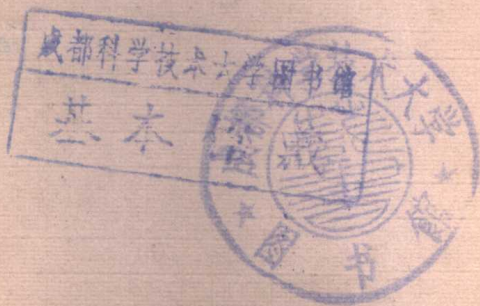


634951 5608

5/4146

洁净室技术

[苏] И.П.柯帕里扬诺夫 著
俞 肇 基 译



中国建筑工业出版社

洁 净 室 技 术

[苏] И.П.柯帕里扬诺夫 著

俞肇基 译

中国建筑工程出版社

本书对室内微尘的形成、特性、危害，洁净室的设计和装修、空气净化、洁净室含尘量的检测、零部件在运输和贮存时的防尘等作了全面通俗的介绍，并提供数据和经验。此外，书中还列举了各种电子产品生产环境的允许含尘量。本书可供有关设计人员和生产管理人员参考。

И.П.Куприянов

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
МИКРОКЛИМАТ**

МОСКВА СОВЕТСКОЕ РАДИО, 1976

洁 净 室 技 术

俞肇基译

*

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
北京市顺义县印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：5 $\frac{3}{8}$ 字数：120千字

1982年2月第一版 1982年2月第一次印刷

册数：1—5,300册 定价：0.45元

统一书号：15040·4125

译 者 的 话

随着现代技术—宇宙飞行、原子能、电子技术、元器件微型化等飞速的发展，使得产品部件日益复杂、精度越来越高，要求产品高度可靠、使用寿命长。国外在生产这类产品及其部件时，曾遇到产品质量低劣，废品率和返修率高等问题。实践证明，造成这种情况的一个重要原因是，在生产过程中，空气中的微尘对产品及其零部件的污染。这样，洁净技术也就在为提高产品质量、促进现代技术发展的过程中成长了起来。

目前，洁净技术在国外已广泛应用于国防尖端、电子工业、精密机械、医疗、医药等部门。

当前，我国社会主义建设正进入一个新的发展时期，为了适应我国建设事业和电子工业发展的需要，故翻译了《洁净室技术》一书。本书论述了微尘的形成、危害、洁净室的设计、空气净化方法和设备、零部件在运输和贮存时的防尘等问题；将对有关洁净技术的广大设计、科研、生产人员在工作中提供许多有益的数据和经验。由于水平所限，在翻译中，恐有谬误之处，望读者批评指正。

1980.8.

目 录

概 述	1
第一章 对生产环境洁净度的要求	3
第二章 悬浮尘粒的形成和特性	10
1. 尘源	10
2. 生产间的尘粒	11
3. 尘粒在空气中的分布	14
4. 尘粒对制品危害的机理	20
第三章 洁净生产环境的建立方法和设备	23
1. 杜绝室外空气中的悬浮尘粒进入洁净室	26
室外环境	26
生活间	28
洁净室的密闭	36
2. 减少洁净室中的尘源	40
洁净室	40
动力管线	56
洁净室的工作制度	64
3. 净除生产环境中的悬浮尘粒	66
送风系统	66
净化工作台	82
4. 空气调节	97
空调器	101
5. 空气净化	106
过滤材料	108
过滤器	109

回风净化装置	118
空气净化系统	124
6. 扫除	133
7. 洁净环境参数的检测	135
环境洁净度的测试设备	140
第四章 制品在运输时的防尘	143
1. 柜	143
2. 容器	144
3. 膜	150
4. 手套和指套	150
第五章 技术经济因素	153
结束语	160
参考文献	161

概 述

自动化装置在现代科学技术的发展上起着重大的作用。由于这些装置都是由成千上万个电子元件和其他机件组成的，所以，如何保证他们正常工作乃是一个极为复杂的问题。组成复杂的自动装置的元件应符合许多要求，其中最主要的是它的可靠性和体积小。

现代的电子学正经受着一场技术革命，其特点是以微电子学和集成电子学为基础，从分立元件过渡到生产具有完整功能的部件、组件直至整个器件。在一片5~8平方毫米的硅片上，可以布置150个以上的晶体管、二极管和阻容元件，从而构成一个具有完整功能的电子组件^[1]。近10~15年来，电子设备的多功能组件的体积缩小了近千倍^[2]。

由于间隙和公差日益变小，一旦制品的关键元件上落有无关的微观物质（微尘、毛发、有机物质、 Cl_2 、 SO_2 、 HCl 腐蚀性气体、氧化氮和其他有害化学化合物），其功能就会遭到完全的破坏。尘粒可通过各种途径落在零件的表面上和潜入制品内部，这时就会造成器件短路，漏电以致击穿。氮和含硫化合物可使阴极中毒和零件锈蚀，氧化物则会促使剩余气体逸出，破坏接点和焊缝变脆。

电子制品和自动化装置的微型元件的可靠性可以通过采用高纯度材料、合理的结构形式和工艺卫生来提高。必须着重指出的是，在制造精密制品的过程中，必须保证用于制造制品的贵重材料高度洁净。

准确选择材料和制品的结构形式可以减少生产过程中所产生的污染物在制品上的积聚。因此，必须尽可能减少零部件的数量以及无多余的可积尘的缝隙和凹陷。与此同时，应压缩工艺工序，特别是那些会给制品或其他元件带来污染的工艺工序。

在精密制品的生产过程中，工艺卫生具有决定性的作用。工艺卫生乃是使器件及其元件在制造时免遭或少遭污染的方法，是设备和措施的一种结合。

工艺卫生要求：

- 选用能使工件免遭或少遭污染的工艺过程；
- 以所谓的洁净、超净液体和气体供给工艺过程之需；
- 建立洁净生产环境，也就是建立温湿度、人流和空气洁净度都符合给定范围的环境。

因此，工艺洁净环境只是保证生产出可靠精密制品的系统措施中的一个部分，他的作用主要在于防止制品污染或减少污染的机率，以及杜绝污染粒子对制品的影响。

第一章 对生产环境洁净度的要求

生产环境的洁净度决定于制品及其制造过程的特点。在加工一种制品的环境中，尘粒的极限允许粒径及其数量决定于制品的特性和结构，其动态参数和各元件之间的间隙（间隙和公差）。对于尘粒的极限粒径，一般都取用制品元件之间最小间隙（公差）的 $1/2$ ，甚至 $1/3$ ^[1]。例如，如果微电路各元件间的间隙为1微米，则在加工这一制品的环境中，尘粒的粒径不得大于0.5或0.3微米。但是，这时必须考虑的是，粒径小于极限值的尘粒也会带来危害，这是因为这种尘粒会自行聚合，甚至可能落到制品的临界点上。

在确定工艺环境的洁净度时，必须考虑下列三点：

- 1) 可能危害制品的尘粒粒径；
- 2) 工艺环境中极限粒径的尘粒的允许含量；
- 3) 尘粒落在被加工制品表面的机率。

现今已经研制出一些能够保证建立起洁净生产环境的方法和设备，并为完成各种具体生产过程和生产工序的环境规定了允许的含尘量。表1表示按照制品和工艺工序的类别划分的环境洁净等级，他是根据H587-66标准制定的。但是，随着经验的积累，需要对这一洁净等级作一些修正以及对环境洁净度提出更高的要求。

关于精密制品的制造工艺过程的洁净等级，许多国家都根据美国209标准（见图表2）来确定的或直接采用这一标准。

对某些电子制品生产环境洁净度的要求

表 1

制 品	工 序	一升空气中 的允许 尘粒数 (颗)	尘粒粒径 (微米)
电子束 管	涂屏和涂有机膜(刻线机工段)	30	0.5
	配制溶液; 零件最后清洗; 装架; 工序真空和阴极涂覆; 用刻印法制造栅极; 制造荫罩	70	1.0
超高频 器件和发 射管	涂石墨和蒸铝; 在管颈上涂氧化锡; 栅极镀银; 腐蚀; 焊接接帽; 退火和缠绕	700	未定
	零件最后清洗; 装架和测试; 钎焊; 焊接; 密封度检验; 排气; 试验; 陶瓷零件金属化; 去油和超声清洗; 制造金属玻璃零件、谐振腔、延迟线	700	未定
收信放 大管和气 体放电器 件半导体 器件	零件最后清洗; 装架; 栅极制造和检验	70	1.0
	封口和排气; 云母涂氧化镁和铆接; 绕栅; 栅极镀金和镀铜	700	未定
光电器 件	制造掩膜; 光刻	30	0.5
	晶片研磨、清洗、腐蚀、分选、抛光; 零件最后清洗; 外壳和器件装配; 扩散和合金; 结的保护; 结的装配; 芯片焊到芯柱上和焊引出线; 密封和合金工段	70	1.0
薄膜金 属膜和漆 膜电容器	单晶棒定向; 晶片切割和粗研磨	700	未定
	涂屏、金属化和检验; 零件最后清洗、装架; 配制悬浮液	30	0.5
漆膜制造	玻壳清洗、退火、封口、排气、老炼、屏配套库	70	1.0
	装管座、试验、配漆	700	未定
漆膜制造	漆膜制造	30	0.5
	膜剪切、金属化和缠绕; 浸灌混合物、装配	70	1.0
	装接点和热处理	700	未定

续表

制 品	工 序	一升空气中 的允许 尘粒数 (颗)	尘粒粒径 (微米)
金属纸	混合物制备; 纸上漆; 金属化; 缠绕; 装	200	未定
电容器纸	配芯片和电容器; 密封		
和云母电 容器	备料和引线工段、纸、金属箔和云母仓库, 测试工段	700	未定
电解和 半导体氧 化物电容 器	所有工序	700	未定
有机薄 膜低压电 容器	薄膜和金属芯片的制备; 金属化; 装配 材料和铸浆的制备; 退火; 检验; 测试和 老炼	70 700	1.0 未定
陶瓷电 容器	金属芯片的制备 其他工序	70 700	1.0 未定
电阻器	所有工序	700	未定
石英谐 振器	压电晶片的研磨和抛光; 化学镀镍; 烧渗 胶态银膏; 真空金属化; 焊引出线; 装架; 调谐; 热老炼; 密封和充中和气体 其他工序	70 700	1.0 未定
化学半 成品和电 真空器件 的配套件	氧化铝悬浮液和消气剂成分制备; 阴极、 热丝和消气剂装配; 陶瓷金属化; 金属陶瓷 零件封接 其他工序	70 700	1.0 未定

无论是H587-66标准还是209标准, 环境的洁净等级都是以粒径为0.5微米以上的尘粒划分的。他们之间的差别在于209标准不仅规定了洁净室的环境的洁净度, 而且还规定了各工作点的净化工作台的洁净度。

实际上, 在生产精密制品的工厂中, 对洁净度提出的要

求远高于H587-66和209标准，这是因为实践证明，一旦有一颗0.3甚至0.1微米的尘粒落在精密制品的表面，也会破坏制品的工作参数。

许多工艺过程都必须在一升空气中只含有二颗粒径为0.5微米的尘粒的环境中完成^[5]。有一些工艺过程虽非必须在一级洁净环境中进行，但也不允许在二级洁净环境内完成。因此，需要有一种介于一级和二级之间的中间洁净环境，这种洁净环境一般允许每升空气中含有35颗尘粒。

所有在洁净环境内完成的制品的生产过程都是根据其对环境空气洁净度的要求来分类的，而每一种过程又都只能在某一级洁净环境内完成。对洁净度要求很高的工艺过程决不能在洁净度较低的环境中进行，否则制品难免不受污染。反之，也不能把对洁净度要求较低的制品放在洁净度较高的环境中加工，因为，这一方面会增大洁净空气受污染的机率，另一方面，也会因净化空调空气费用的昂贵而使这些制品的生产成本提高。

当必须把对环境洁净度要求各不相同的工序合在一起时，就只能把对空气洁净度要求较高的工序划分出来。决不允许把一些会使工件和材料受污染或发生真空中毒的工序同装配过程以及消气剂、粘结剂和氧化物制备工序合在一起。在进行关键性工序的环境中，粒径为0.3~1.0微米的尘粒在空气中的含量最高不得超过0.001毫克/立方米^[6]。

在生产集成电路时，对环境的洁净度有着更高的要求，这是因为随着晶片单位面积上复杂电路集成度的提高，因工艺环境污染而产生的废品率也会增大。大规模集成电路还要求实现多层连接，在这种情况下，导体之间需要保持很多间隙，因此在制造制品过程中微尘落入这些间隙，引起短路的

机率就更大。

要使半导体器件生产达到最高的质量指标，就必须把晶片氧化、扩散和光刻以前的化学清洗和其他一些“特殊”的工序布置在每升空气只含5颗0.5微米的尘粒的洁净环境中，而在制造半导体固体电路时，对这种环境的要求是每升空气中不得超过2~3颗粒径为0.7微米的尘粒^[7]。

在意大利阿纳格扬彩色显象管工厂的涂屏工段，空气是通过三级过滤后再经过吊顶上的过滤器送入的，工段借助这样的过滤系统可滤除空气中99.97%的粒径为0.3微米的尘粒^[8]。

对于制造电子管各种零件、装配和检验阴极部件的环境来说，每升空气中只允许含有5颗粒径为1微米的尘粒^[9]。

实践证明，生产薄膜电容器时，大部分废品都源出于薄膜是在每升空气中含有1500颗0.5微米的微尘的环境中制造的，只要把每升空气的尘量降到只含200颗0.5微米的尘粒，废品率就可减少到5%，而且可靠性也能得到显著提高。显然，金属微尘对电容器的性能有着最为有害的影响。

按209划分的工艺环境洁净度

表 2

洁 净 等 级	一升空气中的最高含尘量(颗)	
	0.5微米和0.5微米以上	5微米和5微米以上
一 级	3.5	0
二 级	350	2.3
三 级	3500	24.5

对于很多工艺过程以及精密元件和制品来说，既尚未找到确定极限允许含尘量的方法，也还无迅速、简便和价廉的空气净化方法^[10]。

英国全空调房间的新风量

表 3

房 间 名 称	每一人的风量(立方米/小时)
食 堂	20~17
元 件 库	17~13
生产车间	17~13
实 验 室	25~17
办 公 室	25~17

在建立洁净生产环境时，既要保证相应的洁净等级又要使温度、相对湿度及空气压力保持恒定。温度的变化，特别是在短暂时间内的急剧变化，将导致材料的变形，从而产生大量悬浮微尘。除此以外，温度的变动还会给公差很小的制品本身以及加工这类精密制品和元件的工艺环境带来极为不利的影响。例如，对于半导体平面管生产工艺的精密掩膜工序，气温的变动决不允许超过 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，这是因为气温会影响显影温度，而如果显影温度在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围内变动，则制品的尺寸在显影后就会发生0.15微米的偏差^[11]。

根据209标准，对于最重要的生产工序来说，洁净室内的气温应保持在 20 到 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的范围内，而对于一般的工序，则为 20 到 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。但是，温度的变化必须保持每小时不超过 2°C 。

我们知道，空气相对湿度高于50%就会加速金属的腐蚀，从而在空气中生成微尘。因此，最适宜的空气相对湿度应为40~50%。209标准规定相对湿度为 $45 \pm 10\%$ 。实践中，都采用相应设备来保证相对湿度可在 $\pm 1\%$ 范围内调节。

电子制品的许多工序，例如，晶体的最后清洗和抛光，光刻、结的保护等，最好在相对湿度低于3~5%的环境中完

成。但是，工作人员是不能在这种相对湿度的车间内工作的，因此，这样的工序必须在与人隔开、全密闭的净化工作台中完成。

为了防止含尘空气通过门窗的缝隙潜入到洁净室，洁净室内必须保持静压。

在建立洁净生产环境时，送风速度具有重要的意义。我们知道，当上送下回的气流速度为0.25~0.5米/秒时，生产过程中产生的和操作人员带入的悬浮微尘就能有效地为气流带走。但是，把气流速度从0.25提高到0.5米/秒，就需要采用大型通风设备，从而也需要耗费大量的电能。除此以外，根据卫生标准，气流速度又不应超过0.3米/秒，因为气流速度在0.35米/秒时，工作人员就开始感到有穿堂风。鉴于这一缘故，洁净环境中的气流速度必须保持在0.25米/秒的范围内。不过，在国外，气流速度也有采用0.5米/秒的^[12]。

但是，很少有人能定出使空气中具有足够氧量的合理的气流速度。为此目的，送入空调系统的新风量应根据卫生技术标准来确定，一般应为10~25%。但是，如果考虑到设备的运行也要求空气中含有较高的氧量，则洁净室中的新风量宜增加到40%。根据英国电子工程实验公司的数据^[13]，一个工人需要17到25立方米/小时的风量，见表3。

在制定建立洁净生产环境的措施时，必须使任何一颗悬浮尘粒，即使粒径为允许的尘粒，一次也不在关键制品上面通过。如果尘粒在制品上面通过两次，则此制品或其元件受污染的机率也提高二倍。

在组织精密制品的生产过程时，对洁净生产环境提出的所有要求都是主要的要求，因为即使只破坏其中一条，也会使遵守其他的要求变得毫无意义。

第二章 悬浮尘粒的形成和特性

要制定有关建立洁净生产环境的系统措施，就必须了解尘粒的形成过程、他们的特性和对制品的危害。近十几年来，在一些技术文献[4, 10, 12, 14~17]中已详细叙述了尘粒的形成规律、其特点和对精密制品的危害机理。

凡能危害制品或可能危害制品的任何悬浮尘粒都是污染物，污染粒子是由于各种固态、液态和气态物质相互接触而形成的，同时也是一种物质对另一种物质的物理化学作用的结果。他们或源出于一些有机体（植物花粉、最细小的种子、微生物、有机物和射气的分解产物）或产生于人的活动。

在空气中悬浮尘粒的浓度，成分和粒径决定于地理位置的气候条件和其他大气因素、尘源以及悬浮尘粒的其他参数，如密度、形状、吸湿性等^[18]。

1. 尘 源

尘源有原生和自然、派生和组合之分，也有内部和外部之别。属于原生或自然尘源的有细菌和病毒；动物，昆虫；植物的生机产物；芽胞；土壤腐蚀形成的尘埃；水滴的盐分和其他残留物；雾；火灾和火山的弥烟；以及宇宙尘。所有这些尘源都可以由于人的活动而产生尘粒。

因人类的活动而能产生悬浮尘粒的派生尘源有运输，而首先是汽车运输；冶金、水泥、造纸、纺织、石油加工、化

学和其他产生尘埃的工厂；垃圾、煤和重油的燃烧产物；烟草和取暖系统的烟气；农作物和动物等。

在工业中心，空气中的尘粒含量正在急剧增长，这是因为人为派生尘源产生的污染物不断进入自然悬浮尘粒中。

在美国，运输、工业企业和动力装置等每年向大气排出约一千八百万吨污染粒子^[19]。这样，仅派生尘源每天就要产生六万吨尘粒。如果这些污染物的密度为1克/立方厘米，浓度为0.1毫克/立方米，则仅一天产生的尘粒就可以使方圆六百万平方公里的空气受到污染，而且污染深度可达100米。

在每立方厘米空气中，派生尘源产生的污染粒子的含量为 $10^2 \sim 10^3$ ，浓度为0.01到0.1毫克/立方米，而且这些尘粒的直径均为千分之一微米（射气分解产物）到百分之一微米（植物种籽）^[3]。

室外空气的污染度决定于派生尘源和原生尘源。下面我们就列举美国不同地区的空气含尘浓度（毫克/立方米）^[10]。

农村（和郊区）	0.05~0.5
城区	0.1~1.0
工业中心	0.2~5.0
生产间	5.0~10.0

这些数据对于组织洁净生产具有重要意义。室外空气越洁净，工厂的基建和运行费用越低。

2. 生产间的尘粒

利用现代化的技术设备完全能可靠地将精密制品与室外空气中的污染物隔开。但是，要将这些制品与生产间内产生的悬浮尘粒隔开却是非常复杂的。

生产间内的主要尘源是工作人员在生产间内的活动，也