

洁净室设计

许钟麟 编著

地震出版社

前 言

近几年,空气净化技术的应用得到了很大的发展。由于各方面对洁净室的需求日益增多,促使更多的人投身于洁净室设计工作,因此迫切要求这方面的书籍。有鉴于此,并根据建设部干部学院开办“洁净室设计学习班”的要求,结合拙著《空气净化技术原理》和《空气净化技术应用》中的基础知识,以洁净室设计所需内容为对象,写成此书,希望能给洁净室设计者以一定的参考。

特别要指出的是,中国建筑科学研究院王庆修、王桂枝、王丽荣等同志主持和参与了本书的编辑、审校和插图整理工作,使本书能以较快的速度和读者见面,在此对这些同志和其他协力本书出版的同志致以谢意。

作者

1994年4月

(京)新登字095号

洁 净 室 设 计

许钟麟 编著

地 震 出 版 社 出 版

北京民族学院南路9号

通县向阳印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

850×1168 1/32 8.5印张 3插页 212千字

1994年4月第一版 1994年4月第一次印刷

印数 0001—5000

ISBN 7-5028-1123-0/TU·104

(1516) 定价：8.00元

目 录

第一章 空气洁净度	(1)
1.1 空气洁净度的意义	(1)
1.2 洁净室技术的发展	(2)
1.3 空气洁净度的级别	(5)
1.3.1 概念	(5)
1.3.2 国外洁净室标准和概况	(5)
1.3.3 我国现行的空气洁净度级别	(11)
第二章 污染源	(12)
2.1 外部污染源	(12)
2.1.1 大气尘概念	(12)
2.1.2 大气尘的计数浓度	(12)
2.1.3 大气尘的粒径分布	(14)
2.1.4 大气菌的浓度	(19)
2.2 内部污染源	(21)
2.2.1 发尘量	(21)
2.2.2 发菌量	(22)
第三章 污染微粒的过滤清除	(24)
3.1 过滤机理	(24)
3.1.1 基本过滤过程	(24)
3.1.2 五种效应	(25)
3.2 过滤器的特性	(28)
3.2.1 面速和滤速	(28)
3.2.2 效率和透过率	(29)
3.2.3 阻力	(30)
3.2.4 容尘量	(30)
3.3 过滤器的使用寿命	(31)

3.4	效率的换算	(31)
3.4.1	尘-尘换算	(31)
3.4.2	菌-尘换算	(34)
3.5	影响效率的因素	(36)
3.5.1	微粒尺寸的影响	(36)
3.5.2	纤维粗细的影响	(37)
3.5.3	滤速的影响	(37)
3.6	我国过滤器的分类	(37)
3.6.1	一般过滤器分类	(37)
3.6.2	高中效过滤器	(38)
3.6.3	亚高效过滤器	(40)
3.6.4	高效过滤器	(41)
第四章	洁净室的分类和原理	(43)
4.1	洁净室的定义	(43)
4.1.1	定义	(43)
4.1.2	特点	(43)
4.2	洁净室的分类	(43)
4.2.1	按用途分类	(43)
4.2.2	按气流分类	(44)
4.3	单向流洁净室的原理和特性	(44)
4.3.1	定义	(44)
4.3.2	原理	(45)
4.3.3	特性指标	(46)
4.4	乱流洁净室的原理和特性	(48)
4.4.1	定义	(48)
4.4.2	原理	(48)
4.4.3	特性指标	(48)
4.5	洁净室稳定时的含尘浓度	(49)
4.6	洁净室的特性	(52)

4.6.1	乱流洁净室均匀分布时的静态特性·····	(52)
4.6.2	不均匀分布时的静态特性·····	(54)
第五章	洁净室的气流组织和系统设计 ·····	(59)
5.1	气流组织·····	(59)
5.1.1	气流组织·····	(59)
5.1.2	乱流式气流组织设计要点·····	(67)
5.1.3	单向流气流组织设计要点·····	(69)
5.2	净化空调系统·····	(72)
5.2.1	净化空调与一般空调的区别·····	(72)
5.2.2	划分原则·····	(74)
5.2.3	系统分类比较·····	(75)
5.3	新风处理·····	(75)
5.4	正压控制·····	(77)
5.4.1	回风口控制·····	(77)
5.4.2	余压阀控制·····	(78)
5.4.3	差压变送器控制·····	(78)
5.4.4	微机控制·····	(79)
5.5	双风机·····	(79)
5.6	加压风机·····	(81)
5.7	值班风机·····	(84)
5.8	一次回风和二次回风·····	(84)
5.9	药品生产GMP和空气净化系统 ·····	(84)
5.9.1	药品GMP的历史和基本点 ·····	(84)
5.9.2	GMP要求的药厂空气洁净度分级 ·····	(86)
5.9.3	药品生产各工序的空气洁净度级别·····	(87)
5.9.4	对厂房的要求·····	(88)
5.9.5	对系统的要求·····	(92)
5.9.6	对粉针剂车间的要求·····	(92)
5.9.7	对输液车间的要求·····	(95)

5.9.8	对包装容器和材料生产车间的要求	(95)
5.9.9	对制药用实验动物饲养室的要求	(98)
第六章	和系统设计有关的建筑布局	(103)
6.1	洁净室的平面布局	(103)
6.2	人身净化路线	(104)
6.3	物料净化路线	(106)
6.4	管线组织	(108)
6.4.1	技术夹层	(108)
6.4.2	技术夹道(墙)	(110)
6.4.3	技术竖井	(110)
6.5	机房位置	(110)
6.6	安全疏散	(112)
6.7	例图分析	(112)
第七章	洁净室计算	(116)
7.1	正压洁净室送风量 Q_I 计算	(116)
7.1.1	乱流洁净室送风量 Q_{I-1}	(117)
7.1.2	单向流洁净室送风量 Q_{I-2}	(121)
7.2	系统送风量 Q_{II} 计算	(122)
7.3	系统新风量 Q_N 计算	(123)
7.3.1	满足卫生要求洁净室所需的新风量 Q_1	(123)
7.3.2	保持洁净室正压所需的新风量 Q_2	(124)
7.3.3	满足总风量一定比例的新风量 Q_3	(124)
7.3.4	补充送风系统漏泄所需的新风量 Q_4	(124)
7.3.5	系统新风量 Q_{II}	(125)
7.4	系统回风(循环风)量 Q_W 计算	(125)
7.5	负压洁净室风量计算	(126)
7.5.1	维持负压所需的排风量 Q_V	(126)
7.5.2	负压洁净室送风量 Q_I	(126)
7.5.3	系统送风量 Q_{II}	(126)

7.5.4	新风量 Q_n	(127)
7.5.5	系统排风量 Q_v	(127)
7.6	洁净度校核计算	(128)
7.7	菌浓校核计算	(136)
7.7.1	菌浓标准	(136)
7.7.2	计算方法	(140)
第八章	空调负荷计算	(142)
8.1	基本概念	(142)
8.1.1	得热量	(142)
8.1.2	冷负荷	(142)
8.1.3	除热	(142)
8.1.4	需热	(143)
8.2	确定参数	(143)
8.2.1	室外计算参数	(143)
8.2.2	室内计算参数	(144)
8.2.3	有关资料	(151)
8.3	冷负荷估算指标	(151)
8.4	计算方法	(152)
8.4.1	外端、屋顶瞬变传热引起的冷负荷	(152)
8.4.2	内墙、楼板传热引起的冷负荷	(154)
8.4.3	地面传热引起的冷负荷	(154)
8.4.4	外玻璃窗瞬变传热引起的冷负荷	(155)
8.4.5	玻璃窗日射得热引起的冷负荷	(156)
8.4.6	室内热源散热引起的冷负荷	(157)
8.4.7	计算例	(161)
8.5	室内湿源散湿引起的冷负荷	(165)
8.5.1	人体散湿量	(165)
8.5.2	水表面散湿量	(165)
第九章	空调方案设计	(166)

9.1	$i-d$ 图和空气状态	(166)
9.1.1	湿空气性质	(166)
9.1.2	湿空气参数	(166)
9.1.3	由 $i-d$ 图确定空气参数	(166)
9.1.4	由 $i-d$ 图表示空气变化过程	(170)
9.2	空调处理方案	(179)
9.2.1	直流处理方案	(179)
9.2.2	一次回风处理方案	(184)
9.2.3	二次回风经空调机风机处理方案	(186)
9.2.4	二次回风不经空调机风机处理方案	(190)
9.2.5	室内再设空调机组处理方案(1)	(192)
9.2.6	室内再设空调机组处理方案(2)	(193)
9.2.7	两个实际问题	(194)
9.3	空调设备选择	(196)
9.3.1	净化空调系统常用空调设备种类	(196)
9.3.2	空调机容量选择	(200)
第十章	管路计算	(204)
10.1	阻力计算	(204)
10.1.1	摩擦阻力	(204)
10.1.2	局部阻力	(205)
10.1.3	管网特性曲线	(205)
10.1.4	阻力简略算法	(206)
10.2	消声计算	(208)
第十一章	洁净室的建筑装饰和系统安装	(220)
11.1	洁净室建筑装饰概念	(220)
11.2	材料要求	(221)
11.2.1	总要求	(221)
11.2.2	地面	(221)
11.2.3	墙面	(225)

11.2.4	吊顶	(227)
11.2.5	密封嵌缝材料	(228)
11.2.6	特殊要求	(229)
11.3	构造与装饰要求	(229)
11.3.1	预埋件	(229)
11.3.2	吊挂件	(235)
11.3.3	吊顶	(235)
11.3.4	密封件	(235)
11.3.5	踢脚板	(236)
11.3.6	卫生角	(236)
11.3.7	防水层	(236)
11.3.8	穿洞	(236)
11.3.9	管线隐蔽工程	(236)
11.3.10	表面质量	(237)
11.4	施工要求	(237)
11.4.1	一般要求	(237)
11.4.2	地面	(237)
11.4.3	防霉涂料墙面	(240)
11.4.4	保护表面	(240)
11.4.5	提高密封性能	(240)
11.4.6	清洁、记录	(241)
11.4.7	安全	(241)
11.5	对风管制作的要求	(241)
11.6	对系统安装的要求	(241)
11.7	对高效过滤器安装的要求	(242)
第十二章	洁净室的验收和评定	(244)
12.1	工程验收	(244)
12.1.1	验收制度	(244)
12.1.2	竣工验收	(246)

12.1.3 综合性能全面评定.....	(246)
12.2 评定标准及测定方法.....	(248)
12.2.1 检漏.....	(248)
12.2.2 风速风量.....	(248)
12.2.3 静压差.....	(250)
12.2.4 洁净度级别.....	(250)
12.2.5 细菌浓度.....	(252)
12.2.6 温湿度.....	(253)
12.2.7 其它.....	(254)
主要参考书目	(255)

第一章 空气洁净度

1.1 空气洁净度的意义

随着现代工业的发展，对实验、研究和生产的环境要求越来越高，因而调节空气品质的技术——空气调节技术的内容也随之逐步扩大。现代空调技术不仅包含调节空气的温度、湿度和速度的概念，而且还包含了调节其洁净度、压力以至成分、气味的概念。

现代化的科学实验和生产活动对空气洁净度的要求主要是从下述四方面提出来的：

第一，加工的精密化。现代产品的加工精度已经进入到亚微米量级，而且正在向更小的量级发展：利用分子束外延技术已可按一个一个原子层来生长单晶材料；利用离子束刻蚀技术也可以对半导体材料进行一个一个原子的刻蚀剥离等等。因此，科学界提出了在本世纪末可能进入原子级加工的设计，即加工的几何图形宽度可以小到几个原子的线度。

第二，产品的微型化。原来体积为几千立方厘米的电子装配件，现在缩减到零点几立方厘米，其中：集成电路的图形线距已小到不足 $1\mu\text{m}$ ，一个电子元件的二氧化硅保护膜厚为 $0.5\mu\text{m}$ ，光致抗蚀剂层厚度只有 $0.2\mu\text{m}$ ，钽膜的深度只有 $0.1\mu\text{m}$ ，而铬层甚至只有 $0.03\mu\text{m}$ 。

第三，产品的高纯度(或高质量)。由过去认为很纯的“化学纯”进入今天“电子纯”、“超纯”时代的药品、试剂，以及各种超纯材料，都是高纯度基础上才能使原材料充分发挥其固有特性或者呈现出新的特性。

第四，产品的高可靠性。高可靠性对于电子化自动化时代的产品、对于确保人的安全的无菌操作、对于分子生物学的遗传工程都有着特殊重要的意义。

显然，在上述四种情况中，如果有微粒(固态的或者液态的)进入产品，这种微粒就可能构成障碍、短路、杂质源和潜在缺陷。上述四种要求越高，则允许存在于环境空气中的微粒数量越少，也就是洁净程度越高。因此，洁净室技术已成为科学实验和生产活动现代化的标志之一。

1.2 洁净室技术的发展

从国外发展来看，如果细分一下，大约有以下几个过程：

第一，朝鲜战争中美国发现其大量电子仪器失灵，返修率甚高，最后终于找到主要原因在于灰尘作怪，这促成了洁净室技术的起步。

第二，1957年苏联第一颗人造卫星上天后，刺激美国加速发展宇航事业，特别是阿波罗号登月，不仅精密机械加工和电子控制仪器要求净化，而且为了从月球带回岩石，对容器、工具的洁净度有严格要求，其加工环境必须超净，因而带动洁净室技术和设备的大发展，出现了层流技术和百级洁净室，出现了第一个洁净室标准。

第三，1970年1K位的集成电路进入大生产时期，中国不久也开始集成电路会战，使洁净室技术得以腾飞。日本从60年代初到70年代空气洁净技术产品迅猛发展，1971年突然急剧降低到谷底，但次年又突然飞速发展起来。这还和药品生产对洁净室的需求进入新阶段有关，因为1969年世界卫生组织正式制订了GMP(药品生产质量管理规范)。

第四，80年代大规模和超大规模集成电路的发展进一步促进空气洁净技术的发展，其中集成电路上的最细光刻线条宽度进入 $2\sim 3\mu\text{m}$ ，70年代末和80年代初美国、日本研制成 $0.1\mu\text{m}$ 级超

高效过滤器，于是既对洁净室提出高要求，也有了高手段。1985年日、美、西欧净化产品总值约29亿美元，1988年达到73亿美元，到80年代末仅日本就突破5000亿日元即35亿美元。

第五，即90年代，世界范围的洁净室技术将依靠什么动力再发展？

概括在80年代中期日本各领域有关洁净室投资的分配及趋势分析，有人预言80年代后期生物洁净技术产品将占工业洁净室市场的一半以上，例如日本1985年这方面的投资中电子占48.1%，精密工业占19.9%，药品占14.8%，医疗占10.3%，食品占5.5%，航空宇宙占0.2%，印刷占0.5%，化学占0.1%，农林畜产占0.1%，研究所占0.1%，其他占0.2%。其中医药食品共占30%以上，工业洁净室占68%，所以生物洁净已近工业洁净投资的一半。

但是随着形势的变化，90年代促进洁净室技术大发展的动力将是电子工业即集成电路的生产，其原因为：

(1) 超大规模集成电路生产取得了新发展，80年代集成电路最细光刻线条宽度在微米级，而80年代末和进入90年代则达到亚微米，到世纪末要求为 $0.1\sim 0.2\mu\text{m}$ ，集成度达1KM。这是什么意思？刚才说过，1970年1K位电路进入大生产，相当于 $\sim 20\text{mm}^2$ 大的硅片上有2万个左右元件，1981年 60mm^2 硅片上有60万个元件，到了1986年1M集成度时，就相当有200个元件，到1KM集成度时就可能有20亿个元件集中在一块硅片上，详见表1-1。而要求控制的尘粒必须为此光刻线条的 $1/10$ ，今天已要求 $0.1\mu\text{m}$ 10级，将来则要求 $0.01\mu\text{m}$ 10级也并不是耸人听闻的了。美国在1988年有 185.8万m^2 洁净室，其中 $0.1\mu\text{m}$ 10级即占十分之一。

(2) 海湾战争使人们认识到电子技术的极端重要性，可以说，洁净室技术是电子尖端技术的一大支柱。正因为如此，80年中期日本还预测生物洁净室要赶上来，但到了90年代初估计1991~

集成电路的发展

表1-1

年	最细光刻线条 (μm)	代表产品 (DRAM)	元件数 (个)
1970	10	1K	2×10^4
1975	5	16K	
1980	3	64K	
1983	2	256K	5×10^5
1986	1	1M	2×10^6
1989	0.8	4M	8×10^6
1992	0.5	16M	可能 3.3×10^7
1995	0.3	64M	可能 1.35×10^8
1998	0.2	256M	可能 5×10^8
2000	0.1~0.2	1KM	可能 20×10^8

1993年的洁净室市场时，日本电子工业方面的洁净室市场占全部的78%，而医药只占8%。新兴的亚洲工业国家和地区也把优先发展电子工业放在首位，电子工业的洁净室市场占87%，而美国电子工业占57%，医药占16%，欧洲电子工业占40%，医药占30%（见表1-2）。

1991~1993年洁净室销售额在各领域的比例

表1-2

	半导体	其他电子	医药	其他
日本	63%	15%	8%	9%
亚洲	70%	17%	5%	8%
欧洲	30%	10%	30%	30%
美国	45%	12%	16%	25%
其他	20%	10%	30%	40%

洁净室建设在我国已有30多年的历史，现在，我国的洁净室技术已发展到：

- (1) 从军工走向民用——制药、医疗、食品；
- (2) 从高精走向普及——不仅高精尖产业要求，一般民需产

业和家庭生活也出现大量需求：

(3) 从国内走向国外——空气净化产品和洁净室工程已走出国门。

今后，支持我国洁净室技术和产品发展的主动力也仍将是集成电路等电子业，当然中西药厂的环境改造也将起很大的促进作用。

1.3 空气洁净度的级别

1.3.1 概念

空气洁净度是指洁净环境中空气含尘(微粒)量多少的程度。含尘浓度高则洁净度低，含尘浓度低则洁净度高。

空气洁净度本身是无量纲的。

但是，空气洁净度的高低可用空气洁净度级别来区分。空气洁净度级别则以每立方米空气中的最大允许微粒数来确定。

过去，空气洁净度级别一直用操作时间内空气的计数含尘浓度来表示，即所谓动态级别，自从美国联邦标准209C开始，级别的动态概念才不复存在。

1.3.2 国外洁净室标准和级别概况

50年代，美国由原子能工业带动和精密机械、电子工业的需要而发展了污染控制技术。1957年苏联第一颗人造卫星发射成功以后，美国政府，为其自身加速宇航工业发展的需要，也相应加速制订有关污染控制标准的工作，1961年诞生了世界上最早的洁净室标准即美国空军技术条令203，并把编制联邦政府标准的任务交给了原子能委员会的出版机构。1963年底颁发了洁净室第一个军用部分的联邦标准即FS209(按：美国国家标准为ANSI)。从此，联邦标准209即成为国际上最通行、最著名的洁净室标准。如果说当时通过对各类生产环境洁净度进行大量调研后得到的认识：洁净室内尘粒分布规律基本上接近对数正态分布，从而提出了这一分布的平行线关系，是标准203的重要基石，那么美国

的威利斯·华德弗尔德提出的关于洁净室的层流概念(这不是流体力学上的同一概念)则是标准209的理论基石,也是后来各种洁净室标准的基础。

1966年颁布了修订后的209A,1973年又颁布了修订的209B,并于1976年再次颁行了209B修正案№1。

在这一段时期里,许多国家也相继制订了洁净室的标准,其内容特别是洁净度分级基本参照美国标准。

但是,由于滥用联邦标准209B,加之原标准中一些概念不清,以及当前对所谓10级、1级洁净度的需要,促使美国修改209B。这一工作首先由IES(美国环境科学协会)发起,经GSA(美国总务管理局)认可和授权,成立了RP-50委员会,包括来自政府、微电子公司、仪器制造厂人员,洁净室顾问、洁净室用户及洁净室测试人员,经过4年工作、8次会议、15个草案,终于在1987年10月27日颁发了FS209C。209C又于1988年6月15日被新的209D所取代,209D又于1992年3月11日被209E取代。

在这里值得一提的是,以前作为日本国标(JIS B9920),虽有关于洁净室中粒子的测定方法,但洁净度级别完全照搬美国。1987年公开了JIS B9920的修订案,第一次提出了日本的洁净度级别,日本空气清净协会也于同年公布了《洁净室性能评价指标指南》(草案)(以下简称指南),使洁净室方面的法规更为具体化。

下面具体介绍日本和美国的空气洁净度级别。

日本原则上以施工竣工状态即空态的洁净度表示空气洁净度级别,如表1-3所示。从表中可见,共分为8级,级的序号与 $\geq 0.1\mu\text{m}$ 微粒的浓度的幂数的指数一致,也就是说,分级是以 $0.1\mu\text{m}$ 微粒为依据。

表1-3中未给出级别的粒径范围(即 $\geq D$)内的上限浓度由下式求出:

日本标准的洁净度级别上限(\geq 所示粒径)浓度(粒/ m^3)

表1-3

粒径 (μm)	洁 净 度 级 别							
	1	2	3(FS1)	4(FS10)	5(FS100)	6(FS1000)	7(FS10000)	8(FS100000)
0.1	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	(10^6)	(10^7)	(10^8)
0.2	2	24	238	2360	23600	.....	.....	.....
0.3	1	10	101	1010	10100	101000	1010000	10100000
0.5	(0.35)	(3.5)	35	350	3500	35000	350000	3500000
5.0	.....	.....	.....	.....	29	290	2900	29000
洁净度 级别粒 径范围	0.1~0.3		0.1~0.5		0.1~5.0		0.3~5.0	

$$N_M = 10^M \times \left(\frac{0.1}{D}\right)^{2.08} \quad (1-1)$$

式中 N_M ——大于或等于粒径为 D 的微粒的上限浓度(粒/ m^3);

M ——表中级别序号;

D ——欲求某粒径(μm)。

〔例1〕相应于4级洁净度的 $\geq 1\mu m$ 微粒的上限浓度是多少?

〔解〕

$$\begin{aligned} N_M &= 10^4 \times \left(\frac{0.1}{1}\right)^{2.08} \\ &= 83.2 \text{ 粒}/m^3 \end{aligned}$$

美国联邦标准从209到209E的空气洁净度级别示于表1-4。

表1-4是209E的分级表,但其中包括了209~209B,209C~209D的分级。在209C以前最高级别是表中的100级,209C和209D则增加了10级和1级(即M2.5和M1.5级)。

联邦新标准中规定中间任意等级的微粒上限浓度可近似用下列公式求出:

$$N_M = 10^M \left(\frac{0.5}{D}\right)^{2.2} \quad (1-2)$$

209E的空气洁净度级别

表1-4

级别名称		级 别 限 值				
		0.1 μm	0.2 μm	0.3 μm	0.5 μm	5 μm
		容积单位	容积单位	容积单位	容积单位	容积单位
国际单位	英制单位	(m^3) (ft^3)	(m^3) (ft^3)	(m^3) (ft^3)	(m^3) (ft^3)	(m^3) (ft^3)
M1		350 9.91	75.7 2.14	30.9 0.875	10.0 0.283	— —
M1.5	1	1240 35.0	265 7.50	106 3.00	35.3 1.00	— —
M2		3500 99.1	757 21.4	309 8.75	100 2.83	— —
M2.5	10	12400 350	2650 75.0	1060 30.0	353 10.0	— —
M3		35000 991	7570 214	3090 87.5	1000 28.3	— —
M3.5	100	— —	26500 750	10600 300	3530 100	— —
M4		— —	75700 2140	30900 875	10000 283	— —
M4.5	1000	— —	— —	— —	35300 1000	247 7.00
M5		— —	— —	— —	100000 2830	618 17.6
M5.5	10000	— —	— —	— —	353000 10000	2470 70.0
M6		— —	— —	— —	1000000 28300	6180 175
M6.5	100000	— —	— —	— —	3530000 100000	24700 700
M7		— —	— —	— —	10000000 283000	61800 1750

或
$$N_d = N_o \left(\frac{0.5}{D} \right)^{2.3} \quad (1-3)$$

式中 N_M ——大于或等于粒径为 D 的微粒的上限浓度(粒/ m^3)；
 M ——表中国际单位制的洁净度级别序号；
 D ——欲求某粒径(μm)；
 N_d ——大于或等于粒径为 D 的微粒的上限浓度(粒/ ft^3)；
 N_o ——表中英制单位制的洁净度级别示值。

【例2】求M3级的 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 微粒数。

【解】

$$N_M = 10^3 \left(\frac{0.5}{0.5} \right)^{2.2}$$

$$= 1000 \text{ 粒}/\text{m}^3$$

〔例3〕求英制283级的 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 微粒数。

〔解〕

$$N_d = 283 \left(\frac{0.5}{0.5} \right)^{2.2}$$

$$= 283 \text{ 粒}/\text{ft}^3$$

从209到209E的关于级别概念的变化主要是：

①改变洁净度级别是特指动态而言的意义。即把级别所指的微粒数必须是在动态下测得的规定变成只涉及纯粹级别本身的定义，以每立方米或立方英尺空气中的最大允许微粒数来确定。但和日本的以 $\geq 0.1\mu\text{m}$ 为依据的不同，美国联邦标准仍然皆以 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 为依据。

②209E以前均以英制为准，至209E，同时以国际单位制和英制为准，只是说明优先用前者。

当用国际单位制时，级别名称为每立方米空气中 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 微粒的最大允许粒数的常用对数值；当用英制单位制时，级别名称为每立方英尺空气中 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 微粒的最大允许粒数。

③关于最大允许微粒数，自209C开始规定用统计计算方法求得，而自209E开始又明确只有测点数在10点以下时用统计计算方法，否则即用平均值。

④允许定任意级别，例如50级，过去认为这是不科学的，不允许的。现在认为任一个级别例如2.2级都是可以的。209C和209D规定由任意作出的已规定级别的平行线即可定出新的级别，而209E没有给出已规定的级别的平行线，当然就不能用作图法去求了，恐怕这是担心查图的误差太大，所以给出了如式(1-2)、式(1-3)的计算公式，这样可保证结果的一致性。例如上述M2.2

级计算为177粒/m³或5粒/ft³。

⑤改变非由首尾两点即0.5μm和5μm两个粒径来定一个级别的规定，允许由规定的几个粒径中的任一粒径来定级别，或者用任意粒径在表1-4中内插确定，在这方面209E和209D没有不同，见表1-5。

209E规定表示级别的粒径

表1-5

洁净度级别	规定粒径
≥1000~	≥0.5μm或≥5μm或两者同时
100~<1000	≥0.2μm、≥0.3μm、≥0.5μm中的一个或几个
~<100	≥0.1μm、≥0.2μm、≥0.3μm、≥0.5μm中的一个或几个

因此，209E明确规定洁净度级别的表达式为：

X级(在Y微米下)

即用国际单位制表达时，例如M2.5级(0.3μm)，即表示≥0.3μm微粒数不大于M2.5级的1060粒/m³；用英制表达时，例如100级(0.5μm)，即表示≥0.5μm微粒不大于100级的100粒/ft³。

⑥209C以前，级别的最小粒径适用到0.5μm，209C、209D都把级别平行线延长到0.1μm，规定不再向更小的粒径延伸了。209E除了规定最小表示级别的粒径到0.1μm外(表1-5)，还规定了以U表示的独立于上述表1-4的13个级别的超微粒子浓度表示方法。对于0.02μm到粒子计数器检测上限值的粒子称超微粒子，没有规定如何划分它们的级别，而是统一用其浓度表示，其格式为：

U(X)

此处X表示超微粒子的最大允许浓度(粒/m³)；U即为统指超微粒子。

例如：“U(20)”表示每立方米空气中含有的超微粒子数不超

过20粒；

“M1.5级(0.3 μm)，U(2500)”表示 $\geq 0.3\mu\text{m}$ 微粒不超过M1.5级的103粒/ m^3 ，同时超微粒子不超过2500粒/ m^3 。

⑦209B指出，规定的微粒总数中包括有生命微粒，209C至209E则宣称因没有找到有生命微粒和无生命微粒之间的普遍联系，所以所订空气洁净度级别不适用于有生命微粒。

1.3.3 我国现行的空气洁净度级别

1984年，《洁净厂房设计规范(GBJ73-84)》规定的空气洁净度级别如表1-6所列。

《洁净厂房设计规范(GBJ73-84)》的级别

表1-6

等级	每立方米(每升)空气中 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 尘粒数	每立方米(每升)空气中 $\geq 5\mu\text{m}$ 尘粒数
100级	$\leq 35 \times 100(3.5)$	
1000级	$\leq 35 \times 1000(35)$	$\leq 250(0.25)$
10000级	$\leq 35 \times 10000(350)$	$\leq 2500(2.5)$
100000级	$\leq 35 \times 100000(3500)$	$\leq 25000(25)$

1990年《洁净室施工及验收规范(JGJ71-90)》实际上已把施工验收的洁净室范围扩大到209D的各个级别。

第二章 污染源

对于洁净室的污染源，主要讨论微尘和细菌两大类微粒。

2.1 外部污染源

2.1.1 大气尘概念

大气尘是洁净室要直接处理的对象。不仅应该明瞭大气尘概念，而且应该明瞭其来源、成分、浓度和分布等方面的情况。

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，这是狭义的大气尘；后来又有人提出大气尘是粗分散气溶胶的概念，但这也是不完全的，因为用人工方法或者大气中发生的自然方法可以形成分散度极高的灰尘。所以，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，是专指大气中的悬浮微粒，粒径小于 $10\mu\text{m}$ ，这就是广义的大气尘。这种大气尘在环境保护领域被叫作飘尘，以区别于在较短时间内即沉降到地面的落尘(沉降尘)。所以空气洁净技术中的大气尘的概念和一般除尘技术中的灰尘的概念是有所区别的。空气洁净技术中的广义的大气尘的概念也是和现代测尘技术相适应的，因为通过光电办法测得的大气尘的相对浓度或者个数，同时包括固态微粒和液态微粒。在美国和日本，和这种广义大气尘概念相对应的是， $10\mu\text{m}$ 以下称“浮游粒子状物质”或者“环境气溶胶”，这是由美国环境厅和日本浮游粉尘环境标准专门委员会规定的，这一名称是对浮游粉尘和浮游微粒的统称。

2.1.2 大气尘的计数浓度

在洁净室技术中，最常用的是以 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 的微粒数量为准的

计数浓度。以最干净的同温层(距地表 10km)来说,这样的微粒约有20粒/L,很干净的海面上空约有 2500 粒/L。陆地上的计数浓度各地差别极大,同一地区不同时间差别也很大,比起温度这样的参数要复杂得多。所以研究这一问题常用分成一些典型地区的办法来确定几种典型的大气尘计数浓度,一般为表2-1所列。

国外几种典型地区大气尘计数浓度

表2-1

地 区	含尘浓度(粒/L) ($\geq 0.5\mu\text{m}$)	地 区	含尘浓度(粒/L) ($\geq 0.5\mu\text{m}$)
农 村	3×10^4	污染地区	177×10^4
大 城 市	12.5×10^4	普通地区	17.7×10^4
工业中心	25×10^4	清洁地区	3.5×10^4
农 村	10×10^4	洁净室设计用	17.5×10^4
城 郊	20×10^4	特别干净	0.19×10^4
城 市	50×10^4	特别污染	58×10^4

我国大气尘计数浓度可粗分为“工业城市”、“城市郊外”、“非工业区或农村”三种类型,其 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 微粒的浓度分别为 1×10^5 粒/L, 2×10^5 粒/L和 3×10^5 粒/L。在发生污染或烟雾时,可以达到 10^6 粒/L或更高。

大气尘的数量和重量的一般关系见表2-2和图2-1。

大气尘数量和重量的关系

表2-2

粒径区间 (μm)	数 量 %		重 量 %	
	全 部	0.5 μm 以上 为100	全 部	0.5 μm 以上 为100
0.5以下	91.6		1	
0.5~1	6.97	82.49	2	2.02
1~3	1.1	12.86	6	6.06
3~5	0.25	3.00	11	11.11
5~10	0.17	2.00	52	52.53
10~30	0.05	0.65	28	28.28

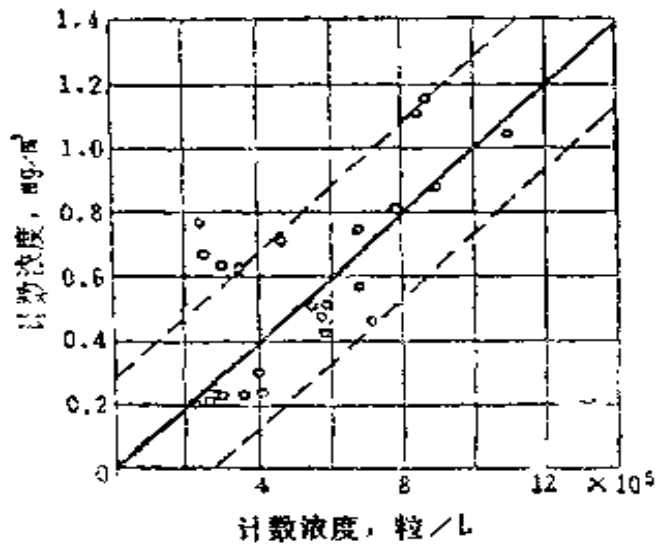


图2-1 计数浓度与计重浓度的比较
(据新津靖等)

作为具体的计数浓度(用光散射粒子计数器测得)和计重浓度(用滤纸称重法测得)之间则很难有一个明确的固定的关系,因为影响因素太多,例如大气尘的比重可以因地区、季节而有很大不同,粒径大10倍,重量可以大 10^3 倍,所以分散度的影响很大。

根据一些数据分析,计数、计重和沉降几种浓度的关系大致如表2-3所列,表中同时列出几个要求计数浓度极低的场所以作比较。

以上对比数据,仅作为参考。在实际工作中如果经常用到浓度间的换算关系,则应当针对不同情况,做出具体条件下的(什么地区的,什么季节的等等)计数浓度与计重浓度的对比曲线。

几种浓度的比较

表2-3

浓 度	工业城市 (污染地区)	工业城市 郊区 (中间地区)	非工业区 或农村 (清洁地区)	大洋上	同 温 层		生产大规模 集成电路的 洁净室	生产被动 式激光 夜视仪器
					10km	40km		
计数浓度 (粒/L)	$\leq 3 \times 10^5$	$\leq 2 \times 10^5$	$\leq 10^5$	2500	20	7	≤ 3	≤ 0.3
计重浓度 (mg/m ³)	0.3~1	0.1~0.3	<0.1					
沉降浓度 (t/月·km ²)	>15	<15	<5					

2.1.3 大气尘的粒径分布

1. 粒径和平均粒径

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、立方体等规则的几何外形,因此,通常所称微粒的

“粒径”，并不是指真正球体的直径。在气溶胶及空气净化技术中，“粒径”的意义通常是指通过微粒内部的某一个长度因次，而并不含有规则几何形状的意义。在分析微粒大小的时候，“粒径”就是指的这种含意。

由于微粒形状极不相同，按上述方法得到的粒径，对于一个微粒群来说，也是不一样的，这在实际应用中就很不方便。因此，必须确定一种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”，它是用特殊的方法表示全部微粒某种特征的一个假设的微粒直径。

平均粒径有许多表示方法，例如最常用的是算术(或粒数)平均直径 D_1 ，在与光的折射性质有关的问题应采用此直径，它和微粒长度因次有关。而研究光的散射性质时宜用平均面积直径 D_s 。又如研究计重测尘时显然应采用和质量有关的平均直径 D_v ，等等，其比较列于表2-4。

几种平均粒径

表2-4

符号	名称	意义	算式
D_1	算术(或粒数)平均直径	一种算术平均值，也是习惯上最常用的粒径。但是由于微粒群中小颗粒常占多数，即使重量很小也能大大降低平均值，所以在反映微粒真实大小和微粒群的物理性质上有很大局限性	$D_1 = \frac{\sum n_i d_i}{\sum n_i}$ n_i 为各粒径的粒数 $\sum n_i$ 为总粒数
D_s	平均面积直径	按微粒粒数平均面积的直径	$D_s = \sqrt{\frac{\sum n_i d_i^2}{\sum n_i}}$
D_v	平均体积(重量或质量)直径	按微粒粒数平均体积(重量或质量)的直径	$D_v = \sqrt[3]{\frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i}}$
D_{50} 或 D_m	中值(或中位)直径	大于此直径的微粒数、重量或质量恰好等于小于此直径的粒数、重量或质量	从粒径累积频率分布曲线上50%的微粒数(重量或质量)处求得

2. 粒径分布

大气尘按其全粒径的分布，如图2-2所示。 $\geq 0.3\mu\text{m}$ 以上的所谓大粒子和凝结核相比，只占很小一部分，从1:15到1:5000甚至更悬殊的比例。

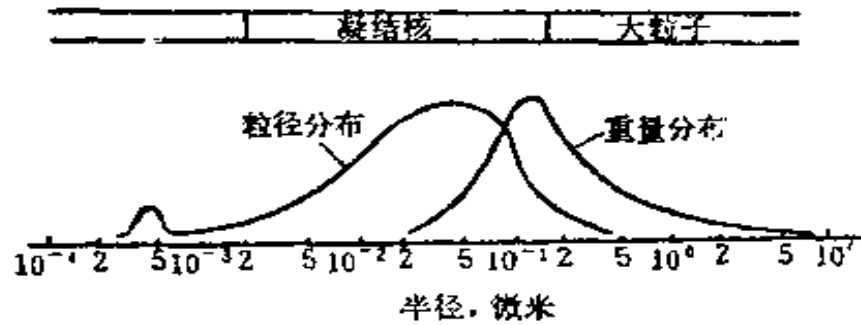


图2-2 大气尘的全粒径分布

如果仅就洁净室技术需要的一种粒径范围来看，在双对数纸上呈直线分布，根据实测，如图2-3。

各粒径的关系若以数字表示会更清楚，见表2-5和表2-6。

统计的大气尘粒径($0.3\mu\text{m}$ 以上)分布

表2-5

粒径 (μm)	相对频率 (%)	粒径 (μm)	累积频率 (%)	粒径 (μm)	相对频率 (%)	粒径 (μm)	累积频率 (%)
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				

统计的大气尘粒径($0.5\mu\text{m}$ 以上)分布

表2-6

粒径 (μm)	相对频率 (%)	粒径 (μm)	累积频率 (%)	粒径 (μm)	相对频率 (%)	粒径 (μm)	累积频率 (%)
0.5	33	≥ 0.5	100	1.5	3	≥ 1.5	9
0.6	31	≥ 0.6	67	1.8	3	≥ 1.8	6
0.8	15	≥ 0.8	36	2.4	2	≥ 2.4	3
1.0	6	≥ 1.0	21	4.8	1	≥ 4.8	1
1.2	6	≥ 1.2	15				

由于测试手段的进步，现在已证明，延伸到 $0.1\mu\text{m}$ 也有直线分布的特性，图 2-4 即是用凝结核计数器测得的结果。再往上延就不合适了。 $\geq 0.1\mu\text{m}$ 比 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 的微粒多得多，有的数据表示达200倍，大部分数据则在60~100倍之间。

大气尘的分布是一个十分重要的问题，它的统计分布虽有一定规律，但是具体的大气尘分布又是多变的，与统计分布曲线可能相差较远，这和很多因素有关，因此，需要加以区别对待和研究。

2.1.4 大气菌的浓度

大气尘的污染属于无生命微粒的污染，而大气微生物的污染则是有生命微粒的污染。微生物包括病毒、立克次体、细菌、菌类、原生虫类和藻类。但和洁净室技术有关的主要是细菌和菌类。

微生物单体的大小见表2-7。

微生物单体尺寸

表2-7

藻类	3~100 μm	炭疽杆菌	0.46~0.56 μm
原生动物	1~100 μm	病毒	0.008~0.3 μm
菌类(如真菌)	3~80 μm	天花病毒	0.2~0.3 μm
细菌		付流感病毒	0.1~0.2 μm
枯草菌	5~10 μm	流行性腮腺炎病毒	0.09~0.19 μm
水肿菌	5~10 μm	麻疹病毒	0.12~0.18 μm
肺炎杆菌	1.1~7 μm	狂犬病病毒	0.125 μm
乳酸菌	1~7 μm	呼吸道融合病毒	0.09~0.12 μm
白喉菌	1~6 μm	腺病毒	0.07 μm
大肠菌	1~5 μm	肝炎病毒	0.02~0.04 μm
结核菌	1.5~4 μm	脊髓灰质炎(小儿麻痹)病毒	0.008~0.03 μm
破伤风菌	2~4 μm	肠道病毒	0.3 μm
肠菌	1~3 μm	流行性乙型脑炎病毒	0.015~0.03 μm
伤寒杆菌	1~3 μm	鼻病毒	0.015~0.03 μm
普通化脓杆菌	0.7~1.3 μm	立克次体	0.25~0.6 μm
白色、点黄色葡萄球菌	0.3~1.2 μm		

但是，细菌不能单独生存，一般都附着于尘粒上面，所以有意义的大小是其等价直径。一群带菌微粒通过过滤器时，细菌的过滤效率若和某粒径的微粒的效率一样，则这一粒径就是这群带菌微粒的等价直径。

细菌的等价直径一般可取表2-8所示数值。

细菌等价直径

表2-8

环 境	无菌室(洁净室)	普通手术室	室 外
等价直径(μm)	1~5	6~12	5~20

室外菌浓度变化甚大，表2-9列出一些例子作为参考。

室外大气菌浓

表2-9

地 点	日 期	时 间	菌 浓		注	
			菌 落 (个/ $\text{m}^3 \cdot \text{h}$)	浮游菌落 (个/ m^3)		
上海新华医院	1981.9.17	9:30~11:30	583(6次)	1982(3次)	同济大学测定 大多数测定均在二楼以上高度的窗外。落菌和浮游菌的测定并不都是同一点。浮游菌用缝袋采样器采样	
上海长征医院	1981.8.10	7:30~10:14	714(6次)	—		
上海华山医院	1981.5.30 6.11	8:15~11:45	534(8次)	4237(8次)		
		7:35~10:00	374(5次)	2337(5次)		
		10:15~12:06	195(5次)	245(4次)		
上海中山医院	1981.6.3	8:37~8:52	232(1次)	1235(1次)		
上海同济大学 给排水实验室				1504		
天津卫生防疫 站室外				400~1740		天津市卫生局 防疫站测定，用 JWL-I型空气微 生物采样器采样
天津北宁公园				620~1340		
天津工人医院 室外				1640~2760		

续表

地 点	日 期	时 间	菌 浓		注
			菌 落 (个/m ³ ·h)	浮游菌落 (个/m ³)	
天津车站站前 广场				5120~13600	
天津中原公司 商场外面(营业 期间)				1680~3800	
不同类型建筑 物之室外静止室 外空气(Pm高)			63	1042	日本藤田大郎 测定, 过滤法
			15	250	
山区 住宅区 交通量大的市 中心				130	Wanner测定
				250	
				1400	

从上表可见, 室外菌浓大部分为1000~5000个/m³, 一般可取2000~3000个/m³。

2.2 内部污染源

2.2.1 发尘量

洁净室内的发尘量, 来自设备的可考虑通过局部排风排除, 不流入室内; 产品、材料等在运送过程中的发尘与人体发尘量相比, 一般极小, 可忽略; 由于金属板壁的应用, 来自建筑表面的发尘也很少, 一般占10%以下, 发尘主要来自人, 占90%左右。

在人的发尘量上, 由于服装材料和样式的改进, 发尘绝对量也不断减少。

材质: 棉质发尘量最大, 以下依次为棉的确良、去静电涤纶、尼龙。

样式: 大挂型发尘量最大, 上下分装型次之, 全罩型最少。

活动：动作时的发尘量一般达到静止时的3~7倍。

清洗：用溶剂洗涤的发尘量降低到用一般水清洗的1/5。

表2-10给出了有关服装的发尘数据。

服装发尘量(个/min·人)(据小野贞正等)

表2-10

衣 服		普通工作 服	白色尼龙洁 净工作服	全套型洁 净工作服	手术内衣	棉手术衣	无纺布手 术衣
粒 径		$\geq 0.5\mu\text{m}$	$\geq 0.5\mu\text{m}$	$\geq 0.5\mu\text{m}$	$\geq 0.5\mu\text{m}$	$\geq 0.5\mu\text{m}$	$\geq 0.5\mu\text{m}$
动 作		($\times 10^6$)	($\times 10^6$)	($\times 10^6$)	($\times 10^6$)	($\times 10^6$)	($\times 10^6$)
静 止 状 态	站 着	0.339	0.113	0.008	—	—	—
	坐 着	0.302	0.112	0.007	—	—	—
动 作 状 态	手腕上下运动	2.98	0.3	0.019	27.9	12.5	1.53
	腕自由运动	2.24	0.289	0.021	7.63	33.9	3.32
	上体前屈	2.24	0.54	0.024	8.28	8.73	7.15
	头上下左右运动	0.361	0.151	0.011	0.224	0.543	0.255
	上体扭转	0.850	0.267	0.015	4.56	5.88	1.17
	屈 身	3.12	0.605	0.037	10.3	26.1	8.65
	起立坐下	—	—	—	15.3	31.7	5.92
	坐 下	—	—	—	0.215	0.51	0.749
	坐下(腕手头 躯体轻动)	—	—	—	1.03	14.0	0.61
	踏步(90步/min)	2.92	1.01	0.056	4.63	24.0	4.33
动作平均		2.14	0.45	0.026	8	15.79	3.37
动静比		6.68	4	4	—	—	—

室内围护结构表面发尘量，以地面为准，大约相应 8m^2 地面时的表面发尘量与一个静止的人的发尘量相当。

2.2.2 发菌量

分析国外实验资料可以认为：

(1) 洁净室内当工作人员穿无菌服时：

静止时的发菌量一般为 $10\sim 300$ 个/min·人

躯体一般活动时的发菌量 $150\sim 1000$ 个/min·人

快步行走时的发菌量 $900\sim 2500$ 个/min·人

- (2) 咳嗽一次一般为 70~700个/min·人
 喷嚏一次一般为 4000~60000个/min·人
(3) 穿平常衣服时发菌量 3300~62000个/min·人
(4) 无口罩发菌量：有口罩发菌量 1：7~1：14
(5) 发菌量：发尘量 1：500~1：1000

据国内实测：

- (6) 手术中人员发菌量 878个/min·人

所以，可知洁净室内穿无菌衣人员的静态发菌量一般不超过300个/min·人，动态发菌量一般不超过1000个/min·人，以此作为计算依据是可行的。

第三章 污染微粒的过滤清除

3.1 过滤机理

3.1.1 基本过滤过程

1. 过滤分离的两大类别

从洁净室技术以净化空气为主要目的来看，空气中微粒浓度很低(相对于工业除尘来说)，微粒尺寸很小，而且要确保末级过滤效果的可靠，所以主要采用带有阻隔性质的过滤分离来清除气流中的微粒，其次也常采用电力分离的办法。

阻隔性质的微粒过滤器按微粒被捕集的位置可以分为两大类，一为表面过滤器，二为深层过滤器。

表面过滤器有金属网、多孔板、化学微孔滤膜等。

深层过滤器又分为高填充率和低填充率两种，微粒捕集发生在表面和层内。前者迄今研究得很少，而后者(包括纤维填充层、无纺布和滤纸的过滤器)虽然内部纤维配置也很复杂，但由于空隙率大，允许将构成过滤层的纤维孤立地看待，从而可简化研究步骤，而且此类过滤器阻力不大，效率很高，实用意义很大，特别在洁净室方面应用极广，所以受到重视。

2. 过滤过程的两大阶段

第一阶段称为稳定阶段，在这个阶段里，过滤器对微粒的捕集效率和阻力是不随时间而改变的，而是由过滤器的固有结构、微粒的性质和气流的特点决定。在这个阶段里，过滤器结构由于微粒沉积等原因而引起的厚度上的变化是很小的。对于过滤微粒浓度很低的气流，例如在空气洁净技术中过滤室内空气，这个阶段对于过滤器就很重要了。

第二阶段称为不稳定阶段，在这个阶段里，捕集效率和阻力不取决于微粒的性能，而是随着时间的变化而变化，主要是随着微粒的沉积、气体的侵蚀、水蒸汽的影响等变化。尽管这一阶段和上一阶段相比要长得多，并且对一般工业过滤器有决定意义，但是在空气洁净技术中意义不大。

3.1.2 五种效应

1. 拦截(或称接触、钩住)效应

在纤维层内纤维错综排列，形成无数网格。当某一尺寸的微粒沿着气流流线刚好运动到纤维表面附近时，假使从流线（也是微粒的中心线）到纤维表面的距离等于或小于微粒半径（如图3-1， $r_1 \leq r_f + r_p$ ），微粒就在纤维表面被拦截而沉积下来，这种作用称为拦截效应(图3-1)。筛子效应也属于拦截效应。

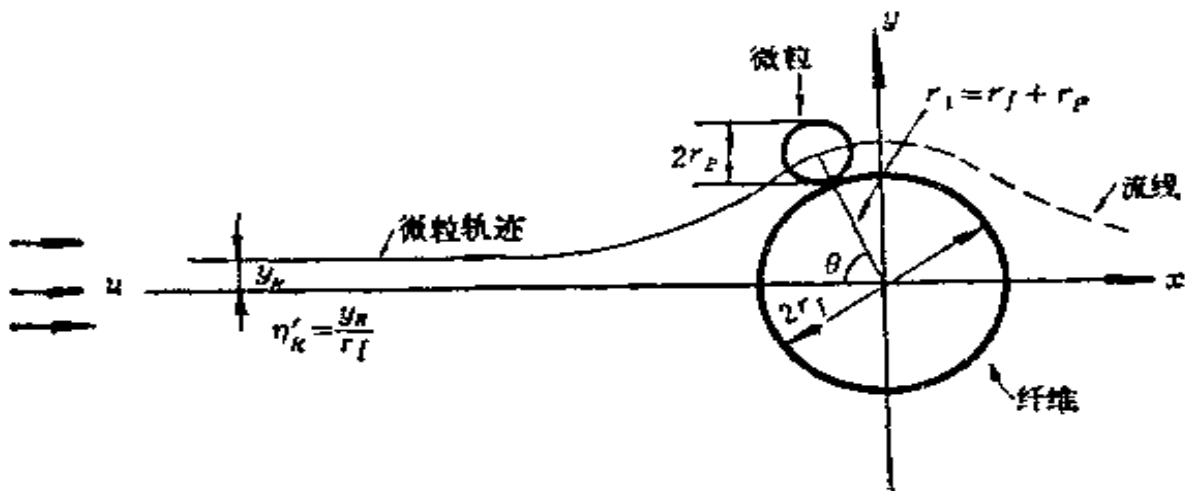


图3-1 拦截效应

2. 惯性效应

由于纤维排列复杂，所以气流在纤维层内穿过时，其流线要屡经激烈的拐弯。当微粒质量较大或者速度（可以看成气流的速度）较大，在流线拐弯时，微粒由于惯性来不及跟随流线同时绕过纤维，因而脱离流线向纤维靠近，并碰撞在纤维上而沉积下来(图3-2位置a)。

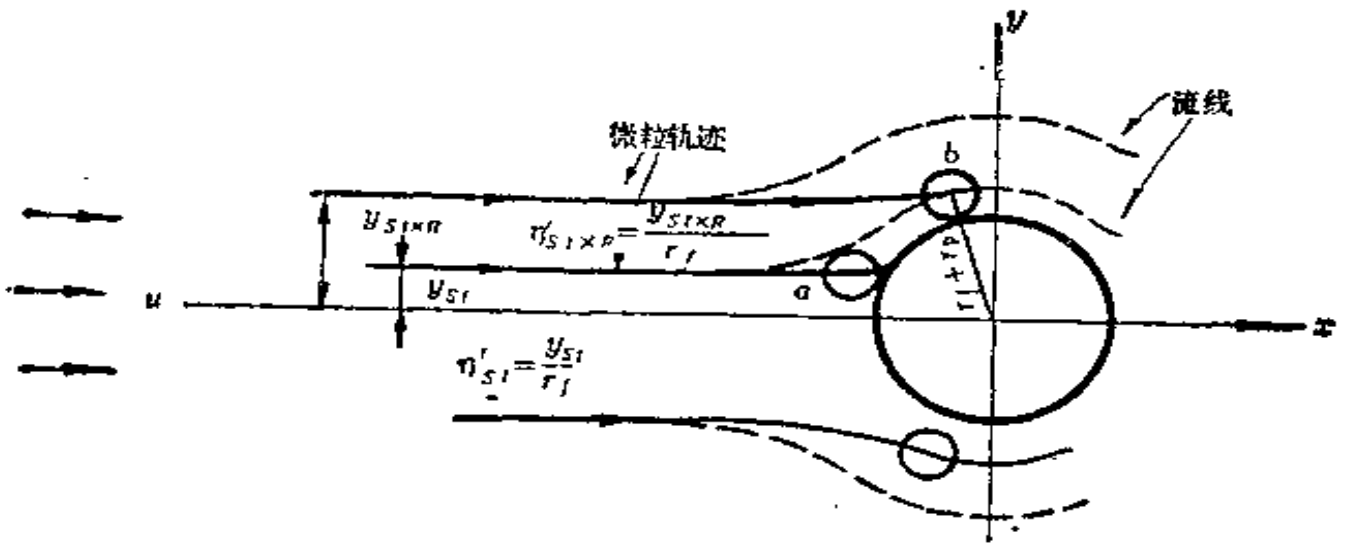


图 3-2 惯性效应 (a) 和惯性拦截效应 (b)

如果因惯性作用微粒虽非正面撞到纤维表面而是正好撞在拦截效应范围之内(图3-2位置b), 则微粒的被截留就是靠这两种效应的共同作用了。

3. 扩散效应

由于气体分子热运动对微粒的碰撞而产生的微粒的布朗运动, 对于越小的微粒越显著。常温下 $0.1 \mu\text{m}$ 的微粒每秒钟扩散距离达 $17 \mu\text{m}$, 比纤维间距离大几倍至几十倍, 这就使微粒有更大的机会运动到纤维表面而沉积下来(图3-3, 位置a), 而大于 $0.3 \mu\text{m}$ 的微粒其布朗运动减弱, 一般不足以靠布朗运动使其离开流线碰撞到纤维上而去。

4. 重力效应

微粒通过纤维层时, 在重力作用下发生脱离流线的位移, 也就是因重力沉降而沉积在纤维上(图3-4)。由于气流通过纤维过滤器特别是通过滤纸过滤器的时间远小于 1 s , 因而对于直径小于 $0.5 \mu\text{m}$ 的微粒, 当它还没有沉降到纤维上时已通过了纤维层, 所以重力沉降完全可以忽略。

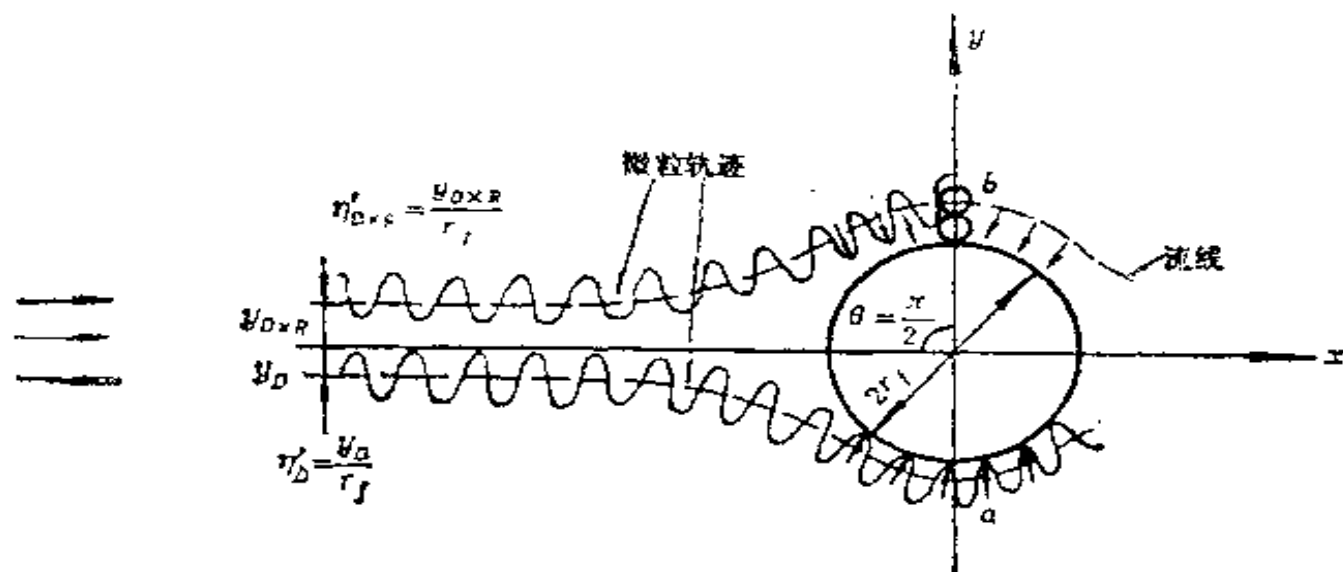


图3-3 扩散效应(a)和扩散拦截效应(b)

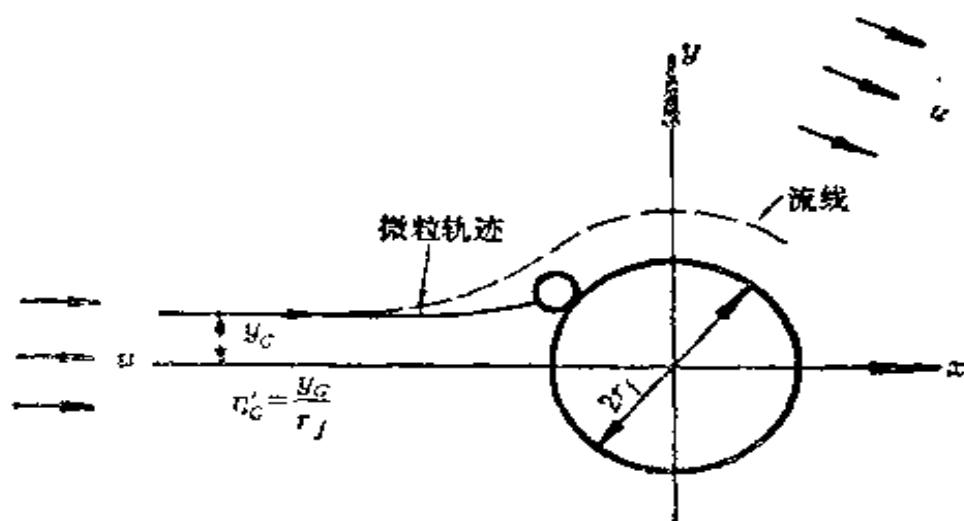


图3-4 重力效应(重力与气流方向平行)

5. 静电效应

由于种种原因，纤维和微粒都可能带上电荷，产生吸引微粒的静电效应(图 3-5)，但除了有意识的使纤维或微粒带电外，若是在纤维处理过程中因摩擦带上电荷，或因微粒感应而使纤维表面带电，则这种电荷既不能长时间存在，电场强度也很弱，产生的吸引力很小，可以完全忽略。

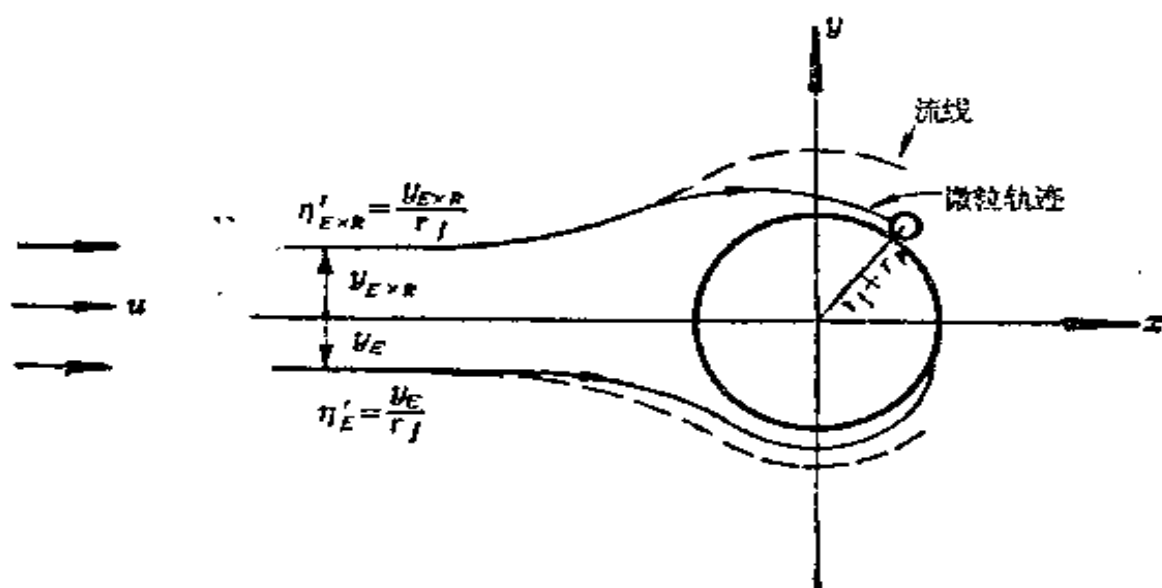


图3-5 静电和静电接触效应

3.2 过滤器的特性

3.2.1 面速和滤速

面速是指过滤器断面上的通过气流的速度，一般以m/s表示，即

$$u = \frac{Q}{F \times 3600} \quad (3-1)$$

式中 Q ——风量(m^3/h)；

F ——过滤器截面积即迎风面积(m^2)。

所以面速反映过滤器的通过能力和安装面积。

滤速是指滤料面积上的通过气流的速度，一般以 $L/cm^2 \cdot min$ 或 cm/s 表示，即

$$v = \frac{Q \times 10^3}{f \times 10^4 \times 60} = 1.67 \frac{Q}{f} \times 10^{-3} (L/cm^2 \cdot min) \quad (3-2)$$

或
$$v = \frac{Q \times 10^9}{f \times 10^4 \times 3600} = 0.028 \frac{Q}{f} (cm/s) \quad (3-3)$$

式中 f ——滤料净面积(即去除粘结等占去的面积)(m^2)。

所以滤速反映滤料的通过能力，特别是反映滤料的过滤性能。

过滤器的滤速范围见表3-1。

过滤器滤速范围

表3-1

种 类	粗效过滤器	中效、高中效过滤器	亚高效过滤器	高效过滤器
滤速量级	m/s	dm/s	cm/s	cm/s

高效和超高效过滤器的滤速一般为 $2 \sim 3 \text{ cm/s}$ ，亚高效过滤器为 $5 \sim 7 \text{ cm/s}$ 。

3.2.2 效率和透过率

当被过滤气体中的含尘浓度以计重浓度来表示，则效率为计重效率；以计数浓度来表示则为计数效率，以其他物理量作相对表示时，则为比色效率或浊度效率等。

最常用的表示方法是用过滤器进出口气流中的尘粒浓度表示的计数效率：

$$\eta = \frac{N_1 - N_2}{N_1} = 1 - \frac{N_2}{N_1} \quad (3-4)$$

式中： N_1 、 N_2 ——过滤器进出口气流中的尘粒浓度(粒/L)。

在过滤器的性能试验中，往往用效率的反义词透过率来表示，习惯用 $K(\%)$ 表示透过率：

$$K = (1 - \eta) \times 100 \quad (3-5)$$

理论计算和实验证明：同类型过滤器串联，第一道以后的串联过滤器效率应该降低，因为经过前一道过滤器后微粒的分布发生了变化，由于对不同微粒的过滤作用不同，从而引起后一道过滤器的对各粒径的总效率略有所降。但是这个降低是极小的，第二道过滤器的透过率仅增加一倍，以后的过滤器变化更小了，所以串联总效率 η 仍可表示为：

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \cdots (1 - \eta_n) \quad (3-6)$$

计数效率和粒径有密切关系，美日等国通常指的DOP效率为99.97%的高效过滤器，这DOP就是单分散的邻苯二甲酸二辛

酯微粒，或者说是指对 $0.3\mu\text{m}$ 的微粒说的，而设计洁净室时则用 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 微粒的数量这一概念，99.97% 决不是对 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 微粒的效率。根据计算有如下结果，

若对 $0.3\mu\text{m}$ 微粒的效率为 99.91%，则对 $0.5\mu\text{m}$ 微粒的效率为 99.994%；对 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 微粒的效率为 99.998% \approx 99.999%

3.2.3 阻力

过滤器的阻力由两部分组成，一是滤料的阻力，二是过滤器结构的阻力。

$$\Delta P_1 = AV \quad (3-7)$$

$$\Delta P_2 = Bu^n \quad (3-8)$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= \Delta P_1 + \Delta P_2 \\ &= CV^m \end{aligned} \quad (3-9)$$

以上式中： ΔP_1 ——滤料阻力；

ΔP_2 ——过滤器结构阻力；

V ——滤速；

u ——面速；

A 、 B 、 C 、 n 、 m ——系数。

以上公式表明，滤料阻力和滤速的一次方成正比，过滤器全阻力则和滤速成指数关系。

3.2.4 容尘量

过滤器容尘量是和使用期限有直接关系的指标。通常将运行中过滤器的终阻力达到其初阻力一倍（若一倍值太低，或定为其他倍数）的数值时，或者效率下降到初始效率的 85% 以下时（一般对于预过滤器来说）过滤器上沉积的灰尘重量，作为该过滤器的容尘量。

当风量为 $1000\text{m}^3/\text{h}$ 时，一般折叠形泡沫塑料过滤器的容尘量为 $200\sim 400\text{g}$ ，玻璃纤维过滤器为 $250\sim 300\text{g}$ ，无纺布过滤器为 $300\sim 400\text{g}$ ，亚高效过滤器为 $160\sim 200\text{g}$ ，高效过滤器为 $400\sim 500\text{g}$ 。

同类过滤器若尺寸不同，容尘量也不同。

3.3 过滤器的使用寿命

以达到额定容尘量的时间作为过滤器的使用寿命，此时过滤器即需更换。计算公式为：

$$T = \frac{P}{N_1 \times 10^{-3} Q t \eta} \quad (3-10)$$

式中 T ——过滤器使用寿命(d)；

P ——过滤器容尘量(g)；

N_1 ——过滤器前空气的含尘浓度 (mg/m^3)；

Q ——过滤器的风量(m^3/h)；

t ——过滤器一天的工作时间(h)；

η ——计算过滤器的计重效率。

3.4 效率的换算

3.4.1 尘-尘换算

作者提出了如图3-6的换算图。

下面说明换算图的使用。

(1) 已知 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 的计数效率时，换算计重效率：

[例] 图中纵座标是 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 的计数效率，当 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 计数效率为50%，从图中纵座标50处引横座标的平行线相交于曲线查得计重效率为98.5%，这从表2-2上分析看也是正确的，因为要把 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 的微粒过滤掉占总粒数的50%，不到总粒数20%的 $1\mu\text{m}$ 以上粒子显然应全部清除掉(可能有些漏掉)，则其重量已占到97%，再加上一部分 $0.5\sim 1\mu\text{m}$ 的粒子，过滤掉的总重量就要大于97%，而可能达到98.5%左右。

(2) 已知 $\geq 1\mu\text{m}$ 的计数效率时，换算计重效率：

[例] $\geq 1\mu\text{m}$ 的计数效率为75%，计算对应于 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 的计数效率，因为 $\geq 1\mu\text{m}$ 100%计数效率下 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 计数效率为18.51%，

所以 $\geq 1\mu\text{m}$ 75%计数效率时的 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 计数效率应为 $18.51 \times 0.75 = 13.88\%$ ，从图中查出对应的计重效率为96.2%。

(3) 已知 $\geq X_1\mu\text{m}$ 的计数效率时，换算成 $\geq X_2\mu\text{m}$ 的计数效率， X_1 、 X_2 为某一数字。

〔例1〕 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 的计数效率为2.65%时，换算对应的 $\geq 5\mu\text{m}$ 的计数效率。

〔解〕从表2-2可知， $5\mu\text{m}$ 以上粒数正好占总粒数的2.65%，显然大粒子首先过滤掉，所以 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 的计数效率为2.65%时， $\geq 5\mu\text{m}$ 的计数效率即可为100%，即图上“ $\geq 5\mu\text{m}$ 100%效率线”。

〔例2〕 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 的计数效率为2%时，换算对应的 $\geq 5\mu\text{m}$ 的计数效率。

〔解〕按上面道理， $\geq 5\mu\text{m}$ 计数效率应为

$$\frac{2}{2.65} = 75.47\%$$

〔例3〕 $\geq 1\mu\text{m}$ 的计数效率为70%，核算对应的 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 的计数效率。

〔解〕按前面讲的道理以0.7乘以 $\geq 1\mu\text{m}$ 100%效率所对应的 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 的效率即

$$0.7 \times 18.51 = 12.96\%$$

实际上不是某一粒径粒子全部过滤完才过滤比这一粒径小的粒子，而是有一定交叉，有一定几率，所以以 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 的粒子计数效率换算 $\geq 1\mu\text{m}$ 、 $\geq 5\mu\text{m}$ 等粒子计数效率时，实际的效率应小于换算所得，以上例而言， $1\mu\text{m}$ 效率70%所对应的 $0.5\mu\text{m}$ 效率应大于12.96，或 $0.5\mu\text{m}$ 效率为12.96时 $1\mu\text{m}$ 效率应小于70%，对于中效过滤器可以小达原数的30%。

下面再介绍一下DOP法、大气尘比色法和人工尘计重法的换算关系，根据作成的图3-7可见，大气尘比色法效率为50%时DOP法效率才20%，而人工尘计重法效率达95%。

通过图3-7的关系可以看出，上面的计数效率和计重效率换算

方法是可行的。因为DOP法也是一种计数法，和大气尘计数法较接近，而人工尘计重法的结果，一般都大于大气尘计重法结果。

从图3-7可见，DOP法2%时，人工尘计重法为83%，而按

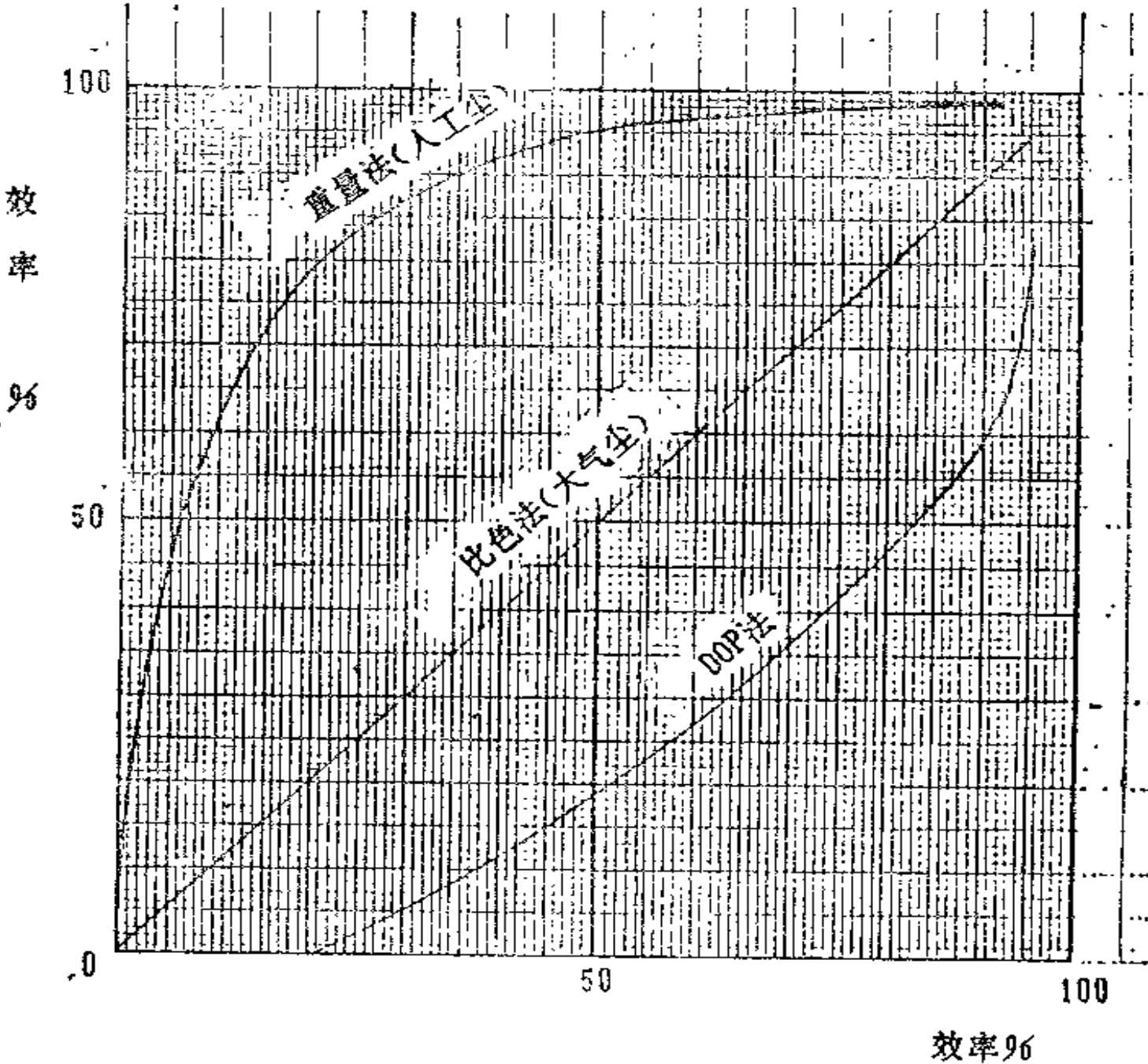


图3-7

图3-6, 大气尘计数法2%时, 大气尘计重法为73%。

DOP法10%时, 由图3-7查得人工尘计重法为91%; 大气尘计数法为10%时, 由图3-6查得大气尘计重法为95%。

DOP法47%时, 由图3-7查得人工尘计量法为99%; 大气尘计数法为47%时, 由图3-6查得大气尘计重法为98.5%, 上面举的例子1和3符合上述几种方法的一般关系, 2例略差, 但总体上看, 用来估算是可行的。

此外也可以利用图3-6、图3-7对计数法和其他方法进行换算。

例如比色法95%相当于计数法多少? 从图3-6可知比色法95%相当人工尘计重99.5%, 再从图上可见相当于计数效率66%。而我们实测过的日本比色效率95%的过滤器其 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 计数效率为64.8%, 比色法90%的过滤器其计数效率一般40%~50%。

所以根据上述比较分析可以认为, 在没有直接测定数据对比情况下, 上述比较曲线可以用作通常参考性的换算。

3.4.2 菌-尘换算

菌-尘换算比较复杂, 一般按以下两个原则处理:

①若已知细菌等价直径, 即查此直径下的滤料计数效率, 即为该滤料对该菌群的计数效率。

②若不知细菌的等价直径, 则可按有关实验得到的一般关系换算。

国内有关大气菌通过纤维型滤料的效率实验, 寻找到与大气菌效率相当的大于等于某粒径尘粒的效率, 认为大气菌效率和 $\geq 5\mu\text{m}$ 大气尘计数效率相当, 见图3-8。因此, 可知此时的大气菌等价直径应 $> 5\mu\text{m}$, 例如是 $7\mu\text{m}$, 因为只有 $> 5\mu\text{m}$ 的某粒径(例如 $7\mu\text{m}$)的效率才能和 $\geq 5\mu\text{m}$ 的效率相当, 这和前面表2-7给出的室外大气菌的等价直径相吻合。此外, 也可按表3-2给出的数据取用, 从其中也可看到图3-8给出的规律。

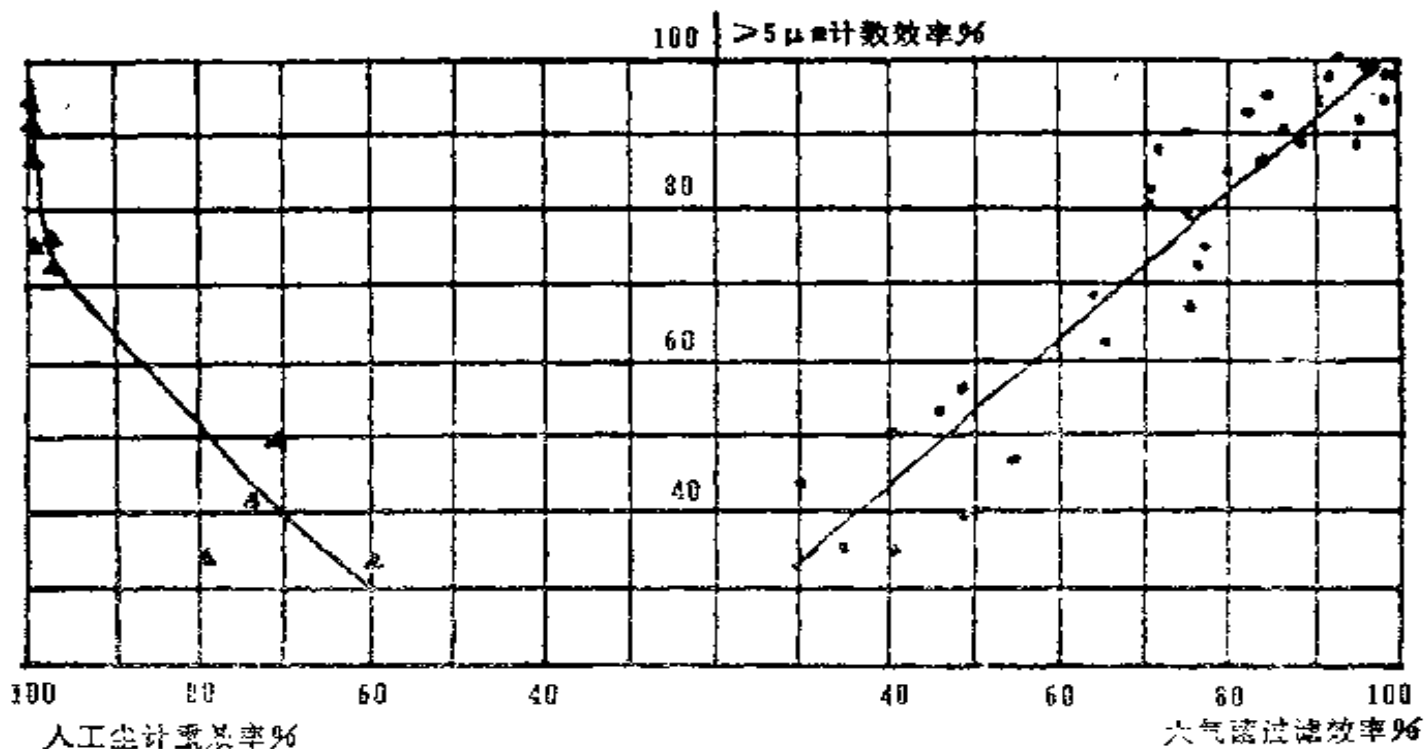


图3-8 荷-尘关系曲线(据涂光备、张少凡)

过滤器滤菌效率

表3-2

序号	过滤器种类	细菌种类	效率 (%)	滤速 (m/s)
1	DOP99.97	灵菌,为最小杆菌, 0.5~1μm	99.9999±0.0000	0.025
2	DOP99.97		99.9994±0.0007	0.025
3	DOP99.97		99.9964±0.0024	0.025
4	DOP95		99.989±0.0024	0.025
5	DOP75		99.88±0.0179	0.05
6	NBS95		99.85±0.0157	0.09
7	NBS85		99.51±0.061	0.09
8	DOP60		97.2±0.291	0.05
9	NBS75		93.6±0.298	0.09
10	DOP40		83.8±1.006	0.05
11	DOP20~30		54.5±4.903	0.20
12	用国产TL-7-17无纺布制做的粗效过滤器,对≥0.5μm尘粒效率为5.4%, ≥5μm尘粒效率为83.2%	实验室大气杂菌 大肠杆菌	89.2 44.9	0.2 0.2

续表

序号	过滤器种类	细菌种类	效率 (%)	滤速 (m/s)
13	同上过滤器, 对 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 尘粒效率为91.8%, $\geq 5\mu\text{m}$ 尘粒效率为99%	实验室大气杂菌	91.3	0.4
		大肠杆菌	48.1	0.4
14	同上过滤器, 对 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 尘粒效率为81.9%, 对 $\geq 5\mu\text{m}$ 尘粒效率为83.2%	实验室大气杂菌	94.6	0.5
15	用国产BCN-100(100g/m ²)无纺布制作的中效过滤器, 对 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 尘粒效率为76.4%, 对 $\geq 5\mu\text{m}$ 尘粒效率为100%	实验室大气杂菌	99.0	0.15
		大肠杆菌	95.6	0.15
16	同上过滤器, 对 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 尘粒效率为75.80%, 对 $\geq 5\mu\text{m}$ 尘粒效率为100%	实验室大气杂菌	99.4	0.22
		大肠杆菌	94.7	0.22
17	同上过滤器, 对 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 尘粒效率为71.1%, 对 $\geq 5\mu\text{m}$ 尘粒效率为100%	实验室大气杂菌	99.7	0.28
		大肠杆菌	97.2	0.28
18	YGG型低阻亚高效过滤器	实验室大气杂菌	~100	0.12
		大肠杆菌	>99.9	0.12

3.5 影响效率的因素

3.5.1 微粒尺寸的影响

当过滤器过滤多分散的微粒时, 在几种过滤机理作用下, 比较小的微粒由于扩散作用而先在纤维上沉积, 所以当粒径由小到大时, 扩散效率逐渐减弱; 比较大的微粒则在拦截和惯性作用下沉积, 所以当粒径由小到大时, 拦截和惯性效率逐渐增加。这样, 和粒径有关的效率曲线, 就有一个最低点, 这一点粒径下的总效率最小, 该效率下的粒径写成 $d_{m,x}$, 称为最大透过粒径。

$d_{m,x}$ 不是定值, 对于不同性质的微粒、不同的纤维、不同的

滤速, d_{max} 是变化的。图 3-9 是纤维层过滤器粒径和效率的典型关系。

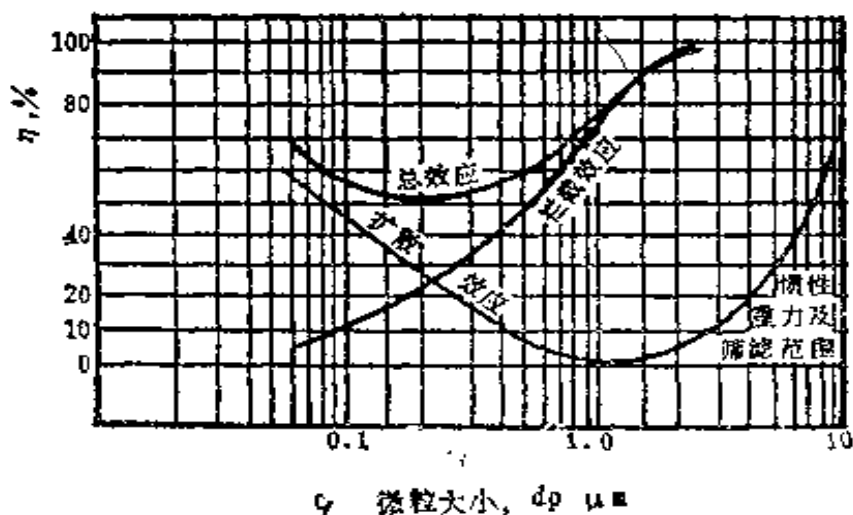


图3-9 效率和粒径的关系

由于测试技术的进步, 对于滤纸过滤器, d_{max} 已由上图 $0.3\mu m$ 下移到 $0.1\sim 0.15\mu m$ 。

3.5.2 纤维粗细的影响

对于前面讲到的所有过滤机理, 当纤维径减小时, 效率都升高。所以在选择高效过滤器滤材时, 力求采用最细的纤维。当然纤维细了, 过滤器的阻力就要相应增加。

3.5.3 滤速的影响

前述几种过滤效应和滤速的定性关系表示于图3-10。其他还有一些影响因素, 这里不再论述。

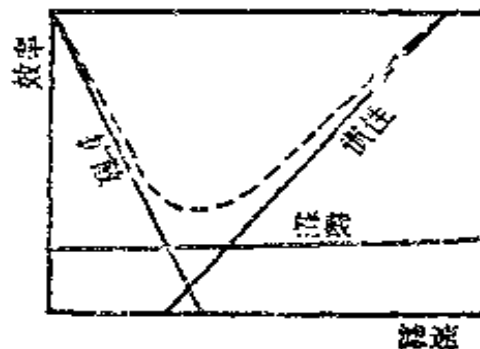


图3-10 滤速对各类效率的影响

3.6 我国过滤器的分类

3.6.1 一般过滤器分类

我国于1992年、1993年分别颁布了空气过滤器 (GB/T 14295-93) 和高效空气过滤器

(GB13554-92)的两个国家标准，一共分为粗效过滤器、中效过滤器、高中效过滤器、亚高效过滤器和高效过滤器五类，其中高效过滤器又细分为四种。从粗效至亚高效过滤器统称一般空气过滤器，见表3-3。

一般空气过滤器按性能分类

表3-3

性能指标 类别	额定风量下的效率(%) %	额定风量下的初阻力(Pa)
粗效	粒径 $\geq 5\mu$ 80 $>\eta\geq$ 20	≤ 50
中效	粒径 $\geq 1\mu$ 70 $>\eta\geq$ 20	≤ 80
高中效	粒径 $\geq 1\mu$ 99 $>\eta\geq$ 70	≤ 100
亚高效	粒径 $\geq 0.5\mu$ 99.9 $>\eta\geq$ 95	≤ 120

一般空气过滤器的效率规定用大气尘分组计数法测定。

在一般空气过滤器中，粗效过滤器和中效过滤器是人们熟悉的，而高中效过滤器和亚高效过滤器则是国内新的分类，所以这里着重介绍这两类中几种典型产品。

3.6.2 高中效过滤器

(1) 袋式高中效过滤器，又称仿剑桥过滤器，如图3-11所示，相当于剑桥过滤器比色法效率为55%、85%的两种。规格详见表3-4。

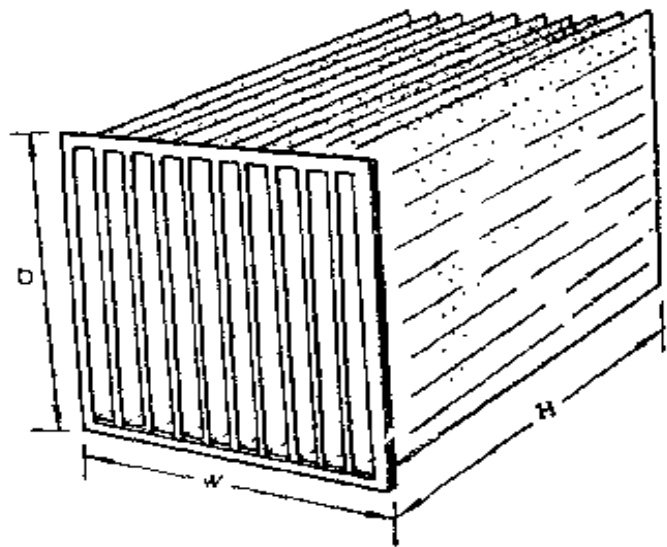


图3-11 袋式高中效过滤器

(2) 管(筒)式高中效过滤器，又称风道式过滤器，它是在底板上安多根 $\phi 70$ 左右的滤管组成，管长可达900mm以上，其最大

袋式高中效过滤器规格

表3-4

型 号	入口截面尺寸 宽×高(mm)	滤袋长度 深(mm)	额定风量 (m ³ /h)	大气尘计数效率 (≥1.0μm)	初阻力(Pa)
KG-D-K-2-Ⅲ	592×592	533	2400	≥80	≤80
KG-D-K-3-Ⅲ	592×592	737	3400	≥80	≤90
KG-D-K-4-Ⅲ	592×592	915	4100	≥80	≤90
被替代日本剑桥 3S-85	592×592	900	4100	≥75	≤145

(生产厂：吴江空气净化设备厂)

特点是当无空安装时可以直接伸入风管内而不占地方，如图3-12所示。规格见表3-5。

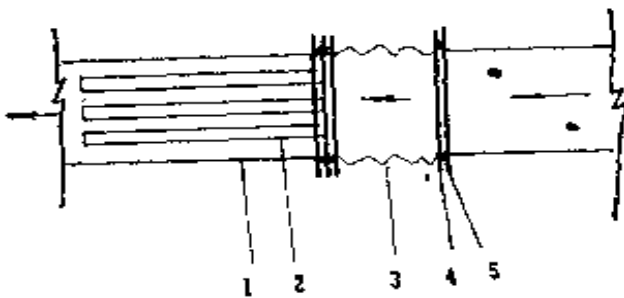


图3-12 管式过滤器安在风管内

- 1.风管； 2.滤筒； 3.软接头；
4.法兰； 5.密封垫

(3) 滤管式无框高中效过滤器，其结构和下述亚高效过滤器相同，只是无外框，表3-6给出了两种规格的试验结果。第九章将介绍专用空调机专配高中效过滤器，这里先不详述。

(4) 纸框折叠式高中效过滤器，性能测试结果如表3-7所列。

管式高中效过滤器规格

表3-5

型 号	入口截面尺寸 宽×高(mm)	滤袋长度 (mm)	额定风量 (m ³ /h)	大气尘计数效率 (≥1μ. %)	初阻力 (Pa)
KG-G-K-2-Ⅲ	592×592	533	2400	≥80	≤95
KG-G-K-3-Ⅲ	592×592	737	3400	≥80	≤95
KG-G-K-4-Ⅲ	592×592	915	4100	≥80	≤95
被替代的日本剑 桥3ST-80	592×592	900	4100	≥75	≤145

(生产厂：吴江空气净化设备厂)

两种滤管式无框高中效过滤器性能测试结果

表3-6

尺寸 (mm)	风量(m ³ /h)	阻力(Pa)	对 $\geq 1\mu$ 的效率 (%)
484×484×140(厚)	1000	21	≥ 95
	1400	42	
	2000	78	
484×484×292(厚)	1500	47	≥ 95
	2000	80	

(生产厂：吴江空气净化设备厂)

纸框折叠式高中效过滤器性能测试结果

表3-7

尺寸 (mm)	风量(m ³ /h)	阻力(Pa)	对 $\geq 1\mu$ 的效率 (%)
484×484×292(厚)	1500	47	≥ 95
	2000	80	

(生产厂：吴江空气净化设备厂)

3.6.3 亚高效过滤器

YGG 低阻亚高效过滤器，为滤管形结构，是亚高效过滤器（包括折叠形）中唯一不用胶，因而对空气不产生二次污染的品种，用于医院等处尤为适用。此外尚有可做成任意形状、可更换滤管等特点，适用于净化空调设备及民用净化器。

示于YGG低阻亚高效过滤器的外观图3-13，规格列于表3-8，图3-14是某合资药厂用

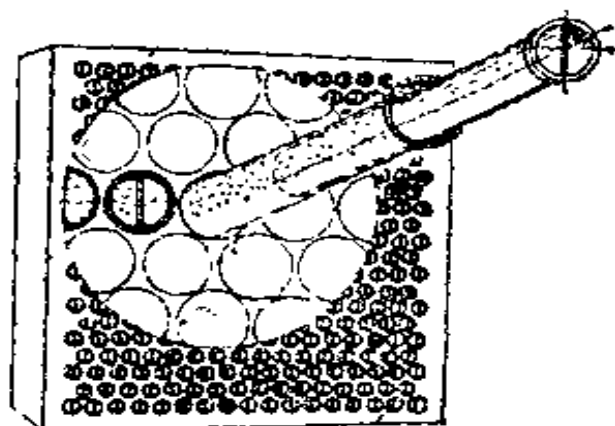


图3-13 YGG低阻亚高效过滤器

YGG低阻亚高效过滤器性能

表3-8

型 号	额定风量 (m ³ /h)	初阻力 (Pa)	对 $\geq 0.5\mu$ 计 数效率(%)	滤菌(大肠 杆菌)效率 (%)	容尘量(终阻 力为24Pa)	外形尺寸 (mm)
YGG01(29)	1000	<59	~99	~99.9	180	484×484×220
YGG02(29)	1500	<59	~99	~99.9	240	630×630×180
YGG03(29)	500	<44	~99	~99.9	90	484×484×110
YGG04(49)	1500	<49	~99.3	~100	280	630×630×220
YGG05(49)	1000	<50	~99.9	~100	140	630×630×110

(生产厂家：浙江空气净化设备厂)

YGG代替日本CP-9A过滤器的性能对比结果。

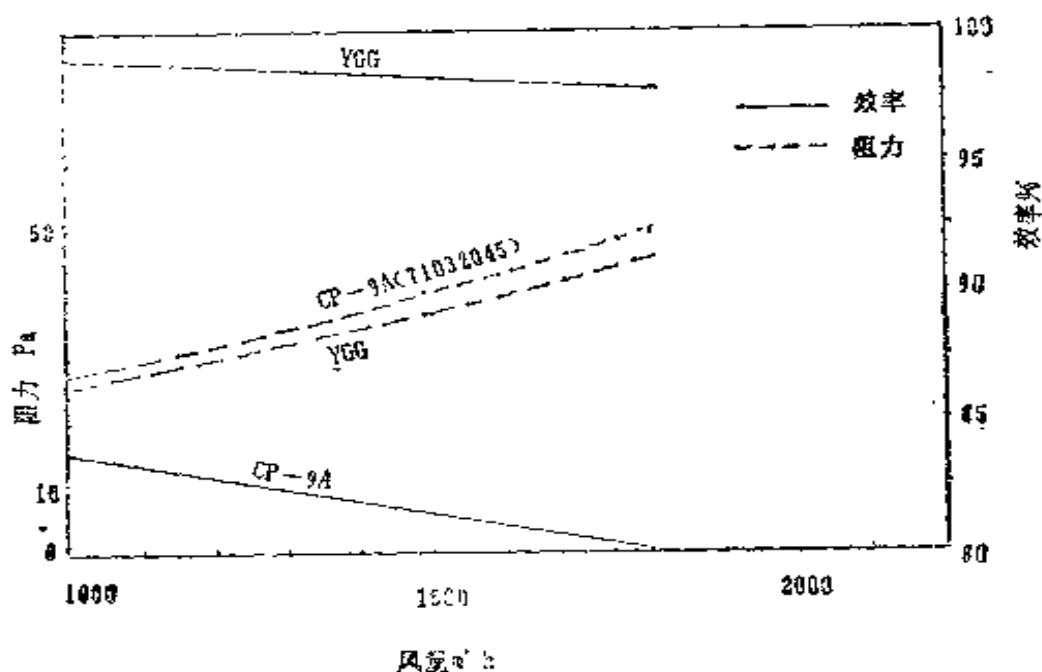


图3-14 YGG与日产CP-9A性能比较

3.6.4 高效过滤器

高效过滤器分“有分隔板”和“无分隔板”两类。按照全部为不燃性材料、仅滤料为不燃性材料和全部为易燃性材料分为1、2、3级耐火等级，并且把外形尺寸逐步从484、630等过渡到整齐的数字如400mm、500mm、600mm等，要求新设计的项目采用新尺寸标准。

表3-9的A、B、C三种过滤器的效率规定用钠焰法测定，D种的效率用计数法测定。

高效过滤器按性能分类

表3-9

性能指标 类别	额定风量下的效率 η (%)	20%额定风量下的效率 η (%)	额定风量下的 初阻力(Pa)	出厂 检漏
A	≥ 99.9	—	≤ 190	—
B	≥ 99.99	≥ 99.99	≤ 220	—
C	≥ 99.999	≥ 99.999	≤ 250	—
D	粒径 $\geq 0.1\mu\text{m}$ ≥ 99.999	粒径 $\geq 0.1\mu\text{m}$ ≥ 99.999	≤ 280	—

第四章 洁净室的分类和原理

4.1 洁净室的定义

4.1.1 定义

洁净室是指空气洁净度达到规定级别的可供人活动的空间。其功能是控制微粒的污染。

为了达到规定的洁净度级别，有效地控制微粒的污染，使人在其中从事精密的生产和科学实验活动，洁净室绝不是仅限于“洁净”，而必须是一个对冷热、噪声、照度、静电、微振都有相当要求的多功能的综合整体，是集建筑装饰、净化空调、纯水纯气、电气控制等多种专业技术于一体的产物。

4.1.2 特点

洁净室的特点如表4-1所列。

洁 净 室 特 点

表4-1

功 能 上	设 计 上	结 构 上	施 工 上
防止产生	三级过滤	不产生	严密
阻止进尘	末端过滤	不积尘	干净
有效排尘	气流方向有利于灰尘沉降	不妨碍清除灰尘	

4.2 洁净室的分类

4.2.1 按用途分类

按用途可分为两大类：

(1) 工业洁净室——以无生命微粒的控制为对象。主要控制无生命微粒对工作对象的污染，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)、宇航工业(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)、照相工业(胶片制版)等部门。

(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。实质上是结构和材料允许作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)、实验设施(理化、洁净实验室)。

②生物学安全洁净室，主要控制工作对象的有生命微粒对外界和人的污染，内部保持负压。用于实验设施(细菌学、生物学洁净实验室)、生物工程(重组基因、疫苗制备)。

4.2.2 按气流分类

按气流可分为四类：

- (1) 单向流洁净室；
- (2) 非单向流洁净室(乱流洁净室)；
- (3) 辐(斜)流洁净室；
- (4) 混合流(局部单向流)洁净室。

4.3 单向流洁净室的原理和特性

4.3.1 定义

单向流洁净室过去在国外称为层流洁净室，我们称为平行流洁净室。从美国联邦标准209C开始，正式称为单向流洁净室。

单向流洁净室的定义是：气流以均匀的截面速度，沿着平行流线以单一方向在整个室截面上通过的洁净室。

4.3.2 原理

单向流洁净室靠送风气流“活塞”般的挤压作用，迅速把室内污染排出，如图4-1所示。

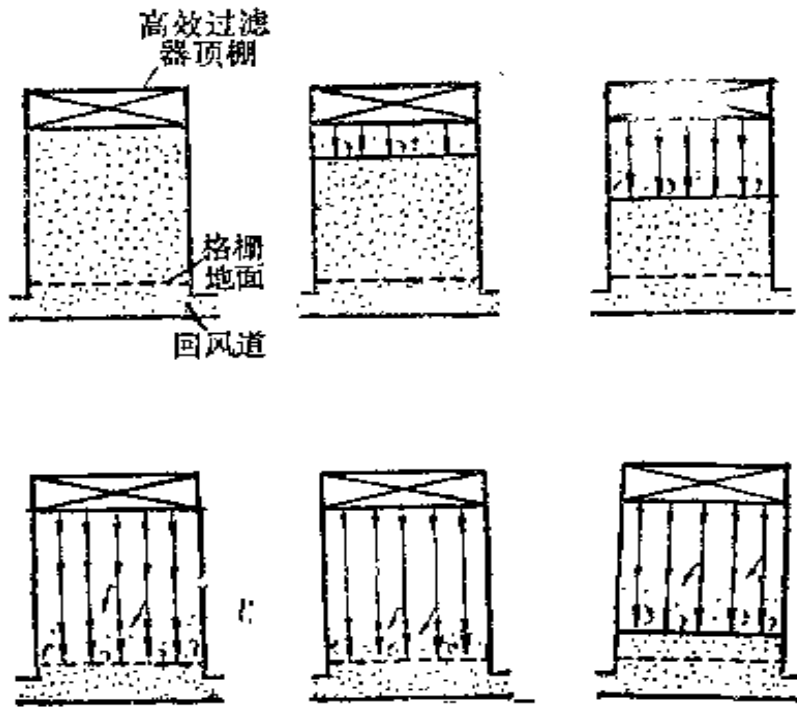


图4-1 单向流洁净室原理

要想保证“活塞”作用的实现，最重要一点是高效过滤器必须满布。当然，过滤器是有边框的，顶棚也是有边框的，不可能百分之百地满布过滤器。应该用满布比这一概念来衡量过滤器的满布程度：

$$\text{满布比} = \frac{\text{高效过滤器净截面积}}{\text{洁净室布置过滤器截面的面积}}$$

正常情况下满布比达到80%。我国《空气洁净技术措施》和《洁净厂房设计规范》规定，垂直单向流洁净室满布比不应小于60%，水平单向流洁净室不应小于40%，否则就是局部单向流

了。

4.3.3 特性指标

表示单向流洁净室性能好坏的特性指标主要有三项：

1. 流线平行度(流线平行性)

流线平行的作用是保证尘源散发的尘粒不作垂直于流向的传播。

要求流线之间既要平行，在0.5m距离内线间夹角最大不能超过25°；又要求流线尽可能垂直于送风面，其倾斜角最小不能小于65°。或者简单用流线偏离垂直线的角度表示，《洁净室施工及验收规范》规定了更严的要求即该角应不大于15°。

2. 乱流度(速度不均匀度)

速度均匀的作用是保证流线之间质点的横向交换最小。乱流度是为了说明速度场的集中或离散程度而定义的，用于不同速度场的比较，用 $\frac{\sum (V_i - \bar{V})^2}{n} / \bar{V}$ 表示，这是数理统计中的

“变异系数”。实用时，由于测点数一般不会多于30，按《洁净室施工及验收规范》不小于10点就可以，而此时由于测点少，属小子样问题，应加以贝塞尔修正，即用(n-1)代替上式中的n。

国内在80年代初即提出这一概念，日本则在1987年的协会标准中提出这一概念，而且都从理论角度要求乱流度 ≤ 0.20 。美国一直沿用简单的测点数法，早期的209标准要求任一点速度与平均速度之差不能超过平均速度 $\pm 20\%$ ，这显然失之过严。70年代，美国污染控制协会标准规定为速度测点的80%值与平均值之差，约在平均值的 $\pm 20\%$ 之内，其余20%测定值与平均值之差，改在平均值的 $\pm 30\%$ 之内。80年代，美国环境科学协会标准则规定，在平均值 $\pm 20\%$ 范围内的气流速度测点数占的最小百分数是“买卖双方之间协商的事情”。计算表明，如果按209标准的方法评定达不到要求，则按上述其他各法评定就可以达到要求。

图4-2是根据国内外实测数据整理成的乱流度和单向流自净时间的关系，可见在速度不均匀度 $\beta_v \geq 0.3$ 时，实际自净时间为1min，虽然已比理论值大几倍，但毕竟仍是很短的，所以从实际出发，发 $\beta_v \geq 0.3$ 即可以。现《洁净室施工及验收规范》把 β_v 订得更严，即

$$\beta_v = \sqrt{\frac{\sum (V_i - \bar{V})^2}{n-1}} / \bar{V} \leq 0.25 \quad (4-1)$$

式中 V_i ——任一点风速；
 \bar{V} ——平均风速；
 n ——测点数。

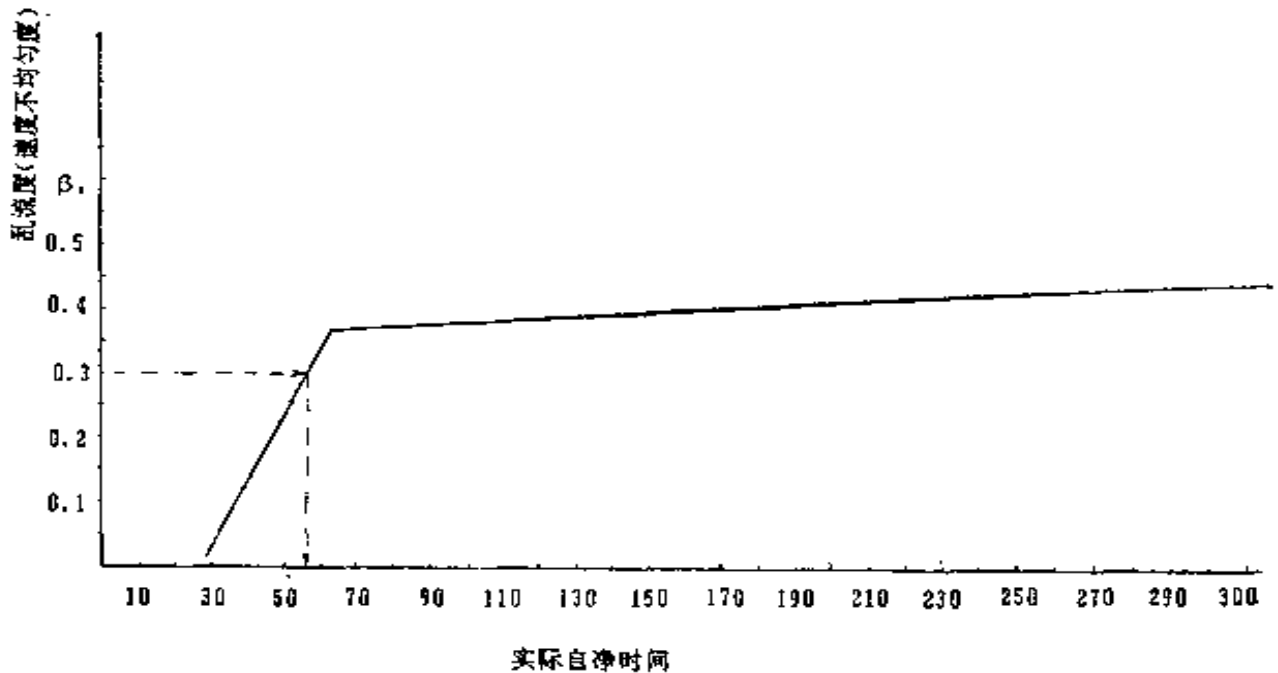


图4-2 乱流度与单向流洁净室自净时间的关系

3. 下限风速

这是保证洁净室能控制以下四种污染的最小风速：

- ①当污染气流多方位散布时，送风气流要能有效控制污染的范围；
- ②当污染气流与送风气流同向时，送风气流要能有效地控制污染气流到达下游的扩散范围；

③当污染气流与送风气流逆向时，送风气流能把污染气流抑制在必要的距离之内；

④在全室被污染的情况下，足以在合适的时间迅速使室内空气自净。

具体数值见表4-2。

下 限 风 速 建 议 值

表4-2

洁净室	下限风速 (m/s)	条 件
垂直单 向 流	0.12	平时无人或很少有人进出，无明显热源(只有一般仪器)
	0.3	无明显热源的一般情况
	≥0.5	有人，有明显热源，如0.5仍不够，则宜控制热源尺寸和加以隔热
水平单 向 流	0.3	平时无人或很少有人进出
	0.35	一般情况
	≥0.5	要求更高或人员进出频繁的情况

4.4 乱流洁净室的原理和特性

4.4.1 定义

乱流洁净室，从美国联邦标准209C开始，称为非单向流洁净室。为简单起见，我国《洁净室施工及验收规范》仍沿用乱流洁净室这一名称。

乱流洁净室的定义是：气流以不均匀的速度呈不平行流动，伴有回流或涡流的洁净室。

4.4.2 原理

乱流洁净室靠送风气流不断稀释室内空气，把室内污染逐渐排出，达到平衡，如图4-3所示。



地面

图4-3 乱流洁净室原理

要想保证稀释作用很好实现，最重要一点是室内气流扩散得越快越均匀越好。

4.4.3 特性指标

表示乱流洁净室性能好坏的特性指标主要有三项：

1. 换气次数

换气次数的作用是保证有足够进行稀释的干净气流。

换气次数的多少应根据计算和经验确定，详见洁净室计算一章。

2. 气流组织

气流组织的作用是保证能均匀地送风和回风，充分发挥干净气流的稀释作用。因此要求单个风口有足够的扩散作用，全室风口布置均匀，数量多一些好，要尽量减少涡流和气流回旋。

气流组织是通过测定流场流线来分析的，没有定量标准。

3. 自净时间

自净时间是洁净室从污染状态回复到正常稳定状态的能力的体现，越短越好。也可以指定为从某污染状态降低到某洁净状态的时间。

图4-4是具有33次/h换气次数的洁净室的理论自净过程曲线和实测过程曲线。

乱流洁净室自净时间一般不超过30min，详见洁净室计算一章。

4.5 洁净室稳定时的含尘浓度

洁净室稳定时的含尘浓度可由图4-5所示的基本形式计算，图中洁净室可以是单室或多室，结果都可写成：

室内尘粒均匀分布时，

$$N = \frac{60G \times 10^{-3} + Mn(1-s)(1-\eta_n)}{n[1-s(1-\eta_s)]} \quad (4-2)$$

$$\approx N_s + \frac{60G \times 10^{-3}}{n} \quad (4-3)$$

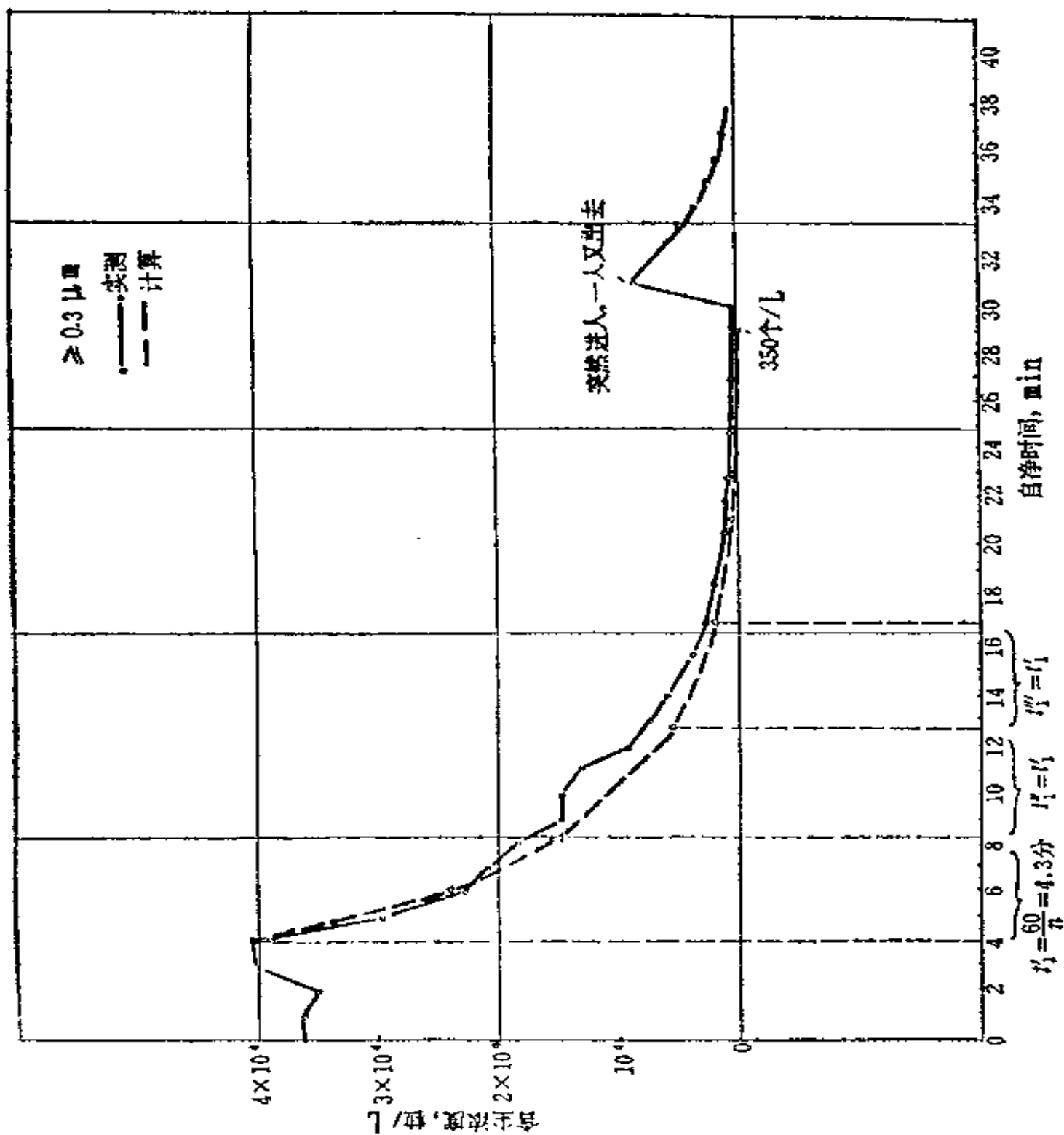


图4-4 自净过程曲线

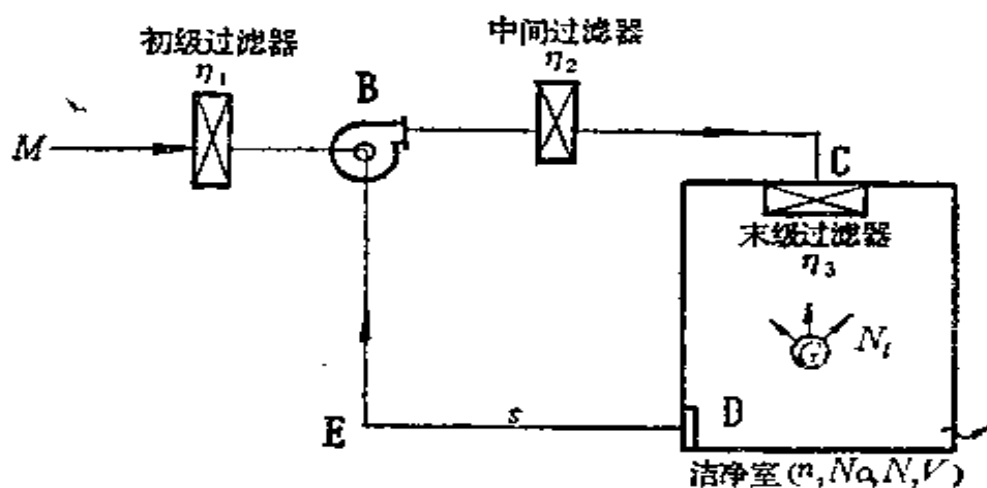


图4-5 乱流洁净室的基本图式

MBC—新风通路 DEBC—回风通路

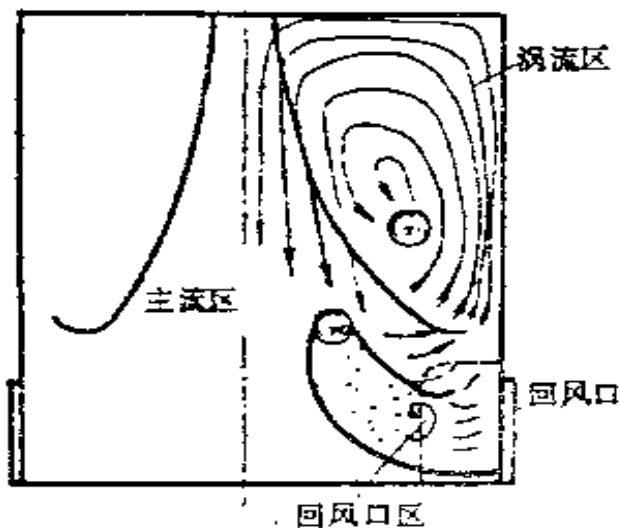


图4-6 三区不均匀分布

室内尘粒不均匀分布时(图4-6所示的三区不均匀分布),

$$N_v = N_s + \psi \frac{60G \times 10^{-3}}{n} \quad (4-4)$$

∵ N_s 和 $\frac{60G \times 10^{-3}}{n}$ 相比极小, 可把上式改写成简化式:

$$\begin{aligned} N_v &\approx \psi \left(N_s + \frac{60G \times 10^{-3}}{n} \right) \\ &= \psi N \end{aligned} \quad (4-5)$$

以上各式中的符号意义是：

N 、 N_v ——室内稳定含尘浓度(粒/L)；

n ——换气次数(次/h)；

G ——室内单位容积发尘量(粒/ $m^3 \cdot \text{min}$)；

M ——大气含尘浓度(粒/L)；

s ——回风量对于全风量之比；

N_s ——送风含尘浓度(粒/L)；

η_n ——从新风口到送风口的新风通路上过滤器的总效率，

$$\eta_n = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2)(1 - \eta_3) \quad (4-6)$$

η_r ——从回风口到送风口的回风通路上过滤器的总效率，

$$\eta_r = 1 - (1 - \eta_2)(1 - \eta_3) \quad (4-7)$$

η_1 ——粗效过滤器效率；

η_2 ——中效预过滤器效率；

η_3 ——末级过滤器效率；

ψ ——不均匀分布系数，其意义见下节说明。

高效净化系统送风含尘浓度 N_s 可按表4-3选用；亚高效系统则须具体计算。

送风含尘浓度 N_s

表4-3

高效净化系统	新风比(单向流)	0.02	0.04			
	新风比(乱流)			0.2	0.5	1.0
	N_s (粒/L)	0.1	0.2	1	2.5	5

4.6 洁净室的特性

4.6.1 乱流洁净室均匀分布时的静态特性

通过对含尘浓度均匀分布时稳定式的进一步分析并绘成曲

线，可以直观地了解各参数对洁净度的影响程度，起到揭示洁净室规律的作用。现举一例如图4-7所示。

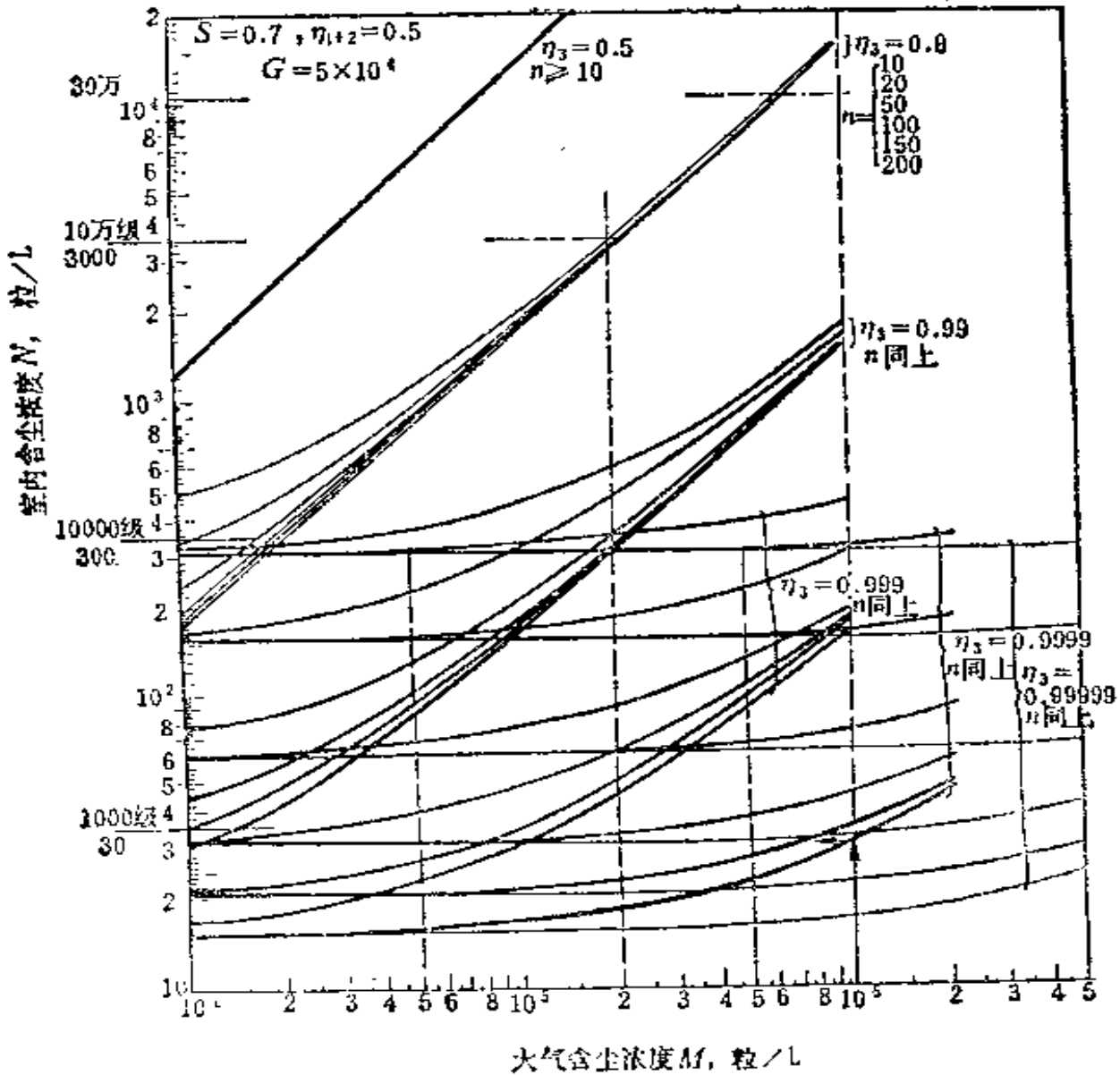


图4-7 乱流洁净室静态特性曲线一例

从图中可见：

(1) 在 $M \leq 10^6$ 粒/L 以内，大气尘浓度的波动对于100级及其以下级别的洁净室的含尘浓度影响极小，也就是说，在 M_1 时测出的室内含尘浓度，当 M_1 变化到 M_2 时，这一测定结果仍然适用。

但是对于级别高于100级例如10级的洁净室,使用常规 $0.5\mu\text{m}$ 级高效过滤时,大气尘浓度的变化对室内含尘浓度将有影响。

(2) 室内单位容积发尘量 G 变化时,对洁净室含尘浓度的影响,随着末级过滤器效率的提高而增加。或者说,对于级别越高的洁净室, G 越是决定室内含尘浓度的重要因素,比大气尘浓度影响更大,所以室内管理越显得重要。

(3) 末级过滤器效率高到一定程度,对提高乱流洁净室洁净度级别的作用就显著减小,所以对于洁净度要求不是很高的洁净室,可以采用效率稍低而阻力、价格也低的末级过滤器,如亚高效过滤器,这对于拓宽洁净室的使用领域是有利的。

(4) 换气次数 n 和室内含尘浓度成直线关系,并且 η_s 越大, n 的影响越大;反之末级过滤器性能越差, n 的影响也越小,即此时单纯靠增加换气次数收不到明显效果。同时,室内发尘量越大, n 的作用也越大。

4.6.2 不均匀分布时的静态特性

由式(4-8)可以绘制一组曲线,反映不均匀系数 ϕ 和洁净室几个特性参数的关系:

$$\phi = \left(\frac{1}{\varphi} - \frac{\beta}{\varphi} + \frac{\beta}{1+\varphi} \right) \left(\varphi + \frac{V_b}{V} \right) \quad (4-8)$$

$$\beta = \frac{G_a}{G + G_b} \quad (4-9)$$

$$\varphi = \frac{Q'}{Q} \quad (4-10)$$

公式中各符号意义是:

G_a ——主流区内发尘量;

G_b ——涡流区内发尘量;

β ——主流区发尘量占全室发尘量的比例;

Q ——送风量;

Q' ——主流区引带边上涡流区的风量;

φ ——主流区的引带系数;

V_b ——涡流区容积;

V ——室容积。

现举如图4-8的一组曲线为例。从这些曲线中可得到不均匀分布时的洁净室特性有以下几点:

(1) 对于单向流洁净室, 假定过滤器满布比达到100%(连边框都没有), 则在室内整个高度和断面上, 都是平行单向气流而无涡流区, 因之

$$V_b = 0$$

$$Q' = 0$$

$$\varphi = 0$$

所以式(4-8)中

$$\left(\varphi + \frac{V_b}{V} \right) = 0$$

由式(4-4) $N_v = N_s$

这好比是一段过滤器试验管道, 过滤器后管道内的含尘浓度只决定于过滤器送风浓度, 当然这是理想的情况。

(2) 假定过滤器不是100%满布, 而有一个比例(即满布比), 此时就有涡流区, 随着这一比例的减小, φ , V_b 都要增大, β 要减小, 则 N_v 也要增大, 说明满布比不同的平行流洁净室, 其含尘浓度是不同的, 用式(4-4)可以计算。同样, 人员密度不同的单向流洁净室含尘浓度也不同, 所以单向流洁净室的人员数量还是要适当控制。

(3) 对于不同的乱流洁净室, 主要是主流区的大小、涡流区的大小和引带风量的大小不同, 例如散流器的扩散角比高效过滤器风口大一些, 因而 V_b 小些, φ 也大些。这就反映了不同乱流洁净室在含尘浓度上的差别。

(4) 在所有情况下, β 越大, 不均匀系数 ψ 越小。这说明, 如果将尘源尽量设置在主流区内, 则洁净室的平均含尘浓度越小。

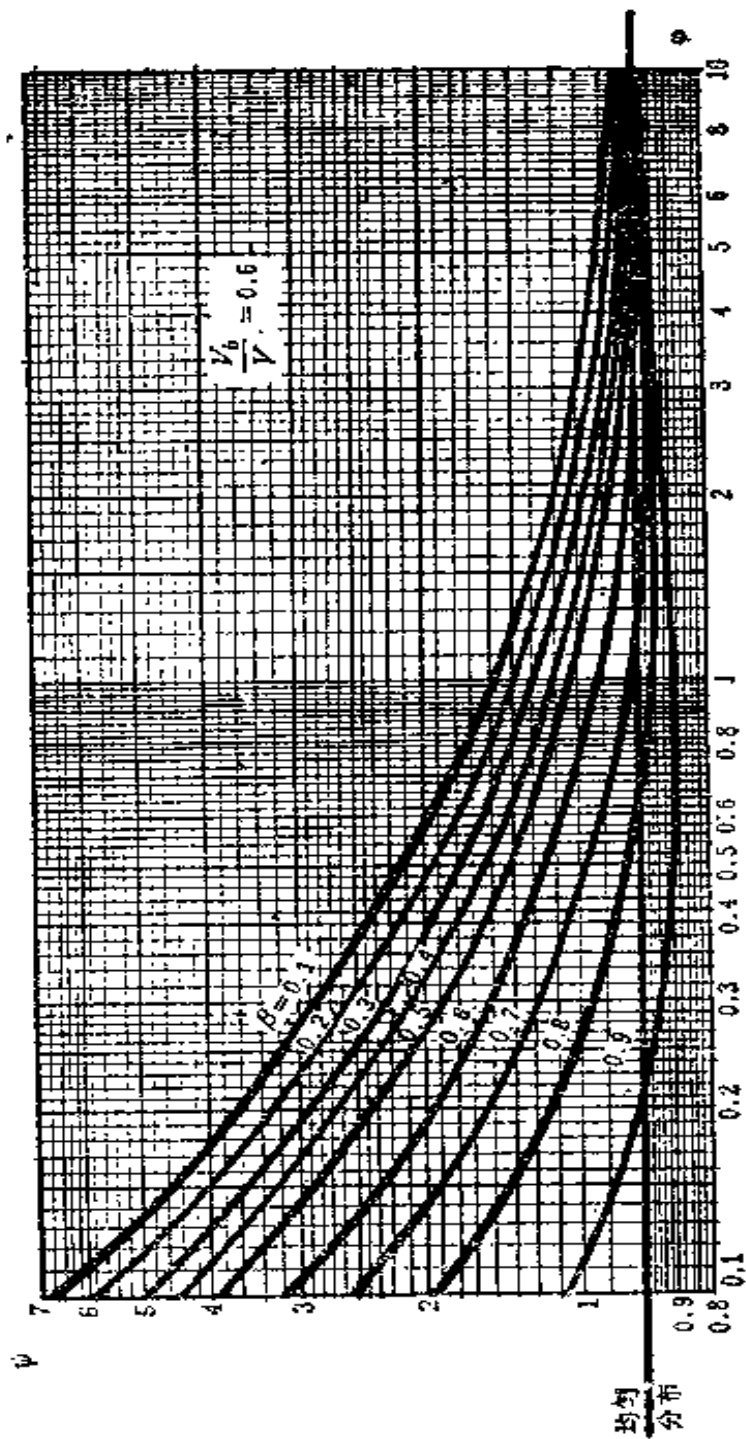


图4-8 不均匀分布特性曲线一例

(5) 对于乱流洁净室, 由于 $\frac{V_b}{V}$ 一般在0.5以上, 则 φ 越大, 不均匀系数 ψ 越小, 越接近于1。这说明, 对于乱流洁净室, 希望风口的引带比大, 这样室内气流混合较好, 达到尽量均匀稀释的作用, 因而含尘浓度更接近按均匀分布公式计算的结果。

对于单向流洁净室, 由于 $\frac{V_b}{V} < 0.1$, 则 φ 越小, 不均匀系数 ψ 越小于1。这说明, 对于单向流洁净室气流已经是平行流动, 就不希望引带气流太大以致扰乱单向流; 相反, 引带气流越小, 单向平行流越稳定, 含尘浓度越低。

(6) 由于尘粒不均匀分布这一固有特性的影响, 实测浓度值之间的差别在1倍之内是允许的, 由于浓度场的这一不均匀性, 建议测定应多点多次地进行。

(7) 据计算, 不均匀分布和均匀分布浓度之比即不均匀系数 ψ , 对于乱流洁净室一般波动 ± 0.5 (参见表7-1), 也就是说, 按均匀分布法计算的结果若和实测浓度相差在半倍以内, 不一定是计算的问题, 因为仍在不均匀分布的波动范围之内, 是允许的。

(8) 均匀分布时 n 和 N 的关系如前所述为直线, 而不均匀分布时则是折线, 如图4-9。这是由于真正的室平均浓度即不均匀分布的室平均浓度, 可比均匀分布的室平均浓度大(即 $\psi > 1$), 也可以比它小(即 $\psi < 1$)。一般当 n 小于60次时, ψ 大于1, 反之小于1, 因此 n 和 N 成为折线关系。

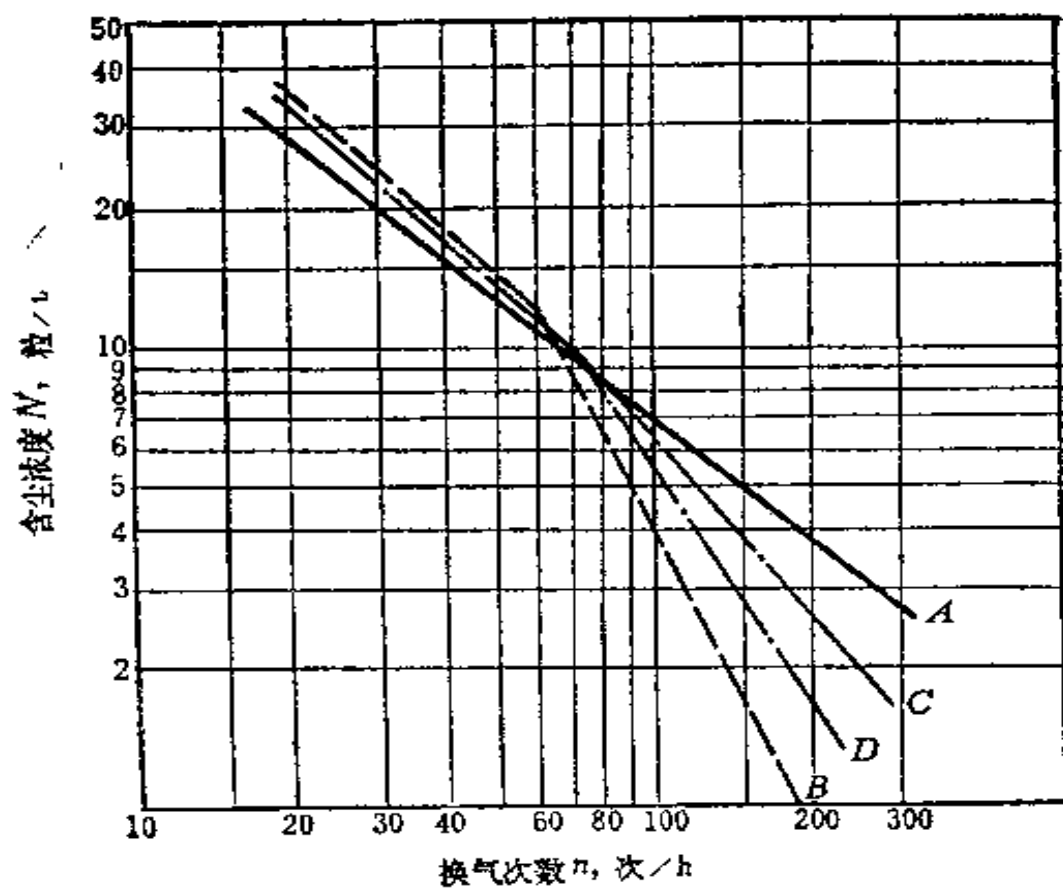


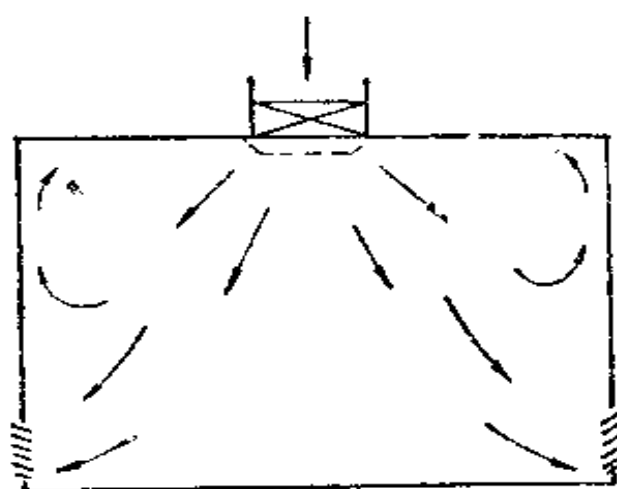
图4-9 按两种分布计算的浓度和实测浓度的比较

第五章 洁净室的气流组织和系统设计

5.1 气流组织

5.1.1 气流组织

基本的气流组织如图5-1至图5-17所示。

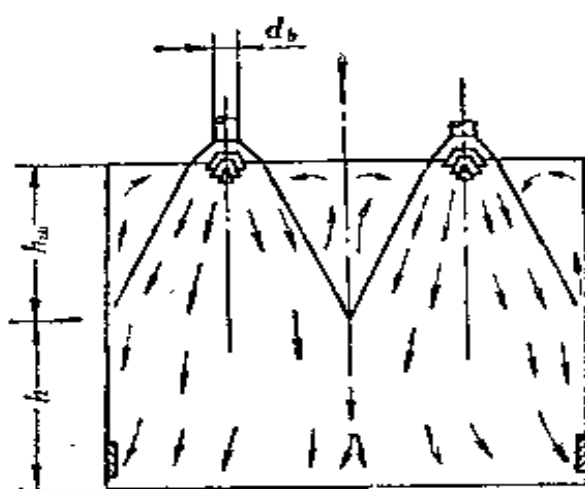


剖面

最主要特点

增大了过滤器顶送的洁净气流作用范围。比过滤器顶送多一个出口积尘的机会，长期不运行后再运行时要先擦净扩散风口

图5-1 带扩散风口过滤器顶送

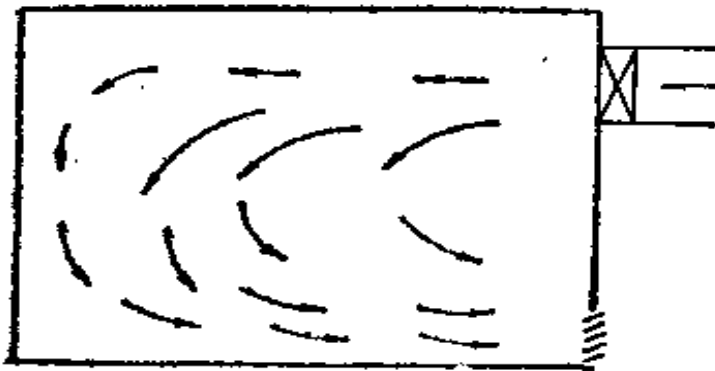


剖面

最主要特点

适于层高较高的房间。适于有空调要求的洁净室

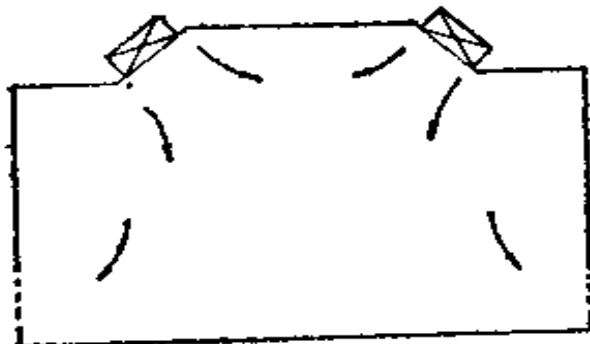
图5-2 散流器顶送



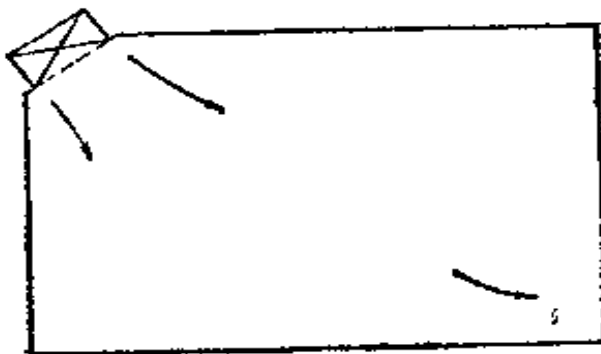
剖面

最 主 要 特 点	<p>甚至比过滤器顶送还简单。 特别适用于无顶棚空间的房间。</p> <p>可利用走廊，风管设于走廊顶棚中。</p> <p>适合有一般空调要求的洁净室</p>
-----------------------	---

图5-3 风口侧送



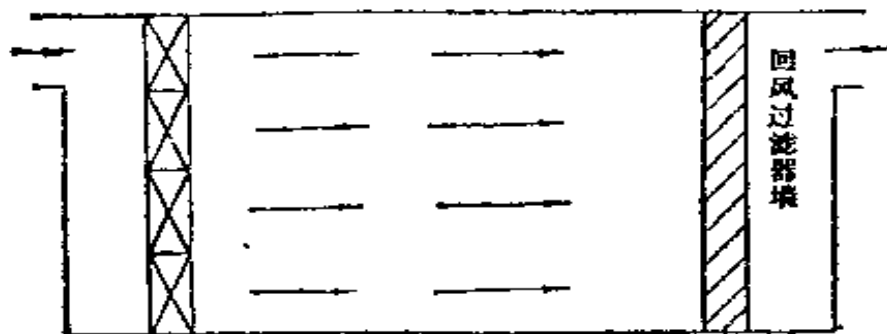
剖面



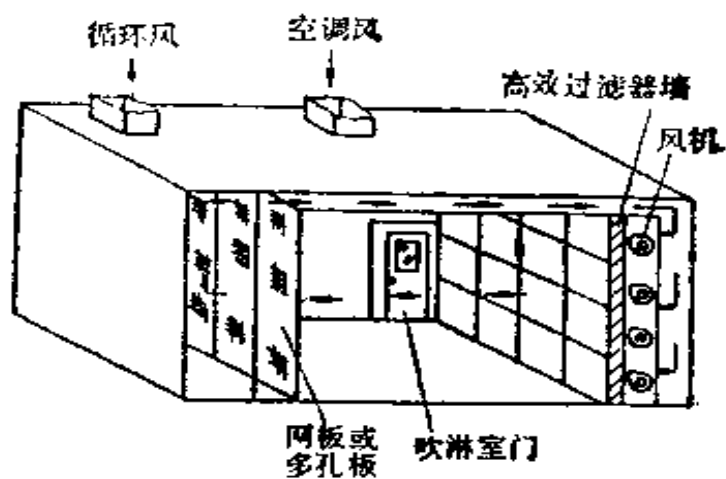
剖面

最 主 要 特 点	<p>用于房间长度不够侧送或不允许回流的场合(如手术室)</p>
-----------------------	----------------------------------

图5-4 风口斜送



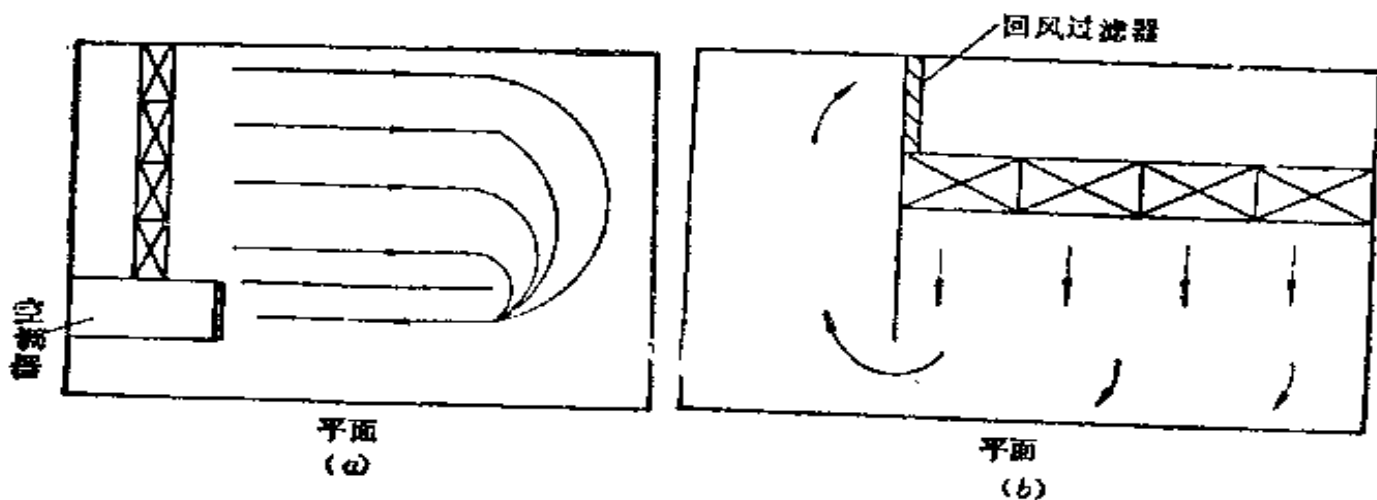
(a)



(b)

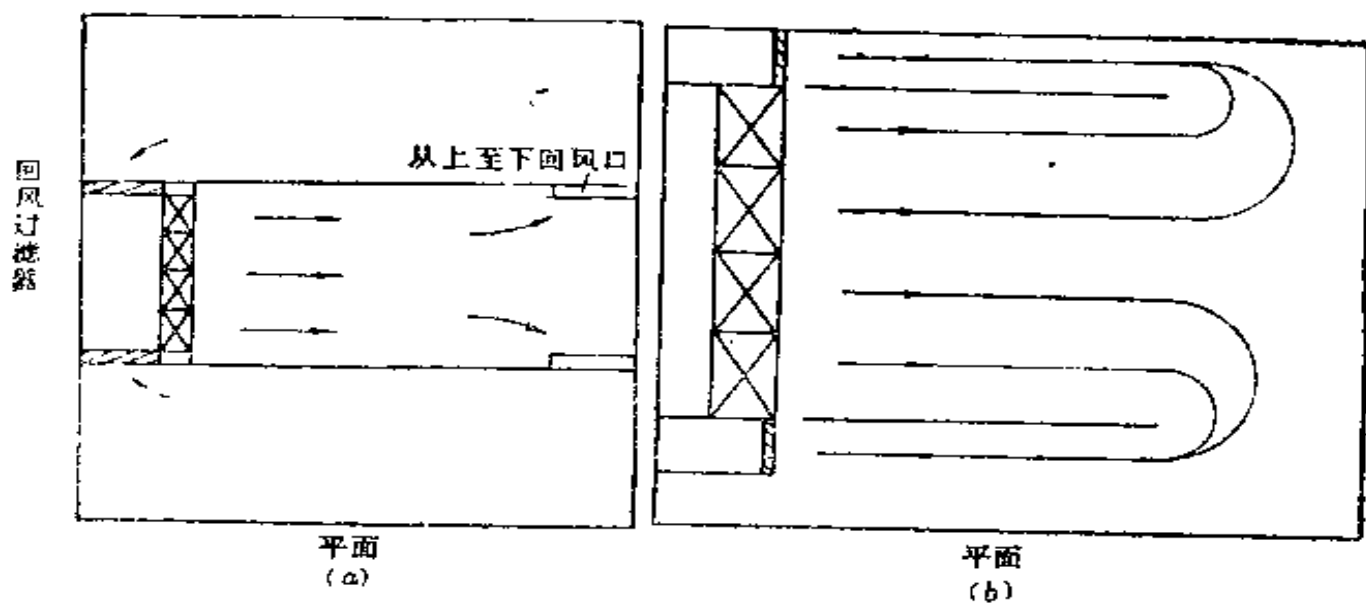
最主要特点	<p>是典型的水平单向流。</p> <p>沿气流方向洁净度不同。</p> <p>流线可能略下倾。</p> <p>由于在表面上沉降微粒少，尤其适合于本室</p>
-------	---

图5-5 水平单向流直回式



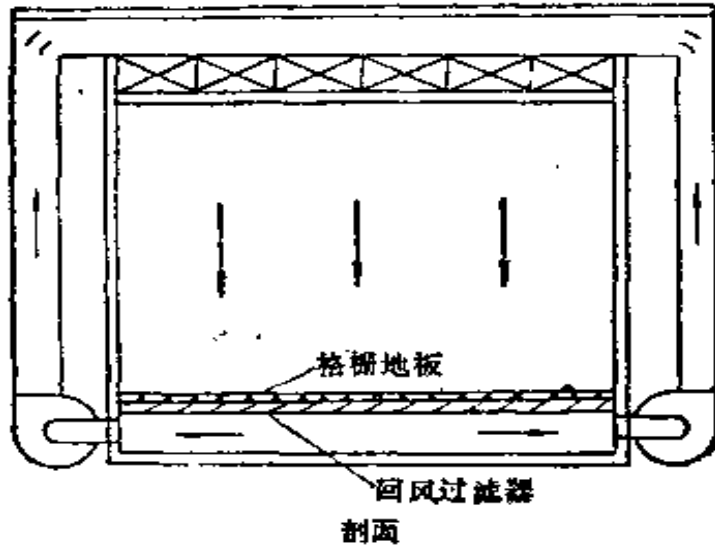
最主要特点	可缩短房间长度。 回风气流可用于准备间
-------	------------------------

图5-6 水平单向流一侧回式



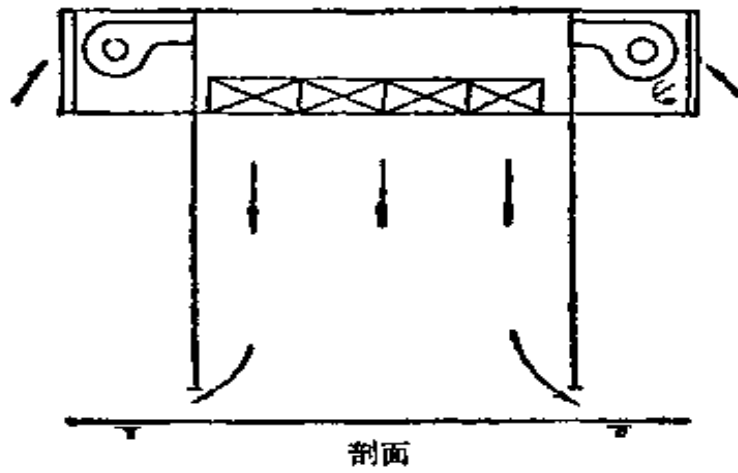
最主要特点	同图5-6，气流更均匀
-------	-------------

图5-7 水平单向流双侧回式



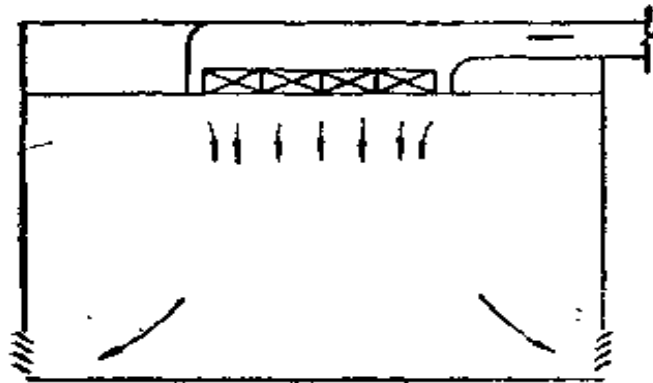
最主要特点	<p>是典型垂直单向流</p> <p>造价最高</p> <p>可达到洁净度最高</p>
-------	---

图5-8 垂直单向流满布格栅地面回风，满布过滤器送风



最主要特点	<p>最简易的垂直单向流洁净室</p> <p>气流平行性不如两侧下回风式</p> <p>压出之气流有利于所在环境洁净度的提高</p>
-------	--

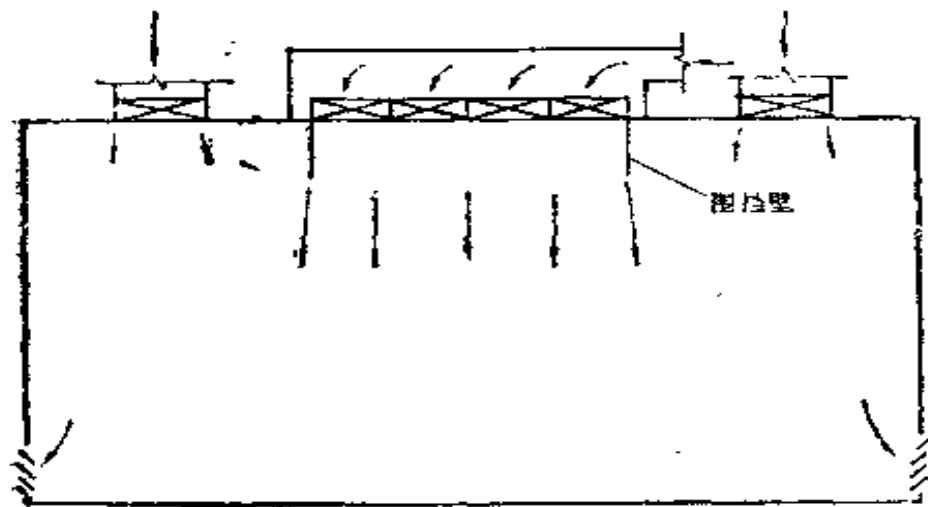
图5-9 垂直单向流周边压出式回风，满布过滤器送风



剖面

最主要特点	<p>只在需要平行流的地区形成局部单向流</p> <p>投资大为减少</p>
-------	--

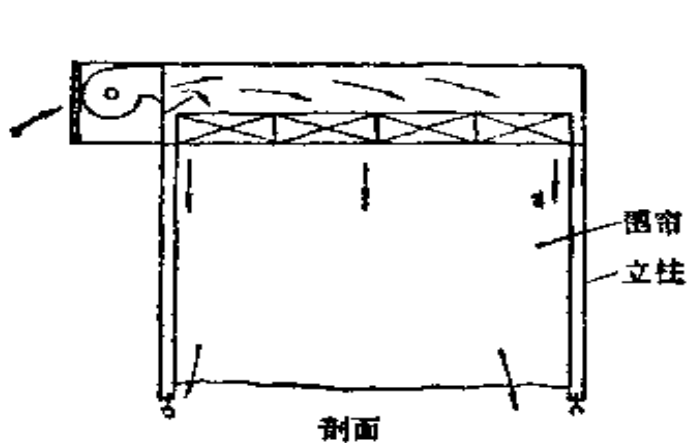
图5-10 无气幕局部垂直单向流



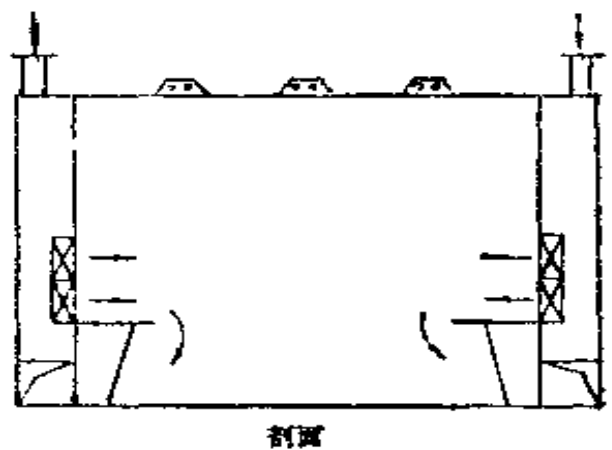
剖面

最主要特点	<p>可延伸垂直单向流的有效长度，等于加宽了送风口或缩短了送风口至工作区的距离</p>
-------	---

图5-11 有围挡壁的局部垂直单向流



剖面



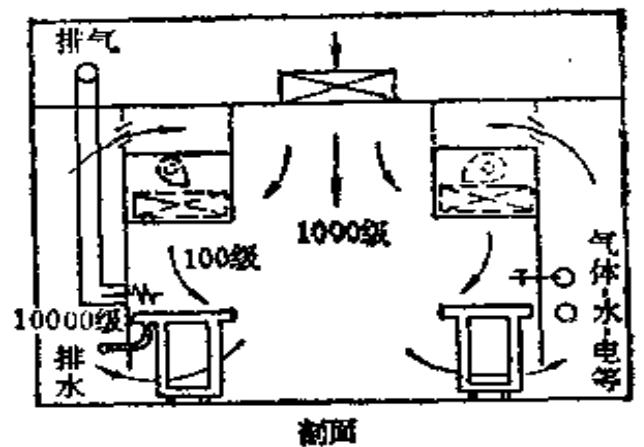
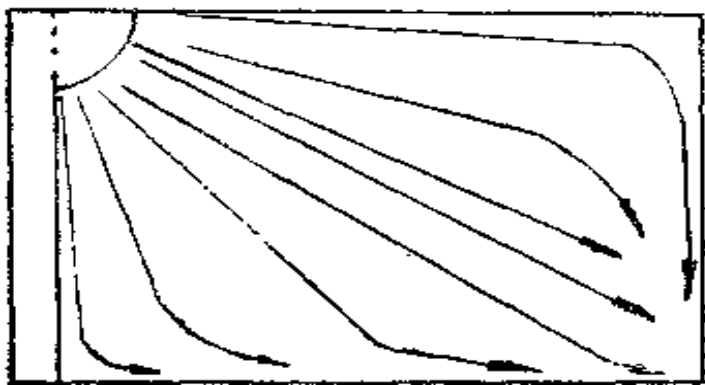
剖面

最主要特点	灵活，便宜 可防止污染侵入，但有障碍
-------	-----------------------

图5-12 立柱围帘洁净棚

最主要特点	把工作台面直接置于水平单向流的第一工作面上，因而更紧凑、节省
-------	--------------------------------

图5-13 台面式局部水平单向流



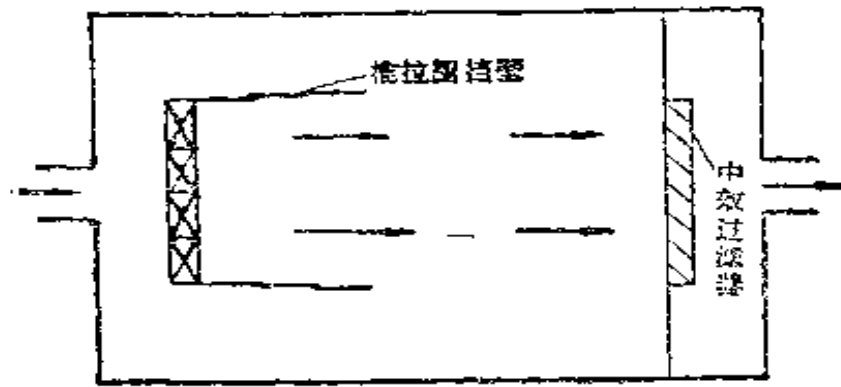
剖面

最主要特点	流线近似向一个方向流动，性能接近水平单向流，但施工较简单费用低，美国常用于药厂
-------	---

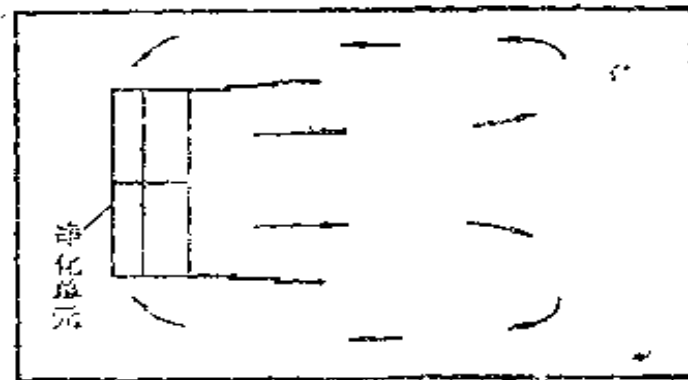
图5-15 缓流式洁净室

最主要特点	可达到最高洁净度 具有最大灵活性，适应工艺的变动 比全面平行流洁净室便宜 尤其适用于大规模集成电路生产
-------	--

图5-16 隧道式洁净室



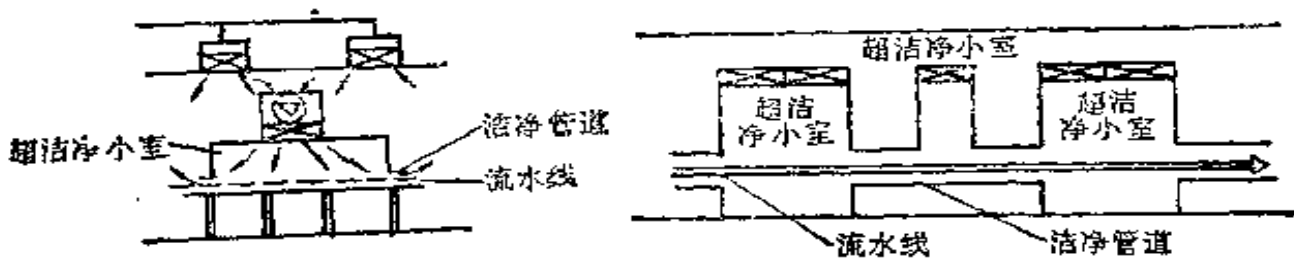
(a)



(b)

最主要特点	延伸了水平单向流的有效长度，等于加宽了送风面
-------	------------------------

图5-14 有围挡壁的净化单元式或墙面式局部水平单向流



最主要特点	适合于洁净度要求特高而洁净区甚小可自动化连续生产的场合 达到最高洁净度而最便宜
-------	--

图5-17 洁净管道

5.1.2 乱流式气流组织设计要点

1. 保持正压

这是乱流式气流组织的最主要之点。

加压空气量按后面讲的洁净室有关计算方法计算，概算时，一般在2~6次/h换气次数范围内。

正压控制方法见下节。

2. 局部发尘的控制

前面说过，乱流洁净室内由于气流是乱流，尘粉可以扩散到任何地方，如果局部地点发尘而平均地影响全局，是很不好的，即使增加很多换气次数，效果也提不太高。最好的办法是从局部气流组织的处理上着眼，即对局部发尘设备(如果非设在洁净室内的话)加以围挡和进行局部排风。

图5-18是对发尘量大的和排气量也大的尘源用罩子和管道先把含尘空气集中处理之后再循环的做法，如果全部排至室外，能量浪费太大。

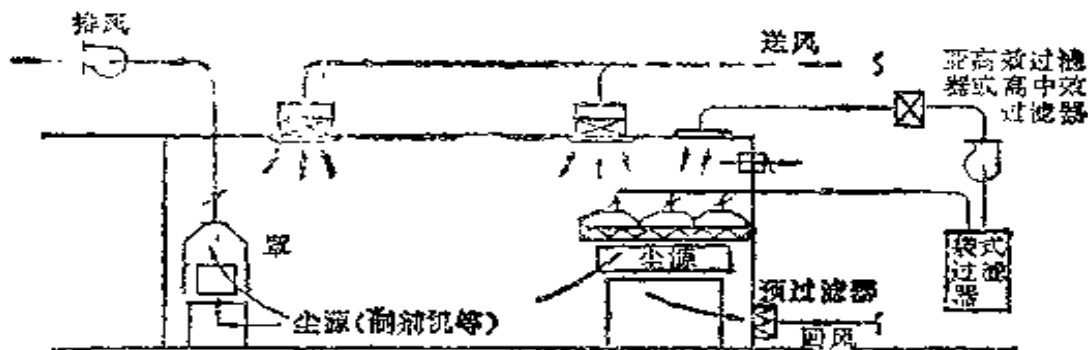


图5-18 大发尘量的节能式气流组织方案

图5-19是使操作工人尽量不接触有害粉尘的气流组织处理方法。

上述两图都是针对药品粉尘的例子，即都是处理药品粉尘自身，所以粉尘处理后再循环送至室内时可不经过高效过滤器，而只经过亚高效过滤器为防止污染管道，也可在回风口设多级过滤器，其末级为亚高效或高效过滤器，这一点是需要注意的。

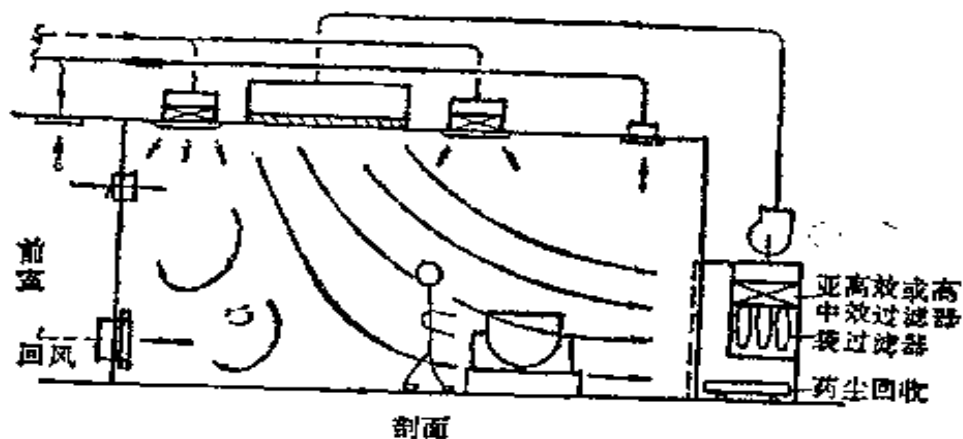


图5-19 不使工人接触有害粉尘的气流组织方案

图5-20是在发生有毒气体场合的气流组织方案，此时排风量要经过符合环保要求的处理后排出室外。

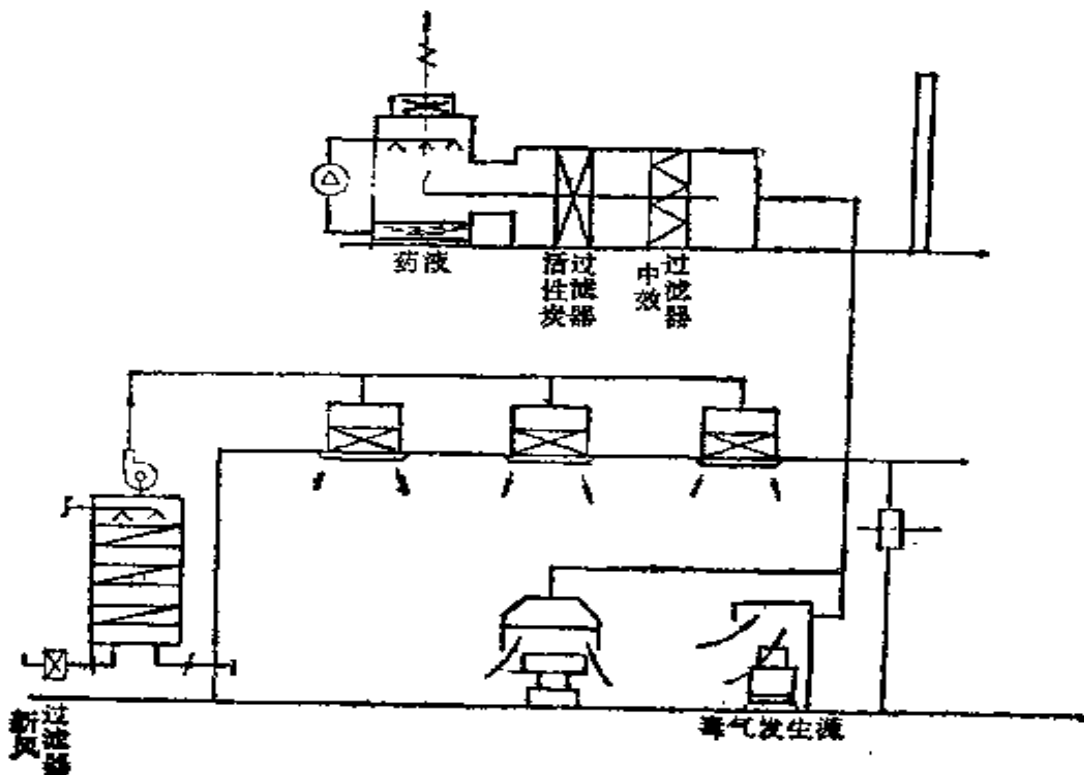


图5-20 发生有害气体场合的气流组织方案

3. 风机压头的选择

过去习惯按过剩的原则来选择风机压头，这并不合适。应该

注意过滤器实际运行的风量都小于额定风量，若都按过滤器初阻力2倍选风机，使开始时风机压头富裕太多，风量和速度太大，如果把阀门关得太小，则又要产生很大的噪声，所以当系统阻力可以比较仔细计算时，粗效至高效过滤器的终阻力可按初阻力分别加50~120Pa来计算(详见后面系统计算部分)。如果系统阻力不便计算或为了估算，也可以仍用2倍初阻力的习惯方法。

4. 风机的选择

应选用高效率、低噪声的风机，重要的是工作点应选在风机性能曲线中倾斜度较大的部分，且此性能曲线也尽量选用陡斜的，而不选平坦的，这样风压变化大时风量变化小，不致有大的影响。

在图5-21中，如果压头 H 在 O 点上下的 O' — O'' 变化，则风量 L 的 O' — O'' 变化也不大；如果压头 H 至 a 点变化，则即使变化很小如 a' — a'' ，都会使风量 L 的 a' — a'' 显得很大。

5.1.3 单向流气流

组织设计要点

1. 防止过滤器漏泄

如果产生漏泄，就使单向流气流组织的优点受到损坏，所以应力求避免。

2. 确保室内送风气流的均匀

①提高送风过滤器的满布率，以减小边框的盲区，盲区影响见图5-22。

②提高过滤器风口侧面出风速度，如用带扩散

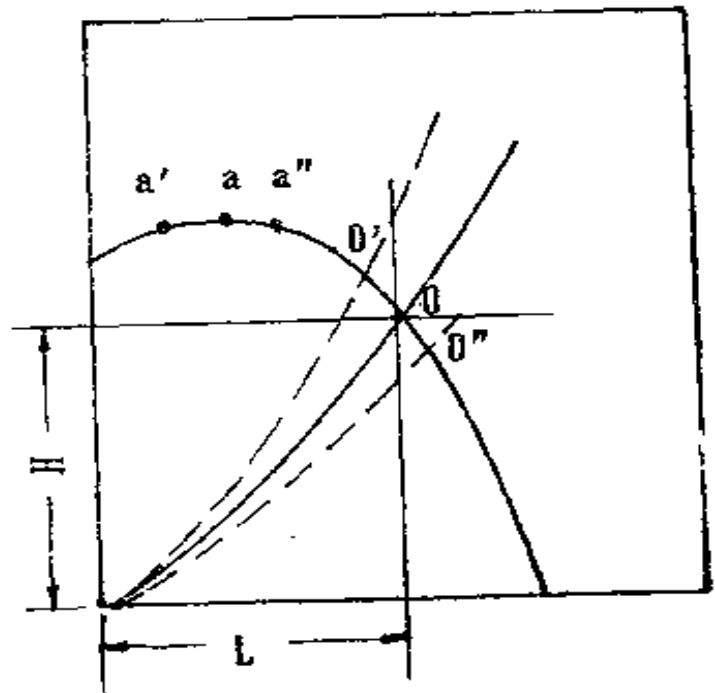


图5-21 风机性能曲线和风量变化的关系

风口和侧面为条形开口风口(前者见图5-23, 后者见图5-24), 四

周为条形开口，底面是孔眼，边上风速最好是中间风速的3倍以上。

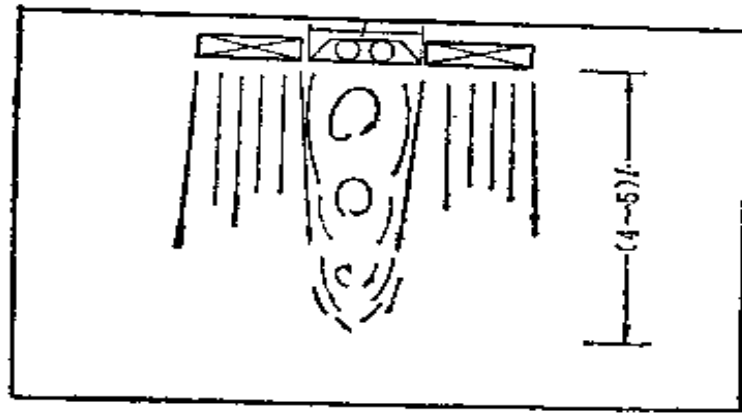
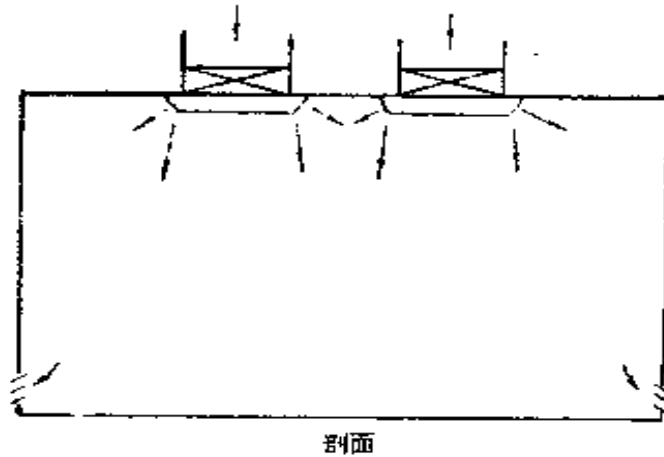


图5-22 高效过滤器的盲区长度



剖面

图5-23 扩散板减小盲区

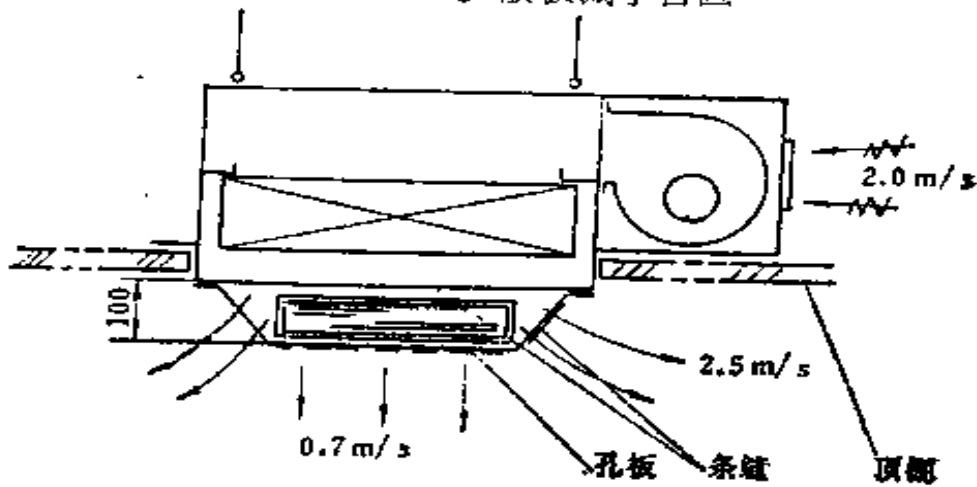


图5-24 可减小盲区的条形开口风口

3. 提高送风速度均匀程度

造成送风速度不均匀的原因有过流器和静压箱阻力不均以及向静压箱送风的速度太大等。

图5-25表示静压箱进口风速 v_1 太大，则在进口下方，从高效过滤器出来的风量不足，甚至发生倒吸。而靠近 v_2 吹出气流后部风量又过剩。

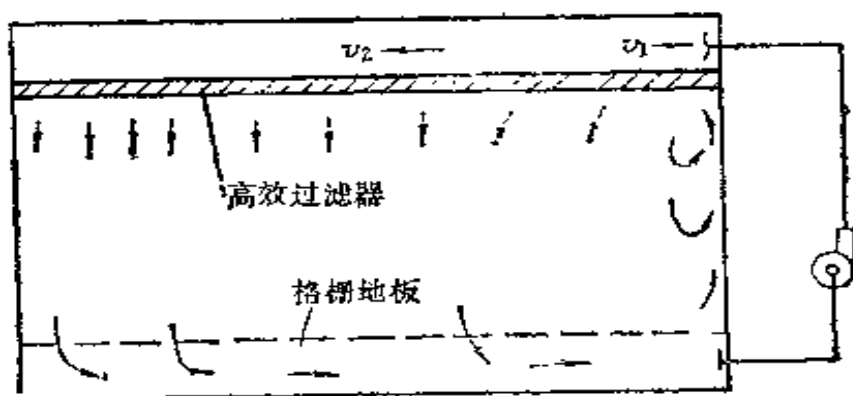


图5-25 发生倒吸现象

克服上述送风速度不均匀现象有以下措施：

①严格选用高效过滤器，根据《洁净室施工及验收规范》规定，安装时应根据各台过滤器阻力大小进行合理调配，使送风面上各过滤器之间每台额定阻力和各台平均阻力相差小于5%；

②过滤器下方设阻尼层，甚至设阻力不均匀的阻尼层；

加大静压箱高度，大于800mm更好；

③改集中管道给静压箱进风为分散管道进风，如图5-26所示，务使吹入风速 v 在7m/s以下，或从两侧

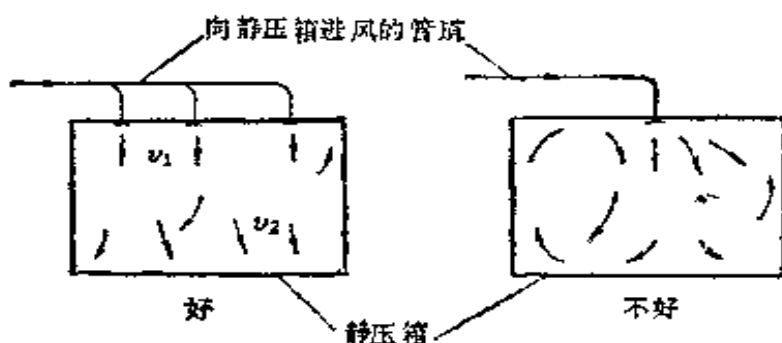


图5-26 对静压箱分散进风

进风，如图5-27所示。

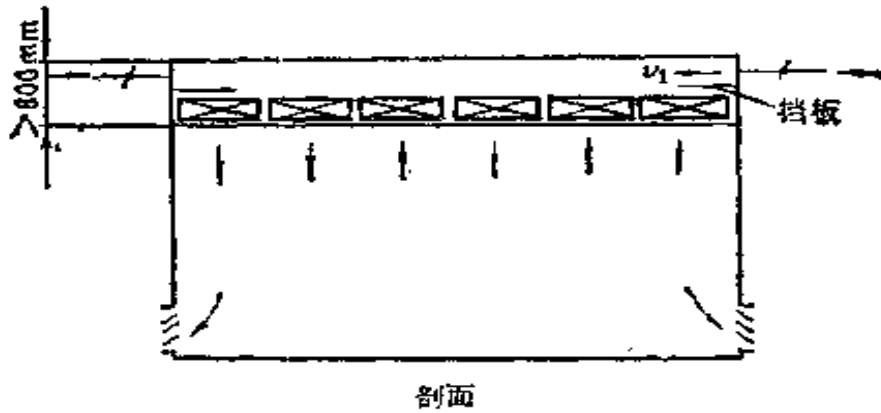


图5-27 从静压箱两侧进风

④如果进风速度 v_1 降不下来或只能单侧进风，则可在进风口附近1~2个过滤器上面安装可调挡板，如图5-28所示。也可增加静压箱内阻力，在出口不远处设多孔板，如图5-29所示。

4. 提高回风速度均匀程度

在送风上采取的一些措施也可用到回风上，如分散风管，设调节阀，把吸入速度减到5m/s以下，调节地面开口比等等。

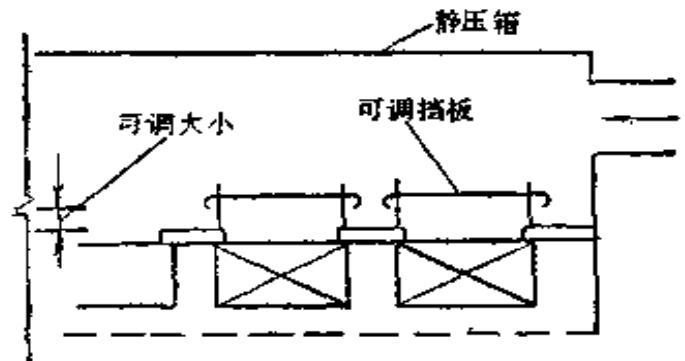


图5-23 过滤器上安可调挡板

5.2 净化空调系统

5.2.1 净化空调与一般空调的区别

1. 空气过滤方面

一般空调采用一级、最多二级过滤，过滤器不设在末端，没有亚高效以上过滤器；而净化空调系统必须设三级甚至四级过滤

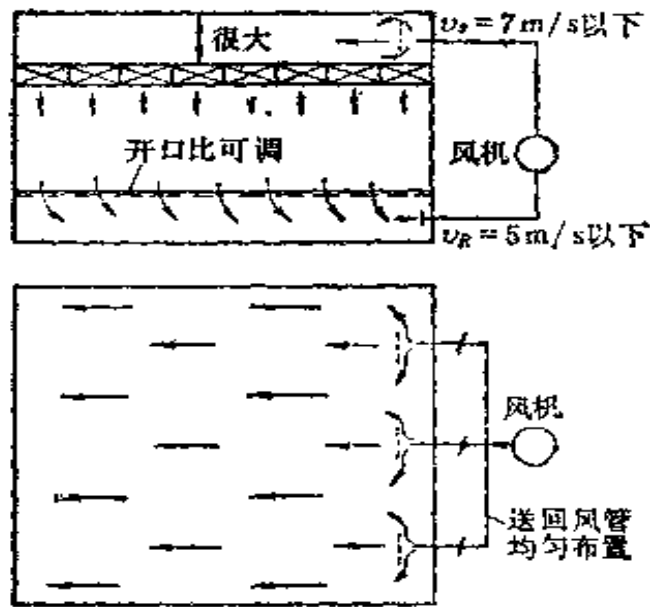


图5-29 静压箱内设挡板

器，末端设过滤器，必须有亚高效以上过滤器。因此，室内含尘浓度最少也要差几十倍。

2. 气流组织方面

一般空调为了以较少的通风量达到尽可能提高室内温湿度场均匀的目的，用乱流度大的气流组织形式，尽量在室内造成二次诱异气流和某些向上的气流。而洁净室正好相反，要尽量限制和减少尘粒的扩散，尽可能使由于各种原因产生的尘粒迅速流向回风口，因此要求减少二次气流和涡流。至于单向流气流型式更是一般空调所没有的。

3. 室内压力控制方面

一般空调对室内压力没有明显要求，而洁净室则不是要求室内正压就是要求室内负压，最小压差在5Pa以上，这就要求供给一定的正压风量或给予一定的排风，因此必须采取一定的措施，这是一般空调所不必要的。

4. 风量能耗方面

一般空调系统只有10次以下换气次数，而净化空调系统的换气次数最少也要15次，最多几百次，是一般空调的几倍至几十倍。

它们的平均耗电则如表5-2所列(据张利群, 1990)。

每平方米耗电比较

表5-2

类别	垂直单向 流(kW)	水平单向 流(kW)	1000级 (kW)	10000级 (kW)	10万级 (kW)	办公楼一般 空调(kW)
风机	1	0.5	0.15	0.1	0.05	
空调制冷	0.25	0.25	0.23	0.2	0.15	
照明	0.08	0.05	0.05	0.03	0.03	
总计	1.31	0.8	0.43	0.33	0.23	0.035

从表中可见, 净化空调系统比一般空调每平米耗能约多10倍至30倍。

5. 造价方面

造价比较见表5-3(据张利群, 1990)。

每平方米造价比较

表5-3

类别	垂直单向 流(元)	水平单向 流(元)	洁净隧 道(元)	1000级 (元)	10000级 (元)	10万级 (元)	办公楼一 般空调(元)
空调工程费	2500	1800	1800	800	650	550	
制冷工程费	300	300	300	270	230	190	
总建设费	7800	4500	4000	2500	2200	1900	500

5.2.2 划分原则

1. 按朝向分

考虑到太阳辐射热的影响, 将同一朝向的房间集中布置在一个系统内, 有利于控制。

2. 按使用时间分

将工作时间相同的房间集中于一个系统内, 非工作时间该系统可以停止运行, 有利于节能。

3. 按室内温湿度条件分

将温湿度条件相同相近的房间集中于一个系统内，防止不必要的冷却、减湿或加热，有利于节省设备和能耗。

4. 按热负荷特性分

将热湿比、负荷变化等负荷特性相近的房间集中于一个系统，以减少对某些负荷变化需要的过冷却与再加热，有利于节能。

5. 按排风情况分

将要求排风或排风量较大的房间集中于一个系统，有利于系统设计。

6. 按洁净度级别分

将级别相近或100级以上与以下的房间集中于一个系统，有利于设计和控制。

7. 按工艺性质分

将工艺性质相同不会造成污染和交叉污染的房间集中于一个系统，有利于保证使用效果。

5.2.3 系统分类比较

上面讲了系统划分的原则，现在介绍系统按集中程度和与风机联接方式归类加以比较的结果。

三种集中程度比较见表5-4。

空气处理室往往被一独立的空调器(带冷源或不带冷源)代替，此时空调器和循环风机的联接方式有两种，其比较见表5-5。

5.3 新风处理

过去习惯做法，新风只经过粗效过滤器处理。实践证明，由于新风脏，首先使空调器内换热器盘管等很快堵塞，继之使中效过滤器寿命大为缩短。由于经济管理等原因，不能很快更换，使系统内空气品质大受影响。

鉴于新风是主要尘源，而风量小于总风量很多，所以作者认

空调器和风机联接方式的比较

表5-5

项 目	空调器与循环风机并联		空调器与循环风机串联	
	中效过滤器	新回风共用	新回风独立	新回风共用	新回风独立, 但室内洁净度高时, 回风上中效过滤器也可不要
风 机	空调器余压和风机压头大致相等		回风机要承担全部循环风量, 型号大, 噪声也大, 特别在大系统时要注意。当空调器为整体机组时, 要考虑拆除机组内的风机	
适 用	小系统	大系统	小系统	大系统 空调器为余压不大的整体机组
图 例 (据早川一也)				
	<p>F—循环风机, F₁—粗效过滤器, F₂F₄—中效、亚高效过滤器, F₃—高效过滤器</p>			

为对新风应加强处理, 所费不多而收效甚大。所以建议对新风最少应采用粗、中二级过滤, 最好是粗效、中效、亚高效(或高效)的三级过滤。由于新风量远小于总风量, 所用过滤器面积要小得多, 即使定期更换也要简单得多, 而对于保护后面的系统是大有

益处的。有关这方面的计算对比，详见第七章。

如果在新风处理上采用现成的新风净化机组就更方便。空调研究所的专利产品并列双排式净化新风机组更合适，因为它是有亚高效的三级过滤，而且由于并列双排结构，过滤面积比一般新风机组大2~3倍，所以阻力较小，再由于更换过滤器非常简易省力，就为定期更换创造了条件。该机组分带风机和不带风机两类；此外还有适合一间洁净病房或手术室用的小型简易新风机组（也是带亚高效过滤器的），性能规格如表5-6所列。

净化新风机组

表5-6

型式	型号	外形尺寸(mm)		风量 (m ³ /h)	过滤效率 (≥0.5μ %)	功率 (W)	噪声 (dB) (A)	机组出口尺寸 (mm)	出口法兰尺寸 (mm)
		风机段	过滤段						
并列双排式	KJ-I-500	660×660 ×500	660×660 ×500	500	≥95	250	60	260× 80	300× 120
	KJ-II-P-1500	660×660 ×600	660×660 ×1000	1000~ 1500	≥95	370	60	190× 230	230× 270
	KJ-II-C-1500								
	KJ-III-P-2500	660×660 ×600	660×660 ×1000	2000~ 2500	≥95	750	60	310× 230	350× 270
简易小型式		400×400		400 ~500	≥95	25	50	400× 400	460× 460

注：P为风机段进风与出风方向平行；C为进风与出风方向垂直。

5.4 正压控制

有下面几种控制方式。

5.4.1 回风口控制

通过调回风口上的百叶可调格栅或阻尼层改变其阻力来调整回风量，达到控制室内压力的目的，这是最简易的方法。但百叶

开始的调整量不大，而且不易关死，还有改变气流方向问题；格栅控制调节量方便，但目前的格栅回风口面积都较小。

5.4.2 余压阀控制

如图5-30所示。

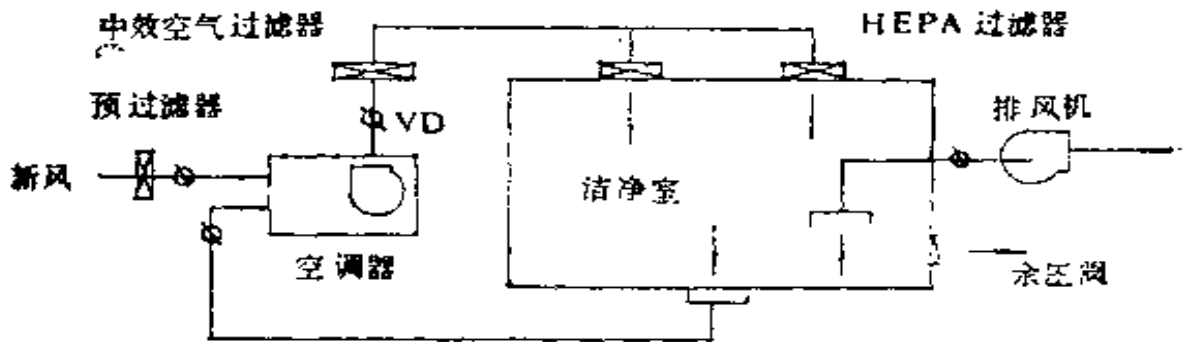


图5-30 余压阀控制正压(据早川一也)

手动调整余压阀上的平衡压块，改变余压阀门开度，实现室内压力控制。但应注意，一旦排风量变化，需重新调整风道上各阀门余压阀。

5.4.3 差压变送器控制

如图5-31所示。

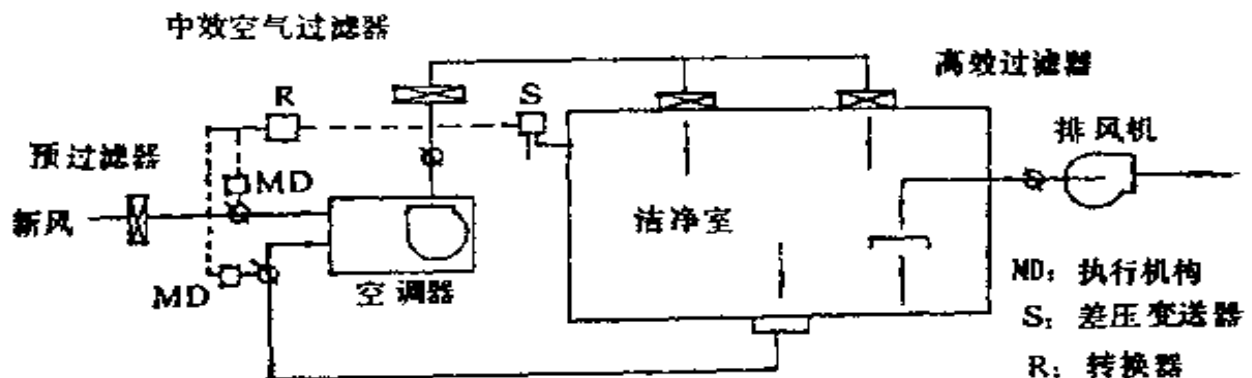


图5-31 差压变送器控制正压(据早川一也)

通过差压变送器(S)检测室内压力，然后调整新风量，新风(OA)管路上的电动阀(MD)开大(关小)，则回风管路上的电

阀关小(开大)。

5.4.4 微机控制

如图5-32所示。

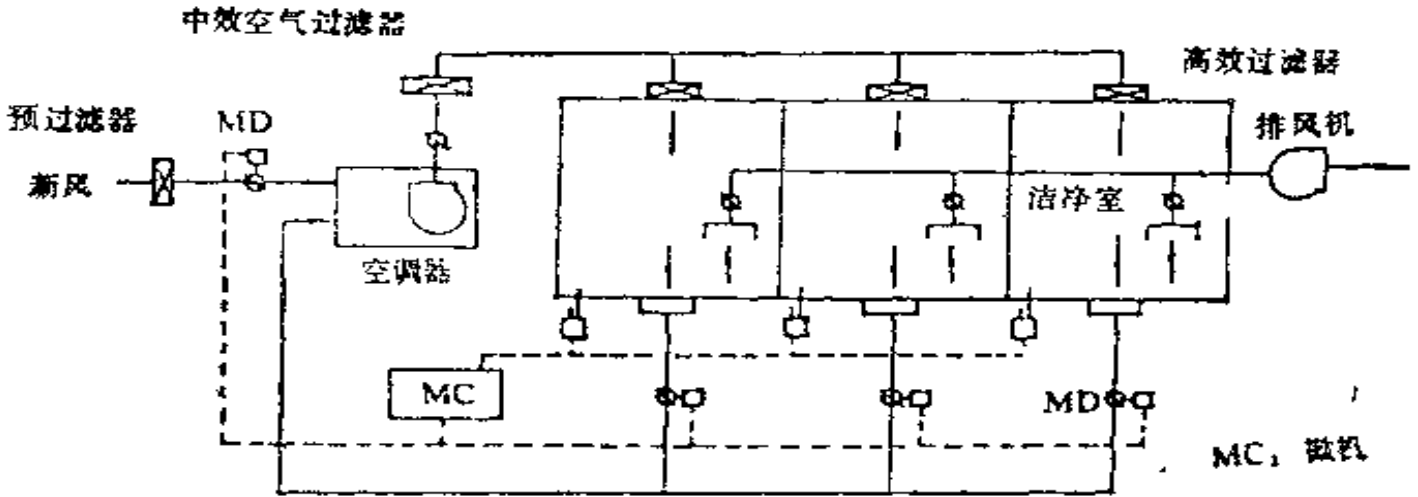


图5-32 微机控制正压(据早川一也)

利用微机控制不同房间的新风和回风，使控制系统简化。

5.5 双风机

当风道系统较长，用一台风机需要大的压头，又要引起噪声的增加，为避免这一结果，有时也加一台回风机，即成为双风机系统。

图5-33是一个典型的单风机系统，图5-34是一个典型的双风机系统。图中 L 表示送风量； L_s 表示渗透风量； L_o 表示房间有组织的出风量； L_w 表示新风量； L_h 表示回风量； L_p 表示系统有组织的排风量。对于两种系统都可以写出以下风量平衡方程式

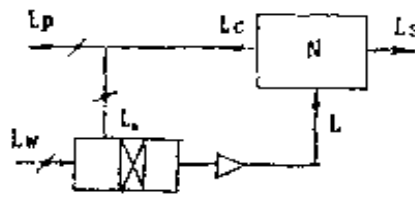


图5-33 单风机系统

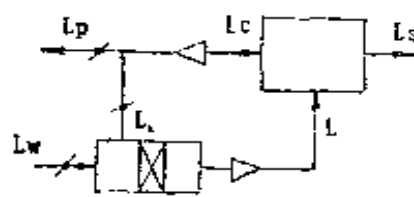


图5-34 双风机系统

房间, $L = L_c + L_s$ (a)

整个系统, $L_w = L_p + L_s$ (b)

排风与回风分歧点, $L_c = L_h + L_p$ (c)

分析式(a)可知, 当送风量 L 一定时, 对于两种系统都可能有:

$L > L_0$ 时, $L_s > 0$, 室内为正压

$L = L_0$ 时, $L_s = 0$, 室内为零压

而对于双风机系统, 还可能有:

$L < L_0$ 时, $L_s < 0$, 室内为负压

所以双风机系统虽然可以保持室内有任何压力值, 但如风量不当或调节不好, 室内会出现负压。甚至位置不当也会出现负压, 例如, 如果回风机紧靠回风口, 回风口没有阻力, 特别是高大厂房而回风口均布在地面上时, 将可能使回风口区相当一部分空间处于回风机的负压范围, 这就有可能在工作区形成负压, 如图5-35所示, 所以对于回风机的位置必须经过校核。

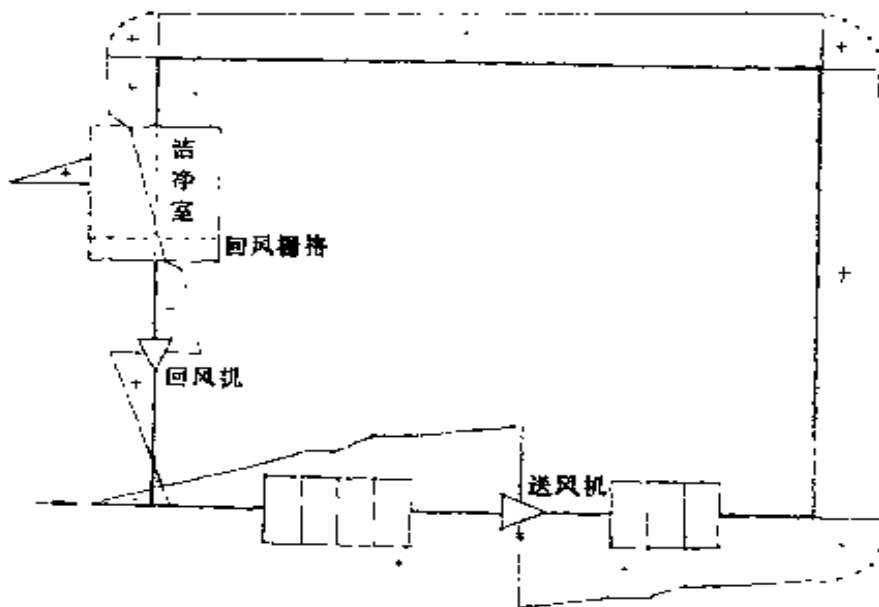


图5-35 回风机位置对室内压力的影响

由于净化空调系统室内允许有较高的正压, 故采用单风机系统的仍然居多, 或者采用不经过空调器循环的双风机系统, 详见

下一章有关内容。

5.6 加压风机

净化空调系统和一般空调系统不同，由于有几道过滤器，所以需要更大的风机压头，有的系统因而选不到合适的风机，即在需要的风量下没有这么大的压头；有的系统因是改造工程，原有风机风量虽然够而压头不够，在这两种情况下，常用串联加压风机的方案，即在主风机之后串联一台风机。

在实际工程中常遇到提这样的问题：加压风机的风量当然能和主风机一样最好，否则，如果风量太大或太小会怎样？

应该说，这样单纯问风量太大太小的问题是不严密的，应该根据加压风机的性能曲线——风量和压头关系曲线来分析问题。

例如，系统需要2万 m^3/h 的风量，为克服系统阻力，经计算需要800Pa的压头，即工作点应如图5-36中的A点，A点所在的曲线I是系统的特性曲线，亦称管网特性曲线，体现该系统的风量和阻力的关系，是通过原点的二次抛物线，求法详见第10章。空调箱中主风机的风量在2万 m^3/h 的情况下，具有500Pa的压头，其性能曲线如图5-36中的曲线2。

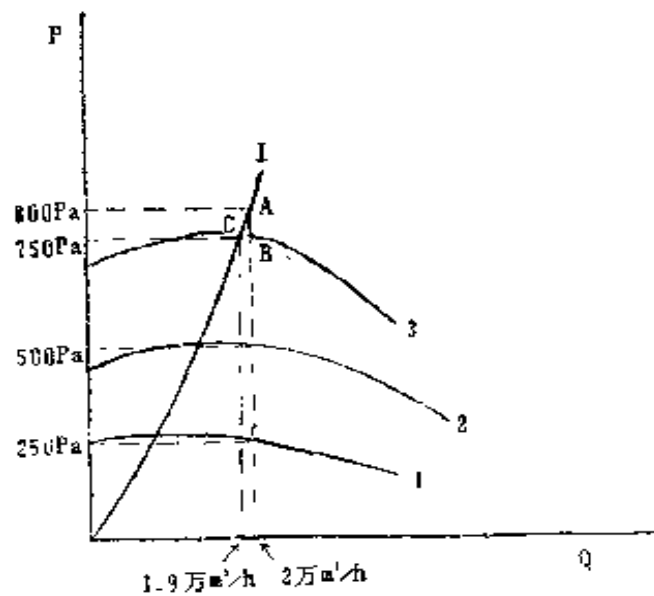


图5-36 串联加压风机的工况(一)

经过选择，有两种结果：

(1) 选一台具有曲线1性能曲线的加压风机，可知在2万 m^3/h

风量下，具有250Pa的压头。

当两台风机串联时，遵循以下原则：

①由于流量连续定理，经过两台风机的风量相同，但一般将大于一台单独运行时的风量(因为总风压比一台的大)。

②经过两台风机的风压为两台风机在联合运行风量下各自风压之和，但小于两台风机单独运行时各自风压之和(因为一台风机将是另一台风机的阻力)。

因此，在图5-36上，串联后的“机组”性能曲线应为曲线1和2的压头叠加，即曲线3，例如在2万 m^3/h 下具有750Pa的总压头，在曲线3上为B点，显然这不足以克服在此风量下的系统阻力。“机组”的真正工作点应是“机组”性能曲线和管网特性曲线的交点C，比B左移了，即为了克服系统阻力，风量将有所下降(在性能曲线上上升段则相反，但这一段都很短)，例如图中所示的1.9万 m^3/h ，风量小了，阻力也下降一些，而压头则上升一些，达到平衡。

(2) 选一台具有曲线4(图5-37)性能曲线的加压风机，可知在2万 m^3/h 风量下具有350Pa的压头。根据同样的原则，串联后叠加的“机组”性能曲线应为图中的曲线5，此时以850Pa的压头(D点)去克服800Pa(E点)的系统阻力将有富余，因此压头降低转化为风量的增加。“机组”工作点应是从D右移的F点(曲线II)，风量将略微上升，例如达到2.1万 m^3/h 。

根据上面分析，可得出选用加压风机时应掌握的原则：

①系统阻力大而且阻力随风量变化明显(即管网特性曲线陡)的场合适合用加压风机。

②加压风机要尽量远离主

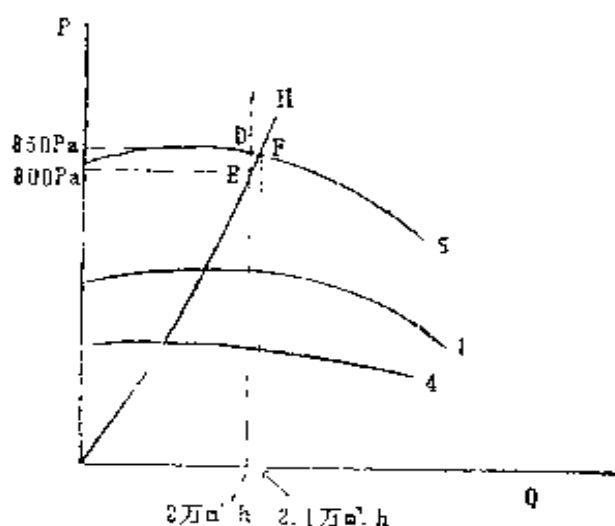


图5-37 串联加风机的工况(二)

风机，起码在出入口管径的 8 倍距离以上，因为离主风机出口太近，气流不稳定，将严重影响串联的效果。

③ 加压风机和主风机最好是同一型号(风量相同，压头相等约各占所需压头的一半)，串联后“机组”的性能曲线将如图 5-38 所示。

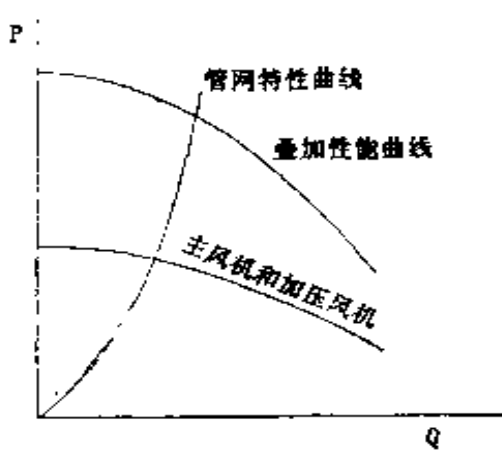


图 5-38 同型号风机串联

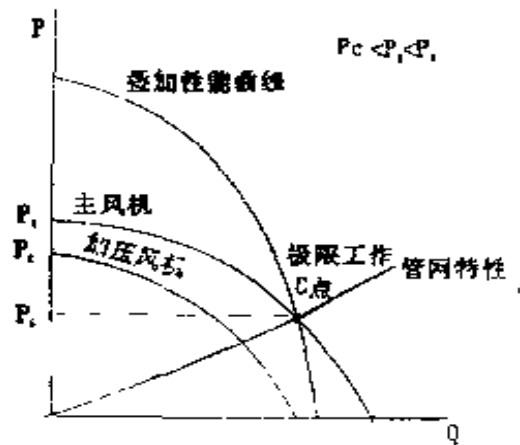


图 5-39 不同型号风机串联极限的工作点

如果两台风机型号不同，将有极限工作点问题(即曲线要相交)，其性能曲线叠加后如图 5-39 所示，C 为极限工作点。当管网特性曲线较平(系统风量大而阻力小)，工作点处于极限工作点右侧时，加压风机失去加压作用(风过风压仅等于甚至小于其中一台风机的风量风压，没有任何增益)。

④ 当加压风机和主风机不是同一型号，而系统风量又不允许正偏差时(例如风量已经太大，或者制冷能力比较紧，或者通过表冷器的风速已经嫌大，则再加大通过风量即加大风速，会导致表冷器效率的下降)，宜使加压风机的压头(在所需风量下)略小于所需压头与主风机压头之差(皆指在所需风量下)，即图 5-36 所示那样；当系统不允许负偏差时(例如系统风量计算已经偏紧)，宜使加压风机压头略大于所需压头与主风机压头之差，即图 5-37 所示那样。

总之，宜使加压风机压头尽量接近所需压头与主风机压头之

差，差别不宜大。

5.7 值班风机

洁净室一般可不设值班风机，但当净化系统停止运行对产品有影响，而工艺又不能采取局部处理措施时可设值班风机。

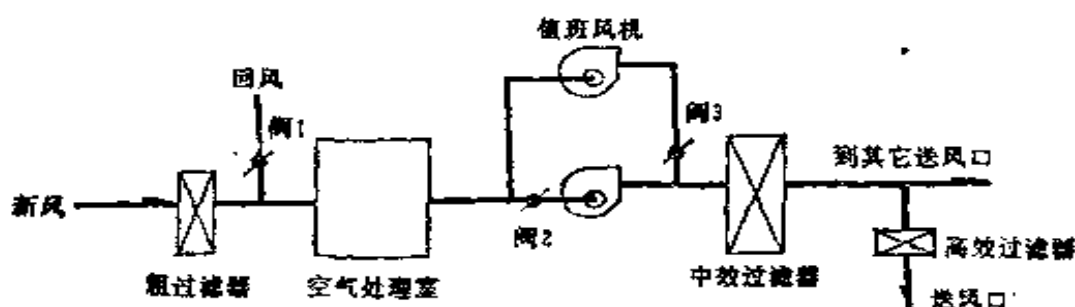


图5-40 值班风机的设置

注：正常过程时将阀1、阀2打开，阀3关闭；下班后将值班风机开启，阀3打开，阀1、阀2关闭。

5.8 一次回风和二次回风

二次回风对于风量很大的一次回风系统既能满足卫生要求又经济合理，详见第七章。

5.9 药品生产GMP和空气净化系统

5.9.1 药品GMP的历史和基本点

1. 历史

药品生产GMP，即《药品生产质量管理规范》制度始于美国，有关国家颁布施行情况如表5-7所列。

2. 基本点

药品GMP对药厂的“软件”、“硬件”都提出了要求：

软件——可靠的生产工艺，严格的制度，完善的验证管理；

有关国家颁行GMP情况

表5-7

1963年	美国率先颁布政府制订的GMP
1969年	世界卫生组织(WHO)22届世界卫生大会向各会员国建议实施GMP制度
1973年	日本制药工业协会提出了自己的GMP
1974年	日本颁布了政府的GMP, 指导执行
1975年	WHO提出自己的GMP
1978年	美国再次颁行经修订的GMP
1980年	日本决定正式实施GMP
1980年	已有68个国家颁布了本国的GMP
1982年	中国医药工业公司颁布行标《药品生产管理规范》(试行稿)
1985年	中国医药工业公司正式颁布行标《药品生产管理规范》及该规范实施指南
1988年	中国卫生部正式颁布了自己的GMP即《药品生产质量管理规范》
1988年	日本政府制订了原料药GMP
1990年	日本正式实施原料药GMP
1992年	欧洲共同体委员会颁布了欧共体的GMP
1992年	中国卫生部修订了GMP
1993年	中国医药工业公司颁布了修订的《药品生产管理规范实施指南》

硬件——符合要求的环境、厂房、设备

GMP的基本点是:

保证药品的质量, 为此必须做到: 防止生产中药品的混批、混杂、污染、交叉污染。

这就表明, GMP是一个完整的概念, 综合的概念, 必须涉及药品生产的每一个环节, 而空气净化系统只是其中一个重要的环节; 即使在这一个环节中, 也还要明确重点, 逐步实施, 特别是老厂改造更要从实际出发, 抓住主要核心。

根据日本制药工业协会GMP委员会的看法, GMP的主要目的是防止交叉污染。除了加强管理, 改善设备布局和建筑物间距, 设备专用, 对设备的彻底清洗之外, 空气净化当然是重要手段。为了更好的采取措施, 了解造成交叉污染的原因是必要的, 图

5-41和图5-42就是这种原因的图解。

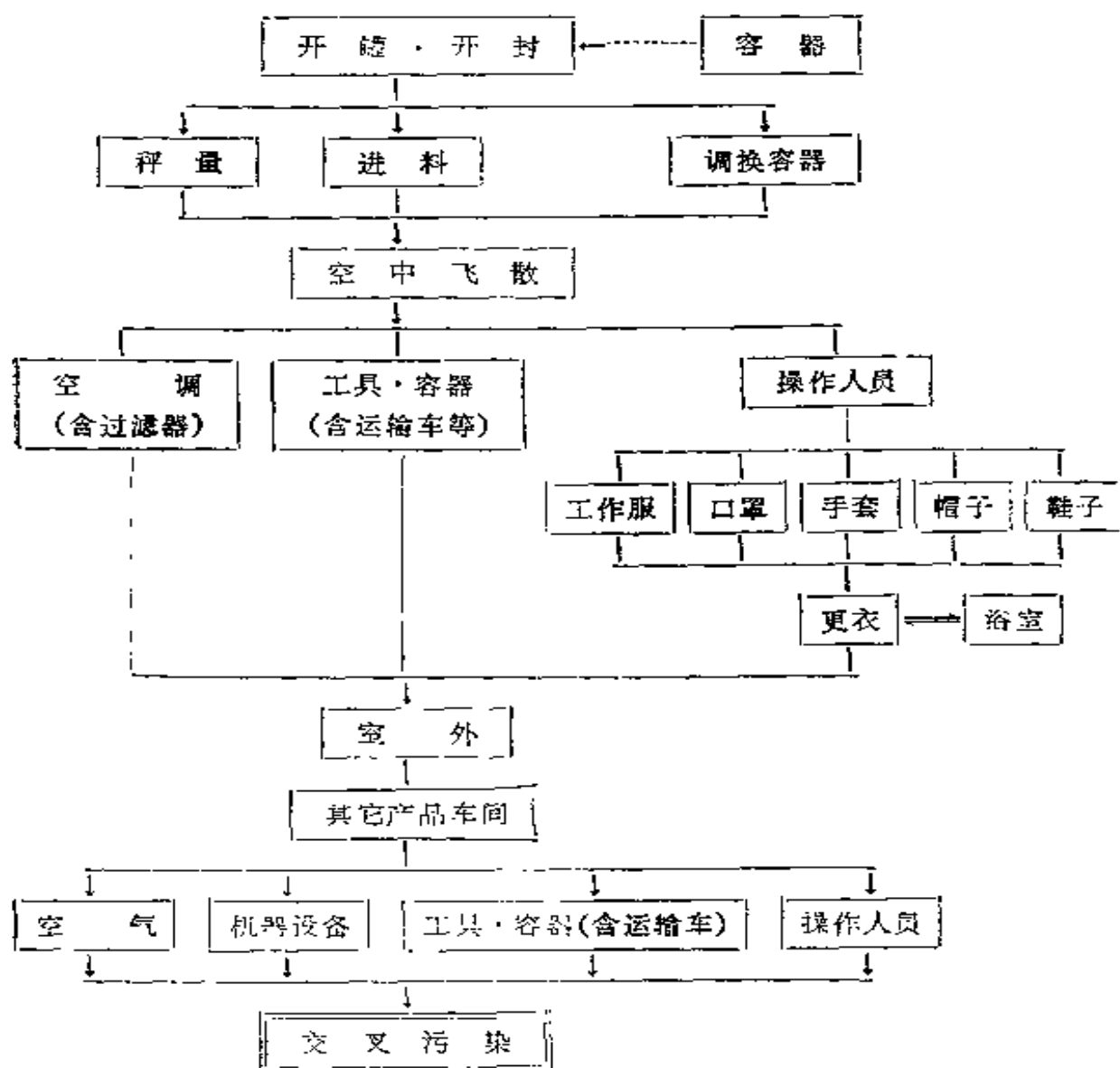


图5-41 交叉污染原因图解(1) (据日本制药工业协会)

5.9.2 GMP要求的药厂空气洁净度分级

表5-8给出了我国卫生部、医药工业公司和国外的GMP对药厂空气洁净度分级的比较。从表可见，各GMP中浮游菌数值除100级外(5和3.5相近)均比理论值宽松，而沉降菌则和理论值相近(≤ 0.24 可视为 ≤ 1 ， ≤ 2.4 可视为 ≤ 3 ； ≤ 7.5 可视为 ≤ 10)，也就

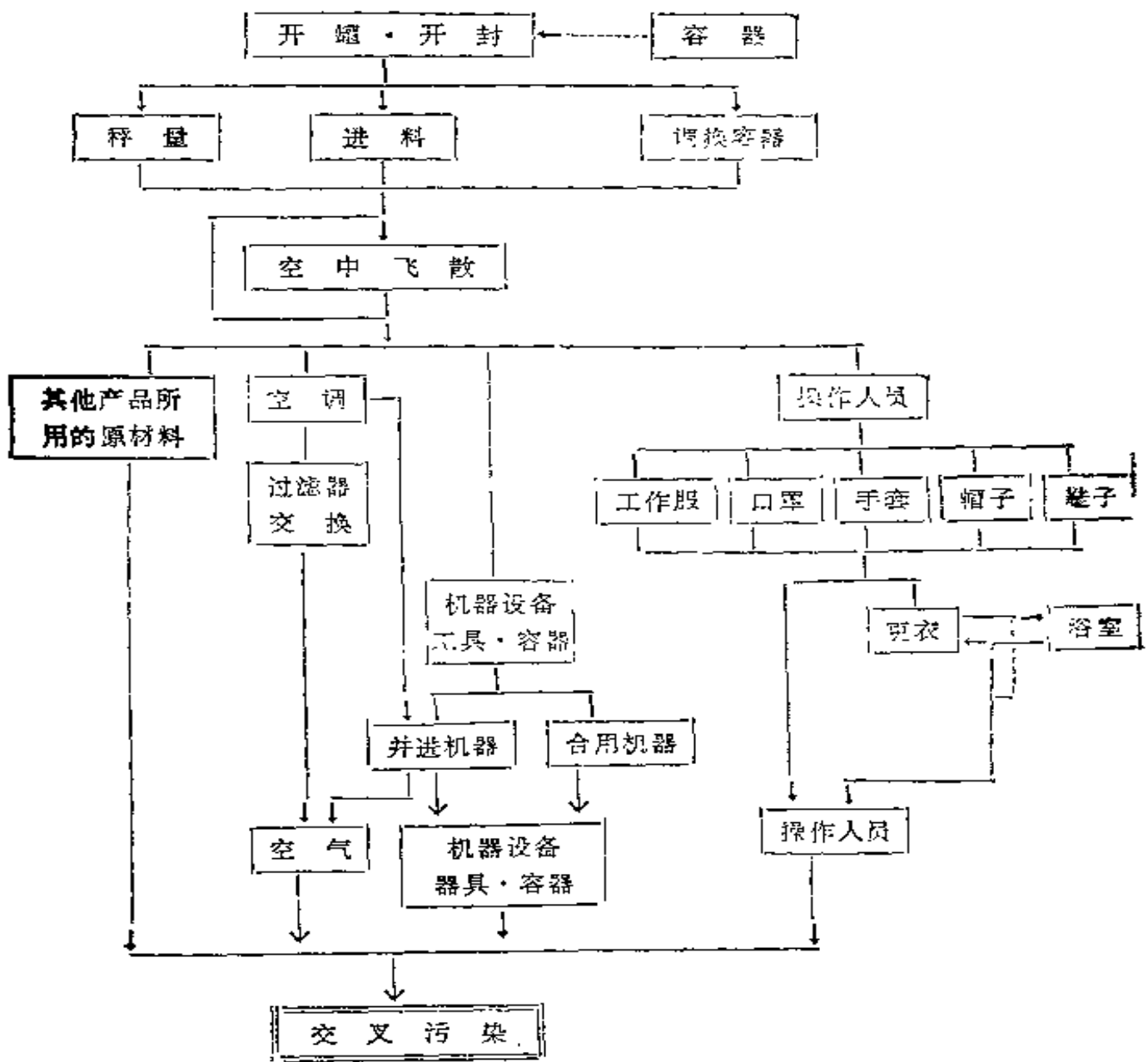


图5-42 交叉污染原因图解(2)(据日本制药工业协会)

是说对沉降菌数值的规定是合适的。

5.9.3 药品生产各工序的空气洁净度级别

我国1992年修订的GMP将药品生产各工序的空气洁净度级别有所提高，主要是：

- (1) 对不显热原灭菌的注射剂（包括粉针）由1万级提高到100级。

国内外有关GMP对空气洁净度分级的比较

表5-8

名称	空气洁净度级别	≥0.5μm的微粒数 个/m ³	≥5μm的微粒数 个/m ³	沉降菌 (φ90皿沉降0.5h) 菌落/皿	浮游菌 个/m ³
90年修订的我国药品GMP	100	≤3500	0	—	≤5
	1万	≤350000	≤2000	—	≤100
	10万	≤3500000	≤20000	—	≤500
92年版《药品生产质量管理规范》(药品生产公司GMP)*	100	≤3500	0	≤1	≤5
	1万	≤350000	≤2000	≤3	≤100
	10万	≤3500000	≤20000	≤10	≤500
	低于10万	≤35000000	≤200000	暂缺	暂缺
世界卫生组织WHO 国际药品GMP	(A)100	≤3500	0	—	≤1
	(F)100	≤3500	0	—	≤5
	(C)1万	≤350000	≤2000	—	≤100
	(D)10万	≤3500000	≤20000	—	≤500
作者在文献(1)中提出的标准	100	≤3500	—	≤0.24	≤3.5
	1000	≤35000	—	≤0.75	≤11
	1万	≤350000	—	≤2.4	≤35
	10万	≤3500000	—	≤7.5	≤110

注：*表示动态状态以静态为依据。

(2) 对能热压灭菌的注射剂的调配由10万级提高到1万级。

(3) 粉针剂原料药的调配由1万级提高到100级。

(4) 对口服液的调配由10万级提高到1万级。

现将具体要求归纳成表5-9。

5.9.4 对厂房的要求

我国GMP从洁净角度对厂房提出如下特殊的具体要求：

(1) 药品生产企业必须有整洁的生产环境，生产区的地面、路面及运输等不应对药品生产造成污染。

(2) 生产β-内酰胺结构类药品的厂房应与其他厂房严格分开，生产青霉素类药品的厂房不得与生产其他药品的厂房安排在同一建筑物内。

药品生产各工序的空气洁净度级别

表5-9

工 序	无 菌 制 剂		注 射 用 药		粉 针 剂		滴 眼 液	口 服 液 不 能 热 压 灭 菌	油 膏、 霜、 悬 浮 液、 乳 化 液	片 剂、 胶 丸 剂 及 其 他	
	成 品	原 料	成 品	原 料	成 品	原 料				成 品	原 料
	不 能 在 最 后 容 器 中 灭 菌		能 在 最 后 容 器 中 灭 菌								
	灌 封 前 不 需 无 菌 滤 过	灌 封 前 无 菌 滤 过	\geq 50ml	$<$ 50ml							
滤 过			100	1万			1万	1万			
配 液	100	1万	1万	1万			1万	1万			
灌 封	100		100	1万			1万	1万	1万		
精 制		100			1万	100					10万
烘 干		100			1万	100					10万
分 装		100			1万	100	100				10万
压 塞						100					
生 产 制 备									1万	10万	

注：表中卫生部GMP工序一栏没有疫苗接种一项，但接种应属于无菌操作，在医药工业公司85版《实施指南》分级举例中，把接种工作台做为例子置于局部百级栏，92版取消了举例，但这种分类标准应是适当的。

(3) 对菌苗类、人血类、预防类制品应区分为以下左右两大类：

生产用菌毒种制品——非生产用菌毒种制品

生产用细胞制品——非生产用细胞制品

强毒制品——弱毒制品

活毒制品——死毒制品

脱毒前制品——脱毒后制品

活疫苗——灭活疫苗、人血制品、预防制品

其加工或灌装不得同时在同一生产厂房内进行。

(4) 厂房应能防止昆虫、鸟类、鼠类等进入。

(5) 厂房内的墙壁与天花板、地面的交界处宜做成弧形。

(6) 应有与生产和洁净度级别要求相适应的中间产品、待包装产品的贮存间。

(7) 厂房内的照度一般不低于300lx。

(8) 厂房内安装的洗手池、下水道的位置应适宜，不得对药品生产带来污染。下水道开口位置应对厂房的洁净度级别影响最小，并有避免污染的措施。

(9) 洁净度级别不同的厂房之间应有缓冲设施，人员及物料应分别通过与其生产洁净度级别要求相适应的缓冲设施进入。除此缓冲设施与安全门外，不应有通往生产操作区外的其他门窗或通道。

(10) 取样室、备料室的洁净度级别应与生产要求一致；设备及容器清洗室可低于生产这一个级别，属于100级和1万级配套的，宜设在区外。

(11) 为了防止人、物流的交叉污染，医药工业公司GMP的实施指南中提出了几项措施：

①人、物分门出入；

②人、物分别进入各自的净化用室和设施，前者参见“指南”给出的程序图5-43，后者可包括外包装清洁处理室、气闸室或传递窗(柜)；

③工艺布置应避免人、物交叉往返；

④室内只放有关物料，不作非操作区人物通道；

⑤不同洁净度房间之间要有气闸、吹淋室或传递窗；

⑥人、物不共用电梯，电梯不宜在洁净室内，否则，其前面必须有气闸室。

世界卫生组织WHO对厂房提出的要求中，有几点对我国的设计者也很有参考意义：

(1) 所有厂房在设计时应尽可能防止检查人员或控制人员不

必要的进入。其中B级(100级洁净室)环境应设计成从外面就能看见所有的操作。

(2) 关键灌装区域, 如A级(100级装置, 如洁净工作台)灌装区, 应考虑安装物理屏障, 以限制外人入内。

(3) 车间内应尽量避免安装水槽和排水道, 而无菌操作区则应绝对避免这样做。如确需安装, 则设计时应考虑其位置便于维护, 并装有有效的, 便于清洁的汽水阀并带有空气截止阀, 以防倒流。地沟应是明沟且便于清洁并排放到区域以外, 防止微生物污染通道。

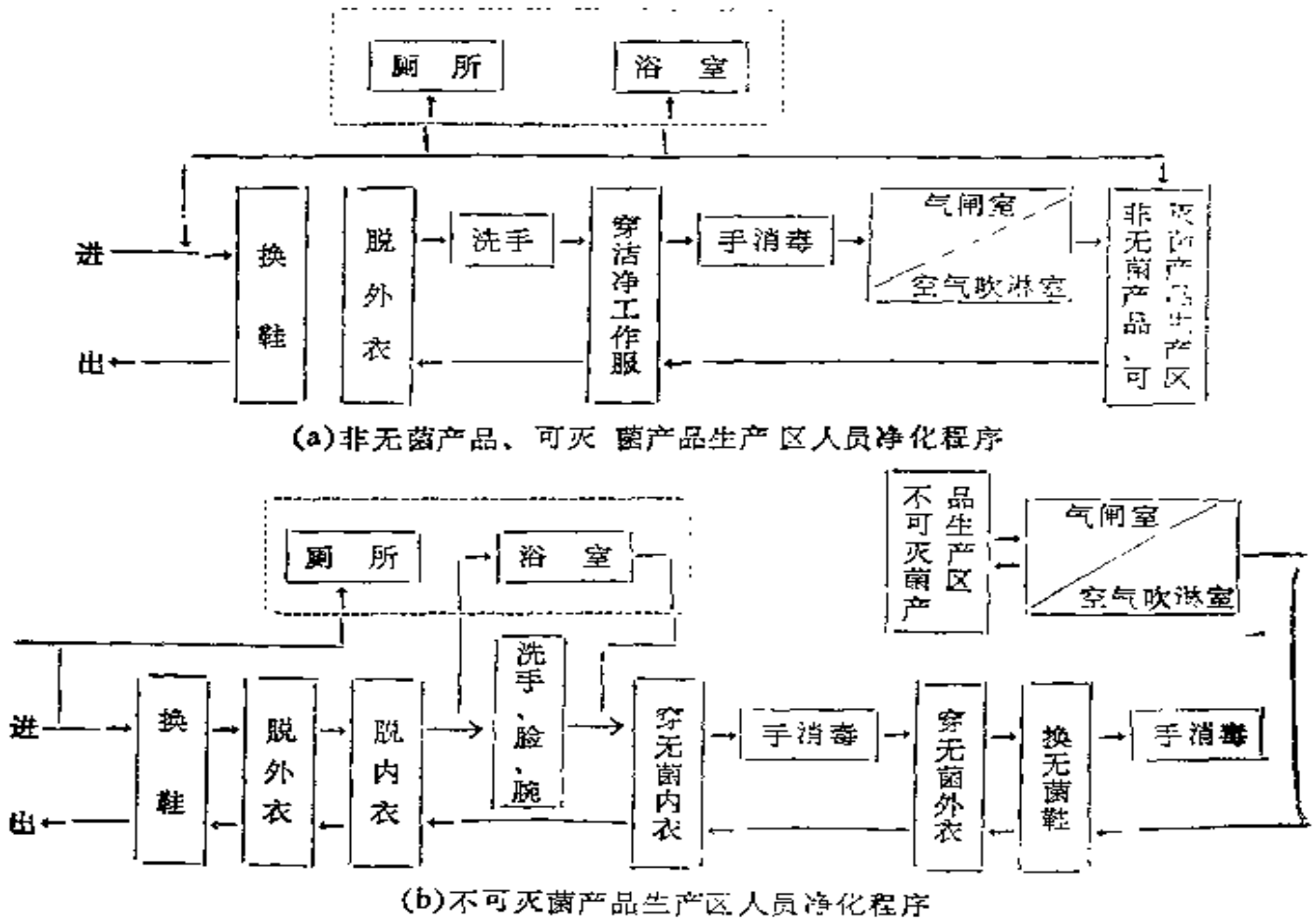


图5-43 人员净化程序(虚线框内设施视需要设置)(据“指南”)

(4) 更衣室应设计成气闸式, 不同的更衣阶段能分开, 以便因服装而造成的微生物污染和微粒污染被减少到最低限度。

(5) B级洁净区与空气洁净度级别较低(1万级即C区, 10万级即D区)的生产区之间, 不得有连续的传送带, 除非对传送带连续灭菌(如用灭菌通道消毒)。

(6) 灭菌后的物品应在有通风条件的地方储存, 以便残余气体和化学反应物质减少到规定的标准。

5.9.5 对系统的要求

(1) 不能避免交叉污染的下列工序不能用循环风:

①产生易爆易燃气体或粉尘场合(如用溶剂的原料药精制、干燥, 固体物料的加工、压制、灌装等);

②产生有毒有害气体物质者(如激素类及抗肿瘤药);

③有可能通过系统混药(如多品种生产的片剂车间);

④有可能通过系统交叉污染(如药厂实验动物房饲养室)。

(2) 生产激素、青霉素、抗肿瘤药的排风应经高效过滤器净化处理。

(3) 排风设防倒灌措施(设高中效以上效率的过滤器, 逆止阀、联锁电动阀。)

(4) 生产 β -内酰胺结构药物、青霉素以及强毒微生物和芽胞, 应有独立的净化空调系统, 其流水线开口附近应有单向流洁净空气保护, 其分装室为防止受室外污染应保持微正压, 为防止污染相邻房间应与相邻房间保持相对负压。

5.9.6 对粉剂车间的要求

交叉污染发生的最大原因是药品的粉尘(药尘)尤其是在固体制剂的称量、混和、整粒、压片、胶囊填充、粉剂灌装等各工序中。对于有强毒性、刺激性、过敏性地粉尘, 粉尘扩散更是严重问题。表5-10就是青霉素制造工序用八选球菌做试验菌测得的青霉素飞散结果。

为了减少粉尘扩散, 除了在工艺上要减少手工操作和暴露操作, 尽量使用流动料箱、设备之间的紧密连接件、自动就地清洗和真空输送物料外, 除尘方案首先要尽量在发尘源附近就地排除。

青霉素飞散结果调查(据日本制药工业协会)

表5-10

室名	放置处	操作室	结束后一小时	结束后两小时	次日(休假)
称量室	称量器附近	100%	35%	14%	4%
称量室	墙角	100%	23%	1%	0
胶囊填充室	箱内	100%	65%	35%	6%
胶囊填充室		60%	1%	0	0
包装室	包装机附近	100%	13%	6%	0
包装室	屋角	100%	4%	2%	0

图5-44是胶囊填充机用帘幕围挡起来的方案,帘幕内外粉尘浓

胶囊填充室中尘浓测定(据日本制药工业协会)

表5-11

测定点及其状况	测定值 ($\geq 0.5\mu\text{m}$) $\times 10^3/\text{ft}^3$
帘幕内	3738
帘幕门开10min后的室内	118~200
帘幕的门封闭状态下的室内	27~94

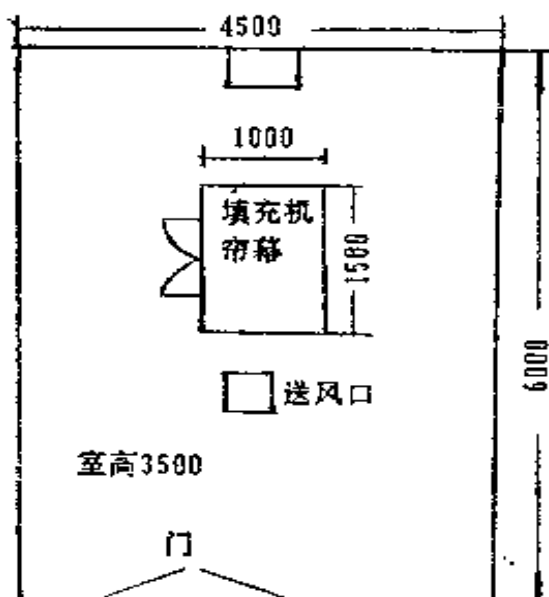


图5-44 用帘幕减少粉尘扩散(据日本制药工业协会)

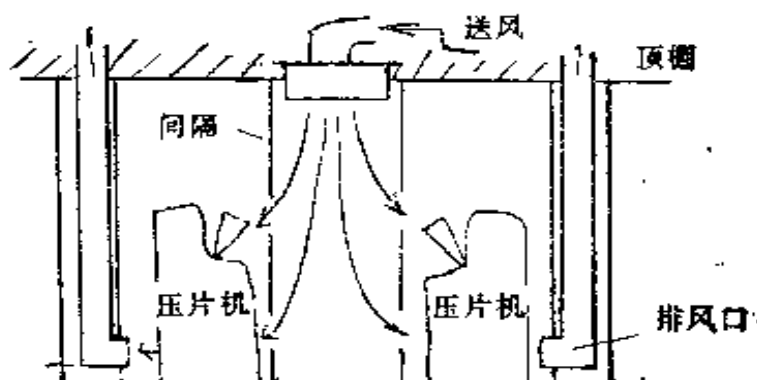


图5-45 用间隔把压片机隔开(据日本制药工业协会)

度相差50倍(表5-11),这就给空气净化方案带来方便。或者如图5-45所示,把压片小室内压片机用间隔隔开,一台一室,洁净空气由送风口进入压片小室,再从排风口排出,此时压片小室是正压。

其次是用压差控制:

①粉尘量少或没有特别强药性的药品:

平面可设计如5-46中的a或b。

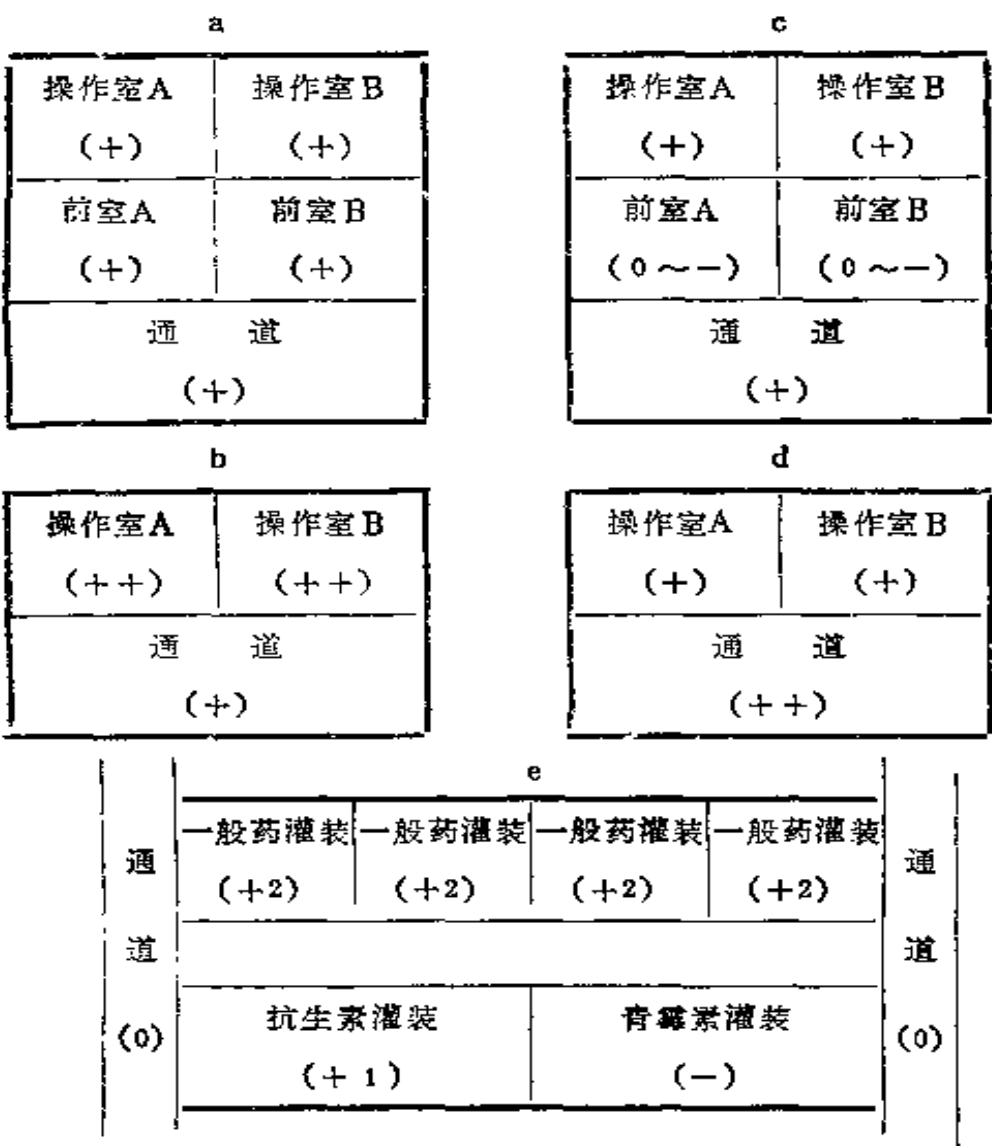


图5-46 压差控制的平面设计(据日本制药工业协会)

a的前室为缓冲室,而通道边门和操作室边门不同时开启使操作室A的空气不会流向通道和操作室B(或相反)。

b的操作室A、B的粉尘向通道流出，相互无影响。通道污染空气不会流入操作室，但容易污染通道。

②粉尘量多或有特别强的药性的药品：

平面可设计如图5-46中的c或d。

c的操作室和通道中出来的粉尘，在前室中排除，不进入通道。

d是为了使通道用作洁净通道而使通道压力高，操作室粉尘不能流向通道。由于通道的空气有时会进入操作室，因此有必要将通道的洁净度级别与操作室设计一致甚至更高。

③一般药品、抗生素类药品、青霉素类药品：

平面设计可如图5-46中的e，使压差维持：

一般药品 > 抗生素药品 > 青霉素药品

5.9.7 对输液车间的要求

有两个具体问题：一个是对输液本身的质量问题，二是潮湿问题。

国外从近几年所作的研究调查中提出如下观点：

①环境空气中微粒对瓶装大输液污染影响极小，不是影响其澄明度的主要因素。

②瓶装大输液中所存在的颗粒物，是在产品灭菌后由胶囊和瓶子上剥落下来的，这在下面包装容器、材料部分还要说明。

③对最终要灭菌的大输液关键在产品是否灭菌。

所以输液车间洁净重点应放在直接与药物接触的开口部位，放在产品暴露于室内空气的生产线如洗瓶、吹瓶、瓶子运输等处，而不要追求整个车间的高标准。

输液车间的潮湿问题主要是配药工序和消毒工序的蒸汽外溢和地面积水造成的。前者可用局部抽吸排除的办法，后者可适当在地面上划出专门水作业区并加以围挡，后面讲地面时还有说明。

5.9.8 对包装容器和材料生产车间的要求

药品质量不仅要靠药品生产本身的GMP来保证，其包装容

器和材料的影响也极大。

①由于容器、材料生产环境、生产方式，管理、包装、仓储、运输的不善，使所生产的容器、材料附着各种异物和菌类，从而污染药品。表5-12和表5-13提供了这方面的素材。

混在药品直接容器中的异物(转引谢自成据川村邦夫) 表5-12

异物种类	容器、材料种类									
	安瓿	玻璃瓶	橡胶塞	铝盖	瓷	树脂容器	管	分包装	缓冲材料	塑料袋
玻璃微粒	●									
玻璃片屑	●									
毛刺			●		●	●				
脏物	●	●		●	●					
金属纤维			●				●			
尘埃			●		●	●	●		●	●
毛发	●		●	●	●		●	●	●	●
昆虫	●	●	●	●		●		●		●
其他	●		●	●	●		●			

药用玻璃瓶不同包装时细菌繁殖测定数据(个/瓶)

(转引谢自成据上海玻璃二分厂) 表5-13

瓶子规格	包装材料			
	聚乙烯收缩膜包装		草包包装	
	霉菌数	杂菌数	霉菌数	杂菌数
50CC	130	16	1254	6212
65CC	72	38	1120	2869
65CC	20	30	500以上	2070

②由于包装容器、材料的内在质量问题而产生的异物污染。如输液瓶、安瓿的玻璃脱片，橡胶塞在高温灭菌过程中产生的结块或变性而掉下来的橡胶屑，从而污染了药品。表5-14提供了这

方面的素材。

混入注射剂(高压灭菌后)中的异物种类与大小(μm)

(转引谢自成据青山敏信)

表5-14

种 类	颗粒直径	种 类	颗粒直径	种 类	颗粒直径
玻璃屑	> 1	碳黑	> 1	霉菌及孢子	> 2
金属片	> 1	粘土	> 1	纤维素及屑	$< 1 \sim 100$
橡胶屑	$1 \sim 500$	硅藻	$1 \sim 5$	各种结晶物质	> 1
淀粉	$5 \sim 50$	细菌	> 2	昆虫尸体	> 20
氧化锌	> 1	藻丝	> 10	石棉纤维	$< 1 \sim 100$
白 墨	> 1	滑石	> 1	不能确认材质的纤维	> 1

③药品在使用过程中包括容器、材料所产生的异物。例如在打开安瓿的一瞬间，安瓿内的压力低于大气压，就能把由于用砂轮片或锯刀切割安瓿时玻璃表面产生的碎屑吸入药液中。表5-15提供了这方面产生的素材。表中直颈和曲颈安瓿打开方法都是用砂轮片划痕后用手折断，易折安瓿是用手直接折断，直管粉针瓶

不同安瓿折断时落入瓶中的微粒(粒)

(转引谢自成据上海医药工业研究院)

表5-15

微粒数 粒度(μm)	瓶 型			
	直颈安瓿	曲颈安瓿	易折安瓿	直管粉针瓶
> 4	354	560	61	3005
> 5	223	397	47	2192
> 6.5	143	295	33	1604
> 8	60	183	9	1047
> 10.1	24	104	0	732
> 12.7	13	57	8	539
> 13	7	33	4	以下因大片 碎片影响未 能计数
> 20.2	4	9	4	
> 25.4	1	5	3	
> 32	0	2	2	
> 40.3	0	0	0	

是用砂轮片划痕后用金属镊子将颈部打断。

由以上事实可以看出，药品包装用材料和容器的生产也必须有其GMP可以遵循，我国医药管理局正在制订这一GMP——《药品包装用材料、容器生产质量管理规范》，拟提出与我国药品生产GMP相同的生产环境洁净度级别和微生物标准，规定的级别适用范围可参考表5-16所列；其他规定将和药品生产GMP的规定基本一致。

药品包装用材料、容器的GMP对环境级别的要求

表5-16

级 别	适 用 场 所
100级	生产不需药厂清洗且直接包装血液制品、静脉注射药品、无菌制剂、粉针剂的材料、容器
1万级	生产不需药厂清洗且直接包装注射用药品、滴眼药、不能热压灭菌的口服液、不在最后容器中灭菌的油膏、霜膏、悬浮液、乳化液、注射用药品的原料药的材料、容器
10万级	生产不需药厂清洗且直接包装片剂、胶囊剂、丸剂、一般原料药以及与药品同时进入人体内的材料、容器

5.9.9 对制药用实验动物饲养室的要求

对于制药行业来说，从探索性研究、系统筛选、药效发展、安全性评价直至药物作用机制的研究都离不开实验动物，所以实验动物质量也是推行药品GMP的重要环节，在这里给予扼要说明。

过去有关实验动物的规定都是参照国外资料，1992年我国国家医药管理局颁布了《实验动物管理实施细则》，现据这一细则将实验动物分类和场地要求归纳成表5-17。

在净化空调系统设计上，除拙著《空气洁净技术应用》中已提到的内容外，这里再着重补充说明几点：

(1) 空气净化是必要的。因为饲养室是实验动物较长时间活动的场所，室内不可能在饲养条件下经常用熏蒸冲洗的方式灭菌，一般只能用药力较弱的消毒液擦洗，在这种情况下为了避免微生物侵染饲养室，保证空气净化则是首要条件。根据国标《实验动

实验动物分类及场地要求

表5-17

级别	名称	特 征	场 地 要 求
一级	普通动物	各主要脏器解剖无肉眼可见病理变化	无污染, 附近不得饲养非实验用动物, 设有专用垃圾场、动物尸体存放处和处理设施, 饲养室进出口不直接对外, 防昆虫、野鼠, 室内表面能冲刷, 封闭式下水道。
二级	清洁动物	除符合一级指标外, 无二级微生物(参见“细则”)病原的病变	清洁区与污染区分开, 门窗密封, 有缓冲更衣室, 有通风装置。
三级	无特殊病原体动物(SPF)	除符合一级指标外, 无二、三级微生物(参见“细则”)病原的病变	除达到二级要求外, 还应符合5-18的要求
四级	无菌动物	除符合二、三级指标外, 肝、脾淋巴结等具有无菌动物的组织学结构	

物环境及设施标准》草案给出室内空气参数的要求如表5-18所列:

实验动物环境指标

表5-18

项 目	指 标			
	开放系统(普通)	简易屏障系统(清洁)	屏障系统(SPE)	隔离系统(无菌)
温度(°C)	18~29	18~29	18~29	18~24
日温差(°C)	8	3	3	3
相对湿度(%)	40~70	40~70	40~70	40~70
换气次数(次/h)		10~15	10~15	10~15 ^②
气流速度(m/s)		0.18	0.18	0.18
压 差(Pa)		20~50	20~50	20~50
洁净度(级)	②	10万	1万	1.0
菌落数 个/皿·h		12.2	2.45	0.4
氨浓度((mg/m ³))	14	14	14	14
噪 声(dB) ≤	60	60	60	60
照 度(lx)	150—300	150—300	150—300	150—300

注: ①原文如此; ②原注按GB3095大气环境质量标准规定。

(2) 全新风。防止交叉污染和除臭是饲养室两个难题,为此,净化空调系统大部分必须采用全新风方式。由于净化系统换气次数大又是全新风,所以能耗问题突出,应尽量减少其他方面的冷负荷(如减少日照,增加围护结构热阻等)。

(3) 温湿度。从表 5-18 可见,实验动物饲养室的温湿度要求和为人服务的空调条件相比都偏宽,该表从季节变化时节能上考虑,规定了高低值,如夏季温度不应高于 29°C,相对湿度不应高于 70%;冬季温度不应低于 18°C,相对湿度不应低于 40%。但是饲养室要求室内温湿度的相对稳定性较高,尤其是昼夜间的变化不宜过大,相对湿度宜控制在±5%之内。

(4) 除臭。这不仅是对外部环境和工作人员所必需,而且也是实验动物本身所必需,因为室内除外界微生物污染外,动物本身排泄物和微生物二次转化生成的氨、硫化氢、醇等气体,也是重要的污染物质,这些气体臭味愈浓烈则说明动物本身的洁净度愈低。目前还无臭气允许值的定量资料和测定方法,但对于氨大约应控制在20ppm(成人的1/5)以下。

除臭一般有增加新风和活性炭吸附两种方法:

①增加新风以稀释室内臭气,这是最简单实用的方法,但势必增加空气处理设备和运行的费用。若干种实验动物的稀释臭气所需的新风量如表5-19所列。

几种实验动物必要的新风量

表5-19

种 类	质量(g)	占有空间(m ³ /只)	必要新风量(m ³ /h·只)
小鼠	21	0.085	0.85
大鼠	200	0.113	1.27
田鼠		0.226	2.54
兔	2600	0.283	3.2
猫	3000	1.0	17.0
猴	3200	2.83	33.96
狗	14000	4.25	84.9
鸡	2100	0.226	3.42

②在室内空气再循环的情况下，或者防止饲养室排风对外部环境的污染，可以使用活性炭过滤器，活性炭物理性能如表5-20所列。

活性炭的物理性能(据日本空气净化手册)

表5-20

性 能	数 值
真密度 (g/cm ³)	2~2.2
粒密度 (g/cm ³)	0.6~1.0
填充密度 (g/cm ³)	0.35~0.6
空隙率	0.33~0.45
细孔容积 (cm ³ /g)	0.5~1.1
比表面积 (m ² /g)	700~1500
平均孔径 (Å)	12~20

(5) 气流速度和分布。由于动物的单位体重的表面积大，体温的调节机能也不相同，要特别避免风吹风感，所以气流速度和均匀性的影响都很大。一般允许的气流速度范围是0.17~0.25m/s，表5-18中规定为0.18m/s。要注意最上层的笼子和笼子侧壁容易产生吹风感，应使送风口离开这些部位。在送风方式上，以温度分布特性好的盘型散流器或全孔板顶送较合适。回风口速度应尽量降低，并把回风口设在四角或最少两面设置，以利于防止臭气扩散。

(6) 饲养室的清洗消毒。虽然送入室内的空气经过净化，但对室内的清洗消毒仍然十分必要，如可以用水、热水、含非刺激性洗涤剂的水冲洗，用次氯酸钠或氯化铍溶液喷雾或擦拭，而紫外线灯由于照射范围和时间的限制几乎不宜单独使用，但可以与以上方法配合使用。

(7) 静压控制。动物房的静压降宜按这样的顺序控制：

洁净走廊→前室→动物饲养室→污染走廊

目的是既要防止微生物等各种缝隙进入饲养室内，又要防止饲养室内臭气外逸。

第六章 和系统设计有关的建筑布局

洁净室的建筑布局和净化空调系统有密切的关系，净化空调系统既要服从建筑布局的总体，建筑布局也必须符合净化空调系统的原则，才能充分发挥相关功能的作用。净化空调的设计者不仅要了解建筑布局以考虑系统的布置，而且要给建筑布局提出建议使其符合洁净室的原理。

6.1 洁净室的平面布局

洁净室的建设情况是多种多样的，有新建的也有改建的，有整个厂房用于洁净生产的，也有把洁净室附设在厂房内的一部分，因此，一幢建筑物内兼容一般生产和洁净生产的情况并不少见。这种情况下，首先应将两类生产分区集中布置，尽可能为洁净生产创造有利条件。

就洁净区来说，它一般包括洁净区、准洁净区和辅助区三部分，其内容如下：



洁净室的平面可以有以下几种方式：

外廊环绕式：外廊可以有窗或无窗，兼作参观和放置一些设备用，有的在外廊内设值班采暖（一般是10万级的这样做，而且采暖宜用光管）。外窗必须是双层密封窗。

内廊式：洁净室设在外围，而走廊设在内部，这种走廊的洁净度级别一般都较高，甚至和洁净室同级。洁净室设在外围时，当然没有外窗。

两端式：洁净区设在一边，另一边设准洁净和辅助用房。

核心式：为了节约用地、缩短管线，可以洁净区为核心，上下左右被各种辅助用房和隐蔽管道的空间包围起来，这种方式对于洁净区避开室外气候的直接影响，减少冷、热耗来说，是十分有利的。

6.2 人身净化路线

为了在操作中尽量减少人活动产生的污染，人员在进入洁净区之前，必须更换洁净服并吹淋、洗澡、消毒。这些措施即“人身净化”简称“人净”。

对于同时设有洁净生产和一般生产的建筑，人净入口就是通往洁净区的日常主要入口；对于幢建筑主要用作洁净生产的情况，人净入口往往也就是厂房的主要入口。

洁净生产部分需要的生活用室，包括休息、卫生、杂物和雨具存放等房间，往往与人净用室结合起来布置，但一般在穿洁净工作服之前的区段内。有人把这两部分区域又统一划分为“非洁净区”、“过渡区”和“准洁净区”三块，靠近厂房入口处宜布置污染大的房间，如门厅、净鞋、存放外衣和雨具杂物等，视为非洁净区。靠近洁净室的则布置一些有净化要求的房间如洁净服室、吹淋室等，视为入口外的准洁净区。介于上述两区之间的宜布置盥洗、厕所、休息室等，构成过渡区。

人净与生活用室占有面积较大，根据《洁净厂房设计规范》，

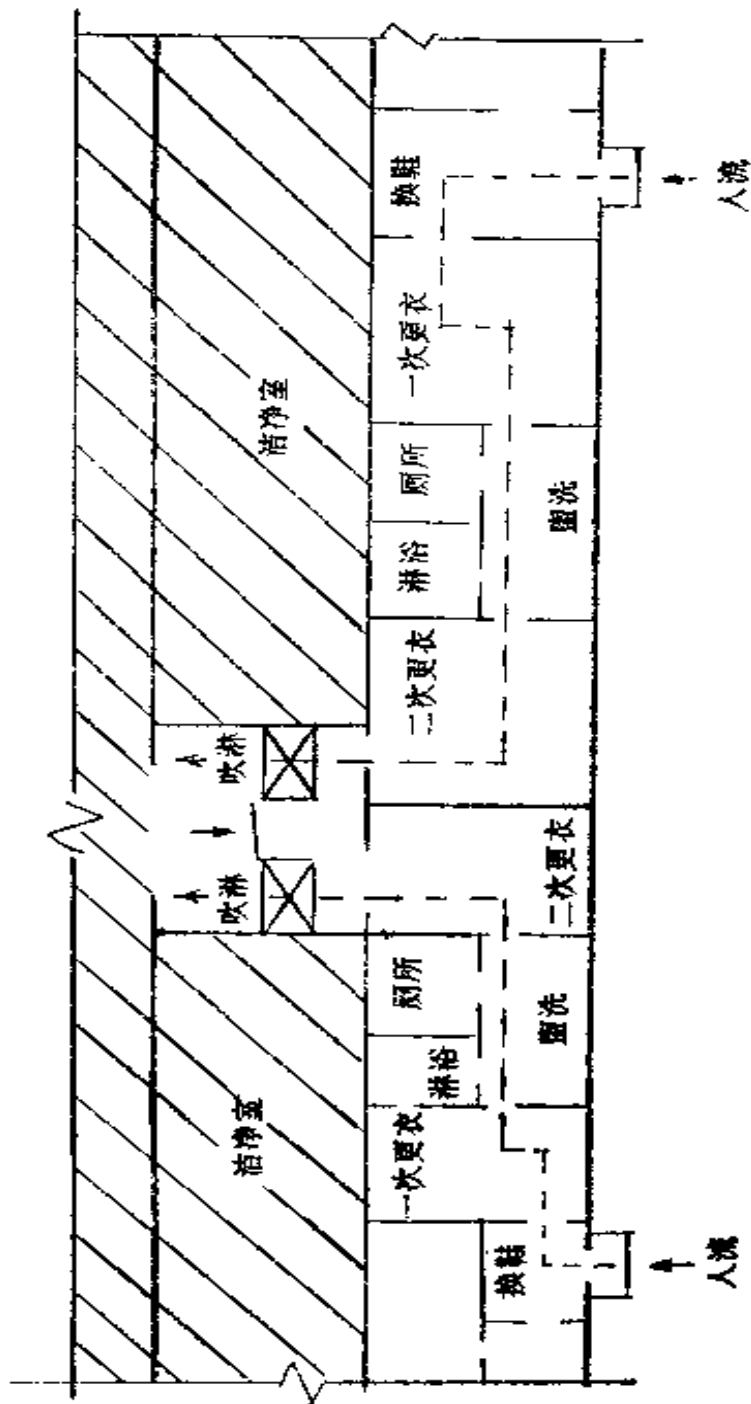


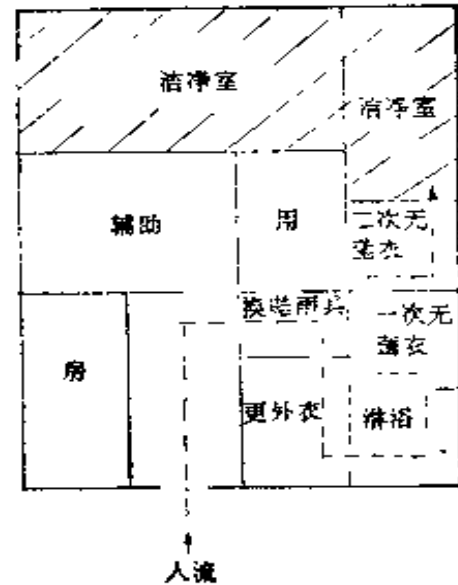
图6-1 人净用室串联布置例1

一般控制在每人 $4\sim 6\text{m}^2$ 。

根据上述人净用室的目的，它与洁净室的关系应是串联布置，即中间不能被非洁净用房隔断。

图6-1、6-2即是串联布置的例子。

在系统设计上，人净用房的二次更衣由于是换穿洁净服的所在，应予送风，并对入口侧一更等其他房间保持正压，此时一更也可少许送风，对厕所、淋浴等保持零压或稍许正压，而厕所、淋浴则应排风，保持负压。如果仅有一次更衣，则可以稍许送风，对入口方向保持正压，或作为洁净区向外排风的中间站，保持零压。



6.3 物料净化路线

图6-2 人净用室串联布置例2

各种物件在送入洁净区前必须经过净化处理，简称“物净”。

有的物件只需一次净化，有的需二次净化。一次净化不需室内环境的净化，可设于非洁净区内，二次净化要求室内也具备一定的洁净度，故宜设于洁净区内或与洁净区相邻。

物料路线与人员路线应尽可能分开，图6-3是分开的明显例子。

如果物料与人员只能在同一处进入洁净室，也必须分门而入，物料并先经粗净化处理，见图6-4。

对于生产流水性不强的场合，在物料路线中间可设中间库，见图6-4。

如果生产流水性很强，则采用直通式物料路线，见图6-5。有时还需要在直通路线中间设多次净化、传递设施，如图6-6所示的单晶硅区熔车间，物料分别由两个入口沿两条路线进入，其

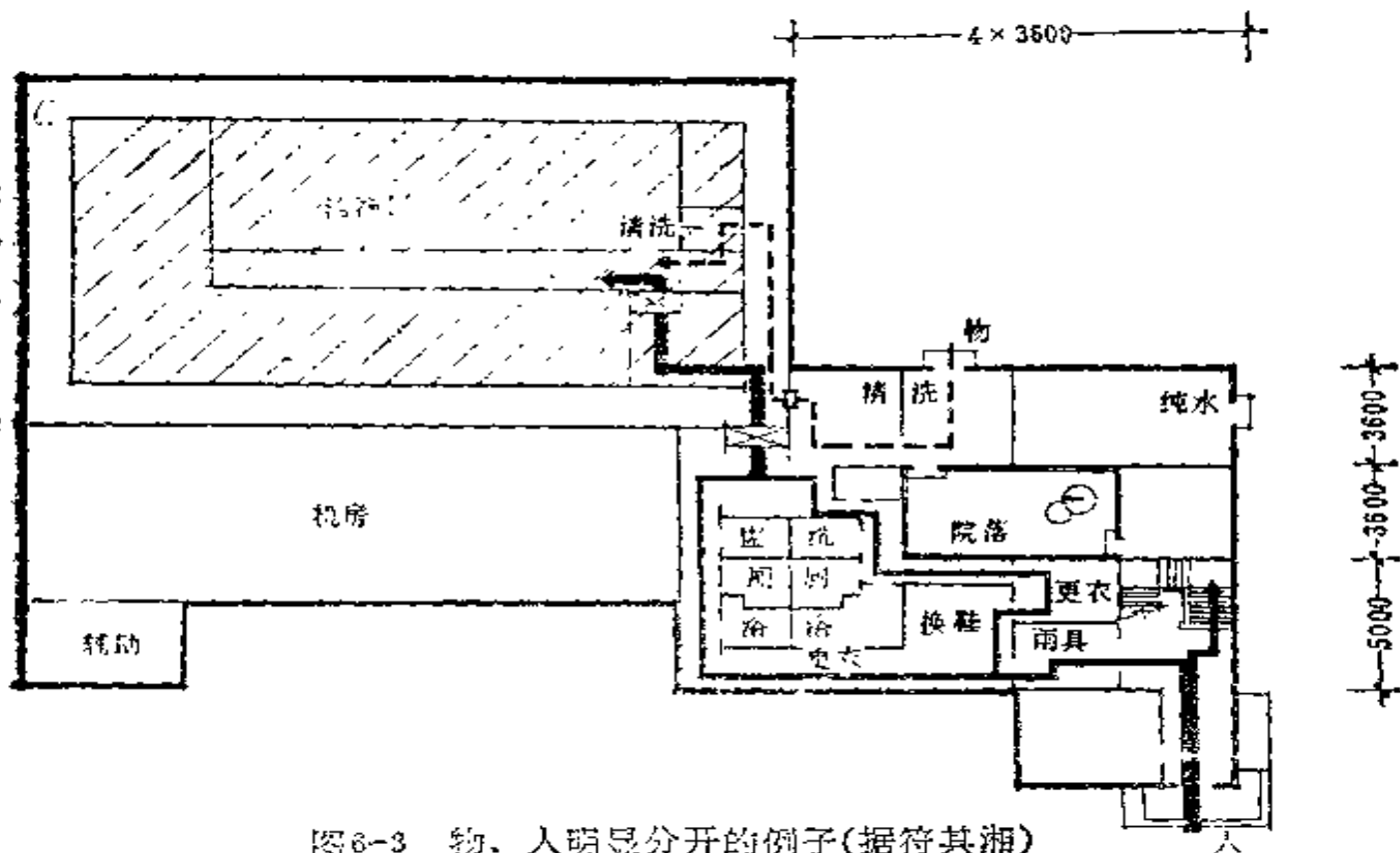


图6-3 物、人明显分开的例子(据符其湘)

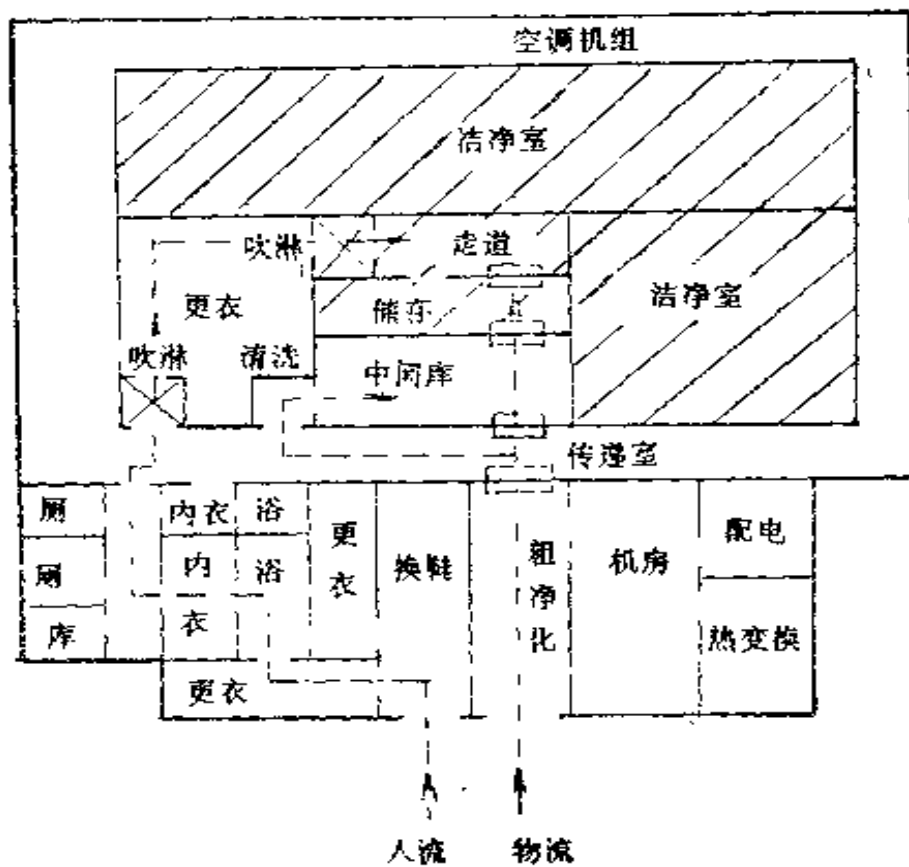


图6-4 分门而入的例子

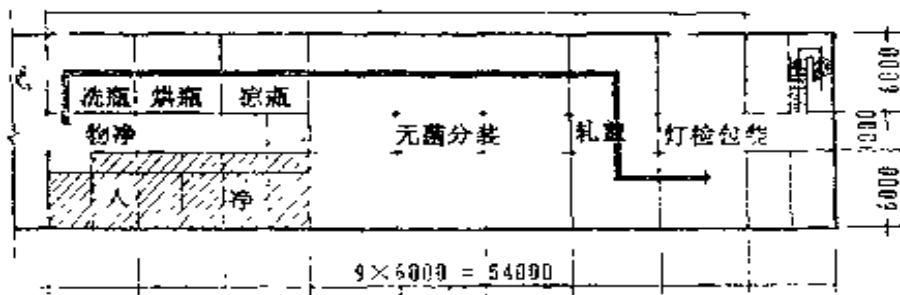


图6-5 直通式物料传递路线(据符其泗)

中多晶硅材料要通过几次传递窗,从多晶切割到籽晶清洗、腐蚀、烘干不断净化直到准备投料。

在系统设计上,物净用房的粗净化和精净化阶段由于会吹落很多微粒,所以只设排风,或既有净化送风、消毒措施,又有排风,但都应对洁净区保持负压或零压:如果污染危险性大,则有的对入口方向也应保持负压。

6.4 管线组织

空调净化机房的位置、系统的划分和气流组织这三个因素制约着风管的布置。

首先系统不宜太大,一般以输送 $3\text{万m}^3/\text{h}$ 左右的风量为宜,即使总干管断面在 1m^2 左右也如此。

其次是净化空调系统的管线都采用隐蔽组织方式。

具体的隐蔽组织方式又有以下几种。

6.4.1 技术夹层

1. 顶部技术夹层

在这种夹层内,一般以送、回风管断面最大,故作为夹层内首先考虑的对象。一般将其安排在夹层的最上方,其下安排电气管线,如吊挂件之类可供管线穿行,也可将电气管线安排在风管上方。其他管线依次安排在更下方。

当这种夹层的底板可以承受一定重量时,还可以在其上设置过滤器装置及排风机设备。

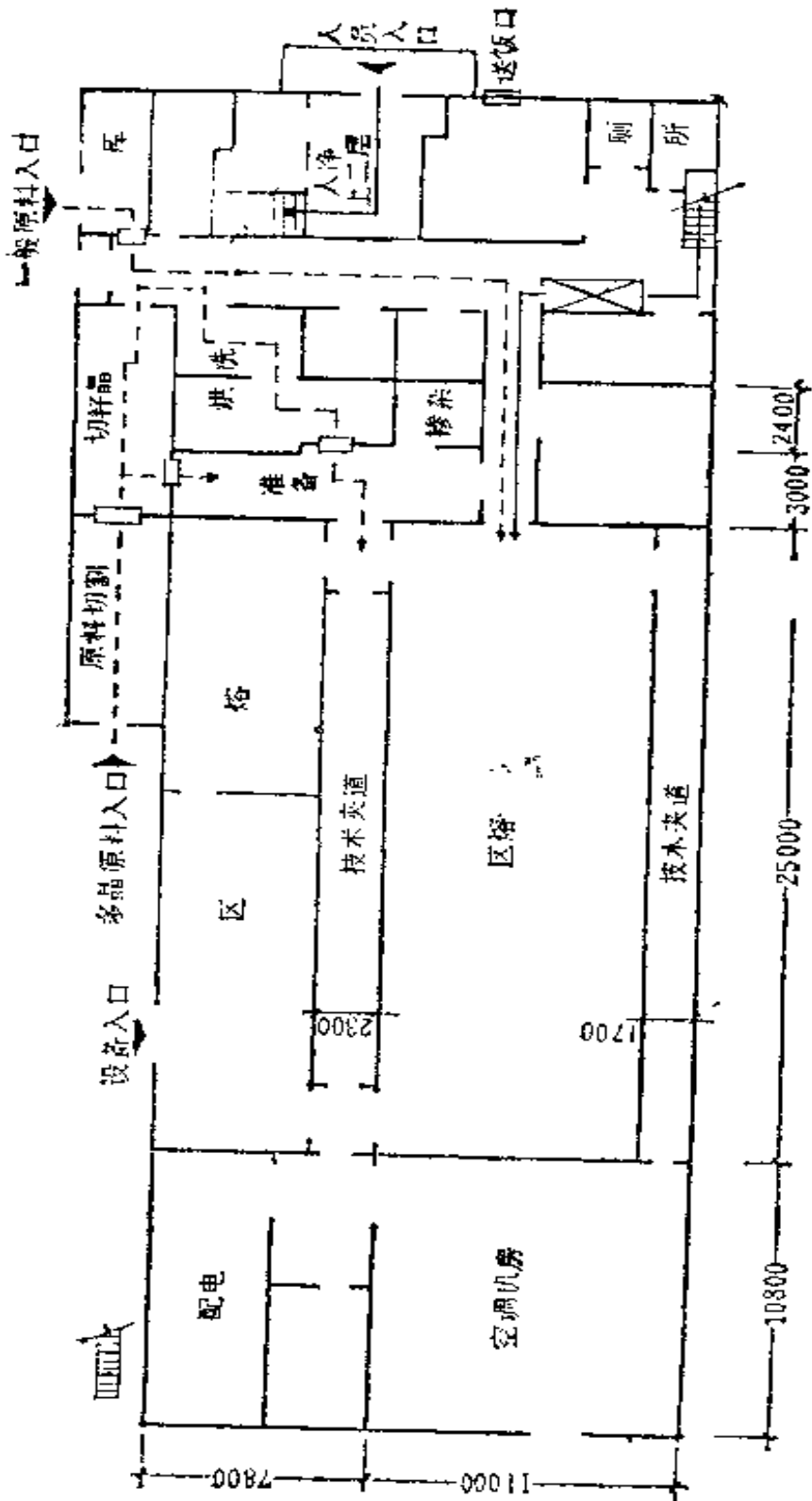


图6-6 多次净化、传递的物料路线(据符其湘)

2. 房间技术夹层

这种方式和只有顶部夹层相比，可以减少上夹层的布线与高度，可以省去回风管道返回上夹层所需的技术夹道。在下夹道内还可设置回风机、动力配电设备等，某层洁净室的上夹道可以兼做上一层洁净室的下夹道。

6.4.2 技术夹道(墙)

上下夹层内的水平管线一般都要转向为竖向管线，这些竖向管线所在的隐蔽空间即技术夹道。在其中不仅可以安排竖向管线，也可以设水平管线，还可以放置不宜放在洁净室内的一些辅助设备，例如真空泵、稳压电源、配电箱等。甚至还可以作为一般回风管道或静压箱，有的可以安设光管型散热器。

这类技术夹道(墙)由于大多采用轻质隔断，所以当工艺调整时，仅须更动夹道内的部分管道和接口，甚至也可拆装这种夹道，因此颇能适应工艺变化的要求。

6.4.3 技术竖井

如果说，技术夹道(墙)往往不越层，则需要越层时即用技术竖井，并且经常作为建筑结构的一部分，具有永久性。

由于技术竖井把各层串通起来，为了防火，内部安设管线完成后，要在层间用耐火极限不低于楼板的材料封闭，检修工作分层进行，检修门须为防火门。

不论是技术夹层、技术夹道还是技术竖井，当直接兼作风道时，其内表面必须按洁净室墙面的要求处理。

6.5 机房位置

空调机房最好靠近要求送风量大的洁净室，力求风管线路短。但从防止噪声和振动来说又要求把机房和洁净室隔开。这两方面都应予以考虑。隔开方式有：

(1) 构造分离方式。可分成以下几种：

① 沉降缝隔开式：使沉降缝在洁净室与机房之间通过，起分隔

作用：

②夹壁墙隔开式：如果机房紧靠洁净室，不是公用一面隔墙，而是各自有各自的隔墙，两面隔墙之间留有一定宽度的夹缝；

③辅助室隔开式：在洁净室与机房之间设辅助室，起缓冲作用。

(2) 分散方式。分以下几种：

①屋而上或吊顶上分散式：现在常有把机房设在最上层屋而上的做法，使之远离下面的洁净室，但屋面下一层最好设为辅助或管理室层，或者作为技术夹层；

②地面下分散式：把机房设于地下室。

(3) 独立建筑方式。在洁净室建筑之外单独建立机房，但其离洁净室最好很近。

既使采用上述隔开方式，仍然要注意机房的防水、隔振和隔声问题。

机房地面应全部做防水处理，并有排水措施，特别是对于上层机房。

为了隔振，应在振源的风机、电机等的支架、底座作防振处理，甚至必须把设备安在混凝土板块上，再用防振材料支撑该板块，该板块的重量应为设备总重量的2~3倍，其尺寸应比钢结构公用底座大50%以上，并使风机、电机的综合重心与该板块的重心偏距在30cm之内。因此，机房地板荷载应取5000Pa为宜，并最好设置小梁以增加承载能力。

为了隔声，除去系统上的消声器外，大型机房可考虑在墙壁内表面贴附有一定吸声效果的材料；要装隔声门；切忌在与洁净区的隔墙上开门。

不言而喻，净化空调系统的机房由于风量大，增加了空气过滤设备等因素，其面积要比普通空调机房大。

6.6 安全疏散

由于洁净室是密闭性很强的建筑，其安全疏散成为非常重要且突出的问题，和净化空调系统的设置也有密切的关系。一般应注意以下几点：

(1) 每一生产层防火区或洁净区至少设 2 个安全出口，只有面积 $< 50\text{m}^2$ ，人员 < 5 人时，可允许只设一个安全出口。

(2) 人净入口不应作疏散出口。这是因为人净路线往往迂回曲折，一旦烟火迷漫，要求人员很快跑到室外将是很困难的事。

(3) 吹淋室门不能作为一般出入通道，由于这种门常为两侧联锁或自动的，一旦出现故障，非常影响紧急疏散，所以一般均应在吹淋室旁设旁通门，工作人员多于 5 人时必须设此门。平时工作人员出洁净室时也不应走吹淋室而应走旁通门。

(4) 洁净区内各洁净室的门，考虑维持室内压力状况的需要，其开设方向要朝向压力大的房间，因为要靠压力把门压紧，这显然和安全疏散的要求相反。为了考虑平时洁净和紧急疏散的两方面要求，《洁净厂房设计规范》只规定洁净区和非洁净区之间的门和洁净区与室外之间的门作为安全疏散门对待，其开启方向一律朝向疏散方向，当然，单设的安全门也应如此。

6.7 例图分析

甲方提出在原有建筑物中改造一部分为洁净室的平面图，如图 6-7。要求洁净的为阴影部分。

现根据前面提到的一些原则，分析如下：

(1) 人净路线从更衣到吹淋必须是连续的，不为非洁净环境所中断。现图中第二次更衣仍需经过一段与非洁净室相通的一般走廊，才能通过吹淋室，与上述原则是违背的。同时按工艺要求，到吹淋室外几间非洁净室工作的人只需一次更衣，则一次更衣者和二次更衣者将在走廊内交叉混杂，使二次更衣失去意义。

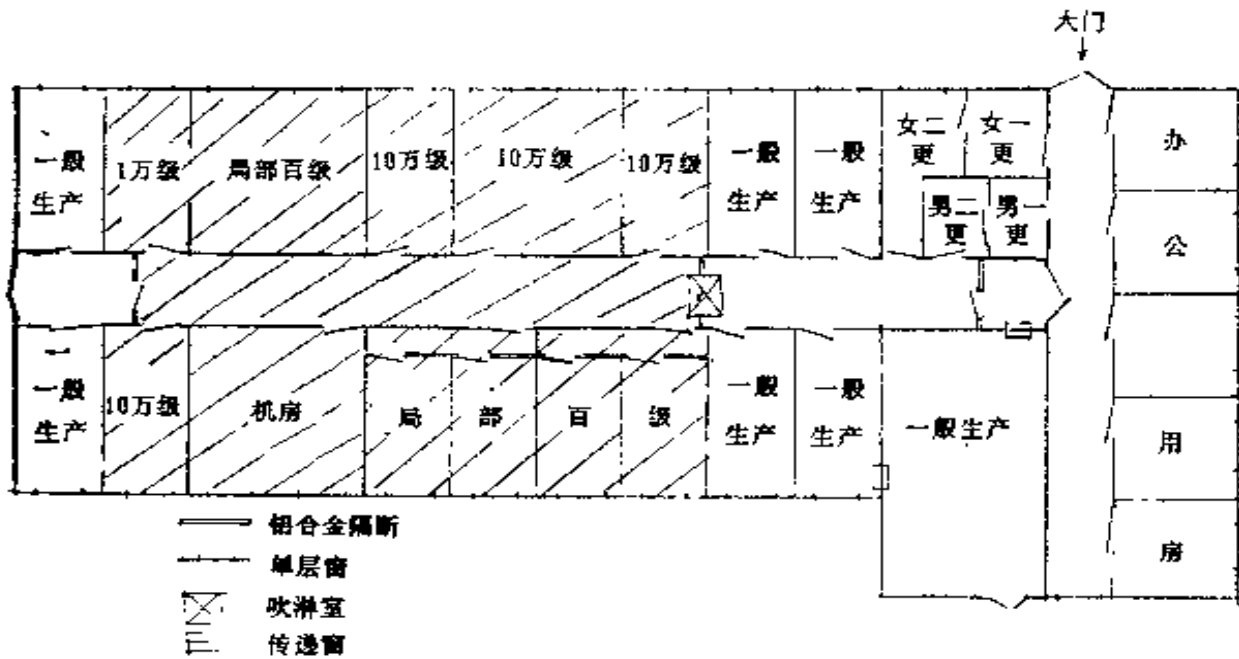


图6-7 分析用例图

(2) 根据《洁净厂房设计规范》规定，凡洁净室的外窗应为双层密闭窗，而据《空气洁净技术措施》的建议，千级、百级的洁净室不应有直接外窗。现图中局部百级洁净室不仅有直接外窗，且为原建筑的单层窗，其他洁净室也都是单层窗。不论从洁净还是传热角度都是不允许的。

(3) 送风和回风必须很好配合并应尽可能有对称性（例如双面回风、送风不要无故偏于一侧等），才能保证良好的气流组织。那种只有送风无处回风或者回风点很少很小的做法是行不通的。现图中各洁净室没有考虑风管线路的组织，皆未给对称回风留下位置，有的房间连一面回风都没有位置。对于局部百级房间回风量很大，是否能双面回风更显重要，即使在走廊侧墙上回，由于室宽近5m，一面回是很难有好的气流组织的，而几间局部百级洁净室更无处设置合适的回风口（连紧挨走廊的墙都没有）。

(4) 洁净室建筑平面上的曲折缓冲，对洁净度并无明显意义，现图中几间小的局部百级洁净室在走廊侧又设一道铝合金隔断

墙，这种缓冲并无作用，反而损失了使用面积，除非工艺上有需要，否则，最好不要这样安排。

(5) 如有可能，机房移于建筑物的端头，并取消在走廊上开门。

(6) 吹淋室旁必须有旁通门，一是为出来的人不需吹淋而设，二是在疏散时方便人员退出。

(7) 走廊左右两端铝合金隔断上的门的开启方向与规范要求不符。

修改平面以后，可能成为图6-8所示平面布置：

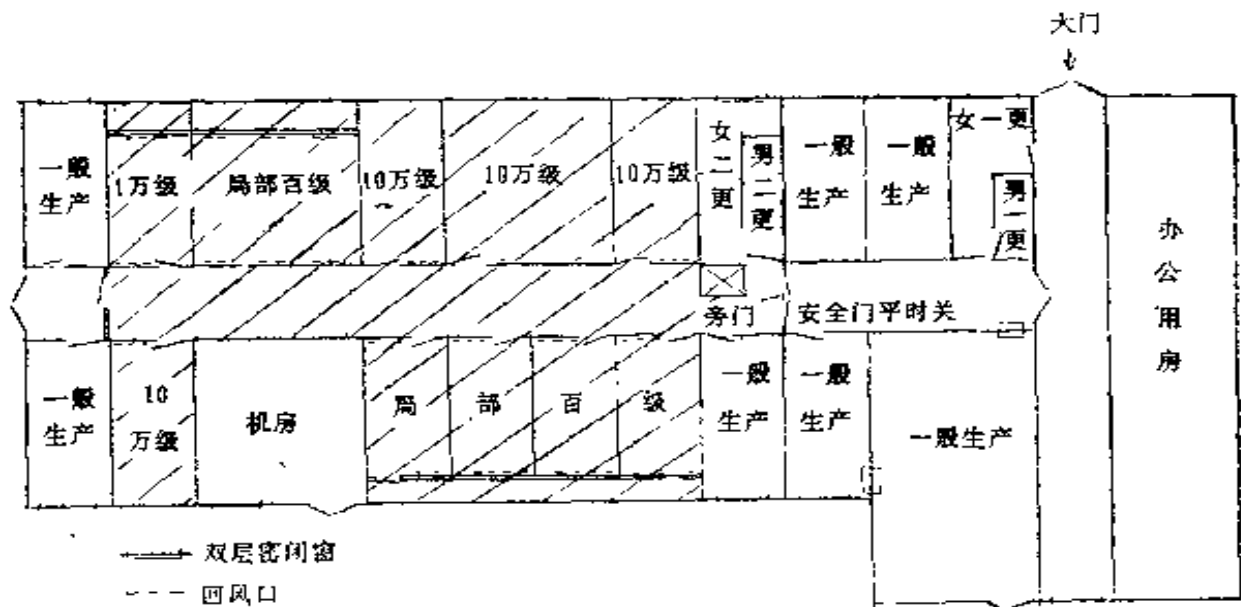


图6-8 修改后的分析例用图

(1) 把一次更衣和二次更衣分开，要进洁净室的再二次更衣，将吹淋室外走廊改为准洁净区，只需一次更衣。这样就使更换洁净服和吹淋符合连续性原则。

(2) 所有洁净室皆改为无窗的，准洁净的二更改为双层密闭窗。

(3) 在几间局部百级间和其旁的万级间，沿外墙侧设铝合金玻璃隔断，形成技术夹道，兼作一侧回风道，另一侧回风口开在走廊侧墙上，而把沿走廊侧内隔断取消。外墙侧设夹道对冷热负荷

也是有利的。对10万级房间，由于洁净度较易达到，出于节省投资也可不设沿外墙隔断，可在过滤器布置上适当靠近外墙一些，同时把走廊上左端隔断左移，便于在侧墙上开回风口。

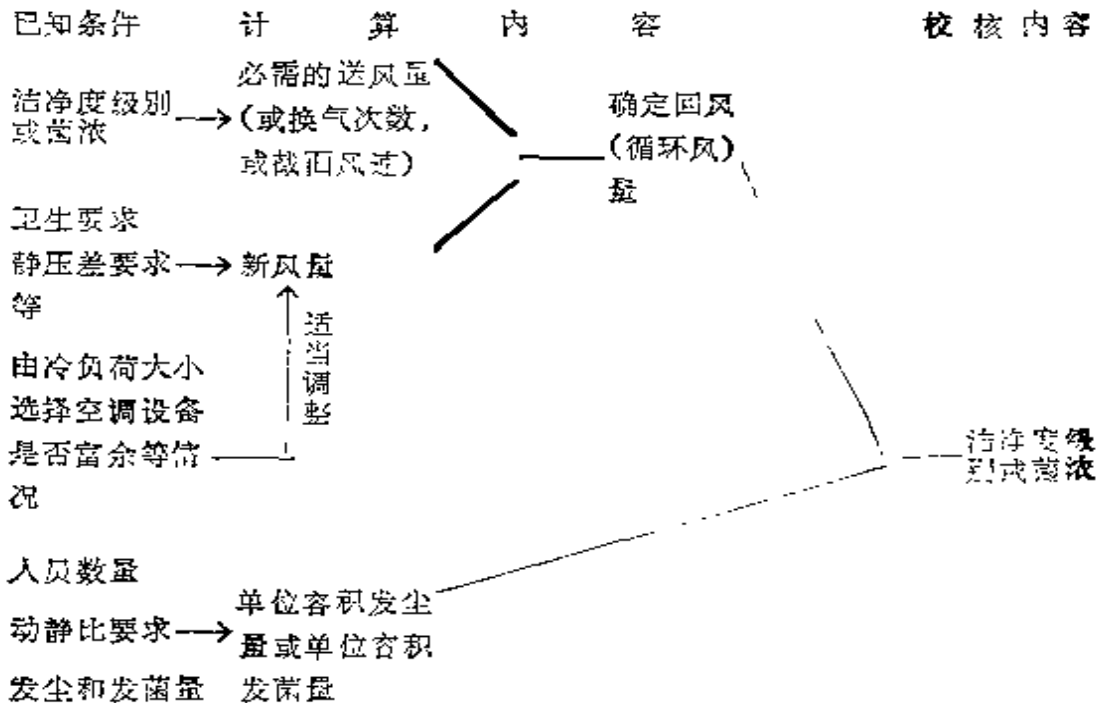
(4) 把机房门改为开在外墙上，墙内表面应作适当隔声处理。

(5) 吹淋室改变位置，使之符合和二更的连续性原则，并在道上设旁通门(日常退出换衣用)和安全门(紧急时用)。

(6) 把走廊左右两端铝合金隔断上门的开启方向改成向外开。

第七章 洁净室计算

洁净室计算主要是指在已知洁净度级别或允许菌液等条件下计算风量，其步骤是：



下面分别说明各项计算方法。

7.1 正压洁净室送风量 Q_1 计算

洁净室和一般空调房间不同，其送风量不是由系统的冷热负荷来计算的，因为这样计算的风量远小于由净化要求按换气次数或房间截面风速计算得到的风量，因此，对净化空调系统，一般

先按净化要求的换气次数或截面风速来计算送风量而不管其冷热负荷如何。当然必要时可以比较一下。

7.1.1 乱流洁净室送风量 Q_{I-1}

乱流洁净室——1千级、1万级、10万级的洁净室，送风量是以换气次数为准来计算的：

$$Q_{I-1} = n_v V \quad (7-1)$$

由式(4-4)、(4-3)可得

$$n_v = \psi \frac{60G \times 10^{-3}}{N - N_s} \approx \psi n \quad (7-2)$$

式中 n_v ——按不均匀分布理论计算的换气次数(次/h)；

n ——按均匀分布理论计算的换气次数(次/h)；

V ——洁净室净体积(m^3)；

N ——设计要求的级别上限浓度的 $1/3 \sim 1/2$ 的值(粒/L)；

N_s ——送风浓度(粒/L)，对高效净化系统可按表4-3选用。

G ——单位容积发生量(粒/ $m^3 \cdot \text{min}$)； G 由人员密度 q (人/ m^2)从图7-1查出。图中左纵座标为静态，右纵座标为动态，动静比分别为3倍、5倍、7倍。详见下节说明；

ψ ——不均匀分布系数，一般可参照表7-1取值。

这里要说明的是，当换气次数或风量一定时，若送风口增加一倍(以20次/h的1个风口为准)，计算表明，对于1万级， ψ 下降到原来的31.7%；对于10万级， ψ 下降到原来的82.5%，也就是说平均可认为风口增加一倍时， ψ 下降到原来的82%，等于达到同样级别时，送风量减小了18%左右。因此在不过分降低送风出口速度情况下，增加风口会取得提高洁净度的效果。当然风口位置也是有影响的，例如图7-2所示的国外的一个试验例：向室内施放DOP烟雾，然后测定室内浓度衰减的情况。虽然风口布局B的有效面积是布局C的1倍，但C布局比布局B好，主要是自净时间短，这可能和B有气流短路有关。

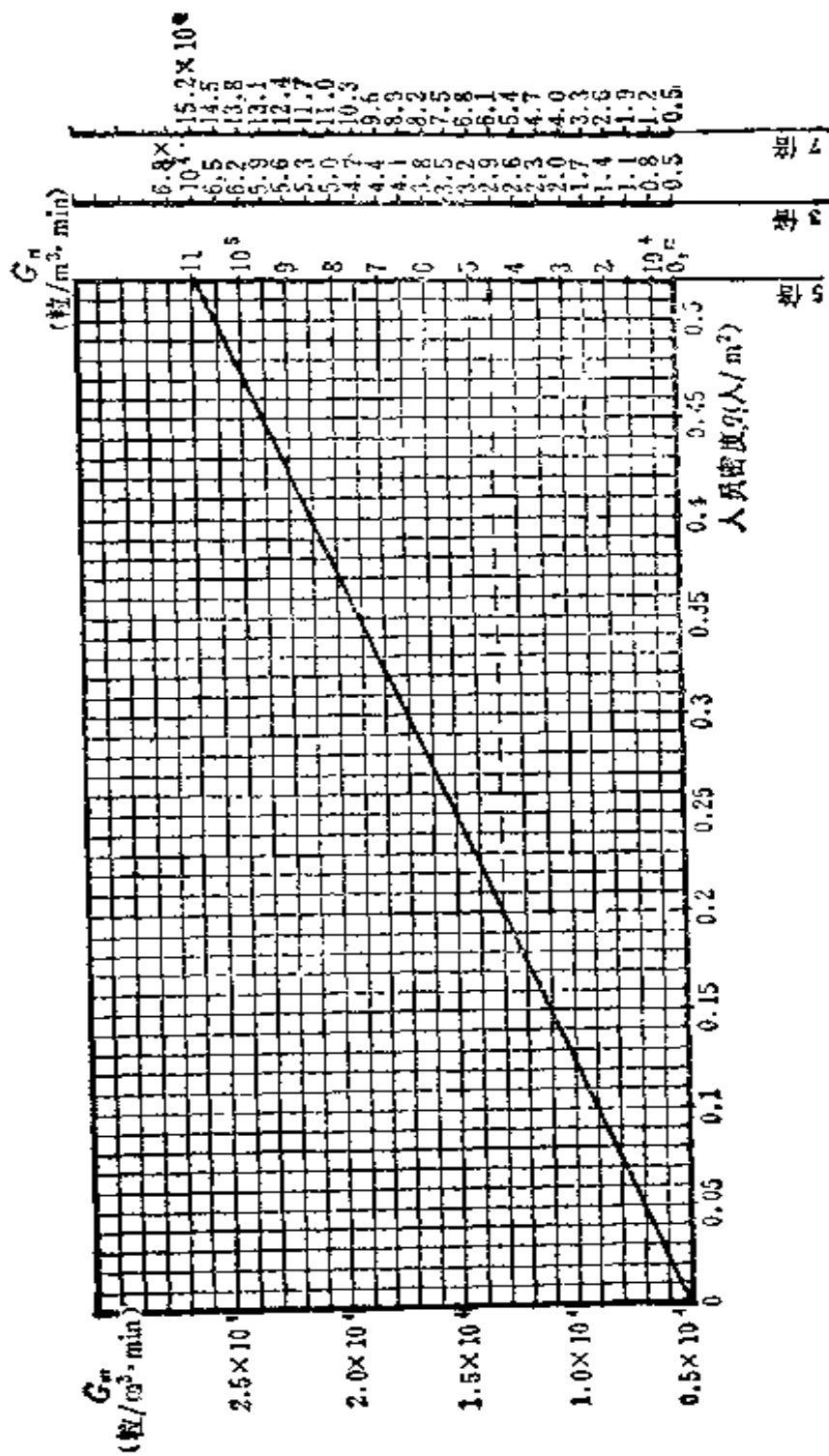


图7-1 单位容积发尘量计算图

ψ值

表7-1

换气次数 (次/h)	乱流					单向流		
	10 120	20 140	40 160	60 180	80 200	送回风过 滤器均满 布	下部两 侧回	下部两侧 不均匀不 等面积回
ψ(风口均匀布置)	1.5	1.22	1.16	1.06	0.99	0.9		
ψ(120次及以上时 风口布置集中可按 主流区计算)	0.88	0.81	0.77	0.73	0.64	0.03	0.05	0.15~0.2

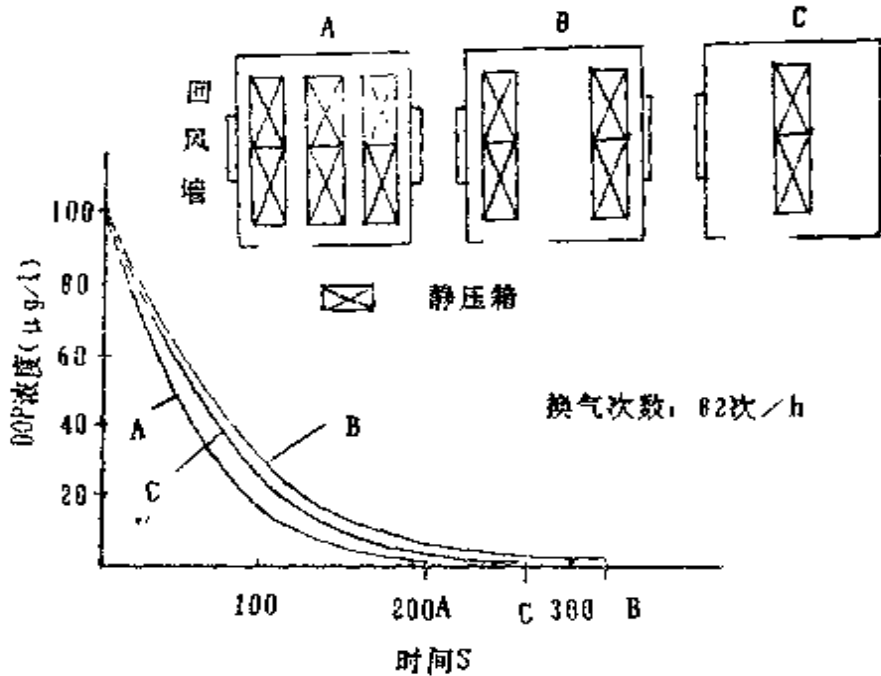


图7-2 进风分布的影响(据上海医药设计院资料汇编)

比较由上面计算出的 n_v 与下面说明的 n_{min} ，取其大者为所需之换气次数。

$$n_v = (n_v, n_{min})_{max} \quad (7-3)$$

n_{min} 是本书第一次提出的概念，称为自净换气次数，它是保证较短自净时间所需的换气次数。

提出这一概念是因为对于一个洁净室，不仅要求它通过换气把含尘浓度降下来，而且要求所花的时间在合理范围之内。过去在

计算时只强调了前者,而忽视了后者。对于一个洁净室,某一个换气次数可以把其含尘浓度降到所要求的水平,但可能要花较长的时间,如果要缩短这个时间,就要提高换气次数,提高到 n_{\min} 。

为了求自净时间,先要求出 $\frac{N_0}{N}$ 。 N_0 是洁净室原始含尘浓度,如果不是事先已知,则应加以确定。实际情况表明,只要开机前系统已经停止运行几个小时,则不管什么系统的洁净室,最后 N_0 将趋近于室外大气含尘浓度 M 。

M 的确定可按第二章提出的原则,洁净室一般皆位于污染较轻的地区,所以 M 可不取最大值 3×10^5 粒/L,而取中间的 2×10^5 粒/L(这和计算含尘浓度时取的 M 值不同)

N 是洁净室设计的稳定时的含尘浓度,不能取级别上限浓度,只宜取上限浓度的 $1/3 \sim 1/2$,例如1万级可取 $100 \sim 200$ 粒/L。

自净时间可根据实际要求定,但一般是:

1000级	希望不超过20 min, 可取15 min计算
10000级	希望不超过30 min, 可取25 min计算
100000级	希望不超过40 min, 可取30 min计算

则 $\frac{N_0}{N}$ 分别可取:

1000级	10000 ~ 20000
10000级	1000 ~ 2000
100000级	100 ~ 200

然后,查自净时间计算图(见图7-3),得 nt :

1000级	830 ~ 870
10000级	700 ~ 730
100000级	550 ~ 600

则自净换气次数 n_{\min} 相应为:

1000级	55.3($t=15$ min) ~ 43.5($t=20$ min)
10000级	28.6($t=25$ min) ~ 23.8($t=30$ min)

100000级 19.2($t=30\text{ min}$)~14.4($t=40\text{ min}$)

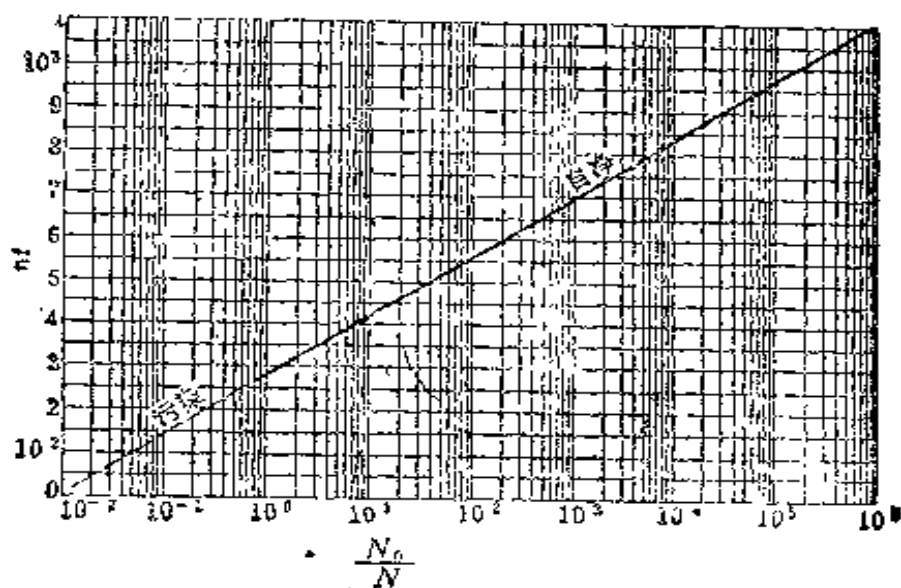


图7-3 自净时间计算图

《洁净厂房设计规范》建议的动态级别下换气次数经验值分别为：

- 1000级 ≤ 50
- 10000级 ≤ 25
- 100000级 ≤ 15

上面计算出的 n_{min} ，若按要求低的自净时间 t 考虑，则和规范建议值相近，若按要求高的 t 考虑，均比规范建议值有所提高。其中1000级提高最大。所以若按 n_{min} 设计则均能兼顾动态要求。

总之，设计者应根据具体情况，确定选用换气次数的原则，例如像手术室这样的场所，希望自净时间尽可能短一些，而按静态算出的 n 一般均小于 n_{min} ，这样就应按 n_{min} 的原则考虑换气次数。

7.1.2 单向流洁净室送风量 Q_{1-2}

单向流洁净室送风量以房间截面平均风速为准来计算：

$$Q_{1-2} = 3600vF \quad (7-4)$$

式中 F ——垂直于气流的房间截面积(m^2)；
 v ——截面平均风速(m/s)。

应有

$$v \geq v_{\min}$$

v_{\min} 是在运行中经常保持的最低风速，称为下限风速，按表7-2取值。现行规范的截面风速建议值偏小，又未加说明，缺乏经验者误以为是设计初始风速。

下 限 风 速

表7-2

洁净室	下限风速(m/s)	条 件
垂 直 单向流	0.12	平时无人或很少有人出入，无明显热流(只有一般仪器) 无明显热源的一般情况
	0.3	
水 平 单向流	≥0.5	有人，有明显热源，如0.5仍不够，宜控制热源尺寸和隔热
	0.3	平时无人或很少有人出入 一般情况
	0.35	
	≥0.5	要求更高或人员进出频繁的情况

对于0.1 μ m10级洁净室， v_{\min} 可取表中的最大值，即0.4~0.5m/s左右比较安全。

由于单向流洁净室换气次数非常大，自净时间极短，所以就不用自净换气次数这一概念了。

7.2 系统送风量 Q_{II} 计算

系统送风量应在洁净室送风量基础上再加上系统漏风量。对于严格按《洁净室施工及验收规范》制作安装的风道系统和空调设备，考虑其送、回风部位的相抵，建议其漏风率取表7-3所示数值。

建议的系统漏风率取值

表7-3

洁净度级别	漏 风 率 (%)		
	系 统	空调设备	总计 ϵ_{Σ}
低于1000级	4	2	4
1000级到低于100级	2	1	2
等于或高于100级	1	1	2

$$Q_{11} = \frac{\sum Q_{1i}}{(1 - \varepsilon_p)} \quad (7-5)$$

式中 $\sum Q_{1i}$ 为各洁净室送风量之和。

7.3 系统新风量 Q_{11} 计算

7.3.1 满足卫生要求洁净室所需的新风量 Q_{11}

(1) 对于室内无明显有害气体发生的一般情况，按《洁净厂房设计规范》每人每小时新风量不得小于 40 m^3 计算：

$$Q_{1-1} = \text{人数} \times 40 \text{ m}^3/\text{h} \quad (7-6)$$

(2) 对于室内有多种有害气体发生的情况：

$$\left. \begin{aligned} Q_{1-2} &= Q_a + Q_b + \dots + Q_n \\ Q_a &= \frac{L_a}{T_a} \\ Q_b &= \frac{L_b}{T_b} \\ &\vdots \\ Q_n &= \frac{L_n}{T_n} \end{aligned} \right\} \quad (7-7)$$

式中 $Q_a \dots Q_n$ —— 稀释各有害气体必需的通风量；

$L_a \dots L_n$ —— 各有害气体发生量；

$T_a \dots T_n$ —— 各有害气体允许最高浓度，见表7-4。

有害气体允许最高浓度 (mg/m^3)

表7-4

名称	允许浓度	名称	允许浓度	名称	允许浓度
一氧化碳	30	二甲苯	100	三氯乙烯	30
丙酮	400	甲醇	50	四氯化碳	25
环乙酮	50	乙醇	1500	盐酸	15
苯	40	环乙烷	50	汽油	350
甲苯	100	二氧化硫	15	乙醚	500
				氢氧化物及硝酸	5

比较 Q_{1-1} 和 Q_{1-2} ，取大者为卫生所需新风量 Q_{11} 。

7.3.2 保持洁净室正压所需的新风量 Q_2

(1) 局部排风量 = Q_{2-1} ;

(2) 通过余压阀的风量 = Q_{2-2} , 可从余压阀说明书查得;

(3) 由缝隙的漏出风量 = Q_{2-3}

$$\begin{aligned} Q_{2-3} &= 3600 E_1 F_1 v_1 \\ &= 3600 E_1 F_1 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \end{aligned} \quad (7-8)$$

式中 F_1 ——缝隙面积 (m^2);

E_1 ——流量系数通常取 $0.3 \sim 0.5$;

v_1 ——漏出风速 (m/s);

ΔP ——室内外压差 (Pa);

ρ ——空气重力密度通常取 $1.2 kg/m^3$ 。

取

$$Q_2 = Q_{2-1} + Q_{2-2} + Q_{2-3} \quad (7-9)$$

对洁净室正压要求特别严时, 还应在 Q_2 中加上开关门和传递窗的漏风量, 参见下节。

7.3.3 满足总风量一定比例的新风量 Q_3

当不能确切知道人员数量或漏泄情况时, 或者在做初步方案时作为估计用, 可采用应占总风量一定比例的方法确定新风量。

按《洁净厂房设计规范》规定, 对于乱流洁净室, 新风量还应不小于总送风量的 $10\% \sim 30\%$, 对于单向流洁净室, 新风量应不小于总送风量的 $2\% \sim 4\%$, 原则是, 洁净度越低, 新风比可越大, 例如水平单向流洁净室可设新风比不小于 4% , 10 万级洁净室新风比可大到 30% 。

当然, 对于可以全部用循环风的场合, 或者工艺需要或允许时, 新风比可以不按上述规定确定。

7.3.4 补充送风系统漏泄所需的新风量 Q_4

$$\begin{aligned} Q_4 &= \text{系统送风量} \times \varepsilon_2 \\ &= Q_{II} \cdot \varepsilon_2 \end{aligned} \quad (7-10)$$

7.3.5 系统新风量 Q_{H}

比较 ΣQ_1 、 ΣQ_2 和 ΣQ_3 ，取其大者，“ Σ ”为各室该风量之和。然后，加上送风系统的漏风量 Q_4 ，即为系统的最后所需新风量：

$$Q_{\text{H}} = (\Sigma Q_1, \Sigma Q_2, \Sigma Q_3)_{\text{max}} + Q_4 \quad (7-11)$$

7.4 系统回风(循环风)量 Q_{N} 计算

系统循环风量应为系统送风量减去新风量，即

$$Q_{\text{N}} = Q_{\text{H}} - Q_{\text{H}} \quad (7-12)$$

〔例1〕设洁净室需送入 $9000\text{m}^3/\text{h}$ 的风量，室内需新风量占送风量的10%，总漏风率为0.1，给出系统风量平衡图。

〔解〕

$$\begin{aligned} \text{系统送风量 } Q_{\text{H}} &= \frac{\Sigma Q_{\text{I}}}{1 - \varepsilon_{\Sigma}} = \frac{9000}{1 - 0.1} = \frac{9000}{0.9} \\ &= 10000\text{m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{新风量 } Q_{\text{H}} &= 0.1 \times Q_{\text{I}} + \varepsilon_{\Sigma} Q_{\text{H}} \\ &= 0.1 \times 9000 + 0.1 \times 10000 \\ &= 900 + 1000 \\ &= 1900\text{m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{循环风量 } Q_{\text{N}} &= Q_{\text{H}} - Q_{\text{H}} \\ &= 10000 - 1900 \\ &= 8100\text{m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

以上结果绘成图7-4。

从图可见，实际需要新风量为 $900\text{m}^3/\text{h}$ ，现送 $1900\text{m}^3/\text{h}$ ，多出的 $1000\text{m}^3/\text{h}$ 即为补充系统漏风的。从风机送出 $10000\text{m}^3/\text{h}$ ，漏掉10%后正好剩 $9000\text{m}^3/\text{h}$ 送入室内，循环

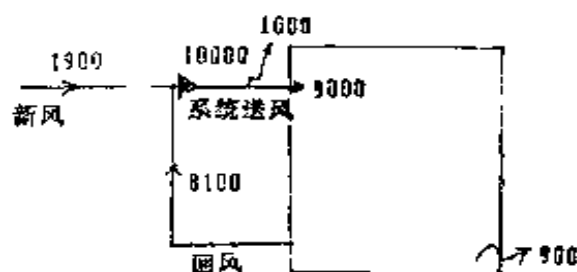


图7-4 系统风量平衡
▶ 风机

风为 $8100\text{ m}^3/\text{h}$, 差额 $900\text{ m}^3/\text{h}$, 正好是新风量, 即维持室内正压的压出量。

7.5 负压洁净室风量计算

7.5.1 维持负压所需的排风量 Q_v

(1) 局部排风量 $=Q_{2-1}$;

(2) 由缝隙的漏入风量 $=Q_{2-3}$, 按式(7-8)计算;

(3) 由开关门引起的每扇门每小时的漏入风量 $=Q_{2-4}$

$$\begin{aligned} Q_{2-4} &= tBE_2F_2v \\ &= tBE_2F_2\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \end{aligned} \quad (7-13)$$

式中 t ——门开一次的时间(s/次);

B ——门开关次数(次/h);

F_2 ——门的面积(m^2);

E_2 ——流量系数(通常取 $0.3\sim 0.5$)

(4) 由开关传递窗而每小时漏入的风量 Q_{2-5} ;

$$Q_{2-5} = 0.5V_1B \quad (7-14)$$

式中 V_1 ——传递窗内部容积(m^3);

0.5 ——漏泄率(即开关门的时间内, 窗内平均将有一半容积空气进出洁净室)。

所以

$$Q_v = Q_{2-3} + Q_{2-4} + Q_{2-5} - Q_{2-1} \quad (7-15)$$

如果结果小于零, 则取

$$Q_v = Q_{2-1}$$

即不需另设排风机了。

7.5.2 负压洁净室送风量 Q_r

计算方法同前节正压洁净室。

7.5.3 系统送风量 Q_H

计算方法同前节正压洁净室。

7.5.4 新风量 $Q_{\text{新}}$

因为是直流系统，所以

$$Q_{\text{新}} = Q_{\text{I}} \quad (7-16)$$

7.5.5 系统排风量 $Q_{\text{排}}$

1. 直排式

$$Q_{\text{排}} = Q_{\text{I}} + Q_{\text{V}} \quad (7-17)$$

2. 部分循环风式

若要求循环风量为 Q_{IV} ，则系统排风量：

$$Q_{\text{排}} = Q_{\text{I}} + Q_{\text{V}} - Q_{\text{IV}} \quad (7-18)$$

〔例1〕有一直排式负压洁净室，洁净室送风量为 $5000 \text{ m}^3/\text{h}$ ，计算维持负压所需排风量为 $400 \text{ m}^3/\text{h}$ ，系统漏风率 e_x 取 0.02% ，绘出系统风量平衡图。

〔解〕

$$Q_{\text{V}} = 400 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{I}} = 5000 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{新}} = \frac{Q_{\text{I}}}{1 - e_x} = \frac{5000}{1 - 0.02} = 5102 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{排}} = Q_{\text{I}} + Q_{\text{V}} = 5000 + 400 = 5400 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{排}} = Q_{\text{I}} + Q_{\text{V}} = 5000 + 400 = 5400 \text{ m}^3/\text{h}$$

系统风量平衡如图7-5。

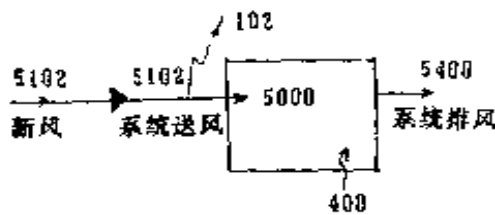


图7-5 直排式系统风量平衡

► 机风

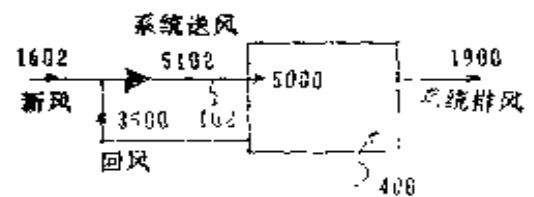


图7-6 局部循环加排风系统风量平衡

► 风机

〔例2〕同上例，设循环风为70%，绘出系统风量平衡图。

〔解〕

$$\begin{aligned}
Q_{\text{II}} &= (1-0.7) \times Q_{\text{I}} + (Q_{\text{II}} - Q_{\text{I}}) \\
&= 0.3 \times 5000 + 5102 - 5000 \\
&= 1500 + 102 \\
&= 1602 \text{ m}^3/\text{h} \\
Q_{\text{N}} &= Q_{\text{II}} - Q_{\text{II}} \text{ (或 } = 0.7 \times Q_{\text{I}} \text{)} \\
&= 5102 - 1602 \\
&= 3500 \text{ m}^3/\text{h} \\
Q_{\text{VI}} &= Q_{\text{I}} + Q_{\text{V}} - Q_{\text{N}} \\
&= 5000 + 400 - 3500 \\
&= 1900 \text{ m}^3/\text{h}
\end{aligned}$$

系统风量平衡如图7-6。

7.6 洁净度校核计算

洁净度校核计算公式已在第四章给出，即式(4-2)~(4-5)这里着重分析一下单位容积发尘量的计算。

设：1 m²面积的空间中(标准净高取2.5 m)，有1个人时的发尘量为C粒/min·人，则其单位容积发尘量为

$$G' = \frac{C \text{ 粒}/\text{min}}{2.5 \text{ m} \times 1 \text{ m}^2} = \frac{C}{2.5} \text{ 粒}/\text{m}^3 \cdot \text{min} \quad (7-19)$$

其次把室内各表面发尘量化为人的发尘量，据统计约8 m²地面所代表的室内表面可看成是1个人静止时的发尘量，整个表面看成是一定数量的人，设P为人数，F为室面积，则当量人员密度：

$$q' = \frac{\frac{F}{\beta} + P}{F} = \frac{1}{\beta} + \frac{P}{F} \quad (7-20)$$

式中 $\beta = 8$ ， $\frac{P}{F} = q$ ，q是真实的人员密度。

因为前面每平方米1个人静止时的单位容积发尘量已知，则每

米 q' 个人对室内单位容积发尘量为:

$$G = \frac{C}{2.5} q' = \frac{C}{2.5} \left(\frac{1}{\beta'} + \frac{P}{F} \right) \quad (7-21)$$

式中 C 可以是静止时的发尘量也可以是活动时的发尘量; $\beta' = \beta \times$ 动静比; C 为静止时则动静比取 1; C 为活动时则动静比按
要求取。

图7-1即由此式计算绘出。

〔例1〕 设人动作时的发尘量 $C = 5 \times 10^5$ 粒/min·人, 动静比 5, 求当 10m^2 有 3 个人时的室内单位容积发尘量(动态 G_n)。

$$\begin{aligned} \text{〔解1〕 } G_n &= \frac{5 \times 10^5}{2.5} \left(\frac{1}{8 \times 5} + \frac{3}{10} \right) \\ &= 2 \times 10^5 (0.025 + 0.3) \\ &= 0.325 \times 2 \times 10^5 \\ &= 0.65 \times 10^5 \text{ 粒}/\text{m}^3 \text{ min} \end{aligned}$$

〔解2〕 由 $q = \frac{2}{10} = 0.2$ 和动静比 5, 从图7-1上查得 $G_n = 6.5 \times 10^4$ 粒/ $\text{m}^3 \text{ min}$ 。

〔例2〕: 设净化系统如图7-7。

对 $\geq 0.5 \mu\text{m}$ 计数效率 $\eta_1 = 20\%$, $\eta_2 = 40\%$, $\eta'_2 = 2$,
 $\eta_3 = 99.999\%$, $s = 0.7$, G 同上例。

求30次/h的动态洁净度级别。

〔解〕由式(4-4)

$$N_v = N_s + \phi \frac{60 G_n \times 10^{-3}}{n}$$

\therefore 新风比 $= (1 - S) = 0.3$, 由表(4-3)取:

$$N_s = 1.5 \text{ 粒}/\text{L}.$$

由表7-1, 取 $\phi = 1.19$

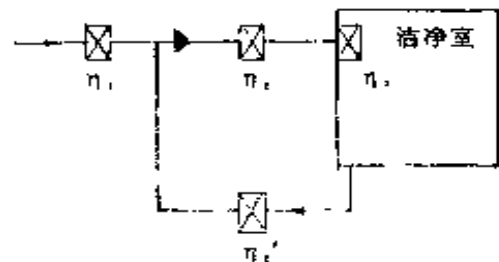


图7-7 计算例图1

◀ 风机

则

$$\begin{aligned}N_v &= 1.5 + 1.19 \times \frac{60 \times 0.65 \times 10^5 \times 10^{-3}}{30} \\ &= 1.5 + 1.19 \times \frac{3900}{30} \\ &= 1.5 + 1.19 \times 130 \\ &= 1.5 + 154.7 \\ &= 156.2 \text{粒/L}\end{aligned}$$

或者由式(4-5):

$$\begin{aligned}\eta_n &= 1 - (1 - 0.2)(1 - 0.4)(1 - 0.99999) \\ &= 1 - 0.8 \times 0.6 \times 0.00001 \\ &= 1 - 0.0000048 \\ &= 0.9999952 \\ \eta_r &= 1 - (1 - 0.2)(1 - 0.4)(1 - 0.99999) \\ &= 0.9999952\end{aligned}$$

$$N_v^* = \psi N$$

$$\begin{aligned}&= 1.19 \left[\frac{60 \times 0.65 \times 10^5 \times 10^{-3} + 10^5 \times 30(1 - 0.7)(1 - \eta_n)}{30[1 - 0.7(1 - \eta_r)]} \right] \\ &= 1.19 \left[\frac{39 \times 10^2 + 30 \times 0.3 \times 4.8}{30(1 - 0.0000025)} \right] \\ &= 1.19 \times \frac{3900 + 43.2}{29.999925} \\ &= 1.19 \times 131.4 \\ &= 156.4 \text{粒/L}\end{aligned}$$

达到万级或者更具体地说达到5000级。

可见两种计算结果相差极其微小，因此用任何一种方法计算都可以。

〔例3〕已知洁净室静态单位容积发尘量 G_m 为 2×10^4 粒/ $m^3 \cdot \text{min}$ ，新风比0.5 求达到静态万级的设计换气次数。要求考虑自净换气次数。

〔解〕由式(7-2)

$$n_v = \psi \frac{60 G_m \times 10^{-3}}{N - N_s}$$

∴ 新风比 = 0.5, 由表(4-3),

$$N_s = 2.5 \text{ 粒/L}$$

设万级按 $N = 100$ 粒/L 设计, 则

$$\begin{aligned} n &= \frac{60 \times 2 \times 10^4 \times 10^{-3}}{100 - 2.5} \\ &= 12.3 \text{ 次/h} \end{aligned}$$

∴ 查表(7-1), 取 $\psi = 1.45$

则达到静态级别需要的换气次数

$$\begin{aligned} n_v &= 1.45 \times 12.3 \\ &= 17.8 \approx 18 \text{ 次/h} \end{aligned}$$

$$\therefore n_v < n_{\min}$$

∴ 达到万级的设计换气次数取 n_{\min} , 即 30 次/h, 此值也满足设计规范对动态万级的 25 次/h 的要求。

〔例4〕 系统图式同例2, 末端过滤器改为 YGG 亚高效过滤器, 即 $\eta_s = 0.97$ 。求 30 次/h 的动态洁净度级别。

〔解〕

$$\begin{aligned} \eta_n &= 1 - (1 - 0.2)(1 - 0.4)(1 - 0.97) \\ &= 1 - 0.8 \times 0.6 \times 0.03 = 1 - 0.0144 \\ &= 0.9856 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta_r &= 1 - (1 - 0.2)(1 - 0.4)(1 - 0.97) \\ &= 1 - 0.8 \times 0.6 \times 0.03 \\ &= 0.9856 \end{aligned}$$

对于亚高效系统应取 $M = 3 \times 10^5$,

$$\therefore N_v = 1.19 \left[\frac{39 \times 10^2 + 30 \times 0.3 \times 3 \times 10^5 \times 0.0144}{30(1 - 0.7 \times 0.0144)} \right]$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.19 \left[\frac{3900 + 27 \times 1440}{30(1-0.01)} \right] \\
 &= 1.19 \frac{42780}{29.7} \\
 &= 1.19 \times 1440.4 = 1714 \text{ 粒/L}
 \end{aligned}$$

达到10万级或具体说达到5万级洁净度。

〔例5〕系统图式同例4，新风过滤器再改用亚高效新风机组，机组组成见图7-8。求30次/h的动态洁净度级别。

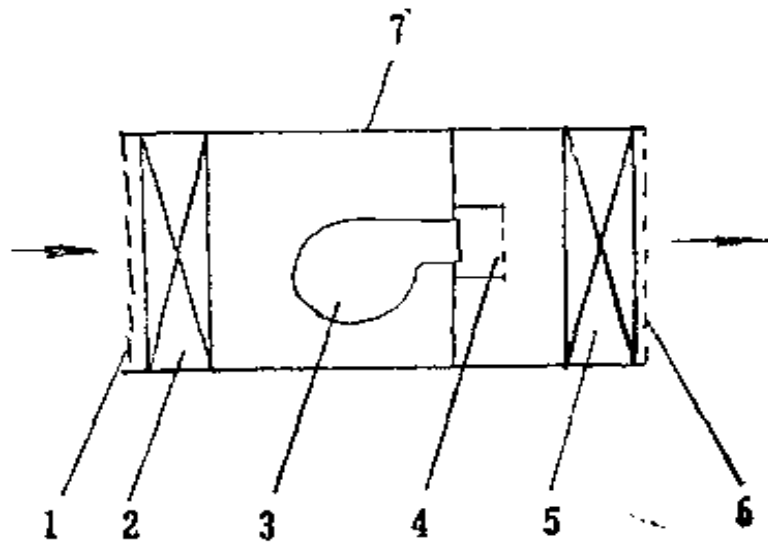


图7-8 亚高效净化新风机组

- 1—过滤网，不计其效率； 2—中效过滤器，对 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 计数效率 $\eta_1' = 30\%$ ；
 3—风机； 4—挡板； 5—YGG亚高效过滤器，对 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 计数效率 $\eta_1'' = 97\%$ ；
 6—装饰网； 7—箱体

〔解〕因为末端过滤器是亚高效过滤器，所以计算大气尘浓度可以不取 10^8 而取 3×10^5 粒/L。其余参数均见前例。

新风机组总效率：

$$\begin{aligned}
 \eta_1 &= 1 - (1 - 0.3)(1 - 0.97) \\
 &= 1 - 0.021 = 0.979
 \end{aligned}$$

有亚高效新风机组时，中效 η_2 的作用可不考虑，所以

$$\begin{aligned}\eta_n &= 1 - (1 - 0.979)(1 - 0.97) \\ &= 1 - 0.00063 = 0.99937\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta_r &= 1 - (1 - 0.2)(1 - 0.4)(1 - 0.97) \\ &= 1 - 0.0144 = 0.9856\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N_T &= 1.19 \left[\frac{60 \times 0.65 \times 10^5 \times 10^{-3} + 10^5 \times 3 \times 30(1 - 0.7)(1 - 0.99937)}{30[1 - 0.7(1 - 0.9856)]} \right] \\ &= 1.19 \frac{3900 + 1701}{29.698}\end{aligned}$$

$$= 1.19 \times 188.6 = 224.4 \text{ 粒/L}$$

达到万级，具体说达到7000级。

现将以上各例按 $s=0.7$, $s=0.85$; $M=10^6$ 粒/L, $M=3 \times 10^5$ 粒/L(末端为高效过滤器时只按前一种); $G_n=0.65 \times 10^5$ 粒/ $m^3 \cdot \text{min}$, $G_m=0.17 \times 10^5$ 粒/ $m^3 \cdot \text{min}$ 等各种条件计算, 结果汇总于表7-5中。

不同条件计算含尘浓度(粒/L)结果比较

表7-5

系 统	$s=0.7$				$s=0.85$			
	$M=10^6$		$M=3 \times 10^5$		$M=10^6$		$M=3 \times 10^5$	
	动态	静态	动态	静态	动态	静态	动态	静态
末端高效	157	42	/	/	156	42	/	/
$\eta=99$	1873	1760	671	556	1015	900	413	298
末端亚高效	5384	4398	1714	1599	2753	2637	935	689
$\eta=97$								
末端亚高效, 新风 $\eta=99$	180	60	163	48	158	53	159	45
为亚高效机组 $\eta=97$	384	268	225	109	270	155	191	75

从上表计算结果可以看出:

(1) 末端设高效过滤器和末端设亚高效过滤器而新风也设亚高效净化机组的第一种和第三种两种方案都可以达到1万级。后者受回风比例、大气尘浓度、动静态影响也不大。

(2) 末端设亚高效过滤器的第二种方案，除去当其效率未达到99%，而大气尘浓度按 10^6 计算之外都能达到10万级；受回风比例和大气尘浓度影响甚大。

(3) 第三种方案由于没有过滤器密封胶异味的二次污染，又可以达到较好的效果，用于医院会更合适。

经国家建筑工程质量检测中心测定的某中药厂即采用上述第三种方案，只是亚高效过滤器是存放多年的产品，效率可能有所降低。实测结果如下：

外包装	22.2次/h	2804 粒/L
内包装	27.5次/h	2913 粒/L
制丸	22.9次/h	161 粒/L
胶囊	30 次/h	441 粒/L
干燥混合	44.8次/h	114.3粒/L
制粒	45.8次/h	257.4粒/L
研配	40.6次/h	233.3粒/L
周转	35.8次/h	172.2粒/L
球磨	35.6次/h	535.3粒/L

由于没有室外大气尘浓度数据，而亚高效系统要受到大气尘浓度的一定影响，所以不便计算对比，但从结果可见：可以达到10万级也可以达到万级，前者显然在过滤器及其安装质量以及气流等方面不如后者（本例具体情况还有窗框漏风）。从表7-5来看，实测结果不是意外，反之也说明计算结果是可信的。

(4) 假如选用效率 $>99\%$ 的亚高效过滤器，则将达到更高的洁净度。

〔例6〕系统图式仍同例2，有多间洁净室，新风比 $(1-s)=15\%$ ，空态测定2人在室内，其他数据均列于表7-6中，各级过滤器效率是：

$$\eta_1 = 20\% (\geq 0.5\mu, \text{下同})$$

$$\eta'_2 = 5\%, \eta_2 = 20\%$$

$$\eta_2 = 99.999\%$$

求空态达到的含尘浓度。

〔解〕因为是高效系统，可按简化方法式(4-4)计算：

因为新风比 $<20\%$ ，按表(4-3)取 $N_0 = 1$ 粒/L。对于序号1，因有局部百级，过滤器集中布置，所以从表7-1中应取主流区的 $\psi = 0.6$ ，则

$$N_v = 1 + \frac{60 \times 1 \times 10^4 \times 10^{-3}}{128} \times 0.6$$

$$= 3.81 \text{ 粒/L}$$

其余各室计算结果均列于表7-6中。该工程实测结果也列于该表，表中还列出新风比约18%的另一例实测结果(序号7~10)，可见计算结果和实测结果基本在同一个量级上。

例6测定结果和计算结果对比

表7-6

序号	面积 m ²	层高 m	体积 m ³	换气 次数 次/h	人员 密度 人/m ²	G _m 粒/m ³ min	ψ	设计 级别	计算含 尘浓度 粒/L	实测含尘浓度 统计值粒/L	注
1	16.4	2.4	39.4	128	0.12	1×10^4	0.6	万级(中同 局部百级)	3.81	4.1	某生物制 药厂，国 家建筑工 程质量检 测中心测 定
2	12.8	2.4	30.7	97	0.16	1.15×10^4	0.6	同上	7.40	8.0	
3	13.3	2.4	31.9	95	0.15	1.1×10^4	0.6	同上	7.40	10.1	
4	15.9	2.4	38.2	26	0.13	1.02×10^4	1.2	万级	29.2	49.8	
5	37.7	2.4	90.5	15.9	0.05	0.7×10^4	1.35	10万级	36.6	16.0	
6	25.1	2.4	60.2	15.9	0.08	0.82×10^4	1.35	10万级	42.8	47.0	
7	22	2.5	55	38.2	0.13	1.02×10^4	1.16	千级	19.5	7.7	某电子车 间，国家 建筑工程 质量检测 中心测定
8	48	2.5	120	37.7	0.06	0.74×10^4	1.17	千级	14.7	13.2	
9	130	2.5	325	27.4	0.02	0.6×10^4	1.2	万级	16.8	21.1	
10	300	2.5	700	16.9	0.01	0.55×10^4	1.3	10万级	26.4	35.7	

〔例7〕系统图式同例6，但 η_2 为空调箱中亚高效过滤器的效率， η_1 为亚高效新风机组总效率，其他数据均列于表7-7中。求2人测定时空态含尘浓度可以达到多少？

〔解〕以1号百级房间为例计算如下：

例7测定结果和计算结果对比

表7-7

序号	面积 m ²	层高 m	体积 m ³	换气 次数 次/h	人员 密度 人/m ²	G _m 粒/m ³ min	设计 级别	计算 含尘 浓度 粒/L	实测含尘浓度 (统计值)粒/L 仪器为美国大 流量计数器	注
1	12	2.35	28.2	321	0.16	1.15×10 ⁴	百级	0.38	0.39	某医院 白血病 房, 国 家建筑 工程质 量检测 中心测 定
2	8	2.35	18.8	352	0.25	1.5×10 ⁴	百级	0.46	0.34	
3	8	2.35	18.8	367	0.25	1.5×10 ⁴	百级	0.44	0.43	
4	8	2.35	18.8	321	0.25	1.5×10 ⁴	百级	0.50	2.23	
5	8	2.35	18.8	337	0.25	1.5×10 ⁴	百级	0.48	0.9	
6	8	2.35	18.8	306	0.25	1.5×10 ⁴	百级	0.53	0.73	
7	8	2.35	18.8	245	0.25	1.5×10 ⁴	百级	0.66	0.41	
8	8	2.35	18.8	337	0.25	1.5×10 ⁴	百级	0.48	0.33	
9	8	2.35	18.8	306	0.25	1.5×10 ⁴	百级	0.53	0.44	
10	12	2.35	28.2	326	0.16	1.15×10 ⁴	百级	0.41	0.39	
11	37	3.1	114.7	39.7	0.054	0.72×10 ⁴	万级	12.6	7.61	
12	38	3.1	117.8	38	0.052	0.7×10 ⁴	万级	12.8	2.15	

由于新风通路上串有两级亚高效过滤器, 可认为 $\eta_n=1$, 所以取 $N_s=0$,

由于全顶棚送风, 两侧下部不均匀布置不等面积回风, 由表7-1取 $\phi=0.18$ 。

按简化式(4-4)计算:

$$N_v = 0 + 0.18 \frac{60 \times 1.15 \times 10^4 \times 10^{-3}}{321} \\ = 0.38 \text{粒/L}$$

其他各室计算结果列于表7-7中, 表中还列入了实测结果, 所有百级房间可以说非常一致, 只有两间万级计算结果比实测结果高, 显然计算结果符合规律。

7.7 菌浓校核计算

7.7.1 菌浓标准

关于药厂的GMP菌浓标准, 前一章已介绍了, 这里着重谈

一下医院等其他生物洁净室的菌浓标准问题。

国外文献指出，目前各国医院标准中除瑞士等一二个例子外都无对空气中浮游菌浓的评价，如表7-8~表7-15所示。

美国外科学会标准

表7-8

级 别	空气中浮游细菌数(个/m ³)	使 用 场 合
I	35 以下	清洁手术(人工脏器移植)
II	175 以下	准清洁手术
III	700 以下	一般清洁手术

井上宇市建议标准

表7-9

手 术 种 类	过 去 (个/m ³)	今 后 (个/m ³)
高级手术：脑、心脏、 股关节全置换	35.3~176.5	3.53~35.3
一般手术	176.5~353	35.3~176.5
小手术、急救手术	353~706	176.5~353

瑞士医院空调标准

表7-10

级 别	浮 游 菌 数 (个/m ³)
I	10
II	200
III	500

西 欧 标 准

表7-11

级 别	浮 游 菌 数 (个/m ³)
I	50 以下
II	50 ~ 200
III	200~500

头田弘道文中介绍的标准

表7-12

一般外科手术室,	10000 级
无菌手术室,	100 级
感染手术室,	10000 级

铃木哲夫文中介绍的标准

表7-13

种 类	浮游菌数 (个/m ³)
紧急手术	140~100
一般手术	70
心脏脏器移植	35
脑外科、全身烧伤及其他感染危险大者	3.5

德国医院通风标准 (DIN)

表7-14

无菌室无菌要求	要求的过滤器级别	注
一般要求	B ₁ +C	B ₁ : η=60~80%, C: η=90~98% 均为5μm以下试验尘, 5mg/m ³ ; S: η≥99.97%, 试验尘为 0.3~0.5μm油滴
高要求	B ₁ +C+R	
特高要求	B ₁ +C+S	

美国国家航空和宇宙航行局NASA标准

表7-15

级 别	浮游生物微粒最大数量 (个/m ³)	沉降生物微粒最大数量	
		(个/m ² ·周)	(个/φ90平皿0.5h)
100	3.5	12900	0.24
10000	17.5	64800	1.2
100000	88.4	323000	6.0

作者曾按美国文献给出的菌尘关系计算出沉降菌标准的理论值, 如表7-16所列, 结果和NASA相差很小。

沉降菌标准的理论值

表7-16

别	浮游生物微粒最大数量 (个/m ³)	φ90平皿沉降0.5h的数量 (个)
10	1.1	0.075
100	3.5	0.24
1000	11	0.75
10000	35	2.39
100000	110	7.5

我国正在制订《军队医院洁净手术部建筑设计施工检测标准》，洁净手术部用房的级别必须同时满足静态空气洁净度级别和菌浓(浮游或沉降)两项标准，如表7-17所列。

我国有关洁净手术部的标准

表7-17

等级	用途	静态空气洁净度级别		浮游菌浓度	沉降菌(φ90平皿30min)
		级别	≥0.5μm微粒数(粒/m ³)	(菌落/m ³)	(菌落/皿)
I	特殊洁净手术室	100	≤3500	≤5	≤1
II	洁净手术室	1000	≤35000	≤75	≤2
III	一般洁净手术室	10000	≤350000	≤150	≤3
IV	一般洁净手术室和辅助用房	100000	≤3500000	≤400	≤10

国外有人据6000例股关节置换手术的术后感染统计，认为菌浓从200个/m³降到20个/m³时感染率可降低一半，而再往下下降，例如达到5个/m³时，感染率下降不明显，这可从图7-9看出。显然这些都是指手术中的标准，而上述洁净手术部的菌浓标准是静态的，因此也就不显得高了。

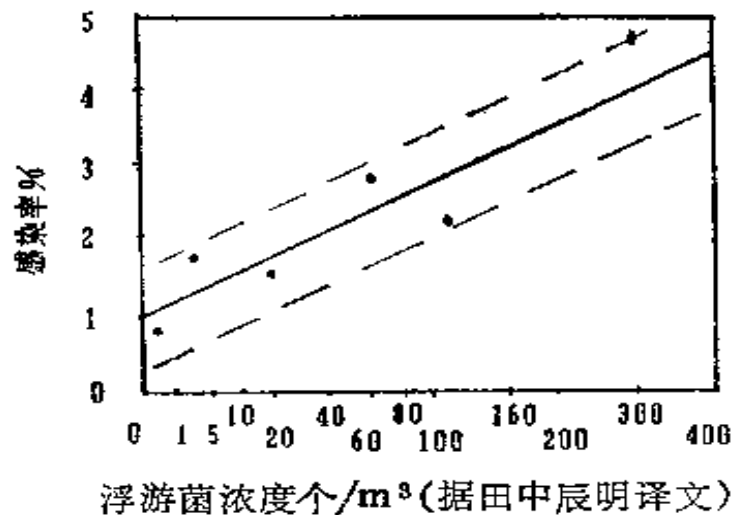


图7-9 股关节置换的感染率

7.7.2 计算方法

菌浓计算也可采用式(4-2)~(4-5)的方法。如果考虑以人的发菌为主要菌源,则先换算出单位容积发菌量,如以 G'_m 和 G'_n 分别表示静态和动态的单位容积发菌量,则

$$G'_m(\text{或}G'_n) = \frac{\text{每人每min发菌量} \times \text{人数}}{\text{房间体积}} \quad (7-22)$$

同样,送风含尘浓度改成送风含菌浓度 N'_s ,按表7-18选用。

送风含菌浓度 N'_s

表7-18

高效净化系统	新风比(单向流)	0.02	0.04			
	新风比(乱流)			0.2	0.5	1.0
	N'_s (个/ m^3)	0	0	0	0	0
亚高效净化系统	N'_s (个/ m^3)	0.05	0.1	0.5	1.25	2.5

若由菌浓计算换气次数,则需和尘浓计算的换气次数,自净换气次数三者比较,取其大者。

〔例1〕某IV级手术室,室内面积 $37.8m^2$,净高3m,手术人员最多时14人(一般为6~11人)。换气次数20次/h,新风比0.38,采用三级过滤的高效净化系统,计算室内可达到的菌浓。

〔解〕由第二章知:

大气菌浓 $M' = 2500$ 个/ m^3

静态发菌量300个/人·min

动态发菌量1000个/人·min

所以静态单位容积发菌量:

$$G'_m = \frac{14 \times 300}{113.4} = 37.0 \text{ 个}/m^3 \cdot \text{min}$$

动态单位容积发菌量:

$$G'_n = \frac{14 \times 1000}{113.4} = 123.5 \text{ 个}/\text{m}^3 \cdot \text{min}$$

由表7-18知 $N'_s = 0$ ，由表7-1知 $n = 20$ 的 $\phi = 1.22$

所以室内静态菌浓：

$$\begin{aligned} N'_m &= N'_s + \phi \frac{60G'_m}{n} = 0 + 1.22 \times \frac{60 \times 37}{20} \\ &= 135.4 \text{ 个}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

动态菌浓：

$$\begin{aligned} N'_n &= N'_s + \phi \frac{60G'_n}{n} = 0 + 1.22 \times \frac{60 \times 123.5}{20} \\ &= 452 \text{ 个}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

IV级手术室为10万级洁净室，20次换气为其自净换气次数，此时静态菌浓完全满足表7-17的400个/ m^3 的要求，而动态菌浓与400个/ m^3 的标准所差也不多，所以20次是能够兼顾动态需要的，如果手术人员降至11人，则动态要求也将可以满足。

第八章 空调负荷计算

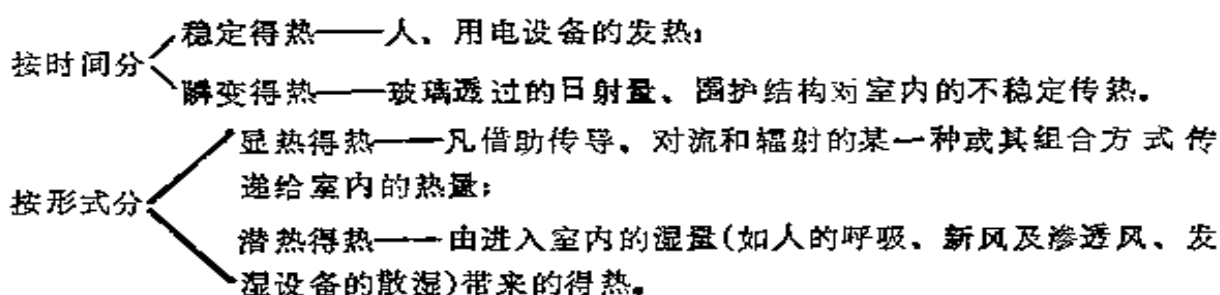
对于净化空调系统来说，因为洁净室是主体，所以只有在进行了洁净室计算之后，才有可能进行空调计算，而空调计算的基础则是空调负荷计算。

通常所说的空调负荷乃指狭义的夏季冷负荷。本章即讨论这一负荷的计算。

8.1 基本概念

8.1.1 得热量

得热量指某瞬时进入室内的热量：



得热量并不等于冷负荷。

8.1.2 冷负荷

冷负荷指为了维持恒定的室温而在任一瞬时应从室内除去的热量。也称空调负载。

先贮存后逐时放出的显热 \neq 冷负荷；

能全部以对流方式传给室内空气的瞬时显热得热 $=$ 瞬时冷负荷；

瞬时潜热 $=$ 瞬时冷负荷。

冷负荷并不等于系统的除热量，还应包括预冷负荷。

8.1.3 除热

除热指当空调系统间歇运行时，由于室温偏离设定值而在室内空气与围护结构之间产生的热交换和上述室内冷负荷两者之和。

除热量也并不等于系统的需热量(也就是需冷量)，还应包括设备负荷。

8.1.4 需热

需热指供给空调，制冷设备的冷(热)量：

连续运行系统需热=空调负荷+设备负荷；

间歇运行系统需热=除热量+设备负荷；

需热量的组成见图8-1。

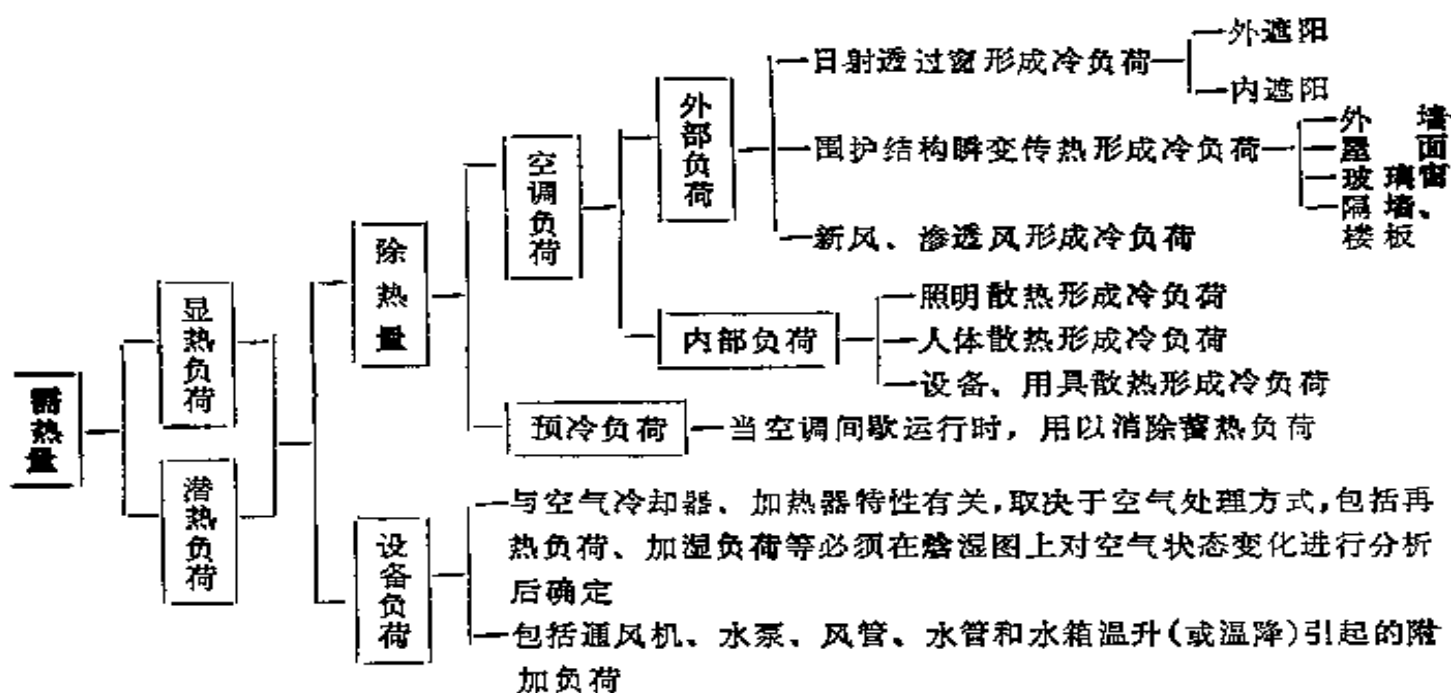


图8-1 需热量的组成(据单寄平)

四种热量概念的含义和相互关系见图8-2。

8.2 确定参数

8.2.1 室外计算参数

空调室外计算参数，是空调负荷计算的最重要条件之一，它比计算洁净室时的室外参数更具体、更确定、更重要。在表8-1

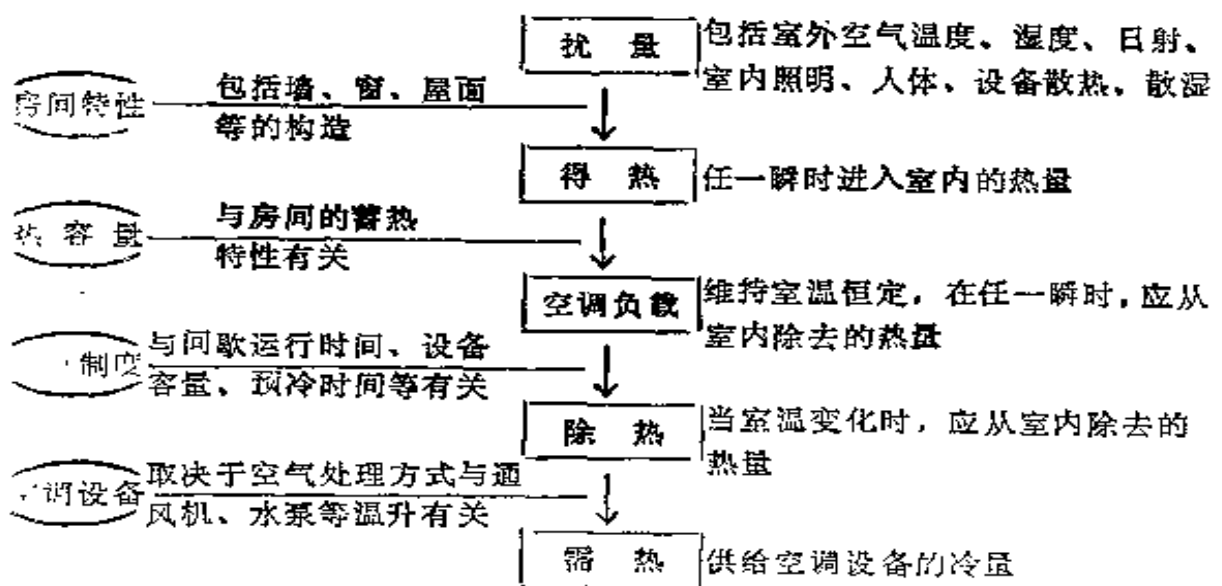


图8-2 四种热量概念的关系(据单寄平)

中根据《采暖通风，空气调节设计规范》(简称空调设计规范)列出了主要计算参数的名称、类别、含义和数值，由于篇幅所限，只列举了部分城市，其他地点可用与其相近的地点的参数，也可按规范给出的公式进行计算。

按表中参数进行计算并不能保证全年每一天都可满足设计要求，那既是不经济的，也是不太可能做到的，因此出现了不保证的概念。

所谓“不保证”天数或小时数，根据最新的空调设计规范说明，将原来指对室内温湿度状况是否保证改为仅针对室外空气温度而言，由于围护结构等综合影响，室内不保证时间一定不会超过室外不保证时间。

所谓“历年平均每年不保证”，系指累年不保证总天数或总小时数的历年平均值。

8.2.2 室内计算参数

对于生产性建筑，室内温湿度基数及其允许波动范围，应根据工艺需要并考虑必要的卫生条件确定。

现代洁净室发展的一个趋势是对温湿度要求越来越高。

随着大规模和超大规模集成电路的出现，对温度有了高要求，

我国部分城市主要室外空调计算参数

表8-1

名称	室外计算干球温度(°C)			室外计算相对湿度(%)和湿球温度(°C)		室外风速(m/s)		大气压力(hPa或mbar)		
	冬季空调 t_w	夏季空调 t_a	夏季空调日平均 t_{wp}	冬季空调用相对湿度	夏季空调用湿球温度 t_{wb}	冬季	夏季	冬季	夏季	
含义	历年平均每年不保证1天的日平均值	历年平均每年不保证50h的日平均值	历年平均每年不保证5天的日平均值	累年逐月平均的最冷月的平均值	历年平均不保证50h的值	累年逐月平均气温最冷三个月的平均风速的平均值	累年逐月平均气温最热三个月的平均风速的平均值	累年逐月平均气温最冷三个月的平均气压的平均值	累年逐月平均气温最热三个月的平均气压的平均值	
1	北京	-12	33.2	28.6	45	26.11	2.8	1.9	1020.4	998.3
2	上海	-4	34.0	30.4	75	28.2	3.1	3.2	1025.1	1017.3
3	天津	-11	33.4	29.2	53	26.9	3.1	2.6	1026.6	1004.9
4	石家庄	-11	35.1	26.6	52	26.6	1.8	1.5	1016.9	995.6
5	太原	-13	32.5	27.1	51	23.5	2.6	2.1	992.9	999.2
6	呼和浩特	-22	29.9	25.0	59	20.8	1.6	1.5	900.9	839.4
7	沈阳	-23	31.4	27.2	64	25.4	3.1	2.9	1020.8	999.7
8	长春	-26	30.5	26.9	68	24.2	4.2	3.5	994.0	977.9
9	哈尔滨	-29	30.3	26.0	74	23.4	3.8	3.5	1001.5	985.1
10	南京	-6	35.0	31.4	73	28.3	2.6	2.6	1025.2	1004.0
11	杭州	-4	35.7	31.5	77	28.5	2.3	2.2	1020.9	1000.5
12	合肥	-7	35.0	31.7	75	28.2	2.5	2.6	1022.3	1000.9
13	福州	-4	35.2	30.4	74	28.0	2.7	2.9	1012.6	996.4
14	南昌	-3	35.6	32.1	74	27.9	3.8	2.7	1018.5	999.1
15	济南	-10	34.8	31.3	54	26.7	3.2	2.8	1020.2	998.5

续表8-1

名 称	室外计算干球 温度(°C)			室外计算相对 湿度(%)和湿 球温度(°C)		室外风速 (m/s)		大气压力 (hPa或mbar)		
	冬季空 调 t_w	夏季空 调 t_s	夏季空 调日平 均 t_{wp}	冬季空 调用相 对湿度	夏季空 调用湿 球温度 t_{sA}	冬季	夏季	冬 季	夏 季	
含 义	历年平 均每年 不保证 1天的 日平均 值	历年平 均每年 不保证 50h的 值	历年平 均每年 不保证 5天的 日平均 值	累年逐 月平均 的最冷 月的平 均值	历年平 均不保 证50h 的值	累年逐 月平均 气温最 冷三个 月的平 均风速 的平均 值	累年逐 月平均 气温最 热三个 月的平 均风速 的平均 值	累年逐 月平均 气温最 冷三个 月的平 均气压 的平均 值	累年逐 月平均 气温最 热三个 月的平 均气压 的平均 值	
16	郑州	-7	35.6	30.8	60	27.4	3.4	2.6	1012.8	991.7
17	武汉	-5	35.2	31.9	76	28.2	2.7	2.6	1023.3	1001.7
18	广州	5	33.5	30.1	70	27.7	2.4	1.8	1019.5	1004.5
19	南宁	5	34.2	30.3	75	27.5	1.8	1.6	1011.4	996.0
20	成都	1	31.6	28.0	80	26.7	0.9	1.1	963.2	947.7
21	贵阳	-3	30.0	26.3	78	23.0	2.2	2.0	897.5	887.9
22	昆明	1	25.8	22.2	68	19.9	2.5	1.8	811.5	808.0
23	拉萨	-8	22.8	18.1	28	13.5	2.2	1.8	650.0	652.3
24	西安	-8	35.2	30.7	67	26.0	1.8	2.2	978.7	959.2
25	兰州	-13	30.5	25.8	58	20.2	0.5	1.3	851.4	843.1
26	西宁	-15	25.9	20.7	48	16.4	1.7	1.9	775.1	773.5
27	银川	-18	30.6	25.9	58	22.0	1.7	1.7	895.7	883.5
28	乌鲁木齐	-27	34.1	29.0	80	18.5	1.7	3.1	919.9	906.7
29	台北	9	33.6	30	82	27.3	3.7	2.8	1019.7	1005.3
30	海口	10	34.5	29.9	85	27.9	3.4	2.8	1016.0	1002.4
31	香港	8	32.4	30.0	71	27.3	6.5	6.3	1019.5	1005.6

因为，例如硅的线膨胀系数为 2.4×10^{-6} ，锗为 6×10^{-6} ，耐高温玻璃为 3×10^{-6} ，金为 14×10^{-6} ，其他若干常用的固体材料均在 $10 \sim 20 \times 10^{-6}$ 之间，则做超大规模集成电路的10cm直径的硅片，温度变化1度，即伸缩 $0.24 \mu\text{m}$ ，其基底玻璃伸缩 $0.3 \mu\text{m}$ ，金的引线要变化 $1.4 \mu\text{m}$ ，这种伸缩的绝对量以及一个元件上不同材料不同伸缩量的相对值，和洁净室要控制的尘粒尺寸为 $0.5 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 这个大小相比，都是不能忽视的。

又如制药行业要求的相对湿度有的达到30%，有的要求变化幅度达到2%。研究表明，相对湿度50%时，细菌浮游10min后即死亡， ϕ 更高或更低时，即使经过2h，大部分细菌还活着。在常温下， $\phi 60\%$ 以上可发霉， $\phi 80\%$ 以上则温度高低不拘都要发霉，见图8-3和图8-4。

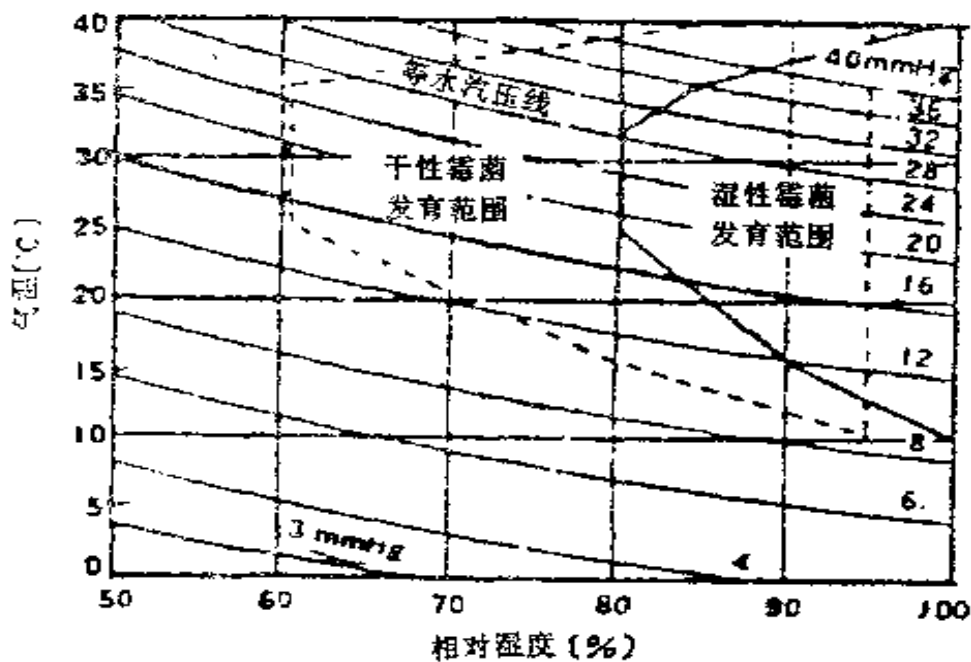


图8-3 霉的发育与温湿度关系
(据望月正雄)

在工艺提不出确切要求的情况下，可以参考表8-2~表8-3。表8-2是部分工业部门室内温湿度参数。

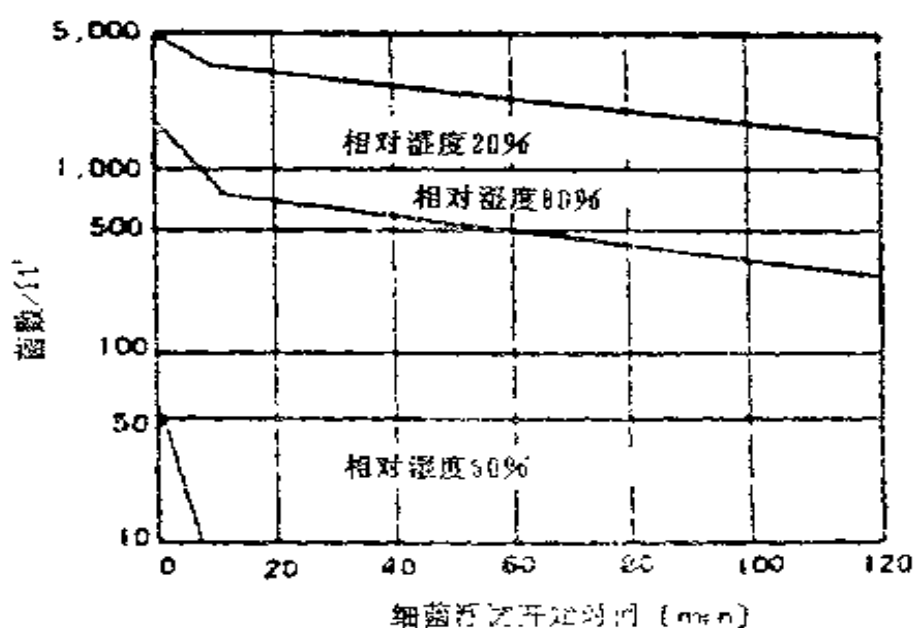


图8-4 相对湿度和细菌生存率的关系
(据望月正雄)

部分工业部门室内温湿度参数(据肖书昭、魏景坤)

表8-2

工业部门	工作类别或工作间名称	空气温度基数及其允许波动范围(°C)		空气相对湿度范围(%)	备注
		夏季	冬季		
机械工业	精密轴承精加工	16~27		40~50	
	高精度外圆及平面磨床	16~24		40~65	
	高精度刻线机	20±0.1~2.2		50~65	
光学仪器工业	抛光间、细磨间、镀膜或镀膜间、胶合间、照明复制间、光学系统装配及调整间	22~24±2		<35	室内空气有较高的净化要求
	精密刻划间	20±0.1~0.5		<35	
电子工业	精缩间、翻版间、光刻间	22±1		50~60	室内空气有很高的净化要求
	扩散间、蒸发、钝化、外延	23±5		60~70	

续表

工业部门	工作类别或 工作间名称	空气温度基数及其 允许波动范围(°C)		空气相对湿度 范围(%)	备注
		夏季	冬季		
电子计算机房	电子计算机房	20~23±1~2	20~22	50±10	磁盘、磁鼓室对净化有较高的要求
		26±1~2	±1~2		
	卡片、磁带、纸带贮存	18~24		40~60	
	穿孔机室	23~25	21~24	40~60	
	磁鼓、磁带室	10~32		40~60	
医药工业	抗霉素无菌分装车间青霉素、链霉素分装, 菌落试验, 无菌鉴定, 无菌更衣室等房间	≥22(盖瓶率的工艺操作), ≥25(灌装安瓿等发热的操作)		20	≥55
	针剂及大输液车间调配、灌装等属于半无菌操作的房间	25	18	≥65	

表8-3是几个国家手术室的参数要求。

几个国家手术室的参数

表8-3

国名	美	英	瑞士	德国
标准名	采暖通风和空调工程师协会(ASHRAE)	医药研究审议会(DHSS)	保健医院协会(SKD)	联邦标准(DIN 1946/4)
出版年	1971	1983	1975	1978
空气温度(°C)	20~24.5	18~21	19~24	21~24
相对湿度(%)	50	40~60	45~60	45~65
最大风速(m/s)	—	0.25	0.45 0.25	0.18~0.22
最小外气量 次/h	5	2~10m ³ /h	15	20
可否再循环	可	否	可、否	否
浮游菌(个/m ³)	—	—	10 200 500	无菌要求特高 无菌要求高 无菌要求一般
噪声(dB)(A)	—	50	50 45	40

表8-4是医院空调设计的室内温湿度要求。

医院空调设计的室内温湿度(据梅自力)

表8-4

房间名称	夏 季		冬 季	
	干球温度 (°C)	相对湿度 (%)	干球温度 (°C)	相对湿度 (%)
病 房	26~27	45~50	22~23	40~45
诊 室	26~27	45~50	21~22	40~45
候 诊 室	26~27	45~50	20~21	40~45
急救手术室	23~26	55~60	24~26	55~60
手 术 室	23~26	55~60	24~26	55~60
ICU	23~26	55~60	24~26	50~55
恢 复 室	24~26	55~60	23~24	50~55
分 娩 室	24~26	55~60	23~24	50~55
婴 儿 室	26~27	55~60	25~27	55~60
中心供应	26~27		21~22	
各种试验室	26~27	45~50	21~22	45~50
红外线分光器室	25	35	25	35
X线、放射线室	26~27	45~50	23~24	40~45
动 物 室	25~27	45~50	25~27	30~40
药 房	26~27	45~50	21~22	40~45
药品贮存	16	60以下	16	60以下
管 理 室	26~27	45~50	21~22	40~45

表8-5是制药行业对温湿度的一般要求(据1992年药品生产管理规范实施指南)。

药品GMP实施指南对温湿度要求

表8-5

洁 净 度	温 度 °C	相对湿度 %
100级、1万级	20~24	45~65
10万级、低于10万级	18~28	50~65

表8-6是几种实验动物对温湿度要求的大致范围(美国1964年资料)。

几种实验动物对温湿度要求(转引梅自力)

表8-6

动物	温度(°C)	相对湿度(%)	动物	温度(°C)	相对湿度(%)
大鼠	18.3~22.8	45~55	地鼠	20~23.9	45~55
小鼠	20~23.9	50~60	猫	21~23.9	40~45
豚鼠	18.3~23.9	45~55	猴子	16.7~29.4	40~75
兔子	18.3~23.9	40~45			

8.2.3 有关资料

应了解下列资料:

- (1)工作班次、时间和人数;
- (2)散热设备(机器和照明)的安装功率和

$$\text{安装系数(利用系数)} = \frac{\text{最大实耗功率}}{\text{安装功率}}$$

$$\text{负荷系数} = \frac{\text{平均实耗功率}}{\text{设计最大实耗功率}}$$

$$\text{同时使用系数} = \frac{\text{同时使用的安装功率}}{\text{总安装功率}}$$

- (3)气体燃烧点的数量、每班最大及平均耗气量,气体的热值;
- (4)散湿设备的液面尺寸,液体温度等;
- (5)局部排风设备散发有害物的性质,散发量、散发情况等;
- (6)相邻的非洁净建筑的工艺特性、温湿度的要求,有害物的散发及排放情况、噪声源情况等;
- (7)改建建筑围护结构的构造、传热系数等;
- (8)热源及其参数、供应量及工作制度;
- (9)冷冻设备的制冷能力:冷冻水供水温度、供回水情况、冷却用水水量水温等。

以及其他应该了解的资料。

8.3 冷负荷估算指标

很多情况下需要首先知道设备容量可能有多大并对造价进行

框算，或者，不具备冷负荷计算条件，这时，就需要对冷负荷进行估算。估算时可参考一些统计指标，这些指标见表8-7。

洁净室负荷统计

表8-7

行 业	冷 负 荷 (kcal/m ² ·h)	热 负 荷 (kcal/m ² ·h)	电 负 荷 (kW/m ²)
半导体元器件	48~2385	30~1400	0.06~1.3
半导体材料	90~1033	144~1360	0.13~0.69
电 真 空	182~500	245~504	0.04~0.29
精密仪器	267~1148	213~757	0.11~0.31
胶 片	~41	~172	~0.02
计 算 机	~200	~70	—
医 疗	140~345	100~517	0.15~0.26
制 药	274~1100	236~1530	0.003~0.089
电算中心*	200~250	—	—
医院(全部)*	50~110	—	—

注：除*据井上宇市外，其余均据张利群(1990)。

由上表数字选用设备，可以不再乘安全系数。如果冷热负荷改用W计，则应将表中数字乘以1.163。

8.4 计算方法

空调负荷计算方法很多，这里只介绍便于工程上手算的冷负荷系数法的基本原则，该方法载于专著(7)。很多实测和计算表明，夏季13时至17时的冷负荷常出现最大值，因此，在简化计算时，可只计算这一段时间而取其最大者，一般和逐时全部计算不会有太大出入。当然，对于大型的、重要的对象还是应逐时全部计算的，而对于简略计算则可以只按逐时中的最大值计算。

由于洁净室的密封性能好，不论是正压或负压洁净室，都不考虑冷风渗透引起的负荷计算。

8.4.1 外墙、屋顶瞬变传热引起的冷负荷

在日射和室外气温综合作用下，外墙和屋顶瞬变传热引起的

冷负荷可按下列式计算：

$$CL = FK(t_{i,n} - t_s) \quad (8-1)$$

式中 CL ——瞬变传热引起的逐时冷负荷(W)；

F ——外墙和屋面面积(m^2)；

K ——外墙和屋面传热系数($W/m^2 \cdot ^\circ C$)；

t_s ——室内设计温度($^\circ C$)；

$t_{i,n}$ ——外墙和屋面的冷负荷计算温度的逐时值。

按空调设计规范规定，围护结构最大传热系数应不超过表8-8数值。外墙及其朝向和所在层次应符合表8-9的要求。

围护结构最大传热系数($W/m^2 \cdot ^\circ C$) [$kcal/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$] 表8-8

围护结构名称	工 艺 性 空 调			舒适性空调
	室 温 允 许 波 动 范 围 ($^\circ C$)			
	$\pm 0.1 \sim 0.2$	± 0.5	$\geq \pm 1.0$	
屋 盖	—	—	0.8(0.7)	1.0(0.9)
顶 棚	0.5(0.4)	0.8(0.7)	0.9(0.8)	1.2(1.0)
外 墙	—	0.8(0.7)	1.0(0.9)	1.5(1.3)
内墙和楼板	0.7(0.6)	0.9(0.8)	1.2(1.0)	2.0(1.7)

外墙及其朝向和所在层次

表8-9

室温允许波动范围 ($^\circ C$)	外 墙	外墙朝向	层 次
$\geq \pm 1.0$	应尽量减少外墙	北纬 23.5° 以北： 应尽量北向 北纬 23.5° 以南： 应尽量南向	应尽量避免顶层
± 0.5	不宜有外墙，并宜布置在室温允许波动范围较大的房间中，单层时宜有通风屋顶。	如有外墙时， 要求同上	宜底层
$\pm 0.1 \sim 0.2$	不应有外墙	—	宜底层

详细数据可查专著(7),先查出欲计算的外墙或屋面属于(I—VI)的六种类型中的哪一类、哪一种(外墙303种,屋面324种),再据其朝向、地点查出 t_{1n} 或 t_{1nmax} 。

8.4.2 内墙、楼板传热引起的冷负荷

《空气调节设计规范》规定,当空调房间与邻室的夏季温度差大于 3°C 时,通过内墙、楼板传热引起的冷负荷可按下式计算:

$$CL=KF(t_{1s}-t_n) \quad (8-2)$$

式中 CL ——内围护结构传热引起的冷负荷(W);

t_{1s} ——邻室计算平均温度($^{\circ}\text{C}$),其值按下式计算:

$$t_{1s}=t_{wp}+\Delta t_{1s} \quad (8-3)$$

式中 t_{wp} ——夏季空调室外计算日平均温度($^{\circ}\text{C}$),查表8-1;

Δt_{1s} ——邻室计算平均温度与夏季空调室外计算日平均温度的差值($^{\circ}\text{C}$):宜按表8-10选用。

温度的差值 Δt_{1s}

表8-10

邻室散热量	$\Delta t_{1s}, ^{\circ}\text{C}$
很少(如办公室和走廊等)	0~2
<23W/m ³	3
23~116W/m ³	5

8.4.3 地面传热引起的冷负荷

对舒适性空调,按空调设计规范规定,夏季可不计算通过地面传热引起的冷负荷。

对一般工艺性空调,有外墙时,宜计算距外墙2m范围以内的地面传热引起的冷负荷。或者作以下概算:

有一面外墙时,小房间(深<5m)的地面传热量,按 $12.55\text{kJ}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ($3\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)计算;大房间(深5~15m),按 $8.37\text{kJ}/\text{m}^2\cdot\text{h}$

(2kcal/m²·h)计算。

有两面外墙时,小房间按 20.93kJ/m²·h(5kcal/m²·h)计算,大房间按12.55kJ/m²·h(3kcal/m²·h)计算。

对高精度恒温空调,参考专著,根据地面情况进行详细的热工计算。

8.4.4 外玻璃窗瞬变传热引起的冷负荷

在室外温差作用下,玻璃窗瞬变传热引起的冷负荷按下式计算:

$$CL = FK(t_{im} - t_n) \quad (8-4)$$

式中 CL ——玻璃窗瞬变传热引起的逐时冷负荷(W);

F ——窗口面积(m²);

K ——玻璃窗的传热系数(W/m²·°C),随窗的种类和内外表面的放热系数不同而不同,但一般计算可按表8-11、表8-12选用;

不同层数玻璃窗的k值

表8-11

层数	空气层 (mm)	K (W/m ² ·°C)
单层透明	—	5.9
双层透明中空	6	3.4
	9	3.1
双层有色	6	2.5
	9	1.8
双层反射中空	12	1.6

玻璃窗传热系数修正值

表8-12

窗框类型	单层窗	双层窗
全部玻璃	1.00	1.00
木窗框, 80%玻璃	0.90	0.95
木窗框, 60%玻璃	0.80	0.85
金属窗框, 80%玻璃	1.00	1.20

$t_{i,m}$ ——玻璃窗冷负荷计算温度的逐时值($^{\circ}\text{C}$),见表8-13;
不同设计地点还应在 t_i 上加上地点修正值 t_d , 见表8-14.

玻璃窗的冷负荷计算温度 $t_{i,m}$ ($^{\circ}\text{C}$)

表8-13

时刻	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
$t_{i,m}$	26.7	25.8	25.3	26.0	27.9	29.9	31.5	32.2	32.0	30.8	29.1	27.8

玻璃窗地点修正值 t_d ($^{\circ}\text{C}$)

表8-14

城市	t_d	城市	t_d	城市	t_d	城市	t_d
北京	0	南京	3	广州	1	银川	-2
天津	0	杭州	3	南宁	1	乌鲁木齐	1
石家庄	1	合肥	3	成都	-1	台北	1
太原	-2	福州	2	贵阳	-3	汕头	1
呼和浩特	-4	南昌	3	昆明	-6	海口	1
沈阳	-1	济南	3	拉萨	-11	桂林	1
长春	-3	郑州	2	西安	2	重庆	3
哈尔滨	-3	武汉	3	兰州	-3		
上海	1	长沙	3	西宁	-8		

8.4.5 玻璃窗日射得热引起的冷负荷

不考虑外遮阳时, 透过玻璃窗进入室内的日射得热形成的逐时冷负荷按下式计算:

$$CL = FC_s D_{J, \max} C_{GL} \quad (8-5)$$

式中 CL ——透过玻璃窗进入室内的日射得热形成的逐时冷负荷(W);

F ——玻璃窗的净面积(m^2), 有效面积系数对于钢窗, 单层是0.85, 双层是0.75, 对于木窗, 单层是0.70, 双层是0.60;

C_s ——遮挡系数, 因为洁净室的玻璃窗不允许有窗帘之

类内遮阳，所以不采用综合遮挡系数，见表8-15；
 $D_{J,max}$ ——用3mm厚普通平板玻璃得出的“标准玻璃”日射得热因数最大值(W/m^2)，见表8-16。

玻璃窗的遮挡系数 C_o 值

表8-15

玻璃类型	层数	厚度(mm)	C_o
透明普通玻璃	双	3+3	0.86
	双	5+5	0.78
茶色浮法玻璃	双	4+4	0.66
+透明浮法玻璃	双	6+6	0.55
透明反射玻璃	双	4+4	0.58
+透明浮法玻璃	双	5+5	0.57

C_{OL} ——无内遮阳的冷负荷系数，以北纬 $27^{\circ}30'$ 划线，以北的为北区，以南的为南区，见表8-17。

夏季各纬度的 $D_{J,max}$ (W/m^2)

表8-16

纬度带	朝向									
	S	SE	E	NE	N	NW	W	SW	水平	
20°	130	312	541	465	130	465	541	312	876	
25°	145	331	509	421	134	421	509	331	834	
30°	173	374	538	415	115	415	538	374	833	
35°	251	436	575	429	122	429	575	436	844	
40°	302	477	599	442	114	442	599	477	842	
45°	368	508	598	433	109	433	598	508	812	
拉萨	174	462	727	592	133	592	727	462	991	

注：每一纬度带包括的宽度为 $\pm 2^{\circ}30'$ 纬度。

8.4.6 室内热源散热引起的冷负荷

根据冷负荷系数法，计算室内热源散热形成的冷负荷都要采用一个冷负荷系数，该系数和散热体连续散热时数、空调运行时数以及散热体已开启第几小时有关，在实际计算时不太容易细致区分。为便于计算而又保证一定精度，这里根据该算法给出的

无内遮阳窗玻璃冷负荷系数 C_{GL} 值

北 区

时刻 朝向	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
S	0.16	0.15	0.14	0.12	0.11	0.13	0.17	0.21	0.28	0.39	0.59	0.54	0.55	0.60	0.42	0.35	0.32	0.27	0.23	0.21	0.20	0.18	0.17		
SE	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.22	0.34	0.45	0.51	0.62	0.58	0.41	0.34	0.32	0.31	0.28	0.26	0.22	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	
E	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.29	0.41	0.49	0.60	0.56	0.37	0.29	0.28	0.28	0.24	0.22	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13		
NE	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.35	0.45	0.53	0.54	0.38	0.30	0.30	0.29	0.27	0.26	0.23	0.20	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13		
N	0.26	0.24	0.23	0.21	0.19	0.18	0.44	0.42	0.43	0.40	0.56	0.61	0.64	0.66	0.66	0.63	0.59	0.64	0.64	0.38	0.35	0.32	0.30	0.28	
NW	0.17	0.15	0.14	0.12	0.12	0.12	0.13	0.15	0.17	0.18	0.20	0.21	0.22	0.22	0.28	0.39	0.50	0.56	0.59	0.31	0.22	0.21	0.19	0.18	
W	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17	0.18	0.25	0.37	0.47	0.52	0.62	0.55	0.24	0.23	0.21	0.20	0.18	
SW	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.13	0.15	0.17	0.18	0.20	0.21	0.20	0.40	0.49	0.54	0.64	0.59	0.39	0.25	0.24	0.22	0.20	0.19	
水平	0.20	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.16	0.22	0.31	0.39	0.47	0.53	0.57	0.69	0.68	0.55	0.49	0.41	0.33	0.28	0.26	0.25	0.23	0.21	

南 区

时刻 朝向	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
S	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.14	0.17	0.23	0.33	0.42	0.48	0.54	0.59	0.70	0.70	0.57	0.52	0.44	0.35	0.30	0.28	0.26	0.24	0.22	
SE	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.20	0.33	0.47	0.52	0.61	0.54	0.39	0.37	0.36	0.35	0.32	0.28	0.23	0.20	0.19	0.18	0.16	0.15	
E	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.24	0.39	0.48	0.61	0.57	0.38	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.23	0.21	0.18	0.17	0.15	0.14	0.13	
NE	0.12	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.26	0.41	0.49	0.59	0.54	0.36	0.32	0.32	0.31	0.29	0.27	0.24	0.20	0.18	0.17	0.16	0.14	0.13	
N	0.28	0.25	0.24	0.22	0.21	0.19	0.38	0.49	0.52	0.55	0.59	0.67	0.66	0.68	0.68	0.69	0.69	0.60	0.40	0.37	0.35	0.32	0.30	0.30	
NW	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.15	0.17	0.18	0.20	0.21	0.22	0.27	0.38	0.48	0.54	0.63	0.52	0.25	0.23	0.21	0.20	0.18	
W	0.17	0.15	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.14	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.28	0.40	0.50	0.54	0.61	0.50	0.24	0.23	0.21	0.20	0.18	
SW	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.13	0.16	0.19	0.23	0.25	0.27	0.29	0.37	0.48	0.55	0.67	0.60	0.38	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19	
水平	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.14	0.19	0.28	0.37	0.45	0.52	0.56	0.68	0.67	0.53	0.46	0.38	0.30	0.27	0.25	0.23	0.22	0.20	

详细数据，按工作班次(或连续运行小时)平均分为三挡给出了该挡中平均的冷负荷系数，如表8-18所列。

散热体平均冷负荷系数 C_{OL}

表8-18

类别	明装荧光灯	暗装荧光灯和明装白炽灯	有排气罩发热设备	无排气罩发热设备	人体
空调系统三班制和散热体连续散热18~24h	0.67	0.58	0.74	0.85	0.82
空调系统两班制和散热体连续散热12~16h	0.78	0.73	0.66	0.80	0.76
空调系统一班制和散热体连续散热8~10h	0.80	0.82	0.52	0.73	0.68

根据空调设计规范，当室内热源散热形成的冷负荷占室内冷负荷的比率较小时，可不考虑房间蓄热特性的影响。也就是说，如果用冷负荷系数法，冷负荷系数都是1。在室内热源较小和估算时这样做是可行的。

1. 设备散热形成的冷负荷

$$CL = C_{OL} \cdot Q \quad (8-6)$$

式中 CL —— 设备散热形成的冷负荷(W);

C_{OL} —— 设备散热冷负荷系数，查表8-18;

Q —— 设备散热量(W);

① 用电设备:

当设备及其电动机都在室内时，

$$Q = 1000n_1n_2n_3N/\eta \quad (8-7)$$

当只有设备在室内时，

$$Q = 1000n_1n_2n_3N \quad (8-8)$$

当只有电动机在室内时，

$$Q = 1000n_1n_2n_3 \frac{1-\eta}{\eta} N \quad (8-9)$$

式中 N —— 设备的安装功率(kW);

η ——电动机效率，对JQ₂电动机从76%~88%（相应于0.25kW~22kW）

n_1 ——安装系数（利用系数）；

n_2 ——负荷系数，精密机床，0.15~0.40，普通机床0.50，国产电子计算机0.70；

n_3 ——同时使用系数，一般取0.5~0.8，国产计算机主机取1.0，外部设备取0.50。

国外电子计算机产品一般都给出设备发热量，所以就给出给出的数字计算。

②电热设备：

无保温密闭罩时，

$$Q=1000n_1n_2n_3n_4N \quad (\text{W}) \quad (8-10)$$

式中 n_4 ——考虑排风带走的热量的系数，一般取0.5。

2. 照明散热形成的冷负荷

$$CL=C_{OL} \cdot Q \quad (8-11)$$

式中 CL ——照明散热形成的冷负荷(W)；

C_{OL} ——照明散热的冷负荷系数，查表8-18；

Q ——照明设备散热量(W)；

$$\text{白炽灯 } Q=1000N \quad (\text{W}) \quad (8-12)$$

$$\text{荧光灯 } Q=1000 \times n_1n_2N \quad (\text{W}) \quad (8-13)$$

式中 N ——照明灯具所需功率(kW)；

n_1 ——镇流器消耗功率系数，当明装灯具而镇流器在室内时，取1.2；当暗装灯具而镇流器在顶棚内时，取1.0；

n_2 ——灯罩隔热系数，当罩上部穿孔时取0.5~0.6，无孔时取0.6~0.8。

3. 人体散热形成的冷负荷

$$CL=C_{OL}nq_e \quad (8-14)$$

式中 CL ——人体散热形成的冷负荷(W)；

C_{OL} ——人体散热的冷负荷系数，查表8-18；

q_s ——不同室温和劳动性质时成年男子显热散热量和潜热散热量之和（因为潜热可以通过对流方式传给室内空气，成为其瞬时潜热得热，所以，也是瞬时冷负荷）；见表8-19。

n ——室内人数。

人体散热量、散湿量

表8-19

劳动	热湿量	温 度 (°C)														
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
静 坐	显 热	99	93	90	87	84	81	78	74	71	67	63	58	53	48	43
	潜 热	17	20	22	23	26	27	30	34	37	41	45	50	55	60	65
	全 热	116	113	112	110	110	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
	散湿量	26	30	33	35	38	40	45	50	56	61	68	75	82	90	97
极轻劳动	显 热	108	105	100	97	90	85	79	75	70	65	61	57	51	45	41
	潜 热	34	36	40	43	47	51	56	59	64	69	73	77	83	89	93
	全 热	142	141	140	140	137	136	135	134	134	134	134	134	134	134	134
	散湿量	50	54	59	64	69	76	83	89	96	102	109	115	123	132	139
轻度劳动	显 热	117	112	106	99	93	87	81	76	70	64	58	51	47	40	35
	潜 热	71	74	79	84	90	94	100	106	112	117	123	130	135	142	147
	全 热	188	186	185	183	183	181	181	182	182	181	181	181	182	182	182
	散湿量	105	110	118	126	134	140	150	158	167	175	184	194	203	212	220
中等劳动	显 热	150	142	134	126	117	112	104	97	88	83	74	67	61	52	45
	潜 热	86	94	102	110	118	123	131	138	147	152	161	168	174	183	190
	全 热	236	236	236	236	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235
	散湿量	128	141	153	165	175	184	196	207	219	227	240	250	260	273	287
重度劳动	显 热	192	186	180	174	169	163	157	151	145	140	134	128	122	116	110
	潜 热	215	221	227	233	238	244	250	256	262	267	273	279	285	291	297
	全 热	407	407	407	407	407	407	407	407	407	407	407	407	407	407	407
	散湿量	321	330	339	347	356	365	373	382	391	400	408	417	425	434	443

注：表中显热、潜热和全热的单位为W，散湿量的单位为g/h。

8.4.7 计算例

〔例〕 北京某土建式10万级洁净室，室内舒适空调设计温度

27°C, 4人工作, 白天一班制(8时~17时), 室内正压 $>5\text{Pa}$, 暗装灯具, 30W日光灯12支。

围护结构条件是:

①屋顶: 属序号8, 泡沫混凝土保温层50mm, 为Ⅰ型, $K=1.02\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, $F=40\text{m}^2$;

②南外墙: 红砖墙, 属Ⅰ型, $K=1.55\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$; $F=20\text{m}^2$;

③南外窗: 双层铝合金玻璃(3mm厚)窗, 中空10mm, $F=8\text{m}^2$;

④内墙: 相邻辅助室及走廊均与洁净室温度相同。

〔解〕

①由于是舒适空调, 不计算地面冷负荷;

②内墙无冷负荷问题;

③计算时间取7时~18时;

④屋顶冷负荷: 由专著(7)查出冷负荷计算温度逐时值, 并按式(8-1)计算, 结果列于表8-20中。

屋 顶 冷 负 荷 (W)

表8-20

时 间	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
t_{1n}	39.3	38.1	37.0	36.1	35.6	35.6	36.0	37.0	38.4	42.1	41.9	43.7
$t_{1n}-t_n$	12.3	11.1	10.0	9.9	8.6	8.6	9	10.0	11.4	13.1	14.9	16.7
F	40											
K	1.02											
CL	502	453	408	404	351	351	367	428	465	534	608	661

⑤南外墙冷负荷: 由专著(7)查出冷负荷计算温度逐时值, 并按式(8-1)计算, 结果列于表8-21中。

⑥南外窗瞬时传热冷负荷: 由表8-11、表8-12知 $K=3.1 \times 1.2=3.72\text{w}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ 。再由表8-13查出冷负荷计算温度逐时值, 由于地点在北京, 不用进行地点修正, 并按式(8-4)计算, 结果

南外墙冷负荷(W)

表8-21

时 间	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$t_{i,n}$	35.0	34.6	34.2	33.9	33.5	33.2	32.9	32.8	32.9	33.1	33.4	33.9
$t_{i,n}-t_n$	8.0	7.6	7.2	6.9	6.5	6.2	5.9	5.8	5.9	6.1	6.4	6.9
F	20											
K	1.55											
CL	248	235	224	214	202	192	183	180	183	189	198	214

列于表8-22中。

南外窗传热冷负荷(W)

表8-22

时 间	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$t_{i,n}$	26	26.9	27.9	29	29.9	30.8	31.5	31.9	32.2	32.2	32	31.6
$t_{i,n}-t_n$	-1	-0.1	0.9	2.0	2.9	3.8	4.5	4.9	5.2	5.2	5.0	4.6
F	8											
K	3.72											
CL	-24	-2.4	22	48	70	92	108	118	125	125	121	111

⑦南外窗日射得热的冷负荷: 双层金属窗有效面积系数0.75, 所以有效窗面积 $F=8 \times 0.75=6\text{m}^2$ 。

由表8-15查得, 遮挡系数 $C_s=0.86$ 。

由表8-16查得, 纬度 40° (北京为 $39^\circ 48'$) 时南(S)向日射得热因数最大值 $D_{J,max}=302\text{W}/\text{m}^2$ 。

由表8-17查得北区无内遮阳的冷负荷系数 C_{OL} 。

最后按式(8-5)计算, 结果列于表8-23中。

⑧照明的冷负荷(W): 因是暗装, 镇流器消耗功率系数取1.0; 灯罩是否穿孔未说明, 现取偏安全的无孔时隔热系数0.7, 冷负荷系数 $C_{OL}=0.82$, 按式(8-13)计算: $CL=0.82 \times 1000 \times 1 \times 0.7 \times 0.03 \times 12=207\text{W}$

⑨人体散热的冷负荷: 由表8-18查得, 一班制时冷负荷系数 $C_{OL}=0.68$;

南外窗日射得热的冷负荷(W)

表8-23

时 间	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
C_{01}	0.17	0.21	0.28	0.39	0.49	0.54	0.35	0.60	0.42	0.36	0.32	0.27
$D_{J \cdot \max}$	302											
C_0	0.85											
F	6											
CL	265	327	339	473	594	655	788	727	509	436	388	327

洁净室内操作一般为轻度劳动或极轻劳动，设取前者，则人体散热冷负荷查表8-19得

$$CL = 0.68 \times 4 \times 181 = 492 \text{ W}$$

⑩以上各项冷负荷汇总于表8-24中。

冷 负 荷 汇 总 (W)

表8-24

时 间	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
屋 顶	502	453	408	404	351	351	367	408	465	534	608	681
外 墙	248	235	224	214	202	192	183	180	183	189	198	214
外窗传热	-24	-2.4	22	48	70	92	108	118	125	125	121	111
外窗日射	265	327	339	473	594	655	788	727	509	436	388	327
照 明	0	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	0
人 体	0	492	492	492	492	492	492	492	492	492	492	0
总 计	0	1712	1692	1838	1916	1989	2152	2132	1981	1983	2014	0

从上表可见，最大冷负荷的确出现在13~17时中的13时，达2152W，即为该洁净室夏季空调设计冷负荷。如果取13~17时中数值最低的一小时，则最大偏差仅8%。所以简化计算时可只取13~17时中的某一小时来计算冷负荷温度。

在各项计算的冷负荷中，以窗的日射得热冷负荷最大，达788W，所以对于有空调要求的不能采用内遮阳的洁净室来说，

朝阳的方向应尽量采取外遮阳措施。

8.5 室内湿源散湿引起的冷负荷

8.5.1 人体散湿量

人体散湿量已由表8-19给出。

8.5.2 水表面散湿量

$$D = \beta(p_{q,b} - p_q)F \frac{B}{B'} \quad (\text{kg/s}) \quad (8-15)$$

式中 $p_{q,b}$ ——相应于水表面温度下饱和空气的水蒸汽分压力 (Pa);

p_q ——空气中水蒸汽分压力 (Pa);

F ——水的蒸发表面 (m^2);

β ——蒸发系数 ($\text{kg}/\text{N} \cdot \text{s}$), $\beta = (\alpha + 0.00363v)10^{-5}$;

B ——标准大气压力 (101325 Pa);

B' ——当地实际大气压力 (Pa);

α ——周围空气温度为 $15 \sim 30^\circ\text{C}$ 时, 不同水温下的扩散系数 ($\text{kg}/\text{N} \cdot \text{s}$), 其值见表8-25。

v ——水面上周围空气流速 (m/s)。

不同水温下的扩散系数 α

表8-25

水温 ($^\circ\text{C}$)	<30	40	50	60	70	80	90	100
$\alpha(\text{kg}/\text{N} \cdot \text{s})$	0.0046	0.0058	0.0069	0.0077	0.0088	0.0096	0.0106	0.0125

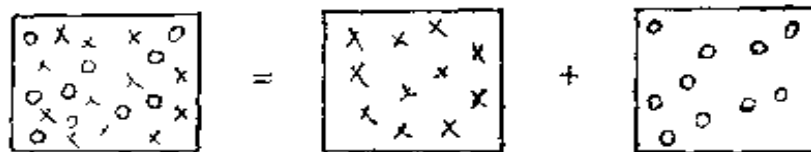
第九章 空调方案设计

确定了洁净室的气流组织和风量，计算了空调负荷之后，就需要设计合适的空调方案，消除室内的热湿，实现设计要求的室内状态。

9.1 $i-d$ 图和空气状态

9.1.1 湿空气性质

正常空气都是湿空气，都不是绝对的干空气。湿空气的性质见图9-1。



湿空气	=	干空气	+	水汽
体积: V	=	V_g	=	$V_o \text{ m}^3$
温度: T	=	T_g	=	$T_o \text{ } ^\circ\text{K}$
压力: B	=	P_g	+	$P_o \text{ mmHg}$
质量: G	=	G_g	+	$G_o \text{ kg}$

图9-1 湿空气性质

9.1.2 湿空气参数

空气调节中和湿湿度有关的空气主要独立参数及其相关参数如表9-1所列。

9.1.3 由 $i-d$ 图确定空气参数

$i-d$ 图是将 i 、 d 、 t 、 φ 、 p_o 各参数联系在一起的湿空气性质图(图9-2)。

表 9-1

用途

环境显热的多少, 计算和测定

某温度时最大可能含水汽量

某温度时最大可能含水汽量

某温度时最大可能含水汽量

某温度时最大可能含水汽量

某温度时最大可能含水汽量

某温度时最大可能含水汽量

某温度时最大可能含水汽量

某温度时最大可能含水汽量

某温度时最大可能含水汽量

某温度时最大可能含水汽量

某温度时最大可能含水汽量

某温度时最大可能含水汽量

某温度时最大可能含水汽量

某温度时最大可能含水汽量

某温度时最大可能含水汽量

续表

主要独立参数	相关参数	符号	单位	确定方法	用途
	露点温度	t_d	°C	①由状态点在 <i>i-d</i> 图上查得 ②按温度由空气性质表查得	反映空气环境温度降到什么程度会结露,也可衡量具有一定温度的表面是否结露。
	水汽分压力	P_o	mm汞柱	① $P_o = P_o B - A(t - t_{sh})B$ $A = 0.00001 \left(85 + \frac{6.75}{v} \right)$ v 为经过湿球的空气流速m/s ②由 <i>i-d</i> 图查得	反映空气实际含有的水汽的分压力,计算湿交换和 φ 时用。
	大气压力	B	mm汞柱	由大气压力表测得	反映湿空气的总压力,计算中用。
相对湿度		φ	%RH	① $\varphi = P_o / P_o B \approx d / dB$ ②由 <i>i-d</i> 图查得	反映空气实际含湿量接近饱和的程度,衡量空气吸湿能力。
焓		i	kJ/kg空气	① $i = 0.24t + (595 + 0.44) \times \frac{d}{1000}$ ②由 <i>i-d</i> 图查得	反映在定压状态下空气含有的总热量(显热和潜热),计算热交换的主要参数。

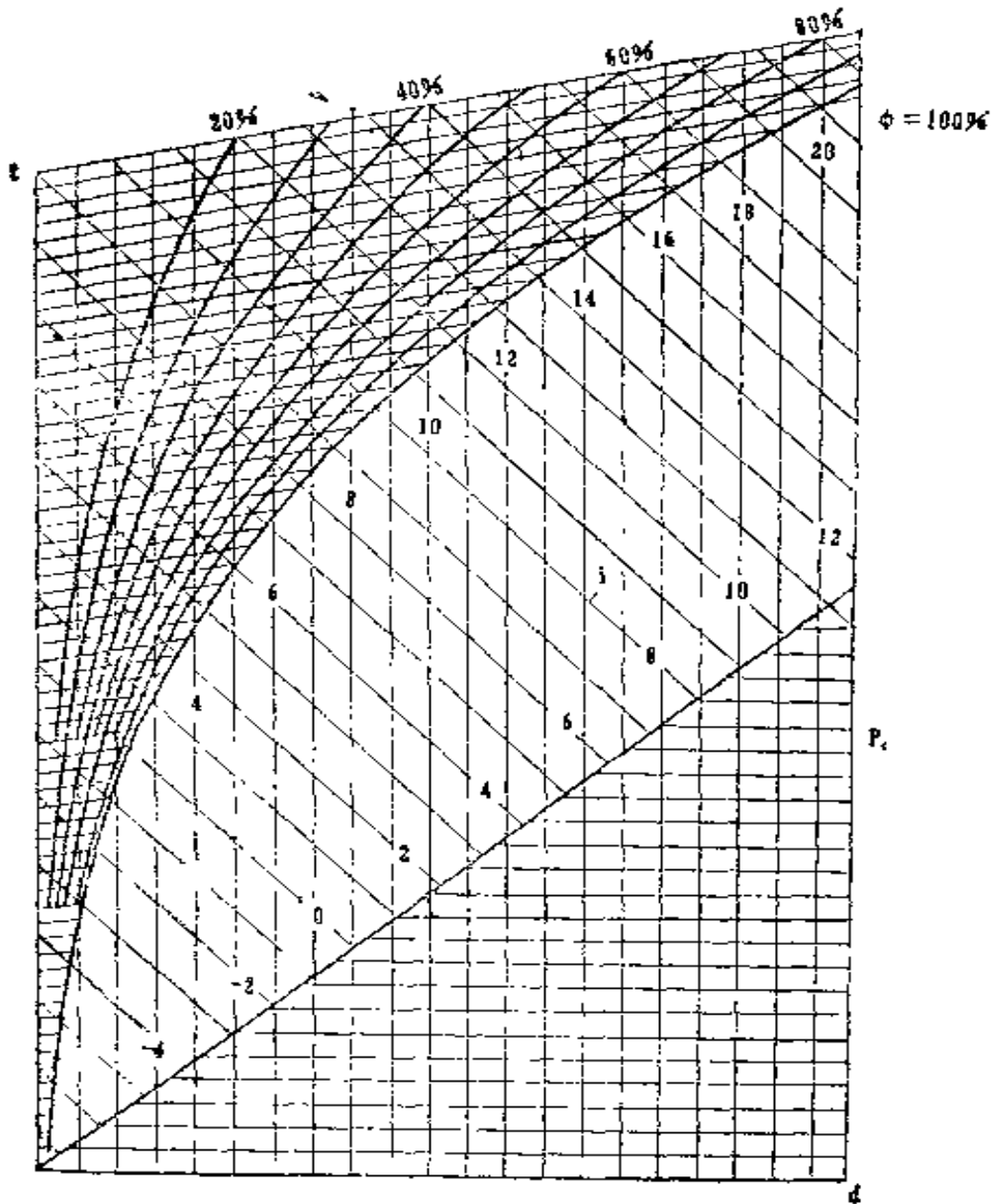


图9-2 湿空气性质图—— $i-d$ 图

用 $i-d$ 图确定空气参数比起计算要简便得多。但一定要注意选用制图的大气压力与设计地点大气压力相近的 $i-d$ 图，否则相差甚大。图9-3给出由 $i-d$ 图确定各参数的方法如下：

根据两个独立参数，确定空气状态及其余参数——沿黑箭头方向确定空气状态；沿白箭头方向确定空气参数。

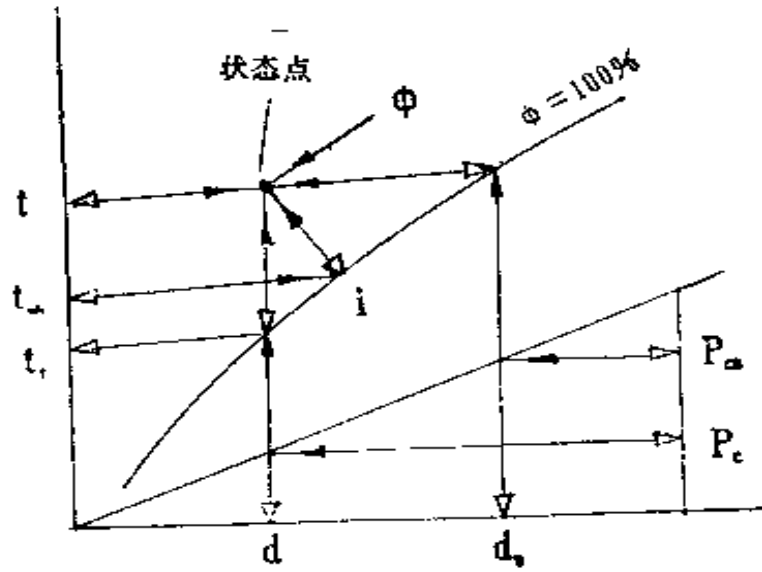


图9-3 由*i—d*图确定空气参数的方法

9.1.4 由*i—d*图表示空气变化过程

1. 空气进出房间的变化过程

空气从送风口进入室内开始，到由回风口排出室外终止，它在室内的变化，在*i—d*图上可以方便地给出其过程。

设每小时有 G_{kg} 空气进入房间，同时对空气加入 Q_{kJ} 的总热量(包括显热与潜热， Q 可以是负值，这是从空气中排出的热量)， D_{kg} 的水汽量(D 也可以是负值，这时是从空气中排出的水汽量)，空气就由送风口处的状态1变成房间内主要空间中的状态2(不包括送风口附近)。然后排出(图9-4)。

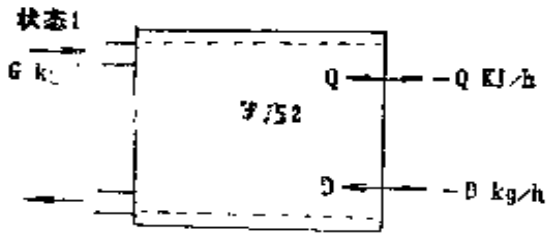


图9-4 空气在进出室内的变化

这时状态2的焓 i_2 比状态1的焓 i_1 大，因为加入了 $\frac{Q}{G}$ (kJ/kg空气)的热量，即

$$i_2 - i_1 = \frac{Q}{G} \quad (9-1)$$

同样，状态1的含湿量也比状态2的含湿量加大了：

$$\frac{d_2 - d_1}{1000} = \frac{D}{G} \quad (9-2)$$

如果用 e 表示上述两者之比即

$$e = \frac{i_2 - i_1}{\frac{d_2 - d_1}{1000}} = \frac{\frac{Q}{G}}{\frac{D}{G}} = \frac{Q}{D} \quad (9-3)$$

则在图9-5上 e 正好表示由1到2连线的斜率，只要 Q 、 D 已知， $\frac{Q}{D}$ 就是一个定值，也就是 e 是一个定值，称为热湿比，代表着由状态1到状态2变化的过程，即进入房间的空气吸收余热余湿后达到要求的2点状态的过程，把 e_{1-2} 称为过程线。

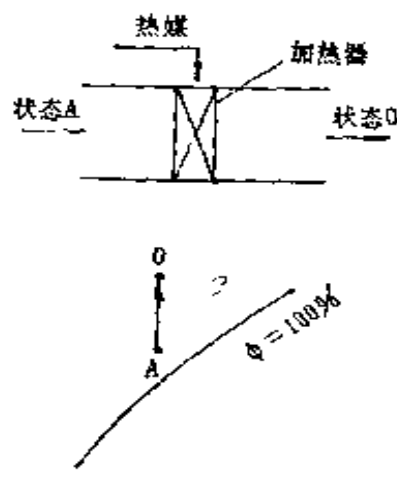
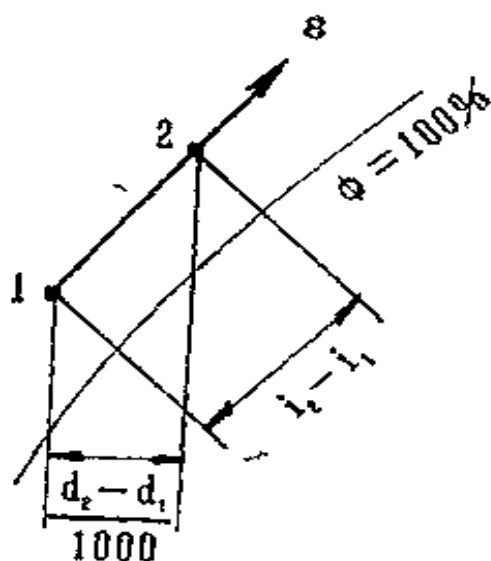


图9-5 空气在*i-d*图上的变化过程 图9-6 空气经加热器的变化过程

Q 和 D 通常称为总余热量(包括显热和潜热)和余湿量，即分别是对室内进行热、湿“收支”平衡计算后的热量差额和湿量差额，可正可负。

2. 空气经过空气处理设备的变化过程

①空气经加热器的变化过程，

如图9-6所示，由状态A变化到状态O后，

$$t \uparrow \quad Q \uparrow \quad i \uparrow$$

$$\Delta d = 0$$

$$\varepsilon = \frac{Q}{0} = +\infty$$

过程线为垂线AO。

同时伴随着相对湿度降低的过程。

②空气经表面冷却器的变化过程：

程：

如图9-7所示，由状态A变化到状态1或2后，当冷却器表面温度 < 被处理的空气露点温度，发生结露，使空气中湿量减少；

$$t \downarrow \quad Q \downarrow$$

$$d \downarrow$$

$$\therefore \varepsilon = \frac{-Q}{-D} > 0$$

过程线为左斜线A1。

当冷却器表面温度 > 被处理的空气露点温度，没有水冷凝析出：

$$t \downarrow \quad Q \downarrow$$

$$\Delta d = 0$$

$$\therefore \varepsilon = \frac{-Q}{0} = -\infty$$

过程线为垂线A2。

两者同时伴随着降温过程、减焓过程和相对湿度增加的过程。

③空气经水汽加湿的变化过程：

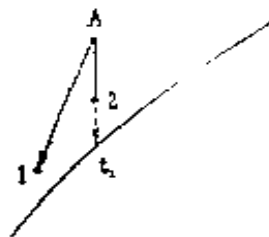
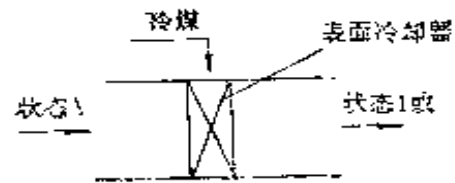


图9-7 空气经表冷却器的变化过程

如图9-8所示，由状态A变化到状态6后，因为水汽是水加热

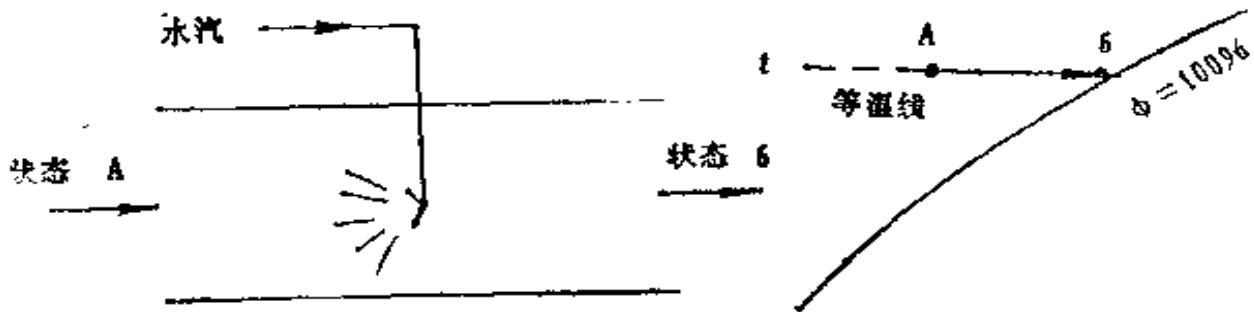


图9-8 空气经水汽加湿的变化过程

后的产物，所以

$$Q \uparrow$$

$$d \uparrow$$

$$e = \frac{+Q}{+D} > 0$$

由于作为加湿用的水汽量一般不大，当水汽温度未超过 100°C 时，计算证明，空气温度上升极小， e 线基本与等温线平行。

过程A6，即按等温线处理。

④空气经吸湿剂吸湿的变化过程：

如图9-9所示，由状态A变化到状态8或9或10后，当是固体吸

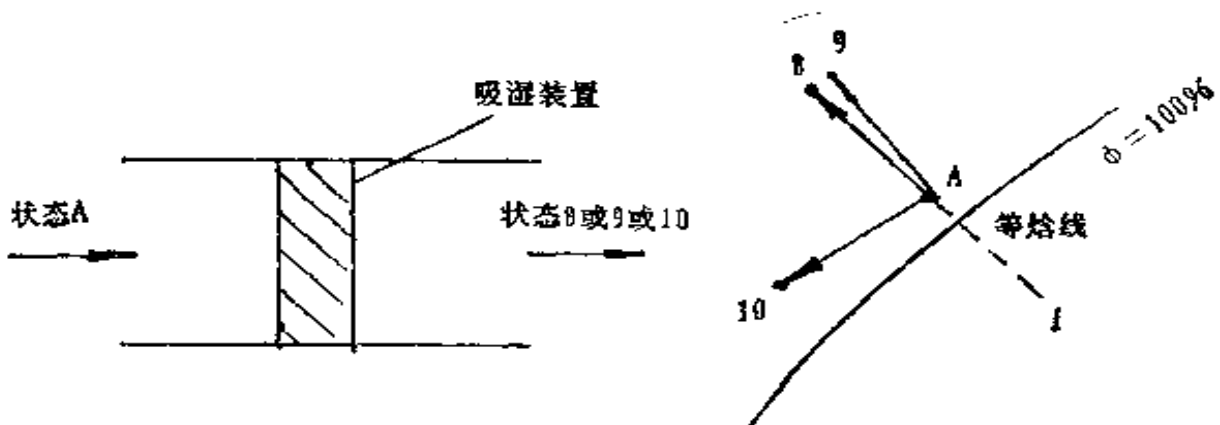


图9-9 空气经吸湿剂吸湿的变化过程

湿剂（如氯化钙、硅胶等）和湿空气接触时，吸收水份，放出热量，所以空气总焓值或不变或稍有上升：

$$\begin{aligned} t \uparrow \quad Q \uparrow \text{ 或 } \rightarrow \quad i \uparrow \text{ 或 } \rightarrow \\ d \downarrow \end{aligned}$$

$$\varepsilon = \frac{\sim 0}{-D} \approx 0$$

过程线为A8或A9，近似于等焓线。

当液体吸湿剂（如溴化锂等）和湿空气接触时，吸收水分，吸收热量：

$$\begin{aligned} t \downarrow \quad Q \downarrow \quad i \downarrow \\ d \downarrow \end{aligned}$$

$$\varepsilon = \frac{-Q}{-D} > 0$$

过程线为A10，由于减湿效果比表冷器更显著，所以比A1更向左倾。

将各种处理过程总结一下，可以得出空气状态变化的四个象限，如图9-10所示。

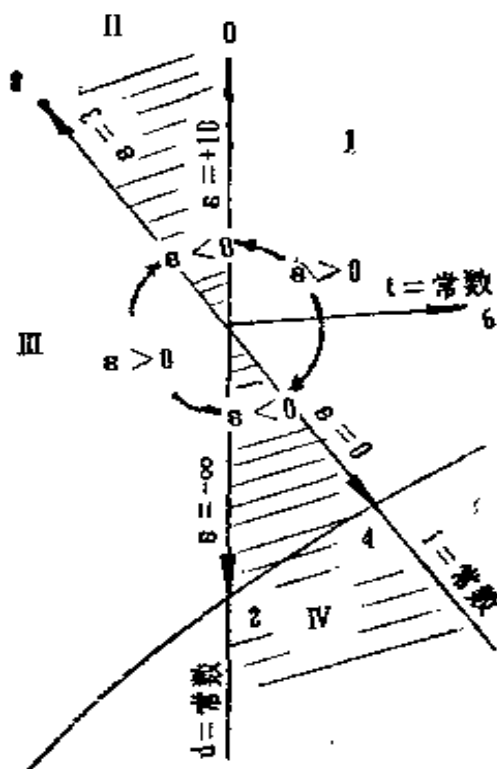


图9-10 ε 的四个象限

I: $\varepsilon = 0 \rightarrow \varepsilon = +\infty$ ，是 $\varepsilon > 0$ 的象限

II: 是I的反方向变化过程区域，也是 $\varepsilon > 0$ 的象限

III: $\varepsilon = -\infty \rightarrow \varepsilon = 0$ ，是 $\varepsilon < 0$ 的象限

IV: 是III的反方向变化过程区域，也是 $\varepsilon < 0$ 的象限

这些过程的特征见表9-2，并参见图9-11。

3. 向多房间送风的空气变化过程

① 送风状态相同：

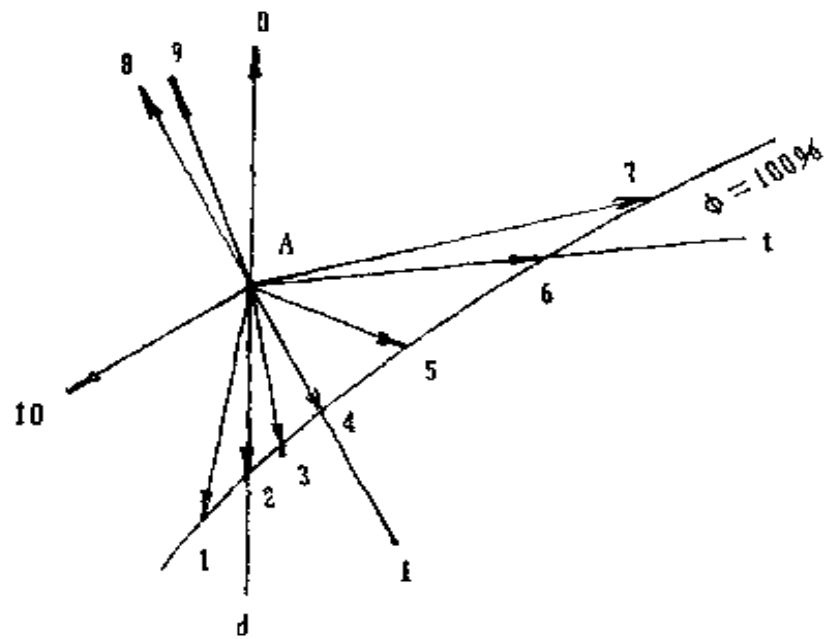


图9-11 各种过程线

各过程特征

表9-2

过程线	处理措施	处理过程	特点
A-0	加热器	等湿升温	$t'(\text{水温}) > t$
A-1	冷却器室 冷喷雾	减焓降温减湿	$t' < t_z$
A-2	冷却器室 冷喷雾	等湿降温	$t' = t_z$
A-3	喷雾室	减焓降温加湿	$t_z < t' < t_{sh}$
A-4	喷雾室(循环水)	等焓加湿	$t' = t_{sh}$
A-5	喷雾室	增焓降温加湿	$t_{sh} < t' < t$
A-6	喷雾室 喷水汽($\leq 100^\circ\text{C}$)	等温加湿	$t' = t$
A-7	喷雾室	升温加湿	$t' > t$
A-8	固体吸湿	等焓减湿	
A-9	固体吸湿	增焓减湿	
A-10	液体吸湿	减焓减湿	

如果一个净化空调系统为要求送风状态相同的多个房间服务，显然各房间的负荷会不同，因而 e 不是一个而是多个，分别

为 e_1 、 e_2 和 e_3 ，如图9-12所示。

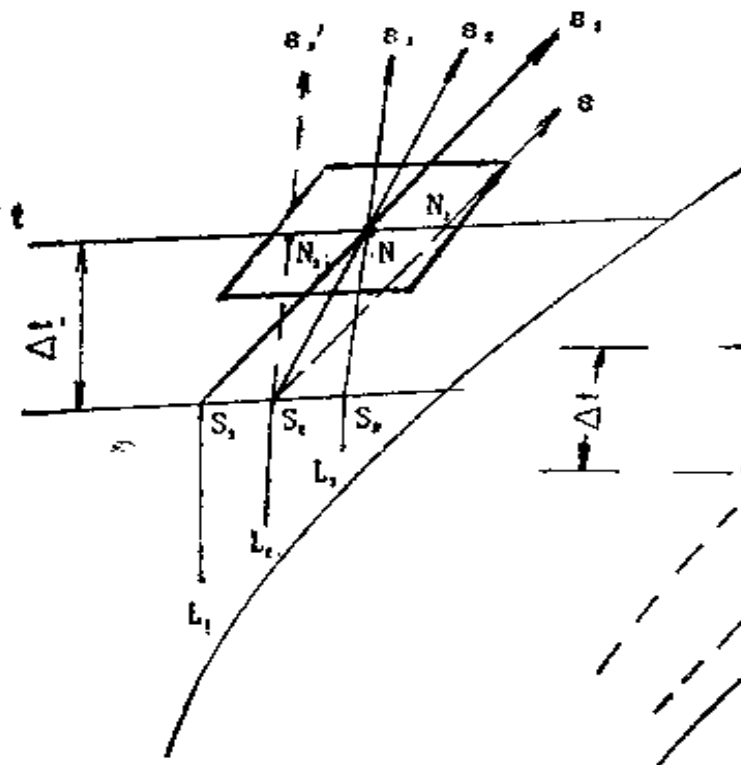


图9-12 送风状态相同的多
房间过程线

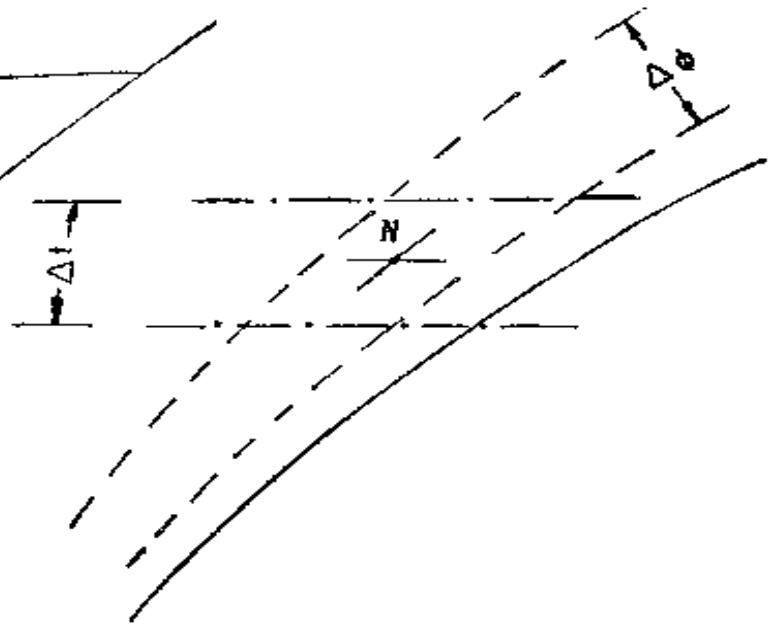


图9-13 室内参数的允许
波动范围

从图可见，假定以室内参数 N 所在的热度和相对湿度为准，各允许一个波动范围，如图9-13所示，大致是一个平行四边形。

前面已说明，把冷却的空气送入室内，是先要把空气冷却到露点，再经过加热至送风状态，然后送入室内，按过程线变化直到排至室外。所以，如果取同样送风温差而要保持多个房间(例如三个)室内参数相同，那就要得到三个露点，表示在图9-12上就是 L_1 、 L_2 、 L_3 三个露点加热到 S_1 、 S_2 、 S_3 ，然后以 e_1 、 e_2 、 e_3 的过程线送入室内，与要求的 t 线相交得到一个共同点 N ，所在的 t 线和 φ 线则为相同的室内参数。但是这对于一个空气处理系统来说是不可能的。

假定以房间2的送风状态 S_2 为标准，其余两个房间送风也都

冷却到同一个露点 L_2 ，加热到同一个送风状态 S_2 ，那末对于房间2，显然送风是按 e_2 过程线变化，而 e_1 和 e_2 都将平移一段而成为 e'_1 和 e'_2 了，最终的室内状态是 e'_1 和 e'_2 与 t 线的交点 N_1 和 N_2 。

如果事先知道 N 的允许波动范围如图9-12中的平行四边形，而这个交点 N_1 和 N_2 又落在此范围之内，则这就是允许的，用同一送风状态就是可能的。如果 N_1 落在范围之外，像图9-14那样，就需要在通向房间的风道上设局部再热器或微调加热器，把房间1的送风点由 S_2 提高到 S'_2 ，则房间1的送风结果，仍能使室内参数落在允许范围之内，即 N_1 仍在平行四边之内。

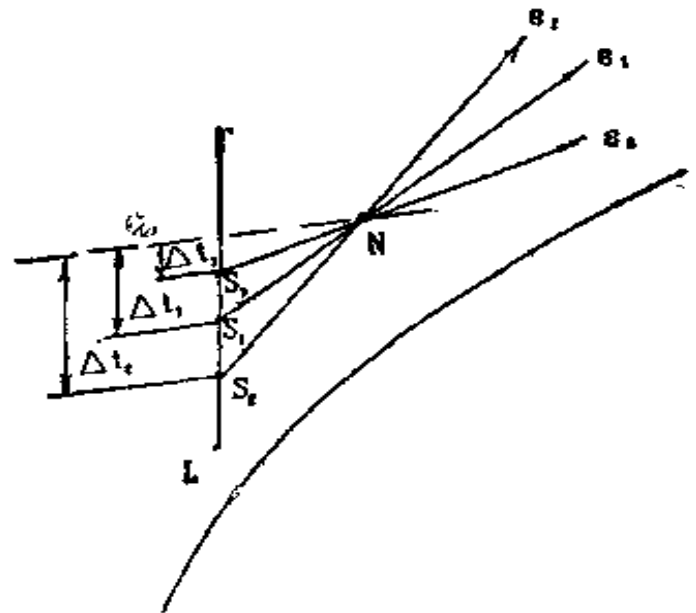
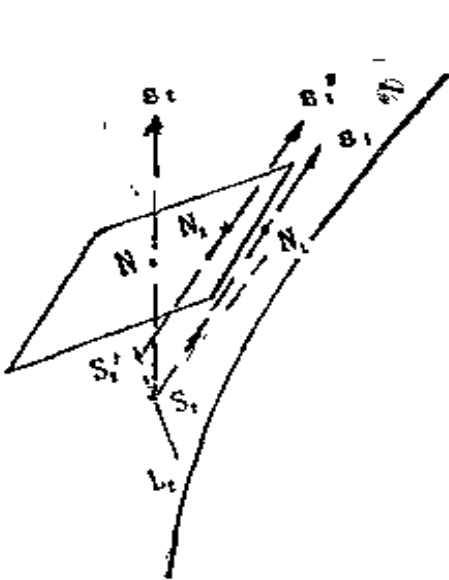


图9-14 改变再热量后的过程线 图9-15 送风状态不同的多房间过程线

②送风状态不同：

如果不保持一个送风状态，而要在不同的 e 时达到同一个室内状态 N ，那就可以用二次加热器改变各室送风状态达到各 e 要求的程度。则此时因仅有加热， d 不变，所以 S_1 、 S_2 、 S_3 和露点温度 L 都在同一等 d 线上，只是各室送风温差不同了，但是都可达到一样的室内状态，见图9-15。

以上两种情况都是以露点相同为条件的,除此之外,也可以有改变露点或风量的变化过程,这里就不详细介绍了。

4. 两种空气的混合状态
两种不同状态(状态1、2)、一定量 (G_1 、 G_2) 的空气混合成新的状态(状态3),也可以用*i-d*图表示其混合过程的结果,并遵循以下三原则(参见图9-16):

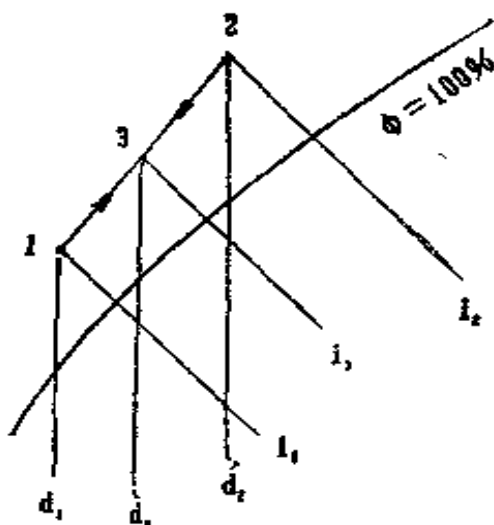


图9-16 两种状态空气的混合过程

①混合前后空气的变化过程在*i-d*图上应为一一直线,即三个状态点均在一直线上。

②状态1、2和3的风量关系是:

$$G_1 + G_2 = G_3 \quad (9-4)$$

③三个状态点在直线上的位置关系是:

$$\frac{\overline{23}}{\overline{31}} = \frac{i_2 - i_3}{i_3 - i_1} = \frac{d_2 - d_3}{d_3 - d_1} = \frac{G_1}{G_2} \quad (9-5)$$

$$\frac{\overline{31}}{\overline{21}} = \frac{i_3 - i_1}{i_2 - i_1} = \frac{d_3 - d_1}{d_2 - d_1} = \frac{G_2}{G_1 + G_2} \quad (9-6)$$

$$\frac{\overline{23}}{\overline{21}} = \frac{i_2 - i_3}{i_2 - i_1} = \frac{d_2 - d_3}{d_2 - d_1} = \frac{G_1}{G_1 + G_2} \quad (9-7)$$

即

混合点左端的线段代表右端的风量;右端的线段代表左端的风量;整个线段代表总风量。

【例】设图9-16中 $t_2 = 26^\circ\text{C}$, $\varphi_2 = 60\%$, $i_2 = 58.61\text{kJ/kg}$,

$t_1 = 12.2^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 95\%$, $i_1 = 33.49\text{kJ/kg}$, 用状态2的回风和露点状态1混合, 混合的状态要求达到 $t_3 = 20^\circ\text{C}$, 混合后的总风量为 1000kg/h , 求回风状态和露点状态的风量各是多少?

[解] 在1—2连线上根据 $t_3 = 20^\circ\text{C}$, 可定状态3, 相应的 $i_3 = 47.39\text{kJ/kg}$.

根据式(9-7):

$$\frac{23}{21} = \frac{i_2 - i_3}{i_2 - i_1} = \frac{G_1}{G_1 + G_2}$$

已知总风量 $G_1 + G_2 = 1000\text{kg/h}$, 所以

$$\begin{aligned} G_1 &= (G_1 + G_2) \frac{i_2 - i_3}{i_2 - i_1} \\ &= 1000 \times \frac{58.61 - 47.39}{58.61 - 33.49} \\ &= 447\text{kg/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_2 &= 1000 - G_1 \\ &= 553\text{kg/h} \end{aligned}$$

9.2 空调处理方案

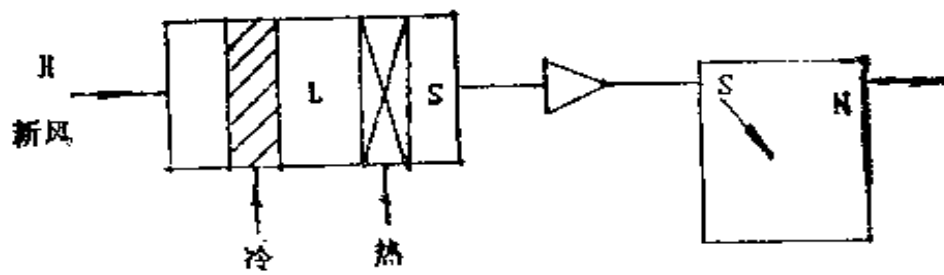
知道了前述一些常用处理方法之后, 把它们组合起来, 就可以把室外新风状态H(夏)处理成所要求的送风状态S, 这种组合, 在*i-d*图上可以有多种, 而能达到同一个目的, 这就是空调处理方案。下面介绍一些洁净室常用的最基本的方案。

9.2.1 直流处理方案

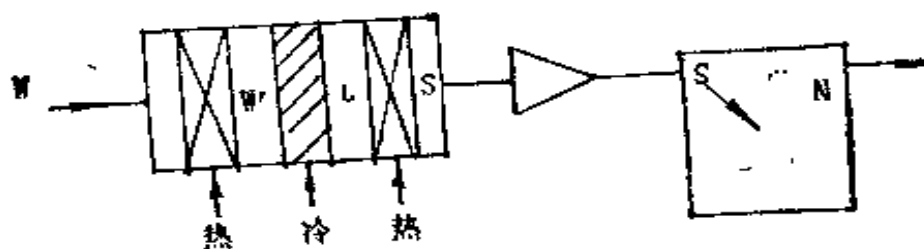
特点: 全新风, 用于不允许循环风的场合, 例如动物饲养室, 生物安全洁净室, 某些制药车间。

由于直接把室外空气处理到室内状态, 经过空调机的空气焓差就会很大, 甚至达到10以上, 所以需采用专门的新风空调机, 或者加大空调机中表冷器的排数。

系统图式：如图9-17，图中未给出空气净化设备，下同。



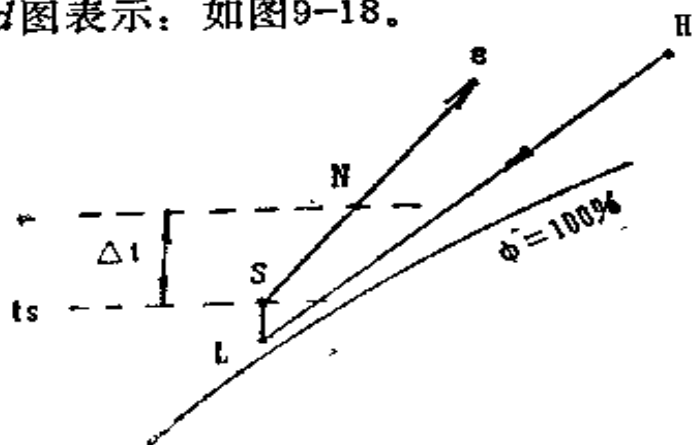
夏



冬

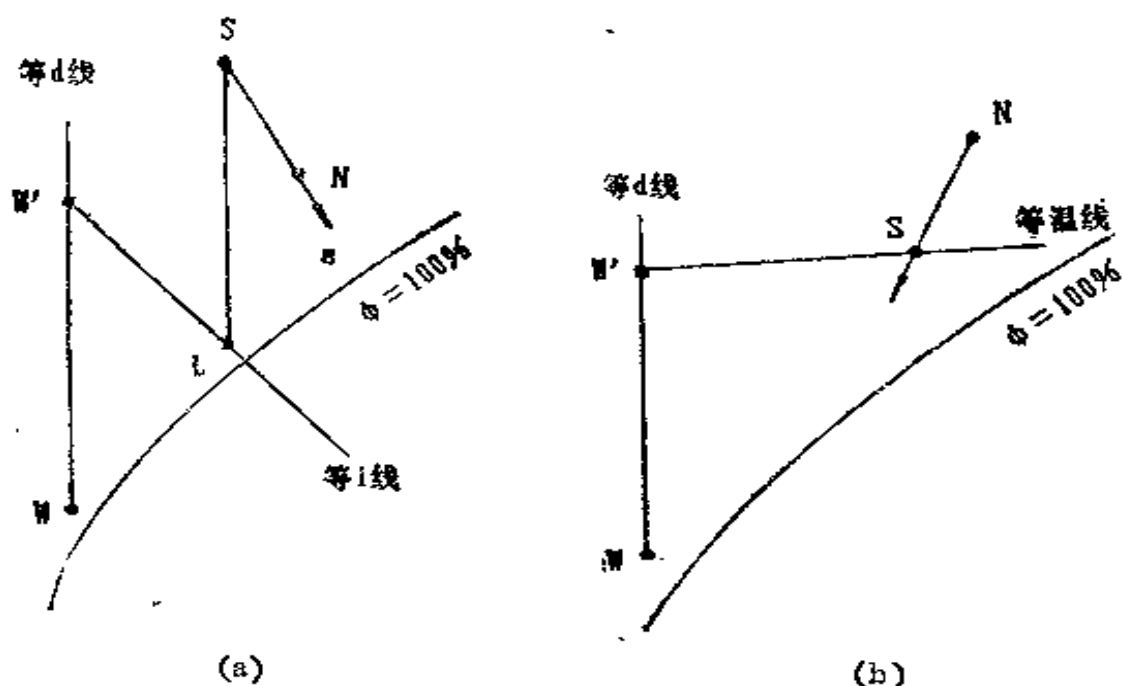
图9-17 直流图式

$i-d$ 图表示：如图9-18。



夏

图9-18 直流方案 $i-d$ 图(一)



冬

图9-18 直流方案*i-d*图(二)

过程分析:

夏季:

① 确定室内状态点N;

② 求出 e , 自N作 e 线, 夏季一般要求降温降湿, 所以 e 线多
在第Ⅱ象限, 因为有余热, 显然 $e > 0$;

③ 确定送风温差 Δt .

净化空调比单纯空调时 Δt 要小得多, 因为前者风量大, 所以
应用下式求出:

$$\Delta t = \frac{Q}{G_s \cdot C} \quad (9-8)$$

式中 Q ——室内显热余热量(kJ/h),

G_s ——由净化要求求出的风量(kg/m³),

C ——比热, 取1.005kJ/kg·°C.

④ 自 t_w 向下, 由 Δt 确定送风状态的温度 t_s 线, 该线与 e 线交点即
送风状态点S;

⑤ 自S作等*d*线与95%相对湿度线相交得L点,所以用95%,因为用100%的饱和点是很难得到的。此点即露点,也称机器露点。

⑥ 自L加热至S, *d*不变,

⑦ H→L为表冷器冷却或冷水喷雾过程。

冬季:

围护结构热损失大,使室内余热为负时[图9-18(1)]:

① 确定室内状态点N;

② 求出*e*,自N作*e*线,因为热损失大,余热为负,所以是失热的情况,*e*随耗热增加而减小甚至变成负值,即*e*<0,过程线将在第Ⅲ象限,送风点一般在室内状态点的左上方:

③ 工程上冬季常采用与夏季相等的送风量,则送风状态点:

$$i_s = i_N - \frac{Q_N}{G} \quad (9-9)$$

式中 Q_N ——室内总余热量(<0), kJ/h,

i_s 与*e*线交点即S点。

④ 自S作等*d*线,与95%相对湿度线相交得L点。

⑤ 自W预热至W',W'应取在自L的等焓线上,因为W预热至W'后,如用循环水喷雾(方式之一),则按等焓加湿变化至机器露点L,所以通过L作等焓线与通过W的等*d*线相交即得W'。

热损失小,使室内余热为正时[图9-18(2)]:

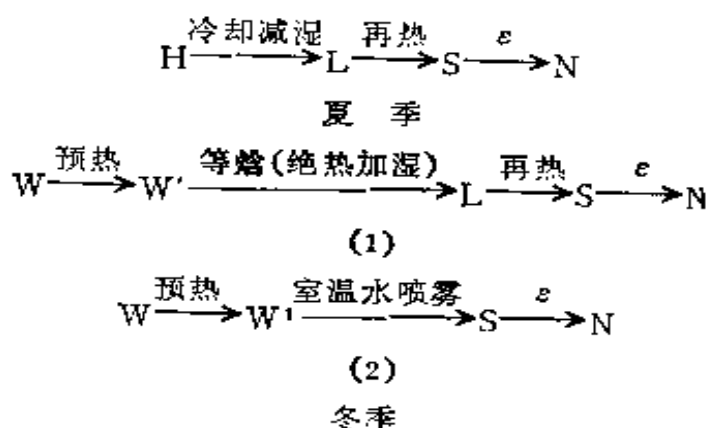
① 确定室内状态点N;

② 求出*e*,自N作*e*线,因为余热为正,显然*e*>0,在第Ⅰ象限,要降温,即送风状态点在N的左下方:

③ 由送风温差确定S点。

④ 自W预热至W',W'应取在自S的等温线上,因为W预热至W'后,如用等于室温的水喷雾或喷≤100°C的水气,则按等温加湿变化,按湿度要求控制至S点,所以通过S作等温线与通过W的等*d*线相交即得W'(如用上面说的循环水喷雾,则达不到S点)

过程分析表示:



再热量: $Q' = G_s(i_s - i_L)$ (9-10)

预热量(冬): $Q'' = G_s(i_{w'} - i_w)$ (9-11)

加湿量(冬): $W = G_s(d_s - d_w)$ (9-12)

表冷器冷负荷(夏): $Q''' = G_s(i_H - i_L)$ (9-13)

上面的过程分析只举了两种典型情况,实际上由室外状态点W(H)至送风状态点S有多种可能,图9-19和表9-3给出了几种可能的方案供选择。

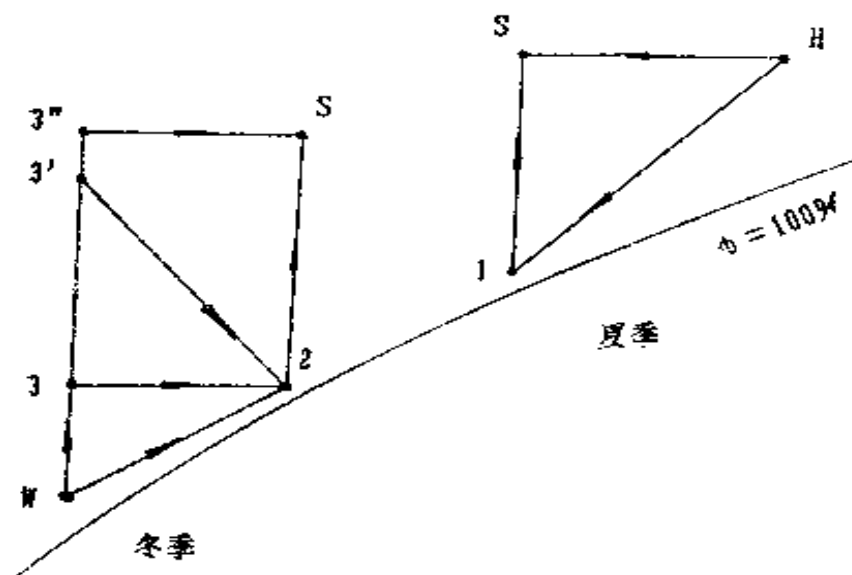


图9-19 由室外状态变到送风状态的多种处理方案

从H或W变到S的几种处理方案

表9-3

季 节	处 理 过 程 线	处 理 措 施
夏 季	(1) $H \rightarrow 1 \rightarrow S$ (2) $H \rightarrow S$	表冷器冷却或喷雾室喷冷水→再热 喷液体吸湿剂(与室温相等)
冬 季	(1) $W \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow S$ (2) $W \rightarrow 3' \rightarrow 2 \rightarrow S$ (3) $W \rightarrow 3'' \rightarrow S$ (4) $W \rightarrow 2 \rightarrow S$	预热→喷水汽(或喷雾室喷室温热水)→再热 预热→喷雾室绝热喷雾→再热 预热→喷水汽 喷热水→再热

9.2.2 一次回风处理方案

特点：集中一次让回风先和新风混合，然后再加以处理，这是最一般的方式。

由于混合后的状态C比新风状态H大大向所需的送风状态S挪近了一步，因此冬季加热或者夏季冷却的要求就比同样送风量的直流系统大大减弱了，从而在设备设置上和运行上经济得多。

系统图式：如图9-20所示。

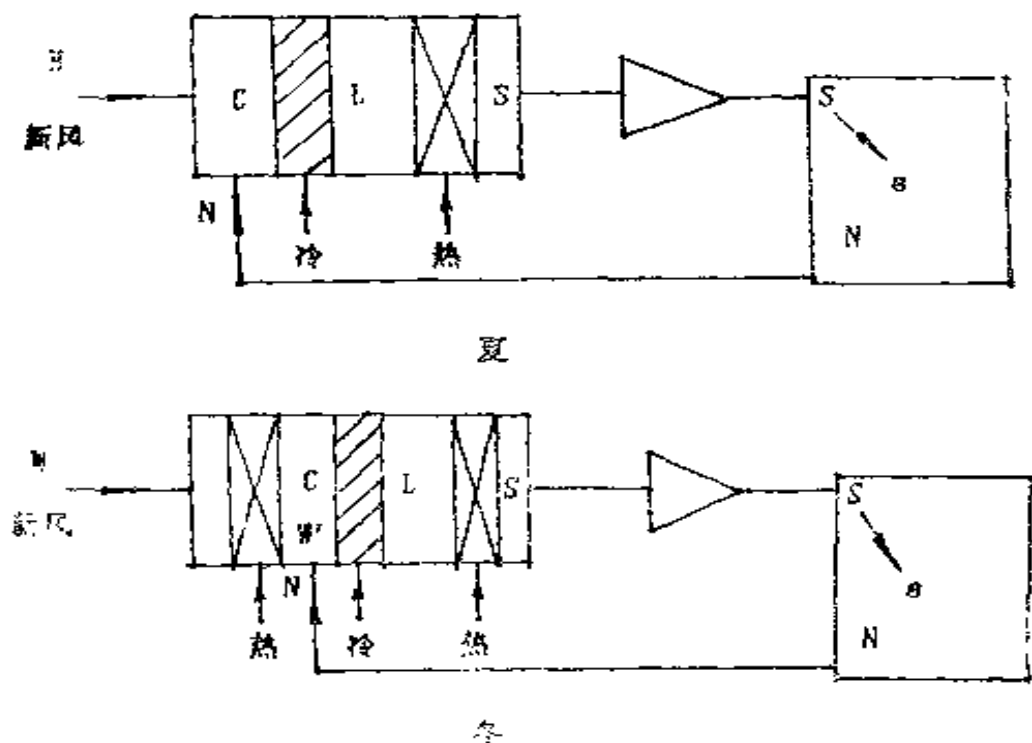


图9-20 一次回风图式

$i-d$ 图表示：如图9-21。

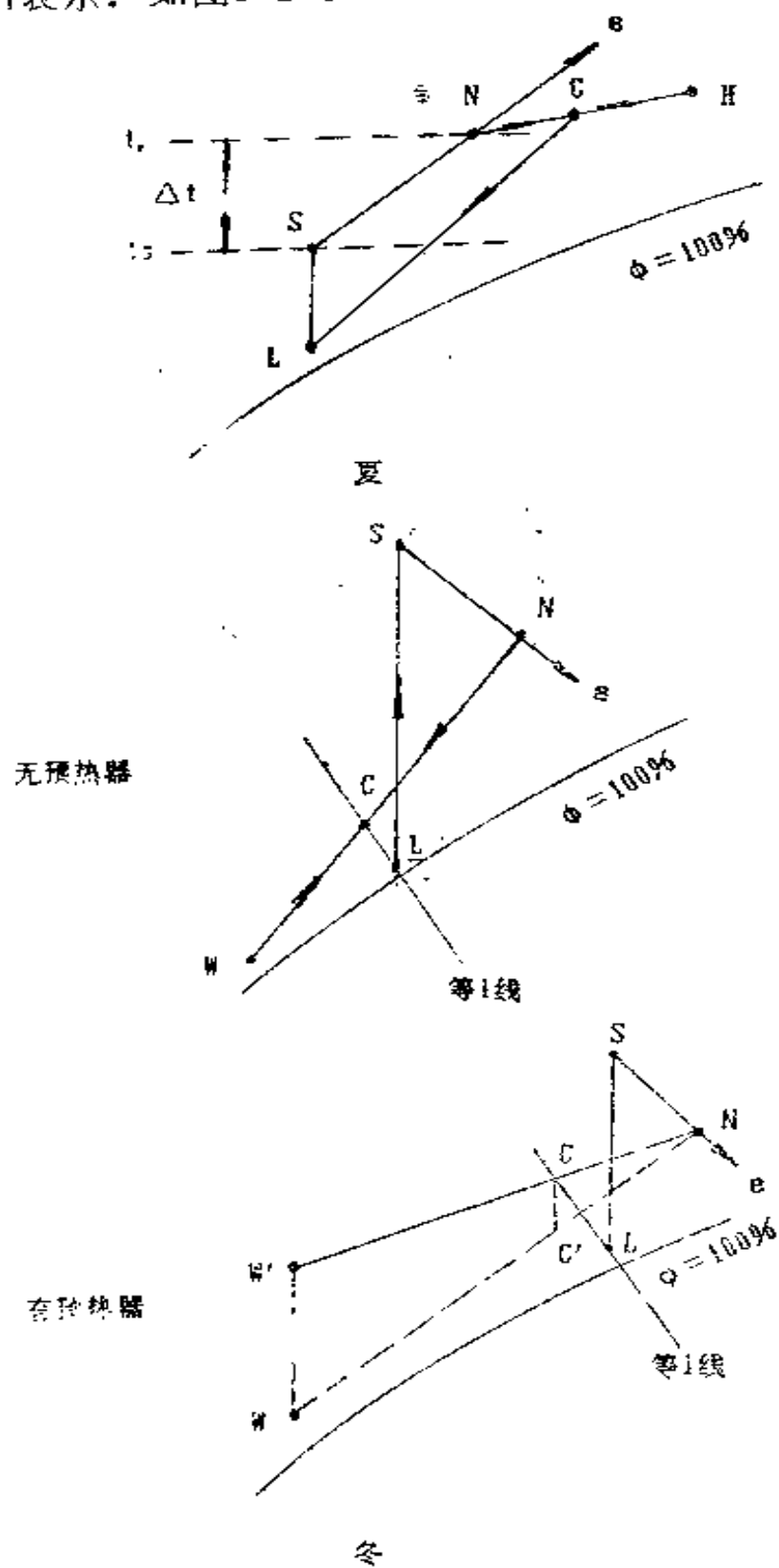


图9-21 一次回风方案*i-d*图

过程分析(夏季):

① 确定室内状态点N;

② 求出 ϵ , 自N作 ϵ 线;

③ 确定送风温差 Δt ;

④ 自 t_N 向下由 Δt 确定送风状态的温度 t_s 线, 该线与 ϵ 线交点即送风状态点S;

⑤ 自S作等 d 线与95%相对湿度线相交得L点;

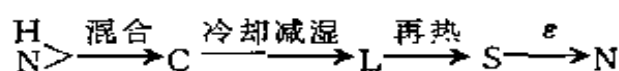
⑥ 确定一次回风混合点C:

$$\frac{HC}{HN} = \frac{S}{G_s}$$

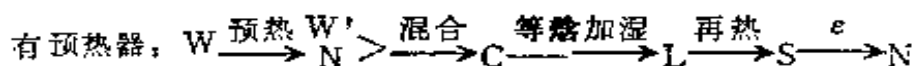
S为回风量占总风量的比例; G_s 为总风量。

⑦ C→L为表冷器冷却或冷水喷雾过程。

过程分析表示:



夏季



冬季

对于冬季, 混合点C必定落在等 i 线上(因为要等焓加湿), 为了方便地求出C, 可先求出 C' , 作等 d 线与等 i 线相交即得C点, 延长NC与过W的等 d 线相交于 W' , 即得需要预热到的状态。

再热量: 按式(9-10) $Q' = G_s(i_s - i_L)$

预热量: $Q'' = G_w(i_{w'} - i_w)$ (9-14)

表冷器冷负荷(夏): $Q''' = G_s(i_o - i_L)$ (9-15)

加湿量(冬): $W = G_s(d_s - d_c)$ (9-16)

9.2.3 二次回风经空调机风机处理方案

特点：回风先和新风一次混合，再在空调机内和露点状态的空气二次混合。可以避免一次回风的又加热又冷却的能量浪费，即省去一部分再加热热量和一部分制冷量。适合于级别高、风量大的洁净室，但不宜用于散湿量大或者散湿量变化大的场合。

系统图式：如图9-22。

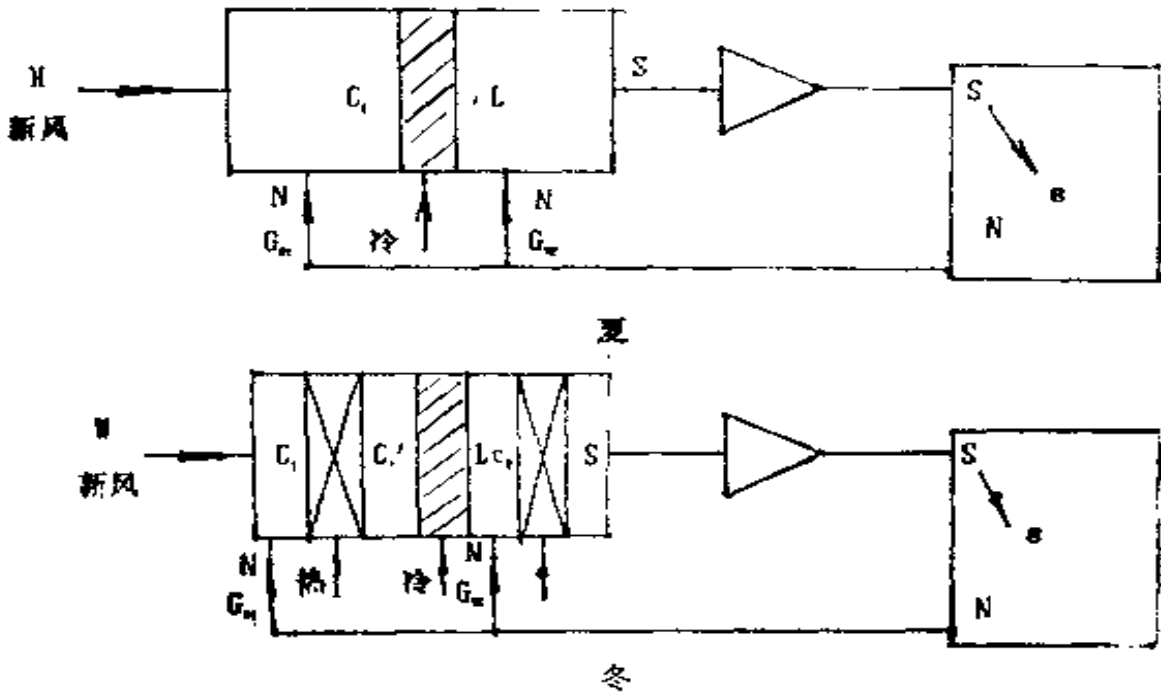
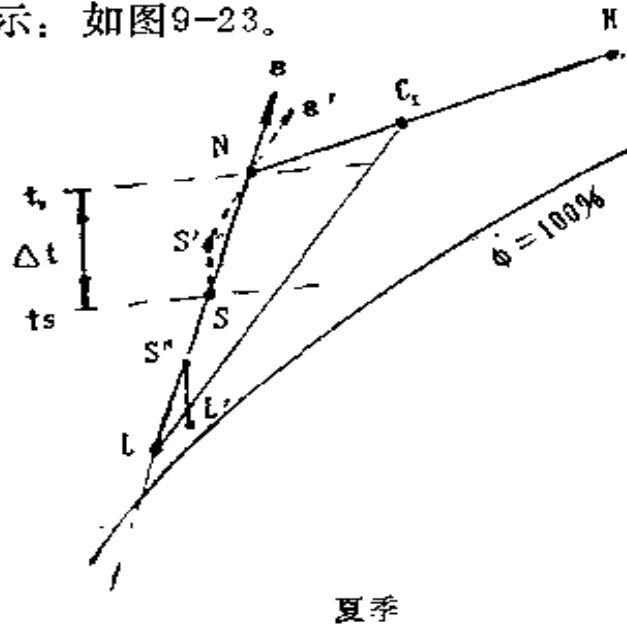


图9-22 二次回风经空调机风机图式

$i-d$ 图表示：如图9-23。



夏季

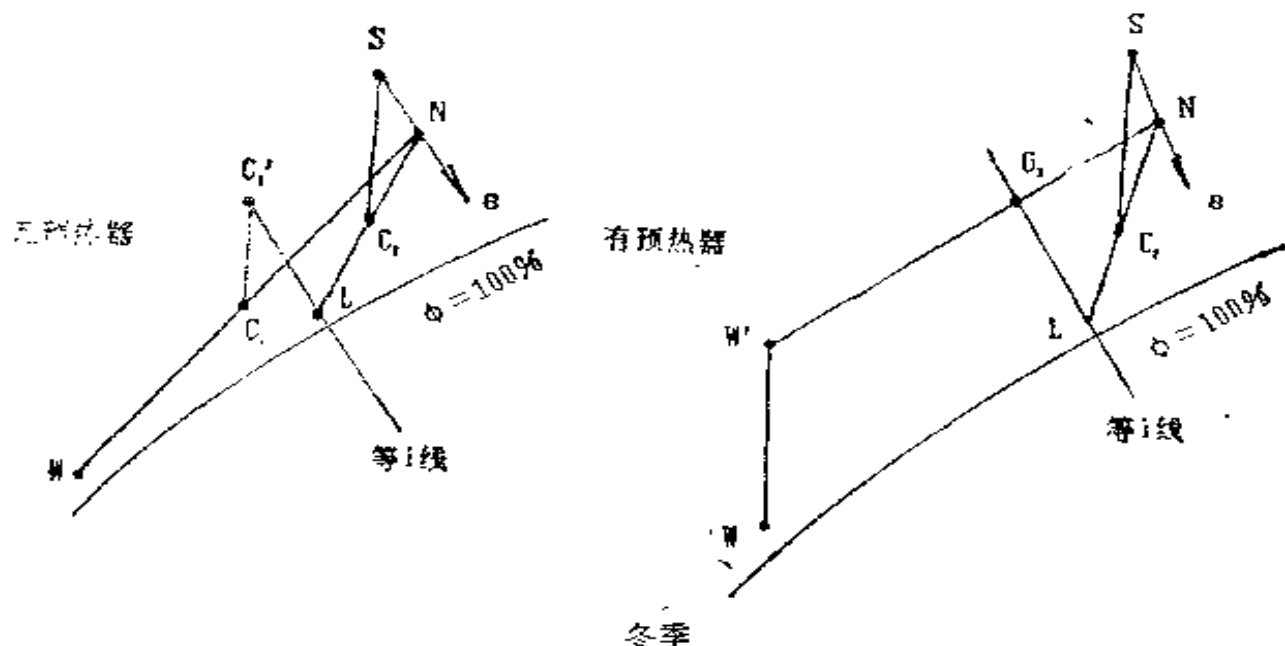


图9-23 二次回风经空调机风机方案i—d图

过程分析(夏季):

- ① 确定室内状态点N;
- ② 求出 e , 自N作 e 线;
- ③ 确定送风温差 Δt , 作 t_s 线;
- ④ 由 e 和 t_s 相交得S点;

⑤ 延长NS与95%的 ϕ 线相交得L, 这是二次回风的露点。因为N、S、L在一条直线上, 符合混合空气应在一条过程线上的原则, 所以L和室内二次回风N混合可得送风状态S。S的具体确定有四种情况。

a. 已知需要的 Δt , 而且 Δt 合适, 则和一次回风系统相似, 由 Δt 确定S点, 当然也就可以从线段测量上得到二次混合比和混合风量。

b. 如果 Δt 不合适, 例如太小, 使二次回风量太大, 系统不好处理, 则可以调整L位置至L', 通过加热到S'', 使S''在 e 线上, 这时再二次混合到送风温差即达S点, 就不要那么多二次回风量了。

c. 如果一次混合后的风量 G_L (即通过空调机表冷器的风量 G_{C1})已定, 例如空调机已选好(特别是二次回风不经过空调机风机的系统), 则按式(9-7)求出二次混合点的焓(参照图9-23):

$$\frac{G_L}{G} = \frac{i_N - i_s}{i_N - i_L}$$

$$i_s = \frac{i_N(G - G_L) + i_L G_L}{G}$$

通过 i_s 线与 e 线相交定出二次混合点 S 。在此情况下, Δt 或者影响不大, 或者再校核一下 Δt , 如不合适, 则只能通过调整 G_L (即空调机表冷器通过的风量)或重选空调机(二次回风不经过空调机的方案)来满足了。

[例] 已知系统总风量 $G=12000\text{kg/h}$, 已选好表冷器通过风量为 7500kg/h 的空调机, 已知 $i_N=56.10\text{kJ/kg}$, $i_L=47.73\text{kJ/kg}$, 求混合点焓。

[解] 显然新风加一次回风, 使一次混合后的风量

$$G_L = 12000 - 7500 = 4500\text{kg/h}$$

$$\therefore i_s = \frac{4500 \times 56.10 + 7500 \times 47.73}{12000} = \frac{252450 + 357975}{12000}$$

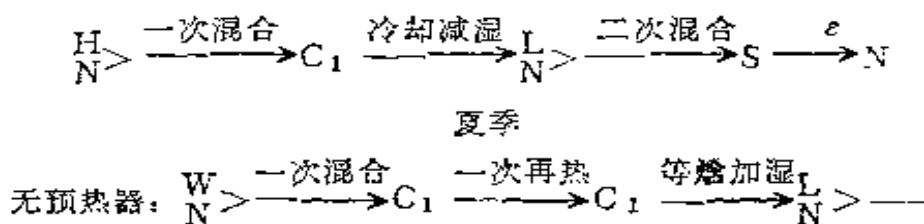
$$= 50.87\text{kJ/kg}$$

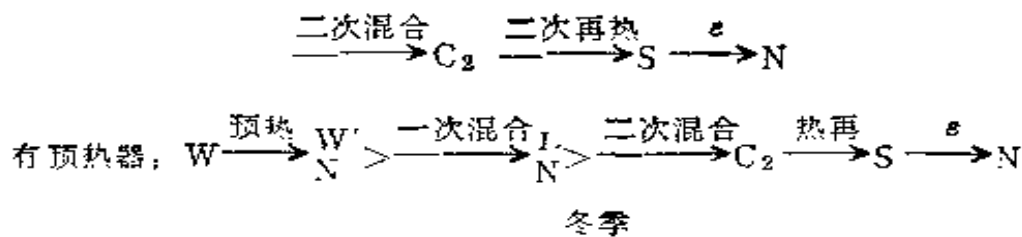
d. 又如 e 线较平, 成 e' , 则 L 点位置会太下, 则可按一定比例混合至 S 点后再加热至 S' , 使 S' 在 e' 线和 Δt 线交点上。

⑥在 NH 连线上确定一次回风混合点 C_1 。

⑦ $C_1 \rightarrow L$ 为表冷器冷却或冷水喷雾过程。

过程分析表示如下:





$$\text{再热量(冬): 第一次 } Q'_1 = G_{c1}(i_{o1}' - i_{c1}) \quad (9-17)$$

$$\text{第二次 } Q_1'' = G_{c2}(i_s - i_{o2}) \quad (9-18)$$

$$\text{预热量(冬): } Q'' = G_W(i_{w'} - i_w) \quad (9-19)$$

$$\text{表冷器冷负荷(夏): } Q'' = G_{c1}(i_{c1} - i_L) \quad (9-20)$$

$$\text{加湿量(冬): } W = G_{o2}(d_{o2} - d_{o1}) \quad (9-21)$$

$$\text{混合风量(夏): } G_{c1} = G_H + C_{N1}$$

$$= G_H + \frac{G_H \cdot \overline{H_{o1}}}{N_{c1}} \quad (9-22)$$

对于二次回风式，表冷器冷负荷取决于通过的风量，和直流式、一次回风式的通过表冷器风量即净化系统总风量 G 有所不同，风量较小，而风量小则表冷器给出的冷量也小，可能不足以消除空调负荷、新风负荷和再热量负荷。所以应反过来按这些负荷之和即空调总负荷 Q 作为表冷器冷负荷 Q'' ，求通过表冷器风量 G_{c1} ，即

$$G_{c1} = \frac{Q}{i_{c1} - i_L} \quad (9-23)$$

再由式(9-22)确定一次混合点位置。

由洁净室计算一章已知系统总风量 G 、总风量 G_N 和新风量 G_H ，又算出了 G_{c1} ，则

$$G_{N1} = G_{c1} - G_H$$

$$G_{N2} = G_N - G_{N1}$$

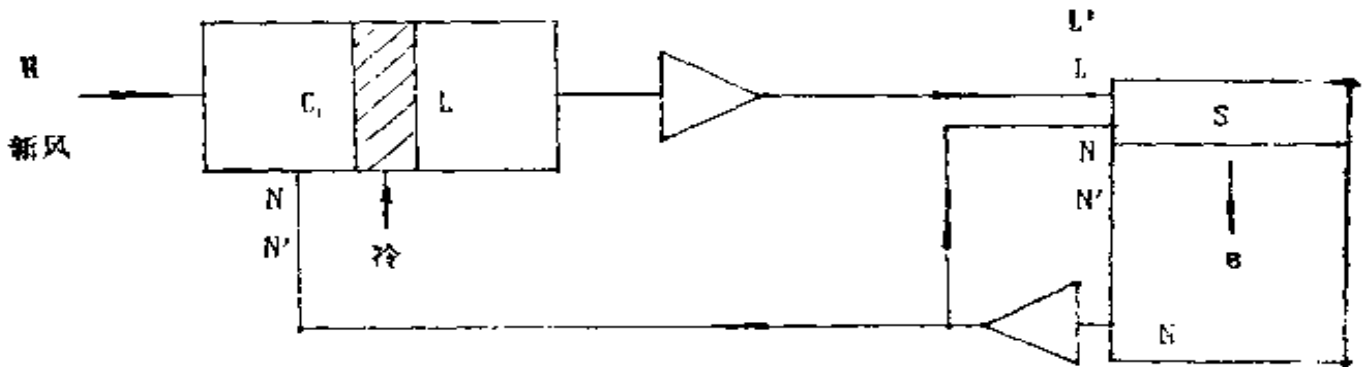
9.2.4 二次回风不经空调机风机处理方案

特点：由于大量二次回风对消除室内热湿负荷没有作用，故

可不经空调器及其风机而直接紧靠洁净室短路循环。例如直接把垂直单向流地板回风抽回顶棚送风静压箱，这样可减小大截面风管长度，节约空间和造价。

为了短路循环需加一回风机。

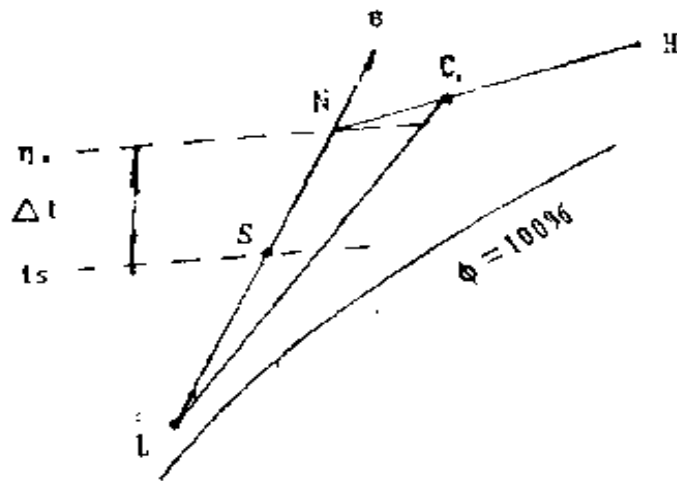
系统图示：如图9-24。



夏季

图9-24 二次回风不经空调机风机方案图式

$i-d$ 图表示：如图9-25。



夏季

图9-25 二次回风不经空调机风机方案 $i-d$ 图(夏)

由于该方案 $i-d$ 图和经空调机风机处理的方案没有不同，故不再详加分析，该方案主要不同在设备、管道上，而不在处理本身。

9.2.5 室内再设空调机组处理方案(1)

特点：可以满足具体房间对温湿度的更高要求；可以减小大机组容量；适合于改建的洁净室；当机组末端无高效或亚高效过滤器时，此方案则不能采用。

系统图式：如图9-26。

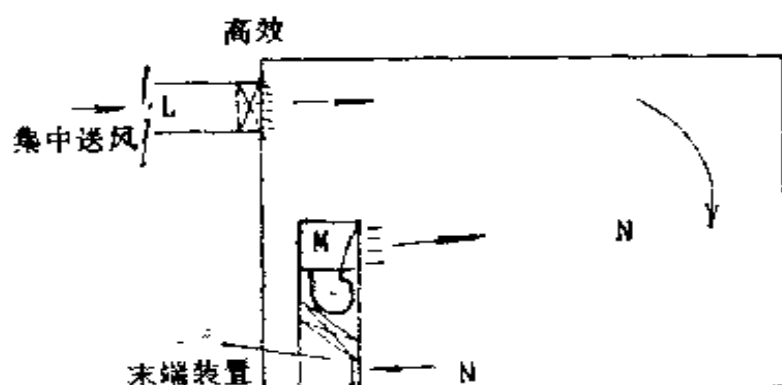


图9-26 室内再设空调机组方案(1)图式

$i-d$ 图表示：如图9-27。

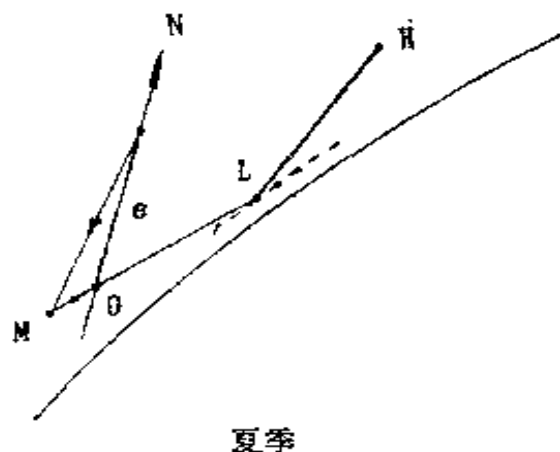


图9-27 再设室内机组处理(1) $i-d$ 图(夏)

过程分析：(夏)

- ①确定N、M、L点位置；
- ②过N作 e 线，与LM线的交点为混合点；
- ③N→M由室内机组完成。

过程分析表示如下：



表冷器冷负荷(机组):

$$Q^* = G_N(i_N - i_M) \quad (9-24)$$

9.2.6 室内再设空调机组处理方案(2)

特点: 可以满足房间对温湿度的更高要求; 可以减小大机组容量, 适合于改建的洁净室; 高效过滤器不设于风口而设于空调机组出风口, 适合于空调机组风机有足够机外余压或可另换风机的场合。

系统图式: 如图9-28。

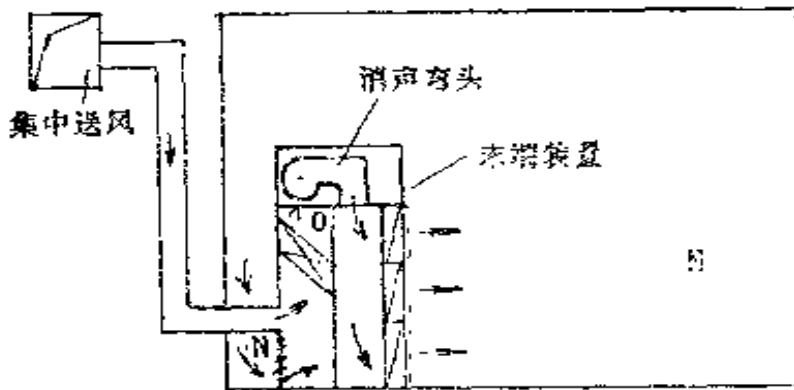


图9-28 室内再设空调机组方案(2)图式

$i-d$ 图表示: 如图9-29。

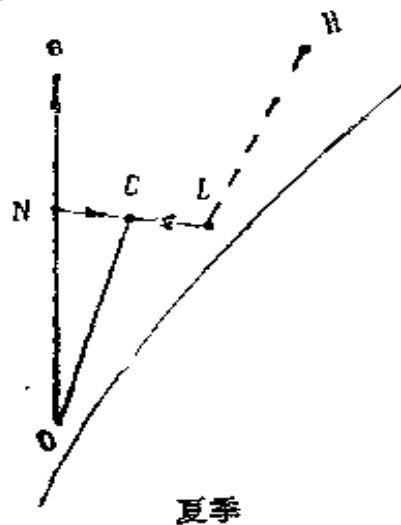


图9-29 再设室内机组处理(2) $i-d$ 图(夏)

过程分析等从略。

9.2.7 两个实际问题

1. 露点L的确定

不论是空气通过喷雾室还是表冷器，由于热湿交换不充分、不均匀，通过后的空气的相对湿度变化幅度较小，达不到完全饱和，所以一般近似认为 $\varphi \geq 90\%$ 的状态即进入露点状态，习惯取 $\varphi = 95\%$ 。

2. 风道和风机温升

由于空调系统风道都要求保温，故对温升影响极小，一般不考虑。但是风机温升则一般不应忽略。

①系统中的风机。可以直接计算温升反映在*i-d*图上，例如上述各种方案当由露点L再热或混合至送风状态S时，为简化起见没有计入风机温升，如果不能忽略，则应予以计入，例如图9-24两台风机，设由于温升，经送风机后状态点由L变为L'，回风机状态点由N变为N'，则*i-d*图表示相应由图9-25变为图9-30。从图中可见，若没有NN'这段温升，混合点S将要经过再热后获得。

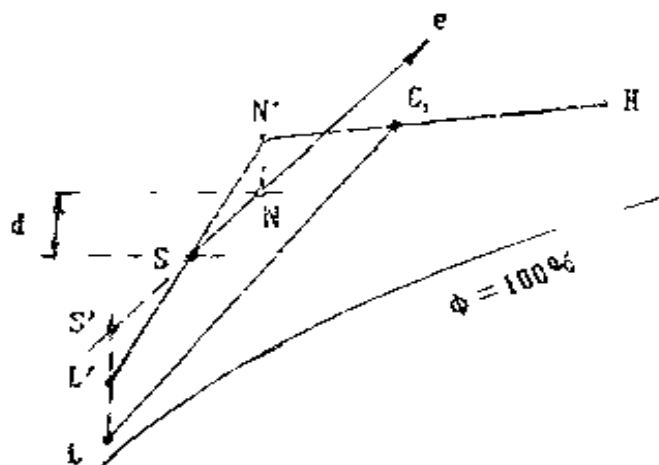


图9-30 有风机温升的*i-d*图

风机温升按下式计算：

$$\Delta t = \frac{0.96 H \eta_a}{\eta_1 \eta_2 \rho} \quad (^\circ\text{C}) \quad (9-25)$$

式中 H ——风机全压(kPa)；
 ρ ——空气密度(kg/m³)；

η_1 ——风机全压效率, 0.5~0.7;

η_2 ——电机效率, 0.7~0.85;

η_3 ——电机位置修正系数,

电动机在气流内时, $\eta_3=1$;

电动机在气流外时, $\eta_3=\eta_2$ 。

Δt 也可近似地由表9-3中获得。

风机温升 Δt (据张利群1990)

表9-4

风机效率	风机全压 (Pa)									
	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400
0.5	0.49	0.65	0.82	0.98	1.14	1.31	1.47	1.63	1.90	2.29
0.6	0.41	0.54	0.68	0.82	0.95	1.09	1.23	1.36	1.63	1.91
0.7	0.35	0.47	0.58	0.70	0.82	0.93	1.05	1.17	1.40	1.63
0.8	0.31	0.41	0.51	0.61	0.71	0.82	0.92	1.02	1.23	1.43

②静压箱中的风机。洁净室和一般空调房间的很大不同点就是因为风量太大和风口太多(单向流), 而常在顶棚或夹墙的静压箱中布置很多带风机的送风单元, 这时风机和电机都把热散在气流之中。这一特点常被设计人员忽略。

这种情况下必须把风机得热考虑在整个得热之内。

只有风机在气流中时,

$$\Delta q = \frac{86L\Delta P}{102 \times 3600 \times \eta_1} \quad (9-26)$$

式中 L ——风量(m^3/h);

ΔP ——风机静压(Pa);

η_1 ——风机静压效率, 取0.5。

设室内显热得热为 q , 因 $q=0.28\Delta tL$, 所以风机得热和室内总显热得热之比:

$$\frac{\Delta q}{q} = \frac{0.167}{100} \times \frac{\Delta P}{\Delta t} \quad (9-27)$$

据此可算出比例如表9-5所示。

风机得热所占比例

表9-5

风机静压 (Pa)	送风温差 Δt ($^{\circ}\text{C}$)					
	1	2	3	4	5	10
300	50.1	25.1	16.7	12.5	10.0	5.0
400	66.8	33.4	22.3	16.7	13.4	6.7
500	83.5	41.8	27.9	20.9	16.7	8.4
1000	167.0	83.5	55.7	41.8	33.4	16.7

由于洁净室送风温差很小，所以当风机静压为400Pa时，风机得热可占总显热得热的30%~70%，由此可见其影响很大。

若电机也在气流中，则可直接由电机额定功率 P 计算：

$$\Delta q = 860 \varphi_1 \varphi_2 P / \eta_2 \quad (9-28)$$

式中 φ_1 ——所需动力与额定输出功率之比，一般取0.95；

φ_2 ——电机开动率；

η_2 ——电机效率。

显然此时散的热比只有风机在气流中散的热要大。

9.3 空调设备选择

9.3.1 净化空调系统常用空调设备种类

1. 柜式空调机

柜式空调机外型如一大立柜，自带制冷压缩机和直接蒸发式表冷器。根据冷凝器的冷却方式，有水冷和风冷之分，或整体式和分体式之分；根据用途则分为冷风机、冷热风机和恒温恒湿机。

选择柜式空调机时应着重考虑以下各点：

①风量在每小时几千~二三万立方米范围内最合适，最大风

量可达到五六万立方米。

②不需再建制冷机系统和冷冻机房。

③如有用水限制或建冷却水塔不方便，则不选整体的水冷型而选择分体的风冷型。风冷型又有两种：一种是压缩机在室内，室外机组为风冷式冷凝器；另一种室内只有热交换盘管和风机，压缩机和风冷冷凝器都在室外，这种分体式具有运转宁静的特点。

④一般舒适性空调可选冷风型；如没有别的采暖方式可选冷热风型；如有 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 和 $\pm 5\%$ 以内的恒温恒湿要求，可选恒温恒湿型。

⑤要选有一定机外余压的型号，如果余压不够则需加接力风机。

2. 组合式空调器(箱)

组合式空调器因由不同的功能段——空气处理段组合而成而得名。设计者和用户可以根据需要选择不同的功能段，一般有以下这些段：

①新回风混合段，段内并配有对开式多叶调节阀。

②粗效过滤器段。

③加热段(水、蒸气、电三种方法加热)。

④表面冷却段。

⑤加湿段(喷淋、高电加湿、干蒸气加湿)。

⑥二次回风段。

⑦过渡段(检修段)。

⑧风机段。

⑨消声段。

⑩热回收段。

⑪中效过滤器段。

⑫出风段。

以上各段有的是必备的，有的是供选用的。机组外壳有金属

的、玻璃钢的多种。

组合式空调器不带制冷压缩机，另由制冷系统供给冷媒。
选择组合式空调器应注意：

- ①适用于大系统。
- ②机房面积要有足够的长度，长度可达十几米。
- ③必须另有制冷系统供给冷媒。

3. 专用空调机

专用空调机也是一种柜式空调机，它为一些场合如计算机房、程控机房、不能设集中系统的地方专门设计的空调机，一般具有温湿度的精密控制功能。

计算机房用的专用空调机一般多为上进风下出风，有的场合(如手术室)的专用空调机则宜为净化空调机，带有亚高效或高效空气过滤器。

这里特别讲一下，目前我国计算机房专用空调机不论是进口的还是国产的机组，都不适应我国大气尘浓度高的情况，所配过滤器仅是粗效或中效过滤器，使用这样的机组要达到较高的洁净度——10万级是困难的，应另配一种专配过滤器，其结构为在多孔板上装长短滤管，这样可以充分利用机内空间(图9-31)，其规格见表9-6。

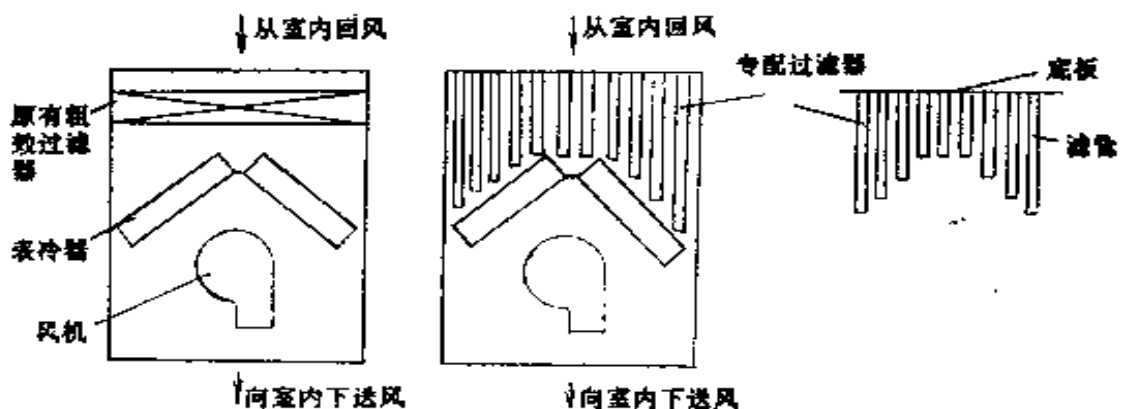


图9-31 专用空调机中安专配过滤器情况

4. 表冷器装置配冷水机组

专配过滤器规格

表9-6

空调机型号	W×D×H (mm)	过滤器 台数 (个)	总风量 (m ³ /h)	每台的风量 (m ³ /h)	效率(%)		阻力 (Pa)	重量
					≥0.5μm	≥1.0μm		
力博特 245型	410×850×280	6	17340	2900	85	95	130	1~2 kg
					85	95		
力博特 FH245A-F00	490×600×250	5	17340	3470	85	95	130	
					85	95		
力博特(美国产) FH130A-F00	450×660×220	4	10200	2550	85	95	100	
					85	95		
意大利RC182E	510×665×220	4	17500	4380	85	95	145	
					85	95		
意大利RC20.2E	600×600×220	3	22500	5000	85	95	145	
					85	95		
意大利RC10.2E	410×665×220	1	11500	3830	85	95	145	
					85	95		
	430×665×200	1		3830				

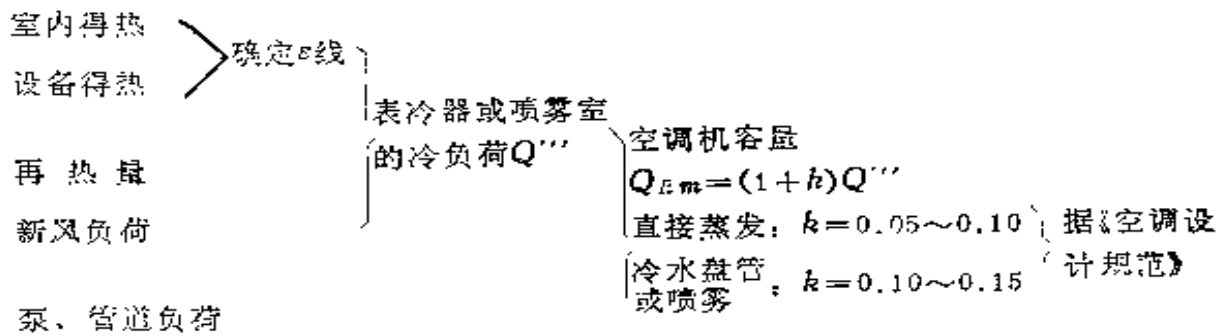
当没有合适规格的空調机可供选择时，可自行设计表冷器装置配以风机(或者用现成的风机盘管)，由冷水机组供应冷冻水，冷水机组可以专设或和工艺共用。

9.3.2 空調机容量选择

1. 空調机容量与空調负荷的关系

选择空調设备除了考虑前面讲到的不同类型设备的特点外，主要根据空調等各种负荷选择空調机的合适容量。

但是空調机容量并不直接等于空調负荷——室内得热和设备得热之和，而是有如下的几层关系：



2. 直接蒸发式空調机容量选择

直接蒸发式空調机是最常选用的一种机组，所以这里主要说明一下这种机组的选择，至于非直接蒸发式由于涉及到表冷器的计算和冷水机组的选择，本书不再深入讨论了。

① 概念。

空調机铭牌冷量：在铭牌风量下，蒸发温度 $t_z = 5^\circ\text{C}$ ，冷凝温度 $t_k = 40^\circ\text{C}$ 的标准工况下的冷量。但各厂标准工况并无统一标准，有以下两种情况：

恒温恒湿机组——一般指在铭牌风量下，回风干球温度 20°C ，相对湿度 65%；或 20°C 、55%；或 23°C 、65%；并进少量新风时的冷量。

降温去湿机组——一般指在铭牌风量下，回风干球温度 27°C 时的冷量。

空调机标准冷量：在铭牌风量下，蒸发温度 $t_2 = -15^\circ\text{C}$ ，冷凝温度 $t_k = 30^\circ\text{C}$ 时的冷量。因为各厂对机组的 t_2 和 t_k 并无统一标准，因此用铭牌冷量换算成其它设计工况下的冷量不方便，可采用机组标准冷量作为换算的统一标准。

②单位。

空调设备冷量的法定计量单位有 kJ/h 或 W ，过去习惯用 kcal/h ，而遇到国外设备时又常有用冷吨和 Btu/h 的，甚至还有用 HP 的。现列出这些单位的换算关系如表9-7。

制冷量单位换算表

表9-7

	日制冷吨	美制冷吨	kcal/h (千卡/时)	Btu/h (英热单位/时)	HP (马力)	kJ/h (千焦/时)	W (瓦)
日制冷吨	1	1.054	3320.0	13174.8	5.28	13900	2861
美制冷吨	0.9146	1	3024.0	12000	4.78	12661	2576
旧英制冷吨	1.013	1.115	3473.3	13386.2	5.33	14123	3922.4
新英制冷吨	1.081	1.187	3589.5	14244.1	5.67	15029	4185.4
kcal/h	3×10^{-4}	3.3×10^{-4}	1	3.968	1.58×10^{-3}	4.1868	1.163
Btu/h	7.2×10^{-5}	8.33×10^{-5}	0.252	1	3.98×10^{-4}	1.055	0.2932
HP	0.19	0.21	632.25	2511	1	2647.1	735.3
kJ/h	7.2×10^{-5}	7.9×10^{-5}	0.239	0.105	3.78×10^{-4}	1	3.6
W	2.0×10^{-4}	2.8×10^{-4}	0.86	0.298	1.36×10^{-3}	0.278	1

③换算。

a. 由前面计算得到的空调机容量，不能简单由它来选择与其相同的铭牌冷量，因为设计工况和铭牌工况不同，当处理后的进风温度低于铭牌工况值时，则产冷量将减少，所以应注意设计工况（如机组回风湿球温度）与样本上给出的工况（如干球温度和相对湿度，由此可求出湿球温度）相当，否则应从样本给出的如图 9-32 所示曲线查出设计工况下空调机组的实际容量。

b. 如果样本上没有给出上述换算图，则可按其给出的标准冷量进行换算：

$$Q'_{Am} = 0.9K_1 Q_0$$

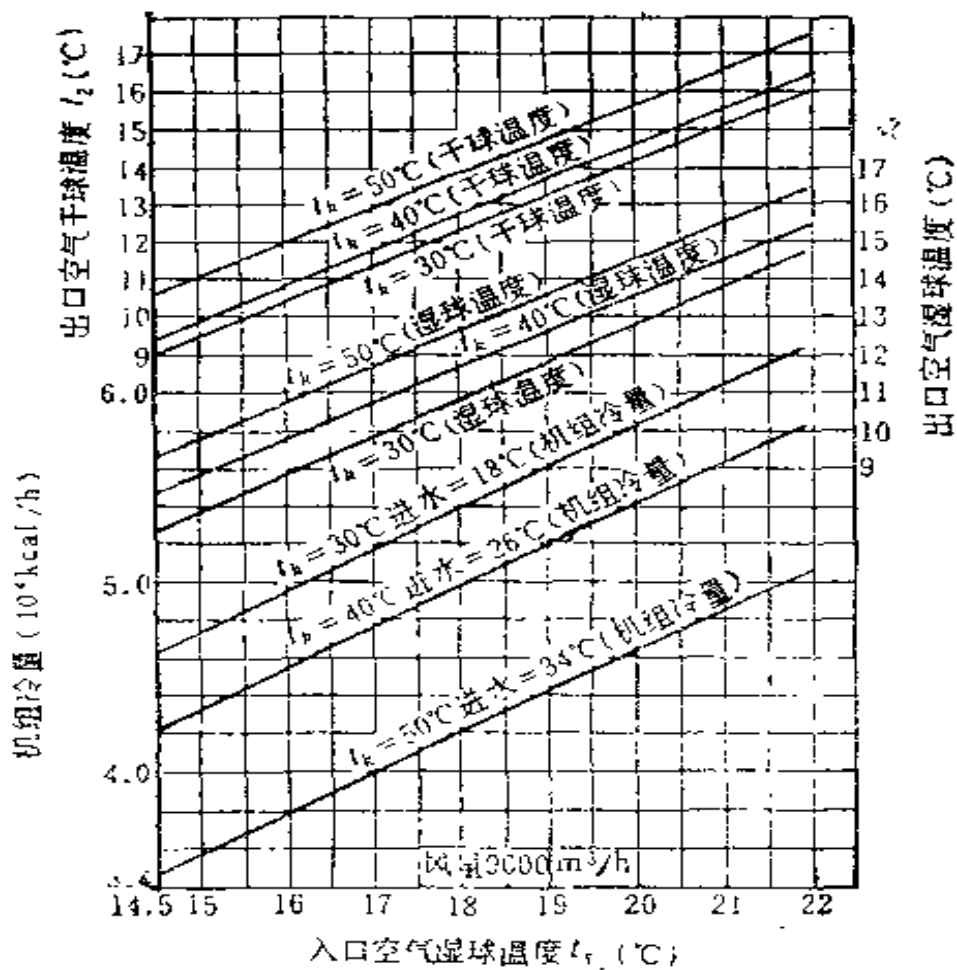


图9-32 LH48机组的容量换算

$$= 0.419GC\Delta t_e^{0.874} e^{0.0388t_{s1}} \text{ kJ/h} \quad (9-29)$$

式中 Q_0 —— 机组标准制冷量;

K_1 —— 冷量换算系数, 由图9-33查取;

G —— 铭牌风量;

C —— 大气压力修正系数, 大气压力低于一个大气压则系数大于1, 600mmHg时为1.184, 700时为1.059;

t_{s1} —— 直接蒸发式表冷器进口空气湿球温度;

Δt_e —— $t_{s2} - t_{s1}$, t_{s2} 为表冷器出口空气湿球温度。

选择 $Q'_{Rm} = Q_{Rm}$ 的机组, 即是设计工况所要求的机组。

〔例1〕北京地区因降温需要选择一台LH48机组, 当进入机组

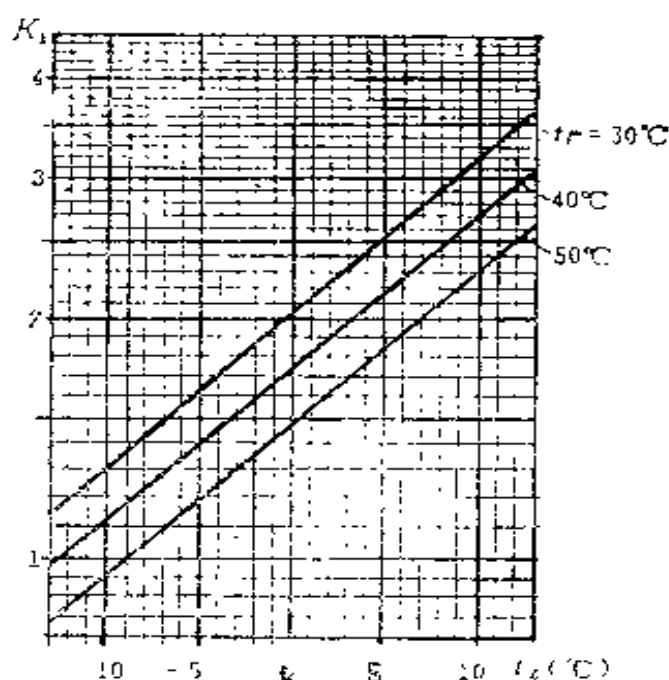


图9-33 常用空调范围的 K_1 值(据空调设计手册)

的空气干球温度约为 25°C ，相对湿度约为60%时，设蒸发温度为 5°C ，风冷冷凝温度为 40°C ，在这个条件下机组出力如何？

〔解〕：由760mmHg $i-d'$ 图上查得进入机组空气的湿球温度约为 19.3°C ，查图9-32，由 $t_{s1}=19.3$ ， $t_k=40$ ，得 $Q'_{Rm}=221964$ kJ/h (53000kcal/h)，所以将比铭牌冷量201024kJ/h (48000 kcal/h)稍大。

〔例2〕 同上例，设选KD10机组，铭牌冷量为117264 kJ/h (28000 kcal/h)，结果如何？

〔解〕 查图9-33，由 $t_z=5$ 和 $t_k=40$ 之交点得 $K_1=2.15$ ，由样本知KD10标准冷量 $Q_0=58632$ kJ/h (14000kcal/h)，则

$$\begin{aligned} Q'_{Rm} &= 0.9 \times 2.15 \times 58632 \\ &= 113453 \text{ kJ/h (27090 kcal/h)} \end{aligned}$$

和铭牌冷量相比少3.2%，不影响使用。

第十章 管路计算

10.1 阻力计算

10.1.1 摩擦阻力

空气在管道内流动由于其粘滞性和与管壁摩擦而产生的阻力即摩擦阻力，也叫沿程阻力。流经该管段后的空气能量损失了，全压降低了。

$$\Delta P_m = \lambda \frac{1}{4R_s} \frac{v^2 \rho l}{2} \quad (10-1)$$

式中 ΔP_m ——摩擦阻力(Pa)；

v ——管道内流速(m/s)；

ρ ——空气密度(kg/m³)，20°C时取1.2；

l ——风管长度(m)；

R_s ——风管水力半径(m)；

$$R_s = \frac{f}{B}$$

f ——管道中充满流体部分的横断面积(m²)；

B ——湿周即风管周长(m)；

λ ——摩擦阻力系数，

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{K}{3.71} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \quad (10-2)$$

K ——管壁粗糙度，对于金属管道， $K=0.15\sim 0.18$ ，
塑料管道 $K=0.01\sim 0.05$ ，混凝土管道 $K=1\sim 3$ ；

Re ——雷诺数， $Re = \frac{vd}{\nu}$ ， ν 为运动粘滞系数，20°C。

时取 $15.06 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 。

10.1.2 局部阻力

当空气流经弯头、三通及变径管等管件时，由于流向和断面的变化引起流速的重新分布并产生涡流，从而产生阻力 即局部阻力，也就是管件前后的全压差。

$$\Delta P_s = \xi \frac{V^2 \rho}{2} \quad (10-3)$$

式中 ΔP_s ——局部阻力 (Pa)；

ξ ——局部阻力系数，从一般手册都可查到，但必须注意 ξ 值对应于哪一个断面的气流速度。

10.1.3 管网特性曲线

系统总阻力即为上述摩擦阻力和局部阻力之和，若用风量和管道断面积表示风速，则可写成：

$$\Delta P = \Sigma \left(\frac{\lambda l}{4R_s} + \Sigma \xi \right) \left(\frac{Q}{f} \right)^2 \frac{\rho}{2} \quad (10-4)$$

对于一定的管网系统和空气参数， λ 、 l 、 R_s 、 f 、 ρ 等均为常数，令

$$K = \Sigma \left(\frac{\lambda l}{4R_s} + \Sigma \xi \right) \frac{\rho}{2f^2} \quad (10-5)$$

则式(10-4)可简化为：

$$\Delta P = K Q^2 \quad (10-6)$$

式中 K 称为管网总阻力系数或管网特性系数，式(10-6)称管网特性方程，在直角坐标系中表示为一条通过原点的二次抛物线(第五章中述)。

一个既定系统若其流量改变，其阻力也将改变，但 K 是常数，所以

$$\frac{\Delta P'}{\Delta P''} = \left(\frac{Q'}{Q''} \right)^2$$

$$\Delta P' = \Delta P'' \left(\frac{Q'}{Q''} \right)^2 \quad (10-7)$$

若已知 $\Delta P''$ 、 Q'' ，则每假定一个 Q' ，即有一个 $\Delta P'$ 。

例如， $Q'' = 6000 \text{ m}^3/\text{h}$ ， $\Delta P'' = 611 \text{ Pa}$ ，
则 $Q' = 4000 \text{ m}^3/\text{h}$ 时，

$$\Delta P' = 611 \left(\frac{4000}{6000} \right)^2 = 272 \text{ Pa}$$

将相应的 ΔP 和 Q 点标在直角坐标上即得管网特性曲线，由此即可知道任意风量下系统阻力是多大。

10.1.4 阻力简略算法

(1) 绘制系统轴测图，对各管段编号，注明长度和风量。长度包括各管件长度。

(2) 选择管内流速。流速按表10-1选用。

推荐风道风速

表10-1

部 位	风 速 (m/s)
总管和总支管	6~8
分 支 管	5~7
送回风支管	3~5
风 机 入 口	4~5
新 风 入 口	2.5~4
室内高效过滤器送风口	≤ 0.7
孔 板 孔 口	2~5
散流器喉口	2~3
侧 送 风 口	2~5
乱流洁净室室内回风口	< 2
走廊回风口	< 4
单向流室内回风口	< 1.5

(3) 计算管段断面尺寸。

(4) 计算摩擦阻力和局部阻力。

除按上面公式计算外，也可简略计算：

直管部分单位阻力系数 $R \approx 0.1$ ，设管长为 l ，则 $\Delta P_m = Rl$ ；

局部阻力可取作直管部分的 k 倍， k 值可按表 10-2 选用，

$$\Delta P_s = k\Delta P_m。$$

k 值

表10-2

小系统(50延米以下)或拐弯多的大系统	$k=1.0\sim1.5$
大系统	$k=0.7\sim1.0$
有消声器时	$k=1.5\sim2.5$

计算阻力应从最长的环路(最长的送风管和最长的回风管)开始。

(5) 对并联管路阻力进行平衡，使其间的差值不大于10%~15%。

(6) 计算系统总阻力：

①最不利环路阻力即风管阻力 ΔP_1 ；

②空调器内阻力 ΔP_2 ：包括

表冷器阻力

加热器阻力

箱体阻力(不含过滤段)

③过滤器阻力 ΔP_3 ：包括

粗效过滤器阻力：初阻力 + 50 Pa 或 $2 \times$ 初阻力

中效过滤器阻力：初阻力 + 80~100 Pa 或 $2 \times$ 初阻力

亚高效过滤器阻力：初阻力 + 100 Pa 或 $2 \times$ 初阻力

高效过滤器阻力：初阻力 + 120 Pa 或 $2 \times$ 初阻力

④其它阻力 ΔP_4 ：包括

静压箱阻力

风阀阻力

新风口阻力

回风口阻力

室内正压

⑤总阻力 ΔP_5

$$\Delta P_5 = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4 \quad (10-8)$$

(7) 选择风机：根据总风量和总阻力选择风机：

风机风量 $\approx (1 \sim 1.1) \times$ 总风量

风机静压 $\approx (1.1 \sim 1.15) \times$ 总阻力

10.2 消声计算

对于噪声要求严格的净化空调系统需要进行消声计算。由于净化空调系统一般属于低速系统，在消声计算时可不计算气流再生噪声。

对于噪声的基本概念这里不作介绍，而从实用出发，介绍一般的消声计算程序：

(1) 计算风机各频段总声功率级；

(2) 计算风管系统(风管、弯头、三通、变径管、风口反射等)和房间的各频段噪声自然衰减量；

(3) 根据已确定的房间噪声标准查出各频段允许噪声值；

(4) 根据上述结果选择消声器。

具体计算程序如下。

序号1. 风机总声功率级 L_w (dB)：

根据风机样本查得其单位风压、单位风量下的比声功率级 L'_w (dB)、风量 L (m^3/h)和全压 H (Pa)，由下式计算：

$$L_w = L'_w + 10\lg(LH^2) \quad (10-9)$$

对于一般风机，也可取 $L'_w = 5$ dB。

两台风机运行时，其声功率级

$$L_{W2} = L_W + \Delta L_W \quad (10-10)$$

式中 L_W ——为声功率级较高的一台风机的值；

ΔL_W ——附加声功率级，由表10-3选用。

两个 L_W 的差(dB)	ΔL_W 值						
	0	1	2	3	4	6	9
ΔL_W	3.0	2.6	2.2	1.8	1.5	1.0	0.5

多台风机时可先算两台再与第三台进行叠加，以此类推。

如果多台为同型号风机，噪声相同，可按下式计算：

$$LW_n = LW + 10 \lg n \quad (10-11)$$

式中 LW_n ——总噪声；

n ——风机台数。

将计算结果填入表10-12。

序号2 进行叶片的各频段修正，即把表10-4中的各值填入表10-12。

通风机类型	频 程 修 正 值								备 注
	中 心 频 率								
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
离心式叶片 前倾	-2	-7	-12	-17	-22	-27	-32	-37	11-74型 9-57型
离心式叶片 后倾	-3	-6	-7	-12	-17	-22	-26	-33	4-72型 T4-72型 T4-79型
轴流式	-9	-8	-7	-7	-8	-10	-14	-18	

序号3 修正后的风机各频段声功率级：

$$\textcircled{3} = \textcircled{1} - \textcircled{2}$$

序号4 风道直管部分的噪声自然衰减：

从表10-5中按最大边尺寸查出每米直管的衰减量，再乘以管长，结果填入表10-12。

风管的自然衰减量
(只有直风道是dB/m，其他都是dB) 表10-5

衰减量 (dB/m)		中心频率 (Hz)									
				63	125	250	500	1000	2000	4000	
最大边尺寸(m)											
矩形风道	0.075~0.2	0.6	0.6	0.45	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3		
	0.2~0.4	0.6	0.6	0.45	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2		
	0.4~0.8	0.6	0.6	0.3	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15		
	0.8~1.6	0.45	0.3	0.15	0.1	0.06	0.06	0.06	0.06		
矩形弯管	宽0.13(m)	0	0	0	1	5	7	5	5		
	0.26	0	0	1	5	7	5	3	3		
	0.51	0	1	5	7	5	3	3	3		
	1.00	1	5	7	5	3	3	3	3		
圆形弯管	直径0.13~0.26(m)	0	0	0	0	1	2	3	3		
	0.26~0.51	0	0	0	1	2	3	3	3		
	0.51~1.00	0	0	1	2	3	3	3	3		
	1.00~2.00	0	1	2	3	3	3	3	3		
三通	直支管断面积/总管断面积	5	10	15	20	30	40	50	80		
	衰减量(与频率无关)	13	10	8	7	5	4	3	1		

序号5 弯头的自然衰减量：

从表10-5中查出每个弯头的自然衰减量，再乘以弯头总数，结果填入表10-12。

序号6 三通的自然衰减量：

从表10-5中按支管断面积/总管断面积，查出每个三通衰减量，再乘以三通总个数，结果填入表10-12。

序号7 送风口的末端反射：

这是在从风口到房间的突然扩大过程中，有一部分声能反射

回管道内，因而衰减。从表10-6中按风口尺寸查出反射衰减（只计算1个），填入表10-12。

风口末端反射 (dB)

表10-6

风口尺寸		频 程 (Hz)						
直径(m)	断面积(m ²)	63	125	250	500	1000	2000	4000
0.13	0.02	17	12	8	4	1	0	0
0.26	0.06	12	8	4	1	0	0	0
0.51	0.26	8	4	1	0	0	0	0
1.00	1.0	4	1	0	0	0	0	0
2.00	4.1	1	0	0	0	0	0	0

注：适用于风口与墙面或顶棚平行，而且与房间的其他表面距离在3~4倍风道直径的场合。小于此距离时，用大一档尺寸的衰减量。

序号8 管路自然衰减总和：

$$\textcircled{8} = \textcircled{4} + \textcircled{5} + \textcircled{6} + \textcircled{7}$$

结果填入表10-12。

序号9 风口处的声功率级 L_w

$$\textcircled{9} = \textcircled{3} - \textcircled{8}$$

结果填入表10-12。

序号10 室内吸声效果：

由于房间内的内壁、家具和设备等的吸声作用，使进入房间的噪声产生衰减。室内测点(人耳)处的声压级衰减量如下计算：

首先从表10-7查出吸声效果(要求送风口到人耳有一定距离，一般洁净室都能满足)，再加上由表10-8查出的面积修正值 ΔL ，即为声压级的衰减量，将这两者之和填入表10-12。

序号11 送风口声压级 L_p ：

送风口处声功率级与室内吸声效果之差反映声功率级的转换及送风口处的声压级：

房间吸声效果声压级 dB

表10-7

顶棚高度 (m)	房间表面装修	频 程 (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
3.0	硬中软	4	2	1	1	1	2	2	3
		4	4	4	4	4	4	4	5
		4	5	6	6	6	6	7	7
6.0	硬中软	4	2	1	1	1	2	3	5
		4	4	4	4	4	4	5	6
		4	5	6	6	6	6	7	8
9.0	硬中软	4	2	1	1	2	2	3	6
		4	4	4	4	4	5	5	7
		4	5	6	6	6	7	7	8
12.0	硬中软	4	2	1	1	2	2	4	7
		4	4	4	4	4	5	5	8
		4	5	6	6	6	7	7	9

地板面积修正值 ΔL 和最小距离

表10-8

地板面积 (m ²)	房间内表面积 (m ²)	修正值 ΔL (dB)	人耳与最近送风口的最小距离(m)			
			送风口数 1	2	3	4
11.6	58	0	1.3	1.0	0.8	0.7
23	102	+2	1.7	1.4	1.1	0.9
46	186	+5	2.3	1.8	1.4	1.1
93	325	+8	3.1	2.3	1.8	1.4
186	604	+11	4.0	3.1	2.3	1.8
372	1161	+14	5.5	4.0	3.1	2.4

$$\textcircled{11} = \textcircled{9} - \textcircled{10}$$

结果填入表10-12。

一般情况下的声功率级与声压级的转换计算较复杂，这里不加讨论。

序号12 送风口个数修正值：

当室内有几个同样大小的送风口时，其噪声级只比一个送风

口时增大 $10\lg n$ ，其值列于表10-9。

送风口个数修正值 表10-9

送风口 个数	1	2	3	4	8	10	20
送风口声压级 L_p 增量 (dB)	0	3	5	6	9	10	13

查表结果填入表10-12。

序号13 室内有几个送风口时的送风口声压级 L_p :

$$\textcircled{13} = \textcircled{11} + \textcircled{12}$$

结果填入表10-12。

序号14 室内允许的声压级 L_p :

过去噪声评价曲线用 NC 曲线 (图10-1)，现在美国暖通空调工程师学会提出用房间评价曲线(RC 曲线，图 10-2)来评价，RC 曲线把低频范围扩大到31.5Hz，而且比 NC 曲线稍陡。我国采用国际标准组织 (ISO)推荐的噪声评价曲线，即 N (或NR) 曲线，如图10-3所示。

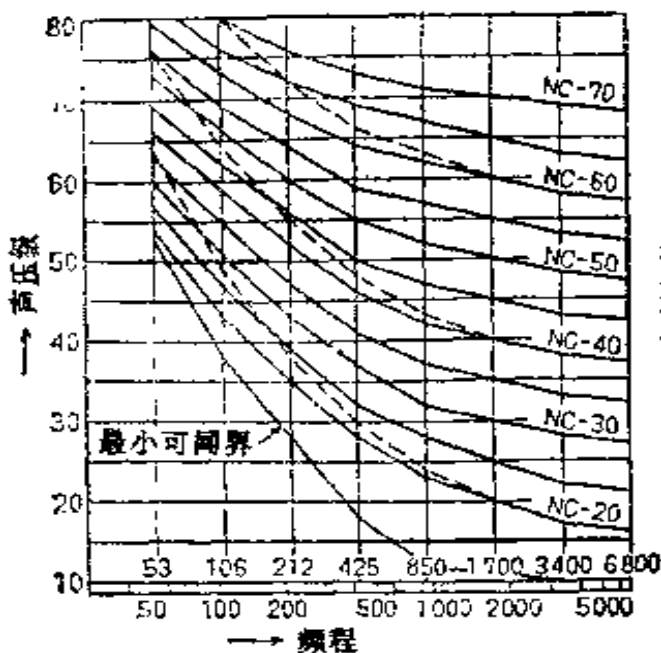


图10-1 NC曲线

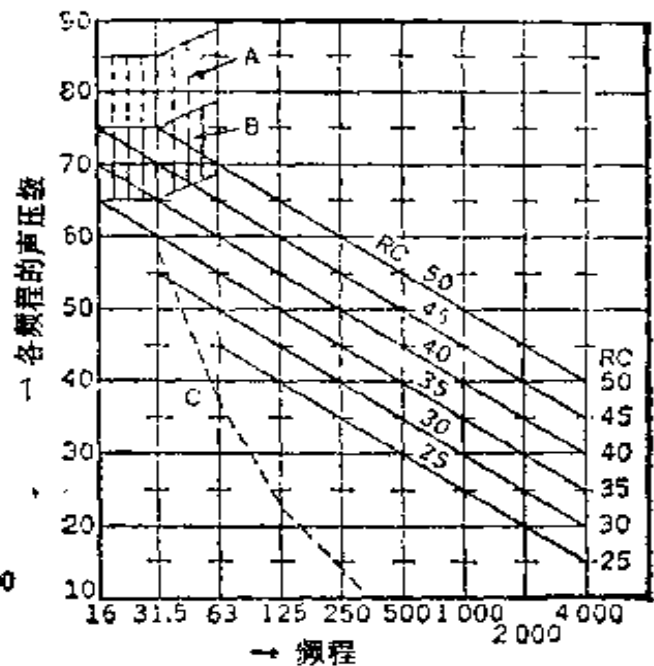


图10-2 RC曲线

例如选择 N30 (或RC30)来评价时，就是由图中 N30 的线查出每一频率下容许的声压级 L_p ，而声压级 L_p 和接近人耳对噪声

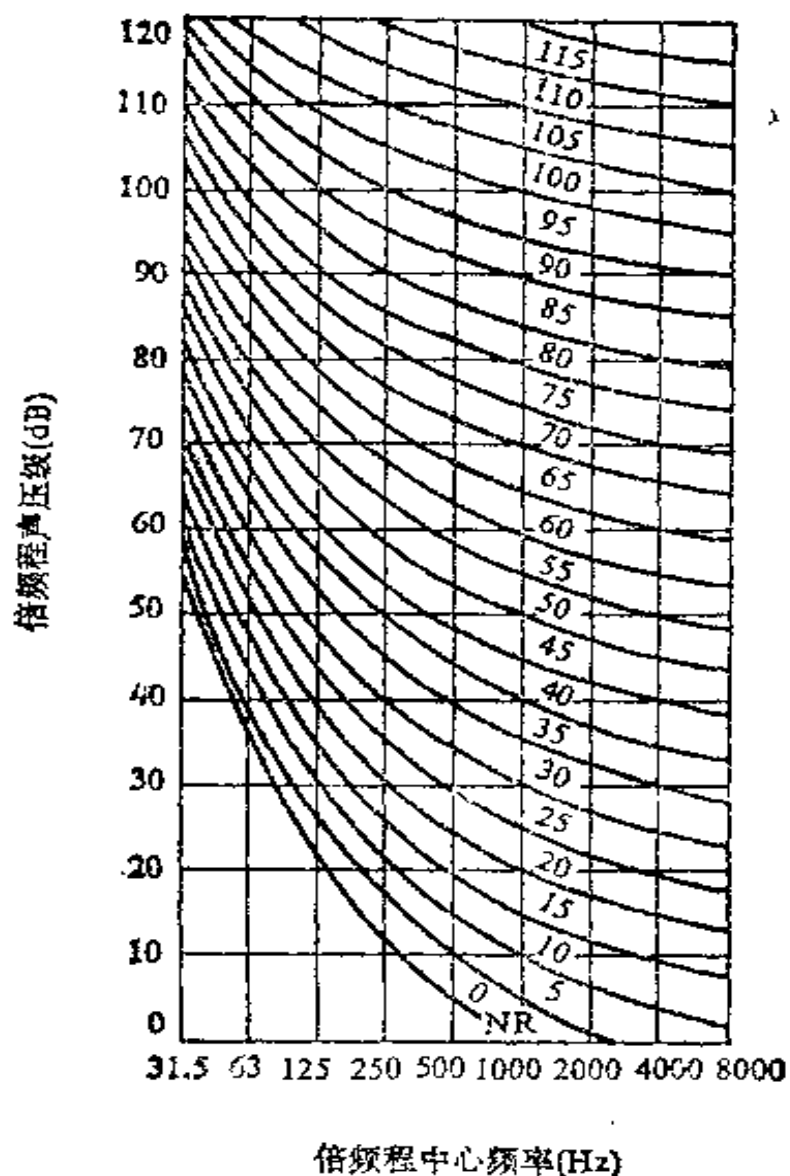


图10-3 N(NR)曲线

响应的声级计A档特性相比,数值约少5dB,即要求35dB(A)时,可查N(或RC)30曲线。部分室内允许的噪声标准列于表10-10。

把根据允许的NC或RC曲线号数由图中查出的不同频段下的声压级填入表10-12。

序号15 消声器应负责的消声量:

$$\textcircled{15} = \textcircled{13} - \textcircled{14}$$

把室内送风口实际的声压级和室内允许声压级之差填入

室内允许噪声标准(dB)

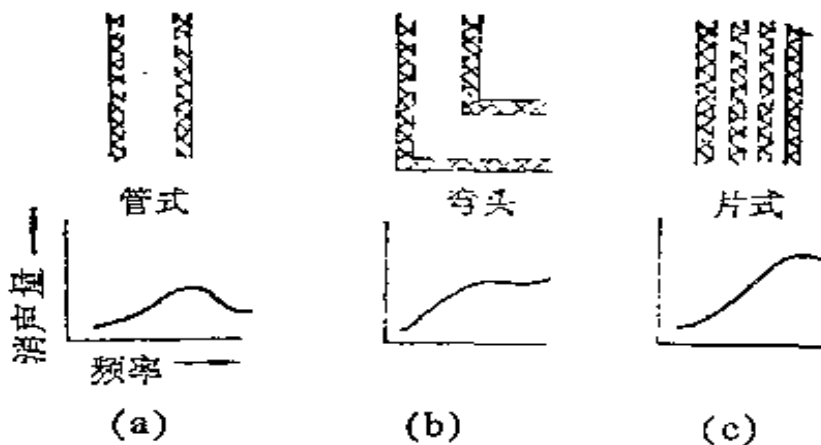
表10-10

建筑物性质	噪声评价曲线(N或RC)号数	声级计A档读数dB(A)
扩音室	20~30	25~35
剧场音乐厅	20~30	25~35
会议室	25~30	30~35
一般办公室	35~40	40~45
计算机室	40~45	45~50
病房	25~30	30~35
手术室	35~40	40~45
乱流洁净室(空态)	50~55	55~60
单向流洁净室(空态)	55~60	60~65
车间(根据不同用途)	45~70	50~75

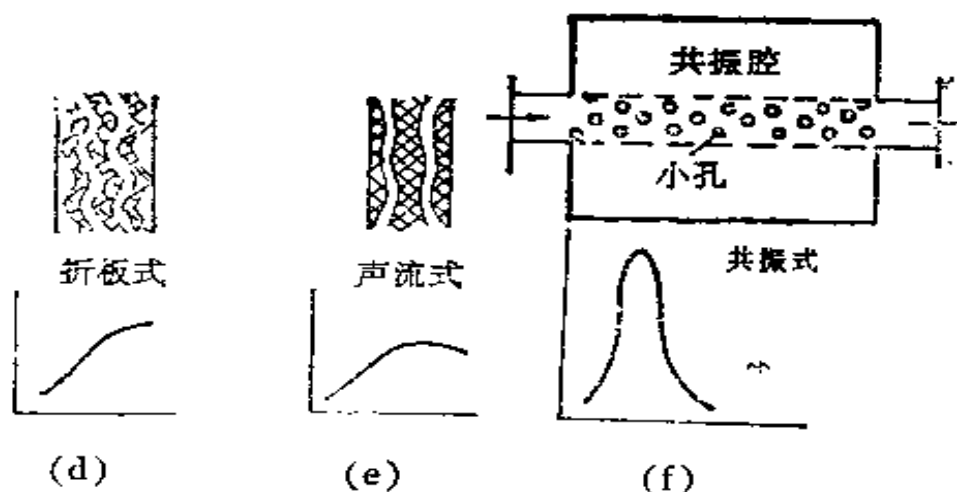
表10-12, 即得到消声器在各频段上应该消去的噪声量。

假定应该消去的噪声量如表10-12序号15所记(以上各序号的数据未记入), 设选用阻抗复合式消声器, 再把图 10-4 中该消声器在各频段下的衰减量记入表10-12序号16。如序号 16 的值均大于序号15的值, 表明消声器选择正确。

图10-4和图10-5给出各类消声器及其特性。



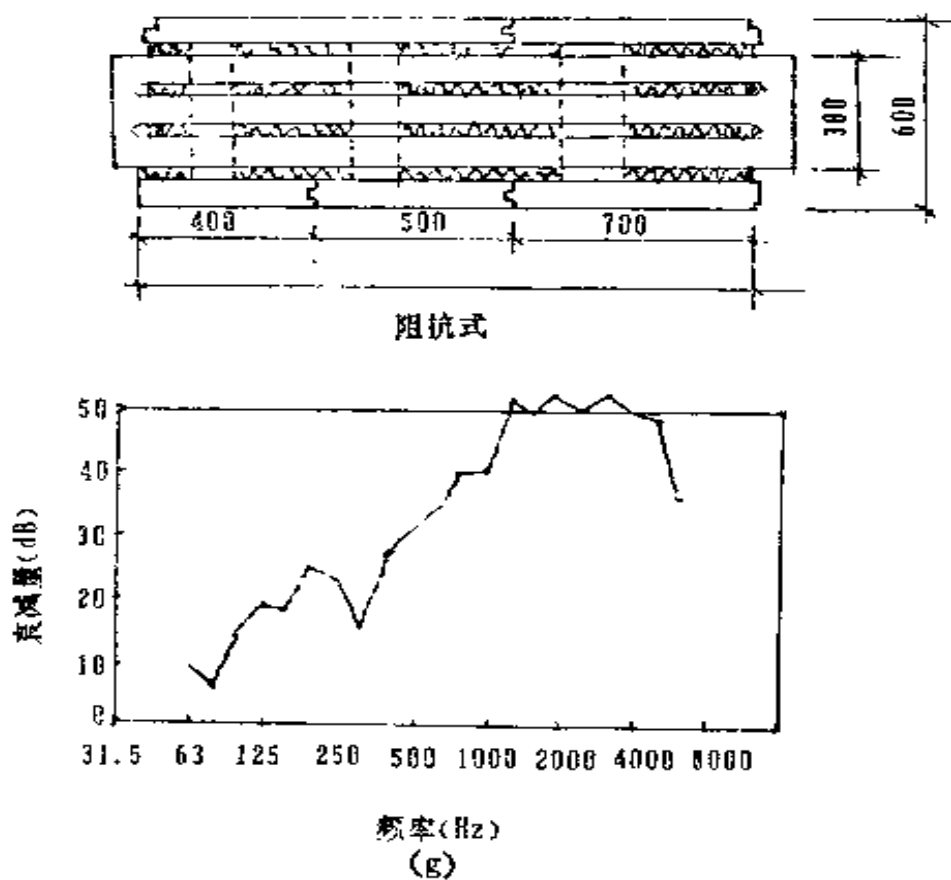
- (a)制作方便, 阻力小, 断面大时高频消声性能差;
- (b)流速不宜过高, 否则易产生气流再生噪声;
- (c)不占地, 辅助改善消声效果;



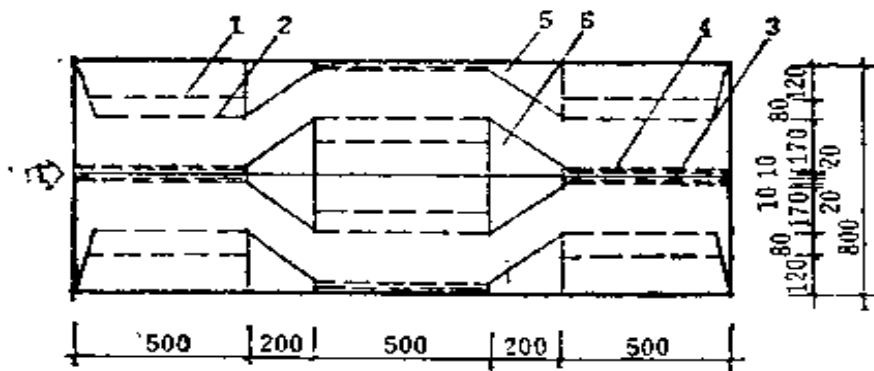
- (d) 比片式阻力大，但提高了中、高频声的消声效果；
 (e) 阻力和效果均优于折板式；
 (f) 一般用以消除低频噪声。

(a、b、c、d、e是阻式，f是共振式)

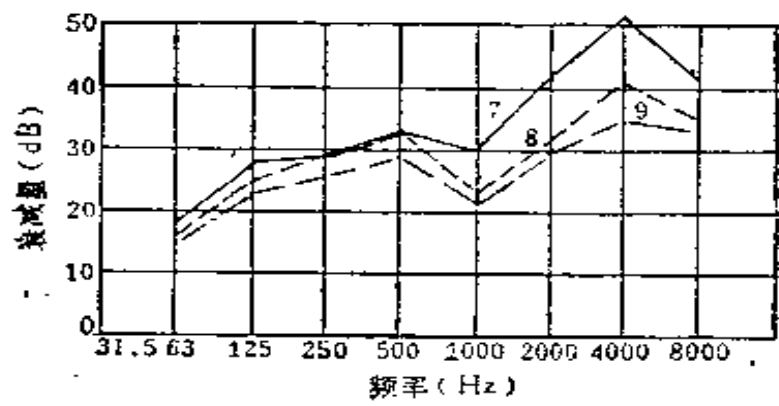
图10-4 各种消声装置的特性(1)



阻性和抗性或共振性消声器的组合，对低频的消声性能好

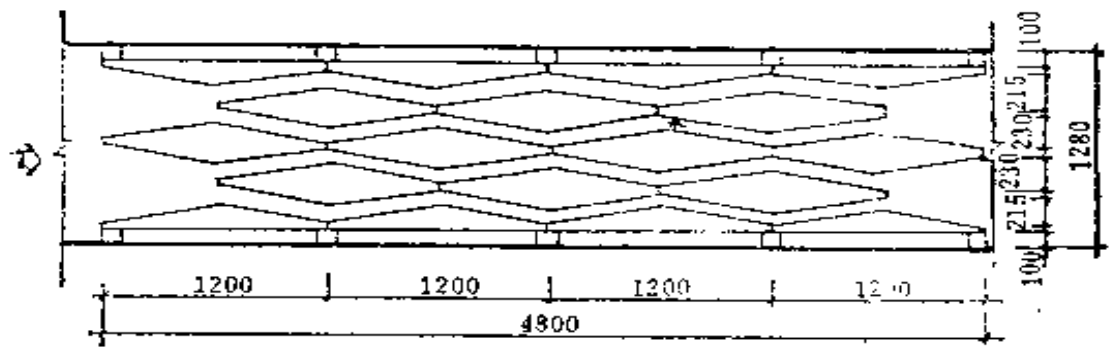


微穿孔板

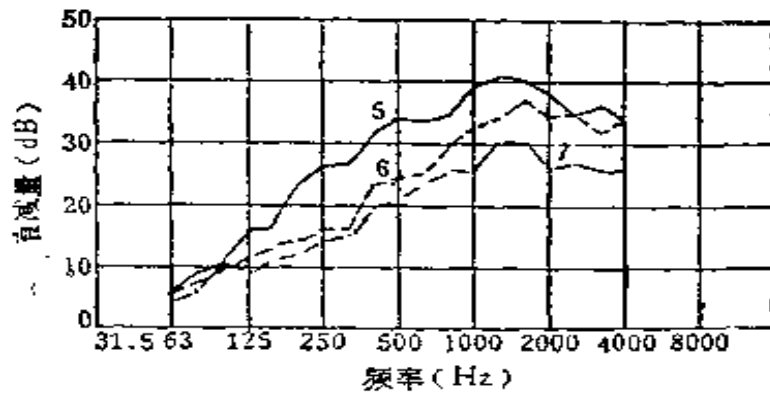


(h)

孔径与板厚均 $<1\text{mm}$ ，双层板，穿孔率和后腔大小均不同，阻力小，无填料，不起尘



微穿孔板与铝板网组合



(i)

穿孔板简化了，但加了铝板网、尼龙纱，内填充料

1~4—微穿孔板，5~6—共振腔，7—白噪声，

8— $v=7\text{m/s}$ ，9— $v=10\text{m/s}$

(g、h、i是复合式)

图10-5 各种消声装置的特性(2)

表10-11给出了常用消声弯头的衰减量。由此表可见，带空气层的消声弯头消除低频噪声的效果更明显。

消声弯头衰减量

表10-11

结 构	风道宽度 (m)	频 程 (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
带空气层	0.2	5	5	6	11	20	25	27	27
	0.4	8	9	14	22	25	28	29	29
	0.6	9	11	17	24	27	29	30	30
	0.8	10	12	20	27	29	30	30	30
不带空气层， 在弯管下游侧 边贴吸声材料	0.13	0	0	0	1	6	11	10	
	0.26	0	0	1	6	11	10	10	
	0.51	0	1	6	11	10	10	10	
	1.00	1	6	11	10	10	10	10	
不带空气层， 在弯管上、下 游侧边都贴吸 声材料	0.13	0	0	0	1	6	12	14	
	0.26	0	0	1	6	12	14	16	
	0.51	0	1	6	12	14	16	18	
	1.00	1	6	12	14	16	18	18	

消 声 计 算

表10-12

序号	频 程 (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	送风机噪声								
2	叶片修正								
3	修正后风机各频段声 功率级								
4	风道衰减								
5	弯头衰减								
6	三通衰减								
7	送风口末端反射								
8	管路自然衰减总和								
9	风口处声功率级								
10	室内吸声效果								
11	送风口声压级								
12	送风口个数修正								
13	几个送风口时声压级								
14	室内允许声压级								
15	消声器应负责消声量	4	16	13	13	20	21	18	16
16	消声器能消的消声量	8	17	20	30	40	53	50	22

第十一章 洁净室的建筑装饰 和系统安装

11.1 洁净室建筑装饰概念

本章不讨论具有一般性洁净室的建筑结构，而着重讨论对洁净室综合性能有直接影响的建筑装饰。

洁净室的建筑装饰工程是指除主体结构和外门外窗之外的包括地而与楼而装饰工程、抹灰工程、门窗工程、吊顶工程、隔断工程、涂料工程、刷浆工程、缝隙及各种管线、照明灯具、净化空调设备、工艺设备等与建筑的结合部位缝隙的密封作业。

洁净室建筑装饰的重要性表现在以下两个方面：

(1) 对于综合性能的影响：要求不产尘(材料)、不积尘(结构)、不透尘(严密)。

(2) 对于造价的影响：洁净室与一般办公楼相比，是高造价的建筑物，如表11-1所列。而室内装饰工程造价(基础、墙等)又往往比主体结构造价高，见表11-2。

洁净室与办公楼的造价比较(据张利群1990)

表11-1

费用名称	洁 净 室 费 用						办公楼费用
	垂直单向流	水平单向流	洁净隧道	1000级	1万级	10万级	
空调工程设备材料加工费 (元/m ²)	2500	1800	1800	800	650	550	
冷冻工程设备材料加工费 (元/m ²)	300	300	300	270	230	190	
总建设费用 (元/m ²)	7800	4500	4000	2500	2200	1900	500

室内装饰造价与主体结构造价比较(据符济湘1986)

表11-2

厂房基本特征	洁净室类型	室内装饰造价:主体结构造价
钢屋架,钢筋混凝土结构, 有夹层,887m ² ,单层	100级垂直单向流	6:1
	100级水平单向流	4:1
	1万级	1.5:1
钢筋混凝土结构,有夹层, 1506m ² ,单层,局部二层	100级垂直单向流	2.77:1

洁净室建筑装饰工程造价中又以与风口配合的墙面与顶棚的造价为主,表11-3给出一个实例。

某工程建筑装饰造价的构成(据符济湘1986)

表11-3

类别	地面	墙面	顶棚	门窗	其它
100级垂直单向流	57%	4%	28%	3%	—
100级水平单向流	9%	80%	6%	5%	—
1万级	37%	5%	25%	9%	24%

11.2 材料要求

11.2.1 总要求

对建筑装饰材料的总要求或共性要求有以下各点:

- | | |
|-------------|------------|
| ①表面平滑; | ②表面有耐磨性; |
| ③良好的热绝缘性; | ④不易产生静电; |
| ⑤不吸湿、不透湿; | ⑥吸声性好; |
| ⑦容易加工; | ⑧表面不易附着灰尘; |
| ⑨容易除去附着的灰尘; | ⑩便宜。 |

11.2.2 地面

1. 一般要求

- | | |
|-------|--------------|
| ①耐磨性; | ②耐侵蚀(酸、碱、药); |
|-------|--------------|

- ③防静电； ④防滑；
⑤可无缝加工； ⑥易清扫。

2. 种类

①双层地面：是典型垂直单向流洁净室的地面。

总特点：可以地面回风，透气性好，造价高，弹性差。

材料：见表11-4。

双层地面材质

表11-4

种 类	材 料	特 点
铸 铝	铸铝板，防静电合成树脂板饰面	使用最多，种类多，轻，易加工，隔热差，价高
钢	钢板，防静电密胺树脂胶合板饰面	比铸铝便宜
格 栅	镀锌钢板	价廉，重，下面要安过滤器防偏流，镀锌粉易掉落，居住性差
	铝	价廉，轻，下面也要安过滤器，居住性差

图11-1给出了双层地面示例。

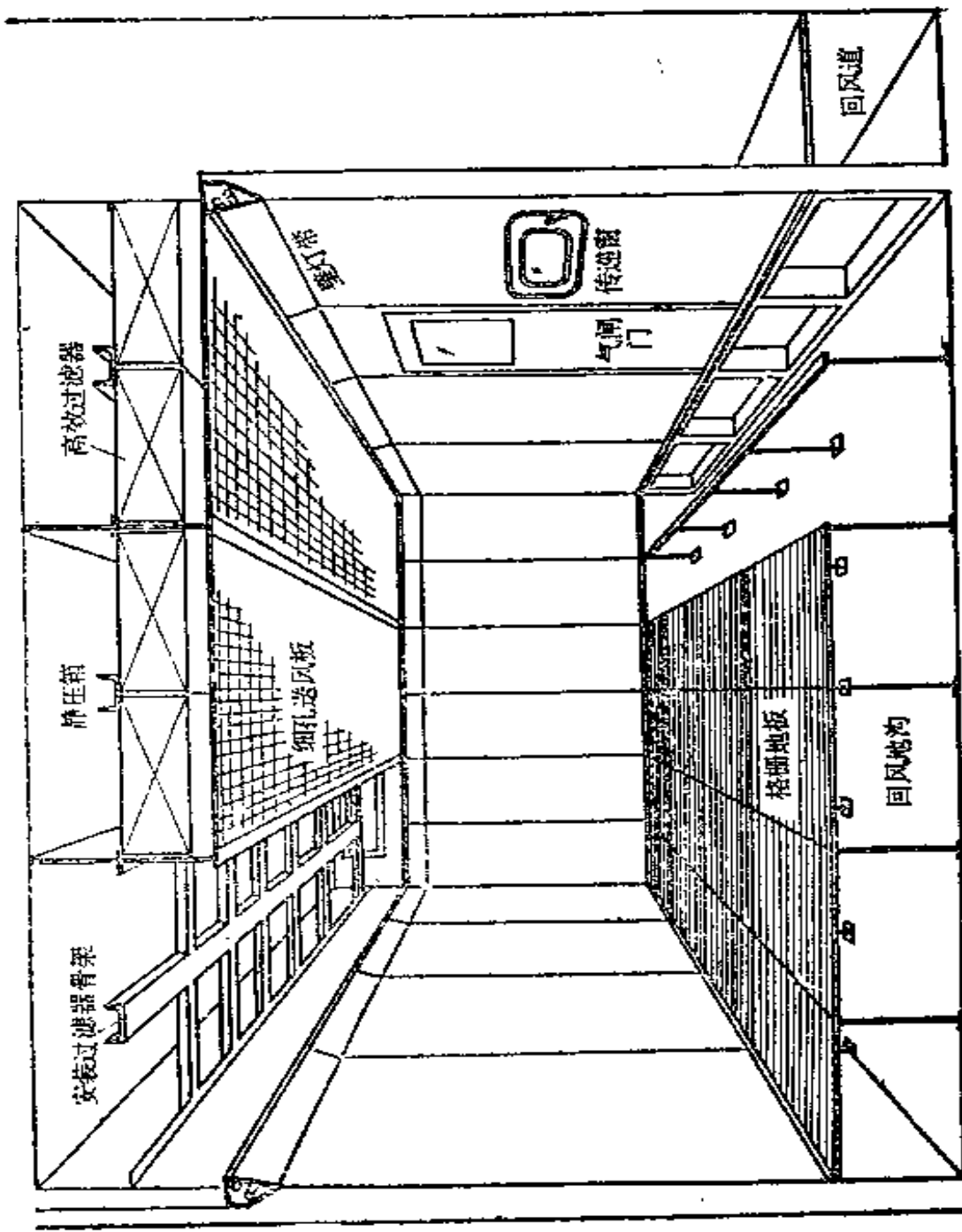
②水磨石地面：

总特点：光滑，不易起尘，整体性好，可冲洗，防静电，无弹性。

材料：425[#]水泥(为强度需要)； $d=6\sim 15\text{mm}$ 小石子(为光洁度和不起砂)；嵌条，要根据工艺要求确定材料，如显像管厂怕铜，就不能用铜嵌条，一旦铜污染了荧光粉，将使发光特性变化。

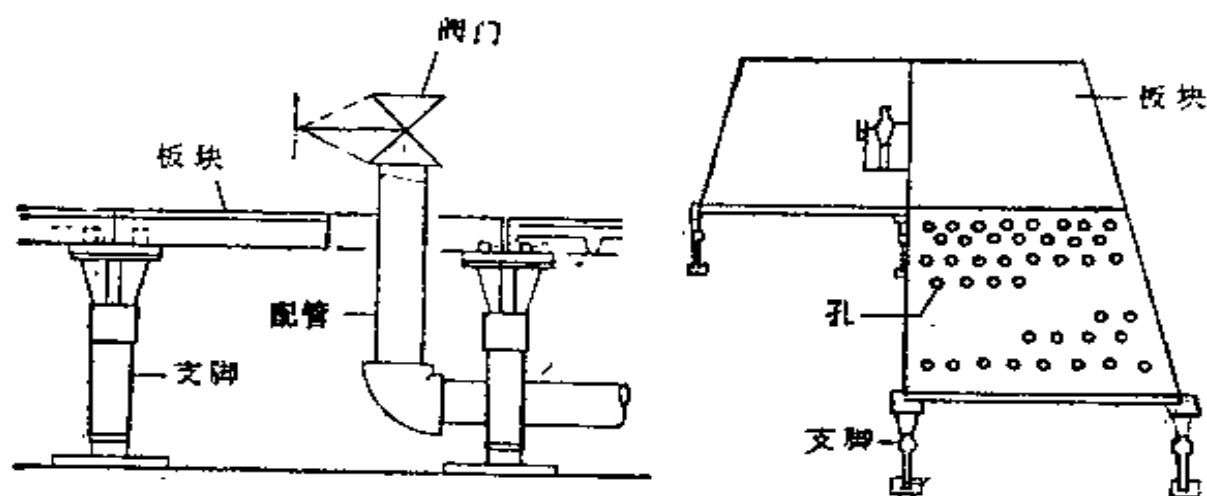
③涂料地面：

总特点：具有水磨石优点，耐磨，密封性好，有弹性，施工



α总图

图11-1 双层地面示例



b局部

图11-1 双层地面示例

复杂。

材料：在环氧树脂、聚脂树脂、聚氨脂树脂中加入颜料、硬化剂而成，水泥砂浆基底的水泥标号不低于425#。

表11-5是上述三种树脂的性能。

三种树脂的性能

表11-5

名称	作用	优点	缺点
环氧树脂	主剂和硬化剂进行反应硬化	粘力最强，耐酸碱（但不耐98%硫酸和40%HF），耐磨，耐冲击而不断，耐药，硬化时收缩少	价贵，居住性差。
聚氨脂树脂	单组分或双组分与空气反应硬化	特别耐水耐磨，有弹性，防滑，吸声，步感好，居住性好，可用流动法施工	在日光直射下会变色
聚脂树脂	主剂、硬化剂和填料一起反应硬化	耐强酸，耐水	硬化时收缩大，耐碱性差

据日本资料介绍，卫材川岛工团1986年7月建成的第三制剂车间，地面为环氧树脂搀合天然碎石而成，花纹图案好，强度高，施工期短，硬化时不收缩龟裂，不产尘，吸水性小。这一涂料地面很值得参考。

④卷材板材地面：

总特点：光滑，耐磨，略有弹性，不易起尘，易清洗，施工简单，易产生静电，受紫外灯照射易老化，因与混凝土基层伸缩不同，用于大面积时可能起壳。

材料：均为以聚氯乙烯树脂为主体的塑料。多数系由聚氯乙烯的表层和配有无机填料的里层构成。一般幅宽可达1830mm，长18~20m， $\delta=2\sim3\text{mm}$ 。

⑤耐酸磁板地面：

总特点：耐腐蚀，但质脆经不起冲击，施工较复杂，造价高，适用于有耐腐要求的区段，并宜用挡水线围起来。

材料：磁板加耐酸胶泥贴砌。

⑥玻璃钢地面：

总特点：耐腐蚀，整体性好，但膨胀系数和基底不同，所以宜小面积使用，并用防火品种。

材料：玻璃钢。

11.2.3 墙面

1. 一般要求

- ①不易脏，易清扫；
- ②表面光洁；
- ③一旦表面剥落或损坏时不产尘；
- ④耐冲击；
- ⑤转角处可用弧形材料或密封材料处理。

2. 种类

①高级抹灰：

总特点：根据《洁净室施工及验收规范》规定，洁净室墙面和吊顶的抹灰必须为高级抹灰。特点是阴阳角找方，设置标筋，分层找平，修整表面，压光。

材料：各种砂浆。

②乳胶漆：

总特点：气密性好，无剥落，价廉，不能水洗。

③环氧树脂漆、合成树脂漆

总特点：光滑，无剥落，能清洗，耐腐蚀，施工要求高。

④防霉涂料：

总特点：光滑，无剥落，能清洗，耐腐蚀。例如水性内墙防霉涂料：耐水和耐碱性96小时不起泡脱落，耐洗刷300次以上，耐霉菌经14天培养不长霉，常温贮存达6个月。

材料：有机高分子树脂、无机高分子材料和高效防霉剂复合而成。

⑤瓷类板材：

总特点：光滑，耐腐蚀，易清洗，缝多，不易砌平，施工要求高。

材料：瓷砖、陶瓷饰板(硅酸钙板)等。

⑥金属板材：

总特点：耐腐蚀，耐火，无静电，光滑，易洗，价高。

材料：环氧复合铝板，表面处理过的铝合金板，不锈钢板，彩色钢板。彩色钢板的基板是镀锌钢板，涂膜衬里是醇酸树脂，涂膜罩面是热硬化性丙烯树脂或环氧树脂或聚酯树脂。

⑦装配式洁净室壁板：

总特点：装配式洁净室是当今大量采用的一种洁净室型式，特别适用于改建场合。其壁板特点因材料而异。金属类壁板除具有金属板材特点外，双层填充壁板还具有隔热特点，适宜用于有空调特别是恒温要求的场合。双层填充壁板的强度很高，以板厚40mm、宽900mm、长1.8~2.7m、填充聚氨酯或石棉碳酸钙的标准模数壁板而言，每块短期荷载为4000N，长期安全荷载为2500N，受到1000Pa压力时，挠度为5~7mm。

材料：壁板由面材和芯材组成。要根据设计对象选用。

面材包括贴塑木板、铝合金板、钢板、彩色钢板等。

芯材有以下几种：

硬质聚氨酯泡沫：可壁内发泡，隔热性能优良。加入卤化有机磷化合物可作阻燃剂，由于混合方法不同而分可燃级、自熄级、不燃级、超不燃级，大量使用的是自熄级。

石棉碳酸钙发泡体：以轻质碳酸钙为主要原料，与无机纤维和耐火强化剂混合使之发泡，以少量聚氯乙烯树脂作为粘合剂成型，属于准不燃型。

夹聚苯乙烯板：通过胶与加压，把保温用的聚苯乙烯板夹在两块钢板之间，燃烧时会产生刺激性气体。

夹岩棉板：把岩棉夹在两块钢板之间，适合防火要求高的场合使用。

纸蜂窝板。

表11-6列出几种芯材的物理性能。

几种芯材物理性能(据早川一也)

表11-6

材 料	容 重 (g/cm ³)	导热系数 λ (kcal/mh ² C)
硬质聚氨酯泡沫	0.035	0.015
聚苯乙烯泡沫	0.03	0.032
玻璃棉	0.02	0.033
石棉	0.33	0.053
炭化氢软木	0.12	0.033
木材	0.50	0.150
石棉碳酸钙发泡板	0.09	0.035

11.2.4 吊顶

1. 一般要求

吊顶骨架自重要轻，刚度好，施工方便。

吊顶罩面板受人为摩擦少，而受吊顶上风管等振动影响多，所以控制振动脱落比控制材料表面硬度更重要。

2. 种类

吊顶骨架有：

型钢龙骨。特点是能适应送风口、灯具孔的布置，但钢材用量大；

轻钢龙骨。特点是自重轻，用钢少，接缝处理要慎重，但上人难，不能作为临时马道和支承重物，检修麻烦；

铝合金龙骨。特点是自重最轻，接缝处理要慎重，上人难，不能作为临时马道和支承重物，检修麻烦；

钢筋混凝土。特点是强度高，上人和安装检修均方便，但自重大，送风口和灯具孔多时，施工复杂，不易变更。

罩面板有：

作墙面用的大部分材料均可作为吊顶罩面板材料，此外保温彩色塑料板也是较好的罩面板材料。

11.2.5 密封嵌缝材料

1. 一般要求

- ①密封性能好，有一定弹性；
- ②不易老化；
- ③容易凝结固化；
- ④材料尽可能采用单组分型；
- ⑤容易施工；
- ⑥有一定的粘着力；
- ⑦无毒、无味，色泽外观与装饰协调。

2. 种类

密封胶种类很多，主要的有：

①硅橡胶类。

总特点：有广泛的适应温区，耐药性和耐油性均好，但不耐NaOH，有时有霉发生。

材料：是以硅氧烷结构为主体的半无机高分子橡胶状弹性材料，但增加了聚二甲基硅氧烷的分子量，减少交联段的官能团，

以提高机械强度，称为嵌段甲基室温硫化硅橡胶。

②聚氨脂类。

总特点：硬度高，弹性好，低温性能好，耐油和臭氧，耐水性差。

材料：由多异氰酸酯与带活泼氢的醇类、胺类，经固化剂（如甘油）作用反应的生成物。

③橡胶类。

总特点：弹性、耐药性、耐水性、耐油性和耐久性均较好。

材料：合成橡胶（如丁晴橡胶）。

表11-7中列出国产多种密封胶供选择。

11.2.6 特殊要求

根据《洁净室施工及验收规范》规定，在使用木材和石膏板时应加注意：

(1) 洁净室使用的木材的含水率不应大于16%，并且不得外露使用。由于洁净室换气次数大，相对湿度低，如大量使用木材，易干裂、变形、松动、产生灰尘等，即使要用也宜局部采用，并且一定做好防腐防潮处理。

(2) 一般洁净室需用石膏板时必须用防水石膏板，而对于生物洁净室由于经常用水擦洗和用消毒液冲洗，即使防水石膏板也要受潮变形，不耐冲洗，所以规定生物洁净室不应采用石膏板作罩面材料。

11.3 构造与装饰要求

这里的构造是指与建筑装饰有关的构造，而不是房屋结构。在洁净室设计中，应掌握对于构造和装饰的基本要求。

11.3.1 预埋件

预埋在钢筋混凝土构件和墙体上的铁件、木框等应牢固，木砖和木框应做防腐处理，预埋铁件外露部分和吊杆支架应做防锈或防腐处理。

国产密封胶(据李子东)

表11-7

牌号与名称	主要成份	基本用途	生产或研制单位
KS型 密封胶	丁晴橡胶	用于建筑安装和空调净化工程、系统设备的缝隙密封	空调研究所等
711 耐热密封胶	硅橡胶	用于-70~250°C的耐热密封	哈尔滨工业大学
7302 密封胶	改性聚酯	用于汽车、机床等的密封	大连第二有机化工厂
7303 密封胶	聚酯 酚醛树脂	用于机械、交通、仪表管路的密封	大连第二有机化工厂
7304 密封胶	聚碳酸酯 酚醛树脂	用于各种平面和螺纹连接的静密封	大连第二有机化工厂
CH-102 腻子	聚硫橡胶 石棉绒	用于机械、飞机、船舶、耐油防水密封	重庆长江橡胶厂
CH-107 密封胶	液体聚硫橡胶	用于铆接、螺栓、结构缝隙的耐油密封	重庆长江橡胶厂
CH-202 腻子	丁晴橡胶 酚醛树脂	用于汽车风挡、门窗密封	重庆长江橡胶厂
CH-502 密封胶	丁晴橡胶 酚醛树脂	用于螺纹、法兰连接防泄漏密封	重庆长江橡胶厂
CH-614 腻子	硅橡胶	用于绝缘、防潮、防振的密封	重庆长江橡胶厂
F-5 防腐密封胶	氟橡胶 环氧树脂	用作防腐密封	晨光化工 研究院一分院
HG-8 耐热密封胶	改性环氧树脂 有机硅树脂	用于耐高温密封	华南工学院
HH-65 防水密封胶	环氧树脂 沥青 橡胶	用于铆、焊、螺纹等连接处的防水密封	西安黄河 机器制造厂

续表

牌号与名称	主要成份	基本用途	生产或研制单位
HLR-1型 液体橡胶	聚氨酯	用于密封	河南省安阳市 乳胶厂
HY-960 轿车车身 密封胶	环氧树脂 液体聚硫橡胶 105缩胶	用于轿车车身焊缝的密 封	天津市 延安化工厂
J-13 耐碱密封胶	E-51环氧树脂 200聚酰胺	用于燃料电池的粘接密 封	黑龙江省石油 化学研究所
J-43碱性 电池密封胶	氯磺化聚乙烯	用于扣式电池粘接密封	黑龙江省石油 化学研究所
JGR型腻子	醋酸乙烯与丙烯酸 丁酯共聚物	用于金属喷漆前填充找 平	河北化工学院
JLC-1 聚硫密封胶	液体聚硫橡胶 环氧树脂	用于金属部件、电讯器 材等粘接密封	锦西 化工研究院
JLC-2 聚硫密封胶	液体聚硫橡胶 二氧化硅	用于汽车焊缝、风挡等 的密封	锦西 化工研究院
JLC-3 聚硫灌注材料	液体聚硫橡胶 氧化镁	船用电缆、隔仓、电缆 接头及电机等的灌封	锦西化工研究院
JLC-3 聚硫材料	液体聚硫橡胶 环氧树脂	用于光学仪器元件密封	锦西化工研究院
JLC-6 聚硫密封材料	液体聚硫橡胶 二氧化硅	用于建筑接缝、汽车雨 棚等的密封	锦西化工研究院
JLN-100 聚硫不干性腻子	固体聚硫橡胶 石棉	用于飞机座舱的密封	锦西化工研究院
JN-2 腻子(1101 ML-1)	氯磺化聚乙烯	用作耐酸耐碱的密封	上海橡胶 制品研究所
JN-3(7010) 硅橡胶腻子	107硅橡胶	用于雷达天线罩和电器 系统的密封	上海橡胶 制品研究所

续表

牌号与名称	主要成份	基本用途	生产或研制单位
JN-4密封胶 (S-2)	液体聚硫橡胶 环氧树脂	用于油箱、齿轮箱、气 柜的密封	上海橡胶 制品研究所
JN-5密封胶 (S-3)	液体聚硫橡胶 环氧树脂	用于电器开关的灌注密 封	上海橡胶 制品研究所
JN-8风档 玻璃密封胶	丁基橡胶	用于汽车、建筑物风窗 玻璃的密封	上海市橡胶 制品研究所
JN-10汽车 车身密封胶	氯丁橡胶 酚醛树脂	用于汽车车身接缝和挡 风玻璃等的密封	上海橡胶 制品研究所
KH-101 高真空密封胶 (1号密封胶、 XY-01)	环氧树脂 2-乙基4-甲基咪唑 DMP-30 二乙烯三胺	用于各种真空器件高真 空堵漏与密封	北京橡胶十二厂
KL-1 高温密封胶	硅酸盐无机胶	用于金属与非金属的密 封	中科院 兰州物理研究所
LG-31 液体密封胶	丁晴橡胶	用于法兰、管道接头的 密封	湖北省襄樊市 胶粘技术研究所
M-1密封胶	共聚尼龙 酚醛树脂	用于汽车、机床减速器 等的密封	黑龙江省化工 研究所 试验厂
M-2密封胶	酚醛树脂 液体聚硫橡胶	用于汽车、拖拉机、机 床等的密封	黑龙江省化工 研究所 试验厂
M-3密封胶	聚脲树脂	密封兼防锈	黑龙江省 化工研究所
M-4密封胶	聚异丁烯	用于螺纹接头的密封	黑龙江省 化工研究所
M-5密封胶	尼龙54 酚醛树脂	用于300°C轴承压盖和 密封	黑龙江省 化工研究所
M-6密封胶	α -氨基丙烯酸酯	用于漏油处涂胶止漏	黑龙江省 化工研究所
M-7密封胶	液体聚硫橡胶	用于机械、仪表的耐油 密封	黑龙江省 化工研究所

续表

牌号与名称	主要成份	基本用途	生产或研制单位
M-8密封胶	液体聚硫橡胶	用于机械、仪表的快速密封	黑龙江省 化工研究所
MF-1 液态密封胶	丙烯酸酯	用于机床、阀门、压缩机、油泵等的密封	广州市 机床研究所
MF-2 液态密封胶	丙烯酸酯	用于机床、汽车、电机、仪表等密封	浙江 黄岩荧光化学厂
NH-1 密封胶	E-51环氧树脂 2-乙基-4-甲基咪唑	用于无水胼介质中管道螺纹接头的紧固与密封	大连化学 物理研究所
QM-1密封胶	硅酸钠	用于汽车、拖拉机排气管及高温炉等处密封	大连第二 有机化工厂
S-6 聚硫密封胶	液体聚硫橡胶	用于中空玻璃、灯具的密封	上海橡胶 制品研究所
SP-826 密封腻子	丁基橡胶 乙丙橡胶	用于盛油容器的应急堵漏	西安总后建筑 工程研究所
XF-01 液体密封胶	氯丁橡胶	用于化工管道减速箱、机床、螺纹等密封	湖北省襄樊市 橡胶二厂
XF-06 密封胶	氯化丁基橡胶	用于喹啉、吡啶糖醛、二甲酚包装铁桶的密封	湖北省襄樊市 橡胶二厂
XF-07 液体密封胶	丁腈橡胶	用于盛装苯、二甲苯铁桶的密封	湖北省襄樊市 橡胶二厂
XM-15 密封胶	液体聚硫橡胶 环氧树脂	用于铆焊缝、螺钉孔、窗玻璃镶嵌处的密封	沈阳油漆厂
XM-16 密封胶	液体聚硫橡胶 环氧树脂	用于油箱内缝及其它接合部位的密封	沈阳油漆厂
XM-17腻子	顺丁橡胶 石棉绒等	用于缝隙、夹层、螺栓等的密封	重庆长江橡胶厂
XM-33 密封胶	液体聚硫橡胶 环氧树脂 二苯胺	用于结构连接耐油耐水的密封	航空材料 研究所

续表

牌号与名称	主要成份	基本用途	生产或研制单位
XY-02 密封胶	氯丁橡胶 叔丁酚醛树脂	用于汽车、拖拉机、管道、电器、仪表等的密封	北京橡胶十二厂
YD07-1腻子 (原子灰)	不饱和聚酯	用于汽车、机床、仪器设备等金属表面填平	广州市 远东化工厂
YN-3 尼龙密封胶	共聚尼龙 酚醛树脂	用于法兰、螺丝连接等的密封	大连第二 有机化工厂
W-2密封胶	聚酯型聚氨酯 环氧树脂	用于车辆、机床、管道、仪表等的密封	上海市合成 树脂研究所
WS-1不干性 密封胶	改性植物油	用于经常拆卸的法兰、管道连接的密封	湖北省襄樊市 胶粘技术研究所
铁锚 601 密封胶	601树脂 甲苯二异氰酸酯 丙酮	用于机械、车辆、管路、仪表等密封防漏	上海新光化工厂
铁锚603 (W-1) 密封胶	聚酯型聚氨酯 聚酯环氧树脂 高岭土	用于法兰连接、丝扣连接、承插连接的防漏密封	上海新光化工厂
铁锚604 密封胶	脱水蓖麻油 氧化铁	用于耐高温(500°C)密封	上海新光化工厂
铁锚605 密封胶		用于车辆、机床、管道和仪表等的密封	上海新光化工厂
铁锚609 密封胶	酚醛树脂 丁腈橡胶	用于车辆、机械、仪表、电器线路的连接密封防漏	上海新光化工厂
尼龙密封胶	共聚尼龙 酚醛树脂	用于泵、减速器、油箱的耐油密封	沈阳工业学院
焊缝密封胶	氯化聚乙烯	用于汽车焊缝的密封	沈阳工业学院
密封4号胶	环氧树脂	用作真空器件的封接	北京橡胶十二厂
密封腻子	共聚尼龙 酚醛树脂	用于汽车风挡玻璃的密封	沈阳工业学院

11.3.2 吊挂件

(1) 吊挂件只能与主体结构预埋件相联，不应与设备支架相联；

(2) 对于吊顶上风管应防止由于其振动而致吊顶掉尘，所以尽量采用由弹簧或柔性吊杆构成的防振吊架，如图11-2所示。

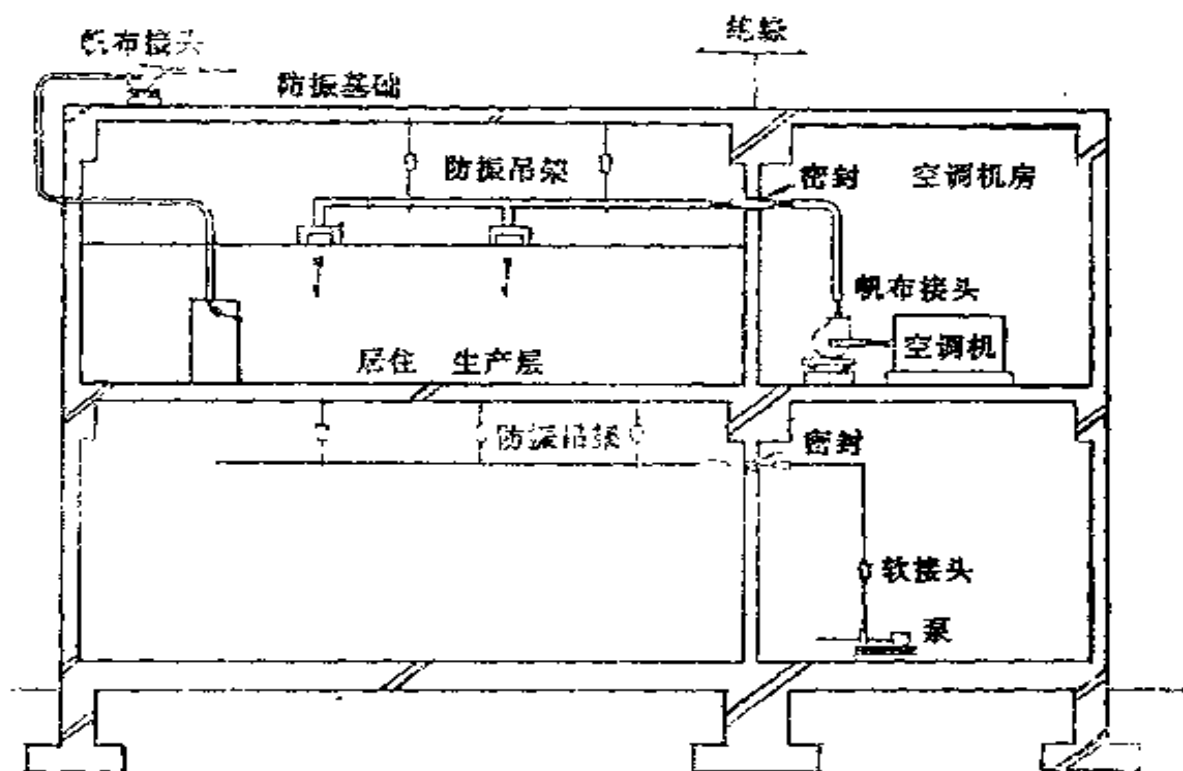


图11-2 防振吊架

11.3.3 吊顶

根据《洁净室施工及验收规范》，吊顶必须起拱。按一般建筑装饰工程拱高应不小于房间短向跨度的 $1/200$ ，则洁净室吊顶拱高更不应小于这一数值。

11.3.4 密封件

(1) 因为密封材料凝固皆有程度不等的收缩，因此密封件上必须有缝隙才能封得住；

(2) 密封缝隙的宽度应限于 5mm 之内，使密封材料用量控制在最小限度。

11.3.5 踢脚板

(1) 对于有水的场合、用涂料地面和卷材地面的场合，踢脚板材料应与地面材料相同；

(2) 对于改建洁净室的场合，踢脚板材料可与地面材料不同，在不能用聚氯乙烯材料的洁净室，可用铝合金踢脚板；

(3) 在构造上应使踢脚板表面缩到墙表面之后，最少也应与墙取平。

11.3.6 卫生角

(1) 室内两面相交处视需要做成 $R \geq 50\text{mm}$ 的圆角；

(2) 墙(踢脚板)与地面相交处应尽可能做卫生角。据日本资料，并不是所有交角都要做卫生角，那样做费用大但洁净度提高并不明显，而为了防止积尘，地面处则应做成卫生角。总之，在是否都做卫生角方面意见并不一致。

11.3.7 防水层

(1) 洁净室地面下应有防水措施；

(2) 铺防水膜比做防水层简单，可直接铺在夯实后的碎石、卵石、碎砖层上，再浇注混凝土；

(3) 膜(如聚乙烯)厚 $0.4 \sim 0.6\text{mm}$ 为宜，接头处应搭接 50mm ，用胶带粘牢。

11.3.8 穿洞

(1) 穿洞后应对洞口周边修补牢固，要求密封；

(2) 洞口周边应予以相应装饰。

11.3.9 管线隐蔽工程

(1) 管线隐蔽工程一般是指吊顶、夹墙和管线外包假柱，要达到使洁净室的使用空间整齐、简洁、易于清扫和减少积尘面的目的；

(2) 应在管线工程全部完成(包括试压)后进行；

(3) 内部应清扫洁净；

(4) 在调节阀门处应设检修口，其周边应贴气密性密封垫。

并作相应装饰。

11.3.10 表面质量

《洁净室施工及验收规范》给出了洁净室表面的质量要求，如表11-8所列。

11.4 施工要求

11.4.1 一般要求

(1) 洁净室的施工尤其强调严格的施工程序。一般依次为：留洞打底、各专业安装、内门窗安装、修补洞口及周边、基层打底、饰面抹灰和罩面板工程、嵌缝处理、油漆刷浆工程等。详见《洁净室施工及验收规范》附录一。

(2) 施工中应避免大面积的修补作业和返工。

(3) 洁净室建筑装饰施工现场的环境温度应不低于10°C。

11.4.2 地面

1. 双层地面

在有管道穿过的场合，当决定立管位置和地板割口形式时，应考虑维修配管的方便，穿管后该块板的取出容易。

2. 涂料地面

做法有：

涂抹法；

流延法；

胶泥法(树脂和填料混合成树脂胶泥再涂)；

防滑法(在前面两法中，于未硬化时把硅砂等撒在上面)。

步骤是：

底层处理；

涂打底涂料；

涂下涂层；

涂填料(对防滑法)；

涂面层。

洁净室装饰表面质量要求

表11-8

		要 求 项 目						
使用部位		发 尘 性	耐 磨 性	耐 水 性	防 静 电	防 霉 性	气 密 性	压 缝 条
吊 顶	涂料	不掉皮、粉化	—	可耐清洗	电阻为 $10^5 \sim 10^8 \Omega$	耐潮湿、霉变	—	—
	板材	不产尘；无裂痕	—	可擦洗	—	—	板缝平齐、密封	平直，缝隙不大于0.5mm
	抹灰	按高级抹灰	—	耐潮湿	—	耐潮湿、霉变	—	—
隔 墙	涂料	不掉皮、粉化	—	可耐清洗	电阻为 $10^5 \sim 10^8 \Omega$	耐潮湿、霉变	—	—
	板材	不产尘，无裂痕	—	可耐清洗	—	耐潮湿、霉变	板缝平齐、密封	平直，缝隙不大于0.5mm
	抹灰	按高级抹灰	—	可耐清洗	—	耐潮湿、霉变	—	—
地 面	涂料	不起壳、脱皮	耐磨	耐清洗	电阻为 $10^5 \sim 10^8 \Omega$	—	—	—
	卷材	不虚铺、缝隙对齐，不积灰	耐磨	耐清洗	电阻为 $10^8 \sim 10^9 \Omega$	—	缝隙密封，不虚焊	缝隙焊接牢固，平
	水磨石	不起砂，密实，光滑	耐磨	耐清洗	—	—	—	—

要求是：

5°C以下不能施工，因不能完全硬化，即使温度接近20°C，也要加百分之几促凝剂。

尽量少用溶剂，以减少收缩。

一次涂抹不能太厚。

注意防水和环境清洁。

3. 卷材地面

做法为现场焊接。

步骤是：基层处理(十分平，充分干，全清污)；按现场尺寸划分；裁割，在遇到与墙交接处留数厘米富余量，如图11-3所示。

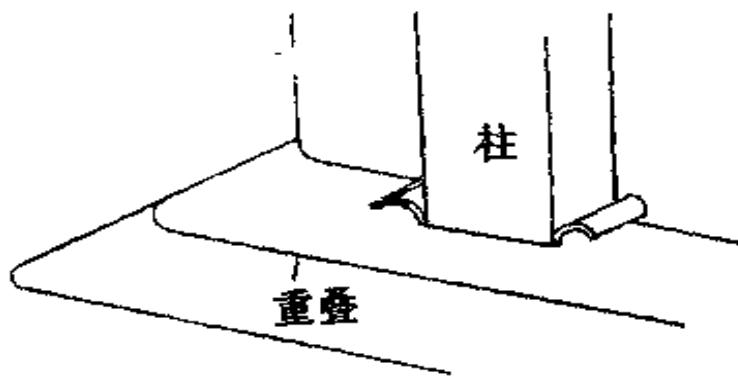


图11-3 卷材裁割时的富余量(据早川一也)

粘贴，粘接剂必须满涂，在与墙交接处以及卷材端部要留几十厘米不涂。

赶平，用辊子或沙袋压赶，从端部不涂胶处把空气赶尽，以免干后鼓泡。

接缝，粘过几小时待收缩后再作接缝处理。

焊接，待粘接剂全干后，把焊口切成宽2mm的坡口，在坡口内焊接。

削平，要趁热削平焊缝，由于削平后发白，应用热风吹吹过，就可以消除白碴面发出光泽。

4. 板材地面

做法是现场拼贴。

要求在拼贴前应根据板材大小、厚薄和方正程度选择归类，以防在大面积施工时，由于累积误差，造成最后缝隙很大，不可收拾。

5. 水磨石地面

做法是现场现浇。

要求是按高级水磨石标准。磨成后用草酸清洗干净，晾干后可用不易挥发的护面材料抛光，可防止干燥起尘。

11.4.3 防霉涂料墙面

在墙面中只着重说一下防霉涂料的做法，别的涂料可以参考涂料地面部分。

做法是：

(1) 基层处理：用铲刀、砂纸或钢丝刷除去基层霉斑污物和疏松物质；

(2) 基层杀菌处理：用与涂料配套的基层杀菌剂涂刷处理基层，待干后即可进行涂料施工。

(3) 涂料施工：刷涂、喷涂或滚涂，2遍。

11.4.4 保护表面

对已完成的装饰表面应注意保护，防止碰撞划痕，特别注意水磨石地面不要让水泥流淌形成污痕。

11.4.5 提高密封性能

为了提高密封性能，密封件的基底必须彻底清理：

(1) 用丙酮、酒精、汽油去污，然后涂硅硼表面处理剂以加强胶着力。处理剂的配方是：硼酸1，酒精49，正硅酸乙脂50。

(2) 或用湿固型聚氨酯清漆涂抹，干后再嵌密封胶。该清漆的配方是：清漆：促进剂=98：2。促进剂为5%二甲基乙醇胺二甲苯液。

(3) 密封作业要在不送风的情况下进行，密封胶涂在正压面。

11.4.6 清洁、记录

在洁净室施工以及风管加工过程中都要随时进行清扫、清洁，并要按照《洁净室施工及验收规范》进行清扫及其他有关工作的记录。

对已安装好高效过滤器的房间，不得再进行有粉尘的作业。
洁净室临时设置的出入口不用时应封闭。

11.4.7 安全

由于洁净室多为无窗建筑，现场自然通风和天然照度均较差，因此，应保证施工现场的良好通风和照明，以及采取其他保证安全的措施。

11.5 对风管制作的要求

净化空调系统的风管及其零部件的制作除按一般通风空调系统的要求进行外，还有其特殊之处，主要是：

场地：必须是已做好墙壁、地面和门窗且经常清扫的房间。

接缝：不允许管道有横向接缝，纵向接缝也要尽量减少，而当底边 $\leq 800\text{mm}$ 时，在底边上也不许有纵向接缝。

密封：所有咬口缝、翻边处、铆钉处都必须涂密封胶。

加固筋：不许设在管内。

法兰：四角应设螺钉孔，孔距 $\leq 100\text{mm}$ ，螺钉、螺母、垫片、铆钉均应镀锌。

测孔：管径大于 500mm 的应设清扫孔及各种测孔。

存放：制作完成后用中性清洗液冲洗，干燥后用塑料膜封口待安装。

11.6 对系统安装的要求

特殊之处主要是：

拆封：只允许在安装时拆开管道端口封膜，安装中间停顿时应再封好端口。

清洁：风阀、消声器等各种风管零部件，安装时必须清除内表面的油污和尘土，应用不易掉纤维的材料多次擦拭系统内表面。

密封：各种密封垫（不论是管道法兰上的还是各种密闭门框上的）严禁在其表面刷涂涂料。

漏风检查：系统安装之后，在保温之前应进行漏风检查。《洁净室施工及验收规范》规定的漏风检查方法和系统管道部分与空调机部分的漏风指标列如表11-9。

漏风检查方法和指标

表11-9

洁净度级别	风 管			空 调 机	
	部 位	检查方法	漏风指标	检查方法	漏风指标
任意级别	送、回风支管	漏光法	无漏光	漏风法 机内静压 1000Pa	} $\leq 2\%$
低于1000级	送、回风管	漏光法	无漏光		
1000级到低于100级	送、回风总管和支干管	漏风法	$\leq 2\%$	漏风法 机内静压 1000Pa	} $\leq 1\%$
等于或高于100级	送、回风总管和支干管	漏风法	$\leq 1\%$		

11.7 对高效过滤器安装的要求

安装高效过滤器是净化空调系统和洁净室施工安装的关键，应注意以下几点：

安装前清洁：

系统应空吹清洁：

洁净室应再次全面清扫，如用吸尘器吸尘，不得用普通吸尘器，必须用配有超净滤袋的吸尘器；

如在吊顶内安装，吊顶内应进行清扫；

然后试运转系统达12h后再次清洁洁净室，方可安装高效过滤器。

拆包：

只能在安装现场、安装时刻现拆高效过滤器包装，尽量按图11-4所示方式取出。

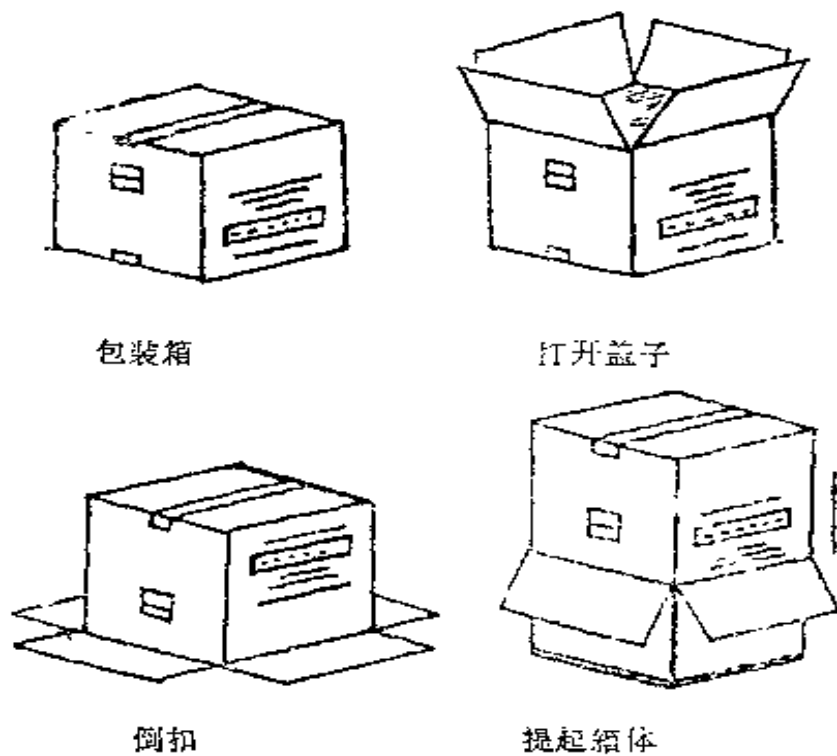


图11-4 从包装箱取高效过滤器方法(据早川一也)

取出之后应作外观检查，并要求每一台有性能指标的具体检测数据，不得笼统打印某限值数据(例如“ $\leq 200\text{Pa}$ ”)。

检漏：洁净度级别等于或高于100级的洁净室的高效过滤器，安装前必须作现场检漏，重点是检查过滤器有无破损漏泄等自身质量。所有级别的洁净室，都要求对其安装好的过滤器作检漏，在现行规范没有给出检查数量时，可以自定一个比例。安装检漏的重点是过滤器边框密封质量。

阻力调配：各个高效过滤器的阻力差别会影响风量平衡和气流均匀，安装时应将阻力过高或过低的个别过滤器剔除，将阻力大小相近的过滤器安排在同一房间中，同一房间中不同阻力的过滤器也宜均匀分散布置。

对于单向流洁净室同一送风面上的过滤器，对阻力差值的要求更重要，按《洁净室施工及验收规范》规定，应符合以下关系：

每台阻力实际值(额定风量下)

$$= (0.95 \sim 1.05) \times \text{送风面上各台实际阻力平均值}$$

第十二章 洁净室的验收和评定

12.1 工程验收

12.1.1 验收制度

根据《洁净室施工及验收规范》的明确规定，洁净室工程的验收，应遵循一个完整的制度，洁净室的设计者应当掌握这一验收制度的实质。

洁净室的验收制度用一句话来表示就是：一态，两段，第三方。

1. 一态

①一态就是指检测验收所处的一种状态，其定义如表12-1所示。

洁净室状态定义

表12-1

习惯称呼	定 义	209E称呼
空 态	已建成并准备运行的、具有全部有关服务功能，但室内没有生产设备和人员	竣工洁净室
静 态	服务功能齐全，生产设备已安装并可运行，或者当以定*其处于运行状态而室内无生产人员	停工洁净室
动 态	正常运行并具备全部服务功能，室内的生产服务设备和人员处于正常工作状态	运行洁净室

注：* 生产设备运行与否的规定，由当事双方协商确定。

上表对状态的解释主要根据美国联邦标准 209E，它和209D不同的是，209D 规定静态是生产设备运行但无人员的状态，类

似自动化生产。209E 则改为生产设备安好可运行，这更符合习惯概念，同时又加上经协商可以指定生产设备在运行的第二层定义。

不论在哪种状态下检测，净化空调系统应全部运行。

②动静比：

动态与空态或静态含尘浓度之间对于不同工艺，有一个大致的关系，称为动静比，一般为3~5，少数 ≥ 7 或 ≤ 3 。或者，当事双方可以协商确定选用的动静比。

③过去按动态考虑的问题：

过去国内外一直按动态含尘浓度来衡量洁净度级别，由于受到实际条件的影响太多，所以动态往往很难测定、测准，不能确切反映工程本身的问题，所以从美国联邦标准209C开始，即把空气洁净度级别和状态脱钩，日本甚至规定原则上用空态。

④《洁净室施工及验收规范》的规定：

规范明确规定竣工验收的检测和调整应在空态或静态下进行。保留静态的原因是有些工艺设备必须在房子盖好前就位，因此全部用空态也难于办到。

规范同时规定，综合性能全面评定的检测状态则由当事各方协商确定，也就是说，也可以按动态进行，这就照顾到某些确实需要在动态下检测评定的特例。

⑤应注明状态：

不论在哪一种状态下检测，都必须注明其状态，以便比较和说明问题。

⑥能及时评价工程：

以空态或静态作为检测状态的规定更能及时客观地评价工程的质量，也能避免因迟迟不能实现动态而发生工程收尾的扯皮。

2. 两段

①洁净室工程验收的内容

这个内容也就是定义，包括两个阶段，即先竣工验收，后综

合性能全面评定。

②关系：

两阶段的关系是“宜分为”两个阶段，前一段突出施工质量，责任主要在施工方；后一段则表示质量不仅看施工质量，还要看综合性能，责任主要在设计方。

③时序：

必须竣工验收之后再进行全面评定，竣工不能代替综合性能全面评定。

3. 第三方

《洁净室施工及验收规范》规定，竣工验收的检测可以由施工方自己进行，但综合性能全面评定的性能检测应由合乎要求的第三方承担。实践证明，这是保证洁净室质量的关键。

12.1.2 竣工验收

1. 准备工作

验收前应做好以下工作：

工程外观检查；

单机试运转；

系统联合试运转；

空态或静态下性能检测和调整；

施工检查记录齐备、合格。

2. 检测项目

规范规定的检测项目是：

通风机风量和转数；

风量及其平衡；

静压及其调整；

自动调节系统联动运转；

高效过滤器检漏；

洁净度测定。

12.1.3 综合性能全面评定

1. 准备工作

为做好综合性能全面评定应做好以下工作：

系统已调整好并至少运行24h；

对洁净室再次进行全面清洁工作。

2. 检测评定项目

规范规定了如表12-2所列的检测项目和顺序。

综合性能全面评定检测项目和顺序

表12-2

序号	项 目	单向流(层流)洁净室		乱流洁净室
		洁净度高于100级	100级	洁净度1000级及低于1000级
1	室内送风量, 系统总新风量(必要时系统总送风量), 有排风时的室内排风量	检 测		
2	静压差	检 测		
3	截面平均风速	检 测		不 测
4	截面风速不均匀度	检 测	必要时测	不 测
5	洁净度级别	检 测		
6	浮游菌和沉降菌	必要时测		
7	室内温度和相对湿度	检 测		
8	室温(或相对湿度)波动范围和区域温差	必要时测		
9	室内噪声级	检 测		
10	室内倍频程声压级	必要时测		
11	室内照度和照度均匀度	检 测		
12	室内微振	必要时测		
13	表面导静电性能	必要时测		
14	室内气流流型	不 测		必要时测
15	流线平行性	检 测	必要时测	不 测
16	自净时间	不 测	必要时测	必要时测

注：1~3项必须按表中顺序，其它各项顺序可以稍作变动，14~16项宜放在最后。

12.2 评定标准及测定方法

12.2.1 检漏

1. 概念

即使是高效过滤器也有微粒穿透，但这肯定不算是漏。怎样才算漏？或者说，在正常送风达到标准情况下，什么样的浓度通过缝隙才影响工作区洁净度？据此确定的洁净室中末级过滤器漏的概念为：如果穿透的微粒影响到洁净室中工作区的洁净度，则该微粒的浓度即是漏泄浓度。

2. 标准

《洁净室施工及验收规范》规定，达到漏泄浓度的透过率标准如下：

对高效过滤器，

$$K' = \frac{C_2}{C_1} \times \frac{100}{100} > 3K \quad (12-1)$$

对超高效过滤器。

$$K' = \frac{C_2}{C_1} \times \frac{100}{100} > 2K \quad (12-2)$$

式中 K ——过滤器出厂时检测合格的透过率；

C_1 ——过滤器上风侧含尘浓度；

C_2 ——过滤器下风侧含尘浓度，即漏泄浓度；

K' ——由漏泄浓度换算成的透过率。

检漏测点应距被测表面 20~30 mm，测头以 5~20 mm/s 的速度移动。

3. 方法

一般用粒子计数器法检漏，但必须保证上风侧微粒浓度对 $\geq 0.5 \mu\text{m}$ 微粒，在 3.5×10^4 粒/L 以上，对 $\geq 0.1 \mu\text{m}$ 微粒，在 $3.5 \times 10^6 \sim 3.5 \times 10^7$ 粒/L。

12.2.2 风速风量

1. 标准

(1) 对单向流洁净室:

①实测室内平均风速应大于设计风速,在设计风速的1~1.2倍之间,即只允许正偏差。

②总实测新风量和设计新风量之差,不应超过设计新风量的10%。

③截面风速不均匀度 $\beta_v \leq 0.25$ 。

(2) 乱流洁净室:

①系统的实测风量应大于各自的设计风量,在设计风量的1~1.2倍之间,即只允许正偏差。

②总实测新风量和设计新风量之差,不应超过设计新风量的10%。

③室内各风口的风量与各自设计风量之差,均不应超过设计风量的15%。

2. 方法

①必须首先检测。

②检测前应检查风机运行是否正常;系统中各部件安装是否正确,有无障碍;所有的阀门应固定在一定的开启位置上;实测风口风管尺寸。

③对垂直单向流洁净室,在距地面0.8m的水平截面上均匀布点;对水平单向流洁净室,在距送风面0.5m的垂直截面上均匀布点,点数均不少于10个,点距不大于2m。

④对乱流洁净室,应直接在送风口过滤器下连一长度等于2倍以上风口大边长度的直管段,在其出口平面按不少于6点布置测点。

⑤对于管道,按一般通风、空调管道的方法执行。

⑥按下式计算风量:

$$Q = V \times F \times 3600 \quad (12-3)$$

式中 Q ——风量(m^3/h);

V ——套管或管道内的平均风速(m/s);

F ——测定截面的净面积(m²)。

12.2.3 静压差

1. 标准

①不同级别洁净室之间、洁净室与非洁净室之间的静压差应大于5Pa。

②洁净室(区)与室外之间静压差应大于10Pa。

③100级以上洁净度的洁净室在开门时, 门内0.6m处的含尘浓度应不大于级别上限。

2. 方法

①在洁净区内(洁净室、走廊等)各门全关闭情况下测定。

②从洁净度高到低的顺序逐间进行, 一直测到直接通室外的地方或者室外。

③测管口在0.8m的工作区高度, 管口轴线与气流垂直。

12.2.4 洁净度级别

1. 标准

当每个采样点上的平均含尘浓度 $\bar{C}_i \leq$ 级别上限; 室平均浓度统计值 $N \leq$ 级别上限时, 该级别即为所达到的洁净度级别。

$$\left. \begin{aligned} N &= \bar{N} + t\sigma_{\bar{N}} \\ \bar{N} &= \frac{\bar{C}_1 + \bar{C}_2 + \cdots + \bar{C}_i}{n} \\ \sigma_{\bar{N}} &= \sqrt{\frac{\sum(\bar{C}_i - \bar{N})^2}{n(n-1)}} \end{aligned} \right\} \quad (12-4)$$

式中 t 为单侧 t 分布系数, 其值按209E如表12-3所列, 按209D和《洁净室施工及验收规范》, t 值一直计算到29点以上。

2. 方法

①测定之前净化空调系统, 经反复清洗后连续运行至少24h。

②全室最低限度采样点应符合表12-4的规定。

系数 t

表12-3

点数	2	3	4	5	6	7	8	9	>9
t	6.3	2.9	2.4	2.13	2.02	1.94	1.90	1.86	不要统计 计算

最低限度测点

表12-4

面积(m ²)	洁净度			
	100级及高于100级	1000级	10000级	100000级
<10	2~3	2	2	2
10	4	3	2	2
20	8	6	2	2
40	16	13	4	2
80	32	25	8	2
100	40	32	10	3
200	80	63	20	6
400	160	126	40	13
1000	400	316	100	32
2000	800	633	200	63

注：表中面积的含义是：对于单向流洁净室，是指送风面积；对于局部单向流，是指局部单向流送风面积；对于乱流洁净室，是指房间面积。

③最小采样量应符合表12-5的规定，当粒子计数器(例如y09-4)采样流率为1L/min时，必须以自动或手动方式将粒子计数器一次采样时间调整到能保证采够最小采样量，即100级为6min，以下级别为3min，而不应用几次采样量累加的方法计算最小采样量。对于2.83L/min计数器(表12-6)，则100级只要2min，其他均为1min。

④测点平面布置在距地0.8m高度，测点多时可向上分层布置，也可根据工艺需要布置在不同高度平面上。

⑤每个测点最少连续采样3次。

⑥对于单向流洁净室，采样口宜向上。采样管应由支架固定。采样速度均应尽可能接近采样口附近气流速度。

每次最小采样量(L)

表12-5

级 别	粒 径 (μm)				
	0.1	0.2	0.3	0.5	5
1	17	85	198	506	
10	2.83	8.5	19.8	58.6	
100		2.83	2.83	5.66	
1000				2.83	85
10000				2.83	8.5
100000				2.83	8.5

国产2.83L/min粒子计数器

表12-6

型 号	BCJ-1*	CLJ (01A为通用, 01B为便携, 01C为多点式)
粒径档别	0.3, 0.5, 0.7, 1, 2, 5 (μm)	0.3, 0.5, 1, 3, 5, 10 (μm)
检测周期	自动1, 2, 10 (min)	自动1, 2, 10 (min)
功能控制	微电脑控制	微电脑控制
检测结果	屏显, 自动打印	屏显, 自动打印
主机重量	12kg	15kg
附加功能	可带XL-1型空气稀释器(稀释10倍、100倍)	多点式信号也可无线发送遥控、可绘制参数曲线
厂 家	上海大恒光学精密机械公司 吴县华达仪器设备厂	苏州市计算机开发应用研究所 苏州电讯仪器厂

注: *为专制产品。

⑦测定人员不得多于2人, 人员必须穿洁净工作服。

⑧对于洁净手术室, 测定必须在手术灯全开启的情况下进行。

12.2.5 细菌浓度

1. 标准

执行设计要求。

2. 方法

①测点数同洁净度的测定，但对于沉降菌用的培养皿数量还必须满足表12-7的规定。

最少培养皿数

表12-7

洁净度级别	所需 ϕ %培养皿数(以沉降0.5h计)
高于100级	44
100级	14
1000级	5
10000级	2
100000级	2

②测沉降菌时必须要有空白对照。

③用浮游菌法时最小采样量必须满足表12-8的规定。

浮游菌最小采样量

表12-8

洁净度级别	最小采样量(m ³)
100级	0.6
1000级	0.06
10000级	0.03
100000级	0.006

④对细菌应在37°C条件下培养24h，对真菌应在22°C条件下培养48h。

12.2.6 温湿度

1. 标准

执行设计要求，对恒温应以90%以上测点所达到的偏差来分析。

2. 方法

①测定之前净化空调系统应已连续运行至少24h。

②测点距地0.8m。

③测点数：非恒温系统室中心1点，恒温系统不少于5点，点间距不应大于2m。

12.2.7 其他

对于其他参数不再细说，只列出其标准如下：

1. 噪声

空态：乱流洁净室 $\leq 60\text{dB(A)}$

单向流洁净室 $\leq 65\text{dB(A)}$

动态： $\leq 70\sim 75\text{dB(A)}$

2. 照度

一般照明的最低照度值不低于150lx，照度均匀度不低于0.7。

3. 微振

执行设计要求。

4. 表面导静电性能

当工艺无要求时，表面电阻值应为 $1.0\times 10^7\sim 1.0\times 10^{10}\Omega$ ，漏泄电阻应为 $1.0\times 10^5\sim 1.0\times 10^8\Omega$ 。

5. 自净时间

实测自净时间 $\leq 1.2\times$ 计算自净时间。

6. 流线平行度

在工作区内气流流向偏离规定方向的角度不大于 15° 。

7. 气流组织

按流型图分析。

主要参考书目

- (1) 许钟麟著：空气洁净技术原理，中国建筑工业出版社，1983。
- (2) 许钟麟、沈晋明编著：空气洁净技术应用，中国建筑工业出版社，1989。
- (3) 规范编制组：洁净厂房设计规范，GBJ73—84。
- (4) 规范编制组：洁净室施工及验收规范，JGJ71—90。
- (5) 清华大学暖通教研组：空气调节基础，中国建筑工业出版社，1979。
- (6) 薛殿华主编：空气调节，清华大学出版社，1991。
- (7) 单寄平主编：空调负荷实用计算法，中国建筑工业出版社，1989。