




北京市高等教育精品教材立项项目

大气环境监测

● 曾凡刚 编著

 化学工业出版社
教材出版中心

北京市高等教育精品教材立项项目

大气环境监测

曾凡刚 编著

化学工业出版社
教材出版中心
·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

大气环境监测/曾凡刚编著. —北京:化学工业出版社,
2003.5

北京市高等教育精品教材立项项目
ISBN 7-5025-4251-5

I. 大… II. 曾… III. 空气污染监测-高等教育-教材 IV. X831

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 023516 号

北京市高等教育精品教材立项项目

大气环境监测

曾凡刚 编著

责任编辑:何曙霓

责任校对:凌亚男

封面设计:郑小红

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

发行电话:(010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

北京市彩桥印刷厂装订

*

开本 787 毫米×960 毫米 1/16 印张 31 字数 538 千字

2003 年 5 月第 1 版 2003 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4251-5/G·1116

定 价: 43.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

本书集多年对大气中污染物化学性质及污染特点、环境生态效应和监测方法的研究成果，在前人工作基础上多方位地进行了系统论述，有一定的发展和创新。一些是目前国际、国内已经采用的最新先进方法，如 GC-MS、HPLC-MS 等超微量分析技术与相关应用；一些是编者多年来对理论与实践的总结，既有理论的说明，又有测定的实例和方法，具有独到之处。该书所选的监测方法具有一定代表性，理论与实例并重。此外还介绍了自动监测和遥感监测系统。

本书对大气污染物的危害和监测进行了综合分析。按照无机物、一般有机物、多环芳烃、含 N、S、O 杂原子有机污染物、颗粒物、大气降水、污染源监测等分章论述其污染与监测，突出污染物，强化了读者对各种各类污染物的认识。既有定性分析，又有定量分析；既有常规的化学和仪器分析，也有应用前沿的仪器分析手段。兼顾介绍了大气污染物对环境的危害，并就其在环境中的分布、迁移、转化、污染特点、毒理学、对人体和环境的危害等作了系统的论述，注重反映大气环境监测领域里最新研究成果和进展。

对大气环境中最新的以及引起全球环境问题的化学物质，就其在环境中的环境化学性质进行了综合分析，包括采样、预处理、测定方法的选择和测定条件的确定等，作了系统的论述。这是作者对大气环境中有毒有害化学物质的污染与监测进行多年系统研究的成果，所选内容包含了很多大气环境的热门问题。其中很多研究成果是近年来最新的。在有机污染物中，除了论述一般意义上的有机污染物外，还专门用两章的篇幅较详细地论述了多环芳烃、含 N、S、O 杂原子污染物，如邻苯二甲酸酯、二噁英、多氯联苯等环境激素的污染与监测，特别论述了它们的致癌、致畸、致突变（“三致”）毒性。

大气环境监测是把握大气环境质量状况、预测污染发展趋势的一种手段。因此，需要对环境监测的先进技术与方法进行普及与推广；同时对环境监测技术和方法也亟待进一步发展和完善。

环境监测是比较新的研究领域，正方兴未艾，很多问题有待进一步探索。本书仅从教学的角度为学生讲述基础理论与基本知识；也为读者熟悉该领域提供帮助和拓宽视野，以期引起读者对该领域的研究产生兴趣。

全书共分十三章。第一章、二章、三章、五章、六章、九章、十章、十一章、十二章、十三章由曾凡刚编写，第四章由曾凡刚、刘德生、刘裕明、王玮编写，第七章由曾凡刚、齐文启编写，第八章由王玮、汤大钢、李红、曾凡刚、刘裕明编写，第十二章的第二节由常冠钦、张景来、王玮、刘裕明参与编写。全书由曾凡刚负责统稿。

书稿的主要内容承中国环境监测总站齐文启教授，北京大学王永华教授，东华大学奚旦立教授，南京大学王晓蓉教授，以及刘德生、汤大钢、杨忠芳、杨若明、张枝焕、马玉琴等教授审阅，并提出了不少宝贵意见。化学工业出版社对本书的写作和出版给予了很大的支持和帮助。武红霞同志为本书的出版做了大量的工作。书中还参照了一些内容很好的教科书并加以引用，编者在参考文献中均一一注明。在此均向他们表示诚挚的谢意。

本书得到了北京市自然科学基金项目（8972007）的资助。

由于编者水平有限，书中的不足之处敬请读者斧正，我们将不胜感激。

曾凡刚
2003.3

内 容 简 介

本书对大气污染物的危害和监测进行了综合分析。按照大气环境监测的采样，无机物、一般有机物、多环芳烃、含 N、S、O 杂原子有机污染物、颗粒物、大气降水、污染源等分类监测，既讲述常规的化学分析和仪器分析，也包含应用前沿的仪器分析手段；既有定性分析又有定量分析。本书兼顾介绍了大气污染物对环境的危害，并注重反映大气环境监测领域最新研究成果和进展。

本书可作为高等学校环境科学、环境工程等专业本科生教材，也可作为与环境相关专业的本科生及研究生教材；本书还可作为环境保护、环境化学、环境医学、环境卫生、环境监测、工业卫生、化学、医学、生态学等领域科学技术人员的参考书，并可供从事环境科学研究的科技人员参考。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 大气环境监测的产生和发展	1
一、大气环境和大气环境质量.....	1
二、大气环境监测的产生.....	2
三、大气环境监测发展概况.....	2
第二节 大气环境监测的特点、目的和分类	4
一、大气污染与大气环境监测的特点.....	4
二、大气环境监测的目的和分类.....	8
第三节 大气环境监测方法	9
一、化学分析法.....	9
二、仪器分析法.....	10
三、生物监测.....	12
四、生态监测.....	13
五、自动监测.....	13
参考文献	13
第二章 大气污染危害及环境质量评价	15
第一节 大气、大气圈及大气组成	15
一、大气圈的结构.....	15
二、大气的组成.....	18
第二节 大气污染源	20
一、大气污染源分类.....	20
二、人为污染源各论.....	22
三、大气中无机污染物的主要来源.....	24
四、大气中有机污染物的主要来源.....	25
第三节 大气污染物及其在大气中的存在状态	25
一、大气污染物及其存在状态.....	25
二、大气污染物的时空分布特点.....	28
第四节 污染物在大气中的化学变化和迁移	31

一、污染物在大气中的化学变化	31
二、污染物在大气中的扩散和运输	34
第五节 大气污染的危害	34
一、大气污染与人类健康	34
二、大气污染对臭氧层的破坏	46
三、大气污染对全球气候的影响	48
第六节 大气环境质量标准	50
一、大气环境标准的地位与作用	50
二、环境标准体系	50
第七节 大气环境质量评价	68
一、大气污染监测评价	68
二、空气污染指数	71
三、大气污染生物学评价	72
参考文献	73
第三章 大气环境监测的基本步骤	74
第一节 大气采样方案的制订	75
一、大气污染监测的目的和项目	75
二、大气污染背景调查	76
三、确定监测项目	77
四、采样时间和采样频率	77
第二节 大气和污染源气体的采集	78
一、大气样品采集	79
二、发动机尾气的采集	91
三、烟道气的采集	91
第三节 大气环境样品的预处理	92
第四节 大气环境样品的测定	93
一、大气环境监测的分析方法及其特点	93
二、分析方法的选择	96
三、大气环境样品的测定	97
参考文献	99
第四章 大气中无机物的污染与监测	100
第一节 二氧化硫的污染与监测	100
一、二氧化硫及其对环境的污染	100
二、二氧化硫的监测	100
三、二氧化硫的其他监测方法	106
第二节 氮氧化物的污染与监测	109

一、氮氧化物及其对环境的污染	109
二、氮氧化物的国家标准监测方法	110
三、氮氧化物的其他监测方法	114
第三节 一氧化碳的污染与监测	117
一、一氧化碳的来源与危害	117
二、一氧化碳的国家标准测定方法	117
三、一氧化碳的其他测定方法	119
第四节 光化学氧化剂和臭氧的污染与监测	121
一、光化学氧化剂及其对环境的污染	121
二、光化学氧化剂的监测	122
三、臭氧的监测	123
第五节 硫化物及硫酸盐化速率的监测	128
一、大气中硫化氢的测定	128
二、大气中硫酸雾的测定	129
三、硫酸盐化速率的测定	129
第六节 氟化物的监测	131
一、滤膜-氟离子选择电极法	131
二、石灰滤纸-氟离子选择电极法	134
三、硝酸钍容量法	134
第七节 汞和铅的污染与监测	134
一、汞的污染与监测	134
二、铅的污染与监测	136
第八节 砷的污染与监测	138
一、大气中砷的污染	138
二、砷的监测	139
第九节 氯与氯化物的污染与监测	140
一、氯与氯化氢的污染及危害	140
二、氯与氯化物的监测	141
第十节 其他无机污染物的监测	143
参考文献	144
第五章 大气中一般有机物的污染与监测	145
第一节 大气中一般有机污染物的来源、特点与危害	145
一、有机污染物的主要来源和特点	145
二、有机污染物的循环	146
第二节 大气中的有机污染物及其监测方法	147
一、大气中的有机污染物	147

二、有机污染物的监测方法·····	149
第三节 大气中烃类的污染与监测·····	169
一、链状烃类的性质与毒理作用·····	169
二、链状烃类的监测·····	170
第四节 大气中挥发性的苯和低取代芳烃及杂环化合物的监测·····	176
一、苯和低取代芳烃及杂环化合物的性质·····	176
二、苯和低取代芳烃及杂环芳烃的监测·····	177
第五节 大气中醛、酮、醇、酸、酯类的污染与监测·····	179
一、相对分子质量低的醛、酮类·····	179
二、相对分子质量低的醇类·····	183
三、相对分子质量低的酸酯类·····	185
四、相对分子质量高的醛、酮、醇、酸、酯类的监测·····	186
第六节 大气中酚类的污染与监测·····	187
一、酚类的性质与毒理作用·····	187
二、酚类的监测方法·····	187
第七节 空气中恶臭气体的监测·····	189
一、恶臭及恶臭的组成·····	189
二、恶臭的监测·····	190
第八节 大气中其他有机物的污染与监测·····	193
一、氯乙烯和丙烯腈·····	193
二、有机金属化合物·····	194
第九节 室内空气有机物的污染与监测·····	197
一、室内空气中的有机污染物的来源·····	199
二、室内空气中有有机污染物的监测·····	201
三、改善室内空气污染的措施·····	204
参考文献·····	206
第六章 大气中多环芳烃的污染与监测·····	209
第一节 环境中多环芳烃的存在状态及来源·····	209
一、多环芳烃的存在状态·····	209
二、多环芳烃的来源·····	211
三、PAH形成的机理·····	213
第二节 大气中多环芳烃的危害·····	214
一、多环芳烃的毒性·····	214
二、多环芳烃的化学结构与致癌性·····	215
第三节 多环芳烃的监测·····	234
一、大气中多环芳烃样品的采集·····	234

二、大气中多环芳烃的提取和分离·····	235
三、大气中多环芳烃的监测·····	237
参考文献·····	247
第七章 大气中不挥发性杂原子有机物的污染与监测 ·····	249
第一节 大气中杂原子有机污染物及其毒性 ·····	249
一、大气中杂原子有机污染物及其毒性·····	249
二、二噁英类污染物及其毒性·····	252
第二节 大气中一般环境激素类杂原子有机污染物的监测 ·····	262
一、大气中一般环境激素类杂原子有机污染物的提取和分离·····	262
二、大气中一般环境激素类杂原子有机污染物的监测方法·····	262
三、大气中一般环境激素类杂原子有机污染物的监测·····	265
四、大气中极性杂原子有机污染物的监测·····	268
第三节 大气和废气中二噁英和多氯联苯的监测 ·····	269
一、样品的采集·····	271
二、样品的前处理·····	275
三、试样的测定·····	281
第四节 农药类的污染与监测 ·····	292
一、农药的性质和毒理·····	292
二、农药在环境中的迁移和变化·····	295
三、农药对人体健康的影响·····	296
四、农药的降解·····	297
五、农药的监测·····	297
参考文献·····	298
第八章 大气中颗粒物的污染与监测 ·····	300
第一节 概述 ·····	300
一、基本概念·····	300
二、大气颗粒物的分类·····	304
三、大气颗粒物的化学组成·····	306
四、大气颗粒物对大气环境和人体健康的影响·····	309
五、中国大气颗粒物的污染现状·····	311
第二节 大气颗粒物的采样 ·····	313
一、滤膜的选择·····	313
二、环境颗粒物的采样·····	317
三、污染源颗粒物的采样·····	322
第三节 大气颗粒物的监测 ·····	330
一、大气颗粒物质量浓度的测定·····	330

二、大气颗粒物粒度谱分布特征的研究·····	336
三、大气颗粒物中无机组分的分析测试·····	337
四、大气颗粒物中有机组分的分析测试·····	346
参考文献·····	349
第九章 大气降水监测 ·····	352
第一节 大气降水与酸雨 ·····	352
一、酸雨的来源·····	353
二、酸雨的产生机理·····	354
三、酸雨的危害·····	356
四、酸雨的防治·····	358
第二节 大气降水的监测 ·····	360
一、采样点的布设·····	360
二、样品采集·····	361
三、样品的保存·····	362
四、酸雨中各组分的分析方法·····	362
五、降水中组分测定·····	364
参考文献·····	365
第十章 大气污染源监测 ·····	366
第一节 概述 ·····	366
一、污染源分类·····	366
二、污染源监测的目的和方法·····	366
三、污染源监测要求·····	367
四、污染源监测内容·····	367
第二节 污染源样品的采集 ·····	368
一、固定污染源样品的采集·····	368
二、流动污染源——发动机尾气的采集·····	370
第三节 固定污染源监测 ·····	371
一、基本状态参数的测定·····	371
二、烟尘浓度的测定·····	376
三、烟气组分的测定·····	379
四、排气中颗粒物的测定·····	381
第四节 流动污染源监测 ·····	382
一、汽车怠速时的测定·····	382
二、汽油车排气中 NO _x 的测定·····	383
三、柴油车排气烟度的测定·····	384
参考文献·····	385

第十一章 大气中放射性的污染与监测	386
第一节 环境放射性污染概述	386
一、放射性污染的来源.....	386
二、放射性污染度量单位.....	388
三、放射性核素在大气中的分布.....	390
四、放射性污染的特点.....	390
五、放射性污染的危害.....	391
六、放射性污染的处理方法.....	393
第二节 放射性辐射的防护标准	393
第三节 放射性污染监测对象、内容及仪器	395
一、放射性污染监测对象及内容.....	395
二、放射性监测实验室及监测仪器.....	395
第四节 大气放射性监测	399
一、放射性样品采集.....	399
二、样品的预处理.....	401
三、大气放射性的监测.....	402
参考文献	406
第十二章 大气污染的植物监测和自动监测	408
第一节 大气污染的植物监测	408
一、生物监测概述.....	408
二、空气污染对植物的影响.....	409
三、植物在污染环境中的受害症状.....	410
四、大气污染指示植物的选择.....	412
五、植物监测方法.....	412
第二节 生物传感器在大气环境监测中的应用	420
一、生物传感器基本概念及分类.....	420
二、生物传感器的基本结构及发展.....	421
三、生物传感器的性能提高及相关技术.....	422
四、微生物传感器.....	423
第三节 大气污染自动监测	429
一、概述.....	429
二、大气污染自动监测系统的结构和组成.....	431
三、分站布设及监测项目.....	432
四、大气污染自动监测仪器.....	434
五、大气污染监测车.....	438
第四节 大气遥感监测	439

一、相关光谱技术·····	440
二、激光雷达技术·····	441
参考文献·····	443
第十三章 大气环境监测的质量保证 ·····	444
第一节 概述 ·····	444
一、环境监测质量保证和质量控制 (QA/QC) ·····	444
二、质量保证和质量控制的意義·····	445
三、影响大气环境监测质量的因素·····	445
第二节 大气环境监测的数据处理和结果表述 ·····	446
一、误差和偏差及数据的修约·····	446
二、可疑数据的处理·····	447
三、监测结果的表述·····	449
四、监测结果的统计检验·····	449
五、直线相关和回归·····	452
第三节 大气环境监测的质量控制 ·····	454
一、采样系统的质量控制·····	454
二、实验室测定系统的质量控制·····	455
第四节 标准分析方法和分析方法的标准化 ·····	465
一、标准及标准分析方法·····	465
二、分析方法标准化·····	466
三、监测实验室间的协作试验·····	467
第五节 环境标准物质 ·····	468
一、环境标准物质及其分类·····	468
二、选择标准物质的原则·····	470
三、标准物质的使用·····	470
四、气体标准物质·····	471
第六节 质量保证检查单和环境质量图 ·····	475
一、质量保证检查单·····	475
二、环境质量图·····	476
参考文献·····	478
附表 1 美国环境优先控制污染物黑名单 ·····	479
附表 2 中国环境优先控制污染物黑名单 ·····	482



第一章

绪 论

人类目前所面临的十大环境问题中，其中有一半直接或间接与大气环境有关。人类要在地球的大气环境中继续繁衍生息，就必须随时关注大气环境质量。通过进行大气环境监测，了解地球大气环境的变化状况，采用科学的方法，保护大气环境，协调人类和自然的关系，保证人类的可持续发展。大气环境监测是指为了某种特定目的，对大气环境进行观察、观测和测定的工作。大气环境监测的产生源于大气环境污染的出现，并随大气环境问题的日益严重而受到重视，随生产及科学技术的发展而发展。大气和废气监测是环境监测重要组成部分，目前我国的大气和废气监测项目有 80 余项，监测分析方法有 177 余种。大气环境监测涉及面广、内容繁多，是大气环境科学的一个重要组成部分。

第一节 大气环境监测的产生和发展

大气和空气在习惯用语上没有区别，而在环境科学中大气和空气稍有不同：用于小范围的如居室、车间或厂区的称空气；用于大范围的如一个地区、一个城市的称大气。

一、大气环境和大气环境质量

环境是相对于中心事物而言的，与某一中心事物有关的周围事件，称为这个事物的环境。以人类为主体，其赖以生存和发展的大气圈就是我们所说的大气环境。大气是人类赖以生存的重要环境要素之一，它为人们提供了生存、生活不可缺少的物质——空气。人类的生产生活又和空气进行了物质和能量的交换，影响着整个大气。人类大气环境整体中各个独立的、性质不同但又服从整体演化规律

的基本物质组分，称为大气环境要素。

大气环境质量是指在一个具体的大气环境内，大气环境的总体或某些要素对人群的生存和繁衍以及社会经济发展的适宜程度。大气环境质量包括大气环境综合质量和各种大气环境要素的质量，而影响大气环境质量的因素有物质因素与能量因素。

二、大气环境监测的产生

大气环境监测是大气环境科学的一个重要分支，是大气环境科学的工具和手段。大气环境监测是间断地或连续地测定大气环境中污染物的种类、浓度，观察分析其变化及对大气环境影响的过程。

人类从产生之时起，便开始了对地球大气环境的利用和影响。人类在漫长的进化和生存过程中，参与了地球大气环境的能量流动和物质循环，同时不断改变着地球大气环境。然而，地球大气环境却仍以其固有规律运动着，不断地反作用于人类，由此而产生了一系列各种各样的大气环境问题。

早期的大气环境问题应当说主要是大气环境污染。大气环境污染是指主要源于人类活动引起的大气环境质量下降且有害于人类（及其他生物）正常生存和发展的现象。人们对大气环境污染的注意可以追溯到古代。产业革命后，机器广泛使用，工业生产迅速发展，人类排放的废弃物大量增加，造成大气环境污染。20世纪70年代以前，世界八大公害事件中，就有五大公害事件为大气污染事件，这些事件造成了成千上万人发病或死亡。随着工业的高速发展，大气污染造成的灾害更加严重，在很多地区屡屡发生，如美国、日本、德国、加拿大、澳大利亚、荷兰等国发生的光化学烟雾事件。据统计，世界十大严重大气污染城市主要集中在中国，特别是北方的几个主要城市。近年来，中国频繁的沙尘暴对大气环境也造成了严重影响。严重灾难性的大气环境污染，终于使人们觉醒。面对大气环境质量的日趋下降，人类对大气环境质量关注程度逐步提高，大气环境监测应运而生。

三、大气环境监测发展概况

广义地讲，大气环境监测就是对大气环境质量进行观察、观测和测定的工作。具体地讲，大气环境监测是为某种特定目的，按照预先设计的时间和空间，间断或连续地对一种或多种大气环境质量的代表值进行测定，并观察、分析其变化以及这种变化对大气环境影响的过程。

国外的大气环境监测开展于 20 世纪 50 年代末, 监测方式为定时定点采样后带回实验室进行化学分析, 监测项目多为化学污染物, 这一时期的大气环境监测属于被动监测阶段。至 20 世纪 70 年代以前, 发展到有目的的定时定点监测, 并使用了半自动、自动采样器。70 年代后, 监测技术得到迅速发展, 相继建立了连续自动监测系统, 对 SO_2 、 CO 、 NO_x 、 O_3 、多环芳烃、含 N、S、O、X 等杂原子污染物、可吸入颗粒物以及气温、风向、风速、湿度等实行连续自动监测。国际组织建立了全球大气环境监测系统 (GEMs), 开展了国际性大气污染监测 (GEMs/Air)。20 世纪 80 年代, 发达国家还开展了卫星遥感监测技术, 用于对地球大气环境的监测。

与国际开展大气环境监测同步, 中国也于 20 世纪 50 年代开始了最初的大气环境监测工作。一方面是卫生部门和城建部门在一些城市进行了大气、水和土壤污染的卫生学调查及常规分析工作, 另一方面针对工业“三废”进行职能监测, 这阶段也属于手工采样、零散的被动监测。20 世纪 70 年代中期, 各地环保机构和监测站相继建立, 开展了大气、河流、水库和污染源的监测工作, 进入有计划、有目的的监测阶段; 进而又相继建立了连续自动监测系统, 监测技术得到长足发展。1979 年, 中国已经成为全球大气环境监测系统 (GEMs/Air) 的成员国, 参与国际大气污染监测工作。

大气环境监测的发展主要表现在以下几方面。

① 监测项目逐渐趋于全面、合理 不仅重视目前的大气环境污染, 而且着眼于未来的大气环境质量; 不仅限于监测直接危害人体的污染因素, 如有毒化学物质、噪声和放射性物质等, 而且加强了对引起全球大气环境质量下降的全球大气环境问题及间接污染因素的监测, 如臭氧层破坏、海洋污染、荒漠化、热带雨林减少、生物物种减少及对酸雨监测、对温室气体 CO_2 、 N_2O 、 CH_4 、 CFC_{11} 、 CFC_{12} 等的监测。

② 监测范围不断扩大, 实行了跨国界、跨区域及全球范围的联合监测 例如, 全球大气环境监测系统 GEMs/Air 及 GEMs/water。GEMs/Air 是针对人口集中的城市进行国际性大气污染监测项目。目前世界上有 50 多个发展程度不同的国家参加, 一方面在其中 35 个国家的主要城市, 按照规定在工业、交通繁忙区、商业区和住宅区各选 1 个点进行 SO_2 和飘尘监测; 另一方面还通过参加国的大气环境白皮书和学术年会汇总 NO_x 、 CO 、 Pb 有关的信息, 将数据输入设在美国的合作中心的计算机, 经统计处理后公开发表。这对掌握世界范围的城市大气污染、情报交流和监测普及等做出了积极贡献, 目前正向着扩大监测项目、扩