文章编号:1000-4092(2019)02-366-06

提高稠油采收率技术概述*

孙江河[1],范洪富[1],张付生[2],刘 珑[1]

(1. 中国地质大学(北京)能源学院,北京 100083;2. 中国石油勘探开发研究院油田化学研究所,北京 100083)

摘要:随着我国大部分油藏的持续开采,稠油油藏所占比例增大,开发难度大于常规油藏。针对如何提高稠油油藏采收率这一重要课题,概述了目前稠油油藏开发采用的热采技术(热水驱、蒸汽驱、蒸汽辅助重力泄油和蒸汽吞吐)和冷采技术(表面活性剂驱、碱驱、聚合物驱、复合驱和微生物驱),浅析了其作用原理,结合现有矿场试验资料分析了各技术的优点及存在的问题,并对未来的发展方向提出了建议。参47

关键词:稠油;采收率;热采;冷采;综述

中图分类号:TE357 **文献标识码**:A **DOI**:10.19346/j.cnki.1000-4092.2019.02.033

随着常规原油的开发,地下储量逐渐减少,而储量巨大的稠油资源在日后的能源结构中占据的比例增大。稠油在常规水驱后的剩余油较多且大部分连续可流动,这些稠油资源的开采方式成为了今后研究的重要课题。国内大部分稠油油藏已进入高含水期,其中一部分进入特高含水期。普通稠油水驱后的最终采收率较低,但剩余油饱和度较高且分布零散,而采油速度低,含水率上升快,波及系数较小,油藏开发后期效果极不理想。因此,如何进一步开发稠油水驱后的剩余油,成为了提高油田开发效果的潜力所在。稠油因其胶质、沥青质的含量较高,密度大、黏度高、流动性差,因此稠油开采的难度大、所需的成本高[1]。

稠油开采的关键在于降低黏度与摩阻和改善流变性[2]。热采是目前国内外稠油开采最常用也最成功的方法,主要包括热水驱、蒸汽驱、蒸汽辅助重力泄油(SAGD)和蒸汽吞吐等。热采主要是通过加热来降低稠油的黏度从而提高其流度,在没有底水以及油层较厚的情况下,热采技术非常有效,采收率较高。但对于油层厚度较小以及存在底水的油藏,热量在传输及加热原油的过程中会大量损失,无法通过加热来降低稠油黏度,热采稠油技术在这种情况下的应用受到限制,这时通常考虑利用冷采如化学驱和微生物驱等方法进一步提高稠油油藏采收率。

1 稠油资源概况

1.1 稠油的定义及分类

我们把沥青质、胶质含量较高且黏度和密度较大的原油称为稠油,国外统称稠油为重质原油。我国通常把油藏条件下相对密度为0.92～0.95、黏度为100～10000 mPa·s的原油称为普通稠油;油藏条件下相对密度为0.95～0.98、黏度为10～50 Pa·s的原油称为特稠油;油藏条件下相对密度大于0.98黏度大于50 Pa·s的原油称为超稠油[3]。稠油是石油资源的重要组成部分,是多种重要化工产品的生产初级原料,也是近几年国家石油勘探开发与开采的重要目标[4]。

1.2 世界稠油资源的分布

稠油在世界油气资源中占据了很大的比例。

* **收稿日期**:2019-03-22;**修回日期**:2019-04-18。

基金项目:中国石油天然气股份有限公司科技重大专项"稠油/超稠油开采关键技术"(项目编号2017B-1406)。

作者简介:孙江河(1995–),女,中国地质大学(北京)石油与天然气工程专业硕士研究生(2017),研究方向为提高采收率,E-mail:18700897544@163.com。范洪富(1965–),男,教授,本文通讯联系人,通讯地址:100083 北京市海淀区学院路029号中国地质大学(北京)能源学院,E-mail:fanhongfu@126.com。

据估算，稠油、超稠油及天然沥青的世界储量约为 1×10^{11} t，其中中国、美国、加拿大、委内瑞拉、前苏联等国家都拥有丰富的稠油资源，重油资源和沥青砂资源约为 4000×10^{8} t 和 6000×10^{8} m^3，稠油年产量可达 1.27×10^{8} t 以上[5]。目前世界上稠油资源储量最丰富的国家是加拿大，其稠油资源主要分布在加拿大的阿尔伯塔盆地，其中包括冷湖、平河及阿萨巴斯卡等八个大油田，地质储量约为 2680×10^{8} ～ 4000×10^{8} t[6]。我国也拥有丰富的稠油和沥青资源，目前已经发现了位于十二个盆地中的七十多个重质油田，预估稠油和沥青资源总量可达 300×10^{8} t[7]。目前较大的稠油油田有辽河油田和塔河油田等[8]。

2　稠油开采技术

20 世纪 60 年代以来，稠油开采技术有了迅猛的发展。就目前稠油开采技术而言，稠油开采以蒸汽驱和热水驱等热力开采为主，而在加拿大和委内瑞拉以冷采技术开采稠油的规模较大[9]。

2.1　热采

2.1.1　热水驱

热水驱油即是通过向地层注入热水，原油受热后黏度大大降低，原油的流动性显著增强。与此同时，岩石和地层流体受热后体积发生膨胀，使得残余油饱和度降低，也能促进岩石水湿，防止高黏油带的形成。热水驱油技术操作简便，与常规注水驱油方法相同。热水驱的作用机理主要表现在：(1)注入热水携带的热量可使原油温度升高，从而降低油水比，对稠油的作用效果明显。在含油饱和度和相对渗透率不变的情况下，升高温度能引起水相向前推进的速度降低，从而提高水突破时原油的采收率[10]；(2)当储层原油温度升高时，残余油饱和度明显降低[11]，同时，原油温度升高会导致相对渗透率发生改变，而这种改变一般都是有利的；(3)储层中的流体及岩石受热后膨胀，也会促进原油的驱替过程。

为了实现油田长期高效可持续发展，李兴博[12]结合油藏地质特征和室内驱油实验，于 2012 年 3 月起先后在哈萨克斯坦的 NB 油田开展了五个井组的热水驱油试验。截至 2015 年底，井组累计增油 2.2 万吨，井组日增油量可达 30 t。对于厚度较薄的砂岩稠油油藏，王月明[13]根据井组近年的开发状况，结合室内实验分析了井组中各油井的受效特征，在 D 稠油区块开展了热水驱开发。通过 D66-5 井天然岩心的室内实验，确定了最佳注入温度、注采比及注水方案。目前，该区块开井的 17 口油井中共有 11 口受效井，受效比例 64.7%，平均受效时间 187 d，受效时平均注水强度 1243 m^3/m，受效后日产液量上升 10.3 t，日产油上升 4.7 t，已累计增油 3534 t，增油效果明显，说明热水驱可以实现区块动用。同时，注入热水后，有效地抑制了边水的推进，使含水上升速度明显减缓。

热水驱地面工艺简单，有较好的增油效果，在一定程度上实现了油田的高效发展。但是热水驱提高采收率的幅度相对较低，因此不能成为热力采油的主导技术。对于一些热水驱不能显著提高油藏采收率的情况，可以考虑在注入热水时添加合适的表面活性剂，形成水包油型乳状液，从而降低原油的黏度和油水界面张力，在高效地提高原油采收率的同时降低能耗。同时，热水驱也可以作为蒸汽驱或其他热采方式的后续开采方法，充分利用热能，改善整体技术，提高经济效益。

2.1.2　蒸汽驱

对于高黏度、高重度和高孔隙度的油藏来说，蒸汽驱是一项采用率很高的采油方式。我国蒸汽驱技术已经非常成熟，并且在很多大型油田得到了广泛的应用。蒸汽驱是将热蒸汽作为载热流体和驱动介质，对注气井进行持续注汽，从而在相邻的生产井持续采油，利用注入的热量和质量来提高驱油效率的过程[14]。蒸汽驱驱油机理包括高温蒸汽对于稠油的降黏作用、蒸汽与原油的混相驱作用以及岩石与流体的热膨胀作用等。威尔曼等[15]研究发现，蒸汽驱的采收率一般高于冷水驱的采收率，而且比同温热水驱的采收率也要高出很多。然而同样作为蒸汽驱，高压蒸汽驱的采收率通常高于低压蒸汽驱采收率[16]。

针对中深层超稠油油藏水平井蒸汽吞吐后期产量递减快、油藏采收率低的问题，辛坤烈[17]在国外蒸汽驱开发的基础上，结合油田实际开发状况，利用数值模拟等手段，在曙光油田杜 84 块兴 1 组超稠油油藏开辟了两个水平井蒸汽驱的先导试验。对于先导试验的可行性进行了深入研究，并且在注采井网、注采参数和注采工艺等配套技术方面进行了优化设计，初步形成了适用于超稠油水平井蒸汽

驱的动态调控技术。两个试验井组于2016年6月进入现场，阶段实施679 d，阶段注气量6.4×10⁴ t，累计产液量7.3×10⁴ t，累计产油量1.1×10⁴ t，目前日产液量91 t，日产油量27 t。实施前年产油量为0.3×10⁴ t，实施后提高至2017年的0.9×10⁴ t，采油速度从0.6%提高到1.7%，预计采出程度可达到40%以上。吕政等[18]结合前期先导试验结果，继续扩大蒸汽驱的范围。针对注38块外扩的3个蒸汽驱井组进行构造与参数建模，通过对产液量和产油量的历史拟合，优化了蒸汽驱的基础操作参数，并且对2016年之后的15年进行了模拟。模拟结果表明，优化后的方案与原方案相比，累计增油5.59×10⁴ t，采出程度增加5.83%，经济效益良好。

虽然蒸汽驱作为目前在技术和经济上比较成功的稠油油藏开发技术之一[19]，然而储层的非均质性以及各生产井工作制度上的差异造成位于高渗透方向、高产量且注采井距较小的生产井首先发生蒸汽突破现象[20]，使得油藏热利用率低，整体的经济效益无法得到保障。此时应当考虑以下几个相关的技术方法：(1)在进行射孔操作时，尽量避免高渗层或其他层位同时射开，要针对具体的开采情况有效控制各个层内的渗透率级差，保证开采工作高效的进行；(2)对注入油层的蒸汽量进行合理的调配，根据地层的吸汽能力对注入汽量和注入速度进行调整，尽量做到均匀注采；(3)对于易产生气窜的井层加大研究力度，在注汽时可以通过封隔器来封堵易窜井层，然后选注非气窜的井层，实行分层注汽作业；(4)对于易发生气窜的高渗层进行机械或化学封窜，如投入大小合适的空心金属球或注入一些合适的化学剂[21]。

2.1.3 蒸汽辅助重力泄油

SAGD是在1978年由Butler等提出的针对稠油或超稠油并随着水平井技术发展起来的一种特殊的蒸汽驱技术。此项技术在加拿大、委内瑞拉和我国的辽河油田都得到了较为广泛的应用。该技术将注入的蒸汽作为供热热源，依靠被加热的水和油与从注汽井注入的蒸汽之间的密度差作为驱动力来开采稠油，为稠油、超稠油的有效开采与及时接替开拓了新的途径与方法[22]。SAGD是通过注入高温度、高干度的热蒸汽对油层进行加热，形成蒸汽腔，在保持一定油层压力的情况下使原油在重力的作用下流到生产井中[23]。相对于蒸汽驱来说，该技术具有较高的采油及泄油能力、较高的油气比和最终采收率，同时还可以降低井间干扰，能有效避免蒸汽过早的在井间窜流或连通等问题[24]。

虽然SAGD技术很大程度上能提高稠油的采收率，但是随着生产的进行也会出现一些严重的问题，如蒸汽腔温度下降导致蒸汽冷凝。蒸汽腔向上部地层传热过多致使原有的胶质沥青质隔层融化，造成顶水和边水侵入，从而使得采出液中的含水率急剧上升，导致油藏整体采收率降低。当顶水和边水泄入时会降低稠油油层的温度，进而使稠油的黏度急剧上升，甚至失去流动性。因此急需研发SAGD的接替方案以改善和提高热蒸汽的利用率，同时对采出液的含水率加以控制[25]。

2.1.4 蒸汽吞吐

蒸汽吞吐是先向油井中注入一定量的热蒸汽，随后进行一段时间的焖井，等蒸汽的热量扩散到油层之后，再进行开井生产的一种开采稠油的方法[26]。蒸汽吞吐在我国的应用十分广泛，我国大部分的稠油产量是通过蒸汽吞吐技术获得的。蒸汽吞吐技术的采油原理可以归纳为：(1)油层中的原油经蒸汽加热后黏度降低，流动性增强；(2)对于压力较高的油层，油层的弹性能量在加热后充分释放，增加了驱油的动力；(3)岩石和流体的热膨胀作用促进了油藏的开发；(4)高温蒸汽对于岩石的冲刷可以解除近井带的污染，起到了良好的解堵作用[27]。

李萍等[28]借鉴国内外蒸汽吞吐技术的开发经验，结合现场实施情况，首次在渤海旅大27-2油田进行了稠油先导性试验，研究了地质-油藏工程方案、注采方案、地面方案等，设计了蒸汽吞吐实施工艺，顺利完成了注汽、焖井、放喷和下泵生产，为稠油油田的大规模开发打下了良好的基础。刘义坤等[29]在精细地质建模和历史模拟的基础上，利用数模技术对于大庆油田江37区块稠油开发区的注汽速度、注汽强度、井底干度等注汽参数按照不同有效厚度级别进行了优化并确定了合理范围，完成了22口井共计61井次的蒸汽吞吐注汽，累计产油量为2.23×10⁴ t。

2.2 冷采

2.2.1 表面活性剂驱

表面活性剂具有乳化、润湿、分散、增溶、润滑等优异性能，在生产生活中的各个领域均有应用[30]。在稠油油藏的开采中，表面活性剂驱是将合适的表

面活性剂水溶液注入井下，使稠油在表面活性剂溶液的乳化作用下分散并形成稳定的O/W乳状液，从而大大地降低稠油的黏度，使稠油的流动能力得到提高。其次，表面活性剂溶液具有降低界面张力和软化界面膜的能力，使得油滴的流动阻力降低。表面活性剂溶液的加入提高了洗油效率，从而提高了采收率。表面活性剂的驱油机理通常归为3种：乳化降黏、破乳降黏以及吸附降黏[31]。其中乳化降黏是通过加入表面活性剂使W/O型乳状液转化成O/W型乳状液从而降低黏度；破乳降黏是指在表面活性剂的作用下破坏油包水型乳状液，形成游离水从而达到降黏的效果；吸附降黏是指向油井中注入表面活性剂后使油管或抽油杆表面的润湿性转为亲水性[32]。

在表面活性剂驱油的基础之上，与吞吐工艺相结合，赖南君等[33]通过正交实验设计，采用物理模型模拟化学吞吐过程，研究了乳化降黏吞吐技术提高采收率的效果，并确定了相关施工工艺参数，得到了较好的降黏效果。当使用0.4%表面活性剂CD-1+0.2% NaOH+0.07%聚合物HPAM体系时，稠油的降黏率高达96.1%，稳定时间可达48 h。王刚霄等[34]将阴离子烯烃类磺酸盐乳化降黏剂和非离子型低张力乳化降黏剂按质量比1∶1制得复配乳化降黏剂。该降黏剂可用作普通稠油油田的驱油处理剂，可将油水界面张力降至1×10^{-5} mN/m，在25℃下按水油质量比3∶7配制的乳状液黏度为30 mPa·s，采收率达81.46%，改善了胜利油田陈家庄稠油黏度大、开采难的问题。

2.2.2　碱驱

碱驱是最早进行现场试验的化学驱油技术，但是由于驱油机理复杂，限制条件过多，因此未得到广泛的现场应用。碱驱是将适宜浓度的碱性溶液注入地层，通过碱性溶液与油藏中的岩石或流体发生反应，使采收率提高的技术。碱驱最主要的机理就是碱和原油中的酸性物质发生反应，在原位形成表面活性剂，降低油水界面张力，从而降低原油的流动阻力[35]。稠油的酸值一般较大，碱性溶液很容易乳化稠油，并且能一定程度上改变油藏的润湿性，对于稠油的开采非常有利[36]。但是，碱性溶液不仅会与原油发生反应，也会和岩石以及其他地层流体发生反应，从而造成碱液消耗过多、碱液突破和开采滞后的现象。因此，在进行碱驱之前要经过严密的试验，以选择与油田配伍的碱溶液。碱驱过程中极易出现结垢，对油田后期的开发造成影响，因此碱溶液浓度的选择也是非常重要的。

为了进一步探讨稠油碱驱提高采收率机理，刘晓玲等[37]以胜利油田桩西普通稠油为研究对象，构建了Na_2CO_3与NaOH质量比为1∶1的复配碱体系，利用玻璃刻蚀微观模型模拟驱油过程。采用图像处理技术，得到了水驱、不同浓度复合碱体系在突破时刻的波及系数：纯水突破时的波及系数为22.686%，2 h后剩余油饱和度为58.209%；0.4%复合碱突破时的波及系数为46.866%，2 h后剩余油饱和度为37.91%；1%复合碱突破时的波及系数高达62.388%，2 h后剩余油饱和度降至34.328%。碱驱在提高波及系数、降低剩余油饱和度方面均优于水驱。

2.2.3　聚合物驱

聚合物驱油是化学驱提高原油采收率方法中应用最广泛的方法。聚合物驱是向注入水中加入分子量高的聚合物，例如部分水解聚丙烯酰胺、多糖等。聚合物可以增加水相黏度从而降低油水流度比，增加波及体积，提高原油的采收率[38]。其次，弹性聚合物溶液通过黏弹性产生黏滞力，提高原油的驱油效率。通常聚合物驱选用的聚合物应具有良好的热稳定性和化学稳定性。聚合物驱也存在很多不利因素。比如，我国大部分油田属于强采强注型，因此产生了大孔道，地层变异系数随之增加，油藏非均质性增大，进行聚合物驱时容易发生窜聚，大大降低了油田开发的效率，因此在聚合物驱实施之前进行堵水调剖十分重要。另外，聚合物溶液黏度较高，进行驱替时不能超过水驱时的初始压力梯度，否则将会破坏岩石结构[39]。

为了研究注聚合物过程中产液量下降过快且含水率高等问题，敖文君等[40]利用室内物理模拟与数值模拟方法，并结合理论分析，根据目标油田的油藏特征研究了含水率不同时转聚合物驱后油田参数的变化规律。同时，通过对比不同的注入方式，发现聚合物梯次降浓度注入效果优于单一段塞注入效果。聚合物梯次降浓度注入，对高渗层的封堵效率高，中低渗透层可以得到较好的动用。

2.2.4　复合驱

复合驱是指将两种或两种以上驱油技术组合起来的驱油方法，利用几种驱油方式的优点来开发油田，达到提高采收率的目的。针对渤海SZ36-1油

田的地质特征，金发扬等[41]筛选了适合海上稠油油田水驱降黏开采的复合降黏体系。将碱与表面活性剂进行复配，复合降黏体系溶液与原油形成的水包油型乳状液既具有良好的稳定性，也满足脱水破乳要求，且药剂用量少，成本低，降黏率高，可达到高效经济开采稠油的目的。廖凯丽等[42]通过人造岩心物理模拟实验和微观驱油实验评价了聚合物/表面活性剂体系的驱油效果，测定了该复合体系耐温抗盐、抗二价离子的性能，发现在聚/表剂二者的协同作用下较单一的驱油方式最终采收率有所提高。宋清新等[43]针对单家寺稠油油田蒸汽吞吐后期蒸汽利用率低的状况，研制出具有调剖、洗油、降黏三效合一功能的泡沫剂作为表面活性剂进行驱油。经矿场试验证明，多效复合驱油体系能有效改善吞吐后期油井的开发效果，控制边、底水的入侵，对油田最终采收率有明显的改善作用，增油效果较好。

2.3 微生物驱

微生物采油是将微生物直接注入地层，利用微生物的生长代谢活动和微生物代谢产物与油藏中的物质相互作用而增产原油的一种方法[44]，是一种廉价有效且技术含量较高的提高采收率技术。微生物驱油机理可分为：(1)微生物在一定培养条件下在代谢过程中分泌具有表面活性作用的代谢物，可以降低油水界面张力，提高驱油效率；(2)微生物活动产生酸性物质，溶解地层岩石，从而改善油层的渗透性；(3)微生物分解原油里的高分子量烃，同时释放气体，增强驱油动力；(4)在油层多孔介质中生长发育的菌体及细菌代谢所产生的聚合物可以填塞注水油层的高渗通道，提高波及系数[45]。

为了进一步提高开发效果，王冠等[46]在蒙古林砂岩普通稠油油藏弱凝胶调驱后开展了微生物采油。在室内筛选出两株适合于该油藏条件的微生物菌种，并在现场选择了9口油井进行了微生物油井吞吐先导试验，其中7口井取得了较好的效果，措施有效率达77.8%，平均日产油量由11.69 t增至20.68 t，累计增油1093.5 t，有效期最长达190 d。桑林翔等[47]在室内模拟了微生物驱油，筛选出解淀粉芽孢杆菌植物亚种、韩国假单胞菌和约氏不动杆菌3种高效的菌种，研究了菌种用量及处理时间并筛选出合适的菌种复配比例。当菌种按照菌落数1∶1∶1复配时，原油降黏率达到73.58%，优于任意单一菌种，按照最优复配比例进行驱替时的增产率平均值可达24.8%。由于技术本身较为复杂，从整体上讲，该技术目前还多处于试验研究阶段，没有得到大规模的工业化应用。

3 研究展望

在全球能源需求不断增长的形势下，稠油油藏的开采已经得到了越来越多的关注，现有的稠油开采技术也在不断地改进与创新。展望未来，以下几个方面仍然是我们应当关注的焦点。(1)随着理论知识与实验数据的不断更新，稠油的开采技术也在不断地创新。每一种开采方式都具有独特的优点，同时也有着不足之处。需根据不同油藏的不同条件，因地制宜，选择适合的开采技术，尽可能做到经济与效益的最大化。(2)深化室内物理模拟与数值模拟技术，深入研究各种不同驱油方式的驱油机理，用以指导现场试验。再根据现场试验数据反馈加强理论机理认识。(3)稠油热采较冷采适用范围更广泛，包括普通稠油、超稠油和特稠油。对于油层的地质情况来说，热采的适应性也大于冷采的适应性。(4)对于正在探索试验阶段的微生物采油技术应积极进行相应的室内及矿场试验，在保护环境的大主题下，此技术作为一种清洁无污染的采油方式应得到提倡。(5)无论是化学驱的试剂复配或者是微生物驱的微生物菌种的复配，驱油效果都好于单一的驱油效果，因此应对复配体系进行进一步的优化研究。

参考文献：

[1] 李一鸣，吴晓静，沈梦霞，等. 表面活性剂复配体系BS-9在稠油乳化降黏中的应用性能研究[J]. 油田化学，2010，27(1)：81–83.

[2] 刘忠运，李莉娜. 稠油乳化降粘剂研究现状及其发展趋势[J]. 精细与专用化学品，2009，17(24)：36–38

[3] 崔航波，李政. 稠油提高采收率技术综述[J]. 化工管理，2014(29)：119.

[4] 张珈铭，吴晓东，彭洋平，等. 稠油开采工艺进展[J]. 价值工程，2012，25(15)：17–18.

[5] 包木太，范晓宁，曹秋芳，等. 稠油降粘开采技术研究进展[J]. 油田化学，2006，23(3)：284–288.

[6] 曹绪龙，李振泉，宫厚健，等. 加拿大稠油聚合物驱研究进展及应用[J]. 油田化学，2015，32(3)：461–466.

[7] 吕立华，李明华，苏岳丽. 稠油开采方法综述[J]. 内蒙古石油化工，2005，(3)：110–112.

[8] 万宇飞，邓道明，刘霞，等. 稠油掺稀管道输送工艺特性[J]. 化工进展，2014，33(9)：2293–2297.

[9] 刘忠能，钟海全，李颖川，等. 稠油环空掺稀气举技术——以吐哈油田吐玉克区块为例[J]. 石油学报，2015，36(2)：217–222.

[10] 郝文赫. 低渗透油藏稠油热水驱技术探讨[J]. 化学工程与装备，2017(12)：82-83.
[11] 谢俊，于江涛，于孝玉，等. 长春岭高含蜡油藏流体渗流特征的影响因素分析[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版)，2013，43(8)：76-79.
[12] 李兴博. 国外常规水驱稠油油藏提高采收率研究与实践[J]. 石化技术，2016(8)：263-277.
[13] 王月明. D稠油区块热水驱开发初步认识[J]. 中国石油石化，2017(3)：90-91.
[14] 范丹. 稠油热采测试技术难题浅析[J]. 内蒙古石油化工，2013(14)：96-98.
[15] WILLMAN B T，VALLEROY V V，RUNBERG G W，et al. Laboratory studies of oil recovery by steam injection [J]. J Pet Technol，1961，13(7)：681-690.
[16] 何慧卓. 浅析稠油油藏的蒸汽驱效果改善技术与机理[J]. 中国石油和化工标准与质量，2012(12)：245.
[17] 辛坤烈. 辽河曙光油田中深层超稠油水平井蒸汽驱试验[J]. 化工管理，2018(25)：211-212.
[18] 吕政，李辉. 洼38块蒸汽驱扩大井组油藏数值模拟研究[J]. 中国矿业，2018，27(2)：108-111.
[19] 吴克柳，李相方，全一平，等. 稠油油藏蒸汽驱开发蒸汽突破预测模型[J]. 系统工程理论与实践，2014，34(2)：538-544.
[20] 许鑫，刘永建，尚策，等. 稠油油藏蒸汽驱提高热利用率研究[J]. 特种油气藏，2019，1(13)：112-116.
[21] 王茗. 稠油油藏的蒸汽驱效果改善技术讨论[J]. 化工管理，2018(3)：116.
[22] 林晶，宋朝晖，罗煜恒，等. SAGD水平井钻井技术[J]. 新疆石油天然气，2009，5(3)：56-60.
[23] 李光林. SAGD开采技术[J]. 石化技术，2018(5)：166-170.
[24] 郝玉兰，王梓桐，苑丹丹，等. 我国注蒸汽采油研究进展[J]. 化学通报，2014，77(2)：137-141.
[25] 栾健. 超稠油砂岩油藏SAGD参数优选及SAGP方案设计[D]. 成都：西南石油大学，2016：1-11.
[26] 王大为，周耐强，牟凯. 稠油热采技术现状及发展趋势[J]. 西部探矿工程，2008(12)：129-131.
[27] 熊彪，张荷，李浩哲，等. 稠油开采技术及展望[J]. 化学工程与装备，2016(2)：169-171.
[28] 李萍，刘志龙，邹剑，等. 渤海旅大27-2油田蒸汽吞吐先导试验注采工程[J]. 石油学报，2016，37(2)：242-246.
[29] 刘义坤，刘扬，王凤娇，等. 江37区块浅薄层稠油油藏蒸汽吞吐参数优化[J]. 特种油气藏，2015，22(6)：90-92.
[30] 陈玉祥，王霞，潘成松，等. 表面活性剂在稠油降粘中的应用[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版)，2009，11(1)：48-50.
[31] 尉小明，郑猛，白永林. 稠油掺表面活性剂水溶液降粘机理研究[J]. 特种油气藏，2004，11(4)：92-94.
[32] 石贤志，徐雪峰，历娜，等. 表面活性剂在稠油化学降黏中的应用[J]. 化工科技，2017，25(5)：57-61.
[33] 赖南君，宋晓慧，闻一平，等. 稠油乳化降黏吞吐技术室内模拟研究[J]. 油田化学，2014，31(2)：261-264.
[34] 王刚霄，王彦玲，李永飞，等. 稠油乳化降黏体系提高采收率[J]. 油田化学，2018，35(4)：682-685.
[35] 李倩. 提高稠油采收率技术研究现状及发展趋势[J]. 广东化工，2013，40(15)：115-116.
[36] 丁保东，张贵才，葛际江，等. 普通稠油化学驱的研究进展[J]. 西安石油大学学报(自然科学版)，2011，26(3)：52-56.
[37] 刘晓玲，张玉，尹晓丽，等. 稠油碱驱提高采收率机理研究[J]. 中国石油大学胜利学院学报，2013，27(4)：15-17.
[38] 张新宇，刘灏亮. 化学驱提高稠油采收率研究[J]. 新材料与新技术，2016，42(10)：46-49.
[39] 李锦超. 普通稠油化学驱及机理研究进展[J]. 精细石油化工进展，2015，16(4)：16-18.
[40] 敖文君，阚亮，田津杰，等. 渤海稠油油田聚合物驱阶段注采特征研究[J]. 陕西科技大学学报，2018，36(6)：98-102.
[41] 金发扬，蒲万芬，任兆刚，等. 稠油水驱降粘开采新技术实验研究[J]. 特种油气藏，2005，12(6)：95-97.
[42] 廖凯丽，葛际江，浮历沛，等. 聚/表二元复合驱提高普通稠油水驱后残余油采收率的研究[J]. 石油化工，2016，45(12)：1519-1524.
[43] 宋清新，刘琳波，邹晓霞，等. 多效复合驱油体系研究与应用[J]. 石油钻采工艺，2005，27(5)：58-61.
[44] 王学忠. 浅薄层超稠油高含水井微生物采油技术研究[J]. 当代石油化工，2016，24(5)：20-24.
[45] 于连东. 世界稠油资源的分布及其开采技术的现状与展望[J]. 特种油气藏，2001，8(2)：98-103.
[46] 王冠，崔延杰，张凯，等. 弱凝胶驱后高含水稠油油藏微生物提高采收率技术研究及应用[J]. 长江大学学报(自然科学版)，2015，12(11)：74-79.
[47] 桑林翔，杨兆中，杨果，等. 高黏稠油生物降黏驱替技术试验研究[J]. 特种油气藏，2017，24(6)：148-151.

Overview of Improving Heavy Oil Recovery Technology

SUN Jianghe[1]，FAN Hongfu[1]，ZHANG Fusheng[2]，LIU Long[1]
(*1. School of Energy Resources，China University of Geosciences (Beijing)，Beijing 100083，P R of China；2. Department of Oilfield Chemicals，Research Institute of Petroleum Exploration and Development，PetroChina，Beijing 100083，P R of China*)

Abstract: With the continuous exploitation of most of the reservoirs in China，the proportion of heavy oil reservoirs increased，whose development was more difficult than conventional reservoirs. Aiming at the important issue of how to improve the recovery of heavy oil reservoirs，the thermal recovery technology，such as hot water flooding，steam flooding，SAGD and huff and puff，and cold production technology，such as surfactant flooding，alkaline flooding，polymer flooding，composite flooding and microbial flooding，used in the development of heavy oil reservoirs were summarized，meanwhile their principles of action were analyzed. The advantages and problems of each technology were analyzed combining the existing mine test data，and development directions of improving heavy oil recovery technology were proposed.

Keywords: *heavy oil*；*oil recovery*；*thermal recovery*；*cold production*；*review*