

365-370

硅藻土过滤除铁研究*

范瑾初 赵秀英[✓] 孟建平

(同济大学环境工程学院, 上海, 200092)

TU 991.265

摘要 根据以硅藻土过滤(以下简称DEF)方法去除水中铁质的实验研究,重点分析了在不同预涂剂、附加剂和起始滤速下,铁的去除效果和过滤水头损失及滤速的变化,并对DEF除铁机理作了初步探讨。结果表明,DEF技术是一种有效的除铁方法,实验所用硅藻土由宁波染化厂生产。

关键词 硅藻土过滤; 助滤剂; 地下水除铁法
中图法分类号 TU 991.2

地下水除铁方法较多,采用DEF技术除铁,美、日等国已有研究资料报导,但在国内尚属首次。本项目是在研究DEF用于水的除浊、除菌的基础上进行的,重点研究原水含铁量在 $2\sim 4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 范围内DEF除铁特性。

硅藻土是硅藻遗骸经过千万年成岩作用形成的多孔性天然矿物,主要化学成分是 SiO_2 ,约占70%~90%,其次是 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 等,经过助熔煅烧的产品(如DE101型),粒径较粗;只经浮选提纯的原土,粒径较细。我国硅藻土资源丰富,迄今发现的矿区达50余处,遍及13个省、区,已探明储量约 $1.3\times 10^8\text{ t}$,远景储量约达 10^9 t ,故研究DEF去除水中铁质具有重要意义和应用前景。

1 实验部分

1.1 实验设备和工艺系统

图1为设计处理水量 $500\text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ 的DEF设备及工艺系统。

硅藻土过滤器外壳为不锈钢制的圆筒(直径150mm,高1060mm),内置一根外包不锈钢丝网的管状滤元(直径100mm,长600mm),各水箱容积见图注中括号数字,实验方法和操作步骤如下:

(1) 预涂:在水箱II内用清水和预定量硅藻土配成浆液,经水泵由DEF设备底部进入,自顶部流出再入水箱II,如此循环数分钟,滤元表面的预涂膜即形成,预涂所用助滤剂称预涂剂。

(2) 过滤:将不含铁的清水和预定量硅藻土助滤剂(以下称附加剂)投入配水箱,经搅拌后进入混合-氧化水箱IV,同时向该水箱连续注入预定量 FeSO_4 母液($\text{pH}<2.5$)并不停地搅拌。在混合-氧化水箱内, FeSO_4 、硅藻土和含氧清水充分混合,同时进行 Fe^{2+} 的氧化、

本文收到日期:1995年2月14日 第一作者:男,1935年生,教授

* 同济大学和法国利安水务公司合作项目资助

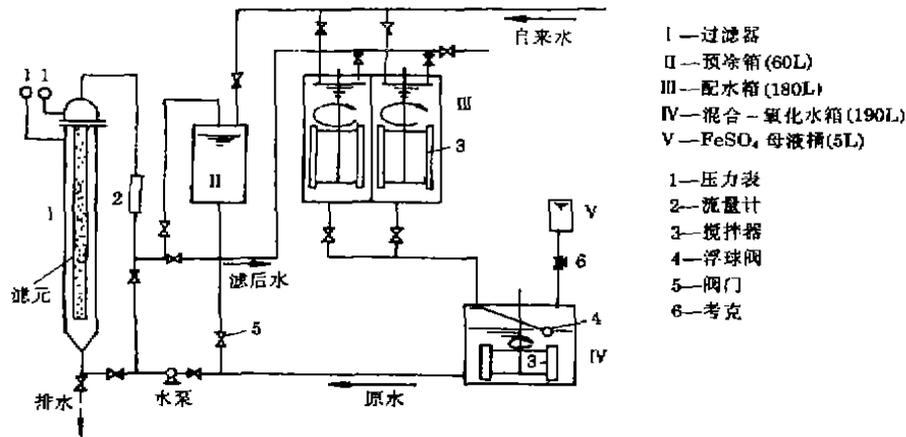


图 1 硅藻土过滤除铁设备系统图

Fe^{3+} 水解絮凝及吸附作用, 然后与附加剂一同泵入过滤器底部, 滤后水自顶部流出, 铁和附加剂则被滤元表面预涂膜截留。

(3) 反冲洗: 当过滤水头损失达到允许值或出水含铁量不符合要求时, 停止过滤进行反冲洗。反冲洗流向和过滤相反, 被冲下的滤饼随水流由过滤器底部排出。冲洗结束后, 下一工作周期开始。

1.2 水质分析及测定项目和仪器

- (1) 含铁量: 采用 751-G 分光光度计测定;
- (2) 溶解氧: 采用 YSI-58 (美) 溶氧仪测定;
- (3) pH: 采用 PHS-3DC 酸度计及 231 型 pH 玻璃电极和 232 型甘汞电极测定;
- (4) 浊度: 采用 GDS-3 光电浊度仪测定;
- (5) 压力差: 直接由滤前、滤后压力表读出。

1.3 助滤剂

原土: 平均粒径 $7.71\mu\text{m}$, $d=3.43\sim 8.34\mu\text{m}$ 占 67%, 浙江嵊县产。

DE101: 平均粒径 $14.66\mu\text{m}$, $d=8.10\sim 16.90\mu\text{m}$ 占 66%, 宁波染化厂生产。

2 结果和分析

2.1 起始滤速对 DEF 除铁效果和水头损失的影响

利用离心泵直接将原水送入过滤器是一种变压变速过滤方式, 即水泵扬程和过滤流量随时间而变化。起始滤速影响除铁效果和水头损失变化。表 1 和图 2 表示在相同预涂剂和附加剂下, 不同起始滤速的过滤特性。

实验表明: 原水含铁量在 $3.0\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右时, 滤速在 $2.43\sim 3.89\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ 范围内变化, 除铁效果相差不大。随着起始滤速提高, 铁的去除率仅缓慢下降, 但水头损失变化较大, 如曲线 C。不仅预涂层水头损失较大, 过滤初期水头损失增加也很快, 直至 3h 后, $h-t$ 曲线才逐渐平缓且趋于直线。滤速变化与水头损失变化相对应, 见图 2。这是本实验中变压变速过滤的普遍规律, 可用数学方式表达, 限于篇幅, 本文不作详细分析。需要说明的是, 随着过滤持续进行, 附加剂层逐渐增厚, 孔隙被堵现象减弱, 故使 $h-t$ 曲线逐渐平缓。这就是投加附加剂的主要作

用。

表 1 不同起始滤速下除铁效果

实验编号	起始滤速/ $\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$	平均含铁量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$		铁的平均去除率/%
		原水	滤后水	
A	2.43	3.00	0.037	98.8
B	2.92	2.81	0.037	98.7
C	3.89	2.76	0.080	97.1

注: 出水浊度均为零。

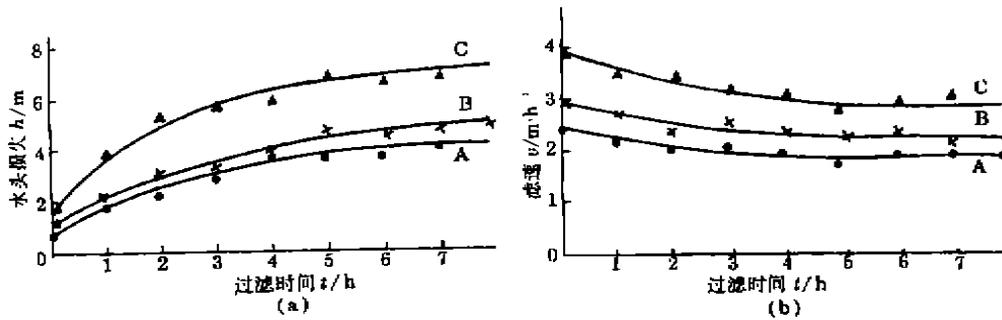


图 2 不同起始滤速下水头损失和滤速变化

2.2 预涂剂配比和用量对 DEF 除铁效果和水头损失的影响

实验表明: 三种不同预涂剂配比和用量, 平均除铁效果相差不大, 但预涂量少的 (如表 2 中实验 C), 平均除铁率较低, 主要是过滤初期易产生铁的泄漏现象, 而后随着滤膜增厚, 除铁率才逐渐提高。预涂层水头损失很小, 一般在 1m 以内, 对水头损失变化的影响也较小, 故预涂剂量应按保证出水水质决定。

表 2 预涂剂不同时的除铁效果

实验编号	预涂剂/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$				平均含铁量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$		平均铁去除率/%
	原土	DE101	总量	DE101/原土	原水	滤后水	
A	481	240	721	0.5	2.81	0.037	98.7
B	577	144	721	0.25	2.68	0.027	99.0
C	481	96	577	0.2	2.56	0.063	97.5

注: ①过滤条件: 附加剂/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$: 原土 56.7, DE101 66.7, 总量 133.4; 起始滤速/ $\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$: 2.43; 溶解氧/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$: 6.5~6.95; 滤后水浊度: 0。

②开始 1h 内, 滤后水含量 $0.34\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

根据 32 组实验, 提出以下预涂要求:

(1) 原水含铁量在 $3.0\sim 4.0\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 预涂剂总用量在 $700\sim 800\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 范围内为宜。含铁量高时, 预涂剂可适当增加。

(2) 预涂剂应采用粗、细等级硅藻土掺合使用。全用粗等级土 (如 DE101), 难保证过滤前期出水水质; 全用细等级土, 预涂困难, 且过滤初期水头损失增加较快。

2.3 附加剂配比和投量对过滤效果和水头损失的影响

在过滤过程中,附加剂连续投加(有时也可间歇投加),实验表明:①两种规格附加剂(原土和 DE101)搭配应用,与单一规格附加剂相比,铁的去除率差别较小,而水头损失差别较大,见表3和图3.实验C和D所用 DE101 剂量相同($66.7\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$),而实验D增加

表3 不同附加剂配比和用量的除铁效果

实验 编号	附加剂/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$				含铁量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$		铁的平均去 除率/%
	原土	DE101	总量	DE101/原土	原水	滤后水	
A	66.7	0	66.7	—	2.63	0.033	98.7
B	66.7	22.3	89.0	0.33	2.98	0.163	94.5
C	0	66.7	66.7	—	2.54	0.172	93.2
D	22.3	66.7	89.0	2.99	3.02	0.152	95.0

注:过滤条件:预涂剂/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$,原土481, DE101 240, 总量721;起始滤速/ $\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$: 2.43; pH: 6.94;溶解氧/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$: 6.8;滤后水浊度:0.

$22.3\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 原土,不仅无助于减缓水头损失增加速度,而且过滤初期水头损失增加更快.原因是粗、细等级硅藻土掺合后,孔隙减小.曲线A和B比较接近,是因为粗、细硅藻土量比例小的情况下,水头损失主要由细土控制.实验B多加 $22.3\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 DE101 也同样无助于延缓水头损失增加速度.因此,附加剂应采用单一规格硅藻土,不宜粗、细搭配.②附加剂采用粗等级硅藻土(如 DE101),水头损失增加缓慢,如细线A和C相比,但 DE101 价格较高,应通过技术经济比较决定.

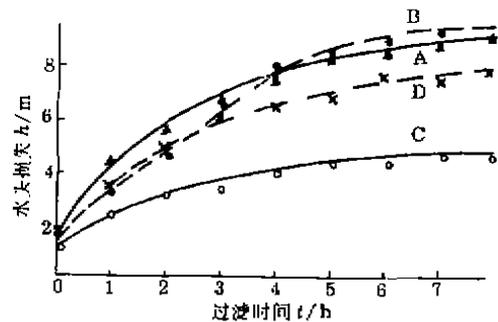


图3 附加剂不同时的水头损失变化

2.4 DEF 除铁特点和机理探讨

传统的自然氧化法除铁,除铁效果决定于 Fe^{2+} 氧化程度和 Fe^{3+} 水解物的絮凝效果.如果 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 絮凝效果不好,无论沉淀或砂滤均难去除. DEF 除铁对 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 絮凝效果要求不高,甚至 Fe^{2+} 未完全氧化,除铁效率也很高.为探讨 DEF 除铁机理,曾专门作了 Fe^{2+} 氧化动力学和硅藻土吸附 Fe^{2+} 的实验.限于篇幅,氧化和吸附实验过程本文从略,只引用实验结果.

根据吸附实验,在水温 30°C 下,原土对水中 Fe^{2+} 的最大吸附容量为 $2\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, DE101 吸附容量仅 $0.01\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$.

氧化实验是在 8L 容器中进行,因直接测定混合-氧化水箱内水中 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 比较困难.通过氧化实验数据整理, Fe^{2+} 氧化速率可用下式表示($\text{pH}>5.5$, 水温 20°C):

$$\frac{d[\text{Fe}^{2+}]}{dt} = 1.5 \times 10^{-15} \cdot 10^{2\text{pH}} \cdot [\text{Fe}^{2+}]$$

式中:系数 1.5×10^{-15} 已包括溶解氧浓度和反应速率常数及水的离子积在内.因溶解氧含量

充足且在氧化过程中浓度变化很小,相对 pH 值而言,该系数可作常数考虑。

根据以上吸附和氧化实验结果来分析表 3 中实验 A 的除铁机理。

混合-氧化水箱近似于 CSTR 型反应器,由水箱至过滤器的滤元表面,可近似作为 PF 型反应器。水在氧化-混合水箱内平均停留时间 28min;由水箱至滤元表面停留约 5min(包括在管道和过滤器内停留时间)。按 Fe^{2+} 氧化速度方程和 CSTR 及 PF 型反应器数学模型,求出 Fe^{2+} 最大氧化率为 86%。按原土最大吸附容量 $2\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 计,原土最多吸附 5% Fe^{2+} ,两者之和仍小于 DEF 除铁率(98.7%)。这说明尚有部分 Fe^{2+} 既未氧化成 Fe^{3+} 以至形成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 而被去除,也未被硅藻土吸附,可归因于 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 对 Fe^{2+} 的专属吸附^[9]。 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 吸附部分 Fe^{2+} 后,或与附加剂相互凝聚,或直接被滤膜滤除。因此,DEF 除铁作用可归结为以下几种机理的综合:

(1) 滤膜对 Fe^{3+} 水解凝聚物的筛滤应占主要地位。因 DEF 可滤除 50nm 以上微粒^[1],故凝聚物无需形成可沉降的大颗粒。在实验过程中,从未观察到混合-氧化水箱内絮凝体存在。

(2) 硅藻土附加剂对 Fe^{2+} 的直接吸附。

(3) 水中 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 吸附部分 Fe^{2+} 后,或与附加剂发生凝聚,或 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 与 Fe^{2+} 形成络合物而后被滤膜滤除。

综上所述,DEF 除铁对 Fe^{2+} 氧化、凝聚的要求不像自然氧化法那样高,氧化设备可以简单,这是它的重要特点。此外,DEF 除铁设备体积小,便于移动。

3. 结 论

(1) 预涂剂应采用粗、细等级不同的硅藻土相互掺合,粗土和细土用量之比在 1:2~1:4 范围内选用,预涂剂总用量一般约 $700\sim 800\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

(2) 附加剂宜采用单一规格硅藻土,通常采用粗等级硅藻土。附加剂用量根据原水含铁量决定。当原水含铁量在 $2.5\sim 4.0\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,附加剂用量一般在 $60\sim 100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之内。

(3) 在用离心泵直接向过滤器送水的变压、变速过滤条件下,起始滤速通常在 $2.0\sim 4.0\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ 范围内选用,原水含铁量高或滤后水质要求高者,宜用低限。

(4) DEF 除铁的主要作用是滤膜的筛滤,同时也存在硅藻土对 Fe^{2+} 的吸附、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 吸附 Fe^{2+} 后又与硅藻土相互凝聚或直接被滤膜筛滤等作用。采用 DEF 除铁,对 Fe^{2+} 的氧化及 Fe^{3+} 的水解、絮凝要求不高,砂滤池无法滤除的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体也可用 DEF 滤除。

(5) 本实验采用的原水是人工配水,尚需在实际含铁地下水水厂内进行进一步实验。对于含铁量高的原水,可在此基础上进行实验。

参考文献

- 1 孟建平,范瑾初,谢燕菊等.硅藻土过滤(DEF)技术研究.中国给水排水,1994,10(2):8~11
- 2 范瑾初,高乃云,吴柏生.高纯水制备的有效预处理—硅藻土过滤.给水排水,1994,20(6):11~13
- 3 李圭白.地下水除铁技术的若干新发展.给水排水,1983(3):19~21
- 4 Mcindoe R W JR. Diatomaceous earth filtration for water supplies. Jaur Wtr Wastes Engrg, 1969, 6(11): 48~51

