①

电气浮对水中油类及表面活性剂去除的试验研究

马志毅　郜宏漪*　刘瑞强
(太原理工大学, 太原 030024)

摘　要　本研究利用铁板作电极的反应器, 通过电气浮作用, 在 15min 内, 可将浮油去除 95%; 对乳化油的去除率可达 92%; 对 LAS 去除率达 93. 3%。

关键词: 电气浮, 气浮, 油类, 表面活性剂

电气浮是利用电解作用产生的气泡来进行矿物浮选或污染物去除的, 设备简单, 操作容易, 效果好, 成本低。

早在 1903 年的俄国, 就开始利用电气浮法去除蒸汽机冷凝水中的油类。1909 年澳大利亚的 Broke Hill 利用电气浮法, 浮选高岭矿石。1911 年有美国人用来处理城市污水。此后各国科学家都在研究。

1　试验装置

电气浮反应器主要由反应槽、电极板和直流电源三部分组成。

电极板是反应器的核心部件。尽管从理论和实践上讲, 铁、铝、锌、铜、磷、黄铜、青铜、铝合金、铜合金等导电材料都可在水处理中作为电极板[1], 但铁极板除价格便宜外, 在絮凝沉降性能、适应 pH 范围以及残留毒性等方面, 比铜、铝等材料都有优势, 所以本研究选定铁为电极。每片电极为 24cm × 25cm × 0. 3cm 的 A_3 钢板, 有效面积 240cm^2, 共 18 片, 板间距 1cm。

电极联结方式采用混合联结, 即先串联后并联的方式(如图 1)。这既可使总电压控制在安全电压以内, 使槽体和出水不致出现带电现象; 又可使整流器输出的总电流不致过大; 也可使导线数量减少, 使结构不太复杂, 不会出现因极板碰撞发生短路的危险。

反应槽采用聚丙烯制 36cm × 27cm × 20cm 的压力式矩形容器。有效容积 6. 5L。

直流电源为 WY - 178 型晶体管稳压电源, 输出电压 0- 3V, 输出电流 0- 3A。北京电子显示仪器厂制造。

装置系统如图 2。

① 收稿日期: 1997- 08- 27
* 太原市政工程设计院工作

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.n

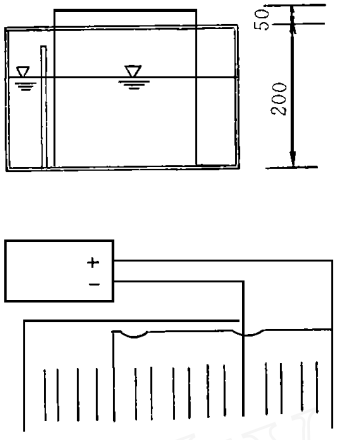


图 1 所用电极联结方式(单位 mm)

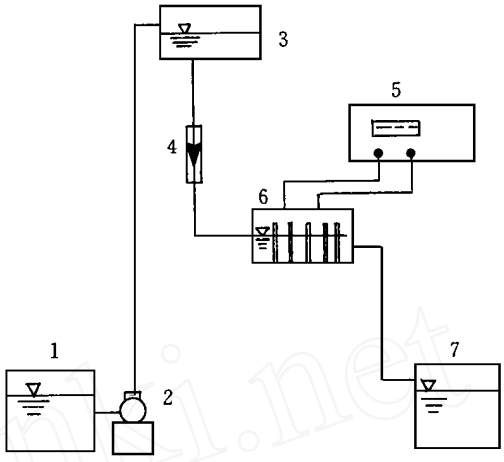


图 2 电气浮处理系统

1. 配水槽 2. 加压泵 3. 高位水箱 4. 转子流量计
5. 直流电源 6. 电凝泵反应器 7. 出水槽

2 电气浮对水中油类的去除效果

2.1 原 理

在水处理领域,气浮法主要用于去除废水中难以自然沉降、又难以自然上浮,比重接近于 1 的悬浮颗粒。对一定废水,决定气浮效率的主要因素是气泡大小和污染物的稳定性。

在电气浮反应器中,由水分子电离生成的阳离子(H^+)在阴极得到电子,生成氢气:

$$2H^+ + 2e \rightarrow H_2\uparrow \quad (1)$$

有一部分 OH^- 会在阳极失去电子,生成 O_2:

$$4OH^- - 4e \rightarrow O_2\uparrow + 2H_2O \quad (2)$$

更多的 OH^- 与阳极生成的 Fe^{2+} 反应,生成 $Fe(OH)_2$ 沉淀:

$$Fe - 2e \rightarrow Fe^{2+} \quad (3)$$

$$Fe^{2+} + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2\downarrow \quad (4)$$

一部分 $Fe(OH)_2$ 被(2)式中生成的 O_2 及水中溶解的氧,氧化生成 $Fe(OH)_3$ 沉淀:

$$4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3\downarrow \quad (5)$$

如式(1)、(2)所生成的氢气和氧气,其粒径分别只有 20μm 和 20~60μm,远小于一般溶气气浮法的气泡(80μm)和布气气浮法的气泡(1000μm),因而电气浮具有较高的去除效率[2]。

此外,在电解过程中还发生下列反应:

$$Fe^{2+} + O_2 + H^+ \rightarrow Fe^{3+} + HO_2 \quad (6)$$

$$Fe^{2+} + HO_2 + H^+ \rightarrow Fe^{3+} + H_2O_2 \quad (7)$$

$$Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + HO + OH^- \quad (8)$$

$$Fe^{2+} + HO \rightarrow Fe^{3+} + OH^- \quad (9)$$

其间所生成的羟自由基 OH,氧化性极强。它可将油滴表面的表面活性剂氧化破坏,使油滴脱稳。同时电解中所生成的 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 可通过电中和作用,压缩油滴双电层,使油滴脱稳。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

上述气泡的产生和脱稳剂的加量都可通过改变电流加以控制。省去了常规气浮法的加气和加药设备, 减少了占地, 移动方便, 操作简易。

2.2 去除浮油的试验效果

用 10# 抗压耐磨油与自来水充分搅拌混合, 作为试验水样, 其中没有泥砂, 也几乎不含表面活性剂, 油以浮油及细分散状存在, 含油浓度 300mg/L, pH= 7, 将此原水经电气浮处理后, 将出水上层浮渣去掉, 测定含油浓度, 结果如图 3。从中可以看出, 停留时间比电流大小对去除率影响更大。当 I= 0.9A、t= 15min 时, 去除率可达 95%。

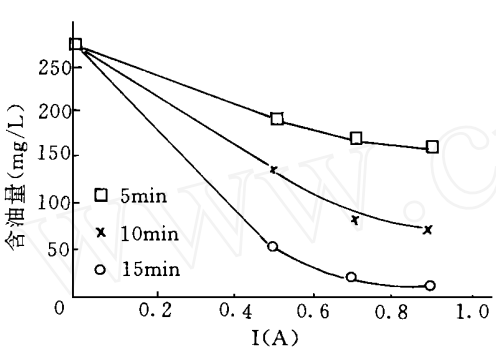


图 3 电气浮对浮油去除试验结果

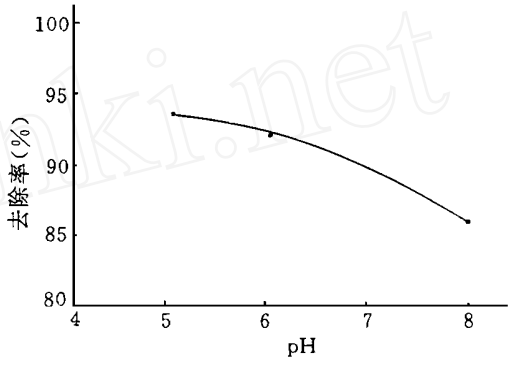


图 4 pH 对乳化油去除的影响

当改变 pH 值, 在 I= 0.9A、t= 15min 下对上述含油原水作电气浮试验, 其结果见表 1。

表 1 pH 值对浮油去除的影响

	pH 值	4	5	7	9
原水	吸光度 T	0.89	0.87	0.93	0.90
	含油量(mg/L)	256	246	270	258
出水	吸光度 T	0.072	0.070	0.065	0.125
	含油量(mg/L)	20.5	20.2	13.0	35.3
去除率(%)		92.6	91.8	95.0	86.0

可见, 当进水 pH= 7 时, 除油效率最高。这与 Glembutskiy 等人所得出 pH= 7 时电气浮产生出的气泡最小的结论[3]是一致的。

2.3 去除乳化油的试验效果

将 10# 抗压耐磨机油及 2mg/L 的十二烷基苯磺酸钠(LAS)加入自来水中充分混合, 然后静置 0.5h, 撇去浮油, 形成乳化油水样, 在 pH= 7、I= 0.9A、t= 15min 的条件下经电气浮处理, 其结果见表 2。

表 2 电气浮对乳化油的去除效果

原 水	吸光度 T	1.70	0.99	0.31
	含油量(mg/L)	488.0	285.0	89.0
出 水	吸光度 T	0.15	0.11	0.07
	含油量(mg/L)	42.0	31.3	21.0
去除率 (%)		91.4	89.0	76.0

可见, 对乳化油的去除率平均可达 85.3%, 最高达 91.4%。对照常规加压溶气气浮法

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

(DAF)投加 $FeCl_3$ 50～60mg/L 的条件下,对乳化油的去除率只有 60%～66.7%[4],显然电气浮效果优于常规气浮法。

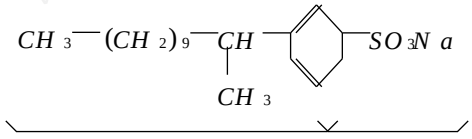
图 4 是改变 pH 后的试验结果。可以看出,在较低的 pH 下,电气浮对乳化油去除效果最佳,这是因为 pH 低,H^+ 浓度增大,致使油珠的双电层被压缩而脱稳、凝聚,所以这是脱稳的最佳 pH。对照表 1 所指的最佳 pH 值(pH = 7),那是气浮的最佳 pH。由图 4 知,当 pH = 7 时,其效率低于 pH = 5 的去除率,可见,脱稳是气浮过程的控制因素。

3 电气浮对水中表面活性剂的去除效果

3.1 原 理

废水中的表面活性剂一般为合成洗涤剂,其主要成份是十二烷基苯磺酸钠,简称LAS。它可在水面形成泡沫,影响水体复氧,会妨害水中绿色植物的生长,使鱼类中毒。以气浮法去除比较实用、高效。

LAS 为两亲性物质,其分子的一端为憎水亲油基团,另一端为亲水基团:



亲油基　　亲水基

当水中LAS 分子遇到气泡时,其憎水端即插入气泡中与气泡牢固结合,上浮到水面。

水中的LAS 有一部分会发生电离,而以离子形式存在:

$$C_{18}H_{29}SO_3Na \rightleftarrows C_{18}H_{29}SO_3^- + Na^+ \quad (10)$$

$$C_{18}H_{29}SO_3^- + H_2O \rightleftarrows C_{18}H_{29}SO_3H + OH^- \quad (11)$$

电气浮过程中所产生的阳离子 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 会因混凝作用去除部分LAS。

同时,电气浮过程中所产生的大量 $Fe(OH)_3$ 絮体,会吸附大量气泡,受到较大浮力上升至水面;而且絮体保护着气泡不致在水面炸裂,从而使吸附在气泡上并上升到水面的LAS 不致重新混入水中而降低对LAS 的去除率。

3.2 去除LAS 的试验效果

表 3 电气浮对不同浓度LAS 的去除效果

原水	吸光度	0.10	0.33	0.66	1.14
	LAS 浓度(mg/L)	40.5	142.0	270.0	492.0
处理后	吸光度	0.013	0.020	0.025	0.077
	LAS 浓度(mg/L)	6.5	10.2	13.0	32.3
去除率(%)		83.4	92.8	95.2	93.4
试验条件		pH = 7, I = 0.9A, t = 15min			

将人工配制的不同浓度的LAS 水样,分别加入电气浮反应器中,在 I = 0.9A、t = 15min 的条件下进行试验,其结果见表 3。

可见,利用电气浮法去除水中LAS 具有很好效果,对不同浓度的LAS,去除率平均为 91.2%,最高达 95.2%。

利用 H_2SO_4 与 NaOH 将原水调节成不同 pH 值,在 I = 0.9A、t = 15min 条件下,分别进行

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

试验，其结果见图 5。

可见，pH > 7 时，去除率提高，而最佳 pH 值为 9- 10。其原因，可通过式(10)和(11)加以解释。当水中 pH 增大时，OH^- 离子浓度增大，使反应向左进行，增加 LAS 的浓度，从而提高其去除率(由表 3 知)。同时，水中 Na^+ 的增加，不但可提高 LAS 浓度，而且 Na^+ 还对水中 LAS 的存在有排斥作用[5]，使 LAS 更容易与水分离而与气泡结合。

当水中 pH 降低时，会使反应向右移动，增大烷基苯磺酸($C_{18}H_{29}SO_3H$)的浓度，而减少 LAS 的浓度；同时烷基苯磺酸的两亲性比 LAS 小，用气浮法去除它的效率比去除 LAS 低。

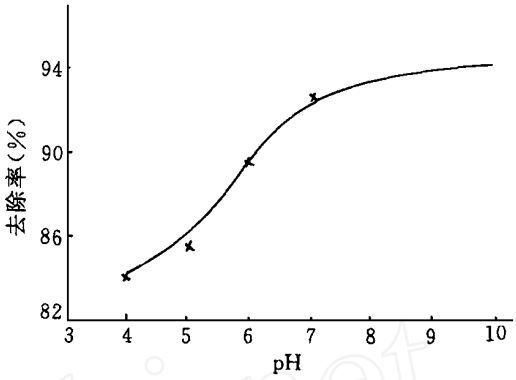


图 5 pH 值对 LAS 去除率的影响

4 结 论

电气浮法可在不另外充气和加药的条件下，使水中浮油的去除率最高达 95%，使乳化油的去除率最高达 92%。脱稳最佳 pH 值为 5，而气浮最佳 pH 值为 7。

利用电气浮法去除水中的 LAS 具有很好的效果，对不同浓度的 LAS，平均去除率达 91. 2%。pH > 7 时效率提高，最佳 pH 为 9～10。

在试验条件下，最佳工作条件是 I= 0. 9A、t= 15m in。

参 考 文 献

1 Balmer L M and Foulds A W (Belgium), Fittration & Separation, 1986, 23(6): 366
2 G L Collins and G J Jameson (England), Chemical Engineering Science, 1976, 31: 985
3 Glembotskiy V A (Poland) *et al*, Electrochemistry in Industry Processing and Biology, 1992, 29(5): 66
4 Y Fukui and S Yun (Japan), Chemical Engineering Science, 1982, 35: 1097- 1105
5 赵国玺，表面活性剂物理化学，北京，北京大学出版社，1991: 130, 241

TENTATIVE STUDY OF THE REMOVAL OF OIL AND LAS IN WATER BY ELECTROFLOTATION

Ma Zhiyi, Gao Hongyi and Liu Ruiqiang
(*Taiyuan University of Technology*, 030024)

Abstract: The results demonstrated that by electroflotation using iron plates as anode and cathode within 15 minutes the removal efficiency for the floating oil, the emulsified oil and the LAS, amounted to 95%, 92% and 93. 3% respectively.

Key words: electroflotation, oil, LAS

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n