

DOI: 10.3969/j.issn.1671-9638.2015.02.008

· 论 著 ·

## 医院中央空调循环水系统生物膜检测及控制措施

李春玲<sup>1</sup>, 顾翔宇<sup>1</sup>, 于志臻<sup>1</sup>, 江海峰<sup>2</sup>

(1 复旦大学附属华东医院, 上海 200040; 2 常州仲纳化工有限公司, 江苏 常州 213022)

**[摘要]** **目的** 了解新型综合性处理方案对中央空调循环水处理的效果, 并与原有的水处理方案进行对比, 以便采用更有效的措施从源头预防和控制医院感染的发生。**方法** 采用两种水处理方案后, 应用在线微生物分析仪和生物膜测试盒进行生物膜动态趋势检测以及微生物和腐蚀速率的测定。**结果** 经检测, 原方案处理后, 中央空调循环水中的生物膜趋势值一直比较高, 维持在 200~250 之间; 循环冷却水中存在致病菌(铜绿假单胞菌); 系统腐蚀检测发现试片严重腐蚀。新方案处理后, 中央空调循环水中的生物膜趋势值持续下降并最终稳定在 20 以下; 6 d 后水系统中致病菌消失, 与生物膜趋势值相对应; 试片轻微腐蚀, 腐蚀速率 < 0.075 mm/a。**结论** 新型综合性处理方案对减少和控制致病菌、生物膜生长及腐蚀性均有确切效果。

**[关键词]** 中央空调; 循环水系统; 生物膜; 致病菌; 医院感染

**[中图分类号]** R181.3<sup>+</sup>2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-9638(2015)02-0101-04

## Detection of biofilm and control measures for circulating water system of central air conditioning in hospital

LI Chun-ling<sup>1</sup>, GU Xiang-yu<sup>1</sup>, YU Zhi-zhen<sup>1</sup>, JIANG Hai-feng<sup>2</sup> (1 Huadong Hospital Affiliated to Fudan University, Shanghai 200040, China; 2 Changzhou Zhongna Total Solutions Co., Ltd (ZHN), Changzhou 213022, China)

**[Abstract]** **Objective** To investigate the effect of new comprehensive treatment scheme on the treatment of central air-conditioning circulating water, and compared with the original treatment scheme, so as to take more effective measures to prevent and control the source of healthcare-associated infection. **Methods** After the implementation of two water treatment schemes, biofilm dynamic trend, microorganisms, and corrosion rate were detected by online microbial analyzer and biofilm detection kit. **Results** After the implementation of original scheme, biofilm trend value of central air-conditioning circulating water was continuously high, maintaining at 200 - 500; pathogens (*Pseudomonas aeruginosa*) existed in the circulating cooling water; corrosion testing showed that corrosion coupons were severely corroded. After the implementation of new scheme, biofilm trend value declined continuously, and finally stably maintained below 20; pathogens were not detected after 6 days, which was corresponded to biofilm trend value; corrosion coupons were slightly corroded, corrosion rate was < 0.075 mm/a. **Conclusion** New comprehensive treatment scheme is definitely effective for reducing and controlling the growth of pathogens, biofilm and corrosion.

**[Key words]** central air-conditioning; circulating water system; biofilm; pathogen; healthcare-associated infection

[Chin Infect Control, 2015, 14(2): 101 - 104]

目前已知集中式空调循环水因其内环境的特殊性, 极易被致病菌污染是导致医院感染流行及暴发的极其重要因素之一。2009 年上海市调研结果显

示, 其致病菌种类中军团菌的检出率高达 75%<sup>[1]</sup>, 而生物膜是致病菌的载体。因致病菌在生物膜状态有着比游走状态高出千百倍的抗药性, 在临床更易

[收稿日期] 2014-06-22

[作者简介] 李春玲(1968-), 女(汉族), 上海市人, 主管护师, 主要从事护理管理研究。

[通信作者] 李春玲 E-mail: huadong303@sina.com

引发难治性急慢性医院感染,严重威胁患者和医护人员健康及生命<sup>[2]</sup>。另外,因其在代谢过程产生的酸性物质会对金属造成直接腐蚀和电化学腐蚀,故其腐蚀速率在一定程度上也反映生物膜的生长情况。因此,对医院中央空调循环冷却水系统中的生物膜进行有效检测并根据其结果及时采用有效方法进行预防与控制,可以从源头预防和控制医院感染的发生。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

1.1.1 样品来源 选取上海市某三级甲等综合性医院 7 号楼中央空调循环冷却水作为研究实验样品来源。

1.1.2 WS-1 型循环水生物膜测试器 由常州仲纳化工提供,应用澳大利亚技术,测试器探头电极提供电压,在探头表面营造细菌会优先选择黏附的环境。随着探头表面细菌黏附、细菌生物膜的逐渐形成,电极间电流逐渐增加,电子电路检测电极信号,监测系统实时在线监测探头表面细菌生物膜的状态<sup>[3]</sup>。

1.1.3 杀菌消毒剂 ZHN-2610、ZHN-2660 由常

州仲纳化工提供,批号 2013081203、2013081204,属活性溴类氧化性杀生剂和非氧化性杀生剂,对真菌、细菌、病毒、芽孢有杀灭作用。

1.1.4 缓蚀阻垢剂 ZHN-2230 由常州仲纳化工提供,批号 2013081202,具有缓蚀性能及分散性能和阈值阻垢效应。

1.1.5 I 型碳钢 A3 挂片 标准碳钢挂片,50.0 mm × 25.0 mm × 2.0 mm,20# 碳钢,试片总面积 28.00 cm<sup>2</sup>。

1.2 实验方法 在相同条件下,使用新的水处理方案与原有方案各运行两个星期,记录生物膜趋势、检测致病菌和测定挂片腐蚀速率。两次实验的室外气温分别为 26~40℃ 和 24~40℃,可认定实验条件基本相同。原有方案:每个月进行一次除锈除垢处理。新的水处理方案:根据补水量连续投加 30 mg/L ZHN-2230 控制结垢和腐蚀;根据保有水量每月冲击式投加 100 mg/L ZHN-2660,每周投加 50 mg/L 缓释型 ZHN-2610 对系统进行杀菌消毒。

1.2.1 生物膜趋势值的检测 从中央空调循环冷却水池接管,按照图 1 安装生物膜测试器,记录生物膜测试器的趋势值。



图 1 生物膜测试器安装示意图

Figure 1 Installation diagram of biofilm detector

1.2.2 生物膜中致病菌的检测 生物膜中致病菌的菌种鉴定按照《全国临床检验操作规程》(第 3 版)进行。质控菌株为铜绿假单胞菌 ATCC 27853,培养基为羊血琼脂培养基。

1.2.3 腐蚀速率的测定 冷却水现场试片腐蚀试验:将标准试片置于腐蚀试片检测架上,在试验条件下,试片被腐蚀,根据试片的失重计算出循环冷却水

对各种材质的腐蚀率。本方法参照 HG5-1526-1983。

$$\text{试片腐蚀率(mm/a)} = (C \cdot \Delta W) / (A \cdot T \cdot P)$$

式中:C—计算常数 87 600;W—试片失重(g);A—试片面积(cm<sup>2</sup>);T—试验时间(h);P—试片材质(碳钢密度为 7.85 g/cm<sup>3</sup>)。

## 2 结果

2.1 生物膜趋势值 连续用 WS-1 型检测器对中央空调循环水系统中的生物膜进行监测,原处理方案

结果显示,循环水中的生物膜趋势值一直比较高,维持在 200~250 之间;新处理方案结果显示,循环水中的生物膜趋势值持续下降并最终稳定在 20 以下。见表 1 和图 2。

表 1 两种方案处理的生物膜趋势值

Table 1 Biofilm trend values after implementing two kinds of treatment schemes

时间(d)	原处理方案							新处理方案						
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
趋势值	234.2	223.5	219.5	216.7	234.4	247.4	240.9	150.5	87.8	35.0	18.4	16.1	18.3	14.4

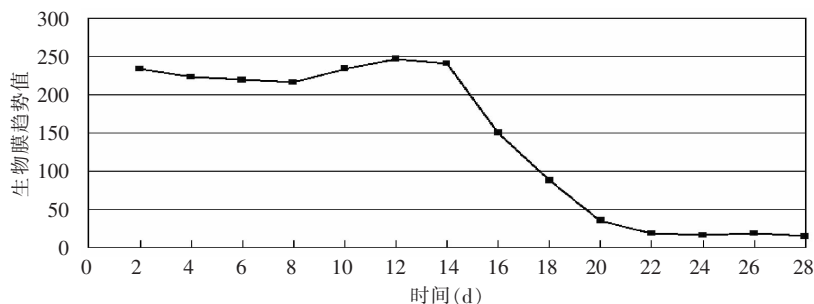


图 2 中央空调循环冷却水生物膜趋势值分布图

Figure 2 Distribution diagram of biofilm trend values of central air-conditioning circulating cooling water

2.2 致病菌检测 实验期间,每两天在下午 2 点用无菌玻璃瓶采集中央空调冷却水 500 mL,6 h 内送医院微生物实验室进行致病菌的检测,检测结果为铜绿假单胞菌。表 2 显示,经原方案处理后,循环冷

却水中存在致病菌(铜绿假单胞菌),而经新方案处理,6 d 后水系统中致病菌消失,与生物膜趋势值相对应。

表 2 两种方案处理后的致病菌存在情况

Table 2 Existence of pathogens after implementing two kinds of treatment schemes

时间(d)	原处理方案							新处理方案						
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
致病菌	有	有	有	有	有	有	有	有	有	无	无	无	无	无

2.3 系统腐蚀检测 在循环冷却水系统安装腐蚀试片检测架,每种方案各做两组挂片试验,各运行两星期(336 h),对两种方案处理前后的碳钢试片进行称重,计算出腐蚀速率,见表 3。原方案处理的试片

严重腐蚀;经新方案处理的试片轻微腐蚀,腐蚀速率小于《GB 50050-2007 工业循环冷却水处理设计规范》规定要求的 0.075 mm/a。

表 3 两种方案处理后的腐蚀速率

Table 3 Metal corrosion rate after implementing two kinds of treatment schemes

挂片编号	腐蚀时间(h)	腐蚀前质量(g)	腐蚀后质量(g)	质量损失(g)	腐蚀速率(mm/a)	试验现象	是否符合 GB 50050-2007
原处理方案	1	19.2367	18.1567	1.0800	1.281	严重腐蚀	否
	2	19.2547	18.2118	1.0429	1.237	严重腐蚀	否
新处理方案	3	19.2945	19.2709	0.0236	0.028	螺丝口轻微腐蚀,表面光亮	是
	4	19.2898	19.2637	0.0261	0.031	螺丝口轻微腐蚀,表面光亮	是

### 3 讨论

#### 3.1 制冷中央空调的基本原理 见图 3。建筑物

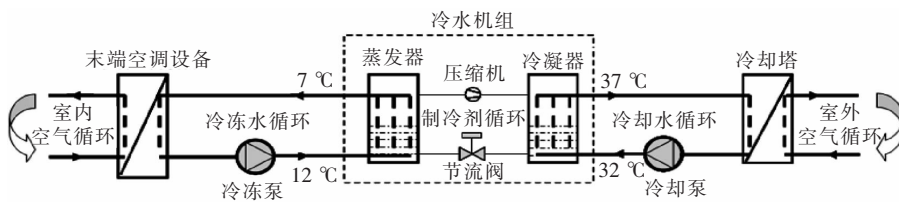


图 3 中央空调系统的工作原理

Figure 3 Working principle of central air-conditioning system

内的热量通过 5 个介质循环,4 次热交换排放至室外,从而实现建筑物内部的制冷。因此,在空气过滤网、空调出风口、风管系统、冷却塔水池等进行空气循环处,容易滋生大量的细菌、病毒,形成生物膜。

3.2 生物膜形成过程 细菌生物膜是指由附着于惰性或者活性实体表面的细菌细胞和包裹着细菌的水合性基质所组成的结构性细菌群落<sup>[4-6]</sup>。细菌生物膜广泛存在于含水和潮湿的各种表面,包括自来水管、工业管道、通风设备、医疗器械甚至病理状态下的人体组织器官。据估计,几乎所有的细菌在一定条件下都可以形成生物膜<sup>[7-10]</sup>。在空调水系统中,细菌在金属表面聚集成生物膜。

3.3 生物膜的检测和控制 相比传统的培养膜法,本研究应用澳大利亚 WS-1 型循环水生物膜检测器,快速、直观地反映了医院中央空调循环冷却水中生物膜的生长情况,同时致病菌检测结果和腐蚀速率结果一致。依据结果,结合该院实际状态制定新方案,使用上述公司新型、环保的水处理剂并与之前的水处理方案结果作比较,发现其非常有效地控制了医院中央空调循环冷却水生物膜的生长速度和腐蚀性。因此,医院中央空调循环冷却水的处理不仅在于定期对冷却水进行除垢除锈处理,关键在于对冷却水进行长期的综合性处理。

3.4 效益分析 原处理方案为每月进行 1 次除锈除垢处理,目前总包费用为 3.8 万/年;新方案所需药剂费用为 4 万/年,除生物膜测试器一次性投资外,两种方案年处理成本差距微弱。新方案水质指标符合工业循环冷却水处理设计规范,且能及时反映医院中央空调循环冷却水中生物膜情况,以便及时进行杀菌消毒,控制致病菌的传播。

综上所述,对中央空调循环水系统进行生物膜检测并采取新型具有科学性的综合处理方案,效果确切。采用新方案处理后,循环冷却水生物膜的生长趋势值明显下降,对运行设备的腐蚀性明显改善。面对目前存在的现状,对中央空调循环水系统采用

新型具有循证医学依据的综合处理方案进行长期的综合性处理,对从源头预防和控制医院感染流行与暴发具有极其重要的意义。但本次试验仅在一个系统试用,扩大试验及应用时间将有助于进一步评价。

#### [参考文献]

- [1] 陶静,洪亮,张静,等.上海市集中式中央空调冷却塔水嗜肺军团菌污染状况分析[J].临床医学,2010,23(3):664-665.
- [2] Luppens S B I. Suspensions or biofilms and other factors that affect disinfectant testing on pathogens[M]. Wageningen University, The Netherlands,2002.
- [3] 矫雷子.光纤倏逝波生物膜活性在线检测传感器的研究[D].重庆理工大学,2011.
- [4] Costerton J W, Stewart P S, Greenberg E P. Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections[J]. Science, 1999, 284(5418): 1318-1322.
- [5] Costerton J W, Cheng K J, Geesey G G, et al. Bacterial biofilms in nature and disease[J]. Annu Rev Microbiol, 1987(1), 41: 435-464.
- [6] Parsek M R, Singh P K. Bacterial biofilms: an emerging link to disease pathogenesis[J]. Annu Rev Microbiol, 2003, 57(1): 677-701.
- [7] Donlan R M, Costerton J W. Biofilms: survival mechanisms of clinically relevant microorganisms[J]. Clin Microbiol Rev, 2002, 15(2):167-193.
- [8] Arciola C R, Alvi F I, An Y H, et al. Implant infection and infection resistant materials: a mini review[J]. Int J Artif Organs,2005, 28(11): 1119-1125.
- [9] Drenkard E. Antimicrobial resistance of *Pseudomonas aeruginosa* biofilms[J]. Microbes Infect, 2003, 5(3): 1213-1219.
- [10] Xu K D, McFeters G A, Stewart P S. Biofilm resistance to antimicrobial agents[J]. Microbiology, 2000, 146 (Pt 3): 547-549.

(本文编辑:任旭芝)