

# 交叉缩放椭圆管中微生物污垢特性

徐志明<sup>1</sup> 郝占龙<sup>1\*</sup> 张一龙<sup>2</sup> 刘坐东<sup>2</sup> 王磊<sup>1</sup> 王景涛<sup>1</sup>

(1. 东北电力大学 吉林 吉林 132012)

(2. 华北电力大学 北京 100000)

**摘要:** 【目的】为研究微生物污垢在换热表面的沉积规律, 实验研究了交叉缩放椭圆管与光管的微生物污垢的沉积特性。【方法】实验以松花江水中分离纯化出的铁细菌为菌种, 利用污垢动态模拟试验系统, 采用对比的试验方法研究了铁细菌在工业运行环境下流速及水质参数的变化对表面污垢行程的影响。【结果】由于交叉缩放椭圆管的强化湍流作用, 使交叉缩放椭圆管内污垢沉积量小于光管; 水的流速越大, 换热管内铁细菌平均沉积量越小; 交叉缩放椭圆管内工质 pH、电导率随微生物污垢的沉积先升高、然后趋于平缓; 而二价铁离子含量、COD 值、溶解氧含量随微生物污垢的沉积逐渐下降。【结论】交叉缩放椭圆管的抗垢性能优于光管; 微生物污垢形成对冷却水水质参数的变化影响明显。

**关键词:** 微生物垢, 交叉缩放椭圆管, 污垢热阻, 水质参数

## Microbial fouling characteristics of the alternating elliptical axis tube

XU Zhi-Ming<sup>1</sup> HAO Zhan-Long<sup>1\*</sup> ZHANG Yi-Long<sup>2</sup> LIU Zuo-Dong<sup>2</sup>  
WANG Lei<sup>1</sup> WANG Jing-Tao<sup>1</sup>

(1. Northeast Dianli University, Jilin, Jilin 132012, China)

(2. North China Electric Power University, Beijing 100000, China)

**Abstract:** [Objective] For the study of the deposit pattern of the microbial fouling attaching on the surface of the heat exchanger, the deposit properties represented, respectively, through the alternating elliptical axis tube and pure tube were discussed by experiments. [Methods]

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 51076025)

\*通讯作者: ✉ haozhanlong1986@gmail.com

收稿日期: 2012-11-15; 接受日期: 2013-01-04

The scheme was framed by taking iron bacteria as the strain, which is refined and purified from the natural Songhua River. In this work, the fouling dynamic simulation system was invited, together with the contrast experiments mean, it helped to achieve the influence analyses of fouling formation preformed by iron bacteria with the change of the flow rate and variation of water quality parameters under the industrial environments. **[Results]** The results demonstrated that, due to the increasing the flow turbulence caused by the alternating elliptical axis tube, the fouling precipitation amount in the alternating elliptical axis tube was less than that in the pure tube; moreover, the higher the flow rate was, the lower of the average precipitation amount of iron bacteria in the heat exchanger tube was. In addition, two parameters, including working fluids' pH in the alternating elliptical axis tube and electrical conductivity, would increase first, and then tended to be stable; whilst the other parameters, involving the  $\text{Fe}^{2+}$ , COD, DO's content would show the decline tendency along with the accumulation of microbial fouling. **[Conclusion]** In general, the anti-fouling capacity of the alternating elliptical axis tube is superior to the pure tube, and the formation of the microbial fouling does have evident and remarkable effect on the water quality parameter of cooling water.

**Keywords:** Biological fouling, Alternating elliptical axis tube, Fouling resistance, Water quality parameter

换热设备是工农业生产和日常生活中广为使用的设备之一。据作者等调查<sup>[1]</sup>, 90%以上的换热设备都存在着不同程度的污垢问题。污垢的存在, 会使换热设备的传热能力降低, 并使介质流动阻力增大, 由此造成一系列的经济损失。作者等<sup>[2]</sup>曾经估算, 我国每年仅电站锅炉由于换热设备污垢导致的经济损失就达 100 亿元人民币。Müller-Steinhagen<sup>[3]</sup>的调查显示, 发达国家每年由于换热设备污垢造成的损失占 GDP 的 0.25%。因此, 换热设备污垢问题受到各国传热学界的广泛关注。解决换热设备污垢问题, 也成为改善生产、节约能源等方面亟需解决的问题。

微生物污垢是换热设备污垢的重要组成部分, 通常换热设备冷却水系统中的水温和 pH 值都适于多种微生物生长。因此, 国内外对于微生物污垢进行了一些研究: 例如, 刘天庆等<sup>[4]</sup>利用显微摄像装置对水系统中荧光假单胞菌微

生物污垢在不同材料表面上的动态过程进行了实验研究, 结果表明表面材料对微生物的亲性和性决定了生物污垢形成的难易。Powell<sup>[5]</sup>研究了材料表面性能对微生物污垢的影响, 结果显示海水中的微生物更容易附着在铝或钛等固体材料表面, 而不易于附着在铜合金材料表面。Pugh 等<sup>[6]</sup>认为, 细菌是形成微生物污垢的重要类群, 在适宜的条件下, 微生物大量生长繁殖, 会使污垢热阻急剧增加, 严重影响换热设备的正常运行, 造成停机故障。而且, 微生物污垢的存在对金属腐蚀的损失占金属总腐蚀损失的 10%左右<sup>[7]</sup>。因此, 认识微生物污垢的生成机理和污垢特性的变化规律, 具有重要的理论和实际意义。目前的研究大都集中在表面材料对微生物结垢影响, 对换热面微生物污垢传热性能分析的研究报道较少。交叉缩放椭圆换热管是根据对流换热强化场协同理论开发的强化换热元件, 对其强化换热性能已有一些研究报

道<sup>[8-12]</sup>,但目前对交叉缩放椭圆管这种新型强化换热元件的生物污垢特性研究尚少。本文对交叉缩放椭圆换热管内生物污垢形成过程进行了研究,并结合 pH、二价铁离子等多项冷却水水质参数对管内污垢热阻的影响进行了传热性能分析。

## 1 材料与方方法

### 1.1 铁细菌简介及培养

铁细菌是好氧菌,通常在溶解氧分压较低的缝隙、粘膜下生长,最佳生长温度约为 23 °C–30 °C,菌落大部分为灰白、红褐或深褐色絮状或粘胶状聚集物,用肉眼即可观察到。试验以松花江水中分离纯化出的铁细菌为菌种,并经过多次纯化转代接种筛选得到。分离纯化实验所用的铁细菌(Iron bacteria, IB)培养基<sup>[13]</sup>为(g/L): MgSO<sub>4</sub> 0.5, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5, K<sub>2</sub>HSO<sub>4</sub> 0.5, CaCl<sub>2</sub> 0.2, NaNO<sub>3</sub> 0.5, 柠檬酸铁铵 10.0。培养一定体积的铁细菌 OD<sub>600</sub> 到 0.5 左右。

### 1.2 实验管的材料、几何尺寸

由于具有良好的热传导性能和机械加工性能,铜和铜合金被列为空调制冷系统中金属换热管的首选材料。本实验采用的是铜材质交叉缩放椭圆换热管,如图 1 所示。该管由多个轴线相互交叉的椭圆形截面管段和部分光滑圆形截面管段组成。相邻管段之间存在过渡段。其结构如图 2 所示,试验中用的交叉缩放椭圆换热

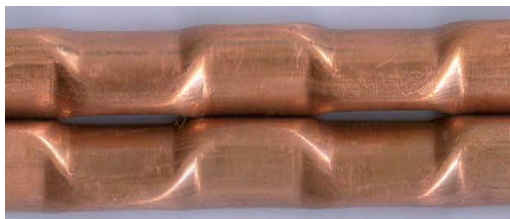


图 1 交叉缩放椭圆管实图

Fig. 1 The actual figure of alternating elliptical axis tube

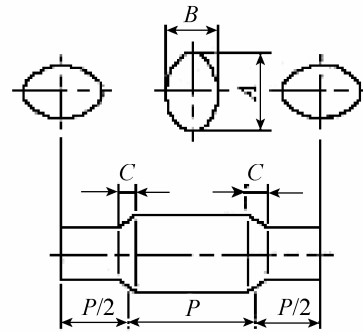


图 2 结构尺寸

Fig. 2 Structure size

管的尺寸为: A=28.5 mm, B=20.8 mm, C=10 mm, P=40 mm, 材质是紫铜, 基管尺寸为  $\phi 20 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$ 。对比试验为紫铜材质光管。

### 1.3 实验系统及装置

实验系统如图 3 所示,加入铁细菌的循环冷却水在重力作用下由高位水箱流经实验管路进行换热,然后进入低位水箱,循环水经空冷换热器冷却后由泵打入高位水箱,如此往复循环。实验测试段为长度 2.23 m 的铜管。两实验管段都有 3 个 T 型热电偶测量壁温,管子的出、入口温度及水浴温度分别由 Pt100 热电阻来测量,精度为  $\pm 0.15 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。流量信号是用人工称重法来测量的,所有测量信号都经由传输电缆通过数据采集卡送入计算机进行储存和处理。系统自动化程度较高,可实现无人值守。

### 1.4 实验原理

采用污垢热阻法<sup>[14]</sup>计算污垢热阻值:

$$R_f = \frac{1}{K} - \frac{1}{K_0} \quad (1)$$

式中,  $K_0$ 、 $K$  为结垢前后的传热系数,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;  $R_f$  为污垢热阻,  $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ 。

$$K = \frac{\phi}{A \Delta t_m} = \frac{q_{ml} c_p (t_2'' - t_2')}{A \Delta t_m} \quad (2)$$

式中,  $A$  为换热器换热面积,  $\text{m}^2$ ;  $\Delta t_m$  为对数平均温差,  $^\circ\text{C}$ ;  $q_{ml}$  为溶液质量流量,  $\text{kg/s}$ ;  $c_p$

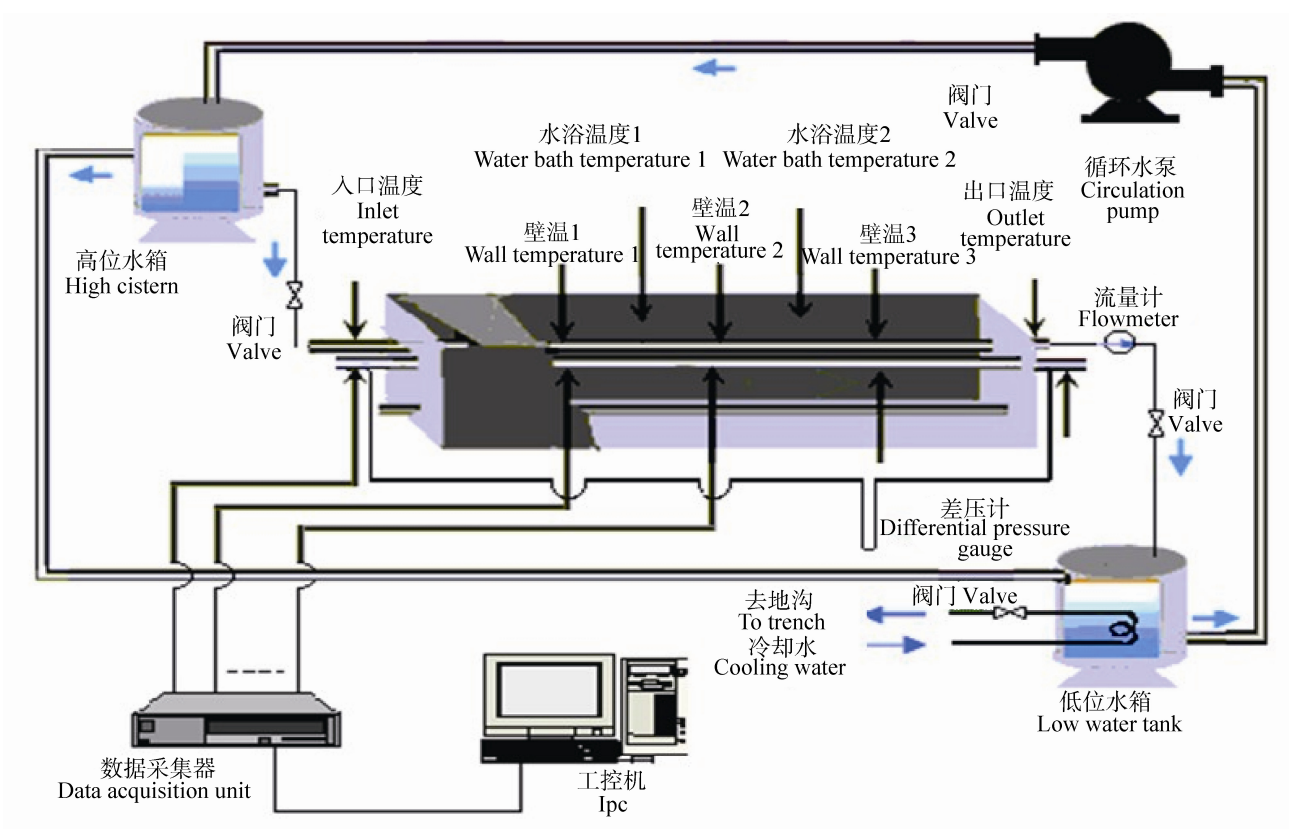


图 3 实验系统示意图  
Fig. 3 Schematic diagram of experimental setup

为定压比热,  $J/(kg \cdot K)$ ;  $t'_2$ 、 $t''_2$  为溶液进、出口温度,  $^{\circ}C$ 。通过测量溶液和热水的流量及进出口温度便可计算出污垢热阻  $R_f$  的值。

2 结果与分析

2.1 交叉缩放椭圆管与光管污垢特性对比

图 4 为交叉缩放椭圆管与光管管壁污垢热阻随时间变化对比关系曲线。其中, 管内的工质流速  $0.3\text{ m/s}$ , 按加菌量为总用水体积(150 L)的 1% 加入到动态模拟实验装置中, 实验用水为自来水, 水温  $30\text{ }^{\circ}C$  左右, 热源为  $50\text{ }^{\circ}C$  左右。由图 4 可知, 前 2 天光管与交叉缩放椭圆换热管的污垢热阻的变化趋势大致相同。2 d 后光管的污垢热阻渐近值大约是交叉缩放椭圆换热管的 2 倍。这是因为交叉缩放椭圆换热管的截面

为椭圆形, 在压力作用下发生弹性形变, 使污垢在管内易脱落; 此外, 椭圆管道交错布置, 二次流和纵向涡流作用使循环水在管道内更不易结垢。因此交叉缩放椭圆管在抗垢性能方面优于光管。

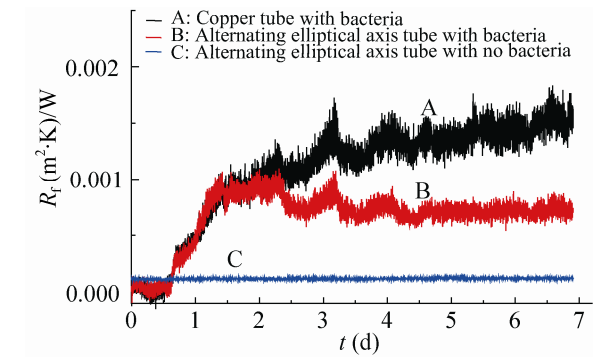


图 4  $0.3\text{ m/s}$  时的污垢热阻比较  
Fig. 4 Comparison of fouling characteristics at  $0.3\text{ m/s}$

## 2.2 交叉缩放椭圆管内工质不同流速的污垢特性对比

图 5 为交叉缩放椭圆管在流速为 0.3 m/s 和 0.46 m/s 的污垢热阻随时间变化曲线。由图 5 可知, 流速对管内污垢沉积的影响明显。在其它条件相同的情况下(流体进口温度相同、外界水浴温度相同, 加菌量的体积比相同), 流速为 0.3 m/s 的污垢热阻渐进值明显高于流速为 0.46 m/s 的污垢热阻渐进值。流体速度对于污垢形成的影响, 是由对污垢沉积的影响和剥蚀的影响构成的。流速对污垢沉积的影响体现在流速的增大, 加强了传质, 更多的细胞结构被输送到壁面。细菌代谢产生更多的黏液, 黏液层能使许多细菌结在一起形成菌胶团。有利于生物垢向加热表面传递。流速对剥蚀过程的影响主要表现在壁面剪切力和垢层强度上, 流速越大, 壁面剪切力越大, 污垢层强度越小, 污垢易剥落, 污垢渐进值小且时间长。由图 5 知流速增大对污垢剥蚀的影响大于污垢沉积的影响。总体来说, 流速越大, 铁细菌形成的微生物污垢越难沉积。

## 2.3 水质参数对交叉缩放椭圆管中冷却水污垢特性的影响分析

研究了电导率、pH、溶解氧、二价铁离子和化学耗氧量(COD)等参数对污垢形成的影

响。各水质参数分析方法参照水和废水监测分析方法<sup>[15]</sup>。

**2.3.1 pH 随时间变化关系:** 如图 6 所示, 循环冷却水 pH 随时间呈一定变化规律。在有铁细菌存在的铜材质交叉缩放椭圆管中, 初始阶段 pH 呈升高趋势, 而后略有降低, 之后趋于平稳。实验条件下前 3 天内细菌通过自身不断“调试”, 使自身细胞质 pH 和外部环境 pH 适宜酶促反应的发生, 使之达到最佳生存环境。前 3 天内 pH 不断升高, 第 3 天 pH 达到最高点。细菌内酶促反应速率变快的同时, 二价铁的氧化速率变快, 铁细菌及其代谢产物附着在管壁影响换热。由表 1 和图 4 可知此时间内细菌总数增多, 交叉缩放椭圆管管壁污垢热阻变大。3 d 后细胞新陈代谢产生大量二氧化碳和其他酸性代谢产物导致 pH 降低。故实验进行 3~5 d 时间内 pH 值下降。5 d 后细菌繁殖到一定数量后由于缺乏营养物质而导致部分死亡, 细菌代谢产物变少, 不足以对整个系统构成影响, 所以 pH 变化不大。对比图 4 可知此时间内污垢热阻趋于稳定。污垢热阻变化与 pH 对细菌的生存环境影响有关。而未加菌管中由于受热及曝气, 二氧化碳从水中逸出, pH 略有变大, 导致曲线 B 略有升高。

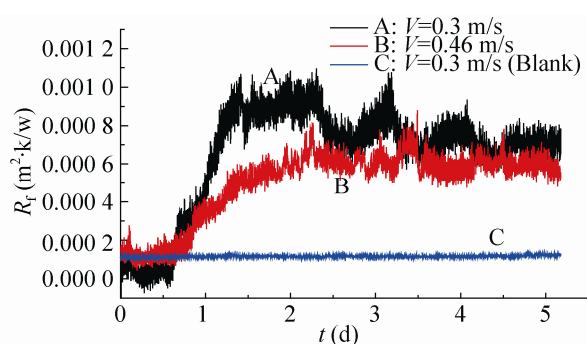


图 5 在不同流速下的污垢热阻比较

Fig. 5 Comparison of fouling resistance under different flow rate

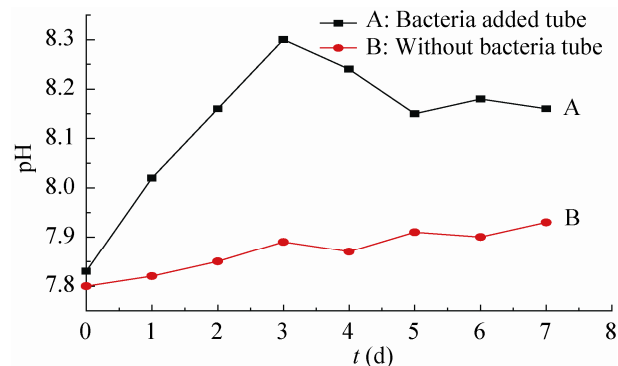


图 6 pH 与时间的关系曲线

Fig. 6 pH versus time

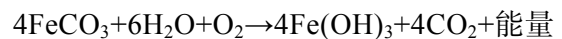
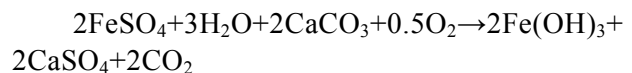


**2.3.2  $\text{Fe}^{2+}$ 含量随时间变化关系:** 图 7 为循环冷却水  $\text{Fe}^{2+}$  含量与时间的关系。由图 7 可知  $\text{Fe}^{2+}$  含量在有铁细菌存在的交叉缩放椭圆管中下降速率比未加菌管大, 由于试验系统与空气充分接触,  $\text{Fe}^{2+}$  被空气中氧气氧化成  $\text{Fe}^{3+}$ , 因此未加菌管中  $\text{Fe}^{2+}$  浓度会降低。曲线 B 呈下降趋势。 $\text{Fe}^{2+}$  是水中铁细菌的营养源。铁细菌在水中能使亚铁化合物氧化, 并使之生成三价的氢氧化铁沉淀。因此, 加菌的交叉缩放椭圆管  $\text{Fe}^{2+}$  含量比未加菌的下降速率大得多。第 2 天至第 3 天  $\text{Fe}^{2+}$  含量下降速率最大, 说明此时间内细菌繁殖速率最快, 这与表 1 细菌总数变化情况相吻合。且  $\text{Fe}^{2+}$  与磷酸根离子结合形成的磷酸亚铁是粘着性很强的污垢。由图 4 知此时段污垢热阻有明显增长。4 d 后  $\text{Fe}^{2+}$  含量几乎为零。铁细菌无营养源, 繁殖几乎停止。前 3 天内  $\text{Fe}^{2+}$  含量下降, 污垢热阻升高; 3 d 后  $\text{Fe}^{2+}$  含量较少, 污垢热阻基本保持不变。所以  $\text{Fe}^{2+}$  含量变化对污垢热阻有关联影响。

**2.3.3 COD 值随时间变化关系:** 图 8 为循环冷却水中 COD 值与时间的关系。初始阶段加菌管 COD 含量比未加菌管 COD 含量大得多是因为实验初始阶段向系统中添加细菌所需的营养物质所致。由图 8 可知前 4 天内试验系统中 COD 含量

下降程度较大。4 d 后趋于平稳, 而加菌管中 COD 含量几乎无变化。原因为前 4 天细菌繁殖处于迟缓期、对数期及稳定期。迟缓期细菌合成各种酶、辅酶及中间代谢产物。对数期细菌则以几何级数恒定快速增殖, 消耗氮源和碳源, 系统中营养源快速消耗, 所以 COD 含量下降程度较大。4 d 后细菌生长繁殖处在衰亡期, 细菌繁殖速度减慢或停止, 菌数下降, 死菌数超过活菌数, 代谢活动停滞。交叉缩放椭圆管中 COD 变化较大是因为铁细菌生长繁殖及代谢导致。对比图 4 与图 8, 循环冷却水中 COD 值下降时区内污垢热阻值增加, COD 值不变时污垢热阻值趋于稳定。所以研究循环冷却水内 COD 值对研究污垢热阻有重要意义。

**2.3.4 溶解氧含量随时间变化关系:** 图 9 为循环冷却水中溶解氧与时间的关系, 随着实验的进行, 加菌管溶解氧呈降低趋势。无菌管溶解氧随时间含量变化差别不大。由于铁细菌为好氧菌。铁细菌按下式进行生物氧化反应:



如图 9 所示, 前 3 天铁细菌在管内大量繁殖, 其生长繁殖需要氧气, 溶解氧含量下降是因

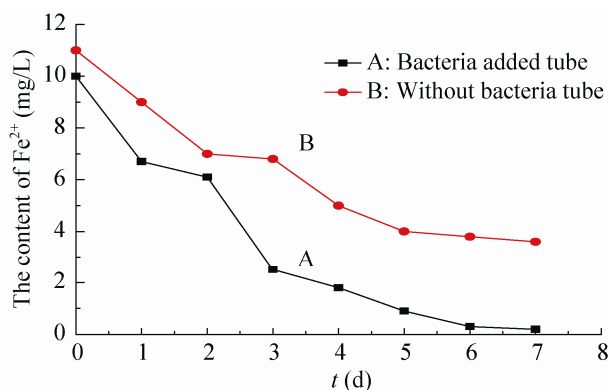


图 7  $\text{Fe}^{2+}$  含量与时间的关系曲线

Fig. 7 The content of  $\text{Fe}^{2+}$  versus time

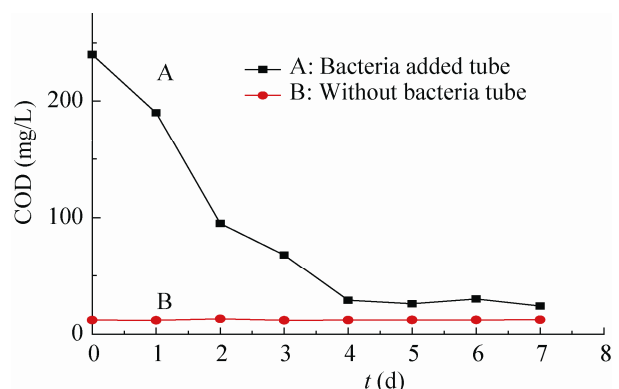


图 8 COD 值与时间的关系曲线

Fig. 8 COD versus time

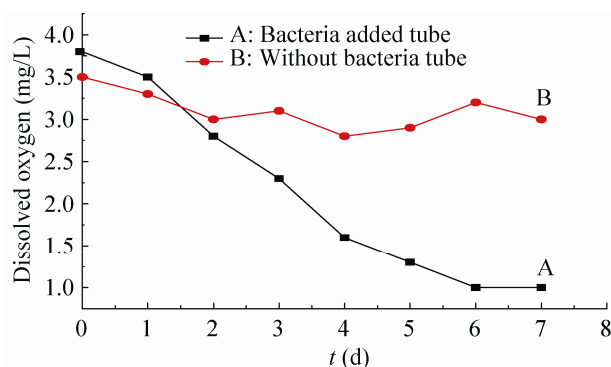


图9 溶解氧与时间的关系曲线

Fig. 9 Dissolved oxygen versus time

为铁细菌氧化反应耗氧。3-4 d 之间由于细菌数量多, 溶解氧需求量大, 因此溶解氧下降速率依然很大。4 d 后, 菌体大量死亡。溶解氧含量几乎为零且保持不变。水质中溶解氧含量与污垢形成有关联影响。

**2.3.5 电导率随时间变化关系:** 图 10 为电导率随时间的变化曲线。电导率反映水中电解质的总含量, 细菌数量变大也会导致电导率升高。

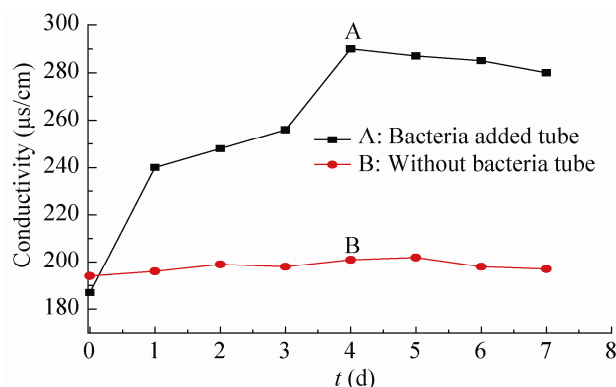


图10 电导率与时间的关系曲线

Fig. 10 Conductivity versus time

如图 10 所示, 加菌管前 3 天内细菌总数增加使电导率升高, 同时在细菌的代谢过程中, 产生大量  $\text{CO}_2$ , 水中  $\text{CO}_2$  含量升高促使电导率维持在较高水平。测量曲线表明 4 d 后电导率基本保持不变, 说明细菌生长过程中水中无机盐类基本保持动态平衡。而未加菌管电导率几乎不变。

**2.3.6 细菌总数变化:** 对于生物污垢形成, 细菌总数是一个重要的测量参数。表 1 为测量动态模拟水系统及实验结束后管内污垢黏泥细菌总数变化。由表 1 可知试验系统内铁细菌总数随时间先急剧增加, 之后呈降低趋势。主要因为前段时间系统内营养源丰富, 细菌在对数期以指数级增长。随着细菌吸附到管壁, 细菌分泌胞外聚合物、营养物质的减少和水质 pH 变化, 会减缓细菌总数的增长。细菌生长进入衰亡期, 菌数下降。因此认为生物黏泥主要成分为细菌菌体。对管道黏泥分析发现其中含有大量细菌证实这一点。循环水系统中细菌总数与微生物污垢的形成有着紧密联系。细菌总数变化与污垢热阻随时间的变化趋势大致相同。

**2.3.7 换热表面的扫描电镜观察:** 在管口取整片干燥的垢层黏泥进行 SEM 观察。

如图 11、12 所示, 铁细菌形成的生物污垢以不规则的形状堆积在换热面上, 污垢中夹杂着难溶盐析出产生的析晶污垢。污垢生长、脱落交替进行, 显示各处厚度不同。因循环水系统中添加了 1% 的铁细菌, 其中难溶盐含量较少, 故垢层多为不规则形状的生物污垢。铁细菌黏附在壁面上吸附生长。分泌的代谢产物使单个

表 1 细菌总数随时间变化  
Table 1 Total bacterial versus time (CFU/mL)

Running time	The first day	The third day	The fifth day	The seventh day	The end of the experiment (biological slime)
Bacteria added	$5.2 \times 10^6$	$4.3 \times 10^8$	$4.7 \times 10^7$	$7.8 \times 10^6$	$6.5 \times 10^6$
Without bacteria tube	$3.5 \times 10^3$	$3.8 \times 10^3$	$3.6 \times 10^3$	$3.3 \times 10^3$	0

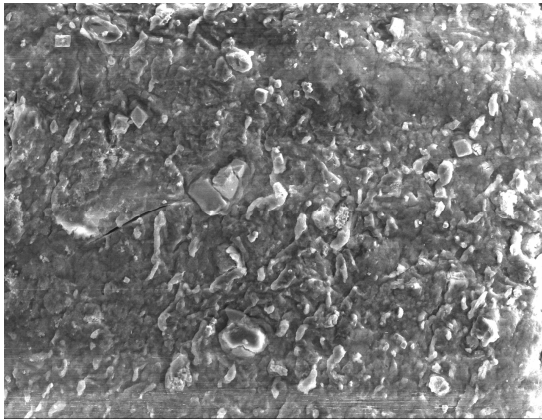


图 11 生物黏泥倍扫描电镜图片(500×)

Fig. 11 The SEM image of biological slime (500×)

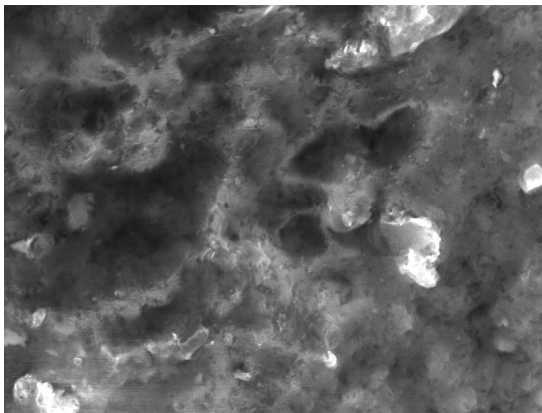


图 12 生物黏泥倍扫描电镜图片(2 000×)

Fig. 12 The SEM image of biological slime (2 000×)

细菌或细菌团簇之间粘连,同时吸附一些难溶盐析晶污垢。它们固化在换热表面上从而形成了生物污垢。

### 3 结论

(1) 在流速为 0.3 m/s 时,交叉缩放椭圆管的结垢速度比光管要慢,且污垢热阻渐近值比光管要低,换热性能要明显优于光管;流速越大,结垢量越小。

(2) 循环冷却水内的水质参数变化和铁细菌的繁殖代谢,对换热管内的污垢形成有明显影响。交叉缩放椭圆管内工质的二价铁离子含

量随时间延长而逐渐下降,后期几乎为零;COD 值在前 4 天内急剧下降,然后基本稳定;二价铁离子、COD 值作为铁细菌的营养源会影响铁细菌的生长繁殖,同时铁细菌的生长繁殖又会影响污垢的形成。管内工质的 pH 值随时间延长而逐渐升高,然后趋于平缓;溶解氧含量在实验期间是逐渐下降的;电导率随时间延长而逐渐上升,然后稳定在较高水平;pH、溶解氧含量、电导率的变化均反映微生物生存环境的变化;多种因素相互关联而共同影响微生物污垢在铜管内表面的生成,从而影响到换热性能。

(3) 铁细菌会在铜管内表面形成结垢,该生物污垢以不规则的形状堆积在换热面上。

### 参考文献

- [1] 杨善让,徐志明,孙灵芳. 换热设备的污垢与对策[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1-2.
- [2] 徐志明,杨善让,郭淑青,等. 电站锅炉污垢费用估算[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(2): 196-199.
- [3] Müller-Steinhagen H. Heat exchanger fouling[M]. Munich, Germany: Publico Publications, 2000: 34-39.
- [4] 刘天庆,李香琴,于瑞红,等. 表面材料性质对生物垢形成过程的影响[J]. 大连理工大学学报, 2002, 42(2): 173-180.
- [5] Powell CA. Preventing biofouling with copper-nickel alloys[J]. Mater World, 1994, 2(4): 181-183.
- [6] Pugh SJ, Hewitt GF, Muller-Steinhagen H. Fouling during the use of 'fresh' water as coolant-the development of a 'user guide'[C]. ECI International Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning-VII, Tomar, Portugal. 2007: 1-6.
- [7] 张学元,王凤萍,杜元龙,等. 石油工业中的细菌腐蚀和防护[J]. 石油和天然气化工, 1999, 28(1): 53-56.
- [8] 过增元,黄素逸. 场协同原理与强化传热新技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004: 45-48.
- [9] 徐志明,张仲彬,詹海波,等. 缩放管混合污垢



- 特性的实验研究[J]. 工程热物理学报, 2008(02): 320-322.
- [10] 张仲彬, 李兴灿, 郭进生, 等. 交叉缩放椭圆管  $\text{CaCO}_3$  污垢特性的实验研究[J]. 工程热物理学报, 2011, 32(9): 1564-1566.
- [11] 黄维军, 邓先和, 周水洪. 缩放管强化传热机理分析[J]. 流体机械, 2006, 34(2): 76-79, 71.
- [12] 孟继安, 陈泽敬, 李志信, 等. 交叉缩放椭圆管换热与流阻实验研究及分析[J]. 工程热物理学报, 2004, 25(5): 813-815.
- [13] 中华人民共和国国家标准 GB/T 14642.6-93. 工业循环冷却水中铁细菌的测定[S]. 国家技术监督局, 1993-08-06批准.
- [14] 杨世铭, 陶文铨. 传热学[M]. 第4版. 北京: 高等教育出版社, 2006: 14-16.
- [15] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 国家环境科学出版社, 2003: 201-271.

## 征 稿 简 则

### 1 刊物简介与栏目设置

《微生物学通报》是由中国科学院微生物研究所和中国微生物学会主办的, 以微生物学应用基础研究及技术创新与应用为主的综合性学术期刊。刊登内容包括: 工业微生物学、海洋微生物学、环境微生物学、基础微生物学、农业微生物学、食品微生物学、兽医微生物学、药物微生物学、医学微生物学、病毒学、酶工程、发酵工程、代谢工程等领域的最新研究成果, 产业化新技术和新进展, 以及微生物学教学研究和改革等。设置的栏目有: 研究报告、专论与综述、生物实验室、高校教改纵横、名课讲堂、教学与科研成果展示、显微世界、专题专栏、专家论坛、书讯、会讯等。

### 2 投稿方式

投稿时请登陆我刊主页 <http://journals.im.ac.cn/wwxtbcn>, 点击作者投稿区, 第一次投稿请先注册, 获得用户名和密码, 然后依照提示提交稿件, 详见主页“投稿须知”。

作者必须在网站投.doc(x)格式的电子稿, 凡不符合(投稿须知)要求的文稿, 本部恕不受理。

### 3 写作要求

来稿要求论点明确, 数据可靠, 简明通顺, 重点突出。

#### 3.1 图表

文中的图表须清晰简明, 文字叙述应避免与图表重复。所有小图的宽度应小于 8 cm (占半栏), 大图的宽度应小于 17 cm (通栏)。

#### 3.2 参考文献及脚注

参考文献按文内引用的先后顺序排序编码, 未公开发表的资料请勿引用。我刊的参考文献需要注明著者(文献作者不超过 3 人时全部列出, 多于 3 人时列出前 3 人, 后加“等”或“et al.”, 作者姓前、名后, 名字之间用逗号隔开)、文献名、刊名、年卷期及页码。国外期刊名必须写完整, 不用缩写, 不用斜体。参考文献数量不限。

参考文献格式举例:

期刊: [1] 刘杰, 成子强, 史宣玲. SARS 冠状病毒 *nsP14* 基因的克隆和表达[J]. 微生物学通报, 2007, 34(2): 1-3.

[2] Kajiura H, Mori K, Tobimatsu T, et al. Characterization and mechanism of action of a reactivating factor for adenosylcobalamin-dependent glycerol dehydratase[J]. Journal of Biological Chemistry, 2001, 276(39): 36514-36519.

图书: [3] 钱存柔, 黄仪秀. 微生物实验教程[M]. 北京: 北京大学出版社, 2000: 4.

[4] 董志扬, 张树政, 方宣钧, 等. 海藻的生物合成及抗逆机理//华路等. 核农学进展[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 115-120.

脚注(正文首页下方):

基金项目: 基金项目(No. )

\*通讯作者: Tel: ; Fax: ; E-mail:

收稿日期: 2014-00-00; 接受日期: 2014-00-00

(下转 p.1995)