

## \* 学科发展 \*

## 石油强化开采中的重大科学技术问题

俞稼镛<sup>\*</sup>

(感光化学研究所 北京 100101)

**摘要** 论述了发展石油强化开采技术的战略意义, 强化采油研究的现状、发展趋势及有关的重大科学问题, 提出了该研究领域的发展建议。

**关键词** 强化采油, 三次采油、化学驱油, 稠油开采, 微生物开采

## 1 社会经济价值和科学意义

石油在全球各种能源总产量中占首位。我国现行的能源结构是煤、石油、天然气、水电、核电等并举。但石油在各种能源中有特殊地位, 它具有热值高、便于储存和运输等优点。由石油加工成的优质能源, 广泛用于交通工具和武器装备, 是重要的战略物资, 对国家的经济和国防有重大影响。因此, 世界各强国都争相控制石油资源, 并十分重视石油开采科技的发展。

我国不能全靠进口石油, 国内外专家预测几年之后石油的供需矛盾将加剧, 油价会逐渐上涨, 2010 年前后, 世界石油将形成供不应求的局面; 今后石油矿藏的勘探主要集中在深海、高山、沙漠或冰封之地; 今后除利用高新勘探技术进一步探明石油储量之外, 发展三次采油方法, 充分利用石油资源, 将注水开采后尚剩余的 65% 左右的石油储量进一步开采利用, 是科技工作者面临的重大科学问题。

我国主力油田石油实现稳产高产的主要途径是强化采油(Enhanced Oil Recovery)。用常规开采技术, 即以地层天然能量为驱动力的“一次采油”和以注水为驱动力的“二次采油”技术只能采出占储量 1/3 的原油, 剩余的 2/3 左右的原油有待用三次采油(即强化采油)的方法来进行开采。

我国石油生产形势严峻, 主力油田产量呈下降趋势。若此趋势长期得不到遏制, 则将危及我国经济的持续增长和国防安全。故强化采油技术既有现实需求又具战略意义。

如果全国油田通过强化采油采收率提高 1%, 则可增加产值 1 500 亿元左右; 强化采油技术的应用还可节约大量的勘探费用。

强化采油技术在全国各油田的推广应用对充分利用石油资源和发挥现有开采设备的效益有重大作用, 发展强化采油技术不但可实现国内石油稳产高产, 还可提供技术出口, 打入世界

\* 中国科学院院士, 国家攀登(B)计划《复合驱强化采油中重大基础性研究》项目首席科学家  
收稿日期: 1999 年 8 月 9 日

采油技术市场。

强化采油技术的发展,还将有力地带动物理化学、化学工程学、渗流力学、油藏地质学、微生物学、计算数学等相关基础学科前沿领域的发展。

## 2 发展概况

强化采油方法主要有化学驱、气驱和热力驱三大类。化学驱包括碱水驱、表面活性剂驱、聚合物驱以及由它们集成的复合驱新技术。气驱包括混相、非混相、注干气、湿气、 $\text{CO}_2$  气、氮气和烟道气等;热力驱包括蒸汽吞吐、蒸汽驱、热水驱和层内燃烧。此外还探索开展微生物采油;稠油开采新技术,如:水平井蒸汽辅助重力泄油、稠油出砂冷采等技术;聚合物弱凝胶或分散凝胶堵水、调剖和驱油相结合的工艺以及探索超声波、电火花震动波、射频电磁、“层内爆炸”采油方法以及油层中力学-物理-化学耦合效应对强化采油的影响。

三次采油化学驱技术的研究,已走过了近 80 年历程。碱驱研究开展得最早,由于基础研究开展得不够,现场试验屡遭失败,又由于碱耗和可操作浓度范围过窄未形成规模生产能力。聚合物驱对我国油藏物化环境有较强的适应性,经多年研究,矿场试验取得了全面成功,至今该技术已基本完善配套,在机理研究方面也取得了重要进展,它将成为 21 世纪我国油田开发的支柱技术之一。表面活性剂驱,虽有大量的基础研究工作的支持,但矿场试验表明,经济上难以过关。80 年代中期,从化学驱中脱颖而出的复合驱技术(碱/表面活性剂/聚合物的复合),利用不同化学剂的协同效应(或称超加合作用)为进一步大幅度提高采收率走出了新路子。

从我国的油藏和资源特点出发,三次采油是我国强化采油的主要发展方向,经 20 年左右的基础、应用和开发研究,该项技术获得了突破性的进展。三次采油技术的进步对我国原油生产和百万以上人口石油城的经济繁荣与发展将产生重大影响。强化采油技术发展对基础研究提出了更高的要求,同时也为有关学科领域的发展提供了广阔的天地。

20 年来,在国家有关部门的支持下,我国在强化采油科技方面已形成一支老、中、青相结合的基础研究队伍,为强化采油科学技术的不断创新打下了基础。

## 3 发展趋势和若干重大科学技术问题

随着 21 世纪的临近,社会的可持续发展及其涉及的环境与资源等方面的问题愈来愈成为国际社会关注的焦点,并被提到发展战略的高度。深入了解油藏物理化学环境,建立科学的评价化学剂性能标准方法,使强化采油由宏观和介观研究转入微观研究,才能使强化采油技术向纵深发展。我国油田经多年的注水开采,高含水油藏仍是产油的主力层,应将其作为研究的主要对象,并重视以下科学问题:储层表征、输运动力学过程、界面科学问题、物理场的作用与化学驱的结合问题以及颗粒材料的利用等。要多学科集成创新,学科间要进行广泛的交流与合作。

研究与实践表明,强化采油工业实践的风险性来自两个方面,一是对强化采油的油藏地质认识不足,二是对强化采油过程认识不足。油藏是一个从十分之一微米到几百微米直径孔隙组成的庞大的“反应器”,其中会发生各种物理化学过程以及不同流体的运移。油藏物化环境是不

断发展的一个研究领域,前人总结了五个要素,即:油藏原油的化学组分,油藏温度,油藏的矿化水化学组成,油藏岩性,油藏岩石的化学组成。渗流是研究通过多孔介质的流体的流动,化学流体的流动也有自身的规律,化学流体力学的发展对强化采油中多相复杂流体的研究十分重要。

对于强化采油的研究对象,要从不同层次和不同尺度进行研究,注意不同范畴之内和范畴之间的研究。前人把强化采油分为注入流体化学、油藏组分化学与油藏工程学三个主要的研究领域,在上述研究中应注意不断引入现代各学科的成果,才能使三次采油技术研究在宏观、介观和微观的各层次上得到发展。

注入流体化学不是简单的化学问题,而是多学科交叉研究领域。强化采油中不仅仅化学驱中存在化学问题,在低渗透和稠油的开采中也存在化学问题。

在强化采油基础研究中,各类大型仪器如:波谱学研究装置、瞬态研究装置、微观渗流模拟实验装置、核磁共振成像等研究装置,以及油藏工程基础研究中的实验技术和物模方法的建立,发挥着重要作用。

技术的发展对学科的发展会起到重要的推动作用,如石油工程从钻井工程和采油工程发展到油藏工程,在强化采油中也逐步形成了渗流地质、物化渗流、油藏化学及工程学等新的研究领域。

科学问题需要模型化思维,强化采油研究也是一样,以油藏物理化学环境为背景,模型化研究为桥梁,以解决油藏和驱油体系这一对“矛”和“盾”的相互作用问题。驱油体系与油藏物化环境的相互作用、驱油体系中组分分子设计和各组分协同效应、物化渗流、油藏精细描述和数学模拟等,是需要多学科交叉的主要研究内容。

目前在石油强化开采中需要进一步研究解决的科学技术问题如下:

(1) 深入研究油藏物化环境与驱油体系相互作用的微观机理,提出适合于不同类型油藏的强化采油新技术和新方法。

(2) 探索驱油体系组分分子结构与性能的关系以及驱油剂超分子结构对界面性质的影响,为寻找廉价高效驱油剂提供新的思路与合成方法。

(3) 加强油藏精细描述,通过研究提出储层和剩余油分布的新的描述方法。

(4) 发展物化渗流,加深对多相复杂渗流规律的认识。

(5) 注意发展油藏化学和油藏化学工程学,研究油藏环境中发生的传递现象和化学反应及其影响油藏动态的原理与规律。

(6) 驱油机理的研究如:化学复合驱油、复杂结构井的开采、流固耦合渗流机理、稠油开采蒸汽驱、微生物采油、气驱和火烧油层等基础研究。

(7) 发展大规模高精度快速油藏模拟器和油藏开采动态可视化基础研究。

(8) 环境保护方面,主要研究治理环境污染,降低或消除有害物质排放的廉价方法。

## 4 几点建议

石油强化开采研究是一项对国民经济持续发展有重大影响的研究领域。若按常规的石油开采方法,只能采出储量的  $1/3$ ,则我国石油现有储量仅能开采 20 年左右。而强化采油则可开

采储量的 65%, 国内外有关专家预计, 采用和发展强化采油技术, 再加上应用高新技术不断勘探出新的储量, 我国的石油在 21 世纪是开采不尽的。因此, 今后可采储量的计算, 不能只考虑常规的石油开采方法(即一次和二次采油), 而应充分考虑强化采油技术这一可大大增加可采储量的因素。

石油是关系国家安全的战略物资, 是综合国力的重要体现, 建议国家对强化采油科技发展给予政策上的支持。

强化采油, 特别是能大幅度提高采收率的化学驱油技术的采油机理比较复杂, 必须加强强化采油的基础研究, 以减少工业化过程的风险性。从研究领域看, 化学驱油是多学科交叉的新技术, 建议在中国科学院知识创新工程试点项目和国家重点基础研究规划项目中给予立项支持。

为使强化采油技术迅速发展和应用, 跨部门的结合是一个重要措施。建议中国科学院与石油部门共建工程研究中心, 以形成知识创新和技术创新的优势, 在科研成果的产业化方面迈出新的一步。

### 参考文献

- 1 Shah D O. Proc. of Symp. on Surface Phenomena in Enhanced Oil Recovery, Organized as Part of the Third International Conference on Surface and Colloid Science, Stockholm, Sweden, 1979, 10.
- 2 俞稼镛. 油藏化学工程研究的发展趋势. 化学进展, 1999, 7(3): 193– 200.
- 3 俞稼镛. 复合驱强化采油技术中重大基础研究. 基础研究, 1999, 7(3): 3– 5.