

洁净技术与建筑设计

电子工业部第十设计研究院

符济湘 俞渭雄

中国建筑工业出版社

全书由相对独立的十五章组成，计分两篇。前五章属基础篇，扼要介绍洁净技术的基础知识和标准规定。后十章属应用篇，论述应用工程中的主要技术专题。对于污染与净化的基本理论、工艺对净化与建筑的要求、厂房总体方案以及洁净室建筑构造等等，作者试图结合自己的心得进行介绍与探讨。但是，本书是以“洁净技术”为中心议题的建筑专业技术读物，故对一般性的建筑设计原理和建筑设计中的一般性问题均不准备多作介绍。

实践证明，洁净室的设计也同其它建筑的设计一样，从总体方案乃至构造细节并不存在可供直接套用的模式。读者感到有益的或许倒是提示那些较为关键或者较有规律性的技术问题，以及处理它们的经验得失与根据。鉴于此，本书在扼要介绍基本理论的同时，以试验、调查、测定等数据或结果为根据，在各项技术专题的论述中，通过解剖典型提出设计原则与要点，俾使读者通晓其中的规律，并且可以根据各自工作的需要有选择地进行阅读。

书中素材，一部分取自作者参加过的实况调查、测定、试验或者专题总结；一部分引用其它资料，引用时力求不失原貌，但为便于读者进行典型分析、理论研究和参考应用，于注明出处的同时，内容均经概括与提炼。

本书作者：

符济湘（全书，第十二章除外）；

俞渭雄（第十二章“振动控制”）。

电子工业部第十设计研究院俞经武审稿，曾志强参加了部分调查、实验与插图整理。

电子工业部第十设计研究院韦荫辉、刘传春、华中令、陈霖新、李远膺、李延春、吴定亚、周金凯、贺继行、黄瑞光、樊勛昌等同志，从各自的专业对作者给予了指导，并协助修改有关书稿内容。洛阳轴承研究所吴兆民、王云飞同志，化学工业部第六设计院刘金华同志及机械工业部第十设计研究院林振声、钟朝安同志等均曾对有关章节提出了宝贵意见。写作过程中，中国船舶工业总公司第九设计研究院、电子工业部第十一设计研究院、机械工业部第十一设计研究院等等，许多设计、科研单位、工厂、学校以及个人给予了大力支持和帮助，提供了许多宝贵资料，恕未一一列出。最后经许钟麟和高锡九同志等对书中大部分内容仔细审阅提出很好的意见，提高了本书质量，在此一并致谢。

书中不妥与错误之处，欢迎指正。

符 济 湘

一九八四年十月于北京

本书是洁净室建筑设计专业技术读物，是以洁净技术为中心，采取专题论述的方式，扼要介绍了污染与净化的基本理论、污染对生产的危害、洁净室标准，也分析了若干典型生产洁净室的特征；系统探讨了洁净室厂址环境、总体布置、净化气流形式、机房设施、人体净化、振动、防火、建筑装配化、洁净室气密性、装修、防静电、构造等建筑设计问题；阐述了建筑设计专业与空气净化、水气净化、电气专业的综合协调关系等。对一般性建筑设计原理和构造则不予赘述。适用于整幢或局部洁净室的新建和改建设计的参考。

本书可供从事洁净室建筑设计、科研、净化专业等人员，洁净室使用人员及建筑院校师生参考。

洁 净 技 术 与 建 筑 设 计

电子工业部第十设计研究院

符济湘 俞渭雄

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 27 1/4 字数: 655 千字

1986年5月第一版 1985年5月第一次印刷

印数: 1—13,500册 定价: 5.55元

统一书号: 15040·4878

前 言

从第一代乱流洁净室的诞生算起，洁净技术及其应用工程——洁净室，已然经历了三十多年的发展。这期间，世界科学技术水平发生了巨大变化。举电子技术为例，已经从当年的电子管时代发展到今天的超大规模集成电路时代；人们预计，八十年代中期，使用甚高速集成电路的电子计算机运转速度将是每秒十亿次以上。可以毫不夸张地说，三十多年来，工业技术在生产速度、精度等各方面的“飞跃”，标志着洁净技术发展的时代背景，也是洁净技术对工业发展的贡献。因此，结合时代技术背景来研究洁净技术的过去与现在，将会从中得到有益于开拓新路的启示。

工业洁净室设计中，建筑设计是一个重要的组成部分。但基于我国基建和设计工作体制的长期状况，在有些工业建筑的设计过程中，却往往把建筑设计局限在以简单拼凑方法去被动地应付其它各项专业的具体技术要求。这种现象实际上取消了建筑设计的创造性，也取消了从厂房全局着眼的统筹安排，导致各专业自行其是、矛盾重重。设若上述情况发生在洁净厂房设计工作中，其后果必然更加严重。因之需要更加强调建筑设计在洁净厂房整体设计中应该发挥的重要作用。然而在工业洁净室建设经验尚不十分丰富的我国，这个问题的真正解决恐怕就比一般工业建筑设计更须经过一段实践和商榷的过程。作者不揣粗浅，在此提出工业洁净室的建筑设计具有如下两个特点：

其一，洁净室建筑设计所依据的洁净技术是边缘性学科。它涉及相当广泛的技术领域。在生产上须研究不同类工艺的技术特点；在分析污染源与污染途径时，涉及物理、化学与生物学的机理；在污染控制方面须运用空气、水、工业气体和各类生产用液态介质、工装与设备、人体与服装等多项洁净技术专业分支的研究成果；在厂址环境上涉及大气物理、绿化植被等课题；在建筑处理上涉及材料的发尘与静电效应等等。它们都反映了洁净技术的“边缘性”。

其二，洁净室建筑设计具有很强的综合性。本来，建筑设计就属一项用物质作手段，为生产与生活筹划室内外空间的工作，借以寻求空间功能合理、造型美观、经济耐用的综合效果。所以工业厂房的建筑设计，就要在上述基础上进一步把握住生产工艺的基本特点以满足各专业技术的需要。在创造、组织空间的过程中去协调它们在平面与空间布局上出现的矛盾。至于洁净厂房建筑设计，则如何着重为了净化而去解决各项洁净技术专业分支在应用工程中的统筹安排，以获得最优综合效果的空间，自然更是有待于建筑设计去完成的工作；特别是洁净室的建筑设计与空气净化设计，两者在空间布局与气流组织、建筑气密与微正压控制等方面有着密切关系，反映了洁净室建筑设计的高度“综合性”。

既然工业洁净室的建筑设计具有以上双重特点，从事这项工作的建筑设计人员就须对于相关的净化理论与专业技术具有一定广度和深度的了解，建立以“洁净技术综合应用”为目标的完整的洁净室概念；这样，才有利于作好洁净室的建筑设计，符合“建筑师”的使命。此乃作者在本书中所要强调的根本主张，也是贯穿全书的总纲。

目 录

上篇 洁净技术基础

第一章 洁净室的发展	3	二、磁带	46
第一节 高效过滤器及洁净室诞生前后	3	第五节 光导纤维	46
第二节 层流洁净室问世及发展	6	第六节 微生物污染控制	48
第三节 六十年代的洁净室水平	10	一、医学上应用微生物洁净室	49
一、建筑空间	10	二、制药工业上应用微生物洁净室	51
二、人员净化	11	三、食品工业	52
三、室内装修	13	四、宇航工业	52
第四节 七十年代的洁净技术与洁净室	13	第四章 洁净室标准	54
一、洁净技术的综合发展与普及	13	第一节 洁净室标准的国际情况	54
二、寻求有效利用洁净气流的建筑空间	15	一、各国洁净室等级标准	54
三、装修与构造	19	二、通用的尘埃粒径分布图形	59
四、加强全面管理	19	第二节 我国洁净室等级标准及若干问题	
五、展望八十年代	20	剖析	62
第二章 污染源与其微粒子分布	22	一、我国洁净室等级标准	62
第一节 污染源及其传播	22	二、若干问题剖析	62
一、污染源	22	第五章 综合发展的几项洁净技术	70
二、污染途径举例	29	第一节 空气净化	70
第二节 空气中的微粒子分布	32	一、空气过滤	70
一、微粒子分布状态	32	(一) 空气过滤器的性能和分类	70
二、粒径分布的成因	34	(二) 纤维过滤器的机理和滤效	72
第三章 污染对生产的危害	38	(三) 高效过滤器的类型和性能	74
第一节 电真空器件	38	(四) 过滤器在空气净化系统中的	
第二节 单晶硅及半导体器件	39	应用	78
一、单晶硅	39	二、气流组织与换气	81
二、半导体器件	40	(一) 乱流洁净室的气流与洁净度	82
第三节 精密轴承	42	(二) 层流洁净室的气流与洁净度	84
一、尺寸精度与轴承净化	42	三、正压控制	86
二、尘埃污染与摩擦力矩	43	第二节 水和气体的净化与纯化	87
第四节 胶片、磁带	45	一、水	87
一、胶片	45	二、气体	91

下篇 洁净技术的应用

第六章 洁净厂房设计概论	97	三、洁净室及其辅助设施的布置	97
一、洁净室的选址	97	四、人净与生活用室	99
二、洁净室与一般生产室分区集中布置	97	五、物净用室	102

六、空调净化机房及其它站房	102	(三) 气体动力系统	169
七、管线组织	103	(四) 电气系统	170
八、洁净室发展的灵活性	103	二、管线敷设方式	171
第七章 厂址的大气污染	104	(一) 技术夹层	172
第一节 大气污染程度及其对洁净室的 影响	104	(二) 技术夹道与技术竖井	175
一、大气污染程度	104	(三) 构造问题	180
二、对于室内含尘浓度的影响	106	第九章 洁净室气流、照明与防火建筑 设计	187
三、对于运行与管理的影响	107	第一节 不同气流的建筑空间特征	187
第二节 设计应注意的原则与实例	108	一、乱流洁净室的送、回风方式	187
一、选择大气条件良好的厂址环境	108	(一) 送、回风口装置的建筑条件	189
二、注意厂区内总图布置与绿化	111	(二) 乱流洁净室实例剖析	191
第三节 工业排气筒对大气的污染	114	二、垂直层流洁净室的送、回风方式	199
一、排气筒排放的物质	114	(一) 送、回风口装置的建筑条件	201
二、大气稳定度与烟羽形态	114	(二) 垂直层流室实例剖析	204
三、烟羽扩散与计重浓度	116	三、水平层流洁净室的送、回风方式	208
四、烟尘污染范围模式图	117	(一) 送、回风口装置的建筑条件	209
第四节 道路的污染影响	120	(二) 水平层流室实例剖析	213
一、道路污染源	120	四、层流室送风口设计与房间基本 尺寸	215
二、道路尘埃的扩散规律	121	(一) 高效过滤器安装方向	215
第五节 绿化措施对大气的净化作用	123	(二) 送风口的综合设计	215
一、绿化对大气净化的效果	123	(三) 送风口的间隔宽度	216
二、树种与草皮的选择	126	(四) 层流室的空间尺寸	217
第八章 洁净室、机房与管线的建筑 布局	129	五、局部层流空间	218
第一节 洁净生产区的洁净室	129	六、层流洁净室的变异	229
一、洁净室的若干共性问题	129	(一) 准垂直层流洁净室	229
(一) 生产工序间的联系	129	(二) 串连的水平层流洁净室	231
(二) 洁净室的空气洁净度	129	七、发展中的洁净空间	234
(三) 产品的生产方式	130	第二节 洁净厂房的人工照明	235
(四) 工艺调整	130	一、洁净厂房照明特点	235
二、生产工艺特征及其对洁净室的 要求	132	二、灯具布置与照明效果	236
第二节 辅助机房的建筑布局	153	三、工程实例	238
一、空气调节与净化设施	153	第三节 防火设计的几个问题	241
二、水的净化设施	160	一、洁净厂房的火灾危险性与建筑耐火 等级	242
三、气体净化设施	164	二、建筑防火分区	244
四、电气设施	166	三、非主体结构的耐火性能	244
第三节 管线敷设的技术特点与隐蔽方式	167	四、疏散要求	246
一、管线敷设的技术特点	167	五、消防	248
(一) 空气净化系统	167	第十章 物净、人净与生活用室 设计	253
(二) 水系统	169		

第一节 人对环境的污染特性	253
一、人体散发的污染物质	253
二、人对空气的污染指标	257
第二节 人净与生活用室的区划及物料传递	262
一、人净措施概述	262
二、物料传递	266
三、人净与生活用室的区划	270
第三节 工作服与空气吹淋	274
一、工作服	274
二、空气吹淋	279
第四节 房间面积定额	284
一、用室布置与设备选择的特殊性	284
二、设备与面积定额分析	285
三、小结	286
第十一章 厂房的建筑等级、层数与装配化	288
第一节 厂房建筑等级、层数与层高	288
一、建筑等级与相应的结构标准	288
二、建筑层数	288
三、厂房高度的标志方法与模数	289
第二节 装配化的现状与展望	290
一、一般情况	290
二、洁净厂房的内装修装配化	291
三、自立式装配型洁净室	294
（一）定型单间自立式装配型洁净室	294
（二）多间组合自立式装配型洁净室	297
（三）新的尝试	303
四、装配化的综合发展	306
第十二章 振动控制	308
第一节 概述	308
第二节 精密设备的容许振动值	310
第三节 厂址选择、厂区总平面布置及洁净厂房设计中的振动控制	314
一、环境振动	314
二、厂址选择及厂区总平面布置原则	321
三、洁净厂房设计	321
四、振动控制设计程序	322
第四节 隔振措施	322

一、屏障隔振	323
二、大块基础隔振	324
三、隔振元件隔振	324
第十三章 洁净室空气泄漏与气密构造	342
第一节 洁净室气密构造的重要性	342
一、洁净室外环境空气压力高于室内	342
二、洁净室内空气压力高于外界环境	343
第二节 门窗、墙壁与顶棚等气密性构造	344
一、门窗选型	344
二、门窗的气密构造设计	346
三、墙板、顶棚等缝隙密封	356
（一）室内复面板材的拼接	356
（二）装配型隔断或自立式装配型洁净室的配件组装	358
（三）管道穿行	360
（四）灯孔与送风口	364
四、嵌填用密封材料	365
（一）使用条件与性能要求	365
（二）嵌段甲基室温硫化硅橡胶	366
（三）聚氨酯弹性胶	369
第三节 洁净室泄漏特性的综合评价	371
一、门窗泄漏特性评价	372
二、房间泄漏特性评价	373
第十四章 高效过滤器的安装密封	377
第一节 安装缝隙的泄漏影响	377
第二节 高效过滤器的安装构造	378
一、机械压紧密封方式	378
二、自重嵌缝方式	388
三、自重液封方式	388
四、负压密封方式	395
第十五章 室内装修	398
第一节 内装修设计要点	398
一、发尘问题	398
二、一般用材与构造	399
三、色彩	400
四、经济	402
第二节 几种装修作法举例	403
一、涂布型地板	403
（一）聚氨酯涂料	403
（二）环氧或聚酯树脂砂浆、胶泥	404

二、粘貼型地板	406	第三节 静电	413
(一) 聚氯乙烯软板	406	一、静电带电及其危害	413
(二) 聚氯乙烯半硬质板	407	二、内装修设计的消静电措施	417
三、通风地板	407	主要参考文献	422
四、裱糊饰面	412	索引	425

上 篇

洁 净 技 术 基 础

第一章 洁净室的发展

第一节 高效过滤器及洁净室诞生前后

1950年高效能空气粒子过滤器^①问世,是洁净技术发展史中第一座里程碑。在这之前,人们对于洁净技术的探索已经将近一个世纪。一百年间,资本主义大生产的发展和竞争以及与之相联系的国际战争,不断刺激军事工业和科学技术的发展,使洁净技术随之孕育和诞生。

十九世纪四十年代,农业化肥、染料与制药工业等先后开始在德国发展。电灯以及世界上第一座发电厂于十九世纪六十年代的美国也相继问世。钢铁、石油、机械与电力工业技术已达到相当的水平。但工业生产所要求的机械加工精度直到1900年仅为 $10\mu\text{m}$ (微米),尚无控制尘埃污染的需要。十九世纪中叶,医学方面外科手术中首先出现为防止感染而向室内喷洒石炭酸的事例,控制微生物污染的洁净室概念开始萌芽。

第一次世界大战(1914—1918)后,美国的陀螺仪制造工业最先提出了环境净化问题,为试图在生产中消除空气中重粉末对航空仪表小轴承与齿轮的污染,他们在工厂和实验室建立了轴承的“控制装配区”,也就是把轴承的“装配区”与其它生产操作区相隔离,供给一定的过滤空气,加上良好的管理。那时虽因对空气污染的知识有限,所考虑的污染控制程度要比现在低得多,但“控制装配区”毕竟是现代工业洁净室的前身。

两次世界大战相隔了二十年,军事科学技术突飞猛进,且以四十年代为最显著。1939年发现铀核裂变,1945年就把制成的原子弹投向广岛。1943年提出了计算机的设想,两年后美国即制成第一台电子计算机。当时,某些惯导零件加工尺寸公差已要求控制在 0.0005mm (毫米)以内,晶体管所用的锗半导体已需使杂质降低到 10^{-9} 以下。飞速发展的军事工业,要求防止放射性粒子的扩散、提高原材料纯度、提高零件加工与装配精度、提高元件或整机的可靠性与延长寿命等等,这些都无一不与空气净化有关。那时关于尘埃对产品质量的严重影响已逐渐有了量的概念。美国安顿涅狄导弹公司曾经发现,在普通车间内装配惯性制导用陀螺仪平均每10个产品就要返工120次,控制空气污染后,返工率降低至2次。转速为 $12000\text{转}/\text{min}$ (分钟)的陀螺仪轴承内,无尘与有1000颗尘粒(平均直径 $3\mu\text{m}$)相比,使用寿命竟相差100倍。认识空气净化在军工生产上的迫切性,这就构成了当时发展洁净技术的动力。但因空气过滤手段没有解决,直到四十年代末空气净化水平仍远远落后于军事工业需要发展的紧迫形势。

二次大战后,美国制订了庞大的火箭发展计划。为了研制高精度陀螺仪、加速度计、稳定平台以及高可靠电子设备等等,又需相继建立洁净室。但是怎样才能把“控制装配区”提高到新的生产所需洁净室的水平呢?人们终于经过反复摸索,于五十年代初结合曼哈顿研究计划,制成高效能空气粒子过滤器(High Efficiency Particle Air——简

① 能过滤粒径 $\geq 0.5\mu\text{m}$ (微米)尘粒的空气过滤装置。

称HEPA)，取得了空气净化技术的首次飞跃。从此，能以 $0.5\mu\text{m}$ 粒径计数标准来控制空气的洁净度。

为什么高效能空气粒子过滤器的问世是空气净化技术的一项飞跃？这就需要从旧式的空气调节谈起。战后五十年代美国的空气调节技术已在工业部门广泛应用。“控制装配区”也就是在这种空调面积上单独隔离的小房间。但空调解决的主要矛盾是空气温湿度，系统中的除尘装置只是为了满足一般环境卫生和设备保护而设置的，滤效要求不高，按计重法最高达百分之九十左右，且不须研究过滤的尘埃粒径与性质。即便以计重含尘浓度来比较，空调房间与洁净室的差别也很大，大略如图1-1。何况洁净室需要按照粒径来控制灰尘数量。如果按照今天一般对集成电路、光学仪器或精密机械等生产有害必须控制尘粒来衡量，一间高标准空调房间里，粒径 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 的尘粒在每升空气中至少有几万颗，而一间普通级别（例如美国联邦标准10000级）的洁净室就必须将尘粒数降低至它们的百分之几到千分之几。所以在那时当生产证明任何隔离措施都无法改变“控制装配区”内的空气洁净度时，才把注意力集中到空气过滤这个关键环节上来。

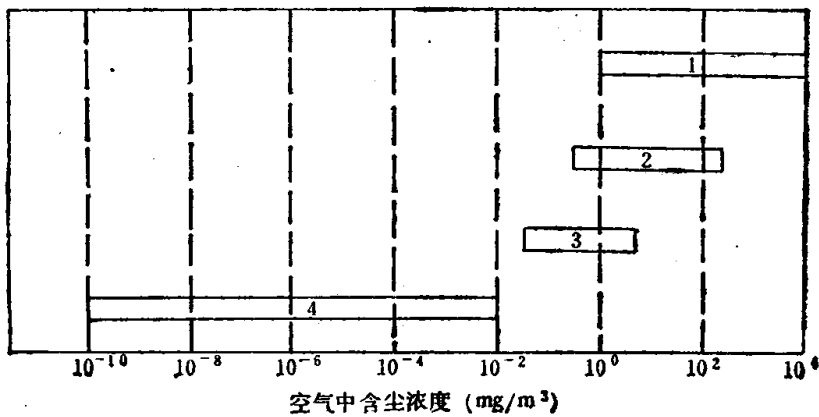


图 1-1 不同场所的空气含尘浓度差别

1—采用环保除尘技术的场所；2—环境卫生良好的场所；3—新鲜空气；4—洁净室

但是后来的研究表明，空调原有的过滤技术所依循的古典过滤原理主要适用于捕捉粒径 $1\mu\text{m}$ 以上的灰尘，而捕捉粒径小于 $1\mu\text{m}$ 的灰尘却须采取完全不同的过滤机理。尘粒愈小，空气流速愈低，尘粒由于布朗运动而具有的扩散现象就愈明显。只有利用扩散作用使这些尘粒与极细纤维接触而沉附下来才行。特别是粒径小于 $1\mu\text{m}$ 的尘粒数量在空气中占绝对的优势，不彻底改变旧的过滤手段就无法适应新的生产需要。

空气过滤技术的这次跃进包括三个方面，其一是在过滤机理上充分利用了小尘粒的扩散现象；其二是在过滤器构造上解决了在小面积迎风面上安装大面积滤料，将大风量转化为低滤速的问题；三是研制出高效能的滤材。当然，此外还离不开对于尘埃的监测手段。1947年，古克（Gucke）就已成功地应用球形粒子在单色光下的散射理论，制成了可以测量 $1\mu\text{m}$ 粒子的仪器。

高效过滤器问世后，美国领先在军事工业和人造卫星领域建立了一批用它武装的洁净室。整个五十年代中，美国把它广泛应用于航空、航海的导航装置、加速器、微型轴承、电子仪器等等工业制造领域。

英国，五十年代末为陀螺仪与加速度计制造工业新建和扩建了一些洁净室。1959年英

国著名外科整形专家查恩利(D.J.Charnley)医生开始致力于手术室的净化技术改造。

五十年代,日本在半导体工业方面首先采用了有高效过滤器的洁净室。此时,苏联已编制了“密闭厂房”的典型设计,颁布了无窗工业厂房的设计规范CH176—61。

五十年代的工业洁净室已分别采用了三至五级空气过滤,并以HEPA为末级。普遍采用所谓“常规式”的气流组织。美国新不列颠法尼尔(Fafnir)轴承公司面积为768 m²(平方米)的洁净室,顶棚密布散流器,回风口设在靠近地板的四周墙壁上,以16.8次/h(小时)换气,使室内各点保持较低的气流速度,是典型的一例。

当时在平面布局中已确立了洁净分区概念,按生产的不同洁净要求划分“灰区”与“白区”。伯克米尔(S.H.Bokemeier)著文指出,为了减少污染,应将抽真空系统和某些机械设备上的马达安置在白区之外以利检修。同时期,李伯曼(Alvin Liberman)提出了白室典型平面示意,如图1-2。为防止灰尘从高含尘浓度区转移到低浓度区,在洁净分区的基础上保持室内正压的概念也已建立。强调整个洁净室区域相对于外界大气均须具有正压值。李伯曼还曾举出一份典型说明书概括当时一般洁净室内的空气条件,其中即标明洁净室内部气压应高于洁净度稍次的区域2.54mm(毫米)水柱。

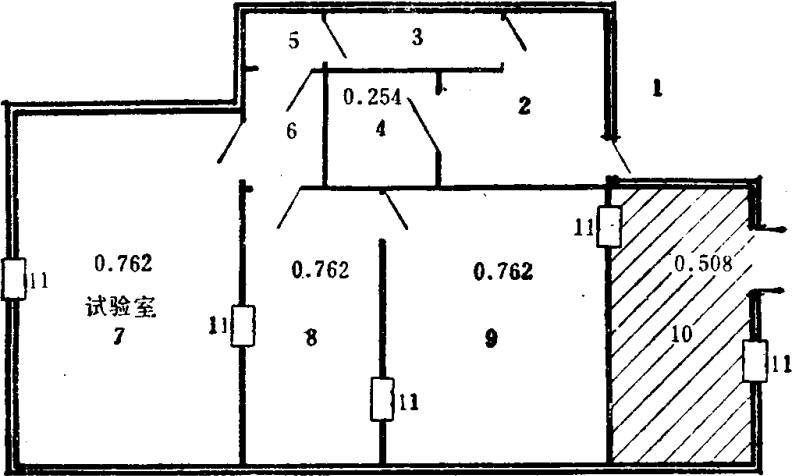


图 1-2 典型的白室单元

1—值班室; 2—更衣室; 3—盥洗室; 4—控制室; 5—空气吹淋室; 6—气闸室; 7—试验室; 8—最后清洗室;
9—装配室; 10—清洗室; 11—传递窗 数字为空气压力(mm水柱)

在管线配置方面,一般已按不同洁净度分别组织空调净化系统。例如美国建于斯温顿(Swinden)的半导体厂,在1920m²单层洁净室中根据洁净分区设置了十三套空调净化系统。厂房设吊顶棚,安装送风口;地下室内安置空调等辅助设备;气体与水电管道穿过地下室顶板通达生产点,管线组织相当完整。

关于人对房间的污染,李伯曼曾提出一个图表,如图1-3,认为人数越多尘粒越多。这个时期特别重视人净处理,例如美国斯伯雷·法拉古特(Sperry Farragut)公司的465m²陀螺仪装配车间,共经洗脸洗手、刷鞋、更衣、两次吹淋、两次吸尘等七道人净程序。多数洁净室对鞋的净化要求严格,设特殊铁栅,有的又进一步用擦鞋机清理,不少还使用了粘鞋垫。“无尘”(Lint free)已是当时对工作服的术语。普遍穿连衣型无尘工作服与长统靴。一些洁净室中对于物料净化也已十分重视。生产用零件在清洗后须经隔离室、门厅、电控联动开关传递窗而后才能送进洁净室。为加强对污染的控制,管理上如对生产

图样和记录用纸、书写用笔、货架、椅子的形式、试验设备的布置与维修、室内清扫、工作服清洗等等，均作出具体规定。对于人员的出入也有严格控制。

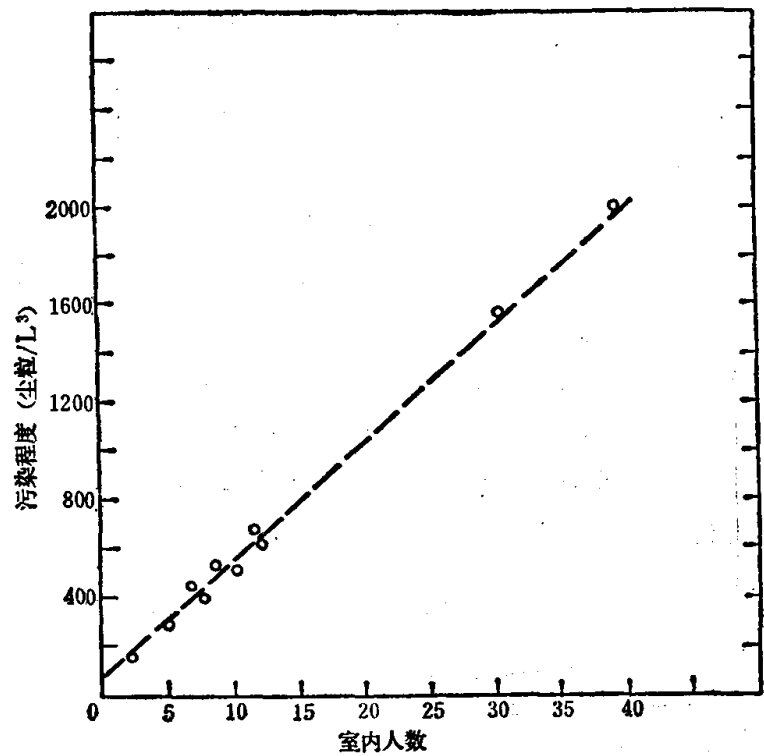


图 1-3 室内人数与污染程度的关系

装修方面已强调采用坚硬、光滑、耐磨而不易脱落的材料，要求尽量减少线脚，把阴角作成圆角，把照明灯具嵌入顶棚，对缝隙作精细的密封。

地面大体采用 乙 烯 树 脂 涂 料、聚氯乙烯板或水磨石。墙与天棚大多为光滑的塑料或大面积平板玻璃，有的在基层上涂乙烯基塑料，或者使用活动金属隔断。不少工程使用镀铬或不锈钢材制作门窗。

总之，这个时期因对工艺所需洁净度的控制等级尚未进行广泛研究测定，为了保险而在人净、物净、装修与管理上狠下功夫。但是正如李伯曼所说，虽然如此有时仍然发生污染，控制尘

粒含量往往非常困难，造成的废品率超过10%。美国森地亚公司(Sandia Corporation)曾经对已投入使用的洁净室进行了详细调查与测试，它们精辟地指出了当时洁净室空气净化技术的弱点：

1. 大多数污染物沉积在地板或其它水平面上，不能自动清除，并可能由于气流的变化或室内活动重新卷入空气中。
2. 室内气流通常不均，其流动方向也不能把尘粒从重要的工作区带走。风口的面积往往比房间面积小得多，不能把散布在空气中的污染物以相等于其发生的速度排出。若无限增加风量，会使气流流速过高，下游形成强大涡流与空气冲击，反将沉积的尘粒搅入气流。

3. 对人员有极严格的污染控制约束。
- 归根结底，指出了五十年代盛行的所谓常规式洁净室气流组织存在的问题。

第二节 层流洁净室问世及发展

一、层流洁净室的问世

六十年代洁净技术第一件大事便是层流洁净室于1961年诞生。它被人们誉之为污染控制技术的最大突破，不仅对空气洁净技术做出卓越贡献，而且对当代科学技术的飞速发展产生了不可估量的影响。这十年间，世界钢铁、石油、电力的生产量成倍增长。机械工业

朝着高速化、自动化、精密化与系统化发展。新的工艺使多晶硅纯度大大提高。电子工业进入半导体集成电路时代。集成电路至1969年集成度激增为 $10^2 \sim 10^3$ 个原件/片,旋即取代晶体管在导弹、计算机与航空等工业部门得到广泛应用。当时生产的加工精度水平如: 宇航陀螺仪转子的不圆度、大规模集成电路制作的重复定位精度、大面积物理光栅刻线的线距精度和平行度等均进入亚微米级水平。1970年时集成电路条宽尺寸已缩小到 $2.5 \mu\text{m}$ 。这些都在不同程度上与层流洁净室的应用发生着千丝万缕的关系。

上文已经谈到,五十年代末圣地亚公司在总结“常规式洁净室”之后,随即提出为适应生产上更高空气洁净度的需要必须另行发展新型洁净室的结论。要求新型洁净室应具有经济有效的空气过滤系统;具有能排走工作区污染物的空气流型和自净能力;并且减少对工作人员的限制。当时人们已经设想,为了避免空气冲击而能送入大量净化空气可否使空气经过许多散流器进入室内,甚至把整个天棚都作成散流器?为了避免灰尘沉落地上而又防止过高的排风风速,可否把地板设计成格栅状带有初过滤器的大面积排风口?当时并且发现:

- 1. 高效过滤器正前方的区域最清洁。作为阻尼层,高效过滤器能使流出的空气气流均布。
- 2. 空气被低速均匀地送入四边受限的等断面空间时,就会产生空气层流,它使交叉气流污染降至最低限度。虽然层流线上的物体破坏层流,但在物后不远处层流又会重现。污染物很快被层流带走。

在这样的思路基础上,1961年5月美国吉劳姆(W.R.Jerome)发表文章提出了“理想的洁净防尘室”的设想方案:建筑物顶层为洁净室,空气从多孔天花板送入,缓慢流过多孔楼板进入1.5m高中层(相当于技术层),再经中层四周地板孔洞进入底层机房,如此往复。中层的地面覆以油层粘集灰尘。

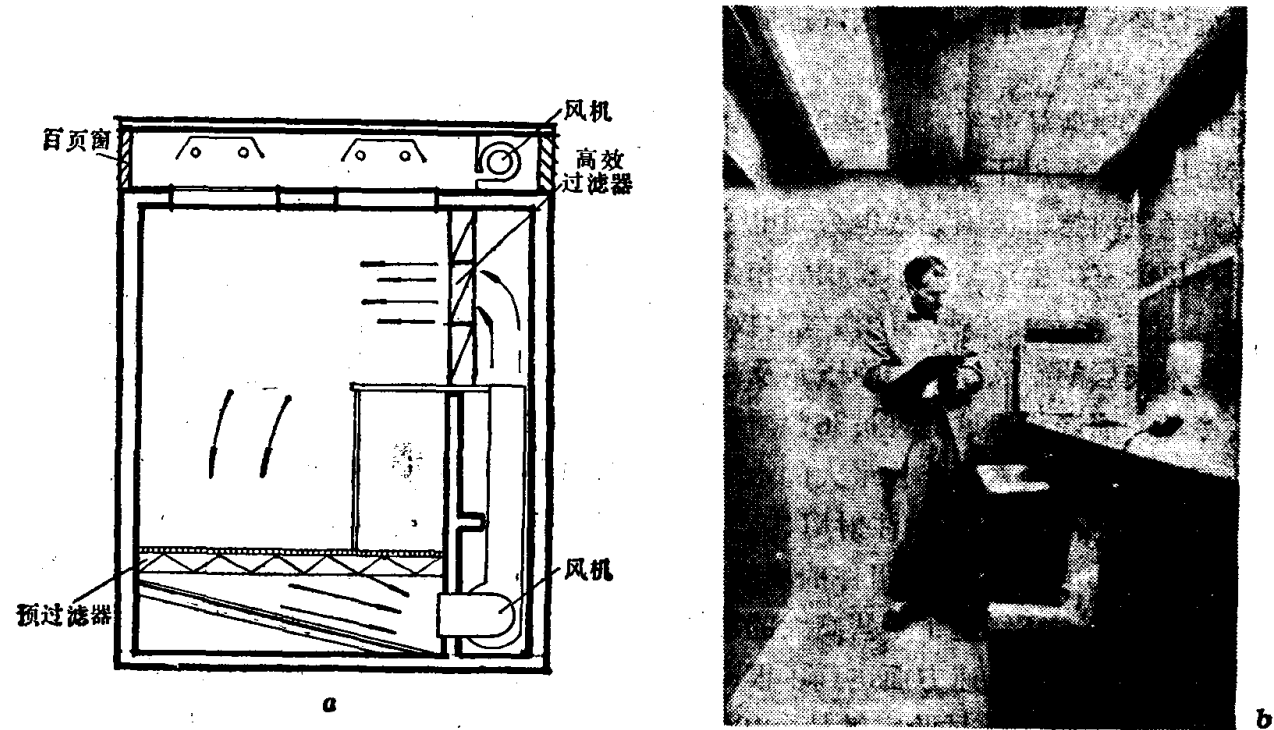


图 1-4 圣地亚公司第一间层流小室
a—剖视示意, b—内景

1961年，圣地亚公司的瓦埃脱菲而特 (W.J.Whitefield) 进一步提出层流洁净室的试验方案。建造了一间层流洁净室。

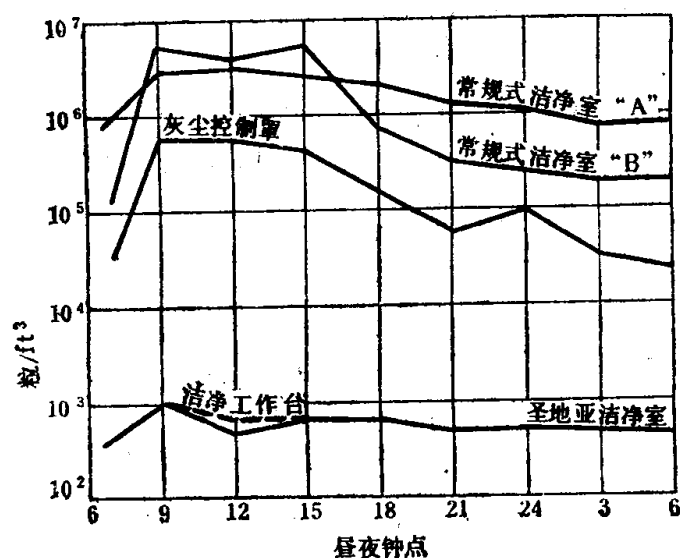


图 1-5 层流小室性能测定曲线

图注：以Royco计数器24小时连续取样。室内人员不穿专门工作服，不经人身净化，每天进出15次，5天内无大变化。温度：75°F±2°F，湿度：20⁺¹⁰/₋₁₅%，静压：1.27mm水柱。空气中粒径≥0.32μm

房间的试验方案。建造了一间层流洁净室。房间尺寸为1.83×3.05m(米)，高2.13m。工作台沿墙设置，台面以上1.2×3m范围墙面由高效过滤器组成，隔壁设空调与过滤装置。净化空气经过滤器墙均匀吹出，以略大于0.52m/sec(米/秒)的速度流过工作面，经格栅地板和其下的粗过滤器回到空调系统，再经高效过滤器吹入房间，往复循环。每小时换气600次，工作示意如图1-4。

经测试，室中心的工作台边缘处，空气中粒径≥0.32μm的尘粒数少于1000粒/ft³，比常规式洁净室大大减少，见图1-5。而且自净时间极短，工作区发生的烟雾不到五秒就可全部

经格栅排出。

瓦埃脱菲而特设计的层流室宣告试验成功。作为空气洁净技术发展史的第二个里程碑，它使第二代洁净室的空气洁净度产生了飞跃。

二、国内外的进展

层流洁净室问世后，一些国家进展如下：

1. 美国

美国，据奥斯汀介绍，从1962年起层流技术迅速得到推广。1965年以前多用于航空工业，以后即被广泛用于制药和一般工业；1968年起开始用于部分医院和家庭。1964年宾夕法尼亚州兰凯斯特市美国无线电公司电子元件与仪表分公司建成了当时世界最大的100级^①垂直层流室，生产与研制夜视管和月球摄象机摄象管。厂房共15468m²，净化部分为1920m²。上下均有技术夹层，换气次数300次/h；自净时间为20~30sec(秒)。空气经顶部技术夹层的新风系统、静压箱及高效过滤器送入洁净室，回风通过格栅地板进入地下室经冷却、消音与粗过滤再被36台循环风机送入顶部小室。

还有一间据称为六十年代最大的水平层流室，便是美国贝克登·狄金生 (Becton Dickinson) 公司所建，供注射用具、外科医疗机械制造、消毒与包装之用的洁净室。净化面积为3716m²，过滤器组件的墙面长达61m，高达3.6m，仅三周时间即安装完毕。

这个时期美国还修建了一些高大的层流洁净厂房。从效果看，反映了当时美国安装技术以及在控制风量、风速方面达到了很高的水平。例如高达大 (Goddard) 宇宙航行中心的裴洛 (Paylord) 试验室就是个100级高跨间层流洁净室。其中288m²的宇宙飞船调

① 空气中尘埃粒径≥0.5μm的含尘浓度≤100粒/ft³(立方英尺)的洁净室。

试室墙面送风口高9.14m、宽1.77m, 装有364只高效过滤器, 总风量34万 m^3/h 。真空光学设备室面积186 m^2 、高15.2m, 装有198只高效过滤器, 总风量21万 m^3/h 。两间洁净室的净化空气串联运行, 一个试验室充当另一个的回风道。此外, 还有一间84 m^2 的垂直层流室, 室高16.76m。顶棚送风, 送风静压箱内装设144只高效过滤器, 总风量为85000 m^3/h , 近地面的侧墙回风。以上设计的室内正压为5.1~10.2mm水柱, 水平层流风速 $0.5\pm 0.1\text{m}/\text{sec}$, 垂直层流风速 $0.3\pm 0.075\text{m}/\text{sec}$ 。洁净度 ≤ 100 级, 实测效果良好。

六十年代美国洁净技术的标准制订与总结交流也极为活跃。从1961年至1965年先后两次修订、三次公布了空军技术条令。从1963年至1966年颁行和修订了美国联邦标准。1967年又出版了第一个有关微生物净化级别的美国国家航空与航天管理局的标准, 并配合出版了对该标准的解释、教学用资料与管理手册。此外, 1960年美国污染控制协会(American Association for Contamination Control简称AACC)于波士顿成立。包括约10个技术委员会, 下设六个地区分部。它的活动针对净化及其有关技术。1965年年会发表的论文集是当时唯一反映最新情报的资料, 受到全世界净化工作者的重视。两年后第六次会议是该协会活动的高潮。最兴旺时期有会员1500多人。1973年解散。

2. 英国

英国层流技术的应用约晚于美国五年。1967年英国电气阀门有限公司建成水平层流室, 供彩色电视摄象管生产使用。次年, 斯密斯工业有限公司为生产陀螺仪又建成了一座水平层流室, 以及英国列顿温泉总部为生产飞机航行控制设备而建造了第一间垂直层流室。规模都不很大。

欧洲国家的经济条件与美国不同, 他们嫌洁净室的建设投资大, 因而对控制工作点比控制整个房间更感兴趣, 提出了净化橱、局部净化设备、移动式洁净室以及医用塑料帐篷等等方案。英国约翰巴斯公司制作的装配式乱流洁净室以及南伦敦公司的各项净化产品, 反映出他们为上述观点所作的努力。

3. 日本

六十年代的日本处于高速发展经济阶段。它的净化技术伴随着半导体集成电路和彩色电视的发展而迅速发展。1965年开始到六十年代末, 电子工业各大公司相继建造洁净室, 其中包括垂直层流洁净室。

4. 中国

中国围绕精密机械制造、航空仪表和电子工业开始发展洁净技术。1962年开始研究集成电路, 1965年起陆续研制成功高效空气过滤器及洁净工作台, 1969年开始研制装配式洁净室。

首次考虑洁净级别并使用高效空气过滤器的工程是1965年设计的微型轴承装配室。它附建在大厂房中, 把高效过滤器装设在工作台前方墙壁里, 以期得到局部净化气流, 回风口设在两面墙壁下侧。

1966年某研究所在原有建筑物中改建成两间洁净室供电气材料研究。一间为乱流洁净室; 另一间为上侧送下侧回气流, 沿相对两墙面分别布置两行工作台, 工作台以上墙面满布送风口, 工作台以下墙面满布回风口。同年, 另一幢大面积生产单晶硅的洁净室建成, 三级过滤, 气流上送下侧回。六十年代中期, 个别工程开始使用装配式洁净室。

总的来说, 此时中国尚处在发展净化技术的起点上。