

模拟配水管网中管材和余氯对生物膜形成的影响

张向谊,刘文君*,高圣华,张琳 (清华大学环境科学与工程系,北京 100084)

摘要:以环状生物膜挂片反应器(BAR)模拟实际管网,研究了有氯、无氯2种原水情况下,镀锌钢、铸铁、不锈钢、PE、UPVC 5种管材上细菌的生长规律.结果表明,单位面积最大细菌数,镀锌钢>铸铁>UPVC>不锈钢>PE;在无氯原水的试验中,达到单位面积最大细菌数所需天数,镀锌钢>(铸铁、不锈钢)>UPVC,PE管上细菌没有较大增加.加氯可控制镀锌钢、PE、UPVC上细菌的生长速度,此外,3种金属管材会发生锈蚀,引起水浊度、色度上升;PE是防止微生物在管壁生长最理想的管材;不锈钢则是值得选择的金属材料.

关键词:环状生物膜挂片反应器(BAR);生物膜;金属管材;塑料管材;余氯

中图分类号: X172 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2006)03-0303-04

The influence of pipe materials and residual chlorine in the stimulant water distribution pipe net on the biofilm formation. ZHANG Xiang-yi, LIU Wen-jun*, GAO Sheng-hua, ZHANG Lin (Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China). *China Environmental Science*, 2006,26(3): 303~306

Abstract: The growth of the bacteria on 5 kinds of pipe material of galvanized steel, casting iron, stainless steel, PE and UPVC were studied using BAR reactor stimulant real pipe net under the conditions of 2 kinds of crude water with or without chlorine residuals. Comparing the greatest of bacteria's number per unit area, galvanized steel> casting iron> UPVC> stainless steel> PE; comparing the needed days, galvanized steel> casting iron, stainless steel> UPVC, without greater increase of PE pipe. 3 kinds of metabolic pipe material could be stained, causing enhancement of water turbidity and color degree. PE was the ideal pipe material for preventing the growth of microbe, stainless steel was the metallic material meriting selection. Chlorine addition could control the rate of the bacteria growth, but did not influence the greatest number of bacteria on the same kind of pipe material. Chlorine did not influence greatly the growth of bacteria in metallic pipe material.

Key words: biofilm annular reactor (BAR); biofilm; metallic pipe materials; plastic pipe materials; residual chlorine

配水系统中广泛存在生物膜,而且构成生物膜的菌种里存在条件致病菌^[1-3].即使常规管网水取样中未检出细菌和大肠杆菌,实际上管网水仍存在一定的微生物学风险^[4].因此,了解管网管壁生物膜的形成原因以及生物膜形成的影响因素,是控制和减少生物膜生成的前提.

配水管网是一个封闭的系统,难以随时监控其中生物膜生长的情况.环状生物膜挂片反应器(BAR)是一种新型模拟配水管网装置,目前,各国科学家已利用BAR进行了生物量测定、微生物细胞剥离方法、生物膜形态结构、生物可同化有机碳(AOC)和生物可降解溶解性有机碳(BDOC)与生物膜生物量的相关性等多种研究^[5-8].本试验选用BAR模拟实际管网进行生物膜培养,研究不同管材和水中有无余氯对生物膜形成的影响.

1 材料与方法

1.1 试验装置

用2台BAR反应器模拟实际管网中生物膜的形成过程,一台为目前国内唯一的美国原装产品,型号为1120/1320 LJ,有效容积3.2L;另一台是深圳水务集团的仿制产品,规格、特性与进口产品相同.由于体积小,可以放置在不同地点,并可以控制温度、营养等外界条件进行试验.

图1为BAR侧面透视图和剖面图.主要由反应罐、转子、挂片、电机和进出水口组成,转子上挂有挂片以提供生物膜附着生长的表面.转子

收稿日期: 2005-08-17

基金项目: 国家“863”项目(2002AA601120)

* 责任作者, 副教授, wjliu@mail.tsinghua.edu.cn

在电机的驱动下旋转,挂片与水体的交界面间产生剪切力,可模拟管网中的水力条件,剪切力大小可通过调节电机转速控制。

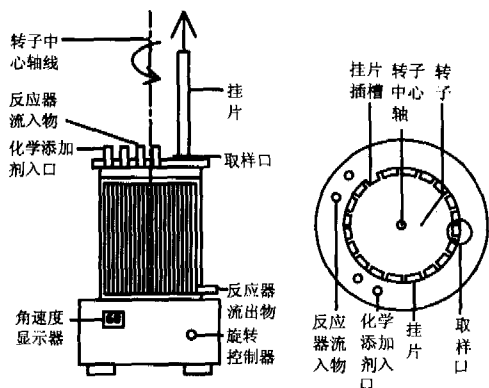


图1 BAR 示意

Fig.1 Sketch map of BAR

将所研究的管材制成挂片装入中心转子的插槽中,通入水,调整转子转速,控制模拟管网的管径和水流流速,进行生物膜相应特性的研究。

1.2 原水水质

试验在深圳市大冲水厂中试试验基地进行。原装 BAR(BAR 原)以水厂实际生产运行砂滤后的水为原水,水中无氯;仿制BAR(BAR 仿)以出厂水为原水,水中有氯,分别模拟生物膜在配水管网中的生长过程。表1 滤后水和出厂水的水质情况。

表1 深圳市大冲水厂滤后水和出厂水水质
Table 1 Water quality of effluent of filtrating and the final effluent of Dachong water works in Shenzhen

项目	BAR 进水 (滤后)	BAR 出水 (滤后)	BAR 进水 (出厂)	BAR 出水 (出厂)
浊度(NTU)	-	-	0.55	0.55
余氯(mg/L)	-	-	0.45	0.45
			0.57	0.57
细菌总数(个/mL)	210	5400	-	-
总大肠菌数(个/L)	0	0	-	-
AOC(μg 乙酸碳/L)	127	274	-	-
总碱度(mg/L)	30.8	33.9	-	-
总硬度(mg/L)	48	50	-	-

注:出厂水在 BAR 中停留时间仅为 1min 左右,所以认为 BAR 出水(出厂)与 BAR 进水(出厂)相同;“余氯”一项中,前一个数值为游离氯浓度,后一个数值为总氯浓度;—为未检测

1.3 试验方法

1.3.1 选择挂片材料 试验所用挂片是根据深圳市配水管网中实际使用的管材情况自制而成的,未使用原装挂片,包括镀锌钢、铸铁、不锈钢、聚乙烯(PE)和硬质聚氯乙烯(UPVC)。

1.3.2 计算转子转速 模拟直径 50mm 的配水管网中 0.3m/s 左右的水流速度,计算得到转子角速度显示值为“137”。

1.3.3 确定试验周期 每台 BAR 运行 2 个周期,研究镀锌钢挂片上生物膜生长规律的周期,从第 10d 起,BAR 原,BAR 仿分别每 3,5d 取一片挂片进行异养菌平板计数(HPC)试验。研究其他管材上生物膜生长规律,BAR 原,BAR 仿分别从第 13, 10d 起,每 5d 取不同材料的挂片各一片进行 HPC 试验。

1.3.4 HPC 试验 超声振荡将挂片上的细菌振入无菌超纯水中^[9],水样梯度稀释后进行 HPC 测定^[10],计算挂片上的细菌总数,与挂片表面积相比得到单位面积细菌数。操作均在无菌条件下进行。采用平板计数琼脂(PCA)。滤后水、镀锌钢挂片的 HPC 试验同时采用营养琼脂(NA)进行对照。

2 结果与讨论

2.1 以滤后水为原水的试验结果

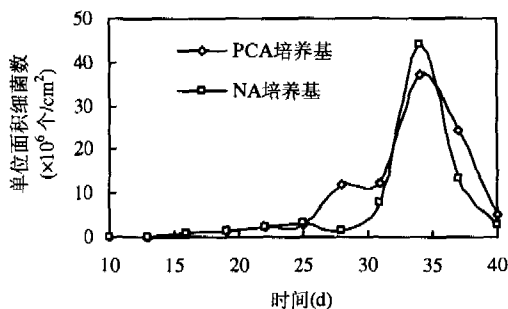


图2 滤后水镀锌钢挂片上细菌的生长曲线

Fig.2 Curve of bacterial growth in effluent of filtrating on galvanized steel

以滤后水为原水,考察镀锌钢挂片上生物膜生长规律。试验条件为流量 1.5L/h,水力停留时间约 2h。试验中镀锌钢挂片快速锈蚀,BAR 中的水

变成红色,运行后期,挂片上的生物膜开始脱落.细菌在 PCA 和 NA 培养基的生长曲线见图 2.由图 2 可见,细菌在 2 种培养基上的生长曲线基本一致,后期试验均采用 PCA 培养基进行.

以滤后水为原水,考察铸铁、不锈钢、PE、UPVC 挂片上生物膜生长规律.试验条件为流量 155L/h,水力停留时间约 74s.试验中铸铁和不锈钢挂片快速锈蚀,BAR 中的水变成红色.细菌在 PCA 培养基的生长曲线如图 3 所示.

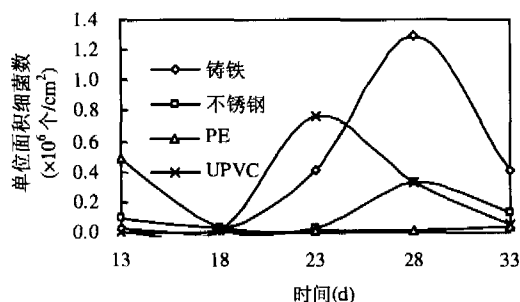


图3 滤后水不同管材挂片上细菌的生长曲线

Fig.3 Curve of bacterial growth in effluent of filtrating on various pipe materials

2.2 以出厂水为原水的试验结果

以出厂水为原水,考察镀锌钢挂片上生物膜生长规律.试验条件为流量 175L/h,水力停留时间约 66s.试验中镀锌钢挂片快速锈蚀,因水流流量大,BAR 中的水没有完全变成红色.细菌在 PCA 培养基的生长曲线如图 4 所示.

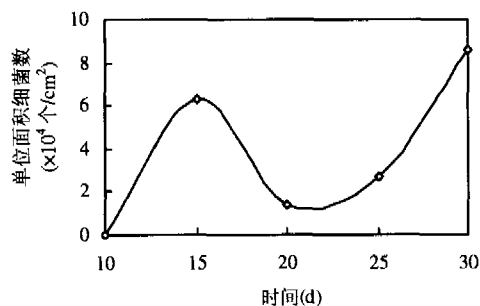


图4 出厂水镀锌钢挂片上细菌的生长曲线

Fig.4 Curve of bacterial growth in final effluent of filtrating on galvanized steel

以出厂水为原水,考察铸铁、不锈钢、PE、UPVC 挂片上生物膜生长规律的试验条件为流量 175L/h,水力停留时间约 66s.试验中铸铁和不锈钢挂片快速锈蚀,细菌在 PCA 培养基的生长曲线如图 5 所示.

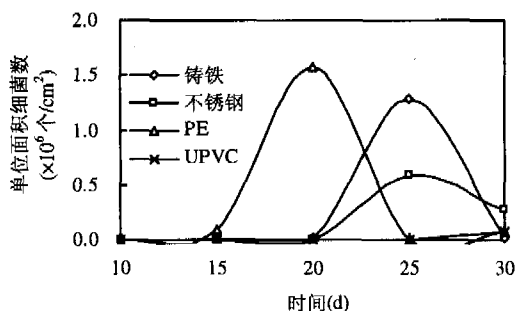


图5 出厂水不同管材挂片上细菌的生长曲线

Fig.5 Curve of bacterial growth in final effluent of filtrating on various pipe materials

2.3 讨论

以滤后水和出厂水为原水,3 种金属挂片均快速锈蚀,镀锌钢、铸铁形成红色氧化物,不锈钢形成黑色氧化物,PE 和 UPVC 2 种塑料挂片非常干净,未引起水的色度、浊度上升.

以滤后水为原水,细菌在镀锌钢挂片上生长 34d 左右达到最大值,单位面积细菌数量级为 10^7 ,之后由于生物膜脱落,水变浑浊,镀锌钢挂片上单位面积细菌数降低,单位面积细菌数依次为镀锌钢>铸铁>UPVC>不锈钢>PE.

以出厂水为原水,细菌在镀锌钢挂片上生长 30d,单位面积细菌数量级仅在 10^4 ,远小于同期以滤后水为原水的细菌数.图 4 中曲线在 15d 左右达到一个峰值,之后有所下降又继续上升,30d 细菌仍未达到最大值,原因可能是受水力因素影响,各时期数据均在同一数量级,差别不大.

由图 5 中可见,UPVC 挂片上的细菌生长比较稳定,30d 仍未达到最大值;细菌在 PE 挂片上第 20d 的生长数据疑为不准确数据,去掉该数据可发现,PE 挂片和 UPVC 挂片的生长曲线比较相似,细菌数略低于 UPVC 挂片;铸铁、不锈钢挂片

上的细菌总数从第 26d 左右开始有所下降。

铸铁、不锈钢 2 种金属挂片在出厂水,滤后水中最大细菌总数和到达最大细菌总数所需天数比较一致,分别为 26,28d 左右;出厂水为原水,铸铁挂片上细菌数下降幅度比以滤后水为原水的细菌总数下降幅度大,不锈钢挂片基本一致,镀锌钢和 2 种塑料挂片上细菌生长较慢,在本试验周期内未达到最大值。这一现象与其他研究者使用管道模拟系统考察管材所得到的结论一致^[11-13],对 2 种不同型号不锈钢、聚氯乙烯和聚丙烯等管材表面形成的生物膜特性进行研究,在 4~8 个月的时间里,光滑壁面与粗糙壁面的管材中微生物的数量有着显著差别,12 个月以后差别不显著。由于本试验部分周期采用了无氯水作为研究对象,大大缩短了细菌生长所需要的时间,细菌在不同材料的挂片上生长,都有达到最大值然后脱落的趋势,如果运行更长的时间,当挂片上细菌数量稳定的时候,也许可以看到不同管材上的细菌数量差别不大,这有待进一步的试验论证。

3 结论

3.1 使用 BAR 反应器,对有氯、无氯 2 种原水下,镀锌钢、铸铁、不锈钢、PE、UPVC 5 种管材上细菌生长情况进行了研究。5 种管材按单位面积最大细菌数,镀锌钢>铸铁>UPVC>不锈钢>PE;以滤后水为原水,达到单位面积最大细菌数所需天数,镀锌钢>(铸铁、不锈钢)>UPVC,PE 管上细菌没有较大增加。3 种金属管材会发生锈蚀,引起水浊度、色度上升。PE 是最为理想的管材;不锈钢则是值得选择的金属材料。

3.2 加氯可以控制细菌在镀锌钢、PE 和 UPVC 管材上的生长速度,对不锈钢和铸铁 2 种金属管材上的细菌生长影响不大。加氯不影响同种管材上的最大细菌数。

参考文献:

[1] Kalmbach S, Manz W, Bendinger B, *et al.* In situ probing reveals aquabacterium commune as a widespread and highly abundant bacterial species in drinking water biofilms [J]. *Wat. Res.*, 2000,

34(2):575-581.
 [2] 贺北平. 水中有有机物特性与饮用水净化工艺相关性的研究 [D]. 北京:清华大学环境科学与工程系,1996.
 [3] Macdonald R, Brozel V S. Community analysis of bacterial biofilms in a simulated recirculating cooling-water system by fluorescent in situ hybridization with RNA-targeted oligonucleotide probes [J]. *Wat. Res.*, 2000,34(9):2439-2446.
 [4] 张向谊,潘虹,刘文君,等. 某市给水管网管壁中微生物生长特性研究 [J]. *给水排水*, 2005,40(10):1-6.
 [5] 鲁巍,唐峰,张晓健,等. 研究供水管壁生物膜的模拟系统 [J]. *中国给水排水*, 2005,21(1):22-24.
 [6] Gagnon G A, Slawson R M. An efficient biofilm removal method for bacterial cells exposed to drinking water [J]. *J. Microbiological Methods*, 1999,34:203-224.
 [7] Lawrence J R, Swerhone G D W, Neu T R. A simple rotating annular reactor for replicated biofilm studies [J]. *J. Microbiology Methods*, 2000,42:215-224.
 [8] Sharp R R, Camper A K, Crippen J J, *et al.* Evaluation of drinking water biostability using biofilm methods [J]. *J. Environ. Eng.*, 2001,(5):403-410.
 [9] 李爽,张晓建. 给水管壁生物膜的生长发育及其影响因素 [J]. *中国给水排水*, 2003,19(13):49-52.
 [10] Cater J T, Rice E W, Buchberger S G, *et al.* Relationships between levels of heterotrophic bacteria and water quality parameters in a drinking water distribution system [J]. *Wat. Res.*, 2000,34(5):1495-1502.
 [11] Percival S L, Knapp J S, Edyvean R G J, *et al.* Biofilm development on stainless steel in main water [J]. *Wat. Res.*, 1998, 32(1):243-253.
 [12] Percival S L, Knapp J S, Edyvean R G J, *et al.* Biofilms, mains water and stainless steel [J]. *Wat. Res.*, 1998,32(7):2187-2201.
 [13] Zcheus O M, Livanainen E K. Bacterial biofilm formation on polyvinyl chloride, polyethylene and stainless steel exposed to ozonated water [J]. *Wat. Res.*, 2000,34(1):63-70.

作者简介: 张向谊(1979-),女,河北省衡水市人,清华大学环境科学与工程系硕士研究生,主要从事饮用水水质生物稳定性研究,发表论文 8 篇。

致谢: 本试验场所由深圳水务集团提供,谨致谢忱。