

JIEJINGSHI JIQI SHOUKONG HUANJING SHEJI

洁净室及其受控环境设计

许钟麟 编著



化学工业出版社

TU834.8/4

2008

JIEJINGSHI JIQI SHOUKONG HUANJING SHEJI
洁净室及其受控环境设计

许钟麟 编著



化学工业出版社

·北京·

本书系统介绍了洁净室及其相关受控环境的设计理念、基本理论、共性个性、参数选用和设备选型方面的必备知识。

全书共分十九章，主要包括洁净度、污染源、环境通用参数、过滤器原理等基本知识，洁净室分类、原理、系统等共性知识，空调设计、洁净室设计、管路设计、节能设计等系统详解，几乎所有净化设备的原理、应用、性能、规格、图式和选用要点，电子厂房、药厂、食品厂、化妆品厂、动物饲养和实验设施及医院洁净手术部、白血病病房、隔离病房、ICU等各类洁净用房的具体设计措施、参数选择、个性特点，特别是附有实例，图文并茂，有很好的启发和指导作用。

本书适于空调净化专业的设计施工人员、研究开发人员及高等院校师生参阅。

图书在版编目 (CIP) 数据

洁净室及其受控环境设计/许钟麟编著. —北京: 化学工业出版社, 2008.3
ISBN 978-7-122-02226-4

I. 洁… II. 许… III. 洁净室-设计 IV. TU834.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 024776 号

责任编辑: 陈燕杰 杨燕玲

文字编辑: 郑 直

责任校对: 徐贞珍

装帧设计: 张 辉

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张 27 字数 524 千字 2008 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 69.00 元

版权所有 违者必究

前 言

洁净技术作为一门涉及多专业的科学技术，正逐渐成为一门独立的边缘分支学科。随着科学技术的发展，尤其是生物技术、微电子技术、精细化生产技术、药品生产技术、食品加工技术等的高速发展，推动了洁净技术在我国蓬勃发展，科研和生产人员对其应用技术方面书籍的需求非常迫切。本人毕生从事空气洁净技术的研究、开发、工程、检测、培训和编制标准规范的工作，从1983年奉献给读者的第一本著作，至今累计约有十本专著面世了。前几年，有人约本人将1994年的拙著《洁净室设计》重印，考虑再三，作者认为无此必要；也有人约稿在其基础上加些内容新编一本，作者也婉拒了。此后，在2003年和2006年作者两本专著《空气洁净技术原理》（第三版）和《隔离病房设计原理》出书后，一些朋友又督促我写一本应用方面的书。同时在这两年本人编制一些规范的过程中，也感受到在《洁净室设计》一书之后重写一本着重于空气洁净技术应用并多举实例的书还是非常必要的。

空气洁净技术的应用主要是通过洁净室及相关受控环境来实现的，在这方面既有洁净室的应用，也有各种净化设备的应用。本书全面介绍了空气洁净技术的理论和实践，既有原理介绍，又有空气洁净技术在各领域中的应用实例。内容丰富，图文并茂，旨在为读者提供实用的指导资料。

书中难免仍有疏漏之处，恳请读者不吝赐教。

作者

2008年7月于北京

目 录

第一章 空气洁净度	1
第一节 空气洁净度的意义	1
第二节 洁净室技术的发展	2
一、国际上空气洁净技术的发展	2
二、我国空气洁净技术的发展	3
三、新世纪的挑战	4
第三节 空气洁净度的级别	8
一、概念	8
二、国外洁净室标准和级别概况	8
三、我国现行的空气洁净度级别	11
第二章 污染源	12
第一节 外部污染源	12
一、大气尘概念	12
二、大气尘的计数浓度	12
三、大气尘的粒径分布	19
四、大气菌的浓度	21
第二节 内部污染源	22
一、发尘量	22
二、发菌量	23
第三章 污染微粒的过滤清除	25
第一节 过滤机理	25
一、基本过滤过程	25
二、五种效应	26
第二节 过滤器的特性	28
一、面速和滤速	28
二、效率和透过率	29
三、阻力	30
四、容尘量	30
第三节 过滤器的使用寿命	30
第四节 效率的换算	31
一、尘-尘换算	31

二、菌-尘换算	34
第五节 影响效率的因素	35
一、微粒尺寸的影响	35
二、纤维粗细的影响	36
三、滤速的影响	36
第六节 我国过滤器的分类	36
一、一般过滤器分类	36
二、高效过滤器分类	37
第四章 洁净室的分类和原理	38
第一节 洁净室的定义	38
一、定义	38
二、特点	38
第二节 洁净室的分类	38
一、按用途分类	38
二、按气流分类	39
第三节 单向流洁净室的原理和特性	39
一、定义	39
二、原理	39
三、特性指标	40
第四节 乱流洁净室的原理和特性	42
一、定义	42
二、原理	42
三、特性指标	42
第五节 洁净室稳定时的含尘浓度	44
第六节 洁净室的特性	46
一、乱流洁净室均匀分布时的静态特性	46
二、不均匀分布时的静态特性	46
第五章 洁净环境参数	51
第一节 洁净环境的品质	51
第二节 空气洁净度级别	51
第三节 表面洁净度级别	54
第四节 换气次数与截面风速	55
第五节 静压差	55
第六节 温度	56
第七节 相对湿度	59
第八节 照度	60

第九节 噪声	61
第十节 有关静电的参数	62
第十一节 微振	65
第十二节 浮游菌和沉降菌浓度	70
第十三节 分子态污染物	73
第六章 洁净室的气流组织和系统设计	74
第一节 气流组织	74
一、概述	74
二、乱流式气流组织设计要点	78
三、单向流气流组织设计要点	80
第二节 净化空调系统	83
一、净化空调与一般空调的区别	83
二、划分原则	83
三、系统分类比较	84
第三节 新风处理	86
第四节 正压控制	86
一、回风口控制	86
二、余压阀控制	87
三、差压变送器控制	88
四、电脑控制	88
五、缓冲室过渡	89
第五节 双风机	90
第六节 加压风机	92
第七节 值班风机	94
第八节 定风量与变风量	94
一、原理	94
二、型式	95
第九节 海拔高度的修正	105
一、修正的必要性	105
二、风量的修正	105
三、风机压头的修正	105
四、电机轴功率的修正	106
五、焓和含湿量的修正	106
六、制冷能力的修正	107
七、空气压缩机与真空泵排气量修正	107
八、电机最高允许环境温度的修正	107

九、实例	108
第七章 和系统设计有关的建筑布局	109
第一节 洁净室的平面布局	109
第二节 人身净化路线	110
第三节 物料净化路线	111
第四节 管线组织	113
一、技术夹层	113
二、技术夹道(墙)	113
三、技术竖井	113
第五节 机房位置	114
第六节 安全疏散	115
第七节 例图分析	115
第八章 空气净化设备	118
第一节 过滤器送风口	118
一、常规过滤器风口	118
二、零压密封过滤器风口	121
三、阻漏式送风口	122
四、阻漏式洁净送风天花(DSC)	123
五、可调风量过滤器回风口	124
六、零泄漏过滤器回(排)风口	125
第二节 风机过滤器机组	127
一、风机过滤器单元(FFU)	127
二、水平送风的净化单元	129
三、洁净屏	130
四、自净器	131
五、层流罩	132
六、净化空调器	133
七、超低阻节能型高效率新风净化机组	133
第三节 洁净工作台	135
一、分类和结构	135
二、性能	138
三、参数	141
第四节 洁净小室	149
一、装配式洁净小室	149
二、移动式洁净小室	149
三、洁净卫生间	150

第五节 人物流设备	151
一、空气吹淋室	151
二、清洗干手器	153
三、传递窗	154
四、防飞虫吹淋装置	156
第六节 辅助设备	157
一、余压阀	157
二、净化保管柜	159
三、充电式洁净小车	159
四、洁净吸尘器	160
第九章 电子工业洁净用房	162
第一节 洁净度级别	162
第二节 环境参数	163
第三节 洁净室的建筑设计	165
一、特点	165
二、分区	168
第四节 对水气电的要求	170
第五节 空调净化系统	173
一、电子工业洁净室空调净化系统主要形式	173
二、垂直单向流集中送风方式	173
三、风机过滤单元 (FFU) 方式	175
四、隧道送风方式	177
五、非单向流送风加局部层流罩送风方式	181
六、微环境方式	183
七、实例分析	189
第六节 有害气体排放处理	196
一、有害气体种类	196
二、处理措施	197
三、淋水式处理	197
四、化学过滤器处理送风和回风	198
五、化学过滤器的性能与应用	199
第十章 医院洁净用房	201
第一节 医院医疗工艺设计的一般规定	201
一、基础数据	201
二、相关专业系统设置	202
第二节 建筑设计的一般要求	203

第三节	我国医院洁净用房分级	206
第四节	我国医院用房的空调净化参数	208
第五节	国外医院用房分级和参数	211
第六节	净化空调设计的规定	226
	一、净化空调设计的一般规定	226
	二、各类洁净用房净化空调设计的特殊规定	226
第七节	对水气电的要求	235
	一、对电的要求	235
	二、对气的要求	237
	三、对水的要求	238
第八节	实例分析	238
	一、洁净手术部例 1	238
	二、洁净手术部例 2	240
	三、洁净手术部例 3	246
	四、洁净手术部例 4	246
	五、洁净手术部例 5	246
	六、负压隔离病房例	248
	七、白血病病房例	251
	八、ICU 例	255
第十一章	制药工厂净化空调	260
第一节	标准和级别	260
	一、GMP 定义的空气洁净度级别内涵	260
	二、各种 GMP 的空气洁净度级别	260
	三、药品生产各工序的空气洁净度级别	261
第二节	净化空调设计参数	263
	一、人药 GMP 和兽药 GMP 对比	263
	二、具体要求	263
第三节	我国 GMP(1998) 和国外 GMP 的对比	264
第四节	关于百级区的背景洁净度	277
	一、关于欧盟 GMP B 区洁净度	277
	二、百级区背景洁净度如何实现	277
	三、百级灌装及其背景区级别的可能方案	278
第五节	平面设计	279
	一、厂区划分	279
	二、洁净区(室)的设置原则	279
	三、防止交叉污染的措施	281

四、工艺布局	284
第六节 净化空调系统	290
第十二章 实验动物设施的空调净化设计	291
第一节 概述	291
一、实验动物的概念	291
二、实验动物和环境	291
第二节 实验动物环境设施	292
一、隔离器式	292
二、屏障式	293
三、饲养笼架式	294
四、开放系统	294
第三节 实验动物的生理指标和要求的的环境指标	295
第四节 实验动物设施的污染控制设计	297
一、严格分区	297
二、严格出入制度	298
三、空气净化是保障条件	298
四、压力梯度是重点	299
五、通风系统的特殊性	300
第十三章 食品、化妆品生产对空气净化的要求	305
第一节 食品生产对空气净化的要求	305
一、特点	305
二、采用洁净室的食物生产种类	307
三、实例	308
第二节 化妆品生产对空气净化的要求	310
一、特点	310
二、要求的洁净度级别	312
三、技术要求	313
第十四章 洁净室计算	316
第一节 计算方法	316
第二节 计算步骤	317
第三节 洁净室三级过滤系统	317
第四节 洁净室送风量计算	318
一、正压乱流洁净室送风量 Q_1 计算	318
二、正压单向流洁净室送风量 Q_1 计算	323
三、系统送风量 Q_{II} 计算	324
四、系统新风量 Q_{III} 计算	324

五、系统回风(循环风)量 Q_V 计算	326
六、负压洁净室风量计算	327
七、例题	328
第五节 洁净室空气洁净度计算	328
一、高效空气净化系统	328
二、亚高效空气净化系统	329
三、例题	329
第六节 洁净室菌浓计算方法	332
第十五章 空调负荷计算	334
第一节 空调负荷计算的基本概念	334
一、得热量	334
二、冷负荷	334
三、除热	334
四、需热	335
第二节 确定参数	336
一、室外计算参数	336
二、室内计算参数	337
三、有关资料	339
第三节 冷负荷估算指标	340
第四节 计算方法	340
一、外墙、屋顶瞬变传热引起的冷负荷	341
二、内墙、楼板传热引起的冷负荷	342
三、地面传热引起的冷负荷	342
四、外玻璃窗瞬变传热引起的冷负荷	342
五、玻璃窗日射得热引起的冷负荷	343
六、室内热源散热引起的冷负荷	344
七、计算实例	347
第五节 室内湿源散湿引起的冷负荷	350
第十六章 空调方案设计	351
第一节 <i>h-d</i> 图和空气状态	351
一、湿空气性质	351
二、湿空气参数	351
三、由 <i>h-d</i> 图确定空气参数	351
四、由 <i>h-d</i> 图表示空气变化过程	353
第二节 空调处理方案	360
一、直流处理方案	360

二、一次回风处理方案	363
三、二次回风经空调机风机处理方案	365
四、二次回风不经空调机风机处理方案	368
五、室内再设空调机组处理方案 1	369
六、室内再设空调机组处理方案 2	370
七、两个实际问题	370
第三节 空调设备选择	372
一、净化空调系统常用空调设备种类	372
二、空调机容量选择	374
第十七章 管路计算	377
第一节 阻力计算	377
一、摩擦阻力	377
二、局部阻力	377
三、管网特性曲线	378
四、阻力简略计算法	378
第二节 消声计算	380
一、计算程序	380
二、消声器	385
第十八章 洁净室的建筑装饰和系统安装	389
第一节 洁净室建筑装饰概念	389
第二节 材料要求	390
一、总要求	390
二、地面	390
三、墙面	392
四、吊顶	394
五、密封嵌缝材料	394
六、特殊要求	395
第三节 构造与装饰要求	395
一、预埋件	396
二、吊挂件	396
三、吊顶	396
四、密封件	396
五、踢脚板	396
六、卫生角	397
七、防水层	397
八、穿洞	397

九、管线隐蔽工程	397
十、表面质量	397
第四节 施工要求	398
一、一般要求	398
二、地面	398
三、防霉涂料墙面	399
四、保护表面	399
五、提高密封性能	399
六、清洁、记录	400
七、安全	400
第五节 对风管制作的要求	400
第六节 对系统安装的要求	400
第七节 对高效过滤器安装的要求	401
第十九章 洁净室的节能设计	403
第一节 洁净室的能耗分析	403
一、负荷统计	403
二、负荷分析	404
第二节 洁净室节能的一般概念	406
一、设计方面	406
二、运行方面	406
第三节 洁净室的节能措施	407
一、区别空调送风和净化送风	407
二、缩小洁净空间体积	407
三、减少排风量	409
四、排风热回收	410
五、综合利用洁净气流	411
六、减少运行动力负荷	412
七、减少漏风冷负荷	413
第四节 洁净手术部的空调节能	414
一、医院洁净用房空调耗能的特点	414
二、利用冷凝热的节能方案	414
参考文献	416

第一章 空气洁净度

第一节 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。现代化产品的加工精度已经进入亚微米量级，而且正在向更小的量级发展。以半导体工业来说，早已采用了分子束外延技术，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原子一个原子的刻蚀剥离等。

第二，产品的微型化。半导体元件越来越小，集成度越来越高。超大规模集成电路可在 $30\text{mm} \times 30\text{mm}$ 的芯片上集成上亿个以上的元件。原来体积为几千立方厘米的电子装配件，已缩小到零点几立方厘米。光致抗蚀剂层厚度也只有 $0.2\mu\text{m}$ ，膜的深度只有 $0.1\mu\text{m}$ ，而铬层甚至只有 $0.03\mu\text{m}$ 。目前，半导体集成电路的图形线距已小到 $0.1\mu\text{m}$ 以下。

第三，产品的高纯度（或高质量）。现代许多产品，其纯度已由过去认为很纯的“化学纯”时代进入了今天的“电子纯”或“超纯”时代。例如，超大规模集成电路所用的硅单晶材料可达到 13 个“9”的超高纯度，集成电路生产环境中的化学污染物含量要求小于 10^{-12} （容积的百分比达到 10^{-12} ）。又如不能灭菌不能过滤的药液还必须绝对无菌。对这些材料之所以有这样高的要求，是因为只有在洁净环境下生产和使用，才可能充分发挥这些材料的固有特性、作用或使其呈现出新的特性来。

第四，产品的高可靠性。对于自动化、信息化时代的产品，其高可靠性是现代技术发展的迫切需要，是精确性和高准确性的需要，是长时间运行和百分之百保证率的需要，今天更突显高安全性的需要。例如药品、食品的生产，对无菌动物的饲

育,对病原体、肿瘤病毒等危险性微生物的实验加工过程,都要确保产品的高可靠性和人的安全无菌操作以及保护自然界的生态环境,这里,洁净技术和工程都起到十分重要的作用。

显然,在上述情况中,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。

第二节 洁净室技术的发展

一、国际上空气洁净技术的发展

第一阶段是朝鲜战争中美国发现其大量电子仪器失灵出故障,其中16万个设备就需要一百多万个替换电子元件,有84%的雷达失效,48%的水声测位仪失效,陆军65%~75%的电子设备失效,并且每年的维修费用超出原价2倍,而5年中空军电子设备的维修费用是设备原价的10倍多。最终,美军找到了主要原因是灰尘作怪,这促成了空气洁净技术的起步,特别是高效过滤器的诞生。

第二阶段,1957年前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。

第三阶段,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20世纪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)。

第四阶段,20世纪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 $2\sim 3\mu\text{m}$ 。20世纪70年代末和80年代初,美国、日本研制成了 $0.1\mu\text{m}$ 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20世纪80年代末仅日本就突破5000亿日元即35亿美元。

第五阶段,即20世纪90年代之后。

① 超大规模集成电路生产取得了新发展,20世纪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 年代则达到亚微米级，到 20 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，相当于约 20mm^2 大的硅片上有 2 万个左右元件，到了 1986 年 1M 集成度时，就相当于有 200 万个元件，到 1KM 集成度时就可能有 20 亿个元件集中在在一块硅片上，详见表 1-1。

表 1-1 半导体芯片的发展

年份	代表产品 (DRAM) 集成度	硅片直径 /mm	芯片面积 /mm ²	最小线距 / μm	元件数
1970	1K			10	2×10^4
1975	16K			5	
1980	64K	75		3	
1983	256K	100		2	2×10^5
1986	1M	125		1	2×10^6
1989	4M	150	40	0.8	8×10^6
1992	16M	200	50	0.5	$10^7\sim 10^9$
1995	64M	200	90	0.3	$10^7\sim 10^9$
1998	256M	200	130	0.2	$10^7\sim 10^9$
2001	1KM(G)	300	200	0.18	
2004	4KM(G)	300	300	0.13	
2007	16KM(G)		700	0.10	

而要求控制的尘粒，今天要求 $0.1\mu\text{m}$ 10 级已很普通，将来则要求 $0.01\mu\text{m}$ 10 级也并不是耸人听闻的了。

半导体技术对洁净室水平的要求发展历程如下：

20 世纪六七十年代，中小规模集成电路， $0.5\mu\text{m}$ 100 级，相当于现在的 ISO 5 级；

20 世纪 70 年代末，大规模集成电路， $0.5\mu\text{m}$ 10 级，相当于现在的 ISO 4 级；

20 世纪 80 年代末，超大规模集成电路， $0.5\mu\text{m}$ 1 级~0.1 级（或 $0.1\mu\text{m}$ 10 级），相当于现在的 ISO 3 级；

20 世纪 90 年代末，超大规模集成电路， $0.5\mu\text{m}$ 0.1 级或 $0.1\mu\text{m}$ 10 级~1 级，相当于现在的 ISO 2 级；

21 世纪初，超大规模集成电路， $0.1\mu\text{m}$ 1 级~0.1 级，相当于现在的 ISO 1 级。

② 海湾战争和伊拉克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。

二、我国空气洁净技术的发展

洁净室建设在我国已有 40 多年的历史，前 40 多年走过的道路概述如下。