我国大气污染治理历程回顾与展望

柴发合

(中国环境科学研究院,北京 100012)

[摘要] 大气污染防治工作是我国生态环境保护的重要组成部分,并随社会经济发展过程中出现的主要大气环境问题的演变而不断深化。几十年来,我国在大气污染控制和空气质量管理方面做了大量的工作并取得了显著成效。本文在系统回顾我国大气污染治理历程基础上,展望提出新时期推进我国大气污染治理创新思路。自20世纪70年代以来,我国大气污染治理随着社会经济发展和生态环境保护事业发展主要经历了消烟除尘构建大气环境容量理论(1972—1990年)、分区管控防治酸雨和二氧化硫污染(1991—2000年)、总量控制二氧化硫排放量见顶下降(2001—2010年)、攻坚克难打赢蓝天保卫战(2011—2020年)四个阶段。当前,在习近平生态文明思想指导下,在绿色发展、低碳发展、高质量发展推动下,在新旧动能转换带来产业结构、能源结构、交通运输结构进一步调整和优化的情况下,更先进的大气污染控制技术为大气污染减排提供了更强大的动力,生态环境治理体系和治理能力现代化建设为空气质量的持续改善提供了坚实保障。本文提出未来我国大气污染治理创新思路:生态优先、绿色发展,进一步调整产业结构、实现高质量发展;清洁高效,低碳少污,进一步调整能源结构,提升清洁能源、新能源和可再生能源供给能力;问题导向、目标引领,弄清大气污染来源成因,为科学治污提供坚实基础;清洁生产,全程控制,显著减少污染物的产生量和排放量;属地责任,联防联控,改善局地质量,降低区域间相互影响;智慧监控,数据归真,强化污染源监管。

【关键词】大气污染治理:回顾与展望:中国

中图分类号: X21 文献标识码: A 文章编号: 1673-288X(2020)03-0005-11 DOI: 10.19758/j. cnki. issn1673-288x. 202003005

1972年6月5日,世界上第一次国际环保会议— 联合国人类环境会议在瑞典斯德哥尔摩举行。这是世界 各国政府代表团及政府首脑、联合国机构和国际组织代 表参加的共同讨论当代环境问题,探讨保护全球环境战 略的第一次国际会议。会议通过了《联合国人类环境会 议宣言》(简称《人类环境宣言》或《斯德哥尔摩宣 言》)和《行动计划》,宣告了人类关于环境的传统观念 的终结, 达成了"只有一个地球"、人类与环境是不可 分割的"共同体"的共识。我国组织代表团参加了这次 里程碑式的会议, 也从此开启了我国生态环境保护征 程[1]。大气污染防治一直是我国环境保护的重要组成部 分,并随社会经济发展过程中出现的主要大气环境问题 的演变而不断深化。几十年来我国在大气污染控制和空 气质量管理方面做了大量的工作并取得了显著成效。本 文在系统回顾我国大气污染治理历程基础上, 展望提出 新时期推进我国大气污染治理的创新思路。

1 消烟除尘,构建大气环境容量理论(1972— 1990年)

1973 年我国召开了第一次全国环境保护会议,确定了"全面规划、合理布局、综合利用、化害为利、依靠群众、大家动手、保护环境、造福人民"的环境保护

"32 字方针",通过了《关于保护和改善环境的若干规定》。随后国务院成立了原国务院环境保护领导小组,(下设环境保护办公室,后升级为原国家环境保护局),为我国重大大气污染问题的调查和决策起到了重要的领导、支撑和推动作用。

1978年第五届全国人民代表大会将"保护环境和 自然资源,防治污染和其他公害"写入《中华人民共和 国宪法》, 并于 1979 年颁布了第一部环境保护基本法 -《中华人民共和国环境保护法(试行)》。1987年9 月5日第六届全国人大第22次会议通过,1988年6月1 日起施行我国首部《中华人民共和国大气污染防治法》 (简称《大气污染防治法》), 开宗明义防治大气污染的 目的是保护和改善生活环境和生态环境, 保障人体健 康,促进社会主义现代化建设的发展。要求各级政府必 须将大气环境保护工作纳入国民经济和社会发展计划, 合理规划工业布局,加强防治大气污染的科学研究,采 取防治大气污染的措施,保护和改善大气环境。各级政 府环境保护部门对大气污染防治实施统一监督管理,其 他相关管理部门根据各自的职责, 对机动车船污染大气 实施监督管理。排污单位必须遵守国家有关规定,并采 取防治污染的措施。单位和个人都有保护大气环境的义 务,并有权对污染大气环境的单位和个人进行检举和控 告。法律还规定了大气环境质量标准、大气污染物排放标准制定的原则,构建了我国环境空气质量监督管理体系和重要制度,规定了相关方的法律责任。法律提出以防治烟尘污染为重点,提出在用锅炉烟尘排放达标标准;新建工业窑炉、新安装的锅炉烟尘排放不得超过规定的排放标准;城市应统一解决热源,发展集中供热;改进城市燃料结构,发展城市煤气,推广成型煤的生产和使用;在人口集中地区存放煤炭、煤矸石、煤渣、煤灰和石灰时,必须采取防燃、防尘措施防止污染大气以及防治废气、粉尘和恶臭污染。这是我国大气污染防治的第一部法律,对我国大气污染防治纳入法制化管理起到了奠基性和基础性作用,也推动了大气污染防治技术的研究与开发应用。

1973年我国发布了第一个国家环境保护标准——《工业"三废"排放试行标准(GBJ 4—1973)》,规定了工业废气中一些污染物的容许排放浓度和排放量。1982年发布了我国首个《大气环境质量标准(GB 3095—1982)》,规定划分三类环境空气功能区,不同功能区针对不同的保护对象,执行不同的大气污染物标准浓度限值。

此阶段主要大气环境问题是烟粉尘污染。大气污染防治的重点是消烟除尘,着力解决悬浮颗粒物污染和"黑龙与灰龙"。与此同时,城市环境空气质量问题日益受到关注。在国家科技计划的支持下,开展了沈阳地区、太原地区、珠江三角洲地区大气环境容量研究、兰州西固光化学污染研究、天津工业烟气污染研究以及华南和西南酸雨研究等项目。大气环境容量研究创立了我国大气环境容量的基础理论和规划方法;光化学污染研究奠定了我国光化学污染控制的基础;重点地区的酸雨研究初步掌握了典型区域酸雨污染的态势和成因;工业烟气污染控制相关研究为我国消烟除尘提供了基本的技术支撑。太原市也率先开展了基于大气环境容量的总量控制标准研究,为我国基于环境质量目标的总量控制方法进行了有益的探索。

以 1978 年中国环境科学研究院和中国环境监测总 站成立为标志,我国环境科学研究和环境质量监测体系 开始形成。

这阶段大气污染防治取得成效,全国环境保护重点城市空气中总悬浮颗粒物(TSP)平均浓度从1986年的560微克/立方米下降到1990年的387微克/立方米,降低了30.9%。

2 分区管控,防治酸雨和二氧化硫污染 (1991—2000年)

1992 年我国参加了在巴西里约热内卢召开的联合国环境与发展会议。会议通过了《关于环境与发展的里约热内卢宣言》和《21世纪议程》,对各国保护环境与

生态、谋求经济社会可持续发展提出了更高要求。1994年国务院批准《中国 21 世纪人口、环境与发展白皮书》,成为我国实施可持续发展战略的行动纲领^[2]。

这一阶段的大气污染主要防治对象为二氧化硫和悬浮颗粒物。空气污染的范围由城市局地污染向区域性污染发展,出现了大面积的酸雨污染,控制重点为燃煤锅炉与工业排放。

随着经济社会的高速发展和人民生活水平的不断提高,我国煤炭消费量和机动车保有量快速上升。1990年全国煤炭消耗量 10.52 亿吨,到 1995 年煤炭消耗量增至 12.8 亿吨,二氧化硫排放量达 2370 万吨,居世界首位。由于我国部分地区燃用高硫煤,燃煤设备未能采取脱硫措施,致使二氧化硫排放量不断增加,造成严重的环境污染。在总悬浮颗粒物污染仍然居于高位的同时,部分城市二氧化硫污染十分严重,氮氧化物污染持续增加,酸雨污染面积不断扩大,长江以南的广大地区降水酸度迅速升高,酸雨面积高达 300 多万平方千米,使我国继欧洲、北美之后成为世界第三大酸雨区。

酸雨影响作物生长,腐蚀建筑材料,破坏生态系 统,造成巨大经济损失。科学界持续对我国酸雨态势、 影响和控制进行深入研究,通过详细监测和调查,弄清 了我国酸雨污染的范围和硫酸型污染特征, 证实了酸雨 区域输送行为,提出了酸雨控制国家方案。1990年12 月,原国务院环境保护委员会第19次会议通过了《关 于控制酸雨发展的意见》: 1992 年经国务院批准在贵 州、广东两省和柳州、南宁、桂林、杭州、青岛、重 庆、长沙、宜昌和宜宾九市开展征收工业燃煤二氧化硫 排污费和酸雨综合防治试点工作。1995年8月29日第 八届全国人大第十五次会议对《大气污染防治法》进 行了第一次修订,要求原环境保护部门会同国务院有关 部门,根据气象、地形、土壤等自然条件,可以对已经 产生、可能产生酸雨的地区或者其他二氧化硫污染严重 的地区, 经国务院批准后, 划定为酸雨控制区或者二氧 化硫污染控制区(简称"两控区")。1996年8月3日发 布了《国务院关于环境保护若干问题的决定》,提出实 施污染物排放总量控制,建立全国主要污染物排放总量 指标体系和定期公布制度。要求原国家环境保护局按照 《大气污染防治法》会同有关部门依法提出酸雨控制区 和二氧化硫污染控制区的划定意见和目标要求、报国务 院批准后执行。原国家环境保护局组织清华大学与中国 环境科学研究院经过深入研究提出了"两控区"划分 方案,1998年1月12日获国务院批复实施。"两控区" 总面积约为109万平方千米,占国土面积11.4%,涉及 176个地市级单元。其中酸雨控制区面积约为80万平方 千米,占国土面积8.4%,二氧化硫污染控制区面积约 为29万平方千米,占国土面积3%。该批复提出了要通 过燃煤含硫量限值、工业污染源二氧化硫达标排放、实 行二氧化硫排放总量控制和征收二氧化硫排污费等措施 使城市环境空气二氧化硫浓度达到国家环境质量标准, 酸雨控制区酸雨恶化的趋势得到缓解。这是城市二氧化 硫污染与区域酸雨污染联合控制的样本范例。

1996年我国出台《国家环境保护"九五"计划和2010年远景目标》落实"一控双达标"(即到2000年底,各省、自治区、直辖市要使本辖区主要污染物的排放量控制在国家规定的排放总量指标内,工业污染源要达到国家或地方规定的污染物排放标准,空气和地面水按功能区达到国家规定的环境质量标准)。

在机动车污染方面,1995年修订的《大气污染防治法》提出国家鼓励、支持生产和使用高标号的无铅汽油,限制生产和使用含铅汽油。逐步减少含铅汽油的产量,直至停止含铅汽油的生产和使用。

2000年4月29日第九届全国人大第十五次会议对 《大气污染防治法》进行了第二次修订。这次修订协调 了大气法与其他政策、法律之间的关系,提出地方各级 人民政府对本辖区的大气环境质量负责,应制定规划和 采取措施, 使本辖区的大气环境质量达到规定的标准。 要求向大气排放污染物的浓度不得超过国家和地方规定 的排放标准, 规定对大气污染物排放实施总量控制制度 和排放许可制度,增加了防治机动车船排放污染和相关 国际条约履约的条款,扩大了大气污染物排污收费的范 围。实行总量控制的区域从"两控区"扩展到大气环境 质量尚未达标的区域和"两控区"。在继续加大二氧化 硫控制的基础上,要求对燃料燃烧过程中产生的氮氧化 物采取控制措施。规定在用机动车不符合制造当时的在 用机动车污染物排放标准的,不得上路行驶;同时对机 动车船的日常维修与保养、车船用燃料油、排气污染检 测抽测等作出了原则规定。随后原国家环境保护总局更 新了《汽车排气污染监督管理办法》,发布了《机动车 排放污染防治技术政策》,对汽车及其发动机产品提出

1996 年对《大气环境质量标准》进行了第一次修订,对总悬浮颗粒物等 14 种环保术语、环境质量分区分级有关内容进行了修改,调整补充了污染物项目、取值时间、浓度限值和数据统计有效性等规定,将可吸入颗粒物 (PM_{10}) 纳入常规污染物,形成了 TSP 和 PM_{10} 的双颗粒物指标共存状态^[3]。

在"九五"期间,我国对主要污染物排放实施总量控制,并在全国16个城市开展了大气排污许可制度试点。结合国家经济结构调整,取缔、关停了8.4万多家污染严重又没有治理前景的"十五小"企业(指小造纸、小制革、小染料厂及土法炼焦、炼硫、炼砷、炼汞、炼铅锌、炼油、选金和农药、漂染、电镀、石棉制品,放射性制品等小企业),淘汰了一批技术落后、浪

费资源、质量低劣、污染环境和不符合安全生产条件的 小煤矿、小钢铁、小水泥、小玻璃、小炼油、小火电 等,对高硫煤实行限产,有效地削减了污染物排放总 量。到2000年在国内生产总值年均增长8.3%的情况 下,"九五"期间全国主要污染物排放总量控制计划基 本完成,全国二氧化硫、烟尘、工业粉尘主要污染物的 排放总量比"八五"末期分别下降了10%~15%。全国 23 万多家有污染的工业企业中 90% 以上的企业实现了 主要污染物达标排放。全国 46 个考核的环境保护重点 城市中,25个城市实现了大气质量按功能分区达标。 但主要污染物排放量仍然居于高位,全国二氧化硫排放 量 1995 万吨, 远远高于环境承载能力。常规污染物排 放总量削减的任务还未完成, 机动车尾气污染和有毒有 害有机污染等问题日渐突出。我国酸雨出现的区域与往 年相比无明显变化, 基本维持了多年形成的格局, 61.8%的南方城市出现酸雨, 年均降水 pH 小于 5.6 的 区域面积占国土面积的30%,主要分布在长江以南、青 藏高原以东的广大地区及四川盆地。华中、华南、西南 和华东仍是酸雨污染严重的区域。全国仍有70个城市 二氧化硫年均浓度不满足国家空气质量二级标准的 要求。

北京市从 1998 年开始以煤烟、机动车排气和扬尘混合型污染控制为主,连续实施了五个阶段的大气污染防治措施,主要污染物浓度均有所下降。但由于全市煤炭年消耗量仍高达 2710 万吨,二氧化硫年排放量为 22.4 万吨,烟尘年排放量为 10.0 万吨,市区大气中二氧化硫、二氧化氮和 PM₁₀ 浓度年日均值分别为71 微克/立方米、71 微克/立方米、162 微克/立方米。

3 总量控制,二氧化硫排放量见顶下降 (2001—2010年)

面对严峻的大气污染形势,我国强化对大气污染物排放总量的控制,科技部也布局了多项研究课题,分析大气污染成因,开发大气污染控制技术,探索大气污染控制的途径。2008年北京奥运会空气质量保障的系列研究和成功实践说明,解决我国区域性复合型大气污染问题必须多污染物协同减排、多部门多地区联防联控^[4-6]。

2001年3月发布的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十个五年计划纲要》提出要加强大气污染防治,实施"两控区"和重点城市大气污染控制工程,2005年"两控区"二氧化硫排放量比2000年减少20%。2001年12月《国家环境保护"十五"计划》进一步细化了总量控制目标,即到2005年二氧化硫、尘(烟尘及工业粉尘)、化学需氧量、氨氮、工业固体废物等主要污染物排放量比2000年减少10%;酸雨控制区和二氧化硫控制区二氧化硫排放量比2000年减少20%,

降水酸度和酸雨发生频率有所降低。

2002年10月国务院批复《两控区酸雨和二氧化硫 污染防治"十五"计划》,要求到2005年,"两控区" 内二氧化硫排放量比 2000 年减少 20%, 控制在 1053.2 万吨以内(其中酸雨控制区 630.2 万吨, 二氧化硫污染 控制区 423.4 万吨), 要形成 356.8 万吨/年的二氧化硫 减排能力。酸雨污染程度有所减轻, 硫沉降量有所减 少,80%以上的城市空气二氧化硫浓度年均值达到国家 环境空气质量二级标准, 其他城市环境空气二氧化硫浓 度明显降低。"两控区"计划的特点是第一次将控制总 量落实到各省级单位及其所属的"两控区",明确了二 氧化硫达标的城市,并按二氧化硫削减任务安排了重点 工程清单。提出依法对排放二氧化硫的单位按照二氧化 硫排放总量征收排污费,并逐步提高排污收费标准,扩 大收费范围, 试行二氧化硫排放权交易制度, 使其达到 或超过二氧化硫污染治理成本,形成谁污染谁就要承担 相应经济责任的公平机制。

燃煤电厂是二氧化硫排放的第一大行业。2002年全 国发电装机容量已达到 35657 万千瓦, 其中, 火电装机 容量为 26554.67 万千瓦, 占总装机的 74.55%; 火电发电 量已达到 13273.77 亿千瓦时,占总发电量的 80.25%;火 电行业二氧化硫排放达到665.8万吨。"两控区"内火电 厂二氧化硫排放量占"两控区"总排放量的59%。 2003年修订了火电厂大气污染物排放标准,规定了三个 不同阶段火电厂的二氧化硫、氮氧化物和烟尘的排放浓 度。早在1973年我国颁布的第一个污染物排放标准《工 业"三废"排放试行标准(GBJ 4—73)》就针对电站给 出了7种不同高度排气筒所对应的二氧化硫和烟粉尘允 许排放速率(kg/h),允许排放量限值随着烟囱增高而逐 渐增大, 所以刺激了电厂高烟囱和多烟囱的建设, 没有 从根本上削减污染物排放量;1991年发布了第一个《燃 煤电厂大气污染物排放标准(GB 13223—91)》, 二氧化硫 允许排放量从定值发展到用 P 值法计算,排放标准较松 且未实行浓度控制;在1996年发布《火电厂大气污染物 排放标准(GB 1322-1996)》中,标准限值未变,只是对 1997年以后建设的火电厂要求二氧化硫排放实行总量与 浓度双重控制,使用低硫煤(燃煤含硫量小于1%)就可 达标; 2003 年再次对《火电厂大气污染物排放标准 (GB 13223-2003)》进行修订,分三个时段,特别是提 出到 2005 年和 2010 年火电厂二氧化硫、烟尘、氮氧化物 的浓度排放限值,有利于火电厂根据自身的情况采取相 应的控制措施。

国家"十五"期间虽然大气污染防治工作取得一定进展,但环境保护计划指标没有全部实现。2005年全国二氧化硫排放量达到2549万吨,比2000年增加了27.8%,其中工业排放量增加了34.5%,"两控区"增加了2.9%,46%的设区城市空气质量达不到二级标准,

一些大中城市灰霾天数有所增加,酸雨污染程度没有减轻。发达国家上百年工业化过程中分阶段出现的环境问题,在我国已经集中显现。我国已进入污染事故多发期和矛盾凸显期。深层次的原因是产业结构不合理,经济增长方式粗放,环境保护滞后于经济发展,体制不顺、机制不活、投入不足、能力不强、有法不依、违法难究、执法不严、监管不力的现象比较普遍。从管控标准来看,特别是二氧化硫排放标准失之过宽,与产生量的增长相比减排力度远远不足。相比较全国其他地区来说,"两控区"内增加幅度小得多,说明"两控区"的污染防治取得了一定的成效。

2006年3月14日第十届全国人民代表大会第四次 会议批准的《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲 要》提出要以科学发展观统领经济社会发展全局,促进 国民经济持续快速协调健康发展和社会全面进步。将二 氧化硫排放量在2005年基础上削减10%作为国民经济 和社会发展的约束性指标之一。要求坚持预防为主、综 合治理,强化从源头防治污染,坚决改变先污染后治 理、边治理边污染的状况。以解决影响经济社会发展特 别是严重危害人民健康的突出问题为重点, 有效控制污 染物排放,尽快改善重点区域和重点城市的环境质量。 加快现有燃煤电厂脱硫设施建设,新建燃煤电厂必须根 据排放标准安装脱硫装置,推进钢铁、有色、化工、建 材等行业二氧化硫综合治理。在大中城市及其近郊,严 格控制新(扩)建除热电联产外的燃煤电厂,禁止新 (扩)建钢铁、冶炼等高耗能企业。加大城市烟尘、粉 尘、细颗粒物和汽车尾气治理力度。2007年11月发布 的《国家环境保护"十一五"规划》进一步将重点城 市空气质量好于Ⅱ级标准的天数超过292天的比例提高 5.6个百分点作为目标。部署实施酸雨和二氧化硫污染 防治规划,以火电厂建设脱硫设施为重点,控制高架源 的二氧化硫和氮氧化物排放, 加快现役火电机组脱硫设 施的建设, 使现役火电机组投入运行的脱硫装机容量达 到 2.13 亿千瓦。新(扩)建燃煤电厂除国家规定的特低 硫煤坑口电厂外, 必须同步建设脱硫设施并预留脱硝场 地。以113个环保重点城市和城市群地区的大气污染综 合防治为重点,努力改善城市和区域空气环境质量。将 可吸入颗粒物作为城市大气污染防治的重点, 加快城区 工业污染源调整搬迁,集中整治低矮排放污染源,重视 解决油烟污染。加强建筑施工及道路运输环境管理,有 效抑制扬尘。提高城市清洁能源比例和能源利用效率, 大力开展节能活动。因地制宜地发展以热定电的热电联 产和集中供热。在城区内划定高污染燃料禁燃区。同时 统筹规划长三角、珠三角、京津冀等城市群地区的区域 性大气污染防治, 有条件的城市要开展氮氧化物、有机 污染物等复合污染问题以及灰霾天气的研究,逐步开展 对臭氧和细颗粒物 $(PM_{2.5})$ 等指标的监测,建立光化学烟雾污染预警系统。

2006年8月, 国务院批复了《"十一五"期间全国 主要污染物排放总量控制计划》,要求各地要将《"十 一五"期间全国主要污染物排放总量控制计划》确定 的主要污染物总量控制指标纳入本地区经济社会发展 "十一五"规划和年度计划,分解落实到基层和重点排 污单位。要制订实施方案,落实工程措施和资金,严格 实行排污许可证管理,加强执法监督,加大对各种违法 排污行为的监督查处力度;同时,要切实转变经济增长 方式,从源头上减少污染,确保总量控制目标的实现; 国务院各有关部门要根据各自的职能分工,加强对 《"十一五"期间全国主要污染物排放总量控制计划》 执行的指导、支持和监督。原国家环境保护总局、统计 局、国家发展改革委要每半年向社会公布各省(区、市) 主要污染物的排放总量,并会同原国家监察部对《"十 一五"期间全国主要污染物排放总量控制计划》完成 情况进行年度检查和考核, 向国务院报告。计划在确保 实现全国总量控制目标的前提下,综合考虑各地环境质 量状况、环境容量、排放基数、经济发展水平和削减能 力以及各污染防治专项规划的要求,对东、中、西部地 区实行区别对待,将总量减排指标落实到省(自治区、 直辖市)及其火电行业。

2007年5月,国务院印发了《节能减排综合性工 作方案》,把节能减排作为调整经济结构、转变增长方 式的突破口和重要抓手,作为宏观调控的重要目标。综 合运用经济、法律和必要的行政手段,控制增量,调整 存量: 依靠科技, 加大投入; 健全法制, 完善政策; 落 实责任,强化监管;加强宣传,增强意识;突出重点, 强力推进。动员全社会力量, 扎实做好节能降耗和污染 减排工作,确保实现节能减排约束性指标,推动经济社 会又好又快发展。提出控制高耗能、高污染行业过快增 长,加大淘汰电力、钢铁、建材、电解铝、铁合金、电 石、焦炭、煤炭、平板玻璃等行业落后产能的力度; 完 善促进产业结构调整的政策措施,修订《产业结构调整 指导目录》, 鼓励发展低能耗、低污染的先进生产能力; 完善促进产业结构调整的政策措施,适当提高建设项目 在土地、环保、节能、技术、安全等方面的准入标准; 积极推进能源结构调整,大力发展可再生能源和加强资 源调查评价、促进服务业和高技术产业加快发展等重大 措施。方案要求发挥政府主导作用,强化企业主体责 任,建立健全节能减排责任制和问责制,加强考核和监 督,将节能减排指标完成情况纳入各地经济社会发展综 合评价体系,作为政府领导干部综合考核评价和企业负 责人业绩考核的重要内容,实行"一票否决"。一级抓 一级, 层层抓落实, 形成强有力的工作格局。

2007年11月国务院批转了《主要污染物总量减排

统计办法》《主要污染物总量减排监测办法》《主要污染物总量减排考核办法》,进一步细化了减排监管体系。在管理层面上,以2008 年原环境保护总局升格为原环境保护部为契机,设立污染物排放总量控制司,承担落实国家减排目标的责任,提出实施总量控制的污染物名称、总量控制的数量及对各省(自治区、直辖市)和重点企业的控制指标。监督管理纳入国家总量控制的主要污染物减排工作,建立和组织实施总量减排责任制考核制度等。在组织落实的基础上,建立健全了污染物减排各项规章制度和六大督查中心,相继出台了《"十一五"主要污染物总量减排核查方法》《主要污染物总量减排核算细则》《主要污染物总量减排工作责任明晰、组织严密、有章可循、公平公正、公开透明,也探索出了一条"淡化基数、算清增量、核实减量"的方法体系。

除此之外,燃煤机组脱硫电价政策也发挥了经济激励作用。2007年5月国家发展改革委和原国家环境保护总局联合制定了《燃煤发电机组脱硫电价及脱硫设施运行管理办法(试行)》,规定新(扩)建燃煤机组必须按照环保规定同步建设脱硫设施,其上网电量执行国家发展改革委公布的燃煤机组脱硫标杆上网电价。现有燃煤机组安装脱硫设施后,其上网电量在现行上网电价基础上每千瓦时加价1.5分钱。

2008年北京奥运会空气质量保障促进了北京市空 气质量的快速改善,同时也是京津冀联防联控解决区域 性大气环境问题的成功探索。从 1998 年起北京市大气 污染防治就被列为国家环境保护重点治理工程。北京市 先后实施了十二个阶段近 200 项的控制大气污染措施, 大气环境质量有了较为明显的改善。但由于"十五"期 间北京市的城市人口增加 174 万, 煤炭消耗量增加 300 多万吨, 即达到 3069 万吨; 机动车保有量增加 100 万 辆,建筑面积新增1.2亿平方米,加之周边区域的传输 影响,冬季煤烟型污染和夏季氧化型污染问题仍然十分 突出。2005年北京市空气污染指数二级和好于二级的 天数 234 天, 二氧化硫浓度比 1998 年下降了 58%, 略 低于国家二级标准限值,可吸入颗粒物年均浓度值超过 国家二级标准 42%, 夏季有 57 天臭氧超标。要实现 "绿色奥运"承诺尚有较大差距。党中央、国务院非常 关心北京奥运筹办工作,批准成立了由北京市、原国家 环境保护总局牵头, 天津、河北、山西、内蒙古、山东 参与的 2008 年奥运会空气质量保障工作协调小组。 2006年12月,协调小组第一次会议形成了《北京2008 年奥运会空气质量保障工作方案》, 并正式开启了保障 工作。2007年8月北京对主要管控措施进行了演练。 2007年10月,国务院批准了《第29届奥运会北京空气 质量保障措施》,主要以扬尘污染、机动车污染、工业 污染、燃煤污染为控制对象,通过区域联动,在奥运会 前实施环境综合治理,在奥运会举办期间采取临时污染减排措施。在北京市及周边省区市共同努力下,奥运会空气质量保障取得完满成功,也成为大气污染治理模式 从城市单打独斗到区域联防联控方式转变的里程碑。

"十一五"通过工程减排、结构减排和管理减排全 面发挥效益。全国火电脱硫机组装机容量达到 5.78 亿 千瓦,占全部火电机组的82.6%;安装烟气脱硫设施钢 铁烧结机 170 台, 占烧结机台数的 15.6%; 关停小火电 机组7219万千瓦,提前一年半完成5000万千瓦的任 务;钢铁、水泥、焦化等高耗能高排放行业淘汰落后产 能超额完成: 火电行业 30 万千瓦以上大机组比例提升 23%, 火电供电煤耗下降 8.5%; 脱硫机组投运率达到 96%以上。到2010年,全国二氧化硫排放量相比2005 年下降了14.29%,超额完成了"十一五"的约束性指 标,特别是全国二氧化硫排放量从2006年开始步入单 调下降态势。城市空气质量也显著改善。北京市空气质 量二级和好于二级天数达到 286 天,占全年总天数的 78.4%。二氧化硫浓度为32 微克/立方米, 创了12 年新 低。二氧化氮年均浓度值为57微克/立方米,达到当时 国家二级标准, PM10 年均浓度值为 121 微克/立方米, 超过国家二级标准21%,问题仍较为突出。

2010年5月,在多名院士和专家的建议下,国务院 转发了原环境保护部等9个部门《关于推进大气污染联 防联控工作改善区域空气质量的指导意见》,认识到我 国一些地区酸雨、灰霾和光化学烟雾等区域性大气污染 问题日益突出,严重威胁群众健康,影响环境安全。解 决区域大气污染问题, 必须尽早采取区域联防联控措 施。《关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质 量的指导意见》提出以科学发展观为指导,以改善空气 质量为目的, 以增强区域环境保护合力为主线, 以全面 削减大气污染物排放为手段,建立统一规划、统一监 测、统一监管、统一评估、统一协调的区域大气污染联 防联控工作机制,扎实做好大气污染防治工作。《关于 推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量的指导意 见》提出的工作目标为:到 2015年,建立大气污染联 防联控机制,形成区域大气环境管理的法规、标准和政 策体系, 主要大气污染物排放总量显著下降, 重点企业 全面达标排放,重点区域内所有城市空气质量达到或好 于国家二级标准,酸雨、灰霾和光化学烟雾污染明显减 少,区域空气质量大幅改善。确保2010年上海世博会 和广州亚运会空气质量良好。

4 攻坚克难, 打赢蓝天保卫战(2011-2020年)

2012 年 2 月经过国务院常务会议审议,新修订的《环境空气质量标准(GB 3095—2012)》开始实施。新标准增加了 PM_{2.5} 和臭氧 8 小时指标, PM_{2.5} 标准限制与世界卫生组织《环境空气质量导则》第一阶段目标

值一致。2013年,京津冀、长三角、珠三角等重点区域及直辖市、省会城市和计划单列市共74个城市率先按新标准开展空气质量监测。监测结果表明,74个城市PM_{2.5} 年均浓度72 微克/立方米,达标城市比例仅为4.1%;京津冀区域13个城市PM_{2.5} 平均浓度为106 微克/立方米,没有城市达标,北京市PM_{2.5} 年均浓度为89.5 微克/立方米;长三角区域25个城市PM_{2.5} 平均浓度为67 微克/立方米,仅舟山达标,上海市PM_{2.5} 平均浓度为62 微克/立方米;珠三角区域9个城市平均PM_{2.5} 平均浓度为47 微克/立方米,全部超标,广州市PM_{2.5} 年均浓度为53 微克/立方米。更严重的是2013 年1月在京津冀连续出现了5次重污染过程,月初最重的一次京津冀区域PM_{2.5} 浓度日均值达到460 微克/立方米。严重的大气污染受到社会各界的高度关注^[7-8]。

以习近平同志为核心的党中央十分重视大气污染治 理。大气环境保护事关人民群众根本利益,事关经济持 续健康发展,事关全面建成小康社会,事关实现中华民 族伟大复兴中国梦。为了解决以 PM25 污染为特征的区 域性突出大气环境问题, 2013年9月, 国务院出台了 《大气污染防治行动计划》(简称"大气十条")。"大气 十条"以邓小平理论、"三个代表"重要思想、科学发 展观为指导,以保障人民群众身体健康为出发点,计划 经过五年努力,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。具体要求到 2017年,全国地级及以上城市 PM₁₀浓度比 2012 年下降 10%以上,优良天数逐年提 高;京津冀、长三角、珠三角等区域 PM25,浓度分别下 降 25%、20%、15%左右, 其中北京市 PM25 年均浓度 控制在60微克/立方米左右。为了实现以上目标,"大 气十条"提出加大综合治理力度,减少多污染物排放; 调整优化产业结构,推动产业转型升级;加快企业技术 改造,提高科技创新能力;加快调整能源结构,增加清 洁能源供应;严格节能环保准入,优化产业空间布局; 发挥市场机制作用,完善环境经济政策;健全法律法规 体系,严格依法监督管理;建立监测预警应急体系,妥 善应对重污染天气;明确政府、企业和社会的责任,动 员全民参与环境保护等十大措施。"大气十条"是 2013—2017年间我国大气污染防治的纲领性文件。习近 平总书记 2014年2月25日在考察北京市工作时指出, "加大大气污染治理力度,应对雾霾污染、改善空气质 量的首要任务是控制 PM,5,要从压减燃煤、严格控车、 调整产业、强化管理、联防联控、依法治理等方面采取 重大举措"。这更为我国大气污染防治指明了方向。

"大气十条"创造了我国大气污染防治的奇迹。动员社会力量之广、治理力度之强、空气质量改善幅度之大前所未有。到 2017 年,累计淘汰落后和化解过剩炼

钢产能 2 亿多吨、煤炭产能 5 亿吨、水泥(含粉末站)产 能 2.5 亿吨、玻璃 1.13 亿重量箱、煤电机组 2500 万千 瓦,2017年地条钢产能1.4亿吨全部清零,产业结构得 到优化;全面针对"散乱污"企业及集群,实行拉网式 排查和清单式、台账式、网格化管理, 分类实施关停取 缔、整合搬迁、整改提升等措施,清理整治涉气"散乱 污"企业 6.2 万家; 煤炭占一次能源消费比例下降了 8.5个百分点,减少了3亿多吨煤炭;万元 GDP 能耗累 计下降 20.7%, 非化石能源占全国能源生产总量的 17.6%, 比 2012 年提高了 6.4 个百分点, 累计淘汰城市 建成区 10 蒸吨以下燃煤小锅炉 20 余万台;落实清洁取 暖价格政策,在12个城市开展首批北方地区冬季清洁 取暖试点,通过以气代煤、以电代煤削减散煤消耗约 1000 万吨, 能源结构和使用方式持续优化; 通过完善 工业企业大气污染物排放标准、重点地区实行严于排放 标准的特别排放限值、电力行业超低排放改造、重点污 染源安装在线监测装置等措施强化工业污染防治,累计 完成燃煤电厂超低排放改造7亿千瓦; 重点地区实施 "公改铁",天津、河北、山东环渤海港口煤炭集疏港全 部改为铁路运输,码头改岸电,实施船舶排放控制区, 全国实施国V机动车排放标准和油品标准, 黄标车淘汰 基本完成,新能源汽车累计推广超过180万辆,从交通 结构调整和机动车污染防治两方面推进交通污染防治; 开展京津冀及周边地区秋冬季大气污染综合治理攻坚行 动,实施工业企业采暖季错峰生产和重污染应急管控, 着力解决重点时段重污染问题。2017年9月启动大气重 污染成因与治理攻关项目。

"大气十条"的实施使环境空气质量显著改善。2017年,全国338个地级及以上城市PM₁₀平均浓度比2013年下降22.7%,京津冀、长三角、珠三角区域PM_{2.5}平均浓度比2013年分别下降39.6%、34.3%、27.7%,北京市PM_{2.5}平均浓度从2013年的89.5微克/立方米降至58微克/立方米,超额完成了"大气十条"提出的阶段性目标,有力推动了产业、能源和交通运输等重点领域结构优化,大气污染防治的新机制基本形成、创造了大气污染防治的中国模式。

2015 年 8 月 29 日十二届全国人大常委会第十六次会议表决通过修订后的《大气污染防治法》(2016 年 1 月 1 日实施)。新修订的大气法有机衔接《环境保护法》,适应区域性复合型大气污染防治的需要,将"大气十条"实施以来行之有效的措施法制化,以改善环境空气质量为核心,明确了政府、监管者、排污者和公众的大气污染防治责任与义务,特别是各级人民政府目标责任制及其考核评价制度、重点区域大气污染联合防治、重污染天气应对等新内容,为大气污染防治提供了坚实的法律基础。将排放总量控制和排污许可由"两控区"扩展到全国,明确了总量指标分配、排污许可证发

放的原则和程序,规定对超总量和未完成达标任务的地区实行区域限批,并约谈主要负责人。要求排污者达标排放和按(许可)证排放,杜绝自行排放监测数据作假。明确国家采取措施逐步降低煤炭消费比重,细化对多种污染物的协同控制措施,强化对新生产机动车、在用机动车、油品质量环保达标的监督管理。此外,还加强了建筑施工、物料运输等方面的扬尘污染防治措施。与2000年版的大气法相比,违法处罚力度大幅度提高。

2016年3月发布《国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》,对大气污染防治提出4项约束性指标,即到2020年全国地级及以上城市空气质量优良天数达到80%以上,相比2015年PM_{2.5}未达标的地级及以上城市浓度下降18%,全国二氧化硫和氮氧化物排放量削减15%,生态环境质量总体改善。

2018 年 6 月中共中央、国务院发布《关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》,要求编制实施打赢蓝天保卫战三年行动计划,以京津冀及周边、长三角、汾渭平原等重点区域为主战场,调整优化产业结构、能源结构、运输结构、用地结构,强化区域联防联控和重污染天气应对,进一步明显降低 PM_{2.5}浓度,明显减少重污染天数,明显改善大气环境质量,明显增强人民的蓝天幸福感。

2018年7月国务院印发了《打赢蓝天保卫战三年 行动计划》。《打赢蓝天保卫战三年行动计划》以习近 平新时代中国特色社会主义思想为指导, 落实党中央、 国务院决策部署和全国生态环境保护大会要求, 要求经 过3年努力,到2020年,二氧化硫、氮氧化物排放总 量分别比 2015 年下降 15%以上; PM25 未达标地级及以 上城市浓度比2015年下降18%以上,地级及以上城市 空气质量优良天数比率达到80%, 重度及以上污染天数 比率比 2015 年下降 25%以上。《打赢蓝天保卫战三年行 动计划》提出了六方面措施,分解落实到国家相关部门, 并明确量化指标和完成时限。一是调整优化产业结构, 推进产业绿色发展。优化产业布局,严控"两高"行业 产能,强化"散乱污"企业综合整治,深化工业污染治 理,大力培育绿色环保产业。二是加快调整能源结构, 构建清洁低碳高效能源体系。有效推进北方地区清洁取 暖,重点区域继续实施煤炭消费总量控制,开展燃煤锅 炉综合整治,提高能源利用效率,加快发展清洁能源和 新能源。三是积极调整运输结构,发展绿色交通体系。 大幅提升铁路货运比例, 加快车船结构升级, 加快油品 质量升级,强化移动源污染防治。四是优化调整用地结 构,推进面源污染治理。实施防风固沙绿化工程,推进 露天矿山综合整治,加强扬尘综合治理,加强秸秆综合 利用和氨排放控制。五是实施重大专项行动, 大幅降低

污染物排放。开展重点区域秋冬季攻坚行动,打好柴油货车污染治理攻坚战,开展工业炉窑治理专项行动,实施挥发性有机物专项整治。六是强化区域联防联控,有效应对重污染天气。建立完善区域大气污染防治协作机制,加强重污染天气应急联动,夯实应急减排措施。

与此同时,从 2017 年开始,原环境保护部已连续发布了京津冀及周边、长三角和汾渭平原三个秋冬季 (10 月到次年 3 月) 大气污染综合治理攻坚方案,以秋冬季 PM_{2.5} 下降和重污染天数减少为目标,长效措施、季节性错峰和重污染天气应对相结合,强化监督、帮扶和量化问责,着力改善秋冬季环境空气质量,千方百计降低重污染程度和天数。他们创建的排查、交办、核查、约谈、专项督察"五步法"工作模式被写入中共中央办公厅、国务院办公厅印发的《关于构建现代环境治理体系的指导意见》中^[9]。

2017年3月,李克强总理在"两会"期间明确提出 设立专项资金,组织相关学科优秀科学家,针对雾霾形 成机理与治理开展集中攻关。2017年4月26日,国务院 第170次常务会议决定,由原环境保护部牵头,科技、 农业农村、卫生健康、气象、中科院和高校等多部门和 单位协作,针对京津冀及周边地区秋冬季大气重污染成 因和来源、重点行业和污染物排放管控技术、大气污染 综合决策支撑、大气污染对人群的健康影响及公众健康 防护等难题开展攻坚,实现重大突破,推动区域空气质 量持续改善。生态环境部牵头成立了多部门协作的大气 攻关领导小组,以"1+X"模式组建国家大气污染防治 攻关联合中心、聚集 200 多家科研院所和单位协同攻关、 建设国内最大的综合立体观测网和数据采集与共享平台, 摸清了京津冀及周边地区秋冬季大气重污染成因和来源, 建立了区域高时空分辨率动态排放清单, 查明了区域重 点行业和领域大气污染防治存在的问题, 提出了区域空 气质量持续改善的时间表与路线图。同时,建立"一市 一策"跟踪研究机制,对"2+26"每个城市进行科技帮 扶,解决了地方政府在大气污染防治方面"有想法,没 办法"的难题,实现了科学研究与业务化应用高度融合, 全面支撑了"大气十条"的收官、蓝天保卫战三年行动 计划的实施,推动了国家和区域科学决策和精准治污, 为其他地区大气污染治理提供了引领和示范。

经过两年多努力,打赢蓝天保卫战取得重要的阶段 性进展,全国和重点区域环境进一步改善,重污染天数 持续下降。

5 展望未来, 久久为功才能蓝天永驻

党的十九大提出分阶段的生态环境改善目标,要求

到 2020 年要坚决打好污染防治攻坚战,特别是要打赢蓝天保卫战,使全面建成小康社会得到人民认可、经得起历史检验;2020—2035 年生态环境根本好转,美丽中国目标基本实现;2035—2050 年生态文明将全面提升。

要实现这些目标,有机遇也有挑战。最大的机遇是习近平生态文明思想深入人心,绿色发展、低碳发展、高质量发展成为经济发展主流。新旧动能转换带来产业结构、能源结构、交通运输结构的进一步调整和优化,更先进的大气污染控制技术为污染减排提供了更强大的动力,生态环境治理体系和治理能力现代化建设为空气质量的持续改善提供了坚实的保障。2013 年以来,通过执行《大气污染防治行动计划》《蓝天保卫战三年行动计划》和连续三个重点地区秋冬季大气污染综合治理攻监方案,开展京津冀及周边大气重污染成因和治理等科技支撑项目,弄清了大气重污染的成因和来源,大气污染综合防治的思路和方向已经明确[5-8,10],环境空气质量管理体系和技术体系已经日趋完善,综合防治方向从国家向地方延伸。

挑战是现实的,也是长远的。虽然大气污染防治取得显著进展,但以 PM_{2.5} 为主的大气污染形势仍然十分严峻。2019 年全国 337 个地级及以上城市 PM_{2.5} 平均浓度为 36 微克/立方米,京津冀及周边"2+26"城市、长三角、汾渭平原 PM_{2.5} 平均浓度分别为 57 微克/立方米、41 微克/立方米和 55 微克/立方米,均超过国家环境空气质量二级标准。2018—2019 年秋冬季京津冀周边"2+26"城市 PM_{2.5} 浓度同比反弹,重污染还时有发生。即使我们能在短期内实现 PM_{2.5} 达标,但我国的标准限值执行的是世界卫生组织第一阶段目标值,与发达国家执行并达到的第二阶段和第三阶段目标值还相差甚远。除此之外,近些年强化的污染防治已经将能做和相对好做的措施都几乎用到了极致,未来污染减排和空气质量改善的难度增大,边际成本也会越来越高。

值得关注的是近些年在我国 PM_{2.5} 污染水平持续降低的同时,臭氧污染问题凸显,污染天数增加,成为实现优良天数约束性指标的重要障碍。分析表明,近三年以来我国地级及以上城市臭氧达标城市数明显减少,超标城市数量增加,尤其是 2019 年达标城市数量剧减,超标城市数量剧增,其中大于 215 微克/立方米的城市个数高达 18 个。

PM_{2.5} 和臭氧都是复合型大气污染物。PM_{2.5} 由一次颗粒物和二次颗粒物组成。一次颗粒物包含烟尘、粉尘、机动车、尾气尘和扬尘; 二次颗粒物来源于排放的二氧化硫、氮氧化物、氨和挥发性有机物在大气中经过复杂的化学转化所形成的颗粒物。臭氧几乎没有人为排放,

它是排放的氮氧化物和挥发性有机物在阳光和热的作用 下产生光化学反应所生成的二次污染物。解决以 PM,、

和臭氧为代表的区域性复合型大气污染,必须强化属地责任、实行联防联控,多种污染物协同减排、精准控制。

消除烟尘,构建大气环境容量理论(1972-1990年)

- 1973年:第一次全国环境会议;《关于保护和改善环境的若干规定》通过;原国务院环境保护领导小组成立;《工业"三废"排放试行标准》发布
- 1978年、1979年:"保护环境和自然资源,防止污染和其他公害"写入《宪法》;环境保护基本法《中华人民共和国环境保护法(试行)》颁布
- 1982年: 首个《大气环境质量标准》发布布
- 1988年: 大气污染防治第一部法律《大气污染防治法》开始施行
- 该阶段以烟粉尘污染为防控重点,开展了大气环境容量研究、光化学污染研究、工业烟气污染研究以及酸雨研究等奠基性、开创性工作



分区管控, 防止酸雨和二氧化硫污染 (1991-2000年)

- •1990年、1992年:《关于控制酸雨发展的意见》通过;工业燃煤二氧化硫排污费和酸雨综合防治试点工作开展
- •1995—1998年:《大气污染防治法》第一次修订,要求划定"两控区",重点控制酸雨污染; 二氧化硫与酸雨污染联合控制取得成效
- •1995—2000年:提出实施污染物排放总量控制,建立排放总量指标体系和定期发布制度,开展排污许可证制度试点;"一控双达标"计划的制定与实施;限制含铅汽油,机动车船污染排放控制;总悬浮颗粒物和可吸入颗粒物指标共存;《大气污染防治法》2000年第二次修订
- "九五"期间污染物排放总量显著下降,但仍居高位,且酸雨污染依然严峻



总量控制, 二氧化硫排放量见顶下降(2001-2010年)

- •2001—2005年:《国家环境保护"十五"计划》细化总量控制目标;《两控区酸雨和二氧化硫污染防治"十五"计划》落实"两控区"二氧化硫削减任务;《火电厂大气污染物排放标准》修订明确2005、2010年火电厂二氧化硫、烟尘、氮氧化物排放限值
- "十五"期间,我国进入污染事故多发期和矛盾凸显期
- •2006年:《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》提出以科学发展观统领经济社会发展全局;《"十一五"期间全国主要污染物排放总量控制计划》将污染物排放总量分解落实到基层与重点排污单位
- •2007年:《国家环境保护"十一五"规划》部署火电建设脱硫设施,加强可吸入颗粒物污染防治,开展城市群区域性大气污染防治研究、监测和预警;《节能减排综合性工作方案》印发,强力推进节能减排,调整经济结构,转变增长方式;《主要污染物总量减排统计(监测、考核)办法》出台,细化减排监督体系
- •2008年:北京奥运会成功探索联防联控解决区域性大气环境问题
- •2010年:《关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量的指导意见》推动建立联防联控机制,形成区域大气环境管理体系
- "十一五"期间,污染物排放总量减排全面发挥效益,城市空气质量显著得到改善,二氧化硫进入下降态势



攻坚克难, 打赢蓝天保卫战 (2011-2020年)

- •2012年:新修订的《环境空气质量标准》实施,增加PM2.5和臭氧8小时指标
- •2013年:74城市按新标准率先开展空气质量监测;《大气污染防治行动计划》出台,经过五年努力,全国空气质量总体改善,重污染天气较大幅度减少,重点区域空气质量明显好转,大气污染防治新机制基本形成,创造了大气污染防治的中国模式
- •2015年:《大气污染防治法》修订,为大气污染防治提供了更为坚实的法律基础
- •2016年:《国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》对大气污染防治提出4项约束性指标
- •2018年:《关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》发布,并印发《打赢蓝天保卫战三年行动计划》
- 2017—2020年:雾霾、秋冬季重污染专项研究攻关;大气污染防治攻关联合中心建立;连续发布重点区域秋冬季大气污染综合治理攻坚方案

图 1 我国大气污染治理历程回顾

5.1 生态优先、绿色发展,进一步调整产业结构,实现高质量发展

· 14 ·

产业结构表征发展质量,直接影响大气污染物的产生量。我国产业结构在持续优化中,第一、二、三产业比例已经从2010年的10.2:46.8:43 调整到2018年的7.1:39:53.9,第三产业占比明显增加,第二产业占比明显减低。与世界大部分国家相比,我国第三产业在GDP中所占比重仍然偏低,第二产业占比偏高。在第二产业中,高消耗、高污染行业产能大、产量高。虽然通过淘汰落后产能,化解过剩产能,总的产能规模有所下降,但产量一直处于高位。2018年,我国粗钢产能10.6亿吨,产量9.28亿吨;水泥产能2.34亿吨,产量21.8亿吨;平板玻璃产能16.7亿重量箱,产量9.23亿重量箱。这些主要高耗能、高污染行业的产量都居世界第一。

党的十九大提出要实现经济从高速发展向高质量发展转变。习近平总书记 2019 年"两会"期间参加内蒙古自治区代表团审议时强调,要"保持加强生态文明建设的战略定力,探索以生态优先、绿色发展为导向的高质量发展新路子,加大生态系统保护力度,打好污染防治攻坚战"。这是未来我们谋划发展,调整结构,保护生态环境,实现经济效益、社会效益和环境效益相统一的基本遵循

5.2 清洁高效,低碳少污,进一步调整能源结构,提 升清洁能源、新能源和可再生能源供给能力

我国是世界能源生产第一大国,基本形成了煤、油、气、可再生能源多轮驱动的能源生产体系,在我国经济社会发展过程中充分发挥了坚实有力的基础性保障作用。我国能源禀赋的特点是富煤少油缺气。2018年,能源生产总量达37.7亿吨标准煤,其中原煤产量36.8亿吨,原油产量1.9亿吨,天然气产量1602.7亿立方米,发电量71117.7亿千瓦小时。能源消费总量46.4亿吨标准煤,人均3332千克标准煤。

生产结构逐步向清洁化转变。受我国能源资源禀赋"多煤少油缺气"特点影响,2018年原煤占比下降到最低,为69.3%;原油占比7.2%;天然气、一次电力及其他能源等清洁能源占比5.5%,一次电力及其他能源占比18.0%。

消费结构持续优化改善。受资源禀赋特点影响,煤炭占我国能源消费总量比重始终保持第一,但总体呈现下降趋势,由 1953 年的 94.4%下降到 2018 年最低的 59.0%;石油占比在波动中提高,由 1953 年最低的 3.8%提高到 2018 年的 18.9%;天然气、一次电力及其他能源等清洁能源占比总体持续提高,天然气由1957 年最低的 0.1%提高到 2018 年最高的 7.8%,一次电力及其他能源由 1953 年的 1.8%提高到 2018 年最高的 14.3%。

5.3 问题导向、目标引领,弄清大气污染来源成因, 为科学治污提供坚实基础

实现生态环境监测与科学研究的紧密结合。我国生 态环境质量监测主要服务于生态环境质量评价和目标考 核。通过实行"谁考核,谁监测"和生态环境监测第三 方运营,破解了利益相关带来的数据作假问题,保障了 空气质量监测数据的质量。但是长期以来监测和科研相 互脱节的问题没有得到彻底解决,导致一方面监测数据 资源得不到充分利用,另一方面相关科研工作不得不重 复搭建监测平台。建议国家统筹考虑生态环境监测和科 研两方面的需求,从城市到乡镇、从局地到区域,完善 生态环境空气质量监测网,构建以空气质量常规指标监 测网、有毒有害大气污染物监测网、PM2.5组分监测网、 臭氧监测网、温室气体监测网为基础,纳入卫星遥感、 地基遥感、低空探测、航空和走航观测等先进手段,并 实现与气象部门相关数据的实时共享,构建全要素、天 地空一体化的大气环境监测平台, 为环境空气质量评价 与定量考核、全球气候变化应对、研究大气环境演变和 大气污染来源与成因,提供高质量、连续性、多要素的 数据集,并作为公共产品向社会开放。

发展适用我国特点的环境空气质量模型。空气质量模型定量描述大气污染物排放、气象过程、化学反应和环境质量之间的关系,是科学决策的基本工具。我国科学家虽然在致力于我国空气质量模型的研发,但实际应用中最多的还是美国主导的 CMAQ 空气质量模型。大量模拟研究结果表明,该模型虽然能比较好地再现大气污染变化趋势,但对于重污染的模拟能力较差,而不管是空气质量管理还是重污染天气应对,都需要精准地认识排放、气象和空气质量之间的关系。建议国家组织生态环境、气象和相关科研单位与高等院校组建专门团队联合攻关,基于超级计算系统研发我国的空气质量模型,提升国外模型对我国高浓度污染模拟的适应性。

以大气环境容量确定污染物排放最大允许排放量。20世纪80年代我国就建立了大气环境容量的概念和城市主要污染物环境容量的算法。但我国目前大气污染的特点是以PM₂,和臭氧为代表的区域性、复合型污染,传统的环境容量算法已不完全适应。近些年我国学者在此领域进行了一些有益的尝试,但仍没有形成带有法规性质的复合型大气环境容量算法和模型。大气环境容量取决于大气自净能力,又和大气污染排放及其空间结构密切相关。科学定量确定大气环境容量,不仅可以以最小的减排成本实现环境质量的持续改善,也能对我国重要产业的合理布局提供科学基础。

5.4 清洁生产,全程控制,显著减少污染物的产生量 和排放量

清洁生产可以大幅降低污染物的产生量,全过程控制可以显著减少污染物的排放量。低硫低灰高品位煤炭

和原料、水性或低挥发性涂料的使用以及低耗高效生产工艺的采用,都可以显著降低污染物的产生量,降低末端治理的压力。不断改进的污染控制最佳实用技术会不断地提升污染减排的效率。发展针对不同行业的多污染物系统性一体化控制技术体系,实现源头、过程和末端治理相结合的全过程控制,有助于降低单位产品污染物排放量和单位污染减排的成本。

5.5 属地责任, 联防联控, 改善局地质量, 降低区域 间相互影响

2016 年实施的新《大气污染防治法》强调地方人民政府对辖区的环境空气质量负责,同时也提出要通过联防联控实施区域污染防治。"大气十条"将京津冀、长三角和珠三角划为重点区域,《打赢蓝天保卫战三年行动计划》将京津冀及周边、长三角和汾渭平原划为重点区域。考虑到近些年我国大气污染的空间分布变化和区域间相互影响的研究,建议适当扩大重点区域的范围,将京津冀及周边与汾渭平原所在省份全部纳入PM_{2.5} 污染重点控制区,将京津冀及周边和长三角所在省份全部纳入臭氧污染重点控制区,以避免碎片化地解决 PM_{2.5} 和臭氧区域污染问题。

5.6 智慧监控,数据归真,强化污染源监管

经过几年持续不断的努力,我国环境空气质量监测 体系日趋完善,监测数据能够真实反映空气质量状况及 其变化趋势,但污染源排放监测仍有很大的改善空间。《大气污染防治法》要求重点排污单位应当安装、使用大气污染物排放自动监测设备,并对监测数据的真实性和准确性负责。但由于缺乏必要的监管手段和有效的质控体系,自动监测设备的稳定性及其数据连续性和准确性难以保障。空气质量与污染物排放量直接相关。结合排污许可制度的实施,在环境质量监测数据归真的同时推进排放监测数据的归真势在必行。

参考文献:

- [1] 王玉庆. 中国环境保护政策的历史变迁 [J]. 环境与可持续发展, 2018, 43 (4): 5-9.
- [2] 吴舜泽, 申宇, 郭林青, 等. 中国环境战略与政策发展进程、特点及展望 [J]. 环境与可持续发展, 2020, 45(1): 34-36.
- [3] 柴发合,王淑兰,王锷一.中国城市空气质量分级管理战略探讨 [J].环境与可持续发展,2011,36(5):5-7.
- [4] 李培,王新,柴发合,我国城市大气污染控制综合管理对策[J]. 环境与可持续发展,2011,36(5):8-14.
- [5] 柴发合、贯彻《大气污》的活行动计划》力促环境空气质量改善 [J]. 环境
- 与可持续发展, 2013, 38(6): 5-8.
 [6] 柴发合,云雅如,王淑兰.关于我国落实区域大气联防联控机制的深度思考
 [1]. 环境与可持续发展, 2013, 38(4): 5-9.
- [7] 王淑兰, 柴发合, 高健. 我国中长期 PM_{2.5} 污染控制战略及对策 [J]. 环境与可持续发展, 2013, 38(4): 10-13.
- 与用疗痰灰胺, 2013, 38(4): 10-13. [8] 高健, 王淑兰, 柴发合. 我国大气灰疆污染特征及污染控制建议 [J]. 环境与可持续发展, 2013, 38(4)· 14-16.
- [9] 吴舜泽,崔金星,殷培红. 把生态文明制度体系优势转化为生态环境治理效能;解读《关于构建现代环境治理体系的指导意见》[J]. 环境与可持续发展,2020,45(2):5-7.
- [10] 陈飞,于洪霞,柴发合.徐州市大气 $PM_{2.5}$ 污染特征和来源解析 [J]. 环境与可持续发展,2017,42(5):135–138.

Review and prospect on the atmospheric pollution control in China

CHAI Fahe

(Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: The atmospheric pollution control is an important part of China's ecological and environmental protection, and has been generally deepening with the evolution of the main atmospheric environmental problems in the process of social and economic development. China has done a lot of work in atmospheric pollution control and atmospheric quality management for decades and achieved remarkable achievements. Based on a systematic review of China's atmospheric pollution control progress, this paper puts forward new ideas for promoting China's air pollution control innovative ideals in the new era. Since the 1970s, with social and economic development and ecological and environmental protection progress, China's atmospheric pollution control has experienced mainly the following four stages: the smoke prevention and dust control with building the theory of atmospheric environmental capacity (1972-1990), regional control focusing on prevention and control of acid rain and SO₂ pollution (1991-2000), the total amount control with decreased sulfur dioxide emissions (2001-2010), overcome difficulty to win the blue sky battle (2011-2020). In particular, the more advanced atmospheric pollution control technology provides a more powerful incentive for atmospheric pollution reduction. Modernization construction on ecological and environmental governance system and governance ability provides a solid guarantee for the continuous improvement of atmospheric quality. Directed by Xi Jinping's Ecological Civilization Thought, in order to promote the green, low carbon and high quality development, and the oldnew energy transform with regards to the adjustment and optimization of industry structure, energy structure, transportation structure, the innovative ideas of future atmospheric pollution governance are as follows: enhanced adjustment of industrial structure under ecological priority and green development principle; being clean and efficient, low in carbon and low in pollution by adjusting the energy structure with improved supply of clean energy, new energy and renewable energy; keeping problemoriented and goal-oriented to understand the causes of air pollution and provide a solid foundation for scientific pollution control; persist in clean production and control to significantly reduce the amount of pollutants and emissions; insist on local responsibility, joint prevention and control to improve local quality and reduce the mutual influence within regions; intelligent monitoring and precise data to strengthen the supervision of pollution sources.

Keywords: atmospheric pollution control; review and prospect; China