



大气污染防治理论与应用丛书

AIR POLLUTION AND CLIMATE CHANGE:
COMMON ORIGINS AND CO-BENEFIT STRATEGIES

空气污染和气候变化： 同源与协同

柴发合 支国瑞 等 编著

中国环境出版社



大气污染防治理论与应用丛书

空气污染和气候变化： 同源与协同

Air Pollution and Climate Change: Common Origins and Co-benefit Strategies

柴发合 支国瑞 等 编著

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

空气污染和气候变化: 同源与协同/柴发合等编著. —
北京: 中国环境出版社, 2014.12
(大气污染防治理论与应用丛书)
ISBN 978-7-5111-1747-2

I. ①空… II. ①柴… III. ①空气污染控制②气候
变化—研究 IV. ①X510.6②P467

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 039805 号

出 版 人 王新程
责任编辑 沈 建 葛 莉 张 娣
责任校对 尹 芳
封面设计 彭 杉

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67113412 (教材图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2015 年 5 月第 1 版
印 次 2015 年 5 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 11.25
字 数 276 千字
定 价 56.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

本书编委会

主 编：柴发合

副 主 编：支国瑞

参加编写：薛志钢 王淑兰 高 健 付加锋 云雅如

胡 君 蔡 竞 杨俊超 高 炜 付 建

孔珊珊 白鹤鸣 齐 蒙

序言

空气污染和气候变化是当今人类可持续发展面临的两大环境问题，其根源均在于人类活动特别是能源利用中的排放活动。这些排放活动既污染环境空气，又影响全球气候，因此作者在第1章就形象地描述为“本是同根生”，不仅表明了两大环境问题来源的一致性，也意味着控制的协同性。然而，长期以来这两个问题一直是分而治之，由此带来了一些相互对立的尴尬局面，不仅不能达到预期的治理效果，而且增加了全社会控制成本。典型的例子是近几十年来为应对空气污染和酸雨危害而正在成功实施的脱硫努力，有可能在一定时期内和一定程度上抵消人类减缓变暖的努力。本书正是在这样的大背景下，本着“揭示矛盾、寻找联系、追求共赢和利益最大化”的宗旨，力促树立将空气污染和气候变化统筹考虑的“一盘棋”思想，并对当今空气污染和气候变化领域的热点问题广泛讨论，提出了在思想、技术和管理等方面需要做出的努力。同时，我们力求“摆事实的科学性、讲道理的风趣性”，将这两大问题有机地联系起来，相信非常具有实践意义。

作者

2015年1月

目录

第 1 章 碰撞的火花	1
1.1 硫之惑 /1	
1.2 回首：应对空气污染 /6	
1.3 回首：应对气候变化 /11	
1.4 走到一起来 /15	
参考文献 /16	
第 2 章 本是同根生	18
2.1 能源利用和转化是驱动社会经济发展的物质源泉 /18	
2.2 以燃烧为特征的人类活动是空气污染和气候变化的重要根源 /21	
2.3 资源开发和利用过程的排放 /24	
2.4 主要温室气体和大气污染物 /26	
参考文献 /30	
第 3 章 激起千重浪	32
3.1 健康危害 /32	
3.2 能见度降低 /39	
3.3 气候变暖 /42	
3.4 生态影响 /44	
3.5 材料损害 /49	
参考文献 /50	
第 4 章 气溶胶的爱与恨	53
4.1 气溶胶的多面特征 /53	
4.2 气溶胶对空气能见度的影响 /59	
4.3 气溶胶的健康危害 /61	
4.4 气溶胶的气候效应 /63	
参考文献 /65	
第 5 章 氮：难说平淡	67
5.1 氮的存在形式及氮循环 /67	
5.2 人类扰动对空气质量和气候变化影响的关联性和复杂性 /70	

5.3 活性氮减排：空气质量和气候变化的共同目标 /73

参考文献 /78

第6章 臭氧：高天为佛，立地成魔81

6.1 平流层臭氧——高空的佛 /81

6.2 对流层臭氧——地面的魔 /85

6.3 对流层臭氧前体物简介 /89

6.4 平流层和对流层臭氧浓度的变化 /91

6.5 臭氧层的保护和对流层臭氧的控制 /96

参考文献 /97

第7章 黑碳：黑马？102

7.1 初识黑碳 /102

7.2 气候快速行动 /110

7.3 减少黑碳排放途径 /114

7.4 黑碳的碳捕集和储存（CCS） /119

7.5 黑碳政治 /119

参考文献 /120

第8章 地球工程：天地狂想曲？126

8.1 地球工程的提出 /126

8.2 地球工程：原理和主线 /130

8.3 降低 CO₂ 浓度 /131

8.4 提高地球反射能力 /133

8.5 评价问题 /136

8.6 谨慎的声音 /136

8.7 实施地球工程应谨慎 /138

参考文献 /139

第9章 空气污染和气候变化：一盘棋思想143

9.1 空气污染和气候变化：难以割裂 /143

9.2 寻求对立中的统一 /147

9.3 国际合作 /155

参考文献 /157

第10章 控制空气污染和应对气候变化：中国行动158

10.1 中国认识空气污染和气候变化的过程 /158

10.2 中国空气污染和气候变化方面的现状 /160

10.3 中国政府面对空气污染和气候变化的态度、政策和行动 /165

10.4 需挖掘更大的潜力搞好协同控制 /170

参考文献 /172

第 1 章

碰撞的火花

导语

俗话说“不打不成交”。空气污染和气候变化是大气科学领域面临的两大挑战，历史和现实的原因造成的各成体系的应对措施时常发生碰撞，正是这种碰撞的火花有望照亮“双赢”之路。

1.1 硫之惑

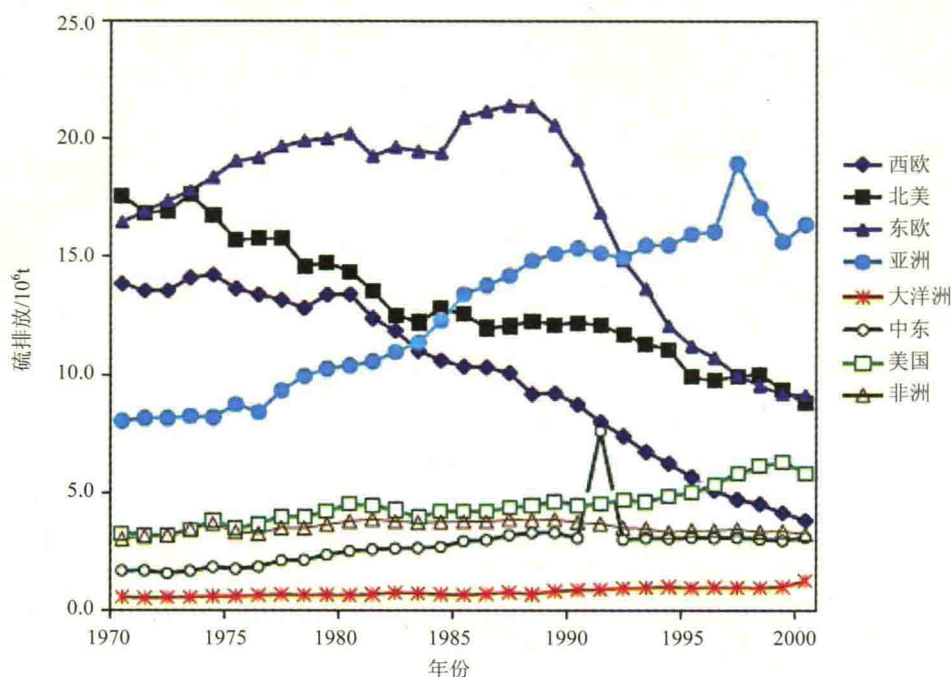
空气污染和气候变化是大气科学领域面临的两大挑战。以应对空气污染和酸雨危害的 SO_2 （二氧化硫）控制为例，从技术到实践，已经相当成熟（图 1-1），但近年来的一些研究结果对此却提出警示。



注：左侧是除尘车间，中间是脱硫塔，右侧是烟囱和冷却塔的结合体（拍摄于神华集团国华电力公司三河电厂）。

图 1-1 燃煤电厂的脱硫塔

2009 年《自然·地球科学》上发表的一篇题为《20 世纪区域辐射强迫的气候响应》^[1]的文章指出，1976 年以后高达 70% 的北极地区升温源于硫酸盐气溶胶的降低及黑碳浓度的上升。对于黑碳的问题这里暂且不多讨论，仅硫酸盐气溶胶降低的问题就应该引起人们的重视，因为硫酸盐对大气有降温作用，几十年来欧美地区为改善空气质量而采取的脱硫措施（图 1-2）^[2]，一定程度上也导致了北极硫酸盐浓度的下降。

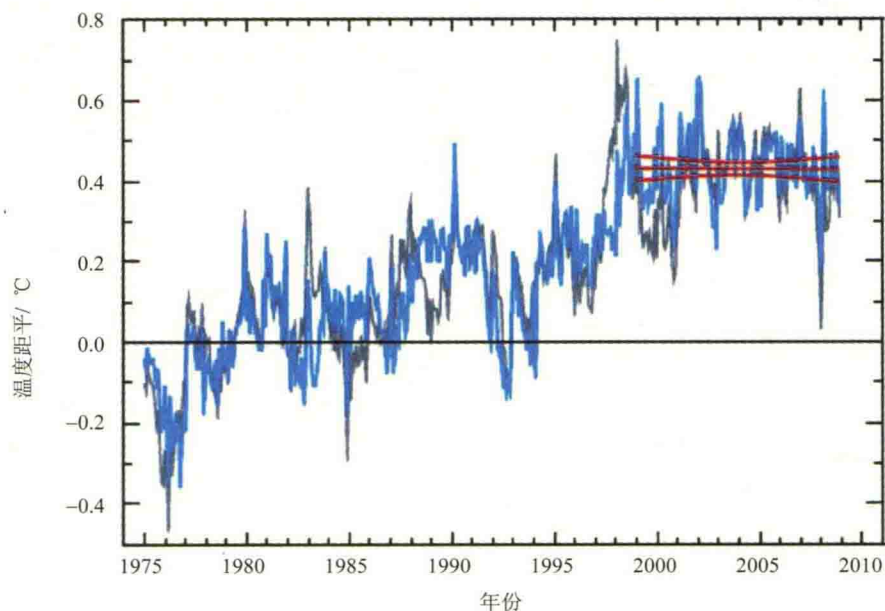


来自: Stern, 2006。

图 1-2 20 世纪 80—90 年代区域硫排放趋势

如果说降硫导致北极地区的升温是个悲剧,那么却有人将亚洲区域未来几十年的气候稳定“寄托”于中国和印度火力电厂的快速发展及脱硫措施的失控上来。他们说,如果中国和印度这两个新兴经济体未来化石能源消耗真的占了全球新增煤电的 80%,那么无节制的 SO_2 等的排放及形成的气溶胶将完全抵消同期 CO_2 (二氧化碳) 的致暖作用,甚至造成局部降温^[3]。历史的某些迹象似乎支持了这种观点,比如一直到 20 世纪 70 年代,尽管化石燃料的消耗量已经历几十年的突飞猛进,但全球气候却相对处于稳定状态。随后全球开始明显升温,这恰与工业化国家在应对酸雨和空气污染过程中对 SO_2 排放的控制历程相一致^[4]。

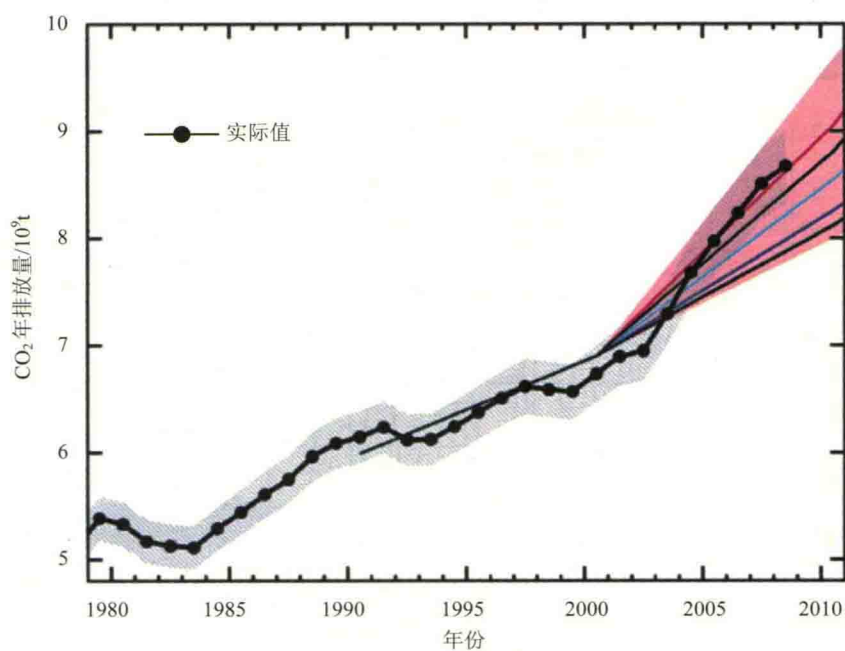
然而,1999—2008 年,尽管仍是全球气温最高的时期,但气温的上升似乎停滞了,这与以前气候模式预测的结果很不相符,“气候变暖怀疑论”再次浮起,并对已经形成的主流观点形成冲击。在 2009 年 8 月《美国气象学会通告》(BAMS) 发表的《2008 年气候状况》报告中, Knight 等首次根据 HadCRUT 3 资料,发现 1999—2008 年全球平均升温为 $(0.07 \pm 0.07)^\circ\text{C}$,明显低于 1979—2008 年的每十年 0.18°C 的增幅(注意,这个 0.18°C 将 1999—2008 年这十年的值也算进去了;如果不算的话,可以推算 1979—1998 年,每十年的温升应该是 0.24°C),也低于联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)报告估计的每十年有 0.20°C 的增温。2009 年 10 月《科学》杂志载文《全球变暖出了什么变故? 科学家说稍安勿躁》^[5,6],资料显示 1999—2008 年全球平均气温上升接近于零(图 1-3)^[5],而这十年 CO_2 的排放量和其在大气中的浓度并没有停止上升(图 1-4)^[7],难道温室气体并不是全球变暖的始作俑者?



注：图中灰色为 1961—1990 年的平均值，蓝色为去掉 ENSO 影响的平均值，红色为 1999—2008 年温度变化情况（含误差范围）。

资料来源：Kerr, 2009；王绍武等，2010。

图 1-3 1975—2008 年全球平均温度与 1961—1990 年平均温度的比较



注：图中黑色为 CO_2 排放量；细线为 IPCC 排放情境。

资料来源：Allison 等，2009；王绍武等，2010。

图 1-4 化石燃料和水泥生产排放的 CO_2

2011 年 Kaufmann 等^[8]在《美国科学院院报》发表了题为《协调人为气候变化与温度观测结果 1998—2008》的论文，研究分析了 1998—2008 年全球气候变化模型之后，认为恰是由于 SO₂ 排放增加，带来了大气对太阳反射的增强，暂时阻止了地球温度的进一步上升。中国的燃煤问题之所以受到格外关注，是因为仅 2003—2007 年的四年时间，中国的燃煤量翻了 1 倍，而此前 1980—2002 年用了 22 年才翻了一倍（图 1-5）。在这四年中，全球煤炭消费增长了 26%，其中 77%是由中国贡献的。由于在亚洲特别是中国燃煤的急剧增加^[9]，增加的硫排放产生了 0.06W/m² 的负强迫（降温）（图 1-6），而不是 1990—2002 年由于硫减排带来的 0.19W/m² 的正强迫（升温）。这种硫排放的增加拖住了同期温室气体上升带来的升温效应，使模拟得到的辐射强迫在 1998 年以后略有上升而在 2002 年以后出现下降（图 1-6），而太阳 11 年活动周期带来的日照减弱及南方涛动指数（Southern Oscillation Index, SOI）的增长进一步放大了这种降温作用^[10]。

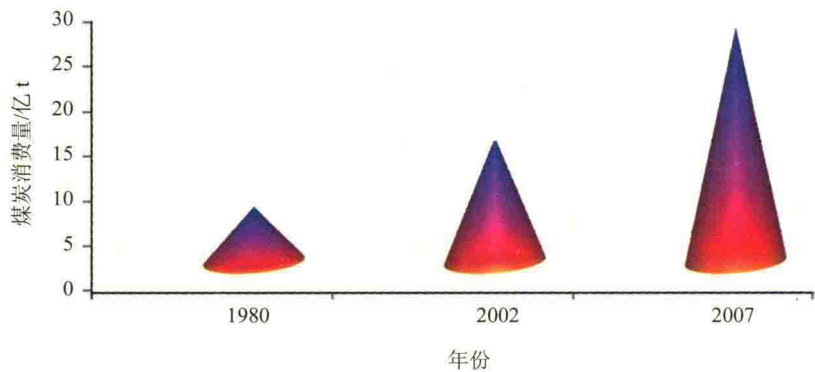
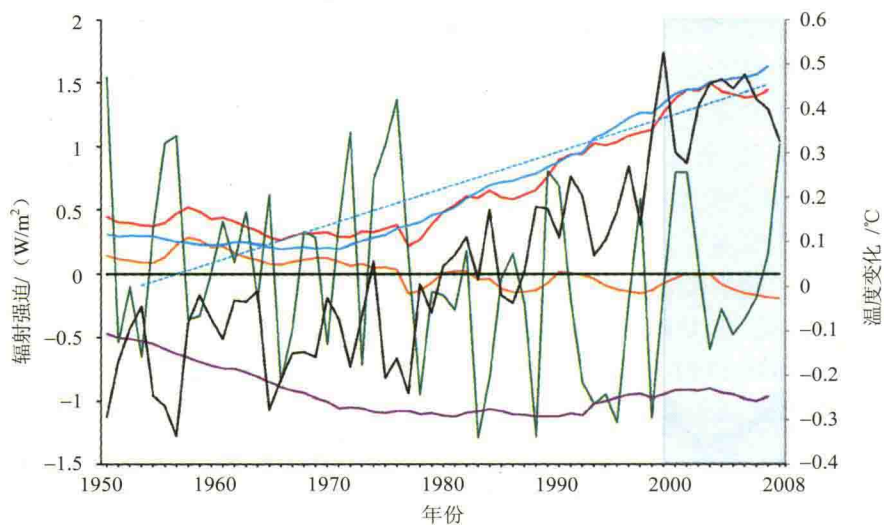


图 1-5 中国煤炭消费翻番加快



注：紫线是人为 SO₂ 排放；蓝线是人为净强迫；蓝色虚线是人为净强迫的线性估测；红线是总辐射强迫；橙线是日照强迫；黑线是温度变化；绿线是 SOI/10；灰色区域是 1998 年以后。
资料来源：Kaufmann 等，2009。

图 1-6 1950 年以来的辐射强迫变化情况

这不免令人担心，果真如此的话，一旦 SO₂ 的排放被有效控制，人们就会明显感受到全球气候变暖的加速。而 SO₂ 的控制确实正在进行中，比如截至 2011 年 5 月，中国的燃煤电厂装机容量达到了 72 119 亿 kW，但是由于环保压力，其增长速度已经大幅降低，2011 年 5 月底火电在建规模为 7 400 万 kW，比上年同期减少 1 010 万 kW。而且中国政府还在争议中制定了世界上最严格的火电厂大气污染物排放标准以应对日益严峻的环境问题，近年来 SO₂ 的排放已经开始减少或基本稳定（《中国能源报》2011 年 7 月 11 日第 6 版）（图 1-7）。以燃煤电厂为例，“十一五”期间环保部加大对燃煤电厂 SO₂ 的控制力度，同时开始着手对 NO_x（氮氧化物）进行控制，到 2010 年全国 86% 的燃煤电厂安装了烟气脱硫装置，14% 安装了烟气脱硝装置。另据中电联预计，到“十二五”末，在全部实现脱硫和除尘的前提下，烟气脱硝的比例将达 80% 以上（表 1-1），这使更多的致冷气溶胶的形成失去了基础，无疑是应对气候变化的“巨大损失”。但话又说回来，难道为了应对气候变化就必须得忍受空气污染吗？这正是需要人们认真思考的问题，以人类的智慧，一定会在矛盾中开创新的道路，实现“共赢”的结局。

表 1-1 我国“十五”计划以来燃煤电厂大气污染控制设施安装情况				单位：%
污染控制设施	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年*
电除尘器	100	100	94	94
布袋/电除尘器	0	0	6	6
烟气脱硫	0	14	86	100
烟气脱硝	0	0	14	83.3

注：*除尘方式沿用了 2010 年的数据，实际情况可能是布袋或电袋除尘有所上升，但目前尚无确切数据。

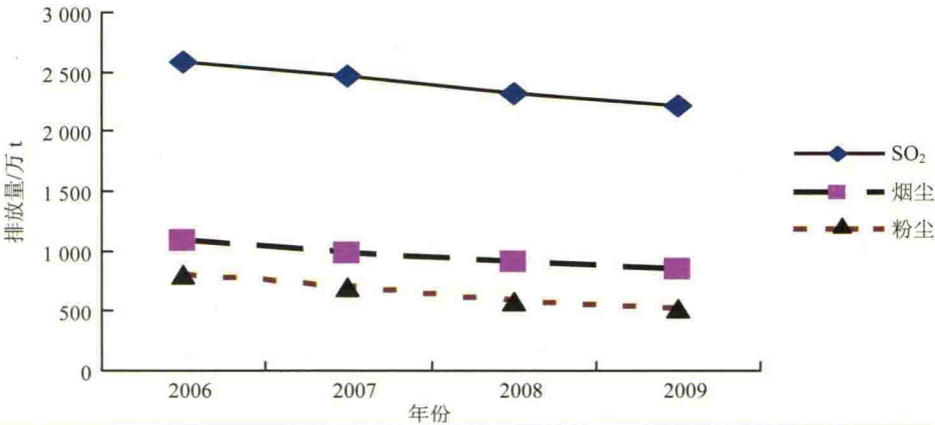


图 1-7 我国近年 SO₂ 等污染物排放变化

其实，类似于硫的尴尬还有许多^[1]，比如柴油发动机较之汽油发动机有更高的燃料能效和更低的 CO₂ 排放量，所以使用柴油成为气候工作者的希望；但是，如果没有足够的技术控制措施（如颗粒物捕集）的话，会明显增加颗粒物的排放，对空气质量的影响是显而易见的。又如，生物质燃料的使用是减少温室气体排放的有效途径之一，其主要原因是生物燃料的碳中性带来的“零”碳排放，但倘若这些生物质在小型低效的炉具中燃烧，不可避免

地会带来更多的颗粒物、VOCs（挥发性有机化合物）及 CO（一氧化碳）的排放，无疑会增加空气污染的烦恼。我们大量的空气污染控制措施倾向于增加能源消耗，因而实际上会增加 CO₂ 的排放，甚至《京都议定书》的“共同履约”和“清洁发展机制”本来旨在降低温室气体减排的成本，但是，如果执行不当，可能会加重“受援”地区的空气污染水平。

总之，空气污染和气候变化应对措施的碰撞结果就是增加另一方的成本，对我们未来的技术开发和政策安排提出了新的挑战，这也是推动本书出版的一个重要因素。

1.2 回首：应对空气污染

1.2.1 空气污染

大气是一个复杂、动态的，以气相为依托的自然体系，是地球生物赖以生存的基本条件之一。大气从下至上分为对流层（约 12 km）、平流层（12~50 km）、中间层（50~85 km）和暖层（又称电离层）（图 1-8），其中在对流层存在着强烈的垂直和水平对流作用，因此是天气现象发生的地方，也是大气污染发生的主要场地。

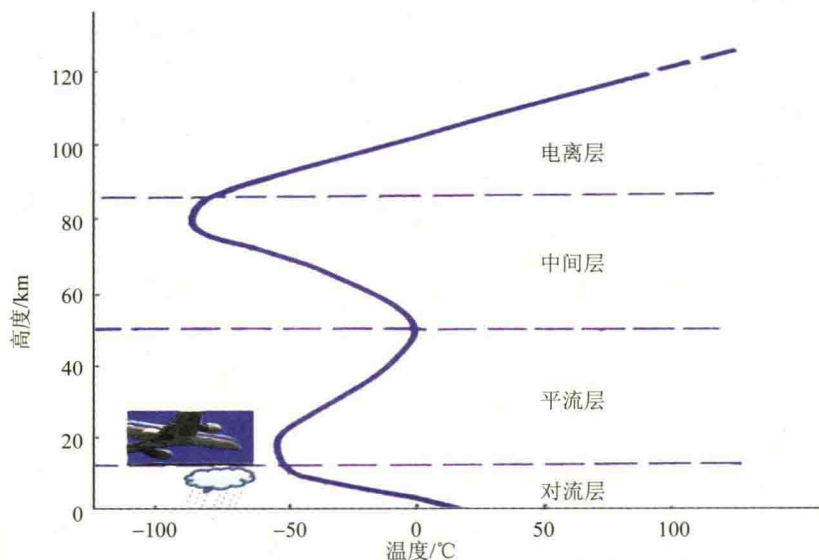


图 1-8 大气垂直分层

空气污染是指化学物质、颗粒物或生物材料进入大气系统，给人或其他生物带来危害或不适，或对自然环境或人为环境带来破坏的状况。空气污染从源头上看包括人为排放源和自然排放源，人为排放源大多与燃料燃烧有关，诸如固定燃烧源、移动燃烧源及受控的森林燃烧，也包括垃圾填埋及其他过程中的废气排放；自然排放源涉及沙尘，地壳因放射性衰变释放的氢气，野火释放的烟气及 CO，植物燃烧释放的 VOCs，火山活动释放的硫、氯及火山灰。本书主要强调人为因素带来的空气污染。

当人类点燃第一把火的时候，标志着人类产生了对空气成分的扰动，而“室”内污染

则开端于人类使用燃料取暖或制备熟食。穴居山洞的内壁附着了厚厚的一层烟黑，可以猜想早期人类在浓烟充斥的“室内”是如何艰难地呼吸，甚至被呛得泪眼蒙眬。我们发现的旧石器时代的木乃伊，肺往往是黑的。

根据世界卫生组织（WHO）的报告，空气污染在许多方面危害人类的健康，包括呼吸系统感染、心脏疾病和肺癌，表现为呼吸困难、气喘、咳嗽，或者加重已有的呼吸和心脏病症。恶劣的空气质量对人体健康的危害程度与污染物种类、污染程度、个人身体素质及遗传因素有关。

1.2.2 大气的自净

空气污染物排放是造成空气污染的必要条件，但不是充分条件，也就是说空气污染物排放并不一定造成人类认可的空气污染后果，因为是否带来空气污染要看污染物是否足以给人类或生态系统带来危害，只有超过一定浓度时才会造成危害。这就像人体需要各种微量元素，含量适度可以保证正常人体机能得以实现，但是如果在自来水中某些元素含量过高（如铬），则会给使用者带来伤害，这个时候才称为污染。大气污染也是这样，污染物进入大气以后，如果浓度很低，不足以产生危害，则不认为形成了空气污染。

这首先要感谢大气的自净能力。大气似乎成了一个最大的垃圾处理厂，千百年来，地球大气层已经不辞辛劳地帮助人类处理了源于燃烧及其他活动的气态或颗粒态废物而没有造成严重污染，这种情况一直持续到工业化革命以前。

大气的自净能力主要由三个因素决定。一是扩散能力，包括空气的垂直和水平对流作用。对流层由于受地表反射太阳辐射和红外辐射的作用，从下向上的温度呈现逐步下降的趋势，低层大气膨胀上行过程中裹挟污染物一起离开低层狭小区域进入更广阔的空间，使低层大气中污染物浓度不至于过高；水平的空气流动使污染物迅速离开污染源，同样避免了在污染源附近的聚集。即使在今天空气污染物排放量较为集中的大城市（如北京），当空气扩散条件好时，依然是蓝天白云、赏心悦目；而当扩散条件不好时，则是令人厌恶的霾。2013年1月，北京市先后经历了四次重污染天气过程，在排放稳定的条件下，逆温层的存在是关键外因，它像一个盖子一样，阻挡着下面污染物的扩散（图1-9）。但毋庸置疑，如果仅靠扩散作用，在降低污染源地区浓度的同时，也在一定程度上提高了相邻区域的空气本底水平。影响大气自净能力的第二个因素是污染物的沉降能力。大多数空气污染物在进入大气以后的几天内由于重力作用和降水作用而沉降到地面，从大气中消失，这是地球物理作用的结果。当然也应当注意，沉降的污染物还会对陆地及水体生态系统带来影响，对于新体系来说可能是新侵入的污染物，控制污染的接力是必不可少的。第三个因素是大气化学转化能力，有些水溶性较差的化合物（如VOCs）通过大气氧化过程而转变为水、CO₂及水溶性化合物，然后很快从大气中消失，比如CO在经过扩散稀释后浓度已经有了降低，再经氧化而变成CO₂，成为可被植物吸收的气体。光照、温度和湿度等条件是大气化学反应的重要条件。

关于大气的自净能力有两点需要说明：一是这种能力不是无限的，而是有一定容量的，所以必须根据这种能力的大小决定人类排放的总量，这使区域总量控制成为必要；二是这种能力与当地气象条件、污染物排放总量甚至城市布局都有一定关系，人们可以通过增加

高大林木、扩大绿地面积来截留、吸附颗粒物或有害气体，提高大气自净能力，同时实现环境的美化。

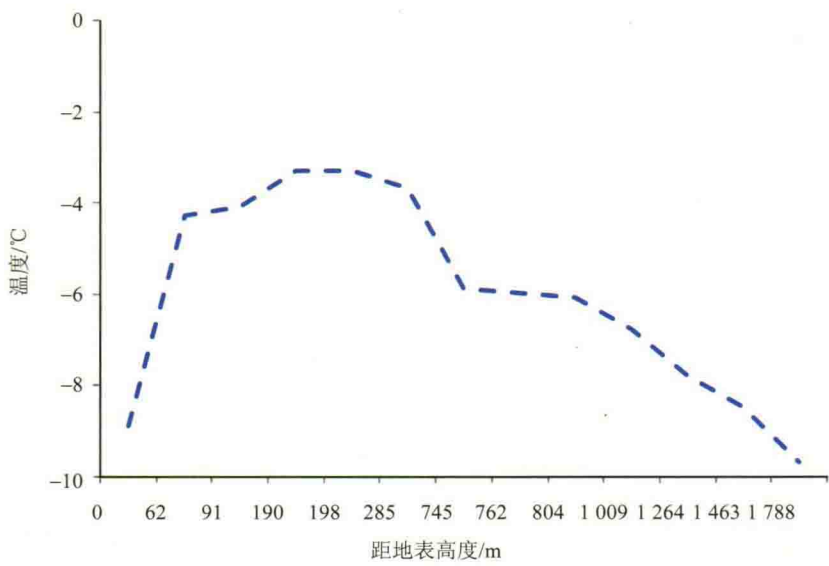


图 1-9 监测到的逆温

1.2.3 全球典型空气污染事件

空气自净能力随着时间、空间变化而变化，扩散条件好、降水多、植被好的地区，自净能力也强。当污染物排放超出当地空气的自净能力时，空气污染就出现了。

20 世纪 70 年代前，全球出现了 8 次典型的环境污染事件，成为人类全面开启应对环境污染时代的催化剂，这 8 个事件是：马斯河谷烟雾事件、洛杉矶光化学烟雾事件、多诺拉烟雾事件、伦敦烟雾事件、日本水俣病事件、富山痛痛病事件、四日哮喘事件、米糠油事件，其中马斯河谷烟雾事件、洛杉矶光化学烟雾事件、多诺拉烟雾事件、伦敦烟雾事件、四日哮喘事件属于大气污染事件。

(1) 比利时马斯河谷烟雾事件

1930 年 12 月 1—5 日，比利时的马斯河谷工业区，工业有害废气（主要是 SO₂）和粉尘的外排，对居民健康造成了综合影响，出现了严重的咳嗽、流泪、恶心、呕吐等症状，一周内发病几千人，死亡近 60 人，特别是患有心脏病、肺病的人群死亡率明显增高，也造成了家畜死亡率的增高。

(2) 美国洛杉矶光化学烟雾事件

1943 年 5—10 月，美国洛杉矶市发生光化学烟雾事件，大多数居民出现眼睛红肿、喉炎等病症，呼吸道患者病情加重，400 多名 65 岁以上的老人死亡。研究认为，大量汽车废气的排放是此次事件的罪魁祸首。

(3) 美国多诺拉烟雾事件

1948 年 10 月 26—30 日，美国宾夕法尼亚州多诺拉镇大气中的 SO₂ 以及其他氧化物与

大气烟尘共同作用,生成硫酸烟雾,4天内42%的居民患病,17人死亡,中毒症状为咳嗽、呕吐、腹泻、喉痛。

(4) 英国伦敦烟雾事件

1952年12月5—8日,英国伦敦持续几天逆温,正值冬季取暖燃煤旺季,加之工业排放,使大气中烟尘浓度高出平时10倍, SO_2 的浓度是以往的6倍,整个伦敦就像是一个令人窒息的毒气室,5天时间内4000多人死亡,随后的两个月又有8000多人丧生。

英国是工业革命的发源地,工业的重要标志之一是化石燃料的大规模利用,崛起的工业使英国走在世界的前列,造就了日不落帝国的辉煌,也为伦敦烟雾事件埋下了伏笔。

(5) 日本四日哮喘事件

20世纪50年代开始,日本四日市石油工业快速发展,但同时也出现了哮喘病人的猛增。有意思的是,当居住在四日市的病人离开城区时,哮喘症状马上好转,而一旦重回这个地区,旧病便卷土重来,因此有了“四日哮喘”的说法。此后的十几年内,四日市又有几次较大的类似情况发生,人们将这种情况归因于工业粉尘、 SO_2 及铅造成的空气污染。

进入80年代以后,全球又出现了两起空气污染事件,即原苏联的切尔诺贝利核泄漏事件及印度博帕尔事件。但严格地说,这只是两起环境事故,与传统意义的大气污染事件并不一致。

上述事件的出现一次次警醒人类特别是当权者,对于自然资源的开发、利用以及对物质财富的追求不能为所欲为,否则就会超出大气自身的容忍度而遭受报复,付出高昂的代价甚至大量生命。

1.2.4 应对污染的措施和法律

人类在一次次教训中觉醒,特别是在崇尚法治的时代,通过法律约束,逐步规范社会、行业、公民的行为,也促使当权者必须采取实实在在的措施来完成法律赋予的责任,在与大气污染的斗争中不断取得成就。

1.2.4.1 英国和欧盟

悲剧迫使英国人痛下决心整治环境。根据有关资料介绍,1956年英国政府首次颁布《清洁空气法案》,决定对居民区的旧式炉灶进行改造,并设立市内无烟区,大规模搬迁燃煤污染企业;1968年,英国政府又要求工业企业必须建造高大的烟囱,使得烟羽尽可能向高处和远处扩散,或者在最终沉降到地面以前有更多的时间被稀释和转化;1974年,出台《空气污染控制法案》,规定了工业燃料的硫含量上限。通过这些措施,有效地减少了源于煤炭燃烧的烟尘和 SO_2 污染。1995年,针对汽车尾气成为英国大气的主要污染源的现实,英国通过了《环境法》,1997年又出台了《空气质量法》,设立了必须在2005年前实现的污染控制目标,特别是要减少 CO 、 NO_x 、 SO_2 、颗粒物、 O_3 (臭氧)、苯和1,3-丁二烯等8种常见污染物的大气排放量。2001年1月30日,伦敦市发布了《空气质量战略草案》,市民可以随时查询最新的空气质量状况和空气质量预报。

2008年4月14日,欧盟委员会通过了《环境空气质量指令》,设定了 $\text{PM}_{2.5}$ (细颗粒物)和 PM_{10} (可吸入颗粒物)的含量标准和达标期限。根据该指令,到2020年,欧盟城

市地区的 $\text{PM}_{2.5}$ 必须比 2010 年的平均浓度降低 20%；此前，到 2015 年须将城市地区的 PM_{10} 年平均浓度控制在 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而就各成员国整体而言，则控制在 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的水平。

1.2.4.2 美国和北美

世界八大环境公害事件中，美国占了两起，即 1943 年的洛杉矶光化学烟雾事件和 1948 年的多诺拉烟雾事件，促使美国社会痛定思痛，于 1970 年开始实施《清洁空气法》，以后又经历了 1977 年和 1997 年两次修订，确立了一系列行之有效的原则。根据规定，美国环境保护局（EPA）每天从地面 O_3 、颗粒污染物、 CO 、 SO_2 以及 NO_2 这 5 个方面对空气质量进行监测，按清洁程度分为 6 个等级。美国环境保护局通过 AIRNow 公布空气质量实时情况，发布空气质量预报。美国海洋与大气的管理局的天气服务部门则提供 O_3 1 小时和 8 小时浓度预报，并与 AIRNow 数据共享。

1.2.4.3 觉醒的中国

新中国成立前，中国是一个农业国，生产和生活方式受农耕意识影响较大，环境意识不强。虽然大气污染物有所排放，在人口集中的地方如城市有污染现象，但总体上处于环境的自净能力范围之内。加之中国内忧外患、战乱不断，环境保护这种“福利性”的事业还很难真正进入当局的议事日程。

新中国成立后，意识到实现国家复兴必须实现工业化，能源消耗开始较快增长，粗放的工业生产过程，尤其是全民大炼钢铁过程中的环境破坏更是触目惊心，曾几何时，那浓烟滚滚的大烟囱成了国家蓬勃发展的标志。20 世纪 60 年代末和 70 年代初，受世界环保运动、联合国人类环境会议及《人类环境宣言》的影响，基于我国的环境状况，环境污染的问题在我国开始受到初步重视。1974 年，国务院成立了环境保护领导小组，将工作重点放在城市“三废”（废水、废气、废渣）的处理上。1979 年 9 月《中华人民共和国环境保护法（试行）》颁布，恰值我国进入改革开放的新阶段，我国的环境保护从此有法可依，初步走上了法制化的道路。

我国最近 30 年发展的突出特点是以经济建设为中心，伴随着经济的高速发展，能源和资源消耗加剧，包括空气污染在内的环境问题日益凸显，发达国家在工业化过程中近百年分阶段出现的空气污染问题在我国集中暴发，复合性污染成为环境问题新的特点。可以想象，如果国家没有采取相应的对策，我国各地特别是大城市的空气状况会比今天恶劣得多（尽管我们并不满意今天的状况）。1987 年，我国通过了《大气污染防治法》，1995 年及 2000 年分别进行了两次修订，目前正在根据我国大气污染的实际情况，结合国内外的先进经验，进行第三次修订，有望将区域联防联控、总量控制、多污染物协同控制、VOCs 控制等内容纳入其中，甚至将温室气体纳入该法也在考虑之中，显示了空气污染和气候变化的紧密联系。同时，《大气空气质量标准》（GB 3095—82）于 1982 年发布实施，1996 年进行了第一次修订并更名为《环境空气质量标准》（GB 3095—1996），2000 年发布了 GB 3095—1996 修订单（环发[2000]1 号），2008 年开始进行第二次正式修订，2012 年 2 月 29 日由国务院正式公布新版的《环境空气质量标准》（GB 3095—2012），其中增加了 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 的最小限值，对空气质量达标提出了新的、更严格的要求，将于 2016 年在全国全面实施，这对各地开展空气污染