

公共场所空调通风系统微生物污染调查分析及综述*

清华大学 陈凤娜[★] 赵彬[△] 杨旭东

摘要 通过文献调查和现场测试,系统地分析了国内公共场所集中空调通风系统微生物污染现状,阐述了微生物污染与颗粒污染之间的关系,研究了通过生物颗粒评价空调通风系统污染对室内微生物污染影响的意义及存在的问题,提出了采取清洗、除污手段实现污染源控制的观点。

关键词 空调系统 微生物污染 颗粒污染物 评价 污染源控制

Investigation and review of microbial pollution in air conditioning systems of public buildings

By Chen Fengna[★], Zhao Bin and Yang Xudong

Abstract Based on literature retrieve and field measurements, systematically analyses the current status of microbial pollution in air conditioning systems of public buildings in China. Expounds the relationship between microbial pollution and particle contaminant. Studies the significance and existing problems of evaluating the effect on indoor air microbial pollution by biologic particles through air conditioning systems. Provides the viewpoint that cleaning the HVAC system is an effective means of contaminant source control.

Keywords air conditioning system, microbial pollution, particle contaminant, evaluation, pollution source control

[★] Tsinghua University, Beijing, China

①

1 调查研究背景及目的

目前,建筑室内微生物污染对人体健康的危害备受人们的重视。根据国际标准化组织公布的《建筑环境设计—室内空气质量—人居环境室内空气质量的表述方法》(*Building environment design—indoor air quality—methods of expressing the quality of indoor air for human occupancy*)(ISO/DIS 16814)的定义,微生物污染物主要包括细菌、真菌、病毒、代谢毒素,与这些生物体、内毒素相关的颗粒,以及其他动植物颗粒等,它们以气溶胶形式存在或沉积于物体表面^[1]。潮湿霉变的建材和空调系统是室内最重要的微生物污染源,在一些场合中,人员也是一种重要的污染源^[2]。美国环保局在美国、丹麦技术大学在欧洲的调查显示,室内空气污染来自空调通风系统的

占 42%~53%^[3]。与空气质量相关的病症发生率空调通风系统比自然通风系统增加 30%~200%。根据其对人体的危害、疾病的性质、致病的病原等,与空气质量相关的病症大致可分为三大类:急性传染病(如军团菌病)、过敏性疾病(包括过敏性肺炎、加湿器热病等)、病态建筑综合症^[4-7]。在 2003 年 SARS 肆虐后,空调通风系统可能造成的微生物污染、传播更受到人们的普遍关注。

为了了解集中空调通风系统的卫生状况,国内外不少单位对各地区公共场所集中空调通风系统进行了检测,调查结果显示,空调通风系统存在严

①[★] 陈凤娜,女,1983 年 7 月生,在读硕士研究生
E-mail: cfn06@mails. tsinghua. edu. cn
[△] 100084 北京海淀区清华大学建筑技术科学系(旧土木馆)
(010) 62779995
E-mail: binzhao@mail. tsinghua. edu. cn
收稿日期:2007-09-25
一次修回:2007-12-30
二次修回:2008-12-05

* 国家科技支撑计划项目(编号:2006BAJ02A10)

重的问题。美国国家职业安全与卫生研究所(NIOSH)的评估结果显示,529 个存在空气质量问题的建筑中有 280 座建筑物通风不合格,占调查总数的 53%;美国明尼苏达大学和加州伯克利大学劳伦斯实验室的论文指出,NIOSH 对上千所学校进行调查评估得到的 49 份报告显示,空调系统维护不当和送风管道、空气处理机脏污比例分别达 39% 和 18%^[8]。2004 年卫生部组织的对全国近 1 000 家宾馆、商场、超市的集中空调系统卫生状况进行抽检得到的结果显示,近 50% 的集中空调系统属于严重污染,积尘量、细菌浓度、真菌浓度均远远超过标准规定的水平,合格的仅占抽检总数的 6%^[8]。

确定空调系统污染对室内微生物,如真菌、细菌浓度的影响是进行微生物污染控制的前提之一。空调系统对室内空气质量的影响与多个因素有关,如系统设计、环境参数、维护管理等^[2]。有研究对微生物颗粒在风道及其他部位的悬浮状况和输送进行了测试和模拟计算^[9]。但在定量分析系统的影响方面仍有相当多的工作要做。

本文通过实测,并结合其他测试数据,系统分析不同空调通风系统及设备的运行管理、卫生检测、清洗、消毒状况。为进一步的空调系统卫生诊断提供基础。

2 调查方法

2.1 调查的根据

依据《公共场所集中空调通风系统卫生规范》等规范进行。

2.2 检测对象

文献^[10-37]对一些城市的集中空调通风系统的积尘量(颗粒物浓度)、细菌总数、真菌总数、致病菌数(β -溶血性链球菌等致病微生物、嗜肺军团菌)进行了测试。笔者在北京市选取典型办公楼、商业建筑各 1 栋进行了空调系统微生物污染相关调查。本文中空调系统微生物污染状况的数据包括笔者的测试数据与其他不同省市的多个单位的测试数据。

2.3 检测办法

按照《公共场所集中空调通风系统卫生规范》提供的方法和步骤进行。采用统计学软件 SPSS11.0 进行数据统计分析。

2.4 评价标准

军团菌、可吸入颗粒物(PM10)、细菌总数、真菌总数、溶血性链球菌的含量均以《公共场所集中空调通风系统卫生规范》要求的限值评价。满足表 1 要求的为合格。

表 1 风管内表面卫生要求^[38]

积尘量	$\leq 20 \text{ g/m}^2$
致病微生物	不得检出
细菌总数	$\leq 100 \text{ cfu/cm}^2$
真菌总数	$\leq 100 \text{ cfu/cm}^2$

根据规范,以集中空调通风系统风管积尘均值和积尘中细菌总数均值、真菌总数均值为卫生评价依据,将污染程度分为轻度污染、中等污染、严重污染^[38]。其判别依据^[25]见表 2。

表 2 风管内表面污染程度划分

	轻度污染	中等污染	严重污染
管道积尘量/(g/m^2)	< 2	2~20	> 20
细菌总数/(cfu/g)	1×10^4	$(1 \sim 3) \times 10^4$	$> 3 \times 10^4$
真菌总数/(cfu/g)	$< 3\ 000$	3 000~5 000	$> 5\ 000$

3 空调系统污染调查结果

3.1 空调系统微生物污染特性

空调通风系统中,过滤器、管道、换热器、冷盘管、加湿器以及冷却塔、凝结水盘等是容易产生微生物污染的设备^[2]。

根据空调系统中微生物污染的基本特性,对不同的项目进行调查测试。

3.2 空调通风管道卫生状况

调查共涉及集中空调通风系统 694 个,不同省市样本分布如图 1 所示。

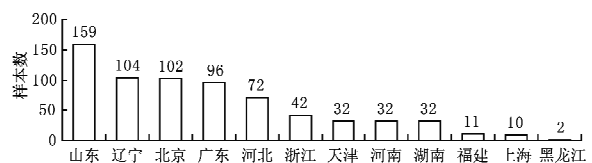


图 1 调查样本分布

3.2.1 总体卫生状况

通过统计测试数据和文献中数据得到国内部分省市公共场所集中通风空调管道系统颗粒、细菌、真菌的表面浓度,如表 3 所示。图 2 给出了相应系统的污染程度。

3.2.2 各种因素对空调通风系统污染的影响

通风管道的污染与室外大气环境、气象条件、通风管道的室内使用情况、系统运行年限、维护管理等多个因素有关,不同建筑空调通风系统污染状况差异较大。从整体上分析,污染的程度呈现一定

表 3 空调通风系统卫生总体情况

省市	采样数量	积尘量平均值/(g/m ²)	细菌总数平均值/(10 ⁴ cfu/g)	真菌总数平均值/(10 ³ cfu/g)
北京	28	70.47	10.00	39.6
天津	32	12.89	1.78	8.0
上海	4	17.40	20.50	240.0
河北	72	3.75	2.33	58.7
山东	127	14.22	1.20	9.0
辽宁	20	23.60	11.50	156.0
浙江	20	9.97	7.60	76.4

注:数据源于文献[10-33]和课题组实际测试值。

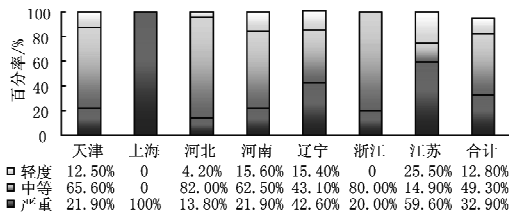


图 2 不同省市空调通风系统污染程度分布比例 (数据源于文献[10-33]和课题组实际测试值)

的地域特征。相对湿度较高的地区,细菌和真菌污染较严重,如上海、辽宁(样本大部分地处大连市)和浙江;由于大气颗粒污染问题较为严重,北京市风道积尘量最大,平均达 70 g/m²,其他省份风道平均积尘量均达到中等污染程度。从整体上看,我国公共场所空调通风系统的污染相当严重,其中 32.9%为严重污染,49.3%为中等污染,12.8%为轻度污染。

以北京市 31 个公共场所的空调通风系统为分析样本,分析得到单位面积风管内表面积尘量、细菌总数、真菌总数随系统使用年限的增加具有相近的增加趋势,如图 3 所示。但不同系统的污染程度与使用年限的回归方程并不统一。

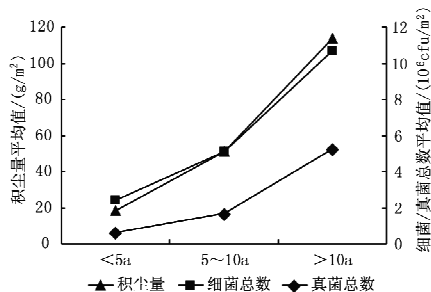


图 3 不同使用年限的系统的污染情况[36]

调查样本建筑包括宾馆旅店、大型商场超市、办公建筑、医院等公共场所。选择部分样本分析宾馆饭店、商场超市两种不同功能建筑空调通风系统污染状况的差异。调查结果(见表4)显示,宾馆旅

表 4 不同功能建筑空调系统卫生状况比较

	数量	积尘量平均值/(g/m ²)	细菌总数平均值/(cfu/m ³)	真菌总数平均值/(cfu/m ³)
宾馆酒店	142	21.34	3.30×10 ⁴	3.08×10 ⁴
商场超市	147	16.67	2.97×10 ⁴	1.97×10 ⁴

注:数据源于文献[10-33]和课题组实际测试值。

店空调系统管道内表面积尘量、细菌和真菌含量比商场超市高,但之间的差别没有统计学意义($P > 0.5$, P 为结果可信程度的一个递减指标),由此可见,不同功能的建筑的集中空调通风系统卫生状况无明显差异。

3.2.3 菌谱分析

风管内表面菌类主要包括枝孢霉菌、青霉菌、曲霉菌、链格霉菌、无孢菌、细菌(分为 G+, G- 两种)。其中,枝孢霉菌、青霉菌在每个系统中普遍存在,且是主要的成分;革兰氏阳性、阴性菌在风道中均存在。各种主要菌种检测结果[29]见表 5。

表 5 菌谱分析

		百分比/%	检出率/%
真菌	枝孢霉菌	46	100
	青霉菌	40	100
	曲霉菌	2	55.56
	链格霉菌	3	55.56
	无孢菌	9	94.44
细菌	G+	58	
	G-	42	

3.3 空调系统设备污染情况

目前,国内对空调通风系统的污染调查多为对风管污染的测试,对过滤器、表冷器、加湿器等部件的污染状况进行调查和研究的甚少。对上海 2 栋建筑进行调查得到的结果(见表 6)[17]显示,这些部位的微生物污染状况比风管内表面更加严重。

表 6 空调系统不同部位的污染比较

项目	部位	10 ⁴ cfu/m ²	
		餐厅	商场写字楼
细菌含量	送风管壁	10	30
	回风管壁	1.2	
	盘管表面	500	500
	过滤器	24	800
真菌含量	送风管壁	0	2
	回风管壁	0.3	
	盘管表面	1	22
	过滤器	2	13

3.4 冷却塔军团菌污染调查

随着集中空调的剧增,军团菌对人类健康的潜在威胁越来越大。冷却水系统多设在室外,其水质的好坏与空调室内空气质量没有直接关系,容易被忽视。

3.4.1 总体状况

对 5 个省的 646 个空调系统冷却塔进行军团菌污染情况调查得知,受军团菌污染的系统达 319 个,污染率在 32.7%~53.7%之间,平均污染率为 49.40%,上海污染率最高,详见表 7。

表 7 军团菌检测结果

	检测户数	检出有军团菌的户数	污染率/%
北京	55	18	32.70
上海	363	193	53.70
辽宁	32	17	53.13
浙江	94	40	42.60
广东	102	51	50.00

注:数据源于文献[16,32,34~38]和课题组实际测试值。

3.4.2 冷却塔军团菌影响因素

军团菌的生长与水温(适合温度 20~40℃),pH 值,环境中寄生、微生物生存条件有关。

从调查结果(见图 4)看,军团菌污染呈现明显的季节性。夏、秋季检出率较高,尤其是在 6~9 月,污染率达 67.32%,在 10 月后呈下降趋势,在 1~5 月冬、春季检出率极低。这是因为夏、秋季气温较高,适合军团菌繁殖。

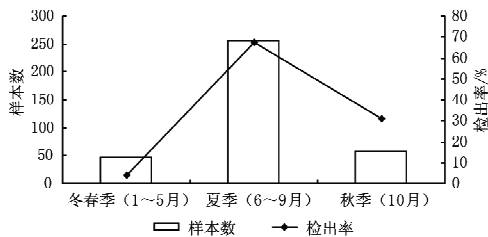


图 4 军团菌不同季节的污染率^[28]

从图 5 看,地铁站、医院等大型公共场所由于冷却水浑浊度较高,其冷却塔军团菌的污染率较高。这与文献[36]中医院和地铁站冷却水浑浊度最高的调查结果一致。

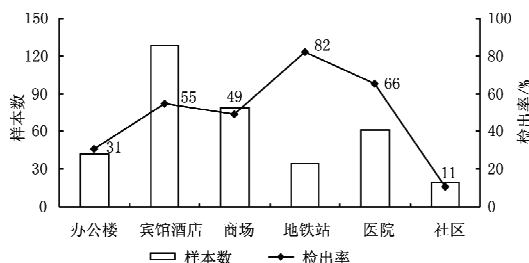


图 5 不同功能建筑冷却水军团菌污染比较^[35]

3.4.3 冷凝水军团菌污染

冷凝水系统尤其是接水盘等地方也是军团菌容易繁殖的场合。但由于其温度较低,且相对于处

于室外的开式冷却水系统水质好,军团菌的检出率低于冷却水系统,为 11.76%^[33]。

4 空调通风系统污染对室内微生物污染的影响

空调房间的微生物污染来源于人员、建筑材料、空调系统。其中,空调通风系统管道及部件是主要的污染源,降低了送风及送风环境的质量。对某医院进行检测发现,病房的微生物数量在使用空调前后明显不同:使用后细菌超标率高于使用前 20%;真菌和孢芽菌属的检出率明显增加。

空调通风系统的污染往往通过降低送风质量而影响室内微生物污染水平。对于系统微生物污染对室内空气质量的长期影响以及不同情况下的影响程度,目前的研究仍无明确的答案。笔者对此提出一些建议和想法:空调通风系统污染对室内微生物污染的影响,与系统中污染物气溶胶化程度及传播潜力紧密相关。微生物颗粒多附着于尘埃粒子上,采用培养方法直接检测微生物实施较为复杂、周期长,只能分析采样期间的情况。因此,可以通过研究空调系统中颗粒悬浮与传播,以及微生物含量与颗粒之间的关系来预测空调系统对室内微生物污染的影响,下面介绍已有的相关研究结果。

4.1 管道中颗粒污染物数量与微生物含量的关系

空调系统中,微生物与通风管道和设备表面的积尘紧密相关。积尘中微生物的含量是一个重要参数。

日本研究者对 200 个标本进行分析得到的结果显示,附着在粉尘上的颗粒中存在 $10^3 \sim 10^4$ cfu/g 的微生物,该含量和环境温度、相对湿度、营养条件等有关;单位质量积尘量的含菌量基本在 $10^3 \sim 10^6$ cfu/g 之间,少数达到 10^8 cfu/g^[39]。对于同一个系统,由于环境参数、营养条件较为稳定,积尘中含有的微生物数量较稳定,并不随积尘量的增加而明显增加。即积尘量增加,单位面积风管表面的微生物数量增加趋势比较接近。而对于不同的建筑,积尘量与微生物含量的关系差异较大,如图 6 所示。

对 33 个样本进行相关性分析发现,积尘量与细菌总数、真菌总数的相关性系数分别为 0.296, 0.567,细菌总数与真菌总数的相关性系数为 0.52,呈现一定的正相关性。不同系统积尘与微生物含量的相关性差异显著。

4.2 系统中微生物颗粒的悬浮输送

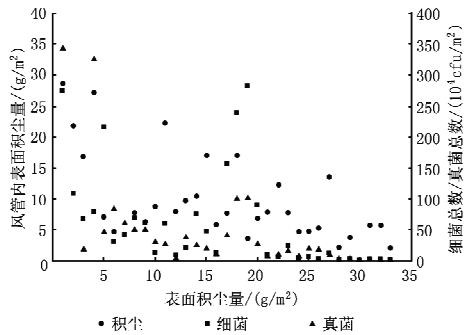


图 6 积尘量与微生物含量的关系^[22-23,25]

在空调系统中,微生物以群体附着于粉尘和滴液上,形成由数个细菌组成的菌团,并以粉尘中的有机成分为生存和传播的媒介,颗粒是微生物重要的载体。

空调通风管道中沉降的颗粒与大气尘中的颗粒一致,为含有多种成分的多相颗粒,其中包括了微生物粒子^[40]。Sippola 的研究表明,在通风系统中,小于 1 μm 的颗粒基本不沉降,大于 10 μm 的颗粒能被过滤器过滤掉,故风道中颗粒的粒径为 1~10 μm ^[41]。Wu 等人采用欧拉方法和经验公式预测了 0.01~100 μm 间不同粒径颗粒在通风管道中不同表面上的沉降情况和穿透率,全面分析了常见的空调通风系统管道尺寸、流速下的颗粒穿透率^[42]。

文献^[9]根据管道积尘的粒径分布,研究了颗粒悬浮释放与粒径、气流速度、管道规格、灰尘沉积

量等的关系,并计算了在中等污染和统计平均积尘情况下,一定规格管道在 5 种典型风速下颗粒物的悬浮质量。系统中,不同的设备部件对颗粒的悬浮释放量影响差异较大,表面积尘量均为 2 g/m^2 时,通风管道和表冷器表面颗粒的悬浮量分别为小于 $10^{-7} \text{g}/\text{m}^2$,大于 $10^{-3} \text{g}/\text{m}^2$ 。

系统中悬浮生物颗粒被输送到空调房间的情况直接关系到送风质量。颗粒在气流的作用下悬浮起来后并不是直接被送出口,在每次送风过程中起始阶段只有少部分被送出,大部分又沉降下来。在通风空调管道表面颗粒的悬浮量较小,且悬浮起的颗粒又大都沉降在管道底面上,对送风质量的影响远小于表冷器表面的悬浮颗粒对送风质量的影响。

4.3 送风中颗粒浓度与微生物浓度的关系

要分析颗粒浓度与微生物浓度的关系,首先必须明确微生物颗粒的粒径分布特性。研究表明,空气细菌、真菌的粒径变化趋势较为稳定。室内细菌呈偏态分布,随着粒径的增大呈上升趋势,粒径大于 2 μm 的细菌和真菌占绝大多数,粒径大于 3.3 μm 时,细菌占总数的 57.95%^[9,27];真菌粒径呈正态分布,峰值在 2.1~3.3 μm 之间^[40]。

但即使颗粒粒径分布较为稳定,空气中浮游菌的浓度与颗粒物浓度的关系仍没有统一的相关性。不同场所颗粒物与微生物浓度的相关性差异较大,如图 7 所示。

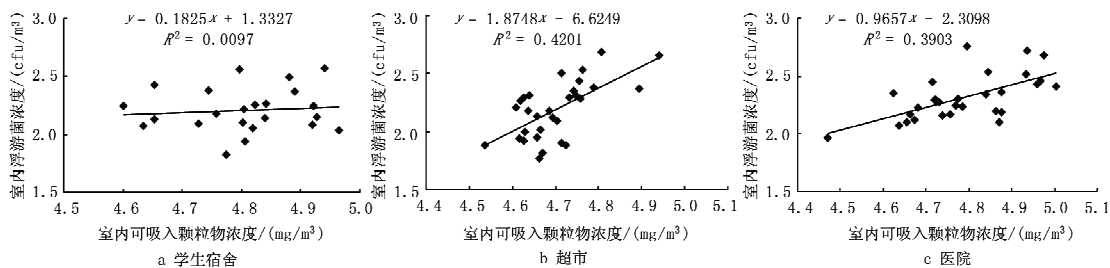


图 7 不同场所颗粒物与微生物浓度关系^[29]

每个场所中,室内微生物与颗粒物浓度不成线性关系,即使均为生物洁净室,同一含尘浓度也可能对应相差极大的浮游菌数^[40]。

从目前的研究结果看,室内微生物与室内颗粒物之间没有稳定的关系,通过测量室内颗粒物数量来确定室内微生物浓度仍需要进一步严格的理论基础。

4.4 冷却塔军团菌气溶胶化

冷却塔中气溶胶化的军团菌进入空气中后通过建筑开口和新风口等进入室内。当空气中军团菌的数量达到一定浓度时,极有可能引起相关人群感染。军团菌的感染和暴发与冷却塔中军团菌的气溶胶化程度相关。冷却水喷淋会增强军团菌的气溶胶化。

总之,目前的研究水平仍无法定量分析空调系统对室内微生物污染的影响,由于这一问题影响因素复杂,尚需要更深入的研究。

5 空调系统微生物污染控制

对于舒适性空调环境的微生物污染处理,增大新风量、加强通风稀释是最常用和有效的方法。但如果能对污染源进行恰当的控制,就无需通过增大新风量来降低污染物浓度,能既经济又有效地改善室内的环境^[39],尤其在室外大气质量较差的情况下,增加通风量会加重系统的污染^[4]。因此,控制空调系统中的微生物污染是室内微生物污染控制的一个重要方面。

5.1 空调系统污染原因

过滤器、管道、加湿器是重要的污染源,换热表面、转轮换热装置等是潜在的污染源。空调系统污染情况与其结构、功能和维护状况有关。设计、安装、维护等任一环节的不合理均会造成空调系统严重污染。

目前,系统运行维护、管理不当较为典型。空调系统长期运行,但很少进行清洗,尤其对管道等密闭性较好的部位清洗更少,表 8 给出了维护管理的调查结果^[8]。另外,清洗行业缺少有效的规范和管理,清洗技术水平和清洗效果参差不齐。

表 8 空调系统不同部位的清洁情况

	1~4 次/月	1 次/(1~3 月)	1 次/(6 月以上)
机房	47%	15%	38%
机组	64%	18%	18%
机组过滤网	79%	12%	9%
送回风口	宾馆、商场随时清洗		

5.2 空调系统污染控制手段

合理设计、安装、维护管理是控制空调系统微生物污染的有效途径,国际标准化组织公布的《建筑环境设计—室内空气品质—人居环境室内空气质量的表述方法》(ISO/DIS 16814)总结提供了一系列空调系统污染控制措施^[1],值得借鉴。这些措施主要包括:

1) 合理选择新风口位置,新风口离室外污染源应有足够的距离,以保证新风质量。

2) 正确安装、定期更换过滤器是有效减少过滤器污染的必要手段,定期加热干燥、在停止使用时尽量密封以防止吸收水分能有效地控制滤料上微生物的滋生;静电过滤器、光催化过滤器等都具有一定的抗菌性能。

3) 定期清洗和对加湿器进行消毒能有效防止微生物污染,在系统停止运行期间,应确保加湿器内干燥。

4) 应尽量避免盘管肋片上凝结水和凝水盘中凝结水的滞留,凝结水管道上应有合理的存水弯防止倒流。

5) 防止管道表面积尘,安装前要做好管道和部件的密封,安装后要做好系统的清洗,做好管道保温,防止管壁结露。有效设置管道清洗口、定期检查和清理管道均是有效控制系统微生物污染的必要手段和要求。

6) 采用生物杀灭剂进行水处理,并定期清洗收水池和换热表面,防止冷却塔军团菌的滋生。另外,冷却塔与新风口和建筑开口应有足够的距离,安装方位要正确。

6 结论

针对舒适性空调系统微生物污染问题,本文对我国公共场所的通风空调系统和设备的微生物污染现状进行了测试和调查,并分析了空调系统污染对室内空气微生物污染的影响和评价方法,得到以下结论:

1) 通风空调系统是容易滋生微生物的场所,我国公共场所的暖通空调系统管道及设备污染非常严重,82%的系统被中等污染或重度污染。微生物的生长与建筑本身和空调系统有极大的关系。不同地区、不同建筑、不同通风系统的微生物特性差异较大,对室内微生物污染进行分析和控制应根据建筑的特点和微生物特性综合考虑。

2) 空调通风系统中的颗粒物在各种力的作用下悬浮释放,微生物附着在颗粒上以气溶胶的形式进入空气中,并通过多次的沉降和悬浮被送入室内环境中,加重了室内微生物污染。空调通风系统对室内的污染程度与空调通风的各个过程有密切的关系,需要进一步的研究。

3) 通过采样培养评价空气中微生物污染程度,是目前最普遍和有效的方法,但仅能分析采样期短时间的情况,不能实时地对空气中微生物污染进行检测,且采样培养过程工作量大、周期长、误差较大。在建立了颗粒物浓度与微生物浓度关系的基础上,认为用颗粒物浓度来反映微生物污染情况是一个重要的发展方向。但两者之间的关系还欠缺严格的理论基础。

4) 已被污染的空调通风系统不仅不能通过送风稀释房间的污染物浓度,反而会加重污染的传播。对暖通空调系统管道和设备进行清洗、除污可以降低空调系统的污染程度,有效实现对污染源的控制,提高室内环境质量。

参考文献:

- [1] ISO/TC 205 ISO/DIS 16814 Building environment design—indoor air quality—methods of expressing the quality of indoor air for human occupancy[S]. Geneva, 2005
- [2] Bluysen P M, Cox C, Seppanen O, et al. Why, when, how do HVAC—systems pollute the indoor environment and what to do about it? [J]. The Environment, 2003,38(2):209-225
- [3] 祝学礼,刘颖,尚琪,等. 空调对室内环境质量与健康的影响[J]. 卫生研究,2001,30(1):62-63
- [4] Batterman S A, Burge H. HVAC systems as emission sources affecting indoor air quality;a critical review[J]. HVAC&R Research, 1995,1(1):61-78
- [5] Wu P C, Li Y Y, Chiang C M, et al. Changing microbial concentrations are associated with ventilation performance in Taiwan's air-conditioned office building[J]. Indoor Air, 2005,15 (1):19-26
- [6] Seppanen O, Fisk W J. Association of ventilation system type with SBS symptoms in office workers [J]. Indoor Air, 2002,12 (2):98-112
- [7] Seppanen O, Fisk W J. Summary of human response to ventilation[J]. Indoor Air, 2004,14(7):102-118
- [8] 戴自祝,张屹,邵开建,等. 公共场所集中空调系统卫生状况的初步调查及其思考[C]//第 251 次香山科学会议:室内空气质量和污染控制,2006
- [9] 卢振. 通风空调系统空气微生物传播与污染控制的方法[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007
- [10] 沈晋明,许钟麟. 空调系统的二次污染与细菌控制 [J]. 暖通空调,2002,32(5):30-33
- [11] 于航,徐文华. 日本空调风管清扫业及相关研究现状 [J]. 暖通空调,2003,33(4):48-50
- [12] 王金木. 集中空调系统与室内污染[J]. 中国卫生工程学,2004,3(4):252-254
- [13] 谭枫,姚雅军,杨希军,等. 辽宁省公共场所集中空调通风系统卫生调查[J]. 中国公共卫生,2004,20(7):884
- [14] 张志诚,王秀英,叶宝英,等. 公共场所集中空调通风系统污染与卫生学评价[J]. 中国公共卫生,2004,20 (6):737-738
- [15] 韩树青,薛志明,侯常春,等. 天津市大型公共场所集中空调通风系统污染调查[J]. 预防医学情报杂志, 2004,20(6):709-710
- [16] 关军. 通风空调系统中气溶胶微粒的流动特性与实验研究[D]. 长沙:湖南大学,2004
- [17] 刘燕敏,聂一新,张琳,等. 空调风系统的清洗对室内可吸入颗粒物和微生物的影响[J]. 暖通空调,2005, 35(2):133-137
- [18] 邹梅,侯军,姜敏,等. 大连市公共场所集中空调通风管道系统的污染调查[J]. 预防医学情报杂志,2005, 21(1):113-114
- [19] 蒋红卫. 商丘市公共场所集中空调通风系统污染情况调查分析[J]. 河南预防医学杂志,2005,16(4):233-234
- [20] 黄容平,郭智成,王珂. 公共场所集中空调通风系统污染状况调查与评价[J]. 中国卫生监督杂志,2005,12 (1):35-36
- [21] 戴若林. 空调系统风管中气溶胶污染及沉降特性研究 [D]. 长沙:湖南大学,2005
- [22] 斯国静,俞骅,王一泓,等. 杭州市区公共场所空调冷却水嗜肺军团菌的调查和分析[J]. 中国卫生监督杂志,2006,16(3):281-282
- [23] 仲曙光. 济宁市公共场所集中空调通风系统卫生现状及对策研究[D]. 济南:山东大学,2006
- [24] 李念平,关军,李新华,等. 建筑通风空调管道中悬浮微生物的实测与分析[J]. 湖南大学学报:自然科学版,2006,33(4):26-30
- [25] 沈红,赵霞赞,蒋兴祥. 公共场所集中空调通风系统微生物污染检测与评价[J]. 现代预防医学, 2006,33 (4):1144-1145
- [26] 常辉,刘炳涛. 石家庄市公共场所空调通风系统卫生状况调查[J]. 中华预防医学杂志,2006,40(4):252
- [27] 程刚. 室内空气微生物污染调查及采用数值模拟法控制的研究[D]. 衡阳:南华大学,2006
- [28] 邓丹心,陈小嵘,陈志平,等. 公共场所集中空调通风系统卫生现状调查[J]. 海峡预防医学杂志,2007,13, (2):71-72
- [29] 卢振,张吉礼,曹达军,等. 公共建筑集中空调系统微生物及颗粒物测试分析[J]. 暖通空调,2007,37(1): 103-107
- [30] 官洪国,苏居明,张丽,等. 潍坊市 116 家公共场所空调系统卫生检测结果分析[J]. 中国卫生工程学, 2007,6(2):100-101

(下转第 115 页)

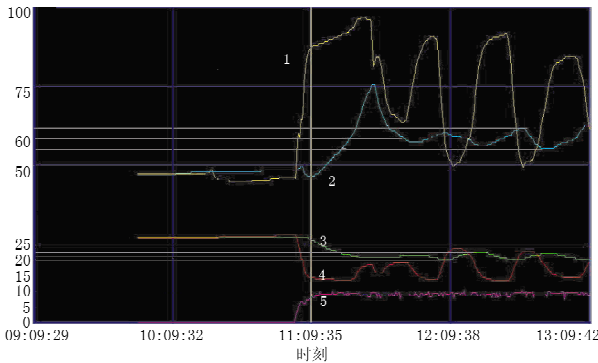


图 2 温湿度实时曲线

标分别为: 温度($^{\circ}\text{C}$), 风速(m/s), 相对湿度(%). 空调机送风量为 $50\,000\text{ m}^3/\text{h}$. 系统控制要求: 房间内温度(21 ± 2) $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $55\%\pm 10\%$.

各曲线分析如下。

曲线 4 送风温度变化的主要原因是: 房间内时而进行降温, 此时送风温度降低; 时而进行除湿, 当除湿过程将室内温度拉得很低时, 室内温度进入升温过程, 送风温度升高。故送风温度表现为时高时低。

曲线 1 送风相对湿度变化很大且不稳定, 主要是由送风温度时高时低造成的。相对湿度与温度有很大关系。当温度低时, 相对湿度大; 温度高时, 相对湿度低。系统中, 送风相对湿度并没有参与房间温湿度控制, 仅仅是一个监测值, 工程中并没有计算送风的含湿量。

曲线 2 和曲线 3 变化过程为: 当空调系统开

机时, 室内温度高于降温过程温度设定点, 首先是室内降温过程(说明模糊自适应 PI 算法起主要作用), 但随着室外空气(由于作试验当日下雨, 所以新风湿度大)的进入, 房间内的相对湿度逐渐增加。由图 2 可以看出, 当冷水阀门降温作用刚刚稳定不久, 房间内相对湿度在温度基本不变的情况下开始降低, 说明冷水阀门除湿 PID 输出就超过了冷水阀门降温算法输出, 所以冷水阀门又开始主要起到除湿作用, 当空调因除湿使得房间温度过低, 冷水阀门降温模糊自适应 PI 算法输出为零时, 热水阀门开始起作用, 对房间温度进行加热补偿。重复以上过程, 最终温度稳定在 $19.5\sim 22.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间, 相对湿度稳定在 60% 左右, 满足工艺要求。由于做工程时并没有对模糊自适应 PI 和 PI 的相关数据进行归档保留, 故此文中没有给出 PID 参数变化曲线图, 但其变化过程和互锁关系在前面已经进行说明。

4 结语

工程调试结果表明, 本文给出的空调温度和湿度的控制算法能够满足生产工艺要求, 并达到了较好的系统节能效果。

参考文献:

- [1] 刘金琨. 先进 PID 控制及其 Matlab 仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002
- [2] 王志凯, 郭宗仁, 李球. 用 PLC 实现模糊控制的两种程序设计方法[J]. 工业控制计算机, 2002, 15(2)
- [3] 张国良, 曾静, 柯熙政, 等. 模糊控制及其 matlab 应用[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002
- [4] 苏居明, 王晓倩, 高红莉. 潍坊市公共场所集中空调通风系统卫生状况调查[J]. 卫生监督监测, 2007, 6(2): 12-13
- [5] 舒国通, 陈建国. 22 家商场(超市)集中空调通风系统卫生状况调查[J]. 中国卫生监督杂志, 2007, 14(2): 87-89
- [6] 董蔚. 江苏省公共场所集中空调系统卫生现状分析[J]. 江苏卫生保健, 2004, 6(5): 24-25
- [7] 陈悦, 林海江, 袁东, 等. 上海市部分空调系统微生物污染状况的初步调查[J]. 环境与职业医学, 2004, 21(3): 214-217
- [8] 冯文如, 马林, 刘汉湘, 等. 广州市公共场所空调冷却塔水中军团菌污染状况调查[J]. 华南预防医学, 2005, 31(3): 60-61
- [9] 林一曼, 王冰, 石晓路. 深圳市部分酒店的空调系统微生物污染情况监测[J]. 中国热带医学, 2006, 6(2): 363-364
- [10] 邹梅, 万强, 薄志坚, 等. 大连市部分公共场所集中空调冷却水军团菌污染状况调查[J]. 预防医学情报杂志, 2006, 22(5): 627-628
- [11] 卫生部卫生法制与监督司. 公共场所集中空调通风系统卫生规范[S]. 北京, 2003
- [12] Wargocki P, Wyon D P, Baik Y K, et al. Perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity in an office with two different pollution loads[J]. Indoor Air, 1997, 7(3): 158-172
- [13] 车凤翔. 空气生物学原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004
- [14] Sippola M R, Nazaroff W W. Modeling particle loss in ventilation ducts[J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(39/40): 5597-5609
- [15] Wu J, Zhao B. Effect of ventilation duct as a particle filter[J]. Building and Environment, 2007, 42(7): 2523-2529

(上接第 56 页)