

固定化菌种处理锈蚀管网出水的研究

马 放, 杨海燕, 王弘宇, 张宇红

(哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘 要: 发生内腐蚀的管道出水往往使出厂饮用水水质部分超标,遂进行了相关的深度净化技术研究。从除铁除锰滤池中的成熟滤砂洗脱下滤膜,以铁锰细菌的选择性培养基进行分离纯化,共培养出5株铁锰降解菌。通过试验发现,铁锰降解菌在铁、锰共存的培养基中的生长情况要好于只含铁基质的,而在只含有锰的基质中不生长。将降解有机物的工程菌和铁锰降解菌固定在同一个反应器的不同滤料上并处理管网出水(浊度为1.5 NTU、色度 ≥ 25 倍、有腥味),结果表明,一体式固定菌种反应器对铁、锰和高锰酸盐指数的去除率可达98%、96%和55%,处理出水的浊度 < 0.5 NTU,色度 < 15 倍,没有臭味。

关键词: 锈蚀管网出水; 固定化菌种; 除铁除锰; 深度净化

中图分类号: TU991.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2004)07-0006-05

Immobilized Bacteria for Treatment of Outlet Water from Rusty Distribution Network

MA Fang, YANG Hai-yan, WANG Hong-yu, ZHANG Yu-hong

(School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: The outlet water from corrosive pipe resulted in some parameters of drinking water out of the standard, so the advanced treatment technology was studied. Five strains of iron and manganese removal bacteria were obtained from the biological film, which fell off from mature filter bed and were incubated into culture media containing iron and manganese by repeatedly domestication. Experiment result shows that iron and manganese removal bacteria grows more rapidly in the culture media containing both iron and manganese than that in culture media containing only iron, and can not grow in the culture media containing only manganese. When the engineering bacteria removing organic matters and the bacteria removing iron and manganese were immobilized on difference filter bed in the same filter to treat the distribution water, the result shows that the removal rate of iron, manganese, and COD_{Mn} come up to 98%, 96%, and 55% respectively in integrative immobilized biological filter. When the influent with turbidity of 1.5 NTU, color of 25 degree and offensive odor was treated, the treated water has turbidity < 0.5 NTU, color < 15 degree and without odor.

Key words: outlet water from rusty distribution network; immobilized bacteria; iron and manganese removal; advanced treatment

富含铁锰是我国北方地下水水质的主要特点,因此在地下水的输配过程中给水管网发生内腐蚀的现象较为常见,内腐蚀不仅使管网水的浊度、色度、细菌数、铁、锰及有毒重金属等指标超标,而且由于给水管网内“生长环”的存在,还会明显降低输水能力,增加供水能耗。因此如何去除铁锰,是地下水处理工艺所要解决的主要问题之一。

近年来,国内外学者提出“铁细菌是除铁除锰滤膜形成的诱发因素”的观点,随之开展了一系列生物法除铁除锰的研究^[1~9]。笔者针对地下水给水管网“生长环”所引起的二次污染现象,采用微生物固定化技术,将经人工分离纯化、富集的铁锰细菌接种于锰砂滤层中,降解有机物的工程菌固定在活性炭上,并将二者组合在一个反应器内。通过试验探讨了适于铁锰细菌生存又能提高其活性、切实可行且易控的多维生态位和条件参数,利用饮用水深度处理实现铁锰的去除,以解决“生长环”带来的问题。

1 试验材料和方法

1.1 原水水质

原水为哈尔滨市以地下水为水源的某水厂的管网末端出水,由于管道的内腐蚀,用户的水质十分不稳定,需进行深度处理。试验期间的水质情况如表1所示。

表1 原水水质

Tab. 1 Raw water quality

浊度 (NTU)	色度 (倍)	高锰酸盐指 数(mg/L)	铁 (mg/L)	锰 (mg/L)	嗅味	pH
1.14 ~ 2.23	25 ~ 40	2.84 ~ 3.86	0.52 ~ 1.10	0.35 ~ 0.86	腥	6.8 ~ 7.9

1.2 试验装置

针对这种含低浓度铁、锰的微污染水,采用一体式固定菌种反应器进行深度处理,以保证出水水质达标。

所采用的工艺:原水→一体式固定菌种反应器→UV消毒→出水。

反应器由两部分组成:柱Ⅰ(锰砂柱)内径为10 cm,装填90 cm厚的天然锰砂;柱Ⅱ内径为30 cm,内部装填厚度为90 cm的ZJ-15型颗粒炭。一体化装置高为2 m,水力停留时间为30 min,滤速为1.0~1.2 L/min。将滤料用自来水浸泡、冲洗,至出水清澈透明为止。倾去水分后装入柱中至规定高度,向柱中注入工程菌菌液,浸没滤层后,按4 h循环

一次的流速放出,24 h后用自来水冲洗15 min,备用。

UV消毒管:采用福建新大陆环保科技有限公司生产的NLC-008型紫外消毒设备。

1.3 分析方法和试剂

仪器:德国产TURB 555型浊度仪,国产PHS-25型酸度计,上海棱光S22pc可见分光光度计。

试验中测定高锰酸盐指数采用酸性法,测定铁采用邻菲罗啉分光光度法,测定锰采用高碘酸钾氧化光度法;所使用的化学试剂均为分析纯,其他为生物试剂。

2 结果和讨论

以往采用固定化生物技术去除饮用水中的有机物的研究已经取得了较多的经验^[10,11],但是采用固定化技术研究对铁、锰的去除却不是很多。在除铁除锰的研究中主要采用的是接触氧化法,当滤层运行一段时间以后滤层(主要指锰砂滤料)成熟了,认为滤层上有铁、锰氧化物的活性滤膜,或是认为滤层中含有了铁、锰氧化细菌。因此,将经典的理论与新兴的生物强化技术相结合,采用人工固定技术,将经人工分离纯化、富集的铁锰细菌接种于锰砂上去除水中的铁、锰;在炭柱上固定有去除有机物的工程菌,以去除水中的有机物。

2.1 除铁除锰的影响因素

2.1.1 影响因素分析

在实际的工程应用中,反应器内的菌种并不是单一的,因此将分离、纯化所得到的5株铁锰降解菌FM1、FM2、FM3、FM4和FM5混合在一起进行摇床培养。

试验中配制了三种不同成分的基质:①只含铁不含锰的基质,其中铁的浓度为22.06 mg/L;②不含铁只含锰的基质,其中锰的浓度为18.67 mg/L;③既含铁又含锰的基质,其中铁锰浓度之和为40.73 mg/L,其他的无机盐成分相同。6个三角瓶所装培养液的量相同,接种相同的菌量,采用曝气和非曝气两种不同的培养方式,曝气前的DO为2.8 mg/L左右,曝气后达到了9 mg/L以上,细菌的生长情况由图1可以看出:①细菌在仅含铁的培养基上生长良好,繁殖较快,说明细菌能直接氧化 Fe^{2+} ,并且从其氧化过程中获取生长繁殖所需能量;②在仅含锰的培养基中细菌不能生长,即细菌不能直接氧化 Mn^{2+} ;③细菌在混合培养基中的长势比仅含铁的旺盛,这说明细菌对锰的氧化可能是氧化 Fe^{2+} 的一种

协同反应,并且细菌能从这种反应中获得能量;④曝气与非曝气两种培养方式下的细菌数量相近,也即 $DO \geq 2.8 \text{ mg/L}$ 时, DO 的增加对细菌的生长繁殖没有太大影响,即一定水平上的 DO 是细菌生长繁殖的非限制性生态因子。

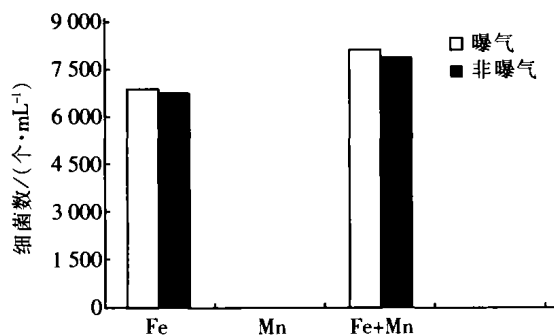


图1 不同底物下细菌的生长数量

Fig. 1 Bacteria growth on different substrates

2.1.2 生物量与培养基中铁锰浓度的变化

按照5%的接种量将菌液接种到含有铁、锰的基质中,培养基中的铁浓度为 22.06 mg/L , 锰浓度为 18.67 mg/L , 常温下培养, 每天定时取样进行细菌数和铁、锰浓度的测定, 结果如图2所示。

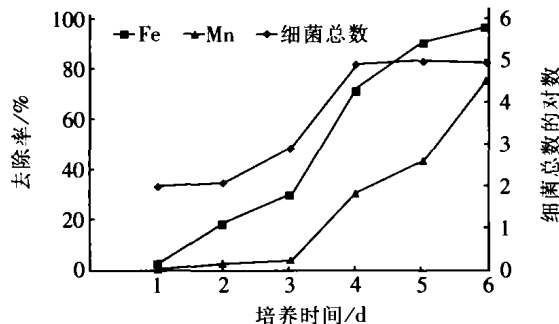


图2 铁锰降解菌的数量和铁锰去除率之间的关系

Fig. 2 Relationship between Fe - Mn removal rate and quantity of Fe - Mn removing bacteria

从图2可以看出:①细菌的数量变化为一个类似生长曲线的过程,最初细菌处于延滞期,数量没有明显的变化,进入第2天生长速度开始逐渐加快,表现为细胞活性强,繁殖代谢速度快,具有对数生长期的特点,于第4天细菌数量达到了最大,在第4、5、6天由于营养物质充分、代谢产物没有过分的积累,所以细菌维持在对数生长期,同时培养基中的铁锰被大量消耗,浓度迅速下降;②培养基中铁浓度的下降始终迅速而平稳,在细菌数达到 10^3 数量级时才对锰表现出较高的去除效果,可见铁作为细菌的基础代谢底物,为细菌的生长繁殖提供了绝大多数的能

量,而对锰的消耗是当细菌具备了较高活性,达到了一定的数量后所表现出的一种行为。

2.2 一体化装置的处理效果

2.2.1 除铁效果

一体化装置对铁的去除效果见图3。

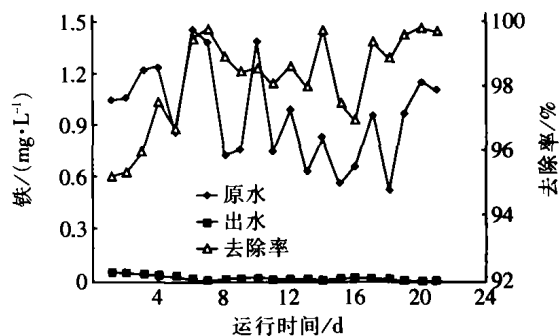


图3 一体化装置的除铁效果

Fig. 3 Fe removal rate in integrative reactor

由图3可以看出,系统运行稳定,对铁的去除效果非常好,出水铁浓度的平均值 $< 0.03 \text{ mg/L}$, 对铁的去除率稳定在98%左右(最高为99%),运行5 d后即达到要求的除铁效果,这说明在前5 d的运行中,锰砂上获得最大的除铁菌量,之后系统进入稳定运行,菌种数量也基本稳定。在进水铁浓度较低时,对铁的去除率达到97%左右;当铁浓度较高时,则酶促反应速度也相应增加,对铁的去除率仍能维持在较高的水平。

2.2.2 除锰效果

一体化装置的除锰效果见图4。

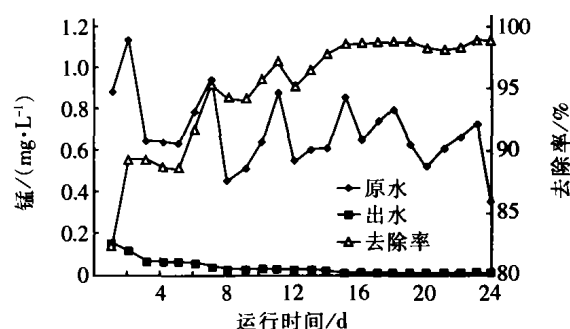


图4 一体化装置的除锰效果

Fig. 4 Mn removal rate in integrative reactor

由图4可知,锰砂运行7 d后,表现出对锰较为稳定的去除率。系统对锰处理效果的发挥仍然在铁被去除之后,因此固定化菌种除铁作用的发挥是除锰作用发生的必要条件;在其后的运行期间,锰的去除率一直比较稳定,出水锰稳定在 0.01 mg/L 左右,去除率 $\geq 96\%$ 。同时可以看出,进水锰的含量越低,

出水锰的含量越少,说明柱 I 适用于原水锰浓度较低的情况。

2.2.3 对高锰酸盐指数的去除

一体化装置对高锰酸盐指数的去除效果见图 5。

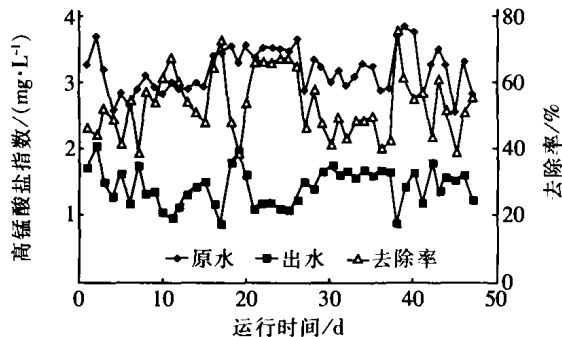


图5 一体化装置对高锰酸盐指数的去除效果

Fig. 5 Permanganate index removal rate in integrative reactor

由图 5 可知,原水的高锰酸盐指数为 2.5 ~ 3.9 mg/L (平均值为 3.2 mg/L),出水的高锰酸盐指数 < 2.0 mg/L,平均值为 1.45 mg/L。一体化装置对高锰酸盐指数的去除率稳定在 55% 左右,这表明固定化生物活性炭对水中的微量有机物有较好的去除作用,出水水质明显改善。还可以看到,降解有机物的工程菌在系统的启动初期,对高锰酸盐指数就有良好的去除作用,并没有像铁、锰的去除一样,在运行初期出现一个启动过程,而始终稳定地运行,这说明对有机物的去除是通过柱 II 实现的。

2.2.4 对浊度的去除

一体化装置对浊度的去除效果见图 6。

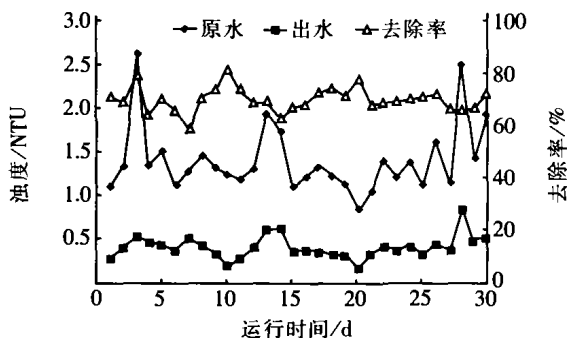


图6 一体化装置对浊度的去除效果

Fig. 6 Turbidity removal rate in integrative reactor

由图 6 可知,原水浊度一般为 1.5 NTU,经过一体化装置处理后出水的浊度更低,都在 0.5 NTU 左右。反应器对浊度有较好的去除效果,在去除规律上与对高锰酸盐指数的有相同之处。因此可以得出

这样的结论,一体化装置用于这种原水的深度处理是有效的。

2.2.5 对其他指标的去除效果

一体化装置对色度的去除效果见图 7。

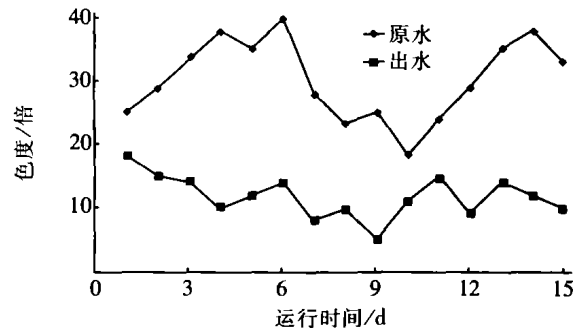


图7 一体化装置对色度的去除效果

Fig. 7 Color removal rate in integrative reactor

由图 7 可知,原水色度为 25 ~ 40 倍,经过处理以后出水的色度均下降到 15 倍以下,腥臭味也没有了,这可能是在去除铁、锰的同时,去除了水中由铁、锰所带来的色度和臭味。然而,系统对色度和臭味的去除与对铁、锰的去除所表现出的规律是不同的,而与高锰酸盐指数的去除规律相同。这是因为系统对色度和臭味的去除不但发挥了柱 I 的功效,同时发挥了柱 II 中活性炭的物理吸附作用,因此系统具有良好的去除效果。

2.2.6 对系统净化效能的分析

在一体化装置的柱 II 中固定了降解有机物的工程菌,在柱 I 内固定了铁锰降解菌,因此固定菌种反应器具备了去除有机物、浊度和铁锰的能力。由于异养菌和自养菌获得能量的物质不同,因此将这两类细菌固定在不同的滤料上,使它们在各自适合的生境中生长,可发挥各自不同的净化效能:异养菌世代短,应付环境变化的能力比较强,在竞争中处于有利的位置,但是所处理的是管网末端出水,其有机物含量较低,基质的匮乏大大限制了它们的生长;除铁锰菌的营养物质丰富,但它们的比生长速率缓慢,对环境较敏感,容易受到抑制。因此一体式装置分别发挥各柱不同的作用,将其组合在一起则具备良好的净化效能。

3 结论

将分离、纯化后不同功效的菌种固定在不同的滤料上,构成固定化生物反应器。对锈蚀管网水进行深度处理,主要去除水中的铁、锰和微量的有机污染物,取得了较为理想的试验效果。

① Fe^{2+} 是细菌的基础代谢底物,细菌能从氧化 Fe^{2+} 的反应中获取自身生长繁殖代谢所需的绝大部分能量,而对 Mn^{2+} 的利用则是氧化 Fe^{2+} 的一种协同反应,并且需要细菌具备一定的活性和达到一定的数量。一定水平上的 DO 是铁、锰细菌生长繁殖的非限制性生态因子。

② 一体化装置对铁的去除率稳定在 98% 左右,对锰的去除率稳定在 96% 左右;对高锰酸盐指数、浊度、色度和嗅味均具有较好的去除效果。由此可见,一体式反应器作为受污染饮用水的深度净化装置是适用的。

③ 一体化装置的柱 I 对铁、锰的去除在运行初期需要一个启动过程,而柱 II 对高锰酸盐指数、浊度、色度和嗅味的去除不需要启动过程,可直接发挥作用。

④ 一体化装置中去除有机物的异养菌和铁锰降解菌同时存在于不同的生境中,并且都能发挥各自的作用。

参考文献:

- [1] 李圭白,刘超.地下水除铁除锰[M].北京:中国建筑工业出版社,1989.
- [2] Vandenabeele J. Influence of nitrate on manganese removing microbial consortia from sand filters[J]. Water Research, 1995, 29(2): 579 - 587.
- [3] Piere Mouchet. From conventional to biological removal of Iron and manganese in France[J]. J AWWA, 1992, 84(4): 150 - 155.
- [4] 张杰,杨宏.生物固锰除锰技术的确立[J].给水排水, 1996, 22(11): 13 - 16.
- [5] 张杰,戴镇生.地下水除铁除锰现代观[J].给水排水, 1996, 22(10): 5 - 10.
- [6] Gouzinis A, Kosmidis N, Vayenas D V, et al. Removal of Mn and simultaneous removal of NH_3 , Fe and Mn from potable water using a trickling filter[J]. Water Research, 1998, 32(8): 2442 - 2450.
- [7] Donald Ellis, Christian Bouchard, Gaetan Lantagne. Removal of iron and manganese from groundwater by oxidation and microfiltration[J]. Desalination, 2000, 130: 255 - 264.
- [8] 杨宏,李冬,张杰,等.生物固锰除锰机理与生物除铁除锰技术[J].中国给水排水, 2003, 19(6): 1 - 5.
- [9] 余健,曾光明,姚志强,等.地下水生物除锰效果及其影响因素[J].中国给水排水, 2003, 19(12): 11 - 14.
- [10] 马放,王宝贞,孙建平.固定化生物活性炭除微污染有机物的实验研究[J].哈尔滨建筑大学学报, 1998, 31(5): 52 - 57.
- [11] 马放,时双喜,杨基先,等.固定化生物活性炭的形成及功能研究[J].哈尔滨建筑大学学报, 2000, 33(1): 46 - 50.

作者简介:马放(1963 -),男,辽宁铁岭人,教授,博士生导师,研究方向为环境微生物学。

电话:13904810011

收稿日期:2004 - 02 - 23

· 工程信息 ·

2004 年武汉市将斥资 1.3 亿元改造城市排水管网

该工程主要是改造武汉市中心城区的排水管道,涉及到 335 个社区和 1 098 条道路,改造排水管网长 313.16 km。该工程于 2004 年 4 月启动。

湖北省钟祥市护城河综合整治工程

该工程分两部分:①截污管道工程管线长 14.66 km,管径为 $\text{DN}800 \sim \text{DN}2\,000$,采用钢筋混凝土管(胶圈接口),投资额为 3 390 万元;②建设一座污水处理厂,一期处理规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,二期处理规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用改良型氧化沟、氯消毒法,投资额为 5 965 万元。设计单位:中国市政工程中南设计研究院,目前该工程正处于施工图设计阶段。

(武汉大学 邵林广 供稿)