

2025

218 102
(1)

空气过滤 ABC

蔡 杰 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

空气过滤 ABC/蔡杰著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2002

ISBN 7-112-05300-5

I. 空... II. 蔡... III. 空气过滤器 - 基本知识
IV. TU834.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 067187 号

空气过滤 ABC

蔡杰 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 8 $\frac{3}{4}$ 字数: 223 千字

2002 年 10 月第一版 2002 年 10 月第一次印刷

印数: 1—3,000 册 定价: 20.00 元

ISBN 7-112-05300-5

TU·4946 (10914)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书用通俗的文字解释空气过滤器。书中的上篇介绍与过滤器相关的常识、经验、应用、各种规定和试验方法，以及作者在过滤器制造、应用和研究中的一些感受。下篇介绍空气过滤理论，包括经典理论、研究方法和数学推导过程。

工程师、操作工、教授、推销员等与过滤器打交道的人都能在书中找到有价值的内容，对过滤器感兴趣的在校学生也可以在书中挑出有用素材。

责任编辑：齐庆梅 姚荣华

序

蔡杰（作者）：

我将书稿最初几位读者的话搜集起来，凑成本书的序言。

照理该请个学者作序来美言几句，可这本书是普通人之间的交流，我想还是请普通读者来介绍这本书吧。如果不了解空气过滤的人能读下去，并在阅读后对过滤器有个大概认识，我这写书的功夫就没白花。

刘光（上海 ROM 公司职员）：

蔡博士送来份书稿，让我找个打工仔去读，他让我找的读者不许上过大学，工龄不许超过一年，我照他的要求把稿子交给了王锋。小王高中毕业，去年来上海打工，他看完后说书写得还行，他了解了过滤器的结构、组成、功能，也知道了过滤器的重要性。

我们公司是家从事楼宇设施维护管理的外资企业，上海金贸大厦是公司在的一个项目，我和蔡博士也正是在金贸项目上认识的。他对过滤器的一些观点对我的工作极有帮助，他的书确实值得一读。

孟文军（金海三喜过滤器材公司车间主任）：

我十多年前高中毕业，三年前应聘到一个过滤器厂管生产。因为喜欢这一行，所以总想让自己干得更出色懂得更多。我一直想找专业的人请教但不认识他们，想买本书又找不到，所以对过滤器只是一知半解。蔡博士的书使我茅塞顿开，它把绕嘴的学问讲明白了，使我对过滤器内在的东西有了更深的了解。书后面的

数学公式我看不懂，那样的理论对实际操作没多大用处，如果那是给别人看的，就不应该出现在为我们写的书中。

李凭（浙大三年级学生）：

蔡老师让我看他的书稿，想试试普通大学生是否能看懂过滤理论。我看过后似懂非懂，但我得敷衍他说我看明白了。我不知道为什么老师们一说到理论就用那么多公式来唬人，你告诉我们背哪段结论就行了，那堆数学推导我信了还不成吗。我照书中介绍的方法计算了一只过滤器的效率和阻力，不管对不对，我算出来了。蔡老师说那在过去是研究生干的事，没那么玄吧。

我是学热物理的，与空气过滤无关，但过滤器的故事还是蛮有意思的。蔡老师那套写书的路子我也会。

邹积钊（燕山石化工程师）：

我的职业和老四（蔡杰在家的排行）的专业不着边儿，只因为我曾拽他一起翻译了本关于癌症的书，他报复我逼我看他的过滤器书稿。他那套胡诌八咧我竟能看下去，看完后我想我也能倒腾过滤器去了。

我俩是初中同学，1970年初中毕业后他到首钢铸造厂当钳工，我在北京石化总厂实验厂当操作工，后来不知咱北京谁惹着他了，他跑国外混了个博士，回头又跑我的老家烟台去装老农民。

如果哪天老四约你去北京站见面，你得在站前打工仔堆儿里挨个儿扒拉着去找他，他没读书人那光滑样儿，也没咱北京人那派头儿。站前小贩喊：刚出锅的热包子不热不要钱喽，有人接茬儿说：师傅您给来俩凉的。添这乱的准是老四。

孙笑运（烟台画院画家）：

前些天在西双版纳，蔡工向我讨画，他出个题目：一个大盗和四十阿里巴巴。他说如今大伙都会念芝麻开门了，可总得找几

个彪乎乎的强盗去给老么些的阿里巴巴背财宝，他自称是个残存的彪强盗，他刚写的书是给阿里巴巴们上的捐。他要拿我的画去做书的插图，我正专心画我的猴儿哩，没功夫跟他闲扯。

注：烟台话“彪”的意思是傻，“老么些”的意思是许多。



张军
2000.6.

目 录

上篇 空气过滤器实践

第 1 章 常识	1
1.1 过滤机理	1
1.2 过滤效率	4
1.3 过滤器阻力	5
1.4 粘住粉尘的力	7
1.5 容尘量	8
1.6 典型颗粒物尺度	12
1.7 大气中的粉尘	12
1.8 可吸入颗粒物	14
1.9 化学过滤器	17
1.10 过滤器不是筛子	20
第 2 章 过滤效率	22
2.1 过滤效率标识	22
2.2 过滤器效率规格比较	23
2.3 一般通风用过滤器试验方法	23
2.4 高效过滤器试验方法	27
第 3 章 过滤器规格	32
3.1 中国效率分级	32
3.2 欧洲效率规格	33
3.3 美国效率规格	34
3.4 一般通风系统过滤器尺寸	36
3.5 高效过滤器尺寸	38
3.6 美国防火等级	40

第 4 章 经验	42
4.1 选用过滤面积大的过滤器	42
4.2 高效过滤器必须经过逐台测试	43
4.3 比较纤维直径, 粗辨过滤性能	44
4.4 空调系统本身需要好的过滤器	45
4.5 风速对过滤器的影响	46
4.6 过滤器没有多功能	47
4.7 防火与可燃	49
4.8 清洗与一次性	49
第 5 章 应用	51
5.1 合理确定各级过滤器效率	51
5.2 过滤器认输的场合	52
5.3 燃气轮机与空压机入口过滤	54
5.4 防止风口黑渍	58
5.5 机场空调系统的过滤	60
5.6 半导体工业空气过滤器	62
5.7 核电站用的过滤器	64
5.8 汽车涂装空气过滤	66
5.9 超市卖的过滤器	68
5.10 典型场所过滤器的选取	70
5.11 使用化学过滤器的典型场所	73
第 6 章 洁净室	74
6.1 洁净度分级	74
6.2 末端高效过滤器的使用寿命	76
6.3 换气次数与风速	77
6.4 洁净室不再考虑“亚高效”	79
6.5 洁净室标准化动向	80
6.6 控制化学污染物的洁净度	81
第 7 章 侃大山	83
7.1 有隔板与无隔板	83
7.2 玻纤与化纤之争	87
7.3 谁在玩过滤理论	90
7.4 卖方吆喝的过滤器	91

7.5	买方对过滤器的态度	92
7.6	做过滤器的别贪大	92
7.7	是非俱乐部	94
第 8 章	名词	96
8.1	中文	96
8.2	洋文	100
8.3	单位	105
附录 1	典型过滤器产品	108
	• 袋式过滤器 • 有隔板过滤器 • 无隔板高效过滤器	
	• 无隔板通风过滤器 • 低效率平板过滤器 • 空气滤清器	
	• 布套式过滤器 • 无边框袋式过滤器 • 高效过滤风口	
	• 风机过滤单元 • 脉冲反吹自清洁过滤器 • 卷帘过滤器	
附录 2	空气过滤器和洁净室标准	124
附录 3	涉及空气过滤的学位论文	132

下篇 纤维介质过滤理论

第 1 章	引言	135
1.1	过滤理论补缺	135
1.2	早期博士论文中的引言	136
第 2 章	过滤器效率与阻力	139
2.1	单纤维效率	139
2.2	理想介质的过滤效率	140
2.3	非连续介质与理想介质过滤效率的关系	141
2.4	纤维介质过滤器的阻力	143
2.5	过滤机理的合并	146
2.6	其他问题	147
第 3 章	惯性机理	148
3.1	简介	148
3.2	轨迹计算基础	149
3.3	桑原流场	151
3.4	轨迹计算与单纤维效率	154
3.5	单纤维效率计算结果	156

3.6 小结	160
第4章 扩散机理	161
4.1 简介	161
4.2 粉尘向纤维扩散的微分方程	162
4.3 纯扩散	164
4.4 扩散边界层的外形	169
4.5 纯扩散理论解的偏差	172
4.6 包含粒径参数的扩散	176
4.7 小结	182
附录 4A $\int \sin^{1/n} \theta d\theta$ 的积分	183
附录 4B 粉尘扩散系数的计算	185
第5章 过滤机理的合并	187
5.1 引言	187
5.2 惯性与扩散的合并	188
5.3 其他过滤机理	190
第6章 纤维非均匀分布的修正	191
6.1 简介	191
6.2 排布模型	193
6.3 均匀排布模型	195
6.4 非均匀排布的阻力修正	197
6.5 非均匀排布的效率修正	199
6.6 对过滤器阻力和效率的修正	200
6.7 非均匀排布的检验	200
6.8 不均匀度的确定	206
6.9 小结	210
附录 6A 对数正态分布	210
第7章 纤维尺寸问题	212
7.1 对纤维尺寸的疑问	212
7.2 多分散相纤维介质模型	213
7.3 计算阻力时的等效半径	214
7.4 含骨干纤维的材料	215
7.5 效率计算时的纤维尺寸	216

7.6 小结	218
第 8 章 其他问题	220
8.1 倾斜滤料	220
8.2 积灰的过滤器	224
第 9 章 实用计算	235
9.1 过滤器样品的计算	235
9.2 计算结果分析	239
参考文献	242
符号一览表	248
后记	251

上篇 空气过滤器实践

第1章 常 识

1.1 过滤机理

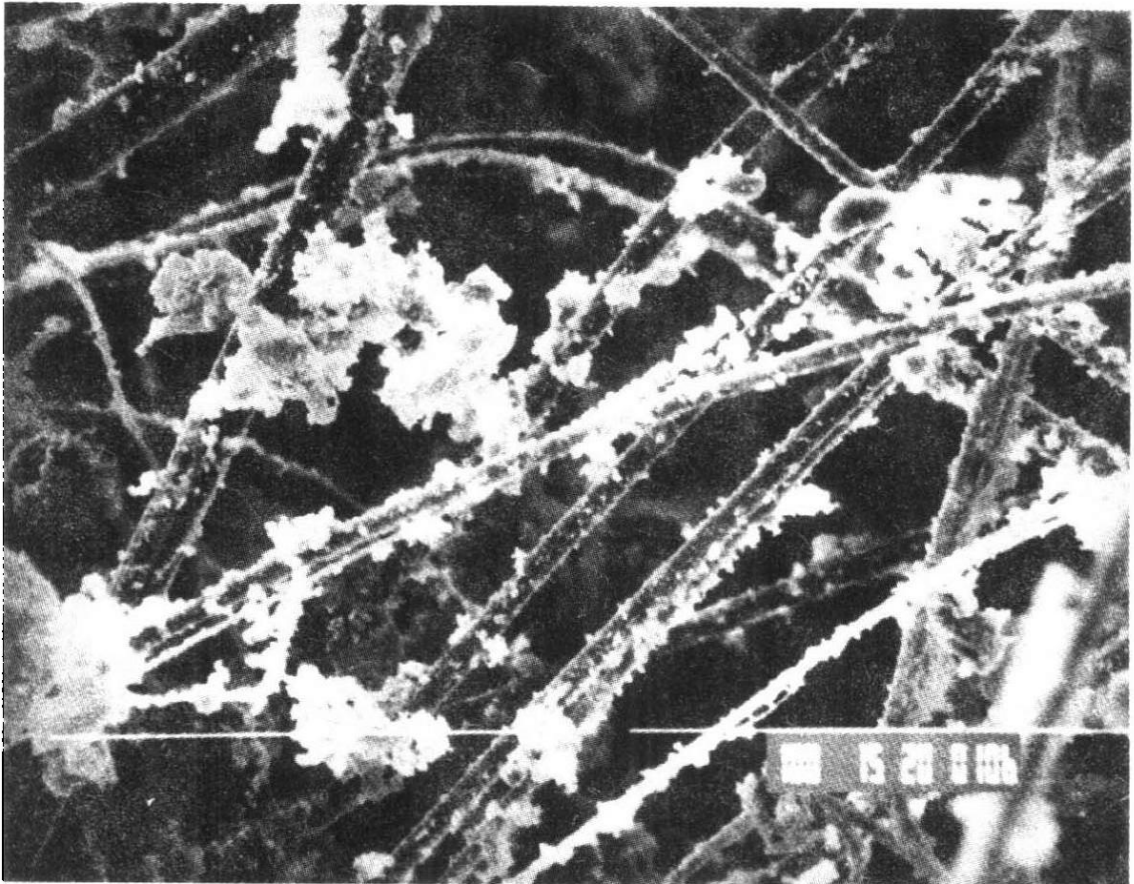


图 1-1 过滤介质与粉尘

碰撞并粘住

空气中的尘埃粒子，或随气流做惯性运动，或做无规则运动，

或受某种场力的作用而移动。当运动中的粒子撞到障碍物，粒子与障碍物表面间存在的范德瓦尔斯力使它们粘在一起。

纤维过滤材料

过滤材料应能：既有效地拦截尘埃粒子，又不对气流形成过大的阻力。非织造纤维材料和特制的纸张符合这一要求。杂乱交织的纤维形成对粉尘的无数道屏障，纤维间宽阔的空间允许气流顺利通过（图 1-1）。

惯性原理（图 1-2）

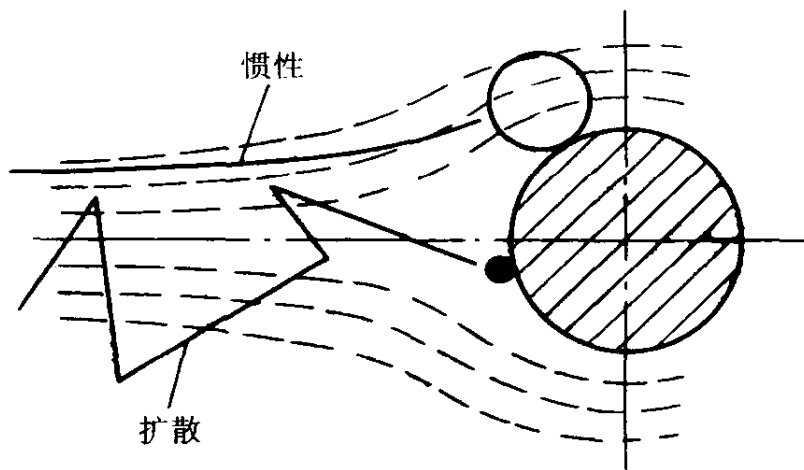


图 1-2 惯性碰撞与扩散碰撞示意

大粒子在气流中作惯性运动。气流遇障绕行，粒子因惯性偏离气流方向并撞到障碍物上。粒子越大，惯性力越强，撞击障碍物的可能性越大，因此过滤效果越好。

扩散原理（图 1-2）

小粒子作无规则的布朗运动。对无规则运动作数学处理时使用传质学中的“扩散”理论，所以有扩散原理一说。粒子越小，无规则运动越剧烈，撞击障碍物的机会越多，因此过滤效果越好。

效率随尘粒大小而异（图 1-3）

过滤器捕集粉尘的量与未过滤空气中的粉尘量之比为“过滤效率”。小于 $0.1\mu\text{m}$ （微米）的粒子主要作扩散运动，粒子越小，效率越高；大于 $0.5\mu\text{m}$ 的粒子主要作惯性运动，粒子越大，效率

越高。在 $0.1 \sim 0.3\mu\text{m}$ 之间，效率有一处最低点，该粒径大小的粉尘最难过滤。

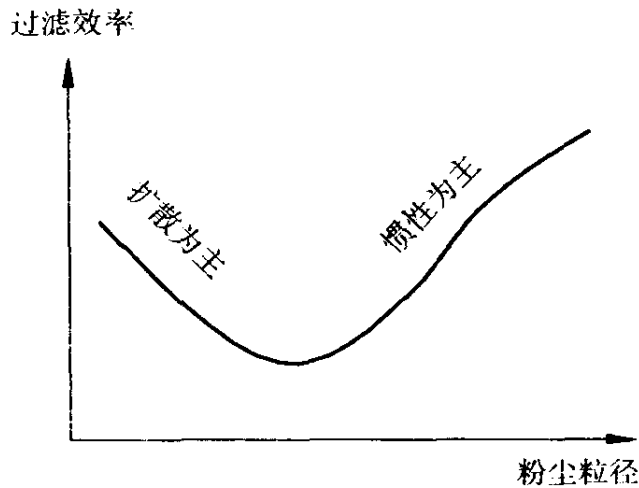


图 1-3 粉尘粒径与过滤效率的关系

阻力

纤维使气流绕行，产生微小阻力。无数纤维的阻力之和就是过滤器的阻力。

过滤器阻力随气流量的增加而提高，通过增大过滤材料面积，可以降低穿过滤料的相对风速，以减小过滤器阻力。

动态性能

被捕捉的粉尘对气流产生附加阻力，于是，使用中过滤器的阻力逐渐增加。被捕捉的粉尘与过滤介质合为一体，形成新的障碍物，于是，过滤效率略有改善。

被捕捉的粉尘大都聚集在过滤材料的迎风面上。滤料面积越大，能容纳的粉尘越多，过滤器的使用寿命越长。

过滤器报废

滤料上积尘越多，阻力越大。当阻力大到设计所不允许的程度时，过滤器的寿命就到头了。有时，过大的阻力会使过滤器上已捕捉到的灰尘飞散，出现这种危险时，过滤器也该报废。

静电

若过滤材料带静电或粉尘带静电，过滤效果可以明显改善。

其原因：静电使粉尘改变运动轨迹并撞向障碍物，静电力参与粘住的工作。

1.2 过滤效率

空气过滤器的“过滤效率”是被捕捉的粉尘量与原空气含尘量之比：

$$\text{过滤效率} = \frac{\text{过滤器捕集粉尘量}}{\text{上游空气含尘量}} = 1 - \frac{\text{下游空气含尘量}}{\text{上游空气含尘量}}$$

效率的意义看似简单，可它的含义和数值却因试验方法的不同而大不一样。

在决定过滤效率的因素中，粉尘“量”的含义多种多样，由此计算和测量出来的过滤器效率数值也就五花八门。实用中，有粉尘的总重量、粉尘的颗粒数量；有时是针对某一典型粒径粉尘的量，有时是所有粒径粉尘的量；还有用特定方法间接地反映浓度的通光量（比色法）、荧光量（荧光法）；有某种状态下的瞬时量，也有发尘试验全过程变化效率值的加权平均量。

对同一只过滤器采用不同的方法进行测试，测得的效率值就会不一样。各国家、各厂商使用的测试方法不统一，对过滤器效率的解释和表达大相径庭。离开测试方法，过滤效率就无从谈起。

历史上，搞通风和洁净室过滤器的是一伙人，搞汽车滤清器的是另一伙人，此外还有搞除尘器的，搞液体过滤的，他们各用各的方法，各说各的效率。当空气过滤器厂掺和汽车滤清器的买卖时，或除尘器厂开发空气过滤器时，他们自己也难免会被自己所说的过滤效率搞糊涂。

为了省事并减少误解，国外出现了一些用代号表示效率的方法，那些代号既明确了试验方法，也确定了效率指标，详见 2.1 节“过滤效率标识”和 2.2 节“过滤器效率规格比较”。如今，全世界的过滤器厂商都来挤占中国市场，国内厂商为了向各种背景的用户推销产品，也随心所欲地使用效率标识。各种各样的效率数值和效率名词使用户、设计师和制造厂云山雾罩。

此外，过滤理论中还有个“单纤维效率”，它是个可以大于100%的几何定义，详见本书下篇关于过滤理论的有关内容。稍不小心，搞理论的人也会在效率问题上晕菜。

在这种混乱的局面下，如果你一定要知道具体的效率数值，请别忘记规定具体的试验方法和计算效率的方法。

1.3 过滤器阻力

过滤器对气流形成阻力。过滤器积灰，阻力增加，当阻力增大到某一规定值时，过滤器报废，见图1-4。

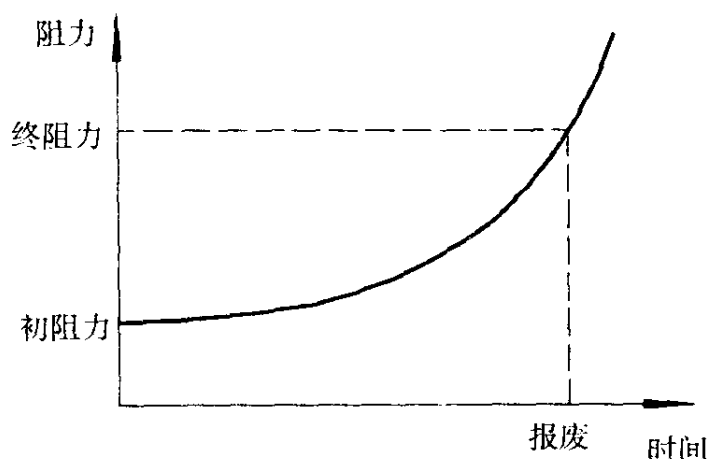


图 1-4 过滤器阻力随时间的变化

新过滤器的阻力称“初阻力”，对应过滤器报废的阻力值称“终阻力”。

设计时，常需要一个有代表性的阻力值，以核算系统的设计风量，这一阻力值称“设计阻力”，惯用的方法是取初阻力与终阻力的平均值。

确定终阻力

终阻力的选择直接关系到过滤器的使用寿命、系统风量变化范围、系统能耗。

一般情况下，终阻力的选取是空调设计师的事。有经验的工

工程师可以根据现场情况改变原设计的终阻力值。

有的设计师会忘记告诉用户他所选定的终阻力值；有时用户会改换其他型号过滤器或其他供应商。这时，现场工程师不得不自己确定终阻力值。

大多数情况下，使用现场的过滤器终阻力是初阻力的 2 ~ 4 倍。

过滤器越脏，阻力增长越快。过高的终阻力值并不意味着过滤器的使用寿命会明显延长，但它会使空调系统风量锐减。因此，没有必要将终阻力值定得过高。有些试验标准规定终止试验的条件是当阻力为“初阻力的 2 倍或更高时”，这种规定与实际使用条件没多大关系。

低效率过滤器常使用直径 $\geq 10\mu\text{m}$ 的粗纤维滤料。由于纤维间空隙大，过大的阻力有可能将过滤器上的积灰吹散，此时，阻力不再增高，但过滤效率降为零。因此，要严格限制 G4 以下过滤器的终阻力值。

表 1-1 中给出一些建议的终阻力，它来自经验，没多少道理好讲。

终阻力建议值

表 1-1

过滤效率规格	建议终阻力 (Pa)
G3 (粗效)	100 ~ 200
G4	150 ~ 250
F5 ~ F6 (中效)	250 ~ 300
F7 ~ F8 (高中效)	300 ~ 400
F9 ~ H11 (亚高效)	400 ~ 450
高效与甚高效	400 ~ 600

过滤器达到终阻力，可能意味着要立刻更换过滤器，也可能意味着要做计划在明天、下星期或下个月更换过滤器。使用者怎样看待终阻力取决于现场具体规定和操作者的经验。