

上海市轨道交通地下车站集中空调通风系统的卫生状况

曾雪娇¹, 杜喜浩¹, 张佳¹, 蒋蓉芳¹, 赵金镯¹, 王晓东², 杨军³, 宋伟民¹

摘要:

[目的] 了解不同时期启用的上海市轨道交通地下车站集中空调通风系统(集通系统)卫生状况,为相关部门的卫生管理提供科学依据。

[方法] 按照WS 394—2012《公共场所集中空调通风系统卫生规范》的要求,在2017年7—9月期间,采取现场调查和实地检测的方法对上海市9条地铁线路(12个地下车站)的24套集通系统(启用年代为2000年以前、2000—2010年和2011—2017年的系统分别为8、7、9套)进行送风中微生物和可吸入颗粒物、风管内表面积尘量和微生物、冷却水和冷凝水中嗜肺军团菌等卫生学评价。

[结果] 24套集通系统送风中:可吸入颗粒物、细菌总数、真菌总数合格率分别为96.9%、65.9%、65.2%;新风量合格率仅为10%;风管内表面积尘量、细菌总数、真菌总数的合格率为84.8%、100.0%、100.0%;冷凝水和冷却水中嗜肺军团菌的合格率分别为100.0%和95.8%。2000年前启用的集通系统的送风中可吸入颗粒物、细菌总数和真菌总数合格率分别为95.0%、60.3%、75.0%;2000—2010年间启用的集通系统前述指标的合格率分别为100.0%、83.3%、83.3%;而2011—2017年间启用的集通系统前述指标的合格率分别为96.3%、57.4%、42.6%。

[结论] 2000—2010年间启用的集通系统的送风中可吸入颗粒物及微生物合格率较高,卫生质量最好,而2011—2017年间启用者卫生质量相对较差。上海市轨道交通地下车站集通系统应加强卫生管理,重视新风量严重不足的问题。

关键词: 地下车站;集中空调;通风系统;卫生学评价;新风量

引用: 曾雪娇,杜喜浩,张佳,等.上海市轨道交通地下车站集中空调通风系统的卫生状况[J].环境与职业医学,2018,35(4):286-290. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2018.17572

Sanitary levels of central air conditioning and ventilation systems in underground stations of Shanghai rail transit ZENG Xue-jiao¹, DU Xi-hao¹, ZHANG Jia¹, JIANG Rong-fang¹, ZHAO Jin-zhuo¹, WANG Xiao-dong², YANG Jun³, SONG Wei-min¹ (1.Department of Environmental Health, School of Public Health, Fudan University, Shanghai 200032, China; 2.Department of Public Places, Institute of Supervision, Shanghai Municipal Commission of Health and Family Planning, Shanghai 200031, China; 3.General Manager's Office, Anhe Environmental Test Technology Co., Ltd, Shanghai 201613, China). Address correspondence to SONG Wei-min, E-mail: wmsong@shmu.edu.cn · The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract:

[Objective] To investigate the sanitary conditions of central air conditioning and ventilation systems (CCVS) launched in different timeslots in underground railway stations in Shanghai, and provide scientific evidence for public health management.

[Methods] A total of 24 CCVS (8 sets launched before 2000, 7 sets between 2000 and 2010, and 9 sets between 2011 and 2017) in 12 underground stations of 9 subway lines in Shanghai were evaluated by field investigation and on-site test from July to September 2017 according to the *Hygienic specification of central air conditioning ventilation system in public buildings* (WS 394-2012). Sanitary evaluations included microorganisms and respirable particulate matters in air supply, microorganisms and dust load on the inner surface of air ducts, and *Legionella pneumophila* in samples of cooling water and condensate water.

[Results] The qualified rates of respirable particulate matters, total bacteria, and total fungi in air supply of the 24 sets of CCVS were 96.9%, 65.9%, and 65.2%, respectively. The qualified rate in fresh air was 10% only. The qualified rates of dust load, total

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

[作者简介] 曾雪娇(1991—),女,硕士生;研究方向:环境毒理学;E-mail: xjfdzeng@163.com

[通信作者] 宋伟民, E-mail: wmsong@shmu.edu.cn

[作者单位] 1.复旦大学公共卫生学院环境卫生学教研室,上海 200032; 2.上海市卫生和计划生育委员会监督所公共场所科,上海 200031; 3.安和环境检测技术有限公司总经理办公室,上海 201613

bacteria, and total fungi on the surface of air ducts were 84.8%, 100.0%, and 100.0%, respectively. The qualified rate of *Legionella pneumophila* was 100.0% in condensed water and 95.8% in cooling water, respectively. The qualified rates of respirable particulate matters, total bacteria, and total fungi in air supply of CCVS activated before 2000 were 95.0%, 60.3%, and 75.0%, respectively; the qualified rates for CCVS activated between 2000 and 2010 were 100.0%, 83.3%, and 83.3%, respectively; the qualified rates for CCVS activated between 2011 and 2017 were 96.3%, 57.4%, and 42.6%, respectively.

[Conclusion] Better sanitary quality is found for the CCVS launched between 2000 and 2010, with higher qualified rates of microorganisms and respirable particulate matters in air supply, while relatively poor sanitary quality is found for the CCVS launched between 2010 and 2017. Strengthened management is required for the CCVS in Shanghai underground stations, especially on the woeful shortage of fresh air.

Keywords: underground station; central air conditioning; ventilation system; sanitary evaluation; fresh air

Citation: ZENG Xue-jiao, DU Xi-hao, ZHANG Jia, et al. Sanitary levels of central air conditioning and ventilation systems in underground stations of Shanghai rail transit[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2018, 35(4): 286-290. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2018.17572

集中空调通风系统(简称“集通系统”)是指对空气进行集中处理、输送、分配的所有设备、管道及附件、仪器仪表的总和^[1],该系统能够有效改善室内的温湿度及空气质量。集通系统是轨道交通地下车站室内空气传播性疾病的主要污染源之一^[2]。20世纪90年代,西方国家进行的一项大规模卫生调查显示,约42%~50%的室内空气污染来自集通系统^[3]。中国疾病预防控制中心对2006—2013年间3500余家公共场所的集通系统的卫生指标状况进行的Meta分析结果表明,近年来集通系统卫生指标的合格率大多数呈上升趋势,但整体合格率仍然较低,其中上海集通系统综合卫生指标合格率为81.8%^[4]。

在城市化进程日益加剧的背景下,城市轨道交通被认为是现代化城市公共交通中最高效便捷的运输工具。地铁地下车站作为特殊公共场所,具有空间密闭、日照不足、自然通风不畅、环境污染物稀释缓慢等特点,室内的通风换气均需要集通系统来调节,这就可能会对地铁工作人员及以地铁为主要出行工具人群的身心健康产生不良影响。上海市轨道交通处于不断建设的状态,但现有卫生调查均未涉及不同年代集通系统卫生质量的比较。本研究旨在初步探索不同年代建成的上海市轨道交通地下车站集通系统卫生质量有无差异,比较不同时期空调设备的质量及发现不同时期建设的地下车站可能存在的问题,从而为相关部门的卫生管理和决策提供科学依据。

1 对象与方法

1.1 调查对象

截至2016年12月,上海市共开通14条地铁线路。综合考虑上海市轨道交通不同线路、车站的建成年代

及换乘数量,最终选取出9条地铁线路(1、2、7、8、9、10、11、12、13号线)的12个地下车站的站台和站厅公共区域的24套集通系统进行卫生指标检测及卫生学评价。调查时间2017年7—9月。

1.2 方法

1.2.1 现场卫生学调查 对集通系统管理人员进行问卷调查,主要内容包括新风口是否设置防护网和初效过滤器、新风口下缘距地坪的距离、新风口周边绿化情况及是否有工业、公共区域温度设计参数、新风量设计参数、布局和空调机组的运行管理情况,并在现场进行勘测和拍照记录。

1.2.2 监测点布设原则 根据WS 394—2012《公共场所集中空调通风系统卫生规范》(简称“《规范》”)的要求,对于相同类型的系统抽样比例为5%,不同类型的系统则每类至少抽1套,每套系统中新风的进风管布点不少于1个部位,每套系统抽取3个送风口,主风管中(如回风管、送风管、新风管)选择3~5个代表性断面。

1.2.3 检测指标 根据《规范》要求,检测指标包括集通系统站台和站厅的新风量,送风口的可吸入颗粒物、细菌总数、真菌总数,风管内表面积尘量、细菌总数、真菌总数,及集通系统中冷凝水、冷却水的嗜肺军团菌等卫生指标。

1.2.4 采样与检测方法 根据《规范》进行检测,其中服务区人数以地铁运营中心提供的客流数据为准,按照《规范》“A.6.2”标准测定新风量。在轨道交通地下车站集通系统正常运行且非地铁运营高峰时段,对各个卫生指标进行采样和检测。

1.2.5 评价标准 依据《规范》进行评价。集通系统的新风量标准为 $\geq 20 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{人})$,夏季室内温度在

26~28℃之间,送风中可吸入颗粒物 $\leq 0.15\text{ mg/m}^3$,送风中细菌总数、真菌总数 $\leq 500\text{ CFU/m}^3$,风管内表面积尘量 $\leq 20\text{ g/m}^2$,风管内表面细菌总数、真菌总数均 $\leq 100\text{ CFU/cm}^2$,冷凝水、冷却水中不得检出嗜肺军团菌。

1.3 统计学分析

采用Excel 2010进行数据录入,用SPSS 19.0进行数据分析。多组样本间的均值比较用单因素方差分析或Kruskal-Wallis检验,率的比较用卡方检验。检验水

准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 基本情况

研究选取9条地铁线路的12个地下车站,共24套集通系统进行卫生学评价。其中,2000年前、2000—2010年间、2011—2017年间启用的集通系统分别为8、7、9套。见表1。

表1 被调查的集中空调通风系统所在站点分布情况

Table 1 Distribution of investigated central air conditioning and ventilation systems

启用年份(Start year)	线路(Line)	站点(Station)	套数(n)
2000前(Before 2000)	1	徐家汇站(Xujiahui Stop)、陕西南路站(South Shaanxi Road Stop)、人民广场站(People's Square Stop)、常熟路站(Changshu Road Stop)、衡山路站(Hengshan Road Stop)、漕宝路站(Caobao Road Stop)、汉中路站(Hanzhong Road Stop)	8
	2	人民广场站(People's Square Stop)	
2000—2010	1	新闸路站(Xinzha Road Stop)	7
	7	常熟路站(Changshu Road Stop)	
	8	人民广场站(People's Square Stop)	
	9	徐家汇站(Xujiahui Stop)、马当路站(Madang Road Stop)、打浦桥站(Dapuchiao Stop)	
	10	陕西南路站(South Shaanxi Road Stop)	
2011—2017	9	嘉善路站(Jiashan Road Stop)	9
	11	徐家汇站(Xujiahui Stop)	
	12	陕西南路站(South Shaanxi Road Stop)、嘉善路站(Jiashan Road Stop)、漕宝路站(Caobao Road Stop)、虹漕路站(Hongcao Road Stop)、汉中路站(Hanzhong Road Stop)	
	13	马当路站(Madang Road Stop)、汉中路站(Hanzhong Road Stop)	

2.2 调查结果

问卷和现场勘测记录显示:24套集通系统中,有3个新风口未设置防护网和初效过滤器(占12.5%);7个新风口的周边无任何绿化(占29.2%);4个新风口周边有扬尘企业(占16.7%);新风口下缘与地坪距离符合集通系统要求的有18个,合格率为66.7%;公共区域温度设计参数和新风量设计参数均参照空调机组铭牌,空调机型全为组合式空调机组,空调集通系统机组多为对称式布局,均配备有专职人员负责管理空调设施的运行。

2.3 集通系统送风中微生物指标监测结果

集通系统送风口的细菌总数合格率为65.9%,检出范围为57~3039CFU/m³,超标最高值达标准的6倍;真菌总数合格率为65.2%,检出范围为0~3081CFU/m³,超标最高值达标准的6倍。2000年前、2000—2010年和2011—2017年启用的集通系统的细菌总数合格率分别为60.3%、83.3%和57.4%,差异有统计学意义($\chi^2=8.06$, $P=0.02$);真菌总数合格率分别为75.0%、83.3%和42.6%,差异有统计学意义($\chi^2=20.3$, $P<0.001$)。2000—2010年启用的集通系统的细菌总数合格率高于另两个时间段($P<0.05$),2011—2017年启用者真

菌总数合格率低于另两个时间段($P<0.05$)。见表2。

表2 上海市轨道交通地下车站集通系统送风中的微生物指标

Table 2 Microorganism indices in air supply of central air conditioning and ventilation systems

项目 Item	启用年份 Start year	风口数量 Number of air vent exits	范围 Range (CFU/m ³)	$\bar{x} \pm s$ (CFU/m ³)	合格项次 Qualified number	合格率 (%) Qualified rate
细菌总数 Total number of bacteria	2000前 Before 2000	48	92~3039	650 ± 672	29	60.3
	2000—2010	42	78~2481	352 ± 373 ^a	35	83.3 ^a
	2011—2017	54	57~2473	649 ± 643 ^b	31	57.4 ^b
	合计(Total)	144	57~3039	562 ± 600	95	65.9
真菌总数 Total number of fungi	2000前 Before 2000	48	78~3081	427 ± 536	36	75.0
	2000—2010	42	71~707	276 ± 166	35	83.3
	2011—2017	54	0~3004	688 ± 610 ^{ab}	23	42.6 ^{ab}
	合计(Total)	144	0~3081	480 ± 518	94	65.2

[注]a:与2000年前启用者比较, $P<0.05$;b:与2000—2010年启用者比较, $P<0.05$ 。

[Note]a: Compared with the group launched before 2000, $P<0.05$; b: Compared with the group launched between 2000—2010, $P<0.05$.

2.4 新风量监测结果

实际检测了20套集通系统的新风量,仅2套符合要求(合格率10.0%)。其余4套系统(1号线陕西南路

站和常熟路站、7号线常熟路站和9号线打浦桥站)未能检测的原因是:所属地铁线路修建年代较久远,未采取区间隧道通风方式,而是利用车站隧道活塞风道通风,隧道过深、过长且横截面积大,利用手持式风速仪无法有效测定新风平均风速。

2.5 送风中可吸入颗粒物含量检测结果

集通系统送风口的可吸入颗粒物合格率为96.9%,检出范围为0.022~0.188 mg/m³,超标最高值为标准的1.2倍。2000年前、2000—2010年和2011—2017年启用的集通系统可吸入颗粒物合格率分别为95.0%、100.0%和96.3%,差异有统计学意义($\chi^2=10.06$, $P=0.01$)。2000—2010年启用的集通系统可吸入颗粒物合格率高于另两个时间段($P<0.05$),可吸入颗粒物水平低于另两个时间段($P<0.05$)。见表3。

表3 上海市轨道交通地下车站集通系统送风中的可吸入颗粒物含量

Table 3 Respirable particulate matters in air supply of central air conditioning and ventilation systems

启用年份 Start year	监测频次 Test frequency	范围(mg/m ³) Range	均值(mg/m ³) Mean	合格项次 Qualified number	合格率(%) Qualified rate
2000前 Before 2000	240	0.040~0.188	0.09 ± 0.290	228	95.0
2000—2010	210	0.022~0.126	0.05 ± 0.018 ^a	210	100.0 ^a
2011—2017	270	0.037~0.166	0.09 ± 0.038 ^b	260	96.3 ^b
合计(Total)	720	0.022~0.188	0.08 ± 0.350	698	96.9

[注] a: 与2000年前启用者比较, $P<0.05$; b: 与2000—2010年启用者比较, $P<0.05$ 。

[Note] a: Compared with the group launched before 2000, $P<0.05$; b: Compared with the group launched between 2000—2010, $P<0.05$.

2.6 风管内表面卫生指标

本次调查共采集风管积尘量33份,合格率为84.8%(28份);采集风管内表面用于细菌总数和真菌总数检测的积尘样品各33份,合格率均为100.0%。

2.7 冷却水、冷凝水中嗜肺军团菌指标

抽检冷却水和冷凝水各24份,合格率分别为95.8%(23份)和100.0%。仅2000年以前启用的集通系统中检测出冷却水嗜肺军团菌1项,合格率为87.5%,其余冷却水和冷凝水均未检出嗜肺军团菌,冷却水和冷凝水中嗜肺军团菌合格率差异无统计学意义($P>0.05$)。

3 讨论

截至2016年12月,我国已有28座城市开通了

地铁,其中上海地铁通车里程已达617公里、14条线路,车站数量为366座,居于全国首位,其日均客流量达1 083.3万人次、设备现代化及功能完善程度亦居前列^[5]。根据集通系统的工作原理,新风或回风都必须经过管道流通。如果风口或管道受到微生物污染,可能引起的呼吸系统疾病的大流行^[6]。研究表明,集通系统污染曾引起空气传播疾病的爆发^[7],人口密集、流动性大的城市问题尤为突出。

本次调查结果显示,被调查的24套集通系统,所有检测项目均合格的仅有1套,提示上海市轨道交通地下车站整体卫生状况存在较多问题。送风系统的可吸入颗粒物、风管内表面的微生物以及冷却水和冷凝水中的嗜肺军团菌合格率均较高,其余调查指标的合格率在10.0%~84.8%之间,尤其是新风量合格率极低。

本次调查比较了不同时期启用的集通系统卫生质量。就送风中微生物而言,2000—2010年间启用的集通系统卫生质量最好,相比于2000年前启用者,其设备设施配套更先进,设计更合理,利用新风管直接吸取新风,使新风质量更好。此外,2011—2017年间启用的集通系统卫生质量相对较差,可能原因是该系统启用时间较短,经营者为了节约高昂的清洗消毒和空调维护成本,可能存在不清洗、降低清洗频率或不规范清洗的情况。研究表明,集通系统能够通过初、中效过滤器有效降低室内可吸入颗粒物浓度^[8]。巴塞罗那地下车站通风与空气质量的研究表明,隧道通风可以有效降低站台空气可吸入颗粒物的浓度^[9]。2000年前启用的集通系统可吸入颗粒物合格率低于2000年后启用者,其原因可能是该空调机组的启用时间较长,即使有定期维修与保养,硬件仍存在老化现象。24套集通系统均在半年内进行过清洗,风管内表面积尘微生物检测均合格,但积尘量合格率为84.8%。后者可能是由于部分集通系统清洗的时间相对较长,新风中的积尘沉降在风管内表面所致。建议相关卫生部门继续进一步做好集通系统监管工作,地铁经营者提高规范管理水平,准确地发现存在的问题,及时采取相应的治理措施。

本次调查发现上海市轨道交通地下车站集通系统最严重的问题是新风量不足(合格率仅10%)。新风量不足会导致人群出现头痛、胸闷、易疲劳的症状,严重者还会引发呼吸系统和神经系统等疾病^[10]。王芳等^[11]报道广州市轨道交通的集通系统新风量合格

率为100%;李丽等^[12]报道上海某轨道交通集通系统新风量合格率为66.6%,均高于本次调查结果。新风管断面面积较小、风速较低及服务区人流量较大是造成新风量不足的主要原因。根据空调机组铭牌上的额定风量计算可承载客流量时发现,部分车站高峰时期的实际客流量较预测客流量大,现有硬件难以满足大客流情况下的新风量要求。另外,调查时发现少数的空调系统处于部分关闭状态(可能是运营公司为了节约运营成本),这会进一步降低新风的平均流速,减少新风比例。因此,建议在采购及运营集通系统时能够考虑到客流量的增长情况并加强其工作状态的监测,从源头上解决新风量不足的问题。

综上所述,上海市轨道交通地下车站集通系统卫生状况存在一定的隐患,集通系统的送风质量整体较好但新风量合格率低,风管内表面积尘及微生物污染程度轻,冷却水和冷凝水中嗜肺军团菌检出率低,2000—2010年间启用设备的集通系统卫生质量较2000年前和2010—2017年的好。相关卫生部门应加强对集通系统卫生状况的监督管理,充分考虑人群的密集度和流动性,加大新风量的输送。各地铁运营公司应加强新启用的地下车站风管内表面的清洗。此外,地铁运营公司采购部相关人员应经常对已经采购的集通设备的使用状态进行跟踪并做好相关的评估记录,以便在需要进行集通系统设备采购时有针对性地选择所需设备。

参考文献

- [1] 杨姣兰, 金鑫, 韩旭, 等. 公共场所集中空调通风系统卫生学评价的要点分析[J]. 中国卫生工程学, 2009, 8(6): 321-323, 327.
- [2] 郭爱萍, 王勇, 祝秀英, 等. 上海市南汇地区集中空调通风系统卫生状况及监管对策[J]. 中国卫生监督杂志, 2010, 17(3): 270-274.
- [3] 宋华. 我国公共场所集中空调通风系统卫生监管研究[J]. 上海预防医学, 2013, 25(5): 267-268, 276.
- [4] 金鑫, 韩旭, 朱文玲, 等. 我国公共场所集中空调通风系统卫生状况 Meta 分析的初步探讨[J]. 环境卫生学杂志, 2014, 4(6): 538-543.
- [5] 山川网. 全面进入省会经济新格局下的中国, 透过各省会地铁规划, 看未来十年中国城市格局变化[EB/OL]. (2017-07-25)[2017-09-11]. <https://www.douban.com/note/630429136/?from=tag>.
- [6] 沈红, 赵霞赟, 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(7): 1144-1145.
- [7] 汪妍, 王金敖, 李延平. 江苏省公共场所集中空调通风系统卫生状况及监管对策研究[J]. 中国卫生监督杂志, 2011, 18(3): 261-265.
- [8] 翁定孟, 邹刚, 都俊祥, 等. 集中空调通风系统对公共场所室内PM₁₀浓度的影响分析[J]. 环境卫生学杂志, 2017, 7(3): 239-242.
- [9] MORENO T, RECHE C, MINGUILLÓN MC, et al. The effect of ventilation protocols on airborne particulate matter in subway systems[J]. Sci Total Environ, 2017(584/585): 1317-1323.
- [10] 陈会祥, 黄德寅, 王卉, 等. 某制药企业洁净厂房新风量及工人不适主诉调查[J]. 职业卫生与应急救援, 2017, 35(3): 206-208, 218.
- [11] 王芳, 于莹莹, 王育珩, 等. 地铁车站公共场所集中空调通风系统卫生现状研究[J]. 铁路节能环保与安全卫生, 2013, 3(4): 195-198.
- [12] 李丽. 上海市轨道交通系统空气质量调查及其影响因素研究[D]. 上海: 复旦大学, 2011.

(收稿日期: 2017-09-11; 录用日期: 2018-01-09)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 陶黎纳; 校对: 王晓宇)