

China's Heavy-Oil Development Technology: Status and Recommendations

Yan Yang^{1*}, Xiangcheng Wang¹, Tao Wang²

¹Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan

²Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan

Email: *759827689@qq.com

Received: Oct. 9th, 2019; accepted: Oct. 24th, 2019; published: Oct. 31st, 2019

Abstract

China's demand for oil is increasing. However, due to various mining problems and technical problems, China relies heavily on oil imports. In order to alleviate market pressure and reduce oil imports, China has continuously strengthened its oil exploration, while heavy oil accounts for 25% of the oil geological resources (about 20 billion tons) and 8% of the combined oil and gas geological resources. It is part of oil and gas exploration and development that cannot be ignored. China's technical systems for heavy-oil production are actively progressing and improving. I summarize the technology and practical application examples of heavy oil exploitation in China over the years, and analyze the advantages and disadvantages of various heavy oil mining technologies, and put forward some suggestions for the development status of China [1].

Keywords

Heavy Oil, Exploration and Development, Mining Technologies, Suggestions

中国稠油开发技术现状与建议

杨 艳^{1*}, 王祥程¹, 王 涛²

¹成都理工大学, 四川 成都

²西南石油大学, 四川 成都

Email: *759827689@qq.com

收稿日期: 2019年10月9日; 录用日期: 2019年10月24日; 发布日期: 2019年10月31日

摘 要

我国对石油的需求量越来越大, 但由于开采条件恶劣及技术等多方面问题, 我国对石油进口的依赖度很大, 为减轻市场压力, 减少石油进口, 我国不断加强对石油的勘探, 而稠油占石油地质资源的25%(约

*通讯作者。

200亿吨), 油气地质资源总量的8%, 是油气勘探开发不容忽视的一部分, 我国对稠油开发方案历时已久, 有着非常成熟的开发技术。笔者总结归纳了我国历年来在稠油开采方面的技术以及实际应用例子, 分析了各项稠油开采技术的优劣势, 并针对我国开发现状提出了几点建议[1]。

关键词

稠油, 勘探开发, 开采技术, 建议

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 我国石油地质储量及消费现状

2017年, 中国原油生产量为2409亿立方米吨, 国内生产状况呈现下降趋势。原油产量在不断下降, 但是需求量却逐渐加大。一方面, 中国2017年的石油表观消费量为7404亿立方米, 是2011年以来的最高点, 并预计在2018年将达到7530亿立方米。另一方面, 中国原油需求对外依存度持续升高, 目前已经达到4969亿立方米, 超过美国成为世界原油最大进口国, 依存度逼近70% [1]。

为了减轻市场压力并减少石油进口, 需要降低成本和有效地开发稠油油藏。中国地质调查局(CGS)的最新数据显示, 中国石油地质储量为1257亿吨, 可采储量为301亿吨[2]。中国油气资源储量结构如图1所示, 其中, 稠油约占石油地质资源的25%, 占石油和天然气总量的8%。超过200亿吨且超过40亿吨的地质资源是可采的。中国的稠油主要分布于渤海湾、松辽盆地、塔里木盆地、吐鲁番-哈密盆地和华北平原等, 如图2所示。

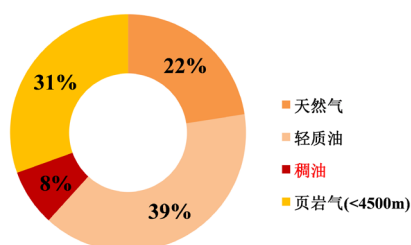


Figure 1. China oil and gas geological resource structure

图 1. 中国油气地质资源结构

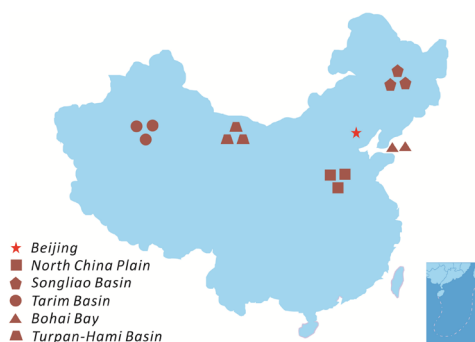


Figure 2. China heavy oil resource distribution

图 2. 中国稠油资源分布

2. 稠油开采现状

1970年代以来,中国一直致力于稠油开发,并成功开采出粘度超过 100,000 mPa·s 的超稠油[3]。根据不同的原油粘度范围和储层条件,稠油开采有多种方法可供选择,如图 3 所示。

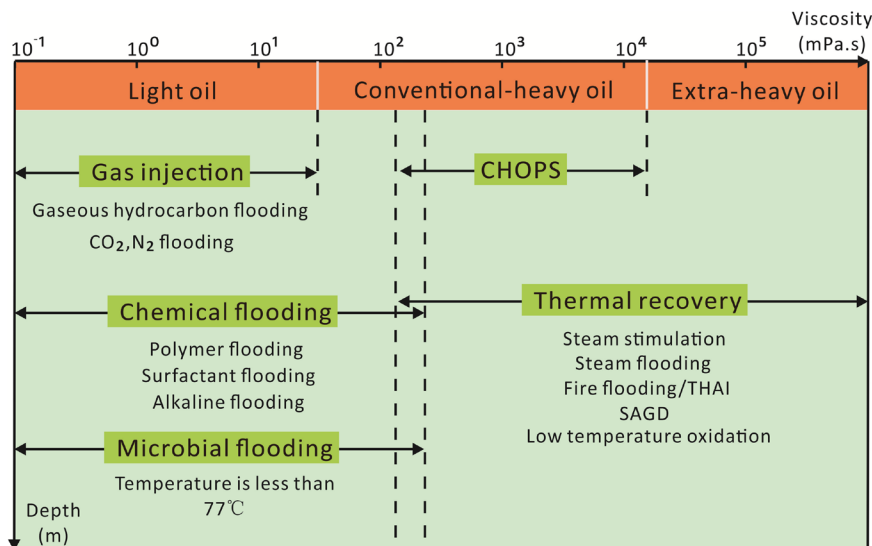


Figure 3. Relationship between viscosity and recovery technologies

图 3. 粘度与采收率技术的关系

中国稠油开发历经了 4 个发展过程,如图 4 所示。第 1~2 阶段为技术准备和开发试验阶段(1980 年以前),开始引入蒸汽吞吐开采稠油;第 3 阶段为技术推广、扩大蒸汽吞吐开采稠油阶段(1980~1990 年);第 4 阶段为完善蒸汽吞吐,实现蒸汽吞吐高效开发阶段(1990~2000 年);第 5 阶段为稠油转变开发方式阶段(2000 年~现在),同时,这一阶段体现了中国稠油开发从单纯考虑产量到追求高效低成本开发的理念转变与进步。中石油辽河油田是稠油开发的佼佼者。2017 年,辽河油田全年投产新井 1300 余口,新井日产量原油首次达 280 万立方米,全年生产原油超过 125×10^4 立方米,其中超过 40% 的原油为稠油[4]。

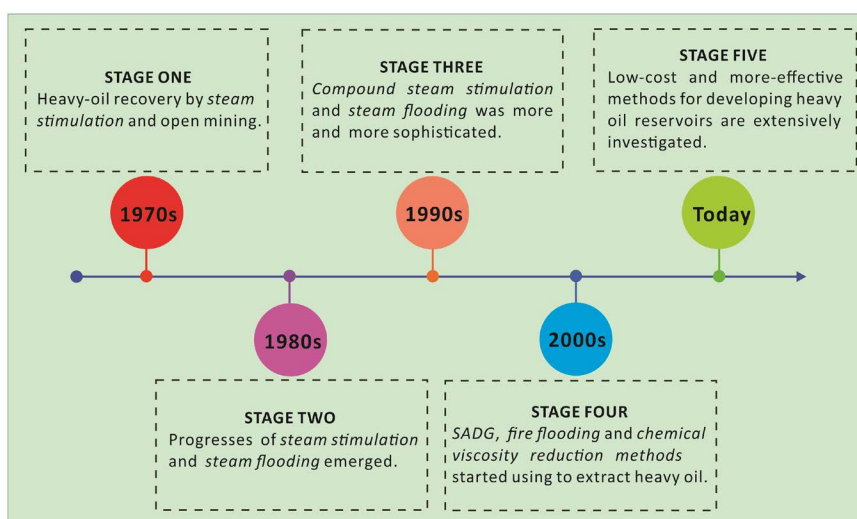


Figure 4. China heavy oil development history

图 4. 中国稠油发展历史

目前, 中国稠油开发呈现出开发技术多元化的状态。其中, 蒸汽吞吐已经在中国开发 30 多年, 国内 80% 的稠油都是通过吞吐开采采出。到今天, 蒸汽吞吐仍然是中国主要的开发技术, 并经历了从单纯注蒸汽开采, 到注入二氧化碳、氮气、空气辅助蒸汽吞吐的发展过程, 使蒸汽吞吐技术在实践中不断完善与进步。蒸汽驱是有效的蒸汽吞吐接替技术之一, 改善了蒸汽吞吐井间动用程度差的问题。中国蒸汽驱技术已经成功应用于中深层的各类复杂稠油油藏, 并为中国提升了 20% 的稠油采收率。针对超稠油、特超稠油等难动用复杂油藏, 中国研发出自己的特色技术系列, 如双水平井 SAGD 技术、直井 - 水平井 SAGD 技术、火驱技术等。

3. 稠油油藏开采常用技术

现常用的稠油开采方式主要有蒸汽吞吐、蒸汽驱、蒸汽辅助重力泄油技术、火驱技术、二氧化碳驱、化学驱等, 我将对几种常用的开采技术最新研究现状进行论述。

3.1. 蒸汽吞吐

蒸汽吞吐技术是当前中国开采稠油的主要技术, 通过将热蒸汽注入地层, 然后关井使地层充分受热, 以此来降低原油粘度, 最后实现开井生产。由于技术要求低, 蒸汽吞吐适用于各种稠油油藏。在过去的 30 年中, 中国蒸汽吞吐开发稠油已经有 30 多年的开发历史, 80% 的稠油都是通过吞吐开采采出。今天, 蒸汽吞吐依旧是中国稠油开发的主要技术。中国已经将蒸汽吞吐与二氧化碳、氮气、烟道气、空气结合, 形成气体辅助蒸汽吞吐技术, 有效的降低了蒸汽用量和成本, 并能有效改善油层动用不均的问题, 将蒸汽吞吐采收率提升了 10%~15%, 取得了良好的开发效果[5]。

3.2. 蒸汽驱

蒸汽驱与蒸汽吞吐原理类似, 都是通过将蒸汽注入地层, 不同的是蒸汽驱是一口井注入, 另一口井生产的方法实现稠油开采, 其原理如图 5 所示。辽河油田齐 40 块是中国首个中深层稠油蒸汽驱开发的油藏。齐 40 区块从 2006 年扩大转驱以来到现在, 总共转驱了 150 个井组。截至 2015 年, 齐 40 蒸汽驱的采出程度为 11.4%, 有效地提高了中深层稠油的采出程度。

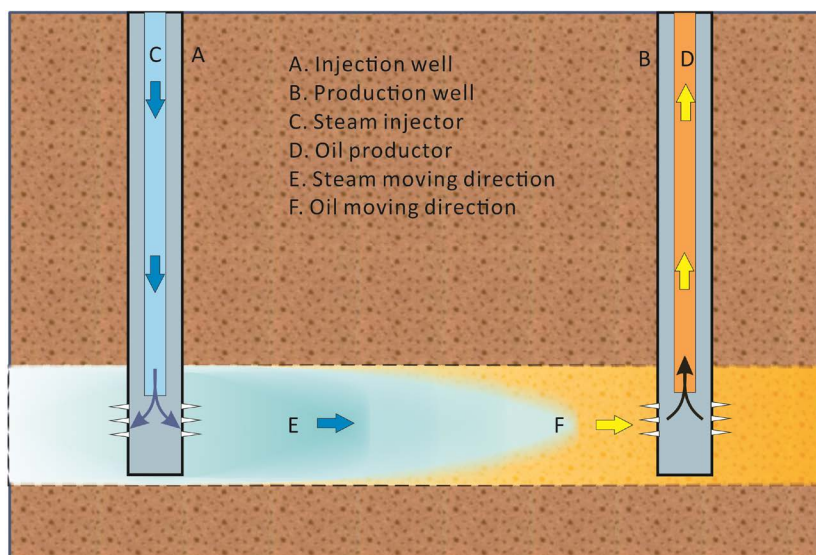


Figure 5. Working principle of steam flooding
图 5. 蒸汽驱的工作流程

但是, 蒸汽驱也存在一些尚未克服的困难, 蒸汽驱也带来了蒸汽超覆、窜流与粘性指进等问题。对此, 中国油田采用氮气、二氧化碳、烟道气等非烃气体辅助蒸汽进行驱替, 在改善这些缺陷的同时, 做到了对热蒸汽的大量节省。辽河油田历经 10 年中深层油藏蒸汽驱的开发实践, 完成了从蒸汽驱物理模拟、跟踪调控到注采工艺技术的巨大进步。目前, 辽河油田蒸汽驱实施储量可达 5000 万吨, 开发应用潜力巨大[6]。

3.3. 蒸汽辅助重力泄油技术(SAGD)

目前, 中国正在推广使用蒸汽辅助重力泄油技术(SAGD), 中国“十三五”规划期间, 中国将投入大量资金用于推广 SAGD 技术的使用。中国能源局预测: 到 2020 年, 国内使用 SAGD 技术将提高稠油采收率 10 个百分点。

SAGD 主要用于超稠油的开采, 其原理如图 6。SAGD 是一种行之有效的技术方法。2017 年, 我国在新疆油田建造了第一口超稠油井 FHW102, 日产量为 135 吨/天, 并连续 57 天保持产量超过 100 吨/天。截至 2017 年 12 月, 新疆油田 SAGD 处理的 169 口井群, 平均产量为 14.7 吨/天[7]。

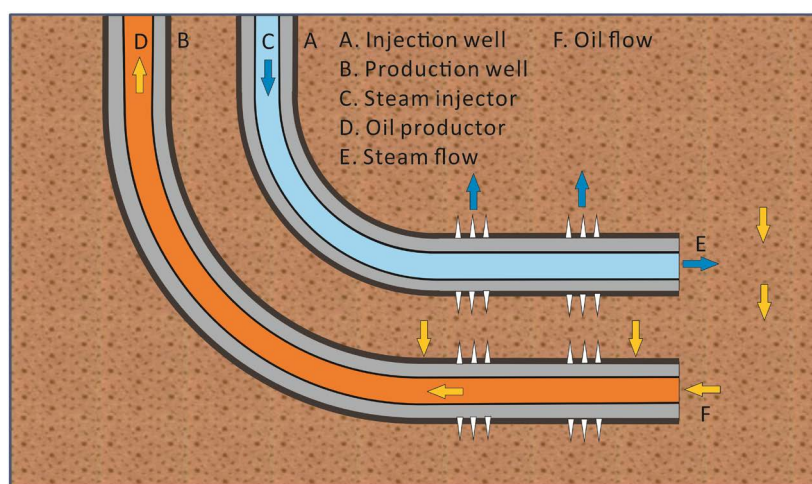


Figure 6. Working process of dual horizontal wells SAGD

图 6. 双水平井 SAGD 的工作过程

蒸汽辅助重力泄油与水平井技术相结合被认为是近 10 年来所建立的最著名的油藏工程理论。如今辽河油田和新疆油田分别在中深层超稠油 SAGD 技术和浅层稠油双水平井 SAGD 技术应用上遥遥领先。辽河油田 SAGD 技术经历了从 1997 年的开发先导试验, 到 2005 年进一步扩大实验, 再到如今 SAGD 取得成功并得以推广使用, 已经形成了热采三维物理模拟技术、SAGD 油藏工程优化设计技术、SAGD 跟踪动态调控技术、SAGD 大排量举升工艺技术等系列技术[8]。

3.4. 火驱技术

火驱技术(又称为火烧油层)是最早开展的热采技术之一, 它通过注气井向地层连续注入空气并点燃油层, 实现层内燃烧, 从而将地层原油从注气井推向生产井。2003 年, 中石化首个重大火驱试验——胜利油田郑 405 块火驱先导试验点火成功。2009 年, 中石油进行了首个火驱重大开发试验——新疆红浅 1 井区火驱试验点火成功该井火驱试验后的开发效果良好, 截至 2016 年, 该井累计产油 9.04 万吨, 采出程度达到 21%, 并预计可以提高采收率 36.2%, 最终采收率达到 65.1%, 原油降黏率达到 79.5%。

目前, 中国尝试将火驱技术与水平井进行结合来开发稠油, 对从“脚趾到脚跟”的水平井火驱技术

(THAI)的深入研究,提出了水平井火驱辅助重力泄油的概念,如图7所示。其理论上可以使采收率达到55%以上,并可以使空气油比控制在 $2000\text{ m}^3/\text{m}^3$ 以内,实现超稠油低成本开发[9]。

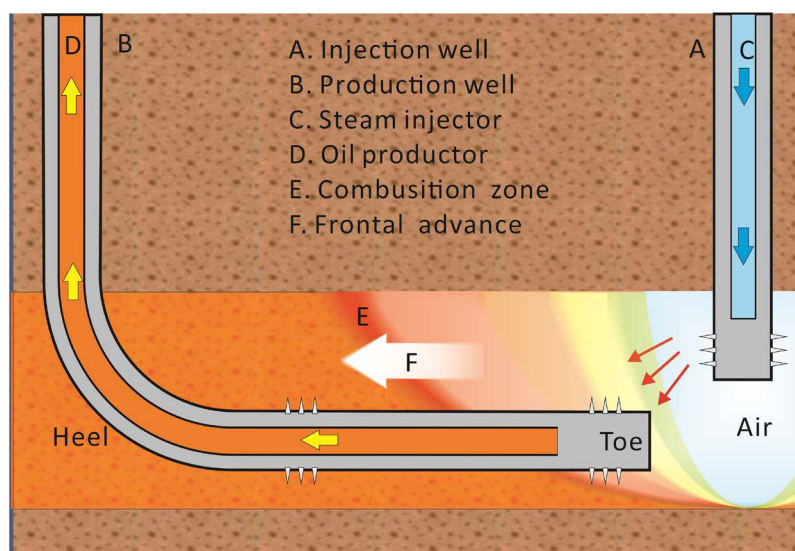


Figure 7. Working process of fire flooding
图7. 火驱技术的工作过程

3.5. 冷采技术

出砂开采技术依靠出砂形成高渗透性“蚯蚓洞”网络以及高稳定性泡沫流来实现稠油高产。河南油田G4906井是中国首口出砂冷采井,其日产量峰值高达60吨/天,一般为16~30吨/天,是常规试油产量的8倍,是同区块蒸汽吞吐井G4901产量的4倍。目前,中国冷采射孔参数已经控制在孔眼直径30mm、射孔密度40~50孔/米左右,并规模性使用双金属高转速螺杆泵,可以在地下形成稳定的泡沫流,激励出砂,提高携砂能力,使油层不断出砂,中国螺杆泵技术经历了从单金属螺杆泵到双金属螺杆泵的进步过程,目前国内各大油田普遍适用双金属螺杆泵来进行举升,使用效果良好[10]。

4. 结论

2017年,美国在页岩革命之后,研发出稠油低成本开发新技术——S-BTF (baric-thermal flow)。这项技术可以使一口井的产量从每天只有几加仑增加到了十几桶,产量增加近14倍,相当于可将每口井盈亏平衡降到20美元/桶以下。中国稠油开发面临机遇与挑战,国内常规油气资源开发乏力,稀油供不应求,中国应该着力追求重质油低成本高效开发技术。

中国在第十三个五年计划期间,将稠油低成本高效开发技术划为重点研究项目,将投入大量资金与人力推动技术研究的进步。结合国内外超稠油开发现状与追求稠油低成本高效开发的愿望,编者给出了以下几条建议以供参考:

- 1) 研发原位改质技术。该项技术起源于页岩气,却可以用于稠油原位改质降粘,其关键在于原位转化烃类组成。考虑加氢、转化重油、催化裂解等改质方法来促进稠油原位降粘,实现稠油高效开发。
- 2) 推进SAGD超稠油开发技术应用与优化。加大SAGD技术的投入使用,优化SAGD开发方式,如双水平井、直井-水平井、U型井、J型井等。
- 3) 提升火驱技术开发试验效果。优化点火、助剂、注气工艺、燃烧模式等辅助技术,重点考虑水平井火驱技术的研发与应用。

- 4) 优化蒸汽吞吐、蒸汽驱开发。节能与降成本是蒸汽吞吐与蒸汽驱优化的主要方向。
- 5) 创新稠油开发技术，比如微生物降粘技术、电磁加热技术等。

参考文献

- [1] 郭威, 潘继平. “十三五”全国油气资源勘查开采规划执行情况中期评估与展望[J]. 天然气工业, 2019, 39(4): 111-118.
- [2] 刘一波. 稠油出砂冷采关键技术分析[J]. 石化技术, 2016(1): 34.
- [3] 吕哲. 国内外稠油开发现状及稠油开发技术发展趋势[J]. 中国化工贸易, 2014(23): 174.
- [4] 任芳祥, 孙洪军. 辽河油田勘探开发实践[J]. 特种油气藏, 2012, 19(1): 2-8.
- [5] 孙晓娜, 李兆敏, 李松岩, 杨阳. SAGD 过程中注入烟道气和溶剂对降低稠油的表面张力作用[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2015, 46(1): 324-331.
- [6] 王磊. 辽河油田 SAGD 浅层大井眼钻完井关键技术研究与应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019(17): 245-246.
- [7] 王元基, 何江川, 廖广志, 王正茂. 国内火驱技术发展历程与应用前景[J]. 石油学报, 2012, 33(5): 909-914.
- [8] 席长丰, 齐宗耀, 张运军. 稠油油藏蒸汽驱后期 CO₂ 辅助蒸汽驱技术[J]. 石油勘探与开发, 2019, 46(1): 1-9.
- [9] 张怀文, 周江. 蒸汽吞吐开采方法[J]. 新疆石油科技, 2011(3): 78-80.
- [10] 郑民, 李建忠, 吴晓智. 我国主要含油气盆地油气资源潜力及未来重点勘探领域[J]. 地球科学, 2018, 44(3): 834-847.