文章编号:1673-5005(2008)04-0073-03

基于溶剂置换法的冻胶堵剂选择性试验

戴彩丽[1], 赵福麟[1], 海热提[2], 何 龙[1], 王建国[1]

(1. 中国石油大学 石油工程学院,山东 东营 257061; 2. 新疆油田公司 准东采油厂,新疆 阜康 831511)

摘要:冻胶是溶液中的聚合物分子被交联剂交联后得到的一个整体失去流动性的体系。由聚合物部分水解聚丙烯酰胺与交联剂有机铬交联产生的冻胶,通过乙醇溶剂置换,消除相渗透率的影响,测定冻胶膜在油(甲苯)和水分别通过时对油和水的残余阻力系数。试验结果表明,冻胶对水的流动阻力是对油(甲苯)流动阻力的 14.79 倍,即冻胶对水和油有明显的选择性。该冻胶的选择性堵水性能可由膨胀收缩机理和油水分流机理来解释。

关键词:冻胶; 选择性堵水; 堵水机理; 试验

中图分类号:TE 357.6 **文献标识码**:A

Test on selective plugging of gel based on solvent substitution method

DAI Cai-li[1], ZHAO Fu-lin[1], HAI Re-ti[2], HE Long[1], WANG Jian-guo[1]

(1. *College of Petroleum Engineering in China University of Petroleum, Dongying* 257061, *Shandong Province, China*; 2. *Zhundong Oil Production Plant of Xinjiang Oilfield, Fukang* 831511, *Xinjiang, China*)

Abstract: Gel is wholly mobility-lost system which changed from polymer solution cross-linked by cross-linking agent. The gel system was prepared by partially hydrolyzed polyacrylamide and complexed Cr^{3+} as the cross-linking agent. By solvent substitution, the effect of effective phase permeability was removed, and the residual resistance factors (RRF) to water and oil were measured when oil (toluene) and water passed through gelled film. The results show that the flow resistance of gel to water is 14.79 times as large as that to oil (toluene), that is, gel has obvious selectivity to water and oil (toluene). The selective plugging mechanism can be explained by swelling-contracting mechanism and oil-water fractural mechanism.

Key words: gel; selective plugging; plugging mechanism; test

近几年,国内外大量应用冻胶进行调剖堵水,取得了很好效果。同时在冻胶堵水机理方面亦进行了广泛研究,研究表明冻胶具有选择性,即对水的封堵作用大于对油的封堵作用[1-8]。笔者采用溶剂置换法消除相渗透率影响,考察冻胶堵剂对油、水的选择性。

1 冻胶的形成

冻胶[9]是溶液中的聚合物分子被交联剂交联而得到的一个整体失去流动性的体系。该体系为网络结构,将液体包在其中。本文中研究的冻胶是由部分水解聚丙烯酰胺(HPAM)与有机铬(由醋酸铬与乳酸铬复配得到)交联产生。有机铬提供高价金属离子 Cr^{3+}, Cr^{3+} 经过络合、水解及多次羟桥作用,形成铬的多核羟桥络离子[10],如图 1 所示。

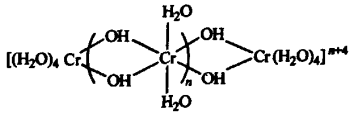

图 1 铬的多核羟桥络离子

铬的多核羟桥络离子与 HPAM 的—COO^- 配位交联形成冻胶,如图 2 所示。

从图 2 可以看到,冻胶是一个网络体系,其中包含了大量的水,由于多核羟桥络离子的交联作用,使

收稿日期:2008-01-27

基金项目:中国石油化工集团公司重点科研攻关项目(P04056)

作者简介:戴彩丽(1971-),女(汉族),山东荣成人,副教授,博士,硕士生导师,从事油田化学教学和科研工作。

万方数据

流动的聚合物溶液转变成不能流动的冻胶。

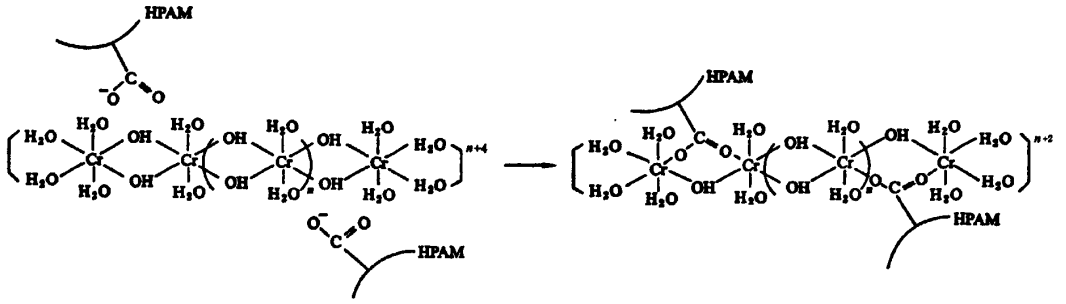

图 2　冻胶的形成

2　冻胶选择性堵水试验

2.1　试验原理

通过测定油和水经过冻胶的残余阻力系数来评价冻胶的堵水选择能力。试验中避免冻胶体相堵塞，要求冻胶必须吸附在岩心表面，给油和水留下通道，分别考察油和水通过时冻胶对其流动产生的阻力，因此试验的前提是冻胶膜的形成。冻胶膜在岩心中形成后，无论是先水驱测渗透率后油驱(甲苯驱)测渗透率，还是反之，由三组分相图(图 3)可见，都在水-甲苯一边上进行，经过两相区，即存在油水界面，则必然存在相渗透率的影响。为了消除相渗透率的影响，采用溶剂置换法，即通过乙醇中间过渡，整个过程是沿水-乙醇一边再转乙醇-甲苯一边进行的，没有经过两相区，这样测出的渗透率不存在相界面影响。

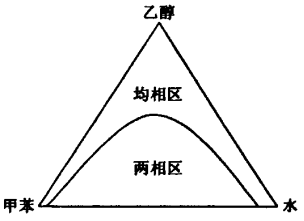

图 3　溶剂置换原理示意图

2.2　试验材料和流程

试验药品及仪器：去离子水、甲苯(代替原油)、乙醇、部分水解聚丙烯酰胺、有机铬交联剂、磷酸盐胶结岩心、折光仪、岩心流动试验装置、分光光度计。

试验流程见图 4。

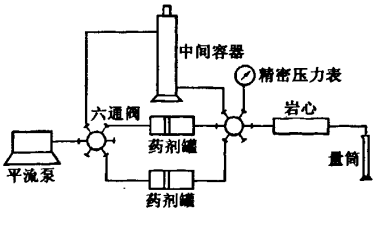

图 4　冻胶型堵剂选择性堵水模拟试验流程

3　试验方法及结果分析

在 20 ℃及流体驱替速度为 0.2 mL/min 条件下进行了下面的试验：

(1)岩心饱和甲苯，测 $k_{0甲苯}$；

(2)岩心烘干(甲苯挥发)，饱和水，测 $k_{0水}$；

(3)注 $1V_p$(孔隙体积)0.30% HPAM，70 ℃下恒温 1 d，转注水，用碘-淀粉比色法分析产出液中 HPAM 的浓度，直至产出液中不含 HPAM，达到 HPAM 在岩心表面吸附平衡；

(4)注 $1V_p$ 0.40%有机铬交联剂，在 70 ℃下恒温 1 d，使其与吸附在岩心表面的 HPAM 形成冻胶膜，然后注水，分析产出液中 Cr^{3+} 浓度，直至产出液中不含有机铬交联剂；

(5)测 $k_{1水}$，计算冻胶对水的残余阻力系数 $F_{RR水}=k_{0水}/k_{1水}$；

(6)注入无水乙醇，用折光仪分析产出液的折光率，直至进出口乙醇折光率相同，再注甲苯，直至进出口甲苯折光率相同，此时岩心已完全被甲苯饱和；

(7)测 $k_{1甲苯}$，计算冻胶对油的残余阻力系数 $F_{RR甲苯}=k_{0甲苯}/k_{1甲苯}$；

(8)计算冻胶对水和对甲苯的残余阻力系数之比 R，$R=F_{RR水}/F_{RR甲苯}$。

由实用化学手册[11]查得 20 ℃时甲苯的折光率为 1.4969，20.5 ℃时乙醇的折光率为 1.3610。

试验选用了 3 块岩心，进行了 3 次试验，试验用岩心的基本数据见表 1。

根据上述试验测得的结果列于表 2。由表 2 可看出冻胶对水的流动阻力远大于对油(甲苯)的流动阻力，两者之比平均值达到 14.79，即冻胶对水和油有明显的选择性。该结论与国外文献报道[3-4]相一致。

万方数据

表 1 试验用岩心的基本数据

序号	长度 L/cm	直径 d/cm	端面面积 S/cm^2	干质量 m_1/g	湿质量 m_2/g	岩心孔隙体积 V_p/mL
1	5.951	2.55	5.107	53.45	62.052	8.6
2	5.863	2.52	4.985	52.19	60.293	8.1
3	5.925	2.53	5.096	53.01	61.410	8.4

表 2 冻胶选择性堵水试验结果

试验组数	参数	注入冻胶前渗透率 k_0/μm^2	注入冻胶后渗透率 k_1/μm^2	残余阻力系数 F_{RR}	水油残余阻力系数比 R
1	$k_{水}$	0.096	0.0039	24.6	14.56
	$k_{甲苯}$	0.097	0.0575	1.69	
2	$k_{水}$	0.077	0.0015	52.38	16.37
	$k_{甲苯}$	0.079	0.0249	3.20	
3	$k_{水}$	0.085	0.0026	32.69	13.45
	$k_{甲苯}$	0.087	0.0358	2.43	

4 冻胶型堵剂选择堵水机理

冻胶的选择性堵水作用可用膨胀/收缩机理和油水分流机理来解释。

4.1 冻胶型堵剂选择性的膨胀/收缩机理

膨胀/收缩机理认为被交联剂交联的聚合物为一个网络，充满网络的水与流动的水是同一相，水流动时，网络保持着膨胀状态，对水的流动阻力大；油流动时，油与冻胶网络中的水不是同一相，油相可对水相施加压力，该压力使冻胶网络中的水析出，引起冻胶网络收缩，减小了油的流动阻力，图 5 为膨胀/收缩机理解释冻胶选择性的示意图。

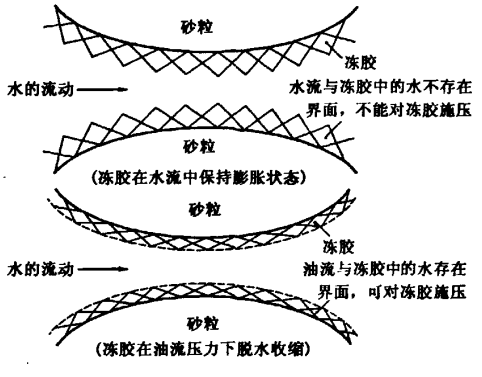

图 5 冻胶型堵剂选择性的膨胀/收缩机理

4.2 冻胶型堵剂选择性的油水分流机理

油水分流机理则认为，油和水在孔隙介质中的流动是各有通道的，水走水道，油走油道。注入冻胶时，由于冻胶属水基堵剂，它将沿水的通道流动，成冻后，它堵的是水道而不是油道，因此冻胶具有堵水不堵油的特性。图 6 为油水分流机理解释冻胶选择性的示意图。

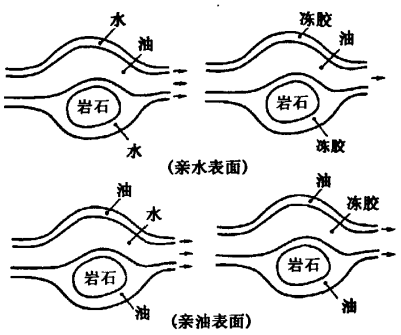

图 6 冻胶型堵剂选择性的油水分流机理

5 结 论

(1)首次提出的溶剂置换法，消除了相渗透率的影响，测定了冻胶对油和水的选择性封堵性能，该方法科学合理。

(2)冻胶对水的流动阻力是对油(甲苯)流动阻力的 14.79 倍，证实了冻胶对水和油有明显的选择性。

参考文献：

[1] NELSON S G, KALFAYAN L J, RITTENBERY W M. The application of new and unique relative permeability modifier in selectively reducing water production[R]. SPE 84511, 2003.

[2] MENNELLA A, CHIAPPA L, LOCKHART T P, et al. Candidate and chemical selection guidelines for relative permeability modification treatment[J]. SPE Prod Facil, 2001,16(3):181-188.

[3] SINGLETON M A, SORBIE K S, SHIELDS R A. Further development of the pore scale mechanism of relative permeability modification by partially hydrolysed polyacrylamide[R]. SPE 75184, 2002.

[4] WILLHITE G P, NATARJAN D, MCCOOL C S, et al. Mechanisms causing disproportionate permeability reduction in porous media treated with chromium acetate/HPAM gels[R]. SPE 77185, 2002.

[5] LIANG J, SERIGHT R S. Wall-effect/gel-droplet model of disproportionate permeability reduction[R]. SPE 74137, 2001.

[6] AL-SHARJI H H, GRATTONI C A, ZIMMERMAN R W, et al. Disproportionate permeability reduction due to polymer adsorption entanglement[R]. SPE 68972, 2001.

(下转第 98 页)

万方数据

method for gas-liquid two-phase flow measurement[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2001, 35(5): 441-444.

[2] 王栋,林宗虎. 分流分相式两相流体流量测量方法:中国, 98113068[P]. 1999-09-15.

[3] 王栋. 分流分相式气液两相流体流量计[D]. 西安:西安交通大学能源与动力工程学院,2000.

[4] WANG Dong, LIN Zong-hu. Gas-liquid two-phase flow measurement using ESM[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2002, 26: 827-832.

[5] 梁法春. 气液两相流体取样分配器及其在流量测量中的应用[D]. 西安:西安交通大学能源与动力工程学院, 2006.

[6] 王栋, 林益, 林宗虎. 取样管型分流分相式气液两相流体流量计[J]. 工程热物理学报, 2002, 23(2): 235-237.
WANG Dong, LIN Yi, LIN Zong-hu. A ESM type gas-liquid two-phase flow meter with sampler tubes as distributor[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2002, 23(2): 235-237.

[7] 王栋,林益,林宗虎. 利用T型三通测量气液两相流体的流量和质量含气率[J]. 热能动力工程, 2002, 17(4): 336-338, 348.
WANG Dong, LIN Yi, LIN Zong-hu. Measurement of flow rate and dryness of a vapor-liquid two-phase fluid by using a T-junction[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 2002, 17(4): 336-338, 348.

[8] 王栋, 张修刚, 林益, 等. 不等径水平三通的相分离特性研究[J]. 工程热物理学报, 2003, 24(2): 259-261.
WANG Dong, ZHANG Xiu-gang, LIN Yi, et al. The split of two-phase flow at horizontal T-junction of unequal diameters[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2003, 24(2): 259-261.

[9] AZZOPARDI B J. Phase separation at T junctions[J]. Multiphase Science and Technology, 1999, 11(4): 223-329.

[10] 王栋,林益,林宗虎. 转鼓分流分相式气液两相流体流量测量技术研究[J]. 西安交通大学学报, 2002, 36(5): 457-460.
WANG Dong, LIN Yi, LIN Zong-hu. Extracting and separating method type gas-liquid two-phase flow meter by using rotational drum as distributor[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2002, 36(5): 457-460.

(编辑 沈玉英)

(上接第75页)

[7] 韩明,白宝君,王平美,等. 冻胶类堵剂对油水的不同封堵能力研究[J]. 石油钻采工艺, 1997, 19(6): 53-57, 62.
HAN Ming, BAI Bao-jun, WANG Ping-mei, et al. Comparison study on the plugging capability of water and oil [J]. Oil Drilling and Production Technoloy, 1997, 19(6): 53-57, 62.

[8] 李克华,赵福麟. 冻胶堵剂堵水作用大于堵油作用的原因[J]. 钻采工艺, 2000, 23(3): 76-77.
LI Ke-hua, ZHAO Fu-lin. The reason for function of water plugging of gel-type water shutoff agent more than its function of oil plugging[J]. Drilling and Production Technoloy, 2000, 23(3): 76-77.

[9] 英汉石油大辞典编写组. 英汉石油大辞典[M]. 北京:石油工业出版社, 2001.

[10] 赵福麟. 油田化学[M]. 东营:石油大学出版社, 1999.

[11] 张向宇. 实用化学手册[M]. 北京:国防工业出版社, 1986.

(编辑 刘为清)

(上接第81页)

[14] 柏松章. 碳酸盐岩潜山油田开发[M]. 北京:石油工业出版社, 1996.

[15] T. D. 范 高尔夫-拉特. 裂缝油藏工程基础[M]. 陈钟祥,金玲年,秦同洛, 译. 北京:石油工业出版社, 1989.

[16] 袁士义,宋新民,冉启全. 裂缝性油藏开发技术[M]. 北京:石油工业出版社, 2004.

[17] 黄代国. 油藏岩心分析和采油机理实验论文集[C]. 北京:石油工业出版社, 2002.

[18] 陈杰,周改英,赵喜亮,等. 储层岩石孔隙结构特征研究方法综述[J]. 特种油气藏, 2005, 12(4): 11-14.
CHEN Jie, ZHOU Gai-ying, ZHAO Xi-liang, et al. Overview of study methods of reservoir rock pore structure [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2005, 12(4): 11-14.

(编辑 李志芬)

万方数据