

低渗透油田回注水精细处理技术及发展

蒋生键

(辽河油田公司欢喜岭采油厂, 辽宁 盘锦 124114)

[摘要] 在对油田污水处理调研的基础上总结了低渗透油田回注水的工艺技术, 分析了回注水对低渗透油田储层的危害因素, 探讨了现有技术条件下如何最大限度地满足低渗透油田回注要求, 展望了该技术的发展方向。

[关键词] 低渗透油田; 回注水; 精细处理; 精细过滤

[中图分类号] X703.1 [文献标识码] A [文章编号] 1005-829X(2007)10-0005-04

Technology and development of fine treatment of low permeable oilfield reinjection water

Jiang Shengjian

(Huanxiling Oil Production Factory, Liaohe Oilfield Co., Panjin 124114, China)

Abstract: Based on the investigation of oilfield wastewater treatment, the treatment technology of low permeable oilfield reinjection water is summarized. The harmful factors of the low-permeable oilfield reservoirs caused by reinjection water are analyzed, and the developing direction of this technology is prospected.

Key words: low permeable oilfield; reinjection water; fine treatment; fine filtration

近几年来中国各油田在采出水资源化利用方面取得了很大的成就, 通过引进和消化国外先进技术以及自主创新, 形成了比较成熟的油田采出水处理后回注地层、稠油采出污水深度处理回用锅炉、采出水处理达标排放等成套工艺技术和装备, 取得了很大的经济效益、社会效益和环境效益。但对于低渗透油田来说, 目前国内各油田采油污水处理站还很难稳定地使处理后污水达到低渗透油层特别是超低渗透油层回注水的水质要求。由于我国低渗透油藏储量占 60%~70%, 是今后相当一个时期内增储上产的主要基础, 而低渗透油藏开发技术的主要方式是注水, 因此对低渗透油层回注水处理的研究显得尤为重要。目前各油田所执行的低渗透油田回注水水质标准为 1995 年中国石油天然气总公司颁布的行业标准《碎屑岩油藏注水水质推荐指标》(SY/T 5329—1994), 其中规定渗透率 $<0.10 \mu\text{m}^2$ 为低渗透油藏, 回注水水质要求满足 A 级指标, 部分 A 级指标见表 1。

1 低渗透油藏回注水的危害因素

1.1 固体悬浮物

低渗透油藏的主要特点就是地层渗透率低 ($<0.10 \mu\text{m}^2$)、流体通过能力差、有效孔隙率低、孔道

表 1 低渗透油藏回注水水质指标

项目	A1 级	A2 级	A3 级
固体悬浮物 / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	<1.0	<2.0	<3.0
悬浮物粒径中值 / μm	<1.0	<1.5	<2.0
油 / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	<5.0	<6.0	<8.0
平均腐蚀率 / ($\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$)	<0.076	<0.076	<0.076
SRB 菌 / mL^{-1}	0	<10	<25

弯曲且孔喉径小, 其本身就相当于滤料(流体在岩芯和滤料中的流动同样地遵循达西定律), 储层对注入水的水质, 特别是固体悬浮物的含量和粒径中值指标要求很高, 因为悬浮物的存在会导致孔喉道堵塞。岩芯试验显示, 由于喉道弯曲, 悬浮物不能达到岩芯深处, 在注入口岩芯的端面会形成一层薄的滤饼而堵塞岩芯孔道使渗透率降低, 出口端岩芯表面清洁无异物。当地层注入不合格的水时, 就会因堵塞而使注水压力增加, 注水量减少, 采油量降低, 注水压力的升高一方面对设备管线造成威胁, 另一方面造成储层微裂缝开启, 造成非主力层吸水量增加而主力吸水层吸水量减少, 产生储层油水不恰当流动和驱替现象, 大大降低采收率和采油量。悬浮物的其他危害还表现在使注水井井筒形成滤饼, 堵塞射水孔和出油孔, 抬高井底等。注入水中的悬浮物来自

采出水中的泥砂和胶体物质,水处理过程中产生的絮体、细菌及其产物以及腐蚀结垢产物等,因而回注水精细处理的主要任务就是要尽可能的除去悬浮物以及控制或消除水处理及注水过程中可能产生危害性固体悬浮物的因素。

1.2 细菌

油田采出水中一般含有硫酸盐还原菌(SRB)、腐生菌(TGB)和铁细菌等,当条件适宜时细菌会大量滋生。细菌的滋生一方面使水发黑发臭、悬浮物增加、水质变差,另一方面对设备管线造成生物腐蚀。比如胜利油田的纯梁首站由于硫酸盐还原菌滋生严重,在从处理站流向注水站的过程中,水便逐渐发黑发臭。

1.3 矿化度

高含盐量或高矿化度将造成管线设备的化学腐蚀和结垢,同时化学腐蚀和生物腐蚀相互促进将使腐蚀的速度大大加快,如纯梁首站最快3个月就可使管线洞穿,现在其站内污水管线绝大部分采用玻璃钢材料。

1.4 油脂类

较高的含油量一方面影响过滤效果,另一方面可能会黏附积聚在注水井井壁使注水井吸水能力下降,注水压力增加。

2 油田回注水精细处理技术

2.1 过滤技术

低渗透油田回注水精细处理的首要任务是去除水中的固体悬浮物以及可能产生固体悬浮物的因素。过滤技术是保证注入水固体悬浮物含量和粒径达标的关键技术,因而一直是油田采出水深度处理技术的研究重点,近年来该技术取得了迅猛的发展。

(1) 滤层过滤。滤层过滤是常规过滤,它以颗粒或纤维滤料作为过滤介质,当污水通过滤料时,固体悬浮物被截留在滤料之间的孔隙之中。目前油田使用最为广泛的滤层过滤器有石英砂过滤器、核桃壳过滤器、无烟煤石英砂双层复合滤料过滤器和多介质过滤器,其次为纤维球或改性纤维球过滤器。此类过滤器通常采用压力式过滤工艺,技术比较成熟,其核心是滤料,滤料的材质、粒径、滤层厚度、级配都会影响过滤器的运行。随着过滤的进行,滤层中截留的固体悬浮物越来越多,使滤层渗透率下降、进出口压差增加,当压差达到一定的数值时必须对滤料进行水和/或气反冲洗以恢复滤料的过滤

性能,反冲洗可以定期或根据压差进行,一般的周期为18~24 h。该类型过滤器自动化程度很高,采用PLC控制器实现全程自动控制,出水水质一般可达到中高渗透油田的注水要求(B或C级标准),少数原水水质较好的可以达到A级标准,可做为精细过滤的预处理手段,目前国内大多数油田都采用滤层过滤技术作为精细注水处理的重要手段之一。另外,由辽宁华孚环境工程公司引进开发的超细滤料过滤器,采用进口超细均质滤料,滤料粒径达到0.1 mm,密度 $>4.8 \text{ g/cm}^3$,该过滤器可以将水中悬浮物处理到 $<2 \text{ mg/L}$,粒径 $<1.0 \mu\text{m}$,达到低渗透油田回注水水质要求,目前该技术正在进一步的研究之中。

(2) 微孔过滤。微孔过滤又称保安过滤,它以压力为驱动,采用成型的滤材,滤材上分布有均匀的微孔,孔径在 $2.5 \sim 250 \mu\text{m}$,可去除粒径为 $0.5 \sim 5 \mu\text{m}$ 的颗粒。滤材常采用烧结滤管,材料有陶瓷、玻璃砂、聚乙烯等,滤元机械强度高。悬浮物被截留在滤管的表面和表层,当过滤压力升高后,用砂纸磨去表层后可继续使用直到滤管减薄到 $2 \sim 3 \text{ mm}$ 时更换。此类过滤器一般用作超滤过滤的强化预处理手段。

(3) 预膜过滤。预膜过滤器由带有多孔的管式或板框式滤元构成,过滤之前硅藻土或粉煤灰等介质被均匀涂布于滤元上形成过滤介质,滤元既是过滤主体又是涂膜的载体,涂膜的质量直接影响过滤器的运行。预膜过滤器也是以压力为驱动,需要反冲洗,反冲洗时涂膜被带走,然后使用新的介质进行涂膜、过滤。预膜过滤器去除悬浮物的效率高,在胜利油田东辛营11注水站使用的是石油大学开发的粉煤灰预膜过滤器。

(4) 微孔滤膜过滤。膜技术是新的水处理技术,它的技术核心是滤膜,它以电位差、压力差或浓度差为动力进行固液分离。膜法分离可分为反渗透、超滤、纳滤、微滤等,其中适合油田污水精细处理的为微滤、超滤。微滤以微孔滤膜作为截留悬浮物的介质,滤膜材质有有机聚合物膜和无机膜两种,微滤过滤器以压力为动力,过滤过程属于筛分分离。微孔滤膜膜孔径在 $0.1 \sim 70 \mu\text{m}$,孔径可控,膜厚度在 $0.10 \sim 0.20 \text{ mm}$,工作压力 $0.05 \sim 0.3 \text{ MPa}$,可截留粒径 $>0.1 \mu\text{m}$ 的微粒如细菌。微孔滤膜具有滤速大、膜纳污少、无介质脱落等优点,应用面很广,可用于超低渗透油田回注水精细处理。超滤介于纳滤和微滤之间,也属于压力型膜,膜孔径在 $0.05 \sim 1 \mu\text{m}$,可去除约100%的浊度和 $>90\%$ 的细菌,其分离过程包括吸附、阻塞

和筛分,一般认为属于筛分过程,目前最常用的膜为氧化铝膜。微滤和超滤在实验性工程如胜利油田营 11-8 的中空纤维超滤装置、滨南 18 注的聚四氟乙烯折叠膜等中得到了应用。另外在胜利油田有 12 个站应用中空纤维超滤装置处理黄河水和地下水,处理量 400~900 m³/h,运行效果良好,取得了很大的经济效益。但由于膜表面清洁比较困难,处理含油污水特别是含油量较高的污水时油会黏附在膜表面不易清除,膜技术在油田中应用还处于试验应用阶段,有待于进一步的研究。

2.2 精细过滤前的预处理技术

过滤器对进水水质有较高的要求,实践证明,如果预处理达不到要求,过滤器将很难发挥其应有的作用。调研结果显示胜利油田有不少的污水处理站由于前部除油、除悬浮物效果不好,直接导致了过滤器的停运。如辽河油田污水处理站预处理效果显著,过滤器运行效果明显,但由于预处理没有采取杀菌措施,近一段时间开始出现生物膜影响过滤器运行效果的现象。精细过滤器更是如此,精细过滤前的预处理技术是精细过滤器能否充分发挥其作用的关键。

(1) 除油和悬浮物技术。各油田广泛采用的成熟的除油和悬浮物的技术有各种除油罐、沉降罐、气浮机和常规过滤器等。对于稀油污水,沉降、除油罐即可达到较好的效果,对于稠油污水,则需在沉降、除油罐之后采用高效气浮技术。随着油田二次采油和三次采油的进行,采出水水质越来越差,除油和悬浮物的技术面临着严峻的考验。

(2) 水质改性技术。针对油田污水硬度、矿化度高,易产生腐蚀结垢等问题,提出了水质改性技术,即向除油后注水中加入石灰乳、复合碱、絮凝剂和水质稳定剂等来降低水的硬度,稳定水质,达到缓蚀阻垢的目的。水质改性技术在中原油田、新疆油田、胜利油田等 10 多座处理厂应用,实际运行结果良好。

(3) 杀菌抑菌技术。杀菌、抑菌的主要手段是加杀菌剂或紫外辐射杀菌。杀菌剂分有机杀菌剂和无机杀菌剂,无机杀菌剂一般为氯及其化合物,是利用氯的强氧化作用来杀灭细菌,如胜利纯梁首站采用电解氯化物水溶液杀菌装置,就是利用电解新生成的氯、次氯酸等活性物质的强氧化性杀灭细菌。有机杀菌剂一般有季铵盐类、有机硫化物、异噻唑啉酮以及氯酚等化合物。由于长期使用一种杀菌

剂,细菌可能对其产生一定的抗药性,因此需要不断开发新型、高效的杀菌配方。有机化合物可以较容易地引入有特定功能的基团,合成多功能的有机药剂,在杀菌的同时起到缓蚀阻垢的作用。紫外线杀菌是主要的物理杀菌手段,在 253.7~826 nm 范围有很强的杀菌作用,紫外线杀菌简单易行,但对水质有要求,如浊度以及一切可对该波段紫外线产生较强吸收的物质的存在都将使紫外线杀菌效果大大降低。

(4) 防腐阻垢技术。除了上述水质改性技术和杀菌抑菌技术缓解腐蚀结垢以外,还可采用阴极保护、天然气密封等技术。天然气密封技术在胜利油田应用最为广泛,胜利油田绝大多数油田采出水处理站采用密闭的处理工艺以杜绝氧气进入流程引起化学腐蚀。

3 油田回注水精细处理流程

目前大部分低渗透油田回注水处理流程一般是在常规处理的二级或三级处理之后加上精细过滤工艺,各低渗透油田回注水的处理流程主要有以下几种:

流程 1——采油污水 沉降除油罐 气浮机/池 常规过滤器 精细过滤器 注水站;

流程 2——采油污水 沉降除油罐 常规过滤器 精细过滤器 注水站;

流程 3——地下水/地表水 初过滤 精细过滤器 注水站;

流程 4——地下水/地表水 初过滤 膜过滤器 注水站。

其中精细过滤和膜过滤是关键技术,前面的预处理技术如沉降除油、气浮、常规过滤等技术是精细过滤和膜过滤充分发挥其功能的保障。对于采油污水的处理系统,如果预处理达不到要求,精细过滤器和膜过滤器将很难发挥其应有的作用,甚至出现因预处理效果不好致使精细过滤器甚至常规过滤器瘫痪的例子。

对于地下水/地表水的处理系统,特别是引入了膜技术的系统,其出水水质一般都可以达到低渗透油田回注水水质要求,但是需要耗费大量的淡水资源,同时意味着有大量的采油污水排放到地表。

4 存在问题及发展方向

(1) 加强预处理的运行管理。在实际运行过程中,处理站较少关心过滤器的进水水质,一味依赖过滤器本身来解决问题,使得过滤器负担过重,滤料、滤膜污染严重,导致反冲洗或清洗周期缩短,处理效

率下降。由于预处理不好特别是当含油较高时将造成过滤介质的迅速污染和阻塞等现象。因此加强前部的除油措施的运行管理是缓解目前油田各种过滤器运行效果不好的有效办法。

(2) 改进和完善预处理工艺技术和设备。随着注聚合物驱的进行, 污水乳化严重、聚合物含量增加, 导致水质变坏, 预处理工艺技术和设备面临着严峻的考验, 改进和完善预处理工艺技术和设备意义重大。从实际运行情况看, 单一的或单一功能的工艺和设备很难达到处理要求, 需要对各种工艺技术进行组合并开发研制出新型多功能的技术和设备。

(3) 加强药剂的研发和使用。必须重视药剂在水处理工艺中的作用和使用, 设备必须辅以一定的药剂才能充分发挥其作用。比如高效的化学混凝剂和高效气浮机的组合将有效地去除污水中的油, 可以使进入过滤前的水质指标达到含油和固体悬浮物均 < 20 mg/L。要加强多功能的、高效的化学药剂的研究以适应各种水质条件和水质的变化。

(4) 开发优质滤膜、滤料及其清洗工艺。滤膜滤料的污染问题和清洗问题是制约精细过滤器在油田含油污水处理方面应用的关键因素, 同时单台微滤或超滤装置的处理量太小, 因此需要进一步开发出新型的抗污染、易清洗且膜通量大的滤膜以及先进的清洗工艺。膜法处理以其出水水质好、处理成

本低等优势, 在低渗透油田精细回注水处理中有着广阔的应用前景。

[参考文献]

- [1] 冯永训. 油田采出水处理技术及其进展[J]. 注水及水处理, 2001, 11(1): 1-5.
- [2] 杨清民. 核桃壳过滤器在油田应用情况总结[J]. 注水及水处理, 2001, 11(1): 46-49.
- [3] 王锦, 王晓昌. 超滤法净化污水及在线清洗对膜污染的影响[J]. 中国给水排水, 2003, 19(8): 54-55.
- [4] 张莉. 中国北方典型(特)低渗透砂岩油藏储层裂缝研究[D]. 西安: 西北大学, 2001.
- [5] 乔森, 张捍民, 张兴文, 等. 动态膜技术的研究进展[J]. 中国给水排水, 2003, 19(12): 29-31.
- [6] Li N, Liu Z, Xu S. Dynamically Formed Poly(vinyl alcohol) Ultrafiltration Membranes with Good Anti-fouling Characteristics[J]. Journal of Membrane Science, 2000, 169(1): 17-28.
- [7] 董相声. 无机陶瓷膜处理轧钢乳化液废水的研究[J]. 工业水处理, 2003, 23(10): 27-30.
- [8] 刘靖, 郑家葵, 许立铭. 油田注水杀菌剂加药技术研究[J]. 工业水处理, 2001, 21(8): 14-16.
- [9] 邵刚. 膜法水处理技术[M]. 第2版. 北京: 冶金工业出版社, 1995: 3-6.

[作者简介] 蒋生键(1963—), 1999年毕业于浙江大学物理化学专业, 获硕士学位, 高级工程师, 总工程师。电话: 0427-7549983, E-mail: jiangsj1@petrochina.com.cn.

[收稿日期] 2007-05-08(修改稿)

·国外技术信息·

日本东芝开发的光催化水净化系统将于2007年下半年开始销售——日本化学工业时报, 2007-04-03

日本东芝开发的光催化水净化系统, 是用于对付引起重症肺炎的军团菌的杀菌装置。该装置主要由光触媒、反洗式过滤器、过滤器和泵构成, 使用时接在冷却塔的贮水处的管子上。紫外线照射在光触媒氧化钛的表面时, 产生强氧化能力的HO·游离基, 该游离基与有机物和含微生物的杂菌反应, 进行除菌、分离作用。

经该装置处理后, 冷却水中检出军团菌数可 < 1 mL⁻¹。用于空调用冷却塔试验时, 原来存在的约 6 mL⁻¹的军团菌, 经运转第二天减少到 0.5 mL⁻¹。

由于引入该杀菌系统, 不仅使药剂费用大幅降低, 而且可有效抑制军团菌和黏泥。

河北省将建设八大海水淡化工程——中日水务信息, 2006年, 夏季号: 53

未来五年内, 河北省预计投资31亿元, 建设八个海水淡化工程, 以推动海水淡化在电力、化工两个行业的应用。全部建成后, 海水淡化能力达到 4.5 × 10⁶ m³/d。

八大海水淡化工程主要集中在沧州、唐山、秦皇岛三个沿海城市, 其中包括唐山曹妃甸港口和重化工业园区 1.0 × 10⁶ m³/d 反渗透海水淡化工程、唐山三友集团 1.0 × 10⁴ m³/d 低温多效海水淡化工程、国华沧东发电公司海水淡化工程、秦皇岛新源水工业有限公司海水淡化装置产业化项目等八个工程。

(以上由张淑云供稿)