

静电吸附式空气净化消毒器的静电场设计原理

吴吉祥¹ 唐幸珠²

(1. 上海交通大学电气工程系 上海华山路1954号 200030; 2. 上海大学理学院 上大路99号 200436)

摘要 以往医院使用的紫外线照射、臭氧等消毒方法因对人体有害,因此不能在有人情况下使用。静电吸附式空气净化消毒器(以下简称净化消毒器)是一种新的动态消毒方法,被认为是一种物理消毒技术,具有很好的应用前景。本文从静电吸附式空气净化消毒器的设计原理出发,分析了多种静电场装置的形式,推荐一种性能较优越的拼装积木式锯齿管板式三电极电场结构。

关键词 医疗器械 静电吸附 除菌消毒

1 前言

2000年国家卫生部颁布的卫消监发[1999]第48号《消毒技术规范》文件第九章中规定,医院室内Ⅱ类空气的消毒可选用静电吸附式空气净化消毒器。

静电吸附式空气净化消毒器采用静电吸附原理,加以过滤系统,不仅可过滤和吸附空气中带菌的尘埃,也可吸附微生物。在一个20~30平方米的房间内,使用一台大型净化消毒器,消毒30分钟后,可达到国家卫生标准,可用于有人房间内的空气消毒。所用净化消毒器的循环风量(立方米/小时)必须是房间体积的8倍以上。有些小型的上述消毒器,经试验证明,不能达到上述消毒效果,不宜用于Ⅱ类环境空气消毒。医院内Ⅱ类环境均为有人房间,必须采用对人无毒无害,且可连续消毒的方法,故不推荐使用臭氧消毒器和化学喷雾消毒。

静电吸附式空气净化消毒器是由静电与过滤两种除尘的结构型式组合而成的。其产生的除尘、除菌的作用是复合的作用。它不同与单单使用静电或单单使用过滤的除尘器,有1+1大于2的效应。

静电吸附式空气净化消毒技术成果最早来源于上海交通大学。1993年,静电吸附式空气净化消毒技术通过国家成果鉴定并被认定为第一批国家级重点新产品。1994年起,上海第二军医大学、上海第一医学院、上海市预防科学研究院以及北京解放军301、302、309、上海中山、瑞金、华山等医院为静电吸附式空气净化消毒器作了消毒学评价与临床试验。至2000年,静电吸附式空气净化消毒器已获医疗器械生产许可、医疗器械产品注册以及卫生部消毒器械的许可批件。2003年“SARS”肆虐时,静电吸附式空气净化消毒器进入广东几乎所有收治“SARS”病人的医院,为抗击“SARS”做出了贡献。2004~2005年,在卫生部加强县级医院救治能力的招标中,静电吸附式空气净化消毒器大量中标。该产品已成为一种规范的动态消毒产品,广泛用于医院普通手术室、重症监护病房、供应室、治疗室、产房、婴儿室等高危科室。

作为一种动态消毒产品,静电加过滤绝不是简单的组合,本文将对这一技术的静电场设计原理、结构特点及其发展方向等方面进行介绍,意在充分地肯定该新的消毒技术具有广泛的应用前景。

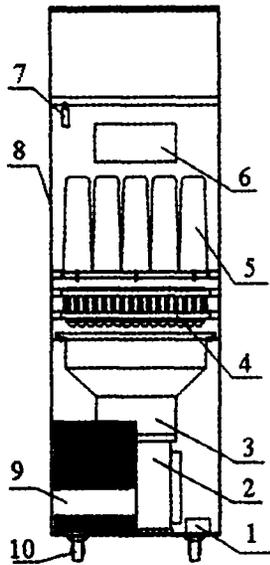
2 结构原理

2.1 内部结构图

静电吸附式空气净化消毒器的内部结构如图1所示。

2.2 主要部件介绍

(1) 预过滤装置



1. 电源; 2. 低噪音风机; 3. 风道; 4. 静电场装置;
5. 过滤吸附装置; 6. 控制电路板;
7. 负离子发生器; 8. 外壳;
9. 预过滤装置; 10. 脚轮

图1 静电吸附式空气净化消毒器结构图

预过滤装置的作用是过滤粗粉尘、毛发、纤维等大直径的污染物,延长后级部件的使用寿命。预过滤器需要定期清理。

(2) 静电场装置

组合式静电场技术的核心是一种特殊设计的蜂窝式线电场。当电场的正负极之间通以高压电时,正负极之间的空气发生电晕放电,持续不断地产生高浓度的正离子附着在经过电场的细菌、灰尘等颗粒上,带正电的颗粒在电场的作用下向集尘极移动,实现了细菌、灰尘等颗粒与空气的分离。静电场装置需要定期清理。

(3) 过滤吸附装置

过滤吸附装置包括介质吸附层与纤维过滤层组合而成。经过静电场的空气中颗粒污染物在此被进一步捕捉,并且能有效去除空气中的有害气体与异味。过滤吸附装置需要定期更换。

(4) 低噪声风机组

低噪声离心风机组具有风量大、风压高、噪声低、效率高等优点。

(5) 负离子发生器

负离子发生器有清新空气、促进人体的新陈代谢等功能,一般应在较为洁净的环境下开启。

2.3 除菌消毒原理

静电吸附式空气净化消毒器的消毒的原理与紫外线、臭氧及化学药物等消毒方法不同,是用高效除尘的方法来高效去除细菌,从而达到除菌消毒的目的。

其除菌消毒的原理大致可以归纳为以下几个方面:

2.3.1 细菌等生物污染物呈分散颗粒状

在空气中,细菌与病毒等生物污染物都是呈分散颗粒状的,而且其颗粒的直径很小,其沉降速度可以忽略。从这个意义上讲,细菌与病毒等生物污染物可以看作是一种生物气溶胶。室内空气污染物中直径为0.1微米至10微米的气溶胶被称作为可吸入颗粒物。细菌与病毒的粒子直径正好在这个范围之内,加上其可能致病的因素,对人体健康的威胁更大。

(2) 正离子浸润除菌消毒

静电吸附式空气净化消毒器的核心是一种特殊设计的正离子发生器,它能持续不断地产生高浓度的正离子。空气中的细菌处于正离子的极度包围之中,迅速获得饱和电量。带负电的细菌在高浓度、高能量的正离子浸润作用下,会迅速发生电解过程。由于快速的能量释放,细菌的细胞壁会遭受严重的破坏。足够的正离子会穿透多孔的细胞壁,渗透到细胞内部,破坏细胞电解质,损坏细胞膜,导致细菌死亡。电刺激作用杀死生物的应用例子很多,但要捕杀与杀灭微米级及亚微米级的细菌或直径更小的病毒,则需要很好的专业设计。

(3) 镜像力荷电

荷电颗粒进入组合活性炭过滤装置的中性面边界层时,会被镜像力所吸引。纤维滤材保持电中性,而颗粒污染物在电离区带上

饱和电量的电荷后进入纤维过滤层,这就构成了镜像力吸引的条件。带电粒子接近纤维过滤材的纤维表面时(距离大约可以达到1mm),就有足够的镜像力吸引作用,使其克服惯性阻力与粘滞阻力进至中性的纤维层表面而被吸附。

镜像力不同于库仑力。镜像力是离子诱发产生的。由于引进了镜像力概念,带电粒子与中性粒子在纤维过滤层中的迁移过程就发生了质的区别。这就是为什么静电吸附式净化消毒器的除尘除菌效率要优于过滤除尘的原因,也就是静电加过滤会产生1+1大于2效应的内在原因。

现有的试验已证明静电吸附式空气净化消毒器除菌消毒的效果非常理想,但还没有试验能证明其能对细菌繁殖体、细胞芽孢、空气中的自然菌以及真菌等具有杀灭作用。

3 静电场装置的设计

静电吸附式空气净化消毒器的静电场装置设计依据来源于静电除尘理论,但又不完全相同。用于有人情况进行动态除菌消毒的空气净化消毒器对臭氧浓度的控制有特殊的要求。试验证明,电晕放电会伴随产生臭氧。工业静电除尘器需要设计较高的电场强度以获得较高的除尘效率,而空气净化消毒器要求降低电场强度,以降低净化效率来达到控制臭氧释放的目的。有关标准规定,空气净化消毒器出风口的臭氧增加量应 $\leq 0.1\text{mg}/\text{m}^3$,规定室内空气中的臭氧浓度应 $\leq 0.16\text{mg}/\text{m}^3$ 。所有的静电吸附式空气净化消毒器的静电场装置的设计都要达到这个标准。

3.1 细线平行板式双区电场

图2为常见的细线平行板式双区电场的结构简图。

如图2,细线平行板式双区电场具有截然分开的两个区域,采用不同的电源供电。前级为板线式放电结构,称作荷电区,后级为细线平板式电场结构,称作收尘区。

一种典型的细线平行板式双区电场的极线

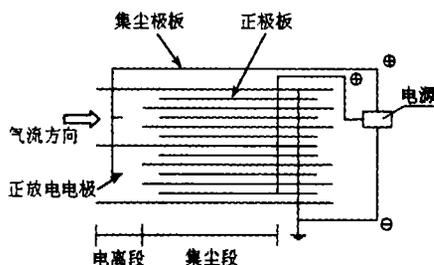


图2 细线平行板式双区电场的结构简图

配置的几何尺寸为:

荷电区:同极距:22mm;放电线(阳极)直径: $\Phi 0.15\text{mm}$;接地极(阴极)宽度:25mm;工作电压:5KV;工作电流:0.6mA;

收尘区:同极距:11mm;收尘板长度:12.5mm;工作电压:2.5KV;工作电流:0mA。

实践证明,这种电场结构具有以下缺陷:

(1)放电极容易断线。

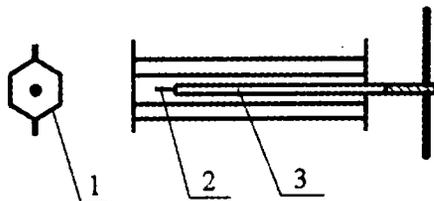
(2)平行平板式电场的电容很大,又没有电晕放电的部位,极板上很容易积聚大量电荷,当带电粉尘贯通电场时,很容易产生瞬间放电现象,形成噼里啪啦的放电响声和过量的臭氧,这个现象很难使室内空气净器的用户接受。

(3)制作成本较高。

3.2 蜂巢针一棒式双区电场

蜂巢针一棒式双区电场(专利号:ZL93226519.7)克服了上述细线平板式的缺陷。

蜂巢一棒双区电场的结构如图3所示。



1. 蜂巢状收尘极;2. 针状放电电极;

3. 棒状放电电极

图3 蜂巢一棒双区电场的结构简图

蜂巢状收尘极制造工艺示意图4所示。

将裁剪好的符合要求的金属箔,采用专

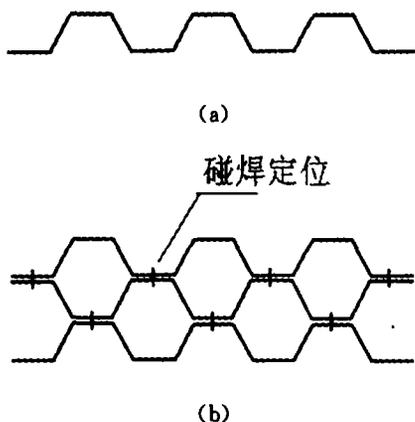


图4 蜂巢状收尘极板的示意图

用模具冲压成型,如图4(a)所示。按图4(b)要求,采用特制碰焊机固定。校正后放入外框中固定。

放电极由放电针与放电管构成。其制造工艺示意图5所示。

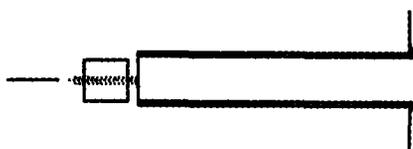


图5 放电针、棒放电极的示意图

分别加工放电针、连接件与薄壁铜管,按图5所示进行紧配。将连接好的放电针棒固定在有定位孔的放电极座板上。

放电极座板与收尘极框架组装时要求每一个放电极必须定位在每一个六角蜂巢的中央。

一种典型的蜂巢—针棒双区电场装置的结构数据如下:

蜂巢状收尘极的同极距:28mm;材料:铝箔;厚度:0.25mm;长度:90mm;

放电针:直径:φ0.5mm;长度:10mm;材料:不锈钢;

放电管:直径:φ8mm;有效长度:70mm;材料:H62薄壁黄铜管,壁厚:0.1mm。

经过临床使用,发现蜂巢—针棒双区电场装置存在以下缺陷:

(1)其放电极呈悬臂状态,装配时同心度精度难以提高,使电场的利用率很低且会加

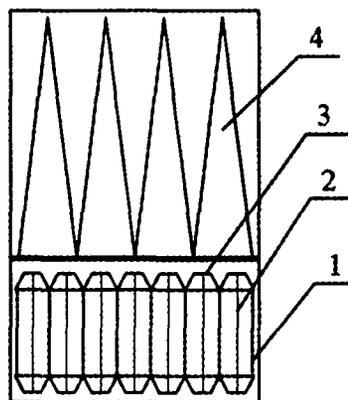
剧局部电晕放电而产生过量臭氧。

(2)针棒固定技术不过关,容易脱落。

(3)放电针直径φ0.5mm,电晕效果与控制臭氧性能不如细线(φ0.15mm)。

3.3 组合式静电场装置

组合式静电场装置的结构如图6所示。



1.静电场装置;2.细线放电极
3.两端定位型绝缘子;4.吸附过滤层

图6 组合式静电场装置的结构

组合式静电场装置(发明专利号:97106376.1)克服了上述细线平板式与蜂巢针—棒式双区电场的缺陷。

组合式静电场装置的收尘极为蜂巢状或圆筒状,放电极为φ0.25mm的细线。每一个蜂巢状或圆筒状放电极与收尘极成为一个子电场。每一个子电场的放电极与收尘极之间由特殊设计的绝缘结构定位,保证了放电极的同心度。这样放电极呈两端固定状态,保证了装配时的同心度精度,大大提高了电场的利用率,减少了臭氧的发生。组合式静电场装置不设收尘区,靠后级的复合过滤吸附层凭借镜像力截获带电的粒子(包括微生物粒子)。

组合式静电场装置可以达到2~3组蜂巢针—棒式双区电场串联使用的效果。

经研究,蜂巢—针棒双区电场装置尚存在以下缺陷:

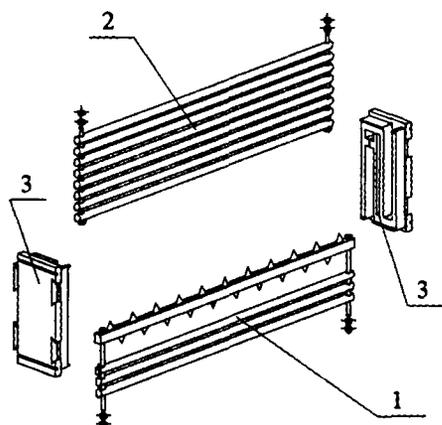
(1)放电极仍容易断线。如加大放电极直径,则容易产生过量臭氧。

(2)固定正、负电极的绝缘子安装在含尘气流经过的空间中,绝缘子表面被尘埃粒子污染或受高湿气流的影响,引起局部放电或爬电造成故障,甚至成为事故的隐患。

(3)定位绝缘子增大了安装空间。

3.4 拼装积木式锯齿管极式三电极电场

拼装积木式锯齿管极式三电极电场(发明专利申请号:200710038821.4)是最新研究的科研成果。图7为这种新电场的结构图。



1. 锯齿与管状放电电极;2. 管状收尘极;
3. 左、右定位绝缘子

图7 拼装积木式锯齿管极式三电极电场结构图

这种电场的放电区由锯齿状放电电极与管状收尘极组成,收尘区由管状放电电极与收尘极组成,放电极与收尘极平行布置,放电极两端连接放电极连接件,收尘极两端连接收尘极连接件,放电极连接件和收尘极连接件分别嵌入绝缘子的凹槽内,放电极连接件和收尘极连接件用于将放电极和收尘极固定在绝缘子上,所述的绝缘子由若干个绝缘子单元拼装而成。锯齿状放电极比细线具有较低的起晕电压,较小的电晕电流,有较好的电晕放电效果,且没有断线的可能。收尘区由于管极的之间的相对距离比放电区的锯齿状放电极与管极距离小,因此,收尘区能形成较高的电场强度,有利于直径小于或等于亚微米的微粒实现扩散荷电,有利于带电的微粒向收尘极迁移,进行收尘,达到除尘除菌的目的。

绝缘子单元的一侧有楔形凹槽,另一侧有对应匹配的楔形凸槽,一绝缘子单元的楔

形凸槽嵌入另一绝缘子单元的楔形凹槽内。每个绝缘子单元就是一个子放电区和一个子收尘区,将若干个绝缘子单元拼装起来就形成大的放电区和收尘区,可以根据需要进行拼装,使用起来非常方便。

圆管形收电极比平板具有不易变形的优点,在相同的空间内,圆管形收电极的比表面积大于平板、圆筒状或蜂巢状等电极。同时,圆管形电极采用型材,简化了加工的程序,节约了加工成本。圆管形电极之间留有间隙,有利于提高容尘量与提高电场内气流分布的均匀度。

本发明具有如下优点:

(1)采用绝缘子定位保证放电区与收尘区的精确定位,以及放电极与收尘极之间的绝缘;

(2)采用锯齿状或圆管形制成的电极不易断裂,确保使用的可靠性;

(3)采用绝缘子单元拼装的方式可以转换成诸多种外形,通过调节电极的长度和绝缘子的数量调整该装置的外形,以适应不同的空调,尤其是中央空调;

(4)采用绝缘子单元拼装的方式还省去了开设不同模具的麻烦,节约生产成本;

(5)绝缘子安装在静电场装置的两侧,不会受到含尘气流的污染,从而克服了绝缘子因含尘气流污染或高湿气体的影响造成局部放电或爬电的缺陷。

4 讨论

静电吸附式空气净化消毒技术与高效过滤(HEPA, High Efficiency Particle Air)相比,具有阻力损失小、容尘量大、运行费用低等优点,与紫外线、臭氧、药物熏蒸等消毒方法相比,又具有动态连续、安全可靠、广谱无毒、高效速效等优点。

人类使用紫外线消毒已有100多年历史。由于紫外线对人体与环境有害,其消毒效果也被认为有限,因此在很多场合被限制使用。静电吸附式空气净化消毒产品可以代

替紫外线在有人条件下连续消毒,不仅除菌消毒效率高,而且兼具有除尘除有害气体的功能。

静电吸附式空气净化消毒产品作为消毒器械类产品,只有 10 几年的发展历史,目前尚没有行业标准。随着对该技术深入的研究与开发,缺陷将不断被弥补,优点将不断地被光大发扬。静电吸附式空气净化消毒产品正在进行研究的课题主要有:

(1)自动清洗电场与过滤结构,以延长有效消毒时间。

(2)自动监测压力,与监测到的连续使用时间一起判断并提示用户产品是否需要维护,以保证消毒可靠性。

(3)进一步与紫外线、纳米光催化技术集

成、复合,以提高产品去除、分解空气有机污染物的性能。

(4)进一步小型化,使其与各式空调器合二而一成为可能,开发出具有动态消毒功能的净化空调器,以填补空调行业的空白。

参 考 文 献

- [1] 唐幸珠 连续式空气消毒洁净器的研究 中华医院感染学杂志 2000 年第 10 卷第 1 期
- [2] 唐幸珠 MKJ 型静电空气消毒洁净器的研制 上海环境科学 2000 年第 19 卷第 4 期
- [3] 胡燕燕 用静电空气净化器改善室内空气品质的探讨 制冷 2003 年 6 月第 22 卷第 6 期
- [4] 于玺华 现代空气微生物学 北京 人民军医出版社 2002 年