

文章编号: 1671-6612 (2019) 05-462-05

基于污染物控制的室内空气调节技术

吴涛 张华玲 刘洋伶 杜超军

(重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室 重庆 400045)

【摘要】 通过目前室内PM_{2.5}及VOCs采用的控制技术效果分析,特别针对具有集中通风空调系统的大型民用建筑,提出了可以结合其空调系统控制调节PM_{2.5}和VOCs浓度的一种技术,并对方案设计和硬件构成进行了介绍。其中,PM_{2.5}浓度的监测控制技术以滤膜称重法为核心原理,对室内空气中可吸入颗粒物浓度进行监测和越限报警,并据此调节空调新风回风比例。VOCs浓度控制技术是在空调回风箱内利用光催化技术有效降解室内空气污染产生的挥发性有机物,该技术可以提高反应效率,减少二次污染,改善室内空气质量。

【关键词】 室内环境; PM_{2.5}; VOCs浓度; 控制技术; 空气质量

中图分类号 TU023 文献标识码 A

Indoor Air Conditioning Technology Based on Air Pollutant Control

Wu Tao Zhang Hualing Liu Yangling Du Chaojun

(Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Chongqing University, Chongqing, 400045)

【Abstract】 Based on the analysis of the control technology used in indoor PM_{2.5} and VOCs, especially for large-scale civil buildings with centralized ventilation and air conditioning system, a technology that can control the concentration of PM_{2.5} and VOCs in combination with its air conditioning system is proposed. Design and hardware composition were also introduced. Among them, the filter membrane weighing method is the core principle of the monitoring and control technology of PM_{2.5} concentration. The control technology can monitor and alarm the concentration of inhalable particles in indoor air, and adjust the proportion of new air return air. VOCs concentration control technology is the use of photocatalytic technology in air-conditioned return bellows to effectively degrade volatile organic compounds produced by indoor air pollution. This technology can improve the reaction efficiency, reduce secondary pollution and improve indoor air quality.

【Keywords】 indoor environment; PM_{2.5}; VOCs concentration; control technology; air quality

0 引言

随着我国工业化和城市化的发展,城市人口增加、各种空气污染物排放和悬浮颗粒物排放量增加、大气污染负荷增大,我国大部分地区频现雾霾天气。大气污染物防治成为了人们关注的焦点,尤其是PM_{2.5}和挥发性有机物(VOCs)的治理。PM_{2.5}和VOCs对室内空气质量的影响非常显著,据研究

显示,室外污染物浓度要远远低于室内污染物浓度。人员活动大部分时间是在室内,PM_{2.5}和VOCs浓度增加将严重影响人的健康。而目前市面上的空气净化装置主要以净化器的形式存在,占用室内空间、影响美观。因此,研究将空气净化装置与集中通风空调结合的技术十分必要。

基金项目:国家重点研发计划项目“既有公共建筑室内物理环境改善关键技术研究及示范”(编号:2016YFC0700705)

作者简介:吴涛(1994.10-),男,在读硕士研究生,E-mail:wutao19950121@163.com

通讯作者:张华玲(1966-),女,教授,E-mail:635972207@qq.com

收稿日期:2018-11-08

1 室内 PM_{2.5} 和 VOCs 的来源及联系

1.1 室内 PM_{2.5} 和 VOCs 的来源

PM_{2.5} 是指大气中动力学直径不大于 2.5 μm 的细颗粒物, 其粒径小, 比表面积巨大, 活性强能吸附细菌、病毒和各种有毒有害物质, 且可以很久的漂浮在大气中, 严重损害着室外环境和人体健康^[1]。建筑室内 PM_{2.5} 的来源可以分为室内源和室外源两部分。室内释放 PM_{2.5} 的污染源包括人员活动和吸烟, 实验证明吸烟是室内环境 PM_{2.5} 的主要来源^[2]。此外, 对于居住建筑, 燃烧过程、烹饪和家务活动也会引起污染; 对于公共建筑, 内部的设备运行及餐饮也是 PM_{2.5} 的来源。室外的 PM_{2.5} 进入室内的主要途径有空调新风系统、建筑围护结构缝隙穿透、自然通风及人员携带等^[3]。

挥发性有机物 (VOCs) 一般指常温下饱和蒸汽压 >70.91 帕或沸点 <260 $^{\circ}\text{C}$ 的有机化合物, 一般包括芳香烃、脂肪烃、卤代烃、含氧烃、萜烯、醇、醛、酮和酯等, 是一种重要的室内空气污染物。室内 VOCs 的种类繁多, 来源广泛。其来源大体可以分为三类:

(1) 建筑装饰、装修材料和生活日用品, 这些产品会持续不断地释放各种污染物, 含甲醛、苯和甲苯等有害 VOCs, 极易降低室内空气品质^[4,5]。

(2) 人类吸烟、人自身的新陈代谢;

(3) 室外汽车尾气、工业污染物、意外失火等^[6,7]。

1.2 PM_{2.5} 和 VOCs 的联系

当前, 我国大气污染问题复杂, 呈现高污染负荷、多污染物叠加等特征, 已从传统的煤烟型污染逐渐过渡为以 PM_{2.5} 和 O₃ 为特征的复合污染。挥发性有机物 (VOCs) 不仅很多本身就是有害或致癌性物质, 对人体危害极大。而且 VOCs 与汽车尾气中的氮氧化物等在太阳光紫外线照射下会发生光化学反应, 生成二次颗粒状污染物, 这是造成 PM_{2.5} 浓度增高的的重要原因之一^[8]。其它研究显示, 空气中的颗粒物 PM (Particulate Matter) 约有 50% 来源于人为源和自然源, 其余 50% 是由于 VOCs 与空气中的氮氧化物 (NO_x)、二氧化硫 (SO₂)、氨 (NH₃) 等气态污染物在太阳光紫外线照射下发生光化学反应生成的二次颗粒污染物。

2 室内 PM_{2.5} 的控制方法及技术

2.1 室内 PM_{2.5} 的控制方法

建筑室内 PM_{2.5} 控制措施可以根据其来源分为两大类, 一是主动控制措施, 二是被动控制措施。主动控制中, 对于安装有集中通风空调系统的建筑, 可在空调系统中安装空气净化装置, 一些研究者已提出了集中空调系统空气过滤器等级组合策略^[9]; 对于住宅等无集中通风空调系统的建筑, 一般采用空气净化器; 而对于建筑的餐饮区域, 则要控制厨房油烟在建筑内的扩散和净化^[3]。被动控制措施中, 主要考虑随渗透风进入室内的 PM_{2.5} 渗透负荷, 可采用措施有条外窗气密性、保证外窗密封条安装质量、加强墙体预留孔口密封及定期维护等。

2.2 PM_{2.5} 浓度越线报警及空调风量调节技术

2.2.1 方案总体设计

该调节系统由颗粒物检测和空调风量调节模块组成 (如图 1 所示), 风量调节模块对新风和回风颗粒物浓度进行测量和比较后发出反馈信号, 该信号通过调节阀门开度减少颗粒物浓度较大一方的风量, 从源头上减少进入室内的颗粒物。并且在新风量减小时能减轻新风热湿处理设备的负荷, 减少能源消耗^[10,11]。

同时, 置于室内的颗粒物浓度检测模块判断出室内空气颗粒物浓度是否超过预设值。若未越限则表明室内空气颗粒物浓度水平正常, 检测模块进入下一检测循环。一旦颗粒物浓度水平越限则发出越限反馈信号说明室内空气颗粒物已严重超标, 该反馈信号与风量调节系统联动进一步减少颗粒物浓度较大一方风量。如果用户在使用独立的空气净化装置, 则该越限信号可控制启动净化装置, 与风量调节模块合作从源头减量和室内净化两个方面控制颗粒物浓度到达正常水平, 减少了独立净化的负荷, 降低了净化装置的能源消耗量。



图 1 调节系统组成及运行流程

Fig.1 The components of the adjust system and operation flow

2.2.2 颗粒物检测模块工作过程

颗粒物检测模块对原有的室内空气可吸入颗粒物进行定量的采样收集,利用颗粒物滤膜对空气样本中的颗粒物进行吸附积累,并在重力沉降作用下压迫颗粒物收集滤膜发生弹性形变,当形变量到一定程度时带动报警开关动作。根据形变量与颗粒

物浓度的一一对应关系可定性判断室内空气颗粒物浓度是否超过预设值,并在颗粒物浓度越限后打开室内空气净化设备,而在颗粒物浓度达标时关停净化设备,避免净化设备没有必要的运行造成能源浪费,如图2所示。

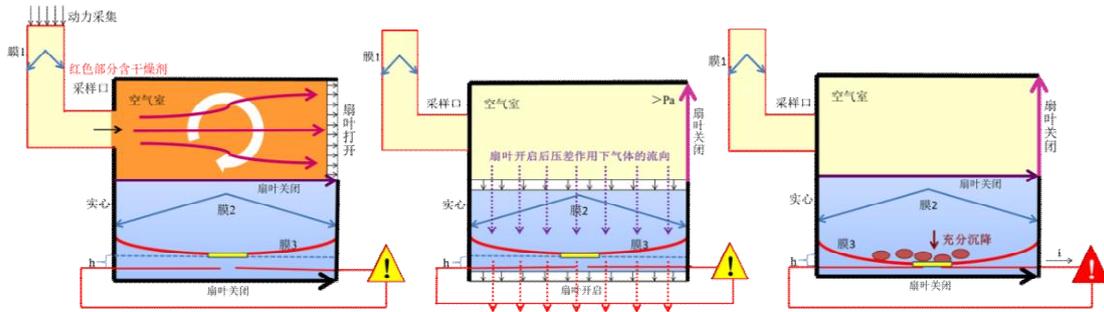


图2 颗粒物检测模块运行过程

Fig.2 The operation process of particle detection module

2.2.3 风量调节模块工作过程

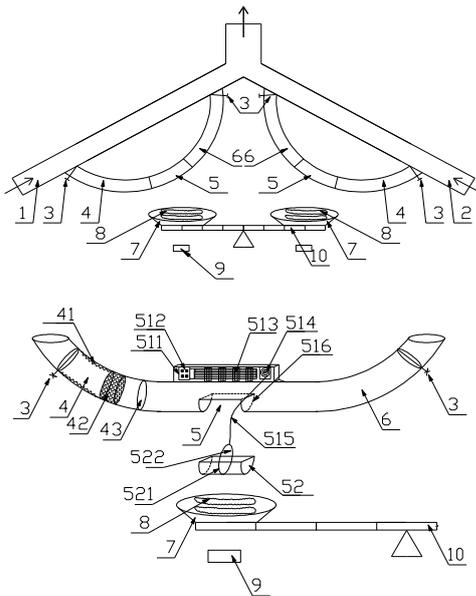


图3 风量调节模块硬件设计

Fig.3 The hardware of air conditioning module

- 1—回风管道; 2—新风管道; 3—电动风阀;
- 4—旁通管入口段; 41—硅胶防潮层; 42—干燥剂格栅;
- 43—PM10 滤膜; 5—旁通管中段; 511—安装盒;
- 512—计时器; 513—电磁铁; 514—绕线圈;
- 515—拉线; 516—密封用橡胶; 52—旁通管下半管;
- 521—箍圈; 522—PM2.5 粘附膜;
- 6—旁通管出口段; 7—托盘; 8—减震垫;
- 9—位置开关; 10—平衡杠杆

该部分的组成主要包括回风、新风管道以及对应的回风比例调控装置三个部分。实施时将此系统嵌入空调系统中,判断出回风管道和新风管道中颗粒物含量浓度差异,然后根据该差异调节回风管道和新风管道的通风量,其中颗粒物含量浓度高的管道中降低通风量或者关闭通风,颗粒物含量浓度低的管道中提高通风量。

空调风量调节模块的硬件设计如图3所示,其工作过程为:

- (1) 收集回风管道和新风管道的PM2.5,收集过程结束后控制电磁铁断电,使得两根旁通管中的下半管各自在重力作用下掉落到下方对应的托盘上;
- (2) 当回风管道和新风管道中固体颗粒物含量不同时,对应的PM2.5粘附膜重量不同,使得平衡杠杆失去平衡,较重一侧的托盘下降并触发下方对应的位置开关;
- (3) 位置开关和回风新风比例调控装置相关联进行调控,使得对应管道中的通风量被降低或者关闭;
- (4) 电磁铁断电的同时打开计时器,用于记录电磁铁断电到位置开关触发的时间,当重量相差越大时,平衡杠杆转动速度越快,故计时器可以检测出位置开关被触发的时间大小的差异性,进而反应出对应管道中颗粒物浓度大小的差异性,进而可以根据浓度大小差异更加精确地对回风管道和新风管道的通风量的比例进行调节,这样可以实现更好的调节效果。

(5) 检测装置还包括辅助复位机构, 在检测完毕后, 下半管靠电磁铁复位的同时, 靠辅助复位机构辅助复位, 能够提高复位准确性, 复位后可以等待下次检测调节使用。

3 室内 VOCs 的控制方法及技术

3.1 室内 VOCs 的控制方法

目前针对 VOCs 浓度的控制方法有三种^[7]。一是消除污染源, 但现在中国没有法律禁止高 VOCs 挥发率的建筑材料, 因此很难实现; 二是增大新鲜空气的进入, 但它不能完全去除污染物, 尤其在高污染物挥发率和气流组织不均匀的地方, 增大通风量不过是浪费能源; 三是用净化器处理空气, 例如最常用的吸附技术、光催化氧化技术及尚处于探索阶段的组合技术^[12]。

在现有市场上的空气净化器中, 基本以过滤和吸附功能为主, 而过滤原理的空气净化器只是除去了空气中的悬浮颗粒, 对有机挥发化合物和细菌的净化效果很不理想; 吸附原理净化器又有吸附饱和及二次污染等净化问题, 实用效果并不好。

光催化技术能在一定环境温度和压力下对有机化合挥发物进行降解, 最终生成 CO_2 和 H_2O 等小分子产物, 是目前最有效的空气净化方法。我国市面上已有许多光催化空气净化器, 如殷乃超等研制了一种使用紫外光催化的净化器^[13], 但这些空气净化器只是单纯的以净化器的形式存在, 不仅需要占用室内空间, 并且影响建筑内部结构的美观性。

3.2 民用建筑 VOCs 的控制技术

3.2.1 方案设计

该方法可与民用建筑的中央空调系统结合, 其方案设计如下:

(1) 由紫外光源、透明灯管、光催化滤网、肋片等组成的光催化结构组件安装于壳体中, 置于中央空调回风箱中空气过滤工断后;

(2) 中央空调系统把带有大量污染物的回风经过回风机吸入回风箱后, 经混合段混合, 过滤器过滤后进行光催化空气净化;

(3) 经净化后再经空调其它工段对空气的加工处理, 最后经过滤后由送风机送出, 如此循环, 使空气不断净化, 达到室内空气品质要求状态。

3.2.2 硬件设计

其硬件设计包括壳体、风机、过滤器、光催化

结构组件(光催化滤网、透明套管、紫外光源、光催化半导体材料)等。发明具体实施时的结构示意图如图 4 所示, 在空气过滤段安装空气净化器^[14]。

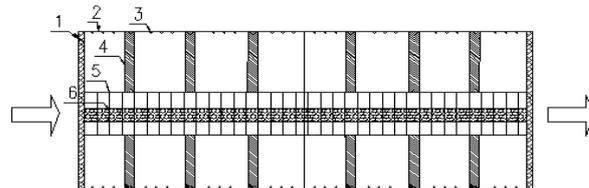


图 4 空气净化器结构示意图

Fig.4 Air purifier structure diagram

1—滤网; 2—壳体; 3—肋片; 4—光催化过滤网;
5—灯座; 6—紫外光源 LED 灯

光催化空气过滤器中: 光催化滤网呈直片型, 每组设有三片, 平行嵌装设置于壳体内, 壳体紫外光 LED 灯垂直于滤网安装在透明灯管内, 透明灯管外部安装有与组件横向长度一致的肋片, 壳体两端装有用于安装紫外灯管的灯座, 灯座通过导线与外部电源连接, 滤网和肋片上均涂有纳米级 TiO_2 光催化剂。由于光催化滤片每组有三片, 加大了光催化的反应面积, 逐步深化净化, 有利于净化效率的提高。其中, 单独光催化滤网的结构示意图如图 5 所示, 单独壳体内壁和肋条的结构示意图如图 6 所示, 其中内表面上贴有用于加强光利用率的反光铝箔纸。

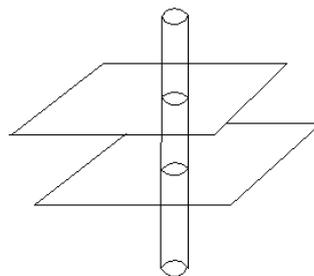


图 5 单独光催化滤网的结构示意图

Fig.5 separate photocatalytic filter structure diagram

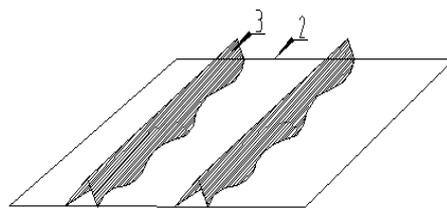


图 6 单独壳体内壁和肋条的结构示意图

Fig.6 Individual housing wall and ribs structure diagram

(下转第 477 页)