

# 白河油区水质配伍性研究

史静

延长油田股份有限公司吴起采油厂

DOI: 10.12238/ems.v4i9.5594

**[摘要]** 油田注水是以注入水的水质处理和水质稳定为手段,以补充和保持油层压力为目的,利用注水设备把水质合乎注入标准的水,从注水井注入油层,达到保持油层压力,将地层原油驱替到油井,以获得较高的原油采收率,实现油田高产、稳产、增产的目的复杂的系统工程。注水水质是影响油田开发效果和投入的重要因素之一。水质不稳定会造成地层堵塞,致使吸水能力下降,使层内、层间矛盾恶化,影响油田开发效果;另一方面,不合格的注入水水质对注水设备、注水管线、井下管柱造成腐蚀、刺漏,并导致地层结垢和堵塞,缩短措施效果及措施有效期,增加酸化、压裂等增注措施的经济投入,使油田开发的经济投入大幅度增加。通过水质配伍性研究及评价实验,及时调整注入水加药标准,解决了地层堵塞、污水处理效果差的问题,达到延长油田“含油量 $\leq 8\text{mg/L}$ 、悬浮物含量 $\leq 5\text{mg/L}$ 、粒径中值 $\leq 3\ \mu\text{m}$ ”注水水质标准,同时降低污水处理费用。

**[关键词]** 油田注水;注入水;地层结垢和堵塞;配伍性

**中图分类号:** TE357.6 **文献标识码:** A

## Study on Compatibility of Water Quality in Baihe Oil Area Shi Jing

Shi Jing

Wuqi Oil Production Plant of Yanchang Oilfield Co., Ltd.

**[Abstract]** Oil field water injection is a complicated system engineering, which takes the water quality treatment and water quality stabilization of injected water as a means, with the purpose of supplementing and maintaining reservoir pressure, and uses water injection equipment to inject water with injection standard into reservoir from water injection well, so as to maintain reservoir pressure, displace formation crude oil to oil wells, obtain higher crude oil recovery ratio, and achieve high, stable and increased oil production. Water injection quality is one of the important factors that affect oilfield development effect and economic investment. Unstable water quality will cause formation blockage, reduce water absorption capacity, worsen contradictions between layers, and affect oilfield development effect. On the other hand, the unqualified injected water quality causes corrosion, puncture and leakage of water injection equipment, water injection pipelines and underground pipe strings, and leads to formation scaling and blockage, which shortens the effect and effective period of measures, increases the economic investment of acidizing, fracturing and other injection enhancement measures, and greatly increases the economic investment of oilfield development. Through the water quality compatibility research and evaluation experiment, the dosing standard of injected water was adjusted in time, which solved the problems of formation blockage and poor sewage treatment effect, and reached the water quality standard of Yanchang Oilfield with "oil content  $\leq 8\text{mg/L}$ , suspended matter content  $\leq 5\text{mg/L}$ , median particle size  $\leq 3\ \mu\text{m}$ ", while reducing the sewage treatment cost.

**[Keywords]** oilfield water injection; Inject water; Formation scaling and plugging; compatibility

### 引言

延长油田地处陕北,为典型的“三低”油藏,自然产能低,普遍采用注水开发工艺。注水开发已成为油田保持地层压力和

提高采收率的重要手段。但随着油区注水开发的深入和配注量的不断上升,注入水的需求量不断增大,导致注水系统的许多矛盾也显露出来。注入水与地层水因不配伍产生结垢而造成的

储层堵塞,水质稳定性较差,导致注水系统的注入压力增加较快,影响注水开发效果。故此,急需研究清水(地表水)和产出水混合、回注水与地层水的配伍性,以及对水处理剂的用量进行优化,规范使用工艺,在保证注水量(注够水)的同时达到无伤害注水(注好水),同时实现污染物的零排放,是非常必要的。为此,文章专门针对白河油区的注入水与地层水的化学成分,预测结垢趋势,研究以注入水和地层水之间的配伍性和结垢原因进行讨论,最终提升注入水水质处理水平,满足延长油田注入水水质相关标准。

### 1 注入水与采出水化学成分研究

根据《油气田水分析方法》、《水和废水的检测方法》和相关标准对水样进行化学成分分析[1-2]。白河油区水样分析结果见表1-1。

表1 白河水样分析结果 (mg L<sup>-1</sup>)

井号	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	pH	矿化度	水型
吴 158 清水	430.2	149.7	31.63	738.1	0	190.9	232.7	6.6	1773	MgCl <sub>2</sub>
21-100 清水	343.3	60.57	7.59	406.6	0	179.1	200.7	6	1198	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
吴 115 清水	211.2	246.3	22.03	575.9	0	112.7	250.1	6.5	1418	CaCl <sub>2</sub>
吴 104 清水	274.0	77.53	13.71	375.7	0	156.5	180.4	6.5	1078	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
吴 88 清水	374.0	157.6	24.92	656.1	0	175.3	230.7	6	1619	CaCl <sub>2</sub>
21-658 清水	456.3	159.1	31.34	806.0	0	175.3	228.8	7	1857	CaCl <sub>2</sub>
21-810 <sup>#</sup> Y8	5942	566.7	117.8	8556	0	500.9	2255	7.5	17938	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
21-881 <sup>#</sup> Y10	10882	181.4	76.57	16395	0	851.4	593.8	8.4	28980	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
C2	22909	2587	599.3	41471	0	328.5	0	7.4	67895	CaCl <sub>2</sub>
21-738 <sup>#</sup> C4+5	25122	2817	957.4	46423	0	181.4	0	6.6	75501	CaCl <sub>2</sub>
159-1 <sup>#</sup> C6	22553	2734	615.7	41295	0	213.8	0	6.7	67411	CaCl <sub>2</sub>
C8	5941	409.6	135.5	10003	0	482.2	0	7.3	16971	CaCl <sub>2</sub>

结果表明:

白河油区清水中的Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>含量较低,阴离子HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的含量在110~250 mg L<sup>-1</sup>之间;

地层水水型Y8、Y10为Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>型;

(3) 延长组C2、C4+5、C6、C8均为CaCl<sub>2</sub>型,含有一定量的HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>,均无SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>。

### 2 配伍性试验

#### 2.1 结垢趋势预测

对于注水开发油田,特别是非均质性较强的低渗透油藏来说,油田注水的水质配伍性对油田注水开发效果有较大的影响。注入水和地层水之间或者不同注入水之间配伍性差或不配伍,将导致注水井吸水能力变差,注入水与油层水相混合产生沉淀、导致储层伤害;给整个注水系统带来不同程度的腐蚀、结垢。油田水稳定性判断依据采用部颁标准《油田水结垢趋势预测(SY/T0600—2009)》进行配伍性评价[6-7]。

依据白河油区注入水与产出水及地面集输系统、水处理系统及储层温度、压力等条件,利用IS法分别预测注入水与地层产出水以不同比例混合,在不同pH下及温度和压力下的结垢趋势进行了分析。

清水(地表水)的化学分析结果表明,清水间的化学成分差别不大,在进行结垢趋势预测中采用各项目区的清水对应离子加和求平均值后作为相应的离子含量进行结垢趋势进行预测。饱和指数SI由下式计算:

$$SI = pH - K + 1g[Ca^{2+}] + 1g(2[CO_3^{2-}] + [HCO_3^{-}])$$

式中,SI:饱和指数;

pH:水样的pH值;

[CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>]:CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>离子的浓度, mol L<sup>-1</sup>;

[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>]:HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>离子的浓度, mol L<sup>-1</sup>;

K:常数,系盐含量、组成和水文的函数,查表求得。

判断依据:当SI<0,表示水中CaCO<sub>3</sub>未达到饱和的状态,不结垢;

当SI>0,表示CaCO<sub>3</sub>达到过饱和的状态,有结垢的趋势;

当SI=0时,表示水中的CaCO<sub>3</sub>刚好达到饱和点。

碳酸钙结垢趋势预测结果如图所示。清水采用白河油区清水中相应离子的加和平均值。

预测结果表明:结垢趋势预测结果表明,白河油区的注入水清水与各储层的地层水混合,温度70℃以下,pH值不大于7,形成碳酸盐水垢的趋势很小。

#### 2.2 配伍性实验

低渗透油田通常采用注水开发来提高油田采收率,因低渗透油田孔隙小、渗透率低、储层非均质性强,一旦注入水水质与储层岩石或流体性质不配伍,将导致储层敏感性伤害,直接影响油田开发能力。因此,当注入水水源、处理工艺或者注入层发生改变时,必须进行注入水与油层(水)配伍性评价实验,证实注入水与油层(水)配伍性好,对油层无伤害的条件下,方可注入。对于低渗透油田注水开发中,必须进行充分的室内配伍性实验研究,确定注入水与地层流体的配伍性,合理确定注水水源及水质处理措施及标准。

通过观察注入水与地层水按找不同比例混合,是否生成沉淀来判断注入水与地层水是否配伍性良好,最后对垢趋势预测结果的准确性进行验证[3-5]。首先,将清水分别与延安组各地层水之间、延长组各地层水之间按照不同的比例进行混合、配置,在常温、常压下放置3天,观察不同配比混配液观察是否产生沉淀,并测定水中的Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>离子,计算其混合液中生成的沉淀的质量。

综合结垢趋势预测和实验结果表明:

(1) 清水与Y8或Y10地层水以不同比例混合,混合水清亮,无沉淀形成,配伍性好。

(2) 清水与C8地层水混合,混合水变浑浊,配伍差。

(3) 清水与C2、C4+5或C6地层水混合后均有水垢产生,不配伍。

(4) Y8与Y10地层水水型相同,相互之间不管混合比例是多少,混合水清亮,配伍性较好。

(5) 白河延长组各地层水(C2、C4+5、C6、C8)之间混合,混合水较清亮,无水垢形成,配伍性较好。

#### 3 阻垢剂用量试验

在油田开发过程中,注水系统、集输系统、储层、油井、都可能产生结垢现象。油田注水引起的腐蚀、结垢会给油田开发带来十分巨大的危害,因此腐蚀、结垢问题也越来越引起关注。

注水系统的腐蚀、结垢问题已经成为各油田普遍存在的问

题。结垢会引起注水管网的设备、管线及管道局部的结垢、腐蚀,并为细菌繁殖提供了有利条件。另外,结垢还会导致金属表面与缓蚀剂难以接触,并成膜,降低缓蚀效果,加重设备、管柱腐蚀,甚至引起刺漏、腐蚀破损导致管柱报废。水垢沉积还会增大水流阻力及传输能量降低水流截面积。

目前,油田常用防垢技术有物理防垢和化学防垢技术。物理防垢技术是利用某种作用阻止无机垢在设备装置上沉淀或在溶液中形成稳定的晶核,防止垢的沉积。化学防垢技术主要是利用化学阻垢剂与成垢阳离子结合,使形成的结合物存在于水体中而不在管壁上析出。其阻垢机理为:

增溶作用:通过与成垢阳离子形成络合物,以增加难溶盐的溶解度;

分散作用:离解成聚离子(负电),与垢晶微粒碰撞呈分散状态;

静电斥力作用:相同电荷的离子间互相排斥,阻碍结垢晶核的碰撞及生长;

晶体畸变作用:通过整合作用占据晶格生长活性点,不能生成稳定沉淀;

在油田生产中,化学防垢技术主要是通过溶解已生成的沉淀,或者是与成垢离子形成络合物来达到阻止水垢的形成。将化学阻垢剂注入合适的注水系统部位,化学防垢是目前应用最广泛的防垢方法。

我们对白河油区注水站的清水与不同层位的油田水存在不配伍和配伍性差要进行了防垢试验。清水与C2、C4+5或C6地层水混合后均有水垢产生,不配伍。

阻垢剂实验取水,清水取油区各注水站的水样,过滤除机杂后待用。阻垢剂项目区注水站提供,污水取自各注水站的相对应的地层水。

实验方法:首先量取100mL清水,放入250mL具塞锥形瓶中,再加入不同剂量的阻垢剂,均匀混合后再加入100mL油田水、加塞并混合均匀、称重,记录总重量,放入70℃的恒温箱,并加热25小时后取出,冷却至室温,称重,最后测定水中的Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>离子浓度,结果附表1-2、表1-3、表1-4。清、污水1:1混合。

表1-2 加入阻垢剂后白河C2地层水中Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>离子浓度

阻垢剂 (mg L <sup>-1</sup> )	0	40	60	80	100	150
理论值	1824					
实测值	1771	1788	1819	1815	1816	1812
失钙量	53.0	36.0	5.0	9.0	8.0	12.0
现象	白色沉淀	乳白色	清亮	清亮	清亮	清亮

表1-3 加入阻垢剂后白河C4+5地层水中Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>离子浓度

阻垢剂 (mg L <sup>-1</sup> )	0	40	60	80	100	150
理论值	2235					
实测值	2105	2211	2228	2231	2238	2230
失钙量	130	24.0	7.0	4.0	-3.0	5.0
现象	白色沉淀	乳白色	清亮	清亮	清亮	清亮

表1-4加入阻垢剂后白河C6地层水中Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>离子浓度

阻垢剂 (mg L <sup>-1</sup> )	0	40	60	80	100	150
理论值	1911					
实测值	1801	1877	1901	1903	1906	1920
失钙量	110	34.0	10.0	8.0	5.0	-9.0
现象	白色沉淀	乳白色	清亮	清亮	清亮	清亮

实验结论表明白河油区的清水与C2、C4+5或C6地层水不配伍,需要加入60 mg L<sup>-1</sup>阻垢剂。

#### 4 结论

通过本次研究表明白河油区清水与Y8或Y10地层水配伍性好;清水与C8地层水混合,配伍性差;清水与C2、C4+5或C6地层水混合后均有水垢产生,不配伍;Y8与Y10地层水水型相同配伍性较好;延长组各地层水(C2、C4+5、C6、C8)之间混合,无水垢形成,配伍性较好。白河项目区的清水与C2、C4+5或C6、C8地层水不配伍,建议在清水中加入60 mg L<sup>-1</sup>阻垢剂,最终实现“8、5、3”注入水回注标准,延长水处理设备滤料更换周期,污水水处理费用由5.65元/m<sup>3</sup>降至5.25元/m<sup>3</sup>,经济效益明显增加。(2) 清水与C8地层水混合,混合水变浑浊,配伍差。

#### 【参考文献】

- [1] 房会春. 攀家油田4快水源水与储层配伍性研究[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(4): 79-81.
- [2] 尹先清, 刘建, 李玫, 等. 大港北部油田回注污水结垢性与配伍性研究[J]. 长江大学学报(自然科学类), 2009, 6(1): 31-33.
- [3] 王骏骥, 史长平, 史付平, 等. 注入水配伍性静态试验评价方法研究[J]. 石油天然气学报, 2010, 32(4): 135-139.
- [4] 卞超锋, 朱其佳, 陈武油, 等. 注入水配伍性静态试验评价方法研究[J]. 石油天然气学报, 2010, 32(4): 135-139.
- [5] 程静波, 孙玉学, 刘军. 吉林油田低渗透油藏注入水水质实验研究[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(24): 7470-7473.
- [6] 黄磊, 汪伟英, 汪亚蓉. 结垢预测方法研究[J]. 断块油气田, 2009, 16(5): 94-96.
- [7] 高清河, 唐琳, 陈新萍. 油气结垢预测方法发展现状及趋势[J]. 大庆师范学院学报, 2011, 31(6): 60-63.
- [8] 中华人民共和国石油天然气行业标准 SY/T 5358-2010. 储层敏感性流动实验评价方法[S]. 2010.

#### 作者简介:

姓名: 史静, 性别: 女, 出生年月: 1987年07月, 籍贯: 陕西, 民族: 汉族, 学历: 本科, 职称或职务: 助理工程师, 研究方向: 油田开发。