

文章编号: 1000-0747(2007)01-0083-06

# 国内外堵水调剖技术最新进展及发展趋势

熊春明, 唐孝芬

(中国石油勘探开发研究院)

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司“十五”重大科技攻关项目“深部液流转向改善水驱技术研究”(050116-9)

**摘要:** 油水井堵水调剖是严重非均质油藏控水稳油、提高水驱效率的重要手段。我国油田多数进入高含水或特高含水开采期后, 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。通过系统分析国内外调剖堵水技术现状及存在问题, 根据我国高含水油田开发现状及需求, 提出了深部液流转向改善水驱开发效果的技术发展趋势, 即立足高含水油藏开发后期实际需要, 在重新认识油藏现状基础上, 以廉价高效的深部转向材料开发为核心, 开展深部液流转向改善水驱配套技术及机理理论研究, 实现对高含水油藏深部水流优势通道的干预, 使水流转向, 达到改善高含水油藏水驱效率的目的。表3参22

**关键词:** 堵水调剖; 深部调剖; 新技术; 现状; 进展; 发展趋势

中图分类号: TE358.3

文献标识码: A

## Technologies of water shut-off and profile control: An overview

XIONG Chun-ming, TANG Xiao-fen

(Research Institute of Petroleum Exploration &amp; Development, PetroChina, Beijing 10008, China)

**Abstract:** Water shut-off and profile control is an important technology for improving water flooding efficiency of seriously heterogeneous reservoir, especially for the mature reservoir with higher water-cut. New methods have been put forward and applied during the past years to meet the production demand, which made significant contribution to the mature reservoir development. This paper reviews the traditional techniques, indicates the problems need to be solved and proposes the related tendency. For the mature reservoir chartered by higher water-cut and serious heterogeneity, the research of desirable water shut-off and profile control technologies should put emphasis on the development of depth water divert materials with lower cost and higher quality, simultaneously take efforts to investigate the corresponding mechanisms and assistant on the base of reservoir re-understanding. With such efforts the overall disadvantageous water distribution in depth reservoir can be disrupted and the improvement of water-flooding efficiency can be achieved.

**Key words:** water shut-off and profile control; in-depth profile modification; new technology; overview; progress; tendency

## 0 引言

油井出水是油田(特别是注水开发油田)开发过程中普遍存在的问题<sup>[1]</sup>。由于地层原生及后生的非均质性、流体流量差异以及其他原因(如作业失败、生产措施错误等),在地层中形成水流优势通道,导致水锥、水窜、水指进,使一些油井过早见水或水淹,水驱低效或无效循环。堵水调剖技术一直是油田改善注水开发效果、实现油藏稳产的有效手段<sup>[2-4]</sup>。我国堵水调剖技术已有几十年的研究与应用历史,在油田不同的开发阶段发挥着重要作用<sup>[5]</sup>。但油田进入高含水或特高含水开采期后,油田水驱问题越来越复杂,堵水调剖等控水稳油技术难度及要求越来越高,推动着该技术领域不断创新和发展,尤其在深部调剖(调驱)液流转向技术研究与应用方面取得了较多新的进展,在改善高含水

油田注水开发效果方面获得了显著效果。

## 1 技术现状及最新进展

### 1.1 发展历程

我国堵水调剖技术的研究与应用可追溯到20世纪50年代末<sup>[6]</sup>,60至70年代主要以油井堵水为主。80年代初随着聚合物及其交联凝胶的出现,注水井调剖技术迅速发展,不论是堵水还是调剖,均以高强度堵剂为主,作用机理多为物理屏障式堵塞。90年代,油田进入高含水期,调剖堵水技术也进入发展的鼎盛期,由单井处理发展到以调剖堵水措施为主的区块综合治理。进入21世纪后,油田普遍高含水,油藏原生非均质及长期水驱使非均质性进一步加剧,油层中逐渐形成高渗通道或大孔道,使地层压力场、流线场形成定势,油水井间形成水流优势通道,造成水驱“短路”,严

重影响油藏水驱开发效果。加之对高含水油藏现状认识的局限性,常规调剖堵水技术无法满足油藏开发需要,因而,作用及影响效果更大的深部调剖(调驱)技术获得快速发展,改善水驱的理论认识及技术发展进入了一个新阶段。分析我国堵水调剖技术的研究内容和应用规模,其发展大体经历了4个阶段。①50至70年代:油井堵水为主,堵剂材料主要是水泥、树脂、活性稠油、水玻璃/氯化钙等。②70至80年代:随着聚合物及其交联凝胶的出现,堵水调剖剂研制得以迅速发展,以强凝胶堵剂为主,作用机理多为物理屏障式堵塞,以调整近井地层吸水剖面及产液剖面为目的。③90年代:油田进入高含水期,调剖技术进入鼎盛期,因处理目的不同,油田应用的堵剂体系有近100种,其中深部调剖(调驱)及相关技术得到快速发展,以区块综合治理为目标。④2000年以后:基于油藏工程的深部调剖改善水驱配套技术的提出,使深部调剖技术上上了一个新台阶,将油藏工程技术和分析方法应用到改变水驱的深部液流转向技术中。处理目标是整个油藏,作业规模大、时间长。

## 1.2 技术现状与最新进展

堵水调剖及相关配套技术在高含水油田控水稳产(增产)措施中占有重要地位,但随着高含水油藏水驱问题的日益复杂,对该领域技术要求越来越高,推动着堵水调剖及相关技术的不断创新和发展,尤其近年来在深部调剖(调驱)液流转向剂研究与应用方面取得了许多新进展,形成包括弱凝胶、胶态分散凝胶(CDG)、体膨颗粒、柔性颗粒等多套深部调剖(调驱)技术<sup>[7-12]</sup>,为我国高含水油田改善水驱开发效果、提高采收率发挥着重要作用。仅中国石油天然气股份有限公司(中国石油)所属油田近年来的堵水调剖作业每年就达到了2500~3000井次的规模,增产原油超过50万t/a(见表1)。目前,我国油田堵水调剖的综合技术水平处于国际领先地位。

表1 中国石油2000至2004年堵水调剖措施量及效果

年份	年措施量(井次)	当年增油(万t)	当年降水(万m <sup>3</sup> )
2000	2579	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

### 1.2.1 交联聚合物弱凝胶深部调驱技术

弱凝胶也被称为“流动凝胶”(flowing gel)。这里所谓的“流动”是指弱凝胶在试管内呈现流动状态,弱凝胶主要由聚合物和交联剂两部分组成,以整体形式存在,交联状态为分子间交联。一般选择高分子量聚

丙烯酰胺作为交联主剂,浓度一般为800~3000mg/L。交联剂主要有树脂、二醛和多价金属离子类等。美国使用最多的是乙酸铬、柠檬酸铝(EPT公司)和乙二醛(Pfizer公司)<sup>[13]</sup>。我国应用较多的为酚醛复合体、树脂预聚体、乙酸铬、乳酸铬、柠檬酸铝等。形成的凝胶强度通常在0.1~2.5Pa,现场应用则根据地层及生产状况选择凝胶强度。弱凝胶在地层中的封堵是动态的,凝胶在一定条件下可运移,使其具有深部调驱双重作用。

交联聚合物弱凝胶是目前国内外应用最广泛的深部调剖改善水驱技术,但影响其性能的因素多,针对性强,且多不抗盐,一般不适宜矿化度100 000mg/L以上、温度90℃以上的低渗地层的深部调剖作业。应用时应重点考虑交联聚合物体系与地层流体、配液用水、油藏温度和油藏地层特征的配伍性。

最早应用弱凝胶深部调驱技术的是胜利油田,1992年采用HPAM/乙酸铬体系在孤东油田西区进行了3个井组处理,共注入调剖剂15.5万m<sup>3</sup>,采用3000mg/L HPAM和500mg/L乙酸铬体系,调剖后注水井的注水压力平均上升了3MPa左右,累计增油9800t<sup>[14]</sup>。辽河茨榆坨龙11区块是弱凝胶整体深部调剖效果最好的区块,油藏埋深1550~1700m,温度50~60℃,矿化度2200mg/L,平均孔隙度20%,渗透率为1.13D。1999年采用1000~1500mg/L的HPAM、400~500mg/L的酚醛复合交联体系进行了6个井组的整体调剖作业,共注入调剖剂12 000m<sup>3</sup>,处理后注水压力上升0.6~2MPa左右,累计增油30 000t,水驱开发效果显著改善(见表2),有效期长达3年多<sup>[15]</sup>。

表2 龙-11区块调剖前后综合递减和自然递减变化情况

年份	综合递减率(%)	自然递减率(%)
1997	10.56	28.96
1998	6.00	29.51
1999	12.98	30.45
2000	-38.05	4.78

### 1.2.2 胶态分散凝胶调驱技术

90年代初由美国TIORCO公司提出的胶态分散凝胶(亦称CDG)为聚合物和交联剂形成的非网络结构的分子内交联凝胶体系,交联反应主要发生在分子内的各交联活性点之间,以分子内交联为主,几个至十几个分子发生交联,形成分散的凝胶线团。CDG体系中聚合物浓度可低至100mg/L,交联剂一般是多价金属离子,如柠檬酸铝、乙酸铬等。

国外只有TIORCO公司主张CDG调驱体系,该公司曾在美国落矶山地区对29个油藏采用CDG进行

了深部处理, 其中 22 个项目获得了增产。尽管 TIORCO 声称是 CDG 处理, 但从各段塞 HPAM 浓度看, TIORCO 公司做的这些试验仍然是弱凝胶处理<sup>19</sup> (见表 3)。

表 3 俄亥俄州 Campbell 城 NRRU 油田的 CDG 处理参数

段塞	HPAM 浓度 (mg/L)	柠檬酸铝浓度 (mg/L)	处理量 (m <sup>3</sup> )
第一段塞	775	1 000	13 747
第二段塞	1 400	1 000	7 528
第三段塞	1 200	1 000	3 240
第四段塞	300	265	62 025

国内对 CDG 也曾有过广泛重视, 尤其“九五”期间, 许多从事聚合物驱的研究人员开始转向该技术领域, 人们希望用极低浓度的聚合物和交联剂交联形成较大分子的凝胶颗粒, 在高渗透层形成比较大的流动阻力和残余阻力, 改善水驱开发效果。中国科学院化学研究所、中国石油勘探开发研究院采收率所、大庆油田等对该技术进行了大量的研究, 并在大庆、河南等油田进行了多项先导性现场试验, 但使用的聚合物浓度大多在 800 ~ 1500mg/L, 显然这不是真正意义上的 CDG 驱。此外, 由于指导思想上的分歧, 这些试验大多没有取得理想的效果。加之 CDG 耐温耐盐性能差, 成胶条件苛刻, 封堵程度低, 目前国内外对该技术的研究与应用都几乎处于停止状态。

1.2.3 体膨颗粒深部调剖(调驱)技术

体膨颗粒调剖是近几年发展起来的一种新型深部调剖技术, 主要是针对非均质性强、高含水、大孔道发育的油田深部调剖、改善水驱开发效果而研发的创新技术<sup>[17]</sup>。体膨颗粒遇油体积不变而吸水体膨变软(但不溶解), 在外力作用下可发生变形运移到地层深部, 在高渗层或大孔道中产生流动阻力, 使后续注入水流动转向, 有效改变地层深部长期水驱形成定势的压力场和流线场, 达到实现深部调剖、提高波及体积、改善水驱开发效果的目的。该技术具有以下特点: ①体膨颗粒由地面合成、烘干、粉碎、分筛制备形成, 避免了地下交联体系不成胶、抗温、抗盐性能差等弊端, 具有广泛的适应性, 耐温(120℃)、耐盐(不受限制)性能好; ②体膨颗粒粒径变化大(微米—厘米级)、膨胀倍数高(30 ~ 200 倍)、膨胀时间快(10 ~ 180min); ③颗粒吸水体膨变软, 外力作用下在多孔介质中运移时表现出“变形虫”特性, 颗粒的形变运移可扩大调剖作用范围, 达到深部调剖液流转向目的; ④体膨颗粒深部调剖施工工艺简单、灵活、无风险; ⑤体膨颗粒可单独应用, 也可与聚合物弱凝胶体系复合应用于注水开发油藏深部调剖改善水驱作业, 又可用于聚合物驱前及聚合物驱过程

中的深部调剖; ⑥体膨颗粒适宜存在大孔道、高渗带的高含水油藏深部调剖(调驱)改善水驱效果。

体膨颗粒深部调剖技术, 其优良的性能、广泛的油藏适应性及全新的“变形虫”作用机理, 使其在高含水、大孔道油田深部调剖中的作用被广泛认可, 成为我国高含水、高采出程度油田进行深部挖潜、实现稳产的重要手段。据对大庆、大港、中原等油田的不完全统计, 在 355 个井组现场试验中, 累计增油 46.73 万 t, 经济效益达 6.57 亿元, 平均投入产出比 1 : 4.8, 取得了良好的社会 and 经济效益。

1.2.4 含油污泥深部调剖技术

含油污泥是原油脱水处理过程中伴生的工业垃圾, 主要成分是水、泥质、胶质沥青和蜡质。作为调剖剂, 与其他化学调剖剂相比, 含油污泥具有良好的抗盐、抗高温、抗剪切性能, 便于大剂量调剖挤注, 是一种价格低、调剖效果好的堵剂。同时也解决了含油污泥外排问题, 减少了环境污染和含油污泥固化费用。该技术具有较好的应用前景。

含油污泥调剖的基本原理是: 在含油污泥中加入适量添加剂, 调配成黏稠的微米级的油/水型乳化悬浮液, 当乳化悬浮液在地层达到一定的深度后, 受地层水冲释的作用, 乳化悬浮体系分解, 其中的泥质吸附胶质沥青和蜡质, 并通过它们的黏联聚集形成较大粒径的“团粒结构”沉降在大孔道中, 使大孔道途径变小, 增加了注入水的渗流阻力, 迫使注入水改变渗流方向, 从而达到提高注入水波及体积、改善注水开发效果的目的。该技术适用于纵向上渗透率差异大、有高吸水层段、启动压力低的注水井。在江汉、胜利老河口、辽河、河南、长庆等油田现场应用均取得了良好的效果, 但受原料产地、产量限制, 不易在其他油田推广。

1.2.5 微生物深部调剖技术

微生物用于注水井调剖最早始于美国, 把能够产生生物聚合物的细菌注入地层, 在地层中游离的细菌被吸附在岩石孔道表面后, 开始形成附着的菌群; 随着营养液的输入, 细菌细胞在高渗透条带大量繁殖, 繁殖的菌体细胞及细菌产生的生物聚合物等黏附在孔隙岩石表面, 形成较大体积的菌团或菌膜; 后续有机和无机营养物的充足供给, 使细菌及其代谢产出的生物聚合物急剧扩张, 孔隙越大细菌和营养物积聚滞留量越多, 形成的生物团块越大。细菌的大量增殖及其代谢产出的生物聚合物在大孔道滞留部位的迅速聚集, 对高渗透条带起到较好的选择性封堵、降低吸水量的作用, 使水流转向增加中、低渗透部位吸水量, 从而扩大波及区域、提高原油采收率<sup>[18]</sup>。 <http://www.cnki.net>

天津工业微生物研究所和南开大学成功地筛选出了适应油田地层条件并具有良好调剖作用的多株微生物。其中南开大学在大港油田先后进行了5口井的试验,取得了很好的效果。并在胜利油田、辽河油田分别进行了室内评价及井下试验,均取得预期效果<sup>[19]</sup>。最近大庆油田勘探研究院应用现代分子生物学方法研究油层本源微生物技术取得重大进展,在第三采油厂开展微生物调剖矿场试验获得成功,微生物处理后改善了吸水剖面,取得了压力上升、含水下降、增油多于1300t的效果,投入产出比达1:9。

#### 1.2.6 无机凝胶涂层深部调剖技术

塔里木油田井深(4500~6000m)、地层温度高(120~140℃)、地层水矿化度高(150 000~210 000 mg/L),对于类似油藏条件下的调剖堵水作业,交联聚合物类堵剂由于其盐敏、热敏及多价离子的絮凝等而使其应用范围受到限制,水泥及无机颗粒或沉淀类堵剂具有较好的耐温耐盐性能,但因其多孔介质中的进入深度有限而不适宜深部处理。为此,最近中国石油勘探开发研究院采油工程研究所提出了一种无机凝胶涂层调剖剂(WJSTP),该调剖剂与油藏高矿化度地层水反应形成与地层水密度相当的无机凝胶,通过吸附涂层,在岩石骨架表面逐渐结垢形成无机凝胶涂层,使地层流动通道逐渐变窄形成流动阻力,从而使地层流体转向,扩大波及体积<sup>[20]</sup>。

2006年3月,利用该技术在塔里木轮南油田LN203井进行的现场试验中获得了成功,共注5%的调剖液3800m<sup>3</sup>,处理后注水压力升高、吸水剖面明显改善,并初步获得了增油降水效果。

#### 1.2.7 精细化学调剖技术

精细化学调剖技术是以精细地质研究成果为依据,根据注水井内纵向上高吸水层的具体分布特点进行有针对性的化学调剖,从而实现吸水剖面的精细调整,达到挖掘各类油层剩余油目的的化学调剖技术方法。它作为机械细分注水工艺和机械堵水工艺的补充手段,在深化稳油控水技术、提高储量动用程度、改善油田开发效果、提高经济效益等方面可起到积极作用,为高含水后期挖掘剩余油潜力提供了新的技术手段。

根据大庆油田的相关试验,通过精细化学调剖,提高了机械分层注水井中纵向上高吸水层附近的薄、差层的吸水动用程度;对层内各部位吸水状况存在较大差异的地层,调剖后,层内吸水剖面得到了明显调整;油层储量动用程度得到较大提高。

#### 1.2.8 组合调剖(调驱)技术

随着油田水驱问题日趋复杂化,单一技术的应用

越来越受到限制或效果不理想,各种技术组合越来越广泛地应用于深部调驱改善水驱或聚驱开发效果上。通过技术组合可以克服单一技术的不足、发挥组合技术的协同效应,如对存在大孔道或裂缝的水驱油藏采取弱凝胶与体膨凝胶颗粒的技术组合,既可实现对高渗通道的封堵,也可实现深部液流转向。大港油田应用该技术组合进行了100多井组的现场试验,取得了较好的效果;存在高渗、大孔道的聚合物驱厚油藏,聚合物驱过程中聚窜严重,采取聚合物+体膨颗粒调驱技术组合,可有效改善聚窜问题。据大庆油田部分聚驱井采出水分析,注入聚合物浓度为2000~3000mg/L的井组产出污水中聚合物浓度高达1000mg/L以上,大量聚合物随着高渗透层带或大孔道窜流,造成大量聚合物浪费和聚驱效率低下。在聚合物驱体系中加入适量的体膨颗粒,有效地改善了上述情况,体膨颗粒在大孔道中形成堵塞,使流动阻力增加,通道渗流能力降低,限制聚合物溶液流动,从而转向进入相对低渗透层带,既减少了聚合物溶液窜流,又提高了聚驱效果。此外,还有其他技术的组合,如含油污泥与弱凝胶的组合等。

## 2 研究与应用中面临的挑战及对策

据统计,我国水驱油田可采储量的60%及年产量的80%以上来自含水率大于80%的高含水油藏。高含水油田水驱面临的低效或无效循环,使堵水调剖或深部调剖技术面临众多难题和挑战。

我国堵水调剖及深部调驱改善水驱技术经过几十年的发展完善,在化学剂、施工工艺等技术方面都已比较成熟。但随着油田的开发,油藏特征及环境不断变化,尤其是油藏进入高含水开采期后,长期水驱使油藏开发矛盾更为复杂,现有堵水调剖(深部调剖)技术,特别是能有效应用的技术总是落后于油田开发的需要;一些特殊条件油田,堵水调剖及深部调驱技术还没有有效解决,需要针对性地研发相关新技术以适应特殊油田改善水驱(聚驱)的需要。

#### 2.1 高温深井油藏的堵水调剖及深部调剖技术

随着塔里木、轮南等西部油田的开发及部分油井相继进入高含水期,高温深井的控水稳油及改善水驱问题已提上日程。而现有成熟应用的调剖堵水技术及相关配套技术大多不适宜温度在120℃以上、矿化度在100 000mg/L以上的高温高盐深井(4500m以上)油藏。尽管近年来针对塔里木油田特点开展了一些相关技术研究,如基于油藏岩石骨架重建或修复的无机凝胶涂层技术,但都处于起步阶段,还有许多根本性问题

没有解决。类似塔里木油田特点的深井高温高盐油藏的堵水调剖、深部液流转向等改善水驱技术,仍然是个世界性的技术难题。因此,研究适用于深井高温高盐油藏的堵水调剖、深部调剖(调驱)技术,对该类水驱油田改善水驱效果、提高注入水利用率及水驱波及体积,实现油田的控水稳油、提高采收率具有重要意义。

## 2.2 厚油层的深部液流转向提高水驱效率技术

大庆喇萨杏油田目前均已进入高含水、特高含水开采期,但大庆油区无论是剩余储量规模、还是当前产量构成都集中在喇萨杏油田。因此,改善喇萨杏厚油层的水驱开发效果仍然是“十一五”期间大庆油田的工作重点之一。喇萨杏厚油层原始非均质性严重,加之长期水流冲刷逐渐形成的大孔道,导致注入水沿大孔道或高渗条带低效或无效循环,严重影响水驱开发效果和油田开发整体效益。据近年17口检查井取心资料分析,目前喇萨杏厚油层还有29.2%的厚度未水洗,12.3%的厚度弱水洗,强水洗厚度只占14.5%,这给进一步改善水驱开发效果留下了空间,但常规的堵水调剖或大剂量深部调剖都不能解决厚油层的深部绕流问题。因此,针对大庆喇萨杏厚油层水驱开发面临的水驱低效或无效循环难题,研发出深部液流转向剂及相关配套技术,将为有效治理喇萨杏厚油层注水低效或无效循环、改善水驱开发效果、提高水驱采收率提供技术保障。

## 2.3 海上油田的堵水调剖、深部调驱技术

利用堵水调剖、深部调剖(调驱)技术改善水驱开发效果,在陆上油田已有广泛的研究和应用,技术成熟、经验丰富,但在此方面针对海上油田的系统研究与应用才刚起步<sup>[21]</sup>。

海上油田的油藏环境和生产条件独特,如平台生产作业空间受限,缺乏淡水,环保要求高,绕丝筛管砾石充填防砂完井,大井距,长井段,一套井网多层合采,在平台寿命期限内(15~20a)为收回投资而采取的强注强采等措施既不利于水驱(海上水驱采收率仅18%~25%),又加剧油藏非均质及水指进程度。鉴于海上油田的上述特点,陆上油田现有成功应用的堵水调剖、深部调剖(调驱)技术及经验不能满足海上油田作业要求,需深入开展适合海上油田特点的改善水驱技术研究,提高海上油田的采收率。

## 2.4 水平井的堵水技术

水平井作为油气田开发的一项先进技术,已应用于大多数类型的油气藏。通过“八五”对水平井钻井技术的攻关,我国水平井钻井技术基本趋于成熟,并在油田开采中取得了良好的效果。但随着油田生产时间的

延长,边底水等沿着高渗透层段或裂缝侵入导致水平井出水、甚至关井,已是目前水平井开采中的难题之一<sup>[22]</sup>。

至2005年10月,中国石油塔里木油田分公司190口水平井中,因高含水而关井17口,含水率大于90%的达20口;轮南、塔中等油田水平井平均综合含水率超过70%;冀东油田的113口水平井平均含水率也达80%以上,迫切需要与之相适应的堵水技术。但目前国内外尚没有具有工业应用层次的水平井堵水技术。此外,水平井的出水方式和机理复杂、完井方式特殊,使水平井的堵水技术较直井面临更多、更复杂的问题和挑战。因此,开展水平井出水方式、出水机理以及对应的堵水技术及配套工艺技术研究,对解决我国水平井生产面临的现实问题具有重要的现实意义。

## 2.5 特高渗大孔道油田深部调剖改善水驱技术

大港、辽河、吉林等一些东部老油田,由于长期水驱使油藏非均质矛盾进一步恶化,加之天然或人工裂缝等,油藏内部形成特高渗水流优势通道,注入水沿水流优势通道低效或无效循环,导致大量影响生产的问题,如油层水淹、大量的污水处理、设备及管线腐蚀等,使油田生产受到严重影响,甚至关井。尽管像交联聚合物弱凝胶、体膨颗粒等深部调剖剂在上述油田应用中见到一些效果,但仍需进一步完善及开发新的更有效的技术,如高强度长膨胀时间吸水剂油藏深部液流转向技术,地层内生成高强度泡沫的深部液流转向技术,触变性高强度深部液流转向技术等。

## 3 技术发展趋势

目前,我国水驱油田普遍进入高含水或特高含水开采期,针对单井或几个井组水驱问题开展的近井调剖堵水或大剂量处理技术,已不能满足解决油藏深部水驱问题的需要。为改善高含水油藏的水驱效果、实现油田的高效开发,开展适合不同油田条件的深部液流转向技术及相关配套技术研究,是高含水或特高含水油田改善水驱技术的发展趋势。

堵水调剖、深部液流转向等技术均是建立在油藏工程研究基础上的油藏问题识别、堵剂材料、施工工艺、数值模拟、优化设计等技术的综合应用。尤其高含水油田,为扰乱油藏深部水流优势通道,改善形成定势的流线场,提高油藏水驱开发效果,迫切需要针对不同油藏条件开展相应的深部液流转向技术及相关配套技术的研发,主要包括:①廉价、长效、适应不同油藏条件的新型深部转向剂材料研发。实现高含水油藏深部液流转向需要转向剂材料用量大,因此,转向剂材料的廉

价长效是关键。②深部液流转向改善水驱作用机理的研究。建立与油藏开发后期条件相适应的物理模型,依托先进的测试评价手段,研究油藏真实条件下转向剂材料与油藏的匹配关系、转向作用机理、转向剂深部放置运移过程中的行为特征、微观力学性能变化等,从而为满足不同油藏条件的新型转向剂材料的开发、改进及应用提供指导。③有效实用的油藏问题识别技术方法研究。依靠后期动态开发数据处理,摆脱传统的示踪剂等检测手段,建立宏观的油藏深部水流优势通道流场谱图,使研究重点由剩余油分布转向水流优势通道分布的研究,从而为深部液流转向提供更为明确的基础支持。④简捷、准确的数值模拟及优化设计软件研发。我国油藏陆相沉积以及长期强注强采的开发实际,使高含水油田储集层条件已发生了很大变化,基于传统渗流理论的数值模拟及优化设计手段已经不能满足深部液流转向改善水驱技术的需要。结合长期水驱油藏储集层实际条件,研发与之相适应的数值模拟及优化设计软件,是更有效利用转向剂材料、获得深部液流转向最佳效果的需要。

## 4 结语

堵水调剖、深部调剖等技术经过几十年的发展,已形成了一系列适应不同油藏条件的控水稳油、改善水驱开发效果的有效技术。但随着我国老油田普遍进入高含水(特高含水)开发期,油藏深部的非均质矛盾加剧,水驱效率低下,一些特殊油田(如西部的高温、高盐、深井油藏,海上油藏、厚油层、水平井开采油藏、裂缝大孔道油藏等)的高含水及水驱低效问题日益严重,使控水稳油、改善水驱等技术面临极大的挑战。为适应这些高含水油藏改善水驱要求,需进一步研发和完善与之相适应的堵水调剖、深部液流转向技术,为提高我国高含水油田后期开发效果提供可靠、有效的技术保障。

## 参考文献:

- [1] 韩大匡. 深度开发高含水油田提高采收率问题的探讨[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(5): 47-55.
- [2] 万仁溥, 罗英俊. 采油技术手册(第十分册): 堵水技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991. 61-139.
- [3] Smith J E. Performance of 18 polymers in aluminium citrate colloidal dispersion gels[A]. SPE 28989, 1995.
- [4] 韩学强. 国外高含水油田堵水、调剖、封堵大孔道配套技术及应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994.
- [5] 刘翔鹤. 采油工程技术论文集[A]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
- [6] 李宇乡, 唐孝芬, 刘双成. 我国油田化学堵水调剖剂的开发与应用现状[J]. 油田化学, 1995, 12(1): 88-94.
- [7] Zitha P L J, Vermolen F J. Modification of two phase flow properties by adsorbed polymers and gels[A]. SPE 54737, 1999.
- [8] 王平美, 罗健辉, 白凤鸾, 等. 国内外气井堵水技术研究进展[J]. 钻采工艺, 2001, 24(4): 28-30.
- [9] 纪朝凤, 葛红江. 调剖堵水材料研究现状及发展趋势[J]. 石油钻采工艺, 2002, 24(1): 54-57.
- [10] 郭肖, 杜志敏. 非均质性对水平井产能的影响[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(1): 91-93.
- [11] Zatioun A, Chauveteau G. Effect of pore structure and residual oil on polymer bridging adsorption[A]. SPE 39674, 1998.
- [12] 樊中海, 孔柏岭, 余月明, 等. 微凝胶驱技术在下二门油田的应用[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(1): 110-112.
- [13] Seight R S. Use of preformed gels for conformance control in fractured systems[A]. SPE 35351, 1996, 56-57.
- [14] 刘玉章, 吕西辉. 胜利油田用化学法提高原油采收率的探索与实践[J]. 油气采收率技术, 1994, 1(1): 25-28.
- [15] 唐孝芬, 吴奇, 刘戈辉, 等. 区块整体弱凝胶调驱矿场试验及效果[J]. 石油学报, 2003, 24(4): 58-61.
- [16] 刘金河, 叶天序, 郝青, 等. 低浓度 HPAM/AICit 体系的评价及成胶性能影响因素研究[J]. 石油与天然气化工, 2003, 32(3): 375-378.
- [17] 李宇乡, 刘玉章, 白宝君, 等. 体膨型颗粒堵水调剖技术研究[J]. 石油钻采工艺, 1999, 21(3): 65-68.
- [18] 蒋焱, 徐登鑫, 陈健斌, 等. 微生物单井处理技术及其现场应用效果分析[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(2): 104-106.
- [19] 王学立, 陈智宇, 李晓良, 等. 官 69 断块微生物驱油现场试验效果分析[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(2): 107-109.
- [20] 唐孝芬, 刘玉章, 常泽亮, 等. 适宜高温高盐地层的无机涂层调剖剂室内研究[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(6): 92-94.
- [21] 王青, 吴晓东, 刘根新. 水平井开采底水油藏采水控锥方法研究[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(1): 109-111.
- [22] 唐孝芬, 刘玉章, 向问陶, 等. 渤海 SZ36-1 油藏深部调剖剂研究与应用[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(6): 109-112.

第一作者简介: 熊春明(1964-), 男, 湖北云梦人, 中国石油勘探开发研究院博士研究生, 教授级高级工程师, 主要从事油气田开发与采油工程技术研究。地址: 北京市海淀区学院路 20 号, 中国石油勘探开发研究院采油工程研究所, 邮政编码: 100083. E-mail: xiongcm@petrochina.com.cn

收稿日期: 2006-08-28 修回日期: 2006-10-30

(编辑 郭海莉)