

述评与讨论

研究供水管壁生物膜的模拟系统

鲁巍¹, 唐峰¹, 张晓健¹, 何文杰², 韩宏大², 胡建坤²

(1. 清华大学 环境科学与工程系, 北京 100084; 2. 天津市自来水集团有限公司, 天津 300040)

摘要: 综合比较了国外的几种研究管网生物膜生长特性的典型反应器, 包括 AR (annular reactor) 反应器、Robbins' device 等, 详述了反应器的工作原理及其优点和局限性, 针对我国在该领域的研究提出了相应的建议。

关键词: 饮用水管网; 生物膜; AR 反应器; Robbins' device

中图分类号: TU991.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2005)01-0022-03

Study on Simulation System of Bio-film Growing on Water Pipe Wall

LU Wei¹, TANG Feng¹, ZHANG Xiao-jian¹, HE Wen-jie²,
HAN Hong-da², HU Jian-kun²

(1. Dept. of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Tianjin Water Supply Group Co. Ltd., Tianjin 300040, China)

Abstract: Some typical reactors applied in research of biofilm growth in water distribution system are compared, including annular reactor (AR), and Robbins' device, etc.. The working principle, and merits and limitations of the reactors are summarized. Some proposals are presented on the research of this field in China.

Key words: drinking water distribution system; biofilm; annular reactor; Robbins' device

为了评价管壁生物膜生长引起的微生物风险, 实现对生物膜生长的控制, 研究生物膜的生长特性 (包括群落结构分析、生物膜生长动力学、消毒剂对其的灭活特性等) 已成为各国研究人员共同关注的问题, 由于在实际管网中无法实现对生物膜生长过程和条件的有效控制, 因此生物膜的培育成为进行相关研究的难点和需要解决的首要问题。

1 研究管壁生物膜的主要方法

为了实现对管壁生物膜生长过程和生长条件的控制, 目前主要采用两类模拟方法进行: 一类为类似于实际管网的管道模拟系统, 另一类为规模更小的

反应器模拟系统, 在此将两种模拟系统统称为“反应器”。

1.1 管道模拟系统

管道模拟系统是一种简化了的、比实际管网管道距离短, 但是可模拟实际管网水力条件的试验规模的模拟系统。该系统一般有两种设计方法: 非循环设计 (once-through design) 和循环设计 (recirculating design), 如图 1 所示。非循环设计系统本质上为推流式反应器 (plug flow reactor, PFR), 可生物降解有机物随着管道距离的增加而连续被微生物消耗。循环设计系统可理想化为连续搅拌反应器

(continuous stirred tank reactor, CSTR), 系统内部完全混合, 出水水质与系统内部水质条件基本相同。非循环设计系统更接近于实际管网条件, 试验过程中需要大量的供水和较大的占地面积。而循环设计系统则可简化对试验数据的处理及对动力学过程的评价, 用水量少。

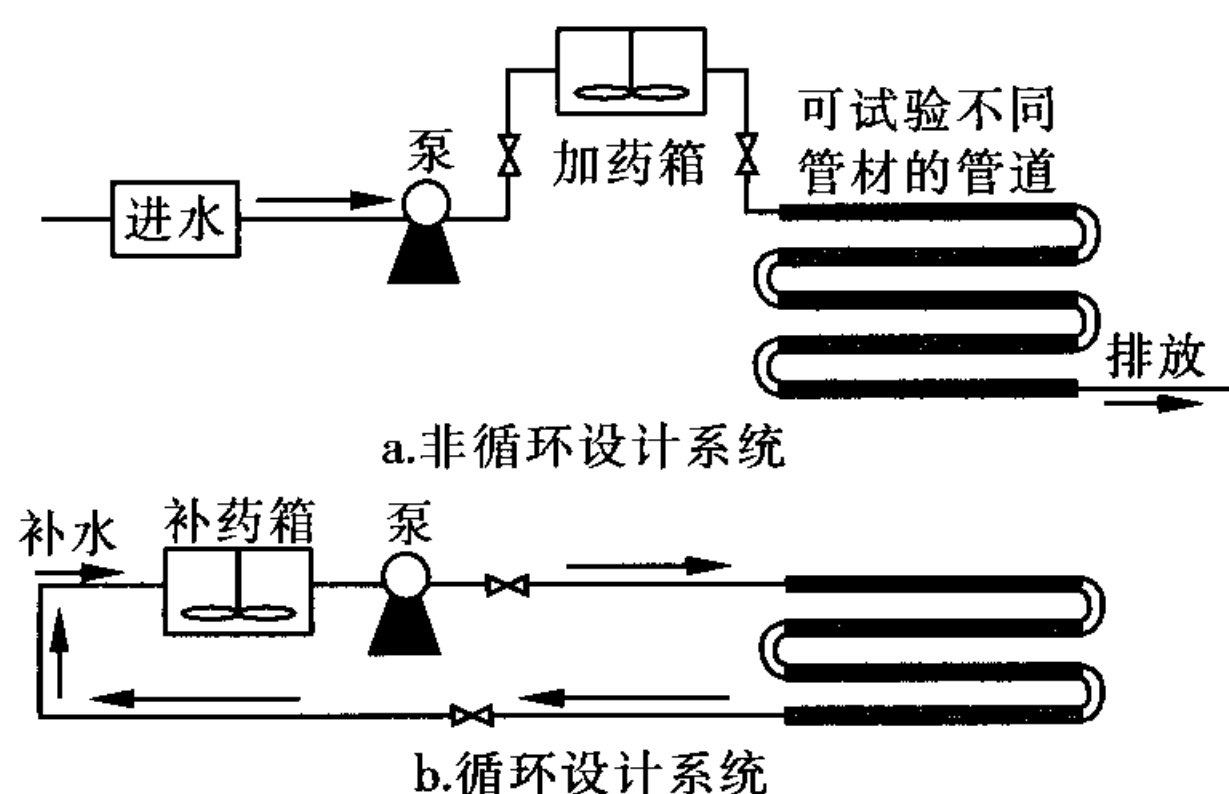


图1 管道模拟系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of pipe simulation system

生物膜样品可以直接取自管道(但操作不便, 影响系统的连续运行), 也可通过安装在系统中的其他设备来实现, 如 Robbins' device (见图2)。图中管道侧壁周围开孔安装插槽, 螺栓一端固定试验要考察的管道材料, 插入插槽中, 生物膜在材料表面上附着生长, 取样时卸下螺栓即可。

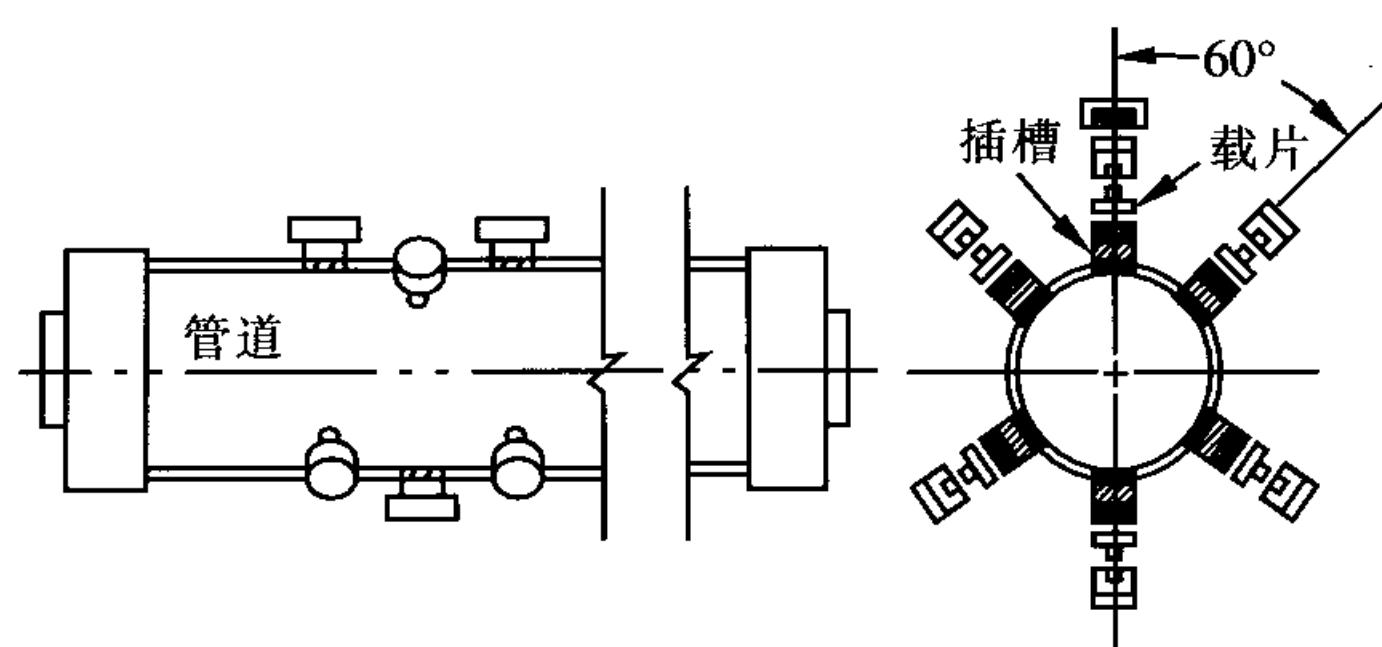


图2 Robbins' device 示意图

Fig. 2 Schematic diagram of Robbins' device

S. L. Percival 等和 OUTI M. Zacheus 等^[1~3] 使用管道模拟系统考察了两种不同型号不锈钢、聚氯乙烯和聚丙烯等管材表面形成的生物膜特性, 结果在4~8个月的时间里, 光滑壁面的同无光壁面的管材中微生物的数量有着显著的差别, 但是到12个月以后差别不显著了。采用臭氧消毒与否对不同管材上生物膜达到稳态时的生物量没有显著影响。J. T. Carter 等^[4] 在泵站和用户端安装了 Robbins' device, 对生物膜中有颜色细菌的比例同饮用水中基质浓度的关系进行了探讨。

1.2 反应器模拟系统

近年来, 反应器模拟系统如 AR (annular reactor) 反应器, 因为其体积小、研究费用相对较低而更多地被应用于生物膜研究(如图3所示)^[5]。AR 反应器本质上为 CSTR 反应器, 可将其视为管网的一部分。反应器主要由反应罐、转子、载片、电机和进出水口组成, 反应器转子上挂有载片以提供生物膜附着生长的表面。转子在电机的驱动下旋转, 随着转子的旋转, 载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。卸下电机后, 整个反应器在试验前可进行高压灭菌。

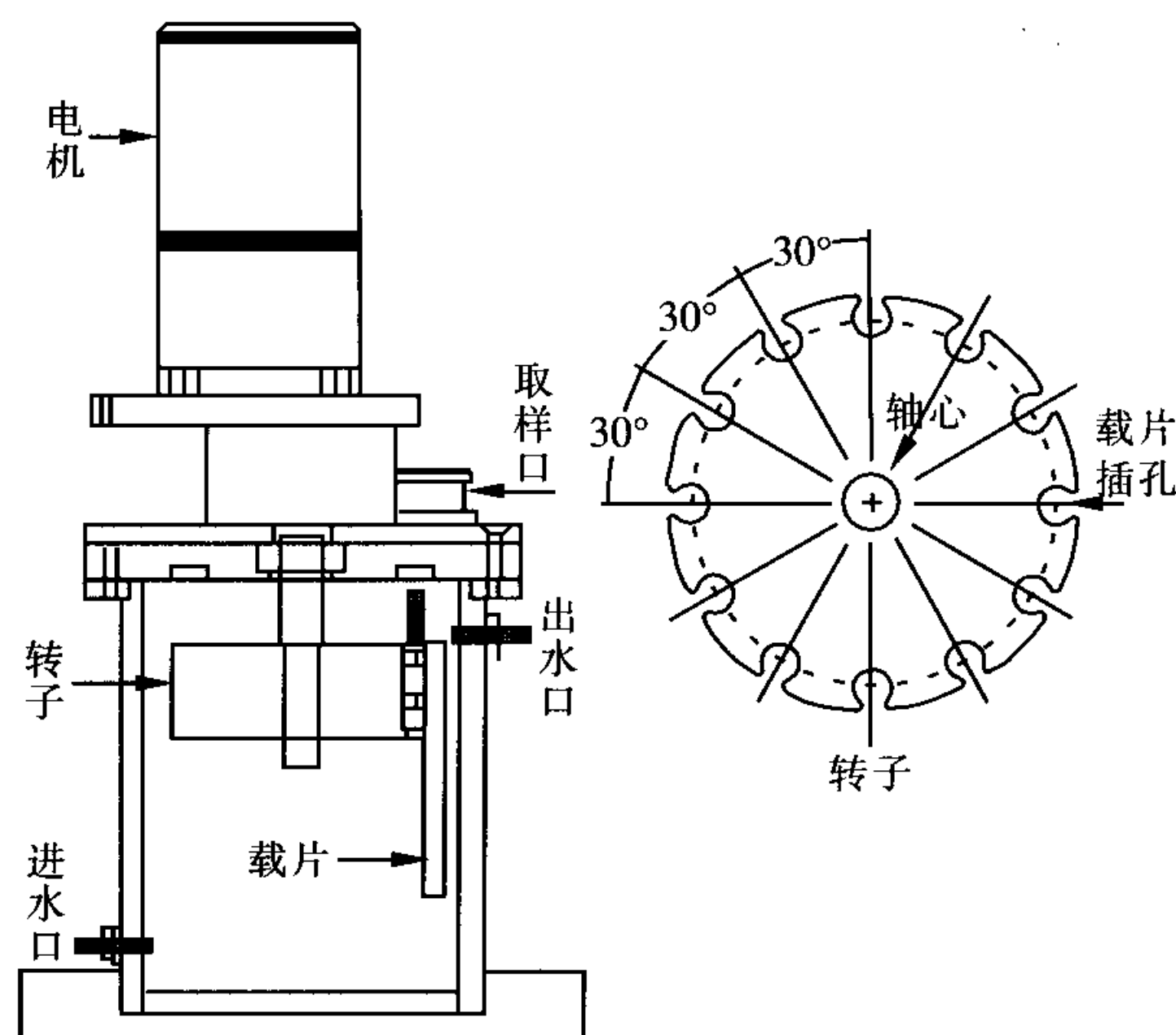


图3 AR 反应器示意图

Fig. 3 Schematic diagram of annular reactor

Graham A. Gagnon 等^[6] 在对 AR 反应器的膜生物量测定过程中比较了微生物细胞的剥离方法。J. R. Lawrence 等^[7] 利用 CLSM (Confocal Laser Scanning Microscope) 对 AR 反应器中生物膜的形态结构进行了研究, 观察到了生物膜厚度的水平和纵向梯度, 证明了生物膜的异质性。R. R. Sharp 等^[8] 使用 AR 反应器研究了膜生物量同 AOC、DOC 的相关关系, 运用生物膜方法对饮用水的生物稳定性进行了评估。

2 优缺点比较

两种模拟系统的设计原理决定了它们各自不同的适用范围, 表1为两种系统的详细比较。可见管道模拟系统中非循环设计的最大优点是与实际管网运行条件基本相似, 最大缺点就在于用水量过大、试验费用过高, 使得它在研究工作中的应用受到了限

制。而循环设计尽管节约了用水,但是无法控制供水营养条件,尤其在生物膜生长动力学研究方面受到限制。

表 1 管道模拟系统与反应器模拟系统的比较

Tab. 1 Comparison of pipe simulation system and reactor simulation system

项目	流速	营养	取样	灭菌	基底	混合效果	用水量	运行费用	设备费用
管道模拟系统 非循环设计	受限	可控	破坏性/方便*	不行	可换	推流	大	高	高
管道模拟系统 系统循环设计	受限	可控	破坏性/方便*	不行	可换	搅拌	小	低	高
反应器模拟系统	可控	可控	方便	可以	可换	搅拌 紊流	小	低	较高

注: * 在使用 Robbins' device 的情况下。

反应器模拟系统弥补了管道模拟系统的缺点,用水量很小(反应器容积小,进水可采用蠕动泵)、占地面积小、试验运行费用低。同时它还保留了管道系统的优点,可以通过控制转速模拟管道中的水流剪切力。反应器模拟系统的局限性主要体现在它无法模拟实际管道的水压和水力停留时间,与实际的管道情况有所差异,但是这两个因素在研究生物膜的生长特性时可基本忽略。AR 反应器目前国外已有商业产品出售,购买方便,价格较高,但较管道模拟系统的设备费用要低。因此,从试验经费和试验的可控性来看,反应器模拟系统是较好的选择。

3 结论及建议

① 反应器模拟系统(如 AR 反应器)运行方式灵活,是在实验室研究管壁生物膜生长特性的有效方法。

② AR 反应器目前售价较高,进行多因素试验的研究工作中所需反应器数量较多,因此我国亟待自行开发设计该类反应器。

③ 有条件在水厂进行现场试验时,可考虑采用管道模拟系统结合 Robbin's device 的研究方法,

一方面可很好地解决试验用水问题,另一方面可更好地模拟给水管道的运行。

④ 生物膜生长和控制机理的研究已经在国外开展得相当广泛,如何将机理与实际管网中生物膜的控制相结合、如何定量评价生物膜生长对实际管网中细菌学指标的影响均是亟待解决的实际问题。

参考文献:

[1] Percival S L, Knapp J S, Edyvean R G J, et al. Biofilm development on stainless steel in mains water[J]. Wat Res, 1998, 32(1): 243 - 253.

[2] 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.

[3] Outi M Zacheus, Eila K Iivanainen. Bacterial biofilm formation on polyvinyl chloride, polyethylene and stainless steel exposed to ozonated water[J]. Wat Res, 2000, 34(1): 63 - 70.

[4] Carter J T. Relationships between levels of heterotrophic bacteria and water quality parameters in a drinking water distribution system[J]. Wat Res, 2000, 34(5): 1495 - 1502.

[5] 鲁巍, 姜登岭, 张晓健. 配水管网中 AOC 与细菌再生长的关系[J]. 中国给水排水, 2004, 20(5): 5 - 8.

[6] Graham A Gagnon, Robin M Slawson. An efficient biofilm removal method for bacterial cells exposed to drinking water[J]. J Microbiological Methods, 1999, 34: 203 - 214.

[7] Lawrence J R, Swerhone G D W, Neu T R. A simple rotating annular reactor for replicated biofilm studies[J]. J Microbiological 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 Engrg, 2001, (5): 403 - 410.

电话: (010) 62782196
E-mail: luw02@ mails. tsinghua. edu. cn
收稿日期: 2004 - 08 - 08

· 工程信息 ·

中山市中嘉污水处理厂二期工程

该工程处理规模: $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 处理工艺: 氧化沟, 所需主要设备: 水泵、鼓风机、离心式浓缩脱水机、刮泥机, 占地面积: 5 hm^2 , 投资额: 9 600 万元。设计单位: 广东省环境保护工程研究设计院, 建设单位: 中山市污水处理公司。目前该工程正处于施工图设计阶段。

(广东省环境保护工程研究设计院 袁敏忠 供稿)