

润湿性对采收率及相对渗透率的影响

刘中云¹, 曾庆辉¹, 唐周怀², 张公社³

(1. 胜利油田, 山东东营 257062; 2. 中原油田, 河南濮阳 457001; 3. 江汉石油学院, 湖北荆州 434102)

摘要: 通过实验研究了润湿性对采收率及相对渗透率的影响, 还研究了利用原油老化控制岩石润湿性的方法。结果表明弱水湿岩石水驱采收率最高, 亲水岩石油相相对渗透率高于亲油岩石, 原油中极性物质的吸附会影响岩石表面润湿性, 油湿性随老化时间增加而增强。

关键词: 润湿性; 水驱采收率; 相对渗透率; 老化时间

第一作者简介: 刘中云, 男, 39 岁, 高级工程师(博士), 采油工程

中图分类号: TE312 文献标识码: A

到目前为止, 已发表的若干有关润湿性与原油采收率关系的研究报告, 所持观点表现出较大的不一致^[1]。这种不一致可能是润湿性控制的问题和用来评价润湿性体系的差异所引起的。在许多研究中, 岩芯的润湿性是被化学处理剂(通常是有机氯硅烷)改变的, 但这种控制润湿性方法的缺点是由于水解和解吸附作用使得改变后的润湿条件会随时间的变化而发生变化。此外, 由于这种体系属人造性质, 因此与油藏岩石的真实情况仍有一定差异。另一个能得到与油藏条件更相近的办法是利用原油作为润湿性的改变剂, 本研究采用的就是这种控制润湿性的方法。研究方向是: (1) 润湿性与水驱采收率的关系; (2) 润湿性对相对渗透率的影响。

1 实验

1.1 流体

盐水矿化度与所取岩芯地层水矿化度一致, 由氯化钾和氯化钠组成。所用油相流体有两种, 一种是经过过滤处理后的精炼油, 其中不含极性物质, 对岩石表面润湿性没有影响; 另一种是地层原油, 其中含胶质沥青等极性物质。已有研究表明原油中极性物质的吸附将使润湿性发生改变, 本研究中润湿性的控制就采用原油老化的方法进行。为了避免其它因素的影响, 两种原油粘度基本保持相近。

1.2 岩芯的准备

将油藏岩石钻、切成圆柱形岩芯后进行洗油,

洗油后的岩石表面是亲水表面。岩样清洗后在 60~65℃条件下烘干, 然后测其空气渗透率。在用所选用的盐水饱和岩芯之后, 将岩石在盐水中放置 10 天, 以达到盐水与岩石间的离子平衡。然后将岩样放入岩芯夹持器, 向岩样注入大约 20 倍孔隙体积的盐水, 以置换老化了的盐水。进而用恒速泵测量岩芯盐水的渗透率。

1.3 建立束缚水饱和度和岩样的老化

将饱和水的岩芯放入夹持器, 在一定驱动压力下向岩芯中注入油。如果要将岩石表面控制为亲水性则注入精炼油; 如果要使岩石表面油湿性增强, 则注入地层原油。所选驱动压力取决于所期望达到的束缚水饱和度。

将在束缚水饱和度下饱和原油的岩样放入装满油的容器中老化, 老化时容器用铝膜密封置于 30℃条件下, 老化时间根据期望控制的油湿性强弱来确定。

1.4 相对渗透率测定

相对渗透率测定采用不稳定法。测定时将已建立束缚水饱和度(即饱和油)的岩芯放入岩芯夹持器, 用 10 倍孔隙体积的油在恒压下置换岩芯中原来的油, 并测定在束缚水饱和度时的油相渗透率, 紧接着用 10 倍孔隙体积的水在恒压下进行水驱油试验, 测量并记录下不同时刻的产液量和产油量。然后对实验数据处理计算出油水两相相对渗透率及最终采收率。

1.5 润湿性的测定

本研究中采用测定润湿指数的方法来确定岩

石表面的润湿性。实验方法是将饱和油已老化后的岩芯放入盛有盐水的容器中, 测定自吸水排油量。待自吸平衡 20 h 后, 记录驱出的油量, 然后再将岩芯放入夹持器中, 在一定的压力下进行水驱油, 测定被驱出的油量, 最后根据自吸水排油量和被驱出的油量, 计算水湿指数。

2 结果分析

2.1 老化时间对润湿性的影响

将饱和精炼油和地层原油的岩芯保持在各自的油中进行老化, 老化不同时间后测定润湿指数, 所得结果见表 1。由表 1 可见精炼油老化对岩石润湿性无显著影响, 而原油老化以后, 岩石亲油性增强, 且油湿程度随老化时间的增加而增强。出现这种结果的原因是因为原油中的某些极性物质吸附在岩石矿物表面上, 使之变为油润湿性。

表 1 润湿性对水驱采收率的影响

Table1. Effect of wettability on waterflood recovery

岩芯号	空气渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$	孔隙度/ $\%$	水湿指数	油相类型	老化时间/h	润湿性	水驱采收率/ $\%$
B5-1-4	805	30	0.89	精炼油	144	亲水	73
B5-1-10	814	30	0.88	精炼油	96	亲水	74
B5-1-6	810	29	0.79	地层原油	24	弱亲水	78
B5-1-7	812	31	0.59	地层原油	48	中性	75
B5-1-8	809	30	0.39	地层原油	96	弱亲油	73
B5-1-9	811	30	0.18	地层原油	240	亲油	68

2.3 润湿性对水驱采收率的影响

对 4 种不同润湿性的岩芯进行水驱油实验, 结果见表 1。由表 1 可以看出润湿性对水驱采收率有一定影响, 亲水岩石的水驱采收率高于亲油岩石, 而在各种润湿类型的岩石中, 以弱亲水岩石水驱采收率最高, 其次是中性润湿岩石。由此可见润湿性对采收率的影响实际上有很大一部分是由于

2.2 润湿性对相对渗透率的影响

对两组润湿性不同的岩芯所测得的相对渗透率曲线见图 1。研究表明, 润湿性对相对渗透率有很大影响。其影响总趋势为: 随着岩芯由亲水向亲油转化, 油相相对渗透率趋于降低, 如 Y5-1-3a 和 Y5-1-3b 两岩芯, 当含水饱和度为 50% 时, 由于润湿性的转变, 亲油岩石的油相渗透率比亲水岩石降低了 45.9%。理论上这种变化趋势可以作如下解释: 亲水岩石, 水通常分布于细小孔隙和岩石壁面处, 对油的渗流妨碍较小, 而亲油岩石, 在同样条件下, 水既不在小孔隙中, 也不以薄膜状附着于固体表面, 当含水饱和度较小时, 以液滴形式分布在孔道中。由于孔隙结构的复杂性, 这种水滴流动到孔道窄口时便遇阻, 产生贾敏效应, 阻碍油相的渗流, 使油相的相对渗透率降低。

毛管力的影响, 由于油藏岩石的非均质性, 很容易造成水驱油时原油的残留, 而毛管力正是引起这种现象的原因。前期研究已经表明毛管力越低, 采收率越高, 对弱亲水岩石、水驱油时, 由于润湿滞后, 润湿性将向中性转变, 因此此时毛管力最低。而对亲油岩石毛管力既是水驱的阻力, 同时由于原油在管壁的附着张力较大, 油也很难被水清洗下来。

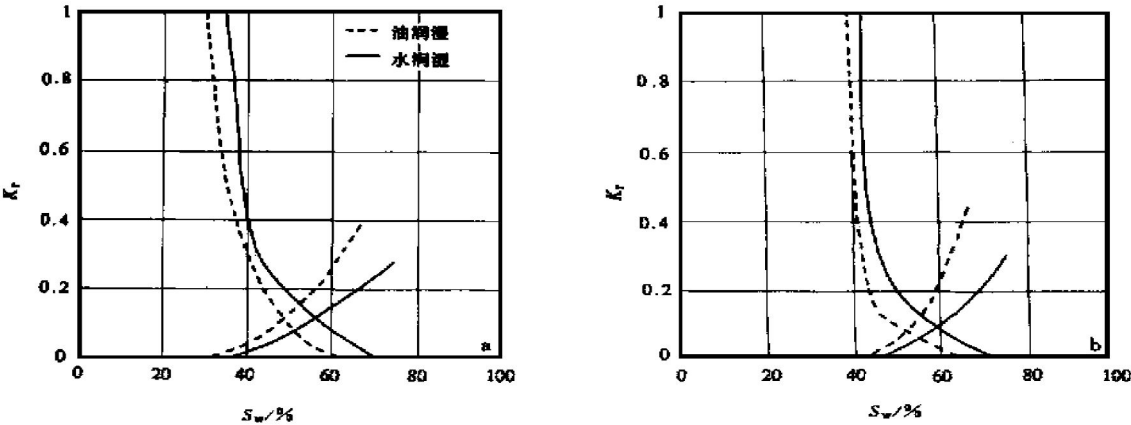


图 1 润湿性(S_w)对相对渗透率(K_r)的影响

Fig. 1 Effect of wettability(S_w) on relative permeability(K_r)

a—Y5-1-3a, Y5-1-3b 号岩芯; b—Y5-2-1a, Y5-2-1b 号岩芯

3 结论

(1) 原油中极性物质在岩石表面的吸附可使润湿性发生改变, 因此可利用原油老化来控制润湿程度。

(2) 润湿性对相对渗透率有很大影响, 亲水岩石油相相对渗透率高于亲油岩石。

(3) 润湿性影响了油水在岩石孔道中的分布,

最终影响到水驱采收率。在各种润湿类型的岩石中, 弱亲水岩石的水驱采收率最高, 强亲油岩石水驱采收率最低。

参 考 文 献

- 1 Jadhunandan P P, Morrow N R. Effect of wettability on waterflood recovery for crude - oil/ brine/ rock systems[J]. SPE Reservoir Engineering, 1995, 10(1): 140~ 467

EFFECT OF WETTABILITY ON RECOVERY AND RELATIVE PERMEABILITY

Liu Zhongyun¹ Zhen Qinghui¹ Tang Zhouhuai² Zhang Gongshe³

(1. Shengli Oilfields, Dongying Shandong; 2. Zhongyuan Oilfields,

Puyang, Henan; 3. Jiangnan Petroleum Institute, Jingzhou, Hubei)

Abstract: The effect of wettability on recovery and relative permeability by waterflood test and the method of controlling rock wettability by aging crude oil are studied in this paper. The results show that waterflood recovery of weak water-wet rock is the highest; the oil relative permeability of water-wet rock is higher than that of oil-wet rock; the adsorption of heavy polar materials in crude oil can effect the wettability of rock surface and oil-wet may be enhanced with the increase of aging time.

Key Words: wettability; waterflood recovery; relative permeability; aging time

《石油与天然气地质》1998 年的被引半衰期 及其在全国各类科技期刊中的位置

期刊的被引半衰期是指该刊上历年发表的论文在某一年内被统计源刊所引用的次数中, 较新的一半是在最近多长的一段时间内发表的平均年数。一般说来, 此值越大, 表明该刊上发表的论文时效性越长, 即多年前发表的论文仍在被大量引用, 从而也说明该刊的影响更为深远。因此, 被引半衰期是衡量期刊老化速度的一种指标, 从而也是目前被有关部门用作衡量和评价科技期刊质量的一项重要指标。

现据中国科技信息研究所 1999 年 10 月公布的统计数据表明, 继续入选为该所中国科技论文统计源刊的《石油与天然气地质》, 1998 年的被引半衰期为 7.0 年, 位居该所当年入选的全国 1 286 种科技论文统计源刊的第 89 名, 而在 28 种能源类专业的统计源刊中名列第 1 位。

(范文田)