

R P U R I F I E R



空气净化器 ——特性、评价与应用

许钟麟 著

中国建筑工业出版社

空气净化器

——特性、评价与应用

许钟麟 著



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

空气净化器——特性、评价与应用/许钟麟著. —北京:

中国建筑工业出版社, 2017. 9

ISBN 978-7-112-20817-3

I. ①空… II. ①许… III. ①气体净化设备—基本知识
IV. ①TU834. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 122796 号

本书是目前国内外专论空气净化器的理论和实用结合的第一本专著。

书中介绍了便携式空气净化器 (以下均称空气净化器) 在国内的发展、种类、应用原理, 详细说明了静电、紫外线、阻隔式过滤的原理和特点。本书从理论上剖析了空气净化器各种运行工况的特点, 讨论了“洁净空气量”这一设定参数不能确切反映各个运行工况的问题, 分析并给出了室外污染负荷计算方法、空气净化器可能净化达到的室内含尘浓度、自净时间和适用面积的简明计算方法和计算结果, 据此分析了空气净化器的适用场合。通过理论分析和实测对比, 指出不同运行场合的净化器的特点及设计上的要点, 给出室内浓度和自净时间的计算方法、雾霾天可以开窗使用的条件等, 并为选择空气净化器提供了条件。本书还对空气净化器的测试提出进一步完善的方法, 提出了新的评价指标。

本书可供空气净化器的研究者、生产厂家和大专院校师生参考。

责任编辑: 张文胜 姚荣华

责任设计: 李志立

责任校对: 王宇枢 张 颖

空气净化器——特性、评价与应用

许钟麟 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

唐山龙达图文制作有限公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 7 字数: 136 千字

2017 年 12 月第一版 2017 年 12 月第一次印刷

定价: 25.00 元

ISBN 978-7-112-20817-3

(30492)

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)

前 言

室内颗粒物（含微生物）污染控制的理论、技术、检测和设备一直是 50 余年来作者所在和负责的中国建筑科学研究院空调所（现为中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院）净化研究室（现为净化空调技术中心）的重要研究领域。特别是从“非典”以后，这一方面的研究更得到了加强，相应提出了动态隔离理论和措施（区别于过去的静态隔离），拒尘菌于房间和系统之外（相当于拒敌于国门之外）的理念，抑菌、除菌而不是杀菌的即不战而屈人之兵的理念，封导结合以及动态气流密封理念等。作者和净化室团队以及北京市有关部门和医院做了涉及微生物污染过程控制的大量研究工作，开发了应用于这一领域的磁吸式超低阻高中效空气过滤器、动态气流密封负压高效排风装置、封导结合的无泄漏风口、自洁型新风净化机组、节能抑菌空调器以及可在线封闭式扫描检漏的安全排风装置等一系列专利（含美国等国际专利）和产品，并制订了北京市的相关标准。

近年雾霾出现以后，作者结合 20 世纪 60 年代末研发静电净化器和 20 世纪 80、90 年代开发家具式空气净化器、屏蔽式循环风紫外线消毒器和空气洁净屏的实践，以及通过空气净化器（即便携式空气净化器的简称，本书皆用简称）以控制颗粒物（含微生物）污染的理论思考，并感到国外有关标准的不完善，从而开始针对空气净化器用于控制室内污染进行比较系统的理论研究，并以此作为本研究院申报国家十三五重点研发计划“绿色建筑及建筑工业化”专项项目“室内微生物污染源头识别监测和综合控制技术”（2017YFC0702800）的课题四：“室内微生物污染全过程控制关键技术及设备”的一项预研工作，所以本书是国家计划下达的这一课题的一项预研成果，是这一课题的理论热身工作。

近年来，空气净化器产品得到很快发展，但是有关产品性能的界定，例如所谓“洁净空气量”的设定，可能会造成理论分析和产品评定上的分歧；在产品宣传上的乱象也让人困惑，从而导致消费者在选择空气净化器上的迷茫。

作者在本书中应用空气洁净技术的基本原理，去解释、厘清空气净化器的若干问题，希望有助于空气净化器的正确设计、评价与应用。

空气净化器对于降低室内受到空气污染的危害能够发生一定的改善作用，但是任何问题都有一个“度”，如何界定这个度？最好能从理论上去剖析，佐以实际的验证。本书通过系统的理论分析、计算、实验成果分析和实际比较，将上述

国家重点研发计划项目的有关预研成果介绍给读者，希望引起读者的兴趣，对促进室内污染控制的研究和空气净化器事业的发展起一点作用。

许钟麟于北京：中国建筑科学研究院建筑
环境与节能研究院许钟麟工作室

2017 年 6 月

E-mail: 15611209690@163. com

目 录

前言

第 1 章 导论	1
1.1 空气净化器的的发展	1
1.1.1 概述	1
1.1.2 发展阶段	3
1.2 空气净化器的分类	5
1.2.1 按处理对象分	5
1.2.2 按用途分	5
1.2.3 按安装方式分	5
1.2.4 按原理分	6
1.2.5 适用性	6
本章参考文献	9
第 2 章 高压静电吸附	10
2.1 高压静电吸附的类型	10
2.1.1 单区电离	10
2.1.2 双区电离	11
2.2 静电净化器的主要原理和结构	11
2.2.1 主要原理	11
2.2.2 结构上应注意的问题	12
2.3 静电净化器的效率	13
2.3.1 对微粒的总效率	13
2.3.2 除菌效率测定例	16
2.4 注意点	17
2.4.1 安全	17
2.4.2 臭氧	17
2.4.3 掉尘	17
2.4.4 效率下降	18
本章参考文献	18
第 3 章 紫外线照射	19
3.1 紫外线照射的优缺点	19

1. 优点	19
2. 缺点	19
3.2 紫外线照射净化器的效率	22
1. 紫外线照射剂量	22
2. 圆筒形紫外线净化器的计算	22
3.3 灭菌效果的实测结果	23
1. 圆筒内紫外线强度的分布	23
2. 实用实测结果	23
本章参考文献	25
第4章 纤维层阻隔式空气过滤	26
4.1 纤维层阻隔式空气过滤的基本原理	26
1. 拦截（或称接触、钩住）效应	26
2. 惯性效应	26
3. 扩散效应	26
4. 重力效应	26
5. 静电效应	27
4.2 纤维层阻隔式空气过滤器的基本指标	27
1. 面速和滤速	27
2. 效率和透过率（穿透率）	27
3. 阻力	28
4. 容尘量	28
4.3 纤维层阻隔式过滤器的特点	30
1. 既除尘也除菌	30
2. 除尘除菌无选择性	30
3. 效率的广谱性、恒定性、范围既广且高	31
4. 不产生副作用	34
5. 效率不降反升	34
6. 风速对设备效率的影响较小	35
7. 相对的价廉	35
8. 有一定阻力，要定期更换	35
本章参考文献	36
第5章 空气净化器运行工况特性	37
5.1 空气净化器的运行工况	37
1. 在试验舱中的工况	37
2. 引入部分新风的工况	37

3. 完全室内自循环的工况	37
4. 作为系统补充作用的工况	37
5.2 试验舱运行工况的特性	37
1. 稳定含尘浓度通式	37
2. 瞬时浓度通式	39
3. 试验舱中含尘浓度表达式	39
4. 关于洁净空气量设定的讨论	40
5.3 引入部分新风工况的特性	42
1. 稳定含尘浓度通式	42
2. 效率、换气次数和含尘浓度的关系	42
3. 小结	43
5.4 室内自循环工况的特性	44
1. 稳定含尘浓度通式	44
2. 效率、换气次数和含尘浓度的关系	44
3. 小结	44
5.5 补充作用运行工况的特性	44
1. 稳定含尘浓度通式	44
2. 注意之点	45
本章参考文献	45
第6章 空气净化器应用特性	47
6.1 自净时间	47
1. 理论计算	47
2. 实测对比	50
6.2 适用场合	53
1. 只有室内发生、自循环的净化器	53
2. 有室内发生也引入一定比例新风的净化器	53
3. 对既有系统作补充的净化器	53
4. 结论	55
本章参考文献	55
第7章 空气净化器污染负荷的计算	57
7.1 外窗缝隙是污染进入室内的主要途径	57
1. 概述	57
2. 居室基本模型	57
7.2 人进出外门带进室内的微粒污染渗透量	58
1. 设定	58

2. 计算	58
7.3 迎风面外窗的计算风速	58
1. 迎风面风压	58
2. 迎风面计算风速	59
7.4 外窗在风压作用下的渗透风量	61
1. 计算公式	61
2. 按标准外窗计算渗透风量和窗缝	61
7.5 外窗在温差作用下的渗透风量	62
1. 温差引起的热压差	62
2. 热压渗透风量的计算	64
7.6 外窗在风压—热压共同作用下的渗透风量	64
1. 只有风压作用	65
2. 风压等于热压	65
3. 风压等于零	65
4. 热压小于风压	66
5. 热压大于风压	66
7.7 雾霾天污染渗入量的计算	66
1. 确定雾霾天渗入室内的尘浓	66
2. 穿透系数	68
本章参考文献	69
第8章 空气净化器净化能力的计算	70
8.1 概述	70
1. 计算的必要性	70
2. 计算的难点	70
8.2 计算参数的确定	70
1. 关于 η	70
2. 关于 M	76
3. 关于 G	77
4. 关于 n	78
5. 关于 S	78
6. 关于 ϕ	80
8.3 有新风工况的 N 的计算	80
1. 计数浓度	80
2. 计重浓度	81
3. 自净时间计算	81

8.4 室内自循环工况的 N 的计算	82
1. 计数浓度	82
2. PM _{2.5} 计重浓度	83
3. 自净时间计算	83
8.5 开窗的可行性	84
1. 概述	84
2. 持续开窗	85
3. 间断开窗	86
8.6 适用面积	89
1. 必要的参数	89
2. 适用面积计算	90
本章参考文献	90
第9章 空气净化器的检测与评价	92
9.1 试验舱检测	92
1. 30m ³ 舱	92
2. 试验舱中自然衰减	92
9.2 测定细则	97
1. 摆放位置	97
2. 测点	98
3. 方法	98
4. 读数	98
9.3 求 k	99
1. 计算图	99
2. 算例	100
3. 注意	101
9.4 评价	101
1. 存在的问题	101
2. 综合指标	101
本章参考文献	102

第 1 章 导 论

1.1 空气净化器的的发展

1. 概述

空气净化器是为了降低室内空气污染成分，主要是颗粒物，而发展起来的。

我国最早研发的空气净化器是静电净化器。原来是为了降低乱流洁净室内涡流区的含尘浓度，而作为辅助作用的设备由作者所在的原中国建筑科学研究院空气调节研究所净化研究室于 1971 年在天津开发出来，当时称为静电自净器。

图 1-1 是按当时国外的单区电离原理开发的 JZQ-I 型净化器，图 1-2 是按作者提出的“双区电离”概念开发的 JZQ-II 型净化器^[1]。在同等条件下，前者（含国外样机）浊度法效率只有 70%~80%，后者则提高到 99%，在 1978 年获科学大会奖。

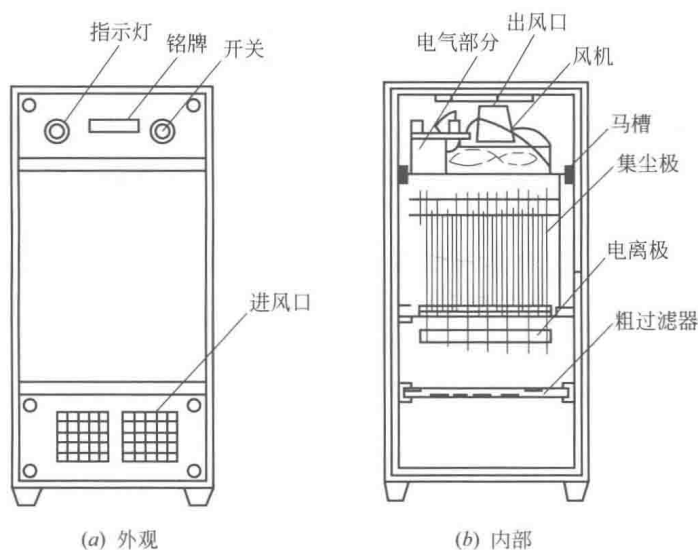


图 1-1 JZQ-I 型静电净化器

国内最先开发的家用或公共用空气净化器，是作者于 1988 年申请的家具式净化器——“带空气净化系统的家具”专利。这是一种机械阻隔式（过滤式）空气净化器，虽然在一些场所试用有较好效果，但由于当时对环境污染的认识不

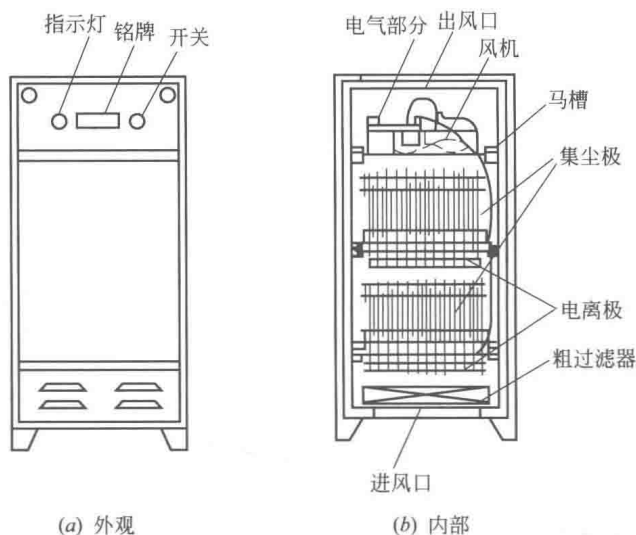


图 1-2 JZQ-II 型静电净化器

足，该产品未能得到推广。此后受《洁净技术》编辑部委托在天津净化设备厂开发出空气洁净屏—屏风式净化器。

众所周知，紫外灯照射可以杀菌，但在有人时不能照射。例如某医院骨髓移植后恢复期患者的病房、处理骨髓前的实验室及采集骨髓的手术室，需要消毒，但当时空气洁净技术在医院还未得到推广。某些医院此前在进行室内消毒时要撤走病人和工作人员，紫外灯消毒几小时后，停止照射并通风一定时间才能进入。不仅不便，效率也很低。除此之外，紫外灯照射还有其他缺点（详后述）。

为了使紫外灯消毒在工作时也可进行，国内率先开发了在流动空气中杀菌的专利产品：屏蔽式循环风紫外线消毒器（专利的共同发明人为陈长镛、许钟麟、林秉乐、徐立大）^[2]。该产品外形设计有落地式（XK-1 型）和悬挂式（XK-2 型）两种，如图 1-3 和图 1-4 所示^[3]。

由中国科学技术情报研究所于 1992 年 2 月 16 日出具的科研成果查新证明书指出：“在所收存的 4700 万篇文献中”“未查出与该课题‘屏蔽式循环风紫外线消毒器内容完全相同的文献与专利’”^[2]。

该产品就是一种紫外线消毒的空气净化器。屏蔽紫外线防止其泄漏是结构设计上的关键。

该净化器高约 1.3m，内径 264mm，风量 354m³/h，筒内风速 0.4m/s。

为防止紫外线外溢，产品采用了屏蔽式罩壳。产品内置风机强制空气循环。为防止紫外灯管很快蒙尘，同时为了降低室内大颗粒灰尘浓度，入口设有粗效过滤器。

由于该产品扩大了紫外线照射消毒的应用范围，受到使用者欢迎，并被写入

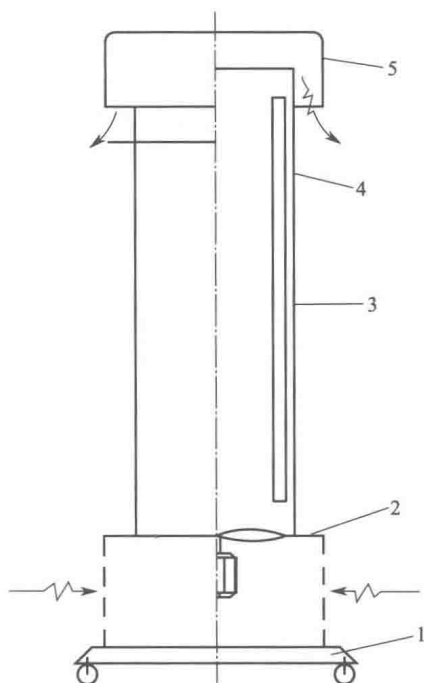


图 1-3 落地式圆筒形循环风紫外线消毒器

1—可移动底座；2—进风箱；3—消毒区；4—挡风圈；5—挡风

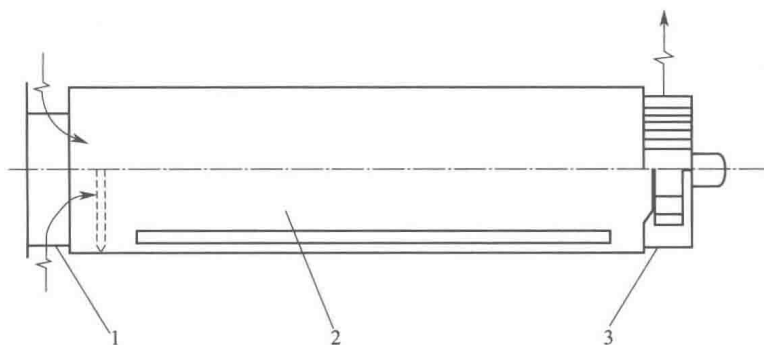


图 1-4 悬挂式循环风紫外线消毒器

1—进风区；2—消毒区；3—通风机

原卫生部 2000 年编制的《消毒技术规范》“医院室内空气的消毒”一章。

2. 发展阶段

此后国内空气净化器的发展经历了三大阶段：

一是 2003 年的“非典”时期。上述屏蔽式循环风紫外线消毒器也在“非典”现场发挥了作用。同时，各种壁挂式紫外线消毒器出现于市场。“非典”促进了国外静电净化器在国内的销售，也促进了国内静电净化器的发展。

二是 2008 年的奥运会时期。各种原理的空气净化器纷纷出台，争取在奥运场馆使用。

三是近几年雾霾进入社会高度关注的时期。国产品牌纷纷登场，外国品牌也大量拥入。据电子信息产业网 2015 年的“中国空气净化器产业趋势报告”，2014 年我国空气净化器销售已超过 320 万台，零售额接近 70 亿元，同比增长近 80%（转引自文献 [4]）。

雾霾确实是空气净化器发展的推手。特别是京津冀及周边地区，北京、天津、河北、山西、山东、河南，国土面积只占全国的 7.2%，却消耗了全国 33% 的煤炭，单位面积排放强度是全国平均水平的 4 倍左右。该地区钢铁产量每年 3 亿~4 亿 t，占全国的 43%；焦炭产量 2.1 亿 t，占全国的 47%；电解铝占全国的 38%；平板玻璃 1200 万 t，占全国的 33%；水泥 4.6 亿 t，占全国的 19%；机动车保有量占 28%（以上据环境保护部陈吉宁部长 2017 年 1 月 6 日答记者问）。因此，虽然近三年来就全国层面而言，PM2.5 浓度改善幅度达 30% 左右，上述京津冀地区也有改善，但浓度平均值和峰值仍然居高，中国工程院于 2016 年 7 月 5 日发布的《大气污染防治行动计划》中期评估报告指出，338 个地级及以上城市中，只有 73 个城市达标。平均超标天数为 23.3%，重度及以上污染占 3.2%，其中 67.4% 发生在冬季，而京津冀地区重污染占全国天（次）数的 44.1%。

又据 2017 年 6 月环境保护部发布的《2016 中国环境状况公报》超标天数比例降到 21.2%，达标城市上升到 84 个。

在这里要注意到，全部重度及以上污染天（次）数中，以 PM2.5、PM10 为首要污染物的天数分别占 83.4% 和 15.3%（2016 年这两个比例有所下降）。所以，在空气净化器实用中使人们开始认识到，要求空气净化器主要对细颗粒物有更好的净化效果应更属主要。

这里要说明一下污染标准，它和空气净化器的设计 and 应用有关。表 1-1 是几个国家和世界卫生组织的相关标准。

WHO 和部分国家的空气质量准则值（AQG）：年平均浓度/24h 平均浓度（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ） 表 1-1		
	PM10	PM2.5
WHO:过渡时期目标-1(IT-1)	70/50	35/75
过渡时期目标-2(IT-2)	50/100	25/50
过渡时期目标-3(IT-3)	30/75	15/37.5
空气质量标准值(AQG)	20/50	10/25
美国(2006 年 12 月 17 日生效)		15/35
日本(2009 年 9 月 9 日发布)		15/35
欧盟(2010 年 1 月 1 日发布,2015 年 1 月 1 日生效)		25/无

为了便于执行对 PM2.5 污染的评价，我国环境保护部又出台了行业标准《环境控制质量指数（AQI）技术规定（试行）》HJ 633—2012，其中对 PM2.5 的标准如表 1-2 所列。

PM2.5 的浓度分级限值 表 1-2

空气质量指数 (AQI)	空气质量 指数级别	空气质量指数类别及 表示颜色		对应的 PM2.5 的 24h 平均计重浓度(μg/m³)
0~50	一级	优	绿色	≤35
51~100	二级	良	黄色	>35~75
151~150	三级	轻度污染	橙色	>75~115
151~200	四级	中度污染	红色	>115~150
201~300	五级	重度污染	紫色	>150~250
>300	六级	严重污染	褐红色	>250~500

可见所谓“优”的界限 35μg/m³ 比 WHO 的空气质量标准值还是相差较多。所谓超标，即超过 75μg/m³；所谓严重污染，即超过 250μg/m³；俗称“爆表”，即超过 500μg/m³。

1.2 空气净化器的分类

1. 按处理对象分

空气净化器按处理对象分，主要有：
颗粒物净化器；
气体净化器；
混合净化器（包含颗粒物和气体）。

2. 按用途分

空气净化器按用途分，主要有：
家用空气净化器；
通用空气净化器；
个人用空气净化器（或称桌上型空气净化器）。

3. 按安装方式分

空气净化器按安装方式分，主要有：

便携式（或可移动式包括悬挂式）空气净化器；
管道式空气净化器。

4. 按原理分

（1）颗粒物净化器应用的原理主要有：

过滤——对所有颗粒物（无菌的和有菌的）都适用；

高压静电吸附——对所有颗粒物都适用，特别适用于 $1\mu\text{m}$ 以下微粒；

紫外线照射——只适用于有菌微粒；

纳米光催化——只适用于有菌微粒；

等离子、负离子——主要适用于有菌微粒，也可促使微粒物沉降。

（2）气体净化器应用的原理主要有：

物理吸附——如活性炭，但因再生时会散发有害物，使其用途受到限制；

纳米光催化——主要作用发生在表面；

化学催化、络合——要有化学物质，如吸收污染物的化学络合剂。

5. 适用性

市场上出现的空气净化器品牌据上述“趋势报告”主要涵盖近 400 个行业。
“原理”五花八门，例如：

吸附+静电；

吸附+过滤；

吸附+电场；

吸附+电场+过滤；

过滤+吸附+催化+负离子化学络合；

化学络合+过滤；

静电+光触媒+吸附；

静电+光触媒+过滤+负离子；

等等，

比上述的分类还要多。而且在结构上不惜把这些原理的部件串联在一块，甚至有 10 种原理的部件组成的净化器，见图 1-5。

有些产品样本充满炒作的概念，如纳米光催化、纳米高频脉冲光之类，就是炒作“纳米”这一时髦概念。利用纳米级二氧化钛微粒形成涂层，在特定波长紫外光照射下，在涂层微孔内形成所谓活性氧，具有杀菌作用。实际上由于使用的紫外光波长的差异而产生的是臭氧，是臭氧起了杀菌作用。但是当涂层表面被通过的空气蒙上灰尘，这一作用也消失了。曾经因此酿成过重大事故。

表 1-3 列举了各种可对空气进行净化的方法，其中消毒效率见之于样本、文

献，厂家自报或检测报告^[5]。

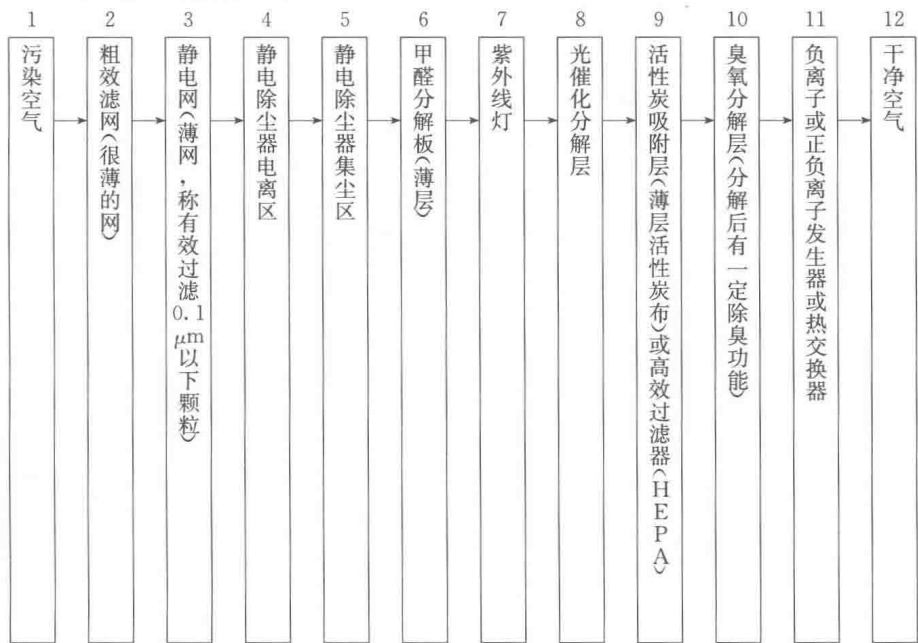


图 1-5 10 种以上原理串联示意

各种方法消毒除菌效率 表 1-3

消毒方式	消毒原理	消毒效率实例
单区静电	高压电场形成电晕,产生自由电子和离子,因碰撞和吸附到尘菌上使其带电,在集尘极上沉积下来被除去。对较大颗粒和纤维效果差,会引起放电。优点是能清除尘菌而阻力小,缺点是清洗麻烦、费时,必须有前置过滤器,可能产生臭氧和氮氧化物,可形成二次污染	50% (某些产品测试只有 20%左右)
等离子	气体在加热或强电磁场作用下产生高度电离的电子云,其中活性自由基和射线对微生物有很强的广谱杀灭作用。无法去除尘粒	66.70%
负离子	在电场、紫外、射线和水的撞击下使空气电离而产生,可吸附尘粒等变成重离子而沉降,缺点是有二次扬尘,在空调系统中用处不大	68.20%
苍术熏	中药	73.40%
纳米光催化	在日光、紫外照射下,催化活性物质表面氧化分解挥发性有机蒸气或细菌,转化为 CO ₂ 和水。要求被消毒空气必须与催化物质充分接触,要一定时间,随表面附尘效果大减,一定要有前置过滤器。紫外照射还产生臭氧。实验中甚至出现负值	75% (某些产品测试结果只有 30%几,甚至出现负值)
甲醛熏	化学药剂,已宣布致癌	77.42%
紫外照射	应用于空调系统由于空气流速高,细菌受照剂量小,效果差,只能除菌不除尘,有臭氧发生。WHO、欧盟 GMP 都宣布其为通常不被接受的方法,更不能作最终灭菌	82.90%
电子灭菌灯	物理方法	85%
双区静电	电离极和集尘极分开	90% (某些产品测试只有约 60%)