

城市
环境
污染
与控
制丛
书



城市空气质量管理与控制

羌宁 主编



科学出版社

www.sciencep.com

城市环境污染与控制丛书

城市空气质量管理与控制

羌 宁 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书为《城市环境污染与控制丛书》之一。以城市为中心,介绍城市空气污染管理及控制的方法与技术。

本书总结了国外发达国家和我国城市空气质量管理控制实践经验,结合我国城市空气质量管理控制所面临的实际问题,主要介绍现代城市空气质量管理及控制技术方面的发展动态和热点。内容包括城市空气污染的发生和迁移转化,空气质量的模拟和监测,空气质量管理的方法和系统,各类污染物控制的传统技术和新兴技术的基本工作原理和发展动态,以及室内空气污染等。另外,还对我国大气污染防治法中所涉及到的一些非常规空气污染源及控制情况进行了介绍,如厨房油烟、恶臭的控制等。

本书可作为城市环境空气质量管理决策人员、科技工作者和高等院校相关专业师生的参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

城市空气质量管理与控制/羌宁主编. —北京:科学出版社,2003
(城市环境污染与控制丛书)

ISBN 7-03-010765-9

I. 城… II. 羌… III. 城市环境:大气环境-环境质量-管理
IV. X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 063342 号

责任编辑:杨震 刘俊来/责任校对:陈丽珠
责任印制:安春生/封面设计:李晓婷

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年2月第一版 开本:A5(890×1240)

2003年2月第一次印刷 印张:12 3/8

印数:1—4 000 字数:381 000

定价:28.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

城市空气质量问题困扰着世界上的许多城市,全世界有数亿人口生活在空气污染严重的城市中。城市空气质量的管理和控制已成为环境保护中一个非常重要的领域。

由于城市区域的居住人口、能源消耗及工、商、娱乐等活动呈现高密度的特征,城市区域的污染物排放强度往往超过该区域的环境承载容量,形成城市空气质量问题。

城市空气质量的控制取决于两方面:一是城市规划、管理措施的到位;二是社会经济及控制技术的支撑。城市空气质量控制已从最初的污染源排放控制发展成为一项独立的系统工程,内容涉及到城市规划与生态系统协调、城市污染源和空气质量监测、城市能源结构调整、交通流量规划与公共交通选择、清洁生产、城市污染源控制、市民环保意识的提高等,其管理思想也经历了从污染治理到污染防止的转变。

本书以城市空气污染物的产生、扩散迁移、模式模拟、空气质量和污染源监测、管理思想和措施以及污染控制技术为主线,较全面地概括了国内外在城市空气质量管理和控制方面的经验和水平。全书共分10章:第一章介绍了城市空气污染的基本概念和国内外城市空气污染控制的概况;第二章为城市空气污染源的基本情况和城市污染物排放清单的作用及制定程序,并较为深入地介绍了移动源和散发源的排放特征;第三章为排放后的空气污染物在大气中的迁移和转化过程;第四章为空气污染物对人体、植物、财产及能见度的影响;第五章介绍了城市空气质量模型的基础知识和国际上主要的城市空气质量模式及发展动态;第六章为城市空气质量和污染源的监测,包括城市空气质量、污染源的监测系统、采样分析方法及发展动态概要和监测的质量保证和控制;第七章概要介绍了城市空气质量思想的基础和目前国内外的空气质量控制的法规标准体系;第八章介绍了城市空气质量管理系统的一些情况;第九章讨论空气污染控制技术,内容包括污染的预防和污染源控制,常规颗粒污染

物、气态污染物的控制技术原理概要,污染控制技术进展和新技术(生物法,光催化氧化、等离子技术等),一些主要污染物(燃烧烟气、机动车污染、气态挥发性有机物)的控制技术情况,我国大气污染防治法中所要求控制的空气污染物,如恶臭气体、餐饮业油烟、垃圾焚烧尾气等的控制技术;第十章介绍了室内空气污染的一些情况。期望本书的出版对于我国的城市空气质量改进工作起到积极的作用。

在编写过程中应用和参考了许多同行的著作、资料和研究成果,在此一并致以最诚挚的谢意。

本书由羌宁担任主编。编写人员为:第一至四章,羌宁;第五章,蒋大和;第六至八章,羌宁;第九章,羌宁、都基峻(第四节)、杨靖波(第三节);第十章,羌宁。全书由羌宁统稿并修改定稿,王晨昊协助统稿。

由于城市环境空气质量管理与控制所涉及的领域广泛及作者的学识水平和实践经验的限制,疏漏和不足之处在所难免,敬请读者和同行批评指正。

作者

2002年6月于同济大学

目 录

第一章 城市空气污染概论	(1)
第一节 空气及洁净空气的组成.....	(1)
第二节 空气污染及空气污染物.....	(2)
一、空气污染	(2)
二、空气污染物	(2)
三、空气污染的衡量方式	(5)
第三节 城市空气污染概述.....	(6)
一、国外空气污染	(7)
二、国内空气污染	(9)
第四节 空气污染的控制	(10)
第二章 城市空气污染源	(12)
第一节 城市空气污染来源	(12)
第二节 固定源污染排放因子和污染排放估算	(13)
第三节 城市中的移动污染源	(16)
一、机动车的类型.....	(16)
二、机动车污染物类型.....	(17)
三、机动车污染物的排放.....	(18)
四、交通特征对城市机动车污染排放的影响.....	(23)
第四节 散发源	(24)
第五节 城市污染物排放量清单	(29)
一、城市污染物排放量清单的作用.....	(29)
二、城市污染物排放量清单的制定程序.....	(29)
第三章 空气污染物的迁移转化	(33)
第一节 空气中污染物的迁移	(33)
一、大气层结构	(33)
二、大气对流层的温度场.....	(35)

三、风和大气湍流对污染物扩散迁移的影响·····	(40)
四、天气形势和地理地势对污染物扩散迁移的影响·····	(41)
第二节 空气中污染物的转化过程·····	(43)
一、光化学基础·····	(43)
二、大气中重要自由基来源·····	(47)
三、 NO_x 的转化·····	(48)
四、碳氢化合物的转化·····	(50)
五、光化学烟雾·····	(55)
六、硫氧化物的转化及硫酸烟雾·····	(58)
七、大气颗粒物·····	(60)
第三节 空气中污染物的自然净化过程·····	(62)
第四章 空气污染的影响与危害·····	(64)
第一节 空气污染对人体健康的影响·····	(64)
一、对人体健康影响的一些概念·····	(64)
二、常见污染物对人体健康的影响·····	(65)
第二节 空气污染物对植物及财产的危害·····	(70)
第三节 空气污染对能见度的影响·····	(72)
第五章 城市空气质量模式·····	(75)
第一节 空气质量模式基础·····	(75)
一、空气质量模式分类·····	(75)
二、城市空气质量模式特点·····	(79)
三、空气质量模式的建立和检验·····	(80)
第二节 高斯模式·····	(83)
一、高斯烟流模式·····	(83)
二、高斯烟团模式·····	(87)
三、风速风向发生变化时的高斯模式·····	(87)
第三节 光化学模式·····	(88)
第四节 常用城市空气质量模式介绍·····	(90)
一、箱模式和大气污染物排放总量控制·····	(91)
二、工业源复合模式 ISC·····	(94)
三、光化学模式 UAM-V·····	(97)

四、线源模式和 CALINE3	(98)
第五节 空气质量模式的研究进展	(101)
第六章 城市空气质量及污染源监测	(105)
第一节 空气质量监测网络和管理系统	(105)
一、监测目标	(105)
二、监测网络的设计	(106)
第二节 污染源的监测和管理	(116)
第三节 监测采样方法概述	(117)
一、环境空气采样	(117)
二、污染源采样方法	(118)
三、在线监测	(122)
第四节 测量方法及进展简介	(125)
第五节 空气质量的自动监测	(126)
一、原理系统	(126)
二、空气自动监测子系统	(128)
第六节 遥测技术介绍	(130)
第七节 监测的质量保证与控制	(131)
第七章 城市空气质量控制的政策和法规	(132)
第一节 控制政策措施概述	(132)
第二节 制定空气污染管理控制政策、法规的原则	(134)
一、费用-效益分析	(134)
二、排放标准策略	(135)
三、空气质量标准策略	(137)
四、经济策略	(138)
五、措施	(139)
第三节 城市空气质量控制的法规标准体系	(140)
一、国外的空气控制法规体系	(140)
二、发达国家的空气质量标准情况	(143)
三、中国的空气质量控制法规标准体系	(146)
第八章 城市空气质量管理系统	(149)
第一节 城市空气质量管理系统组成	(149)

第二节 空气质量公共信息发布和空气污染指数	(151)
第三节 应急管理	(153)
第四节 我国城市空气质量管理中需考虑的问题	(156)
第九章 空气污染控制技术	(162)
第一节 空气污染源控制	(162)
一、清洁生产的概念	(162)
二、清洁生产应用	(163)
三、生命周期评价	(167)
四、空气污染源散发的控制	(168)
第二节 颗粒污染物控制	(169)
一、颗粒污染物的主要性质	(169)
二、颗粒物与载气的分离条件及设备分类	(173)
三、颗粒物捕集设备的性能	(174)
四、控制方法和设备	(177)
五、颗粒物控制技术的发展	(204)
第三节 气态污染物的常规控制技术	(210)
一、气态污染物净化的特点	(210)
二、冷凝	(211)
三、焚烧	(213)
四、吸收	(218)
五、吸附	(226)
六、催化转化	(234)
第四节 气态污染物控制新技术	(242)
一、生物净化技术	(243)
二、常温氧化技术	(254)
三、膜分离技术	(257)
四、等离子体净化技术	(262)
第五节 烟气脱硫脱硝技术	(268)
一、烟气脱硫	(268)
二、烟气脱硝	(293)
三、同时脱硫脱硝技术	(296)

第六节 机动车污染控制	(296)
一、机动车排放标准	(297)
二、机动车排气污染控制	(300)
第七节 城市垃圾焚烧烟气净化	(313)
一、城市垃圾焚烧尾气的性质	(313)
二、城市垃圾焚烧尾气的控制要求	(318)
三、城市垃圾焚烧烟气的控制技术	(319)
第八节 挥发性有机物控制	(325)
一、挥发性有机物(VOCs)污染概述	(325)
二、VOCs的净化方法和技术发展趋势	(327)
第九节 恶臭的控制	(338)
一、恶臭物质的种类、性质及来源	(338)
二、恶臭物质对人体的影响	(341)
三、恶臭物质的测定方法和评价指标	(341)
四、我国对恶臭物质排放的控制标准	(344)
五、恶臭的控制	(345)
第十节 餐饮业油烟污染及控制	(352)
一、餐饮油烟来源、组成与危害	(352)
二、控制标准	(355)
三、餐饮油烟污染控制技术发展过程	(355)
四、餐饮油烟污染控制工艺	(356)
五、油烟净化技术与设备	(356)
六、油烟净化技术存在的问题及发展趋势	(361)
第十章 室内空气污染	(363)
第一节 室内空气污染物及污染	(363)
一、室内空气污染物的分类	(363)
二、不同类型的室内空气污染	(365)
第二节 室内空气质量与室外空气质量的关系	(365)
第三节 常见室内空气污染物的性质和影响	(367)
一、甲醛	(367)
二、氡及其子体	(370)

三、VOCs	(371)
第四节 室内空气污染控制的措施	(375)
一、室内污染源的控制管理	(375)
二、通风	(376)
三、室内空气污染净化控制	(378)
参考文献	(381)

第一章 城市空气污染概论

第一节 空气及洁净空气的组成

地球的四周包裹着一层由空气构成的大气层。空气是自然界中最宝贵的资源,每人每时每刻都要呼吸空气,一个成年人 24h 内大约需要 $10\sim 12\text{m}^3$ 的空气。资料表明,一个人 5 周不吃食物,5d 不喝水仍可维持生命,而 5min 不呼吸空气,将会导致生命的终结。空气特别是洁净的空气,对于动植物的生长和人类的生存起着十分关键的作用。

通常所指的空气是一种混合体,其构成成分包括干燥清洁的空气、水汽和悬浮颗粒。在人类活动的范围内,干洁空气的组成和物理性质基本相同,空气中主要含有 78.09% (体积分数,下同)的氮气,20.95% 的氧气以及 0.93% 的氩气和一定量的 CO_2 ,其含量占全部干洁空气的 99.996%、氦、氖、氪、甲烷等次要成分只占 0.004% 左右。干洁空气的平均相对分子质量为 28.996, 273.15K, 101.325kPa 时的密度为 $1.293\text{kg}/\text{m}^3$,可近似地看作理想气体。大气含水量随时间、地点、气象条件等不同而有较大变化,变化范围可达 0.02% ~ 6%。空气中水分对气象、气候的影响很大。空气中水分导致的云、雾、雨、雪、霜、露等天气现象不仅引起空气中湿度的变化,而且还引起热量的转化。同时水汽所具有的很强的吸收长波辐射能力对地面的保温起着重要的作用。悬浮微粒主要是大气尘埃和悬浮在空气中的其他物质及水汽变成的水滴、冰晶。悬浮微粒对大气中的各种物理现象和过程有着重要的影响,如削弱太阳辐射,在大气中形成各种光学现象,影响大气能见度等。

由于空气具有全球流动的特点,加上动、植物代谢等的气体循环作用,所以大气的基本组成成分是稳定和均匀的。

第二节 空气污染及空气污染物

一、空气污染

空气污染系指由于人类活动或自然过程引起的某些物质进入空气中,呈现出足够的浓度、持续足够的时间并因此危害了人体的舒适、健康和福利或危害了环境。自然过程包括火山活动、森林火灾、岩石和土壤风化及动植物尸体的腐烂等,自然过程的污染往往不会超过自然的承受容量。目前我们所关注的空气污染问题主要是由人类活动所形成的。

空气污染是随着城市建设的扩大而加剧的,它贯穿我们全部的现代生活,空气污染来自生产、运输过程以及为人们的生产、生活、娱乐等提供能量的能源使用过程。其中燃烧产能过程是造成空气污染的最主要的原因。

空气具有良好的流动性和相当大的稀释容量,因此与受到边界条件约束的水体和固体污染相比,其污染特性也就表现出局地的严重性和全球性的特点。局地的严重性是指一般情况下空气污染严重的区域往往出现在污染源的附近,污染的急性效应往往随扩散距离而迅速衰减。同时局地的污染状况与地形、地理位置、气象条件等密切相关。空气污染的全球性体现在空气无国界,对于那些在空气中具有较长停留时间的污染物可扩散传播到全球各地,并在迁移转化的过程中产生出影响全球气候、生态系统等的慢性效应。本书的重点是局部或地区性的城市空气质量的控制,对涉及酸雨、臭氧层破坏和温室气体效应等区域或全球尺度的大气污染问题不作过多的叙述。

值得说明的是,空气污染(air pollution)的概念有别于大气污染(atmospheric pollution)。空气污染是指地表边界层内的污染,如 TSP、SO₂、NO_x 等,而大气污染是指整个大气圈(平流层和对流层内)的污染,如温室气体、臭氧层耗竭等。

二、空气污染物

空气污染物是指由于人类的活动或是自然过程所直接排入大气或在大气中新转化生成的对人或环境产生有害影响的物质。

迄今为止,从环境空气中已识别出的人为空气污染物超过 2800 种,其中 90% 以上为有机化合物(包括金属有机物),而无机污染物不到 10%。燃料燃烧污染源,尤其是机动车,排放出大约 500 种组分的污染物。然而,目前仅对很少的已知种类空气污染物进行了测定,并且也只有大约 200 种污染物的健康和生态效应数据。

城市中影响健康的主要空气污染物是 SO_2 (及进一步氧化产物 SO_3 、硫酸盐)、悬浮颗粒物(烟雾、灰尘、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{1.0}$)、 N_xO_y 、 CO 、挥发性有机化合物(碳氢化合物和氧化物)、 O_3 、 Pb 和其他有毒金属。

按污染物存在的形态可分为两大类:颗粒态污染物和气体状态污染物。

颗粒污染物是指分散在气体相中的固态或液态微粒,其与载气构成非均相体系。按来源和物理性质可将其分为:

(1) 粉尘(dust) 固体颗粒能重力沉降,但能在某段时间保持悬浮。由物理破碎、风化等形成。粒子范围 $1 \sim 200 \mu\text{m}$ 。

(2) 烟(fume) 指冶金过程形成的固体离子气溶胶,为熔融物质挥发后的冷凝物,往往为氧化产物。烟的粒子尺寸很小,一般为 $0.01 \sim 1 \mu\text{m}$ 。

(3) 飞灰(fly ash) 系指随燃烧过程产生烟气飞出的分散得较细的灰分。

(4) 黑烟(smoke) 黑烟一般系指由燃料燃烧过程产生的可见气溶胶,我国将冶金和化学过程形成的固体粒子气溶胶称为烟尘,燃烧过程的飞灰和黑烟也称为烟尘,而其他情况或泛指小固体粒子时则统称粉尘。

(5) 雾(fog) 是气体中液体悬浮物的总称。

(6) 烟雾(smog) 是固液混合态气溶胶。当烟和雾同时形成时就构成了烟雾。Smog 一词的本身就是由 smoke 和 fog 两个词复合而成的。

通常在空气质量管理与控制中,还根据空气中粉尘(或烟尘)颗粒的大小将其分为总悬浮颗粒(TSP)、降尘、飘尘和 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 。通常认为,总悬浮颗粒系指大气中空气动力学直径小于 $100 \mu\text{m}$ 的所有颗粒物;降尘是空气中空气动力学直径大于 $10 \mu\text{m}$ 的固体颗粒;飘尘,又称为可吸入尘; PM_{10} ,是指空气中空气动力学直径小于 $10 \mu\text{m}$ 的悬浮颗粒; $\text{PM}_{2.5}$ 指空气中空气动力学中位直径小于 $2.5 \mu\text{m}$ 的悬浮颗粒。但由于采样方法

等不同,对于可吸入颗粒物(inhalable particulates, IP)、PM₁₀和 PM_{2.5}等的定义还有歧义。IP是指TSP中能用鼻和嘴吸入的那部分颗粒物,其粒径范围与头部的风速和方向以及个体的呼吸速率和呼吸量有关。IP没有确切的上切割点粒径和50%切割粒径(D_{50})。因此将IP称为粒径小于10 μm 的颗粒物是不确切的。胸部颗粒物(thoracic particulates, TP)是指IP中能穿透咽喉的那部分颗粒物。TP的上切割点粒径为30 μm ,意思是没有一个粒径大于30 μm 的颗粒物能进入咽喉部以内。TP的50%切割粒径(D_{50})为10 μm ,意思是只有一半的空气动力学直径是10 μm 的颗粒能穿透咽喉部。所以TP与PM₁₀表示同一概念,表示具有 $D_{50} = 10\mu\text{m}$,粒径小于30 μm 以下的可吸入颗粒物。而呼吸性颗粒物(respirable particulates, RP)是指IP中能透过非纤毛气道(指肺泡部分)的那部分颗粒物。对健康人群RP上切割点粒径为12 μm , D_{50} 为4 μm ,PM₄;对于高危人群(儿童、年老体弱和有心脏病患者)RP上切割点粒径为7 μm , D_{50} 为2.5 μm ,PM_{2.5}。还有研究者将空气中粒径小于2.5 μm 的颗粒悬浮物称为细颗粒(fine particles),粒径大于2.5 μm 的颗粒悬浮物称为粗颗粒(coarse particles)。

就颗粒物对人体的危害而言,小颗粒因能更深入地进入呼吸系统而较大颗粒的危害要大得多。

气态污染物是指在空气中以分子状态存在的污染物,其与载气构成均相体系。气态污染物的种类很多,常见有以SO₂为主的含硫化合物,以NO和NO₂为主的含氮化合物,碳氧化物,碳氢化合物及卤素化合物和臭氧等。

按污染物的形成过程又可分为一次污染物和二次污染物。一次污染物是指由污染源直接排入空气环境中且在空气中物理和化学性质均未发生变化的污染物,又称为原发性污染物。如SO₂,CO,NO和VOCs等。二次污染物是指由一次污染物与空气中已有成分或几种污染物之间经过一系列的化学或光化学反应而生成的与一次污染物性质不同的新污染物,又称为继发性污染物。如一次污染物SO₂在环境中氧化生成的硫酸盐气溶胶,氮氧化物(NO_x)、碳氢化合物(HC)等在日光紫外线辐射下生成的臭氧、过氧化硝酸乙酰酯、醛等。通常二次污染物对环境和人体的危害比一次污染物严重得多。

目前颗粒污染物中的 PM_{10} 或 $PM_{2.5}$ 、硫氧化物中 SO_2 、氮氧化物中的 NO_2 及 CO、铅和臭氧等被划分为标准污染物,世界各国都对其制定了相应的空气质量标准。世界卫生组织(WHO)也提出了包括以上物质在内的共计 28 种污染物的空气质量指导值。我国 1996 年的空气质量标准及其 2000 年修订版中共提出了 10 种物质的空气质量标准。美国的国家环境空气质量标准中对 6 种污染物制定了标准,同时美国国家环保局(EPA)还将一些已知的对人体或环境有害的有机污染物划分为有毒有害污染物,共 189 种。并已对其中的石棉、苯、铍、炼焦排气、无机砷、汞、放射性核素和氯乙烯制定了标准,其他物质的控制标准正在制定当中。几种主要空气污染物的空气本底浓度和典型污染空气中的浓度情况如表 1.1 所示。

表 1.1 本底空气和典型污染空气中污染物情况对比

污染组分	本底空气	典型污染空气
颗粒物	10~20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	260~3200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO_2	0.001~0.01 ppm	0.02~3.2 ppm
CO_2	300~330 ppm	350~700 ppm
CO	1 ppm	2~300 ppm
NO_x	0.001~0.01 ppm	0.3~3.5 ppm
总碳氢	1 ppm	1~20 ppm
总氧化剂	0.01 ppm	0.01~1.0 ppm

三、空气污染的衡量方式

空气污染的程度目前大多数还是以浓度及其相应的指数的形式来表示的,并开始通过暴露时间与浓度的累积形式——剂量的方式来评估污染受体的受害程度。以下主要讨论空气污染物浓度的表达形式。

空气污染物浓度可用单位量的空气中所含污染物的量来表示。对于气溶胶颗粒物通常采用单位体积空气中颗粒物的质量表示,由于空气体积受温度、压力的影响很大,为便于相互比较,往往采用标准状态下的空气体积,即浓度单位为 mg/Nm^3 ,有时也采用 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 。在某些情况下,尤其是对于空气洁净工程还采用单位体积空气内颗粒物的个数来表示。对

于气态污染物通常也采用 mg/Nm^3 来表示,但还有一种常用的单位,即体积 ppmv。ppmv 为无量纲单位(有时也简写为 ppm,本书全部采用 ppm 写法),其物理含义为百万分之一,对于气体污染物可表示为

$$1\text{ppm} = \frac{1 \text{ 体积气体污染物}}{10^6 \text{ 体积(污染物 + 空气)}} \quad (1.1)$$

对于 0°C , 一个大气压(101.325kPa)为标准状态时, mg/Nm^3 与 ppm 换算关系式为

$$\text{mg}/\text{Nm}^3 = \frac{\text{ppm} \times \text{污染物相对分子质量}}{22.4\text{L}/\text{mol}} \quad (1.2)$$

注意:日、美等国采用 25°C , 一个大气压(101.325kPa)为基准状态,此时式(1.2)中理想气体的摩尔体积为 $24.5\text{L}/\text{mol}$ 。

例如,我国空气质量标准(GB3095—1996)中两类地区的 SO_2 和 NO_2 的日平均浓度标准限制分别是 $0.15 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ 和 $0.12 \text{ mg}/\text{Nm}^3$,按式(1.2)折算后得到的相应浓度为 $\text{SO}_2 0.053\text{ppm}$, $\text{NO}_2 0.058\text{ppm}$; SO_2 和 NO_2 的年平均浓度标准限制分别是 $0.06 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ 和 $0.08 \text{ mg}/\text{Nm}^3$,按式(1.2)折算后得到的相应浓度为 $\text{SO}_2 0.021\text{ppm}$, $\text{NO}_2 0.039\text{ppm}$ 。

采用 ppm 浓度的优点是可直接进行数据比较,而无须考虑载气的状态。

此外,也常用 ppb 作为更低浓度时的浓度表示单位,

$$1\text{ppb} = \frac{1 \text{ 体积气体污染物}}{10^9 \text{ 体积(污染物 + 空气)}}$$

第三节 城市空气污染概述

城市是人类社会文明和发达的象征,它是一个综合体,不仅人口集中,而且也是国家和地方政治、经济、文化教育、科学技术的中心,在国民经济中占有十分重要的地位。但同时由于其较高的人口密度、能源使用密度和物流密度,使得其空气质量呈现出较乡村地区高得多的污染状况。据估计,世界范围内多达 16 亿人可能受到不良空气质量的威胁,全世界数亿人生活在空气污染严重的城市里,以至每年有几十万人过早死亡,数以万计的人患急性或慢性疾病。