



SPE/DOE

NINTH SYMPOSIUM ON IMPROVED
OIL RECOVERY

第九次改善石油采收率 会议译文集

下册

刘翔鸮 龙海骧 孙洪林 等译 秦同洛 陈立滇 等校 刘翔鸮 主审



石油工业出版社

内 容 提 要

本书收集了 1994 年 4 月由美国石油工程师学会和美国能源部 (Society of Petroleum Engineers / Department of Energy) 在美国俄克拉何马州塔尔萨召开的第九次改善石油采收率 (IOR) 会议上发表的 11 个方面 97 篇论文。本书分上下两册, 上册主要介绍了裂缝性油藏和海上油藏提高采收率的试验及理论研究; 同时从改善波及效率、油藏管理等方面介绍了提高采收率的方法。下册从聚合物驱、泡沫驱、气体混相驱、剖面调整等方法入手, 介绍了各种提高采收率的新技术。本书的翻译出版对指导我国注水开发油田的稳油控水、提高采收率的工作有一定的借鉴作用。对在油田从事开发采油工程的技术人员来说, 亦是一本具有实用价值的参考书。

DP34/28

图书在版编目 (CIP) 数据

第九次改善石油采收率会议译文集 下册 / 刘翔鹗等译。

北京: 石油工业出版社, 1995.12

ISBN 7-5021-1485-8

I.第…

II.刘…

III.采收率(油气开采), 提高-国际会议-文集

IV.TE357-53

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 48 $\frac{1}{2}$ 印张 1229 千字 印 1—2000

1995 年 12 月北京第 1 版 1995 年 12 月北京第 1 次印刷

定价: 35.00 元

前 言

由美国能源部和石油工程学会组织的第九次改善石油采收率会议 (SPE / DOE NINTH SYMPOSIUM ON IMPROVED OIL RECOVERY) 于 1994 年 4 月 17—20 日在美国俄克拉何马州塔尔萨市举行。参加会议的有美国、英国、法国、德国、中国、日本、挪威等国家的代表和专家 700 多人, 中国石油天然气总公司代表团是由北京石油勘探开发科学研究院总工程师刘翔鹗、大庆油田开发部主任龙海骧和胜利油田地质研究院室主任孙洪林组成的。会议围绕改善石油采收率 (IOR) 这一主题, 针对天然裂缝油藏注水开发、气混相驱、改善波及效率、热力采油、泡沫驱油、水平井开采、聚合物 / 化学驱、调整剖面技术等 14 个专题, 发表了 97 篇论文。

为了借鉴国外改善石油采收率的先进技术和作法, 促进我国注水开发油田中高含水期间开采技术的发展和提高。由刘翔鹗、龙海骧、孙洪林负责组织, 大庆、胜利和石油勘探开发科学研究院有关专家和科技人员对论文集进行了翻译和校审。同时由石油工业出版社出版发行, 以供石油工业各级领导、专家、科研人员及石油大专院校师生学习参考。

本书的出版得到总公司科技发展局、开发生产局和北京石油勘探开发科学研究院沈平平常务副院长, 大庆油田巢华庆总地质师、胡博仲总工程师, 胜利油田宋万超总工程师、颜捷先副总地质师, 以及石油工业出版社张家茂社长的大力支持和帮助, 特致衷心的感谢。

目 录

(SPE / DOE 27778) 改善石油采收率在美国构成了技术进步与资源 废弃间的竞赛	(1)
(SPE / DOE 27779) 丙烯酰胺-聚合物 / 铬 (III) 羧酸盐凝胶的应用及效果	(12)
(SPE / DOE 27780) 深部胶态分散体凝胶改善原油采收率	(27)
(SPE / DOE 27781) 利用税制鼓励提高采收率项目	(42)
(SPE / DOE 27782) 作业环境评价——在论证提高采收率项目可行性中的应用	(48)
(SPE / DOE 27783) 有助于独立经营者的模式化工艺技术转让方案的研究	(57)
(SPE / DOE 27784) 压力对 CO ₂ 泡沫驱的影响——微模型显象研究	(68)
(SPE / DOE 27785) 在 EVGSAU 单元上进行 CO ₂ 泡沫驱检验先导性 试验——表面活性剂动态表征和质量保证	(82)
(SPE / DOE 27786) CO ₂ 泡沫 EVGSAU 验证先导性试验——III B 阶段的 方案实施及动态评论	(93)
(SPE / DOE 27787) CO ₂ 泡沫四次大规模矿场试验的结果	(102)
(SPE / DOE 27788) 二氧化碳泡沫中的气—油膜层及表面活性剂在油中的 传播	(122)
(SPE / DOE 27789) 多维泡沫驱机理预测模型——总量平衡计算方法	(136)
(SPE / DOE 27790) 蒸汽驱岩心试验中泡沫添加剂的热稳定性	(155)
(SPE / DOE 27791) 通过加速量热法筛选可供火烧油层法开采的原油	(164)
(SPE / DOE 27792) Medicine Pole Hills 单元注空气项目实例及评价	(170)
(SPE / DOE 27793) 摩根油田压力循环火烧油层项目的动态	(181)
(SPE / DOE 27794) 水与蒸汽交替注入减缓 Cymric 油田的蒸汽下倾运移	(194)
(SPE / DOE 27795) 小井眼井注蒸汽纵向扩展驱动效应的实例分析	(207)
(SPE / DOE 27796) 蒸汽驱中后期剩余油的组分	(217)
(SPE / DOE 27797) 利用出砂提高流体产量	(229)
(SPE / DOE 27798) EVGSAU 单元二氧化碳泡沫驱油先导性现场验证试验 第 III C 部分——油藏描述及泡沫驱油的效果	(238)
(SPE / DOE 27799) 描述裂缝性油藏的一种新方法在加密钻井中的应用	(254)
(SPE / DOE 27800) 采用随机技术模拟一个非均质性北海油藏的注水开发 策略评价	(269)
(SPE / DOE 27801) 单井化学示踪剂测试过程中 pH 值和反应速度的变化	(282)
(SPE / DOE 27802) 压力取心分析的烃组成和饱和度	(296)
(SPE / DOE 27803) 描述油藏性质的组合算法的应用	(309)
(SPE / DOE 27804) 综合应用低温扫描电镜和核磁共振波谱法研究油和 盐水在砂岩中的分布	(323)
(SPE / DOE 27806) 用水平井改善低渗透薄层稠油油藏蒸汽驱效果	(334)

(SPE / DOE 27807) 水平井 CO ₂ 驱的机理研究	(352)
(SPE / DOE 27809) 阿拉斯加普鲁德霍湾里斯波恩油田进行水平井中 碳酸盐岩地层酸化	(368)
(SPE / DOE 27810) 在现存直井中钻水平段解决受污染浊积岩油藏开采的 可行性	(387)
(SPE / DOE 27772) 一种新型的重力控制稠油油藏聚合物驱开采机理	(398)
(SPE / DOE 27811) 注气混相驱和近混相驱的比较	(413)
(SPE / DOE 27812) 原油蒸发开采的评价	(432)
(SPE / DOE 27813) 过渡带流体的实验测定和模拟	(447)
(SPE / DOE 27814) 非混相气驱条件下水驱残余油采收率的孔隙网络模拟	(459)
(SPE / DOE 27815) 用升泡装置和相态确定最小混相压力	(476)
(SPE / DOE 27816) 什么因素决定着三相流的残余油饱和度	(487)
(SPE / DOE 27817) 重力驱油过程中束缚水对采收率的影响	(503)
(SPE / DOE 27818) Glenn Pool 油田扩大表面活性剂驱的技术概况	(512)
(SPE / DOE 27819) 大庆油田开始将两块注聚合物试验区的成功试验结果 首次在该大型油田上推广	(522)
(SPE / DOE 27820) 加拿大萨斯喀彻温省 Rapdan 油藏的聚合物驱	(533)
(SPE / DOE 27821) 用表面活性剂、聚合物和碱三元复合驱来改善化学 EOR 过程的效率 / 成本比	(542)
(SPE / DOE 27822) 聚合物热分解模式及其在化学方法提高采收率模拟 过程中的应用	(553)
(SPE / DOE 27823) 油藏驱替开发过程中聚合物溶液拉张粘度的效应	(572)
(SPE / DOE 27824) 成功地进行表面活性剂驱的技术和经济条件	(583)
(SPE / DOE 27825) 怀俄明州 Wertz 油田 CO ₂ 三次采油作业中应用凝胶 控制注入剖面的现场实例	(594)
(SPE / DOE 27826) 低毒性交联体系在制备热稳定性凝胶中的应用	(613)
(SPE / DOE 27827) 北 Burbank 区块微生物选择性封堵工艺技术的 应用——先导性试验前的试验和结果	(621)
(SPE / DOE 27828) 用于剖面调整的聚合物凝胶——Cr (III) 交联络合物 在孔隙介质中的传播	(634)
(SPE / DOE 27829) 凝胶可以使水相渗透率比油相渗透率降低更多的原因	(648)
(SPE / DOE 27830) 由盐引发的凝胶——一种新型的堵水剂	(659)
(SPE / DOE 27831) 热沉淀法调剖提高原油采收率	(668)
(SPE / DOE 27832) 关于非均质体系近亚混相气驱组分研究的进展	(678)
(SPE / DOE 27833) 简单非均质孔隙介质中多相流动的标定	(691)
(SPE / DOE 27834) 一种使用流管法预测非均质系统渗流的新技术	(708)
(SPE / DOE 27835) 一种预测多组分水—气交替注入过程中粘性指进的模型	(724)
(SPE / DOE 27836) 周期性蒸汽激产重油和沥青的部分标配的物理模型	(739)
(SPE / DOE 27838) 多组分吸附的新数学模型及其试验验证	(748)

改善石油采收率在美国构成了技术 进步与资源废弃间的竞赛

P. Brashear
Khosrow Biglarbigi

潘国潮 译
唐养吾 校

摘 要

用现行的提高采收率 (EOR) 技术和改进二次采油 (ASR) 技术可从美国的各主要石油油藏中采出大量的剩余油储量。通过做精心组织并妥善集中的研究、开发和示范实验 (RD&D) 计划以及技术转让工作其潜在的采收率还将更大。然而, 如果持续的低油价加上技术进步受到延误, 那么在获得潜在的采收率之前, 相当一部分剩余储量已被废弃了。

本文叙述的是美国州际契约委员会 (IOGCC) 关于研究、开发和示范实验及技术转让对美国未来石油采收率所受影响的研究结果。研究主要获得以下结论: (1) 在常规开采方法结束时, 将有 3500 多亿桶石油残留在美国已知的油藏中; (2) 相当一部分 (35%~45%) 剩余油资源已被废弃, 在垮入下一世纪时, 更大量的剩余油资源面临废弃的危险; (3) 在 16 美元/bbl~20 美元/bbl 的油价下, 广泛采用现有的改善石油采收率技术可开采出高达 $70\sim 90\times 10^8$ bbl 的额外石油储量; (4) 通过采用由针对性研究、开发和示范实验计划获得的技术进步可多生产出 $50\sim 80\times 10^8$ bbl 的额外储量, 在上述油价下, 总的生产潜力为 $120\sim 170\times 10^8$ bbl; (5) 为了充分利用美国巨量的剩余油储量, 有必要在改善采收率方面采取进攻性的和针对性的研究、开发和示范实验研究以及技术转让工作。

引 言

美国石油工业一直处于持续平稳的递减状态。其原油产量和证实储量近年已下降了 15% 以上, 目前已远远低于历史最高记录 (见图 1)。储量的增加一直不足以弥补原油产出量, 除 1968 年在阿拉斯加发现 Prudhoe 湾储量外, 其它新油田平均找到的储量都较少。1979 年以来美国的储量增加值有 50% 以上是靠老油田进一步强化开发获得的。美国国内原油生产面临的前景已使得许多大石油公司将他们的力量投向国外。尽管产量和储量都在下降, 但从美国已知油藏中提高原油采收率仍大有潜力可挖。针对目前面临的形势, 美国州际契约委员会组织了一系列的研究, 以此来评价研究、开发和示范实验及技术转让计划对美国 23 个州石油采收率受到的潜在影响。⁽¹⁾

一、研究方法

美国州际契约委员会在评价研究、开发和示范实验对采油技术的贡献时是根据美国能源部 (DOE) 三次采油信息系统 (TORIS) 中现成的模型和数据库进行的。三次采油信息系统及其分析工具本来是由美国全国石油委员会 (NPC)⁽²⁾ 为评价 1984 年全国提高采收率潜力而开发的。美国能源部在此后通过其 Bartlesville 工程办公室 (BPO) 对上述系统进行了维护和更新。此外, 美国能源部还对该系统的功能进行了升级, 从而通过先进的二次采油 (ASR) 技术对全国未开采的可流动的石油进行评价⁽³⁾。提高采收率和先进的二次采油技

术未来的潜力是基于以下假设和考虑进行调查的:

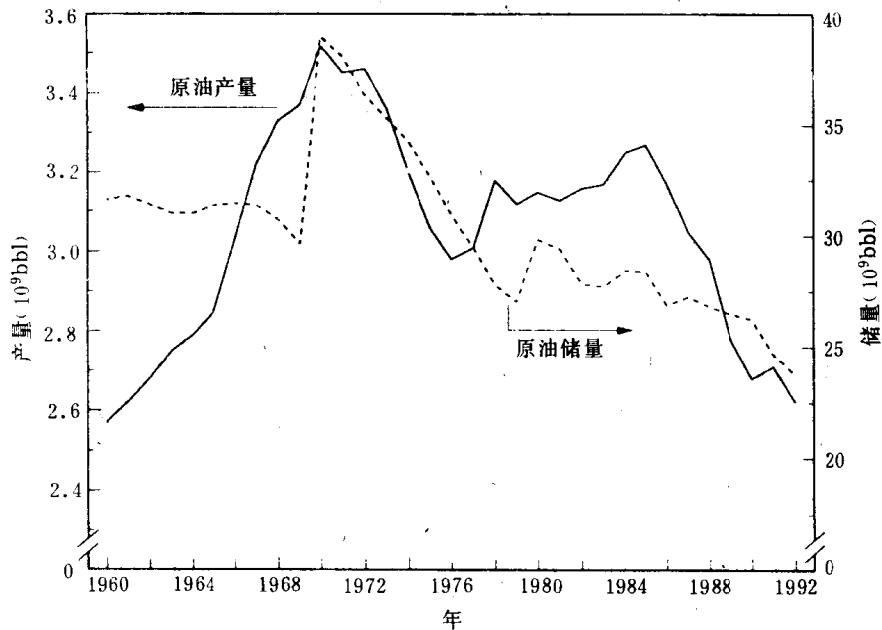


图1 美国原油产量及证实储量 (1960~1992 年)

(1) 分别对 23 个州原始地质储量总计为 3,440 亿桶 (占美国已知原始地质储量总和的 64%) 的 2307 个油藏中每一油藏的提高采收率和先进的二次采油潜力进行了分析。

(2) 这里考虑了两个层次的技术: 已实现的技术——定义为应用现有的超常规技术; 先进技术——定义为通过目前进行的研究、开发和试验工作, 在下十年中很可能出现的工艺性能及适用性方面的改进。

(3) 本分析中预计储量增量大于靠一、二次采油所能获得的采油量。本文述及的所有经济效益代表的是直接与储量增量有关的效益值。没有考虑间接的或复合效应。

(4) 对于每一技术层次, 获益计算依据的油价是 16~36 美元/bbl (1991 年美元值), 油价增量为 4 美元/bbl。

(5) 所有经济分析反映的是 23 个被分析州中每一个州目前的联邦税收体制和特定原油生产及所得税情况。本分析中除了设有奖励政策州的特定提高采收率和先进二次采油技术的税收奖励政策外, 还包括了 1991 年联邦提高采收率减免税政策。

(6) 所有开采潜力只限于评价未来工程项目, 并不包括从现有的提高采收率工程项目中获得的储量。然而, 如果技术经济可行, 现有工程的扩展也作为未来工程的一部分来评价。

采用三次采油信息系统使得对数据库中油藏的评价按始终一致的方法和逐个的进行。然后将每一油藏分析结果累计成各州及全美国的总和。

二、剩余油资源

用常规开采石油方法开采结束时, 美国现已发现的原油储量将有近三分之二残留在油藏中, 美国的探明原始地质储量估计为 5330 亿桶 (图 2)。至 1991 年, 已采出 1570 多亿桶, 有近 250 亿桶探明储量在现有经济条件下用现有技术仍可以开采出来。有 3510 亿桶已知剩

余油资源构成了未来开采的巨大目标。在美国未采出的原油分为两类：可流动原油和不可流动原油。尽管可流动原油可以用注水驱替，但在常规一次采油或水驱过程中未被波及或绕流，因此仍然未能采出。不可流动原油在受粘性力和毛管力的作用下被捕集在油藏孔隙中，也不能靠水驱采出。

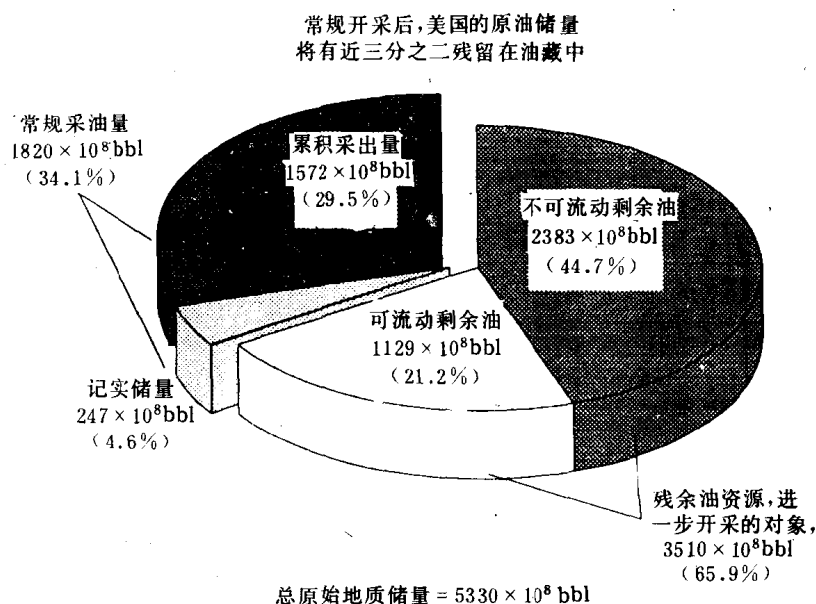


图2 美国探明石油储量

预计美国未采出的可流动原油 (UMO) 资源量为 1130 亿桶。这类原油是未来改善采收率工作的一个重要目标。已有数个提高一次及二次采收率工艺 (加密井网、调剖及聚合物驱), 统称为改进二次采油 (ASR) 技术可采出上述资源中的相当大的部分。这些工艺技术成本相对较低并且在避免油井或油藏废弃过程中能迅速提高产量。它们尽管已被某些经营者用在选定的油藏中, 但继续进行研究、开发和示范实验 (RD&D) 及开展进攻性的技术转换对于使上述技术得以改进、革新并应用于特定的油藏条件、扩大它们的应用范围是非常必要的。

美国拥有的 2380 亿桶不可流动原油则是一些其它采收率技术的应用对象。以开采不可流动原油为目标的气体混相、化学及热采工艺技术称之为提高采收率技术 (EOR)。虽然这些技术通常比常规采油技术需要更高的成本和作业费用, 但是它们能获得大量的增产油量, 获取巨大的经济效益。只要采用针对性的、经精细研究的方法为现场应用作好工艺上的改进, 可以预见: 提高采收率技术将会有更进一步的改进。

三、面临废弃的威胁

尽管适用于提高采收率技术和改进二次采油技术开采的资源量很大, 但并不是无限的。处于开采后期的资源已使枯竭井和低产井数增加。低产井生产量占总生产量的百分比及低产井的废弃已处于或接近历史最高记录。持续低油价加上严厉的环境保护政策使得处于经济临界点的生产井面临更大的压力并加速了生产井的废弃。

至 1991 年底, 美国已有 35%~45% 石油剩余地质储量 (ROIP) 被废弃。如果油价继

续维持在 16 美元/桶~20 美元/桶, 到 2000 年将有 65%~70% 的剩余石油地质储量被废弃 (图 3)^[4]。因此, 现有生产井是提高采收率技术和改进二次采油技术非常重要的利用对象。生产井一旦封堵或废弃, 与这些井连通的石油资源在经济上的获益通道很可能永远失去了。据估计: 一块租地一旦废弃, 则需要油价提高 5~25 美元/桶才能弥补重新租用该地、重建基础设施并重钻获取原有石油资源所需更新井需要的费用^[5]。如此大的经济负担不大可能靠未来提高采收率作业增产获得的收益来弥补。

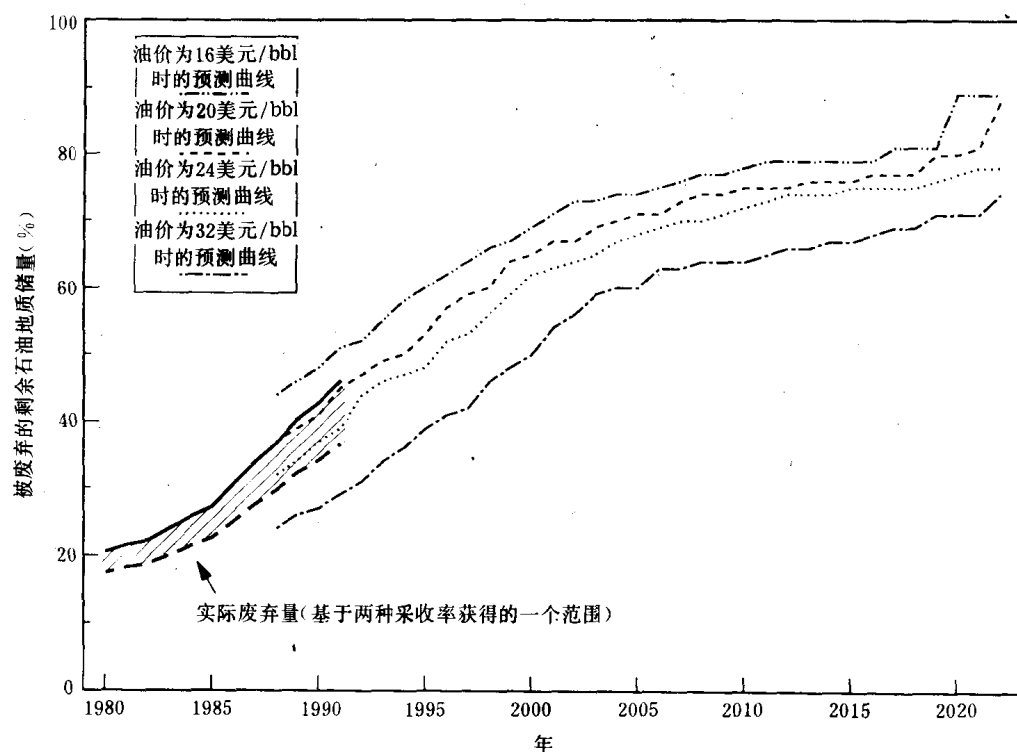


图 3 累积探明残余油资源废弃量

四、面临的挑战: 在废弃之前开发并应用改善采收率技术

低油价和处于开发后期的美国石油资源有必要有一种战略的, 针对性的研究、开发和示范实验方法来开发经济有效的超常规采油技术。在过去几年里随资源废弃程度的加剧, 开发这类技术的迫切性以往从来没有这样大过。有了成功的研究、开发和示范实验 (RD&D) 以及进攻性的技术转换工作, 生产井及油藏的废弃可以得到制止, 同时能为国家获得巨大的利益。

美国未来的原油生产和储量以及整个国家的能源保障在很大程度上依赖于投资有效并且有效开采原油技术的开发和应用上。过去, 技术进步已对美国的原油生产作出了巨大的贡献。勘探新技术、二次采油技术以及海洋钻井技术的发展已起到了扭转以往产量衰减的作用, 并且已使美国能够维持并增加其可开采的油气资源量。目前存在的机遇是: 用一个研究、开发和示范实验与综合的技术转换工作相结合的计划来制止最近产量的下降并在整个国家资源被废弃前获取最大的采收率。

增加储量的潜力以及与改善原油采收率相应的经济利益

一、正在使用的技术

广泛应用现有的提高采收率及改进的二次采油技术可获得超出常规开采技术巨大的储量增量(图4A)。当油价为16美元/bbl~20美元/bbl时,所研究的提高采收率技术(气体混相驱、化学驱和热力驱)可获得12~32亿桶储量增量。当油价比这更高时,潜在的储量增量还会更大;当油价为24美元/bbl~28美元/bbl时,用现有的提高采收率技术可获得46~60亿桶的储量增量。

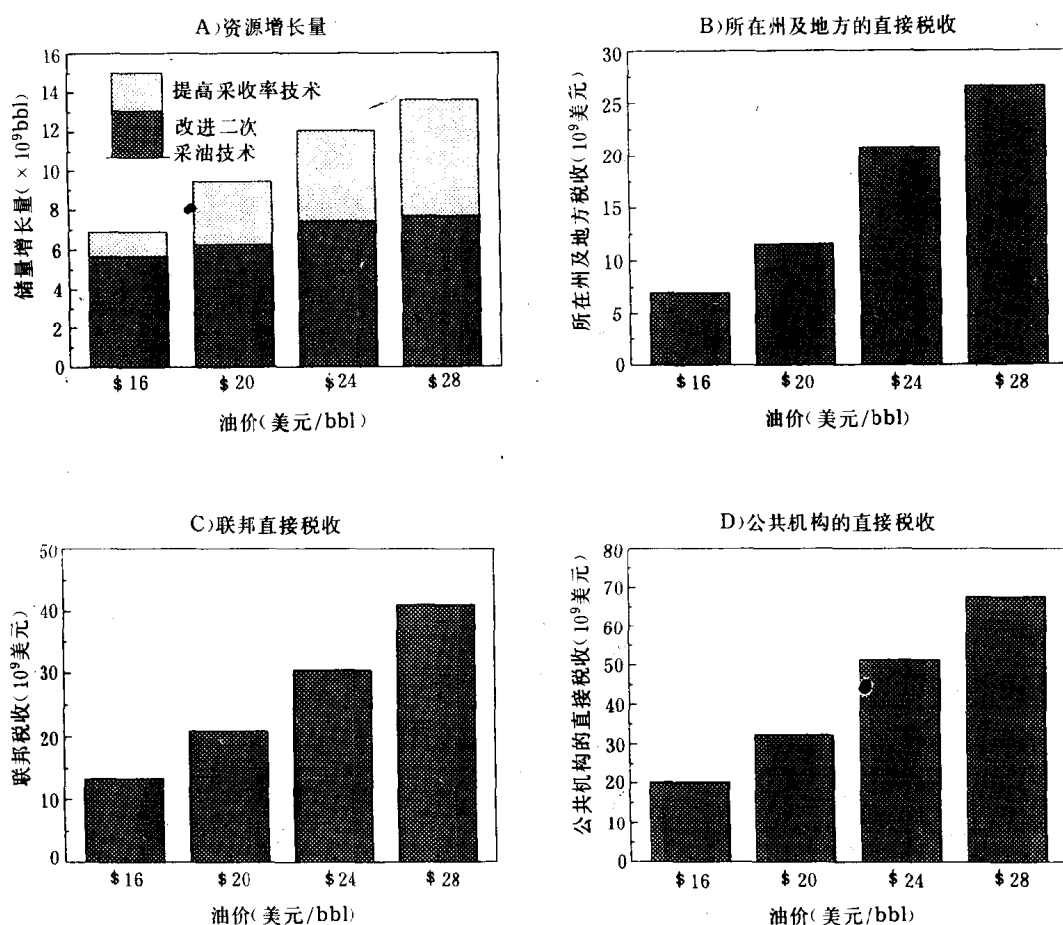


图4 改善采收率技术具有的潜在储量及其相应的经济效益(已取得的技术)

靠应用现有的改进二次采油技术获得的储量增量受油价改变的影响则要小得多。当油价为16~20美元/bbl时,所研究的改进二次采油技术(聚合物驱、调剖、加密井网、加密井网与聚合物驱或调剖相结合)可获得57~63亿桶储量增量,大约占油价为28美元/bbl所获得储量增量的82%。油价为16~20美元/bbl时,总的提高采收率潜力(68~94亿桶储量增量)将使全美国目前的证实储量(237亿桶)增加29%~40%。当油价为28美元/桶时获得的136亿桶储量增量相当于将目前的证实储量增加了57%。

储量增量的开采可以通过石油生产税、按经营者利润及工资收入确定的公司及个人所得税以及购买工程所需原材料的销售税来增加所在州和地方的直接税收。州和地方的潜在税收随油价和储量增量的不同变化很大（图 4B）。当油价为 16~20 美元 / bbl 时，实施提高采收率技术可增加州和地方的直接税收为 69~116 亿美元。当油价更高时，可使州和地方的税收增加 200~270 亿美元。

通过联邦公司及个人所得税这一手段，改善石油采收率工作也可增加联邦财政收入（图 4C）。当油价为 16 美元 / bbl~20 美元 / bbl 时，可多获得 130~210 亿美元的联邦税收。油价更高时，联邦税收的增量就会大得多。在油价为 24 美元 / bbl 和 28 美元 / bbl 时，由改善采收率活动可分别增加联邦税收 305 和 411 亿美元。假如原油价格超过 28 美元 / bbl，由于联邦提高采收率税收减免政策开始分阶段实施，对联邦直接税收的增加潜力将会更大。总的政府税收（州及联邦税收）可达到 200~680 亿美元，视油价而定（图 4D）。

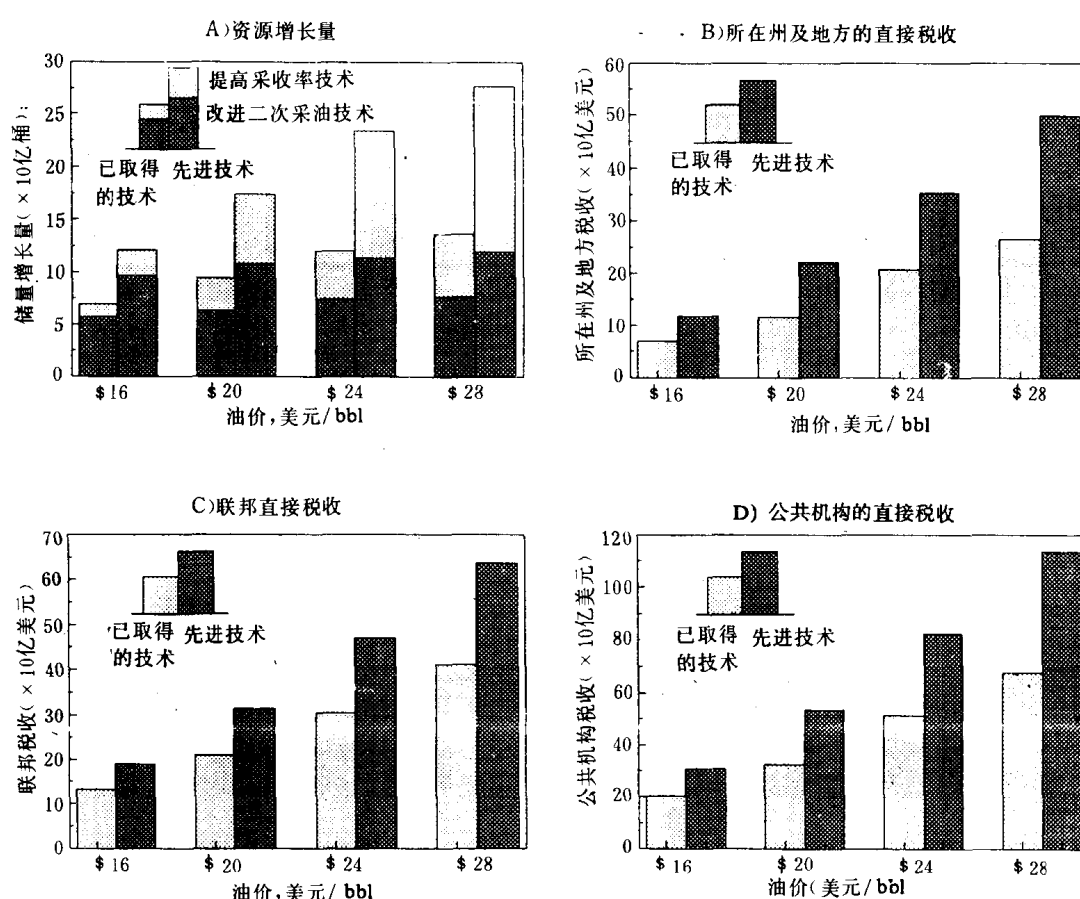


图 5 改善采收率技术具有的潜在储量及其相应的经济效益（已取得的技术与先进技术进行比较）

二、未来的先进技术

用集中和协作的方法开展研究、开发和示范实验在提高采收率及改善二次采油技术方面获得的进展可以大大增加原油开采潜力及其相应的经济利益（图 5）。有了技术上的进步，靠提高采收率技术所能获得的储量增量远不止使采用成熟技术具有的增产潜力翻番。当油价为 16~20 美元 / bbl 时，从靠提高采收率技术方面获得的进展而增加的储量中可多生产出

12~35 亿桶原油，而总的增产潜力为 25~66 亿桶。当油价高于 20 美元 / bbl 时，依靠技术进步可从增加的储量中多生产出 120~160 亿桶原油，增产量视油价而定。改进二次采油技术视油价不同可增产原油 $97 \sim 120 \times 10^8 \text{bbl}$ ，其中增产量的 35%~40% 要归功于技术进步。当油价为 16~20 美元 / bbl 时，将提高采收率技术进步和改善二次采油技术进步加在一起可从增加的储量中生产出 120~180 亿桶原油。相当于给目前全美国证实储量额外增加了 50%~75% (图 5A)。当油价为 28 美元 / 桶时，则可增加储量近 280 亿桶，大于目前全美国剩余的证实储量。

在所有分析的油价下，随着技术的进步，靠提高采收率和改善二次采油活动可为各个产油州大大增加直接税收 (图 5B)。在低油价下，48~100 亿美元潜在的州税收中有近 50% 可归功于技术进步。当油价超过 20 美元 / bbl 时，靠提高采收率和改善二次采油技术取得的进展可额外获得 140~240 亿美元的直接州税收。靠先进的提高采收率和改善二次采油技术活动获得的总的州和地方税收，350~500 亿美元，是州及地方财政的一大收入。

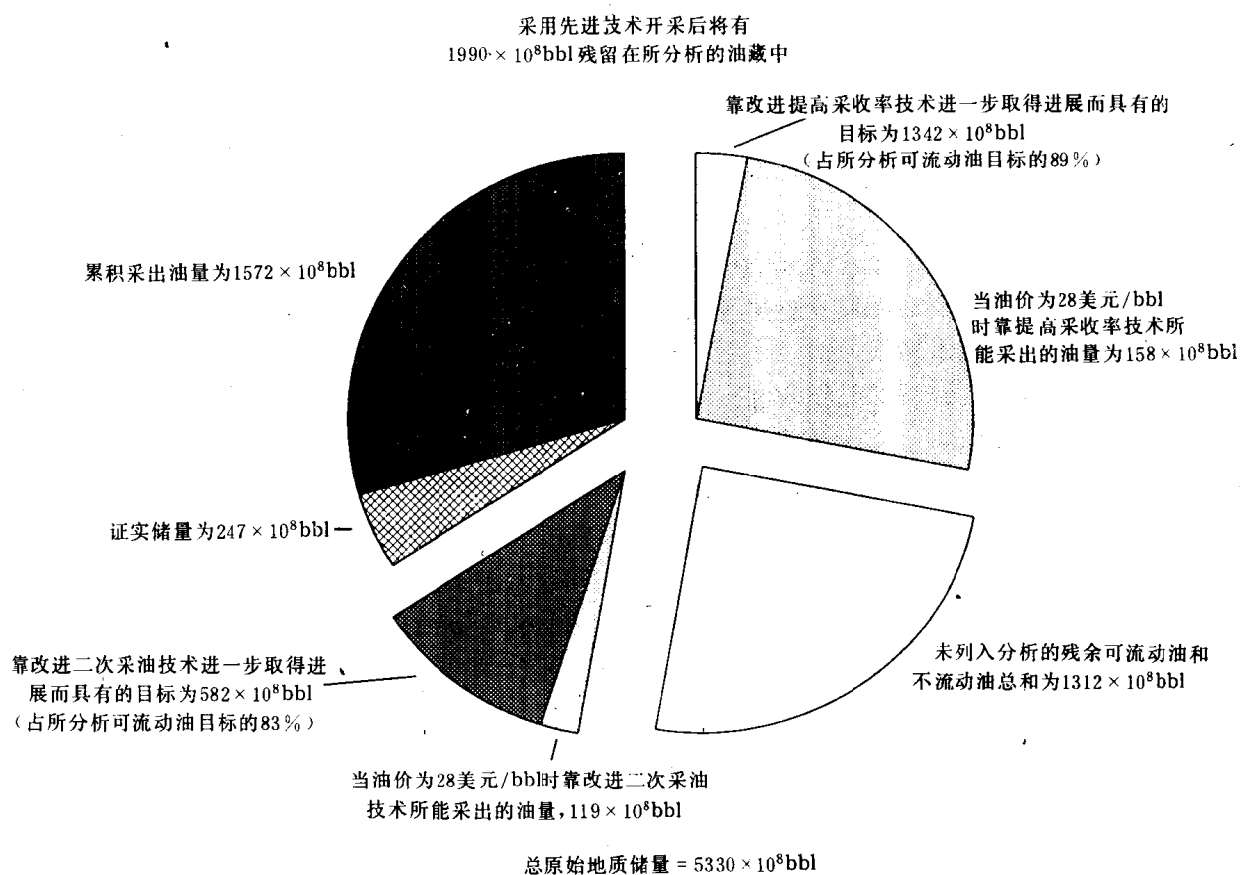


图 6 采用先进技术开采后的探明残余油储量

技术进步还可大大增加联邦的直接税收，尤其是在高油价条件下 (图 5C)。在 16~20 美元 / bbl 的油价下，除了成熟技术具有的 190~310 亿美元的总税收潜力外，技术进步还具有创造 58~107 亿美元的直接联邦税收的潜力。由于提高采收率技术及改进二次采油技术的提高，直接联邦税收可增加 160~320 亿美元，当油价为 24 美元 / bbl 和 28 美元 / bbl

时,上述税收额分别为 470 和 640 亿美元。当联邦提高采收率技术减免税政策在油价为 28 美元/bbl 时开始分段实施,则联邦税收会出现巨大的增加潜力。由于技术提高带来的总的政府税收(州及联邦税收)可达到 110~460 亿美元,具体数视油价而定,总的直接政府税收达 310~1140 亿美元(图 5D)。

即使采用了先进的提高采收率和改善二次采油技术,仍有相当一部分石油仍将残留在所研究的油藏中(图 6)。在 28 美元/bbl 的油价下,改进二次采油技术能采出的潜在储量为 120×10^8 bbl,而提高采收率技术能采出的潜在储量为 158×10^8 bbl。如果这一潜在的储量能实现(被采出),则将有 580 多亿桶可流动原油(占可流动原油目标值的 83%)和 1340 亿桶不可流动原油(占不可流动原油目标值的 89%)被残留在所分析的油藏中。此外,在本研究中,还有 1310 多亿桶残余油没有包括在内,并且新发现的原油在应用了先进的提高采收率和改善二次采油技术之后仍不能将其采出。已知的 3200 多亿桶残余油是提高采收率技术和改善二次采油技术进一步发展的开采对象。

一条通往研究、开发和示范实验政策的重要方法

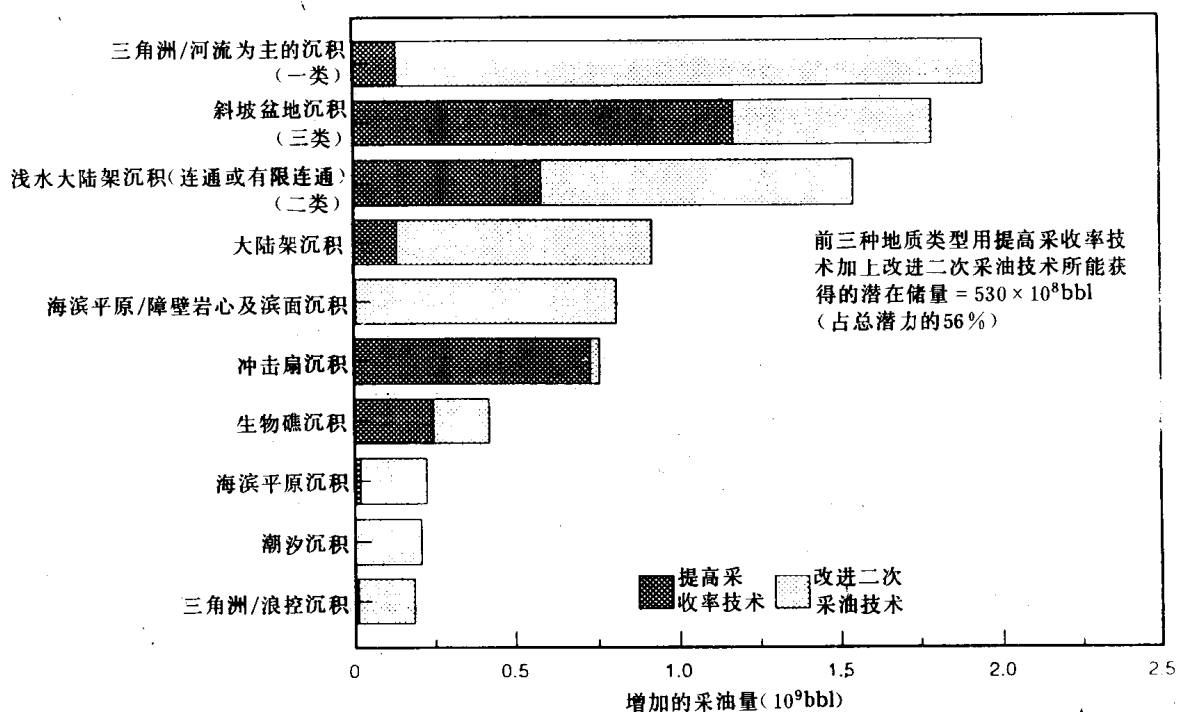
本研究结果具有重要的政策含义。美国国内石油生产为其产油州和联邦政府提供了巨额直接税收,并为所在州及国家经济提供了额外的巨大间接效益。除了增加原油储量、产量和促进经济活动外,应用改善石油开采技术可以减少对进口石油的依赖并增强全美国的能源保障。然而,要在经济上获得剩余油资源的途径永远失去以前达到上述目标还需要进行综合研究和富有首创精神。这些综合研究包括:

- (1) 协作性的研究、开发和示范实验;
- (2) 进攻性的技术转换;
- (3) 合理的州级及联邦级税收和规章政策。

在冒举债经营风险过程中为了共享资源和技术专长,有必要在公共机构和私有机构之间开展协作工作。经营者、油公司、大学研究、州立地质调查机构及各种私有研究机构需要与州、地方和联邦政府机构联合,以便确认出具有最大残余油储量和受到最大的废弃威胁的油藏中的最首要的问题。然后需要采取以所确认的问题及油藏为目标的集中的研究、开发和示范实验工作。美国能源部最近确认的完成这一石油纲领计划所依托的是一种对未来提高石油采收率及其改善二次采油技术潜力进行分类的方法,目的是使研究、开发和示范实验工作最优化。

开采潜力并不是均匀地分布在所分析的油藏中。事实上,相当大一部分未来提高采收率和改善二次采油技术可能会在几个主要类型的油藏中得到应用。在近期(油价为 20 美元/桶,采用现有技术),属头三种地质类型的三次采油信息系统中的油藏可用提高采收率和改善二次采油技术生产近 53×10^8 bbl 原油(图 7)^[6]。该值占有所有分析的油藏总生产潜力的 55% 以上。假如美国能源部将研究、开发和示范实验工作扩展到前十类油藏,靠提高采收率和改善二次采油技术生产的 90 多亿桶原油将占全美国总开采潜力的 97%。在中期(油价为 32 美元/bbl,采用先进技术),可从头三种地质类型的油藏中约生产出所分析的油藏提高采收率和改善二次采油技术总开采潜力的一半(140×10^8 bbl)。前十种类型油藏靠提高采收率和改善二次采油技术生产的 250 多亿桶原油将占所分析油藏总开采潜力的 88%(图 8)。由于每一种类型的油藏具有类似的地质特征,因而具有类似的生产限制条件和影响因

素，针对限制上述每一种主要类型油藏生产能力的关键因素的研究、开发和示范实验工作可望能以最低的投资获取最大的利益。针对这种特点，美国能源部通过与工业界共同承担投资的项目，现已按两组油藏类型开始了研究、开发和示范实验工作。这两种油藏类型为：(1) 受河流控制的三角洲油藏；(2) 浅水大陆架（广海及封闭海相）碳酸盐岩油藏。目前美国能源部正准备在第三种类型油藏，斜坡盆地和盆地碎屑岩中开展研究、开发和示范实验工作。一项进攻性的、有针对性的研究、开发和示范实验及其技术转换工作将大大增加美国的石油产量，增强全美国的能源保障，减少进口，同时增加与石油开采相关的经济收益。



·只包括了“三次采油信息系统”中的油藏

图7 在 20 美元 / bbl 油价下用现有水平的技术对前十种地质类型油藏*所具有的开采潜力增量

生产井的废弃加上更为严厉的环境保护法规会限制住通往整个国家的已知剩余油资源的经济开采之路。对近期废弃的高风险加上将来应用提高采收率技术带来的巨大收益清楚的表明了这样一种需要，即把现有的技术更具进攻性的向美国国内石油生产者使用转化。改善石油采收率技术的开发和应用对美国产生的利益会更大。有了有效的研究、开发和示范实验加上进攻性的、广泛传布其结果的技术转换，美国的石油产量会极大增加。由此带来的石油产量的增加，就业、经营者利润、州及联邦税收以及能源保障的改善都将会在整体上使国家受益。

不利因素研究

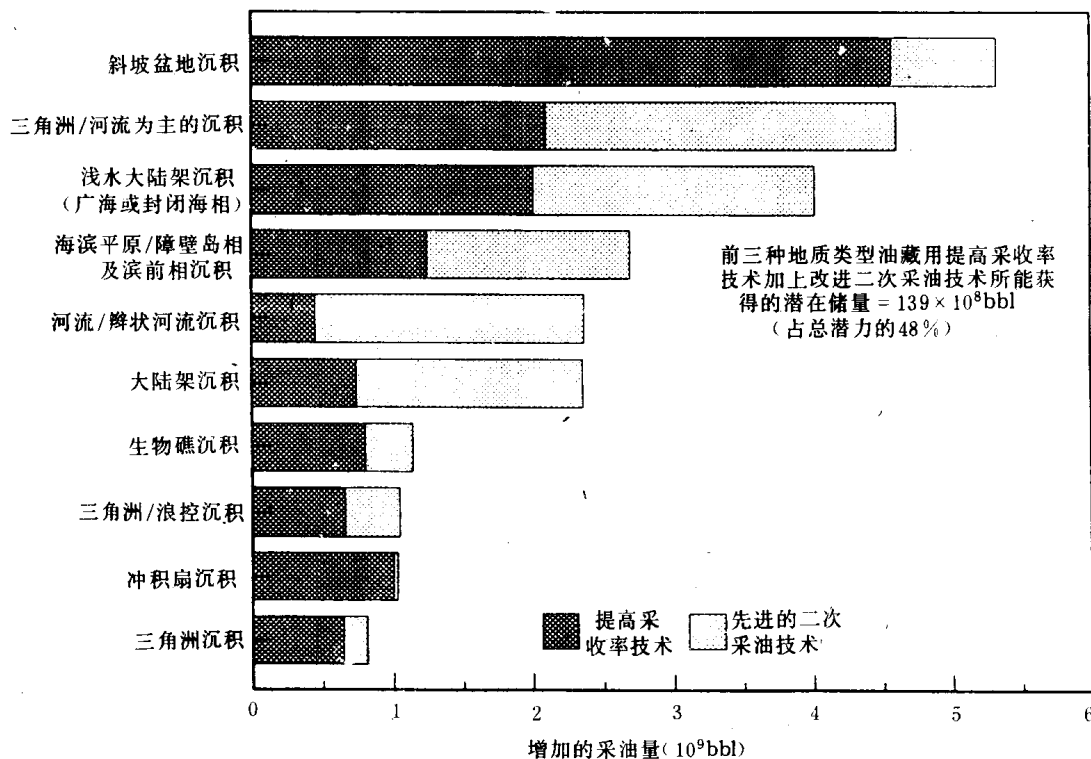
本文中的分析对潜在的影响，即在给定假设条件下的最大值进行了估计。这些结果尽管不能说明是对最有可能的未来影响的一种预测，但恰恰是一种保守的“上限”潜力。若干因素

会造成与未来最大潜力不同的实际影响，这些因素有：

(1) 对先进技术实例中结果的假设是：目前正在进行的或已完成的公共和私有研究与发展（R&D）工作在提供重要的进展方面是完全成功的。这里定义“成功”的关键尺度是在含有目标残余油资源被废弃以前将上述进展得以开发、试验并使之商业化。一旦参与的研究、开发和示范实验工作被耽搁或导致失败，则潜在的采收率和相应的经济效益将会降低。

(2) 经济效益分析中假设：如果经营者能够预见实际成本回收率达到或超过被认为是合理回收率（10%~26%，视技术和开采工艺而定）值时开始进行提高采收率和改进二次采油的工程项目。当经营者意识到风险较高并需要较高的实际投资回收率时，几乎不能开展什么工程项目。经济分析中也假定：油价保持稳定，价格调整仅限于通货膨胀。一旦油价不稳定或下降，则不能充分发挥技术进展的所有潜力。

(3) 分析中假定：所有经营者拥有足够的获取技术技能的途径和资金来完成所有满足工作要求的工程项目。在专业技能和资金受到限制的情况下，所有可行的工程项目都不会开展。



*只包括了“三次采油信息系统”中的油藏

图8 在32美元/桶油价下用先进技术，前十种地质类型油藏*所具有的开采潜力增量

(4) 目前正在试验和应用的新技术，如水平井钻井，三维地震等等，它们的作用没有包括在上述估算中，因此有可能存在额外的潜力。

综合起来，上述因素极可能引起提高采收率和改进二次采油技术未来对生产的实际影响要小于预计的潜力。预计潜力和接近实际的预测之间的差异量属于未来研究的一个课题。

结 论

美国的剩余油资源量很大；在常规采油作业结束时，仍有 3500 多亿桶石油残留在油藏中。采用先进技术的开采工程可以使目前估算的可采储量翻番。美国的石油生产为所在州和联邦政府提供巨大的直接税收，并为这些州及全美国的经济提供巨大的额外利益。除增加原油储量、产量和促进经济活动外，应用先进技术可以增强全美国的能源保障。只要依靠未来改善石油采收率技术能获得巨大的潜在利益，致力于改善石油采收率技术及其在主要地质条件下应用的协调工作对经营者、原油生产州以及整个国家都有益处。

参 考 文 献

1. *An Evaluation of Known Remaining Oil Resources in the United States*, Interstate Oil and Gas Compact Commission, November, 1993.
2. Nation Petroleum Council, *Enhanced Oil Recovery*, Washington, DC, 1984.
3. *Producing Unrecovered Mobile Oil: Evaluation of Potential Economically Recoverable Reserves in Texas, Oklahoma, and New Mexico*, DOE, May, 1990.
4. "Abandonment Rate of the Known Domestic Oil Resource," U.S. Department of Energy, Bartlesville Project Office, OK (June 1990).
5. Brashear, J.P. et al "Effect of Well Abandonments on EOR Potential," *Journal of Petroleum Technology*, December 1991.
6. Brashear, Jerry, Biglarbigi, K., and Ray, R.M., "Classification system targets unrecovered U.S. oil reserves," *Oil and Gas Journal*, September 30, 1991.

丙烯酸胺-聚合物 / 铬 (III) 羧酸盐凝胶的应用及效果

G.P.Southwell

S.M.Posey

刘 劲 译

李秀宁 范从武 校

摘 要

随着丙烯酸胺-聚合物 / 铬 (III) -羧酸盐凝胶的发展, 其在各类油田的广泛应用证明了这种体系的作用和多方面的适应性。本文将叙述: 用大剂量凝胶处理注入井以改善波及面积; 降低生产井的水-油比的凝胶处理; 近井眼地带有效的挤压处理以及做为完井手段对裸眼井封堵的处理。

最初是在怀俄明的 Big Horn 盆地和西得克萨斯 Permian 盆地注入处理。天然裂缝水驱油藏在注入井采用大剂量注入的处理方式, 在成本低于地面储罐每桶油 (STBO) 1.0 美元的条件下净增约 5 百万桶油。在这个成功的基础上, 在强水驱, 高水油比生产井的油藏开始了使用一个同样的聚合物凝胶体系的项目。西得克萨斯 Big Lake 油田的数口油井, 水-油比已从 300:1 降到 30:1。另一类是用聚合物凝胶体系代替常规挤注水泥用于近井眼带的全封堵。已将此技术用于注入封隔层段堵气或水。西得克萨斯的 Yates 油田区块的水平井完井中, 定期使用同样的技术封闭再次钻进的弯曲段。

引 言

丙烯酸胺聚合物 / 铬 (III) -羧酸盐凝胶已成功地用来处理各种波及问题和层段封堵。波及问题的性质, 油藏的类型和预期的处理结果, 在处理方式的设计中, 起着重要作用。

为降低注入井注入流体在大裂缝网络和高渗透率通道内的流动, 设计用丙烯酸胺聚合物 / 铬 (III) 羧酸盐凝胶处理。

用剂量相对较大的凝胶 (10000bbl 左右) 处理注入井, 与近井眼处的调剖不同, 更侧重于解决区域性问题。这种处理方式用于在天然裂缝油藏、溶蚀孔洞油藏或单一孔隙性油藏内的高渗透率通道。目的在于减少油藏优势部分的注入剂流量并将其引入实际未波及到的, 剩余油饱和度较高的那部分油藏。

深度区域填充的凝胶体系, 是由较高分子量, 范围在 5 到 20×10^6 MW 的聚丙烯酰胺形成的。聚合物浓度一般为 3000 到 8500ppm。

本文记录了 1989 到 1992 年间怀俄明 Big Horn 盆地 26 口注入井的处理结果。其中包括 Pitchfork 油田的四口注入井。这篇文章记录了 Pitchfork 油田处理的详细论述。Sydank, Moore 和 Smith⁽¹⁻²⁾ 记录的在 Big Horn 盆地油田的结果重点阐述 Oregon 盆地油田的实例, 包括那个油田最近处理作业的最新资料。马拉松公司已在怀俄明 Big Horn 盆地总共进行了 43 口注入井的处理。

还有生产井进行了凝胶处理以减少过量水的产出。凝胶体系同注入井使用的相同, 但处理量一般较少。本篇详细讨论了 Permian 盆地 Big Lake 油田 8 口井的处理方式和结果。

此处提到的聚合物凝胶也用作近井眼地带封堵处理的补救手段。这种方式常用来代替层