

# 除铁除锰生物滤层内铁锰去除的相关关系

李冬<sup>1</sup> 张杰<sup>2</sup> 王洪涛<sup>1</sup> 尹晓君<sup>3</sup>

(1 清华大学环境科学与工程系,北京 100084; 2 哈尔滨工业大学市政环境工程学院,哈尔滨 150090;  
3 恒迅科创置业有限公司,北京 100053)

**摘要** 成熟生物滤层中铁、锰去除的相关性研究表明:生物滤层内铁与锰的去除在一定条件下是存在相关关系的。在一定的进水铁、锰浓度范围内,生物滤层的除铁除锰能力不受进水铁、锰浓度的影响。当铁、锰浓度超过一定范围时,生物滤层的除铁除锰效果将受到影响。实际工程也表明:对于大多数地区的含铁含锰地下水水质而言(铁 $<6$  mg/L,锰 $<1\sim 2$  mg/L),原水铁、锰浓度的变化不影响生物滤层的除铁除锰效果。因此可以认为,生物除铁除锰技术广泛适用于各地含铁含锰水的净化。

**关键词** 铁 锰 生物滤层 相关性

众所周知,铁、锰的物理、化学性质极其相近,在自然界中常常共同参与物理、化学和生物学的变化<sup>[1]</sup>。而且除铁除锰生物滤层中,铁、锰又同是营养底物,因此理论上说,铁、锰氧化细菌对这两种营养底物的利用应该是有一定原则的,铁、锰的氧化去除之间也应存在一定的关系,或者互惠互利,或者互相竞争。明确生物滤层中铁、锰氧化去除的相关关系是确定生物除铁除锰技术应用潜力和铁锰氧化细菌氧化机制的基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验装置

试验中以有机玻璃滤柱模拟实际生产中的滤池。滤柱直径 250 mm,高 3 000 mm,以粒径 0.8~1.2 mm 的石英砂为滤料,滤层厚 1 100 mm。粒径 1~2 mm 的卵石为垫层,垫层厚 300 mm。以喷淋曝气代替生产中的跌水弱曝气。试验装置见图 1。

### 1.2 试验水质和运行参数

试验原水为人工配制的含铁含锰水。经喷淋曝气后,水中溶解氧浓度控制在 4~5 mg/L,滤柱的运行参数为:滤速 5 m/h,反冲洗强度 11 L/(s·m<sup>2</sup>),反冲洗时间 3 min,工作周期 48 h。每 24 h 改变进水中铁、锰的浓度并相应地取滤柱进出水水样检测其中铁、锰的含量,分析进水中不同铁、锰浓度条件下,成熟生物滤柱除铁除锰能力的变化。

试验中分析项目主要有 Fe<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup>、DO 等,均采用国家标准分析方法<sup>[2]</sup>。

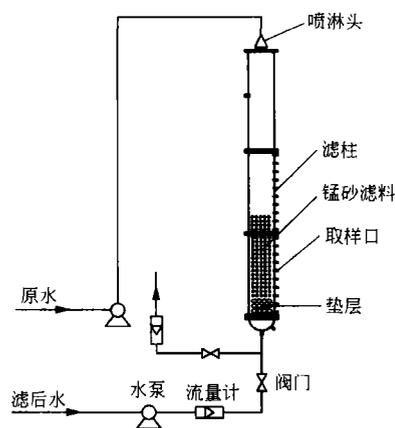


图 1 试验装置示意

## 2 结果与讨论

### 2.1 进水中铁的浓度变化对铁、锰去除效果的影响

在实验室模拟生物滤柱成熟以后,保持进水中锰的含量近似于恒定(在较小范围内波动),将进水铁的含量在较小的范围内提升(0.2~2.5 mg/L),分析出水铁、锰浓度的变化。试验共进行 432 h,结果见图 2。由于在试验过程中,出水铁一直为痕量,所以,图中没有标注(图 3、图 4 同)。

由图 2 中曲线可见,当进水锰的含量保持在 0.8~1.19 mg/L 之间,进水铁的含量从 0.25 mg/L 逐渐提高到 2.54 mg/L 时,尽管出水锰浓度也相应出现波动,但波动的幅度很小( $<0.2$  mg/L)。可以认为进水铁、锰在该浓度范围内,铁浓度的提高对生物滤层中锰的去除几乎没有影响。

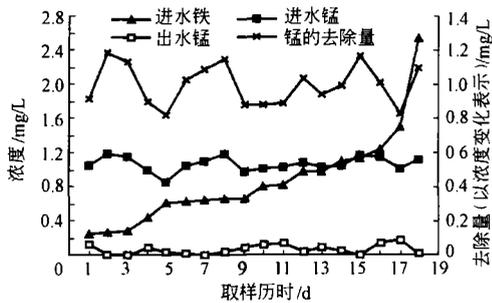


图2 实验室生物滤柱进水中[Fe]变化对除锰的影响

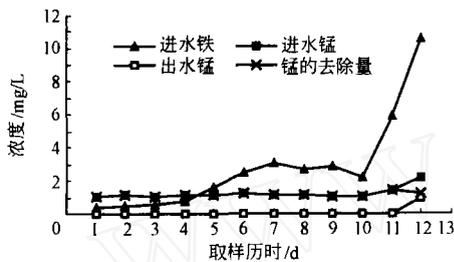


图3 实验室4#生物滤柱进水中[Fe]变化对除锰的影响

将进水铁的浓度在较大的范围内提升(0.5~10.5 mg/L),分析滤柱出水中铁、锰浓度的变化。试验共进行288 h,结果见图3。

图3是生物滤柱除锰量随进水铁浓度变化的波动曲线。由图3中曲线可见,维持进水锰浓度为1 mg/L左右,当进水铁浓度从0.35 mg/L逐渐增加到3.075 mg/L时,出水锰浓度一直为痕量;当进水铁浓度继续升高到6 mg/L,同时进水锰浓度从1.07 mg/L升高到1.46 mg/L时,滤柱出水锰浓度仍保持为痕量。当进水铁浓度升高到10.54 mg/L时,出水锰浓度骤然升高为1.354 mg/L,锰的去除量也从1.45 mg/L减少到1.17 mg/L。单从这一现象并不能断定锰的去除量的降低是由进水铁含量升高所致。因为这期间由于进水锰计量泵的故障而导致进水锰浓度从1.46 mg/L升到2.528 mg/L。进水锰浓度的升高也可能是导致除锰量下降的一个原因。为了彻底查明其原因,又进行了如下试验。

选择另外两个成熟状况相同的生物滤柱(2#、3#),保持两个生物滤柱在相同的参数下运行,即进水铁、锰含量,滤速(5 m/h),反冲洗参数等均相同。逐渐提高进水中铁的含量,同时检测滤柱出水中铁、锰浓度的变化,计算锰去除量,结果见图4和图5。

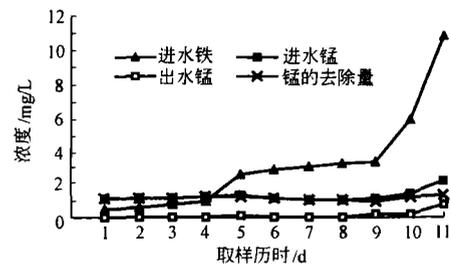


图4 实验室2#生物滤柱进水中[Fe]变化对除锰的影响

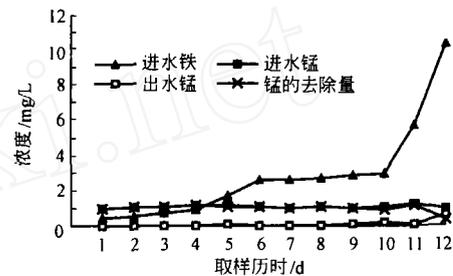


图5 实验室3#生物滤柱进水中[Fe]变化对除锰的影响

由于出水铁浓度一直为痕量,所以图中未标注。

从图4和图5中曲线可见,滤柱的运行情况几乎相同,唯一不同的是,2#滤柱进水铁浓度从5.503 mg/L升高到10.32 mg/L时,相应的进水锰浓度从1.19 mg/L升高到2.023 mg/L。而3#滤柱进水铁浓度从5.642 mg/L升高到10.295 mg/L时,相应的进水锰浓度从1.265 mg/L降低到1.135 mg/L。结果发现,2#滤柱最终出水锰浓度升高到0.7567 mg/L,而3#滤柱并没有因为进水锰浓度的降低而使出水锰浓度下降,其最终出水锰浓度仍然升高到0.6543 mg/L。因此可以肯定,出水锰浓度的升高并不是由进水锰浓度的微量变化引起的,而是由进水铁浓度的急剧升高所引起的。成熟生物滤柱的试验曲线(见图3)已表明,当滤柱进水锰浓度为1 mg/L左右时,进水铁浓度在小于6 mg/L之前,进水铁浓度的变化对除锰量几乎没有影响。但是当进水铁浓度超过6 mg/L之后,就会对滤层的除锰量产生一定的影响。黑龙江兰西县生物除铁除锰水厂滤池除铁的极限试验已经表明,生物滤层的进水铁浓度负荷极限为14 mg/L<sup>[3]</sup>,由此可以推定,当进水铁浓度大于6 mg/L而小于14 mg/L时,经过一定时间的培养后,对锰的去除仍没有影响。因此可以得出,进水铁浓度超过一定的范围就会对生物滤层除锰能力产生影响。

## 2.2 进水中锰的浓度变化对铁、锰去除效果的影响

以上试验都是从进水铁、锰的浓度变化来考虑生物滤层铁、锰去除的相关关系。那么进水锰的含量变化对生物滤层除铁除锰能力是否有影响将在下面的试验中得到答案。

### 2.2.1 进水中锰的浓度变化对除锰效果的影响

实验室模拟生物滤柱成熟以后,保持进水中铁的含量在较低的范围(0.2~2.2 mg/L),根据 2.1 的试验结论,当进水铁浓度 $<6$  mg/L,对除锰效果无影响,因而可以排除进水铁浓度变化对除锰能力的影响。每 24 h 改变进水中锰的含量并取进出水水样,分析进水中铁、锰的含量变化。试验共进行 32 d,结果见图 6。

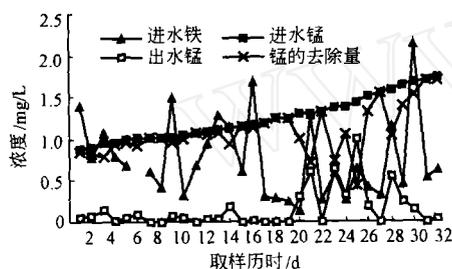


图6 生物滤柱进水中锰的浓度变化对除锰的影响

从图 6 可见,当进水铁浓度在较小的范围内波动时,在进水锰浓度由 0.85 mg/L 逐渐升高至 1.3 mg/L 的过程中,出水锰含量虽然偶尔出现波动,但几乎都接近痕量。但当进水锰含量升高到 1.3 mg/L 之后,尽管进水铁的浓度略有降低,出水锰含量却普遍升高,大部分在 0.2~0.6 mg/L 之间,且波动幅度较大,生物滤层锰的去除量也随之大幅度降低,尽管不是直线的下降,而是呈现出跌宕起伏的变化过程,但总的趋势仍是下降的。当进水锰的浓度缓缓升高到 1.676 mg/L,同时将进水铁的浓度突然从 0.465 mg/L 升高到 2.2 mg/L 之后,滤层除锰量并没有降低,反而略有升高。此后继续升高进水锰浓度至 1.692 mg/L,出水锰又降低到痕量。生物滤层的除锰极限试验表明<sup>[3]</sup>,滤层的除锰极限在 12~14 mg/L 之间,因此尽管随着进水锰浓度的升高,出水锰浓度会产生波动,但这只是生物滤层抵抗冲击负荷的一种表现。说明由于进水锰浓度的变化而引起滤层除锰能力的波动是暂时的,一旦生物滤层适应这一环境变化后,就又表现出稳定而高效的除锰能

力。因此可以说,出水锰浓度波动的短暂过程也是滤层除锰能力增强的过程。在该试验的末期,出水锰浓度又逐渐降低为痕量这一现象就说明了这一点。同时试验再一次验证了铁在该浓度范围内对除锰没有影响,而影响滤层除锰量波动的主要因素是进水锰浓度。

### 2.2.2 进水中锰的浓度变化对除铁效果的影响

为了避免进水铁浓度变化对除锰量产生的影响,保持进水中铁的含量在较低的范围(0.13~2.2 mg/L)。每 24 h 改变进水中锰的含量并取进出水水样,分析进水中铁、锰含量的变化。试验共进行 32 d,结果见图 7。

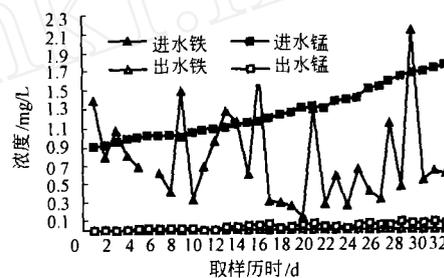


图7 生物滤柱进水中锰的浓度变化对除铁的影响

由图 7 中曲线可见,随着进水锰含量从 0.9 mg/L 逐渐升高到 1.692 mg/L,出水铁一直为痕量,锰一直在 0.05 mg/L 以下,说明进水铁、锰在该浓度范围内,除铁量完全不受进水锰含量的影响。

综合上述试验结果认为,成熟的生物滤层在除锰的极限范围内,出水锰浓度的波动受进水锰浓度的影响,但该影响是短暂的,尽管滤层出水会出现波动,但一段时间后,滤层最终出水仍能达标。在进水铁含量较低的范围,生物滤层的除铁量几乎不受进水锰浓度的影响。

## 3 结论

通过改变成熟生物滤柱进水铁、锰浓度,检测相应的出水铁、锰浓度,得出生物滤层铁与锰的去除在一定的条件下是存在相关关系的。即,除铁除锰生物滤层,进水铁锰在一定的浓度范围之内(铁浓度 $<6$  mg/L, 锰浓度 $<2$  mg/L),进水中铁锰浓度变化不影响滤层的除铁除锰能力;当进水中锰浓度小于 2 mg/L,铁浓度 $>6$  mg/L 时,进水铁浓度的变化将会引起出水锰浓度的波动,但经一定时期的培养,

• 工业给排水 •

# 再生纸浆造纸废水排放量与水质变化规律研究

胡大镛

(国家电力公司华东勘测设计研究院, 杭州 310014)

**摘要** 研究了再生纸浆废水水质和排水量  $q$  之间的内在关系及变化规律。结果表明, COD、SS 随  $q$  的降低而增长, 但并非等倍比增长, 而是呈指数变化关系。由此建立了经验公式和  $q$ -COD<sub>Cr</sub>、 $q$ -SS 对应关系图, 以一工程实例证明据此进行设计或工艺调整, 可获得较优的技术经济指标。

**关键词** 再生纸浆造纸废水 泥水回用率 水质变化规律 经验公式 关系图

许多纸张生产企业, 为了保护环境、发展生产、降低成本, 不断改进技术, 强化清洁生产, 生产 1 t 纸的排水量从 125 m<sup>3</sup>, 逐步降至 89.5 m<sup>3</sup>、39.5 m<sup>3</sup>、25 m<sup>3</sup>, 甚至更低。近年来, 有的再生纸生产企业几乎实现了废水和污泥的零排放。随着泥水回用率的不断提高, 废水浓度也随之明显增大。但由于各个造纸企业的泥水回用程度差别较大, 如何依据各企业的泥水回用率或排水量, 确定其排水浓度, 以供废水处理工程设计, 是目前急需解决的新课题。

## 1 造纸废水排放量与水质关系

当排水量由 89.5 m<sup>3</sup>/t 降为 21.6 m<sup>3</sup>/t 时, 造纸废水的排水水质将会明显恶化, 并影响处理工程的工程量及其处理效果。为使这种恶化的程度量化, 可建立排水量  $q$  与 COD、SS 关系图。本文选用正常运行的 8 座再生纸浆造纸废水处理厂为例, 验收检测资料见表 1。

由表 1 数据作  $q$ -COD<sub>Cr</sub>、 $q$ -SS 关系图(见图 1、图 2)。图 1、图 2 表明, COD<sub>Cr</sub>、SS 均随  $q$  的降低

表 1 造纸废水处理厂运行要素一览

工程编号	纸产量/t/d	$q$ /m <sup>3</sup> /t	COD <sub>Cr</sub> /mg/L	SS/mg/L	备注
1#	133.3	90.0	960	1 056	涂布白板纸
2#	1 333.3	34.5	3 000	2 800	涂布白板纸
3#	400	65.0	1 900	1 863	涂布白板纸
4#	40	85.0	1 200	1 720	黄板纸
5#	100	110.0	800		瓦楞纸
6#	90	80.0	1 400		瓦楞纸
7#	73.3	21.6	4 000	3 600	瓦楞纸
8#	600	66.7	1 800	1 600	黄板纸

而升高, 符合通常的水质变化规律及其累积过程, 其累积浓度合理的域值分别为:  $q$  10~110 m<sup>3</sup>/t; COD<sub>Cr</sub> 4 700~750 mg/L; SS 4 350~830 mg/L。图 1、图 2 还同时表明, 废水中 COD<sub>Cr</sub>、SS 并非随  $q$  的成倍降低而呈等倍比增加, 说明废水中 COD<sub>Cr</sub>、SS 的累积过程并非遵循等倍比规律, 而是伴随有明显的生物吸附和电中和消解的发生。因此, 实际的 COD<sub>Cr</sub>、SS 的增幅, 将随着  $q$  的降低而逐步趋缓, 直至为零。

其除锰能力又得到恢复, 出水水质仍然达标。若进水铁浓度超过 14 mg/L, 将影响滤层的除锰性能, 而且在其他运行参数相同的条件下, 同一生物滤层对含铁量相对较低的地下水的除锰能力要高于含铁量高的地下水的除锰能力。

## 参考文献

- 张杰, 戴镇生. 地下水除铁除锰现代观. 给水排水, 1996. 22

(10): 13~16

- 国家环境保护局. 水和废水监测分析方法. 北京: 中国环境科学出版社, 1988. 381~389
- 李冬. 生物除铁除锰理论与工程应用技术研究: [学位论文]. 北京: 北京工业大学, 2004

○电话: 13121218006

E-mail: lidongzi@emails.bjut.edu.cn

收稿日期: 2005-02-24