

博物馆空调系统微生物真菌污染检测研究

李慧星,孙昊,冯国会,杨婉凝

(沈阳建筑大学市政与环境工程学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要 目的 保证博物馆空调系统洁净运行,为博物馆及其文物提供洁净的空气环境.方法 利用空气采样器对某博物馆空调系统中微生物-真菌浓度检测,研究分析真菌污染物的分布.结果 测试表明,机组内积尘平均含量为 $16.71 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,多数展柜空气中真菌浓度低于标准值,个别展柜空气中真菌浓度超标,达到 $600 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$,为标准值($500 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$)的1.2倍,其中青霉菌、曲霉菌为主要菌种;适宜的温度和较高的湿度均导致真菌污染物的快速滋生,且湿度对真菌污染物浓度影响程度较大.结论 通过分析博物馆空气中真菌污染物主要来源,提出控制真菌的手段应采用优先控制湿度和微波法复合有效控制中央空调系统微生物真菌污染.

关键词 博物馆;空调系统;微生物污染;真菌检测

中图分类号 X799.1

文献标志码 A

Detection and Analysis of Fungal Contamination in Air Condition System of Museum

LI Huixing, SUN Hao, FENG Guohui, YANG Wanning

(School of Municipal and Environmental Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

Abstract: To ensure the air-conditioning system clean operation for the museum and its cultural relics to provide comfortable and clean air environment, the air sampler was used for air-conditioning system in the microbial-fungal concentration detection in the museum to analysis of fungal pollutant distribution. The tests results showed that the average concentration of dust in the unit was $16.71 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, and the fungi concentration in the air of most showers was lower than the standard value. The concentration of fungi in the air in the showcase exceeded $600 \text{ cfu} \cdot \text{m}^{-3}$, 1.2 times of the standard value, and penicillium and aspergillus were the main strains. The suitable temperature and humidity led to the rapid growth of fungus contaminants and the influence of humidity on the concentration of fungal contaminants was significant. By analyzing the main sources of fungal pollutants in the air of museums, the combination of humidity control and microwave method should be used to control the microbial fungal contamination of the central air conditioning system.

Key words: museum; air-conditioning system; microbial contamination; fungi detection

博物馆是满足公众观赏艺术品、鉴赏历史文物、学习知识富有教育意义的场所^[1],为了给展柜内文物提供良好的空气环境,展柜内通常采用恒温恒湿空调系统,在提供稳定的温、湿度环境的同时又易造成微生物的大量滋生^[2],其中真菌可以使纤维素、半纤维素降解,对于棉、麻、纸质类纤维素文物,造成材料结构的破坏,增加文物材料酸度、湿度,使文物生霉、腐败;真菌带有的颜色或者在代谢过程中分泌的色素会导致书画材料变质颜色受损,同时金属文物表面也会因为真菌的滋生而遭到腐蚀、破坏.危害文物的霉菌有曲霉菌、青霉菌、枝孢霉菌等^[3].笔者使用FA-1型六级撞击式空气微生物采样器等仪器对博物馆空调系统中空气处理机组和部分展柜内进行真菌浓度检测,结果显示,个别展柜空气中真菌浓度超标,需定期清理空气处理机组,并采用一定处理措施,保证博物馆内良好的空气品质.

1 建筑系统基本信息

1.1 建筑物概况

某博物馆,占地面积 83 200 m²,建筑面积 100 013 m².展示厅将展出的文物用展柜封闭,与观众隔离.展柜内采用恒温恒湿空调系统控制.目前,博物馆内未设有微生物防护措施.

1.2 空调系统

笔者的测试是选取两组风量不同的恒温恒湿的空调机组和两组展柜作为测试对象.两组空调机组详细参数如下:

- (1)恒温恒湿空调机组(A1)额定风量为 18 400 m³/h,电机功率为 15 kW 的卧式空气处理机组.机组由新风段、回风段、中效过滤段、表冷段、送风段组成.
- (2)恒温恒湿空调机组(A2)额定风量为 2 800 m³/h,电机功率为 2.2 kW 的卧式空气处理机组.机组由新风段、回风段、中效过滤段、表冷段、送风段组成.

2 空调系统污染的检测

2.1 检测设备及测点布置

2.1.1 检测设备

(1)FA-1型六级撞击式空气微生物采样器,如图1所示.

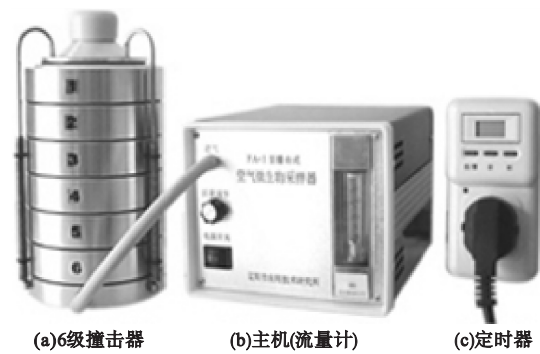


图1 FA-1 撞击式空气微生物采样器

Fig.1 FA-1 six levels of impingement air

它是由6级撞击器组合在一起,每一级实际是一个采样器,利用6次反复撞击原理,可以撞击绝大部分粒子,因此采样器所采集的粒子范围要比单级采样器广^[4].各级捕获粒子大小:第一级粒子直径>7 μm;第二级粒子直径为4.7~7.0 μm;第三级粒子直径为3.3~4.7 μm;第四级粒子直径为2.1~3.3 μm;第五级粒子直径为1.1~2.1 μm;第六级粒子直径为0.65~1.1 μm.

- (2)荧光光学分析显微镜(见图2)
- (3)高压蒸汽灭菌锅(见图3)
- (4)生化培养箱(见图4)

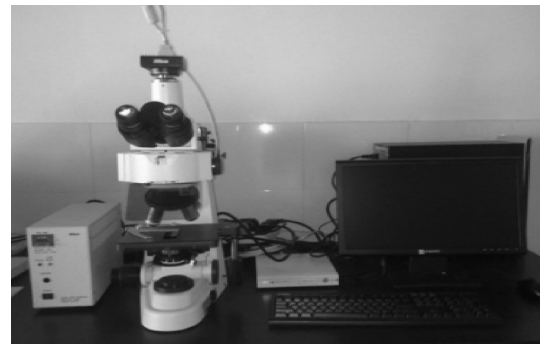


图2 荧光光学分析显微镜

Fig.2 Fluorescence optical analysismicroorganism sampler



图3 蒸汽灭菌锅

Fig. 3 High pressure steam sterilization pot



图4 生化培养箱

Fig. 4 Biochemical incubator

2.1.2 测点布置

根据真菌分布和传播机理,分别在空调系统内设置3个测点:第一,将采样点布置于空气处理机组新风、回风混合过滤段之后,检测引入空气处理机组的空气真菌浓度(第一测点,过滤段);第二,将采样点布置于空气处理机组表冷段之后,检测空气处理机组内部滋生的真菌浓度(第二测点,表冷段);第三,将采样点布置于展柜内排风口处,检测展柜内空气真菌浓度(第三测点,末端)。

2.3 真菌采集

真菌采集分为两个方面:包括积尘中真菌采集和空气中真菌采集。其中积尘的采集主要在空气处理机组内进行,采用擦拭法,测试过程中在第一、二测点位置选取面积为50 cm²的采样面积,将残留在采样表面的灰尘全部取出,密封于密封袋内,带回实验室检测^[5]。空气中真菌的检测一般分为自然沉降法和空气撞击法。本文中采用空气撞击法进

行采样,空气撞击法是让空气通过采样器,使含菌气流撞击到琼脂平面,真菌即滞留在琼脂表面上,根据培养计数和气样量,算出采样空气中真菌总数,采样设定时间为10 min。该法对真菌捕获率较高,结果相对自然沉降法更加准确^[6-7]。

2.4 真菌培养和计数

真菌培养采用沙氏培养基。测试后,将采样后的培养皿在生化培养箱中以28℃的环境温度下培养72 h。文中真菌计数采用菌落数(Colony Forming Units, CFU)计算。菌落是由一个真菌繁殖起来,由无数真菌组成具有一定形态特征的真菌集团。通过计算菌落数量即能计算真菌数量。

空气中的真菌浓度是指每立方米空气中所含真菌的数量。空气中真菌数量的分布是指各级菌落数占六级总菌落数百分比。空气真菌浓度计数公式为

$$\begin{aligned} \text{真菌浓度}(\text{cfu}/\text{m}^3) &= \frac{\text{所有培养皿菌落数}}{\text{采样时间}(\text{min}) \times 28.3(\text{L}/\text{min})} \times 1\,000. \end{aligned} \tag{1}$$

式中:28.3 L/min 为采样器空气流量。

如测点一:

$$\text{真菌浓度} = \frac{118}{10 \times 28.3} \times 1\,000 = 420 \text{ cfu}/\text{m}^3$$

3 空调系统真菌检测结果分析

3.1 积尘量检测

积尘量检测是检测每个空气处理机组第一、第二测点的积尘,采样时空气处理机组需停止工作。文中每个测点都进行了两次检测,以使数据更准确。各采样点积尘检测见表1。

由于机组常年运行,博物馆工作人员每月定期清洗空气处理机组,检测结果显示,空气处理机组中积尘质量浓度未超过20 g/m³的国家标准。

3.2 真菌浓度检测分析

不同种属的真菌具有各不相同的菌落特

表 1 采样点积尘量检测结果

Table 1 Test results of dust in each sampling point

| 测点 | A1 机组积尘 | A2 机组积尘 |
|------------|---------|---------|
| | 质量浓度 | 质量浓度 |
| 测点 1 (第一次) | 17.35 | 11.85 |
| 测点 1 (第二次) | 19.38 | 10.23 |
| 测点 2 (第一次) | 13.48 | 8.23 |
| 测点 2 (第二次) | 15.65 | 8.89 |

征^[8-12]. 图 5、图 6 分别为 A1、A2 空调系统真菌分布,由图中可以看出真菌分布呈单峰型,由第一级逐渐增大,在第四级达到峰值,粒径在 1.1~3.3 μm;在第五级、第六级降低并趋于稳定. 检测发现枝孢菌主要分布在第三级~第五级;青霉菌和曲霉菌主要分布在第四级和第五级;链格霉菌主要分布在第一级~第二级;无孢菌菌各级均有分布.

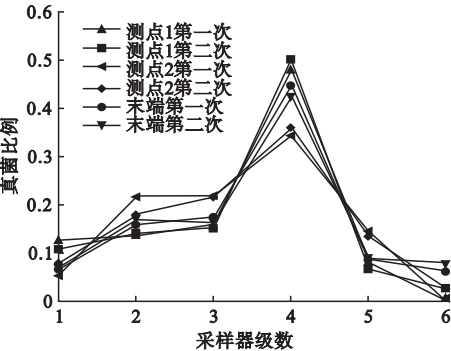


图 5 博物馆 A1 空调系统真菌分布

Fig. 5 Distribution of air contains fungus sparticle in A1 unit in museum

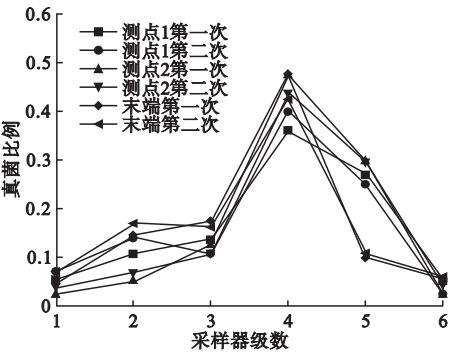


图 6 博物馆 A2 空调系统真菌分布

Fig. 6 Distribution of air contains fungus particle in A2 unit in museum

在所选取两个空气处理机组当中,在机组表冷段,空气中真菌浓度超过了国家标准(500 cfu·m⁻³),为国家标准值的 1.14 倍和 1.04 倍;但对于整个机组而言,其平均真菌浓度未超过国家标准,符合要求(见图 7). 而在两个系统末端(展柜内送风口处),空气中真菌浓度也均超过了国家标准,为标准的 1.22 倍和 1.18 倍,如图 7 所示.

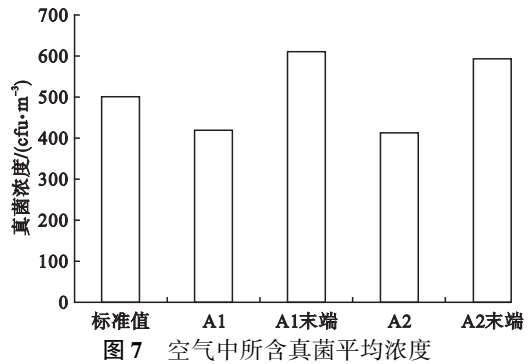


图 7 空气中所含真菌平均浓度

Fig. 7 Average fungus concentration in the air

根据中国科学院生态中心所采用的空气微生物评价标准,得出博物馆空气处理机组中真菌浓度污染级别为较清洁级别,不会对人员造成健康危害,但长期会对博物馆内文物造成潜在威胁^[12].

表 2 为空调系统中真菌检测结果,结果显示:以青霉菌、曲霉菌及枝孢霉菌为主要菌种,其他菌种也有分布. 这也与其他学者研究结果相同^[13].

表 2 系统空气所含真菌的检测结果

Table 2 Identification results of fungal particles in the air

| 测点 | % | | | | | |
|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
| | 青霉菌比例 | 曲霉菌比例 | 枝孢霉菌比例 | 链格霉菌比例 | 无孢菌比例 | 其他菌比例 |
| A1 测点一 | 46.91 | 22.68 | 20.62 | 4.64 | 3.09 | 2.06 |
| A1 测点二 | 45.07 | 21.83 | 20.77 | 6.34 | 3.17 | 2.82 |
| A2 测点一 | 45.03 | 22.05 | 21.12 | 5.90 | 3.73 | 2.17 |
| A2 测点二 | 46.32 | 21.75 | 20.70 | 5.26 | 3.51 | 2.46 |
| A1 末端 | 44.83 | 22.70 | 21.03 | 4.57 | 3.55 | 3.32 |
| A2 末端 | 46.88 | 21.84 | 20.67 | 5.45 | 3.13 | 2.03 |

3.3 环境参数检测

温度和湿度与真菌的生长繁殖密切相关,图 8~11 为 A1、A2 空气处理机组系统各测点(过滤段、表冷段及末端)温、湿度变化曲线.

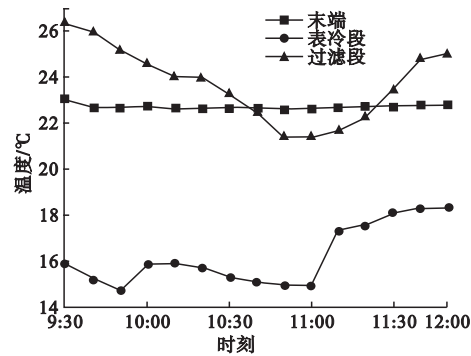


图8 A1系统工作温度变化曲线

Fig. 8 Temperature change curve of A1

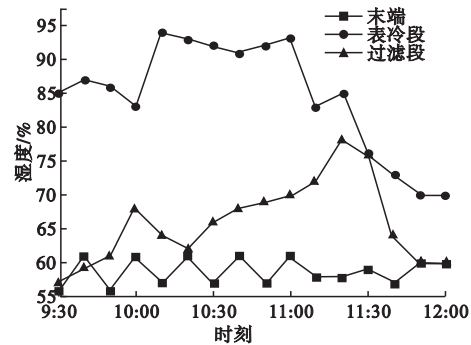


图9 A1系统工作湿度变化曲线

Fig. 9 Humidity change curve of A1

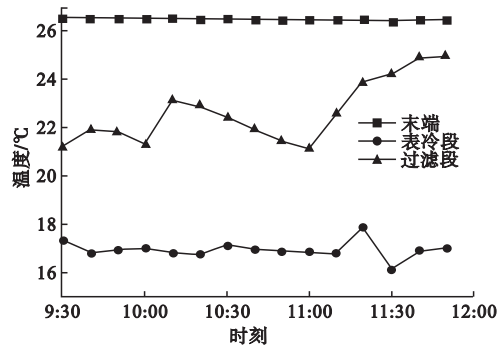


图10 A2系统工作温度变化曲线

Fig. 10 Temperature change curve of A2

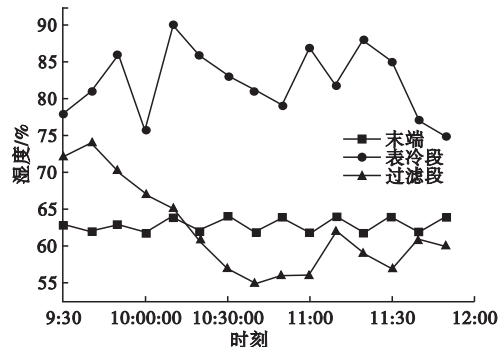


图11 A2系统工作湿度变化曲线

Fig. 11 Humidity change curve of A2

3.4 建立环境因素与真菌浓度的拟合关系

分析温度、湿度和真菌浓度,建立拟合曲线如图12~13所示。

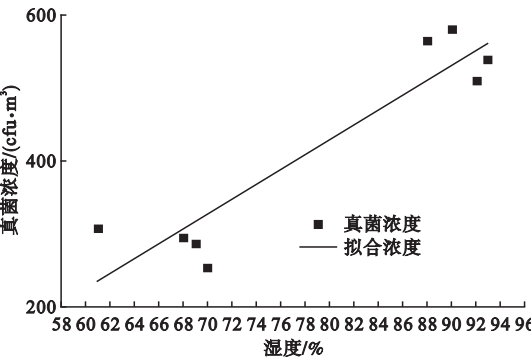


图12 湿度与真菌浓度拟合曲线

Fig. 12 Fitting curve between humidity and micro-organism concentration

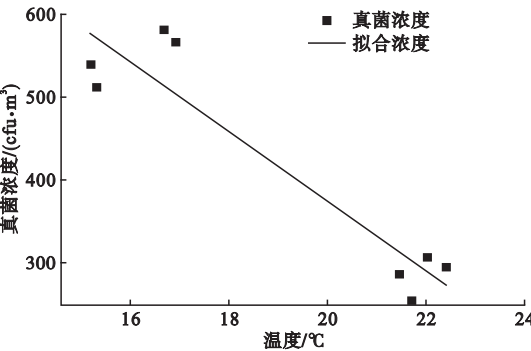


图13 温度与真菌浓度拟合曲线

Fig. 13 Fitting curve between temperature and-microorganism-concentration

表3~表5为各机组测点的平均温、湿度。

表3 A1机组测点平均温、湿度

Table 3 The sampling point temperature and humidity in A1 unit

| 测点 | 温度/°C | 湿度/% |
|----------|-------|------|
| 测点1(第一次) | 21.69 | 70 |
| 测点1(第二次) | 21.44 | 69 |
| 测点2(第一次) | 16.69 | 90 |
| 测点2(第二次) | 16.94 | 88 |

表4 A2机组测点平均温、湿度

Table 4 The sampling point temperature and humidity in A2 unit

| 测点 | 温度/°C | 湿度/% |
|----------|-------|------|
| 测点1(第一次) | 22 | 61 |
| 测点1(第二次) | 22.38 | 68 |
| 测点2(第一次) | 15.19 | 93 |
| 测点2(第二次) | 15.31 | 92 |

表 5 末端测点平均温、湿度

Table 5 The sampling point temperature and humidity in the end

| 末端测点 | 温度/℃ | 湿度/% |
|-----------|-------|------|
| 末端 1(第一次) | 22.56 | 55 |
| 末端 1(第二次) | 22.69 | 63 |
| 末端 2(第一次) | 23.56 | 62 |
| 末端 2(第二次) | 24.10 | 60 |

由表 3 ~ 表 5 及图 12 ~ 13 实验数据分析可得真菌浓度和空气温度经拟合的方程为

$$Y = -41.894\,87X + 1\,210.742\,31,$$
$$R^2 = 0.878\,78. \tag{2}$$

式中: Y 为真菌浓度, cfu/m^3 ; X 为温度, $^{\circ}\text{C}$; R^2 为相关系数.

真菌浓度和空气湿度拟合得到方程为

$$Z = 10.167\,56\,V - 385.341\,09,$$
$$R^2 = 0.865\,84. \tag{3}$$

式中: Z 为真菌浓度, cfu/m^3 ; V 为湿度, %.

根据拟合曲线可以看出,真菌浓度随湿度的增高而增高,随温度的增高而下降.可见,相对湿度对于真菌浓度的影响大于温度^[14-15].

空调系统的真菌生长与积尘和湿度有着密切关系,若控制真菌污染物的生长^[16],首先应保证空调系统定时清理,减少积尘含量;同时优先控制相对湿度的大小也将破坏真菌生长的条件^[17].微波法是一种加热快、杀菌快、效率很高的生物消毒法,其利用 915 MHz,波长为 1 ~ 1 000 mm 的微波进行消毒灭菌,由于微波具有生物效应,相对于其他简单热处理方法具有更高效率和更好效果^[18].在空调处理机中安装微波杀菌装置,就能更有效地降低展柜内真菌数量.针对两种方法的特点,将控制湿度与微波法复合使用,更加有效地控制中央空调系统微生物的污染,使博物馆中央空调系统的运行达到更好效果^[19].

4 结 论

(1)空气中真菌污染物主要来源,第一

来自于室外空气,引入机组新风中含有真菌污染物;第二来自于室内空气,在回风中含有真菌污染物;含有真菌污染物的室内回风进入空气处理机组内.

(2)空气处理机组各组件长期在湿环境中也会滋生真菌污染物;空气在风管中流动,由于风管内不易清洗,容易产生真菌污染物,当空气从风管内流动时也会携带风管中滋生的真菌污染物.在博物馆空调系统中,应按照相关规范的要求定期做好清洗、消毒工作,合理控制相对湿度,同时采用一定的处理措施,例如安装微波杀菌装置,有效控制空调系统中真菌浓度,可为博物馆文物贮藏、展览提供有利的空气环境.

参考文献

[1] 唐欢,周粒坤,王春,等. 博物馆展厅人流高峰期空气微生物丰度及多样性调查[J]. 环境与健康杂志,2016(8):707-710.
(TANG Huan, ZHOU Likun, WANG Chun, et al. Richness and diversity of air microorganisms during peak period of visitors flow in museum exhibition hall [J]. Journal of environment and health, 2016(8):707-710.)

[2] 陈锴,万东,诸可成,等. 空气微生物污染监测及研究进展[J]. 中国环境监测,2014(8):171-178.
(CHEN E, WAN Dong, CHU Kecheng, et al. The monitoring and research of airborne microbe pollution [J]. Environmental monitoring in China, 2014(8):171-178.)

[3] KUBOTA M, HANADA T, YABE S, et al. Water desorption behavior of desiccant rotor under microwave irradiation [J]. Applied thermal engineering, 2011, 31(8):1482-1486.

[4] 方治国,欧阳志云. 城市室内外空气真菌群落及影响因素研究进展[J]. 生态环境学报, 2009, 18(1):386-193.
(FANG Zhiguo, OUYANG Zhiyun. Advance of airborne fungal community and the influencing factors in indoor and outdoor environments in urban ecosystem [J]. Ecology and environmental sciences, 2009, 18 (1): 386 - 193.)

[5] 凌琪,王晏平,王莉,等. 合肥城区空气真菌浓度的时空分布特征[J]. 生物多样性,2008,16(2):175-180.

- (LING Qi, WANG Yanping, WANG Li, et al. Distribution of airborne fungi concentration in Hefei city [J]. Biodiversity science, 2008, 16 (2): 175 – 180.)
- [6] 陈新宇, 徐巧兰, 李名钊, 等. 撞击法和自然沉降法监测室内空气细菌总数捕获效果研究 [J]. 热带医学杂志, 2007 (7): 282 – 284.
(CHEN Xinyu, XU Qiaolan, LI Mingzhao, et al. Study of natural precipitation method and impacting method for measurement of bacterial count in air [J]. Journal of tropical medicine, 2007 (7): 282 – 284.)
- [7] 张华玲, 姚大军, 张雨, 等. 空气细菌真菌污染的分级评价构建方法 [J]. 环境科学, 2016 (3): 795 – 800.
(ZHANG Hualing, YAO Dajun, ZHANG Yu, et al. Establishment of assessment method for air bacteria and fungicontamination [J]. Environmental science, 2016 (3): 795 – 800.)
- [8] GILMOUR M W, BERNARD K, TRACZ D M, et al. Molecular typing of a legionella pneumophila outbreak in Ontario, Canada [J]. Journal of medical microbiology, 2007, 56 (3): 336 – 341.
- [9] 侯娟娟. 通风空调系统污染调查及其微生物特性实测调查 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2009.
(HOU Juanjuan. Field and analysis for microbial contamination and characteristics of ventilated systems in air conditioning [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2009.)
- [10] 李安桂, 姚灵芝, 侯娟娟, 等. 集中式空调机组系统微生物污染的实测分析 [J]. 暖通空调, 2010, 40 (3): 121 – 125.
(LI Angui, YAO Lingzhi, HOU Juanjuan, et al. Test and analysis of microbial contamination in central air conditioning systems [J]. Heating ventilating & air conditioning, 2010, 40 (3): 121 – 125.)
- [11] HWANG S H, YOON C S, RYU K N, et al. Assessment of airborne environmental bacteria and related factors in 25 underground railway stations in Seoul, Korea [J]. Atmospheric environment, 2010, 44 (13): 1658 – 1662.
- [12] SAUTOUR M, SIXT N, DALLE F, et al. Profiles and seasonal distribution of airborne fungi in indoor and outdoor environments at a French hospital [J]. Science of the total environment, 2009, 407 (12): 3766 – 3771.
- [13] MO J, ZHANG Y, XU Q, et al. Determination and risk assessment of by-products resulting from photocatalytic oxidation of toluene [J]. Applied catalysis B environmental, 2009, 89 (3/4): 570 – 576.
- [14] 朱晓斌. 空调参数对送风管道积尘伴生微生物生长影响的试验研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2009.
(ZHU Xiaobin. Effect of air conditioning parameters on microbial growth in dust accumulated in supply air duct [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2009.)
- [15] MUI K W, WONG L T, HUI P S. Risks of unsatisfactory airborne bacteria level in air – conditioned offices of subtropical climates [J]. Building and environment, 2008, 43 (4): 475 – 479.
- [16] 潘平平, 邓开野, 关富华, 等. 空调系统微生物种类分析及其温湿度控制 [J]. 环境科学与技术, 2014, 37 (4): 85 – 89.
(PAN Pingping, DENG Kaiye, GUAN Fuhua, et al. Microbial species analysis and temperature and humidity control in air conditioning system [J]. Environmental science & technology, 2014, 37 (4): 85 – 89.)
- [17] FANG Z, OUYANG Z, ZHENG H, et al. Concentration and size distribution of culture able airborne microorganisms in outdoor environment in Beijing, China [J]. Aerosol science and technology, 2008, 42: 325 – 334.
- [18] 卢振, 张吉礼, 曹达君, 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.
(LU Zhen, ZHANG Jili, CAO Dajun, et al. Testing and analysis for microbes and particles in central air conditioning systems of public buildings [J]. Heating ventilating & air conditioning, 2007, 37 (1): 103 – 107.)
- [19] 丁力行, 严汉彬. 空调系统微生物二次污染与控制研究进展 [J]. 仲恺农业工程学院学报, 2010, 23 (1): 68 – 71.
(DING Lixing, YAN Hanbin. Progress on secondary contamination and control in air – conditioning systems [J]. Journal of zhongkai university of agriculture and engineering, 2010, 23 (1): 68 – 71.)