

净化空调

张吉光 等 编著

国防工业出版社

National Defense Industry Press <http://www.ndip.cn>

净化空调

张吉光等 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

净化空调/张吉光等编著. —北京: 国防工业出版社,
2003.9

ISBN 7-118-03229-8

I. 净... II. 张... III. 空气净化—空气调节设备
IV. TB657.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 066646 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15½ 354 千字

2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:24.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

本书系统地介绍了净化空调工程的特点、要求、设计、施工方法及节能和运行管理方面的内容,主要侧重于实际应用,针对暖通空调(建筑环境与设备工程)专业的学生及设计新手,使他们能从整体上把握净化空调工程的特点,即主要目的是使读者读完本书,能够逐步从事空气净化领域的空调设计、施工及运行管理。

本书以具备《工业通风》、《空气调节》的基本知识为基础,对一般空调中的基本概念如冷负荷、热负荷、焓湿图等不再介绍。本书可作为高等院校相关专业的“净化空调”或“空气洁净技术”课程的教材,亦可供空气净化(空气洁净)领域的暖通工程技术人员参考。

本书由张吉光撰写第1、5、7章及第6章的1节~4节,杨晚生撰写第2、4、9章,王海英撰写第6章的5~10节及第8章,王军英撰写第3章,付海明撰写第10章。

美国环境科学委员会于2001年11月24日正式宣布,取消并废除洁净室的美国联邦标准《Fed—Sta—209E》,在美国等效使用“ISO14644—1”洁净室等级的国际标准。我国1984年发布了《洁净厂房设计规范》(GBJ73—84),在2001年对GBJ73—84进行修订,发布了新的《洁净厂房设计规范》(GB50073—2001),GB50073—2001等效采用国际标准ISO14644—1《洁净室及其相关受控环境,第一部分——空气洁净度等级》的洁净度等级。

本书的内容与国家标准《洁净厂房设计规范》(GB50073—2001)国家标准《医院洁净手术部建筑技术规范》(GB 50333—2002)、卫生行业标准《微生物和生物医学实验室生物安全通用准则》(WS233—2002)和《通风与空调工程施工质量验收规范》(GB 50243—2002)一致,并按新规范的要求编写。

在本书中,提到洁净度等级时,绝大部分按《洁净厂房设计规范》(GB50073—2001)的洁净度划分等级(即ISO1~9级),为了方便,有些场合(如涉及制药行业),有时仍利用100级、1000级、1万级、10万级、30万级、100万级的习惯叫法,因为有的级别如30万级在《洁净厂房设计规范》(GB50073—2001)中没有对应的级别。

本书共分10章,第1章介绍洁净室、净化空调等基本概念、基本知识,介绍净化空调的基本要求,为掌握以后各章的内容打下基础。第2章介绍气流组织的分类、单向流和非单向流的作用原理、设计原则、主要特点、设计要点,并介绍了非单向流气流组织的设计计算。第3章介绍净化空调系统的各种形式及特点,空调系统的划分原则,并简述新风处理要求,简要介绍了净化空调系统的常用附件。第4章介绍空调净化设备,包括空气过滤器、过滤器送风口及风机过滤器单元、洁净工作台、自净器、洁净棚(层流罩)、净化单元、装配式洁净室、空气吹淋室、净化空调机、空气处理机组、净化新风机组等,重点介绍空气过滤器的分类和空气过滤器效率的试验方法。第5章介绍空气净化对建筑方面的要求,如对平面布局及安全疏散、人身与物料净化、技术夹层与竖井、室内装修及装修材料的要求。第6章介绍净化空调工程设计所需要的一些资料,如室内外计算参数,并介绍空调负荷、新风量、送风量的计算方法和净化空调系统的空气处理过程,以及净化空调设备及系统的选择和注意事项,室内洁净度的校核计算,同时给出

IV

了净化空调设计计算的一般步骤。本章是净化空调设计的基础。第7章~第9章分别介绍了一般工业洁净室、一般生物洁净室和生物安全洁净室净化空调的特点、设计方法及设计实例。第10章介绍净化空调的施工、调试、监测、运行和管理方面的内容,净化空调系统是否能正常运行,洁净室内的参数是否达到要求与此密切相关。本书内容集中、覆盖面广、实用性强。

由于作者水平所限和时间的原因,书中可能有偏颇或错误之处,望同行、读者指正。

编者

2003年3月

目 录

第1章 净化空调的基本知识	1	2.4 洁净隧道式气流组织	27
1.1 净化空调的特点及要求	1	2.4.1 洁净隧道式气流组织的基本形式	28
1.1.1 基本概念	1	2.4.2 洁净隧道的具体形式	28
1.1.2 净化空调与一般空调的区别	2	2.4.3 影响洁净隧道性能的因素	30
1.2 空气净化的一般措施	3	2.5 送回风口	30
1.3 洁净室的分类	4	2.5.1 送风口的形式	30
1.3.1 按用途分类	4	2.5.2 回风口	39
1.3.2 按气流流型分类	5	第3章 净化空调系统	41
1.4 空气污染物及其特点	5	3.1 集中式净化空调系统	41
1.4.1 微粒 (particle size) 的分类	5	3.1.1 集中式全空气空调系统及分类	41
1.4.2 微粒的大小及粒径分布	6	3.1.2 集中式净化空调系统的形式	43
1.4.3 大气尘及其特性	8	3.2 分散式净化空调系统	45
1.4.4 空气微生物	9	3.3 半集中式净化空调系统	46
1.5 空气洁净度等级	10	3.3.1 具有热湿处理能力的末端净化空调系统	46
1.6 噪声控制要求及控制措施	15	3.3.2 单纯具有净化作用的末端系统	48
1.7 洁净室的气密性要求	16	3.3.3 风机过滤器单元 (FFU) 送风系统	49
1.8 对防火和防排烟的要求	16	3.4 净化空调系统的划分原则及分类比较	49
第2章 净化空调的气流组织	18	3.4.1 净化空调系统与一般空调系统的区别	49
2.1 一般原则	18	3.4.2 净化空调系统的划分	50
2.2 非单向流式气流组织	18	3.4.3 净化空调系统的分类比较	51
2.2.1 作用原理	18	3.5 净化空调系统的形式选择	51
2.2.2 设计原则	18	3.6 净化空调系统的相关附件	52
2.2.3 主要特点	18	3.6.1 一般原则	52
2.2.4 设计要点	19	3.6.2 新风口与排风口	53
2.2.5 非单向流式气流组织的主要形式及特点	21	3.6.3 风道	53
2.2.6 特性指标	22	3.6.4 风机	55
2.3 单向流式气流组织	22	3.6.5 管件及阀门	56
2.3.1 作用原理	22	3.6.6 余压阀	57
2.3.2 设计原则	22	3.7 排风系统	57
2.3.3 主要特点	22	3.7.1 排风方式	57
2.3.4 设计要点	24	3.7.2 排风系统设计要点	58
2.3.5 单向流式气流组织的形式及主要特点	25	3.8 新风处理	58
2.3.6 特性指标	27		

3.9 正压控制	59	5.5.2 特殊生物洁净室对材料选择和施工工艺的要求	94
3.9.1 回风口控制	59	5.6 气密性措施	96
3.9.2 余压阀控制	59	5.6.1 保障气密性的必要性	96
3.9.3 差压变送器控制	59	5.6.2 门窗的气密性措施	96
3.9.4 微机控制	59	5.6.3 墙板、吊顶板的气密措施	98
第4章 空调净化设备	61	5.6.4 高效过滤器、灯孔等的安装及密封构造	98
4.1 空气过滤器	61	第6章 净化空调工程设计	101
4.1.1 空气过滤器和化学过滤器的过滤机理	61	6.1 室内外计算参数的确定	101
4.1.2 空气过滤器的性能指标	63	6.1.1 大气尘浓度	101
4.1.3 空气过滤器的分类	65	6.1.2 室内尘源及发尘量	101
4.1.4 空气过滤器效率的试验方法	66	6.1.3 室内外的发菌量	102
4.1.5 影响空气过滤器效率的因素	69	6.1.4 室内空气的洁净度和微生物粒子的控制级别	103
4.1.6 空气过滤器的选用及其他	70	6.1.5 室内的温度和湿度	104
4.2 过滤器送风口及风机过滤器单元	70	6.2 空调负荷的确定	106
4.3 洁净工作台	71	6.3 新风量的确定	107
4.4 自净器	73	6.4 送风量的确定	109
4.5 层流罩	73	6.4.1 根据热、湿负荷确定洁净室送风量	109
4.6 净化单元	74	6.4.2 根据空气洁净度等级确定洁净室送风量	110
4.7 装配式洁净室	75	6.4.3 根据室内发尘量计算送风量	110
4.8 空气吹淋室	76	6.4.4 送风量理论计算式的经验修正	113
4.9 物品传递窗	77	6.5 集中式净化空调系统的空气处理	114
4.10 净化空调设备	78	6.5.1 集中式净化空调系统的空气处理方案	114
4.10.1 净化空调机	79	6.5.2 夏季设计供况空气处理过程	115
4.10.2 空气处理机组	80	6.5.3 冬季设计工况空气处理过程	117
4.10.3 净化新风机组	81	6.5.4 二次回风不经过空调机风机的空气处理过程	119
第5章 空气净化对建筑方面的要求	82	6.6 分散式净化空调系统的空气处理	119
5.1 平面布局及安全疏散	82	6.7 净化空调设备及系统的选择	121
5.1.1 对总体布局及平面布局的要求	82	6.7.1 空调设备的选择	121
5.1.2 防火与安全疏散	84	6.7.2 净化空调系统选择及注意事项	122
5.2 人身与物料净化的要求	85	6.7.3 空气过滤器的选择及注意事项	126
5.2.1 人身净化	85	6.7.4 风量调节阀选择注意事项	130
5.2.2 缓冲室	86	6.8 室内洁净度的校核	130
5.2.3 物料净化	87	6.8.1 乱流洁净室含尘浓度的计算	131
5.3 管线组织、技术夹层与竖井	88	6.8.2 单向流洁净室含尘浓度计算	133
5.3.1 管线组织	88		
5.3.2 技术夹层、竖井	91		
5.4 机房位置	92		
5.5 室内装修及材料	93		
5.5.1 对围护结构材料选择和施工工艺的要求	93		

6.8.3 不均匀分布时的含尘浓度计算	133	8.4.5 片剂生产的净化措施	173
6.9 洁净室自净时间	133	8.5 化妆品和食品加工用生物洁净室	178
6.9.1 乱流洁净室自净时间	134	8.5.1 特点	178
6.9.2 单向流洁净室的自净时间	134	8.5.2 消毒灭菌	178
6.10 净化空调设计计算的一般步骤	134	8.6 实验动物设施	179
第7章 一般工业洁净室的空调净化	136	8.6.1 实验动物的概念	179
7.1 洁净室的构造	136	8.6.2 实验动物设施的形式	179
7.1.1 空气过滤器顶棚系统	136	8.6.3 设计参数	180
7.1.2 架空地板系统	137	第9章 生物安全洁净室的空调净化	184
7.1.3 洁净室分隔系统	137	9.1 生物安全实验室的防护分类与要求	184
7.2 洁净厂房的送风模式	137	9.1.1 医学微生物的分类和生物安全实验室的防护(隔离)要求	184
7.2.1 空调送风模式	138	9.1.2 物理隔离	189
7.2.2 几种送风模式的比较	140	9.1.3 微生物安全实验室安全防护的综合措施	191
7.3 微电子洁净厂房的空调净化	143	9.2 生物安全柜	192
7.3.1 微电子洁净厂房的特点	143	9.2.1 I级安全柜	193
7.3.2 微电子洁净厂房空调负荷的特点	147	9.2.2 II级安全柜	193
7.3.3 微电子洁净厂房的气流组织和送风量	147	9.2.3 III级生物安全柜	194
7.3.4 对公用设施系统的要求	148	9.2.4 系列安全柜	195
7.3.5 空气处理系统	149	9.3 生物安全洁净室的空气净化要求	197
7.3.6 冷冻水和热水系统	151	9.3.1 空气洁净度等级	198
7.3.7 空气过滤器的选用	151	9.3.2 送排风和换气次数	198
7.4 风机散热量问题	151	9.3.3 室内静压	198
7.5 应用实例	153	9.3.4 过滤器	198
7.5.1 集中空调净化系统	153	9.3.5 排风机和排风处理	199
7.5.2 空调器小系统	154	9.4 生物安全洁净室的空调实例	199
第8章 一般生物洁净室的空调净化	156	9.4.1 应注意的几个问题	199
8.1 洁净室内的微生物	156	9.4.2 空调实例	200
8.1.1 微生物的污染	156	第10章 净化空调的施工和运行管理	204
8.1.2 生物洁净室的空气处理措施	157	10.1 净化空调的施工	204
8.2 一般生物洁净室的应用	159	10.1.1 净化空调系统施工安装的特点	204
8.3 医院用生物洁净室	160	10.1.2 施工安装中应注意的问题	205
8.4 制药用生物洁净室	167	10.1.3 正确的施工安装	206
8.4.1 药品生产的洁净度及换气次数要求	168	10.2 净化空调的调试及检测	207
8.4.2 药品生产环境的温度、湿度及其他要求	168	10.2.1 净化空调系统及洁净室的调整测定内容	207
8.4.3 空调净化方面注意事项	169	10.2.2 洁净度的检测及评价	209
8.4.4 针剂和瓶装输液生产的净化措施	170	10.2.3 风量或风速测试	211
		10.2.4 室内风速均匀性及气流流型的	

测定	211	节能	219
10.2.5 室内空气温度和相对湿度的检测	213	10.4.1 洁净室的投资	219
10.2.6 已安装过滤器泄漏测试	213	10.4.2 净化空调系统的节能	220
10.2.7 室内浮游菌和沉降菌的检测	213	附录 A 一般空气过滤器的规格性能	222
10.2.8 室内噪声的检测	214	附录 B 高效空气过滤器的规格性能	226
10.2.9 末端过滤器更换后的综合性能检测	214	附录 C 化学过滤器的规格性能	230
10.3 净化空调的运行管理	215	附录 D 高效过滤器送风口的规格性能	233
10.3.1 净化空调系统对维护管理的要求	215	附录 E 净化工作台的规格性能	234
10.3.2 净化空调的运行管理的日常工作	215	附录 F 空气自净器与层流罩的规格性能	235
10.3.3 净化空调运行管理制度	217	附录 G 余压阀的规格与技术参数	237
10.4 洁净室的投资与净化空调系统的		参考文献	238

第 1 章 净化空调的基本知识

空气净化系指去除空气中的污染物质、控制房间或空间内空气达到洁净要求的技术(亦称为空气洁净技术)。就室内的空气净化而言,可分为两方面:

(1)围绕人体健康为中心的空气净化。这也就是近些年来空调行业十分关注的所谓室内空气品质问题(IAQ indoor air quality),由于化学合成建筑材料、胶粘剂、办公或生活用的各类电器的广泛使用,散发至室内的各种有机挥发物日益增多,以及人员携带并散发到室内的细菌、尘埃和吸烟等所引起的空气污染,已被证明在较封闭的空调大楼内,可能引发室内人员多种不适症状的产生以及传染疾病的蔓延,其表现为感冒、过敏、风湿痛、黏膜干燥、紧张、烦躁、注意力难以集中、头疼等。在有空调的房间里,气流方向经常变换,气流速度增加,空气热量不断变动这些因素干扰了人体的嗅觉,削弱了人体对空气中病菌、过敏原和异味的反应。由于空调的存在,房间内湿度太低,会对人的眼、鼻等处的黏膜产生不利作用,导致黏膜病。空调系统及空气冷却设备适合病菌和病毒生存繁殖,病菌和病毒被空调送风带出来,易于引发感染。

(2)以工业生产为目的空气净化,其洁净度主要是满足产品及物品质量管理的要求。早在 20 世纪 60 年代初,我们国家电子工业等在洁净技术方面已经取得了一定的成绩。现代科学与工业生产技术的发展,例如,电子、航天、医药、精密机械、化工等行业,尤其是半导体集成电路的迅速发展,对空气洁净技术提出了更高的要求,以保证生产过程和产品质量的高精度、高纯度及高成品率。现代生物医学的发展,提出了空气中细菌数量的控制要求,以保证医药、制剂、医疗及食品等不受感染和污染,对保证人体健康具有重要意义。例如,在药品生产过程中由于生产环境达不到所需的洁净度,药品可能被微生物或杂质所污染,而发生产品不合格的情况。为保证生产环境达到工艺所要求的洁净度,包括空调送风系统、建筑装修和维护管理等在内的各相关方面采取各种相应的综合措施,才能保证空气净化发挥作用。本书只介绍(2)的有关内容。

1.1 净化空调的特点及要求

1.1.1 基本概念

净化空调是空调工程中的一种,它不仅对室内空气的温度、湿度、风速有一定要求,而且对空气中的含尘粒数、细菌浓度等均有较高的要求。因此它不仅对通风工程的设计施工有特殊要求,而且对建筑布局、材料选用、施工工序、建筑方法、水暖电及工艺本身的设计、施工均有特殊的要求与相应的技术措施。

衡量房间的洁净程度,指的是室内空气单位体积内含有不大于某种尺寸尘粒个数的多少,少的就洁净,多的就不洁净。

洁净度是指空气的洁净程度,通常是以室内单位体积空气含有一定大小粒径微粒的个数(或质量)来确定的。

虽然室内窗明几净,到处看不到灰尘,但这只是平常生活中衡量干净与否的标准,尽管它与洁净房间的洁净有关联,但是不能说这个房间很洁净,因为这是两种不同的概念。表面很干净,室内空气在未经过特殊处理前,仍然可能是很不干净的。

洁净室是指经过空调净化及建筑内装饰等特殊处理,室内空气含尘浓度达到规定要求的密闭空间。这个空间可以用于厂房、实验室、手术室、病房等不同的用途。

空调净化技术即空气洁净技术,由处理空气的空气净化设备、输送空气的管路系统和用来进行生产的洁净环境(洁净室)三大部分构成。

净化空调的过程为:由送风口向室内送入干净空气,室内产生的尘菌被干净空气稀释后强迫其由回风口进入系统的回风管路,在空调设备的混合段和从室外引入的经过过滤处理的新风混合,再经过空调机处理后又送入室内。室内空气如此反复循环,就可以在相当一个时期内把污染控制在一个稳定的水平上。作为空气洁净技术主体的洁净室具有以下三大特点:

(1)洁净室是空气的洁净度达到一定级别的可供人活动的空间,其功能是能控制微粒的污染。洁净室的洁净不是一般的干净,而是达到了一定的空气洁净度级别。

(2)洁净室是一个多功能的综合整体。首先需要多专业配合——建筑、空调、净化、纯水、纯气等。以纯气来说,工艺用气体也是要经过净化处理的。例如一家一次性注射器生产厂,在注塑车间由于设计的工艺用压缩空气没有经过特殊的净化处理,每次产品成型时,机器排出大量未净化的压缩空气,使车间内的空气洁净度不能满足要求,污染成型的产品。所以,与药品直接接触的干燥用空气、压缩空气和惰性气体应经净化处理,符合生产要求。其次需要对多个参数进行控制,例如:空气洁净度、细菌浓度以及空气的量(风量)、压(压力)、声(噪声)、光(照度)等。

(3)对于洁净室的质量来说,在重要性方面,设计、施工和运行管理各占 1/3,也就是说洁净室本身也是通过从设计到管理的全过程来体现其质量的。

1.1.2 净化空调与一般空调的区别

净化空调与一般空调的区别主要表现在以下几个方面:

(1)主要参数控制。一般空调侧重温度、湿度、新鲜空气量和噪声的控制,而净化空调则侧重控制室内空气的含尘量、风速、换气次数。在温、湿度有要求的房间,温、湿度也是主要控制参数。对生物洁净室而言,菌含量是主要的控制参数之一。

(2)空气过滤手段。一般空调有的只有粗效一级过滤,要求较高的是粗效中效两级过滤处理。而净化空调则要求三级过滤,即粗、中、高效三级过滤,或粗、中、亚高效三级过滤,生物洁净室除送风系统有三级过滤外,为了消除动物的特殊臭味及避免对环境的污染,在排风系统依据不同情况尚设二级高效过滤或滤毒吸附过滤。

(3)室内压力要求。一般空调对室内的压力要求不严。而净化空调为了避免外界污染空气的渗入或不同生产车间不同物质的相互影响,对不同洁净区的正压值均有不同的要求。在负压洁净室内尚有负压度的控制要求。

(4)为了避免被外界污染,净化空调系统材料和设备的选择、加工工艺、加工安装环境、设备部件储存环境等,均有特殊的要求。这区别于一般空调系统。

(5)对气密性的要求。一般空调系统,对系统的气密性、渗气量虽有要求,但洁净空调系统的要求要比一般空调系统高得多,其检测手段、各工序的标准均有严格措施及测试要求。

(6)对土建及其他工种的要求。一般空调房间,对建筑布局、热工等有要求,但对选材及气

密性要求不是很严格。而净化空调对建筑质量的评价除一般建筑的外观等要求外,则侧重于防尘、防起尘、防渗漏。在施工工序安排及搭接上要求很严格,以避免产生裂缝造成渗漏。它对其他工种的配合、要求也很严格,主要均集中在防止渗漏,避免外部污染空气渗入洁净室及防止积尘对洁净室的污染。

“净化”、“密闭”是净化空调的两个基本要求,充明确净化空调的设计、施工组织、技术管理与一般空调的差异,才能达到精心设计、精心管理、精心施工,确保工程质量达到要求。

1.2 空气净化基本措施

空气净化一方面是送入洁净空气对室内污染空气进行稀释,另一方面是加速排出室内浓度高的污染空气。为保证生产环境或其他用途的洁净室所要求的空气洁净度,需要采取多方面的综合措施才能达到目标。这些综合措施包括下列几个方面。

(1)控制污染源,减少污染发生量。这主要涉及到发生污染的设备的设置与管理 and 进入洁净室的人与物的净化。即尽量采用产生污染物质少的工艺及设备,或采取必要的隔离和负压措施,防止生产工艺产生的污染物质向周围扩散;减少人员及物料带入室内的污染物质。例如,固体制剂的许多工艺中,粉体在干燥状态下进行处理,必然会产生粉尘。为防止其扩散和污染空气,产尘部位常采用局部排风措施。对于某些生产工艺,例如药厂生产工艺过程中散发的乙醇、甲醇、乙醚等挥发性溶剂的蒸气或气体,主要是采取送风、排风配合使其稀释到允许浓度以下,以防止爆炸等情况发生,一般不另采取净化措施。

(2)有效地阻止室外的污染侵入室内(或有效地防止室内污染逸至室外)。这是洁净室控制污染的最主要途径,主要涉及到空气净化处理的方法,室内的压力控制等。对于空调送风采用三级过滤措施:通过粗、中、高效三级过滤,层层拦截,将粉尘阻挡在高效过滤器之前,将洁净空气送入室内。根据房间不同的洁净度要求,用不同方式送入经过不同处理的、数量不等的清洁空气,同时排走相应量的携带有室内所产生的污染物质的脏空气,靠这样一种动态平衡,使室内空气维持在要求的洁净度水平。由此可见对送入空气的净化处理是十分关键的一环。这就是洁净室换气次数大大超过一般空调房间的原因。洁净度等级越小,其换气次数越大。例如:洁净度等级为7级要求每小时换气次数不少于15次,洁净度等级为6级要求每小时换气次数不少于50次^[1]。对于室内正压的控制,工业洁净室和一般生物洁净室采用正压措施:在一个大的空间,要绝对封闭是不可能的,为此在空调设计中均采取洁净室的静压高于周围环境一定值的措施。这样在使用洁净空调时,只允许室内洁净空气往外漏,而避免室外空气往里渗,即防止室外或邻室的空气携带污染物质通过门窗或其他缝隙、孔洞侵入造成污染。

(3)迅速有效地排除室内已经发生的污染。这主要涉及到室内的气流组织,也是体现洁净室功能的关键。合理的气流组织,即通过送风口、回风口位置、大小、形式的精心设计,使室内气体沿一定方向流动,以防止死角及造成二次污染。不同的气流组织均直接影响施工的难度及工程造价,一般洁净度等级为5级以下均采用单向流(层流),其中以垂直单向流效果最好,但造价也最高。洁净度等级为6级~9级则采用乱流的气流组织。

(4)流速控制。洁净室内空气的流动既要有一定速度,才能防止其他因素(如热流)的扰乱,但又不能太大,流速太大将使室内积尘飞扬,造成污染。

(5)系统的气密性。不仅通风系统本身要求气密性好,对建筑各部结合处,水暖电工艺管道穿越围护结构处亦应堵严,防止渗漏。一般看得见的缝隙、裂缝均无法阻止 $0.5\mu\text{m}$ 粒径的

粉尘通过。

(6) 建筑上的措施。涉及建筑周围环境的设计、建筑构造、材料选择、平面布局、气密性措施等设计。例如,采用产尘少、不易滋生微生物的室内装修材料及家具。

1.3 洁净室的分类

1.3.1 按用途分类

(1) 工业洁净室——以无生命微粒(包括无机性微粒和有机性微粒)的控制为对象。主要控制无生命微粒对工作对象的污染,其内部一般保持正压。它适用于精密工业(精密轴承等)、电子工业(集成电路等)、航天工业(高可靠性)、化学工业(高纯度)、原子能工业(高纯度、高精度、防污染)、印刷工业(制版、油墨、防污染)和照相工业(胶片制版)等部门。

工业洁净室主要控制参数是温度、湿度、风速、流场、洁净度。温度、湿度、洁净度对工业洁净室一般都是同等重要的,它们直接影响产品的质量、精度、纯度。它是随着现代高科技工业的高度发展而发展起来的。例如,电子工业中的半导体、集成电路的制造,机械工业中的高精尖机械仪表的制造,材料工业中的高纯度材料的提取等均要求有一个非常洁净的生产环境。

(2) 生物洁净室——以有生命微粒的控制为对象,又可分为:

①一般生物洁净室,主要控制有生命微粒(例如单细胞藻类、菌类、原生动物、细菌和病毒等)对工作对象的污染。同时其内部材料要能经受各种灭菌剂侵蚀,内部一般保持正压。实质上这是一种结构和材料允许做灭菌处理的工业洁净室,可用于食品工业(防止变质、生霉)、制药工业(高纯度、无菌制剂)、医疗设施(手术室、各种制剂室、调剂室)、动物实验设施(无菌动物饲养)和研究实验设施(理化、洁净实验室)等部门。

②生物安全洁净室,它也属于生物洁净室的范畴,它要求控制的室内参数基本上与一般生物洁净室相同,主要控制工作对象的有生命微粒对外界和人的污染,不同的是室内要求静压比周围环境低一定数值(即负压度),而不是高一定数值。用于研究实验设施(细菌学生物学洁净实验室)和生物工程(重组基因、疫苗制备),因为它所从事的研究对象是对人体和环境有很大危害的物质,如艾滋病防治的研究。因而它只允许外围的空气往里渗漏,而不许室内的空气往外渗漏。且由于消毒剂对围护结构、设备有较大的腐蚀性,因此装修材料和设备要求耐腐蚀性强。这种洁净室的气密性要求比一般洁净室高,施工难度大,安全度要求高,造价也较一般洁净室高,在施工中应加以重视。

工业洁净室和生物洁净室都要应用清除空气中微粒的原理,因此本质上它们是一样的。所不同的是控制参数中增加了控制室内细菌的浓度。在一般情况下,洁净度、细菌的浓度较之温度、湿度的控制更为重要。而细菌本身是有大小的,且细菌多以尘粒为寄存体,因此通过上述有关洁净的措施,控制室内空气的洁净度就能达到控制室内空气的含菌量,达到无菌的目的,当然还需要采取其他一些措施。对于附着于表面上的微粒,工业洁净室一般用擦净的办法就可以大大减少表面上的微粒数量,而生物洁净室因为是针对有生命微粒,而一般的擦洗可能给有生命微粒带来水分和营养,反而能促进其繁殖,增长其数量。因此,对生物洁净室来说,必须用表面消毒的办法(用消毒液擦拭)来取代一般的擦拭。认识这一点不同,就知道对于药厂的生物洁净室来说,在日常管理措施上不致于认为有了洁净室就万事大吉了。

生物洁净室也是伴随高科技的发展而发展的。如医院中胸外科手术、心脏移植、脑外科等

大型手术,均要求手术室内高度洁净与无菌,以确保手术安全进行和手术后不受感染,提高成功率。基因工程的发展,在进行细胞基因移植时,也要求有洁净的环境。某些纯菌的提取,以及制药工业中确保药物的纯度,均要求有洁净的环境。

从这里可以看出,生物洁净室是无菌手术室、病房、制药车间、化妆品生产车间、医学实验室及要求控制室内细菌含量的无菌洁净场合的总称。生物洁净室与一般工业洁净室的本质是一样的,不同的是生物洁净室对细菌的含量要有控制。

1.3.2 按气流流型分类

气流流型就是气流轨迹的形式。按此可作以下分类:

(1)单向流洁净室(过去称层流洁净室)。在整个洁净室工作区(一般定义为距地 1.5m~0.7m 的空间)的横截面上通过的气流为单向流。单向流,就是流向单一、速度均匀、没有涡流的气流。过去也曾称为层流。

(2)非单向流洁净室(也称乱流洁净室)。在整个洁净室工作区的横截面上通过的气流为非单向流。非单向流(乱流),就是方向多变、速度不均、伴有涡流的气流,习惯称乱流。

(3)混合流洁净室。在整个洁净室内既有乱流又有单向流。混合流,就是同时独立存在乱流和单向流两种不应互扰的气流的总称。混合流不是一种独立的气流流型。

(4)辐流洁净室。在整个洁净室的纵断面上通过的气流为辐流。辐流,就是风口出流为辐射状不交叉的气流。辐流也被称为矢流、径流。

1.4 空气污染物及其特点

通常所指的空气污染物主要有以下 3 类:

- (1)悬浮在空气中的固态、液态微粒;
- (2)霉菌、致病菌等悬浮在空气中的微生物;
- (3)各种对人体或生产过程有害的气体。

由于空气净化的目的与对象不同,净化的内容、方法和衡量标准也不相同。以洁净室为对象的空气净化的目的,就是最大可能地把空气介质中的悬浮微粒除掉,对于生物洁净室,还要控制有生命微粒。这里将简要介绍微粒的特性。

1.4.1 微粒(particle size)的分类

1. 按微粒的形成方式分类

(1)分散性微粒。固体或液体在分裂、破碎、气流、振荡等作用下变成悬浮状态而形成。其中固态分散性微粒是形状完全不规则的粒子,或是由集结不紧、凝结松散的粒子组合而又形成球形的粒子。

(2)凝集性微粒。通过燃烧、升华和蒸气凝结以及气体反应而形成。其中固态凝集性微粒,一般是由数目很多的有着规则结晶形状或者球状的原生粒子结成的松散集合体组成;液态凝集性微粒是比液态分散性微粒小得多、多分散性也小的粒子。

2. 按微粒的来源分类

- (1)无机性微粒。例如金属尘粒、矿物尘粒和建材尘粒等。
- (2)有机性微粒。例如植物纤维,动物毛、发、角质、皮屑,化学染料和塑料等。

(3)有生命微粒。例如单细胞藻类、菌类、原生动物、细菌和病毒等。

3. 按微粒的大小分类

(1)可见微粒。肉眼可见,微粒直径大于 $10\mu\text{m}$ 。

(2)显微微粒。在普通显微镜下可以看见,微粒直径为 $0.25\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ 。

(3)超显微微粒。在超显微镜或电子显微镜下可以看见,微粒直径小于 $0.25\mu\text{m}$ 。

4. 微粒的通俗分类

(1)灰尘,包括所有固态分散性微粒。这类微粒在空气中的运动受到重力、扩散等多种因素的作用,是空气洁净技术接触最多的一种微粒,也称为粉尘。

(2)烟,包括所有固态凝集性微粒,以及液态粒子和固态粒子因凝集作用而产生的微粒,还有从液态粒子过渡到结晶态粒子而产生的微粒。一般情况下,烟的微粒大小远在 $0.5\mu\text{m}$ 以下(如香烟的烟,木材的烟,油烟,煤烟等),在空气中主要呈布朗运动,有相当强的扩散能力,在静止空气中很难沉降。在空气洁净技术中常用发烟剂的烟流来检查空气过滤器有无渗漏。

(3)雾,包括所有液态分散性微粒和液态凝集性微粒。根据 ISO 定义,雾概括为“系属于气体中液滴的悬浮体的总称。在气象中指造成的能见度小于 1km 的水滴的悬浮体。”微粒大小因生成状态而异,介于 $0.1\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ 之间。其运动性质主要受斯托克斯定律支配。例如从 SO_2 气体产生的硫酸雾,因加热和压缩空气的作用产生的油雾,就都是这种微粒,后者可作为试验空气过滤器的标准尘源。

(4)烟雾,包括液态和固态,既含有分散性微粒又含有凝集性微粒。微粒大小从十分之几微米到几十微米,例如工业区空气中由煤粉尘、二氧化硫、一氧化碳和水蒸气所形成的结合体就是这种烟雾型微粒。但是根据 ISO 的定义,则烟雾“通常系指由燃烧产生的能见气溶胶”,“不包括水蒸气”,说明和雾略有差异^[2]。

1.4.2 微粒的大小及粒径分布

1. 微粒大小的量度

微粒的大小通常以粒径表示。但是微粒特别是灰尘粒子并不都具有球形等规则的几何外形,通常所称微粒的“粒径”,并不是指真正球体的直径。在气溶胶及空气洁净技术中,“粒径”的意义通常是指描述微粒的某个长度因次,而并不含有规则几何形状的意义。

具体地说,粒径可分为两大类,一类是按微粒几何性质直接进行测定和定义的,像显微镜法确定的粒径。例如,在灰尘采样以后,用普通光学显微镜来观测时,使灰尘标本向一个方向移动通过标尺,此时微粒投影通过测微标尺时,为标尺刻度线所切的两端的长度就代表粒径。

另一类是按微粒某种物理性质间接进行测定和定义的,如沉降法、光电法确定的粒径,这实际上是一种当量直径或等价直径。即在此直径下,作为参照微粒的某物理性质、物理量,相当于(等效于)该群微粒的某物理性质、物理量。例如,用光散射式粒子计数器测定时,“粒径”是指将所测微粒与标准粒子(如聚苯乙烯小球)作散射光强度的等效比较,而得到的综合效果,代表着某一个几何尺寸的范围。

另外,还可以测出微粒沉降速度,按斯托克斯定律求出沉降速度与所测速度相等的球体直径,称为沉降直径,一般小于其他直径。西德标准 VDI—2083 就定义粒径为与测量方法有关的当量直径,美国联邦标准 209C 至 209E 则说明可以用微粒的最大视在线性长度、也可以用自动仪器测量到的当量直径来表示粒径。

实际上,由于微粒的形状各不相同,即使对同一个微粒,用上述各方法得到的粒径也是不

一样的。因此,需要确定能反映全部微粒某种特征的粒径的平均数值,这就是平均粒径。它是用特殊方法表示全部微粒某种特征的一个假设的微粒直径。不同方法计算所得的平均粒径分别代表了粒子群的不同属性,例如,利用散射光强来研究粒子群时,关心的是粒子的表面积,因为散射光强与粒子的表面积有关。因此就采用与粒子群表面积相关的平均粒径来表示粒子群的特征。同样,涉及粒子群质量时,就采用其体积或质量平均直径来表示粒子群的特征。粒子群中小颗粒数量虽多,但对质量所起作用不大,而数量不多的大颗粒对总质量影响很大,因此得出的平均直径值就较大。具体确定方法见文献[2]。

2. 微粒的粒径分布

描述粒子集合体的粒径分布状况常用各粒径粒子的数量百分数,即相对频率的概念,其值为

$$f_i = \frac{n_i}{\sum n_i} \quad (1-1)$$

式中 n_i ——第 i 粒径区间的粒子数;

$\sum n_i$ ——粒子总数。

这里 $\sum n_i = 1$, 所以 f_i 就表示在 i 粒径区间里粒子发生的频率,而累计百分数,即累计频率为

$$F_j = \frac{\sum_{i=1}^{j} n_i}{\sum_{i=1}^n n_i} \quad \text{或} \quad F_j = \sum_{i=1}^j f_i, \text{且 } F_n = 1 \quad (1-2)$$

式中 F_j ——小于第 j 区间中最大粒径的所有粒子的百分数,称为筛下累计百分数或小于某粒径的累计频率,而筛上累计百分数或大于某粒径的累计频率为 $(1 - F_j)$, 粒子质量累计频率示意图如图 1-1 所示。某标准大气尘中悬浮粒子的粒径分布列于表 1-1。

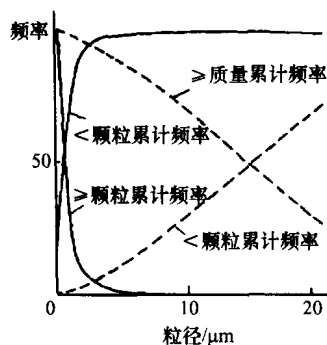


图 1-1 粒子质量累计频率

表 1-1 某标准大气尘中悬浮粒子的粒径分布

粒子粒径 / μm	粒径平 均值 μm	相对 颗粒 数	颗粒 数相 对频 率 /%	体积 (质量) 相对频 率/%	粒径 (筛上) / μm	颗粒 累计 频率 /%	体积 (质 量)相 对频 率/%	粒径 (筛上) / μm	颗粒 累计 频率 /%	体积 (质量) 相对 频率 /%
0~0.5	0.25	1.828×10^5	52.5	1	≥ 0.25	100	100	< 0.25	0	0
0.5~1.0	0.75	1.352×10^5	38.8	2	≥ 0.75	47.6	99	< 0.75	52.5	1
1.0~3.0	2.0	2.14×10^5	6.1	6	≥ 2.0	8.8	97	< 2.0	91.3	3
3.0~5.0	4.0	0.5×10^5	1.4	11	≥ 4.0	2.7	91	< 4.0	97.4	9
5.0~10.0	7.5	0.35×10^5	1.0	52	≥ 7.5	1.3	80	< 7.5	98.8	20
10.0~30.0	20.0	0.01×10^5	0.3	28	≥ 20.0	0.3	28	< 20.0	99.8	72

1.4.3 大气尘及其特性

大气尘是空气净化的直接处理对象。大气尘不仅包括固体尘,也包含液态微粒,是指大气中的悬浮微粒,粒径小于 $10\mu\text{m}$,这种大气尘在环境保护领域叫做飘尘,以区别于在较短时间内即沉降到地面的落尘(沉降尘)。产生大气尘的有自然发生源和人为发生源。在自然发生源中,有因为海水喷沫作用而带入空气中的海盐微粒,可深入陆地数百公里,90%则降于海上;有风吹起的土壤微粒;有森林火灾时放出的大量微粒;还有植物花粉等。

在人为发生源中,工业技术发展造成的大气污染占主要地位。在燃料中煤的灰分最大,一般占总质量的20%以上,石油的灰分极少,以石油代煤后,煤烟少了,但产生的二氧化硫在高空和水汽相遇,经太阳光等复杂作用,变成硫酸雾。随着燃油工业的进一步发展和汽车数量的增加,燃烧排出的氢氧化合物与碳氢化合物之间发生的一系列复杂反应而产生臭氧、过氧酰基硝酸盐和其他一些物质,这些物质经过太阳紫外线照射而产生一种有毒的烟雾,称为光化学烟雾。使用柴油发动机虽然基本上不产生碳氢化合物,避免了光化学反应,但仍然产生烟雾。

燃煤在我国能源构成中占绝大多数,我国的大气尘在人为发生源方面主要来自煤烟型大气污染。大气尘计数浓度各地差别很大,同地区不同的时间差别也很大。通常用“工业城市”、“城市郊区”和“非工业区或农村”三种典型地区来划分,相应的大气尘浓度称为“城市型”大气尘浓度、“城郊型”大气尘浓度和“农村型”大气尘浓度, $0.5\mu\text{m}$ 以上的大气尘浓度列于表1-2^[2]。了解大气尘的粒径分布对空气净化是极为重要的,具体的大气尘的粒径分布是多变的,这和多种因素有关。统计的大气尘粒径分布列于表1-3和表1-4^[2]。由于采暖和气候干燥,许多城市冬季的大气粉尘明显高于其他季节。雨季,由于雨水的洗涤,空气中的粉尘浓度低于其他季节。海浪和海水蒸发产生微小盐粒(氯化钠),沿海地区盐雾浓度高。空气中小颗粒粉尘间因相互碰撞形成大颗粒,大颗粒粉尘因重力而自然沉降。难以沉降的 $0.05\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 的粉尘会长时间悬浮在大气中。衡量空气污染程度的“可吸入颗粒物”指标列于表1-5。常见颗粒物尺寸的比较列于表1-6。

表 1-2 典型地区大气尘浓度

浓 度	工业城市 (污染地区)	城市郊区 (中间地区)	非工业区或农村 (清洁地区)
计数浓度/粒·升 ⁻¹	$\leq 3 \times 10^5$	$\leq 2 \times 10^5$	$\leq 10^5$
计重浓度/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	0.3~1	0.1~0.3	1
沉降浓度/ $\text{t}\cdot\text{月}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$	>15	<15	<5

表 1-3 统计的大气尘粒径($0.3\mu\text{m}$ 以上)分布

粒 径 / μm	相对频率 /%	粒 径 / μm	累计频率 /%	粒 径 / μm	相对频率 /%	粒 径 / μm	累计频率 /%
0.3	46	≥ 0.3	100	1.2	2	≥ 1.2	5
0.4	20	≥ 0.4	54	1.5	1	≥ 1.5	3
0.5	11	≥ 0.5	34	1.8	1	≥ 1.8	2
0.6	11	≥ 0.6	23	2.4	0.7	≥ 2.4	1
0.8	5	≥ 0.8	12	4.8	0.3	≥ 4.8	0.3
1.0	2	≥ 1.0	7				