

# 酸雨的危害及其防治综述<sup>\*</sup>

牛建刚<sup>1,2</sup>, 牛荻涛<sup>1</sup>, 周浩爽<sup>1</sup>

(1. 西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安 710055;  
2. 内蒙古科技大学 建筑与土木工程学院, 内蒙古 包头 014010)

**摘 要:** 从酸雨的研究历史出发, 阐述了酸雨的形成和分布, 指出酸雨是一种全球性的环境问题; 酸雨对生态系统、人类健康、材料等都具有很大危害。通过对近几年我国酸雨状况调查, 分析发现我国酸雨面积和程度呈现继续扩大的趋势。最后, 结合我国典型的硫酸型酸雨特征, 提出了可行的防治酸雨的具体对策。

**关键词:** 酸雨; 危害; 防治对策

**中图分类号:** P426.616 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2008)04-0110-07

## 0 引言

随着现代工业的发展、人口剧增和城市化的趋势, 化石燃料能源——煤和石油等的消耗量日益增加, 燃烧过程中排放的硫的氧化物和氮的氧化物越来越多, 导致这些气态化合物在大气中反应生成硫酸和硝酸, 这些酸性物质随雨雪等从大气层降落, 形成“空中死神”——酸雨。酸雨对陆地生态系统和材料的危害及影响已成为举世瞩目的重大环境问题。在没有大气污染物存在的情况下, 降水酸度主要由大气中的二氧化碳所形成的碳酸组成, 其 pH 值在 5.6 ~ 6.0 之间。因此, 一般地将 pH 值 < 5.6 的降水称为酸雨<sup>[1]</sup>。

绝大多数材料都是暴露在大气环境中的, 大气腐蚀是一种材料(这种材料可以是一种金属的、石灰石的、玻璃的、聚合物或有涂层的材料)与周围的大气环境相互作用的结果。在美国因各种腐蚀而引起的损失平均每年每人约 1 000 美元, 其中一大部分是由大气腐蚀引起的<sup>[2]</sup>。降雨作为影响大气腐蚀的重要影响因子, 不仅在降雨过程中对材料具有冲刷作用, 其在材料表面的沉积物也会对材料造成腐蚀。尤其近年来, 随着大气环境的恶化, 全球许多地区出现了酸性降雨。酸雨不仅破坏生态环境, 而且能够大大加速材料的大气腐蚀速度, 因此研究雨水酸化情况下材料的腐蚀和

酸性降水对生物体的危害显得尤为重要。

## 1 国内外酸雨现状

### 1.1 国外酸雨状况

酸雨的产生与工业化的形成有着密切的关系, 早在 19 世纪中叶, 英国的工业急速发展, 用煤量大幅度增加, 大气污染导致了建筑物四壁出现脱落现象。英国化学家 R. A. Smith 在分析降雨化学时发现, 曼彻斯特市区大气中含有硫酸或酸性硫酸盐现象。经过进一步的研究后, 他于 1872 年在其专著“大气和降雨: 化学气候学的开端”中首次使用“酸雨”(acidrain)这一术语, 他阐述的许多思想沿用至今<sup>[3]</sup>。但遗憾的是, 他富有开创性的工作未受到及时的重视。1939 年以后, 瑞典、挪威发现了由邻近国家(英国)飘移来的酸性二氧化硫使水中鱼和森林的生长受到影响。瑞典土壤学家 Odén 在对湖泊和大气化学进行广泛研究的基础上指出, 酸雨已成为欧洲的一种大范围现象, 而且酸度在不断增加<sup>[4]</sup>。到了 20 世纪 50 年代后期, 在比利时、荷兰和卢森堡相继发现了酸雨, 60 年代美国、德国等也出现酸雨。欧洲经济合作与发展组织开展的专项研究证实, 酸雨几乎覆盖了整个西北欧。以英国为例, 英环保部门颁布的资料显示英国国土都已酸化, 全国年均降水 pH 值为 4.1 ~ 4.7。1972 ~ 1973 年间, 美国东北部与加拿大交

\* 收稿日期: 2008-03-07

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(50538060); 国家杰出青年科学基金项目(50725824)

作者简介: 牛建刚(1976-), 男, 山西太原人, 博士研究生, 主要从事结构可靠度和混凝土耐久性研究。

E-mail: niu-jiangang@163.com

界地区发现了大面积酸雨区域, 此后全北美几乎 2/3 的陆地都受到了酸雨的威胁<sup>[5]</sup>。日本自 20 世纪 70 年代后, 酸雨问题引起了人们广泛的关注。1984~1988 年间日本酸雨监测网的数据表明, 降水的加权平均 pH 值为 4.7<sup>[6]</sup>。在朝鲜半岛, 对降水化学的监测结果也发现, 降水中  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{NO}_3^-$  的浓度接近美国东部和中欧的水平, 年平均 pH 值在 4.6~4.8 之间<sup>[7]</sup>。国际应用系统分析研究所的研究人员通过研究发现, 目前降水的平均酸度同取自格陵兰 180 年前冰块的酸度相比, 增长了 99 倍。在被认为是“净土”的南北两极也检测到了酸雨。

酸雨业已成为一个全球性的环境问题。许多国家都在遭受酸雨的危害, 其中有的国家(如英国、美国)是充当着酸雨污染的净出口者, 而另外一些国家(如瑞典、挪威、加拿大等)则是净进口者。1972 年联合国在斯德哥尔摩召开的人类环境会议上, 瑞典政府向联合国人类会议提交了“跨国界的大气污染: 大气和降水中的硫对环境的影响”的报告, 第一次把酸雨作为国际性问题提出, 由此酸雨现象在世界引起了公众广泛的关注<sup>[8]</sup>。在 1986 年肯尼亚首都内罗毕召开的第三世界环境保护国际会议上, 专家们认为酸雨现象不断发展, 对生态系统造成严重危害, 已成为严重威胁世界环境的 10 大问题之一。

## 1.2 我国的酸雨状况

### 1.2.1 我国酸雨的分布状况

随着亚洲经济的高速发展, 以我国长江以南、青藏高原以东及四川盆地的广大地区为中心的亚洲地区已经成为继欧洲、北美之后世界第三大酸雨区。

1974 年我国在北京开始对酸雨进行监测, 1979 年后各省区陆续开展了这方面的监测工作。1979 年初在贵州省的松桃县和湖南省的长沙市、凤凰县等地首先发现酸雨, 此后又相继在重庆、上海、南京、常州等地监测到酸雨。尤其在 1982 年夏季, 重庆市连降酸雨, 降水 pH 值大都在 4.0 以下, 导致了大面积农作物受害及建筑物的严重腐蚀<sup>[9]</sup>。为了掌握酸雨分布, 国家环保部门于 1982 年建立了 189 个观测站、523 个降水采样点的酸雨监测网。观测记录发现我国北方部分地区也开始出现酸性降水, 如北京、天津、河北的秦皇岛和承德、山西的侯马、辽宁的大连、丹东、锦州、阜新、铁岭、葫芦岛、吉林的图们、陕西的渭南和商洛<sup>[10]</sup>、甘肃的金昌降水年均 pH 值 <5.6。

我国的酸雨区一般划分为华中、西南、华东和华南 4 个地区。华中酸雨区污染最为严重, 其中以长沙、怀化、赣州、南昌为代表的湖南和江西省是华中酸雨区酸雨污染最严重的区域, 其中心区年降酸雨频率高达 90%, 几乎到了逢雨必酸的程度; 华南酸雨区主要分布在以珠江三角洲为中心的广东东部和广西东部; 西南酸雨区以四川的宜宾、南充、贵州的遵义和重庆市为中心; 华东酸雨区则分布范围较广, 覆盖江苏省南部、浙江全省、福建沿海地区和上海, 高酸雨频率( $\geq 80\%$ )和高酸度降水( $\text{pH} \leq 4.5$ )的城市比例仅次于华中酸雨区。

目前, 我国酸雨正呈蔓延之势, 研究表明, 我国  $\text{pH} < 5.6$  的降水面积已由 1985 年的 175 万  $\text{km}^2$  扩大到 1996 年的 384 万  $\text{km}^2$ , 约占全国国土总面积(960 万  $\text{km}^2$ )的 40%, 11 年中扩大了 209 万  $\text{km}^2$ ,  $\text{pH} < 5.6$  降水等值线也从长江以南地区大幅度地向西向北移动, 越过了长江和黄河。酸雨监测结果表明, 20 世纪 90 年代全国降水酸度总体上保持稳定状态, 2000 年以后降水酸度呈现出总体升高的趋势, 到 2005 年, 降水中的硫酸根和硝酸根的平均浓度分别升高 12% 和 40%。重酸雨区的面积由 2002 年占国土面积的 4.9% 增加到 2005 年的 6.1%。

### 1.2.2 我国酸雨的化学组成及特点

一般情况下大气降水中阴离子为  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$ , 阳离子为  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{H}^+$ 。研究表明对我国降水酸度影响最大的阳离子是  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{Ca}^{2+}$ , 阴离子是  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{NO}_3^-$ 。文献[11]引用  $A = [\text{SO}_4^{2-}]/[\text{NO}_3^-]$  作为划分酸雨类型的特征参量, 将酸雨分为 3 档: 当  $A \leq 0.5$  时, 为硝酸型或燃油型; 当  $0.5 < A < 3.0$  为混合型; 当  $A \geq 3$  为硫酸型或燃煤型。图 1 是我国降水中各离子所占的百分比, 其中  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{NO}_3^-$  离子浓度的比值较高, 计算图 1 中  $[\text{SO}_4^{2-}]/[\text{NO}_3^-]$  的比值是 5.72, 我国属于典型的硫酸型酸雨。

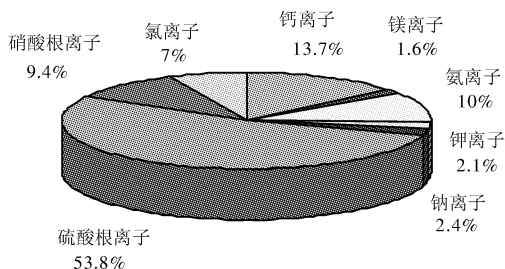


图 1 全国降水离子百分组成

“两控区”(酸雨控制区和二氧化硫控制区)政策的实施使得  $\text{SO}_2$  的排放得到了一定的控制,但是随着我国汽车保有量的显著增加,另一重要的致酸物质  $\text{NO}_x$  的排放量却在持续增长,并慢慢导致我国酸雨污染类型发生转变,由原来的硫酸型逐步转变为硫酸、硝酸混合型。位于沿海发达地区的厦门、珠海降水中硝酸根与硫酸根浓度大体相当,酸雨已是硫硝混合型酸雨<sup>[12]</sup>,而内陆的绝大多数城市硫酸根浓度远大于硝酸根浓度,仍然是硫酸型酸雨。

## 2 酸雨的危害

### 2.1 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<sup>[13]</sup>。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<sup>[14]</sup>。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<sup>[15]</sup>。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,鳟鱼和鲈鱼已不能生存<sup>[16]</sup>。

### 2.2 对陆生生态系统的影响

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<sup>[17,18]</sup>,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<sup>[19]</sup>。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<sup>[20]</sup>。

酸雨除了通过进入土壤改变土壤性质,间接影响植物生长外还直接作用于植物,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,影响种子的发芽率<sup>[21,22]</sup>。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。1950~1965 年酸雨使瑞典森林生产率下降 2%~7%,1983 年原联邦德国有 34% 的森林受酸雨之害,据估计美国每年由酸雨和大气污染造成的生态损失达几十亿美元。而我国根据“七五”和“八五”的部分研究成果估算,仅酸雨污染较为严重的江苏、浙江、安徽、福建、江西、湖北、湖南、广东、广西、四川、贵州等 11 个省(自治区),因酸沉降引起的森林木材蓄积量减少所造成的直接经济损失每年就高达 44 亿元人民币,而木材经济损失与森林生态效益经济损失比例为 1:8<sup>[23~25]</sup>。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  $\text{km}^2$ ,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<sup>[26]</sup>。

### 2.3 酸雨对人体健康的影响和危害

酸雨对人类健康会产生直接或间接的影响。首先,酸雨中含有多种致病致癌因素,能破坏人体皮肤、粘膜和肺部组织,诱发哮喘等多种呼吸道疾病和癌症,降低儿童的免疫能力。其次,酸雨还会对人体健康产生间接影响。在酸沉降作用下,土壤和饮用水水源被污染;其中一些有毒的重金属会在鱼类机体中沉积,人类因食用而受害。据统计,欧洲一些国家每年因酸雨导致老人和儿童死亡的病例达千余人。美国国会调查表明,美国 and 加拿大在 1990 年一年中约有 5 200 人因受酸雨污染病死。1973 年 6 月 28~29 日,在日本静冈县和山梨县约 50 km 范围内,有 144 人因酸雨而患眼疼,咳嗽等。1974 年 7 月 3 日在关东地区有 3 万人有同样的症状,这天的雨水 pH 值最低为 2.85。1981 年瑞典马克郡发现有一家 3 名孩子为绿头发,原因是酸雨使其饮用井水酸化,井水腐蚀了铜制的水管,洗涤过的头发被溶出的铜化合物所染绿。在墨西哥市, pH 值为 3.4~4.9 的酸雨

并不罕见。该国卫生部调查表明, 墨西哥的呼吸器官疾病死亡率为 93/10 万(1989 年), 属世界最高, 每年公害病死亡人数超过 10 万人, 其中 3 万是孩子。

## 2.4 酸雨对建筑物和材料的危害

酸雨地区的混凝土桥梁、大坝和道路以及高压线钢架、电视塔等土木建筑基础设施都是直接暴露在大气中, 遭受酸雨腐蚀的。酸雨与这些基础设施的构筑材料发生化学的或电化学反应, 造成诸如金属的锈蚀、水泥混凝土的剥蚀疏松、矿物岩石表面的粉化侵蚀以及塑料、涂料侵蚀等。

### 2.4.1 酸雨对非金属建筑材料的破坏

酸雨能使非金属建筑材料(混凝土、砂浆和灰砂砖)表面硬化水泥溶解, 发生材料表面变质、失去光泽、材质松散, 出现空洞和裂缝, 导致强度降低, 最终引起构件破坏, 这就是混凝土酸蚀作用。更严重的使混凝土大量剥落, 钢筋裸露与锈蚀。

最近在建筑物中出现的“酸雨冰溜溜”, 又是酸雨危害的一件新事物。混凝土因酸雨而溶解, 然后在下滴过程中水分蒸发而硫酸钙等固体成分留了下来, 形成类似石灰岩溶洞中的石钟乳。而下滴到地面上的硫酸钙留下来则形成“石笋”。之所以叫“冰溜溜”, 是因为这种石钟乳很像冬季中从屋檐上流下来的冷水, 在流动过程中逐渐结冰, 形成下垂的“冰溜溜”。日本许多城市立交桥下和建筑物中都有这种酸雨冰溜溜。图 2 是昆明小屯立交桥底形成的石钟乳<sup>[27]</sup>。

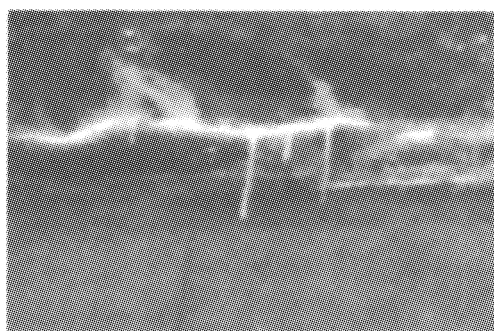


图 2 昆明小屯立交桥底形成的石钟乳

### 2.4.2 酸雨对金属类建筑材料的破坏

研究表明, 暴露在室外的钢结构建筑物, 受酸雾的影响, 腐蚀速率为  $0.2 \sim 0.4 \text{ mm/a}$ , 若直接受酸雨浇淋其腐蚀速率将  $> 1 \text{ mm/a}$ , 明显高于无污染地区。如重庆市嘉陵江大桥腐蚀速度为  $0.16 \text{ mm/a}$ , 远超过瑞典的斯德哥尔摩大桥(腐蚀速度  $0.03 \text{ mm/a}$ ), 嘉陵江大桥每年防锈维护费用是南京长江大桥的 1.4 倍, 但其钢梁长度仅是南京

长江大桥的四分之一。南京的室外古青铜天文仪器近年来的腐蚀速度上升为  $0.4 \text{ mm/100a}$ , 远远超过无污染大气时的  $0.1 \text{ mm/100a}$  的腐蚀速度<sup>[28]</sup>。

在重庆、四川、贵州等地, 电视铁塔、路灯电杆、汽车铁壳、输电铁架等受酸雨的损失费用明显高于其他地区。对于碳钢、Al、Zn、Cu 等 4 种材料来说, 酸雨环境下的腐蚀速率明显高于非酸雨地区<sup>[29]</sup>。对不同牌号的金属而言, 酸雨地区相比其它非酸雨地区, 其腐蚀破坏的严重程度也是不一样的, 酸雨区 Al 的破坏性较非酸雨区高 13 ~ 20 倍, Cu 高出 3 ~ 4 倍, 黑色金属高出 2 ~ 3 倍。建筑上通常使用的马口铁板, 在弱酸雨地区的腐蚀速度在  $0.3 \sim 0.5 \text{ } \mu\text{m/a}$ , 而在强酸雨的江津市高达  $2 \sim 4 \text{ } \mu\text{m/a}$ 。

### 2.4.3 酸雨地区保护性涂(镀)层的腐蚀

汽车、摩托车、自行车、火车、电器以及许多的机械设备、电力和通信设备、基础工程建设和厂房建筑等, 无不通过涂覆金属、非金属或有机涂层进行保护, 一方面是提供漂亮外观, 更主要是防止金属的腐蚀生锈。

在调查中发现, 酸雨对这些保护层, 特别是金属性保护层的破坏是非常快的。比如, 在非酸雨环境下耐蚀性一般的电镀 Cu/Ni/Cr 产品件, 保护寿命可维持 2 年以上, 而采用厚 Ni 层/微孔镀 Cr 层的耐蚀体系或双 Ni/微孔 Cr 体系可保持 5 ~ 10 年。萧以德<sup>[29]</sup>等试验发现在江津地区酸雨环境下, 即使采用耐蚀的双 Ni/微孔 Cr 体系, 仅使用 1 年就出现较严重锈蚀。对于电镀锌的产品, 在北京弱酸雨地区, 镀锌层的腐蚀速度仅为  $0.3 \text{ } \mu\text{m/a}$  左右, 而在江津酸雨环境下可高达  $2.0 \text{ } \mu\text{m/a}$ 。就油漆类的防腐涂装而言, 酸雨对漆膜的光泽颜色、粉化的破坏也较快, 对普通油漆而言, 使用 1 ~ 2 年, 即出现明显失光和变色, 3 年后出现明显粉化缺陷。

马鸣图<sup>[30]</sup>等研究了重庆市公共汽车的腐蚀情况。重庆市公共汽车因环境腐蚀造成的每年涂装、2 年换顶、4 年进行面板和车顶更换、车身骨架维护的损失费总计达 6 147 万元, 平均每年 1 536.8 万元, 损失十分惊人。

## 3 酸雨的防治

### 3.1 酸雨防治的政策和国际协作

酸雨问题是一个全球性问题, 1979 年 33 个国家签订了远距离跨界大气污染公约(LRTAP), 这

一公约为签约国建立了一个框架,使他们在框架内认识到跨界污染所引发的问题,并且接受了采取适当措施的责任。然而 LRTAP 一直没有采取实质性的措施来减少酸雨污染。直到 1982 年,德国生物学家 Ulrich 发现了一种新的称为“Waldsterben”的森林衰退现象,并推定是由酸雨引起的之后,酸雨才不再仅仅是斯堪的纳维亚存在的问题,而是潜在的整个欧洲大陆的问题。1985 年各国在 LRTAP 协定下签订了两份议定书:削减硫排放议定书(第一份硫议定书)和 1988 年在索非亚签订的稳定 NOX 排放议定书。各国逐渐开始致力于削减各种酸性污染物的排放,采取了一系列的措施削减来自畜牧业的氨排放等。

针对大气污染问题,美国早在 1970 年就制定了一部联邦法律——清洁大气法案(CAA),用以控制来自面源、固定源和移动源的大气污染排放物。1990 年美国国会启动了酸雨计划(ARP),专门负责实施 CAAA 的第 IV 条款<sup>[31]</sup>。1985 年,加拿大建立了酸雨控制计划,要求将 SO<sub>2</sub> 的排放量在 1980 年的水平上降低 40%。1991 年,美国和加拿大签署了加拿大——美国大气质量协议(AQA),正式开始了对酸雨问题的合作<sup>[32]</sup>。1998 年 10 月,加拿大联邦、省及地方能源与环境部长签署了加拿大跨越 2000 酸雨策略(The Canada - Wide Acid Rain Strategy for Post - 2000)<sup>[33]</sup>。该策略的主要长期目标是“满足加拿大酸沉降的环境临界值”,直到对水生和陆地生态系统不再构成危害。

进入 20 世纪 90 年代,欧美各国由于多年来签署的各项协议的实施,SO<sub>2</sub> 排放量得以削减,酸雨和酸沉降的威胁趋于缓和,而亚洲各国由于经济的快速发展,污染物排放量急剧增加,酸雨污染越来越严重。为了有效解决亚洲地区所出现的环境问题,从 1992 年开始,在亚洲地区启动了“亚洲酸雨及其减排”项目。

在 20 世纪 80 年代,我国环保部门和林业部门报道了重庆马尾松和川东地区华山松林大面积衰亡的现象,以及城市建材、文物古迹等受酸雨腐蚀破坏的事例。我国政府对酸雨问题十分关注。1982 年 5 月,国务院环保办下达了“西南地区酸雨污染问题的研究”课题;1984 年中国科学院下达了重点课题“西南地区酸雨成因、危害和防治对策研究”;1986 年起国家正式将“酸雨来源、影响和控制对策”的研究,列为“七五”国家环保攻关课题,并分为西南地区 and 两广地区两大片<sup>[34]</sup>。1991 年,中国环境科学学会在焦作市召开了“中国酸雨发展

趋势及控制对策学术讨论会”,交流已有的科研成果,总结经验,提出建议,促进了“七五”酸雨科研成果的推广<sup>[35]</sup>。1998 年 1 月,国务院批准了“两控区”划分方案,并提出了相应的配套政策<sup>[36]</sup>。1998 年 2 月,国家环保总局召开了“两控区”工作会议,会上发布了《“两控区”酸雨和 SO<sub>2</sub> 污染综合防治行动方案》和《“两控区”酸雨和 SO<sub>2</sub> 污染综合防治规划编制大纲》。2001 年,国家环保总局组织编写了《“两控区”酸雨和 SO<sub>2</sub> 污染防治“十五”计划》,提出了“十五”期间“两控区”SO<sub>2</sub> 总量控制目标、酸雨和空气质量目标,同时提出了降低煤炭含硫量、控制火电厂 SO<sub>2</sub> 排放等一系列酸雨和 SO<sub>2</sub> 综合防治措施以及相应的管理制度和经济政策,明确提出在“两控区”试行 SO<sub>2</sub> 排污交易制度。随着《国家酸雨和二氧化硫污染防治“十一五”规划》的实施,我国酸雨和 SO<sub>2</sub> 污染综合防治工作已经进入了实质性阶段,政策已经基本成型,“十一五”期间“两控区”治理酸雨和 SO<sub>2</sub> 污染的力度将进一步加大。

### 3.2 酸雨防治的具体对策

控制酸化的根本途径是减少或消除酸沉降的污染源,控制酸雨污染最根本的途径是控制 SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 的排放。由于我国的酸沉降是硫酸型的,因此硫沉降量的控制在我国酸沉降控制中占主导地位。我国政府主要围绕对 SO<sub>2</sub> 的控制来进行酸雨的防治。通常 SO<sub>2</sub> 的排放控制可在燃料燃烧前、燃烧中和燃烧后进行。

#### 3.2.1 燃烧前的控制

我国现在的主要能源是煤,并且短时期不会改变这种能源结构。在工业化国家应用较广泛的技术包括使用低硫燃料、煤炭加工技术(包括煤炭脱硫、脱灰、型煤技术等)及煤的气化<sup>[37]</sup>。

#### 3.2.2 燃烧过程控制

洁净煤技术是对燃烧设施进行改造或加入添加剂与目标污染物发生反应。中国洁净煤技术主要由以下几部分组成:煤炭加工技术(包括煤炭脱硫、脱灰、型煤技术等)、煤的高效燃烧技术(包括改进燃烧器结构及燃煤方法等方面)、煤炭转化技术(包括煤炭气化、液化及燃料电池等),其中煤的高效燃烧技术是核心。据预测,我国二氧化硫的排放量在采用洁净煤技术后可从 1995 年的 23.7 Mt 减少到 2050 年的 9.8 Mt,即此技术的削减贡献率为 60%<sup>[38]</sup>。

目前我国洁净煤技术的研究和实际应用还处于初级阶段,有很多工作要做,比如型煤技术,

我国存在两大问题, 一是型煤固硫技术落后, 所能达到的固硫率平均只有 50% 左右, 远低于美国和日本 85% 的水平, 说明我国在这方面还有很大潜力, 当前应大力开展固硫剂的筛选研究, 提高固硫率。二是型煤化还未普及, 使用散煤还很普遍, 应加大型煤化推广力度。随着科技的发展, 洁净煤技术的发展也越来越快, 我国重庆就采用过从日本引进的生物煤球固硫技术并取得了较好的效果<sup>[39]</sup>。

### 3.2.3 燃烧后的处理

控制和削减燃煤 SO<sub>2</sub> 排放量是酸雨综合防治中最普遍采用的污染控制方法, 目前主要是对燃烧过程中排放的烟气进行脱硫处理, 以减少燃料燃烧后的 SO<sub>2</sub> 的排放。国外成功经验证明烟气脱硫是控制酸雨和二氧化硫污染的最主要技术手段, 也是唯一可大规模商业化推广应用的脱硫方式。按烟气脱硫的工艺特点, 可将烟气脱硫分为湿法、干法和半干法三类。

除了上述围绕 SO<sub>2</sub> 来控制酸雨之外, 还应积极发展高效节能技术。如能源梯级利用(包括热电联产、热电冷联产、热电煤气联产等), 高效发电、输电、蓄电技术(包括超临界机组发电、联合循环发电、燃料电池、高效输电系统、电能储存技术等), 终端能源节约技术(包括电动机调速技术、高效加热技术、余热利用技术、热泵技术、保温技术、锅炉及工业窑炉自动控制技术等)。在条件允许的情况下, 尽可能使用洁净能源, 如大力发展城市燃气(天然气、液化石油气), 积极开发水能(水电)、核能、风能(风力发电)、太阳能、生物能、地热能、海洋能等洁净能源。

## 4 总结

(1) 我国酸雨污染严重, 并且具有酸性降水频率高、酸度大、覆盖面积广的特点。从大量的实地调查结果显示, 酸雨已经对生态系统、建构筑物、材料产生了严重影响, 酸雨已经成为不容忽视的灾害之一, 应给予足够的重视。

(2) 中国对酸雨虽然已经进行了近 20 年的研究, 但是研究的资金投入、研究规模和研究深度都是远远不足的。国内对酸雨研究投入的资金, 不足欧洲的 1%, 监测点的总数、密度和监测的项目都要比欧美少得多。因此有必要加大酸雨的研究和投资, 为酸雨的防治打好基础。

(3) 我国酸雨综合治理应该是一个以防为主、

防治结合、综合治理的过程。防与治之间是一个辩证的关系, 防是治的保证, 治是防的手段, 因此我们应该以此为总纲, 结合我国实际情况在政策上、技术上全方位地开展酸雨防治工作。

## 参考文献:

- [1] Smith W H. Air pollution and forests – Interactions between air contaminants and forest ecosystems [M]. New York: Springer – Verlag, 1981: 178 – 191.
- [2] C. 莱格拉夫, T. 格雷德尔. 大气腐蚀[M]. 韩恩厚, 译. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [3] Cowling E B. Acid precipitation in historical perspective [J]. Environ. Sci. Tec., 1982, 16(2): 110 – 123.
- [4] Odén, S. The acidity problem – an outline of concepts [C] // Dochinger L S and Seliga T A. 1st. Internat. Symp. Acid Precipitation and the Forest Ecosystem. Rep. NE – 23, Pennsylvania, 1976: 1 – 36.
- [5] 樊后保. 世界酸雨研究概况[J]. 福建林学院学报, 2002, 22(4): 371 – 375.
- [6] Tamaki M, Katou T, Sekiguchi K, et al. Acid precipitation chemistry over Japan [J]. J. Jpn. Chem. Soc., 1991, (5): 667 – 674.
- [7] Lee B K, Hong S H, Lee D S. Chemical composition of precipitation and wet deposition of major ions on the Korean peninsula [J]. Atmos. Environ, 2000, (34): 563 – 575.
- [8] Ottar B. Organization of long range transport of air pollution monitoring in Europe [C] // Dochinger L S and Seliga T A. 1st. Internat. Symp. Acid Precipitation and the Forest Ecosystem. Rep. NE – 23, Pennsylvania, 1976: 105 – 117.
- [9] 高粱, 高佳. 环境保护与农业丰收[M]. 天津: 天津科技翻译出版公司, 1994: 122 – 125.
- [10] 李崇绩, 王尧坤. 陕西省酸雨分布规律及其防治对策[J]. 灾害学, 1992, 7(1): 71 – 75.
- [11] 程新金, 黄美元. 降水化学特性的一种分类分析方法[J]. 气候与环境研究, 1998, 3(1): 82 – 88.
- [12] 王自发, 高超, 谢富莹. 中国酸雨模式研究回顾与所面临的挑战[J]. 自然杂志, 2007, 29(2): 78 – 82.
- [13] 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.
- [14] 匡凤娣. 酸雨[J]. 北京水利, 1997, (4): 60.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] Barbara Walna, Jeizy Siepak, Stanislaw Dizymala. Soil degradation in Wielkopolski National Park (Poland) as an Effect of Acid Rain Simulation [J]. Water, Air and Soil Pollution, 2001 (130): 1727 – 1732.

- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 任国栋, 王景红. 酸雨的危害[J]. 陕西气象, 1997, (2): 42.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 沈景文. 我国酸雨灾害及其成因分析[J]. 灾害学, 1988, 3(3): 55-57.
- [25] 尹道声, 译. 是酸雨杀死了恐龙吗? [J]. 灾害学, 1988, 3(2): 8.
- [26] 任仁. 中国酸雨的过去, 现在和将来[J]. 北京工业大学学报, 1997, 23(3): 128-132.
- [27] 宋志刚, 杨圣元, 刘铮, 等. 昆明市酸雨对混凝土结构侵蚀状况调查[J]. 混凝土, 2007, (11): 23-27.
- [28] 王金潮. 污染大气中浑仪、筒仪的带锈防护[J]. 文物保护与考古科学, 1995, 7(1): 1-9.
- [29] 萧以德, 王光雍, 李小刚, 等. 我国西部地区大气环境腐蚀性材料腐蚀特征[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2003, 23(4): 248-255.
- [30] 马鸣图, 李志刚. 重庆市公共汽车的腐蚀现状[J]. 汽车工艺与材料, 2002, (8/9): 108-115.
- [31] Ellerman A D, Joskow P L, Schmalensee R, et al. Markets for Clean Air: The U. S. Acid Rain Program [M]. New York: Cambridge University Press, 2000.
- [32] Canada - United States Air Quality Committee. 2000 Progress Report on 1991 Canada - United States Air Quality Agreement (AQA)[R]. Catalogue No EN40-388/2000E. 2001: 48.
- [33] The Acid Rain Work Group. 2001 Annual progress report on the Canada - Wide Acid Rain Strategy for Post - 2000 [R]. Presented to Federal/Provincial/Territorial Ministers of Energy and Environment. Cat. no. En40-11/39-2001, 2002: 16.
- [34] 冯宗炜. 酸雨对生态系统的影响[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.
- [35] 孙崇基. 酸雨[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001.
- [36] 国家环境保护局. 酸雨控制区和二氧化硫污染控制区划分方案[J]. 环境保护, 1998, (3): 7-10.
- [37] Derek Winstanley, Robea T Lackey, Walter L. Warnick, et al. Acid rain: science and policy making [J]. Environment Science & Police, 1998, (1): 51-57.
- [38] 张华, 李娟英, 张雁秋. 我国酸雨污染现状、成因分析及防治措施[J]. 煤矿环境保护, 2000, 14(5): 24-26.
- [39] Gao Shidong, Kazuhiko Sakamoto, Zhao Dawei, et al. Studies on atmospheric pollution, acid rain and emission control for their precursors in Chongqing [J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2001, (130): 247-252.

## Review on Damage and Control Measures of Acid Rain

Niu Jiangang<sup>1,2</sup>, Niu Ditao<sup>1</sup> and Zhou Haoshuang<sup>1</sup>

(1. School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

2. School of Architecture and Civil Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Baotou 014010, China)

**Abstract:** Based on the research of acid rain, the formation and distribution of acid rain are elaborated. Acid rain which is of a great harm to the ecosystem, human health and materials is a global environmental problem. According to the investigation of recent years' acid rain in China, it is concluded that the extent, area and the intensity of acid rain continuously expand. Finally, considering China's typical sulfate acid rain, specific countermeasures against acid rain are proposed.

**Key words:** acid rain; damage; countermeasures