

中央空调系统紫外线消毒设备设计

吴耀杰, 秦 红

(广东工业大学 材料与能源学院, 广东 广州 510640)

摘要: 对紫外线在空调系统中的利用现状和途径进行分析. 根据紫外线消毒原理, 设计了一种针对中央空调系统空气消毒的新型管道紫外线消毒机. 该设备紫外线分布均匀, 强度提高, 高于 2003 年“非典”时期国家公布的《建筑空调通风系统预防“非典”确保安全使用的应急管理措施》规定值, 对空气中多种致病微生物的消毒效果大为提高.

关键词: 空调系统; 紫外线杀菌; 微生物污染; 空气消毒

中图分类号: TU843. 8; TU831

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2005)04-0044-04

2003 年的 SARS 对我国的政治、经济、教育以及人们的日常生活和工作造成了重大影响. 研究发现 SARS 主要依靠飞沫传播, 在医院病房、大型商业建筑、公共建筑等高密集人群场所存在以中央空调系统为媒介传播、扩散及引发交叉感染的可能性. 近年来生物武器有关的恐怖事件屡有发生, 如美国建筑内的“炭疽热杆菌”散发事件等, 还有空调系统产生“军团病”的事例. 这些都说明中央空调消毒杀菌的重要性和迫切性.

紫外线是一种优良的杀菌手段, 能杀灭细菌繁殖体、真菌和细菌芽孢等微生物. 在中央空调里应用紫外线消毒具有对原空调系统改变小, 无二次污染, 广谱杀菌, 无刺激性气味等优点^[1]. 因此, 本文研究紫外线在空调系统中的利用方法, 对紫外线中央空调系统消毒设备设计进行了讨论.

1 紫外线消毒技术(UVGI)应用基础

紫外线是一种电磁波. 紫外线分为 A 波、B 波、C 波和真空紫外线, 其中 C 波紫外线为杀菌紫外线, 波长范围是 200~ 275 nm. 一般认为, 杀菌作用最强的波段是 254 nm 左右.

紫外线对空气微生物的杀毒机理: 主要作用于微生物的核酸, 导致其破坏. 同时对蛋白质、酶及其他生命攸关的物质亦有一定的作用^[2].

根据研究, 紫外线消毒效果与紫外线辐照强度和照射时间等因素有关^[3].

1) 传统的数学模型

$$S(t) = e^{-K \cdot I \cdot t} \quad (1)$$

2) 新的数学模型

$$S(t) = f \cdot e^{-K_f \cdot I \cdot t} + (1-f) e^{-K_s \cdot I \cdot t} \quad (2)$$

式中: S —经过时间 t 后的细菌存活率, %; K —衰减常数, $\text{cm}^2/(\mu\text{W} \cdot \text{s})$; I —紫外线辐照强度, $\mu\text{W}/\text{cm}^2$; t —照射时间, s ; K_f —快速杀灭率常数, $\text{cm}^2/(\mu\text{W} \cdot \text{s})$; K_s —慢速杀灭率常数, $\text{cm}^2/(\mu\text{W} \cdot \text{s})$.

收稿日期: 2004-09-27

作者简介: 吴耀杰(1989), 男, 本科毕业生, 主要研究方向为制冷与空调.

s); f —快速杀灭阶段的细菌占初始浓度的百分比.

紫外线辐射场内任一点的直接辐射强度可用反比平方公式计算, 但反比平方公式没有说明紫外灯的自身尺寸对辐射强度的影响, 所以要用角系数公式计算. 角系数计算公式和任一点的辐射强度计算公式分别见公式 (3) 和公式 (4):

$$F_{d1-2}(x, l, r) = \frac{L}{\pi H} \left[\frac{1}{L} \arctan \left(\frac{L}{\sqrt{H^2 - 1}} \right) - \arctan \left(\frac{\sqrt{H - 1}}{\sqrt{H + 1}} \right) + \frac{X - 2H}{\sqrt{XF}} \arctan \left(\frac{\sqrt{X(H - 1)}}{\sqrt{Y(H + 1)}} \right) \right], \quad (3)$$

$$I_s = \frac{E_{uv} F_{tot}}{2\pi rl}, \quad (4)$$

式中: F_{d1-2} —辐射角系数;

$$H = x/r, \quad L = l/r, \quad X = (1 + H)^2 + L^2, \quad Y = (1 - H)^2 + L^2;$$

x —测点到灯的垂直距离, cm;

l —灯段的长度, cm;

r —灯的半径, cm;

I_s —任意一点的紫外线强度, $\mu\text{W}/\text{cm}^2$;

E_{uv} —紫外灯输出功率 μW ;

F_{tot} —综合辐射角系数.

选用 Ster- L- Ray05- 1334 型紫外消毒灯, 紫外线输出功率 19.3W, 计算紫外灯直接辐射强度. 由公式 (3)、(4) 计算得结果见图 1.

在管道中采用反射率很好的材料时能大幅度提高照射强度. 粗略估算可按直接辐射强度的 3 倍强度计算总的辐射强度^[3].

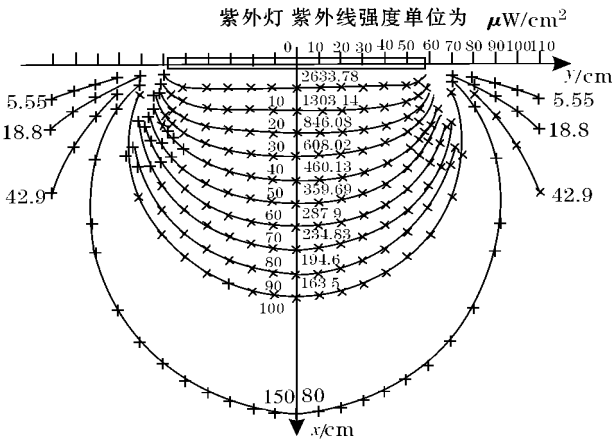


图 1 紫外灯辐射强度场

2 现有空气除菌消毒设备情况及分析

以往中央空调系统的除菌基本上依靠空气过滤器, 使微生物附着的尘粒从空气中分离, 但致病微生物未有杀灭, 存在二次泄漏的危险. 目前已开始将医学中利用的紫外线和其他类型的除菌消毒方式引入. 就目前已有或正在研制的设备来看有以下几种: 1) 循环风紫外线室内消毒机. 该设备消毒速度慢, 适合室内消毒而不适合中央空调系统消毒; 2) 复合净化消毒机, 如上海交通大学研制的中央空调复合净化装置, 造价高, 具体应用受各因素限制; 3) 臭氧空气消毒机. 产生臭氧浓度高, 只能在无人时使用; 4) 空调箱加紫外灯装置: 空气滞留时间非常短, 消毒效果不能保证; 5) 过滤器加紫外灯装置: 如果用低效过滤材料, 过滤效果低, 如果用高效过滤材料, 则阻力太大^[4], 而且有过滤材料受紫外线照射而老化的问题. 因此我们采用紫外线灯的方法, 研究适合于中央空调的设备设计方法.

3 空调系统紫外线消毒利用方法分析

1) 影响紫外线消毒效果的因素^[2]

影响消毒效果主要有 3 大因素: 消毒时间、紫外线强度和微生物的种类及数量. 消毒时间越

长,紫外线强度越大,消毒效果越好.还有其他间接因素,如安装位置及方式、电压、空气温度和相对湿度、有机物的保护、微生物的数量和紫外线穿透力及反射等.

2) 紫外线强度相关因素及其实现^[5]

① 提高单个紫外灯的输入功率和输出辐射功率; ④减少消毒点与紫外灯的距离; ④采用多灯系统,适当地增加灯数量,优化灯的布置,使强度分布均匀. ④采用高反射率的紫外线反射材料; ④提高紫外灯的耐高电压能力,从而可以提高电压、稳定电压来提高辐射强度.

3) 空气处理时间相关因素实现

①加大管道截面积,减小空气流速; ④捕住微生物,从而能在固定地点长时间照射,如可以采用空气过滤器,静电吸附方法等; ④增加处理时间,如加长消毒处理的管道长度等.

4) 提高空调系统紫外线消毒效果的其他考虑

①与其他消毒杀菌方法如空气过滤、光催化、活性炭吸附、微波和化学消毒剂等方法结合; ④分级过滤加管道紫外线消毒; ④对不同微生物采用不同的处理方法,如军团菌主要采用紫外线局部消毒,流感等对紫外线抵抗力小的病毒采用管道紫外线消毒,芽孢类细菌采用综合消毒,其他对人无害的微生物不处理等; ④驻极体静电空气过滤器与紫外线灯定期照射相结合.但任何实际产品都必须考虑造价的影响.多种方法结合应效果很好,但成本直升是不言而喻的.

5) 紫外线条件下空调器材料的选择要求

由于高分子材料在受紫外线照射和氧的双重作用,发生光氧老化,出现泛黄、变脆、龟裂、表面失去光泽、机械强度下降等现象,所以空调器材料的选择注意尽量不采用聚苯乙烯、聚胺脂胶等,最好能选用金属材料,特别在紫外线强度比较大时不能使用聚丙烯等高分子材料.

4 管道紫外线消毒系统设计

在分析空调系统紫外线消毒利用方法的基础上,进行新型紫外线中央空调系统消毒设备设计.

1) 紫外线灯布置方式

为提高消毒效果,管道截面紫外线辐射强度必须分布均匀.现有紫外线空气消毒设备多为空气流向与紫外线灯垂直的方式,由图 1 知道紫外灯轴线两端之外的范围的辐射强度非常小,其紫外线强度分布是不均匀的,消毒效果将受到影响.因此本设计采用紫外灯串连,与风向平行的方法布置紫外灯.

2) 管道截面紫外线辐射强度分布设计

病毒抵抗力介于细菌繁殖体与芽孢之间,根据蜡样杆菌芽孢在杀灭率为 99% 时所需的照射剂量为 $28\,170\,\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^{2[2]}$,取照射剂量 $K=30\,000\,\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ 来计算,确定所需管道截面紫外线辐射强度.在选定的灯管距离下,计算各点的直接辐射强度,再得截面的平均直接强度为 $2\,809.4\,\mu\text{W}/\text{cm}^2$.在有反射情况下得管道平均总辐射强度 $8\,428.2\,\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

3) 管道消毒系统设计

根据照射剂量、灯管长度,空气流动设计管道消毒系统.

单元管道数为 7,管道系统总长为 8.75 m,紫外灯消耗功率 1 400 W,风速为 6 m/s.处理风量为 $22\,000\,\text{m}^3/\text{h}$.

4) 校核设计的管道消毒系统消毒效果

按传统的数学模型校核,见表 1.

表 1 消毒效果校核表

微生物名称	时间 t/s	辐射强度 $I/(\mu W \cdot cm^{-2})$	衰减率常数 K	细菌存活率 $S(t)/\%$	消毒效果 $/\%$
毛霉菌孢子	1.46	8 428.2	0.0002	8.559	91.441
流行感冒病毒	1.46	8 428.2	8.967	0	100
结核分支杆菌	1.46	8 428.2	0.002132	$4.16E-10$	100
大肠杆菌	1.46	8 428.2	0.000767	0.008	99.992
蜡样杆菌芽孢	1.46	8 428.2	0.000245	4.923	95.077

从表 1 可以看出: 对各种致病菌消毒效果非常好, 满足空气消毒效果要求。

2003 年“非典”时期, 国家颁布的《建筑空调通风系统预防“非典”确保安全使用的应急管理措施》中第六条指出: 对于无法按全新风运行的全空气空调系统, 建议在空调回风总管内或其他部位安装紫外线灯, 其照射剂量为 $6\,000\sim 7\,000\,\mu W \cdot s/cm^2$ 。本管道消毒系统的照射剂量为 $8\,428.2\,\mu W \cdot s/cm^2$, 故充分满足该规定。

5 结论

本文提出的新型紫外线中央空调系统消毒设备, 紫外线辐射强度超出 2003 年“非典”时期国家公布的《建筑空调通风系统预防“非典”确保安全使用的应急管理措施》规定值, 对空气中多种致病微生物的消毒效果大为提高。紫外灯采用串联平行风向的排列方式, 紫外线平均强度大且分布均匀; 紫外灯受风压小; 紫外灯数少, 管长适合中央空调系统; 消毒效果好; 造价不高。综上所述实现了紫外线消毒在中央空调系统中应用的较大创新。今后需要进一步研究的内容: 用实验校核该管道紫外线消毒系统的消毒效果和臭氧的生成量。经完善后, 将推广应用到中央空调系统中。

参考文献:

[1] 张寅平, 赵彬, 成通宝, 等. 空调系统生物污染防治方法概述[J]. 暖通空调(暖通空调与 SARS 特集), 2003, 33: 41-46.

[2] 薛广波. 现代消毒学[M]. 北京: 人民军医出版社, 2002.

[3] Kowalski W J, Bahnfleth W P. Effective UVGI system design through improved modeling[A]. ASHRAE Transactions[C]. 2001, V106(2): 4-13.

[4] 耿彦生, 张印法. 紫外线消毒应用研究进展[J]. 中华卫生监督与健康杂志, 2003, (4): 81-82.

[5] 李建兴. 中央空调应用紫外线消毒的相关问题[J]. 洁净与空调, 2004, (1): 23-25.

The Design of New UVC Disinfect Facility for HVAC

WU Yao-jie, QIN Hong

(Faculty of Material & Energy Resources, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Firstly, this thesis aims to introduce some knowledge about UVGI. Then, with regard to the present mathematics of UVGI and the mathematics of intensity field of a UVGI lamp, a new type of air conduit system of UVGI is designed. A new form of laying UVGI lamps is employed to improve the uniformity of intensity of Ultraviolet in air conduit and strengthen the intensity, thus to be resulted in a satisfactory sterilization effect.

Key words: HVAC; UVGI; microbe pollution; air disinfection;