

洁净室设计

许钟麟 编著



地震出版社

洁净室设计

许钟麟 编著

地震出版社

(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_{III} 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_{III} ·····	(125)
7.4	系统回风(循环风)量 Q_{IV} 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_m	(127)
7.5.5	系统排风量 Q_w	(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	外墙、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想，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，都是在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年突然急剧降到低谷，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: