

# The Analysis of Microbial Contamination in the Air Handling Unit of a Stadium in Dalian Winter

Boyuan Wang<sup>1</sup>, Yang Lv<sup>1\*</sup>, Guangyao Hu<sup>1</sup>, Bailin Fu<sup>1</sup>, Jiaoqi Gao<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian

<sup>2</sup>School of Life Science and Technology, Dalian University of Technology, Dalian

Email: \*[lvyang@dlut.edu.cn](mailto:lvyang@dlut.edu.cn)

Received: Feb. 10<sup>th</sup>, 2014; revised: Mar. 10<sup>th</sup>, 2014; accepted: Mar. 17<sup>th</sup>, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

This study measured the airborne microbes in the air conditioning equipment units for centralized air ventilation system as well as the dust associated microbes in a stadium in Dalian, and tested the environmental factors (temperature, humidity). Through collecting cotton test, microorganism cultivation and the colony statistics, we analyzed the status of microbial contamination in two groups of air conditioning units with different operating conditions. The points that the results showed are as follows: 1) The fungi and bacteria are widespread in the ac filter surface; 2) The number of microorganism on edges and against the wall is more than that in ac filter center; 3) The bacteria distribution density in measuring points is more than fungi and reflects a higher concentration; 4) The lay-off unit in low air velocity and high humidity has more microorganism; 5) The area of dust associated microbial pollution is serious.

## Keywords

Air Conditioning System, Microbial Pollution, Particle Contaminant, Control of Pollution Source

---

# 冬季大连市某体育馆空气处理机组微生物污染状况分析

---

\*通讯作者。

王博渊<sup>1</sup>, 吕 阳<sup>1\*</sup>, 胡光耀<sup>1</sup>, 付柏林<sup>1</sup>, 高教琪<sup>2</sup>

<sup>1</sup>大连理工大学建设工程学部土木工程学院, 大连

<sup>2</sup>大连理工大学生命科学与技术学院, 大连

Email: [lvyang@dlut.edu.cn](mailto:lvyang@dlut.edu.cn)

收稿日期: 2014年2月10日; 修回日期: 2014年3月10日; 录用日期: 2014年3月17日

## 摘 要

本研究对大连市某体育馆集中通风空调机组设备空气微生物及积尘伴生微生物进行实测, 并测试环境因子(温度、湿度)。通过棉拭法采集、微生物培养和菌落统计对不同运行工况的两组空调机组微生物污染状况进行分析。研究表明, 真菌和细菌普遍存在于空调过滤网表面; 边角和靠墙端微生物分布大于空调过滤网中心处; 各测点细菌分布密度均比真菌大且集中度高; 处于低风速且高湿度的停工机组的微生物含量较大; 地面积尘伴生微生物污染状况严重。

## 关键词

空调系统, 微生物污染, 颗粒污染物, 污染源控制

## 1. 引言

近年来, 由通风空调引起的室内空气污染受到全世界广泛关注。在我国, 随着社会经济的快速发展, 集中空调通风系统在越来越多的城市公共场所得普及应用。然而不少企业为节省开支, 尽可能减少新风量, 不定期清洗消毒, 使建筑物的密封程度不断提升, 各种生物性污染物更容易迅速地在室内空气中扩散, 极易引发呼吸道传染病的发生和流行, 导致集中空调通风系统成为传播、扩散污染物的又一主要媒介。通风空调系统中有许多设备是微生物滋生的场所。空调系统的冷却塔滋生军团菌, 这已是被很多研究证明的事实[1]-[6]; 军团菌可以引起呼吸系统疾病也叫军团病, 死亡率达 20%以上, 据估计每年有超过 4000 人死于军团病。非典期间, 香港淘大花园 SARS 暴发流行事件是通过送风管道系统传播的典型事例[7]。关于空调系统的卫生状况, 中国建筑科学研究院与中国疾病预防控制中心对全国 30 个省、市、自治区的公共场所集中空调通风系统进行监督检查, 结果发现 90% 以上集中空调达不到国家的相关卫生标准。这些卫生不达标的空调系统由于内部长期得不到及时充分的清洗, 里面积存的尘埃和不断繁殖的微生物数量大大超标, 严重地威胁着人们的健康[8]-[10]。因此, 集中空调通风系统的卫生问题备受关注, 公共场所通风空调系统微生物污染成为人们关注的焦点。

本研究选取大连市某体育馆集中通风空调机组设备的冬季工况, 对集中通风空调机组设备的环境因子、空气微生物及积尘伴生微生物进行实测, 科学分析统计结果, 为把握空调机组微生物污染状况及控制技术进行研究进行基础数据整备。

## 2. 实测内容

### 2.1. 实测对象

实测对象大连某体育馆占地面积 36,400 平方米, 建筑面积 17,320 平方米。建筑地上部分综合游泳馆、球类训练馆、器械健身馆等活动场所和医务室、休息室等功能用房, 其中中心体育馆棚高 19 米, 占地面

积最大；地下 1 层，包括乒乓球馆、台球馆和空调设备机房和库区。整个建筑由中央空调机房集中控制，其中空气处理机组设备有两组：地上 A 组应用于冬季供热工况，地下 B 组应用于夏季制冷工况，实测期间处于关闭状态，两机组产品相同，具体参数见表 1。笔者对两机组的空气微生物和积尘伴生微生物进行了现场实测，将结果对比分析。

## 2.2. 材料与设备

### 2.2.1. 实测设备

本研究应用的实测设备包括洁净试管、医用纱布、医用手套、TR-72Ui 温湿度计；分析设备包括垂直层流洁净工作台、微生物培养皿、微生物培养箱、酒精灯、移液枪。

### 2.2.2. 分析材料

牛肉膏蛋白胨培养基、查氏培养基、蒸馏水。其中查氏培养基不提供细菌生长及繁殖条件，可由此分离真菌；牛肉膏蛋白胨培养基也称营养琼脂，一般用于培养细菌。故真菌培养情况及菌落个数以查氏培养基样本为主，将牛肉膏蛋白胨琼脂培养基样本作为参考，细菌情况以后者作为数据来源。

## 2.3. 实测方案

本次实测分为实地采样和样本培养两个部分，具体方案如下。

### 2.3.1. 实地采样

按照《公共场所集中空调通风系统卫生规范》，采用棉拭法分别对 A、B 空气处理机组的过滤网表面和地面积尘进行采样。每一组均用无菌无纺布(100 mm × 100 mm)采集 10 cm × 10 cm 区域 4 处，分别为机组内过滤网的下边角、中央、右侧靠墙端和地面积尘。实测部分保证试管洁净，且空气中的微生物不会进入原液引起结果误差，最后将采集好的原液标号、按序摆放并保存，以进行原液培养。

另外，将温湿度仪放在空气处理机组中，在采样的同时待其稳定后每隔两分钟读取一次示数并记录。

### 2.3.2. 样本培养

分析仪器经消毒放入垂直层流洁净工作台，培养过程保证无菌洁净。将前期配置好的两种培养基加热后分别等量均匀地倒入 4 个培养皿中并静置使其凝固。采用涂布法依次将分离菌悬液加到已凝固的培养基平板上，再用涂布棒快速地将其均匀涂布，若浓度过高则将原液稀释后再进行提取。最后编号并放入微生物培养箱，注意培养皿倒置培养。

**Table 1. The parameters of air handling units**  
**表 1. 空气处理机组参数**

项目	参数
机组型号	GH-4200
风机全压 Pa	1350
额定风量 m <sup>3</sup> /h	42000
电流 A/电压 V	56.8/300
出厂编号	020749
额定热量 kw	310
电机功率 kw	30.0
机组重量 kg	3520

### 3. 实测结果

#### 3.1. 空气处理机组环境因子

经实地测量(2013年12月), A、B空气处理机组的温室和湿度数据如表2所示。

对空气处理机组的环境因子测量将为后续微生物污染状况的分析提供帮助, 由表2可知, 地上A组处于高温低湿的制热工况, 地下B组在冬季长期处于相对低温高湿的停工状态, 温度和外界气温近似相等。

#### 3.2. 微生物培养情况及菌落计数

##### 3.2.1. 真菌

以 MEDIUM-BEP 和 MEDIUM-CAS 分别代表牛肉膏蛋白胨琼脂培养基样本和查氏培养基样本, 用编号 1(边角)、2(中央)、3(靠墙端)分别标记空气处理机组过滤网表面采集区域样本, 编号 DUST 标记地面积尘, 图1为真菌菌落样本实例。经过统计, 各测点真菌菌落形成密度(cfu/ml)如表3所示。

经过换算, A、B两组真菌分布密度情况见表4和图2。

##### 3.2.2. 细菌

通过 MEDIUM-BEP 培养基对采集样本的细菌菌落形成密度进行统计, 图3为细菌菌落样本实例。

**Table 2. Temperature and humidity of air handling units**  
**表 2. 空气处理机组温湿度**

工况	A 组	B 组
	供热	关闭
温度(°C)	37.1	3.6
相对湿度(%)	21.6	43.0



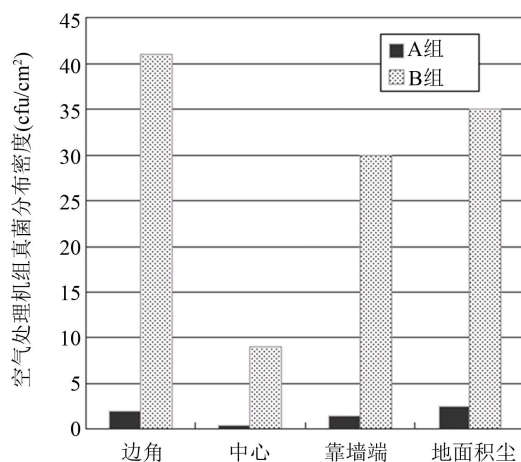
**Figure 1. Examples of fungal colonies sample**  
**图 1. 真菌菌落样本实例**

**Table 3. The forming density of fungal colony collected samples (cfu/ml)**  
**表 3. 采集样本真菌菌落形成密度(cfu/ml)**

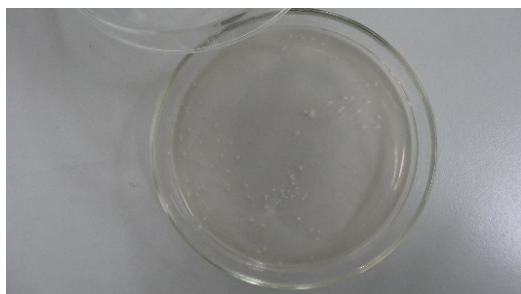
测点	A 组	B 组
1	20.0	410.0
2	5.0	90.0
3	15.0	300.0
DUST	25.0	350.0

**Table 4.** Fungal distribution density of the air handling units (cfu/cm<sup>2</sup>)  
**表 4.** 空气处理机组真菌分布密度(cfu/cm<sup>2</sup>)

测点	A 组	B 组
边角	2.0	41.0
中心	0.5	9.0
靠墙端	1.5	30.0
地面积尘	2.5	35.0



**Figure 2.** Fungal distribution density of the air handling units (cfu/cm<sup>2</sup>)  
**图 2.** 空气处理机组真菌分布密度(cfu/cm<sup>2</sup>)



**Figure 3.** Examples of bacterial colonies sample  
**图 3.** 细菌菌落样本实例

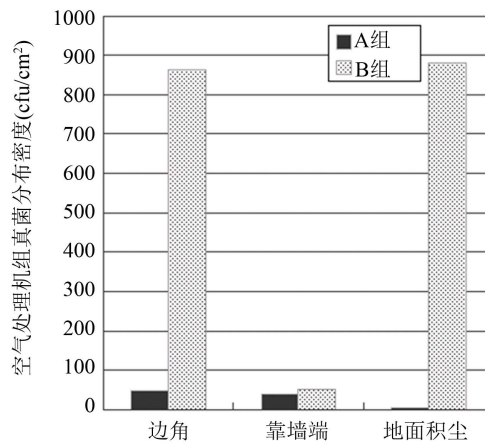
经过换算，A、B 两组细菌分布密度情况见表 5 和图 4。

#### 4. 分析与讨论

就中央空调集中通风系统对室内环境造成微生物污染问题，国内外学者曾对室内外微生物气溶胶开展了不少的理论分析和数值模拟研究，进行了一系列实测和调研且在既有技术的支持下提出了相应的微生物污染控制策略[11]-[20]，而对系统内部的微生物特性分布、地面积尘微生物污染影响及停工机组内微生物滋生繁殖状况等方面的关注较少。结合本次实测结果，笔者对该体育馆空气处理机组的微生物污染状况进行分析，并对夏季制冷机组的投入使用所带来的污染问题作出预测。

**Table 5. Bacteria distribution density of the air handling units (cfu/cm<sup>2</sup>)**  
**表 5. 空气处理机组细菌分布密度(cfu/cm<sup>2</sup>)**

测点	A 组	B 组
边角	48.0	864.0
中心	-	-
靠墙端	41.0	51.5
地面积尘	4.0	880.0



**Figure 4. Bacteria distribution density of the air handling units (cfu/cm<sup>2</sup>)**  
**图 4. 空气处理机组细菌分布密度(cfu/cm<sup>2</sup>)**

#### 4.1. 真菌

1) 从单组各测点的纵向结果分析可见, 空气处理机组的过滤网表面普遍存在真菌分布, 分布密度规律均符合边角 > 靠墙端 > 中心; 特别地, 对于处于冬季停工状态的 B 机组, 各测点密度差较大, 过滤网的边角和靠墙端真菌繁殖情况更加严重。据此推测, 若空调机组长期不参与运行, 则过滤网表面将会繁殖大量真菌, 投入运行前的清理和消毒工作倘若不够彻底, 将会使这些真菌伴随风吹入室内, 对室内环境造成一定程度的污染。

2) A 机组和 B 机组间的横向对比表明: 后者在各测点的真菌分布密度均大于前者, 结合测得的机组环境因子, 高湿度低空气流速的环境更适宜真菌生长。另一方面, A 机组在冬季处供热工况, 机组内的真菌一部分在风压作用下通入室内, 另一部分在过滤网表面继续滋生繁殖, 故不可通过纯粹的机械通风法彻底消除中央空调系统中的真菌, 从污染源头处理并定期实施微生物污染防范措施不可或缺。

3) 相对过滤网而言, 空气处理机组中地面积尘中的真菌含量更多。在现场实测过程中, 机组由于维修带来的地面杂物、积尘随处可见; 另外, 机组内部空前狭窄, 照明度低, 地下管道交杂, 根据场内技术人员描述, 工作人员进入机组内部将很容易踩踏甚至损坏地下管道, 这导致机组内的消毒清理工作很少进行, 从而被人们忽略, 而地面积尘这部分造成的微生物污染却非常突出。

#### 4.2. 细菌

1) 细菌较真菌分布情况体现出数量多, 集中度高, 随采集区域不同分布密度差别大等总体特性。

2) 空气处理机组中过滤网表面的边角和靠墙端的细菌分布尤其密集。经对比, B 机组细菌含量更多, 分布更加集中。B 机组数据表明, 相对真菌而言, 细菌随测点不同密度差值更大, 且过滤网边角处细菌最多, 进而推测细菌在低风速高湿度环境下繁殖更趋向集中, 即便在冬季较低的气温下仍然有很好的繁殖状态; 另一方面, B 组应用于该体育馆五月后的制冷工况, 在无风压和其他外界扰动影响的春冬季, 内部细菌将保持旺盛的繁殖状态, 如果在投入使用前不加以防治, 将随通风排入室内并对室内环境造成严重污染, 危及人类健康。

3) 地面积尘测点结果中, A 机组细菌分布密度为  $1.6 \text{ cfu/cm}^2$ , 小于过滤网边角和靠墙端分布密度, 这与地面积尘含量大、细菌滋生严重的常理认知不符, 其中的原因有待进一步研究和探讨。与此相比, B 机组地面积尘的细菌分布密度最大, 对室内环境造成的危害应当引起人们的注意。

## 5. 结论与建议

本次研究以城市公共场所集中空调通风系统为入手点对空气处理机组微生物污染状况做出研究和分析。笔者对两组不同工况状态的空气处理机组的过滤网表面及地面积尘微生物进行实地采样, 提取原液(或稀释液)进行样本培养, 通过两种培养基分离真菌和细菌, 逐一观察菌落形态并计数菌落个数, 最后结合环境因子分析真菌和细菌在两种环境条件下的繁殖状况。实测结果表明真菌和细菌普遍存在于空调过滤网表面; 边角和靠墙端微生物分布大于空调过滤网中心处; 各测点细菌分布密度均比真菌大且集中度高, 繁殖能力强, 更容易随通风排入室内造成污染; 处于低风速高湿度的停工机组的微生物含量较大, 若在投入运行前不进行处理和污染防治, 将成为另一微生物传播途径; 地面积尘伴生微生物污染状况严重, 不容忽视。在中央空调系统使用日益广泛的今天, 笔者建议提高系统过滤网的效率, 设置微生物处理装置, 并加强对送风系统的维护和清洗, 为营造室内健康、绿色的居住环境做出努力。

## 致 谢

本研究受国家自然科学基金(51308088)、高等学校博士学科点专项科研基金(20120041120003)、供热供燃气通风及空调工程北京市重点实验室研究基金资助课题(NR2013K05)、中央高校基本科研业务费专项资金(DUT14QY24)资助, 笔者在此表示感谢。

## 参考文献 (References)

- [1] Feeley, J.C. and Morris, G.K. (1992) Legionella: Impact on water systems in buildings. *ASHRAE Transactions*, **98**, 146-149.
- [2] Broadbent, C.R. (1999) Control of Legionnaires' disease—An Australian perspective. Clive Broadbent and Associates Pty Ltd., Canberra.
- [3] Puckorius, P.R. (1999) Update on Legionnaires' disease and cooling systems: Case history reviews—What happened/what to do and current guidelines. Puckorius and Associates, Inc., Evergreen.
- [4] Gao, Y., Zhou, P., Lin, Y.E., Vidic, R.D. and Stout, J.E. (2001) Efficacy of DBNPA against Legionella pneumophila: Experimental results in a model water system. *ASHRAE Transactions*, **107**, 84-190.
- [5] Dennis, P.J. (1991) Legionella in the United Kingdom and water quality in buildings. *ASHRAE Transactions*, **97**, 271-274.
- [6] Broadbent, C.R. (1991) Developments in Australia to control Legionella. *ASHRAE Transactions*, **97**, 258-264.
- [7] 侯娟娟 (2009) 通风空调系统污染调查及其微生物特性实测研究. Master's Thesis, 西安建筑科技大学, 西安.
- [8] 祝学礼, 刘颖 (2001) 空调对室内环境质量与健康的影响. *卫生研究*, **1**, 62-63.
- [9] 王清勤 (2011) 建筑室内生物污染控制与改善. 中国建筑工业出版社, 北京.
- [10] 沈晋明, 许钟麟 (2002) 空调系统的二次污染与细菌控制. *暖通空调*, **5**, 30-33.
- [11] 李先庭, 孟彬彬, 杨建荣, 赵彬 (2004) 风机盘管加新风系统中室内污染物浓度分布. *清华大学学报: 自然科学*

版, 6, 770-773.

- [12] 陈凤娜, 赵彬, 杨旭东 (2009) 公共场所空调通风系统微生物污染调查分析及综述. *暖通空调*, 2, 50-56.
- [13] 温玉杰, 唐中华, 陈东升 (2006) 简述空调环境微生物传播及防治. *制冷与空调(四川)*, 1, 90-93.
- [14] 张寅平, 赵彬, 成通宝, 等 (2003) 空调系统生物污染防治方法概述. *暖通空调*, 6, 41-46.
- [15] 刘文碧, 刘迎云, 廖颀 (2008) 中央空调系统中微生物控制技术简介. *广州环境科学*, 1, 24-28.
- [16] 环境与健康杂志编辑部 (2003) 世界卫生组织公布香港淘大花园 SARS 传播的环境卫生报告. *环境与健康杂志*, 4, 2451.
- [17] 彭晓旻, 王小梅, 黎新宇 (2004) 北京市大饭店空调冷却塔军团菌污染状况及消毒效果评价. *中国卫生检验杂志*, 2, 231-232.
- [18] 卢振 (2007) 通风空调系统空气微生物传播与消毒控制方法. Doctoral Dissertation, 哈尔滨工业大学, 哈尔滨.
- [19] Graudenz, G.S., Oliveira, C.H., Tribess, A., Mendes, C., Latorre, M.R.D.O. and Kalil, J. (2005) Association of air-conditioning with respiratory symptoms in office workers in tropical climate. *Indoor Air*, 15, 62-66.
- [20] Hodgson, M.J., Morey, P.R., Simon, J.S., Waters, T.D. and Fink, J.N. (1987) An outbreak of recurrent acute and chronic hypersensitivity pneumonitis in office workers. *American Journal of Epidemiology*, 125, 631-638.