

# 公共建筑室内PM<sub>2.5</sub>控制研究

陈乐端<sup>1</sup> 程思敏<sup>2</sup> 范东叶<sup>3</sup> 印心如<sup>4</sup>

1. 3. 中国建筑科学研究院有限公司

2. 4. 安徽工业大学建筑工程学院

**摘要:** 根据公共建筑室内外PM<sub>2.5</sub>污染来源, 分析了公共建筑室内PM<sub>2.5</sub>控制设计方法, 针对公共建筑的一次回风空调系统和风机盘管加新风空调系统, 提出了公共建筑室内PM<sub>2.5</sub>浓度控制策略。

**关键词:** 公共建筑; 室内PM<sub>2.5</sub>; 过滤效率; 控制策略

【DOI】 10. 12254/j. issn. 2096-6539. 2023. 04. 042

## 引言

近年来, 中国雾霾天气受到了人们的广泛关注, 现代人历经“煤烟型”“光化学烟雾型”污染后, 正在进入以“室内空气污染”为标志的第三污染时期<sup>[1]</sup>。据统计, 城市居民每天约80%的时间在室内度过<sup>[2]</sup>, 有近1/5的人每天在集中空调环境下逗留的时间超过8小时<sup>[3]</sup>, 集中空调已成为人们日常工作生活中最为重要的部分<sup>[4-5]</sup>。相关研究表明, 室内污染物和室外污染物有很强的耦合关系<sup>[6]</sup>, 室内可吸入颗粒物有55%~75%来自室外空气<sup>[7-8]</sup>, 室外颗粒物进入室内的途径主要为中央空调新风系统、自然通风、围护结构缝隙穿透以及人员携带等<sup>[9]</sup>, 因此现今的室内外空气状况对公共建筑中央空调的过滤系统提出了更高的要求。

## 一、公共建筑室内外PM<sub>2.5</sub>污染来源

公共建筑室内PM<sub>2.5</sub>污染来源主要有两大类<sup>[10]</sup>, 一是室内PM<sub>2.5</sub>污染源的释放, 二是室外PM<sub>2.5</sub>向室内环境的传输, 两类细颗粒污染源的耦合作用影响着室内环境中细颗粒物的浓度和组成。

室内环境中的细颗粒物污染源主要包括供暖、烹饪、吸烟、人员活动、设备运行、建筑材料挥发物等产生的颗粒物。公共建筑室内活动是影响室内细颗粒物再悬浮的最重要因素之一, 有研究结果表明<sup>[11]</sup>, 当人员活动强度较大时, 来自室内污染源的PM<sub>2.5</sub>约占室内PM<sub>2.5</sub>

的60%~89%; 当人员在室内活动强度较小时, PM<sub>2.5</sub>中来自室内污染源的占比明显降低, 仅为活动强度较大时1/2, 约为27%~47%。

室外大气PM<sub>2.5</sub>浓度具有不确定性, 与环境条件、气象、时间、地点等诸多因素有密切关系, 主要包括土壤微粒、植物花粉等自然散发的颗粒, 还包括工农业生产、建筑施工以及交通运输过程等人为活动产生的污染源<sup>[12-14]</sup>。

## 二、公共建筑室内PM<sub>2.5</sub>污染控制设计方法

中国工程建设标准化协会标准T/CECS 586—2019《建筑室内细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)污染控制技术规程》提出一种建筑室内PM<sub>2.5</sub>污染控制设计方法, 解决了室内PM<sub>2.5</sub>污染设计计算无依据的问题。

### (一) PM<sub>2.5</sub>室外设计浓度确定

将“不保证天数”方法<sup>[15]</sup>作为PM<sub>2.5</sub>公共建筑室外设计浓度的确定方法, 即近3年历年平均不保证5天的日平均质量浓度。将统计期内每一年的PM<sub>2.5</sub>日平均质量浓度分别进行降序排列, 去掉PM<sub>2.5</sub>日平均质量浓度最高的5天, 也就是第6天的PM<sub>2.5</sub>日平均质量浓度就是不保证5天的PM<sub>2.5</sub>日平均质量浓度, 近3年平均不保证5天的室外PM<sub>2.5</sub>日平均质量浓度的平均值就是历年平均不保证5天的PM<sub>2.5</sub>日平均质量浓度。

### (二) PM<sub>2.5</sub>室内设计浓度

在国家标准《环境空气质量标准》GB 3095-2012中, 对环境PM<sub>2.5</sub>浓度限值(日均值)进行了规定, 一级浓度限值为35 μg/m<sup>3</sup>, 二级浓度限值为75 μg/m<sup>3</sup>。综合考虑我国现阶段颗粒物污染情况及其健康风险, 本文PM<sub>2.5</sub>室内计算浓度限值与国家标准《环境空气质量标准》GB 3095-2012浓度限值一致, 引导值的I级标准依据为世界卫生组织(WHO)指导24小时平均值(25 μg/m<sup>3</sup>), II级标准为国家标准《环境空气质量标准》GB

3095-2012中一级浓度限值。

### (三) PM2.5污染控制设计计算方法

室内PM2.5浓度变化遵循质量守恒定律<sup>[16]</sup>，表示为进入室内PM2.5的质量与离开室内的PM2.5的质量差，室内PM2.5质量平衡方程图见图1所示。进入室内PM2.5的质量主要是室外新风带进室内PM2.5的量、渗透风带进室内PM2.5的量、室内PM2.5散发源散发PM2.5的量以及室内回风带入室内PM2.5的量。离开室内PM2.5的质量主要有排风带走PM2.5的量以及由于沉积作用导致沉降PM2.5的量。

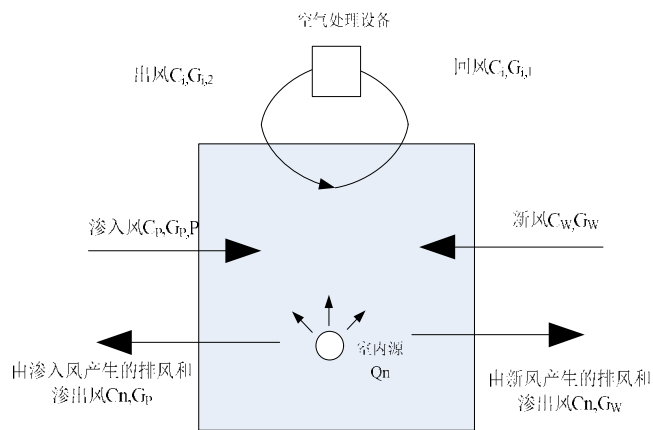


图1 建筑PM2.5质量平衡方程图

PM2.5总负荷量由渗透风、新风、室内污染源三部分组成，假设PM2.5室内污染源及沉降效应可忽略，则室内PM2.5质量平衡可简化为：

$$G_w(C_w - C_n) + G_p(C_p P - C_n) = D \quad (1)$$

式中， $G_w$ 为新风量， $m^3/h$ ； $C_w$ 为PM2.5室外设计浓度， $\mu g/m^3$ ； $C_n$ 为PM2.5室内设计浓度， $\mu g/m^3$ ； $G_p$ 为渗透风量， $m^3/h$ ； $P$ 为穿透系数； $D$ 为空气处理设备PM2.5的总去除能力，也就是空气处理设备单位时间内去除PM2.5的量， $\mu g/h$ 。

空气净化装置的PM2.5综合过滤效率为：

$$\eta = \frac{D}{C_j G_z} \times 100\% \quad (2)$$

式中， $\eta$ 为空气净化装置的PM2.5综合过滤效率，%； $C_j$ 为空气净化装置进风中的PM2.5浓度， $\mu g/m^3$ ； $G_z$ 为空气净化装置的处理风量， $m^3/h$ 。

对于由多个空气过滤器串联构成的空气净化装置，其PM2.5综合过滤效率与各个空气过滤器的PM2.5过滤效率应满足下式要求：

$$\eta \leq 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_m) \quad (3)$$

通过上式计算可以得到集中空调机组所需的过滤器综合效率，从而确定合适的过滤器组合方案。

### 三、公共建筑集中空调系统室内PM2.5浓度控制策略

本文研究对象为公共建筑一次回风空调系统和风机盘管加新风空调系统，公共建筑集中空调系统可根据公共建筑室内PM2.5污染控制设计方法合理设置过滤器型号和放置位置，在实际运行中应充分考虑室内外PM2.5浓度情况和空调系统运行能耗情况，实现室内PM2.5浓度最优控制策略。

#### (一) 一次回风系统室内PM2.5浓度控制策略

一次回风系统可选择在新风管道或回风管道分别设置过滤器，室内外污染程度较大时也可直接在新风与回风混合后设置PM2.5过滤器。

当室外新风PM2.5浓度高于公共建筑室内PM2.5浓度时，应根据室外气候条件调节新风比；当室内存在PM2.5散发强度很大的污染源时，可适当调大新风比或开启回风过滤器进行过滤。

为降低空调能耗，可在新风口和回风口处设置PM2.5浓度检测仪，当检测到新风或回风PM2.5浓度超过目标浓度时，选择单独开启新风过滤器或回风过滤器。

#### (二) 风机盘管加新风系统室内PM2.5浓度控制策略

对于室内无明显PM2.5散发源时，可只考虑在新风管设置PM2.5过滤器，安装新风过滤器的管道处需要设置一段旁通管，当室外空气为优或良好的情况下，建议不开启新风过滤器，直接通过旁通管道将新风引入室内，当室外空气为污染状态时，开启新风过滤器。

对于室内存在较强PM2.5散发源的情况，可考虑在风机盘管回风管上设置PM2.5过滤器，同时计算需要安装PM2.5过滤器的风机盘管台数，在实际运行中，可根

据室内PM2.5浓度情况,选择开启过滤器的工作台数。

## 四、结论

公共建筑室内PM2.5污染控制的关键是空气过滤器配置方式,而合适的控制设计是空气过滤器选型配置的前提条件。本文根据质量平衡方法,分析了室内PM2.5污染控制设计的计算方法,通过计算可以得到集中空调机组所需的过滤器综合效率,从而确定合适的过滤器组合方案,在实际运行中还应充分考虑室内外PM2.5浓度情况和空调系统运行能耗情况,通过合理调节新风、一次回风、风机盘管回风等过滤器开启,实现室内PM2.5浓度最优控制策略。

## 参考文献

[1] 张建炜. 室内空气污染的危害及防治的方法[J]. 化学工程与装备, 2010(11): 179-180.

[2] Klepeis N.E., Nelson W.C., Ott W.R., et al. The National Human Activity Pattern Survey: a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal Of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*. 2001, 11: 231-252.

[3] 王静懿. 关于西安市大气环境下空调系统中空气过滤器的选型研究[D]. 西安建筑科技大学, 2009

[4] 陆广智, 胡俊, 张秋平, 覃俊, 林丽玲, 杨仁东. 珠海市公共场所集中空调通风系统可吸入颗粒物污染现状调查[J]. 实用预防医学, 2019, 26(02): 163-166.

[5] Liyuan. Extending the coverage of PM2.5 monitoring to help improve air quality[J]. *NewsRx Health & Science*, 2020.

[6] 王平. 大气环境细颗粒物(PM2.5)对室内环境影响的实测调查研究[J]. 暖通空调. 2014, 44(1): 55-60

[7] 唐波, 高军. 室外PM2.5设计浓度确定方法研究[J]. 建筑热能通风空调, 2018, 37(11): 38-41+15.

[8] Ozkaynak H., Xue J., Spengler J., et

al. Personal exposure to air borne particles and metals: Result from the Particle TEAM study in Riverside. *Journal of Exposure Analysis and Environment Epidemiology*, 1996, 6(1): 57-58.

[9] 王晓飞. 新风机组的PM2.5过滤性能综合评价研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2016

[10] 王清勤, 李国柱, 赵力, 等. 建筑室内细颗粒物(PM2.5)污染现状、控制技术与标准[J]. 暖通空调, 2016, 46(2): 1-7

[11] 朱先磊, 张远航, 曾立民等. 北京市大气细颗粒物PM2.5的来源研究[J]. 环境科学研究, 2005, 18(5): 1-5.

[12] Kopperud Royal J, Ferro Andrea R, Hildemann Lynn M. Outdoor versus indoor contributions to indoor particulate matter (PM) determined by mass balance method[J]. *Air & Waste Manage Assoc*, 2004, 54: 1188-1196.

[13] 廖琴, 张志强, 曲建升. 国际PM2.5排放标准及其实施情况比较分析[J]. 环境污染与防治, 2012, 34(10): 95-99.

[14] 赵彬, 陈玖玖, 李先庭等. 室内颗粒物的来源、健康效应及分布运动研究进展[J]. 环境与健康杂志, 2005, 22(1): 65-68.

[15] 朱先磊, 张远航, 曾立民等. 北京市大气细颗粒物PM2.5的来源研究[J]. 环境科学研究, 2005, 18(5): 1-5.

[16] 王清勤, 李国柱, 朱荣鑫, 等. 空气过滤器设计选型用PM2.5室外设计浓度确定方法[J]. 建筑科学, 2015, 31(012): 71-77.

[17] 赵力, 陈超, 王清勤, 等. 建筑室内PM2.5污染控制设计及计算方法[J]. 建筑技术, 2016(9): 839-842.

资助项目: 中国建筑科学研究院有限公司青年基金项目(20160106331030079)