北方非酸雨区为 241.5 μg/L,南方酸雨区则为 145 μg/L,北方是南方的 1.7 倍,这说明降水的酸性并不只取决于酸性离子的浓度。研究表明,降水酸度不仅与雨水中的酸性离子有关,还与雨水中能对酸性物质起到中和作用的碱性离子有关^[25~26]。阳离子浓度中,氨离子浓度南北差别不是很大,北方略高于南方,而钙镁离子浓度北方降水中为 458.9 μg/L,南方则为 106.3 μg/L,北方是南方的 4.3 倍,这表明北方降水中的硫酸、硝酸被大量的碱性物质中和。因此,虽然北方地区降水中酸性离子浓度高,但降水酸度远低于南方^[27]。

对我国降水酸度影响最大的阳离子是 NH₄⁺ 和 Ca²⁺,阴离子是 SO₄²⁻ 和 NO₃⁻,降水中 Na⁺ 和 Cl⁻ 的浓度比较接近,可认为这 2 种离子主要来自海洋,对降水酸度不产生影响^[28]。降水中 SO₄²⁻、NO₃⁻、NH₄⁺ 和 Ca²⁺ 的浓度分别占总浓度的 31.6%、4.9%、7.0% 和 20.2%。在统计的 8 个省份(福建、江西、湖南、浙江、湖北、安徽、江苏、山东)中,上述 4 种离子的平均浓度分别为 125.86、19.62、67.89 和 80.41 μg/L^[29]。我国降水酸度与 (SO₄²⁻ + NO₃⁻) /

($\text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+}$) 的浓度比值有着高度的正相关^[28]。降水中的 NH_4^+ 主要来自于中国农田中氮肥的大量施用和农田中氨的挥发损失, Ca^{2+} 则主要是由中国的气候和土壤结构等自然条件的特殊性所决定的^[19]。

4 影响酸雨形成的因素

SO_2 和 NO_x 是酸雨发生的主要前体物, 2 者在大气中经过均相氧化和非均相氧化转变为 H_2SO_4 和 HNO_3 进入降水中而形成酸雨^[30]。酸雨的形成虽然与酸性物质的排放有直接关系, 但不仅仅取决于这一因素, 还与以下一些因素有重要的关系。

4.1 酸性污染物质的迁移和扩散

毛节泰用定常欧拉型酸沉降模式, 对两广地区酸沉降计算结果得出, 在低空排放 (排放源在 300 m 以下) 的条件下, 城市污染源排放的硫污染物输送范围约 10^2 km^2 量级^[31]。王国贵利用在中国南极长城站采集监测的酸雨资料综合分析得出, 南极确有酸雨存在。南极长城站局地并不存在污染源, 由于大气环流把远离南极的污染源传输到南极上空, 遇降水冲刷降至地面形成酸雨^[31]。我国的酸性降水不仅出现在城市和污染地区, 也出现在乡村和清洁地区, 主要是因为污染物的中长距离传输造成的。致酸物质在一定的气象条件下, 可传输几百 km 或者更远。中国内地排放的酸性污染物以境内传输为主, 在东北、华北和东南沿海地区与东面邻国和地区之间存在酸性污染物的相互传输^[32-33]。

4.2 土壤性质

土壤中碱金属离子含量及其 pH 值是影响酸雨形成的重要因素之一。我国降水中的主要碱性离子 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+ , 它们主要来自土壤之中。我国的土壤北方偏碱性, pH 值为 7~8; 南方偏酸性, pH 值为 5~6。土壤中碱金属 Na、Ca 的含量是由南至北逐渐递增, 尤其是过淮河、秦岭后其含量迅速增加。由于空气中的颗粒物有一半左右来自土壤, 而且碱性土壤的氨挥发量大于酸性土壤, 因此北方地区大气中的碱性物质远高于南方, 从而导致我国酸雨主要发生在土壤碱性物质含量低, 土壤 pH 值低的南方地区^[19]。

4.3 大气中的氨

NH_3 为大气中常见的气态碱, 易溶于水, 能与大气或雨水中酸性物质起中和作用, 从而降低了雨水的酸度。如 NH_3 与 SO_2 可在有水分的条件下反应生

成硫酸氨和亚硫酸氨, 从而对酸性物质起到中和作用^[32]。一般酸雨区 NH_3 的含量比非酸雨区普遍低一个数量级, 说明氨在酸雨形成中的重要作用。大气中氨主要来自有机物分解及农田施用氮肥的挥发。土壤中氨的挥发量随土壤 pH 的上升而增加, 我国北方土质偏碱性, 南方偏酸性, 氨含量北高南低, 是中国酸雨主要分布在南方的一个重要原因^[7]。

4.4 大气颗粒物及其缓冲能力

降水中的碱金属和碱土金属主要来自大气中的颗粒物^[23], 大气颗粒物主要来自土地飞起扬尘^[7]。与国外相比, 我国的大气颗粒物浓度大, 特别是粗颗粒物多, 且南北地区存在着显著差异。

我国南方地区由于湿润多雨、植被良好、大气颗粒物浓度低, 大气 TSP 平均含量为 $218 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 而北方地区干燥少雨、土壤裸露、大气颗粒物浓度大, 大气 TSP 平均含量为 $426 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ^[23]。可以看出, 北方的大气 TSP 平均含量约为南方的 2 倍。由于对环境的治理, 大气中的颗粒物浓度虽然持续降低, 但南北方大气颗粒物浓度的这种相对水平一直保持着^[34]。

不仅北方颗粒物浓度高于南方, 北方大气颗粒物中的碱性物质和酸性物质浓度之比也高于南方。对同样的降水, 北方大气颗粒物对降水酸性的缓冲能力比南方要大的多。这是因为大气颗粒物主要来自土地飞起扬尘, 其组成与土壤组成基本相同, 颗粒物酸碱性主要取决于土壤性质^[7]。由于北方土壤的碱性物质含量高, 北方大气颗粒物中的碱性物质浓度也高于酸性物质, 在降雨中这些大气颗粒物对酸性降水具有较大的中和缓冲能力, 相反, 南方大气颗粒物中碱性物质浓度低, 其缓冲能力低于北方 (如北京春季大气颗粒物中和能力是南方柳州颗粒物的 3 倍), 于是, 雨水被酸化的作用与受碱性物质中和作用的竞争结果是北方大部分地区未发生酸雨, 而南方地区出现大面积酸雨^[19]。

4.5 气象条件影响

气象条件对酸雨形成的影响主要表现在 2 个方面: 在化学方面影响前体物的转化速率, 在大气物理方面影响有关物质的扩散、输送和沉降^[23]。

太阳光强和水汽浓度与 SO_2 转化速率有直接的关系。光强增加使大气自由 OH 等浓度升高, 加速 SO_2 的氧化, 丰富的水汽也有利于 SO_2 转化为硫酸, 形成硫酸的局地沉降。太阳光强随纬度的升高而降低, 我国的大气湿度也是由南向北递减, 因此, 当其

他条件相同时,我国南方大气中的 SO_2 较北方大气可以较快的转化为硫酸,酸化当地大气环境,通过降水冲刷形成酸雨^[23]。

气象条件对污染物的扩散、输送和沉降的作用也直接影响到酸雨的形成。气象条件如果有利于污染物扩散,则大气污染物浓度降低,酸雨就弱,反之则强。例如当地面受反气旋控制时,近地层风力微弱,大气扩散能力弱,且伴有下沉气流,使酸性污染物在低层大气中高积累,有可能在经过一系列化学反应后发生酸性沉降过程^[32]。研究表明,我国降水 pH 值的分布与全国地面风场分布特征有相似之处。从宏观上看,东北平原、内蒙古北部至北疆东端为全国风力最强区,其次是华北平原及沿海地区,风力也较强,这些地区对污染物的输送、稀释能力强。北至秦岭,包括汉中盆地、四川盆地,向东至长江三峡的宜昌,云贵高原和广西的局部地区为全国风力最弱区,尤其是四川盆地,地形闭塞,冬季北来的冷空气难以侵入,夏季又无台风影响,风速小,静风频率高,污染严重。四川盆地的重庆、成都为我国酸雨严重的地区,两广、湖南、江西某些地区 pH 值也很低。说明了气象条件对酸雨的影响^[29]。

5 酸雨的危害

5.1 对水生生态系统的影响

酸雨可造成江、河、湖、泊等水体的酸化,致使生态系统的结构与功能发生紊乱。水体的 pH 值降到 5.0 以下时鱼的繁殖和发育会受到严重影响^[35]。水体酸化还会导致水生物的组成结构发生变化,耐酸的藻类、真菌增多,有根植物、细菌和浮游动物减少,有机物的分解率则会降低。流域土壤和水体底泥中的金属(例如铝)可被溶解进入水体中而毒害鱼类^[36]。在我国还没有发现酸雨造成水体酸化或鱼类死亡等事件的明显危害,但在全球酸雨危害最为严重的北欧、北美等地区,有相当一部分湖泊已遭到不同程度的酸化,造成鱼虾死亡,生态系统破坏^[37]。例如,挪威南部 5 000 个湖泊中有近 2 000 个鱼虾绝迹。加拿大的安大略省已有 4 000 多个湖泊变成酸性,鲑鱼和鲈鱼已不能生存^[38]。

5.2 对陆生生态系统的影响

5.2.1 对土壤的影响

酸雨可使土壤的物理化学性质发生变化,加速土壤矿物如 Si、Mg 的风化、释放,使植物营养元素特别是 K、Na、Ca、Mg 等产生淋失^[39-40],降低土壤的阳

离子交换量和盐基饱和度,导致植物营养不良。酸雨还可以使土壤中的有毒有害元素活化,特别是富铝化土壤,在酸雨作用下会释放出大量的活性铝,造成植物铝中毒^[41]。同时酸性淋洗可导致土壤有机质含量轻微下降。受酸雨的影响,土壤中微生物总量明显减少,其中细菌数量减少最显著,放线菌数量略有下降,而真菌数量则明显增加(主要是喜酸性的青霉、木霉)。特别是固氮菌、芽孢杆菌等参与土壤氮素转化和循环的微生物减少,使硝化作用和固氮作用强度下降,其中固氮作用强度降低 80%,氨化作用强度减弱 30%~50%,从而使土壤中氮元素的转化与平衡遭到一定的破坏^[28]。

5.2.2 对植物的影响

酸雨沉降到地表,将对植物造成损害,酸雨进入土壤后改变了土壤理化性质,间接影响植物的生长;酸雨直接作用于植物,破坏植物形态结构、损伤植物细胞膜、抑制植物代谢功能。酸雨可以阻碍植物叶绿体的光合作用,还会影响种子的发芽率^[28,42,43]。酸雨对森林产生的危害最大,其对树木的伤害首先反映在叶片上,树木不同器官的受害程度为根 > 叶 > 茎^[44]。通过贵州、四川的马尾松和杉木的调查资料表明,降水 pH 值 < 4.5 的林区,树林叶子普遍受害,导致林木的胸径、树高降低、林业生长量下降,林木生长过早衰退。我国的西南地区、四川盆地受酸雨危害的森林面积最大,约为 27.56 万 km^2 ,占林地面积的 31.9%。四川盆地由于酸雨造成了森林生长量下降,木材的经济损失每年达 1.4 亿元,贵州的木材经济损失为 0.5 亿元^[32]。不同种类的植物对酸雨抗性是有差异的,一般来说,植物对酸雨抗性大小与其品种起源和遗传基础的杂合程度有关,遗传基础的杂合程度越高,其抗性越强^[28]。因此在酸雨严重的地区,可以选择抗酸性较强的植物栽种。

5.3 对建筑物和文物古迹的影响

酸雨能与金属、石料、混凝土^[45]等材料发生化学反应或电化学反应,从而加快楼房、桥梁、历史文物、珍贵艺术品、雕像的腐蚀^[46]。我国故宫的汉白玉雕刻、敦煌壁画、埃及的斯芬克斯狮身人面雕像、罗马的图拉真凯旋柱等一大批珍贵的文物古迹正遭受酸雨的侵蚀,有的已损坏严重^[38]。酸雨还直接危害电线、铁轨、桥梁和房屋等。

5.4 对人体健康的影响

酸雨可以对人体产生直接影响,它会刺激皮肤,引起哮喘等多种呼吸道疾病。其次,酸雨还对人体

健康产生间接影响。酸雨使土壤中的有害金属被冲刷带入河流、湖泊,一方面使饮用水水源被污染;另一方面,这些有毒的重金属会在粮食和鱼类机体中沉积,人类因食用而受害。据报道,很多国家由于酸雨影响,地下水中铝、铜、锌、镉的浓度已上升到正常值的10~100倍^[38,47]。

6 酸雨的发展趋势和控制对策

6.1 酸雨的发展趋势

我国酸雨的发生和发展与我国能源消费增长密切相关。由于经济发展的原因,我国的能源消耗将持续增长,其中作为我国主要能源煤的消耗也将不断增长。由于我国煤的硫含量较高,在目前的技术条件下 SO_2 的去除率较低为30%~50%,这为致酸物质 SO_2 排放量的增长提供了前提。根据国家环保总局公布的环境公报提供的 SO_2 的年排放量(图1),1997~1999年排放量呈下降趋势,而1999~

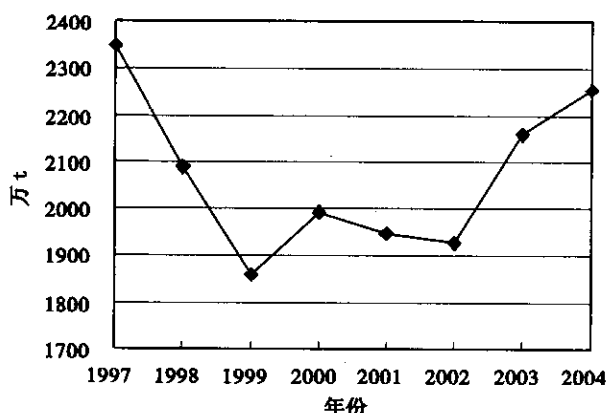


图1 1997~2004年 SO_2 排放量年变化

Fig. 1 The annual change of sulfur dioxide emission during 1997~2004

2004年呈上升趋势。这是由于1998年国务院批准了国家环保总局的《酸雨控制区和二氧化硫污染控制区划分方案》,对两控区内的电力、煤炭这2个行业的 SO_2 排放进行了严格控制,使 SO_2 的排放量有了明显降低,1999年之后,经济发展,能源消耗的增长,导致 SO_2 的排放量呈上升趋势。随着我国经济的发展,人民生活水平的提高,汽车数量也会大大增加,这使得致酸物质 NO_x 的排放量也会持续增长。根据预测^[23],我国 SO_2 的排放量到2020年前将持续增长,到2020年将达到3178万吨。由于 NO_x 更难控制,其排放量增长速度将会更大,到2020年,可能会超过2000万吨。而根据中国酸雨的历史变化,随

着酸雨前体物排放量的长期持续增长,降水不断进一步酸化。因此可以预见,我国酸雨将会变得更加严重。酸雨面积继续扩大,酸雨区将向西向北蔓延,降水酸性继续升高。长江以南将出现更多的降水pH值<4的严重酸雨区,生态环境和物质材料将会遭到更严重的破坏^[48]。

6.2 酸雨的控制对策

(1)加强环境宏观管理,实行大气污染物排放总量控制。对工业过于集中的地区适当控制污染型工业的再建,并进行必要的疏散,以减小当地污染物的排放量。合理调整城市产业布局,注意发展耗能少而产值高的新兴工业、轻工业和手工业^[17]。

(2)节约能源,减少污染。由于我国能源管理水平差,浪费严重,许多中小企业生产工艺落后,产品耗能高,能源的分配和利用不合理,工业中的余热、煤气大都没有充分利用,造成我国能源利用率低,增大了能源需求量。研究表明,我国的能源经济效益很低,万元GDP能耗为世界平均水平的3倍,与发达国家差距很大,也高于巴西、印度等发展中国家,我国单位产品能耗高,主要工业产品比先进国家高出20%~60%^[49]。现在国家提出建设节约型社会,根据我国能源消费中存在的问题,我们应从改善能源管理,开展技术改进,分期分批进行设备更新,综合利用能源,把工业余热充分利用,从节能的投资等方面着手,达到提高能源利用率,降低产品能耗,减少致酸气体排放量的目的^[50]。

(3)开发和应用各种脱硫脱氮技术及设备,优化能源质量,提高能源利用率,减少燃烧产生的 SO_2 。我国 SO_2 排放量约90%来自煤炭消费。控制 SO_2 的排放首先要从源头抓起,限制高硫煤的生产和使用,改用低硫煤^[51]。对于含硫量>1.5%的高硫煤,应加一道选煤工序,以降低硫含量。我国的煤炭总体上属于中等易选,通过洗选可以脱除60%以上的灰分和50%~70%的黄铁矿硫(全硫中黄铁矿硫比例较大),大大减轻了燃煤污染,同时可节煤10%~20%^[49]。其次,改进燃烧方式,提高煤的燃烧效率。流化床燃烧就是一种很好的燃烧方式,新型的流化床锅炉有极高的燃烧效率,几乎达到99%,而且还能去除80%~95%的 SO_2 和 NO_x 。这种技术是通过向燃烧床喷射石灰或石灰石完成脱硫脱氮的。烟气脱硫是减排 SO_2 的一条重要技术途径,它是一种燃烧后脱硫过程。在烟气排出烟囱前,喷以石灰,与 SO_2 反应生成 CaSO_4 ,回收 CaSO_4 ,可用

作建筑材料。这种烟气脱硫技术的脱硫效率很高,可达 95% 以上。型煤固硫也是一种有效的途径。型煤是经过成型处理后的煤制品,分为民用和工业用 2 类。民用型煤主要是煤球和蜂窝煤,工业型煤主要锅炉、窑炉、蒸汽机床等采用的各种成型煤制品。所谓型煤固硫就是在型煤加工时加入固硫剂,使煤在燃烧时不排出 SO_2 ,从而实现燃煤固硫,固硫率可达 50% 左右。当然还有其他很多通过脱硫脱氮来减少 SO_2 排放的技术^[49]。由于设备及运转费用昂贵,我国在这方面还处在起步阶段,进一步推广和应用,将极大减少 SO_2 的排放^[38]。

(4) 改变能源结构,使用清洁能源。开发可以替代燃煤的清洁能源,如核电、水电、太阳能、风能、地热能等,将会对减排 SO_2 作出很大贡献。目前的技术水平还不能保证从太阳能、风能、地热能等获得大规模稳定的工业电力。因此,替代能源的主要开发目标应当是水电和核电。据估计,我国水能资源理论蕴藏量为 7 亿 kW,可开发量为 4 亿 kW,开发成功后,每年可节约大量的煤炭,减排大量的 SO_2 ^[38]。

(5) 加强对汽车尾气的控制。在形成酸雨的主要成分 SO_2 和 NO_x 中,交通车辆的排气占很大比重,尤其是机动车辆的排气中含 NO_x 浓度特别高。随着我国国民经济发展和人民生活水平的提高,各类汽车的数量将会迅速增加,所以控制各种车辆的排放量对改善大气质量,减少 NO_x 排放量相当重要。减少汽车排放物的主要措施有:1) 制订各类汽车的尾气排放标准,控制氮氧化物的排放量。2) 限制汽车行驶速度。汽车在低速行驶时,尾气中的 NO_x 浓度一般在 10 ~ 50 ppm,满载低速行驶时, NO_x 约为 1 000 ppm,而满载高速行驶时, NO_x 浓度可达 4 000 ppm,所以限制汽车行驶速度,对控制 NO_x 排放量的作用很大。3) 改进发动机结构和安装防污装置。汽车发动机结构先进与否对节约油品和减少排污都非常重要。应逐步淘汰耗油高、污染严重的老式汽车,大力发展结构先进、耗油低的新型汽车,并安装汽车净化装置,以减轻汽车尾气的污染^[50]。

(6) 加强环境管理,强化环保执法。政府对 SO_2 排放造成的酸雨污染问题十分重视。在新修订的《大气污染防治法》中规定了在全国划分 SO_2 污染控制区和酸雨污染控制区,以强化 SO_2 污染控制。我们应当在各酸雨污染区抓紧编制 SO_2 综合防治规划,在污染排放登记的基础上,摸清 SO_2 排放现状,

提出总量控制指标,明确减排实施进度。对排污大户限时整改,关停淘汰一些污染严重的生产设施或工厂。认真做好 SO_2 排污费的征收、管理和使用,将大部分的排污费用于重点排污单位的 SO_2 污染专项治理^[38,52]。

7 结束语

经过 20 多 a 的时间,我国在酸雨研究方面已取得了较大进展和一些重要研究成果,但还存在一些不足,由于酸雨的不断加重和酸雨问题的复杂性,许多问题还需要深入研究^[4]。例如(1)随着能源结构的不断变化,研究建立适合我国特点的酸雨预测模型(2)从生态系统角度研究酸沉降及酸沉降破坏的生态系统恢复技术(3)研究燃煤 SO_2 的控制和不同行业如化工、建材、冶金等工艺废气的脱硫技术(4)研究与我国的经济水平相适应的、合理的酸雨控制对策(5)将地理信息系统(GIS)、全球定位系统(GPS)等新技术与酸沉降研究有机结合起来,研究基于 GIS 的酸化模型,规划酸沉降临界负荷等。由于经济的持续发展,我们面对的酸雨形势会更加严峻,但展望未来,我们对酸雨的控制是有信心的。我国政府将环境保护作为我国的一项基本国策,相继制定了大气污染控制等法规,全国各地环境科学工作者具有良好的合作研究基础,随着公民环保意识的逐步加强,环境保护技术的不断创新,经济支持力度的不断加大,相信通过各方面的共同努力,我国酸雨问题将得到有效的控制。

参考文献:

- [1] 郭永林. 我国的酸雨问题和防治[J]. 山西财经大学学报(研究专刊), 2002, 24: 106.
- [2] 陈复, 柴发合. 我国酸沉降控制策略[J]. 环境科学研究, 1997, 10(1): 27-31.
- [3] Smith W H. Air pollution and forests - Interactions between air contaminants and forest ecosystems[M]. New York: Springer-Verlag, 1981. 178-191.
- [4] 汪家权, 吴劲兵, 李如忠, 等. 酸雨研究进展与问题探讨[J]. 水科学进展, 2004, 115(14): 526-530.
- [5] 丁国安, 徐晓斌, 王淑凤, 等. 中国气象局酸雨网基本资料数据集及初步分析[J]. 应用气象报, 2004, 15(增刊): 85-94.
- [6] 谭燕宏. 中国酸沉降现状[J]. 辽宁师专学报, 2004, 6(1): 95-98.
- [7] 王美秀. 酸雨问题概述[J]. 内蒙古教育学院学报(自然科学版), 1999, 12(2): 25-27.
- [8] 李铁锋. 环境地学概论[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996. 56-57.

- [9] 喻真英,何红兵. 试论酸雨问题及控制对策[J]. 湖南环境生物职业技术学院学报, 2004, 10(2): 116 - 118.
- [10] 薛梅. 酸雨的形成及其危害[J]. 内蒙古石油化工, 1999, 25(4): 108.
- [11] 杨军,刘文玲. 酸性降水成因及其控制对策的探讨[J]. 黑龙江环境通报, 2000, 24(1): 25 - 26, 44.
- [12] 舒新兴. 对酸雨 pH 值界限的商讨[J]. 景德镇高专学报, 2004, 19(2): 11 - 12.
- [13] 刘嘉麒. 降水背景值与酸雨定义研究[J]. 中国环境监测, 1996, 12(5): 5 - 9.
- [14] 谭洁艳,吴天龙. 关于酸雨的新理解[J]. 环境科学动态, 2003, (3): 13 - 14.
- [15] 刘嘉麒, W. C. 肯尼, 霍义强, 等. 背景降水[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995. 6 - 7, 30 - 44.
- [16] Galloway J N. The composition of precipitation in remote areas of the world[J]. Geophysical Res, 1982, 87(11): 8711 - 8786.
- [17] 张燕,刘立进. 我国酸雨分布特征及控制对策[J]. 陕西环境, 1998, 5(4): 39 - 40.
- [18] 杨宗慧. 我国酸雨状况和对策[J]. 云南环境科学, 2002, 21(1): 25 - 26.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 李宗恺,王体健,金龙山. 中国的酸雨模拟及控制对策研究[J]. 气象科学, 2000, 20(3): 339 - 347.
- [22] 魏复盛,王明霞,王瑞斌,等. 我国降水酸度和化学组成的时空分布特征[A]. 中国环境科学学会编. 酸雨文集[C]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989. 203 - 207.
- [23] 王文兴. 中国酸雨成因研究[J]. 中国环境科学, 1994, 14(5): 323 - 329.
- [24] 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.
- [25] 余炎,陈敏. 大气尘埃与酸雨[J]. 国外科技动态, 1998, (4): 22 - 27.
- [26] 胡礼德. 论酸雨的成因、pH 值、酸度[A]. 中国环境科学学会编. 酸雨文集[C]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989. 317 - 322.
- [27] 王玮,王文兴,赵德山,等. 大气颗粒物与降水相互影响及其在酸雨形成中作用的探讨[A]. 中国环境科学学会编. 酸雨文集[C]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989. 58 - 70.
- [28] 花日茂,李湘琼. 我国酸雨的研究进展(综述)[J]. 安徽农业大学学报, 1998, 25(2): 206 - 210.
- [29] 樊后保. 世界酸雨研究概况[J]. 福建林学院学报, 2002, 22(4): 371 - 375.
- [30] 赵传晔. 酸雨的成因和地理分布[J]. 山西师大学报, 1995, 9(3): 91 - 94.
- [31] 解海卫,张艳,尹连庆. 酸雨研究的现状[J]. 环境科学与技术, 2004, 27(增刊): 179 - 181.
- [32] 任仁. 中国酸雨的去,现在和将来[J]. 北京工业大学学报, 1997, 23(3): 128 - 132.
- [33] Yong - seung Chung, Hak - sung Kim, Kie - hyun Park. Acid precipitation and large - scale transport of air pollutants observed Korea[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2001, 130 : 367 - 372.
- [34] 国家环保局编. 中国环境监测 20 年[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1993. 26 - 31.
- [35] Ikuta K, Suzuki Y, Kitamura S. Effects of low pH on the reproductive behavior of salmonid fishes[J]. Fish physiology and biochemistry, 2003, 28 : 407 - 410.
- [36] 匡凤娣. 酸雨[J]. 北京水利, 1997, (4): 60.
- [37] Sandoy S, Langaker R M. Atlantic salmon and acidification in southern Norway : a disaster in the 20th Century, but a hope for the Future [J]. Water, Air, and Soil pollution 2001, 130 : 343 - 348.
- [38] 杨本宏. 我国酸雨危害现状及防治对策[J]. 合肥联合大学学报, 2000, 6(2): 102 - 106.
- [39] Barbara Walna, Jerzy Siepak, Stanislaw Drzymala. Soil degradation in the Wielkopolski National Park (Poland) as an Effect of Acid Rain Simulation[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2001, 130 : 1727 - 1732.
- [40] 高太忠,戚鹏,张杨,等. 酸雨对土壤营养元素迁移转化的影响[J]. 生态环境, 2004, 13(1): 23 - 26.
- [41] 杨学春,朱亚萍. 酸沉降对土壤化学性质的影响[J]. 四川环境, 1995, 14(1): 6 - 9.
- [42] 任国栋,王景红. 酸雨的危害[J]. 陕西气象, 1997, (2): 42.
- [43] 林慧萍. 酸雨对陆生植物的影响机理[J]. 福建林业科技, 2005, 32(1): 60 - 64.
- [44] 齐泽民,王玄德,宋光煜. 酸雨对植物影响的研究进展[J]. 世界科技研究与发展, 2004, 26(2): 36 - 41.
- [45] Tsutomu Kanazu, Takuro Matsumura, Tatsuo Nishiuchi, et al. Effect of simulated acid rain on deterioration of concrete[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2001, 130 : 1481 - 1486.
- [46] Lokman Tecer. Laboratory experiments on the investigation of the effects of sulphuric acid on the deterioration of carbonate stones and surface corrosion[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1999, 114 : 1 - 12.
- [47] 霍寿喜. 酸雨危害人体健康[J]. 医药与保健, 2004, (7): 48.
- [48] 丁国安,徐晓斌,房秀梅,等. 中国酸雨现状及发展趋势[J]. 科学通报, 1997, 42(2): 169 - 173.
- [49] 吴忠标,李伟,王莉红. 城市大气环境概论[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003. 287 - 304, 398 - 399.
- [50] 张光华,赵殿五. 酸雨[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989. 238 - 244, 266 - 267.
- [51] 齐正义. 选煤与环保[J]. 选煤技术, 2003, (4): 56 - 57.
- [52] Jiming Hao, Shuxiao Wang, Bingjiang Liu, et al. Plotting of acid Rain and sulfur dioxide pollution control zones and integrated control planning in China[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2001, 130 : 259 - 264.

Progress in Research of Acid Rain in China

WU Dan , WANG Shi - gong , SHANG Ke - zheng

(College of Atmospheric Science , Lanzhou University , Lanzhou 730000 , China)

Abstract : The outcome of various aspects in the research of acid rain in China is reviewed in this paper , which mainly includes the definition of acid rain , the characteristics of the spatial distribution , the chemical characteristics , the factors which affect acid rain's pH , the influence of acid rain on the ecosystem and society as well as the countermeasures and methods which can mitigate damages of acid rain. The traditional definition of acid rain is that the rain's pH less than 5.6 , and further researches indicate that it is more reasonable to set 4.8 and 5.0 as pH threshold of acid rain over oceans and inland regions , respectively. There is significant difference of the spatial distribution of acid rain in China , it is more serious in the south than that in the north , and the total ion concentration is very high in the precipitation in China , and acid rain presents typical vitriolic precipitation , there is high positive correlation between the acidity and the concentration ratio of $(\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-) / (\text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+})$. The formation of acid rain is not only due to the acidic pollutant but also depends on those factors such as the transfer and diffusion of the pollutant , the soil character , the ammonia in the atmosphere , the neutralization ability of the atmospheric particles , the weather condition and so on. Acid rain has done serious harm to the ecosystem , the buildings and the people's health , and it has the trend to be more serious in China so we have to develop the further countermeasures and methods which can control the acid rain.

Key words : the definition of acid rain ; spatial distribution ; chemical characteristics ; causes of formation ; harm ; countermeasures

~~~~~  
( 上接第 62 页 )

## Developing from Innovation : Thoughts and Measures for " Arid Meteorology " Reform

WU Xi - feng

( Institute of Arid Meteorology , CMA ; Key Laboratory of Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province , Lanzhou 730020 , China )

**Abstract :** A series of innovational thoughts and measures after the periodical reform ( from " Gansu Meteorology " to " Arid Meteorology " ) were showed in this paper , and the achievements , problems in the periodical innovation process from technology to scientific journal were indicated , moreover , the future developing direction was put forward.

**Key words :** innovation ; measures ; achievements ; developing direction