

# 洁净室设计手册

JIE JING SHI SHE JI  
SHOU CE

(日) 早川一也

学术书刊出版社

# 洁净室设计手册

〔日〕早川一也著

邓守廉等译



学术书刊出版社

## 内 容 简 介

本手册介绍了洁净室的设计计算方法、空气净化系统的构成及选择、对洁净室的各项技术要求（如洁净度、温湿度、正压或负压、噪声、照度、振动、防静电、电磁屏蔽…）、净化设备及其它动力设施（如超纯水、超纯气体）以及洁净室的施工、运转、监测、维修等有关技术

本手册可供设计、施工、运行管理和教学等部门使用与参考。

### 洁净室设计手册

〔日〕早川幸也著

邓守廉等译

责任编辑 廖汇芳 王存春 陆耀明

\*

学术书刊出版社出版

北京海淀区学院南路86号

国营二九〇一印刷厂印刷

四川省新华书店发行 各地新华书店经售

\*

1989年8月第1版 开本：787×1092毫米1/16

1989年8月第1次印刷 印张：32.625

印数：0001—7000 字数：792千字

ISBN 7-80045-236-0/TB·4

定价：布面精装 24.00元  
平 装 18.00元

# 译 序

洁净技术是一门新兴的科学技术，在现代工业与科技领域得到普遍的应用。在美、日、西欧等工业发达国家洁净技术发展十分迅速，洁净标准不断更新，目前国际上最高洁净度等级可达0.1微米1级洁净度。我国是从五十年代末开始空气净化技术的应用和开发，随着我国核技术、航空航天技术和微电子工业的发展，洁净技术也取得了较快的发展。1965年，高效空气过滤器正式研制成功，以后又陆续建成土建式洁净室、多种形式的装配式洁净室和洁净工作台，高效空气过滤器的品种也逐渐由单一转为多样。最近几年，除在电子工业、宇航工业、精密机械等工业得到普遍应用外，洁净技术已渗透到生物、医药和食品等工业。经过20多年的发展，可以说我国空气洁净技术已达到较高的水平，基本上满足和适应了我国现代化工业发展的需要。我院是我国电子工程的主要设计院之一，20多年来在集成电路工程设计方面积累了丰富的经验，承担了无锡微电子联合公司、上海飞利浦半导体公司、上海无线电十七厂、上海无线电二十九厂、国营新光电子厂、国营亚光电子厂、成都生物制品研究所、武汉生物制品研究所等一些重要的集成电路和生物洁净工程设计。科研方面，先后研制成功了WGP系列无隔板高效空气过滤器，XG型斜波纹板高效空气过滤器、0.1微米高效空气过滤器液槽密封装置等。这些成果填补了国内洁净技术产品的空白。最近我院研制成功的全部国产化0.1微米10级洁净室已通过部级鉴定。此外，我院还与国内外洁净技术界同行建立了密切的联系，曾多次进行中外洁净技术交流活动。由日本早川一也先生主编，日本20多位洁净技术专家编写的《洁净室设计手册》反映了日本洁净技术的新水平。经征得早川一也先生和日本出版社施策研究中心的同意，我院组织力量翻译出版。

早川一也先生现任日本工业大学教授，日本《空气净化》杂志顾问、日本建筑设备综合协会会长。1967年在美国获得博士学位并任教，以后曾在日本东京工业大学任教。他对洁净技术的研究已有二十多年历史，是日本和国际洁净领域的知名人士之一。他主持编著的有关洁净技术著作已在一些国家翻译发行，成为研究洁净技术的宝贵资料。

我有幸结识早川一也先生是在1980年3月，当时随中国电子学会CIC实习组到日本研究洁净技术，受到日本CIC研究所所长小林八郎先生的热情接待和早川一也先生的亲临指导。以后，早川一也先生和小林八郎先生曾多次到我国访问。其中1987年9月、1988年8月先后两次亲率日本洁净技术访问团到我院举行专题报告，进行洁净技术交流。1987年经上级批准，早川一也先生正式受聘担任我院洁净技术顾问，对我院从事洁净技术的工程技术人员进行具体指导，并将这本《洁净室设计手册》赠送给我。《洁净室设计手册》一书在中国的翻译、出版、发行必将为进一步增进中日洁净技术界的相互了解，对发展我国的洁净技术作出贡献。

本书的出版工作得到了学术书刊出版社四川编辑室廖汇芳主任的大力支持和热心指导。我院陆耀明等一些同志、核工业部第九研究院一所编辑室的同志们都为本书的出版、发行做了大量的工作，在此一并感谢。由于我们水平所限，书中翻译难免有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

机械电子工业部电子第十一设计研究院

邓守廉

一九八九年八月

## 前 言

洁净室有生产材料，有精密而重复加工精度高的生产设备，有维持它们并使之长期保持于同一环境条件下的空气调节设备，这是洁净室生产的必须的条件。这里所指的环境条件是空气洁净度，它和温度、湿度、气流同为重要因素。现在，几乎所有的工业领域都在追求洁净工作环境。于是，洁净环境得到了普遍地推广，例如，在超LSI生产环境里，甚至连粒径 $0.1\mu\text{m}$ 的尘粒的控制技术也进入了实用阶段。当前，工业领域中实用的最高洁净度是超LSI生产中照相化学腐蚀工艺部分。在这种环境中，每 $1\text{ft}^3$ 空气中直径为 $0.1\mu\text{m}$ 以上的尘粒数不超过 $10\sim 1$ 个，对半导体器件生产工艺来说，这是一个好的例证。

过滤器生产厂以 $0.1\mu\text{m}$ 为奋斗目标，为洁净技术提供了超高效的ULPA过滤器（Ultra Low Penetration Air），和原来的HEPA（High Efficiency Particulate Air）高效空气过滤器比较，过滤效率提高了1位数。然而，对大气尘粒径分布的实测结果来看， $0.1\mu\text{m}$ 以上的尘粒数多达 $10^8$ 个/ $\text{ft}^3$ ，而 $0.1\mu\text{m}$ 10级空间的尘粒数仅10个/ $\text{ft}^3$ ，相当于大气尘浓度的 $1/10^7$ ，是含尘浓度相当低的超净状态。因此，在千差万别的条件下，究竟如何处理洁净室的设计，目前还颇感数据不足。

对于洁净室的设计，就目前的现状而言，多数是凭借设计人员个人做出判断，进行设计。因此，为着加深共同的理解，务必有一本洁净室设计手册。本手册如能成为洁净室设计的指南，成为考察洁净室设计效果的资料，将不胜荣幸。在手册中，没有给出结论仅仅提出问题之处，其目的是想和各位读者共同进行研讨。

笔者承担了全书的规划和编辑工作，现在活跃在日本生产第一线的有关人员分担了编写工作，详见编者、执笔者一览表。借此机会对各位编写者的通力合作致以衷心的感谢，对出版本手册的施策研究中心，对给予多方关照的西川寿一氏亦表谢意。

早川一也  
1986年

# 目 录

<b>第一章 洁净室及其设计程序</b> .....	( 1 )
1  洁净室概述.....	( 1 )
2  设计程序.....	( 1 )
3  确认设计条件.....	( 3 )
4  室内空气污染物浓度的计算.....	( 4 )
5  室内空气净化.....	( 9 )
6  大气中悬浮尘粒的特性.....	( 13 )
7  0.1 $\mu\text{m}$ 10级与大气中的悬浮尘粒.....	( 16 )
8  洁净工作服发尘性的研究概况.....	( 17 )
9  洁净室标准及试验方法.....	( 22 )
<b>第二章 建筑规划</b> .....	( 28 )
1  各种行业要求的洁净度.....	( 28 )
2  平面设计.....	( 32 )
3  构造设计 (结构设计) .....	( 65 )
4  内装修设计.....	( 71 )
5  洁净室用的设备.....	( 78 )
<b>第三章 系统的选择</b> .....	( 105 )
1  室内气流组织.....	( 105 )
2  空气净化方式.....	( 110 )
3  正压控制.....	( 116 )
4  空调方式.....	( 119 )
5  工业洁净室与生产设备.....	( 124 )
<b>第四章 洁净度计算与送风量的确定</b> .....	( 126 )
1  室外新风量计算.....	( 126 )
2  送风量计算.....	( 129 )
3  悬浮尘粒浓度的计算.....	( 129 )
<b>第五章 空气调节设备设计</b> .....	( 145 )
1  热负荷计算.....	( 145 )
2  空调设备的送风量.....	( 162 )
3  场地规划.....	( 163 )
4  空调设备的选择.....	( 165 )
<b>第六章 公用设备与环境对策</b> .....	( 173 )
1  电气设备.....	( 173 )
2  安全防护设备.....	( 180 )

3	给排水设备	(182)
4	特殊设备	(192)
5	防静电措施	(236)
6	防电磁波的措施	(244)
7	建筑防微振措施	(251)
<b>第七章 施工注意事项</b>		(264)
1	施工计划	(264)
2	内装修工程	(267)
3	风管工程	(277)
4	过滤器	(284)
5	配管工程	(287)
6	机器设备	(292)
7	试运转调整	(293)
8	一般注意事项	(295)
<b>第八章 洁净室的监测</b>		(297)
1	悬浮尘粒浓度的测定方法	(297)
2	气流测定方法	(302)
3	监测方法	(308)
<b>第九章 运行管理、维护检修</b>		(323)
1	防灾、安全措施	(323)
2	维护管理方法	(341)
3	保养、检修方法	(351)
4	洁净室的运行管理指南	(363)
<b>第十章 性能试验方法</b>		(370)
1	洁净室性能的评价方法	(370)
2	洁净室验收测试的实施要领	(374)
3	洁净度测定值的统计评价	(376)
4	气流可视化试验实例	(382)
<b>第十一章 设计示例</b>		(388)
1	设计时确认事项	(388)
2	施工计划和施工阶段的确认事项	(398)
3	具体的设计示例	(408)
4	洁净室与热电合产	(454)
<b>第十二章 壁板组装式洁净室实例</b>		(463)
1	壁板系统的特征	(463)
2	壁板的种类和特征	(474)
3	设计步骤和实践	(484)
4	功能的核对	(490)
5	施工程序与维护保养	(491)

6 法规限制及其对应范围.....	(493)
附录 层流洁净室的设计方法.....	(499)
1 概述.....	(499)
2 控制部位的含尘浓度.....	(499)
3 控制部位附近的尘粒动态.....	(501)
4 尘粒在控制部位上的附着.....	(502)
5 结束语.....	(507)



# 第一章 洁净室及其设计程序

## 1 洁净室概述

最近,在洁净室技术领域,特别引人注目的是在半导体制造业的超LSI生产中出现了超净室。现行洁净室标准(例如美国联邦标准Fed·Std·209B)规定的室内空气洁净度是以粒径等于及大于 $0.5\mu\text{m}$ 的悬浮尘粒浓度为基准的,而实际要求解决 $0.3\mu\text{m}$ 、 $0.1\mu\text{m}$ 乃至更微小的尘粒的问题,特别是浓度是 $10\sim 1$ 个/ $\text{ft}^3$ 等。超净室的应用就是为了满足超出现行标准范围更高的洁净度要求。鉴于目前超净室还没有明确的定义,只好采用过去的洁净室分级法,按 $0.3\mu\text{m}$  10级或者1级、 $0.1\mu\text{m}$  10级或者1级来划分。因此,组成超净室的超净空间的技术是什么以及如何确认,仍然有许多不明确的地方。

超净室主要是生产车间出于提高超LSI生产的成品率所需要而产生的。在半导体生产线中,硅片工艺对成品率影响最大,其中反复扩散→光刻工序在提高产品可靠性上又是最重要的工序。

为了在硅片上形成线宽极微细的电路,采用了称为光刻法的照像制版技术。在曝光时,由于粒径与线宽相应的尘粒会遮住光线,光刻胶中有杂质会因此而产生线路断线或短路之类的缺陷。

此外,众所周知,在CVD蒸发、外延等膜层工序中,尘粒会引起膜层脱落,相反地,或以尘粒为核出现结晶的异常生长,在离子注入时被尘粒遮挡的部分出现掺杂物浓度不均匀等现象<sup>[1]</sup>,即便是粒径比线宽还小的尘粒也会带来很大的影响。

当附着有NaCl尘粒或者微小金属粉末时,而后经过热处理就可能以掺杂物离子的形式向内部扩散,造成特性不良,将涉及到更广的范围,加上尘粒本身的化学性质导致的影响会进一步使小的尘粒也成了问题。

半导体硅片上电路的最小线宽随着集成度的提高将越来越微细,如最近的256K MOS DRAM图形线宽约为 $1.5\mu\text{m}$ 。最近,议论较多的是100M位/芯片,在这一具有超高集成度的超超LSI的开发为目标的设计构思中,认为这种芯片上的电路线宽将在 $0.25\mu\text{m}$ 以下。因此,应控制尘粒的最小粒径按未来电路线宽的 $1/5\sim 1/10$ 计算,可能在 $0.02\sim 0.05\mu\text{m}$ 范围内。

洁净室技术正在不断地向以更小的尘粒为对象,控制更高的洁净度的技术发展,以满足半导体工业提高超微细加工的可靠性这一需要。

如超净室的设计与大家常见的100级洁净室一样,是采用线性层流方式的洁净室。为此,要选择适当的过滤器、风量、气流组织等。而这里,我们将从限定净化部位并控制其周围的悬浮尘粒浓度、控制尘粒附着到净化对象表面这一观点出发,提出设计示例,并从重视实际应用角度加以阐述。

## 2 设计程序

洁净室的设计,一般按图1-1所示的程序进行。首先,根据建筑物整体规划给出该室的

区划位置进行布置方案，考虑空气吹淋室、洁净工作台等附属设备和室内装修。

其次，主要按照洁净度要求确定室内气流组织方式、空气净化系统和空气调节系统。

再其次，计算洁净度并按所要求的洁净度等级修正，根据空调计算设计空调系统。

最后，进行投资计算，结合预算对系统进行修正，直至所选系统最优、经济性最佳为止。

下一节，我们将按照设计程序归纳在建筑规划上应注意的事项，同时指出设计时在方式选择、洁净度计算、空调计算中应注意的问题，并列设计数据，以此推动洁净室的设计实践。

投资计算与通常的空调设备估算没有本质上的差别，所以在过滤器资料中只列出单价数据。

另外，表1-1给出了美国联邦标准规定的洁净室洁净度，表1-2给出了 $0.1\mu\text{m}$  10~1级超净室的洁净度。

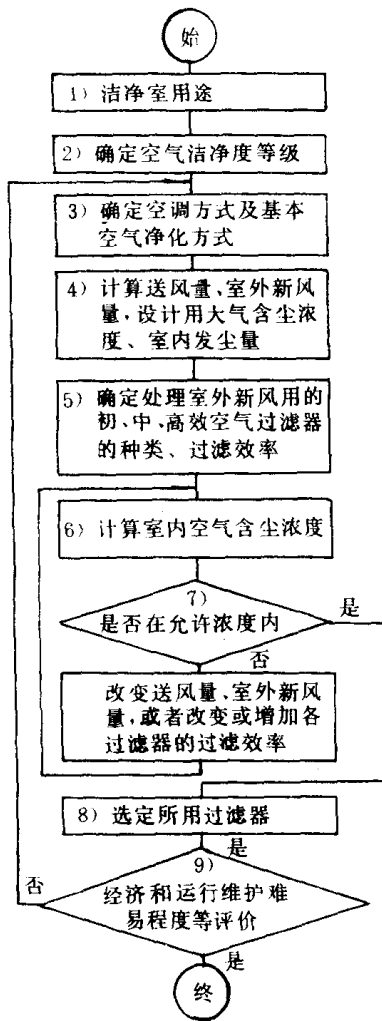


图1-1 空气净化设备选择程序

表1-1 洁净室 (CR) 与生物洁净室 (BCR) 的洁净度

美国联邦标准要点	等级	尘粒 (CR)		生物尘粒 (BCR)		压力 (mmAq)	温度 (°C)	湿度 (%)	气流 换气次数	照度 (lx)
		粒径 (μm)	(个/ft³)	(个/l)	悬浮量 (个/l)					
	100	≥0.5	≤100	≤3.5	≤0.0035				层流 0.45m/s	1,080
	10,000	≥0.5	≤10,000	≤350	≤0.0176	1.25	指定值	45~40	±0.1m/s	
		≥5.0	≤65	≤2.0	≤0.0884	以上			乱流	28次以上
	100,000	≥0.5	≤100,000	≤3,500	≤0.0884				/h	
		≥5.0	≤700	≤700						

表1-2 0.1 $\mu\text{m}$  10~1级超净室的洁净度<sup>[2]</sup>

IC、LSI工厂超净空间规格	
等级	暂行10级
粒径	$\geq 0.1\mu\text{m}$
个/ $\text{ft}^3$	10
压力(mmAq)	1.0以上……正压
温度( $^{\circ}\text{C}$ )	确认要求 $\pm 0.1$ 精度的范围
湿度(%)	已有要求 $\pm 1$ 的工序
振动	在建筑基础上约 $1\mu\text{m}$ 以下
气流	不只限于层流且要努力防止诱导空气
除静电	设备、装置、衣服都应考虑
电磁噪声	应对电子束曝光设备加以研究
其他	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 除去药剂、气体、纯水中的尘粒</li> <li>○ 改善清扫方法</li> <li>○ 改善洁净工作服</li> </ul>

### 3 确认设计条件

在有洁净室设施的建筑设计中，首先必须确认建筑物中要求高洁净度房间的设计要求的条件，即确认作为控制对象的悬浮尘粒的粒径及浓度等级。

洁净室按照洁净度等级，采用图1-2所示的分级办法<sup>[2]</sup>。要求这类洁净室的工业领域，有工业洁净室(ICR)和生物洁净室(BCR)。

最近，在技术革新特别显著的微电子领域与半导体集成电路集成度相对应的超净环境所要求等级，如图1-3所示。

参考图1-3并结合产品成品率和可靠性等实际生产数据，确定最恰当的设计条件。

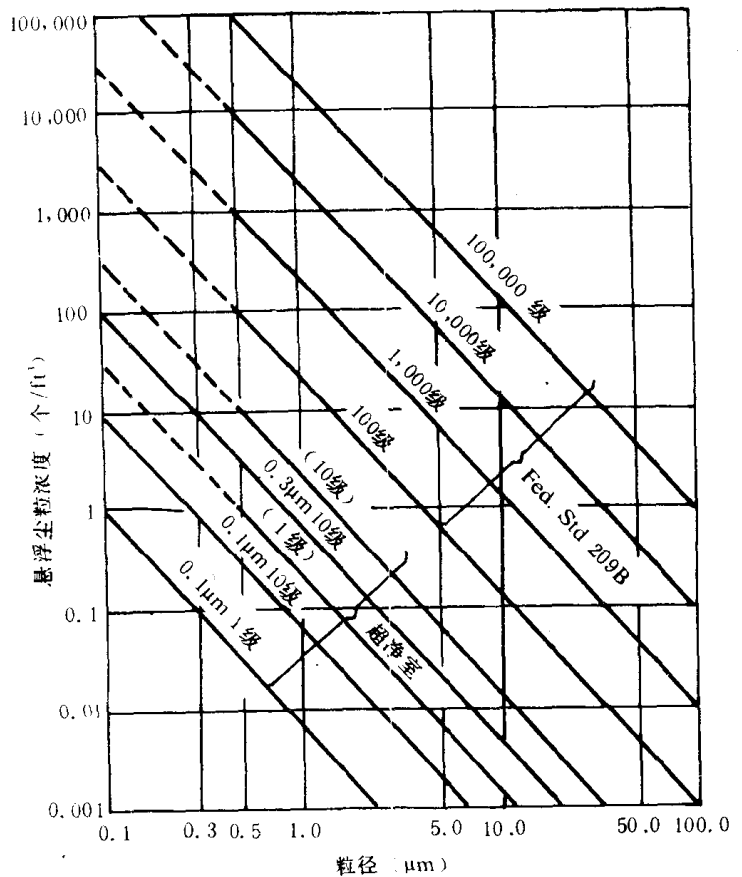


图1-2 现行洁净室标准与超净室

注：由图1-2可知，100、10,000、100,000级这一标准是根据粒径在 $0.5\mu\text{m}$ 及以上的悬浮尘粒浓度(个/ $\text{ft}^3$ )值命名的。对于现在所提到的超净室尚无明确的定义，但它的控制对象是针对 $0.3\mu\text{m}$ 或 $0.1\mu\text{m}$ 的尘粒，而且即使浓度为 $10-1$ 个/ $\text{ft}^3$ 等，洁净度也超过了现行标准，属于高洁净度的洁净室，一般把它叫作超净室。

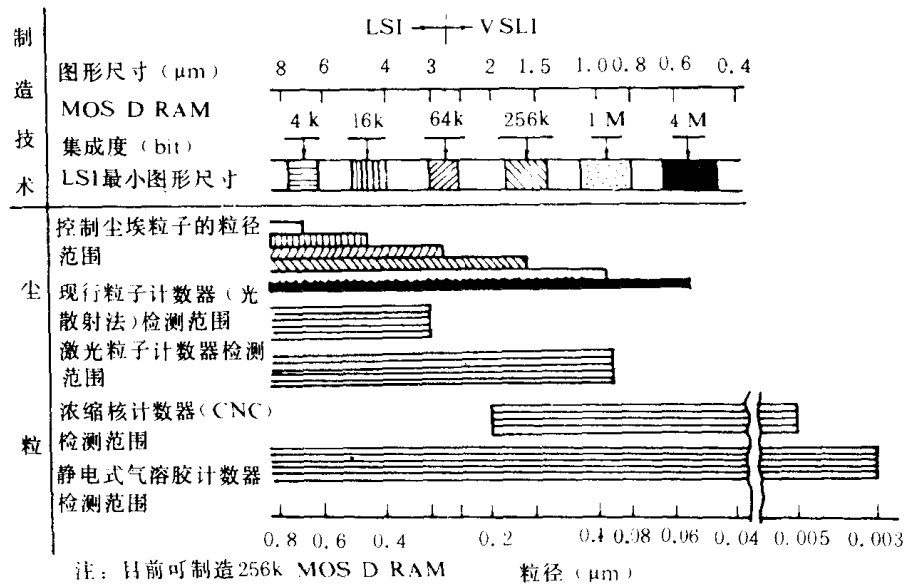


图1-3 LSI的发展与控制粒径范围

## 4 室内空气污染物浓度的计算

### (1) 普通室内污染物浓度公式的推导

在有送回风的被空调房间，室内空气污染物浓度与时间成函数关系。公式推导用的符号如下：

$V$ ：室容积 ( $m^3$ )

$t$ ：时间 (h)

$C$ ：室内空气污染物浓度 ( $mg/m^3$ )

$C_{t=0}$ ：室内空气污染物的初始浓度 ( $mg/m^3$ )

$C_{t=\infty}$ ：室内空气污染物的平衡浓度 ( $mg/m^3$ )

$C_o$ ：室外新风污染物浓度 ( $mg/m^3$ )

$C_s$ ：处理后的室内空气污染物浓度 ( $mg/m^3$ )

$\eta$ ：空气净化设备的过滤效率

$Q_o$ ：室外新风量 (换气量) ( $m^3/h$ )

$Q_s$ ：处理 (过滤) 空气量 ( $m^3/h$ )

$M$ ：室内空气污染物发生量 ( $mg/h$ )

$X$ ：室内空气污染物总量 ( $mg$ )

$N$ ：换气次数

$m$ ：混合比

计算室内空气污染物浓度时的基础主要考虑如下三项内容。

- ① 设室内空气污染物发生量为常数。
- ② 换气量为常数。
- ③ 安装有污染物净化设备且过滤效率不变。

室内空气污染物浓度为：

$$C = X/V \quad \text{或} \quad X = VC$$

现在，假设在dt短时间内，污染物浓度变化为dC，则：

$$dX = V \cdot dC$$

又，室内污染物发生量：

$$M \cdot dt$$

另外，污染物因换气产生的变化为：

$$-(C - C_0)Q_0 \cdot dt$$

由空气净化设备减少的污染物为：

$$-(C - C_s)Q_s \cdot dt$$

因为， $\eta = (C - C_s)/C$

所以， $-C\eta Q_s \cdot dt$

因此，全室内污染物量的变化为：

$$dX = V \cdot dC = M \cdot dt - (C - C_0)Q_0 \cdot dt - C\eta Q_s \cdot dt \quad (1-1)$$

若在C与C<sub>0</sub>=0之间积分：

$$\int_{C_0}^C \frac{-V \cdot dC}{C(Q_0 + \eta Q_s) - (C_0 Q_0 + M)} = \int_0^t dt$$

即：

$$C = C_{t=0} \exp\left(-\frac{Q_0 + \eta Q_s}{V} \cdot t\right) + \frac{C_0 Q_0 + M}{Q_0 + \eta Q_s} \left[1 - \exp\left(-\frac{Q_0 + \eta Q_s}{V} \cdot t\right)\right] \quad (1-2)$$

若考虑平衡状态，则取 $t \rightarrow \infty$ ，得

$$C_{t \rightarrow \infty} = \frac{C_0 Q_0 + M}{Q_0 + \eta Q_s} \quad (1-3)$$

以上，是就一般计算公式而言，若考虑给定的计算条件，则计算公式如表1-3所示。

计算单位时间的换气次数为：

$$N/t = Q_0/V, \quad N = Q_0 t/V \quad (1-4)$$

另外，循环空气并非像理论计算那样均匀混合，所以代入混合比m后，则变为下式。

$$C = C_{t=0} \exp\left(-\frac{\eta Q_s m}{V} \cdot t\right) \quad (1-5)$$

式中的m值一般可取1/3~1/10。

## (2) 室内空气污染物浓度的恒定计算式

室内空气污染物浓度要受空气污染物发生量、室外新风量、同种物质污染浓度、再循环率、空气净化设备的过滤效率等因素的影响。

因此，考虑了这些因素是处在恒定状态下，且室内的空气污染物的产生、排出是平衡的，那么，即可求得室内污染物浓度或者空气净化设备应有的净化能力的计算公式。此时，必要的假设条件如下。

- ① 室外新风污染物浓度、室内空气污染物发生量、送风量、漏风量等都恒定不变。
- ② 室内污染物浓度均匀分布，流入室内和室内所产生的污染物都能在瞬时间内均匀地扩散。

表1-3 各种条件下的室内空气污染物浓度

条 件	室内空气污染物浓度 C	平衡时室内空气污染物浓度 $C_{t \rightarrow \infty}$
① $C_0=0$	$C = C_{t=0} \cdot \exp\left(-\frac{Q_0 + \eta Q_s}{V} \cdot t\right) + \frac{M}{Q_0 + \eta Q_s} \times \left[1 - \exp\left(-\frac{Q_0 + \eta Q_s}{V} \cdot t\right)\right]$	$C_{t \rightarrow \infty} = \frac{M}{Q_0 + \eta Q_s}$
② $M=0$	$C = C_{t=0} \cdot \exp\left(-\frac{Q_0 + \eta Q_s}{V} \cdot t\right) + \frac{C_0 Q_0}{Q_0 + \eta Q_s} \times \left[1 - \exp\left(-\frac{Q_0 + \eta Q_s}{V} \cdot t\right)\right]$	$C_{t \rightarrow \infty} = \frac{C_0 Q_0}{Q_0 + \eta Q_s}$
③ $\eta=1, C_s=0$	$C = C_{t=0} \cdot \exp\left(-\frac{Q_0 + Q_s}{V} \cdot t\right) + \frac{C_0 Q_0 + M}{Q_0 + Q_s} \times \left[1 - \exp\left(-\frac{Q_0 + Q_s}{V} \cdot t\right)\right]$	$C_{t \rightarrow \infty} = \frac{C_0 Q_0 + M}{Q_0 + Q_s}$
④ $C_{t=0}=0$	$C = \frac{C_0 Q_0 + M}{Q_0 + \eta Q_s} \left[1 - \exp\left(-\frac{Q_0 + \eta Q_s}{V} \cdot t\right)\right]$	$C_{t \rightarrow \infty} = \frac{C_0 Q_0 + M}{Q_0 + \eta Q_s}$
⑤ $Q_0=0$	$C = C_{t=0} \cdot \exp\left(-\frac{\eta Q_s}{V} \cdot t\right) + \frac{M}{\eta Q_s} \times \left[1 - \exp\left(-\frac{\eta Q_s}{V} \cdot t\right)\right]$	$C_{t \rightarrow \infty} = \frac{M}{\eta Q_s}$
⑥ $C_0=0, M=0$	$C = C_{t=0} \cdot \exp\left(-\frac{Q_0 + \eta Q_s}{V} \cdot t\right)$	$C_{t \rightarrow \infty} = 0$
⑦ $C_0=0, \eta=1, C_s=0$	$C = C_{t=0} \cdot \exp\left(-\frac{Q_0 + Q_s}{V} \cdot t\right) + \frac{M}{Q_0 + Q_s} \times \left[1 - \exp\left(-\frac{Q_0 + Q_s}{V} \cdot t\right)\right]$	$C_{t \rightarrow \infty} = \frac{M}{Q_0 + Q_s}$
⑧ $M=0, Q_0=0$	$C = C_{t=0} \cdot \exp\left(-\frac{\eta Q_s}{V} \cdot t\right)$	$C_{t \rightarrow \infty} = 0$
⑨ $C_0=0, M=0, \eta=1, C_s=0$	$C = C_{t=0} \cdot \exp\left(-\frac{Q_0 + Q_s}{V} \cdot t\right)$	$C_{t \rightarrow \infty} = 0$

③室内外的污染物的粒径分布、密度相等。

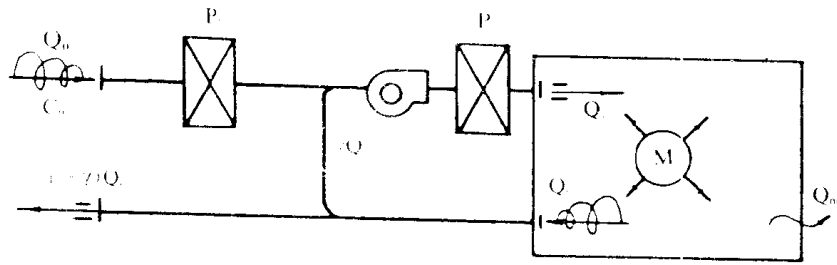
④室内的沉降等自净作用忽略不计。

⑤风管内污染物的沉积、再次飞扬忽略不计。

上述这些假设虽然与实际情况出入很大，但是从平均预测角度来说是非常实用的。从这个简化计算的理论与实测值的比较可知，室内污染物浓度取约15分钟的平均值时，与恒定计算值非常一致。

室内空气污染物浓度计算式随空调方式不同而异，所以必须针对各种不同的空调方式，根据污染物在室内的发生和排出情况来推导出计算公式。

现在，以图1-4的系统（有处理室外新风用的初效空气过滤器和高效空气过滤器）作



- |                                |                                |                                  |
|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| $Q_n$ : 室外新风量 ( $m^3/h$ )      | $Q_r$ : 回风量 (循环风量) ( $m^3/h$ ) | $Q$ : 送风量 ( $m^3/h$ )            |
| $Q_r$ : 回风量 (循环风量) ( $m^3/h$ ) | $Q_m$ : 自然排风量 ( $m^3/h$ )      | $Q_n$ : 自然排风量 ( $m^3/h$ )        |
| $Q_n$ : 自然送风量* ( $m^3/h$ )     | $Q$ : 室内空气净化设备风量 ( $m^3/h$ )   | $Q$ : 室内空气净化设备风量 ( $m^3/h$ )     |
| $\gamma$ : 再循环率                | $C_0$ : 室外新风污染物浓度 ( $mg/m^3$ ) | $C$ : 室内污染物浓度 ( $mg/m^3$ )       |
| $C$ : 送风污染物浓度 ( $mg/m^3$ )     | $M$ : 室内污染物发生量 ( $mg/h$ )      | $P$ : 高效空气过滤器污染物透过率 ( $1-\eta$ ) |
| $M$ : 室内污染物发生量 ( $mg/h$ )      | $P_1$ : 初效空气过滤器污染物透过率          | $V$ : 室内容积 ( $m^3$ )             |
| $P_1$ : 初效空气过滤器污染物透过率          | $P_2$ : 中效空气过滤器污染物透过率*         | $Q$ : 室内空气净化设备风量 ( $m^3/h$ )*    |
| $P_2$ : 中效空气过滤器污染物透过率*         | $P_3$ : 室内空气净化设备污染物透过率*        |                                  |
- \* 图1-5中使用的符号

图1-4 空气净化系统示例

为洁净室室内空气净化系统的典型实例，说明在该种情况下计算公式的推导方法<sup>[6-7]</sup>。

流入室内的污染物量：

经空调流入： $P(P_1 C_0 Q_n + C \gamma Q_r)$

自然换气流入： $C_0 Q_n$

室内发生量： $M$

从室内流出的污染物量：

经空调流出： $CQ$

因为在恒定状态下流入与流出是相等的，所以下式成立

$$P(P_1 C_0 Q_n + C \gamma Q_r) + M = CQ_r + CQ_m$$

$$PP_1 Q_r C_0 + M = C(1 - P\gamma)Q_r + CQ_m$$

因此，

$$C = \frac{PP_1 Q_r C_0 + M}{(1 - P\gamma)Q_r + Q_m} \quad (1-6)$$

$$P = \frac{C(Q_r + Q_m) - M}{P_1 C_0 Q_n + C \gamma Q_r} \quad (1-7)$$

同样，按图1-5所示的各种空调方式分别求浓度与透过率，则计算式见表1-4

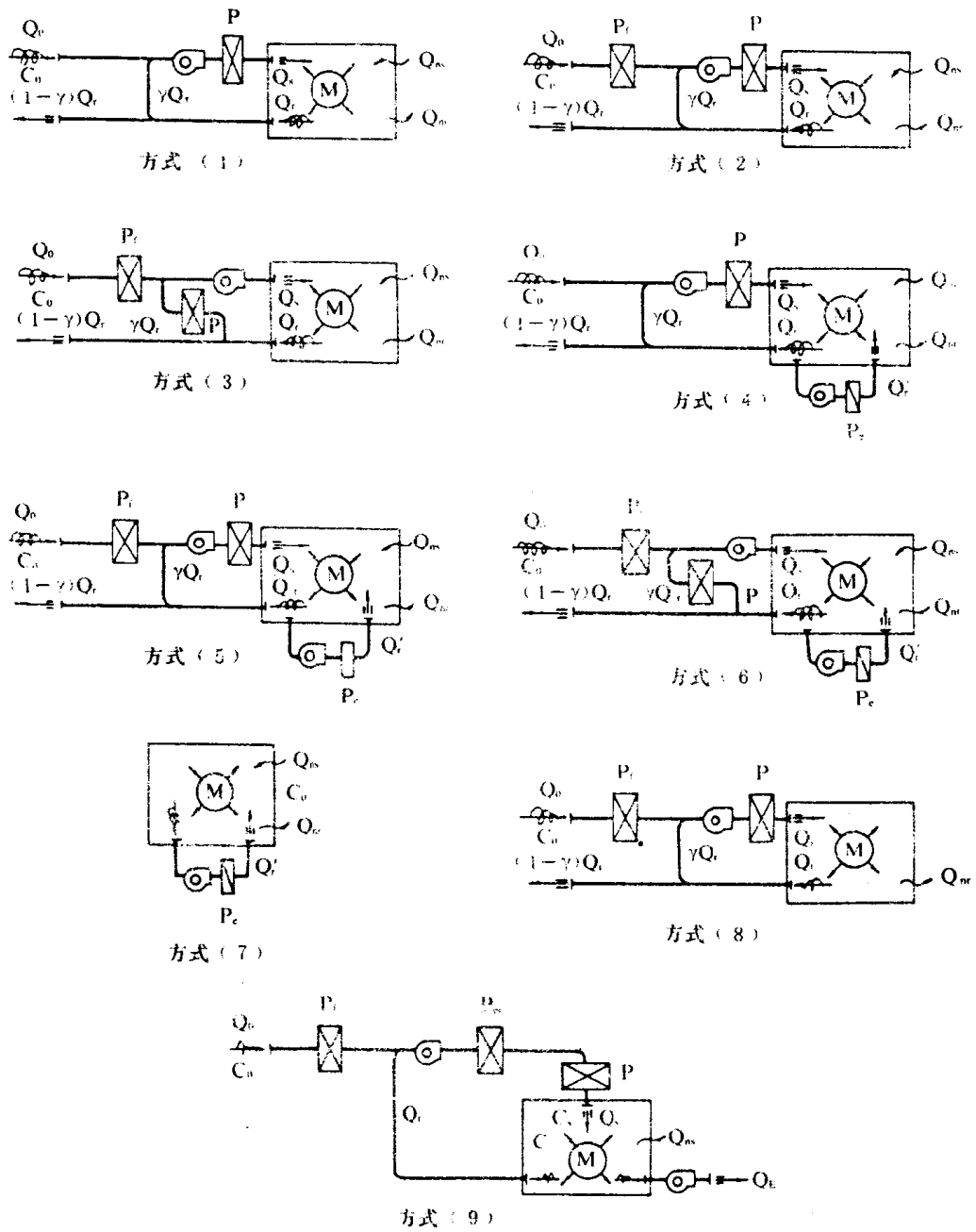


图1-5 各种空调方式



表1-4 室内空气净化按空调方式类别的设计计算公式<sup>(8)</sup>

类型	关系式	
	室内空气污染物浓度	空气污染物经空气净化设备过滤时
①	$C = \frac{(PQ_0 + Q_{ns})C_0 + M}{(1 - P\gamma)Q_r + Q_{nr}}$	$P = \frac{C(Q_r + Q_{nr}) - C_0Q_{ns} - M}{C_0Q_0 + C\gamma Q_r}$
②	$C = \frac{(PP_rQ_0 + Q_{ns})C_0 + M}{(1 - P\gamma)Q_r + Q_{nr}}$	$P = \frac{C(Q_r + Q_{nr}) - C_0Q_{ns} - M}{P_rC_0Q_0 + C\gamma Q_r}$
③	$C = \frac{(P_rQ_0 + Q_{ns})C_0 + M}{(1 - P\gamma)Q_r + Q_{nr}}$	$P = \frac{C(Q_r + Q_{nr}) - C_0(P_rQ_0 + Q_{ns}) - M}{C\gamma Q_r}$
④	$C = \frac{(PQ_0 + Q_{ns})C_0 + M}{(1 - P\gamma)Q_r + Q_{nr} - P_eQ'_r + Q'_r}$	$P = \frac{C(Q_r + Q_{nr} + Q'_r - P_eQ'_r) - C_0Q_{ns} - M}{C_0Q_0 + C\gamma Q_r}$ $P_e = \frac{C(Q_r + Q_{nr} + Q'_r - P\gamma Q_r) - C_0(PQ_0 + Q_{ns}) - M}{CQ'_r}$
⑤	$C = \frac{(PP_rQ_0 + Q_{ns})C_0 + M}{(1 - P\gamma)Q_r + Q_{nr} - P_eQ'_r + Q'_r}$	$P = \frac{C(Q_r + Q_{nr} + Q'_r - P_eQ'_r) - C_0Q_{ns} - M}{P_rC_0Q_0 + C\gamma Q_r}$ $P_e = \frac{C(Q_r + Q_{nr} + Q'_r - P\gamma Q_r) - C_0(PP_rQ_0 + Q_{ns}) - M}{CQ'_r}$
⑥	$C = \frac{(P_rQ_0 + Q_{ns})C_0 + M}{(1 - P\gamma)Q_r + Q_{nr} - P_eQ'_r + Q'_r}$	$P = \frac{C(Q_r + Q_{nr} + Q'_r - P_eQ'_r) - C_0(P_rQ_0 + Q_{ns}) - M}{C\gamma Q_r}$ $P_e = \frac{C(Q_r + Q_{nr} + Q'_r - P\gamma Q_r) - C_0(P_rQ_0 + Q_{ns}) - M}{CQ'_r}$
⑦	$C = \frac{C_0Q_{ns} + M}{Q_{nr} - P_eQ'_r + Q'_r}$	$P_e = \frac{C(Q_{nr} + Q'_r) - C_0Q_{ns} - M}{CQ'_r}$ (适用于洁净室)
⑧	$C = \frac{PP_rQ_0C_0 + M}{(1 - P\gamma)Q_r + Q_{nr}}$	$P = \frac{C(Q_r + Q_{nr}) - M}{P_rC_0Q_0 + C\gamma Q_r}$ (适用于洁净室)
⑨	$C = \frac{P_rP_mPC_0Q_0 + M}{Q_r - P_mPQ_r + Q_e}$	$P = \frac{C(Q_r + Q_e) - M}{P_m(P_rC_0Q_0 + CQ_r)}$ (适用于洁净室)

## 5 室内空气净化

### (1) 室内空气净化系统

在建筑设施方面的室内空气净化设计，根据净化目的要求的洁净度等级，净化方法可分为如图1-6所列出的4种类型。

#### 1) 局部排风系统

当洁净室室内空气污染物量特别多，或者在今后会产生危险性较大的污染物的场所，应当采取措施去除污染物，不使其扩散，在这种情况下就要采用局部排风系统。

#### 2) 换气系统

当大气中污染物浓度较低，利用室外空气的稀释作用，可以充分地控制室内空气污染物浓度时，就可采用换气系统。

换气系统大体上可分为自然换气系统和强制换气系统。自然换气系统是利用自然风向、风速及建筑物内外的温度差产生的空气密度差达到换气目的；相反，强制换气系统是利用送风