

2005-05-28

## Influence of DC Electric Field on the Oil-water Relative Permeability in Water-drive Reservoir

ZHANGJi-hong ZHANGJi-hong

---

### Recommended Citation

ZHANGJi-hong ZHANGJi-hong. Influence of DC Electric Field on the Oil-water Relative Permeability in Water-drive Reservoir[J]. *Journal of Electrochemistry*, 2005 , 11(2): 215-218.

DOI: 10.61558/2993-074X.1643

Available at: <https://jelectrochem.xmu.edu.cn/journal/vol11/iss2/19>

This Article is brought to you for free and open access by Journal of Electrochemistry. It has been accepted for inclusion in Journal of Electrochemistry by an authorized editor of Journal of Electrochemistry.

# 直流电场对水驱油藏油水相对渗透率的影响研究

张继红<sup>\*1, 2</sup>, 岳湘安<sup>1</sup>, 杨晶<sup>2</sup>, 刘颖<sup>2</sup>, 李宏岭<sup>1</sup>

(1. 中国石油大学提高采收率中心, 北京 102249, 2 大庆石油学院石油工程学院, 黑龙江 大庆, 163318)

**摘要:** 研究、分析了直流电场强度、方向等因素对油藏岩石油水相对渗透率的影响及其作用机理。实验表明,在直流电场作用下,岩心呈强水湿性,束缚水饱和度增大,残余油饱和度降低;随着电场强度的增加,油相相对渗透率增大,水相相对渗透率降低;其极性相和非极性相各自呈现的不同渗流特性、壁面双电层结构变化以及原油的电粘效应等都是影响油水相对渗透率的因素。

**关键词:** 直流电场;相对渗透率;渗流特性

**中图分类号:** TE 93

**文献标识码:** A

在直流电场作用下,油藏可以产生许多有利于油气开采的物理和化学效应,从而提高原油采收率<sup>[1,2]</sup>。深入剖析外加电场下水驱油藏岩石中油水相对渗透率的影响因素和作用机理是此一有潜力课题的关键<sup>[3]</sup>。但迄今,有关此方面的研究国内外文献罕见报道。

本文应用非稳定法测定了在外加电场下的油水相对渗透率,并分析它的基本特征及其影响因素和作用机理。

## 1 实验研究

### 1.1 实验方案设计

应用非稳定法作直流电场下的油水相对渗透率实验<sup>[4]</sup>。实验中考虑了地层及地层流体的组成、物性和流动特性等因素,并将水动力方向与电动力方向相同的电场指定为正向电场,反之为反向电场。每组实验均选取渗透率及孔隙度基本相同的 3 块岩心,分别作无电场作用、正向电场(+)作用和反向电场(-)作用下的相对渗透率实验。

实验用油系大庆榆林油田原油配制的模拟油,粘度  $8.0 \text{ mPa} \cdot \text{S}$ (45 $^{\circ}\text{C}$ );实验用水为参照榆林油田地层水平均组成配制的模拟水(矿化度  $3.848 \text{ mg/L}$ ),稀释后其矿化度为  $770 \text{ mg/L}$ (表 1)。

### 1.2 实验流程

1)将实验流体装入相应的容器中,岩心放在岩心夹持器中,安装好阀门及相应管线。

2)加环压至  $4 \text{ MPa}$  将抽空后岩心饱和实验用水,同时测量岩心孔隙体积,计算岩心孔隙度。

3)按图 1,在恒温箱中连接好管路,测量岩心的水测渗透率,之后将系统恒温至  $45^{\circ}\text{C}$  约  $3 \text{ h}$ 。

4)将饱和模拟油的岩心作水驱油实验,记录压力和流出的油、水量随时间的变化。

5)同样,将另外两块渗透率及孔隙度相近的岩心重复上述步骤,之后再依次分别在外加正、反向电场作用下记录压力、电流及产出的油、水量随时间的变化。

### 1.3 实验结果分析

图 2 为外加电场作用下的水驱采收率实验结果。由图可见,在正向电场作用下,水驱采收率随电场强度的增大而提高,而且矿化度越高这种效应越强。在反向电场作用下,其效果与正向电场的相反。如图,在  $10 \text{ V/cm}$  的正向电场下,其水驱采收率比不加电场时的提高约  $6\%$ 。上述这一现象主要是由于电化效应、界面效应及电动力效应综合作用的结果<sup>[5]</sup>。

表 1 大庆榆树林油田模拟地层水矿物含量

Tab 1 Mineral content of the simulated formation water in Yu Shu Lin oil field of Daqing

Salinity/mg · L <sup>-1</sup>	Mineral contents /mg · L <sup>-1</sup>						
	NaCl	KCl	CaCl <sub>2</sub>	MgCl <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NaHCO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
3848	3.259	0.037	0.677	0.975	1.113	0.642	3.081
770	0.652	0.007	0.133	0.195	0.223	0.128	0.616

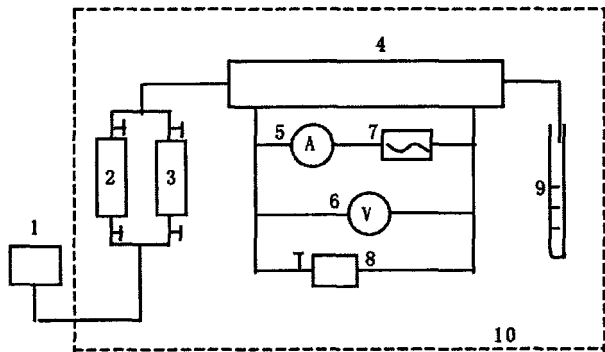


图 1 岩心中油水相对渗透率实验装置简图

Fig 1 Diagram of the oil-water relative permeability experiment in cores

1) pulseless pump, 2, 3) middle Container, 4) core clamper, 5) amperemeter, 6) voltage gauge, 7) high voltage electric supply, 8) pressure sensor, 9) measuring cylinder, 10) thermostat

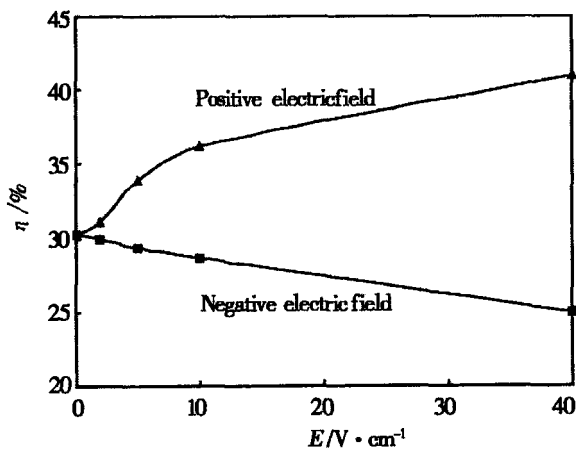


图 2 直流电场作用下的水驱采收率曲线

Fig 2 Curves of the water drive recovery under DC electric field

外加电场下水相相对渗透率变化曲线如图 3 所示,本实验的岩心渗透率为  $0.198 \mu\text{m}^2$ , 孔隙度为 20.74%, 驱替水矿化度为 3848 mg/L. 由图 3

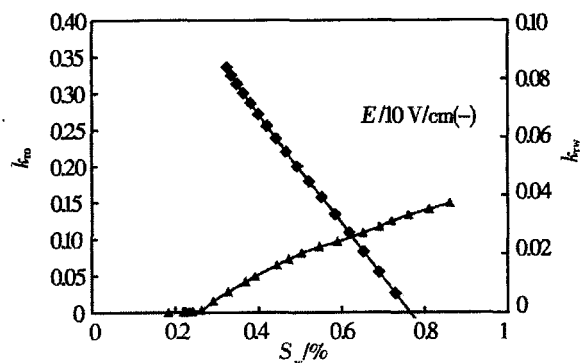
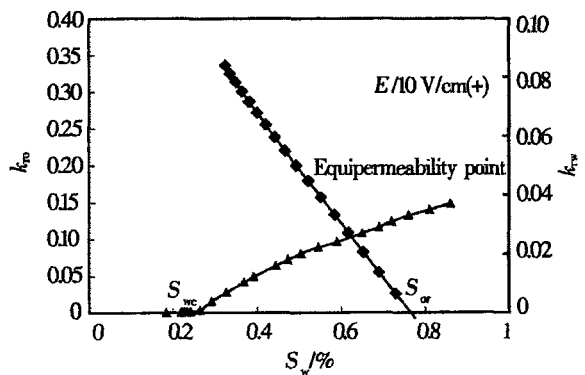
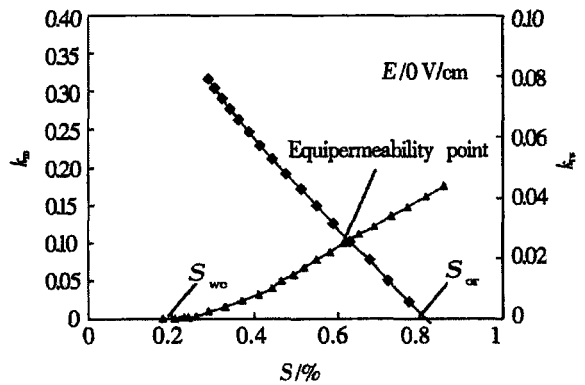


图 3 直流电场作用下水驱油藏油水相对渗透率曲线 ( :油相 :水相)

Fig 3 Curves of the oil-water relative permeability for water drive reservoir under DC electric field ( : oil phase, : water phase)

可见,在直流电场作用下,其油水相对渗透率均表现为岩石强水湿,即等渗点饱和度大于 60%,况且残余油饱和度  $S_{or}$  处的水相相对渗透率  $k_{rw} < 0.1$ ,这就是使用直流电场提高采收率的原因之一.图 3 实验结果同时表明,不论外加正向或反向电场,束缚水饱和度均增大,残余油饱和度均降低.而在外加正向电场作用下,束缚水饱和度  $S_{wc}$  处的油相相对渗透率  $k_{ro}$  增大,而  $S_{or}$  处的  $k_{rw}$  下降,这对采油是有利的.

水驱结束时,与  $S_{or}$  处对应的驱替压差有所增加,这可能是由于在外加电场下因采收率较高,剩余油较少,且在岩石孔道内呈滴状,表现出较强的液阻效应.与常规水驱相比,在直流电场作用下,其水驱过程的水相相对渗透率显著降低,残余油饱和度明显减小,等渗点下含水饱和度有所增大(向右移动),岩石呈强水湿性.

## 2 油水相对渗透率影响因素分析

### 2.1 极性相与非极性相的水电渗流特性

对水驱油过程,地层流体主要为油、水两相混合物.其中水相的极性一般较强,为极性相;油相的极性相对较弱(烃类中一些含氧、含氮化物是具有极性的),可视为非极性相.极性相与非极性相对外加电场的响应不同,前者在极化油层中的渗流实际上是受水动力和静电力综合作用的控制,而某些非极性介质则可在电场作用下极化.因此,若对油层施加一个方向和强度适当的直流电场,就可以改变极性相与非极性相在水力和电力综合作用下渗流特性的差异,从而相应地调整极性介质的渗流速率<sup>[2]</sup>.这是利用外加电场改变油、水相渗透率的主要机理之一.

### 2.2 双电层结构的变化

岩石骨架与地层流体相接触时,在两相界面处必然产生双电层.油藏孔隙中的电动力学现象与双电层密切相关.矿物表面通常吸附负电荷,这些带负电荷的表面与盐水中阳离子之间的吸引力导致扩散层的形成.该双电层被分成不动层和可动层,不动层由孔隙壁面的负电荷与其紧邻的正离子层组成.

当于岩心两端施加直流电场时,随着电场强度的增大,将会导致不动层厚度减小,并同时减弱双电层的电粘效应,不动层变为可动层,渗流速率增加.当可动层中的阳离子向阴极迁移时,它会拖动

滞留的水分子,使水溶液表面膜减小,从而扩大了流体的流通面积.另外,在电场作用下油和水的附加电力也不同,结果是促使了油把水从孔道中排出,即以油置换水.

### 2.3 原油的电粘效应

使用 RS-150H 流变仪测定榆树林油田原油在直流电场作用下的视粘度,结果如图 4 所见.原油的低剪切视粘度受电场强度的影响较明显,且随着电场强度的增加有所下降.而在高剪切速率( $\dot{\gamma}$ )条件下,电场强度对原油的视粘度影响不大.图 5 示出原油低剪切速率视粘度随直流电场强度的变化曲线.由图可见,在 7.0 V 的外加电场下,当剪切速率为  $0.036 \text{ s}^{-1}$  时,45 原油的视粘度由  $771 \text{ mPa} \cdot \text{S}$  降至  $310 \text{ mPa} \cdot \text{S}$ ,幅度很大.这一特性,对于油层中原油的流动十分有利,能较大幅度地提高地下原

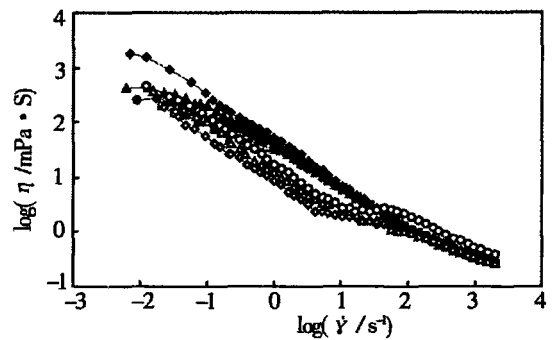


图 4 直流电场作用下原油的电粘效应曲线 (45 )  
 Fig 4 Curves of the electro-viscous effect of oil under DC electric field  
 potential/V: 0, 7, 75.2, 191, 794, 1200, 2500

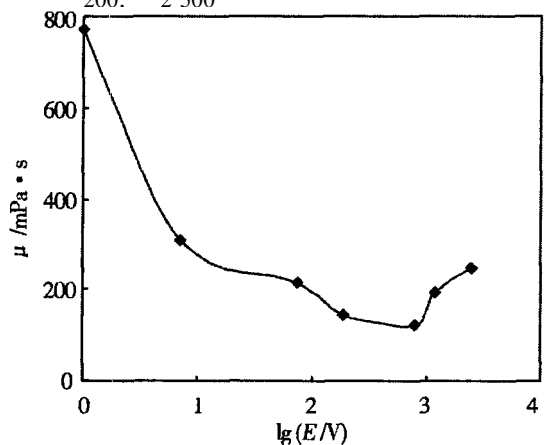


图 5 原油低剪切视粘度随直流电场强度的变化曲线  
 Fig 5 Influence of DC electric field on the viscosity of oil at low shear rate

油的相渗透率.

综上所述,外加电场对水驱油过程具有显著的影响.岩心中极性相与非极性相的水—电渗流特性、流体与壁面间双电层结构的变化、原油的电粘效应等都是影响油水相对渗透率的主要因素.对此,可从电化学效应、界面电现象及油水界面性质作更深入的研究,为电场采油新技术的开发奠定基础.

### 3 结 论

1)在直流电场作用下,油藏岩石油水相对渗透率表现出岩心的强水湿性,束缚水饱和度增加,残余油饱和度降低,且在正向电场作用下,随电场强度的增大,油相相对渗透率明显增大,水相相对渗透率降低.

2)在正向电场作用下,水驱采收率随电场强度的增加而增加;而在反向电场作用下,效果相反.

3)在低剪切速率下,原油的电粘效应较为明显,即使在较弱的直流电场作用下,其视粘度便有较大幅度的降低.这一特性,对于油层中原油的流动十分有利,可较大幅度地提高地下原油的相渗透率.

4)机理分析表明,外加电场条件下油水相对渗透率的变化主要与极性相与非极性相的渗流特性、双电层结构以及原油的电粘效应等因素有关.

### 参考文献 (References):

[1] . . . . Develop Oil From Reservoir by Utilizing Physical Field (Cai Tiancheng translated) [M]. Beijing: Petroleum Industry Publisher, 1993

[2] Wang DianSheng (王殿生), Guan Jiteng (关继腾), Huang Liubin (黄柳宾). Enhanced oil recovery (EOR) method of direct current electric field [J]. Oil Drilling & Production Technology, 1997, 19(6): 23 ~ 26

[3] Honapo M, Kerdolits L, Havy A H. Relative Permeability in Reservoir (Ma Zhiyuan, Gao Yawen translated) [M]. Beijing: Petroleum Industry Publisher, 1989. 33 ~ 35.

[4] Shen Pingping (沈平平). Petrophysics Experimental Technology [M]. Beijing: Petroleum Industry Publisher, 1995. 134 ~ 176

[5] Zhang Jihong (张继红). Characteristics of electrodynamic seepage flow of one phase fluid in porous media [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2002, 26(1): 24 ~ 26

## Influence of DC Electric Field on the Oil-water Relative Permeability in Water-drive Reservoir

ZHANG Ji-hong<sup>\*1,2</sup>, YUE Xiang-an<sup>1</sup>, YANG Jing<sup>2</sup>, LU ying<sup>2</sup>, LI Hong-ling<sup>1</sup>

(1. Reserch Center of Enhanced Oil Recovery, Petroleum University of China, Beijing 102249, China,

2. Department of Petroleum Engineering of Daqing University, Daqing 163318, China)

**Abstract:** The effects of DC electric field strength and direction on oil-water relative permeability and the influence mechanism in reservoir were studied and analysed. The results of experiments indicated that, with the application of external electric field, the core samples becomes more hydrophilic, irreducible water saturation increases and residual oil saturation decreases. Meanwhile, oil relative permeability increases and water relative permeability decreases with increasing of the strength of external electric field. It is demonstrated as well that the different seepage flow behaviors, the structure change of double-electric-layer surface and the electric-viscous effect of polar and non-polar phase are the main factors influencing oil-water relative permeability.

**Key words:** DC electric field, Relative permeability, Seepage flow behavior