

文章编号:1673-9981(2010)03-0226-05

# 三元注入站静态混合器导流芯垢物研究及清洗措施

韩文静, 宋进朝

(永城职业学院机电系, 河南 永城 476600)

**摘 要:**为解决三元注入站静态混合器结垢堵塞的问题,利用扫描电子显微镜、能谱仪等对垢物进行了分析和表征。结果表明,垢物主要是碳酸盐和腐蚀产物  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 。其堵塞主要是由聚合物与三元采出液的污水混合引起的,因污水中含有易分泌粘状物的铁细菌。对此,提出了采用含盐酸、渗透剂和缓蚀剂等成分的复配型除垢剂除垢。

**关键词:**垢物;静态混合器;表征;除垢

**中图分类号:** TG115.5

**文献标识码:** A

静态混合器是一种没有运动部件的高效混合设备,通过固定在管内的混合单元内件,使二股或多股流体产生液体的切割、剪切、旋转和重新混合,达到流体之间良好分散和充分混合的目的。石油生产过程是一环扣一环的,每一个生产单元对整个流程都是至关重要的,往往某一环节出现问题会影响整个装置的正常连续运行,给生产造成巨大损失。注入站的静态混合器是三次采油聚合物注入站用于母液和水相混合的一种专用设备,结垢堵塞将导致其停运,影响生产效率,因此有必要解决静态混合器结垢堵塞问题,以保证生产的正常运行。

## 1 实验方法

### 1.1 取样

清水罐的水经过离心泵和电动阀进入具有分散溶解作用的水粉混配器,和经过计量的干粉混合。初步湿润的水粉混合物经过分散装置配备的螺杆泵被输送到熟化罐中进行熟化,熟化后的母液经过螺杆泵喂入泵进入注聚泵的入口,在注聚泵增压后与污水按比例混合,然后通过静态混合器注入井内<sup>[1]</sup>。而静态混合器上附着的大量垢物,较为坚硬且不易剥离。

将垢物从静态混合器导流芯上取下,对其进行分析。

### 1.2 测试

测试前将样品表面去油污并烘干。采用 S-3400N 扫描电镜分析样品形貌。化学分析前将样品的有机质溶蚀,用石油醚浸泡、冲洗,烘干后称重。采用 INCA 350 型 EDS 分析样品成分。

## 2 结垢物的表征与分析

### 2.1 形貌观察

从图 1 可看出,垢物的外观主要为乳白色片状或粉粒状物。紧挨静态混合器的垢物内表面为灰褐色致密组织,内有空洞,由许多细小圆形颗粒和片状不规则颗粒组成。垢物外表面呈浅白色,为疏松多孔组织。

### 2.2 化学分析

在垢物中加入稀盐酸,有大量的气体产生,说明垢物中有碳酸盐。垢物经稀盐酸充分溶解后过滤,滤纸上留有少量的不溶物和泥砂状物质。取其滤液分析,结果表明滤液中有铁离子存在,说明垢物中有铁的氧化物。垢物的化学成分详见表 1。

收稿日期:2010-03-03

作者简介:韩文静(1985—),女,河南商丘人,讲师,硕士。

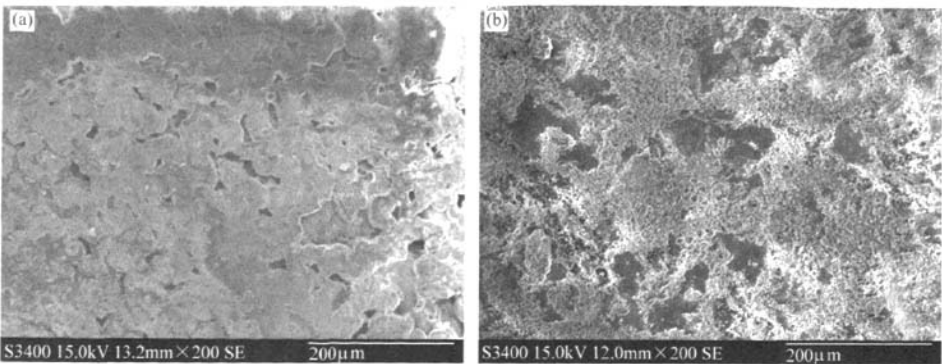


图 1 垢物形貌  
(a)垢物内表面;(b)垢物外表面  
Fig. 1 The SEM morphologies of the scale substances  
(a)The inner surface of the scale substances; (b)The outer surface of the scale substances

表 1 垢物的化学成分						
Table 1 Chemical constituents of the scale substances						
垢物组成	H <sub>2</sub> O	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	酸不溶物	有机物
含量 w/%	5.85	51.56	6.33	5.72	20.48	7.29

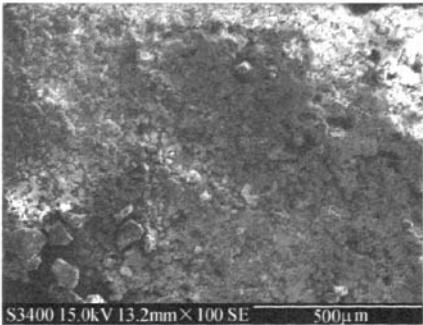


图 2 垢物内表面 SEM 图像  
Fig. 2 The SEM morphology of inner surface of the scale substances

由表 1 可知,垢物成分主要为碳酸钙、碳酸镁、酸不溶物、有机物和水.垢物含酸溶物(碳酸盐及少量 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)约 63.6%.图 2 和表 2 表明,垢物内表面化学成分组成中镁、硅、铁、碳含量很高,而钙的含量不高,灰白色颗粒经测定为 100%Si,说明垢物中含有较纯净的石英质.图 3 和表 3 表明,外表面化学组成中钙的含量较高,为碳酸钙沉淀.由此可以推断,结垢初期大量的锈垢、泥沙以及溶液中形成的镁垢

附着导流芯表面上,随着时间的推移,钙垢以此为晶核逐渐生成.

表 2 垢物内表面能谱化学分析		
Table 2 The EDS analysis of inner surface of the scale substances		
元素	质量分数/%	原子分数/%
C	39.31	53.80
O	32.06	32.94
Mg	4.60	3.11
Si	12.58	7.36
Ca	1.19	0.49
Fe	6.15	1.81
Ba	4.11	0.49
合计	100.00	

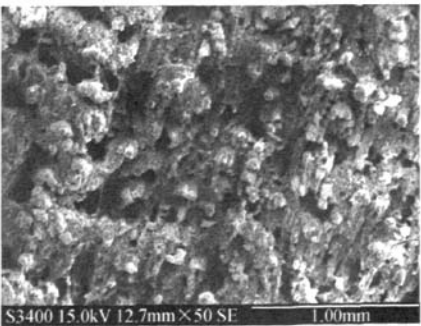


图 3 垢物外表面 SEM 图像  
Fig. 3 The SEM morphology of outer surface of the scale substances

表3 垢物外表面能谱化学分析

Table 3 The EDS analysis of outer surface of the scale substances

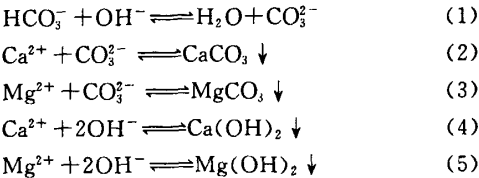
元素	质量分数/%	原子分数/%
C	19.45	32.19
O	46.32	57.55
Ca	15.12	7.50
Ba	19.11	2.77
合计	100.00	

3 形成结垢物的原因

三元注入复合驱体系的化学药剂(主要是弱碱Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>,加入量为0.5%)与污水混合后,与污水中

的成垢离子发生物理化学作用,产生沉淀.表4为水样的分析结果.

其结垢机理大致为:



结垢主要由温度、压力等热力学条件改变引起的,垢的形成过程可简单表示为:溶液→过饱和溶液→晶体析出→晶体生长→结垢.对于垢的形成过程,溶液过饱和状态、结晶的沉淀与溶解、与表面接触时间等是关键因素,其中过饱和度是结垢的首要条件,而过饱和度除与溶解度有关外,还受热力学、结晶动力学、流体动力学等多种因素的影响<sup>[2]</sup>.

表4 水样分析结果

Table 4 Analysis results of water samples

Table 4 Analysis results of water samples											mg/L
	pH(20℃)	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	OH <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	总矿化度
清水	7.51	199	640	0	0	105	24	0	0	358	1400
污水	8.22	1000	2257	0	0	23	15	10	0	1982	5294

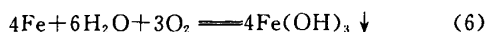
在此流体动力学因素起了很大的作用,流体动力学因素主要是液流形态(层流、紊流)、流速及其分布.静态混合器的混合过程是靠固定在管内的混合元件进行的.由于混合元件的作用,使流体时而左旋时而右旋,不断改变流动方向,不仅将中心液流推向周边,而且将周边流体推向中心,从而达到良好的径向混合效果.与此同时,在相邻元件连接处的界面上亦会发生流体自身的旋转作用.这种完善的径向环流混合作用,使流体在管子截面上的温度梯度、速度梯度和质量梯度明显减少.两种或多种物质之间的混合通常依靠扩散、对流和剪切三种作用来完成.对于高分子聚合物(如聚丙烯酰胺溶液)而言,由于大分子移动的粘滞性,分子的扩散作用在聚合物混合中的效应完全可以忽略不计<sup>[3]</sup>.

静态混合器中没有强大的推动力,对流作用没有明显的效果.紊流虽然可以加大聚合物凝聚体水溶液的对流分布作用,但由于高分子聚合物水溶液的粘度通常较大,流动往往处于层流状态.剪切使物质粒子或凝聚体产生变形,混合时作为分散相的聚

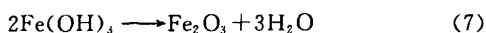
合物粒子或凝聚体受剪切作用,由大到小进行分散<sup>[4]</sup>.

渗流较层流、层流较湍流更容易结垢,亦即雷诺数越小越易结垢.初始状态,混合物混合单元分割旋流产生的对流剪切,分散分布混合作用大于紊流的对流剪切混合作用.随着长度的增加,紊流的混合作用加强,二者混合程度接近.紊流使水质点相互碰撞,流速增加使液流搅合程度增大,沉淀晶体凝聚加剧,促使晶核快速形成.管线内不光滑表面、已腐蚀表面附近易出现紊流状态,使局部过饱和度增大产生结垢.结垢优先发生在高度紊流区,因为紊流可促进混合和传质,有助于壁表面上的晶核生成.紊流剧烈,更易发生结垢.流速对油田结垢的影响目前有两种相反的研究结论:一种是提高流速能抑制结垢.流速提高,增大了流体沉积物的切应力,从而加剧了垢物自表面脱除.另一种是提高流速促进结垢生长.流速提高,结垢过程中离子扩散阻力较大或沉积物附着力很强,而流体切应力相对较弱,从而易附着成垢<sup>[5]</sup>.

另外,污水对管道设备的腐蚀也影响垢物的生成。低温水在系统中循环时与空气充分接触,使水中溶解的氧可以达到饱和状态。当碳钢与溶有氧的水接触时,由于金属表面的不均匀性和水的导电性,在碳钢表面会形成许多腐蚀微电池,微电池的阴极区发生还原反应,阳极区发生氧化反应。碳钢在水中的腐蚀反应式为:



最终沉淀物为  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 。



$\text{Fe}_2\text{O}_3$  结构疏松无保护作用,使微电池的阳极区的金属不断溶解而被腐蚀。腐蚀加速结垢,垢物中的锈垢由此产生。微生物的滋生也会使金属产生坑蚀和点蚀,这是由于微生物排出的粘液无机垢和泥沙杂物等形成的沉积物附着在金属表面,形成氧浓差电池,促使金属腐蚀。污水中含有大量的有机物,但因矿化度高,介质与胞体内渗透压差大,不宜滋生细菌。而清水具备形成细菌的条件,但没有营养物质。清水与污水混合后,细菌将大量繁殖,产生结膜现象。这是因为:细菌最适宜的生长温度为  $30 \sim 35^\circ\text{C}$ ,含油污水温度一般为  $45^\circ\text{C}$ ,清水温度一般约  $17^\circ\text{C}$ ,二者相混后,混合水的温度恰好为细菌适宜生长的温度;含油污水中含有大量的有机物质,为细菌的繁殖提供了营养源。油田污水中普遍存在铁细菌(IB)。铁细菌能把水中溶解的  $\text{Fe}^{2+}$  氧化成  $\text{Fe}^{3+}$ ,沉积于菌体鞘内或菌体周围,并从中取得能量,同化  $\text{CO}_2$ ,形成的胶鞘使菌体成丝状体堵塞管道。有些铁细菌分泌出大量的粘性物质而使注水井和过滤器堵塞。铁细菌可在很短时间内产生大量铁氧化物沉积<sup>[6]</sup>。

## 4 垢物的清洗措施

化学法除垢是利用可溶解垢的化学物质使垢沉

积物变得疏松而脱落或溶解。针对垢物的成分,研制了复配型除垢剂。其中碳酸盐垢可用盐酸清除,而酸性除垢剂有腐蚀性,需加入缓蚀剂<sup>[7]</sup>。先用杀菌剂清洗剥离粘泥,然后用复配型除垢剂清洗除垢。用盐酸处理油田设备结垢时,必须添加合适的化学添加剂。其中缓蚀剂可减缓酸液对设备管线的腐蚀;铁离子稳定剂(柠檬酸或冰醋酸),可防止  $\text{Fe}^{3+}$  或  $\text{Fe}^{2+}$  变为  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  或  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  沉淀。为了除去垢物表面的烃类及油污,酸液中常加入表面活性剂。复配型除垢剂的配方(质量分数)为:工业盐酸(有效含量)  $10\% \sim 15\%$ 、渗透剂  $0.5\% \sim 1.5\%$ 、除油剂  $0.5\% \sim 1.5\%$ 、缓蚀剂  $1\% \sim 1.5\%$ 、FX-01 型高效液体消泡剂  $0.1\% \sim 0.5\%$ 、柠檬酸  $2\% \sim 3\%$ 、乙二醇单丁醚约  $1\%$  及适量的杀菌剂。配方中渗透剂为阳离子表面活性剂,除油剂为非离子表面活性剂。在现场用该配方除垢剂进行试验,除垢效果良好。

### 参考文献:

- [1] 于新哉,余泽华,郑波.撬装式模块化注聚合物站的设计[J].石油机械,2003,31(2):47-49.
- [2] 徐典平,薛家锋,包亚臣,等.三元复合驱油井结垢机理研究[J].大庆石油地质与开发,2001,20(2):98-100.
- [3] 齐辉.静态混合器的作用原理及应用实例[J].电大理工,2006(1):27-28.
- [4] 张淑敏,田金鹏.聚合物驱静态混合器现场适应性研究[J].油气田地面工程,1997,18(4):14-15.
- [5] ECKMANN J P. Roads to turbulence in dissipative dynamical systems[J]. Review of Modern Physics,1981,53(4):643-654.
- [6] 尹宝俊,赵文珍,史交齐.金属微生物腐蚀的研究[J].四川化工,2004,7(1):30-32.
- [7] 赵玲莉,赵福麟.三元复合驱注采系统防垢、除垢技术[J].油气田地面工程,1996,15(5):37-40.

## Analysis of scale substances deposited on diversing dores of the static mixer unit in ASP flooding station

HAN Wen-jing<sup>1</sup>, SONG Jin-chao<sup>1</sup>

(Yongcheng Vocational College, Yongcheng 476600, China)

**Abstract:** The scale substances deposited on diversing dores of mixer unit were investigated by SEM and

EDS for understanding the block of mixer unit due to the scale formation. The experimental results showed that the scale substances were mainly carbonate and iron oxide resulted from corrosion; and the scale formation was produced due to the polymer liquids mixing with wastewater which contained iron bacteria of secreting viscid membranes easily. A method of scale removal was suggested. The scale remover which contained hydrochloric acid, penetrant, corrosion inhibitor and other components was used to descale the substances.

**Key words:** scale substances; the static mixer unit; characterization; scale removal

(上接第 225 页)

## Flotation research of some ilmenite from Panxi

CHEN Bin<sup>1,2</sup>, GAO Yu-de<sup>2</sup>, WANG Yu-hua<sup>1</sup>, ZOU Ni<sup>2</sup>

(1. Department of Mineral Processing of Central South University of Technology, Changsha 410083, China;

2. Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510650, China)

**Abstract:** According to the properties of high intensity magnetic concentrate containing 22.14% of  $\text{TiO}_2$  from a plant of Panxi, flotation experiments were carried out using the reagent system “ $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{SiO}_3\text{-FW}$ ” flotation ilmenite. The ilmenite concentrate containing  $\text{TiO}_2$  47.56% with the recovery of 79.59% was obtained.

**Key words:** magnetic concentrate; ilmenite; flotation; collector