doi:10.3969/j.issn.1005-3158.2012.03.014

油田采出水微波处理技术探讨

冀忠伦 任建科 赵 敏 周立辉

(中国石油长庆油田油气工艺研究院低渗透油气田勘探开发国家工程实验室)

摘 要 微波应用于油田采出水处理,具有辅助絮凝、杀菌、降低腐蚀的作用。实验表明:应用微波处理油田采出水,可使 PAC(聚合氯化铝)加量减少 20%、PAM(聚丙烯酰胺)减少 30%,处理时间仅为常规工艺的 1/4,微波处理 60 s 可将采出水中的 TGB(腐生菌)、FEB(铁细菌)、SRB(硫酸盐还原菌)杀死 99%以上,与常规工艺相比,微波处理后水质腐蚀率可下降 20%以上。

关键词 油田采出水;微波;絮凝;杀菌;腐蚀

中图分类号:X703.1 **文献标识码**:A **文章编号**:1005-3158(2012)03-0044-03

0 引 言

微波是一种高频电磁波,频率约在 300 MHz~300 GHz 之间,波长范围为 1 m~1 mm。微波技术在催化、物料干燥、食品工业和医学等不同领域中被广泛应用。近年来微波技术在环境污染治理中的应用范围也日益扩大[1-2]。微波用于气态污染物的治理,可诱导催化 NO_x、SO_2 等气体的分解转化;在固废处理与处置的应用中,微波技术可用于多氯联苯、多环芳烃和有毒金属离子等污染的控制;微波技术还广泛应用于染料废水、炼焦废水、餐饮废水等有机废水的处理。

油田开采过程中会产生大量废水,我国油田采出水经处理后主要回注地层用于"二次采油"。为防止堵塞地层、减轻对管线的腐蚀,油田采出水回注需满足悬浮物、含油、细菌等指标的要求[3]。油田采出水具有含油量高、矿化度高、细菌含量高等特点,常规"除油-过滤"工艺易出现除油不彻底、滤料堵塞、板结等问题。文章对微波技术在油田采出水处理中的应用进行实验和探索,以寻找针对油田采出水水质特点的新型处理方法。

1 水质分析

实验用水取自长庆油田某采油厂。长庆油田为低渗透油田,应用"超前注水"开发模式,对回注水要求较高。长庆油田采出水含盐量普遍较高,易导致管线和处理设施的腐蚀、结垢和板结,具体水质指标见表 1。

表 1 油田采出水水质指标

项目	pH	COD/(mg/L)	SS/(mg/L)	含油量/(mg/L)	Cl^-/(mg/L)	SRB/(个/mL)	TGB/(个/mL)	FEB/(个/mL)	腐蚀率/(mm/a)
数值	7.38	721	106	174	16 284	1×10^3	1×10^5	1×10^5	0.087

由表 1 可知,该油田采出水含盐量高、细菌数量高,含油量和悬浮物也较高,应用"除油-过滤"工艺处理易造成处理设施的堵塞。

2 技术原理

微波具有波动性、高频性、穿透性,能产生物理、化学和生物效应。微波可使偶极子极化,导致极性介质高速剧烈运动,产生大量的热,对介质的表面性质也有影响。微波能量约为 1×10^{-6} ~ 1×10^{-3} eV,可使化合物中某些化学键振动或转动,导致这些化学键的键能减弱,从而降低反应的活化能,促进化合物分解。在微波作用下也可改变油水表面特性,压缩颗粒双电层,降低 Zeta 电位,颗粒物布朗运动加剧,颗粒相互凝聚的趋向加大。另外,微波的电磁场热效应会使细菌体内蛋白质变性凝固,改变细胞膜的通透性能,诱发遗传基因链断裂,致使细菌死亡。因此微波技术具有诱导催化、辅助絮凝、油水分离和杀菌的作用,对油田采出水的处理极为有利。另外,有研究表明一定量的盐能促进微波作用下的油水分离[4-5],因此微波技术不仅适用于油田采出水的处理,因油田采

冀忠伦,2005 年毕业于中国石油大学(北京),硕士,工程师,现在中国石油长庆油田油气工艺研究院从事油气田安全环保技术工作。通信地址:陕西西安市未央区明光路长庆油田油气工艺研究院安全环保室,710018

出水高含盐的特点还可以使处理效果更好。

3　实验部分

3.1 试剂和仪器

PAC：工业纯，Al_2O_3≥29%；PAM：工业纯，阴离子型，分子量≥1×10^7；腐蚀试片：J55 钢；仪器：MCL-2型微波化学实验仪。

3.2 分析方法

在油田采出水处理实验过程中，以悬浮物含量和含油量为主要评价指标。悬浮物含量、含油量、细菌数量、腐蚀率等分析方法按照 SY/T 5329－94《碎屑岩油藏注水水质推荐指标及分析方法》进行。

4　结果与讨论

4.1 絮凝剂加量对处理效果的影响

根据现场经验和前期实验，该油田采出水在常规絮凝时，PAC 加量 300 mg/L、PAM 加量 10 mg/L 时效果较好，悬浮物和含油量可控制在 10 mg/L 以下。实验过程中，在油田采出水中加入不同量的 PAC 和 PAM，在微波反应器中反应 1 min，静置一定时间后测水中悬浮物和油含量，结果见图 1、图 2。

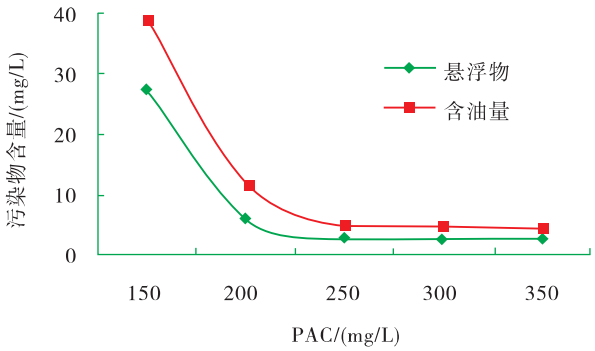


图 1　PAC 对处理效果的影响

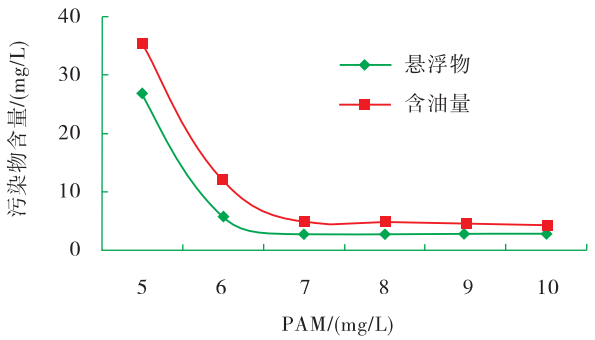


图 2　PAM 对处理效果的影响

由图 1、图 2 可知，采用微波絮凝可减少絮凝剂 PAC、PAM 的加量。在微波作用下，PAC 加量在 250 mg/L 时，悬浮物和含油量可降至 5 mg/L 左右，PAC 加量减少近 20%；利用微波的辅助絮凝作用，PAM 加量也降至 7 mg/L，减少了 30%左右。其原因可能是一方面微波作用快速提高了水温，促进絮凝反应的进行；另一方面微波具有破坏油水界面和双电层的作用，极性分子高频率旋转导致电中和作用，降低油水界面膜强度，促进分散相的聚结；另外，水、油、悬浮物由于极性不同在微波作用下接受的能量也不同，促使油和悬浮物从水中分离出来。

4.2 反应时间对处理效果的影响

在微波作用下 PAC 加量为 250 mg/L、PAM 加量为 7 mg/L 对油田采出水进行处理，研究不同反应时间和静置沉淀时间对处理效果的影响，见图 3、图 4。

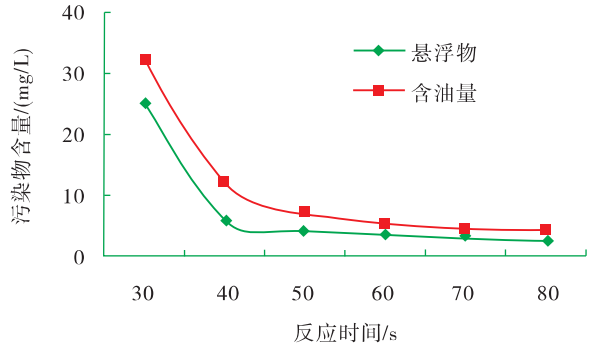
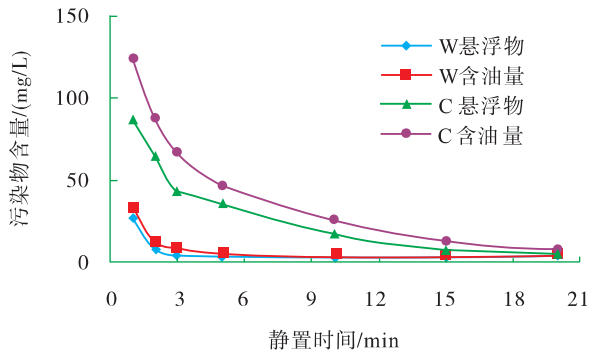


图 3　反应时间对处理效果的影响



W为微波；C为常规

图 4　静置沉淀时间对处理效果的影响

由图 3、图 4 可知，在微波作用下反应 50～60 s，静置沉淀 3～5 min 后，水质悬浮物和含油量可降至 10 mg/L 以下，要达到同样的水质要求，常规絮凝沉淀工艺需要 20 min。应用微波技术可实现油田采出水的快速处理，提高了絮凝沉淀反应速率，时间仅为常规工艺的 1/4。微波的高频性可快速破坏原有的水界面，促进絮体的形成，微波的穿透性使废水絮凝反应具有“整体”效果，在微波作用下，提高反应速度。

4.3 微波功率对处理效果的影响

在油田采出水中加入 250 mg/L 的 PAC、7 mg/L 的 PAM，对其进行处理，研究不同微波功率对处理效

果的影响，见图 5。

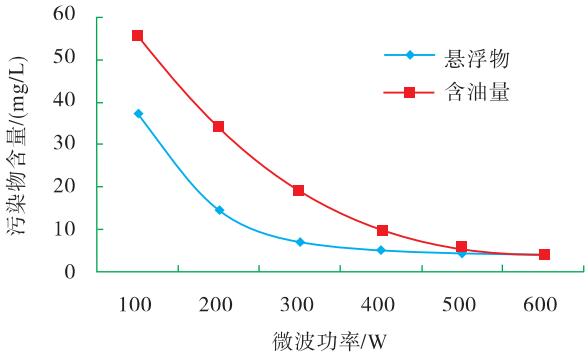


图 5 微波功率对处理效果的影响

由图 5 可知，随着微波功率的增大，出水悬浮物和含油量不断变小。当微波功率大于 300 W 时悬浮物含量基本保持不变，而含油量保持不变则需要微波功率大于 500 W，说明在油田采出水中悬浮物比原油更容易去除，最佳应用微波功率为 500 W。

4.4 微波处理对细菌的影响

微波杀菌是微波热效应和生物效应共同作用的结果[6-7]。一方面微波能在细菌体内转化为热能，将细菌体内蛋白质变性凝固，使细菌失去营养和生存条件而死亡；另一方面微波影响细菌膜断面的电位分布和周围电子、离子浓度，从而改变细胞膜的通透性能，同时微波亦能导致细菌 RNA 和 DNA 氢键松弛、断裂和重组，致使细菌死亡。微波作用对油田采出水中 SRB、TGB 及 FEB 的影响见表 2。

表 2 微波作用对细菌的影响

微波作用时间/s	SRB/(个/mL)	TGB/(个/mL)	FEB/(个/mL)
0	1×10^3	1×10^5	1×10^5
20	70	1×10^3	1×10^3
40	25	170	126
60	0	44	27
80	0	14	0

由表 2 可知，原水中的 TGB 和 FEB 均为 1×10^5 个/mL、SRB 为 1×10^3 个/mL。微波处理 60 s 后的 TGB 和 FEB 分别降至 100 个/mL 以下，而 SRB 降至 0，采出水中 99%以上的 TGB、FEB、SRB 已被杀死，说明微波具有明显的杀菌效果。

4.5 微波处理对腐蚀性的影响

油田采出水腐蚀性是由水体中的腐蚀性离子和细菌等因素造成的，直接影响到管线的使用寿命。应用微波技术对油田采出水进行处理，可降低采出水的腐蚀率，微波与常规工艺处理腐蚀率对比见图 6。

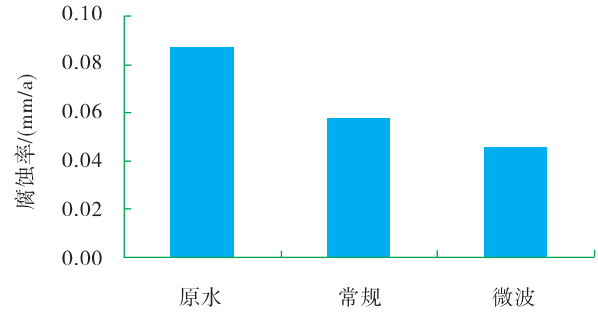


图 6 微波与常规工艺处理腐蚀率对比

由图 6 可知，原水腐蚀率为 0.087 mm/a，常规絮凝工艺可将腐蚀率降至 0.058 mm/a，在微波作用下腐蚀率降为 0.045 mm/a；与常规工艺对比，微波处理后水体腐蚀率下降 20%以上。油田采出水的腐蚀由电化学腐蚀和细菌腐蚀共同引起，絮凝沉淀可去除一部分矿物质胶体，从而降低电化学腐蚀；而微波絮凝处理不仅降低了电化学腐蚀，还极大降低了细菌腐蚀。

5 结 论

◆ 微波具有波动性、高频性、穿透性，能产生物理、化学和生物效应；应用于油田采出水的处理可克服含油高、含盐高等常规工艺的难点。

◆ 微波具有辅助絮凝的功能，应用微波处理油田采出水，PAC 加量减少 20%、PAM 减少 30%，处理时间仅为常规工艺的 1/4，最佳应用微波功率为 500 W。

◆ 微波具有较强的杀菌功效，微波处理 60 s 可将采出水中 99%以上的 TGB、FEB、SRB 杀死；微波也能降低水质的腐蚀性，与常规工艺相比微波处理后水体腐蚀率下降 20%以上。

参 考 文 献

[1] 鹿雯，张登峰，胡开林，等. 污染治理中的微波诱导催化技术[J]. 资源开发与市场，2007，23(9)：772-774.

[2] 李晨曦，李惠民，邓兵杰. 微波诱导催化技术在污染治理中的应用[J]. 四川化工，2007，10(1)：38-40.

[3] SY/T 5329－94 碎屑岩油藏注水水质推荐指标及分析方法[S].

[4] 赵杉林，毛燎原，张起凯，等. 海水稀释-微波辐射协同作用高稠油脱水研究[J]. 石油学报：石油加工，2007，23(2)：62-67.

[5] 张起凯，赵杉林，李萍. 氯盐强化下微波辐射稠油脱水的研究[J]. 石化技术与应用，2009，27(5)：412-415.

[6] 黄建蓉，郭祀远，蔡妙颜，等. 食品微波杀菌新技术的研究进展[J]. 食品与发酵工业，1998，24(4)：44-46.

[7] 杭锋，陈卫，龚广予，等. 微波杀菌机理与生物学效应[J]. 食品工业科技，2009，30(1)：333-336.

（收稿日期 2011-06-16）

（编辑 袁立凡）