



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材

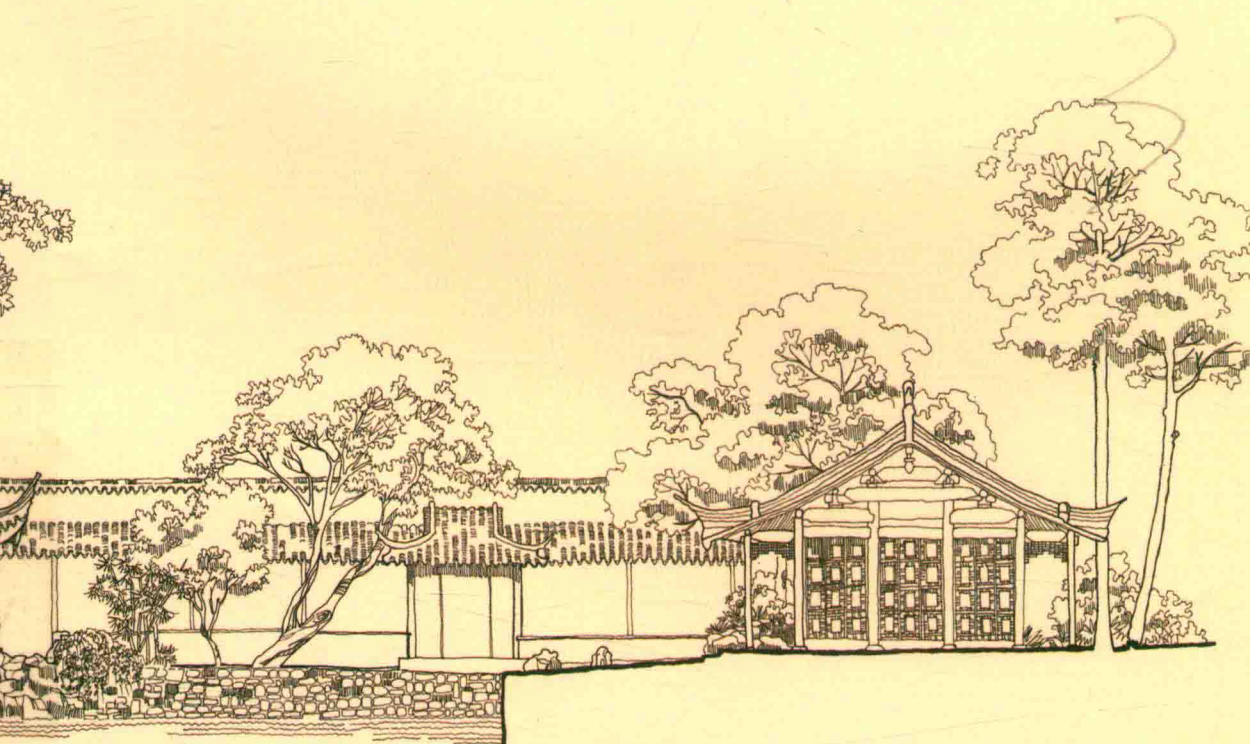
高校建筑环境与能源应用工程学科专业指导委员会规划推荐教材

人工环境学

(第二版)

Built Environment Science

李先庭 石文星 主编



中国建筑工业出版社

“十二五”普通高等教育规划教材

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高校建筑环境与能源应用工程学科专业指导委员会规划推荐教材

人工环境学

(第二版)

Built Environment Science

李先庭 石文星 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

人工环境学/李先庭, 石文星主编. —2 版. —北京:
中国建筑工业出版社, 2017.3

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材 住
房城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材 高
校建筑环境与能源应用工程学科专业指导委员会规划
推荐教材

ISBN 978-7-112-20433-5

I. ①人… II. ①李… ②石… III. ①环境科学-高
等学校-教材 IV. ①X

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 037089 号

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材, 主要介绍人工环境的
内容和营造不同人工环境的方法。全书共分四篇, 分别介绍典型人工环境对象的
需求参数, 影响人工环境的各种因素, 营造不同类型人工环境的方法以及如何定
量分析评价各种人工环境。本书重点不在具体的人工环境系统, 而在各类人工环
境的共同营造方法, 是营造各类人工环境的基础。其中的人工环境包括温度、湿
度、风速、污染气体、悬浮颗粒物、气体成分与气压等内容, 典型的人工环境对
象包括人居环境、动植物的生长发育环境、食品的贮运环境、工业生产与实验检
测环境等。

该书除可用做建筑环境与能源应用工程专业的提高教材外, 还可供土木建筑、
制冷、环境、电子、航空航天、制药、船舶、交通、农业等专业的师生参考。

责任编辑: 齐庆梅

责任校对: 李欣慰 党 蕾

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
住房城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高校建筑环境与能源应用工程学科专业指导委员会规划推荐教材

人 工 环 境 学 (第二版)

李先庭 石文星 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 19 $\frac{3}{4}$ 字数: 487 千字

2017 年 8 月第二版 2017 年 8 月第二次印刷

定价: 39.00 元

ISBN 978-7-112-20433-5

(29954)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

第二版前言

长期以来,人们都将供热、通风和空调作为不同的专业内容来讲授,且针对的对象主要是工业建筑和民用建筑。近十几年来,暖通空调的应用面越来越广,在国民经济中发挥的作用越来越大,消耗的能源在国民经济中占据的比重在同等规模的行业中首屈一指,越来越多的人开始从事与之相关的工作。这一状况使得20世纪80年代末彦启森教授和江亿教授提出的人工环境学科概念越来越得到人们的认可,人们普遍期望能够有一本关于人工环境营造方面的教材来帮助从业人员更好地从事该领域的工作。

在此背景下,《人工环境学》第一版于2006年出版,将人工环境拓展为包括温度、湿度、风速、污染气体、悬浮颗粒物、气体成分与气压的空气环境,从而可以涵盖各类应用对象。若干所院校以此教材为基础给本科生、研究生开设了人工环境学课程,受到师生们的好评。近年来,随着人工环境应用领域的进一步扩展和人们对节能减排的重视,作者结合近些年的技术发展,并综合考虑第一版教材中的不足,编写了此版《人工环境学》。

修订后的《人工环境学》保持了第一版“绪论+四篇”的风格,对第一版部分章节内容进行了合并与调整,补充了一些新内容。全书重点不在具体的人工环境系统,而在各类人工环境的共同营造方法。全书除绪论外共分为四篇十三章:第一篇共四章,主要介绍不同类型人工环境需要什么样的空气参数;第二篇共三章,主要介绍影响人工环境的因素;第三篇共两章,主要介绍人工环境的营造方法;第四篇共三章,主要介绍人工环境的分析和评价方法。四篇内容既相对独立,又具有一定的内在联系。

本书第一章至第五章对第一版内容做了少量修改;第六章至第八章对第一版的结构做了较大的调整,并更新补充了部分内容;第九章和第十章由第一版的第九章至第十一章合并修改而来,并补充了温湿度和风速控制方法;第十一章至第十三章在第一版第十二章至第十四章的基础上修改而来,并增加了室内环境的综合评价方法及示例。此版修改由李先庭规划与统稿,由石文星负责审查,清华大学建筑技术科学系的王宝龙副教授、邵晓亮博士、博士生沈翀参与了此版的修改,研究生梁超、李子爱、王鲁平、王欢、冉思源、马惠颖、林炎顷、王建、南硕、程作、张国辉、吕伟华、游田、艾淞卉、宋鹏远、尚升、黄文宇、刘星如、张朋磊等同学在本书编写过程中帮助查阅整理了大量资料,并进行了校对,在此表示衷心的感谢!

为方便任课教师制作电子课件,我们制作了包括书中公式、图表等内容的电子素材可发送邮件至jiangongshe@163.com免费索取。

本书被列为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。受编者水平和知识面所限,本书如有不妥和错误之处,恳请读者给予批评指正。

第一版前言

长期以来,人们都将供热、通风和空调作为不同的专业内容来讲授。而自 20 世纪 80 年代末彦启森教授和江亿教授提出人工环境的概念后,人们一直期望能够用人工环境来涵盖传统的供热、通风和空气调节,而且应用对象不仅包含建筑,还应包括其他各类应用供热、通风和空气调节的对象。

近年来,随着对空气品质的关注和航空航天及军工技术的发展,人们对空气中气体污染物、悬浮颗粒物以及空气成分和气压也越来越关注,传统的供热、通风和空调已很难全部覆盖这些内容。本书作者从最早的人工环境概念出发,分析比较各种不同类型的应用对象,将人工环境拓展为包括温度、湿度、风速、污染气体、悬浮颗粒物、气体成分与气压的空气环境,从而可以涵盖各类应用对象。

本书重点不在具体的人工环境系统,而在各类人工环境的共同创造方法。全书除绪论外共分为四篇十三章:第一篇共四章,主要介绍不同类型人工环境需要什么样的空气参数;第二篇共三章,主要介绍影响人工环境的因素;第三篇共三章,主要介绍人工环境的创造方法;第四篇共三章,主要介绍人工环境的分析和评价方法。四篇内容均相对独立,又具有内在联系。

本书第一章、第十二章由李先庭编写,第六章由李先庭、余延顺编写,第二、十、十四章由赵彬编写,第三、四、九章由石文星编写,第五、七、十一章由田长青编写,第八、十三章由余延顺编写。全书由李先庭统稿,清华大学建筑技术科学系的彦启森教授担任主审。清华大学建筑技术科学系李蓉樱、赵丽娜、陈权、赵恒,中国科学院理化技术研究所徐洪波,天津商学院制冷与空调工程系黄建、谢旭明等研究生在本书编写过程中帮助查阅整理了大量资料,中国建筑工业出版社齐庆梅编辑在本书出版过程中提出很多好的建议并给予了大量指导,本书得到了国家“985 工程”二期教材建设的资助,在此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,且本书涉及的学科内容广泛,有不妥和错误之处,恳请读者给予批评指正。

编者

2006 年 3 月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 人工环境的范畴与分类	1
第二节 人工环境的发展历程	2
第三节 为什么要学习人工环境学	5
第四节 本书内容安排及特点	6
参考文献	7
第一篇 人工环境的需求参数	
第二章 适宜的人居环境	11
第一节 热舒适环境	11
第二节 气体成分对人体的影响	15
第三节 悬浮颗粒物对人体的影响	22
第四节 生物污染对人体的影响	25
第五节 气压对人体的影响	27
主要符号表	29
参考文献	29
第三章 动植物的生长发育环境	31
第一节 人工环境因素对动植物的一般作用规律	31
第二节 植物的生长发育环境	33
第三节 动物的生长发育环境	40
第四节 实验动物的饲养环境	45
主要符号表	53
参考文献	53
第四章 食品的贮运环境	54
第一节 食品的贮藏保鲜原理	54
第二节 食品的低温贮藏环境	63
第三节 食品冷藏链	70
主要符号表	76
参考文献	76
第五章 工业生产与实验检测环境	78
第一节 恒温恒湿环境	78
第二节 洁净环境	81
第三节 环境模拟实验室	86

第四节 生物安全实验室	92
参考文献	96

第二篇 人工环境的影响因素

第六章 广义气象	99
第一节 传统气象参数	99
第二节 广义气象参数	102
第三节 外扰的周期性特征	104
主要符号表	107
参考文献	107
第七章 围护结构与气密性	108
第一节 广义围护结构	108
第二节 透明围护结构的传热	108
第三节 非透明围护结构的非稳态传热	110
第四节 非透明围护结构的传湿	119
第五节 气体通过围护结构的传递	121
第六节 对象空间的气密性	123
第七节 非密闭空间的空气渗透	127
第八节 围护结构节能技术	130
主要符号表	133
参考文献	134
第八章 内扰	136
第一节 室内常见的热源与湿源	136
第二节 室内常见污染源	139
第三节 内扰的周期性特征	143
第四节 内、外扰共同作用的周期特征	145
主要符号表	146
参考文献	146

第三篇 人工环境的营造方法

第九章 空气成分的制备与处理	151
第一节 空气成分控制的基本原理	151
第二节 氧气与氮气制取	152
第三节 二氧化碳去除	159
第四节 气体污染物的净化	162
第五节 悬浮颗粒物的浓度控制	165
第六节 空气的温湿度控制	170
主要符号表	177
参考文献	177

第十章 对象空间的空气参数保障方法	179
第一节 空气参数的保障原理与分类	179
第二节 整体保障法	180
第三节 局部保障法	189
第四节 气压控制	204
第五节 风速控制	210
主要符号表	222
参考文献	223

第四篇 人工环境的分析方法

第十一章 人工环境的评价指标	227
第一节 热舒适指标	227
第二节 空气质量评价指标	237
第三节 工艺评价指标	245
第四节 综合评价方法	251
主要符号表	254
重要术语和缩略语	255
参考文献	256
第十二章 集总参数分析法	258
第一节 室内空气的热湿与组分平衡方程	258
第二节 各向同性围护结构条件下的热湿平衡方程组	260
第三节 各向异性围护结构条件下的热湿平衡方程组	265
第四节 典型设计周期下的自然参数	269
第五节 典型设计周期下的负荷分析	275
主要符号表	278
参考文献	279
第十三章 分布参数分析方法与评价示例	280
第一节 区域模型	280
第二节 计算流体力学方法简介	285
第三节 评价指标的数值计算	290
第四节 典型人工环境评价示例一	291
第五节 典型人工环境评价示例二	298
主要符号表	303
参考文献	303

第一章 绪 论

第一节 人工环境的范畴与分类

环境是以人类社会为主体的外部世界的总称，包括自然环境和人造环境。前者是不依赖人类的主观意识而独立存在的客观世界（如大气环境等）；而后者则是人类在利用自然、优化自然的过程中营造出来的环境，包括工程环境（如人工产品、人工建筑、工艺环境等）和社会环境（如政治制度、社会行为、宗教文化等）。本书所讲述的人工环境是工程环境的一种，特指人类通过技术手段而营造出来的满足一定要求的空气环境，其中包括空间内空气的温度、湿度、风速、气体成分、污染物浓度以及空气压力等。

随着工农业生产、建筑、交通、国防等的发展和人民生活水平的提高，人工环境的要求也越来越高，应用领域越来越广，与人的关系也越来越密切。人工环境的分类方法多种多样，不同的目的有不同的分类方法。

按照对象空间（本书专用名词，系指所研究的目标）与自然环境是否连通，可分为密闭空间环境和非密闭空间环境两大类。

典型的密闭空间环境如载人航天器、潜艇以及战时使用的地下防护工程等。在这些密闭空间中，工作人员和设备散发出的各种气体和颗粒都弥漫在这个有限的空间内，无法像地球表面建造的建筑物或局部空间那样可以利用自然（即大气）环境中的清洁新鲜空气，通过通风换气等技术手段保障或维持其内部的空气成分，也不能像自然环境中那样进行生态再生循环，而必须设置合理的人工环境系统，为内部人员的生存、机器设备的正常运行提供所需的空气环境。

非密闭空间的例子很多，如普通的建筑、地铁、地下矿井、火车、汽车等。在这些非密闭空间中，自然环境中的空气会通过渗透进入对象空间之中，空间内的空气参数不仅受到内部人员、设备等的影响，同时也受到自然环境中空气参数的影响。自然环境的影响有时是有利的，如可以直接从自然环境中补充新鲜空气，保持对象空间中的氧气浓度基本不变；有时是不利的，如自然环境中的灰尘会通过渗透使得对象空间的污染物浓度过高，自然环境中的高温、高湿将使对象空间温、湿度的维持付出更多代价等。

按照对象空间的功能，又可分为建筑环境、交通工具环境、军事装备环境、工农业生产环境以及人工检测环境等。

建筑环境是人工环境中最为重要的对象，通常包括商用建筑、住宅建筑及地下建筑等。典型商用建筑包括写字楼、酒店、医院、商场、学校、体育场馆、剧场、车站、机场等；住宅建筑则包括高层住宅、多层住宅、别墅、庄园等；地下建筑种类各异，包括地铁、地下隧道、地下商用建筑、人防工程等。

交通工具环境与人的关系越来越密切，被称为“移动的建筑”，包括各类汽车、火车、飞机、轮船等。

军事装备环境的种类很多,如军舰、战机、坦克、装甲车、潜艇等军用装备中舒适与生命环境的维持,飞船、航天飞机及空间站中微重力条件下的环境营造,各种导弹装备的实验与发射平台环境的维持等。

工农业生产环境包括生产过程中需要控制的工艺环境和生产环境,包括温度、湿度、颗粒物浓度等,如纺织、钢铁、化工、冶金、采矿等;洁净环境是一种特殊的工农业生产环境,包括用于大规模集成电路生产制造的洁净车间、医院手术室、制药和食品加工的GMP (Good Manufacture Practice) 车间、实验动物饲养室等;植物温室是一种典型的农业生产环境,包括蔬菜大棚、阳光温室、植物园等;食品贮运环境也是一种典型的生产环境,包括牛奶、冰淇淋、果蔬等各种冷冻或冷藏食品的生产、运输和销售过程所需要的环境。

人工检测环境的种类也特别多,如模拟各种不同气象条件的人工气候室、用于耐高温或耐低温实验的高低温实验箱、各种精密实验的恒温恒湿环境等。

按照对象空间中主要关注目标的不同,又可分为人居环境、动植物生长发育环境、食品贮运环境、工业生产与实验检测环境等。

人居环境中的关注目标主要是人,因此对象空间的主要目标是营造适合于人的生存、满足人体舒适和健康的空气环境,如各类建筑、交通工具、生命保障系统等。

动植物生长发育环境中的关注目标是动植物,因此对象空间的主要目标是创造适合于动植物生长、发育的空气环境,如实验动物饲养室、植物温室等。

食品的贮运环境的关注目标是食品,因此对象空间的主要目标是创造适合于生产出高质量食品以及保持食品质量的空气环境,如食品加工车间、易腐食品冷藏运输车等。

工业生产与实验检测环境的关注目标是生产的工艺过程,对象空间的主要目标应保持工业生产和检测环境所需要的空气环境,如恒温恒湿车间、人工气候室等。

从上面的例子可以看出,人工环境的覆盖面很广,所涉及的学科和专业种类也很多。但综观人工环境的应用领域,可以发现对空气参数的要求并不像覆盖面那样宽广,主要涉及到空气环境的温度、湿度、风速、气体成分、污染物浓度(包括气体污染物和悬浮颗粒物)和空气压力等六大参数。

第二节 人工环境的发展历程

回顾人工环境的发展历程,可以看到人们对人工环境的认识与研究往往是从对单一的环境控制参数开始的。

在温度控制方面,主要分为采暖和制冷两大部分。

在采暖方面,从西安半坡村挖掘发现,在新石器时代仰韶时期我国就开始使用火炕,而夏、商、周时期使用供暖火炕则在《古今图书集成》中就有记载;西方世界则在古罗马时代(公元1~4世纪)出现了将热空气从床下送入房间的装置。18世纪的英国,由于工业革命的兴起,城市人口急剧膨胀,建筑集中度增加,使用取暖设备的人逐渐增多,采暖逐渐进入人们的生活中。从取暖装置看,经历了从烧柴的壁炉到烧煤的铸铁采暖炉,再到蒸汽、热水集中区域采暖系统的变迁。

在制冷方面,我国劳动人民于公元前已经采用天然冰进行防暑降温了。《诗经》中有:

“二之日凿冰冲冲，三之日纳于凌阴”的诗句。《左传》也有“鉴如缶，大口以盛冰，置食物于中，以御温气”的记载^[1]。《艺文志》则有“大秦国有五宫殿，以水晶为柱拱，称水晶宫，内实以冰，遇夏开放”的记载。在国际方面，1748年，威廉·库伦（苏格兰人，格拉斯哥大学教授）科学地观察到乙醚蒸发会引起温度的下降。1755年，威廉·库伦发明了第一台采用减压水蒸发的制冷机，同时发表了《液体蒸发制冷》一文，开创了人工制冷的新纪元，因此1755年可以看作人工制冷史的起点^[2]。表1-1中显示了人工制冷的初期发展历程。

人工制冷最初的发展 表 1-1

时 间	事 件
1755 年	William Cullen 发表《液体蒸发制冷》论文
1805 年	提出蒸气压缩制冷方式
1834 年	做出蒸气压缩制冷机械模型
1850 年	进行了较多的蒸气压缩制冷实验
1867 年	San Antonio, D. Holden 和 J. Muhl 建成蒸汽锅炉驱动的制冷装置
1875 年	林德制造出第一台甲醚压缩机
1876 年	林德制造出氨压缩机

截至1875年，产生了四种制冷机：空气膨胀式制冷机、（氨）吸收式制冷机、蒸发式制冷机、水减压蒸发式制冷机，拉开了人工制冷的序幕。

在湿度控制方面，早在2000多年前中国人就已经采用木炭来吸湿。湖南长沙马王堆出土的汉墓就有木炭，被认为是墓主当时用木炭来吸收墓室中的潮气的。可见，除湿在我国有着悠久的历史。1911年Carrier给出湿空气图表，揭开了湿度控制工业的序幕。随着20世纪初纺织工业的发展，喷水室喷雾加湿开创了空气调节湿度控制的先河。随着制冷技术的进一步实用化，冷水喷淋、冷凝除湿在工业生产中得到了广泛的应用。近几十年来，人们对除湿和加湿的研究和应用又有了新的发展。1955年Lof就用三甘醇溶液作为除湿剂进行太阳能除湿实验，之后各国的研究人员都做了大量的工作，在除湿方面进行了有益的探索；近50年来，随着吸附技术的发展，吸附剂实现了重复再生使用，在空气除湿中受到了重视；近20年来固体转轮除湿也有了很大的发展；近年来，随着新工艺、新材料与膜分离技术的发展，溶液除湿^[3]、膜法除湿也越来越受到人们的关注^[4]。而在加湿方面，干蒸汽加湿、电极式加湿、超声波加湿等技术也得到很大发展。

在空气成分控制方面，人们很早就认识到通风的重要性，但只停留在感性认识的层面上。随着空间密闭性能的提高，人们认识到通风可以维持合适的氧气浓度和污染物浓度。在人工环境中，气调贮存保鲜是空气成分控制的典型应用。通过使用选择性的渗透膜，可以保持气调库中氧气浓度低于外界环境，CO₂浓度高于外界环境，从而保持水果、蔬菜新鲜且不腐烂。早在20世纪40年代，美国便开始兴建气调冷藏库用于商业贮藏苹果，获得明显效益^[5]。各国相继效仿，使得气调技术在食品保鲜方面得到迅速的发展。但人为地改变空气成分是以空气分离技术突破为先导的。1895年，德国林德利用焦耳-汤姆逊节流效应制成世界第一台3L/h高压空气液化装置，液化空气成功，并投入工业生产，建立了

“林德节流液化循环”。1902年,林德设计了世界第一台 $10\text{m}^3/\text{h}$ 高压节流、单级精馏制氧机,1903年制造出氧,可称为世界空分制氧的第一个里程碑,林德成为世界制氧机的鼻祖。1902年,法国克劳特发明对外做功来降低温度的活塞式膨胀机,建立了有名的“克劳特膨胀液化循环”。1924年,德国法兰克尔提出在大型空分设备上采用金属填料的蓄冷器,代替一般的热交换器,林德公司1926年开始在空分设备中应用,这是大规模气体液化与分离技术方面的一个重要进展^[6]。此后空气液化与分离技术在工业生产中开始大量应用,为改变空气气体成分提供了基础。

在污染物浓度控制方面,在人类诞生后,尤其是使用火以来,人类就已经逐步开始关注空气污染现象。早在公元1300年,爱德华一世宣布禁止在开会期间燃烧生煤;1661年,John Evelyn写了《伦敦空气污染的坏处及建议管制方法》一书;1866年,第一篇讨论空气污染对健康影响的论文发表^[7]。随后人们对污染物危害的认识越来越清楚,制定出一系列控制污染物浓度的法律。

在空气污染控制技术方面,1668年英国学者加斯特洛提出避免煤烟危害的技术措施。1809年英国采用了石灰乳脱除煤烟中的硫化氢,1849年开始采用氧化铁脱除硫化氢。1897年日本建造了煤烟脱硫塔,烟气经石灰乳脱硫后经高烟囱排放。20世纪60年代以后,空气污染控制技术有了较大的发展,除尘、脱硫、脱氮等实用技术在实际工作中发挥了重要的作用。我国自1973年开始研究和使用空气污染控制技术,虽然起步较晚,但目前的发展步伐较快^[8]。

在悬浮颗粒控制方面,人们最早对空气中悬浮颗粒的认识是对室外空气中的悬浮颗粒,即大气尘。早期关于大气尘的概念是指大气中的固态粒子,即真正的灰尘;后来又有人(如德国的荣格Junge)提出大气尘是粗分散气溶胶的概念,但这一概念也是不完全的。大气尘的现代概念不仅是指固体尘,而是既包含固态微粒也包含液态微粒的多分散气溶胶,这就是广义的大气尘。而狭义的大气尘实专指大气中的悬浮微粒,粒径小于 $10\mu\text{m}$ 。在过去,我国《大气环境质量标准》中将 $10\mu\text{m}$ 以下的悬浮微粒称为飘尘,现改称为可吸入微粒。

空气过滤器是控制室内悬浮颗粒的主要手段。1942年在第二次世界大战中,为了除去放射性微粒,美国研制出了折叠形滤纸高效过滤器,并在1958年出现于市场。随后一系列用于控制环境中悬浮颗粒的空气净化设备相继研制成功。1961年第一个层流洁净室在美国出现^[9],是空气洁净技术一个重要的里程碑。第一个生物洁净室于1966年1月在美国建成,用于医院的手术室。诞生于20世纪50年代末60年代初的我国的悬浮颗粒控制技术,也取得了很大的发展,尤其是在核工业、航天工业、电子工业、精密机械工业中得到了广泛的应用,特别是近年来在我国集成电路生产、特殊疾病的手术和治疗护理以及制药行业推行质量管理标准方面发挥了重要作用,成为生产活动和科学实验现代化的标志之一^[9,10]。

在空气压力控制方面,人们对大气压力控制的研究和应用多发生于20世纪。在航空航天方面,1961年4月,世界上第一艘载人飞船成功发射,航天员加加林在人类历史上首次登上太空绕地球飞行 108min ^[11],这标志着大气压力控制系统在航天器座舱内的成功应用。此后,为了试验航天和军工产品在不同地区的适应性,一批可实现压力变化的舱体和装备试验环境诞生,为军事、交通和工业生产的发展发挥了重要作用。

随着人类科技的进步和社会生产力的提高,各项环境参数的控制技术对人工环境技术的发展起到了巨大推动作用,使得人工环境技术从以前对六大参数的单独控制逐步过渡到目前对各种参数进行综合控制,为更好地营造和实现人工环境奠定了基础。

第三节 为什么要学习人工环境学

欲营造满足要求的人工环境,必须有营造人工环境的系统,通常称之为人工环境系统。

传统上,人们通常使用采暖系统、通风系统和空调系统来代表营造室内空气环境的系统。采暖系统通常仅关注温度,通风系统通常关注氧气和污染物浓度(有时也涵盖温度),而空调系统理论上讲则应既涵盖温度、湿度,又涵盖污染物浓度的控制,但实际上有很多系统仅关注降温 and 除湿(有的甚至除湿都未包括,我国南方很多地方简称“冷气”就是这种现象的体现)。当前有些空调专家提出应将采暖、通风和空调系统合并,统称为空调系统,这虽然有助于解决采暖系统、通风系统和空调系统的分类与协调问题,但仍不能彻底解决室内空气环境气体成分、污染气体、悬浮颗粒物和空气压力的问题。因此,本书将不再按传统的采暖系统、通风系统和空调系统来进行人工环境系统的划分,而仅将它们作为人工环境系统的一种特殊形式。

人工环境系统由控制温度、湿度、风速、气体成分、污染物浓度、空气压力的装置和设备组成。当人工环境种类不同时,营造环境的设备将会有很大的差异,但营造人工环境的系统构成和方法却是类似的。

示例一:普通地面建筑通常采用制冷设备制取冷水,用冷水对空气进行冷却、除湿,送入对象空间中,实现室内温、湿度的控制;而在飞机中则采用空气膨胀制冷。二者制取冷风的途径完全不同,但都采用了制取冷风送入对象空间中,实现空间中温、湿度的控制。

示例二:热带地区采用制冷设备制取干爽的凉风送入地下矿井中,用于控制矿井操作面附近的空气温度和湿度;而寒带地区则可以直接将地面上的空气送入矿井操作面,实现空气温度和湿度的控制。二者需要的设备完全不同,但却均采用了送干爽凉风控制操作面温度和湿度的方法。

示例三:对象空间中有污染气体源存在,而在自然环境的空气中该污染气体浓度很低,工程A采用直接将自然环境中的空气通入对象空间,从而把空间中污染物的浓度控制在允许值以下;工程B则采用一套空气处理系统,把从空间取过来的空气中的污染物分解成无害气体,再送入对象空间,从而把空间中污染物的浓度控制在允许值以下;工程C则在空间内安装净化器,该净化器采用活性炭吸附空气中的污染物,通过空气的不断循环将空间中的污染物浓度控制在允许值以下。三个工程所用设备完全不同,但均采用稀释方法实现了空间中污染物的浓度控制。

由于各种应用对象的差异特别大,各种空气处理设备的种类特别多,不同对象最适合的设备必须考虑应用对象的工艺特点,因地制宜地进行选择,因此不可能在一本书中把各种对象的设备都介绍清楚。但服务于不同人工环境对象的系统和方法却有很多相似之处,这些共性的东西就是人工环境学的研究内容。

所谓人工环境学，就是研究营造不同人工环境的方法的科学。由于人工环境包括温度、湿度、风速、气体成分、污染物浓度、空气压力等内容，因此人工环境学将重点介绍创造所需温度、湿度、风速、气体成分、污染物浓度、空气压力的方法。

由于不同的参数可以由同一系统营造，也可以由不同的系统营造，通常，我们把营造人工环境的各个子系统独立对待。在一定条件下如果两个或多个子系统可以合并时，整个人工环境系统将会得到简化。图 1-1 是一般对象空间的人工环境系统示意图，通常由温度控制系统、湿度控制系统、风速控制系统、气体成分控制系统、污染气体控制系统、悬浮颗粒控制系统、大气压力控制系统等七大系统所组成。实际工程中，人们似乎往往很少看到七大系统都齐全的人工环境系统，这并不是因为某些系统不必要，而是在一些情况下，有些系统退化成没有任何设备的系统了。这一点可以从下面的示例中看出。

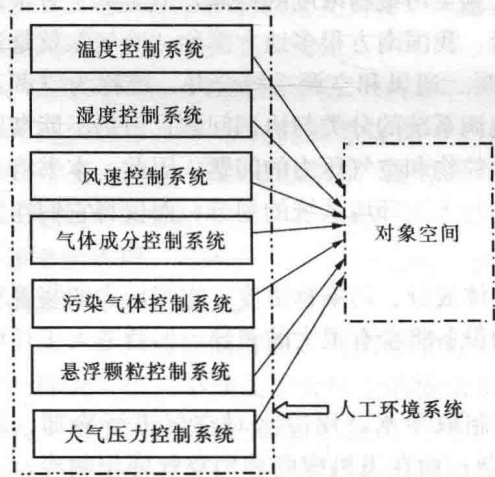


图 1-1 一般对象空间人工环境系统示意图

了颗粒物浓度控制，通过调节送风和排风量的大小实现了室内风速和大气压力控制。

示例二：地下防护工程在平时由通风系统将处理后的空气送入地下，并由排风系统将污浊的空气排出；当生化袭击发生时，防护工程与自然环境的通风被切断，而由其内部的环境控制与生命保障系统提供人员和设备安全、保证战斗力的空气环境。

示例三：载人飞船在太空飞行时，环境控制与生命保障系统将为飞船内部提供安全、舒适的空气环境。事实上，所谓的环境控制与生命保障系统就是由温度控制系统、湿度控制系统、风速控制系统、气体成分控制系统、污染气体控制系统、悬浮颗粒控制系统、大气压力控制系统等七大系统所组成的集成系统。

我们学习人工环境学，就是要掌握七大系统的实现方法。通过学习这些系统的实现方法，就可以结合服务对象的工艺特点，提出节约资源和能源、提高保障品质的人工环境系统解决方案，更好地为工艺对象服务。

第四节 本书内容安排及特点

我们学习人工环境学的目的，最终是为关注的对象服务。因此，在对人工环境进行分

类时,我们在书中按照对象空间中主要关注目标的不同进行分类,将人工环境分为人居环境、动植物生长发育环境、食品贮运环境、工业生产与实验检测环境等。此外,由于人的生存环境差异很大,人工环境的目标通常是营造满足人体舒适的空气环境,因此本书不讲人的极限生存环境。事实上,本书讲述的方法可以方便地用于极限生存环境之中。

全书共分为四篇:第一篇,人工环境的需求参数;第二篇,人工环境的影响因素;第三篇,人工环境的营造方法;第四篇,人工环境的分析方法。

第一篇主要介绍不同类型人工环境需要什么样的空气参数,共分四章(即第二到第五章),分别介绍人居环境、动植物生长发育环境、食品贮运环境、工业生产与实验检测环境的需求参数,为人工环境的营造指明了方向。

第二篇主要介绍影响人工环境的因素,共分三章(即第六到第八章)。在第六章中,针对传统气象参数和设计日概念的局限性,提出了广义气象参数和典型设计周期的概念;在第七章中,介绍了广义围护结构的热、湿、气体组分传递规律与气密性;第八章介绍了对象空间的内扰。这些内容可用于人工环境的定性分析,也为人工环境的定量分析与评价提供了基础。

第三篇主要介绍人工环境的营造方法,共分两章(即第九章、第十章)。第九章重点介绍对象空间内空气成分的制备与空气处理方法;第十章介绍了对象空间内空气温度、湿度、污染物浓度、压力、气体组分以及风速等参数的保障原理和技术措施,为人工环境的营造提供了具体的实现方法。

第四篇主要介绍人工环境的分析和评价方法,共分四章(即第十一到十三章)。第十一章介绍人工环境的评价指标,用于指导人工环境的分析与评价;第十二章介绍人工环境的集总参数分析方法;第十三章介绍人工环境的分布参数分析方法,并展示了两个人工环境评价的典型案例。

上述四个部分既相互独立,又具有内在联系。本书的目的不是掌握各种不同类型的人工环境系统,而是各种人工环境的分析与营造方法。这些方法不仅适用于常见的建筑环境,还可适用于其他人工环境。由于人工环境包含的内容很多,本书不可能充分结合各种不同人工环境的特点分析各自的系统,只能概括介绍典型的处理方法。在将这些方法组合成具体的解决方案时,还必须充分结合工艺对象的特点,而这部分内容就只能在其他各种专业书籍中介绍了。

参 考 文 献

- [1] 石文星,田长青,王宝龙编著. 空气调节用制冷技术(第五版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [2] 邱忠岳译. 世界制冷史[M]. 中国制冷学会,2001.
- [3] 刘晓华,江亿,张涛著. 温湿度独立控制空调系统(第二版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [4] 张立志编著. 除湿技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [5] 孙企达编著. 真空冷却气调保鲜技术及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
- [6] 顾福民. 国内外空分发展回顾、现状与展望[J]. 抗氧科技,2005,(1): 1-20.
- [7] Henry C. Perkins 著,黄正义,黄炯昌译. 空气污染学[M]. 台湾:科技图书股份有限公司,1977.

[8] 李广超主编. 大气污染控制技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.

[9] 许钟麟著. 空气洁净技术原理 [M]. 上海: 同济大学出版社, 1998.

[10] 吴植娉, 顾闻周, 王君山. 洁净室洁净度测试技术发展的回顾与展望 [J]. 建筑科学, 1987, (4): 37-40.

[11] 戚发轫主编. 载人航天器技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.

第一篇 人工环境的需求参数

人工环境系统是为对象空间（本书专用名词，系指所研究的目标）服务的，要创造满意的人工环境，首先必须了解需要什么样的人工环境。

人工环境的种类很多，本篇根据服务对象的特点，分别从人、动植物、食品、生产和检测四个方面阐述对温度、湿度、风速、气体成分、污染气体、悬浮颗粒物和大气压力的要求，为人工环境的创造指明方向。

由于人类的生存环境变化范围很大，人工环境的目标主要是营造舒适、健康的空气环境，因此人类对人工环境的需求主要针对正常生理需求的环境，不涉及极限生存环境等。

本篇共分四章。第二章介绍人类舒适、健康所需要的人工环境，第三章介绍动植物生长、发育所需要的人工环境，第四章介绍食品贮存和运输所需要的人工环境，第五章则介绍工农业生产和检测所需要的人工环境。