

高等学校研究生教材

哈尔滨工业大学 王昭俊 赵加宁 刘 京 编著

室内空气环境



化学工业出版社
教材出版中心

高等学校研究生教材

哈尔滨工业大学 王昭俊 赵加宁 刘 京 编著

室内空气环境



化学工业出版社
教材出版中心

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

室内空气环境/王昭俊, 赵加宁, 刘京编著. —北京:
化学工业出版社, 2005. 11
高等学校研究生教材
ISBN 7-5025-7881-1

I. 室… II. ①王…②赵…③刘… III. 室内空
气-空气质量-研究生-教材 IV. X831

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 133654 号

高等学校研究生教材

室内空气环境

哈尔滨工业大学

王昭俊 赵加宁 刘 京 编著

责任编辑: 王文峡 陈 丽

文字编辑: 周 侗

责任校对: 顾淑云

封面设计: 尹琳琳

*

化学工业出版社
教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

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

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 16¼ 字数 400 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7881-1

定 价: 34.00 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

室内空气环境是供热、供燃气、通风及空调工程学科硕士研究生一门重要的专业课，是一门涉及建筑物理学、生理学、心理学、人类工效学、信息科学等多学科交叉的边缘科学。室内环境包括室内热湿环境、室内空气品质、室内光环境和声环境等内容。本书主要研究与供热、供燃气、通风及空调工程学科紧密相关的室内热湿环境和室内空气品质两方面内容。

本教材在介绍室内热环境、室内空气品质、通风与洁净室的有关概念、工作原理、评价指标和评价方法时，重点介绍了室内环境研究的方法，如实验室研究、现场研究和仿真研究方法；介绍了世界上流行的热舒适标准、室内空气品质标准、洁净度标准；阐述了改善室内环境品质的综合措施，如个性化环境控制、二氧化钛光催化氧化法处理室内空气污染物的新技术等。

本教材的内容涉及暖通专业方向的研究热点和前沿问题，在借鉴国外教材的同时，融入作者的科研成果和设计成果，使本教材的内容更新颖、追踪学科前沿问题，同时也接近实际工程。本教材较其他相关领域的参考书增加了现场研究、实验室研究和仿真研究的内容。以图文并茂的方式介绍了世界一流大学微气候实验室和暖体假人等先进的实验设施。教材中还给出了室内环境研究方法的应用举例，使学生通过具体算例，掌握其研究方法，为该方向的研究生从事相关的科学研究进行科学技术贮备。

本书由哈尔滨工业大学王昭俊担任主编，编写第2章和第3章，参编第1章，并负责全书的统稿，哈尔滨工业大学赵加宁编写第1章、第4章和第5章；哈尔滨工业大学刘京编写第6章，参编第4章；哈尔滨工业大学博士研究生高军参编第4章。

本书承哈尔滨工业大学高甫生教授认真审阅，并得到多方面指正，谨致谢意。

丹麦技术大学的 P. O. Fanger 教授提供了丹麦技术大学室内环境和能源国际研究中心的有关研究成果的详细资料，在此深表感谢。

研究生孙晓利、章箫珊、吕超、李静等参加了有关资料搜集、整理等辅助性工作，对此谨致谢意。

本书可作为供热、供燃气、通风及空调工程学科的研究生教材使用，还可供相关学科的研究人员参考使用。

由于作者水平有限且所涉及内容广泛，疏漏之处在所难免，恳请读者提出宝贵意见。

作 者

2005年8月于哈尔滨

目 录

1 绪论	1
1.1 室内环境研究概况	3
1.1.1 室内热环境	3
1.1.2 室内空气品质	5
1.1.3 生产要求的室内环境	7
1.2 人与室内环境的关系	8
1.3 室内空气环境的主要研究内容及方法	9
2 室内热环境与人体热舒适	11
2.1 人体的温度调节系统	13
2.1.1 人体的温度感受系统	13
2.1.2 人体的体温调节系统	13
2.1.3 热感觉	14
2.1.4 热舒适	16
2.2 人体热舒适与人体健康的影响因素	18
2.2.1 新陈代谢率	18
2.2.2 服装热阻	21
2.2.3 空气温度	22
2.2.4 空气相对湿度	23
2.2.5 空气流速	25
2.2.6 平均辐射温度	26
2.2.7 其他因素的影响	28
2.3 室内热环境与工作效率	29
2.4 室内热环境评价	33
2.4.1 有效温度 (ET) 和 ASHRAE 舒适区	33
2.4.2 热舒适方程和 PMV-PPD 指标	36
2.4.3 卡他冷却能力、当量温度和主观温度	42
2.4.4 操作温度	43
2.4.5 热应力指标	44
2.4.6 模糊综合评价	47
2.5 热舒适标准	49

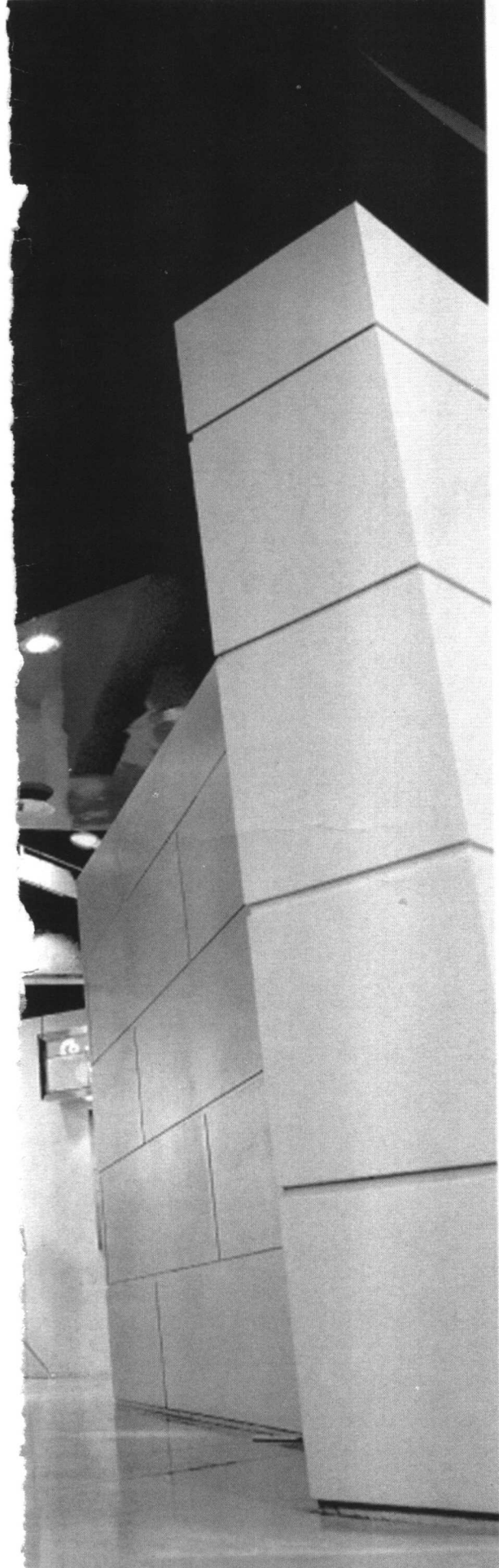
2.5.1	可控制的活动空间可接受的热环境条件	51
2.5.2	自然调节空间可接受的热环境条件	54
2.5.3	热环境参数测试仪器	54
2.6	实验室研究	55
2.6.1	堪萨斯州立大学的微气候实验室	56
2.6.2	丹麦技术大学的微气候实验室	59
2.6.3	实验室研究方法	62
2.7	现场研究	65
2.7.1	现场研究特点及适应性假说	65
2.7.2	热感觉的现场研究方法	67
2.7.3	数据处理	72
2.7.4	现场研究结果	74
2.8	室内热环境评价指标应用举例	75
2.8.1	热舒适参数选择	75
2.8.2	模拟计算结果	75
2.8.3	ASHRAE 舒适标准	78
2.8.4	讨论	78
3	室内空气品质与人体健康	81
3.1	室内空气污染物来源及种类	83
3.1.1	室内空气污染物特性	83
3.1.2	室内空气污染物的来源	84
3.1.3	室内空气污染物种类	87
3.2	空气污染物对人体健康的影响	91
3.2.1	室内空气污染物对人体健康的影响	91
3.2.2	大气污染物对人体健康的影响	96
3.2.3	室内空气品质恶化在各类建筑中对人体健康的危害	97
3.3	室内空气品质与工作效率	99
3.3.1	哮喘和 IAQ	99
3.3.2	室内空气品质影响工作效率	100
3.4	室内空气品质评价	102
3.4.1	室内空气品质客观评价	103
3.4.2	室内空气品质主观评价	106
3.4.3	室内环境品质的综合评价	111
3.5	室内空气品质标准	112
3.5.1	室内空气品质的定义	112
3.5.2	阈值	113
3.5.3	ASHRAE 通风标准	113
3.5.4	其他国家的室内空气品质标准	119
3.5.5	中国的室内空气品质标准	120
3.5.6	室内空气污染物的测试方法	124

3.6	改善室内空气品质的措施	125
3.6.1	通风策略	125
3.6.2	控制污染源	127
3.6.3	个性化环境控制	127
3.6.4	纳米光催化氧化法处理 VOC	128
3.6.5	系统设计和运行	131
3.7	室内空气品质评价应用举例	131
3.7.1	模型的建立	132
3.7.2	灰色非本征方程模拟和灰参数优化	132
4	室内通风的气流组织与性能评价	135
4.1	室内通风的气流组织基本形式	137
4.2	混合式通风	138
4.3	置换式通风	139
4.3.1	置换通风原理	140
4.3.2	置换通风系统参数	141
4.3.3	置换通风与冷却顶板系统	146
4.3.4	置换式通风案例	148
4.4	自然通风	154
4.4.1	自然通风的分类	154
4.4.2	单空间建筑自然通风	154
4.4.3	楼栋建筑自然通风	159
4.5	室内气流分布的性能评价及预测	162
4.5.1	气流分布的性能评价指标	162
4.5.2	通风系统室内气流分布预测	166
4.5.3	室内气流分布评价和预测案例	168
5	洁净室	171
5.1	洁净室的洁净度标准	173
5.1.1	国际标准	174
5.1.2	中国国家标准	176
5.2	洁净室的工作原理	177
5.2.1	非单向流洁净室	179
5.2.2	单向流洁净室	181
5.2.3	混合流洁净室	183
5.3	洁净室空调系统的设计	183
5.3.1	空调系统的形式	183
5.3.2	空调系统风量	188
5.3.3	洁净空调系统的特殊设备	191
5.4	洁净室的预测与评价	193
5.4.1	CFD 方法预测	193
5.4.2	现场测试评价	194

5.5 洁净室 HVAC 系统用过滤器	199
5.5.1 洁净室粉尘的来源	199
5.5.2 空气过滤机理	201
5.5.3 洁净空调系统中过滤器的作用和分类	202
5.5.4 过滤器的主要特性指标	202
5.6 洁净室 HVAC 系统的节能	205
5.6.1 减少空气循环量	205
5.6.2 减少空气系统的阻力	206
5.6.3 合理选择空气循环系统	206
5.6.4 合理确定空气处理的系统	207
5.6.5 合理控制排风系统的排风量	207
5.6.6 合理实现空调系统风机的变速控制	207
5.6.7 冷冻水系统的节能	207
5.6.8 采用高效率的设备及考虑运行节能	208
5.6.9 废热的回收及利用	208
6 CFD 在室内环境研究中的应用	209
6.1 计算流体动力学的发展背景	211
6.2 CFD 的理论基础	212
6.2.1 基本方程	212
6.2.2 数值解法	218
6.2.3 CFD 的计算精度与误差	225
6.3 CFD 在室内环境研究中的应用	232
6.3.1 应用背景	232
6.3.2 计算概要	233
6.3.3 计算例	237
本章符号表	248
参考文献	250

1

绪论



1.1 室内环境研究概况

人类从露宿、穴居到建造具有空调的建筑物,经历了漫长的岁月。而对建筑的需求,则经历了从掩蔽所→舒适建筑→健康建筑→绿色建筑(生态建筑)这样4个阶段。第一阶段是低能耗甚至无能耗阶段,第二阶段和第三阶段是高能耗阶段,第四阶段则是高能量效率、大量利用可再生能源和未利用能源、亲近自然和保护环境阶段。

人的一生有80%以上的时间是在室内渡过的,室内环境品质(indoor environment quality, IEQ)——声环境、光环境、热环境及室内空气品质对人的身心健康、舒适感及工作效率都会产生直接的影响。在上述诸多影响因素中,热环境和室内空气品质对人的影响尤为显著。供热、供燃气、通风及空调工程学科的主要任务就是为人们创造一个舒适、健康的热环境。近年来,人们对室内空气品质对人体健康与工作效率的影响更加关注,在日常生活、生产和科学研究中对室内热环境和室内空气品质的要求也更加严格。电子产品的生产环境要求对空气中的悬浮粒子有严格的控制,食品与医药工业对空气中的悬浮粒子与悬浮微生物都有严格的控制,而标准量具生产对温度的要求和纺织生产对湿度的要求也都很苛刻。

1.1.1 室内热环境

室内热环境研究是与19世纪医学及测温学同时开展的。当时人们认识到控制湿度的重要性,认为空气过于干燥或过度潮湿都是不可取的。

1914年Hill发明了卡他温度计。卡他温度计综合了平均辐射温度、空气温度和空气流速的影响。20世纪30年代进行的大量实验经常采用卡他温度计。

1919年在美国的匹兹堡由美国采暖通风工程师协会(American Society of Heating and Ventilating Engineers, ASHVE)建造了一个微气候实验室,主要目的就是研究空气温度、空气湿度和空气流速等对人体热感觉和热舒适的影响。1923年Houghten和Yaglou创立了对热环境研究具有深远影响的有效温度(effective temperature, ET)指标。该指标综合了空气温度、空气湿度和空气流速对人体热感觉的影响。1967年以前,该指标一直被广泛地用于工业以及美国和英国的军队中。1924~1925年Houghten和Yaglou等又研究了空气流速和衣着对人体热感觉的影响。1932年Vernon和Warner使用黑球温度代替干球温度对热辐射进行了修正,提出了修正有效温度(corrected effective temperature, CET)指标。第二次世界大战期间,该指标曾为英国皇家海军舰队所采用。1950年Yaglou等对热辐射进行了修正,提出了当量有效温度的概念。

1963年美国采暖、制冷和空调工程师协会(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE)将匹兹堡的微气候实验室搬到了堪萨斯州立大学(Kansas State University)。在该实验室中学者们进行了大量的人体热感觉与热舒适的实验研究,获得了许多有价值的热舒适数据,并成为制定热舒适标准的基础数据。

1971年美国耶鲁大学Pierce研究所的Gagge提出了新有效温度(new effective temperature, ET*)指标,该指标综合了温度、湿度对人体热舒适的影响。随后,Gagge又综合考虑了不同的活动水平和服装热阻的影响,提出了标准有效温度(standard effective temperature, SET)指标。

1974年美国的ASHRAE颁布了第一个热舒适标准——活动区的热环境条件ASHRAE Standard 55—1974。该标准中采用了新有效温度指标。在1981年、1992年和2002年又经过3次修订,发展为最新版本ASHRAE Standard 55—2002草案。在ASHRAE Standard 55—2002中采用操作温度作为热舒适指标。

与此同时,丹麦技术大学的P. O. Fanger教授领导的微气候实验室在研究人体热舒适的领域也取得了令人瞩目的成果。Fanger教授在堪萨斯州立大学的实验数据基础上,提出了舒适的皮肤温度、所期望的排汗率和新陈代谢率之间的关系,并于1967年发表了著名的热舒适方程式。

1970年Fanger以人体热平衡方程及ASHRAE 7点标度为出发点,并对堪萨斯州立大学的热感觉数据进行分析,得到了至今被世界各国广泛使用的评价室内热环境热舒适的指标——预测平均投票数(predicted mean vote, PMV)和预测不满意百分数(predicted percentage of dissatisfied, PPD)。该指标综合了空气温度、空气湿度、空气流速、平均辐射温度、活动强度和衣着等6个影响人体热舒适的因素,是迄今为止最全面的评价室内热环境的指标。国际标准化组织(International Standard Organization, ISO)根据Fanger教授的研究成果于1984年制定了国际标准,即适中的热环境——PMV与PPD指标的确定及热舒适条件。目前,该研究成果是世界上普遍采用的评价和预测室内热环境热舒适程度的标准。ISO Standard 7730推荐取PPD不大于10%,即允许有10%的人感到不满意,此时对应的PMV在 $-0.5 \sim +0.5$ 之间。

ASHRAE Standard 55—2002中根据PPD值,将可控制的环境空间分为A(PPD<6%)、B(PPD<10%)、C(PPD<15%)不同级别,并给出了自然调节的环境空间PPD不大于10%和PPD不大于20%的舒适区域。可以根据实际情况选用不同的环境标准等级和热舒适区域。

此外,人们还对远离热舒适范围的过热和过冷环境进行了大量的研究,并建立了一系列指标,如预测4h排汗量(predicted four hour sweat rate, P4SR)、热应力指数(heat stress index, HSI)、热应力指标(index of thermal stress, ITS)、湿球黑球温度计指数(wet-bulb globe thermometer index, WBGT)等。

除了热舒适评价指标外,国内外的一些学者还提出了人体传热模型。其中最具有代表性的模型是1970年Gagge等提出的人体温度调节的两节点模型。该模型将人体看作两层,即核心层和皮肤层。新陈代谢在核心层产生,产生的一部分热量通过呼吸直接散失在环境中,其余的热量传到皮肤表面。传到皮肤表面的热量一部分由汗液蒸发散失掉,其余的热量通过衣服传到衣服表面,然后通过辐射和对流散失到环境中。传热过程被视为一维的。虽然温度调节的数学模型很多,但两节点模型是考虑人体温度调节过程的最简单的模型,而且是标准有效温度SET推导的基础。

1971年堪萨斯州立大学的Stolwijk提出把人体分为6节段4层模型,即头、躯干、臂、手、腿、脚等6个节段,核心、肌肉、脂肪、皮肤等4层。1976年Gordon等又把该模型从6节段扩展到14节段,从4层扩展到11层。

美国耶鲁大学的Gagge(1971, 1986)提出了另一个有影响的模型。该模型将Stolwijk模型由4层简化为2层,即核心层和皮肤层。人体分为头、上肢(左右)、躯干、下肢(左右)6个部分,并将每个部分视为直长的筒体。Gagge通过列出各层、各节段之间的传热方程,并以肌体各节段间传热量作为基础生理指标量,对人的生理和心理反应进行

了预测。

1987 年纽约大学的 Charmy、辐射研究协会的 Hagman 和机械工程协会的 Levin 等提出一种更为复杂的人体模型。该模型将人体分为 16 段,除头部形状是圆形外,其余部分近似为圆柱体。人体中央有一个血腔。人体的每一段又进一步被分成 4 层,即核心、肌肉、脂肪、皮肤。共计有 64 个单元和一个血腔。

中国室内热环境研究始于 20 世纪 80 年代,同济大学、清华大学、天津大学、哈尔滨工业大学、航空航天大学医学研究所和中国纺织大学等的一些学者对中国人所适用的热指标、室内的热环境现状、暖通空调方式下的热舒适性性能和人体传热模型等进行了研究,并取得了一定的成果。

在此之后,国内外学者又对动态热环境进行了研究,如清华大学的一些学者发现人体对动态热环境的反应与对稳态热环境的反应有很大不同。在中性-热环境下,动态化温度与气流对改善人体热感觉有很大帮助。从人体对自然风的接受性高于机械风的现象出发,发现自然风与机械风在湍流脉动特性上有很大的不同,反映在功率谱、湍流度、风速概率分布等参数方面有显著的区别。

1.1.2 室内空气品质

早在 14 世纪,伦敦就颁布了烟草法律以减少室外空气污染。随着工业革命和城市的增加,空气污染日趋严重,并导致一些灾难性事件频繁发生,如 1932 年的马斯河谷烟雾事件中,有数千人上呼吸道感染;1952 年的伦敦烟雾事件中,在一周内几千人死亡,尤其是一些婴幼儿和老人。伦敦烟雾事件使人们认识到室外空气污染对人体健康的危害,揭开了空气污染研究的新纪元,推动了流行病学和室外空气污染对公共健康的危害的研究。

室内空气污染的研究历史与发展是与室外空气污染的调查紧密相关的。20 世纪 60 年代,人们认识到室内空气品质(indoor air quality, IAQ)对人体健康的潜在影响,开始集中研究室内空气污染对人体健康的危害,并首次对室内空气品质进行了现场测试。

早期的研究重点是室内吸烟对人体呼吸系统的影响,如 Cameron 等人研究了室内吸烟者和不吸烟者的呼吸系统健康问题。还有学者指出母亲吸烟对婴幼儿的呼吸系统健康有害,被动吸烟更易患呼吸系统疾病等。同时人们对甲醛与哮喘病之间的关系进行了大量的调查研究,认为甲醛是引发哮喘病的主要原因。20 世纪 50 年代人们就意识到氡是室内空气中普遍存在的污染物。20 世纪 80 年代,随着美国地下矿工肺癌患病率的增加,人们认识到氡是造成肺癌的元凶。

1973 年国际石油危机爆发后,各国开始重视建筑节能工作。为了减少空调建筑的能耗,提高了建筑物的密闭性,相应减少了空调新风量,使得 CO_2 、灰尘、细菌等浓度增加。另一方面,有机合成材料在室内装饰及设备用具方面的广泛应用,致使挥发性有机化合物(volatile organic compound, VOC)大量散发。由于室内各种污染物不能及时排出室外,而室外的新鲜空气也不能正常地进入室内,严重恶化了室内空气品质,再加上一些其他因素,长期生活和工作在现代建筑物中的人们常表现出一些越来越严重的病态反应,德国的星期一综合征便是其中著名的一例。这一问题引起了专家们的广泛重视。

1976 年在美国费城召开了退伍军人会议,不久,221 人相继出现了类似流感的症状,如头疼、发烧、腹泻及昏迷,其中 34 人死亡,由此引起人们的注意。因为其病因是宾馆的空调系统传播了 LP 杆菌,故命名为军团病。此后人们更加重视室内空气品质的研究。

1979年,世界卫生组织(World Health Organization, WHO)召开了首次室内空气品质与健康国际会议。

1983年世界卫生组织提出了病态建筑综合征(sick building syndrom, SBS)的概念,其定义为:因建筑物使用而产生的一些不适症状,包括黏膜有刺激感(眼红、流泪、咽干等)、困倦、头痛、恶心、头晕、皮肤瘙痒、易感冒、患哮喘或其他呼吸道疾病等。近年来,有些专家学者建议将人们对室内气味产生的不满也纳入到病态建筑综合征中。大量调查分析表明,病态建筑综合征与不良的室内空气品质有关。病态建筑综合征严重影响了人们的身体健康和工作效率,由此引发的病休、医疗费用等社会问题也受到了广泛的关注。

据中国室内环境监测中心报告显示,越来越多的人要求检测室内空气品质,由此可以看出此问题在中国也越来越严重。购房、室内装修热潮,使得室内空气品质问题在中国尤为突出。

鉴于以上种种原因,人们已经认识到解决室内空气品质问题的重要性与迫切性,室内空气品质问题已成为当前建筑环境领域内的一个研究热点。

早在1824年,Tredgold就提出最小通风率为每人4cfm(cubic feet per minute),即 $6.72\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{人})$ 。1893年Billings推荐通风率为每人30cfm,即 $50.4\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{人})$ 。1915年,美国21个州通过了有关通风的法律,一般采用每人30cfm。

1973年国际能源危机爆发之前,美国采暖、制冷和空调工程师协会(ASHRAE)颁布了自然和机械通风标准ASHRAE Standard 62—1973,规定最小通风率为10cfm,即 $16.8\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{人})$ 。能源危机后,为了节能,将原通风标准进行了修改,将新建筑的最小通风率减少到每人5cfm,即 $8.4\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{人})$ 。并于1981年颁布了控制室内空气品质的通风标准ASHRAE Standard 62—1981,规定最小通风率可由每人所需的通风量或单位建筑面积所需的通风量来确定,非吸烟区最小通风率为每人5cfm,吸烟区最小通风率为每人60cfm。

近年来,人们才逐渐认识到通风与室内空气品质的关系。1989年ASHRAE颁布了新的通风标准——可接受的室内空气品质的通风标准ASHRAE Standard 62—1989。标准中考虑了室内空气品质和病态建筑问题,将建筑的通风率增加到每人15cfm,并不再区分吸烟区与非吸烟区。1996年,ASHRAE对原标准进行了修订,颁布了通风标准ASHRAE Standard 62—1989R。该修订版中将室内污染分为人员污染和建筑污染,并同时考虑。1999年颁布了新通风标准ASHRAE Standard 62—1999。

其他国家也据此制定新的或修订原有的建筑物通风标准或指南,主要有:欧洲标准化组织CEN于1996年起草的prENV1752《建筑物通风:保证室内环境的设计原则》的修订案,德国标准组织DIN于1994年出版的DIN1946第二部分《通风与空调:技术上的卫生要求》的修订版,英国CIBSE于1993年对指南A第二部分“设计的环境标准”制定的修订草案,以及北欧指南NKB 61的1991年版本等。

上述标准中大多已将建筑本身的污染考虑在内,有的标准将人员污染和建筑污染各自所需的新风量相加(如ASHRAE Standard 62—1989R),有的标准则取两者中的较大值(DIN1946)作为最小新风量指标。

与此同时,人们还对室内空气品质的评价方法进行了研究。1936年,Yaglou采用实验方法研究了气味与通风量的关系,确定了可接受的室内空气品质所需的最小通风量。

1988年,Fanger提出了新的污染源的污染量指标单位olf,以对室内空气污染进行

量化。

1.1.3 生产要求的室内环境

在工业生产、实验研究和一些特殊场合中所要求的室内环境根据其生产的产品质量要求和实验目的而确定。本文主要介绍以保证室内空气洁净为目的的生产环境控制技术，称为空气洁净技术。空气洁净技术是空气调节的一个分支，属于空气调节在特殊场合的应用，这在建筑环境与设备工程专业的本科教材《暖通空调》中有所介绍。

19 世纪中叶，在医院外科手术前，先向手术室内喷洒石炭酸溶液，以控制感染，开始有了洁净室的概念。19 世纪末期，显微镜技术的发展使科学家们陆续发现各种类型的细菌，开始重视消毒手术室，防止手术部位的感染。

进入 20 世纪，第一次世界大战后，美国航空仪表生产中建立“控制装配区”，供给一定的过滤空气，并严格管理，为工业洁净室的出现打下了基础。20 世纪 40 年代，美国创建了第一座洁净室，是洁净室的起源。

1950 年，高效粒子空气过滤器（high efficiency particulate air filter, HEPA）问世，因为它是洁净室中最基本最必要的部件，所以其成为洁净技术发展史上的第一座里程碑。19 世纪 50 年代，美国由原子能工业带动，同时基于精密机械、电子工业的需要而发展了污染控制技术。

1961 年，层流（单向流）洁净室诞生，它被人们誉为污染控制技术的最大突破，不仅对空气洁净技术做出了卓越贡献，而且对当代科学技术的飞速发展产生了不可估量的影响。同年世界上最早的洁净室标准——美国空军技术条令 203 形成。

1963 年美国颁布了洁净室第一个军用部分的联邦标准 FS209。此后，联邦标准 FS209 成为国际上最通行、最著名的洁净室标准。

半个多世纪以来，随着细微技术的飞速进展，材料纯度、加工精度和产品可靠性不断提高，以及质量保障体系思想的深化，使得洁净室技术迅猛发展。作为体现洁净室技术的发展水平和成熟程度的洁净室标准，自从 FS209 颁布以来，30 多年中不断修订与更新，直至 1992 年的 FS209E。

美国联邦标准 FS209 第一个科学地依据悬浮微粒粒径和浓度的关系在双对数坐标上的直线分布规律来划分洁净度级别。此后，世界上各主要工业国都以此为蓝本建立起本国标准。

20 世纪 80 年代以后，美国和日本分别研制成功过滤对象为 $0.1\mu\text{m}$ ，捕集效率达 99.99% 的新型超高效过滤器。在此基础上，日本又将其与先进的安装密封形式（超级顶棚装置）及检测手段（激光粒子计数器）结合起来使用，最终建成 $0.1\mu\text{m}$ 10 级和 $0.1\mu\text{m}$ 1 级的超高级别洁净室，它使洁净技术的发展又进入一个新时期。

1993 年国际标准化组织 ISO 委托美国国家标准研究所和美国环境科学技术研究所建立 ISO/TC209 技术委员会并编写了洁净室的国际标准。

洁净室空气洁净度等级国际标准 ISO 14644—1 出台后，为大家认可并应用。美国有关当局于 2001 年宣布废除 FS209E 标准而以 ISO 14644—1 代之。从而解决了 FS209 标准中存在的主要矛盾，即其洁净度等级不适应对空气洁净的越来越高的控制要求及国际单位制的需要。

药品生产是洁净技术应用较多的一个领域。“药品生产质量管理规范”是药品生产的

指导性文件。目前,世界各国将其统一简称为 GMP (good manufacturing practices for drugs)。除官方文件外, GMP 已像 TV 一样成为国际间的通用词汇。

GMP 是社会发 展中医药实践经验教训的总结和人类智慧的结晶。质量保证和在药品生产中应有规范的想法由来已久。人类社会经历了 12 次较大的药物灾难,特别是 20 世纪 50 年代最大的药物灾难“反应停”事件后,引起公众的不安和对药品监督及法律的兴趣。

GMP 最初是由美国坦普尔大学 6 名教授编写制定的,1963 年美国国会第一次颁布成为法令。

1975 年世界卫生组织 (WHO) 正式公布 GMP。1977 年再次向成员国推荐 GMP,并确定为 WHO 法规。

此后,大多数欧洲国家开始宣传、认识并起草本国的 GMP。欧洲共同体委员会颁布了欧共体的 GMP。目前,已有 100 多个国家实行了 GMP 制度。

在中国,空气洁净技术的研究始于 20 世纪 60 年代中期,1984 年颁发了《洁净厂房设计规范》(GBJ 73—84),2001 年进行了修订 (GB 50073—2001),中国的新规范与国际《ISO/DIS 14644 国际标准》充分接轨,对国际交流与合作非常有利。1990 年颁发了《洁净室施工及验收规范》(JGJ 71—90)。GMP 在中国于 20 世纪 70 年代末随着对外开放政策和出口药品的需要而受到各方面的重视,1997 年国家药品监督管理局颁布了《医药工业洁净厂房设计规范》(GMP—97),1998 年国家药品监督管理局颁布了《药品生产质量管理规范》(GMP—98)。

20 世纪 90 年代促进了空气洁净技术大发展的动力仍主要是电子工业即集成电路的生产,但生物洁净技术及药品食品的生产环境改造也是一个重要的因素。随着现代化的生产活动和科学实验对空气洁净度的要求的逐步提高,21 世纪的洁净技术还将出现更大的发展。

1.2 人与室内环境的关系

人类是地球物质发展的产物,人与环境是不可分割的对立统一的整体。环境是一个很大的范畴,它包括了一切客观存在与人类生存有关的自然的以及社会的条件。世界卫生组织公共卫生专家委员会给“环境”的定义是:“在特定时刻由物理、化学、生物及社会的各种因素构成的整体状态,这些因素可能对生命机体或人类活动直接地或间接地产生现实的或远期的作用。”室内环境则是人类为生活和生产的需要而建造的建筑内微环境。人类的健康水平和生活质量与其生存的环境质量有着密切的关系,由于现代人通常有 80% 以上的时间是在室内渡过的,故人类的健康与室内环境的关系更为直接和密切。

随着中国经济的不断发展,人民生活水平的不断提高,应用暖通空调系统的建筑越来越多。它大大改善了人们的工作和生活环境,已逐渐成为现代化生活必备的设施之一。然而,为了降低能耗,大多减少送入空调房间内的新风量和提高夏季空调环境的参数或降低冬季空调环境的参数,这样做的结果,在降低空调能耗和改善室内温湿度方面有积极的意义,但忽视了空调系统应该具备的另一实质性功能:为人们提供健康舒适的室内环境。

室外环境与室内是有联系的,建筑的室内环境会受到室外的影响,但是,室内的一系列污染源造成的总挥发性有机化合物 (total of volatile organic compounds, TVOC) 浓度总是高于室外,这些主要是由装修造成的。据调查,中国目前使用的大部分装修材料都不

同程度地含有有毒的有机溶剂, 甲醛、苯、二甲苯、氯化烃等有机物, 其中甲醛、苯、三氯乙烯等都是已知的致癌物质。这些装修材料在室内会不断地释放有害气体, 特别是一些水包油的涂料, 其释放时间可达一年之久。

室内人员自身的行为对室内空气品质有着长期的影响。首先, 人体本身的新陈代谢活动是吸入 O_2 , 呼出 CO_2 和产生其他分泌物的过程, 在此过程中人体会不断散发出异味, 逐渐降低室内的分压和升高其他污染物浓度; 其次, 室内人员的日常行为活动引起室内扬尘浓度的升高; 第三, 室内人员其他行为对室内空气品质的影响, 其中主要表现在吸烟方面。对于吸烟产生的后果, 普遍认为吸烟会增加肺癌和其他呼吸道疾病的发生率。实际上, 吸烟会大幅度降低室内空气品质, 即室内烟雾浓度增加, 负离子浓度减少。

室内现代化办公设备和家用电器的广泛使用给人们的工作、学习和生活带来了诸多方便, 但同时应该看到, 这也不可避免地导致了許多环境问题: 噪声污染、电磁波及静电干扰、紫外线辐射等, 给人们的健康带来了一些不可忽视的影响。

室内环境对人的影响不仅仅是上述直接影响, 室内环境对人的影响分为直接影响和间接影响。直接影响指环境的直接因素对人体健康与舒适的直接作用, 如室内良好的照明, 特别是利用自然光可以促进人们的健康; 人们喜欢的室内布局和色彩可以缓解工作时的紧张情绪; 室内适宜的温湿度和清新的空气能提高人们的工作效率等。间接影响指间接因素促使环境对人员产生的积极或消极作用, 如情绪稳定时适宜的环境使人精神振奋, 萎靡不振时不适宜的环境使人更加烦躁不安, 从而降低工作效率等。

工作效率的提高有赖于环境因素、组织因素、社会因素以及个人因素等 4 个主要因素。提高室内空气品质、增加通风率、保证良好的相对湿度及温度、提高室内环境品质可以增加工作人员的舒适度及健康保障, 避免病态建筑综合征, 有益于室内人员的健康, 并间接改善其他 3 个因素, 从心理和生理两方面提高人员对环境的满意率, 降低在保障和补偿职工健康方面的投资, 提高工作效率。

1.3 室内空气环境的主要研究内容及方法

由于人们对环境的感受既有生理的因素也有心理的因素, 故室内空气环境是一门涉及建筑物理学、生理学、心理学、人类工效学、信息科学等多学科交叉的边缘科学。

室内环境包括室内热湿环境、室内空气品质、室内光环境和声环境等内容。本书主要研究与供热、供燃气、通风及空调工程学科紧密相关的室内热湿环境和室内空气品质两方面内容。

同时, 本书还将从工程的角度研究外界环境因素与人体健康的关系, 阐明环境因素对人体健康影响的规律, 提出改善和利用环境因素的卫生工程学要求的理论根据和措施的原则, 以达到预防疾病、增进健康、提高劳动生产效率的目的。

室内热舒适标准和室内空气品质标准是研究室内环境的基础, 是指导人们对室内环境进行评价的依据。了解并掌握国内外最新的热舒适标准和室内空气品质标准是进行室内热舒适和室内空气品质研究必备的条件。

人们对室内环境的研究是紧随着它的需求而进行的, 由此而产生的室内环境控制技术也在不断地发展。室内环境的控制即为采用工程学的方法使得室内环境满足各项标准的要求。人类创造了室内环境, 现在人类比以往任何时候都更有能力创造人工环境, 然而, 过