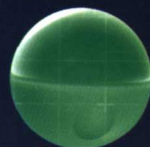


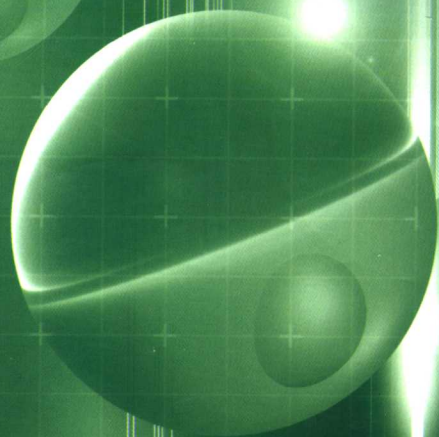
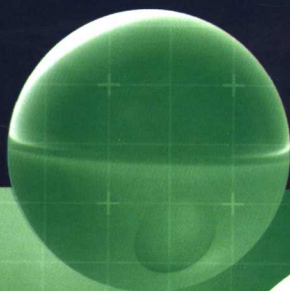
室内环境控制原理与技术



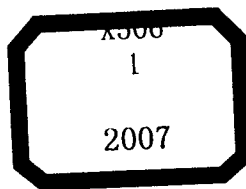
市政与环境工程系列研究生教材



刘京 陈志强 编著



哈尔滨工业大学出版社



市政与环境工程系列研究生教材

室内环境控制原理与技术

刘 京 陈志强 编著

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

室内环境不仅影响室内舒适度,而且影响人体健康与工作效率。本书旨在向读者介绍关于室内环境的控制原理和相关技术。全书共分7章,主要介绍了室内空气品质与必要新风量;建筑通风系统;建筑气密性;室内环境仿真计算;室内环境测定技术;室内噪声环境;室内环境控制技术的发展——复合式通风系统等内容。

本书可作为高等院校供热、供燃气、通风及空调工程等专业研究生教材,也可供本专业或相关学科的设计、科研、技术人员等参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

室内环境控制原理与技术/刘京编等著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2007.1

ISBN 978-7-5603-2446-3

I.室… II.刘… III.居住环境-环境控制
IV.X506

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 109867 号

策划编辑 贾学斌

责任编辑 康云霞 唐 蕾

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 14.75 字数 356 千字

版 次 2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-2446-3

印 数 1~3 000 册

定 价 26.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

室内环境包括建筑内部,即建筑内各房间的热湿、空气流动、空气品质、声光环境,以及房间之间的传热传质等诸多问题。研究室内环境的最终目的是在节能的前提下,充分满足室内人体的舒适与健康要求。近年来室内装修引发的室内甲醛、VOC 超标,以及 SARS 病毒爆发等新的社会问题不断受到关注,室内环境的研究工作得到了长足的进步,室内环境已成为非常有生命力的新兴学科。

由于学习和工作关系,笔者经历过从室内环境的模拟计算到现场测量,从理论研究到实际应用的所有过程,深感这是一门“入门易、深入难”的学科。所谓“入门易”,因为它所涉及的都是与我们日常生活息息相关的内容,读者很容易根据日常经验来加强理解;所谓“深入难”,是因为室内环境涉及的专业研究领域广,如空气品质涉及化学、微生物学,舒适性涉及生理学和心理学等。初学者只得到零碎的知识,很难把握学科的全貌。另一方面,室内环境虽然易于理解,但真正探究其机理却很复杂。举一简单例子,绝大多数人都知道房间内要经常开窗通风,否则室内空气质量不好的道理,但究竟开窗后通风量有多大,能否满足人对新风量的需要就不是一个简单的问题。实际上,即使是目前最准确的计算方法,如 CFD 中的 LES,也无法完全准确地表述门窗这样大开口处的气流特征。

基于上述观点,本书旨在向读者介绍关于室内环境的控制原理和相关技术。这里提到的控制原理和技术主要是指利用通风手段控制和调节室内环境的机理和相关技术。因为到目前为止,通风不仅依然是解决室内环境问题最有效的方式,它还是一条重要的主线,将各种互不相关的室内环境问题联系在一起,有助于读者系统地掌握室内环境相关知识。另外,书中提供了与室内环境相关的大量理论分析和计算方法,目的是使本书区别于大量同类书籍。希望读者能够在“定性”了解之外,可以在“定量”的更高层次上认识室内环境问题。

全书共分 7 章,由哈尔滨工业大学刘京担任主编,编写第 2 至第 7 章,参编第 1 章;哈尔滨工业大学陈志强编写第 1 章。另外,哈尔滨工业大学博士研究生高军参编第 2 章、第 4 章,朱岳梅参编第 4 章。全书由刘京统稿。

本书承蒙哈尔滨工业大学赵加宁教授审阅,多有指正,谨致谢意。

衷心感谢最初引导笔者从事室内环境研究的哈尔滨工业大学高甫生教授以及博士后流动站合作导师姜安玺教授。

硕士研究生李文琴、吕阳、李静、潘刚、张静茹、付志鹏等参加了资料搜集、整理以及图表编制等辅助性工作,在此表示感谢。

衷心感谢笔者在日本留学期间的博士生导师东北大学的吉野博教授、松本真一副教授和持田灯副教授;衷心感谢日本东京燃气公司技术研究所的大平升、相泽芳弘研究员。特别是吉野博教授,在笔者甫到日本之际,即委以 Annex27 这样的国际合作项目,极大地开拓了

研究视野,即使毕业和回国之后,依然时常通过电子信件、电话等予以指导,或提供资料,提携后进的拳拳之心令人感动。

最后,本书在出版过程中得到了哈尔滨工业大学出版社的大力帮助,使得该书能在较短的时间内得以出版,在此一并感谢。

由于作者水平有限,书中疏漏之处在所难免,衷心欢迎读者提出宝贵意见。

刘 京

2006 年 12 月

目 录

第 1 章 室内空气品质与必要新风量	1
1.1 概述	1
1.2 空气污染物质	1
1.2.1 气体污染物质	2
1.2.2 颗粒污染物质	13
1.3 挥发性有机化合物(VOC)的产生与扩散机理	15
1.3.1 我国住宅 VOC 污染现状	15
1.3.2 VOC 扩散及吸附/解吸机理	16
1.3.3 VOC 计算模型	19
1.4 改善室内空气品质的方法	24
1.4.1 污染源控制	24
1.4.2 物理法	24
1.4.3 化学法	24
1.4.4 通风换气	24
1.4.5 烘焙法	25
1.5 必要新风量	25
1.5.1 通风稀释方程	25
1.5.2 必要新风量	26
1.5.3 必要新风量的相关标准	28
第 2 章 建筑通风系统	35
2.1 概述	35
2.2 自然通风	35
2.2.1 自然通风的形式	35
2.2.2 自然通风的作用原理	36
2.2.3 自然通风的特点	51
2.3 机械式通风	51
2.3.1 机械式通风的分类	51
2.3.2 机械式通风的特点	53
2.4 民用建筑通风系统的应用与选择	53
2.4.1 通风系统在住宅建筑的应用现状	53
2.4.2 通风系统的选择原则	56

第3章 建筑气密性	59
3.1 概述	59
3.2 气密性的表述与气密性标准	60
3.2.1 气密性的表述	60
3.2.2 国内外建筑气密性现状与气密性标准	61
3.3 气密性的测定技术	69
3.3.1 气密性测定原理	69
3.3.2 气密性测定项目与装置	70
3.3.3 气密性测定结果的处理	71
第4章 室内环境仿真计算	72
4.1 概述	72
4.2 宏观计算模型——理论分析与半经验模型	73
4.2.1 射流理论	73
4.2.2 羽流理论	77
4.2.3 边界层流动	79
4.2.4 理论分析与半经验模型应用的总结	81
4.3 宏观计算模型——室内区域模型	81
4.3.1 一维简易模型	81
4.3.2 区域模型	87
4.3.3 温度基准模型——块(BLOCK)模型	92
4.3.4 室内区域模型应用的总结	101
4.4 宏观计算模型——多区网络通风模型	101
4.4.1 计算原理	101
4.4.2 多区网络通风计算软件 COMIS 简介	103
4.4.3 多区网络通风计算模型的应用	111
4.4.4 多区网络通风计算模型的应用总结	116
4.5 宏观计算模型——多区通风与热湿环境耦合计算模型	116
4.5.1 多区热计算模型	116
4.5.2 多区网络通风与多区热计算的耦合	120
4.5.3 污染物浓度计算模型	122
4.5.4 考虑建材吸放湿的多区湿度计算模型	123
4.5.5 多区通风与热湿环境耦合计算模型的应用	124
4.6 宏观计算模型——多区与区域耦合计算模型	127
4.6.1 建筑多区网络通风与室内区域模型的耦合方法	128
4.6.2 建筑多区网络通风与室内区域模型耦合计算的应用	129

4.7 CFD 数值模拟技术	132
4.7.1 不可压缩流体的基本方程组	132
4.7.2 湍流计算模型	133
4.7.3 计算方法	141
4.7.4 计算条件	143
4.7.5 CFD 在室内环境领域的应用举例	144
4.7.6 CFD 应用的总结	150
第 5 章 室内环境测定技术	152
5.1 通风量测定技术	152
5.1.1 示踪气体法概述	152
5.1.2 示踪气体法基本原理	153
5.1.3 示踪气体法分类	154
5.1.4 示踪气体测定装置	155
5.2 气流分布的相关测定技术	162
5.2.1 换气效率指标	163
5.2.2 污染物排出效率指标	164
5.2.3 测定技术	165
5.3 通风系统的测定技术	168
5.3.1 风道内风量风速的测定	168
5.3.2 通风系统效率的测定	172
第 6 章 室内噪声环境	173
6.1 噪声原理概述	173
6.1.1 声音的物理表述	173
6.1.2 噪声的评价指标	175
6.1.3 噪声的传播特性	180
6.1.4 室内声场的吸声	180
6.1.5 隔声	181
6.2 自然通风的噪声	183
6.2.1 窗的噪声	183
6.2.2 门的噪声	185
6.3 机械式通风系统的噪声	185
6.3.1 风机的噪声	186
6.3.2 风道系统的噪声	187
6.3.3 送回风口的噪声	192
6.3.4 房间空调器的噪声	193

6.3.5 消声措施	194
第7章 室内环境控制技术的新发展——复合式通风系统	197
7.1 国内外能耗现状	197
7.1.1 国外发达国家建筑能耗现状	197
7.1.2 我国建筑能耗现状	199
7.2 复合式通风系统概述	200
7.3 复合式通风系统的基础研究	202
7.3.1 复合式通风系统的动态实验	202
7.3.2 复合式通风系统的数值仿真	205
7.4 复合式通风系统的应用	208
7.4.1 第一类复合式通风系统	209
7.4.2 第二类复合式通风系统——Bang & Olufsen 大楼(丹麦)	215
7.4.3 第三类复合式通风系统——Mediå 学校(挪威)	217
7.5 复合式通风系统的设计	220
7.5.1 复合式通风系统设计原则	220
7.5.2 复合式通风系统的设计	220
参考文献	222

第 1 章 室内空气品质与必要新风量

1.1 概 述

室内环境是人们生活和工作最重要的环境,人的一生大部分时间在室内度过,无论是在家中、办公室,还是公共场所,室内环境质量的优劣都与人们的健康息息相关。在室内环境中,室内空气品质(IAQ, Indoor Air Quality)是最重要的一个方面。研究发现,室内空气品质不仅影响人体健康,还直接影响工作效率。据世界卫生组织统计,现代社会中 80% 的人类疾病与室内空气污染有关。

近年来,随着我国经济的持续发展、人们生活水平的不断提高和国家住房制度的改革,购房和住房装修成为我国最大的消费热点之一。与此相对应的是,室内环境问题日益严重,特别是建筑装饰材料等引起的甲醛和各种挥发性有机化合物污染已成为我国目前经济和社会发展中一个亟待解决的重要问题。关于我国不同城市室内污染的现状还要在 1.3.1 中详细说明。这里要着重指出的是,出于建筑节能考虑,建筑物密闭性增加、通风不畅,使得室内污染物不易向室外扩散是室内环境恶化的重要原因之一。

所谓建筑通风,就是利用自然或机械的手段实现建筑物内外空气的流通和交换的过程。根据具体的对象,通风的目的又可以分为以下几种。

① 室内空气的净化。室内空气的净化主要指将室内污染源产生的污染物排到室外,同时将室外相对清洁的空气引入室内,以维持良好的室内空气环境。其对象包括办公建筑、商用建筑、学校以及住宅建筑的居室、卧室等人员活动场所。

② 室内热量和水蒸气的排除。室内热量和水蒸气的排除主要指将室内产生的热量或水蒸气排到室外。其对象包括工业厂房和民用建筑的厨房、浴室等热源、湿源较集中的场所。

③ 提供氧气。提供氧气主要指为室内人员或燃烧设备燃烧等提供必要的氧气。其对象包括办公建筑、商用建筑、学校以及住宅建筑的居室、卧室等人员活动场所或锅炉房等动力供应场所。

一般来说,某一建筑或房间内进行通风的目的可能不只一种,如住宅中的居室通风就通常包含空气净化、提供氧气等多种目的,而厨房通风则兼有热量和水蒸气的排出以及提供氧气的功效。由于上述目的均与室内空气品质问题有关,在本章中首先重点介绍室内空气品质问题及相应的必要新风量。

1.2 空气污染物质

空气中存在着很多危害人体健康,影响工作及生活质量的物质,这些物质统称为污染物质。室内空气污染的一个主要特点是污染源广泛,污染物种类繁多并具有协同作用,其对人

体健康的影响很复杂。因此在评价室内空气品质时需要全面地考虑各种污染物的综合影响。另一个主要特点是无论甲醛、挥发性有机化合物(VOC),还是 CO_2 ,室内污染的瞬时浓度水平相对可能较低,其对人体健康的影响是一个长期的过程,因此在评价室内空气品质时应该考虑累积效应。

污染物质可以根据污染源的性质按表 1.1 进行划分,也可以按形态划分为气体污染物和颗粒污染物两大类。其中,气体污染物又分为无机化合物和有机化合物;而颗粒污染物又分为悬浮颗粒物和微生物。下面选择几种有代表性、与人体健康关系密切的污染物,结合它们的特性、对人体的危害程度、发生源情况以及相应的控制标准作简单介绍。

表 1.1 室内污染源及所产生的污染物

	污 染 源	污 染 物
人的活动	呼吸	CO_2 、臭气
	人体活动	粉尘、细菌、真菌
	燃烧器具	粉尘、 CO 、 CO_2 、 NO_x
	吸烟	粉尘、 CO 、 CO_2 、 NO_x 、尼古丁、苯并芘、焦油等挥发物质
建筑物	墙体材料(砖、水泥、混凝土等)	氡及其子体
	各种装修装饰材料(胶合板、刨花板、各种塑料贴面、隔热材料等)	甲醛、VOC
大气	工业废气、汽车尾气等	CO 、 NO_x 、 SO_2 、粉尘等

1.2.1 气体污染物质

气体污染物质分为无机化合物和有机化合物。其中无机化合物包括在大气环境中被规定作为环境基准的 SO_2 、 CO 、 NO_2 、光化学氧化剂以及 NH_3 、 H_2S 等恶臭类物质,还包括作为室内空气污染指标的 CO_2 等;而有机化合物中,则包括甲醛、苯、甲苯、二甲苯等挥发性有机化合物(VOC)。

1. 二氧化碳(CO_2)

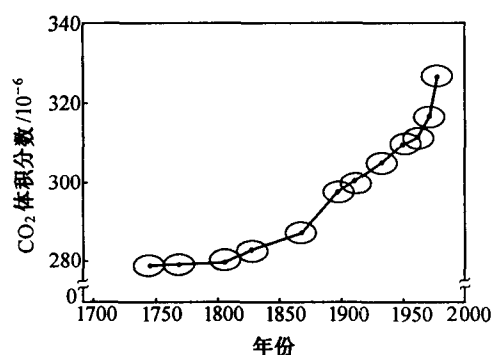
(1) 特性

CO_2 是一种无色无味的气体,高浓度时略带酸味,不助燃,相对于空气的密度为 1.53,溶于水,部分生成碳酸,化学性质很稳定。

(2) 发生源

从室外看,在清洁空气中, CO_2 的体积分数约为 0.032%,但实际上, CO_2 的体积分数并不是固定不变的。工业化的进程使得森林植被被破坏,同时每年上百亿吨 CO_2 的排放,使大气中的 CO_2 体积分数上升很快(图 1.1)。

人体是室内 CO_2 的主要发生源。从生理机能讲,人每时每刻都要吸入氧气,呼出 CO_2 ,其排放量与人体的新陈代谢率有关(表 1.2)。另外,吸烟及炊事过程中都会产生 CO_2 。煤气中 CO/CO_2 的体积分数比不能超过 1%~2%,因此可以根据 CO 的排放量换算;吸烟时的排放量为 42 mg/支(主流烟),474 mg/支(副流烟),相对于人体或炊事过程中的 CO_2 产生量可以忽略不计。

图 1.1 大气中 CO₂ 体积分数的变迁表 1.2 人体生成 CO₂ 的量

新陈代谢率/met	活动强度	CO ₂ 产生量/[m ³ ·(h·人) ⁻¹]
0	安静时	0.013 2
0~1	极小强度活动	0.013 2~0.024 2
1~2	小强度活动	0.024 2~0.035 2
2~4	中等强度活动	0.035 2~0.057 2
4~7	高强度活动	0.057 2~0.090 2

(3) 危害

从全球的角度看,CO₂ 对维持地球温度平衡具有极为重要的意义。CO₂ 吸收了地球向大气放射的长波辐射的能量,使大气温度上升。研究表明,CO₂ 体积分数增加 1 倍,地表温度将上升 3.6℃,即所谓的“温室效应”。温室效应会导致两极冰川发生不可逆的融化过程,使海洋水位升高,给人类的生存带来不可估量的后果。

当室内空气中 CO₂ 体积分数达到 0.07% 时,少数气味敏感者就会有所感觉;当室内空气中 CO₂ 体积分数达到 0.10% 时,会对人的呼吸系统、循环系统、大脑等器官的机能产生影响,较多的人会感觉不舒适;当室内空气中 CO₂ 体积分数达到 3% 时,人体呼吸程度加深;当室内空气中 CO₂ 体积分数达到 4% 时,人会出现耳鸣、头痛、血压升高等症状;当室内空气中 CO₂ 体积分数达到 8%~10% 时,会引起人体呼吸困难,出现脉搏加快、全身无力、肌肉痉挛等症状;当室内空气中 CO₂ 体积分数达到 20% 以上时,会造成人的中枢神经损害并危及生命。

(4) 控制标准

表 1.3 给出了世界各国室内 CO₂ 质量浓度的指导限值或最大容许质量浓度。由表 1.3 可以看出,各国关于室内 CO₂ 质量浓度的规定差异不大,一般指导限值均为 9 150 mg/m³,最大允许质量浓度在 1 830 mg/m³ 左右。另外,一些国家还对短时间内的 CO₂ 限值进行了规定,一般可达到指导限值的 5 倍。

表 1.3 世界各国关于 CO₂ 质量浓度的标准mg·m⁻³

国家或组织	CO ₂ 质量浓度的指导限值或最大允许质量浓度
比利时	9 150(长期限值);54 908(峰值限值,15 min)
法国	1 830(办公室最大允许质量浓度);2 379(办公室最大允许质量浓度,无吸烟)
德国	9 150(指导限值)
希腊	3.6×10 ⁵ ~5.5×10 ⁵ (迅速致死);9×10 ⁴ ~1.2×10 ⁵ (0.5~1 h 内呼吸有危险) 2×10 ⁴ ~3×10 ⁴ mg/L(长时间呼吸有危险) 9 000(工作场所指导限值)
意大利	2 745(指导限值)
荷兰	2 745(学校);2 196(住宅);1 830(办公室)
挪威	1 830(指导限值)
瑞典	9 150(进风中(CO ₂ 质量浓度)需小于 915,指导限值);18 300(峰值限值) 1 830(最大允许 CO ₂ 质量浓度)
美国	9 150(指导限值);54 900(峰值限值,15 min)
加拿大	6 405(长期限值)
英国	9 150(长期限值,8 h);27 454(峰值限值,15 min)
日本	1 830(指导限值)
世界卫生组织(WHO)	1 830(指导限值)

我国由卫生部、国家环境保护总局于 2003 年颁布的《室内空气质量标准》(GB/T 18883—2002)赞同 ASHRAE 于 1999 年做出的修订,即将 1 800 mg/m³ 的绝对限值改为“室外浓度以上 1 260 mg/m³”的相对限值。

2. 一氧化碳(CO)

(1) 特性

CO 是一种无色、无味的气体,略轻于空气,在空气中燃烧时呈蓝色。大气中 CO 相当稳定,一般不易被破坏,只有在太阳光紫外线照射下或土壤中细菌作用下才会有少部分被氧化为 CO₂。而室内的 CO 几乎不被氧化,只有依靠通风稀释来降低室内 CO 浓度。

(2) 发生源

大气中的 CO 一部分来源于自然界的活动,如火山喷发、沼气、森林或草地火灾及大洋的蒸发等;另一部分来源于人类社会的活动,如工业生产、各种燃料燃烧的排放过程(包括交通、集中采暖等的排气)。

室内的 CO 一部分来源于吸烟,其排放量为 31 mg/支(主流烟),148 mg/支(副流烟)。另一部分来源于炊事过程,其排放量与灶具的耗气量(由其类型而定)、燃烧状况有很大关系。当燃烧较为充分时,CO 的排放量约为 0.59 mg/L 耗气量;当燃烧不完全时,CO 的排放量可达 3.88 mg/L 耗气量。液化石油气中由于碳氢化合物含量较多,CO 的排放量较城市煤气多一些。

(3) 危害

CO 对人体的影响就是其与红血球中血红蛋白(Hb)的结合能力是氧的 200 ~ 250 倍,因此造成血液中含氧量大大降低,导致低氧血症,引起组织缺氧。人在 CO 体积分数只有 5×10^{-6} 的室内空气中暴露 20 min, 辨别能力就会降低;在 CO 体积分数为 2×10^{-4} 的室内空气中暴露 2 ~ 4 h, 就会出现头痛、烦躁、情绪不定、健忘等症状;在 CO 体积分数为 5×10^{-4} 的室内空气中暴露 2 ~ 4 h, 就会出现剧烈头痛、无力、视觉障碍、虚脱感;而当 CO 体积分数达到 2×10^{-3} 时,人只需停留 1 ~ 2 h, 就会呼吸困难、意识丧失,严重者会导致死亡。

(4) 控制标准

表 1.4 给出了世界各国室内 CO 质量浓度的指导限值或最大容许质量浓度。由表 1.4 可以看出,大多数国家的 CO 限值用长期的限值(如 8 h, 24 h)以及短期的暴露时间(如 1 h 或 30 min 等)分别表述。除英国、瑞典等少数国家,较长期暴露下的限值一般低于或等于 10 mg/m^3 , 而短期暴露下的限值一般低于或等于 41 mg/m^3 。

表 1.4 世界各国关于 CO 质量浓度的标准

 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$

国家或组织	CO 质量浓度的指导限值或最大容许质量浓度
比利时	58(指导限值);466(峰值限值,15 min)
德国	35(指导限值)
希腊	6 000 ~ 12 000(迅速致死);2 000 ~ 3 000(0.5 ~ 1 h 内呼吸有危险) 200(长时间呼吸有危险) 55(工作场所指导限值)
挪威	25(短期限值,1 h);10(长期限值,8 h)
瑞典	41(指导限值,送风中 CO 质量浓度小于 4.1);116(峰值限值,15 min);6(最大允许浓度,8 h),61(最大允许浓度,24 h)
英国	58(长期限值,8 h);349(短期限值,15 min)
加拿大	13(长期限值,8 h);40(短期限值,1 h)
美国	室外标准(EPA): 0.15(短期限值,24 h);0.05(长期限值,1 a); 室内标准(ASHRAE62—1999): 10(长期限值,8 h);40(短期限值,1 h) 工业场所: 55(长期限值,8 h);440(短期限值,15 min) 注:EPA 为美国环保局
日本(建筑管理法)	12(指导限值)
澳大利亚	10(长期限值,8 h);29(短期限值,1 h)
新加坡	10(长期限值,8 h)
世界卫生组织(WHO)	101(峰值限值,15 min);58(短期限值,30 min);29(短期限值,1 h);12(长期限值,8 h) 注:以上数值由普通人在较大的工作强度下碳氧血红蛋白(COHb)不超过 2.5% 而定

我国由卫生部于 1979 年颁布实施的《工业企业设计卫生标准》(TJ 36—79)规定,居住区大气中 CO 的一次最高允许质量浓度为 3.0 mg/m^3 ,日平均最高允许质量浓度为 1.0 mg/m^3 ;由国家环保局于 1996 年颁布实施的《环境空气质量标准》(GB 3095—1996)规定,CO 的允许质量浓度一级、二级和三级标准分别为 10.0 mg/m^3 、 10.0 mg/m^3 和 20.0 mg/m^3 ,日平均最高允许质量浓度一级、二级和三级标准分别为 4.0 mg/m^3 、 4.0 mg/m^3 和 6.0 mg/m^3 。《室内空气质量标准》(GB/T 18883—2002)规定室内空气中 CO 质量浓度的时均限值为 10.0 mg/m^3 。

3. 二氧化硫(SO_2)

(1) 特性

SO_2 是一种无色、有强烈刺激性气味的气体。相对分子质量为 64.07,熔点为 -72.7°C ,沸点为 -10°C ,易溶于甲醇和乙醇。潮湿时,对金属有腐蚀作用。

(2) 发生源

室内 SO_2 主要来自于室外大气和室内燃烧过程。 SO_2 是大气环境指标中非常重要的一项。主要由含硫矿物质的焙烧、冶炼等热过程,以及化石燃料(煤、石油等)的燃烧过程散发产生(如每燃烧含硫质量分数为 0.5% 的煤 1 kg,可释放 SO_2 8 g)。室内燃烧过程主要是针对依然以煤为燃料的家庭,在城市居民住户普遍采用城市煤气系统的今天,由于经过脱硫处理, SO_2 的散放量很低,故一般室内 SO_2 浓度都要低于室外。

(3) 危害

室外大气中的 SO_2 可形成酸雾或酸雨,从而对农作物的生长等造成危害。 SO_2 的腐蚀性很强,能够改变建筑材料颜色,降低皮革强度,日常用品也会受到腐蚀。对于长期接触低浓度 SO_2 的人来说, SO_2 被吸入气管、支气管后,刺激上呼吸道黏膜,引起气管炎、支气管哮喘、肺气肿等呼吸道疾病。另外需要指出的是, SO_2 污染的同时一般还伴有 CO、 NO_x 、颗粒物、VOC 等其他污染物, SO_2 与其他污染物共同作用产生的毒性要比单独作用的危害大得多。当空气中 SO_2 质量浓度达到 $0.3 \sim 1.0 \text{ mg/m}^3$ 时,一般人就会有感觉。

(4) 控制标准

表 1.5 给出了世界各国 SO_2 质量浓度的指导限值或最大容许质量浓度。由表 1.5 可以看出, SO_2 质量浓度的限值可以表示为 1 h 和 8 h 的平均值,也有的表示为 10 min、15 min、24 h、日均值、年均值等。其中 SO_2 的 15 min 限值为 0.286 mg/m^3 ,时均限值在 0.349 mg/m^3 ,而 8 h 限值在 $5 \sim 14 \text{ mg/m}^3$ 之间。

表 1.5 世界各国关于 SO_2 质量浓度的标准

$\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$

国家或组织	SO_2 质量浓度的指导限值或最大允许质量浓度
德国	5(指导限值)
希腊	5 500(迅速致死);1 000 ~ 1 700(0.5 ~ 1 h 内呼吸有危险) 20 ~ 30(长时间呼吸有危险);8 ~ 13(感觉到气味) 13(工作场所指导限值)
英国	0.27(短期限值,15 min)
加拿大	0.05 (指导限值);1.0(短期限值,5 min)

续表 1.5

国家或组织	SO ₂ 质量浓度的指导限值或最大允许质量浓度
美国	室外标准: 0.08(EPA, 长期限值, 1 a); 0.37(EPA, 短期限值, 24 h) 州室内空气品质指导限值: 0.86(CT, 8 h); 0.119(NV, 8 h); 0.001 2(TN, 1 a) 工业场所标准: 5(长期限值, 8 h); 14(短期限值, 15 min) 注: EPA 为美国环保局; CT 为康涅狄格州; NV 为内华达州; TN 为田纳西州
日本	0.11(长期限值, 24 h); 0.29(短期限值, 1 h)
世界卫生组织(WHO)	WHO 空气品质标准(1987): 0.46(峰值限值, 10 min); 0.32(短期限值, 1 h); WHO 空气品质标准修改版(1996): 0.46(峰值限值, 10 min); 0.12(长期限值, 24 h); 0.045(长期限值, 1 a)

我国由卫生部于 1979 年颁布实施的《工业企业设计卫生标准》(TJ 36—79)规定,居住区大气中 SO₂ 的一次最高允许质量浓度为 0.50 mg/m³,日平均最高允许质量浓度为 0.15 mg/m³;卫生部和国家技术监督局于 1997 年颁布实施的《室内空气中二氧化硫卫生标准》(GB/T 17097—1997)规定,室内空气中 SO₂ 的日平均最高允许质量浓度为 0.15 mg/m³;由国家环保局于 1996 年颁布实施的《环境空气质量标准》(GB 3095—1996)规定,SO₂ 的时均允许质量浓度一级、二级和三级标准分别为 0.15 mg/m³、0.50 mg/m³ 和 0.70 mg/m³,日均允许质量浓度一级、二级和三级标准分别为 0.05 mg/m³、0.15 mg/m³ 和 0.25 mg/m³,年均允许质量浓度一级、二级和三级标准分别为 0.02 mg/m³、0.06 mg/m³ 和 0.10 mg/m³;《室内空气质量标准》(GB/T 18883—2002)规定,室内空气中 SO₂ 质量浓度的时均限值为 0.50 mg/m³。

4. 氮氧化物(NO_x)

(1) 特性

NO_x 主要指 NO、NO₂、N₂O、N₂O₃、N₂O₄ 及 N₂O₅ 等氮与氧的化合物。其中与人体健康关系较大的是 NO 和 NO₂;NO 为无色气体,不稳定,遇氧易转变为 NO₂,标准状态下密度为 1.340 kg/m³;NO₂ 为红褐色气体,有刺激性,能与水缓慢作用,标准状态下密度为 2.057 kg/m³。

(2) 发生源

大气中的 NO_x 来源主要是森林着火、细菌分解有机物、雷电及火山喷发等。各种炉窑、机动车、柴油机的排气及化工生产中的硝酸生产、硝化过程、炸药生产及金属表面处理等也能产生大量 NO_x。

室内的 NO_x 主要来源于吸烟和燃烧过程。吸烟的 NO_x 排放量为 0.23 mg/支(主流烟),0.9 mg/支(副流烟)。从燃烧的角度,煤气灶具的 NO_x 排放量约为 0.063 mg/L(耗气量);液化石油气灶具的 NO_x 排放量约为 0.91 mg/L(耗气量)。

(3) 危害

由于 NO_2 的毒性比 NO 高出 4~5 倍,所以一般考虑 NO_x 的危害以 NO_2 为代表。 NO_2 可侵入呼吸道深部细支气管和肺泡,从而破坏肺泡,造成呼吸道组织损伤、肺免疫功能下降,还可对神经系统、心血管系统等产生危害。当 NO_2 质量浓度为 $0.25 \sim 0.45 \text{ mg/m}^3$ 时即可嗅出;吸入 NO_2 质量浓度为 10.3 mg/m^3 的空气 10 min 即可引起人的呼吸道阻力增高;当质量浓度达到 $123 \sim 309 \text{ mg/m}^3$ 时,会立即引发咳嗽及喉头和胸部的灼热感;当质量浓度达到 $411 \sim 617 \text{ mg/m}^3$ 时,暴露 30~60 min 会导致呼吸道阻塞,出现呼吸困难、紫绀等症状,严重的可因窒息而死亡。

(4) 控制标准

表 1.6 给出了世界各国 NO_2 质量浓度的指导限值或最大容许质量浓度。由表可以看出, NO_2 质量浓度的限值可以表示为 1 h 和 8 h 的平均值,也有的表示为 15 min、24 h、日均值、年均值等。其中 NO_2 的 15 min 限值大致为 10 mg/m^3 ,时均限值为 $0.2 \sim 0.43 \text{ mg/m}^3$,而 8 h 限值为 6 mg/m^3 。

表 1.6 世界各国关于 NO_2 质量浓度的标准

$\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$

国家或组织	室内 NO_2 质量浓度的指导限值或最大容许质量浓度
比利时	6(指导限值);10(峰值限值,15 min)
德国	10(指导限值)
希腊	450(迅速致死);50~1 00(0.5~1 h 内呼吸有危险) 0.01(感觉有气味); 9(工作场所指导限值)
挪威	0.2(指导限值,1 h)
瑞典	4(指导限值);10(峰值限值,15 min) 0.008~0.012(最大允许质量浓度,送风中质量浓度 < 1/20 的该最大允许质量浓度)
英国	6(长期限值,8 h);10(短期限值,15 min)
加拿大	0.1(指导限值);0.48(短期限值,1 h)
美国	室外标准: 0.1(EPA,年均限值); 0.12(CT,8 h);0.143(NV,8 h) 工业场所标准: 6(长期限值,8 h);10(短期限值,15 min) 注:EPA 为美国环保局;CT 为康涅狄格州;NV 为内华达州
日本	0.2(大气标准,日均限值)
世界卫生组织(WHO)	WHO 空气品质标准(1987): 0.43(短期限值,1 h);0.16(长期限值,24 h) WHO 空气品质标准修改版(1996): 0.22(短期限值,1 h);0.04(长期限值,1 a)