

高等教育“十三五”规划教材

大气污染控制工程

Air Pollution Control Engineering

◎ 赵兵涛 主编



化学工业出版社

高等教育“十三五”规划教材

大气污染控制工程

Air Pollution Control Engineering

● 赵兵涛 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

《大气污染控制工程》介绍以能源动力类尤其是固定燃烧源为特色的大气污染控制的新理论、新方法和新工艺，重点阐述了固定燃烧源颗粒污染物以及典型气态污染物 SO₂、NO_x、汞及温室气体 CO₂ 的产生原理、控制理论、技术工艺、设计流程及监测方法，并结合具体案例进行了实践分析。

本书可作为高等学校能源动力类学科专业本科生、研究生教材，也可供能源、环境和化工等领域的科学研究人员、工程技术人员及管理人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

大气污染控制工程/赵兵涛主编. —北京: 化学工业出版社, 2017. 8

高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-30421-6

I. ①大… II. ①赵… III. ①空气污染控制-高等学校-教材 IV. ①X510.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 195766 号

责任编辑: 杨 菁 闫 敏

文字编辑: 汲永臻

责任校对: 宋 玮

装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 高教社 (天津) 印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 14½ 字数 352 千字 2017 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 46.00 元

版权所有 违者必究

前 言

能源利用尤其是化石能源利用引起的大气污染已经成为当前相当一段时期内重要的环境问题。近年来,由能源动力等固定源燃烧使用造成的颗粒污染包括 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 以及硫氧化物、氮氧化物、痕量重金属汞与温室气体二氧化碳的排放形势依然严峻。因此,与能源动力类相关的固定燃烧源大气污染控制必要而且迫切。

本书按照普通高等学校能源动力类本科专业课程的基本要求,侧重能源动力类固定燃烧源污染控制的方向与特征,并结合教学改革实践经验编写而成。主要阐述以能源动力类尤其是固定燃烧源为特色的大气污染控制新理论、新方法和新工艺。

全书内容共 11 章。第 1 章阐述大气污染的概念、化石能源利用与污染物排放现状及其计算、我国大气污染控制的动因与挑战以及我国大气质量及污染控制相关标准及其演变与比较。第 2~6 章为固定源燃烧颗粒污染控制:其中第 2 章阐述颗粒污染物的基本特性及控制基础;第 3 章阐述旋风式颗粒污染控制;第 4 章阐述静电式颗粒污染控制;第 5 章阐述过滤式颗粒污染控制;第 6 章阐述洗涤式颗粒污染控制。第 7~10 章为燃烧源典型气态污染控制:其中第 7 章阐述二氧化硫污染控制;第 8 章阐述氮氧化物污染控制;第 9 章阐述燃烧烟气汞污染控制;第 10 章阐述温室气体二氧化碳减排与控制。第 11 章阐述我国大气污染防治的对策与措施。

本书内容力求有所侧重、突出特色、逻辑清晰、结构紧凑,同时注重主题性、新颖性、系统性与实用性的统一。各章内容遵循并贯穿污染成因、控制原理或理论基础、控制工艺、设计方法、监测规范的主线,利于学生掌握能源动力类大气污染控制的基本原理、方法、技术和设计等知识模块,易于学以致用。

本书由上海理工大学赵兵涛主编。编写人员及具体分工为:上海理工大学赵兵涛编写第 1~7 章、第 9~11 章,并负责全书统稿;东华大学苏亚欣编写第 8 章,并负责全书审核。参与编写和绘图工作的人员还有上海理工大学黄朔、钟美、赵伟、张梓均和王大淇等。

本书得到上海理工大学“精品本科”系列教材建设项目和上海市自然科学基金（项目批准号：17ZR1419300）的资助。编写工作得到上海理工大学诸多同事以及能源与动力工程学院多届本科生和研究生的帮助和支持，他们为本书内容提出了许多宝贵的意见和建议。在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中疏漏与不足之处在所难免，热诚欢迎读者批评指正。

赵兵涛

目 录

第 1 章 能源利用与大气污染

1

1.1 大气污染的概念	1
1.1.1 大气及其性质	1
1.1.2 大气污染及其分类	1
1.1.3 大气污染效应的影响因素	3
1.2 化石能源利用与大气污染物排放	3
1.2.1 世界及中国一次能源消费现状	3
1.2.2 中国大气污染物排放现状	5
1.3 典型化石燃料燃烧烟气及污染物排放计算	8
1.3.1 煤质特性	8
1.3.2 分析基准	9
1.3.3 燃烧大气污染物排放量计算	10
1.4 我国大气污染控制标准体系的演变与比较	13
1.4.1 环境空气质量标准	14
1.4.2 大气污染物排放标准	16
思考与习题	19
参考文献	19

第 2 章 颗粒污染控制基础

21

2.1 固定源燃烧颗粒污染物形成机制	21
2.1.1 主要途径	21
2.1.2 影响因素	23
2.2 颗粒污染物的主要性质	24
2.2.1 颗粒粒径及其分布	24
2.2.2 物理性质	29
2.2.3 化学性质	31
2.3 气体颗粒动力学基础	31
2.3.1 颗粒受到的流体阻力	31
2.3.2 重力作用下的颗粒沉降	34

2.4 颗粒污染控制设备的性能表征	34
2.4.1 流量	34
2.4.2 压降	35
2.4.3 效率	35
2.5 固定源颗粒污染物监测	37
2.5.1 监测规范	37
2.5.2 锅炉烟尘及黑度监测	39
思考与习题	44
参考文献	45

第3章 旋风式颗粒污染控制

46

3.1 旋风气体颗粒分离的基本原理	46
3.2 旋风分离器结构参数	46
3.3 旋风分离器的流场	47
3.3.1 切向速度	47
3.3.2 径向速度	48
3.3.3 轴向速度	48
3.3.4 静压分布	49
3.4 旋风分离器内气体颗粒动力学	50
3.5 旋风分离器的性能	50
3.5.1 分级效率	50
3.5.2 压降	52
3.6 旋风分离器气体颗粒分离的影响因素	53
3.7 旋风分离器的分类与组合	55
3.8 旋风分离器的设计	56
3.8.1 结构选型	56
3.8.2 设计方法与流程	56
3.8.3 设计计算	57
思考与习题	60
参考文献	60

第4章 静电式颗粒污染控制

61

4.1 静电式颗粒捕获原理	61
4.1.1 基本过程	61
4.1.2 颗粒荷电机制	62
4.2 静电场中的气体颗粒动力学	63
4.2.1 颗粒驱进速度	63
4.2.2 颗粒捕获效率	64

4.3 静电颗粒污染控制的影响因素	65
4.3.1 粉尘颗粒特性	65
4.3.2 烟气性质	66
4.3.3 结构形式	68
4.4 静电除尘器的结构与分类	69
4.4.1 结构组成	69
4.4.2 主要分类	71
4.4.3 清灰方式	72
4.5 高效静电颗粒污染控制设备	72
4.5.1 静电旋风除尘器	72
4.5.2 电袋复合式除尘器	73
4.5.3 湿式电除尘器	74
4.6 静电除尘器的设计	75
4.6.1 设计原则与依据	75
4.6.2 设计方法与流程	76
4.6.3 设计计算	77
思考与习题	79
参考文献	80

第5章 过滤式颗粒污染控制

81

5.1 过滤式颗粒控制基本机理	81
5.1.1 过滤式颗粒捕获机制	81
5.1.2 袋式除尘器工作原理	83
5.2 袋式除尘器的性能表征	84
5.2.1 过滤风速	84
5.2.2 捕获效率与穿透率	84
5.2.3 滤料表面的颗粒层质量	85
5.2.4 压力损失	85
5.3 袋式除尘器性能的主要影响因素	86
5.3.1 过滤风速	87
5.3.2 颗粒特性	87
5.3.3 滤料	87
5.3.4 清灰方式	88
5.4 袋式除尘器的分类	90
5.5 袋式除尘器的设计	92
5.5.1 设计原则与方法	92
5.5.2 设计计算	94
思考与习题	95
参考文献	96

6.1	洗涤式颗粒污染控制的基本机理	97
6.2	洗涤式颗粒捕获性能的特征	98
6.2.1	惯性碰撞参数和颗粒捕获效率	98
6.2.2	接触功率和颗粒捕获效率	98
6.3	洗涤式颗粒污染控制技术及设备	99
6.3.1	主要分类	99
6.3.2	喷淋式	99
6.3.3	旋流式	100
6.3.4	冲击式	102
6.3.5	文丘里式	103
6.4	洗涤式除尘脱硫一体化污染控制	106
6.4.1	旋流板塔	106
6.4.2	文丘里洗涤塔	107
6.4.3	洗涤式除尘脱硫设备的性能	107
6.5	文丘里洗涤器的工艺及设备设计	108
6.5.1	文丘里洗涤器的工艺	108
6.5.2	文丘里洗涤器的设计	108
6.5.3	设计计算	110
	思考与习题	112
	参考文献	112

7.1	煤中硫的赋存形态	114
7.2	燃烧过程 SO_2 的生成机理	114
7.3	燃烧中 SO_2 控制	115
7.4	燃烧后 SO_2 控制	117
7.4.1	技术工艺及其分类	117
7.4.2	湿式石灰石/石灰法烟气脱硫	118
7.4.3	其他典型湿法烟气脱硫	120
7.4.4	半干法喷雾干燥烟气脱硫	122
7.4.5	干法循环流化床烟气脱硫	124
7.5	湿式石灰石法烟气工艺及设备设计	124
7.5.1	基本原理与化学过程	124
7.5.2	工艺流程	125
7.5.3	工艺参数	126
7.5.4	技术原则与措施	127
7.5.5	设计计算	128

7.6 固定源 SO_2 排放的监测	131
7.6.1 碘量法	131
7.6.2 定电位电解法	132
7.6.3 非分散红外吸收法	133
思考与习题	134
参考文献	134

第8章 氮氧化物污染控制

136

8.1 燃烧过程 NO_x 的生成机理	136
8.1.1 热力型 NO_x	136
8.1.2 快速型 NO_x	138
8.1.3 燃料型 NO_x	139
8.1.4 N_2O 的生成机理	139
8.2 燃烧中 NO_x 控制	140
8.2.1 空气分级燃烧	140
8.2.2 烟气再循环法	142
8.2.3 低过量空气燃烧	143
8.2.4 浓淡偏差燃烧	143
8.2.5 低 NO_x 燃烧器	144
8.2.6 再燃脱硝	144
8.2.7 高级再燃技术	146
8.2.8 燃烧中脱硝技术比较	147
8.3 燃烧后 NO_x 控制	148
8.3.1 选择性催化还原法 (SCR) 烟气脱硝	148
8.3.2 选择性非催化还原法 (SNCR) 烟气脱硝	154
8.3.3 典型湿法烟气脱硝	157
8.4 N_2O 控制	159
8.5 烟气中 SO_2 - NO_x 及颗粒物的同时脱除	161
8.5.1 活性炭法	161
8.5.2 SNO_x 法	162
8.5.3 DESONO_x 法	163
8.5.4 $\text{SNRB} (\text{SO}_x\text{-NO}_x\text{-RO}_x\text{-BO}_x)$ 法	164
8.5.5 NO_xSO 技术	164
8.5.6 电子束脱硫脱硝技术	165
8.5.7 湿法 FGD 加金属螯合物技术	166
8.6 SCR 烟气脱硝工艺及设计	166
8.6.1 SCR 方案及原理	166
8.6.2 设计计算	167
8.7 固定源 NO_x 排放的监测	169

8.7.1 紫外分光光度法	170
8.7.2 盐酸萘乙二胺分光光度法	170
8.7.3 分散红外吸收法	171
8.7.4 定电位电解法	172
思考与习题	172
参考文献	173

第 9 章

汞污染控制

175

9.1 燃煤烟气汞排放现状	175
9.2 燃烧烟气汞的形态及其性质	175
9.2.1 烟气中汞的赋存形态	175
9.2.2 主要理化性质	176
9.3 燃烧过程中汞排放的主要影响因素	176
9.4 燃烧源汞污染排放控制	179
9.4.1 燃烧前脱汞	179
9.4.2 燃烧中脱汞	180
9.4.3 燃烧后脱汞	180
9.5 吸附法烟气脱汞的数学模型	183
9.5.1 吸附过程的物料衡算	183
9.5.2 气固两相间的传质	183
9.5.3 吸附剂表面的吸附等温模型	184
9.6 吸附法脱汞固定床的设计	185
9.6.1 固定床吸附过程的物料衡算	185
9.6.2 固定床吸附过程的计算	186
9.7 固定源烟气汞排放的监测	187
9.7.1 我国烟气汞监测方法	188
9.7.2 美国烟气汞监测方法	188
思考与习题	191
参考文献	191

第 10 章

温室气体二氧化碳减排与控制

192

10.1 CO ₂ 的排放现状	192
10.1.1 CO ₂ 排放的总体趋势	192
10.1.2 CO ₂ 排放的区域性	193
10.1.3 CO ₂ 排放的行业性	193
10.2 燃烧前 CO ₂ 捕集	194
10.2.1 主要原理与工艺	194
10.2.2 整体煤气化联合循环 (IGCC)	196

10.3 燃烧中 CO₂ 捕集 196

10.4 燃烧后 CO₂ 捕集 197

 10.4.1 技术工艺分类及特点 197

 10.4.2 化学吸收法 198

 10.4.3 吸附法 200

 10.4.4 膜分离法 201

10.5 CO₂ 捕获工艺的比较 203

10.6 CO₂ 的封存 203

 10.6.1 CO₂ 海洋封存 204

 10.6.2 CO₂ 地质封存 205

 10.6.3 CO₂ 生态封存 206

10.7 湿法 CO₂ 捕集工艺及设计 207

10.8 全球 CO₂ 减排与控制的国际性公约 211

思考与习题 213

参考文献 213

第 11 章 我国大气污染防治的对策与措施

214

11.1 控制动因 214

 11.1.1 大气污染形势的变化 214

 11.1.2 公众健康的要求 214

11.2 措施与策略 215

 11.2.1 大气污染源防治措施 215

 11.2.2 大气污染综合防治策略措施 216

11.3 行动计划 217

11.4 面临的挑战 219

思考与习题 219

参考文献 220

≡ 第 1 章 ≡

能源利用与大气污染

1.1 大气污染的概念

1.1.1 大气及其性质

大气环境是自然环境的重要组成部分。按国际标准化组织的定义，大气是指环绕地球的全部空气的总和。其近义词为环境空气，指人类、植物、动物和建筑物暴露于其中的室外空气。一般地，两者具有通用性，但大气比环境空气的概念范围更广。

自然状况下的大气由混合气体、水蒸气和悬浮颗粒组成。除去水汽和悬浮颗粒的大气称为干洁大气。干洁大气的化学组成主要包含 N_2 （约占 78.08%）、 O_2 （约占 20.95%）、Ar（约占 0.93%）、 CO_2 （约占 0.038%）以及其他微量惰性气体、 N_2O 和 O_3 等（共约占 0.002%）。

从宏观角度看，大气环境是一个复杂的系统，对于大气污染的性质、程度会有重要影响。地球表面大气层的分布呈现一定的规律。从沿地表向上的高度分布，一般被划分为对流层、平流层、中间层、暖层和散逸层。其中，对流层特别是近地高度 1~2km 的范围是气象条件变化最复杂的大气层，多数大气污染物的扩散、输运及物理化学变化和对受体的影响均与该层密切相关。

1.1.2 大气污染及其分类

（1）大气污染的定义

大气污染是指某些物质进入大气中，呈现出足够的浓度、达到了足够的时间，并因此而危害了人类（舒适、健康和福利）、动物、植物及材料的环境条件或现象。这里所说的某些物质指人为活动或自然过程产生的，以气相、液滴、固体或混合形态颗粒存在的物质。大气污染的英文定义通常表述为：Air pollution may be defined as any atmospheric condition in which substances are present at concentrations high enough above their normal ambient levels to produce a measurable effect on man, animals, vegetation, or materials. Substances mean any natural or anthropogenic (man-made) chemical compounds capable of being airborne. They may exist in the atmosphere as gases, liquid drops, solid or mixed phase particles.



在上述定义中：所谓人类活动不仅包括生产活动，而且也包括生活活动；所谓的自然过程包括火山活动、山林火灾、海啸、土壤和岩石的风化及大气圈中空气运动等；所谓危害舒适、健康包括由大气污染引起的急性、慢性病以致死亡等；所谓福利，系指与人类协调共存的生物、自然资源以及财产、器物等给人们带来的收益等。

(2) 大气污染物及其分类

引起大气污染的物质称之为大气污染物，大气污染物具有不同的分类。

① 根据物理存在状态，大气污染物可分为颗粒（或气溶胶）污染物和气态污染物。

典型的颗粒污染物（particulate matter）指沉降速率可以忽略的小固体粒子、液体粒子或它们在气体介质中的悬浮体系，按照来源和物理性质分为粉尘（dusts）、黑烟或烟（smoke/fume）、飞灰（fly ash）、雾（fog）和霾（haze）等；按照粒径可分为总悬浮颗粒物（total suspended particles, TSP）、可吸入颗粒物 PM_{10} 、细颗粒物（fine particulate matter） $PM_{2.5}$ ，以及超细颗粒物（ultra-fine particulate matter, UFP，亦称纳米颗粒物） $PM_{0.1}$ 等。

典型的气态污染物指的是以分子状态存在的污染物，包括含硫、含氮、含碳氧化物和有机及卤素化合物等。总体分类具体见表 1-1。

表 1-1 大气污染物的分类

污染物	分类依据	名 称	英文或简写	定 义
颗粒 污染物	按来源 性质分	粉尘	dusts	指悬浮于气体介质中的小固体颗粒，受重力作用能发生沉降，但一段时间保持悬浮状态 一般由固体物质的破碎、研磨、分级、输送等机械过程，或土壤、岩石风化等自然过程形成，包括黏土粉尘、石英粉尘、煤粉、水泥粉尘、各种金属粉尘等
		黑烟/烟	smoke/fume	指由燃煤或冶金过程形成的固体颗粒的气溶胶 一般由熔融物质挥发后的气态物质冷凝物或由燃料在高温下燃烧后冷却形成
		飞灰	fly ash	指随燃料燃烧产生的烟气排出的分散得较细的灰分 一般由燃料在高温下燃烧、冷却后形成
		雾	fog	指由液体蒸气的凝结、液体的雾化及化学反应等过程形成 一般包含水、雾、油雾等
		霾	haze	也称阴霾、灰霾，指原因不明的大量烟、尘等微粒悬浮而形成的浑浊现象
	按粒径分	总悬浮颗粒物	TSP	指空气动力学当量直径小于 $100\mu m$ 的颗粒的总称
		可吸入颗粒物	PM_{10}	指空气动力学当量直径小于 $10\mu m$ 的颗粒的总称
		微细颗粒物	$PM_{2.5}$	指空气动力学当量直径小于 $2.5\mu m$ 的颗粒的总称
		超细颗粒物	$PM_{0.1}$	指空气动力学当量直径小于 $0.1\mu m$ 的颗粒的总称，亦称纳米颗粒物
气态 污染物	按性 质分	含硫化合物	sulfides	一次污染物 SO_2 、 H_2S 二次污染物 SO_3 、 H_2SO_4 、 $MeSO_4$
		含氮化合物	nitrides	一次污染物 NO 、 NH_3 二次污染物 NO_2 、 HNO_3 、 $MeNO_3$
		碳的氧化物	oxycarbides	一次污染物 CO 、 CO_2
		有机化合物	VOCs	一次污染物 $C_1 \sim C_{10}$ 化合物 二次污染物醛、酮、过氧乙酰硝酸酯
		卤素化合物	halogen compounds	一次污染物 HF 、 HCl



② 根据污染物的来源,人为大气污染物一般可分为工业源、农业源、生活源和其他源。

工业源主要包括能源使用过程中的燃烧工艺和生产过程中排放的颗粒物、 SO_2 、 NO_x 和 CO_2 等。工业源按行业还可分为电力、冶金、建材、化工等行业。

农业源主要包括燃烧农林废弃物等排放的颗粒物和气态污染物。

生活源主要是燃烧煤、油、气等排放的污染物。

此外,根据污染源的几何特征,还可分为点污染源、线污染源、面污染源等;根据污染源的相对位置还可分为固定源和移动源等。

③ 根据大气污染的影响范围,大致可分为以下四类。

局部地区污染:局限于小范围的大气污染,如受到某些烟囱排气的直接影响。

地区性污染:涉及一个地区的大气污染,如工业区及其附近地区或整个城市大气受到污染。

广域污染:涉及比一个地区或大城市更广泛地区的大气污染。

全球性污染:涉及全球范围(或国际性)的大气污染。

1.1.3 大气污染效应的影响因素

一般而言,大气中有害物质的浓度越高,滞留时间越长,污染就越重,危害也就越大。污染物质在大气中的浓度污染效应,取决于排放强度(或源强,即单位时间污染物的排放量)和扩散输运条件。

排放强度是大气污染的内在决定因素,是污染物在产生和源头上的重要效应。

扩散输运条件是大气污染的外在决定因素,包括与其相关的气象条件、地形地貌以及排放源高度等。具体表现为:

在不同的气象条件下,大气污染物具有不同的稀释扩散能力。这些气象条件包括风向、风速、湍流、降雨及逆温等。一般地,下风向污染程度比较严重;风速大会导致污染物稀释速度快;大气湍流会决定污染物的扩散程度;降雨降雪会促进大气污染物的沉降;逆温(即气温随高度递减)会使大气层稳定和对流弱化,容易在局部地区形成稳定持久的大气污染。

复杂的地形、地貌和地物,会造成局部地区的热力环流、气流环流和旋涡,可能导致大气中的污染物质的聚集,从而影响局部地区大气污染的形成及危害程度。

提高排放源高度或采用高烟囱排放可以使大气污染物在更广阔的区域中扩散、混合,从而降低了污染物在近地面空气中的浓度,但并不减少污染物的排放总量,甚至在一定条件下可能会引起区域性大气污染。

1.2 化石能源利用与大气污染物排放

1.2.1 世界及中国一次能源消费现状

化石能源的利用是造成大气污染的重要诱因。化石能源或一次能源是世界能源消费的主要构成。近十几年来,世界能源消费总量总体不断上升,如图 1-1 所示,从 1998 年的 88.8 亿吨到 2014 年增长到近 130 亿吨,后者是前者的 1.4 倍。虽然 2009 年经历了负增长,但之后的 2010 年迅速反弹。多数地区能源消费的增速放缓但依然呈现增长态势。石油仍然是全



球重要的燃料，占全球能源消费的 32.6%，但过去十五年来石油市场份额逐步下降。

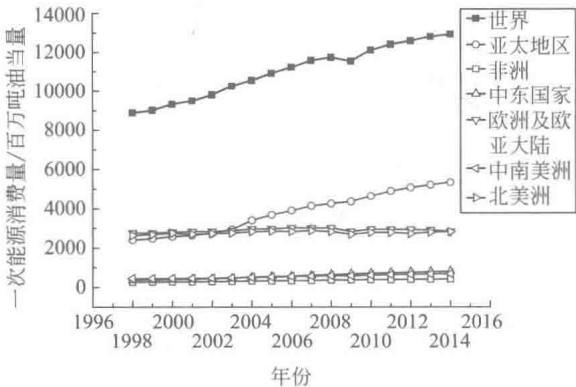


图 1-1 世界及各主要地区能源消费情况

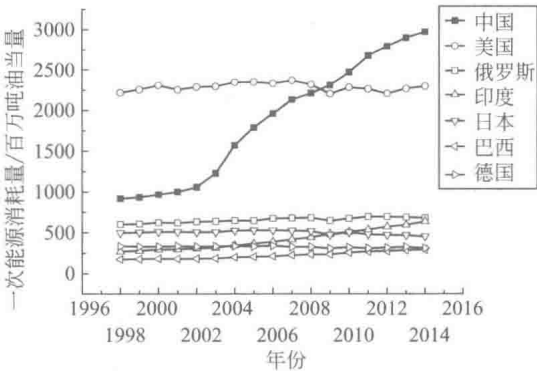


图 1-2 各主要国家能源消费情况

中国、美国、俄罗斯、印度、日本、加拿大、德国、巴西等是世界能源消费量较大的典型国家，2014 年能源消费量均在 3 亿吨以上，且仅中国和美国在世界能源消费量中所占比例就超过 40%（图 1-2）。发达国家随着工业化阶段的完成，能源消费量迅速放缓，甚至出现下降。如美国和日本分别在 2007 年和 2005 年左右达到峰值，之后呈现稳中有降的趋势。对于发展中国家，由于尚未全面完成工业化阶段，发展经济依然为第一要务，因此能源消费增长较快，如中国、印度和巴西等。特别是 2009 年中国能源消费量超过了美国，成为全球能源消耗量最多的国家，但按照累计量计算，1965~2014 年，美国累计能源消费量仍是中国的 2 倍以上。

中国在 2006 年颁布了《关于加强节能工作的决定》，2007 年和 2011 年分别发布了《节能减排综合性工作方案》和《“十二五”节能减排综合性工作方案》，并制定了一系列节能减排措施，同时由于中国经济的发展方式发生了转变，产业结构进行了调整，能源消费增速有所放缓，年均增长率为 5.3%。

图 1-3 为 2015 年 BP 世界统计年鉴发布的关于全球能源消耗和各区消费格局数据，统计结果表明，近 30 年来，煤炭、石油和天然气仍是世界一次能源消耗的最大能源种类。

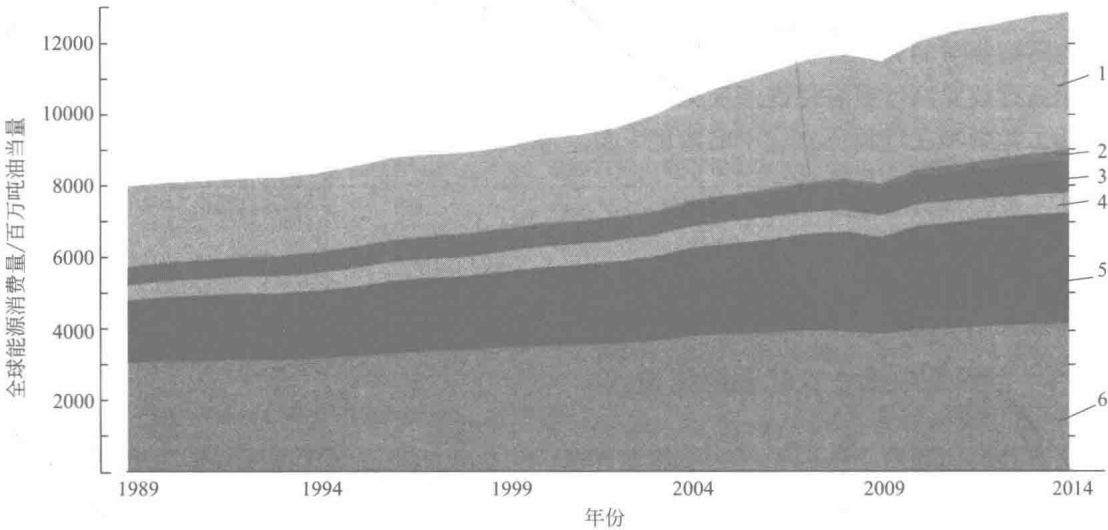


图 1-3 全球能源消耗量

1—煤炭；2—可再生能源；3—水电；4—核能；5—天然气；6—石油

中国的能源消费结构有其自身的特点,2010~2014年中国一次能源的消费情况如图1-4所示。中国对煤炭的依赖程度很大,远远大于世界其他国家的煤炭消费量。图1-5为近几年来中国煤炭和石油的消费情况。

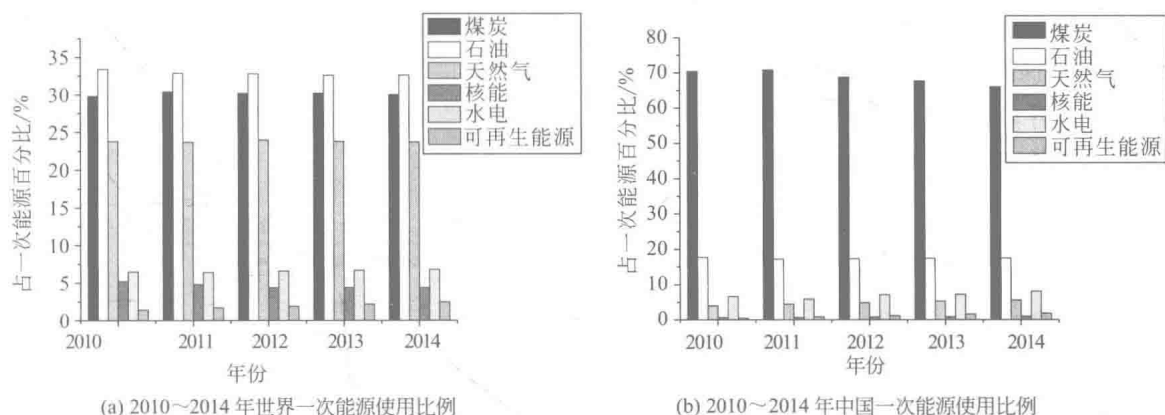


图 1-4 2010~2014 年一次能源使用比例

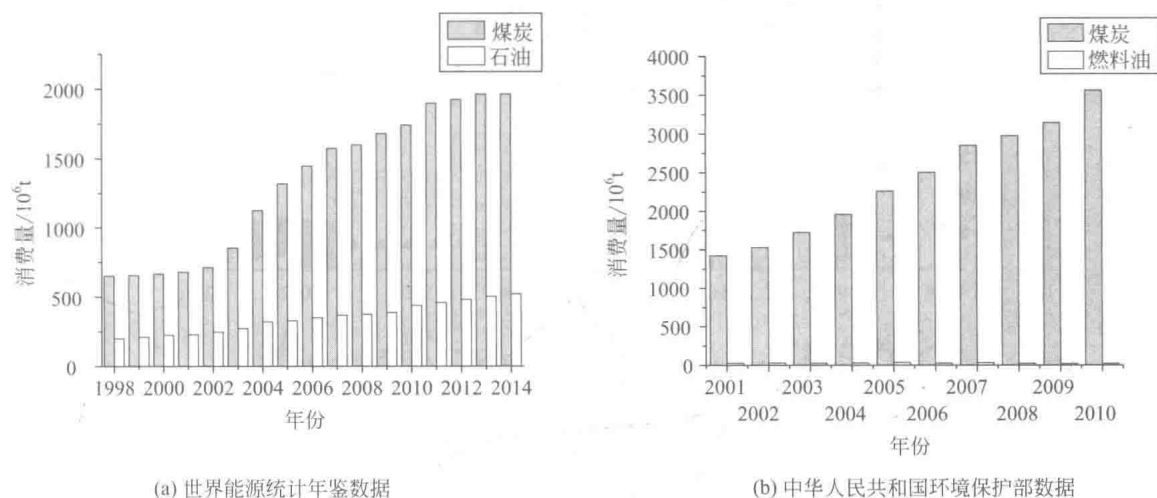


图 1-5 中国历年煤炭和石油消费情况

1.2.2 中国大气污染物排放现状

现阶段,由于化石能源等一次能源的消耗,中国的大气污染已成为一类重要的经济、社会及环境问题。虽然大气污染防治工作取得了很大进展,但由于各种原因,我国依然面临着十分严峻的大气环境形势。大气污染物排放总量居高不下,全国大多数城市的大气环境质量超过国家规定的标准。我国大气污染状况十分严重,主要呈现为煤烟型污染特征。城市大气环境中总悬浮颗粒物浓度普遍超标;二氧化硫污染保持在较高水平;机动车尾气污染物排放总量迅速增加;氮氧化物污染呈加重趋势;全国形成华中、西南、华东、华南多个酸雨区。

我国大气污染的主要来源是生产和生活燃煤,主要污染物是二氧化硫和烟尘。在某些城市除燃煤污染外,还有与当地工业污染和气象地理条件密切关联的地方特点。我国城市大气污染时空分布特征明显,大气污染冬季最严重,其次为春秋季节,夏季最好;污染总体上北方重于南方。城市大气污染由人类活动及当地特殊的地理位置综合影响形成,沙尘天气加重了北方大气污染。