

文章编号:0253-9985(2012)01-0111-07

国内外油田提高采收率技术进展与展望

计秉玉

(中国石化 石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:对国内外油田提高采收率技术发展作了概述,着重阐述了改善水驱、稠油热采、化学驱、气驱、微生物采油和物理法采油6个方面。目前,改善水驱、稠油热采、化学驱和气驱4类技术已进入矿场规模化应用,热采和气驱技术应用规模不断扩大,化学驱技术主要应用在中国,而微生物采油和物理法采油技术尚处于探索、试验阶段。综合国外经验和我国具体情况,指出目前提高采收率技术的攻关方向和发展趋势。研究认为,改善水驱技术通过层系细分重组和井网井型立体优化,建立合理、有效的注采系统,探索驱替剖面的均匀控制。稠油热采技术综合应用复杂结构井、蒸汽和各类助剂,改善稠油油藏开发效果。气驱技术应用规模有不断扩大的趋势,随着温室气体减排的要求,CO₂驱油埋存项目不断增加。化学驱技术向高温高盐油藏、大孔道油藏和聚合物驱后油藏发展。

关键词:改善水驱;化学驱;稠油热采;注气;技术进展;提高采收率

中图分类号:TE 357

文献标识码:A

Progress and prospects of enhanced oil recovery technologies at home and abroad

Ji Bingyu

(SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper summarizes the development of enhanced oil recovery (EOR) at home and abroad, focusing on improved waterflooding, heavy oil thermal recovery, chemical flooding, gas injection, microbial enhanced oil recovery and physical oil recovery. Nowadays, the first four technologies have been widely applied in oilfields, while the latter two technologies are still in researching and testing. Based on a thorough analysis of the foreign experiences and specific geologic conditions in China, this paper presents the focuses of future research and development tendency of EOR. For the improved waterflooding, the focuses are establishing a reasonable and effective injection-production system and realizing uniform control of displacement profile by strata subdivision and recombination, stereo optimization of well pattern and type. For the heavy oil thermal recovery, the key is to improve heavy oil reservoir development efficiency by using wells with complicated structure, steam and various additives. For the gas injection, the scale of its application is widening and CCS projects will increase gradually with greenhouse gas emissions cuts requirement. For the chemical flooding, the trend is toward application in reservoirs with high temperature and high salinity, reservoirs with high permeability channels and post polymer flooding reservoirs.

Key words: improved waterflooding, chemical flooding, heavy oil thermal recovery, gas injection, technology progress, enhanced oil recovery

提高采收率技术,即国外通常指的强化(EOR)和改善(IOR)采收率技术^[1],可概括为改善水驱、化学驱、稠油热采、气驱、微生物采油和物

理法采油等六个方面。目前,进入矿场规模化应用的提高采收率技术集中在热采、气驱和化学驱三大类^[2],热采产量在 $20.77 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 以上,约

收稿日期:2011-10-20;修订日期:2012-01-15。

第一作者简介:计秉玉(1963—),男,博士、教授级高级工程师,油气田开发工程。

基金项目:中国石化油田部导向课题(国内外提高采收率技术评价及研究)。

占世界 EOR 总产量的 59.1%;气驱产量为 $9.21 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 约占世界 EOR 总产量的 26.2%;化学驱产量在 $5.18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 以上, 约占世界 EOR 总产量的 14.7%。改善水驱技术在我国已提到了战略高度。微生物采油和物理法采油技术尚处于探索阶段。通过对改善水驱、化学驱、热采和注气等技术的总结和展望, 希望对我国尤其是中石化提高采收率战略决策有所启示和借鉴。

1 改善水驱技术

水驱是应用规模最大, 开采期限最长, 调整工作量最多, 开发成本(除天然能量外)最低的一种开发方式。改善水驱技术按中、高渗透高含水油藏和低渗透油藏两个方面进行概括。

1.1 高含水油藏改善水驱技术

高含水油田储层以中、高渗透为主体, 所占储量规模最大。随着开发程度的越来越高, 剩余油分布越来越复杂、高含水、地面设施老化和套管损坏等问题日益严重, 给进一步提高采收率带来了严峻的技术与经济挑战。开发调整的做法可以概括为如下几个方面。

1) 层系划分越来越细, 井网越来越密

美国、俄罗斯大油田开发经验表明, 油田开发是一个逐渐完善和强化的过程, 重点体现在开发层系划分越来越细, 井网密度越来越大。我国大庆油田通过不断的地质认识和开发现场试验^[3], 在基础井网的基础上, 已经实施了三次井网加密与层系重组。胜利油田形成了河流相储层分油砂体井网完善、三角洲相储层细分韵律层井网完善和多油层层系井网重组及立体开发等技术^[4]。

2) 注采系统调整力度逐渐加大

随着多层砂岩油藏不断的层系细分和井网加密, 注采系统不断完善与强化。一方面, 水油井数比逐渐增加, 井距逐渐减小。核心是增大驱替压力梯度, 提高水驱控制程度。另一方面, 在油田开发后期, 实施强化采液的同时, 应采取各种措施降低无效注水量和产水量, 通过提降结合, 优化注采结构^[5]。

3) 水平井成为厚油层韵律段的挖潜手段

20 世纪 90 年代以来, 国外水平井技术已作为常规技术用于几乎所有类型的油藏, 尤其是适用

于气顶、底水和裂缝性油藏的开发。在我国水驱开发油田, 水平井主要应用于正韵律厚油层顶部和断块油藏的开发^[6]。2003 年以来, 胜利油田相继在孤岛、埕东、孤东等整装油田推广应用, 已实施厚油层水平井整体调整单元 9 个, 平均单井增加可采储量 $2.2 \times 10^4 \text{ t}$, 平均单井初期日产油是直井的 2~5 倍。

4) 周期注水方法得到广泛应用

前苏联、美国和我国王场、扶余、大庆等油田开展了周期注水的矿场试验, 大都取得了积极的成果和很多新的认识, 使周期注水方法成为改善油田水驱效果的一种措施和手段。

5) 调堵调驱技术普遍受到关注^[7]

调堵调驱技术以扩大波及体积为核心。调堵调驱技术除机械方法的井筒控制外, 化学方法得到高度重视。由于成本方面的优势, 化学方法调堵调驱技术已经成为可适应不同油藏条件的提高采收率的战略措施, 而深部调剖技术已受到普遍关注。我国油田开发界将油层深部调堵调驱技术看成水驱与三次采油相结合的“2+3”提高采收率技术, 从解决层间逐渐向解决层内矛盾转移, 实现了单井向区块转变, 浅调向深调转变, 单轮次向多轮次转变等三个转变, 从作为降水增油的战术措施向提高采收率的战略措施转变。但仅处于研究试验层面, 还没有大规模推广应用。

1.2 低渗透油藏改善水驱技术

世界上对低渗透油田没有统一的标准, 前苏联将储层渗透率小于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 算作低渗透油田, 美国把低于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的储层算作中-差储层, 中国把渗透率为 $(0.1 \sim 50) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的储层统称为低渗透储层。该类储层具有油层喉道半径很小、比表面积较大、粘土矿物发育、压敏效应强、裂缝发育等特点, 在开采中一般难以建立有效的驱动体系, 单井产量低, 经济效益差, 产量递减快, 采收率低, 甚至难以动用。为改善开发效果, 除注气外, 国内外发展了以下几种代表性的注水开发技术^[5,8-9]。

1) 超前注水开发

适用于压力系数较低、吸水能力较强的油藏。超前注水方式已在长庆油田推广应用, 共动用地质储量 $7.8 \times 10^8 \text{ t}$, 建成产能 $462 \times 10^4 \text{ t}$, 超前注水对应 852 口井, 初期平均产量比非超前注水区油

井高 1.35 t/d,提高了 20%~30%。

2) 采用大井距、小排距开发压裂一体化

针对低渗透油藏,通过人工裂缝,形成大井距、小排距的裂缝-井网模式,可以改变渗流场,克服启动压力梯度,有效建立驱动体系的做法已经得到普遍承认。对于天然裂缝发育的储层,应当采用沿裂缝方向注水的线性注水方式,最大程度地扩大注入水波及体积。

3) 实施活性水降压增注

前苏联曾在罗马什金油田实施注表面活性剂试验,采取低浓度(0.05%)的策略,平均每吨表面活性剂增油 47.5 t,提高采收率 2%~6%。我国低渗透油田的活性剂驱油技术目前还处于室内研究阶段,在中原、河南、胜利、大庆等油田矿场试验表明,采用低含量活性剂体系是低渗透油田开展降压增注的一项有效增产措施,值得在低渗透、特低渗透油田推广。活性水增注技术的主要问题是油层吸附性较强,应当优选低吸附的表活剂或牺牲剂。此外,表活剂与粘土矿物反应和与原油乳化增加阻力方面也应高度重视。

4) 采取多井段分段压裂水平井技术

低渗透油藏水平井技术在美国和我国都得到广泛应用。目的是增大泄油半径、增加单井储量控制程度、提高单井产量,降低百万吨产能投资。低渗透油藏水平井应用还存在两个突出矛盾问题:水平井垂直于裂缝主要发育方向,容易造成注入水沿裂缝窜进,使生产井过早水淹;水平井平行于裂缝方向,因基质渗透率太低,井间距较大,油井难以见效,产量太低。为此,有的专家提出低渗透油藏水平井“纵向布井、复合压裂”和“横向布井、交错压裂”的科学布井压裂可能是一种有效途径。

2 化学驱技术

化学驱是 EOR 的一个重要方面,是通过水溶液中添加化学剂,改变注入流体的物理化学性质和流变学性质以及与储层岩石的相互作用特征而提高采收率的一种强化措施。我国在化学驱方面,以大庆油田和胜利油田为代表,得到快速发展。其主要原因是我国储层为陆相沉积非均质性较强,陆相生油原油粘度较高,在 EOR 方法中更适合于化学驱;我国原油稳产的需求推动了化学驱技术的发展。

2.1 聚合物驱

大庆油田聚合物驱,于 1972 年开展先导性现场试验,1993 年开展工业化现场试验,1996 年实施工业化推广,随着规模的不断扩大,目前已成为年产油 $1\,000 \times 10^4$ t 规模,累计产油 1×10^8 t 的 EOR 技术^[10-12]。同时在聚合物驱认识上、技术上都得到长足发展。大庆油田聚合物驱的对象,依据储层渗透率和厚度划分为一类、二类和三类储层。目前一类储层已经全面铺开,二类储层已经工业化推广,三类储层正在开展现场试验。一类储层聚合物驱的主要做法可以概括为如下几个方面:分子量逐渐加大到 $2\,500 \times 10^4 \sim 3\,500 \times 10^4$;聚合物注入量不断加大到 1 000 mg/L;注聚浓度逐渐增大到 1 300~2 000 mg/L;采用独立的层系井网;注重全过程调整;注重配套工艺技术。目前,大庆油田主要针对二类储层攻关聚合物驱配套技术,在三类储层开展聚合物驱先导性现场试验。

胜利油田将聚合物驱对象按照温度、矿化度和非均质性等方面分为四类。目前主要在一、二类油藏中进行,提高采收率 8%左右,年增油 170×10^4 t。在化学注剂类型方面,随着二类油藏实施聚合物驱,聚合物由常规普通型向耐高温抗盐型发展;注入参数实施不同浓度三段塞注入方式;实施注聚前整体调剖;层系井网在原水驱层系井网上稍加改造和完善;采用针对性的配套工艺技术^[13]。河南泌阳凹陷双河油田也探讨过高温油藏条件下聚合物驱油技术^[14]。

2.2 复合驱

1994 年以来,大庆油田采用进口表面活性剂开展了 5 个三元复合驱试验,取得了在水驱采收率基础上再提高 20%的明显效果,并依此明确了三元复合驱为聚合物驱之后的三次采油主导技术。为在油田全面推广,降低注剂成本,采取了表活剂国产化的路线,开展了多个区块的三元复合驱工业化^[10-12]。针对矿场出现的问题,大庆油田已将三元复合驱作为储备技术,推广步伐趋缓。目前也在探索石油磺酸盐为主剂的弱碱驱和表面活性剂-聚合物二元复合驱的路子。

胜利油田在三元复合驱先导现场试验取得成功后,考虑到结垢和破乳难的问题,采取了二元复合驱的道路^[13]。使用以胜利原油为原料合成的石

油磺酸盐为主剂,通过与非离子表面活性剂之间的复配和协同效应,可以在无碱条件下达到超低界面张力。并于2003年在孤东七区西南开展了矿场先导试验,取得采收率可提高12%的良好效果,解决了结垢和破乳难问题,确立为复合驱主导技术,开始在油田全面工业化推广。

2.3 泡沫驱

20世纪50年代,Bond等人提出利用泡沫降低气体流度的专利,1961年Fried提出利用泡沫降低气相渗透率,扩大波及体积,从而提高采收率。由于在油藏中难以形成稳定的泡沫体系,泡沫稳定性成为研究重点^[15]。20世纪80年代以来,开展了一些大规模泡沫驱现场试验。被用作分散相的气体有蒸汽、CO₂、N₂和烃类气体,主要以蒸汽-泡沫和气体混相驱-泡沫两种形式。大庆油田用烃类天然气,胜利油田用N₂,中原油田用CO₂,取得了一定效果。

2.4 聚表剂一元驱

聚表剂是近年来通过在聚丙烯酰胺分子上"接枝"多种功能基团而生成的一种新型化学注剂,也有人称之为功能聚合物或高分子表面活性剂。理化性能评价和岩心驱替试验结果表明,聚表剂具有增粘、增溶乳化和吸附调剖多种机理和抗盐、抗氧化和抗菌等功能。等效用量情况下效果好于三元复合驱(可提高采收率20%~30%),矿场试验见到初步效果。

2.5 聚合物驱后化学驱

大庆油田在聚合物驱后相继开展了高浓度聚合物、聚表剂和泡沫驱矿场试验。胜利油田聚合物驱后开展了二元驱、泡沫复合驱、非均相二元驱和活性高分子驱油并组试验,取得一定的增油效果。

3 稠油热采技术

从世界范围看,热采是应用规模最大,也是最为成熟的EOR技术,是开采稠油(或重油)最为有效的方法^[5,13-16]。根据作用方式和作用机理,热采技术可以概括为蒸汽吞吐、蒸汽驱、热水驱、火烧油层和蒸汽辅助重力驱(SAGD)5个方面。

3.1 蒸汽吞吐

蒸汽吞吐具有施工简单、收效快、风险小、适用性强等优势,因此成为广泛的热采方式。同时也为蒸汽驱创造解堵、热联通和降低地层压力等条件。其主要局限性是作用范围小,为增温降压过程,采收率一般小于20%。随着开采对象逐渐变差,蒸汽吞吐技术在多井整体蒸汽吞吐、蒸汽+助剂吞吐和水平井蒸汽吞吐等方面不断发展。

3.2 蒸汽驱

随着技术进步,适合于蒸汽驱的原油粘度、深度、厚度、含油饱和度、渗透率、压力水平等界限也不断放宽,适用范围逐步扩大。近几年在蒸汽泡沫、凝胶调驱、分注选注、水平裂缝辅助蒸汽驱(FAST)、多层薄互层油藏利用热板效应逐层上返等技术取得新发展。

3.3 热水驱

热水驱由于热焓较低,提高采收率幅度较低,因而没有成为热力采油的主导技术。但与蒸汽驱相比,在流度控制和扩大波及体积方面占有优势,并且地面工程简单,从而也在一定程度上得到应用。热水驱还可以作为蒸汽驱或火烧油层的后续开采方式,充分利用热量,改善整体技术与经济效果。

3.4 火烧油层

大规模实施火烧油层技术的主要有罗马尼亚、美国、前苏联和加拿大,预计采收率平均达到50%以上。火烧油层具有注入剂(主要为空气和水)来源广、价格低,油层中生热,热损失低,只烧掉原油中的焦碳物(重质组分),可用于较深油藏(小于3500m)的特点。目前火烧油层技术正朝3个方面发展,一是以富氧、过氧化氢(H₂O₂)等为代表的燃烧物注入的多样化;二是以水平井辅助火烧油层(THAI)和重力辅助火烧油层技术(COSH)等为代表的新型助采技术的运用;三是火烧油层与蒸汽驱等开采方式的复合应用。

3.5 蒸汽辅助重力驱(SAGD)

SAGD技术是针对特超稠油或沥青,随水平井技术而发展起来的一种特殊的蒸汽驱技术。在加

拿大、委内瑞拉和我国的辽河油田都得到比较广泛的应用。SAGD 技术已发展到直井注汽水平井底采方式、水平井对同向注采方式、水平井对反向注采方式、单井 SAGD 技术、蒸汽-氮气辅助重力泄油方式(SAGP)、溶剂-SAGD 方式等。加拿大不同类型的重油油田已开展了 10 多个 SAGD 试验区,并建成了 7 个商业化开采油田,SAGD 开采方式最终采收率超过 50%,最高可达 70%以上。

4 注气技术

随着油田开发的需求、开发机理认识的深入和工艺技术的进步,注气技术不断得到发展,已从保持地层能量的二次采油技术发展三次采油提高采收率技术的混相驱、非混相驱^[5,13-16]。按照注气的类型,可以将注气技术概括为烃类混相驱、CO₂ 驱、N₂ 驱、烟道气驱和空气驱五类。

4.1 烃类混相驱

烃类混相驱主要指通过天然气与原油的混相,气-液传质作用、气体的溶解使原油体积膨胀、粘度降低,以及重力稳定驱替等机理提高原油采收率。由于注水更可行且成本低,20 世纪 90 年代后期,注天然气项目开始减少。与国外相比,我国开展天然气驱研究时间较晚,仅在长庆、吐哈、大庆、中原等油田进行了小规模试验。由于较高的吸气能力,注天然气在低渗透油藏提高采收率具有一定的潜力。同时在一些地区,政府熄灭火炬计划也要求天然气回注,从而使天然气驱具有一定的前景。

4.2 CO₂ 驱

一般情况下,CO₂ 在地层中处于超临界状态,在原油中具有较高的溶解性能和萃取作用,进而具有易形成混相状态^[17]和低界面张力,降低原油粘度及增加原油弹性能量等方面的机理,从而使 CO₂ 驱成为重要的、最具前景的注气开采技术。由于受陆相原油不易与 CO₂ 混相、天然 CO₂ 气源紧张、防窜、防腐技术尚未过关等条件的制约,CO₂ 驱在中国还未工业化推广,需要在以下几个方面进一步攻关:一是加强非混相或近混相机理的研究;二是攻关低成本的工业废气提纯技术和输送

技术;三是加快现场试验步伐,形成完整的油藏、采油和地面工程等方面的配套技术。

4.3 氮气驱

氮气的密度小于油藏气顶气的密度,粘度则与气顶气接近,并且具有良好的膨胀性,形成的弹性能量大,这种特性适合于块状油藏和倾斜油藏采用顶部注气按重力分异方式驱替原油,并且不存在腐蚀问题。氮气驱始于 20 世纪 70 年代中期,美国在这方面处于技术领先的地位。不仅在实验室进行了系统的实验研究,而且对不同类型油田的不同开采方式成功地进行注氮气现场开发,并取得了一定的效果。我国注氮气提高采收率技术发展较晚,1995 年华北雁翎油藏开始了注氮气先导试验,至 1998 年底,提高采收率幅度只能达到 3%~5%。我国目前开展的注氮气矿场研究主要在低渗透油藏,对其他油藏类型还在试验阶段。由于油藏条件的不同,国内开展的氮气驱均为非混相驱。

4.4 烟道气驱

烟道气驱组分中 80%~85%的 N₂ 和 15%~20%的 CO₂ 是其驱油的有效成份,作为驱油剂需要脱水、除尘,其驱油机理主要是 CO₂ 非混相驱和 N₂ 驱。烟道气驱一般为非混相驱和重力驱,由于经济的原因(尤其是捕集、处理和输送的原因),导致其应用规模较小。但由于温室气体减排的要求,烟道气的埋存和利用正引起高度关注。

4.5 空气驱

相比其它气驱来说,空气驱具有气源丰富、成本低等优点,是一种很有发展前景的提高采收率技术,比较适合高温油藏。空气驱油机理包括烟道气驱油机理、升温降粘作用、混相驱机理和原油膨胀机理等,但是由于地下氧化反应的不可控性、低温氧化导致油品性质变差以及腐蚀问题,目前空气驱项目很少。20 世纪 60 年代以来,国外针对空气驱提高轻质油藏采收率,在室内研究、数值模拟等方面做了大量工作,现场空气驱油配套技术逐渐完善,各试验区块提高采收率 5%~15%。国内胜坨油田、大庆油田进行了注水后期空气驱矿场试验,现场应用见到初步效果。随着国外空气

驱配套技术以及国内中小型空气压缩机的迅速发展,以及低温氧化理论的进一步完善,有必要扩大空气驱现场试验规模。

5 微生物采油和物理法采油技术

5.1 微生物采油

微生物采油技术(MEOR)具有成本低、作业简单、适应范围广、无污染等特点,被称为与热力驱、混相驱和化学驱具有同等地位的第4大提高采收率技术。由于技术本身的复杂性和局限性,以及没有足够的矿场试验数据证明该技术的经济效果,该项技术还没有得到大规模工业化应用^[18]。目前微生物技术已不同程度地应用于微生物单井吞吐、微生物调剖和微生物驱3个方面,在清防蜡、处理原油污染方面也得到一定应用。但随着生物工程技术的发展,微生物驱被看好是一项前景技术。采油微生物菌种的开发是微生物采油技术的首要问题。微生物驱与化学调驱等其它方法协同可以产生1+1大于2的作用,将是微生物采油技术的发展方向之一。

5.2 物理法采油

随物理学新理论、新技术引入石油开采领域,逐步形成了以改善油水井近井地带渗透性、提高单井产量为目的的物理采油技术,主要包括机械波和磁处理两个方面,电磁波和微波也进行了探索。物理法采油技术具有适应性强、可以改善油层中油水相对渗透率、不污染油层、工艺简单等优点,还可以与化学驱优势互补,形成复合型技术。超声波采油、水力振荡解堵、低频振动处理油层、井下低频电脉冲和高能气体压裂等技术已在矿场尝试应用,但由于作用深度较小,作用强度低,不能解决能量补充等问题,还没有见到明显效果,因此试验规模较小。物理法采油技术已经引起关注,但是作为战略性EOR手段还没有真正提到日程上来。

6 技术展望

1) 针对油藏类型、开发阶段和提高采收率方法,深化以物模和数模为手段的机理研究,依据机理指导现场试验;通过现场试验,反过来加强机理

认识。采取机理研究与先导性试验定方向,工业化试验定技术,工业生产再完善的程序。坚持试验全过程跟踪,注重资料录取。步伐可以加快,但程序不应超越。

2) 夯实精细地质研究与完善注采系统两个基础。与水驱相比,这两个基础在化学驱、热采、注气等EOR方法中更为重要。对于高含水、低渗透、稠油等难采储量,更需要加强油藏工程、钻采工程和地面工程相结合的管理思路。

3) 水驱方面,在陆相油藏高含水后期开发阶段,需要进一步加大层系细分重组、井网立体加密调整、水平井单层开发、改善水质、注水产液结构调整等技术措施的应用,在井网优化调整的基础上,综合应用各种工艺技术对储层进行控制和改造,实施精细注水和有效注水开发,提高注采系统的针对性和有效性,探索驱替剖面的均匀控制。

4) 热采方面,在推广应用蒸汽吞吐加密、浅层蒸汽驱和厚层SAGD技术同时,应探索特超稠油蒸汽吞吐、中深层蒸汽驱、常规稠油水驱转热采、水平井单层开发薄层稠油等技术。气驱方面,应多开展不宜注水开发的深层高压低渗透油藏CO₂驱技术等矿场试验。化学驱方面,应向高温高盐油藏、大孔道油藏和聚合物驱后油藏进一步提高采收率技术发展。

7 认识

1) 改善水驱、稠油热采、化学驱和气驱4类技术已进入矿场规模化应用,热采和气驱技术应用规模不断扩大,化学驱技术主要在中国应用;微生物采油和物理法采油技术尚处于探索、试验阶段。

2) 世界提高采收率项目主要集中在美国、中国、加拿大、委内瑞拉和印度尼西亚5个国家;中国已成为世界提高采收率技术应用大国,蒸汽吞吐、聚合物驱和复合驱技术应用规模均居世界前列。

3) 综合应用各种水驱工艺技术,控制和改造陆相油藏高含水后期储层,实现注水开发的针对性和有效性;推广应用好常规稠油热采技术,同时提前储备超稠油、中深层、薄层水平井等开发技术;为适应温室气体减排的要求,在开展CO₂驱矿场试验的基础上,借鉴国外经验加快CO₂捕集与驱油埋存技术研究;化学驱技术向高温高盐油藏、大孔道油藏和聚合物驱后油藏发展。

参 考 文 献

- [1] 计秉玉. 对大庆油田进一步开展三次采油技术研究工作的几点意见[J]. 大庆石油地质与开发, 2003, 22(6): 60-62.
Ji Bingyu. Suggestions on further study on EOR in Daqing oilfield [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2003, 22(6): 60-62.
- [2] 王友启, 周梅, 聂俊. 提高采收率技术应用状况及发展趋势[J]. 断块油气田, 2010, 17(5): 628-631.
Wang Youqi, Zhou Mei, Nie Jun. Application status and development trend of EOR technology [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2010, 17(5): 628-631.
- [3] 计秉玉. 对大庆油田油藏研究工作的几点认识[J]. 大庆石油地质与开发, 2006, 25(1): 9-13.
Ji Bingyu. Understanding of reservoir study in Daqing oil field [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2006, 25(1): 9-13.
- [4] 李阳. 陆相高含水油藏提高水驱采收率实践[J]. 石油学报, 2009, 30(3): 396-399.
Li Yang. Study on enhancing oil recovery of continental reservoir by water drive technology [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(3): 396-399.
- [5] 郭万奎. 大庆油田地质开发技术的进步与展望[J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23(5): 54-59.
Guo Wankui. Progress and prospect of geology and development technology in Daqing oilfield [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2004, 23(5): 54-59.
- [6] 侯春华. 胜利油区不同类型油藏调整挖潜技术措施与实施效果[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(4): 74-76.
Hou Chunhua. Technology and measure for adjustment and tapping the potential and their effect in various types of oil reservoir in Shengli petroliferous province [J]. Oil & Gas Recovery Technology, 2006, 13(4): 74-76.
- [7] 刘翔鹏. 我国油田堵水调剖技术的发展与思考[J]. 石油科技论坛, 2004, (2): 41-47.
Liu Xiang'e. Water shutoff profile control technology development and thinking in our oilfields [J]. Oil Forum, 2004, (2): 41-47.
- [8] 孙焕泉, 杨勇. 低渗透砂岩油藏开发技术——以胜利油田为例[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 178-183.
Sun Huanquan, Yang Yong. Development technology for low permeability sandstone reservoirs; taking Shengli Oilfield as an example [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 178-183.
- [9] 何艳青, 王晶玫. 国外油气田开发科技回顾、展望与启示[J]. 石油科技论坛, 2004, (6): 31-38.
He Yanqing, Wang Jingmei. Review, prospects and enlightenment of foreign oil and gas field development technologies [J]. Oil Forum, 2004, (6): 31-38.
- [10] 王德民. 发展三次采油新理论、新技术, 确保大庆油田持续稳定发展(上)[J]. 大庆石油地质与开发, 2001, 20(3): 1-7.
Wang Demin. Develop new theory and technique of tertiary production to ensure continuous and stable development of Daqing oilfield (I) [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2001, 20(3): 1-7.
- [11] 王德民. 发展三次采油新理论、新技术, 确保大庆油田持续稳定发展(下)[J]. 大庆石油地质与开发, 2001, 20(4): 1-5.
Wang Demin. Develop new theory and technique of tertiary production to ensure continuous and stable development of Daqing oilfield (II) [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2001, 20(4): 1-5.
- [12] 郭万奎, 程杰成, 廖广志. 大庆油田三次采油技术研究现状及发展方向[J]. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(3): 1-6.
Guo Wankui, Cheng Jiecheng, Liao Guangzhi. Present situation and direction of tertiary recovery technique in the future in Daqing oilfield [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2002, 21(3): 1-6.
- [13] 李阳. 中国石化提高采收率工作会议技术论文集[M]. 北京: 中国石化出版社, 2009.
Li Yang. Work conference proceedings of enhanced oil recovery technologies, SINOPEC [M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2009.
- [14] 韩杰, 张丽庆, 周永强, 等. 高温油藏条件下聚合物驱油效率实验——以泌阳凹陷双河油田为例[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(6): 797-800.
Han Jie, Zhang Liqing, Zhou Yongqiang, et al. An experimental study of displacement efficiency of polymer flooding under high temperature reservoir conditions; an example from Shuanghe oilfield in the Biyang Sag [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(6): 797-800.
- [15] 沈平平. 提高采收率技术进展[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006.
Shen Pingping. EOR technology progress [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006.
- [16] 李梅霞. 国内外三次采油现状及发展趋势[J]. 当代石油石化, 2008, 16(12): 19-25.
Li Meixia. The status of tertiary oil recovery both home and abroad as well as its development trends [J]. Petroleum & Petrochemical Today, 2008, 16(12): 19-25.
- [17] 郭平, 李苗. 低渗透砂岩油藏注 CO₂ 混相条件研究[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5): 687-692.
Guo Ping, Li Miao. A study on the miscible conditions of CO₂ injection in low-permeability sandstone reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(5): 687-692.
- [18] 莫冰, 孙薇, 张还恩, 等. 中原油田的微生物采油试验[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 359-361.
Mo Bing, Sun Wei, Zhang Hai'en, et al. Test of microbial enhanced oil recovery in Zhongyuan oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(4): 359-361.