

· 油气开发总论 ·

提高采收率研究的现状及近期发展方向

杨普华

(中国石油天然气集团公司石油勘探开发科学研究院)

摘要 介绍了国外提高油气采收率(EOR)方法的应用现状、应用规模、增油量及其在总产量中的比例;介绍了美国能源部支持的三次采油基础研究情况;分析了 EOR 方法与油价的关系;分析了我国在聚合物驱、复合驱、注气、微生物采油等方面的技术状况和应用规模,对近期的发展思路提出了建议。

主题词 提高采收率 方法 研究 分析

1 国外提高采收率技术现状

据 1998 年美国《油气杂志》(*Oil & Gas Journal* Apr 20, 1998)资料,在 1998 年初,全世界来自提高采收率(EOR)和重油项目的石油产量大约为 2.3×10^6 b/d,比 1996 年初的 2.2×10^6 b/d稍有增长,这个数量相当于世界石油产量的 3.5%。美国 EOR 产量比两年前增加 5%,达到 760000 b/d,为美国石油年产量的 12%。其他各国的 EOR 和重油产量为:加拿大,400000 b/d;中国,280000 b/d;前苏联,200000 b/d;其他国家,700000 b/d。

1.1 热采

热采(蒸汽、地下燃烧)仍是最主要的方法。美国 EOR 产量中约 60% 来自热采,其他绝大多数来自注气(轻烃、二氧化碳和氮气)。化学驱主要在我国得到发展,其他国家基本处于停滞状态。热采,尽管实施的项目数有所减少,但自 1986 年以来产量一直保持稳定,在 EOR 产量中始终保持在 60% 以上。

1.2 注二氧化碳

近年来,在低油价下,各种提高采收率方法实施的项目都在减少,只有二氧化碳混相驱项目一直在稳定增加(见图 1)。一方面是由于美国有十分丰富的天然二氧化碳气源,并在高油价下已修好了三条输送二氧化碳的管道,可以把二氧化碳从产地直接输送到二氧化碳的用地 Texas 州;另一方面,二氧化碳驱的技术得到很快的发展,其成本大幅下降,使一些较小的项目也有利可图,从而促进了二氧化碳驱

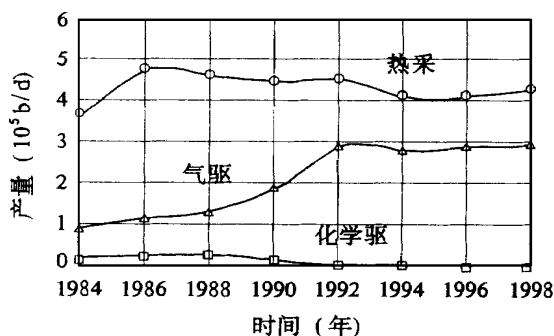


图 1 美国 EOR 产量

收稿日期: 1999-07-01 改回日期: 1999-08-23

杨普华, 教授级高工, 博导, 享受政府特殊津贴, 长期从事石油层物理和提高采收率科研工作, 石油勘探开发科学研究院副总工程师兼采收率研究所所长。

的发展。目前二氧化碳驱项目的成本已从 1985 年的每桶 18.20 美元降到 1995 年的每桶 10.25 美元。随着二氧化碳价格的下降,二氧化碳注入量有所增加,提高采收率的幅度增大。二氧化碳驱的项目一般可提高采收率 8%~15% (地质储量),生产寿命 15~20 年。二氧化碳驱主要集中在西 Texas 州的二迭盆地,这主要是由于该地区的石灰岩和白云岩特别适合于二氧化碳驱,它又靠近几个主要天然二氧化碳的产地。

1.3 化学驱

化学驱自 1986 年以来一直呈下降趋势,特别是表面活性剂驱几乎停止。但应用聚合物调剖仍有很大的发展。在美国已把调剖和聚合物驱、钻加密井、水平井等列为改进的二次采油 (A SR),也属于提高采收率的范围。特别是深度调剖,在一定条件下它可以代替聚合物驱,或与聚合物驱结合,使聚合物驱获得更大成效。它与聚合物驱相比,具有化学剂用量较少、投资回收快等特点。其中新的深度调剖体系 (如胶态分散凝胶 CDG) 近几年受到普遍重视。

前苏联提高采收率以化学驱方法为主,但其化学驱的概念与我们或西方有所不同,他们把活性剂增产增注都归入化学驱提高采收率的范围。在我们的概念中,化学驱主要以聚合物驱和注碱水为主,另外注稀表面活性剂体系、注硫酸等也有很多项目。但从正在进行的项目看,注表面活性剂的项目近年来明显减少。尽管化学驱的项目远远多于热采,但其累积产量却与热采相差不多。在前苏联和俄罗斯,气驱所占比重很小,主要是由于缺乏天然二氧化碳气源。

2 美国能源部支持三次采油的基础研究

尽管三次采油在美国发展比较缓慢,但美国能源部对其基础研究仍十分重视,研究项目的 80% 资金由能源部提供。1999 年能源部资助的主要研究领域为:

(1) 通过诊断和图象系统研究油藏岩石性质和岩石、流体相互作用对采油过程的影响。其中包括:应用 X 射线层析和核磁共振成像或其他技术在孔隙级别上研究岩石、流体及它们的相互作用,以帮助确定其对采油过程的影响;研究流体在岩石表面上的粘附或吸附趋势,即润湿性和渗吸对流体通过岩石流动速度的影响;在不同油藏条件下影响原油、水、气通过孔隙介质流动速度的物理化学因素研究,并如何应用这些结果提高采收率等。

(2) 开发或改善经济有效的采油方法。在气驱方面,主要是研究如何提高二氧化碳的波及效率以及如何在低于最小混相压力下提高气驱的效果 (即近混相驱);在化学驱方面主要是开发廉价的表面活性剂和聚合物;微生物驱方面则研究廉价的可产生表面活性剂、气体或聚合物的细菌;在重油开采方面主要研究可改善注蒸汽波及效率的高温泡沫,开发新的热采方法以及把这些方法与水平井结合起来;在油藏模拟方面,主要是开发可在大型计算机系统、台式计算机或工作站都能预测油田动态的模拟器,以便让较小的石油生产者也能应用。

(3) 探索烃类沉积系统的模拟方法和建立风险评价技术,开发便宜的可用于台式计算机或工作站的软件,研究新的算法以降低对硬件的要求。

(4) 环保研究。主要是研究如何降低环境污染,开发由于钻井、生产、管道作业造成土壤污染的诊断模型;研究油气勘探开发作业过程对空气质量的影响,研究和开发降低有害物质排放的廉价方法,发展油气废物的应用技术,其中包括如何减少废物,以及对废物的取样、表征和处理方法等。

3 美国对提高采收率方法与油价的关系研究及发展趋势

由于三次采油的机理十分复杂, 并有投资大、成本高、风险大等特点, 因此各国对提高采收率方法的潜力分析工作都十分重视。美国在 1976 年、1984 年曾两次由美国国家石油委员会 (NPC) 组织上百名专家对美国各油田进行了潜力分析和预测, 为美国能源部发展能源工业提供了科学依据。1993 年又第三次进行了潜力评价, 分析了提高采收率方法的应用规模与油价的关系。从分析可以看出以下几点:

(1) 在目前低油价下提高波及效率的先进二次采油 (ASR) 方法, 如加密井网、聚合物驱和调剖等措施仍是主要的提高采收率方法。

(2) 提高波及效率的 ASR 方法在所研究的油价范围内, 受油价影响不大, 其中只有钻加密井与油价有一定关系, 聚合物驱和调剖几乎不受油价太大影响 (见图 2)。

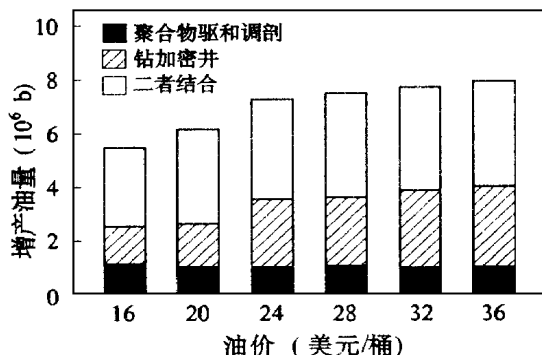


图2 现有先进二次采油应用规模与油价关系

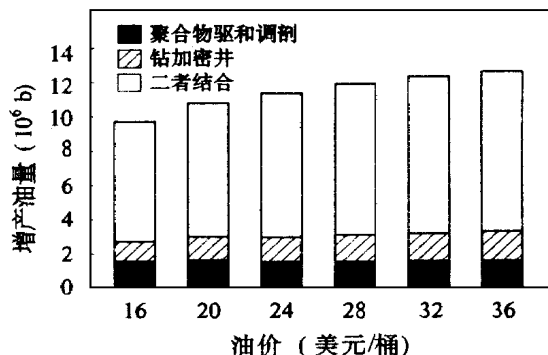


图3 发展后的二次采油应用规模与油价的关系

(3) 聚合物驱和调剖, 如技术进一步提高, 在一定程度上可能会代替钻加密井, 钻加密井将主要用于带有遮挡的不连通地层 (见图 3)。

(4) 混相驱在技术上比较成熟, 其应用潜力主要依靠油价。二氧化碳混相驱在一定的油价 (大于每桶 20 美元) 下会有一定的发展; 在油价高于每桶 24 美元以后与油价关系不大; 在低于每桶 20 美元时, 二氧化碳混相驱也会萎缩, 见图 4。

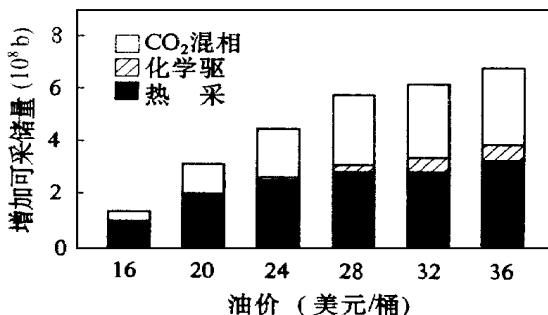


图4 现有的三次采油技术应用规模与油价的关系

(5) 在油价大于每桶 24 美元时, 热采受油价影响不显著。但热采技术发展的潜力很大, 其技术能否发展还要看油价。

(6) 化学驱, 其中包括复合驱在内目前应用的可能性很小。一方面其成本太高, 必须在高油价下 (大于每桶 28 美元) 才能使用, 但其所占份额也十分小; 另一方面其技术尚未成熟, 风险比较大, 还需在技术上进一步提高。因此化学驱 (不包括聚合物驱) 的应用依赖于技术的进步和高的油价 (见图 5)。

4 我国提高采收率的情况

通过“七五”、“八五”和“九五”的重点项目的攻关,使我国提高采收率技术有了飞速的发展。尤其是经过对中国注水开发油田提高采收率的潜力分析,对今后我国三次采油的发展方向更加明确了。针对我国大多数油田是陆相沉积的特点,经过石油系统各单位,以及科学院、高等院校的共同努力,在化学驱的某些领域已达到国际先进水平。蒸汽吞吐、蒸汽驱等热采方法已在我国石油生产中占有相当大的比重。近几年来,在注气混相驱和非混相驱、二氧化碳吞吐,以及微生物采油方面都有长足的进步。

(1) 聚合物驱油已形成完整的配套技术,矿场试验获得全面成功,已开始大规模应用

我国油田大多数属于陆相沉积地层,油层非均质性比较严重,渗透率变异系数大多在 0.65 以上,而且原油粘度较高,90% 以上的地质储量的原油粘度大于 $5\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。因此聚合物驱是我国近年来提高采收率研究的主攻方向。经过“七五”、“八五”国家重点项目攻关,我国在聚合物驱油方面已逐步完善和形成了较为完整的配套技术,经过认真的先导性试验和几个大型的工业性试验,聚合物驱在大庆油田已工业性推广。到 1998 年 6 月底,聚合物驱工业性推广应用区块已有 7 个,总面积 69.49km^2 ,地质储量 $14181 \times 10^4\text{t}$,共有采油井 650 口,注入井 568 口。目前已达到月增油 $34.2 \times 10^4\text{t}$ 的水平,预计 1999 年由聚合物驱可增油 $450 \times 10^4\text{t}$ 以上。

(2) 复合驱油技术获得重大突破,先导性试验获得成功

通过“八五”攻关,在复合驱油机理、数值模拟等方面取得重大突破,有些成果已达到国际先进水平。在水驱后剩余油分布、矿场注入体系研制、矿场试验方案设计及动态监测、地面注入工艺等方面都取得很大进展,表面活性剂国产化的工作也取得较大的突破。

到目前为止,我国已进行了四个三元复合驱小井距先导性试验和两个正常井距的工业性试验,还有一个二元复合驱先导性试验。这些试验都取得了令人满意的结果,可提高采收率 15% ~ 20%。当然也暴露了一些生产问题,为今后技术的发展提出了新的研究课题。

(3) 注气混相驱和非混相驱仍处于试验探索阶段,与国外相比有较大差距

由于我国东部地区原油粘度比较高,地质储量中绝大部分原油粘度在 $5\text{mPa}\cdot\text{s}$ 以上,很难达到混相,并且由于二氧化碳天然资源贫乏,东部天然气供不应求,注气混相驱一直不够重视。只在近几年,随着西部油田的开发,注气混相驱和非混相驱才提到议事日程,并列入“九五”攻关项目。吐哈油区的葡北油田注气混相驱矿场试验已经启动,无疑它将大大推动我国混相驱提高采收率技术的快速发展。但总的来讲,由于我们混相驱研究开始比较晚,与国外相比还有很大差距,需进一步加快二氧化碳天然资源的勘探,使注气混相驱和非混相驱技术有较快的发展,成为一种可行的提高采收率方法。

(4) 微生物采油技术取得很大进展,是一种很有前途的提高采收率方法

我国经过攻关研究,微生物采油技术取得了很大进展。微生物菌种筛选工作范围进一步扩

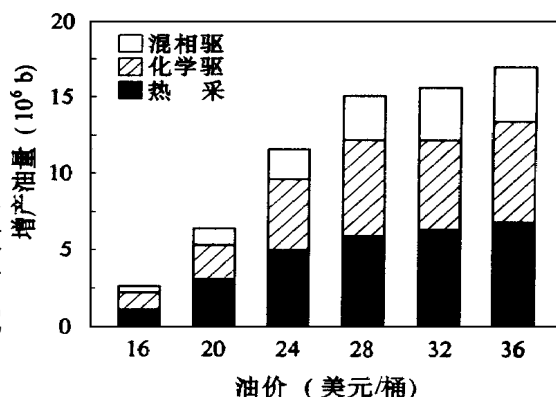


图5 发展后的三次采油技术

大,增加了新菌种。菌种及代谢物评价进入定量化,培养基与改变菌种活性、改善驱油效果研究进一步加深,技术评价手段日趋完善,并走上规范化、程序化。形成了菌种筛选评价、驱油实验评价、油藏筛选、试验方案设计、微生物菌种登录等五个有关技术规程和评价方法。微生物菌种生产规模发展较快,已达到年生产能力 3000t 以上,并已掌握相关技术,具有快速发展能力,满足现场要求。微生物采油是投资少、成本低的提高采收率方法,应加大力度,争取有较大的突破,使其成为继聚合物驱后能大规模应用的方法。

5 对近期我国提高采收率技术发展的建议

(1) 对于类似大庆油田的高含水油田,在目前油价(每桶 15 美元左右)下,应以聚合物驱、可动凝胶(弱凝胶)调驱结合技术为主。同时大力开展高效、廉价表面活性剂研制、三元复合驱机理研究和矿场试验,作为聚合物驱后的接替技术。

(2) 对于西部油田和低渗透油田,应加强对注气混相驱、非混相驱或近混相驱的研究;在有二氧化碳气源的地方,要开展二氧化碳驱矿场试验,缩短我国与西方国家的差距。近来国外开展低温氧化动力学研究,探讨注空气的可能性,这可能为缺乏天然气源的低渗透油田提供新的开采方法。

(3) 对于断块油田或注采系统难于完善的区块,应积极开展复杂结构井的完井及油藏工程研究,其应用前景取决于油藏描述和剩余油分布研究的深度和水平。同时开展如化学剂(包括微生物)吞吐或二氧化碳吞吐试验,这可能是解决注采井网不完善、加密井单井控制储量小以及人工能量补充不足等问题的有效途径。

(4) 应大力加强提高采收率技术的基础研究,探索微生物驱、物理场方法采油等成本低的提高采收率方法。

本文编辑 闵家华