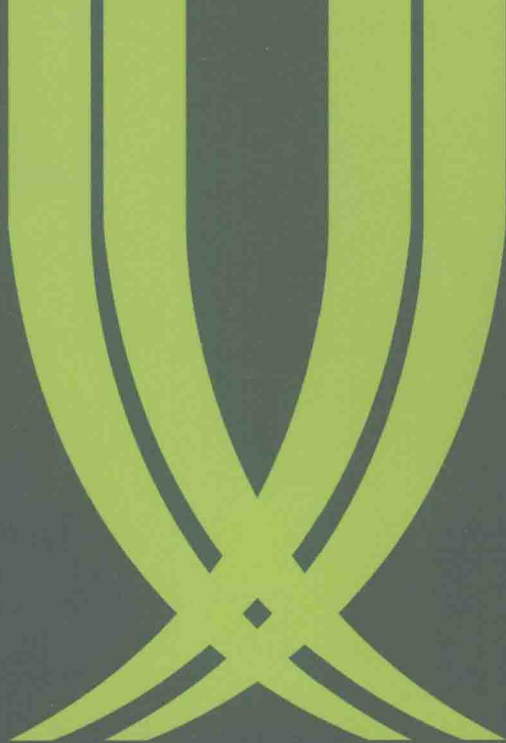




油田高含水期深部调驱技术 文集

沈 琛◎主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

油田高含水期深部调驱 技术文集

沈 琛 主编

中国石化出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

油田高含水期深部调驱技术文集 / 沈琛主编.
—北京: 中国石化出版社, 2008
ISBN 978 - 7 - 80229 - 769 - 2

I. 油… II. 沈… III. 油田开发 - 化学驱油 - 文集
IV. TE341 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 170957 号

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

金圣才文化发展(北京)有限公司排版

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 26.25 印张 666 千字
2008 年 11 月第 1 版 2008 年 11 月第 1 次印刷
定价: 70.00 元

编 委 会

主 编：沈 琛

副主编：吴 奇 姜 伟

委 员：曾庆坤 罗国英 陈 明

王连刚 薄启炜 王 林

崔亚民

前 言

油水井深部调驱是非均质油藏控水稳油、提高水驱效率的重要技术手段。我国的绝大多数油田都进入了高含水或特高含水开采后期，常规的堵水调剖技术已不能满足油田生产需求，深部调驱技术的研究及应用等取得了许多新进展，在改善高含水油藏水驱开发效果方面获得了显著效果。

为总结深部调驱技术的研究及应用成果，促进油气资源的高效开发，中国石油学会石油工程专业委员会决定于2008年11月召开“油田高含水期深部调驱技术研讨会”。这次会议征文得到中国石油天然气股份有限公司、中国石化股份有限公司、中国海洋石油有限公司以及各大石油院校的大力支持和帮助，广大石油科技工作者积极响应，短时间内便征集到大量论文。经过专家优选，最终有70篇论文材料收入论文集出版。

这些论文涵盖面非常广，集中展示了我国石油工业界科研、工程人员的科技成果。内容包括深部调驱的油藏工程研究，决策方法，适应性分析，深部调驱的作用机理，化学剂研发评价与应用，物理模拟实验，施工工艺，效果评价方法，现场应用，堵水调剖软件的研发以及深部调驱技术上的难点、发展趋势等。对于从事油田开发的工程技术人员和石油院校的师生具有较高的学习参考价值。

尽管参加编撰的各位作者付出了辛勤的努力，但也难免会有疏漏和不当之处，敬请广大读者批评指正。

中国石油学会石油工程专业委员会

目 录

中国油田堵水调剖技术的发展与展望	刘翔鹤(1)
抗温抗盐聚合物冻胶堵水剂体系的研究	梁文利 赵 林(9)
让那诺尔低渗透碳酸盐岩油藏凝胶调剖剂研究	李芮丽 杨 宁等(15)
高温低渗复杂断块油藏耐温抗盐调驱体系的研究与应用	杨昌华 刘淑芳等(20)
一种新的适用于高矿化度地层深部调剖剂	才 程 岳相安(25)
耐温耐盐膨胀凝胶深部调驱在石南油田的成功应用	饶 政 张春光等(30)
深度调剖技术在朝阳沟油田的应用	常淑云 赵海英等(34)
葡萄花油田深度调剖复合段塞式注入工艺研究与应用	孟庆胜 曹鼎洪等(42)
北三台油田北 31 井区深部调剖技术研究	湛国庆 石 彦等(47)
大庆杏北开发区深部调剖技术对提高采收率的作用	苏云行 罗 庆等(52)
葡萄花油田注水井深度调剖技术的实践与认识	高立峰(57)
大港油田不同类型油藏深部调剖技术适应性评价及发展方向	陈美华 李之燕等(66)
渤海油田调剖效果分析及基本认识	刘全刚 易 飞等(74)
改性预交联深部调剖剂及其应用	吴笃俊(80)
安塞油田裂缝型储层深部调剖技术研究和应用	张随望 张 昊等(86)
深部调剖剂的研制和应用	王雷绪(97)
陆梁油田陆 9 井区西山窑组油藏配方跟踪研究	焦秋菊 王凤清等(102)
港西油田深部调剖工艺技术研究	吕云波(108)
“三低”油藏整体调剖技术研究与应 用	周邦元 高浩宏等(113)
低渗透油田碱土复合段塞深度调剖技术	倪玉伟 关宏业等(119)
侏罗系油藏中高含水期深部调驱技术	舒 政 叶仲斌等(124)
陆 9 井区 J ₂ X ₄ 组油藏深部调驱效果评价方法	刘宝珍 周慧泽等(129)
濮城油田沙三上 5 - 10 油藏以深部调驱技术为主的综合治理	杨永超 史长平(133)
边底水驱水平井开发调整油藏整体调驱技术	郑家朋 络洪梅等(143)
绥中 36 - 1 油田深部调驱剂研发与评价	刘凤霞 黄 波等(148)
明十四块整体调驱工艺技术	赵长权 陈绪斌等(155)
八区 530 井区 J161 层油藏整体调驱技术研究	李 彬 张 君等(161)
周清庄油田高温低渗裂缝性油藏调驱试验研究	胡 静 李学艺等(166)
文 25 块调驱工艺优化决策及应用	黄学宾(170)
油田深部调驱剂的研究与应用	刘凤丽 李建雄等(177)
高含水油田弱凝胶深部调驱剂研究	刘平德 杨 宁等(182)
渤海稠油油田弱凝胶调驱先导性试验研究与应用	山金城 陈 明等(186)
复合离子调剖技术在大庆外围油田中高含水期的应用	刘凤龙 姚玉庆等(202)
聚合物微球调驱机理及矿场应用	肖建洪 叶卫保等(207)
海上油田纳米级聚合物微球调驱应用研究	李跃林 鞠 野等(213)

氮气泡沫复合驱油技术在注 16 块的应用	李 瑞(219)
QHD32-6 油田氮气泡沫调驱数值模拟研究	彭昱强 王晓春等(225)
中高渗油藏空气泡沫调驱技术探索	林伟民 任韶然等(230)
调剖、微生物调驱“2+3”技术在胡七北块的研究应用	范锡彦 唐周怀等(236)
可动凝胶调驱配套工艺技术研究与应用	龙 华 白云渡(242)
复合离子调剖剂的应用效果研究	阙春玲(248)
红山嘴油田聚合物驱油技术研究与应用	胡学雷 黄 玲等(253)
聚合物延缓交联深部调驱技术推广应用	王翠霞 王玉荣等(260)
砾岩油藏聚合物驱注聚前整体调剖技术研究	陈丽华 楼仁贵等(266)
缓膨高强度深部液流转向剂室内研究	唐孝芬 刘玉章(271)
规模应用液流深部转向调驱技术, 进一步挖掘老油田的 剩余油潜力	李之燕 陈美华等(276)
液流深部转向调驱技术在板桥油田板 19-1 区块的现场应用	王瑞雪 吴国宏等(283)
强造壁复合堵剂的研制和应用	刘希君 雷齐玲等(290)
润洲 11-4 油田东区水平井堵水实践与认识	杨 山(295)
应用化学堵水 封窜技术, 进一步挖掘油井潜力	张龙江 赵云生等(300)
安塞油田长 2 高含水油藏堵水技术研究	曹建坤 张宏强等(305)
油井深部堵水改善开发效果技术研究与应用	陈 渊 魏开鹏等(309)
改性超细水泥堵剂的研究与应用	代晋光 邹小萍等(316)
无机颗粒堵剂渗透率适应性定量评价新方法	张光焰(320)
新型三叠系油藏窜流通道判别方法研究与应用	谭俊领 黄 伟等(325)
含油污泥调剖技术	赖南君 叶仲斌等(329)
低渗透油田污油泥调剖剂的研制与应用	张明智(336)
侏罗系油藏污油泥调剖技术研究	马国良 张 力等(341)
污水处理残渣(污泥)调剖驱油技术研究与应用	王从领(349)
高触变水平井环空化学封隔(ACP)材料研究及应用模拟	魏发林 刘玉章(357)
水平井堵水用环空封隔材料研究	张玉详 葛红江等(362)
新型 IPNG 颗粒/表面活性剂组合调驱技术	刘永兵 胡 琴等(367)
新型聚表剂提高采收率物模实验及认识	闫丽萍 雷友忠等(374)
油田堵水调剖油藏工程方案研究的几个重点	关 悦 尹相文等(381)
真实岩心微观驱替技术在调剖研究中的应用	尹玉川 徐 浩等(387)
调剖特征影响因素分析与应用	田建儒 郑岱忠等(392)
大剂量调剖优化设计模型研究	王雷绪(396)
凝胶体系在多孔介质中成胶性能研究	李荣华 李东文等(400)
聚能调驱提高采收率新方法机理研究	李俊亮 刘春天等(406)
浅谈葡萄花油田老区应用电场提高采收率技术可行性探讨	尚可心 孟凡立(411)

中国油田堵水调剖技术的发展与展望

刘翔鹤

1 引言

油田产水问题是油田开发过程中的一个重大问题,产水的控制、采出、举升和处理密切地关系到油田的开采效益和采收率。据美国 Gino Di Lullo 等“控制产水回顾”一文,论述:“美国许多油田已进入衰竭阶段,水/油比接近 9:1。还有些油田在以高达 50:1 的油/水比生产。”

我国中油股份公司油田 2006 年年底的综合含水已达 85%,而大庆油田已达 89%,因此全国各油田也同样处于高水油比采出阶段,更加有效地搞好堵水调剖技术是控制产水,提高油田采收率,是提高含水油田开发的经济效益的一项重要措施。

2 中国油田堵水调剖技术发展情况概述

中国油田堵水技术和现场应用开始于 1950 年代中期,大致分为五个阶段:

① 20 世纪 50 年代开始探索和研究,玉门老君庙油田 1957 年开始封堵水层的研究和试验,1957~1959 年 6 月共堵水 66 井次,成功率 61.7%。

② 机械卡堵水发展阶段,自 20 世纪 60 年代到 70 年代末,在大庆、胜利、华北、江汉、辽河、新疆等各油田都大面积推广应用封隔器和配套的井下管柱卡堵高含水层,取得了降水增油的好效果。

③ 化学堵水发展阶段自 20 世纪 80 年代初期开始较快地发展了油井化学堵水技术,特别是水溶性聚合物投入应用以来,油井化学堵水井次逐年上长,在胜利油田、华北油田取得了年增油千吨以上的多口堵水井,如胜利油田 1982 年化学堵水 78 口井,当年原油增长上千吨的 15 口井,胜利河口埕东油田堵大孔道 5 口,增油 7123t,胜利油田堵大孔道 7 口,增油 7596t。

④ 注水井调剖和油田区块综合治理阶段:1985 年 11 月 11~17 日在大连召开的第四次全国油田堵水技术会议决策,自 20 世纪 80 年代初、中期开始大力发展注水井调剖技术。中石油勘探院的 TP-910 调剖技术,和辽河、胜利、河南等油田相结合明显见效。而后研发的 PIA 系列调剖技术、BD861 调剖技术和三相泡沫等和低成本的颗粒型搬土类调剖剂也有了新的发展和应用,从而使注水井调剖技术得到广泛的发展和应用。

相应地强调和发展了以油田区块为整体的综合治理技术,使油田堵水调剖技术由单井处理开始进入以油田区块为整体的处理阶段。到 20 世纪 90 年代注水井调剖技术进入极盛发展和应用阶段,在区块整体处理中开始了深部处理和调剖调驱同时收益的新思路。

⑤ 注水井深部调剖和调驱及液流转向技术的研发阶段:自 2000 年以来由于油田含水的

不断增高，调剖技术向油藏深部发展。为进一步提高采收率，研究应用调剖剂的特性在调剖的同时进行调驱的研究试验，几年来已取得了减水增油，提高采收率的良好效果，进一步大面积推广应用和深入细致地研究其机理，发展和应用深部液流转向技术已成为当前集中攻关的目标。

1999年4月26~29日在广州召开的第十次全国油田堵水技术会议上决策进一步开展“深部调剖和液流转向技术的应用”。

2006年中油股份公司油田堵水调剖3009井次，其中化学调堵1196井次。年内共增油 $54 \times 10^4 \text{t}$ ，其中化学处理增油 $22.5 \times 10^4 \text{t}$ 。降水 $283.9 \times 10^4 \text{m}^3$ 。单井处理平均增油178.2t(当年)，跨年增油229.6t。全国调剖井次2005年为787井次，2006年938井次。

全国历年调剖堵水作业井效和效果统计见表1。

表1 历年堵水调剖井次及效果统计表

年 份	堵水井次数		数增产油量/ 10^4t		减产水量/ 10^4m^3		单井平均 增油/t
	总数	其中化学 调堵井次	总增油量	其中化学 增油	总降水量	其中化学 降产水量	
1979	1786	585	21	8.9			117.13
1980	1568	514	57.4				366.07
1981	1310	393	54.3				414.5
1982	1409	338	64.32				456.6
1983	1583	454	71.16				449.53
1984	1439		78.9				548.39
1985	1450		74.90				506.1
1986	1053	254	81.60	12.88	58.5		773.15
1987	1163	218	59.39	13.57	242.67		501.25
1988	1617	523	46.53	15.92	501.7		287.5
1989	1547		52.69				319.91
1990	1614		45.59				282.52
1991	2086	1223	107.96	50.52	453.12		301.1
1992	3088	1423	130.4	72.4	563.43		331.1
1993	2810	1298	61.05	50.52	501.8		289.98
1994	3701		126.8				342.61
1995	3540		117				330.51
1996	3544		97				273.7
1997	3909		117.42				300.38
1998	5373		155.95				290.24
1999	3879		96.71				249.39
2000	中油 2579 中石化 1675	333 807	57.1 56.8435	11.16	197.69	25.46	222.53 339
注：中石化2000年的统计只包括胜利、中原和河南三个油田，其余油田未统计在内。							
2001	2918		52.9				182.3
2002	2692		57.5				213.3
2003	2924		50.1				171.5
2004	2893		55.3				191.7
2005	2917	1240	46.9	27.46			179.5 256.1(计跨年)
2006	3009	1196	54.0	22.5			178.2 229.6(计跨年)

根据不完全统计，对中国、美国和俄罗斯的堵水、调剖效果对比如表2。

表 2 中国、美国和俄罗斯堵水调剖效果对比表

项 目 \ 国 家	中国石油股份公司	美国	俄罗斯
施工作业成功率/%	60 ~ 85	70 ~ 83	69 ~ 86
每井次作业施工总增产油量/t	282 ~ 1500 胜利垦东(1980 年代) 274 ~ 6840 胜利(1990 年代) 171 ~ 213 ~ 790(跨年)2001 ~ 2006 年	500 ~ 6000	600 ~ 5700
每口反应井的平均日增油量/(t/d)	50(1980 年代)辽河 469 井 1 ~ 7(1990 年代)大港羊三木 0.7(2006 年)大庆浅调平均	1 ~ 1.8	0.3 ~ 3.0
增产有效期	60 ~ 420d(1980 年代)辽河 210 ~ 450d(1990 年代)大港羊三木 148 ~ 181d(2005 中油) 78 ~ 127d(2006 中油)	3 ~ 12	6 ~ 24
每井次作业月总增产油量/(吨/月)	47 2006 年机械 76 2006 年化堵	80 ~ 120	60 ~ 230

自 1980 年 1 月(石家庄市)到 2003 年(杭州市)共召开十二次全国油田堵水技术会议,其间隔一年召开 1 ~ 2 次堵水协调小组会议,及时讨论,明确协调,解决了有关技术问题。历次堵水会议见表 3。形成了相当的工业规模,取得了良好的经济效益,改善了注水开发油田的开发效果。

表 3 全国油田堵水技术会议简况表

全国油田堵水会议	召开时间	召开地点	关键议题
第一次	1980. 1	石家庄市	油田堵水如何更好地满足油田开发的要求
第二次	1981. 12. 6 ~ 9	成都市	提高油井堵水效果,研究试验封堵大孔道和油水对应堵水
第三次	1983. 6. 24 ~ 29	胜利油田	研究和推广应用“以油田区块为单元的整体堵水调剖技术”
第四次	1985. 11. 11 ~ 17	大连	研究讨论“不同类型油藏注水井调剖,油井选择性堵水”的配套工艺技术
第五次	1987. 10. 10 ~ 15	新疆克拉玛依油田	主攻“完善发展区块堵水综合治理”
第六次	1989. 11. 22 ~ 25	江苏昆山	研究讨论油田堵水技术的发展要以“注水井调剖或油井封堵大孔道为主,化学堵水为辅”
第七次	1992. 1. 7 ~ 10	南京	坚持以区块综合治理为主,以注水井调剖为主的有效做法
第八次	1994. 5. 13 ~ 18	北戴河	落实总公司“东部开发会议”精神,加大堵水调剖力度,深化认识,加强机理研究,完善优化决策系统
第九次	1997. 1. 20 ~ 22	海口市	会议提出要集中组织油田调剖单元的筛选技术配套和完善
第十次	1999. 4. 26 ~ 29	广州市	集中研究了可动凝胶、深度调剖和液流转向技术
第十一次	2001	丹东	广泛技术交流,发展整体深部调剖
第十二次	2002	成都	广泛技术交流,发展整体深部调剖
第十三次	2003	杭州	发展深部调剖、调驱

3 油田调剖堵水技术的研究与应用

随着油田含水的增长,调剖、堵水技术得到全面、迅速的发展,整体上机械堵水方面向着细分方向发展,化学堵水、调剖方面则进一步向整体化、深部处理方向发展,同时发展应用了调堵组合的深部液流转向和深部调驱技术,目前已成为高含水油田提高水驱采收率的关键

键重要技术。相应地为提高聚合物驱的效果，并相应的开展聚合物驱前、后、中的调剖工作的实施，取得了良好效果。为进一步提高调驱、调剖、堵水的技术水平，开展了相关机理的研究，取得了一些新认识，更加丰富和提高了油田调剖堵水的技术和理论水平，下面就应用较广的新技术和取得的新认识加以简要论述。

3.1 调剖堵水化学剂在储层中的流动状况和堵塞机理

通过多年的研究和实验提出三种新认识

(1) 第二通道论

经用微观模型、核磁成像(NMRI)平面模拟研究，得出了调剖堵塞后形成了第二通道的结论，即用化学剂调剖时，堵剂进入高渗透层段或大孔道，并对其形成堵塞，当注入水继续推进时，重新选择通道，即在原未波及的层段形成第二通道，从而提高了注入水的波及体积，提高了注入水的利用率，相应地提高了注入水阶段采出程度，改善了开发效果，模拟实验结果见图1、图2、图3、图4。

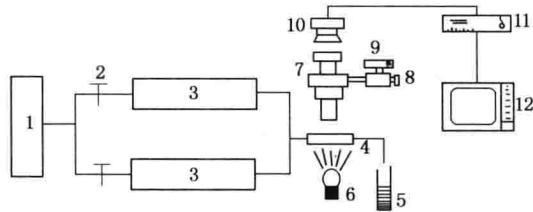


图1 微观模型试验流程图

1—微量泵；2—阀门；3—中间容器；4—微观模型；5—接样器；6—光源；
7—显微镜；8—观察口；9—照相机；10—摄像机；11—录像机；12—电视机



图2 注入化学堵剂前的注入通道



图3 化学堵剂进入注水大通道

(2) “爬形虫”或“变形虫”理论

经微观模拟试验，可以明显地看出，当大直径的凝胶颗粒通过储层孔喉时，因其凝胶颗粒大于喉道直径，则受到挤压而变形，而后通过喉道，穿越后凝胶颗粒又恢复其原形。某些凝胶颗粒则因受挤压而失水变小，通过喉道后又恢复原状。也有某些凝胶颗粒，当受到挤压后，因脱水而造成颗粒破碎，变小而通过喉道，以上三种情况称之为凝胶颗粒过喉道的“变形虫”和“爬行虫”理论。试验证明，因凝胶颗粒具有黏弹性，因而有一定的驱油作用。其基本作用机理是大颗粒进入并填满孔隙空间，将剩余油挤出，而小颗粒则占据孔隙部分空间，迫使液流转向，驱替剩余油。其试验观察结果见图5、图6、图7。

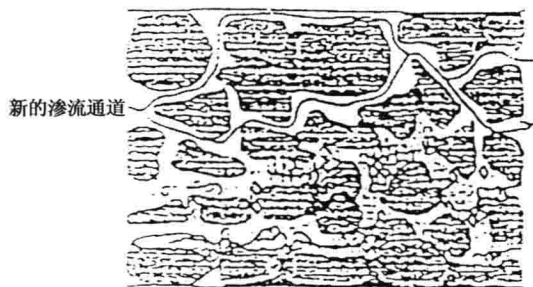


图4 化学堵剂堵塞原水流通道后形成新水流通道

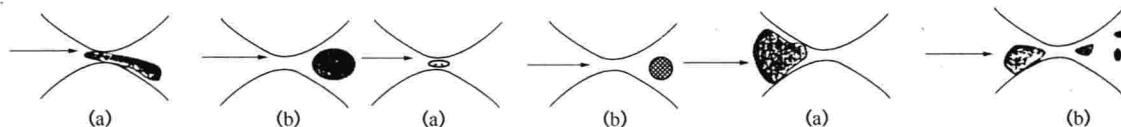


图5 “变形虫”论

(a) 凝胶微粒变形通过孔隙喉道;
(b) 凝胶微粒通过喉道恢复原形

图6 凝胶微粒变形
变小通过孔喉图

图7 凝胶微粒被挤压
破碎通过孔喉图

(3) 涂层堵塞论

采用渗透率不同的填砂长圆管岩心和无机凝胶调剖剂, 结果观察到随着注入堵剂的 PV 数增大则封堵率逐渐提高, 而用长管做实验时, 观察到随注入倍数的增加岩心孔道逐渐因表面涂层而变小, 最后形成堵塞。

3.2 调剖堵水近年来的施工进展和新技术应用

2000 年以来, 中石油公司的调剖堵水技术施工规模有所增加, 2006 年已达 3009 井次。年增油量 $54 \times 10^4 \text{t}$, 降水量已接近 $300 \times 10^4 \text{m}^3$ (表 4)。

表 4 中石油堵水调剖工作量

年度	堵水调剖工作量/井次	年增产油量/ 10^4t	年减产水量/ 10^4m^3
2000	2750	57.1	197.7
2001	2918	52.9	135.0
2002	2692	57.5	237.8
2003	2924	50.2	262.0
2004	2893	55.3	306.1
2005	2917	46.9	200.1
2006	3009	54	283.9

但总的来看, 注水井调剖施工井次偏少, 2005 年为 787 井次, 2006 年为 938 井次, 尚需进一步扩大其工业规模。近年来油田应用较多的技术有:

(1) 体膨凝胶颗粒调剖技术

将丙烯酰胺、甲 2 基双丙烯酰胺、过硫酸盐、黏土、膨胀度控制剂等混合、溶解、地面交联聚合形成三维主体网状黏土凝胶。然后经过烘干、粉碎、分筛等加工程序, 制成凝胶颗粒。该颗粒遇油体积不变, 遇水则膨胀, 膨胀倍数 30 ~ 200 倍, 膨胀速度 10 ~ 180min, 可自地面控制, 适用温度 120°C , 地层矿化度不受限制, 在外力作用下, 颗粒呈变形虫进入油层深部, 对高渗层段, 大孔道进行封堵, 迫使注入水液流转向, 提高注水波及效率, 提高采

收率, 经对大庆、中原、大港油田试验取得投入产出比 1:4.8 的良好效果。由于其黏弹性和变形特性的存在, 除调剖剂外, 还具有一定的驱替作用, 可以达到调剖同时调驱的效果。

(2) 交联聚合物弱凝胶调剖技术

用高分子量聚丙烯酰胺做为交联主剂, 浓度 800 ~ 1500mg/L, 交联剂应用酚醛复合体、树脂预聚体、乙酸铬、乳酸铬、柠檬酸铝等。凝胶强度 0.1 ~ 2Pa。弱凝胶一般通过控制添加剂使其在近井地带成胶, 从而便于注入和推进。可对高渗透层实施整体封堵, 通过长期注水可进入油层深部发挥驱替作用。目前已在国内外较广泛应用。但弱凝胶不适用于地层温度 90℃ 以上的低渗地层应用。由于凝胶强度低, 不能耐强的剪切和温度。

(3) 胶态分散凝胶(CDG)调剖技术

1994 年美国 TIORCO 公司用聚合物和交联剂(多价金属离子, 如柠檬酸铝、乙酸铬等)制成非网状结构的分子内交联凝胶体系, 呈分散的凝胶线团。由于其聚合物浓度低, 最低可达 100mg/L, 因而宜于进入油层深部进行深调处理。在美国曾对 29 个油田进行试验, 其中 22 个获得好效果。我国曾在大庆、河南等油田进行试验, 也取得了一定的好效果。但由于各种认识问题, 未能大面积推广应用, 最近大港油田正在着手进行 CDG 的深部调驱试验的应用。

(4) 注氮氧泡沫控水调剖技术

大庆油田研制出三种氮气泡沫, 可用于矿化度低于 7000mg/L, 地层温度小于 55℃ 的油藏。由于泡沫可优先封堵大孔道, 其黏度大于水, 故而增大了流度比, 扩大注入水的波及体积, 发泡剂可降低油水界面张力, 提高驱油效率。经室内非均质长岩心驱油实验证明, 当注水水驱含水 98% 后, 注 0.3PV 泡沫段塞再驱油至含水 98%, 可提高采收率 29.66%。经现场试验结果证明取得了改善吸水状况和增加原油产量的好效果。

(5) 强凝胶堵高渗透条带, 弱凝胶驱油的深部调驱技术

在大港油田港西四区单砂体治理中取得明显效果。注入井西 12-13 和西 14-14-2 分别注入强凝胶 7000m³ 和 7100m³, 弱凝胶 3100 m³ 和 2000 m³, 其注入压力分别由 3.8MPa 上升为 8MPa 和 7MPa 上升为 9.5MPa, 受益井西 H1 井日产油由 12t/d 上升为 19t/d, 经调整冲程冲次后日产油由 19t/d 上升为 32t/d, 取得明显增油效果。

注聚井组西 14-7-3 经注入强凝胶 8000 m³, 弱凝胶 4000 m³ 后井组日产油量取得明显上升。

除以上所述之外还有复合离子调剖, 无机凝胶涂层深部调剖, 组合调剖(驱)、微生物深部调剖和黏土类堵剂调剖等各项技术, 待以后研究中继续论述。

(6) 柔性转向深部液流转向技术

中石油勘探开发研究罗健辉等研发的柔性转向技术。首先由单体(A)和(B)共聚生成柔性转向剂 SR-3。经“大孔道”可视流动实验证明柔性转向剂有很好的变形运移堵塞和转向能力, 可以达到深部液液转向的目的。当颗粒粒径小于孔喉尺寸时, 通过控制注入压力, 可以实现堵塞孔喉的目的。当颗粒粒径大于孔喉尺寸时在高压注入下可以运移通过孔喉, 不会在井口附近形成堵塞。经在吉林油田断块中南部 G2-1 组井 9 口采油井试验, 原日产液 164.7t, 日产油 9.7t, 含水 94.1%。2005 年 11 月 25 ~ 26 日注柔性剂 400m³, 分析认为水驱液流方向从东北转向西南发生明显变化, 生产数据对比 2004.11 ~ 2005.10 产液 49682m³, 产油 3331.9t } 少产水 819.7m³, 多产油 528.3t, 初步取 2005.11 ~ 2006.10 产液 49390m³, 产油 3860.2t }

得明显深部液流转向的效果。

(7) 井下油水分离注入技术

在井底将油和水分离，并把水注入另一个地层，将油气采出地面，节约建设、水处理、举升等各项费用，注入水提高采收率。该技术 1990 年美国能源部赞助进行可行性研究，目前该技术在加拿大、美国、南美、德国、法国和中国使用。

该技术由分离系统：包括重力分离，水力旋流分离，膜分离三套系统和泵送注入系统：可用有杆泵、电潜泵等。

国内在河南新庄油田 XQ25、B167 两断块，采用 Y441 封隔器锚定丢手防砂采水管柱和电泵平衡注水管柱，全压紧倒置式电泵机组结构，井口密封耐压 25MPa，成功地配套了 $\phi 139\text{mm}$ 和 178mm 套管井采上注下和采下注上的工艺技术。

主要技术指标：

适应套管内径 139mm 和 159mm，井深 $\leq 2000\text{m}$

工作压差 25MPa，耐温 120℃ 以下

额定排量 40 ~ 80m³/d，30m³/d 电泵，排量 9 ~ 40m³/d 可调

效果观察：

XK - 8 井组 2006 年投入试验，井口注入压力 8.6 ~ 9.2MPa，日注 50m³，共注入 6800m³，对应油井增油 720t。XK - 10 井组 2007 年 6 月投入试验，与 XK - 8 井组形成 B107 块平衡注水，改变了水驱方面，使高含水下降，3 口停产井开井，区块日产油由 4.7t/d 上升到 13.4 t/d，区块含水下降 17.4%，2007 年 7 月 20 共增油 850t。

4 今后工作的建议

4.1 评价优选

优化深部调剖技术，提高技术和经济效益，开展数模和物模研究，优选最优化调剖参数，当前可根据实用注驱和效果，建议从下面几个方面加以评价和优选(表 5)。

表 5 评价优选表

序号	1	2	3	4
处理类型	浅调剖	深调剖	调驱	深部液流转向
处理规模	近井地带处理常规油藏处理半径 < 10m 裂缝大孔道处理量 < 1000m ³ 或 < 0.1PV	化学剂进入油藏较深部位，常规油藏处理半径 > 20m，对裂缝性油藏或大孔道注入化学剂总量可达 1000 ~ 3000m ³ 以上或 > 0.1PV	注入化学剂总量 > 3000m ³ 常规油藏处理半径 > 20m 或 0.1 ~ 0.2PV	常规油藏处理半径 20 ~ 30m 裂缝性油藏或大孔道注入化学剂总量 > 2000m ³ 或 > 0.2PV
处理目的	近井地带封堵高吸水层段，大孔道、改善吸入剖面	在油藏深部封堵高渗透层段或大孔道，改善吸水剖面，减少绕流	在深部调剖的同时，化学剂发挥驱油作用驱替剩余油	深部封堵高渗层段或大孔道，迫使注入液流改变方向，提高波及效率
效果评价	1. 注水井吸水剖面改善 2. 受效油井含水下降，产油量升高 3. 区块整体处理后区块含水下降产油上升	1. 吸水剖面改善 2. 油井增产 3. 有效期长 4. 区块整体受益	1. 吸水剖面改善 2. 驱油效率改善 3. 采收率提高	1. 吸水剖面改善 2. 油井增产 3. 波及效率提高

对油井堵水经初步研究,深部堵水可以提高增油效果增加采出程度,以0.3~0.4倍井距作为封堵半径较好,可做初步参考并进一步研究深化。

4.2 加强研究应用

进一步研究和应用调剖新技术,提高调剖效果,改善水驱采收率,主要提出下列几个方面:

① 加强高含水油藏水流大通道形成机理、渗流特征的研究,为深部调剖(驱),液流转向打下基础,建议综合采用油藏分析法,沉积相法,渗流力学分析法,化学示踪法和生产剖面测试法等多种方法加以研究,并用数模模件加以综合分析和权重评价,做出判断。

② 大规模应用和发展深部调驱和深部液流转向技术:

当前应进一步发展应用交联聚合物弱凝胶进行深部调驱,采用一次性大剂量注入或多段塞大剂量注入油藏深部,先封堵大孔道,然后再继续注水,在压力推动下,弱凝胶变形向前移动进行深部调驱。

为实现深部液流转向技术,必须进一步研制高强度的深部调剖剂,能够在油藏深部较强地封堵大孔道,使后续注入水被迫改变液流方向,达到提高波及效率的目的。目前中油勘探开发研究院和大庆、吉林等油田正开展研究,建议加大其力度,扩大现场试验规模,取得系统配套的好效果,加以推广。

③ 系统完善和配套调剖堵水,选井、选层、施工,监测和效果评价技术:

把目前已应用的 PI 、 FD 、 Re 选井选层技术完善并形成数模软件,同时建立利用生产动态分析、模拟计算当前油藏渗透率场的方法完善配套。根据调剖前后压降曲线分析,吸水剖面变化和产量递减曲线分析,水驱规律曲线分析,建立完整的调剖(驱)的效果预测和评价方法,并建立数模软件。

当前建议进一步推广应用中油勘探院编制的三维三相组分调剖堵水数模软件和正在编制的液流转向软件,以改善设计和预测效果。对各油田目前应用的有关堵水调剖的数模软件进行交流、优化、检测配套,形成股份公司油田调剖堵水数值模拟软件平台。

④ 深井、高温、多层系油藏的调剖剂研制和配套技术尚需进一步研究攻关,如大港南部油田储层埋深大、井段长、层间启动压力差异大、注水压力高、尚无有效的调剖治理对策,新疆塔里木的轮南、东河油田的调剖堵水,虽经多次攻关试验也取得一定的进展,但总的来说,由于井深井温高,尚无有效的治理方法,有待进一步研究攻关和现场试验。

⑤ 研制配套调剖的专用设备,包括注入监控、化学剂配置等专用设备,其中包括陆上可移动式 and 海上可移动式,大幅度提高油田区块连片处理的施工能力,并对施工参数和调剖效果进行及时有效的监测和调控。

⑥ 研究发展水平井堵水技术,包括水平井选择性堵水技术,旋流筛管控制水平段均衡流控水技术等。

⑦ 加大注水井调剖的工作力度,进一步扩大经济效益,建议根据各油田的具体情况优选多个调剖区块,整体连片进行深部调剖,进行油田示范区块深部调剖(驱)试验,扩大整体效益。年工作量由目前1000井次左右提高到4000井次。

抗温抗盐聚合物冻胶堵水剂体系的研究

梁文利 赵 林

(长江大学石油工程学院)

摘 要 油井大量出水是油田普遍存在的问题。我国现在几乎都是水驱开发油田,油井见水快,各油田综合含水已经大于80%,严重危害油田综合效益的提高。因此进行化学调剖堵水,对提高石油采收率显得极为重要。目前国内外的化学调剖堵水剂种类繁多,已有着广泛的应用,但是各堵水剂存在着一定的局限性,比如:抗高温、抗高盐、抗高矿化度、抗剪切性能差,成本高,施工工艺复杂等缺陷。针对这些情况,设计研制了一种抗温抗盐聚合物冻胶堵水剂体系。在室内,合成了抗高温抗盐交联剂,通过将苯酚、间苯二酚、糠醛、尿素、有机硅化合物、柠檬酸铝及甲醛等按照一定比例配成的水溶液,并加入适量催化剂,在一定温度下恒温反应,得到低分子量的复合树脂交联剂。聚合物采用磺化聚丙烯酰胺,可以提高抗温抗盐性。探讨了聚合物,交联剂,促凝剂,催化剂,pH值、含盐量,温度对成胶时间、成胶强度和稳定性的影响。评价了聚合物冻胶堵水剂体系的封堵能力。通过正交实验设计方法,优选出了聚合物冻胶堵水剂体系的配方。研究结果表明,该堵水剂体系在120℃下密闭恒温养护30天,黏度仍然在75927mPa·s以上,没有产生脱水收缩现象;在加有20%NaCl情况下,黏度仍然达到45000mPa·s以上;在1%CaCl₂情况下,黏度仍然达到80800mPa·s;堵水效率达到98%以上,突破压力梯度达4.8MPa/m,水相残余阻力系数达到50左右。能够满足恶劣环境,层内或层间大孔道、微裂缝、底水油藏的堵水要求,具有广阔的应用前景。

主题词 调剖 堵水 深部调剖 成胶时间 成胶强度 封堵能力

我国陆上石油大多数是靠注水开发的。一个油藏往往有多个油层组成,由于各油层渗透性的差异,注入水将沿着高渗透层突进,造成油井过早水淹。油井出水快,各油田综合含水已经大于80%,对经济效益影响很大,某些高产井可能转变为无工业价值的井。对于出水井,如果不及时采取措施,地层中可能出现水圈闭的死油区,注入水绕道而过,从而降低采收率,造成极大的浪费。油井出水还有可能使储层结构破坏,造成油井出砂;油井出水后也会增加液体相对密度,增大井底油压,使自喷井转变为抽油井,油井出水会腐蚀井下设备,严重时可能引发事故。找水,堵水是油田开发中必须解决的问题。因此对油田进行化学调剖堵水,为提高石油采收率起到很重要的作用。目前国内外的化学调剖堵水剂种类繁多,已有着广泛的应用,但是各堵水剂存在着一定的局限性,比如:抗高温、抗高盐、抗高矿化度、抗剪切性能差,成本高,施工工艺复杂等缺陷。针对这些情况,设计研制了一种抗温抗盐聚合物冻胶堵水剂体系。

1 实验仪器及药品

1.1 实验仪器设备

美国 RHEOTEST-2 型旋转黏度计、超级恒温器(YH501 型)等成套设备, TN-100 托盘

扭力天平, 银河电热干燥箱 (CS101 - 1A), 高温老化罐、全自动岩心驱替模拟实验装置一套, HH - S 恒温水浴锅等。

1.2 实验药品

磺化聚丙烯酰胺 SPAM(相对分子质量 1200 万), 促凝剂 JCN, 催化剂 JCH, 苯酚、间苯二酚、糠醛、尿素、有机硅化合物、柠檬酸铝及甲醛等。

2 抗温抗盐交联剂的开发

在室内, 将苯酚、间苯二酚、糠醛、尿素、有机硅化合物、柠檬酸铝以及甲醛等按照一定比例配成 45% ~ 60% 的水溶液, 搅拌均匀, 并加入适量催化剂, 在恒温水浴锅中, 一定的温度下恒温反应 4h, 得到低分子量的复合树脂交联剂 JLC。

3 抗温抗盐聚合物冻胶堵水剂体系配方的优选

抗温抗盐聚合物冻胶堵水剂体系由: 聚合物磺化聚丙烯酰胺 SPAM 、交联剂 JLC、促凝剂 JCN、催化剂 JCH 四种化学剂所组成, 用 NaOH 调节 pH 值。为了优选配方, 首先考察每种化学剂对体系性能的影响, 然后采用正交实验设计方法对体系配方进行最后优化。实验过程是: 将配制好的聚合物冻胶堵水剂装入高温老化罐中, 然后放在 120℃ 恒温箱中进行恒温养护, 定时观察交联成胶情况, 并测定成胶强度(成胶后的黏度)。

3.1 聚合物对体系性能的影响

聚合物磺化聚丙烯酰胺可以提高基液的黏度, 并且由于其磺化性, 可以提高抗温性、水溶性和抗盐性。由于特殊的分子结构, 可以提供交联的反应活性基团。

基本配方: 清水 + 磺化聚丙烯酰胺 SPAM + 0.6% 交联剂 JLC + 0.03% 促凝剂 JCN + 0.04% 催化剂 JCH 从表 1 可以看出: 随着聚合物 SPAM 加量的增加, 成胶强度逐渐增加, 稳定性逐渐增强, 成胶时间减少。在加量超过 0.3% 时, 成胶强度增长不大, 趋于稳定。加量初步确定在 0.2% ~ 0.4% 范围内。

表 1 聚合物加量对冻胶体系性能的影响

序号	SPAM/%	成胶强度/mPa · s	成胶稳定性	成胶时间/h
1	0.1	14620	差	46
2	0.2	38105	一般	40
3	0.3	54487	较好	24
4	0.4	57890	较好	23
5	0.5	59652	较好	20

3.2 交联剂对体系性能的影响

交联剂可以使聚合物高分子溶液发生交联, 基团发生缩合反应, 形成非常牢固的键, 从而形成一种连续的空间网状结构, 将液体包在其中, 提高成胶强度, 使整个体系失去流动性。

基本配方: 清水 + 0.3% 磺化聚丙烯酰胺 SPAM + 交联剂 JLC + 0.03% 促凝剂 JCN + 0.04% 催化剂 JCH 从表 2 可以看出: 随着交联剂 JLC 的增加, 成胶强度逐渐增加, 稳定性逐渐增强, 成胶时间减少。加量一般在 0.6% ~ 1.0% 范围内。