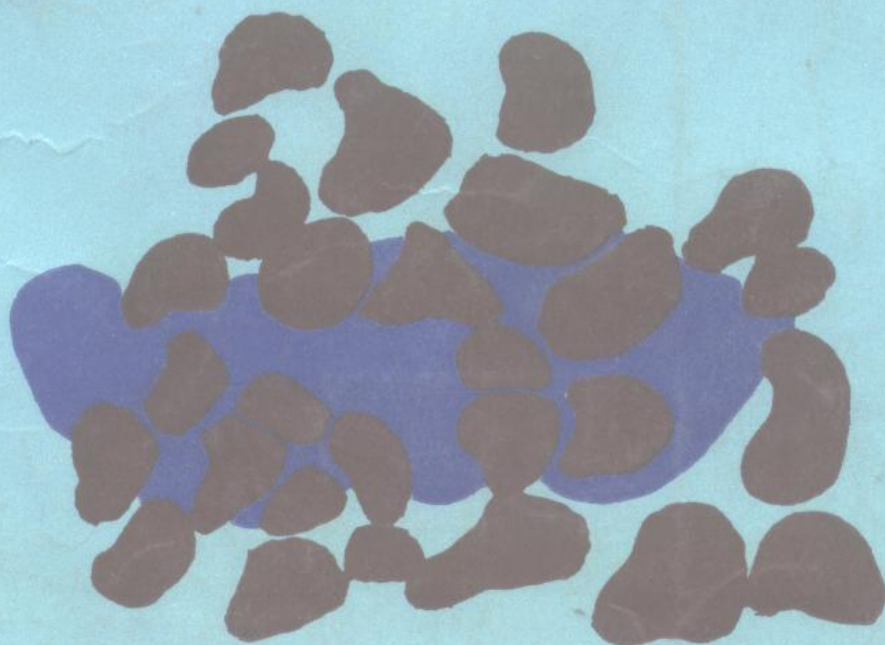


〔美〕 L. W. 莱克 著

李宗田 侯高文 赵百万 译 张朝琛 校

提高石油采收率的科学基础



石油工业出版社

北京)

57

7

提高石油采收率的科学基础

[美]L.W. 莱克 著
李宗田 侯高文 赵百万 译
张朝琛 校

石油工业出版社

(京) 新登字082号

内 容 提 要

本书较详细地介绍了美国近几年提高石油采收率技术的进展,是一本颇有影响和难得的专业书。全书共分十一章,论述了流体在多孔介质中流动的数学方程、岩石和流体性质、驱替效率和波及体积等,重点讨论分析了目前世界上发展较快的溶剂方法、聚合物方法、胶束聚合物方法和热力方法等提高石油采收率技术,并在每章之后附有练习题。

本书可供从事油田开发和开采的工程技术人员、研究人员阅读参考;也可作为石油院校有关专业师生的参考书。

本书前言及第一章至第三章由李宗田翻译;第七章至第十章由侯高文翻译;第四章至第六章及第十一章由赵百万译,全书由张朝琛教授校订。

ENHANCED OIL RECOVERY

LARRY W. LAKE

Prentice-Hall, 1989

提高石油采收率的科学基础

[美] L. W. 莱克 著

李宗田 侯高文 赵百万 译

张朝琛 校

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京密云华都印刷厂排版

北京密云华都印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 25³/₄印张 644千字 印1—1,100

1992年12月北京第1版 1992年12月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0825-4/TE·771

定价: 19.60元

(国内发行)

中译本序

50年代以来,提高油田的石油采收率(EOR)日益成为石油企业界经营规划的组成部分,更是石油科技界的重大研究课题。EOR方法实施的风险性及其对油田二次开发和建设的巨额投资,常常使决策维艰。随着EOR方法研究的深入,揭示出问题涉及多门学科的复杂性和对已开采油田地下动态了解程度的肤浅程度,这意味着大规模的现场实施EOR方法还有漫长的征途要走。迄今为止,随着理论研究的深入和实践经验的积累,有关EOR的科技论文和专利早就数以千计,有关的专著也始终是层出不穷,常论常新,这表明问题普遍受到关注,而问题远未真正得到解决。据不完全统计,我国80年代以来,已正式翻译编写已出版的有关EOR的专著达20余种(参见本书封四)。

纵览国内已出版的EOR的译著及编著书籍都各有特色,大多数是分层注水、热采、聚合物和表面活性剂化学驱不同方面的专题论述,并分别各自侧重于某类EOR方法的作用机理、理论研究、室内实验、工程设计、现场工艺实施、先导试验以及应用实例和效果分析等等,适应了科技人员的具体需要。已出版的综论EOR的书籍,80年代初期的著作只反映了70年代的研究成果或入门性质,80年代后期译编的EOR著作,注意了机理及基础理论分析,但多半是约请各行专家分述各类EOR方法的理论基础。另一方面,各类EOR方法的评价和实施需要进行工作量浩大的方案模拟研究,以致很多EOR的模拟方法及工程方法分别散见于其它油藏数值模拟及油藏工程学专著中,使人们很难对各种EOR方法的方方面面,从机理、工程分析、工艺过程、方案模拟、优化控制、动态控制、配方与组成和储层条件等等形成较完整全面的认识,以避免国外有些专家仅从物理、化学及力学等某一侧面的概念或原理出发,悠然一瞰,使人们认为EOR的原理似乎并不复杂,室内实验结果及配方可以轻而易举地在现场实施,指日可待乐观其成。然而一旦使EOR方法接触到具体油藏的复杂地质层系和沉积环境(无论从宏观或微观意义上说),接触到具体油藏在数十年开发历程中经过井网、注采关系、增产措施的多次改造,早已历经沧桑,甚至面目皆非,已不是沈园旧貌,那么EOR的实施就成为一个复杂的系统工程,不能等闲视之,需要认真对付;甚至是要旷日持久作长期奋战的准备了。

翻译本书是基于:一、该书不是简单地罗列各类EOR方法,而是将各类EOR方法置于共同的科学基础上,把从连续方程、守恒方程、状态方法为出发点的多相渗流理论,衍化成驱替与被驱介质各相的分流方程贯彻在各类EOR方法的过程始终,奠定了EOR方法考虑地质环境的渗流力学基础;二、该书另一贯穿各EOR方法的是以驱替与被驱介质的相态关系为基础,衍化成可考虑环境条件(压力、温度和饱和度),组成(组分及浓度)改变对相态演化的影响,寻求最佳的工作压力和温度,寻求最佳的配方和用量,奠定了各EOR方法的共同的物理化学和热力学基础;三、基于上述,本书将各EOR方法的作用机制、反应原理、工程设计、动态分析、方案模拟及效果评价都纳入分流方程及相态关系的共同科学基础上,反映了现代对EOR研究的深入程度,从经验概括为理论,从单侧面分析发展为全方位评估。

本书的优点是各类EOR方法不是简单的堆砌，而是建立了统一的内在联系，把数学力学方法与物理化学原理结合，把理论分析与现场应用相结合，这些都有助于读者更全面的和在更大的高度上来认识和发展EOR方法。

最后要指出的是EOR方法大多是要在储层剩余油的背景下实施，历来的EOR方法的研究都是从本身的机制及技术方法的角度进行探讨，机理和室内实验只不过是在理想的环境及微观尺度上议论，当前更迫切地是要及时研究EOR方法的实施环境，诸如储层环境、剩余油分布环境、油田现实环境和石油资源与经济环境等方面的研究。

因此，一个石油国家，一个石油企业需要对EOR方法本身的研究及相应环境的研究慎重对待作出对策；对待EOR方法的发展切忌单纯的技术观点、忽视资源保护及不计整体经济效益的观点，就象造林绿化是为子孙造福一样，EOR方法的发展要着眼于国家石油资源的有序合理地运用，为后人在下个世纪开发剩余石油资源作好必要和充分的技术准备。

张朝琛

1992年5月

前 言

20世纪的最后十年中，在工业国家的经济领域内，没有也不会有能取代原油的某种实用而又丰富的物料。要保持足以推动经济的原油供给，需要开发更多的原油储量。对于某些地区来讲，这种进一步的开发将表现在勘探与钻井上，而就美国国内而言（而对于所有产油地区来说也将如此），看来只好依靠运用提高石油采收率技术来维持原油的供应。正如一般和多少有点悲观的看法那样，大规模应用提高石油采收率的技术确非易事，这就需要有更多的人和更先进的技术才能使提高采收率达到可观的产量。本书的主要目的就是详细论述这一技术。

但本书还有另一些目标，那就是把提高石油采收率的研究作为一门学科来编写：阐明提高石油采收率技术的多向性，并强调其对一些物理、数学和化学基础原理的依赖性以及确立分相流理论作为理解提高石油采收率技术手段的中心位置。出于这些原因，本书是按照教科书的形式编写的，书中附有习题和大量的参考文献。

本书的两个中心点是分相流理论和相态特性。分相流理论另几种名称是简易波动理论、相干波理论和Riemann问题。不管叫什么名称，最重要的概念是流体在通过可渗透介质时，是以单波或多波推移向前。本书不致力于谈论求解分相流问题的一些根本性的进展，而是着重把高度非线性的干扰作用与相态特性结合起来，从而使这些技术具有若干全新的用途。

本书是按研究生水平来编写的。所以设想读者已拥有可渗透介质及其渗流的各种基础知识。不过每章都包含一些定性的内容和另一些可以不必仔细讲授，而又比该章其它部分的一般水平要高的背景材料。本书计划利用两个学期讲授。第一章至第六章介绍基本原理，第七章至第十一章详细论述各种提高石油采收率的方法。而本书内容将始终致力于打破高等油藏工程与提高石油采收率原理之间本来就不明显的界线。我也曾成功地将第一、四、五、七章放在第一学期讲授，将第三、六、八、九章放在第二学期讲授。按照这种讲法，第二章成为基础读物，而第十章和第十一章则改为在第三学期讲授。

提高石油采收率是一个十分繁杂的主题，某些项目很明显已概括在内或遭忽视。本书着重于油藏工程方面的研究。所以有关提高采收率的运营作业、评价和管理方面的问题涉及较少，进而在提高石油采收率技术整个领域的模拟方面只是附带地讨论了一下，诸如聚合物的胶凝作用、微生物提高石油采收率以及用表面活性剂—提高碱水驱油效率等，在书中叙述不多。但我强烈意识到，其它提高石油采收率方法的基本原理同样也是理解这些问题的基础。第十一章有关热采方法的讨论中，对蒸汽吞吐和火烧油层的介绍相对较少，这也反映出我在这些领域相对缺乏经验。

本书的完成与各方面的帮助是分不开的。我非常感谢Gary A. Pope教授所给予的帮助，第二、八、九章的大部分基本内容就是他提供的。在得克萨斯大学，我们轮流讲授提高石油采收率课，相应地把本书大部分内容作了深入加工。我还要感谢R. S. Schechter教授对本书一贯鼓励及对第九章所做的贡献，他还帮助了我对相干法的理解。John Cavais博士提供了第九章第二节有关磺酸盐制造方面的内容。

本书大量的校对与技术编辑工作是由提高采收率班的学生完成的。参与这项工作的有好几位学生，但我要特别称赞Myra Dria和Ekrem Kasap，他们不断指出本书存在的问题和提出改进措施。Pat Meyers 夫人协助了本书的编辑工作。特别值得赞赏的是，Joanna Castillo为本书完成了许多插图，还有我的秘书Marge Lucas不厌其烦地为修改打字付出了大量的劳动。最后，我要感谢我的夫人Carole经受了编写本书的考验，自始至终我都得到了她的支持。

目 录

第一章 提高石油采收率的定义	(1)
第一节 提高石油采收率导论.....	(1)
第二节 对提高石油采收率方法的需求	(4)
第三节 增产的油量	(6)
第四节 各类方法的比较	(7)
第五节 提高石油采收率技术的前景	(8)
第六节 使用的单位及符号	(10)
第二章 流体在可渗透介质中流动的基本方程	(14)
第一节 物质守恒	(14)
第二节 等温渗流的定义和基本方程	(17)
第三节 能量平衡方程	(23)
第四节 特殊情况	(27)
第五节 总平衡	(31)
第六节 小结	(32)
练习题	(32)
第三章 岩石物理和岩石化学	(35)
第一节 孔隙度和饱和度	(35)
第二节 毛细管压力	(39)
第三节 相对渗透率	(46)
第四节 残余相饱和度	(49)
第五节 可渗透介质的化学性质	(60)
第六节 小结	(67)
练习题	(68)
第四章 相态特性和流体性质	(71)
第一节 纯组分的相态特性	(71)
第二节 混合物的相态特性	(76)
第三节 三元图	(78)
第四节 两相平衡的定量表达式	(82)
第五节 结论	(92)
练习题	(92)
第五章 驱替效率	(96)
第一节 定义	(96)
第二节 非混相驱替	(96)

第三节	非混相驱中的耗散作用	(107)
第四节	理想的混相驱替	(113)
第五节	混相驱中的耗散作用	(117)
第六节	分相流理论的普适化	(126)
第七节	三相流动中的应用	(131)
第八节	结论	(135)
练习题		(135)
第六章	体积波及效率	(142)
第一节	定义	(142)
第二节	面积波及效率	(144)
第三节	非均质性的估量	(146)
第四节	无垂向连通的驱替	(151)
第五节	垂直平衡	(154)
第六节	垂向平衡的各种特殊情况	(161)
第七节	复合的波及效率	(165)
第八节	不稳定性现象	(167)
第九节	结论	(172)
练习题		(172)
第七章	溶剂驱油法	(176)
第一节	对溶剂驱油法的一般性论述	(176)
第二节	溶剂的性质	(177)
第三节	溶剂-原油的性质	(182)
第四节	溶剂-水的性质	(193)
第五节	溶剂的相态特性实验	(194)
第六节	弥散作用与段塞驱替法	(200)
第七节	溶剂驱油中的两相流	(203)
第八节	有粘滞指进的溶剂驱	(214)
第九节	溶剂驱油法的残余油饱和度	(218)
第十节	估算现场的原油采收率	(224)
第十一节	结束语	(228)
练习题		(228)
第八章	聚合物驱油法	(233)
第一节	聚合物的类型	(235)
第二节	聚合物的性质	(237)
第三节	聚合物驱注入能力的计算	(246)
第四节	聚合物驱中的分相流	(248)
第五节	聚合物驱油设计的要点	(251)
第六节	现场应用结果	(255)
第七节	结束语	(256)

练习题	(256)
第九章 胶束-聚合物驱油法	(264)
第一节 MP驱油法	(264)
第二节 表面活性剂	(265)
第三节 表面活性剂-盐水-原油的相态特性	(269)
第四节 非理想效应	(273)
第五节 相特性与界面张力	(274)
第六节 其它相态性质	(277)
第七节 胶束性质的定量表示	(279)
第八节 改进的MP相特性	(282)
第九节 高毛细管数的相对渗透率	(286)
第十节 胶束-聚合物驱的分相流理论	(289)
第十一节 岩石-流体的相互作用	(294)
第十二节 典型的增产效果	(300)
第十三节 胶束-聚合物(MP)驱油法的设计	(303)
第十四节 预测原油采收率的简易方法	(305)
第十五节 结束语	(309)
练习题	(309)
第十章 其它化学驱油法	(316)
第一节 泡沫驱油法	(316)
第二节 泡沫的稳定性	(316)
第三节 泡沫的度量方法	(318)
第四节 减小流度	(319)
第五节 碱性水驱油法	(322)
第六节 表面活性剂的形成	(323)
第七节 驱替机理	(325)
第八节 岩石与流体的相互作用	(326)
第九节 现场实验结果	(332)
第十一章 热力采油法	(334)
第一节 热力方法的各种变型	(335)
第二节 物理性质	(336)
第三节 热力驱替中的分相流	(342)
第四节 设备和井筒的热损失	(347)
第五节 上覆岩层和下伏岩层的热损失	(356)
第六节 蒸汽驱	(362)
第七节 蒸汽焖浸(吞吐)	(367)
第八节 火烧油层	(368)
第九节 结论	(370)
练习题	(370)

符号说明	(375)
参考文献	(382)

第一章 提高石油采收率的定义

提高石油采收率(EOR)是靠注入原来油藏中没有的各种物料进行采油。这个定义可以囊括各种类型的采油方法(包括驱动方法、吞吐方法和各种增产措施),也包括众多采油用的工作剂。更为重要的是,这种定义并不把提高石油采收率局限于一个油藏开采历程中的某一特定阶段(一次、二次、三次采油)。一次采油是靠各种天然驱动机理采油的,例如溶解气驱、水侵、气顶驱或重力泄油等。二次采油则是指运用各种工艺技术,例如注气或注水等,其目的是为了保持局部地层压力。三次采油是指二次采油之后所采用的任何工艺技术。几乎所有的提高石油采收率方法至少都曾作为二次采油驱替方法进行过现场试验。许多热力采油方法也已作为一次或二次采油方法成为商业开采方法。更多的注意力都已经集中在第三次提高石油采收率方面,但这个定义并没有因此而设置任何障碍。

此定义将人工注水排除在外,这也意味着排除所有的各种压力保持方法。后者的界限往往是不清楚的,因为许多压力保持过程本身就具有驱替的特性。进而言之,有些介质也并不都符合上述定义,例如高压天然气驱中的甲烷或蕴藏着相当数量的二氧化碳,这两种显然都是提高石油采收率时可用的介质。通常那些在此定义范围之外的提高石油采收率的实例,均可按方法的实质予以明确分类。在本章中,我们自己限定只以美国本土的统计为准。

第一节 提高石油采收率导论

1. 提高石油采收率的目标

人们对提高石油采收率(EOR)的兴趣大多都集中在使用此法所能采出的油量上。表1-1给出美国单靠强化采油方法预期可采剩余储量的目标为2780亿桶。这一数字约为4010亿桶原始石油地质储量的70%,倘若强化采油能采出原始储量的10%,它将相当于其本土已探明可采储量的2倍。

表1-1 不包括阿拉斯加的美国陆上石油采出量、可采储量和剩余储量

类 别	10亿桶(10 ⁹ bbl [*])	占地下原始地质储量的百分数
已产出油量	101	25.2
可采储量	22	5.5
剩余储量	278	69.3
总 计	401	100

* 1bbl = 0.159m³(摘自 Geffen, 1973)。

将来靠EOR方法采出大量剩余原油的可能性是相当大的。最近的生产趋势表明,用各种EOR方法采出的油量还不到国内总产量的10%(图1-1),但是这个趋势正以一个较大的速度

增长。本书和表1-1中都没有涉及提高天然气采收率问题。

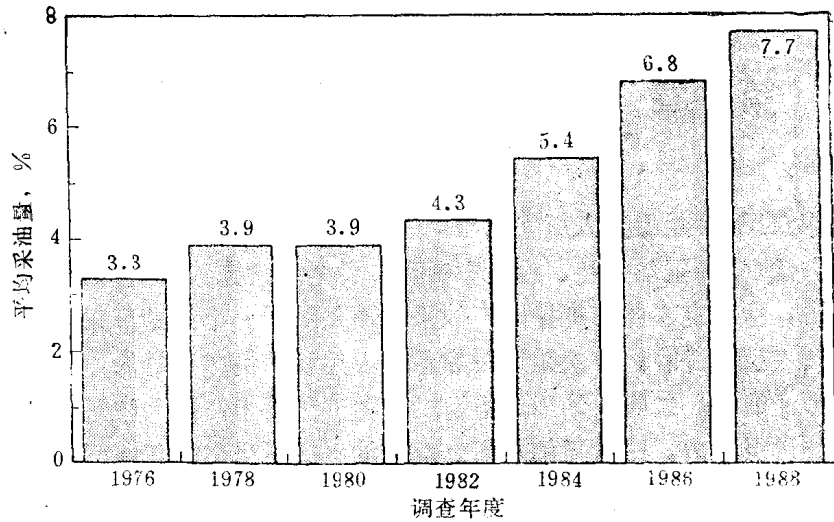


图1-1 EOR采油量占每天总采油量的百分数(摘自“石油与天然气杂志”二年一次的调查)

2. 提高石油采收率方法分类

除少数方法属于特例外,所有的EOR方法可分为三类,即热力方法、化学方法和溶剂方法。举例来说,泡沫驱划在哪一类都可以。每一类又可进一步细分为各种不同的具体方法(参见表1-2),与此同时,每一方法又有若干个变型。

表1-2 美国本土上正在运行的EOR项目(据“石油与天然气杂志”二年一度的调查)

提高采收率方法	1971	1974	1976	1978	1980	1982	1984	1986	1988
热力方法									
蒸汽	53	64	85	99	133	118	133	181	133
就地燃烧	38	19	21	16	17	21	18	17	9
热水	—	—	—	—	—	—	—	3	10
合 计	91	83	106	115	150	139	151	201	152
化学方法									
胶束聚合物	5	7	13	22	14	20	21	20	9
聚合物	14	9	14	21	22	47	106	178	111
碱水	—	2	1	3	6	18	11	8	4
合 计	19	18	28	46	42	85	138	206	124
溶剂方法									
烃混相	21	12	15	15	9	12	30	26	22
CO ₂ 混相	1	6	9	14	17	28	40	38	49
CO ₂ 不混相	—	—	—	—	—	—	18	28	8
氮气	—	—	—	—	—	—	7	9	9
烟道气(混相或不混相)	—	—	—	—	8	10	3	3	2
合 计	22	18	24	29	34	50	98	104	90
其它方法									
碳酸水驱	—	—	—	—	—	—	—	1	—
总 计	132	119	158	190	226	274	387	512	366

各种具体采油方法的普及程度，从“石油与天然气杂志”所做的两年一度对美国EOR方法实施情况所做的调查，多少可以有些印象。由于调查是按自愿提供的资料，所以这些数字普遍低于实际情况。这些调查也没有将先导性的还是商业性的方法区分开。

各种热力采油方法，尤其是蒸汽驱方法和蒸汽吞吐方法(参表1-2)在EOR项目中占有很大的份额，而且自1971年以来一直在卓有成效地发展。这个现实反映出长期以来蒸汽驱在商业上是成功的。所有其它的方法也都有所发展。例如自1980年以来，聚合物驱和二氧化碳驱都呈现出极为迅速的增加。当然，直到1986年油价下跌为止，所有的EOR技术一直都在稳步发展。

项目的数量反映了关切的程度，而原油产量则可以衡量其成效。表1-3给出了各种EOR方法的每天产油量。表中蒸汽驱的优势最为明显——大约占全部EOR方法产量的80%，在其余的EOR产量中又大约占其80%。

表1-3 美国本土用不同的EOR方法产出的原油(据“石油与天然气杂志”两年一度的调查)

提高采收率方法	产量, bbl/d (0.159m³/d)				
	1980	1982	1984	1986	1988
热力方法					
蒸汽	243 477	288 396	358 115	468 692	455 484
就地燃烧	12 133	10 228	6 445	10 272	6 525
热水				705	2 896
合 计	255 610	298 624	364 560	479 669	464 905
化学方法					
胶束乳聚合物	930	902	2 832	1 403	1 509
聚合物	924	2 587	10 232	15 313	20 992
碱水	550	580	334	185	
合 计	2 404	4 069	13 398	16 901	22 501
溶剂方法					
烃混相			14 439	33 767	25 935
CO ₂ 混相	21 532	21 953	31 300	28 440	64 192
CO ₂ 不混相			702	1 349	420
氮气			7 170	18 510	19 050
烟道气(混相或不混相)			29 400	26 150	40 450
合 计	74 807*	71 915*	83 011	108 216	150 047
累 计	332 821	374 608	460 969	604 786	637 453

* 在这些年份，其它溶剂方法没有分别归类统计。

详细地对比表1-2和表1-3，会注意到一些细节。例如，聚合物驱的产量与报道的项目数量相比是相当少的。这种方法似乎适合于小规模工程项目或者初期产油就很少的项目。蒸汽驱和二氧化碳驱按项目平均的产量基本上是相等的。这表明，它们二者之间的产量不同主要是因为项目的多寡造成的。胶束聚合物驱和碱水驱项目的产量则反映出这些方法在被调查年代的经济效益处于边际。

第二节 对提高石油采收率方法的需求

尽管已知的各种方法彼此的商业效益差异很大,为了使地下剩余储量保持在一个允许的水平上,我们仍需要有所有的各种提高石油采收率方法。这是因为每一种即使在商业上是成功的方法,要说它在实现提高石油采收率目标上真正能成功地占一席之地为时尚早。

1. 储量

储量是指从已知油藏中在现有的经济和技术条件下可采出的油量(原油和凝析油)。它可由下列物质平衡方程给出

$$(\text{目前储量}) = (\text{原始储量}) + (\text{增加储量}) - (\text{采出油量})$$

很清楚,由于上式中的最后两项是随时间变化的,所以储量也是随时间变化的。

纵观美国石油的开发历史,储量是递增的(图1-2)。但从20世纪60年代后期储量开始衰减。在1971年,由于阿拉斯加的北斜坡(Alaskan North Slope)大约100亿桶储量的增补,使总储量急剧上升。然而,由于受美国以外石油资源不稳定的影响,这种衰减马上又以较快的速度恢复了。在80年代早期,虽然衰减已大大降低,但仍没有停止。

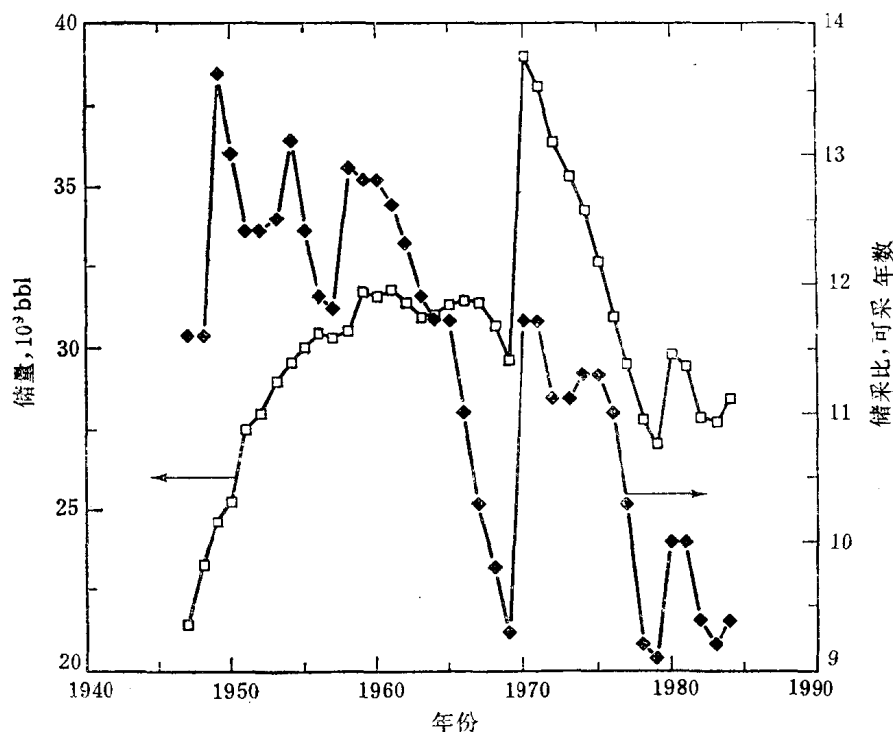


图1-2 美国的石油储量(摘自“石油基础数据”, 1986)

从图1-2中还可以看出,直到60年代初期之前储量与采出量之比是相对稳定的,而从1960年开始直到70年代后期,储采比都一直是下降的。1980年起始储采比显得稳定是由于前10年原油价格上涨,促使多找了一些储量,并力求节约这两者共同作用的结果。由于1986年油价下跌,储量和储采比都再度下降。提高石油采收率是抑制这种衰减的许多方法之一。

2. 储量的增补

增补储量有四类：

- (1) 发现新油田；
- (2) 发现新油藏；
- (3) 已知油田中油藏的扩边；
- (4) 由于开采工艺的经济性改变而重新划入可采范围的储量。

我们将类型(4)留待本书的各章节中详加讨论，在此仅对类型(1)至(3)作简单的分析，以阐明其重要性。

面临的问题自然是究竟通过类型(1)至(3)储量增补的可能性如何。图1-3所展示的产出量随时间的变化趋势是平缓的，通过发现新油田而增补储量往往都更为突然。除了发现大油田的那些年代之外，即使在储量以稳定速度增长的情况下，产出量也总是超过了增补的储量。所以，只有靠发现大油田才能扭转储量严重递减的局面。

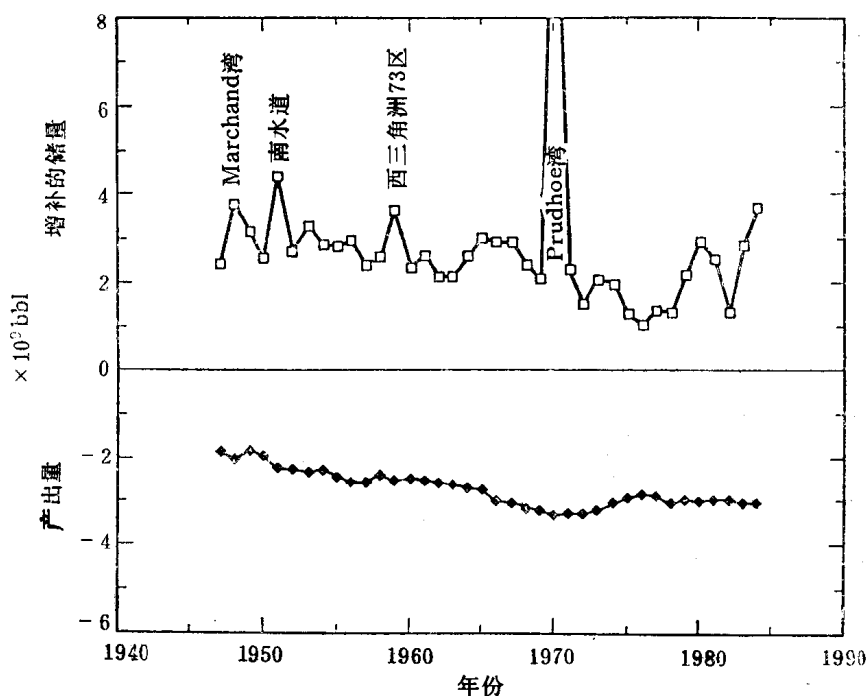


图1-3 美国新发现的石油对其储量的贡献(摘自“石油基础数据”，1986)

但是，发现大油田的机会越来越小。图1-4是发现的大油田(1百万桶以上)数目与发现时间的关系曲线。图中还给出了当年打探井的平均井数。如果在两条曲线之间有相关性，则钻井数曲线应当随着发现油田曲线一起走。但是情况恰好相反，在80年代地发现油田曲线中上述情况可能再度出现。发现油田曲线落后于钻井曲线大约6年的时间，这是因为在这段时间里要确认储量。可见这段时间也有些太长了。从这两条曲线可以看出，在钻探井数量与发现大油田频率之间的关系很小。

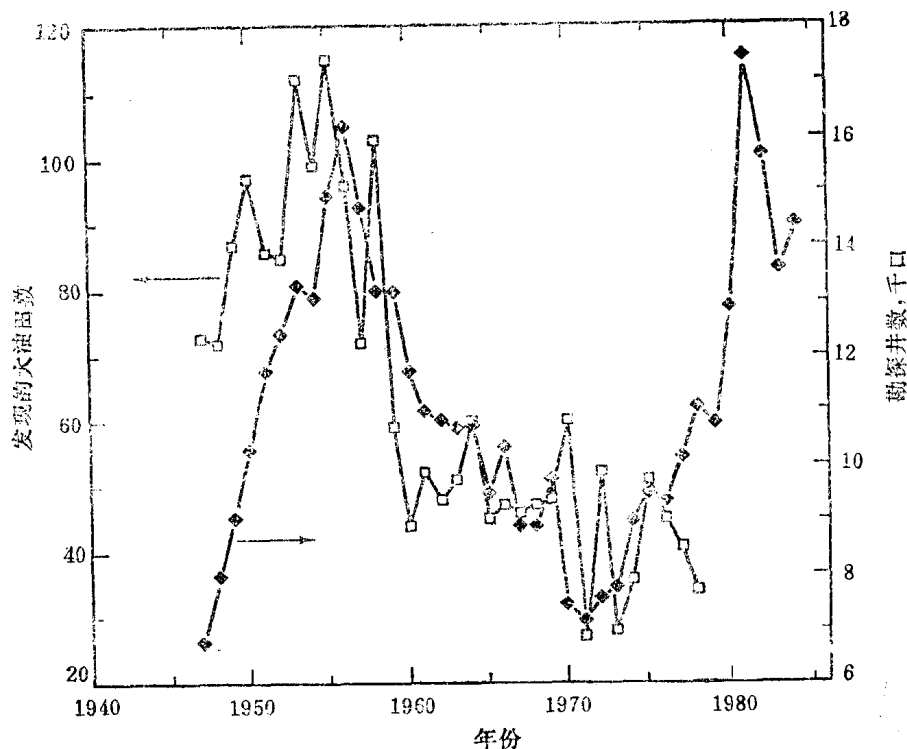


图1-4 发现的油田数和钻探井数(摘自“石油基础数据”, 1986)

从图1-2到图1-4, 我们可以概括出之所以需要搞提高石油采收率是由于:

- (1) 美国本土的储量现在是稳定的, 但看来要递减;
- (2) 从勘探的观点出发, 只有靠发现大油田才可以影响其储量递减速度;
- (3) 发现大油田的速度与钻井井数无关。

从这些观察可以看出, 要增补美国的石油储量, 除了靠钻井和勘探外还需要别的技术方法。注意到还有29806亿桶储量这一目标, 别的技术方法都集中在如何提高石油采收率上。

第三节 增产的油量

一项提高石油采收率方法的成功与否, 通用的技术尺度就是究竟能多产出多少原油。图1-5为增产油量的定义。设想有一个油田、油藏或油井, 其产量从A到B逐渐下降, 而从B点开始采用EOR方法, 如果见效的话, 在B点之后的某个时间产量会偏离计划的递减曲线。额外增加的油量是实际采油量BD线与未采用EOR方法的采油量BC线之间的差值, 即图1-5中的阴影部分。

图1-5的概念尽管看起来很简单, 但实际上要确定所能提高的石油采收率是困难的。这有以下几条理由。