

空气

理化检验

主编 黎源倩 杨正文



人民卫生出版社

200512



空气理化检验

主编 黎源倩 杨正文
(华西医科大学 教授)

编 委
(以姓氏笔画为序)

- | | | |
|-----|--------------|------|
| 吕昌银 | (南华大学 | 教 授) |
| 孙成均 | (华西医科大学 | 教 授) |
| 孙丹陵 | (湖北药检高等专科学校 | 讲 师) |
| 刘 萍 | (山东大学医学院 | 副教授) |
| 陈大义 | (四川省卫生管理干部学院 | 副教授) |
| 曹建明 | (温州医学院 | 副教授) |
| 程战胜 | (西安交通大学医学院 | 副教授) |



A0259197

人民卫生出版社

15-11-001

图书在版编目 (CIP) 数据

空气理化检验 / 黎源倩, 杨正文主编. —北京:
人民卫生出版社, 2000

ISBN 7-117-04055-6

I. 空... II. ①黎...②杨... III. 空气-卫生检
验 IV. R122.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 75376 号

空气理化检验

主 编: 黎源倩 杨正文

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 67616688)

地 址: (100078)北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

网 址: <http://www.pmph.com>

E-mail: pmph@pmph.com

印 刷: 河北省遵化市印刷有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 14.25

字 数: 295 千字

版 次: 2000 年 11 月第 1 版 2000 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

印 数: 00 001--3 000

标准书号: ISBN 7-117-04055-6/R·4056

定 价: 22.00 元

著作权所有, 请勿擅自用本书制作各类出版物, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

前 言

空气理化检验是高等医药院校预防医学、医学检验、卫生检验的专业课。1988年由华西医科大学主编，三所院校共同编写了《空气检验》教材。十余年来，这本教材在卫生检验专业的教学中发挥了重要的作用，收到了预期的效果。随着科学技术的迅速发展和教学改革的深入，教材必须不断更新，在原教材教学实践的基础上，重新编写，力求使本教材具有先进性、科学性和适用性。

本书以国家卫生检验标准方法和推荐方法为基础，参考国内外的标准分析方法和有关研究，适当介绍新知识、新技术和进展，全书力求从理论上系统地解释实验原理和操作技术，注意培养学生分析问题和解决问题的能力，以使学生的基本理论、基础知识和基本实验技能得到提高。本书包括概论，空气样品的采样，气象参数的测定，空气中颗粒物、无机毒物和有机毒物的测定方法以及空气中有害物质的快速测定和质量控制等八章，从培养学生的实验操作技能出发，在第九章编写了有关的实验教程，各校可根据实际情况选择。每章后编写了复习思考题，供学生复习参考，书中附有英汉专业名词对照，供读者查阅。

本书由华西医科大学主编，山东大学医学院、四川省卫生管理干部学院、西安交通大学医学院、温州医学院、湖北药检高等专科学校、南华大学七所院校共同编写，全书由黎源倩、杨正文最后修改定稿。其中第一章，第六章第一节至第四节，第八节以及第九章实验一至实验三，实验八至十由华西医科大学黎源倩编写；第二章第一至三节，第五章第六节及第九章实验七由华西医科大学孙成均编写；第二章第四、五节，第四章及第九章实验四由南华大学吕昌银编写；第三章和第六章第六、七节由四川省卫生管理干部学院陈大义编写；第五章第二、三节，第八章由西安交通大学医学院程战胜编写；第五章第一节及第九章实验五由西安交通大学医学院李林编写；第五章第四、五、七节及第九章实验六由温州医学院曹建明编写；第五章第八、九节和第六章第五节由山东大学医学院刘萍编写；第七章和实验十一由湖北药检高等专科学校孙丹陵编写。

本书可作为高等医学院校预防医学、卫生检验、医学检验专业的教科书，也可作为各级卫生防疫站、工矿企业检验部门的有关工作人员，环境保护监测人员的参考书，还可以用作卫生检验人材培训、自学提高和研究生入学考试的参考教材。

本书在编写和出版的过程中，得到了华西医科大学和参编院校领导的重视和支持；华西医科大学卫生检测教研室的各位同志及各届卫生检验专业的学生对本书提出了许多宝贵意见；人民卫生出版社对本书的出版给予了大力的支持，孙伟编辑的具体指导和热

情帮助使得本书能顺利出版，在此一并表示诚挚的谢意。书中如有错误和疏漏之处，衷心欢迎使用本书的师生和读者批评指正。

编 者

2000年3月

目 录

第一章 空气理化检验概论	1
第一节 大气的结构和组成	1
一、大气的结构	1
二、大气的组成	2
第二节 空气污染及其危害	3
一、空气污染	3
二、空气污染的历史和现状	3
三、空气污染的危害	7
第三节 空气污染物的来源和分类	9
一、空气污染物的来源	9
二、污染物的形成和分类	10
三、空气污染物的存在状态	11
第四节 空气理化检验的基本任务和内容	13
一、空气理化检验的意义	13
二、空气理化检验的基本任务	14
三、空气理化检验的主要内容和方法	15
四、空气污染物的浓度表示方法	16
第五节 空气中有毒物质的卫生标准	17
一、大气中有毒物质的卫生标准	18
二、车间空气中有毒物质的卫生标准	18
三、公共场所空气质量卫生标准和居室空气质量评价	19
第二章 空气样品的采集	21
第一节 概述	21
第二节 最小采气量和采样效率	21
一、最小采气量	21
二、采样效率及其评价方法	22
三、影响采样效率的主要因素	23
第三节 采样方法	24
一、集气法	24

二、浓缩采样法	26
第四节 采样仪器	36
一、采集器	36
二、采气动力	39
三、气体流量计及其校正	42
四、专用采样器	47
第五节 采样点的选择	49
一、城镇空气污染状况调查	49
二、劳动环境中空气污染状况的调查	52
第三章 气象参数的测定	55
第一节 概述	55
一、卫生意义	55
二、测定点的选择	56
三、测定时间的选择	56
第二节 气温的测定	56
一、气温的卫生意义	56
二、气温的测定	57
三、注意事项	58
第三节 气湿的测定	58
一、气湿的卫生意义	58
二、气湿的测定	59
第四节 气压的测定	62
一、气压的卫生意义	62
二、气压的测定	63
第五节 气流的测定	65
一、气流的卫生意义	65
二、风向的测定	65
三、风速的测定	66
第四章 空气中颗粒物的测定	70
第一节 生产性粉尘的卫生意义	70
一、生产性粉尘来源与分类	70
二、生产性粉尘的理化性质及卫生学意义	71
第二节 粉尘浓度的测定	72
一、概述	72

二、滤膜重量测定法	72
第三节 粉尘分散度的测定	73
一、沉降法	73
二、滤膜法	75
第四节 粉尘中游离二氧化硅的测定	76
一、概述	76
二、焦磷酸重量法	76
三、碱熔钼蓝比色法	77
第五节 大气颗粒物对人体健康的影响	78
一、颗粒物粒径表示方法和粒度分布	78
二、大气颗粒物的分类	79
三、颗粒物对人体健康的影响	81
第六节 可吸入颗粒物的测定	82
一、重量法	83
二、光散射法	83
第七节 灰尘自然沉降量的测定	84
一、原理	84
二、样品采集、处理与测定	85
三、注意事项	85
第五章 空气中有害无机物的测定	88
第一节 铅	88
一、概述	88
二、二硫脲光度法	89
三、石墨炉原子吸收光谱法	90
第二节 汞	91
一、概述	91
二、二硫脲光度法	92
三、冷原子吸收分光光度法	93
第三节 锰	94
一、概述	94
二、磷酸-高碘酸钾法	95
三、无火焰原子吸收分光光度法	96
第四节 标准气体配制方法	96
一、静态配气法	96
二、动态配气法	99

第五节 二氧化硫	104
一、概述	104
二、盐酸副玫瑰苯胺光度法	105
三、库仑滴定法	106
四、荧光法	107
第六节 氧化氮	108
一、概述	108
二、盐酸萘乙二胺光度法	110
三、化学发光法	113
第七节 氨	114
一、概述	114
二、纳氏试剂光度法	115
三、靛酚蓝光度法	116
四、亚硝酸盐光度法	117
第八节 氟及其化合物	117
一、概述	117
二、滤膜采样-氟离子选择电极法	119
三、滤纸采样-氟离子选择电极法	121
四、氟试剂-钼盐光度法	122
第九节 臭氧和氧化剂	123
一、概述	123
二、化学发光法	124
三、丁子香酚光度法	125
四、库仑原电池法	126
第六章 空气中有害有机物的测定	128
第一节 总烃和非甲烷烃	128
一、概述	128
二、热解吸-气相色谱法	129
三、直接进样-气相色谱法	130
第二节 苯、甲苯、二甲苯	131
一、概述	131
二、直接进样-气相色谱法	132
三、溶剂洗脱-气相色谱法	133
四、热解吸-气相色谱法	134
第三节 苯并(a)芘	135

一、概述	135
二、高效液相色谱法	136
三、纸层析-荧光分光光度法	138
第四节 甲醛	139
一、概述	139
二、酚试剂光度法	140
三、AHMT光度法	141
四、气相色谱法	142
五、示波极谱法	142
第五节 甲醇	144
一、概述	144
二、变色酸光度法	145
三、气相色谱法	145
第六节 甲基对硫磷	146
一、概述	146
二、气相色谱法	147
三、盐酸萘乙二胺光度法	148
第七节 拟除虫菊酯	149
一、概述	149
二、气相色谱法测定胺菊酯	151
三、高效液相色谱法测定溴氰菊酯	152
第八节 挥发性有机物	153
一、概述	153
二、分子扩散采样-气相色谱法	154
第七章 空气中有毒物质的快速测定	156
第一节 概述	156
一、快速测定的目的及特点	156
二、快速测定的方法	156
第二节 检气管法	157
一、检气管法的原理和特点	157
二、影响检气管变色长度的因素	157
三、空气中的一氧化碳的测定	158
第三节 试纸法	161
一、试纸法的原理和特点	161
二、试纸法的应用	162

第四节 溶液法	162
一、溶液法的原理和特点	162
二、溶液法的应用	163
第五节 仪器测定法	164
一、热学式气体报警器	164
二、光学式气体测定器	165
三、电化学式气体测定器	166
第八章 空气检验质量控制	168
第一节 概述	168
一、质量控制的概念和意义	168
二、质量控制图	168
第二节 基础实验和常用术语	170
一、空白试验	170
二、校准曲线	170
三、检出限与灵敏度	171
四、精密度	171
五、准确度	172
第三节 实验室质量评价	172
一、实验室内部质量控制	172
二、实验室间的质量控制	178
第九章 空气理化检验实验	180
实验一 空气中粉尘浓度的测定	180
实验二 粉尘分散度的测定	181
实验三 粉尘中游离二氧化硅的测定	184
实验四 流量计的校正	186
实验五 空气中锰的测定	189
实验六 空气中二氧化硫的测定	191
实验七 空气中氧化氮的测定	194
实验八 室内空气中甲醛的测定	196
实验九 空气中苯、甲苯和二甲苯的测定	199
实验十 空气中苯并(a)芘的测定	202
实验十一 空气中汞、二氧化硫的快速测定	204
附 录	207

一、居住区大气中有害物质的最高容许浓度	207
二、车间空气中有害物质的最高容许浓度	208
三、公共场所空气质量卫生标准	210
四、大气环境质量标准	211
五、世界卫生组织的大气质量指导标准	211
六、国际原子量表	212
七、有关检验部分的说明	213
主要参考资料	214

空气理化检验概论

本书所指空气包括大气 (atmosphere)、作业场所空气 (workplace air) 和室内空气 (indoor air) 三部分。

第一节 大气的结构和组成

一、大气的结构

大气是指包围在地球表面的并随地球旋转的空气层。其厚度约为 2 000 ~ 3 000km 以上, 没有明显上界, 其总质量约为 6×10^{15} t, 大约相当于地球总质量的百万分之一。大气质量在垂直方向上的分布是不均匀的, 由于受重力的影响, 越往高空, 空气越稀薄, 占总质量约 80% 的空气集中在距地表 12km 范围内的大气层中。根据大气层的温度分布, 化学性质和其它性质的变化, 大气层可以分为五层, 其垂直结构, 如图 1-1 所示。

1. 对流层 (troposphere) 对流层是大气层中最低的一层, 从地表到 12km 范围内。大气总质量主要集中在这一层。对流层的特点是温度随高度的增加而下降, 高度每升高 100m, 温度降低 0.65°C 。在对流层中冷、热空气的垂直对流剧烈, 形成风、云、雨、雾和霜等各种自然现象, 对人类的生活和生产影响很大。空气污染也主要发生在这一层中。

2. 平流层 (stratosphere) 从对流层顶到 50km 左右称为平流层, 也叫同温层。平流层的特点是温度随高度增加而增加; 空气的垂直混合慢, 水平混合快; 空气比对流层稀薄、干燥, 无云雨等天气现象; 在高约 12 ~ 35km 范围内有臭氧层存在 (中间区域臭氧浓度仅为百万分之一)。臭氧层能吸收太阳的紫外线, 使平流层的温度升高, 同时也保护了地球上的生物免受紫外线的影响。 O_3 和 O_2 的一系列光化学反应在该层发生, 如果污染物一旦进入平流层, 将会随着地球旋转而运动, 停滞数年之久。

3. 中间层 (mesosphere) 从平流层顶到 85km 的区域称为中间层。其温度随高度增加而降低。该层有强烈的垂直对流运动。中间层的温度可低至 -100°C 。

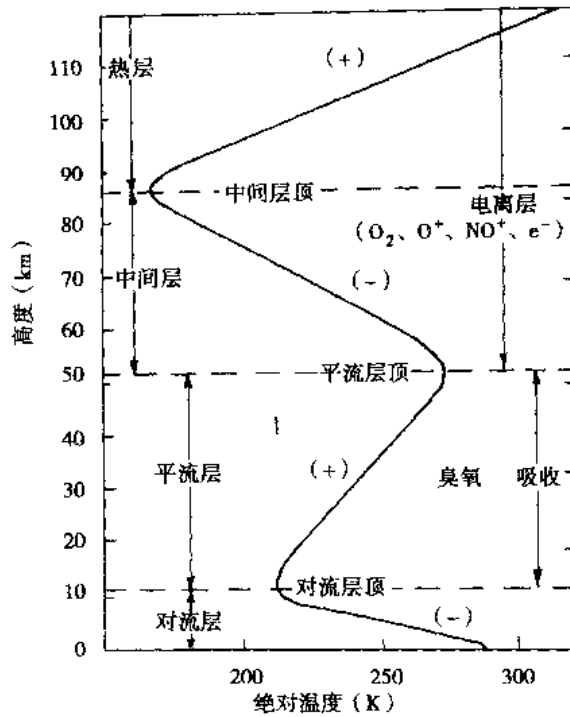


图 1-1 大气层的垂直结构图

4. 热层 (thermosphere) 在中间层顶至 500km 内的大气层称为热层。因层内大气直接吸收太阳辐射，温度随高度升高而增加。昼夜温差可达几百度。

5. 外层 (exosphere) 在热层以上的高空，称为外层或逸散层。该层大气越来越稀薄，地球对气体分子引力减弱，气体及微粒可以逸出这一层进入宇宙空间。实际上，大气层和星际空间之间并不存在截然的界面，逸散层是相当厚的过渡层。

二、大气的组成

大气的正常组成是在标准状况下，按体积百分比计氮气为 78.09%，氧气为 20.94%，这两种气体占空气总体积的 99.03%，称为主要成分；其余的主要是氩气和二氧化碳，称为空气的次要成分；此外，在大气中还有微量的氦、氖、氪、氙、臭氧、一氧化碳、二氧化氮、二氧化硫等，称为空气的痕量成分。空气的平均分子量为 28.966。大气的正常组成见表 1-1。

大气层是维持生物圈中的生命所必需的物质条件，是人类赖以生存的重要外界环境之一。机体不断与外界环境进行着气体交换，机体由大气层中吸取生命所需的氧气，并将代谢过程中产生的二氧化碳排出体外。因此，空气的正常组成是保证人体的正常生理机能和健康的必要条件。

表 1-1 大气的正常组成

成分	浓度(%)	质量(10 ⁶ t)
氮	78.09	3 850 000 000
氧	20.94	1 180 000 000
氩	0.93	65 000 000
二氧化碳	0.0318	2 500 000
氦	0.0018	64 000
氖	0.00052	3 700
甲烷	0.00013	3 700
氙	0.0001	15 000
氢	0.00005	180
一氧化二氮	0.000025	1 900
一氧化碳	0.00001	500
臭氧	0.000002	200
氨	0.000001	30
二氧化氮	0.0000001	8
二氧化硫	0.00000002	2

第二节 空气污染及其危害

一、空气污染

自然界中各种自然现象的变化，都会引起空气正常组成的变化。如火山爆发，大量的尘埃、二氧化硫和硫化氢等气体进入空气；雷电产生的一氧化氮和二氧化氮；森林火灾产生大量的烟尘和二氧化碳等都会污染空气。一般来说，自然现象引起的空气污染往往是局部、暂时的。而人类活动，特别是在用煤炭代替木材作为燃料以后，矿物燃料的使用造成的空气污染已经给人类带来了新的危害。随着现代工业的发展，向空气中排放的污染物数量越来越多，种类也越来越复杂，从而引起了空气质量的严重下降，这不仅危害人类的健康，而且对整个地球的生态系统都会造成极其重大而深远的影响。

所谓空气污染 (air pollution) 是指除空气的正常组成外，增加了新的组分并达到一定的浓度和持续一定的时间，或是空气中原有组分骤然增加，改变了大气的物理化学正常组成，破坏了生态平衡，造成对人体健康和动植物的不利影响和危害。常见的空气污染物主要有煤烟尘、二氧化硫、一氧化碳、二氧化氮、碳氢化合物 (包括多环芳烃)、多氯联苯、农药等。

二、空气污染的历史和现状

(一) 历史上重大的空气污染事件

局部的空气污染已有上千年的历史。自工业革命以来，煤和石油的使用量迅速增加，大量煤烟和汽车尾气严重污染空气。空气污染作为重大问题而引起世界各国的重视是最近 50 年的事。表 1-2 中列举了历史上一些较为严重的空气污染事件，下面将介绍其中具有代表性的污染事件，了解其发生的原因和条件、危害及后果，以便吸取教训，避免再发生重大的空气污染事件。

表 1-2 空气污染事件

污染事件	发生地点	时间	原因	危害
马斯河谷事件	比利时马斯河谷	1930 年 12 月	河谷出现逆温，工厂排出大量 SO ₂ 、氟化物和烟尘	几千人患病，60 人死亡(比平时高出 10 倍)
多诺拉事件	美国宾夕法尼亚州	1948 年 10 月	气温低，大雾，逆温，工厂排放大量 SO ₂ 和金属粉尘	5 900 人患病，20 人死亡
伦敦烟雾事件	英国伦敦市	1952 年 12 月	大雾、逆温，工厂和家庭排出的烟尘和 SO ₂ ，高出平时的 6~10 倍	约 4 000 人死亡
洛杉矶光化学烟雾事件	美国洛杉矶市	1946~1955 年	400 万辆汽车大量排出 NO _x 和烃类，在阳光作用下，生成光化学烟雾	400 人死亡，主要为老年人
四日市哮喘	日本四日市	1962~1964 年	炼油厂排出的烟尘和 SO ₂ 终年烟雾弥漫	患支气管炎、支气管哮喘、肺气肿和肺癌者增多
博帕尔毒气泄漏事件	印度博帕尔市	1984 年 12 月	一农药厂异氰酸甲酯泄漏，约 20t 进入大气中，浓烟覆盖面积约 60km ²	52 万人中毒，1 800 多人死亡
切尔诺贝利核电站泄漏事件	前苏联切尔诺贝利	1986 年 4 月	核电站反应堆爆炸，大量放射性物质泄漏，造成严重环境污染，其放射性尘埃已污染欧洲各国	当场死亡 31 人，13.5 万人被迫撤离

1. 伦敦烟雾事件 1952 年 12 月 5~9 日伦敦上空大雾弥漫，从家庭和工厂排出的煤烟，因逆温现象而停滞在大气的下层，空气中悬浮颗粒物和二氧化硫浓度骤增，大气中二氧化硫浓度高达 3.5mg/m³，悬浮颗粒物高达 4.5mg/m³。在一周内伦敦市区死亡人数与历年同期相比多 3 500~4 000 人。死者年龄分布上各组均有增加，以 45 岁以上居多，65 岁以上的老人死亡尤为显著，其中以慢性气管炎、支气管肺炎和心脏病患者死亡最多。这就是震惊世界的“伦敦烟雾事件”，伦敦烟雾事件是由燃煤引起的，其主要污染物为烟尘和二氧化硫。

2. 光化学烟雾事件 随着发达国家以石油为主要能源，汽车的数量骤增，例如，在美国洛杉矶市由于汽车成灾，排放出大量废气，加上特殊的地理位置和强烈的日光照射，先后多次出现了“光化学烟雾事件”。汽车排放的尾气中含有高浓度的碳氢化合物，在日光的照射下与氧化剂作用，形成光化学烟雾，主要含有臭氧、过氧乙酰硝酸酯(PAN)和醛类，对人体粘膜有强烈的刺激作用。光化学烟雾污染在世界上许多城市都

曾出现过，其中以洛杉矶市最为严重。

3. 日本四日市哮喘病事件 四日市是日本战后新兴的一个石油化工城市，拥有三个大型的石油化工企业和一百多个中小型化工厂。每年由各工厂排放出来的二氧化硫和烟尘多达 1.3×10^5 t，使该城市终年烟雾弥漫。1964年有一次烟雾连续三天不散，大气中二氧化硫浓度超过容许浓度的5~6倍，烟雾中还夹杂着铅、锰、矾、钛等有毒重金属微粒，这些重金属微粒可以促使二氧化硫氧化生成硫酸酸雾，引起许多居民患支气管炎、支气管哮喘和肺气肿等呼吸道疾病，很多严重者死亡。

4. 切尔诺贝利核电站爆炸事件 1986年4月25日前苏联切尔诺贝利核电站爆炸，造成自1945年日本广岛和长崎遭原子弹袭击以来世界上最严重的核污染事件。核反应堆释放出的核裂变主要产物使周围环境中放射剂量每小时达52mc/kg，为人体容许剂量的2万倍，这些放射性物质随风扩散污染北欧各国。3年后发现，距核电站80km的地区，皮肤癌、舌癌、口腔癌及其它癌症患者明显增多，因此而死亡的约为2000人。

除了以上惨重的空气污染事件外，规模较小的污染事件在国内外都多次发生，对人类和环境造成了巨大的危害。从以上的空气污染事件可以看出，其主要原因可分为两类：一是由于燃料燃烧及生产过程中排放的污染物引起的烟雾事件；二是由于生产事故造成的。根据烟雾形成的原因，烟雾事件中又可分为伦敦型烟雾事件和洛杉矶光化学烟雾事件（见表1-3）。

表 1-3 伦敦烟雾事件和洛杉矶烟雾事件的主要区别

比较项目	伦敦烟雾	洛杉矶烟雾
主要污染源	煤炭等燃烧产物和工业废气	汽车尾气
主要污染物	SO ₂ 、烟尘	O ₃ 、NO _x 、碳氢化合物、过氧乙酰硝酸酯等
反应类型	热反应	光化学反应和热反应
对人的危害	呼吸道刺激，引起气管炎、支气管炎、肺气肿、心脏病等	上呼吸道、眼粘膜刺激，心脏功能和肺功能衰竭
气象条件	气温低、风速小、有雾、逆温现象，多发生在冬季	气温高、紫外线强，多在夏、秋季的白天发生

(二) 目前全球空气污染的主要问题

20世纪50~60年代，世界各国的立法机构和空气污染研究都着重于孤立的大气污染现象，对危害严重的主要污染物制订了卫生标准，但忽视了空气中大量的、未制订卫生标准的微量或痕量的空气污染物，如气态HNO₃、H₂O₂、羟自由基、甲醛及气溶胶等。70年代以来，空气污染研究改变了传统的方式，逐渐认识到对流层和同温层中影响全球环境的重要问题。研究表明，目前影响全球环境的主要问题是酸沉降、全球气候变暖和臭氧层耗损，这些问题都是与大气污染密切相关的。

1. 酸沉降 (Acid deposit) 包括干沉降和湿沉降，干沉降主要是颗粒物、气态酸性