

大气污染治理手册

北京市环境保护科学研究所编
上海科学技术出版社

环境保护工程技术丛书

大气污染防治手册

北京市环境保护科学研究所 编

上海科学技术出版社

内 容 提 要

大气污染防治手册共分五篇二十六章,并附有典型实例和近四百幅辅以文字说明的插图。本手册系统地阐述了大气污染物的来源、特性、监测方法和它在大气中扩散、变化的规律以及各种治理设备的性能、构造和设计计算,对综合治理大气污染及新工艺、新技术和新动向也作了较全面的论述。

本手册内容丰富、实用,数据图表准确,表达简练,查阅方便,可供工厂企业、设计科研单位、学校、管理部门从事环境保护工作的科技人员、管理干部阅读和参考,也可供从事能源、劳动保护、城市规划管理工作的人员参考。

环境保护工程技术丛书
大 气 污 染 防 治 手 册
北京市环境保护科学研究所 编
上海科学技术出版社出版
(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海中华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 80.75 插页 4 字数 735,000
1987 年 7 月第 1 版 1987 年 7 月第 1 次印刷
印数: 1—4,500

统一书号: 15119·2490 定价: 9.15 元

《大气污染防治手册》编审委员会名单

(按姓氏笔画为序)

刘天齐 刘增恺 张锡光 陈明绍 陈家宜 徐国光 潘南鹏

各篇主编、审阅人员名单

- 第1篇 通论
主编：徐国光 审阅：张锡光
- 第2篇 污染物质的测定
主编：苗凡举 审阅：潘南鹏 吴鹏鸣 陈禹方
- 第3篇 烟尘治理
主编：徐国光 审阅：陈明绍 刘增恺
- 第4篇 有害气体治理
主编：徐长松 审阅：刘天齐
- 第5篇 综合防治及环境评价
主编：徐国光 审阅：陈家宜

序 言

清除污染,保护环境,是社会主义建设的一项重要内容,是实现四个现代化不可缺少的组成部分。正确处理经济发展和环境保护的关系具有十分重要的意义。

社会经济发展和环境保护是相对的统一,二者相互制约,又互相促进。处理得当,在经济发展的同时可以防止自然资源和生态平衡的破坏,保护广大人民的身体健康,进一步促进经济发展。反之,如处理不当,则污染泛造成灾,自然资源破坏,生态系统失调,人民健康遭受危害,势必阻碍经济发展。资本主义工业化过程中造成的环境污染的严重灾难的前车之鉴,应当深引为戒。

我国的经济是社会主义经济,发展目的是满足广大人民日益增长的物质和文化需要。保护环境,造福人民,不做贻害子孙后代的事,是与经济发展的目标相一致的。

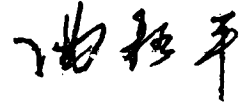
当前,我国的环境污染和生态破坏相当严重。而且,环境污染问题还在不断发展,其原因是多种多样的。有认识水平的问题,如对客观经济规律和自然规律认识不全面、不深刻;也受国家经济水平的限制,即目前还不能在环境保护方面有充足的投资,许多环境问题还不能得到有效地治理。这说明,要有效地保护和改善环境,就要积极发展经济,在发展中相应地解决环境问题。此外,还有管理不善的问题。许多环境问题,并非由于经济能力和技术水平的不够,而是管理不善造成的。总之,我国的环境问题已经成为两个文明建设的严重障碍。因此,采取有力措施制止环境污染和生态破坏的继续发展,不断地改善环境质量,以促进物质文明和精神文明建设的顺利发展,就成为摆在我们面前的一项战略任务。

世界各国的经验教训和我国的实践都证明,环境污染和破坏是可以防治的。解决我国的环境问题,主要靠政策,靠管理,靠科学技术。要制订正确的发展战略,将发展国民经济、合理开发利用资源、能源和保护环境质量三者有机地结合起来,实行同步规划,同步发展,以达到互相协调、互相促进之目的。

环境保护科学技术在近一二十年来发展异常迅速。我国环境保护科学技术虽然起步较晚,但发展却很快,可以说已涉足了环境保护的各主要领域,在某些方面还结合国情有所创造。十多年的实践使我们认识到:发展我国的环境保护科学技术,必须从国情出发,把借鉴国外先进科学技术与我国的特点相结合,开发、提供符合我国国情的适用技术。

为了认真系统地总结国内外在控制污染、保护和改善环境方面的科学技术和研究成果,为进一步控制我国的环境污染服务,上海科学技术出版社组织国内有关专家、教授和科技人员,历时数载,编著了我国第一套环境工程手册。这套手册共包括:水污染防治手册、大气污染防治手册、固体废物的处理与利用手册、噪声与振动控制和防护手册以及电磁辐射控制和防护手册等五册。

这套手册总结了当代国内外在防治污染、保护环境方面的最新科学技术成果,并展示了其发展动向,内容丰富、阐述清晰、实用性强,它对环境污染的防治、传播环保知识、提供环境保护信息,提高环保人员的科学技术素质等方面,无疑会发挥重要作用。因此,这套手册的出版,是我国环境保护界的一件喜事。希望今后有更多更好的有关环保方面的书籍出版,以开拓知识、活跃学术、发展和更新技术,推动我国的环境保护事业的蓬勃发展。



一九八六年二月二十八日于北京

前 言

在一九八四年召开的第二次全国环境保护会议上明确了保护和改善环境是我国的一项基本国策,是经济和社会发展的组成部分,是实现本世纪末工农业年总产值翻两番这个总目标不可缺少的一项战略任务。

一九七三年第一次全国环境保护会议以来,我国的环境保护事业取得了显著的成绩。特别是党的十一届三中全会以后,加速了环境保护工作的步伐。解决我国的环境问题,同发展经济一样,都要靠科学技术。十多年来,我国各科学研究单位、高等院校、设计单位以及工厂、地区的专业部门在工业污染源防治、污染物监测、环境工程技术等方面取得了许多科研成果,积累了不少经验。这些成果和经验亟需加以总结、提高和推广。近年来国外在控制污染技术和环境保护科学的基础理论研究方面,也有巨大的进展。因此,介绍当代世界上有关大气污染防治方面的新工艺、新技术和新动向,也是刻不容缓的事。此外,近年来我国在普及和提高人们对环境问题的认识和环境科学技术知识方面也做了不少的工作,取得了一定的成效。随着我国环境保护事业的发展,从事这方面工作的专业队伍不断扩大,特别是年轻的环境保护工作者,亟需不断地提高他们的业务水平和技术素质,这是提高我国环境保护工作的水平至关重要的。

鉴于以上种种情况,上海科学技术出版社约请北京市环境保护科学研究所组织有关专家、工程技术人员编撰一本比较全面、系统和综合性的《大气污染防治手册》。这本手册应能反映出国内外在本学科领域内的先进技术经验、科研成果及其发展趋向。它不仅对专业人员有帮助,而且对广大从事环境保护工作的工作人员也应有指导作用和参考价值。本手册就是按照这个宗旨进行编撰的,并力求突出科学性、实用性和先进性,做到应用资料丰富、准确可靠,叙理简明,逻辑性强,文字简练、深入浅出,图表众多,使用方便。

本手册各章分工如下:

第1、7、8、9、12、25章及第2章第2.1节、第6章6.14节由徐国光编写;第2章2.2节由张锡光编写;第2章2.3节由操汉瑞编写;第3章由陈松林编写;第4章(除4.3、4.10节)、5、6章(除6.13、6.14节)由苗凡举编写;第10章由程秀菊、原志军、汪惠玺编写;第11章由王德春编写;第13、17、18、20(除20.7节)、22(除22.2节)章及第16章16.1节由徐长松编写;第14、15、19章及第16章16.2节、20章20.7节、22章22.2节由葛启坛编写;第21章(除第21.2、21.3节)由秦文新编写;第23章由胡家俊编写;第24章由李滇林编写;第26章由张良璧编写;第4章4.3、4.10节、6章6.13节、21章21.2~21.3节由郑菁英编写;全书最后由潘南鹏、徐国光统审。

编写这样一类综合性新学科的手册,我们还是第一次尝试,由于缺乏经验,限于水平,加之涉及范围广,技术性强,篇幅多,缺点错误在所难免,敬请广大读者批评指正。

北京市环境保护科学研究所

目 录

第1篇 通 论

第1章 概论	1	2.2 冶金工业污染物排放情况	27
1.1 概述	1	2.3 石油工业、化学工业污染物排放情况	35
1.2 大气的结构和组成	1	2.4 其他工业污染物排放情况	41
1.3 气体的物理性质	3	第3章 通风装置	42
1.4 颗粒物	10	3.1 通风装置的分类	42
1.5 大气污染物的危害及影响	10	3.2 全面通风	42
1.6 大气环境质量和排放标准	15	3.3 局部通风	45
第2章 污染源	22	3.4 局部通风装置设计	46
2.1 燃烧设备污染物排放情况	22		

第2篇 污染物质的测定

第4章 采样与分析方法	68	6.3 硫化氢	102
4.1 采样的目的和要求	68	6.4 硫酸雾	103
4.2 采样方法	70	6.5 氮氧化物	104
4.3 分析方法	75	6.6 氯化氢	106
第5章 大气中几种主要污染物质的测定	93	6.7 氯气	107
5.1 二氧化硫	93	6.8 氟	108
5.2 氮氧化物	95	6.9 氰化氢	110
5.3 一氧化碳	96	6.10 汞蒸气	112
5.4 光化学氧化剂	97	6.11 苯	113
5.5 总悬浮颗粒物(T.S.P)	98	6.12 一氧化碳(CO)	114
第6章 污染源中主要污染物质的测定	100	6.13 汽车排气的测定	115
6.1 二氧化硫	100	6.14 烟尘的测定	119
6.2 二硫化碳	101		

第3篇 烟 尘 治 理

第7章 烟尘的特性及除尘设备的分类	128	图	135
7.1 粒径	128	第8章 机械式除尘器	137
7.2 总除尘效率的计算	132	8.1 重力沉降室	137
7.3 分级除尘效率的计算和表示方法	133	8.2 惯性除尘器	140
7.4 尘粒的粒度分布(分散度)测定方法	134	8.3 旋风除尘器	144
7.5 除尘效率与处理烟气量的关系	135	8.4 声波除尘装置	158
7.6 各种尘粒爆炸浓度的下限	135	第9章 湿式洗涤器	159
7.7 除尘设备的分类、性能及适用范		9.1 喷淋塔	159
		9.2 文丘里洗涤器	160

9.3 冲击式除尘机组.....	164	第 11 章 电除尘器	206
9.4 管式水膜除尘器.....	169	11.1 电除尘器的基本原理	206
9.5 旋风水膜除尘器.....	171	11.2 电除尘器的类型和结构	207
9.6 脱水装置.....	175	11.3 除尘效率	211
第 10 章 过滤式除尘器.....	180	11.4 电除尘器的选择和设计、计算.....	218
10.1 过滤除尘的基本原理.....	180	第 12 章 除尘器的选择、维护管理和下灰	
10.2 过滤除尘器的性能.....	181	利用	226
10.3 滤布.....	183	12.1 除尘器的选择	226
10.4 过滤式除尘器的结构形式.....	185	12.2 除尘器的维护与管理	230
10.5 过滤式除尘器的应用与选择.....	202	12.3 除尘器型式的代号	231
10.6 颗粒层过滤器.....	202	12.4 除尘器下灰的综合利用	232

第 4 篇 有害气体治理

第 13 章 吸收法.....	237	18.1 催化还原法	310
13.1 吸收原理.....	237	18.2 液体吸收法	316
13.2 吸收液.....	242	18.3 固体吸附法	324
13.3 吸收塔.....	244	第 19 章 碳氢化合物治理	329
第 14 章 吸附法.....	258	19.1 吸附法	330
14.1 吸附原理.....	258	19.2 催化燃烧法	334
14.2 吸附剂.....	261	19.3 浓缩燃烧法和浓缩回收法	337
14.3 吸附装置.....	263	第 20 章 其他有害气体的治理	339
第 15 章 催化转化法.....	267	20.1 硫化氢治理	339
15.1 催化转化原理.....	267	20.2 氟化物治理	344
15.2 催化剂.....	268	20.3 酸雾治理	348
15.3 催化转化装置.....	271	20.4 氯气治理	352
第 16 章 冷凝法和直接燃烧法.....	274	20.5 氯化氢治理	353
16.1 冷凝法.....	274	20.6 汞蒸气治理	355
16.2 直接燃烧法.....	280	20.7 恶臭治理	358
第 17 章 硫氧化物治理.....	285	第 21 章 汽车排气的净化	361
17.1 氨法.....	287	21.1 汽油车排气净化	361
17.2 钠碱法.....	294	21.2 柴油车排烟净化	376
17.3 石灰/石灰石法	298	第 22 章 防腐、防爆和设备运行管理.....	385
17.4 双碱法.....	303	22.1 防腐蚀	385
17.5 活性炭吸附法.....	306	22.2 防爆炸	390
第 18 章 氮氧化物治理.....	309	22.3 设备运行管理	392

第 5 篇 综合防治及环境评价

第 23 章 污染物在大气中的扩散及其计		23.5 烟囱高度设计	417
算方法.....	395	第 24 章 大气污染物的化学转化途径	424
23.1 概述.....	395	24.1 概述	424
23.2 大气污染与气象条件的关系.....	396	24.2 含碳化合物	427
23.3 大气扩散模式.....	401	24.3 全卤代烃	429
23.4 城市大气污染问题中的扩散模式.....	410	24.4 氮氧化物	431

24.5 光化学烟雾.....	434	25.5 绿色植物在环境保护中的作用	461
24.6 含硫化合物.....	438	第 26 章 大气质量评价和管理	467
24.7 气溶胶.....	442	26.1 大气环境质量评价	467
第 25 章 大气污染综合防治.....	445	26.2 大气质量管理	475
25.1 大气污染综合防治的意义、方法 和步骤.....	445	附录.....	478
25.2 环境与经济.....	447	一、非许用单位与法定计量单位换算表	478
25.3 环境与能源.....	450	二、常用的法定计量单位与符号	478
25.4 集中供热	456	三、本书使用符号说明	479

第1篇 通 论

第1章 概 论

1.1 概 述

成人每天呼吸的空气量平均为 $14\sim 18\text{ kg}$, 生理消耗的水仅 $1.5\sim 2\text{ kg}$, 吃的食物如按干固体计不超过 0.7 kg 。人不呼吸空气只能生存几分钟, 而不饮水可生活几天, 不吃食物甚至可生存几周。空气对人的重要性是显而易见的。

近年来, 有些城市对大气污染采取了不少防治措施, 并取得了一定的成绩, 使大气环境质量有所改善。但仍有部分城市防治大气污染的工作赶不上污染的发展, 致使这些城市的大气质量还在继续下降。

城市中的大气污染主要是由燃煤过程中排放出来的大量二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、尘以及其他有害物质所造成的。石油化工企业、冶金企业以及电镀、喷漆、印刷、塑料、制药等行业排放出来的含有大量酸气(如氯化氢、硫酸、硫化氢、硫氧化物、氮氧化物等)、有机废气(如苯、甲苯、甲醇、丙酮及其他碳氢化合物等)和重金属(如铅、锌、汞、镉等)等的有害气体也是造成某些城市或地区大气污染的重要污染源。

为了改善和保证城市的大气质量, 使其尽快地达到国家规定的标准, 防止其对人和动、植物的危害, 并减少由于大气污染造成的其他经济损失, 不仅要抓好污染源的治理, 更重要的是要将城市的环境保护同城市的规划、建设、管理结合起来, 同改善工业布局和能源结构结合起来。只有在经济建设、城乡建设和环境建设同步规划的基础上, 才能对城市的大气进行科学的综合防治。

我们应实行正确的能源政策和采取恰当的技术措施, 如发展集中供热和城市煤气, 搞好工矿企业的余热利用, 提高设备的热能利用率, 在可能条件下尽量使用无污染能源, 把低硫煤优先供应民用等, 同时对污染严重又难以治理的工业从城市布局上加以调整和搬迁, 在充分考虑大气容量的基础上通过工艺改革或安装治理设备对各种污染源进行恰当的防治。总之, 要从当地的具体条件出发, 做到经济效益、社会效益、环境效益的统一, 积极地、有计划地进行综合防治, 才能使大气质量不断地得到改善, 才能在规定的时间内使大气质量达到预定的目标值。

1.2 大气的结构和组成

1.2.1 大气的结构

在地球表面不同的地方, 温度有很大的变化, 在中纬度地区, 白天的温度平均约为 290 K , 随着高度的增加温度下降, 在离地面 15 km 处温度下降到最低值, 约为 210 K 左右。随

着高度增加而温度下降的这一空间区域称为对流层，该层中温度最低的区域叫做对流层顶。

离地面 15 km 到 50 km 的区域叫做平流层（或称同温层），其温度随高度上升而增高，最大值约为 273 K。

离地面 50 km 到 85 km 的区域叫做中间层（或称散逸层），其温度随高度上升而下降，最小值为 170~210 K（夏季为上限，冬季为下限）。

85 km 以上叫做热成层，这区域的温度是随着高度的增加而迅速上升。

地球表面的平均温度与高度的关系见图 1.1。

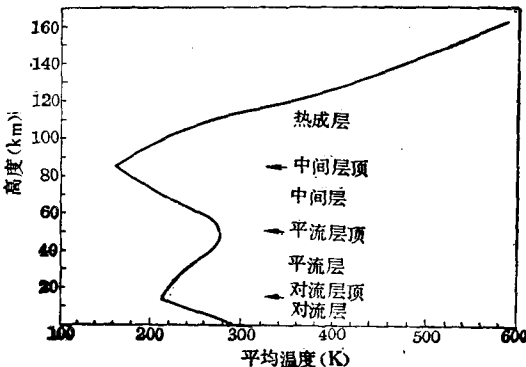


图 1.1 地球表面平均温度与高度的关系

1.2.2 大气的化学组成

在对流层（从地面到 15 km 高度的区域）干空气的平均成分见表 1.1。

表 1.1 干空气的平均成分

气体名称	分子量	体积百分比	重量百分比
氮	28.016	78.09	75.55
氧	32.000	20.95	23.13
氩	39.944	0.93	1.27
二氧化碳	44.010	0.03	0.05
合 计		100	100

表 1.2 干空气中微量气体的平均成分

气体名称	分子量	ppm(百万分之值)	
		体积	重量
氖	20.183	18	12.9
氦	4.003	5.2	0.74
甲烷	16.04	2.2	1.3
氪	83.80	1	3.0
一氧化二氮	44.01	1	1.6
氢	2.016	0.5	0.03
氙	131.30	0.08	0.37
臭氧	48.00	0.01	0.02
氟	222	0.06×10^{-12}	
合 计		27.99	19.96

可以近似地认为,空气的组成是氮占79%,氧占21%。由于氩包含在氮之中,氮的分子量应以28.16计。

在空气中还有一些其他气体,其总量不足0.003% (实际体积27.99 ppm)。干空气中微量气体的平均成分见表1.2。

在工矿企业和人口比较集中的地区里,空气中还存在着微量的二氧化硫、硫化氢、碳氢化合物、一氧化碳、氮氧化物、光化学氧化剂等有害气体。同时还有烟、尘及重金属。水分也是空气的一个重要组分。

1.3 气体的物理性质

1.3.1 气体的状态方程

一定质量 m 的任何物质(气体)所占有的体积 V , 取决于该物质所受压力 P 和它的温度 T 。对纯物质来说,这些量之间存在着一定的关系,叫做该物质的状态方程。

$$f(m, V, P, T) = 0$$

对理想气体,可写成如下方程:

$$PV = nRT \quad (1.1)$$

式中 P ——压力, Pa;

V ——气体体积, m^3 ;

n ——摩尔数, $n = m/M$;

m ——气体总质量, g;

M ——气体摩尔量, g;

R ——气体常数, 为 $8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} (\text{m}^3 \cdot \text{Pa} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$;

T ——绝对温度, K。

在“标准状态”下,即温度为 0°C (273.1 K)、压力为 1 atm ($1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$), 1 mol 的理想气体的体积为:

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{1(\text{mol}) \times 8.314 (\text{m}^3 \cdot \text{Pa} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}) \times 273.1 (\text{K})}{1.013 \times 10^5 \text{ Pa}} = 0.0224 \text{ m}^3 = 22.4 \text{ L}$$

理想气体在任何压力和温度下,都能遵守公式(1.1)。在压力不太大、温度不太接近气体液化点时,实际气体的性质非常接近理想气体。因此,在大气污染控制学范围内,可以应用上述公式来计算。

对一定质量的气体来说,乘积 nR 是常数,因此 PV/T 也是常数,即:

$$P_1 V_1 / T_1 = P_2 V_2 / T_2 \quad (1.2)$$

【例】在大气压力为 $9.9975 \times 10^4 \text{ Pa}$ (750 mmHg), 温度为 293.1 K (20°C) 时, 采空气飘尘的采样器通过流量为 1.4 m^3 , 采得的飘尘量为 0.2 mg , 求折合成标准状态时空气中飘尘的浓度。

已知: $P_1 = 9.9975 \times 10^4 \text{ Pa}$ (750 mmHg), $V_1 = 1.4 \text{ m}^3$, $T_1 = 293.1 \text{ K}$ 。

标准状态下空气的压力与温度为:

$$P_2 = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} (760 \text{ mmHg}), \quad T_2 = 273.1 \text{ K}$$

所采空气样的体积换算成标准状态下的体积为

表 1.3 大气中污染物质 mg/m^3 与 ppm 换算表(标准状态下)

分子量	$1\text{mg}/\text{m}^3$ 换算成 ppm	1ppm 换算成 mg/m^3	分子量	$1\text{mg}/\text{m}^3$ 换算成 ppm	1ppm 换算成 mg/m^3
1	22.4	0.0446	51	0.439	2.277
2	11.2	0.0893	52	0.431	2.321
3	7.467	0.1339	53	0.423	2.366
4	5.600	0.1786	54	0.415	2.411
5	4.480	0.2232	55	0.407	2.455
6	3.733	0.2679	56	0.400	2.500
7	3.200	0.3125	57	0.393	2.545
8	2.800	0.3570	58	0.386	2.589
9	2.489	0.4020	59	0.379	2.634
10	2.240	0.4464	60	0.373	2.679
11	2.036	0.491	61	0.367	2.72
12	1.867	0.536	62	0.361	2.77
13	1.723	0.580	63	0.356	2.81
14	1.600	0.625	64	0.350	2.86
15	1.493	0.670	65	0.345	2.90
16	1.400	0.714	66	0.339	2.95
17	1.318	0.759	67	0.344	2.99
18	1.244	0.804	68	0.329	3.04
19	1.179	0.848	69	0.325	3.08
20	1.120	0.893	70	0.320	3.13
21	1.067	0.938	71	0.315	3.17
22	1.018	0.982	72	0.311	3.21
23	0.974	1.027	73	0.307	3.26
24	0.933	1.071	74	0.303	3.30
25	0.896	1.116	75	0.299	3.35
26	0.862	1.161	76	0.295	3.39
27	0.829	1.205	77	0.291	3.44
28	0.800	1.250	78	0.287	3.48
29	0.772	1.295	79	0.284	3.53
30	0.747	1.339	80	0.280	3.57
31	0.723	1.384	81	0.277	3.62
32	0.700	1.429	82	0.273	3.66
33	0.679	1.473	83	0.269	3.71
34	0.659	1.518	84	0.267	3.75
35	0.640	1.563	85	0.264	3.79
36	0.622	1.607	86	0.260	3.84
37	0.605	1.652	87	0.257	3.88
38	0.589	1.696	88	0.255	3.93
39	0.574	1.741	89	0.252	3.97
40	0.560	1.786	90	0.249	4.02
41	0.546	1.830	91	0.246	4.06
42	0.533	1.875	92	0.243	4.11
43	0.521	1.920	93	0.241	4.15
44	0.519	1.964	94	0.238	4.20
45	0.498	2.009	95	0.236	4.24
46	0.487	2.054	96	0.233	4.29
47	0.477	2.098	97	0.231	4.33
48	0.467	2.143	98	0.229	4.38
49	0.457	2.188	99	0.226	4.42
50	0.448	2.232	100	0.224	4.46

$$V_2 = \frac{P_1 V_1 T_2}{P_2 T_1} = \frac{9.9975 \times 10^4 \times 1.4 \times 273.1}{1.013 \times 10^5 \times 293.1} = 1.287 \text{ m}^3$$

空气中飘尘的浓度:

$$C = 0.2 \text{ mg} / 1.287 \text{ Nm}^3 = 0.155 \text{ mg} / \text{Nm}^3$$

[Nm³ 表示在标准状态下, 即在 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ (760 mmHg), 273.1 K 时的气体立方米数]。

1.3.2 气体浓度的表示法与换算

气体中所含污染物的浓度, 有两种表示方法:

1. 按单位体积所含污染物的质量表示 这是我国最常用的一种表示方法, 一般以 mg / m^3 (毫克/米³) 表示。如污染物含量很少, 则可以 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ (微克/米³) 表示, $1 \mu\text{g} = 10^{-3} \text{ mg}$ 。由于气体的体积是随温度、压力的变化而变化的, 为了便于比较和统一, 常把体积换算成标准状态下 [273.1 K (0°C)、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ (760 mmHg)] 的体积, 用 Nm^3 (标米³) 表示。换算方法见公式(1.2)。

2. 按体积浓度表示 这是国际上常用的一种表示方法, 一般按 cm^3 / m^3 表示, 即每立方米气体含污染物的立方厘米数。因 $1 \text{ m}^3 = 10^6 \text{ cm}^3$, 故在实际使用时以百万分率符号 ppm 表示。更小的单位为 ppb, $1 \text{ ppb} = 10^{-3} \text{ ppm} = 10^{-9}$ 。

3. 两种表示方法的换算 mg / Nm^3 与 ppm 的换算的关系式为:

$$C_m = M C_{\text{ppm}} / 22.4 \quad (1.3)$$

$$C_{\text{ppm}} = 22.4 C_m / M \quad (1.4)$$

式中 C_m ——污染物的浓度, 以 mg / Nm^3 计;

C_{ppm} ——污染物的浓度, 以 ppm 计;

M ——污染物的分子量。

【例】测得空气中二氧化硫的浓度为 $0.15 \text{ mg} / \text{Nm}^3$, 换算成 ppm 应是多少?

已知二氧化硫的分子量为 64, 故

$$C_{\text{ppm}} = 22.4 C_m / M = 22.4 \times 0.15 / 64 = 0.0525 \text{ ppm}$$

两种表示方法的换算见表 1.3。

1.3.3 湿度、粘度、焓、比电阻

1. 湿度与露点 单位体积气体内所含水蒸气的质量称为绝对湿度, 一般以 g / m^3 表示。实际上常用相对湿度表示气体中所含水汽的量, 相对湿度的定义为气体中实际所含水蒸气的密度和同温度下饱和水蒸气的密度的百分比值。由于在温度相同时, 水蒸气的密度与水蒸气的压强成正比, 所以相对湿度也等于实际水蒸气的压强和同温度下饱和水蒸气的压强的百分比值。

饱和水蒸气压简称为水蒸气压或水汽压, 是指在一定温度下气体中水汽达到饱和时的压强, 以 Pa 为单位。

相对湿度也可用气体中实际湿度与饱和湿度的百分比值表示。

$$\text{相对湿度} = \frac{\text{水蒸气的分压力}}{\text{同温度的水汽压}} \times 100\%$$

或

$$\text{相对湿度} = \frac{\text{实际湿度}}{\text{饱和湿度}} \times 100\%$$

气体中水蒸气达到饱和时(相对湿度为 100%)的温度称为露点或露点温度。

在标准大气压下 (101325 Pa), 不同温度空气的质量、水蒸气压及饱和时水蒸气含量见表 1.4。

表 1.4 在标准大气压下,不同温度空气的质量、水蒸气压及饱和时水蒸气含量

空气温度 (°C)	1m ³ 干空气 质量 (kg)	水蒸气压 (Pa)	饱和时每 m ³ 空气水蒸气 含量(g)	空气温度 (°C)	1m ³ 干空气 质量 (kg)	水蒸气压 (Pa)	饱和时每 m ³ 空气水蒸气含 量(g)
-20	1.396	123.6	1.1	36	1.142	5893.0	41.4
-15	1.368	186.7	1.6	38	1.135	6573.1	45.9
-10	1.342	279.0	2.3	40	1.128	7320.2	50.8
-5	1.317	415.0	3.4	42	1.121	8140.0	56.1
0	1.293	613.3	4.9	44	1.114	9038.0	61.9
2	1.284	706.9	5.6	46	1.107	10020.2	68.2
4	1.275	812.9	6.4	48	1.100	11093.0	75.0
6	1.265	933.0	7.3	50	1.093	12263.3	82.3
8	1.256	1068.8	8.3	52	1.086	13538.0	90.4
10	1.248	1221.9	9.4	54	1.080	14924.8	99.1
12	1.239	1394.2	10.6	56	1.073	16431.2	108.4
14	1.230	1587.6	12.0	58	1.067	18065.9	118.5
16	1.222	1804.7	13.6	60	1.060	19837.2	129.3
18	1.213	2047.4	15.3	65	1.044	24924.0	160.0
20	1.205	2318.6	17.2	70	1.029	31076.5	196.6
22	1.197	2621.0	19.3	75	1.014	38465.8	239.9
24	1.189	2957.6	21.6	80	1.000	47281.9	290.7
26	1.181	3331.5	24.2	85	0.986	57734.1	350.0
28	1.173	3746.4	27.0	90	0.973	70046.5	418.8
30	1.165	4206.1	30.1	95	0.959	84485.3	498.3
32	1.157	4714.1	33.5	100	0.947	101325.0	589.5
34	1.150	5274.9	37.3				

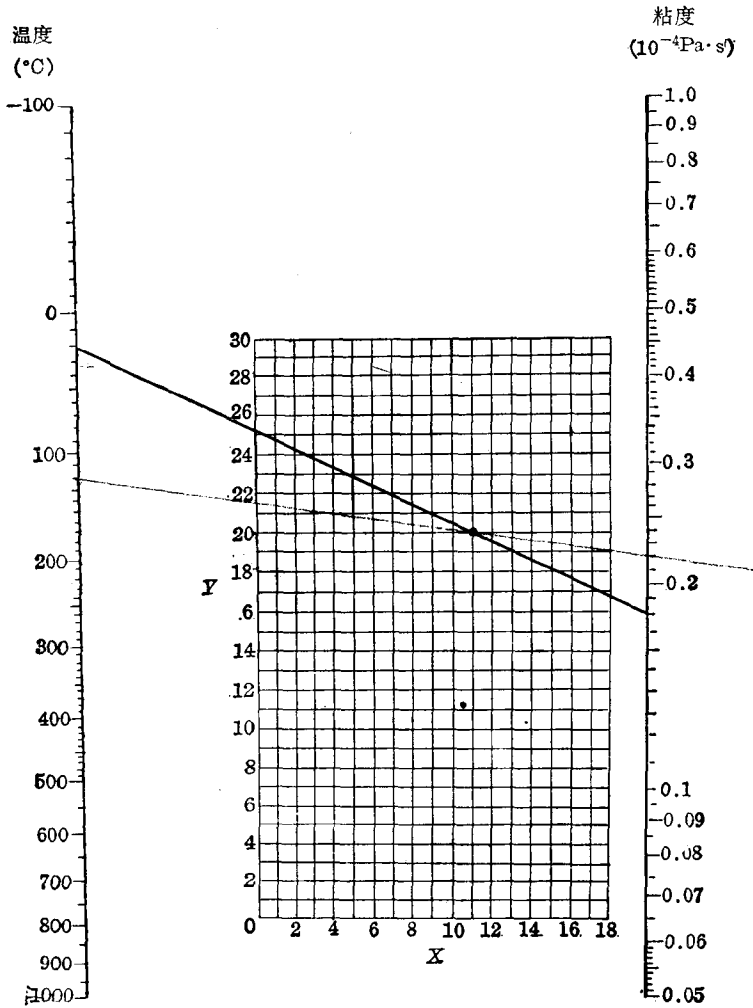
【例 1】 求温度为 20°C、空气相对湿度为 60% 时, 水蒸气的分压力和空气所含水汽量。

当温度为 20°C 时, 从表 1.4 可以查得其水蒸气压为 2318.6 Pa, 在饱和时每 m³ 空气含水汽量为 17.2 g(即相对湿度为 100%), 现相对湿度为 60%, 则

$$\text{水蒸气分压力} = 2318.6 \times 0.6 = 1391.2 \text{ Pa}$$

$$\text{每 m}^3 \text{ 空气含水汽量为 } 17.2 \times 0.6 = 10.32 \text{ g}.$$

2. 粘度(μ) 流体在流动时能产生内摩擦力, 这种性质称为流体的粘性。粘性是流体阻力产生的依据。流体流动时必须克服内摩擦力而作功, 将一部分机械能量转变为热能而损失掉。



气体粘度列线图坐标值

序号	名称	X	Y	序号	名称	X	Y	序号	名称	X	Y
1	空气	11.0	20.0	15	氟	7.3	23.8	29	甲苯	8.6	12.4
2	氧	11.0	21.3	16	氯	9.0	18.4	30	甲醇	8.5	15.6
3	氮	10.6	20.0	17	氯化氢	8.8	18.7	31	乙醇	9.2	14.2
4	氢	11.2	12.4	18	甲烷	9.9	15.5	32	丙醇	8.4	13.4
5	$3\text{H}_2 + 1\text{N}_2$	11.2	17.2	19	乙烷	9.1	14.5	33	醋酸	7.7	14.3
6	水蒸气	8.0	16.0	20	乙烯	9.5	15.1	34	丙酮	8.9	13.0
7	二氧化碳	9.5	18.7	21	乙炔	9.8	14.9	35	乙醚	8.9	13.0
8	一氧化碳	11.0	20.0	22	丙烷	9.7	12.9	36	醋酸乙酯	8.5	13.2
9	氨	8.4	16.0	23	丙烯	9.0	13.8	37	氟利昂-11	10.6	15.1
10	硫化氢	8.6	18.0	24	丁烯	9.2	13.7	38	氟利昂-12	11.1	16.0
11	二氧化硫	9.6	17.0	25	戊烷	7.0	12.8	39	氟利昂-21	10.8	15.3
12	二硫化碳	8.0	16.0	26	己烷	8.6	11.8	40	氟利昂-22	10.1	17.0
13	一氧化二氮	8.8	19.0	27	三氯甲烷	8.9	15.7				
14	一氧化氮	10.9	20.5	28	苯	8.5	13.2				

图 1.2 气体粘度列线图(常压下用)