

# 城市空气污染的治理

陈广仁, 祝叶华

科技导报社, 北京 100081

**摘要** 生态环境是支撑人类生存及发展的关键条件。18世纪工业革命至今,许多国家先后发生严重大气污染问题。为吸取大气污染的历史教训、总结环境治理的科学经验,本文简述英国伦敦市、芬兰坦佩雷市、比利时马斯河谷、美国洛杉矶市、美国多诺拉镇、日本北九州市、日本四日市、德国鲁尔区、日本东京市、加拿大萨德伯雷市、墨西哥城空气污染的经历及治理,论述中国大气污染治理的努力及举措,探讨大气污染治理技术的发展及要求。

**关键词** 环境污染;大气污染;污染治理

**中图分类号** X51

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.33.001

## An Overview on the Control of Urban Air Pollution

CHEN Guangren, ZHU Yehua

Science and Technology Review Publishing House, Beijing 100081, China

**Abstract** Ecological environment is the key condition to support human life and maintain sustainable development. Environment protection is not only the important issues of common concern to the whole world, but also an important share responsibility for human. Since the 18th century Industrial revolution, serious air pollution events have occurred in many countries around the world. In order to learn the lessons of the air pollution, and summary the experiences on the treatment of air pollution, the major air pollution events occurred and the treatment measures of air pollution in some countries around the world were introduced in the paper. The efforts for control the China's air pollution was also described. The developments and requirements on air pollution control were discussed.

**Keywords** environment pollution; air pollution; air pollution control

人类生活的自然环境可分为大气环境、水环境、土壤环境、地质环境、生物环境等。18世纪工业革命后,随经济社会飞速发展,环境污染问题逐步显现。20世纪下半叶,环境污染问题引发国际社会关注,环境保护事业提上日程,但至今未很好解决经济发展与环境保护二者兼得的问题。当前,环境污染仍是一场威胁人类生存与发展的全球性危机。

城市是人类活动高度集中的场地,也是环境污染的重灾区。本文遴选部分城市空气污染案例,介绍大气污染的经历及治理举措,简述中国大气污染治理的进展,探讨大气污染治理技术的发展及要求。

### 1 城市大气污染治理

#### 1.1 英国伦敦市

1813年,英国伦敦市首次出现重大空气污染记录案例。

1952年12月5—8日,伦敦出现极浓的灰黄色烟雾,4天时间死亡4000多人,2个月内有8000多人陆续死亡,发生“伦敦烟雾事件”<sup>[1]</sup>。

大气污染状况:伦敦位于英格兰东南部平原,跨泰晤士河。公元50年兴建城市,12世纪成为英格兰首都,16世纪随英国快速崛起而扩大,18世纪随工业革命和商业繁荣急速发展,19世纪初成为世界上最大的政治、经济、文化、科技中心,1900年人口增加到200万,20世纪60年代人口达到800万。伦敦空气湿润,多雨雾,特别是18世纪60年代英国发起以蒸汽机为动力、用机器代替手工的工业革命,大型火力发电厂、煤厂、化工厂林立,昼夜不停地燃烧煤炭,产生海量的二氧化硫和煤烟粉尘,长期烟雾笼罩,被称为“雾都”,在1873年、1880年、1882年、1891年、1956年、1957年、1962年发生12次严重大气污染事件<sup>[1]</sup>。

收稿日期:2014-10-10;修回日期:2014-11-18

作者简介:陈广仁,副编审,研究方向为科学技术哲学,电子邮箱:chenguangren@cast.org.cn

引用格式:陈广仁,祝叶华.城市空气污染的治理[J].科技导报,2014,32(33):15-22.

**环保法规体系:**伦敦烟雾事件致万人死亡,促使英国政府1953年成立比佛委员会专门调查烟雾事件成因,1954年发布《比佛报告》,确定伦敦大气污染的主要成因是燃烧煤炭而排放大量烟气。英国1954年成立英国清洁空气委员会负责监督空气污染的改善情况;伦敦市1954年出台《伦敦城法案》,禁止伦敦部分地区使用排放浓烟的煤炭;英国1956年颁布《空气净化法案》,提出禁止黑烟排放、升高烟囱高度等措施;1968年通过《污染控制法》,1970年成立环境部,1973年发布《机动车管理规定》,1974年颁布《烟气排放法》,1981年通过《汽车燃料法》,1989年实施《空气质量标准》,1990年推行《环境保护法》,1991年颁布《道路车辆监管法》,1993年修订《清洁空气法》,1995年实施《环境法》、《家庭节能法》,1997年实施《国家空气质量战略》,1999年颁布《污染预防和控制法案》,2007年公布《气候变化法案》,使伦敦大气污染治理的法律法规趋于完善。

**污染治理举措:**20世纪50年代,伦敦市开始推广使用清洁能源;1956年,开始大规模改造传统炉灶,逐步使用天然气,冬季集中供暖;1961年,在全国范围内建立健全大气监测网;20世纪60年代末,建立新城,疏散人口和工业企业,并且要求当地企业加高烟囱,将烟雾排放到更高的空域;20世纪70年代,伦敦市内改用煤气和电力,并把火电站迁出城外;20世纪80年代,伦敦街道上尝试使用钙基粘合剂吸附空气中的尘埃;2003年,伦敦市政对进入市中心的车辆征收“拥堵费”<sup>[1]</sup>。此后,通过全面推广市区扩建绿地、企业绿色评级、环保税收优惠,逐步摘掉了“雾都”的帽子。

**空气质量战略:**2003年,英国能源白皮书《我们能源的未来:创建低碳经济》提出2050年建成低碳社会,2004年提出《能效:政府行动计划》,2005制定《气候变化行动计划》、《英国可持续发展战略》,2006实施《低碳建筑计划》,2007年确定《退税与补贴计划》、《英国能效行动计划》,2008年落实《国家可再生能源计划》,2009年公布《低碳转型计划》,勾画出英国政府发展低碳经济的国家战略蓝图<sup>[2]</sup>。

**启示:**英国自13世纪就开始关注煤烟污染,伦敦1273年发布限制使用煤炭的命令<sup>[3]</sup>。但当时大气污染只在少数地方出现,污染物排放量较小,依靠自然环境的自净能力还可以缓解大部分污染。至18世纪末,工业革命使环境污染问题发生了质变,大气污染日益严重并成为公害,英国伦敦、曼彻斯特、谢菲尔德、格拉斯哥、利兹等大城市饱受数十年严重大气污染<sup>[4]</sup>。随着城市大气污染状况的不断恶化,英国越来越重视大气污染的防治,相应措施也更加科学和完善,表明人类对环境污染的科学认识及有效治理有一个发展过程。

## 1.2 芬兰坦佩雷市

20世纪上半叶,芬兰坦佩雷市的环境污染问题凸显,特别是空气质量很差,其中硫含量和颗粒物浓度相当高,雪落到地上很快变成暗灰色<sup>[5]</sup>。

**大气污染状况:**坦佩雷市位于芬兰西南部,兴建于1779年,在19世纪发展成芬兰最具工业化的城市,建有纺织、制

革、木材加工、机械、造纸等众多工厂,是芬兰的铁路枢纽和最重要的工业区之一,也是拥有20多万人口的北欧最大的内陆城市。进入20世纪,随着造纸等工业蓬勃发展,环境污染问题日益严峻。加之当时坦佩雷市居民主要靠烧柴取暖,工厂使用重油为燃料,造成严重的大气污染。

**环保法规体系:**芬兰1923年制定《自然保护法》,这是世界上最早的有关环境保护的法律之一。2000年3月,芬兰实施新的《环境保护法》,加强了对环境的预防性保护,还要求工厂企业采取有效措施节约能源,使用最新技术减少排放物,并明确规定了公民在环保方面应承担的义务<sup>[6]</sup>。

**污染治理举措:**坦佩雷市实施环境许可制度,工厂必须达到排放标准才能开工;工厂弃用重油,一律采用天然气作为燃料,民宅取消分散烧柴,纳入集中供暖;能源采用热电联产技术,发电同时生产热能;广泛采用核能、天然气、地热、太阳能、风能等新能源;改进城市交通规划,重工业搬离城区;大力发展和推广清洁技术<sup>[5]</sup>。

**启示:**经过半个世纪的努力,坦佩雷市从重污染区变身最宜居城市,形成了芬兰治理雾霾的“坦佩雷经验”。芬兰冬季气候寒冷,供暖耗能较大;能源紧缺,需要进口能源来满足需求;拥有造纸、钢铁等高耗能产业,且占比较高。这与中国中、北部地区有相似之处,对中国治理环境污染、实现可持续发展有很好的借鉴意义。

## 1.3 比利时马斯河谷

1930年12月1日,比利时马斯河谷工业区弥漫具有强烈刺激性的烟雾。至第3天,河谷地段数千居民出现流泪、喉痛、声嘶、咳嗽、呼吸短促、胸口窒闷、恶心、呕吐等症状,有63人死亡,是同期正常死亡人数的10.5倍,被污染者出现严重后遗症,发生“马斯河谷烟雾事件”<sup>[6]</sup>。

**大气污染状况:**马斯河谷是比利时马斯河流域一段长24 km的狭长盆地,两侧有百米的高山对峙。当时马斯河谷地区建有3个炼油厂、3个炼钢厂、3个炼锌厂、4个玻璃厂,还有发电厂、硫酸厂、化肥厂、炼胶厂和石灰窑炉,是比利的一个重要工业区。由于工厂持续排放的二氧化硫、三氧化硫混合烟雾在空气中无法扩散,大气中有害气体在近地表层累积,加之在马斯河谷出现逆温层,导致重大空气污染。

**环保法规体系:**1930年马斯河谷烟雾事件发生后,比利时颁布《反对大气污染法》等法律法规;1979年,联合国欧洲经济委员会主导缔结《远距离越境空气污染条约》;1999年,欧洲国家、美国和加拿大共同签署《哥德堡协议》。

**污染治理举措:**通过提高环保标准、淘汰落后企业、采用先进技术改造传统产业、大力发展对外贸易等服务业等举措优化发展方式;对工业生产进行限制,将烧木炭改烧天然气,改良汽车发动机,采用硫含量更低的汽油,减少公共建筑取暖,实行免费公共交通,鼓励绿色出行;与欧洲其他国家签署协议,为硫、氧化氮、挥发性有机化合物和氨等设定相关排放上限<sup>[7]</sup>。

**启示:**马斯河谷环境污染问题,在19世纪末凸显,经过治

理,至20世纪中叶才逐步缓解。而且马斯河谷环境污染事件不是个例,比利时各地20世纪上半叶陆续发生大小空气污染事件。通过跨区域合作治理雾霾、及时调整政策漏洞,比利时各项污染物排放总量自1990年逐年减少,空气质量逐渐改善。

#### 1.4 美国洛杉矶市

1943年5—10月,美国洛杉矶市中心空气弥漫淡蓝色烟雾,使人的眼睛和喉咙产生难以忍受的刺痛之感,造成400多人因呼吸系统衰竭而死亡,发生“洛杉矶光化学雾霾事件”<sup>[8]</sup>。

大气污染状况:美国洛杉矶市位于美国加利福尼亚州西南部,1781年建镇,1850年建市,19世纪末成为一座特大城市,现为美国第二大城市及最大的海港,也是美国石油化工、海洋、航天工业和电子业的最大基地。洛杉矶市金矿开采、石油化工、进出口贸易十分发达。第二次世界大战爆发后,洛杉矶的飞机制造等军事工业迅猛发展。1943年,洛杉矶市拥有约160万人口、250万辆汽车,由于汽车汽油燃烧不充分、漏油、挥发和尾气排放,每天有1000多t石油烃废气、一氧化碳、一氧化氮、二氧化硫、碳化氢和铅烟排入洛杉矶上空,加之炼油厂、供油站等其他石油燃烧排放,这些化合物在强烈阳光照射下,与空气中其他成分发生化学反应而产生刺激性很强的淡蓝色光化学烟雾。由于洛杉矶坐落在三面环山、一面临海的盆地,烟雾久久不散。1939—1943年,洛杉矶逐渐变成“美国的烟雾城”。1955—1970年,洛杉矶发出光化学雾霾一级警报80余次<sup>[8-10]</sup>。

环保法规体系:洛杉矶市1945年2月成立空气污染控制办公室,并颁布禁止排放浓雾的法令,1947年4月15日成立空气污染控制局;美国1955年设立空气质量研究中心,1955年通过美国第一部统一的空气立法——《空气污染控制法》,1963年12月17日颁布的《洁净空气法》规定了联邦机构和各州合作处理空气污染的具体办法,1965年实施的《机动车污染控制法》规定了汽车尾气排放标准,1966年颁布《国家交通和汽车安全法》,1967年实施《空气质量控制法》,1968年通过《小汽车排气标准法》,1969年成立总统咨询机构——美国环境质量委员会,1969年12月30日通过修订的《美国国家环境政策法》,1970年12月2日成立美国国家环境保护局,1970年12月31日颁布《清洁空气法》,1971年发布《国家环境空气质量标准》;加利福尼亚州1977年建立南海岸空气质量管理局;美国国会1979年通过《清洁空气法(修正案)》,确立了最小脱硫效率、最大SO<sub>2</sub>排放量评价标准;加利福尼亚州1988年实施《加利福尼亚州洁净空气法》;美国国家环境保护局1997年设立专门针对大气PM<sub>2.5</sub>含量的监测站点及空气质量标准。

污染治理举措:加利福尼亚州1953年开始推广空气污染控制技术,20世纪60年代率先实行减少汽车尾气排放措施,20世纪70年代建立世界上首个区域空气污染排放交易机制,1975年要求所有汽车配备催化转化器,20世纪70—80年代鼓励以甲醇和天然气取代汽油,1987年通过汽车公乘计划,1988年成立技术进步办公室帮助企业发展低排放或者零排

放技术。配合强有力的民意支持,美国通过制定严格的空气质量标准和污染治理政策,建立跨区域治理机构,促进产业结构调整 and 区域经济发展,鼓励清洁能源和可再生能源的开发和利用,发展公共交通,减少汽车用量,做好城市规划,提倡居家节能等一系列重要举措,逐步消解了危机四伏的大气污染问题<sup>[8-10]</sup>。

启示:20世纪下半叶,随生态危机的加剧,美国公众的环境保护意识空前觉醒,环保运动风起云涌。这一草根行动标志着美国绿色文化主流地位的确立,并促使美国政府加强了环境污染治理。

#### 1.5 美国多诺拉镇

1948年10月26—31日,美国宾夕法尼亚州多诺拉镇遭遇逆温及大雾,二氧化硫及其它氧化物与大气烟尘共同作用,生成硫酸烟雾,在近地面处积聚,形成了一个封闭的“烟雾室”,空气中弥漫刺鼻的二氧化硫气味,5天内有5911人生病,症状为喉痛、咳嗽、呕吐、腹泻,其中17人很快死亡,导致“多诺拉杀人雾事件”<sup>[11]</sup>。

大气污染状况:多诺拉镇坐落在孟农加希拉河的一个马蹄形河湾内侧,两边高约120 m、坡度为10%的山丘把小镇夹在山谷中,当时有1.4万多居民。随着匹兹堡市及邻近城镇的发展,工厂如雨后春笋般在多诺拉镇拔地突起,成为硫酸厂、钢铁厂、炼锌厂的集中地。这些工厂持续排放巨量有毒有害气体及金属微粒,在无风、逆温等情况下聚集在山谷中积存不散,导致重大空气污染事件。

污染治理举措:多诺拉大气污染事件发生后,美国联邦公共卫生局、宾夕法尼亚州卫生局联合调查,发现污染事件是由于空气污染积累到了非常严重的程度而造成的。而此后迎来的一场大雨才缓解了空气严重污染问题。由于当时对环境污染问题尚缺乏认识,当地工厂排放二氧化硫等有毒有害气体及金属微粒的问题未得到缓解,致使10年后,多诺拉镇的死亡率仍比其他相邻镇高出许多。

启示:亡羊补牢犹未为晚,置若罔闻贻害无穷。重视环境污染问题、在保护环境前提下促进经济发展才是负责任的社会发展方式。

#### 1.6 日本北九州市

20世纪50—60年代,日本北九州市大型工厂林立,钢铁厂的红烟及黑烟、发电厂的灰烟等笼罩天空,加之水污染、建设工地污染等,使北九州市上空“七色烟”遮天蔽日,创下日本月降尘量最高纪录,当地呼吸器官疾病患者人数明显增多,导致“北九州市七色烟污染事件”<sup>[12]</sup>。

大气污染状况:北九州市位于日本九州岛的最北端,是日本主要的港口城市,煤炭资源丰富,在20世纪60年代成为日本四大重工业基地之一。随煤炭、钢铁、水泥、机械、造船、化工、陶瓷、食品加工等工业迅速发展,烟尘、二氧化硫等造成的大气污染日益严重。1963年,北九州市日平均降尘量为19.5 kg/km,硫氧化物浓度日均为0.82 mg/100 cm。1969年曾拉响烟雾警报,成为日本第一座发布烟雾警报的城市,被联

联合国认定为世界500座环境危机城市之一。

环保法规体系:日本1962年制定《煤烟排放规制法》,1964年出台《烟尘限制法》,1967年颁布《公害对策基本法》;1967年与企业签署防止公害协议,通过立法规定企业和公众的“排放者责任原则”和“延伸生产者原则”;1971年,北九州市先于日本政府成立地方环保局,拟定比日本环保法律规定更为严格的《北九州市公害防止条例》;日本1997年批准《北九州生态工业园区规划》。

污染治理举措:改善工业生产方式,改善燃料种类,制定二氧化硫排放量削减目标,要求新建燃煤、燃油设施必须安装电器除尘器、脱硫设备、污水处理设备等环保减排装置,并对旧工业生产设施进行环保达标改造,指定专家对燃煤、燃油设施进行检测,对管理者进行技术指导,并在市民中宣传环境保护思想<sup>[13,14]</sup>。

启示:政府与企业通力合作防治污染,利用技术优势开展环保项目国际交流合作,注重培育循环经济,通过建立完善的垃圾分类回收资源再利用系统,使环保产业成为北九州市重要的支柱产业,废弃物利用、新能源、污水处理、智能电网等新型环保产业已形成产业集群和产业优势。

### 1.7 日本四日市

1955—1972年,日本四日市居民呼吸道疾患聚增,尤其是哮喘病的发病率大大提高,酿成四日市哮喘病事件<sup>[15]</sup>。

大气污染状况:四日市位于日本伊势湾海岸,是日本重要的交通枢纽,也是日本石油化工、钢铁机械、陶瓷制造、精密仪器、运输器材、家具服装、食品加工、造纸工业重镇。特别是,1955年建成第一家炼油厂后,相继兴建3座石油化工联合企业及三菱石化等十余个大型石化工厂和100余个中小企业,成为日本石油化工联合企业基地,石油冶炼和工业燃油产生大量的重金属微粒、硫氧化物、碳氢化物、氮氧化物和飘尘等污染物,使日本四日市终年黄烟弥漫。大气中二氧化硫浓度超过标准5~6倍,烟雾厚达500 m。四日市居民长年累月呼吸肮脏的空气,很多人形成支气管哮喘、慢性支气管炎、哮喘性支气管炎、肺气肿等呼吸系统疾病,被统称为“四日市哮喘”。1961年四日市哮喘大发作。1964年连续3天烟雾不散,气喘病患者开始死亡。1972年,四日市哮喘患者达817人,死亡超过10人。后来,由于日本各大城市普遍烧用高硫重油,致使四日市哮喘病蔓延全国,千叶、川崎、横滨、名古屋、水岛、岩国、大分等几十个城市哮喘病大规模爆发。据日本环境厅统计,至1972年,日本全国患四日市哮喘病的患者达6376人<sup>[15]</sup>。

环保法规体系:日本1965年建立大气环境连续监测站,1967年颁布《公害对策基本法》,1968年通过《大气污染防治法》;1969年制定二氧化硫环境标准值,在全世界首次对硫氧化物进行“总量限制”;1970年制订《大气环境质量标准》,1974年施行《公害健康被害补偿法》。

污染治理举措:针对主要的污染物质,通过立法采取行之有效的限排措施。各地及企业采取更换燃料、节省能源、

产业结构转型、排烟脱硫等措施,促使污染物大幅减少。

启示:日本治理污染的整个过程中,民间公害诉讼发挥了重要推动作用,它以巨额损害赔偿倒逼政府、企业重视污染治理,敦促污染控制立法及实施。

### 1.8 德国鲁尔区

1962年12月,德国鲁尔工业区因二氧化硫超标(浓度高达5000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),发生严重雾霾,直接造成150多人死亡,拉开了德国“雾霾期”的序幕<sup>[16]</sup>。

大气污染状况:德国鲁尔工业区位于德国西部,形成于19世纪中叶,以采煤工业起家,逐步建成煤炭、钢铁、电力电气、石油化工、机械制造、造船建材等轻重工业重镇,被称为“德国工业的心脏”,也成为世界重要的工业区。20世纪50年代始,德国鲁尔工业区因工业生产,排放大量的烟尘、二氧化硫、二氧化碳、一氧化碳、有毒烟尘微粒和臭氧等,使空气污染严重到汽车无法通行、呼吸感觉肺疼的程度,树木都被煤灰粉尘染成黑色。1964年,空气中二氧化硫浓度约为205  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;1985年1月18日,雾霾笼罩德国鲁尔工业区,空气中 $\text{SO}_2$ 浓度超过1800  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,空气中弥漫刺鼻的煤烟味,能见度极低,“雾霾危机”致使2400人死亡,19500人患病住院<sup>[16]</sup>。

环保法规体系:1964年,德国北威州颁布《雾霾法令》,以应对鲁尔区雾霾危机;1971年,大气污染治理首次纳入联邦德国的政府环保计划;德国1974年出台《联邦污染防治法》,制定大型工业企业污染排放标准;1979年签署《关于远距离跨境空气污染的日内瓦条约》,1995年通过《排放控制法》,1996年《循环经济与废弃物法》正式生效,1999年加入《哥德堡协议》;2005年颁布《联邦控制大气排放条例》,对200多种有害气体的排放制定了标准。

污染治理举措:德国政府推行200多项“空气清洁与行动计划”,减少颗粒物的排放,强化降污技术应用;在城市设立“环保区”、“自然保护区”;制订恰当的产业、税收、补贴政策,改造传统产业,扶持能源消耗少、科技含量高的新兴产业发展;制订应急机制,应对可能出现的严重污染;采用汽车安装微粒过滤装置、开发高效发动机、研究新型火电厂除尘技术等减少排放;通过设定机动车排放标准、严格设立大型锅炉和工业设施的排放标准等建立长效机制。注重民众环保宣传教育,提倡环保人人有责、从我做起,鼓励使用节能家电,坚持绿色出行;提倡工厂自觉减少排污,农户发展生态农业等<sup>[17,18]</sup>。

启示:“雾霾危机”是德国环境、能源和交通政策多年疏忽的结果。经历惨痛教训后,德国开始采取强硬手段治理雾霾,以“节能减排”为核心的理念及举措影响了德国工业发展走向,促进德国在清洁发动机、电动汽车等环保工业技术方面居于世界领先地位。

### 1.9 日本东京市

1970年7月8日,日本东京发生光化学烟雾和二氧化硫废气重大污染事件,近2万人患红眼病<sup>[19]</sup>。

大气污染状况:东京位于日本本州岛东部,1192年建城,

1868年成为日本首都,是日本的政、经、文化中心及交通枢纽,钢铁、造船、机器制造、化工、电子、皮革、电机、纤维、石油、出版印刷和精密仪器等工业发达。1962年东京人口突破1000万。进入20世纪70年代,高速经济增长的负面影响日益明显,东京的空气污染、水污染、噪音污染等环境问题日趋严重,多次发生重大光化学污染事件,成为世界上大气污染最严重的城市。特别是,日本对248个城市O<sub>3</sub>、氧化硫、氧化氮监测发现,70%不符合环境标准。光化学烟雾腐蚀性大,接触会产生流泪、咳嗽、喉疼以至胸疼、呼吸困难、四肢痉挛、昏倒不起,1970—1973年受害人数达11万人<sup>[19]</sup>。

**环保法规体系:**日本1970年召开“公害国会”,成立环境污染控制中央委员会,并制订、修订《大气污染防治法》等14项有关环境的法律及标准,特别是,修改《公害对策基本法》,删除1967年版中“维护生活环境要与经济发展相协调”的条目,确定了“环境优先”原则;1971年通过《环境保护法》、《恶臭防治法》、《关于在特定工厂整顿防治公害组织法》,并建立日本环境厅,开始发布年度《环境白皮书》公布环境标准实行情况;1992年出台《汽车NO<sub>x</sub>法》,1993年11月19日颁布《环境基本法》,2000年修订《关于确保国民健康和安全的环境条例》;2001年日本环境厅升格为环境省,并出台《汽车NO<sub>x</sub>·PM法》,2009年制定PM<sub>2.5</sub>环境标准。

**污染治理举措:**建立政府—企业—公众一体化大气污染管理体制,即中央政府制定环境政策和法律,提出大气污染控制标准,并提供资金用于环境监测建设,地方政府根据总控标准与企业缔结公害防治协议,社会公众积极参与到企业的公害防治协议中,增强大气污染防治的社会管理能力;强化污染源治理措施,针对固定污染源,通过政府与企业之间的协定,企业采取脱硫和脱氮技术减少二氧化硫和氮氧化物的排放量。针对移动污染源,则通过更新汽车能源,鼓励机动车制造商开发和生产低排放量汽车的方式;切实加强城市绿化;建立大气污染物监视系统;积极开发核电、天然气等清洁能源。

**启示:**日本东京采用先进的清洁生产工艺、减少废弃物的排放,大力发展轨道交通、治理汽车尾气污染,兴建屋顶花园和墙上“草坪”、吸附空中粉尘,建立公众参与机制、营造重视环保的氛围等举措,对大型城市治理空气污染具有很强的可行性和借鉴性。

#### 1.10 加拿大萨德伯雷市

20世纪70年代,加拿大萨德伯雷市几成不毛之地,被称为“月球一般荒凉的城市”<sup>[20]</sup>。

**大气污染状况:**萨德伯雷市位于加拿大安大略省东北部萨德伯雷盆地。19世纪初至80年代中期,当地滥伐原始森林对环境造成了极大破坏。19世纪80年代,萨德伯雷发现了与铜共生的硫矿石和世界上最大的镍矿。随硫矿、铜矿、镍矿的开采、冶炼及相关制造业的兴起,萨德伯雷成为世界上最大的矿业中心之一和加拿大的重要工业城市之一,但也

使其环境破坏达到了高峰。从炼矿炉中散发出的含有Cu、Ni、Fe和其他金属微粒的酸性烟雾在120 km以外都能看到,硫化物污染扩散到了1000 km以外。SO<sub>2</sub>使土壤酸化,重金属污染环境,并直接危及居民健康<sup>[20]</sup>。

**环保法规体系:**1967年,加拿大安大略省政府通过了大气污染法案,制定了废气排放标准和空气污染指数标准;1973年,萨德伯雷市政府成立绿化顾问指导委员会。

**污染治理举措:**加拿大政府采取强制手段,关闭废气排放量超标的冶炼厂;矿业公司建立环保科研机构,设法减少废气排放。萨德伯雷市政府推行经济多样化,不再局限于镍矿开采;1978年启动土地改良工程;萨德伯雷市民开始行动,通过绿化治理被污染的环境。1991年,萨德伯雷被评为加拿大最适合人类居住的十大城市之一。

**启示:**发展经济与环境保护不矛盾;企业的作用不可忽视;培养公民的环保意识十分重要;环境治理与保护需要长期努力。

#### 1.11 墨西哥城

1985年12月至1986年1月,墨西哥城发生严重烟雾污染事件<sup>[21]</sup>。

**大气污染状况:**墨西哥城位于墨西哥中部高原盆地,是墨西哥合众国的首都,也是世界上人口排第5位、海拔最高的都会区,集中了全国约1/2的工业、商业、服务业和银行金融机构,是全国的政治、经济、文化和交通中心,建有炼油、水泥、化肥、农药、沥青、纤维素、硫酸、有色金属等3万多家工厂,人口达1800多万,有30万辆汽车运行。20世纪80年代始,墨西哥城的空气污染愈发严重,一度成为世界上空气污染最严重城市之一,被形容为“鸟儿飞着飞着就从空中坠亡了”<sup>[21]</sup>。1992年,墨西哥城平均每年有90%的天数达不到“空气质量标准”,被联合国评为“全世界空气污染最严重的城市”,空气污染引发的肺癌成为墨西哥人的头号大敌<sup>[22]</sup>。

**环保法规体系:**20世纪80年代末,墨西哥政府出台《生态平衡与环境保护法》,对墨西哥城实施《反污染总体规划》。2012年6月5日,墨西哥签署《气候变化法》。

**污染治理举措:**墨西哥城市政府建立大气污染自动监测系统,制定两级大气紧急处置方案;搬迁25家大气污染物排放量大的工厂;更换尾气排放严重的老旧车辆,使用无铅汽油和天然气等清洁能源,并设置200个检查站,监视汽车的保养状态;发展公共交通,实施车辆限行措施,征收高额汽油税;加大与环境保护和新能源开发相关的科研投入,增加城市植被面积;设置41个监测站对大气中CO、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>等进行观测,完善空气质量监测及信息公开。

**启示:**墨西哥城曾被誉为“阳光城”,是世界著名旅游地之一。由于工业污染、人口膨胀,使旅游胜地也未幸免大气污染的危害。通过立法承诺减排、鼓励退耕还林、发展清洁能源、加强环保教育,在环境治理方面取得了不小成就,值得发展中国家学习和借鉴。

## 2 中国大气污染治理

### 2.1 大气污染情势

1998年,世界卫生组织(WHO)发布《全球272个低空气质量城市》报告,乌鲁木齐、临汾、兰州被列为中国空气污染最严重的城市<sup>[23]</sup>。中国2000年监测的338个城市中,63.5%的城市超过国家空气环境质量二级标准,处于中度或严重污染状态;区域性酸雨污染严重,61.8%的南方城市出现酸雨,酸雨面积占国土面积的30%,是世界三大酸雨区之一<sup>[24]</sup>。

2005年5月25日,国家环境保护总局发布《2004中国环境状况公报》,2004年监测的342个城市中,空气质量为三级的城市有141个,劣于三级的城市有69个,暴露于未达标空气中的城市人口占统计城市人口的66.9%,人口超过百万的特大型、超大型城市,空气中主要污染物二氧化硫和颗粒物超标比例最高,空气质量达标比例低<sup>[25]</sup>。2010年,中国二氧化硫、氮氧化物排放总量分别为2267.8万t、2273.6万t,位居世界第一,烟粉尘排放量为1446.1万t,均远超出环境承载力<sup>[26]</sup>。2013年1月14日,亚洲开发银行发布《迈向环境可持续的未来——中华人民共和国国家环境分析》,指出中国最大的500个城市中,达到世界卫生组织推荐的空气质量标准的不到1%;世界上污染最严重的10个城市,有7个在中国<sup>[27]</sup>。

2014年6月4日,中国环境保护部发布《2013中国环境状况公报》,按新版《环境空气质量标准》,2013年全国74个重点城市空气质量仅海口、舟山、拉萨3个城市达标;中国气象局基于能见度的观测结果表明,2013年全国平均霾日数为35.9天,比2012年增加18.3天,为1961年以来最多,其中中东部地区雾和霾天气多发,华北中南部至江南北部的大部分地区雾和霾日数范围为50~100天,部分地区超过100天<sup>[28]</sup>。中国环境保护部数据中心公布的数据显示,监测的161个城市中,2014年11月18日空气质量为“优”的5.0%，“良”占46.5%，“轻度污染”占31.7%，“中度污染”占14.9%，“重度污染”占1.9%<sup>[29]</sup>。表明中国城市大气污染状况总体恶化的趋势尚未得到遏制,部分区域和城市大气灰霾现象突出,环境矛盾凸显,压力继续加大。

### 2.2 环保法规体系

1957年6月,国务院发布《关于注意处理工矿企业排出有毒废水、废气问题的通知》,掀起了中国加大工业污染防治的大幕。

1973年8月5—20日,国务院召开首次全国环境保护会议,制定《关于保护和改善环境的若干规定(试行草案)》,这是中国第一部关于环境保护的综合性法规;中国1973年11月颁布首个环境标准《GB J4—73 工业“三废”排放试行标准》;1974年10月25日,国务院环境保护领导小组成立,标志着中国环境保护机构的诞生;1978年3月5日通过的《中华人民共和国宪法》,明确“国家保护环境和自然资源,防治污染和其他公害”;1979年9月13日颁布《中华人民共和国环境保护法(试行)》;1982年颁布首个空气质量标准《GB 3095—82 大气环境质量标准》;1982年3月,中国组建城乡建设环境保

护部,内设环境保护局。表明中国环保法规体系趋于成熟。

1983年12月31日至1984年1月7日,国务院召开第二次全国环境保护会议,宣布把环境保护作为中国的一项基本国策;1984年12月,环境保护局升级为国家环境保护局;1987年9月5日颁布《中华人民共和国大气污染防治法》,确定了以工业点源治理为重点、防治煤烟型污染为主的大气污染防治基本方针;1989年9月11日正式加入《保护臭氧层维也纳公约》;1989年12月26日施行《中华人民共和国环境保护法》;1990年6月27日缔约《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》;1990年12月,国务院环境委员会通过《关于控制酸雨发展的意见》;1991年实施《燃煤电厂大气污染物排放标准》,对电厂SO<sub>2</sub>排放实行总量控制;1992年6月11日签署《联合国气候变化框架公约》;1995年8月,全国人大常委会通过新修订的《中华人民共和国大气污染防治法》。表明中国环境立法日趋健全,大气污染治理走向国际化。

中国1996年出台《GB 3095—1996环境空气质量标准》、《GB 13223—1996火电厂大气污染物排放标准》、《GB 16297—1996大气污染物综合排放标准》;1997年10月1日修订、生效的《中华人民共和国刑法》第6章第6节规定了“重大环境污染事故罪”;1998年1月,国务院批准《酸雨控制区和二氧化硫控制区划分方案》;中国1998年5月29日签署《京都议定书》,2000年9月1日施行《中华人民共和国大气污染防治法》,2002年6月通过《中华人民共和国清洁生产促进法》;2005年12月3日,《国务院关于落实科学发展观加强环境保护的决定》明确提出要“促进地区经济与环境协调发展”,首次提出在一定的地区“坚持环境优先”、“保护优先”;中国2006年颁布《生态环境状况评价技术规范(试行)》,2007年发布《环境空气质量监测规范(试行)》,2007年修订《节约能源法》,2008年设置环境保护部,2009年1月1日实施《循环经济促进法》,2012年颁布《环境空气质量标准》。随环境保护的法律法规体系日益完善,中国大气污染防治迈上新台阶。

中国2014年4月24日修订发布、2015年1月1日正式施行的《中华人民共和国环境保护法》,确立了“经济社会发展与环境保护相协调”的环境优先思想,成为中国环境立法史上的又一里程碑,也对经济发展、节能减排、污染治理提出了更高的要求。

### 2.3 污染治理规划

1992年8月,中共中央、国务院批准中国环境与发展的纲领性文件《环境与发展十大对策》,明确实行可持续发展战略,要求采取有效措施防治工业污染,认真治理废气、废水、废渣、噪声“四害”污染,深入开展城市环境综合整治。1993年1月,国务院批准《中国逐步淘汰破坏臭氧层物质的国家方案》;1993年9月,国务院批准《中国环境保护行动计划(1990—2000年)》。

1994年3月25日,国务院第10次常务会议通过《中国21世纪议程》,明确指出:“通过高消耗追求经济数量增长和‘先污染后治理’的传统发展模式已不再适应当今和未来发展的

要求,而必须努力寻求一条人口、经济、社会、环境和资源相互协调的、既能满足当代人的需要而又不满足后代人需求的能力构成危害的可持续发展的道路。”促进环境保护、实施可持续发展战略成为国民经济和社会发展的基本指导方针。随后,国家环境保护局发布《中国环境保护 21 世纪议程》,明确了工业污染防治、城市环境保护、大气环境保护等的行动计划。

1996年9月3日,国家环境保护总局、国家计划委员会、国家经济贸易委员会编制《国家环境保护“九五”计划和2010年远景目标》,提出大气污染防治为重点,投资2080亿元,占环境保护总投资的46%<sup>[30]</sup>。

2001年12月30日,国家环境保护总局会同国家计划委员会、国家经济贸易委员会、财政部编制《国家环境保护“十五”计划》,提出把削减工业污染物排放总量作为工业污染防治的主线,实施工业污染物排放全面达标工程,促进产业结构调整 and 升级;强化城市环境的综合治理,重点解决水污染、大气污染和垃圾污染,使大中城市的环境质量有明显改善。

2005年12月26日,国务院印发《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》,将生态与环境保护列为重点领域之一,要求实施区域环境综合治理,开展流域水环境和区域大气环境污染的综合治理、典型生态功能退化区综合整治的技术集成与示范,开发生态与环境监测和预警技术,大幅度提高改善环境质量的科技支撑能力。

2007年11月22日,国务院首次印发环境保护专项规划——《国家环境保护“十一五”规划》,提出确保实现二氧化硫减排目标、综合改善城市空气环境质量、加强工业废气污染防治、强化机动车污染防治、控制温室气体排放,防治大气污染。

2011年12月15日,国务院印发《国家环境保护“十二五”规划》,明确要求加大二氧化硫和氮氧化物减排力度,实施多种大气污染物综合控制,推进城市大气污染防治。

2012年12月5日,环境保护部、国家发展与改革委员会、财政部印发《重点区域大气污染防治“十二五”规划》,确定了京津冀、长江三角洲、珠江三角洲等区域47个城市大气污染联防联控规划。

2013年9月10日,国务院发布“大气污染防治行动计划”,提出经过5年努力,全国空气质量总体改善,重污染天气较大幅度减少;京津冀、长三角、珠三角等区域空气质量明显好转。力争再用5年或更长时间,逐步消除重污染天气,全国空气质量明显改善。到2017年,全国地级及以上城市可吸入颗粒物浓度比2012年下降幅度超过10%,优良天数逐年提高;京津冀、长三角、珠三角等区域细颗粒物浓度分别约下降25%、20%、15%,其中北京市细颗粒物年均浓度控制在约60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ <sup>[31]</sup>。

2013年9月12日,国务院确定《大气污染防治行动计划》10项措施:1)加大综合治理力度,减少多污染物排放;2)调整优化产业结构,推动产业转型升级;3)加快企业技术改造,

提高科技创新能力;4)加快调整能源结构,增加清洁能源供应;5)严格节能环保准入,优化产业空间布局;6)发挥市场机制作用,完善环境经济政策;7)健全法律法规体系,严格依法监督管理;8)建立区域协作机制,统筹区域环境治理;9)建立监测预警应急体系,妥善应对重污染天气;10)明确政府企业和社会的责任,动员全民参与环境保护<sup>[32]</sup>。

国家及部门制定、发布的环保规划、计划,既对全社会开展环保工作具有指导作用,也对科技研发人员开展科技创新具有导向作用。

### 3 大气污染治理技术前瞻

环境科学与工程旨在研究人类社会经济系统与环境系统之间的相互作用规律,调控二者之间物质、能量、信息的交换过程,寻求解决环境污染问题的途径和方法。其中,大气环境科学与技术重在研究大气物理、大气化学、大气污染控制等基础理论,利用大气环境探测、监测、模拟等技术,研发粉尘及细微颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、Hg、VOCs排放控制技术,室内空气净化技术、温室气体减排技术、区域大气复合污染防治技术,通过科技进步促进大气环境保护的跨越式发展,实现节能减排,改善大气环境质量。

中国环境科学与工程发轫于20世纪70年代中后期,在20世纪80—90年代得到快速发展,目前已在部分核心技术研发上取得显著进展,大气污染防治产业初具规模,大气污染防治工作正快速向区域化方向发展,支撑了国家超额完成全国化学需氧量与SO<sub>2</sub>减排的约束性指标。

中国环境保护的战略目标是环境质量的全面改善和生态系统的完整与稳定,促进环境保护与经济社会的高度融合,提高国家可持续发展能力。在2020年,要实现主要污染物排放得到有效控制,生态环境质量明显改善;2030年实现污染物排放总量得到全面控制,生态环境质量显著改善;到2050年,实现生态环境质量全面改善,生态系统健康稳定,人体健康得到充分保障<sup>[33]</sup>。

然而,当前中国大气污染恶化的趋势尚未得到有效遏制,大气污染防治的技术体系和管理理念与发达国家还有很大差距。因此,中国大气环境科学技术亟须进一步推进大气污染防治基础理论与决策支撑技术、区域性大气复合污染关键控制技术、潜在/新兴城市群空气质量改善综合技术、燃煤烟气污染排放控制技术、工业窑炉和工艺过程排放控制技术、交通运输源排放污染控制技术、温室气体协同减排及资源化利用技术、室内空气净化技术、大气环境监测技术的研发,以适应社会经济的需求,满足国家发展的需要。

特别是,城市群大气复合污染将是中国今后40—50年经济快速增长对人体健康和社会发展具有直接影响的重大环境问题,其中对大气中细粒子和氧化剂的形成及其复合污染过程的认识与控制是核心任务。因此,第一阶段主要发展针对大气细粒子和氧化剂的监测及表征技术,同时探明细粒子和氧化剂形成的主控因子及其交互作用机制;第二阶段重点

针对区域大气环境的变化特征,发展细粒子和氧化剂的系统控制的关键与集成技术,建立大气环境质量的预测预报方法体系<sup>[34]</sup>。

#### 4 结论

1) 西方经济发达国家在工业化进程中,由于对环境保护缺乏认识,在取得经济发展的同时,付出了环境污染的重大代价。一些发达国家和城市现已有能力显著改善空气质量,其主要经验是合理的法规、严格的标准、科学的方案、有效的监督的成功结合。

2) 发展中国家目前正面临20世纪中叶以来发达国家所经历的几乎同样严重的空气污染问题。亟须摒弃“先污染,后治理”的错误理念,走绿色发展、可持续发展之路。

3) 中国应充分认识发达国家经历的环境污染的教训,借鉴其成功治理环境污染的经验,秉持环境保护优先的理念,制定更为科学、严格的法律法规体系,积极开发利用新能源、新技术,淘汰能耗大、污染重的产能,促进产业升级换代,切实贯彻、落实节能减排的指标要求。

4) 中国在20世纪80年代城镇化率达到25%,已进入城市化的中期快速发展阶段,至2020年城市化率将达到55%,2030年将达到65%,2050年将达到70%以上。在城市化进程中,城市生态环境面临巨大压力,亟须科学规划城市建设、切实落实节能减排、全民参与环境保护。

5) 环境污染的根源是经济发展方式落后、社会运行管理粗放、能源环境消耗较大。而科技进步对治理环境污染、实现绿色发展具有重要支撑作用。因此,科技研发人员应肩负起提高创新质量、促进产业升级、提升环保水平、实现绿色发展的重任。

#### 参考文献 (References)

[1] 烟雾致死上万人雾都伦敦与雾霾天气的战斗史[EB/OL]. (2013-02-08). [http://www.chinadaily.com.cn/hqpl/yssp/2013-02-17/content\\_82739032.html](http://www.chinadaily.com.cn/hqpl/yssp/2013-02-17/content_82739032.html).

[2] 英国伦敦雾霾治理措施与启示[EB/OL]. (2014-03-03). <http://scitech.people.com.cn/n/2014/0303/c376843-24514293.html>.

[3] 梅雪芹. 工业革命以来英国城市大气污染及防治措施研究[J]. 北京师范大学学报: 人文社会科学版, 2001(2): 118-124.

[4] 赵长春. 芬兰环保状况全球最佳[EB/OL]. (2005-01-29). [http://news.xinhuanet.com/world/2005-01/29/content\\_2522865.htm](http://news.xinhuanet.com/world/2005-01/29/content_2522865.htm).

[5] 李骥志, 张璇. 芬兰治理雾霾的“坦佩雷经验”[N]. 参考消息, 2014-02-24.

[6] 许庸. 比利时马斯河谷烟雾事件[J]. 环境导报, 2003(15): 20.

[7] 昝蓉. 比利时治霾胜在跨国合作[EB/OL]. 参考消息, 2014-02-27.

[8] 洛杉矶、伦敦、巴黎等城市治理雾霾与大气污染的措施与启示[EB/OL]. (2014-03-03). <http://scitech.people.com.cn/n/2014/0303/c376843-24514255.html>.

[9] 美国洛杉矶治理雾霾措施与启示[EB/OL]. (2014-03-03). <http://scitech.people.com.cn/n/2014/0303/c376843-24514288.html>.

[10] 薛颖. 洛杉矶治霾为何用了几十年[N]. 科技日报, 2014-02-24.

[11] 安禾生. 1948年美国多诺拉烟雾事件[J]. 环境, 2005(4): 78-79.

[12] 石慧. 从“七色烟城”到生态之城——日本北九州环境治理之路[N]. 中国环境报, 2013-11-05.

[13] 蓝建中. 日本治理污染的“北九州奇迹”[EB/OL]. 参考消息, 2014-02-26.

[14] 周呈思, 杨萍. 北九州的“劫”与“生”——一座重工业城市如何实现了产业转型与环境治理的双赢[EB/OL]. (2013-02-20). <http://www.zcom.com/article/98493>.

[15] 不可以牺牲环境为代价发展经济——回眸1961年的日本四日市哮喘事件[EB/OL]. (2003-07-11). <http://www.people.com.cn/GB/paper2515/9528/880813.html>.

[16] 德国坚持实行统一欧盟排放标准[EB/OL]. (2014-02-11). <http://www.chinairn.com/news/20140211/111006560.html>.

[17] 德国如何还鲁尔区一片蓝天[EB/OL]. 参考消息, 2014-02-25.

[18] 张庆阳, 沈海滨. 国外如何根治雾霾天气的“元凶”[J]. 世界环境, 2014(2): 64-69.

[19] 陈强. 世纪之殇: 日本史上的大气污染[N]. 羊城晚报, 2013-03-30.

[20] 王卫红. 从月球般的荒凉到加拿大最适合人类居住的十大城市之一——加拿大萨德伯雷市的环境治理经验[J]. 新疆环境保护, 2002(3): 13-16.

[21] 肖金成. 国外城市化过程中的污染治理[J]. 青海科技, 2014(2): 80-83.

[22] 张子瑞. 国外大气污染事件与治污经验[N]. 中国能源报, 2014-06-09.

[23] 熊永兰. 从《世界十大污染重灾区》报告看中国城市的环境问题[EB/OL]. (2007-11-12). <http://news.sciencenet.cn/html/shownews.aspx?cn=1&id=193995>.

[24] 环保总局, 国家计委, 国家经贸委, 等. 国家环境保护“十五”计划[EB/OL]. (2001-12-30). [http://www.gov.cn/gongbao/content/2002/content\\_61775.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2002/content_61775.htm).

[25] 国家环境保护总局. 2004中国环境状况公报[R/OL]. (2005-05-25). <http://www.mep.gov.cn/download/2004gb.pdf>.

[26] 环境保护部, 国家发展与改革委员会, 财政部. 重点区域大气污染防治“十二五”规划[EB/OL]. (2012-12-05). <http://news.bjx.com.cn/html/20121211/407346.shtml>.

[27] 彭科峰. 报告称中国五百城市99.9%空气质量不达标[N]. 中国科学报, 2013-01-17.

[28] 去年74个重点城市空气质量仅3城市达标[N]. 京华时报, 2014-06-05.

[29] 全国城市空气质量日报[EB/OL]. (2014-11-18). [http://datacenter.mep.gov.cn/report/air\\_daily/air\\_dairy.jsp?&lang](http://datacenter.mep.gov.cn/report/air_daily/air_dairy.jsp?&lang).

[30] 国家环境保护“九五”计划和2010年远景目标[EB/OL]. (2002-11-13). [http://gcs.mep.gov.cn/hjgh/95/200211/t20021113\\_83083.htm](http://gcs.mep.gov.cn/hjgh/95/200211/t20021113_83083.htm).

[31] 国务院. 大气污染防治行动计划[EB/OL]. (2013-09-12). [http://www.gov.cn/zwgk/2013-09/12/content\\_2486773.htm](http://www.gov.cn/zwgk/2013-09/12/content_2486773.htm).

[32] 国务院部署大气污染防治十条措施[EB/OL]. (2013-06-15). [http://www.yn.xinhuanet.com/newscenter/2013-06/15/c\\_132456928.htm](http://www.yn.xinhuanet.com/newscenter/2013-06/15/c_132456928.htm).

[33] 中国环境科学学会. 2011—2012环境科学技术学科发展报告[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2012.

[34] 中国科学院生态与环境领域战略研究组. 中国至2050年生态与环境科技发展路线图[M]. 北京: 科学出版社, 2009.