

国外砂岩油田开发

大庆《国外砂岩油田开发》编写组

黑龙江科学技术出版社

《国外砂岩油田开发》编写组成员

主 编：金毓荪

副 主 编：刘丁曾

编 委：罗昌燕 赵子亨 王启民 周 望 巩正荣
尹立柱 黄正秋

参加人员：张克有 黄仙英 马启贵 马汝耕 常国介
王晓屏 汪玉华 陈永生 黄元海 丁贵民
乔贺堂 郑雪祥 王传禹 王如义 郑 昆
高志桥 杨家琦 李殿文 董宝城 吕 平
赵翰卿 苗希仁 姜言礼 张大栋 张惠媛
孙学龙 刘洪喜 裴凤云 佟 玲 柳 夏
宋亭玉 魏淑娟 杜智文 王淑媛 张家民
任景芬 张成启 赵耀五 于洪文 王 环
王秀芝 马新新 白景瑞 孙长福 朱维国
王景林 郑海平 王建礼 杜新华 王玉梅
杨淑英 毕彩凤 李 燕

前 言

1982年9月,中国石油和天然气勘探开发公司和联合国技术合作促进发展部,联合在大庆举办了国际油田开发技术座谈会。会前,我们为了使国内与会代表了解当前国外砂岩油田开发水平和技术动向,专门组织了一些技术干部和翻译人员,集中了三个多月的时间,查阅了最近十几年来国外有关书籍、杂志,整理了40多个油田的单行资料和众多的专题材料,向我国与会代表作了介绍,得到代表们的好评。为了正式出版,会后又对这些资料作了大量的补充和综合分析工作,直至1983年3月底才告完成,并定名为《国外砂岩油田开发》。

砂岩油田的储量或产量,在我国目前已开发的油田中,占有重要的位置。我国砂岩油田的开发,已经有几十年的历史了,并积累了许多宝贵的经验。特别是在六十年代以后,随着大庆油田、胜利油田、大港油田、扶余油田和辽河油田等相继投入开发,更加丰富和开阔了我们在油田开发上的认识。但是,油田开发是一门综合性很强的科学,很多问题,如合理井网密度的确定;开发层系的划分和组合,在开发过程中又如何进行调整;如何挖掘各类油层的潜力;怎样保持油层压力,如何合理使用油层能量等问题,都还需要在理论上和实践上进行更深入的探讨,以便进一步提高油田开发的水平。

世界上没有相同的油田,只有相似的油田。每个油田虽然有它各自的开发特点,但也有一些共同的趋向。为了便于大家对这些问题的研究和了解,我们特编写了这本书。本书共分四篇。第一篇是国外油田开发概况,介绍了世界上石油储量,产量的分布。同时介绍了美国,苏联、加拿大、罗马尼亚和墨西哥等国的油田开发状况。第二篇是油田开发的实例,着重介绍了开发时间较长、目前资料较多的十一个油田。另外对资料较少的十个油田,也作了简要介绍,同时还介绍了三个油区的稳产和开发情况。第三篇介绍了砂岩油田开发中的几个技术问题,主要介绍国外油田开发中,我们认为比较重要的观点、看法和资料。第四篇是采油工艺,介绍国外采油工艺技术状况和水平。总之,力图通过这些资料,对当前国外油田开发的一些基本问题 and 研究状况有个概括的了解,以促进我们油田开发和采油工艺技术的提高。

由于我们的水平有限,时间仓促,又受资料限制,难免有许多不妥之处,请读者批评和指正。

在编写过程中,我们还参考了石油部情报所和各油田出版的情报资料。有些未正式出版的资料虽已参考,未列入参考文献中,特此表示歉意。同时我们在此也向大庆科学研究设计院、各采油厂和井下作业公司等单位,以及为本书的出版做过有益工作的同志,表示衷心的感谢。

《国外砂岩油田开发》编写组

目 录

第一篇 国外油田开发概况	(1)
第一章 世界油气储量的分布及油气产量的变化	(1)
一、世界石油、天然气储量的分布特点	(1)
二、近年来世界石油、天然气的产量变化	(5)
三、美国、苏联油田的采收率	(7)
第二章 世界几个产油国家油田开发状况	(9)
一、美国	(9)
二、苏联	(20)
三、加拿大	(38)
四、罗马尼亚	(49)
五、墨西哥	(58)
第二篇 油田与油区开发实例	(71)
第一章 油田开发实例	(71)
一、罗马什金油田 (Ромашкинское)	(71)
二、杜玛兹油田 (Туймазинское)	(89)
三、巴夫雷油田 (Бавлинское)	(107)
四、阿尔兰油田 (Арланское)	(129)
五、萨马特洛尔油田 (Самотлорское)	(153)
六、乌津油田 (Узень)	(175)
七、什卡波夫油田 (Шкаповское)	(196)
八、曼恰洛夫油田 (Манчаровское)	(208)
九、东得克萨斯油田 (East Texas)	(212)
十、威明顿油田 (Wilmington)	(218)
十一、帕宾那油田 (Pembina)	(230)
十二、达拉特油田 (Dallard)	(240)
十三、阿丹那油田 (Adena)	(244)
十四、普鲁德霍湾油田 (Prudhoe Bay)	(252)
十五、布尔干油田 (Burgan)	(257)
十六、卡夫奇油田 (Khafji)	(263)
十七、哈西·迈萨乌德油田 (Hassi Messaoud)	(267)
十八、札尔泽坦油田 (Zarzaitine)	(274)
十九、福蒂斯油田 (Forties)	(278)
二十、米那斯油田 (Minas)	(284)
二十一、鱼王油田 (Kingfish)	(288)

第二章 油区开发实例	(291)
一、巴什基利亚油区	(291)
二、鞑靼油区	(297)
三、西西伯利亚油区	(300)
第三篇 砂岩油田开发中的几个技术问题	(319)
第一章 井网、层系、注水时间、注水方式	(319)
一、井网密度的演变和对采收率的影响	(319)
二、开发层系的划分与调整	(329)
三、油田(藏)开始注水时间	(341)
四、注水方式的发展趋势	(345)
第二章 国外油田稳产状况和产量下降阶段的开采特点	(347)
一、油田稳产状况	(347)
二、产量下降阶段的开采特点	(351)
三、油田产量年递减率	(355)
第三章 注水保持油层压力下,油井开采方式转变问题	(359)
一、油井开采方式的转变是一种必然发展趋势	(359)
二、开采方式转变的时机	(360)
三、机械采油时的合理压力界限	(363)
第四篇 采油工艺	(373)
第一章 分注分采技术	(373)
一、分采规模和水平	(373)
二、分注分采方式	(374)
三、同井单管分注分采和同井多管分注分采的比较	(384)
第二章 注入水的水质、注水剖面的测定和纠正方法	(385)
一、水质试验设备和试验方法	(385)
二、注水井的吸水能力和注入水悬浮物含量的关系	(388)
三、防止注入水使地层粘土水化膨胀的措施	(391)
四、注水“三害”产生的原因及预防	(392)
五、注入水的水质标准	(394)
六、测注水井吸水剖面的方法	(395)
七、注水井吸水剖面的调整和纠正方法	(402)
第三章 压裂酸化技术	(409)
一、压裂机理研究	(409)
二、压裂方法	(416)
三、压裂液	(420)
四、支撑剂	(423)
五、压裂效果的评价	(425)
六、酸化方法	(427)

七、酸液·····	(428)
八、酸液添加剂·····	(431)
九、酸化新工艺·····	(432)
十、酸化理论研究·····	(437)
第四章 化学堵水·····	(439)
一、聚合物类型堵水剂·····	(440)
二、甲硅烷类堵水剂·····	(460)
三、泡沫堵水剂·····	(463)
四、水泥类堵水剂·····	(465)
五、树脂类堵水剂·····	(468)
六、硅酸盐堵水剂·····	(469)
七、其它堵水剂·····	(470)
第五章 机械采油技术·····	(473)
一、机械采油现状·····	(473)
二、几种抽油技术·····	(480)
三、气举采油技术·····	(503)
第六章 井的报废和套管损坏的原因、预防及修复·····	(507)
一、废弃井报废的方法·····	(507)
二、套管损坏的原因·····	(508)
三、套管变形破坏的预防和修复的方法·····	(512)
第七章 美国生产测井概况·····	(517)
一、生产测井的现状·····	(517)
二、生产测井的水平·····	(525)
三、生产测井发展趋势·····	(528)

第一篇 国外油田开发概况

第一章 世界油气储量的分布及油气产量的变化

一、世界石油、天然气储量的分布特点

地球上生物界的生存和发展,取决于地球能量的收支(吸收和放散)。近代人类的现代化,有赖于能源的大规模开发和高效率运用。人类可利用的来自地下、地面和太空的能源虽然很多,但当今和今后相当长一段时间内,石油和天然气仍然还是世界上主要的能源之一。截止1981年底,世界已探明的石油可采储量已达918.8亿吨,天然气80.5万亿立方米。其中有54.1%的石油和26.5%的天然气分布在中东,有18.2%的石油和14.9%的天然气分布在美洲(见表1—1)。

表1—1 1981年世界油气探明储量

地 区	石油储量(亿吨)		天然气储量(万亿米 ³)	
	1981年	%	1981年	%
亚洲及大洋洲	53.5	5.8	4.3	5.3
中 东	497	54.1	21.3	26.5
非 洲	76.9	8.4	5.9	7.3
欧 洲	124.1	13.5	37	46.0
美 洲	167.2	18.2	12	14.9
全 世 界	918.8	100	80.5	100

表1—2中列出了世界50个重要油区的资料。这些重要油区共拥有世界已探明可采储量的95%以上。从地理分布上看,东半球有10个重要油区,它们集中分布于横穿北非、中东和苏联中部的一个弧形带;在西半球有18个重要油区,它们集中分布于横穿委内瑞拉、墨西哥西部,美国中部、加拿大西部和阿拉斯加北部的一个弧形带。在世界上20个最大的油区中,这二个弧形带就包括了17个。这几个重要油气区占了世界已知探明可采储量的84%。

厄瓜多尔以南的全部地区只有6个重要油区(吉普斯兰,内乌肯,库特—马哈卡姆、卡宾达、奥连特和豪尔赫)。这6个油区都只是勉强合格的重要油区。

世界石油储量分布之所以存在如此巨大的差异,主要原因在于世界沉积盆地中沉积物的体积差别悬殊,此外,是因为这些盆地的地质历史和地质特征存在较大的差异。

从石油储量在已发现的油田中的分布看,世界可采储量的一半以上集中在137个大型油田中(原始可采储量在1亿吨以上)。大庆油田在世界占第20位,如只对比砂岩油田,则占第12位。

表 1—2

世界重要油区

单位: 亿吨

油 区	位 置	已知可采石油 储 量 (1978年底)
1. 阿拉伯—伊朗	阿 拉 伯 半 岛—波 斯 湾	716.4
2. 马拉开波湖	委 内 瑞 拉—哥 伦 比 亚	57.1
3. 伏尔加—乌拉尔	苏 联	54.8
4. 西西伯利亚	苏 联	50.7
5. 雷佛尔马—坎佩切湾	墨 西 哥	49.9
6. 二迭盆地	美 国	41.9
7. 锡尔特	利 比 亚	41.9
8. 密西西比河三角洲	美 国	29.5
9. 尼日尔河三角洲	尼 日 利 亚—喀 麦 隆	28.1
10. 北海北部	英 国—挪 威—丹 麦	27.4
11. 得克萨斯湾沿岸—布尔戈斯	美 国—墨 西 哥	25.2
12. 阿尔伯达	加 拿 大	22.2
13. 东得克萨斯—阿拉克	美 国	20.8
14. 委内瑞拉东部	委 内 瑞 拉—特 立 尼 达	17.9
15. 南里海	苏 联	16.4
16. 北高加索—曼格什拉克	苏 联	16.2
17. 圣华金	美 国	15.9
18. 三迭盆地	阿 尔 及 利 亚—突 尼 斯	15.5
19. 坦皮科—米桑特拉	墨 西 哥	14.7
20. 阿拉斯加北坡	美 国	13.6
21. 阿马里洛—阿达纳科—阿得莫尔	美 国	13.4
22. 中苏门答腊	印 度 尼 西 亚	12.3
23. 洛杉矶	美 国	11.8
24. 松辽	中 国	11.6
25. 肖托夸	美 国	8.9
26. 华北	中 国	8.2
27. 苏伊士湾	埃 及	6.7
28. 沙捞越	文 莱—马 来 西 亚	6.2
29. 伊利诺斯	美 国	5.6
30. 阿巴拉契亚	美 国	5.5
31. 喀尔巴阡山前	罗 马 尼 亚—苏 联	5.5
32. 基马诺—伯绍拉	苏 联	5.5
33. 加德曼斯—伊利泽	阿 尔 及 利 亚—利 比 亚	4.8
34. 吉普斯兰	澳 大 利 亚	4.4

续表 1—2

油 区	位 置	已知可采石油量 (1978年底)
35. 坎贝—古吉特拉	印 度	4.1
36. 墨西哥湾东部	美 国	3.8
37. 文图拉	美 国	3.8
38. 威利斯頓	加 拿 大 — 美 国	3.7
39. 内乌肯	阿 根 廷	3.3
40. 大霍恩	美 国	3.2
41. 中堪萨斯	美 国	3.2
42. 库特—马哈卡姆	印 度 尼 西 亚	3.2
43. 卡宾达	安 哥 拉 刚 果 — 扎 伊 尔	3.0
44. 泡德河	美 国	3.0
45. 本德	美 国	2.9
46. 地峡—萨林	墨 西 哥	2.9
47. 奥连特	厄 瓜 多 尔 — 哥 伦 比 亚	2.9
48. 第聂伯—普里皮亚特	苏 联	2.7
49. 荷兰—西德西北部	西 德 — 荷 兰	2.7
50. 圣豪尔赫	阿 根 廷	2.7

注：①表中已知可采石油储量是常规石油（原油和凝析油）可采储量；

②可采石油储量 = 累计采出量 + 探明的和半探明的储量

按世界上23个含油气区的大油田的储量在地层时代上的分布，中生界的石油储量最高，占59.1%，新生界石油储量为32.9%，古生界只占8%（表1—3）。

表 1—3 世界23个含油气区的石油地质基础数据

沉 积 岩 时 代	面 积		沉积岩体积		大油气田的地质储量（%）		
	万平方 公 里	%	万立方 公 里	%	油	气	换算为石油的总量
古 生 界	269	36.8	627	28.5	8.0	16.0	8.7
中 生 界	308	42.3	8760	39.8	59.1	73.5	60.4
新 生 界	153	20.9	6950	31.7	32.9	10.5	30.9
合 计	730	100.0	21980	100.0	100.0	100.0	100.0

注：1. 不包括西西伯利亚低地；

2. 资料取自《大油田在地壳中的分布规律》1980年中国版。

从世界上可采储量大于1亿吨的135个油田的统计结果看，白垩系中的石油储量最多，为354亿吨，占所统计的各地质时代总石油储量的39.1%。侏罗系和第三系次之，分别为25.2%和24.2%（见表1—4）。其产层的埋藏深度，总的看来也是十分明显的，

1000~2500米范围内的石油储量达623.5亿吨,占所统计的135个大油田不同产层深度总石油储量的73.6% (见表1-5)。

表1-4 世界135个大油田的储量在各地质时代中的分布

产层时代	第三系	白垩系	侏罗系	三迭系	二迭系	石炭系	泥盆系	奥陶系	寒武系	前寒武系	总计
储量(亿吨)	204.6	353.6	211.8	14.7	7.1	21.5	21.2	3.3	5.9	2.4	454.8
%	24.2	39.1	25.2	1.7	0.8	2.8	4.8	0.4	0.7	0.3	100

表1-5 世界13个大油田产层的深度变化

产层深度(米)	可采储量(亿吨)	占总储量百分比	产层深度(米)	可采储量(亿吨)	占总储量百分比
0—500	13.6	1.6	3500—4000	7.6	0.9
500—1000	52.7	6.2	4000—4500	1.8	0.2
1000—1500	163.7	19.3	4500—5000	0.39	
1500—2000	176.5	20.8	5000—5500	0.39	
2000—2500	283.4	33.5	5500—6000	0.39	
2500—3000	85.8	10.1	合计	845.8	100
3000—3500	59.8	7.0			

在考虑涉及大油田的圈闭的主要类型方面,我们看到,背斜大大胜过其它所有的圈闭构造(图1-1)。有人认为,其所以如此,是因为人们发现背斜比发现其它圈闭类型要容易得多。

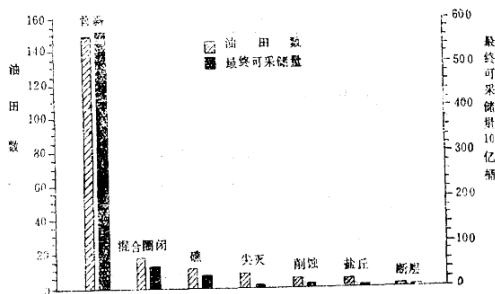


图1-1 世界大油田圈闭的主要类型

二、近年来世界石油、天然气的产量变化

自五十年代以来,世界石油产量得到了迅速地增长,差不多每十年翻一番,平均年增长10%。1950年世界石油总产量5.38亿吨,1960年增加到10.81亿吨,1970年达到23.24亿吨。到七十年代石油产量增长速度下降,平均每年仅增长2.7%(见表1—6)。由于政治上、经济上的原因,产量波动较大。七十年代末和八十年代初基本上保持在约30亿吨的水平。

表 1—6 世界石油历年产量 单位:万吨

年份	产 量	年份	产 量	年份	产 量	年份	产 量
1857	0.03	1951	61048	1962	124865	1973	281496
1860	7.00	1952	64288	1963	134079	1974	281326
1870	79.40	1953	67057	1964	144726	1975	266155
1880	411	1954	71163	1965	155051	1976	286811
1890	1059	1955	79701	1966	168047	1977	295590
1900	2043	1956	86598	1967	180892	1978	295557
1910	4490	1957	91116	1968	197224	1979	311709
1920	9437	1958	93291	1969	212350	1980	299164
1930	19316	1959	100613	1970	232412	1981	278931
1940	29450	1960	108142	1971	245389		
1950	53854	1961	115218	1972	258475		

在世界石油产量迅速增长的同时,石油生产的地区分布也发生了显著的变化。在第二次世界大战以前,美国、苏联和委内瑞拉是世界三个主要的石油产地,其中美国有“石油帝国”之称。当时,中东石油产量所占比例还仅为5%左右。1950年美国的石油产量为2.67亿吨,仍占世界总产量的一半。但此时,中东的石油产量已上升至8830万吨,超过了委内瑞拉,发展成为仅次于美国的新兴石油产地。但到六十年代中期(1964年),中东的石油产量超过了美国。1965年,中东石油产量为4.12亿吨,占世界总产量的27.9%。美国石油产量3.85亿吨,已下降到占世界总产量的26%。另一新兴的非洲产油区年产石油也超过一亿吨,占世界产量的7%。拉丁美洲的石油产量达到2.27亿吨,占世界产量的15.3%。苏联的石油产量增至2.38亿吨,占世界产量的16.1%,形成了中东、美国、苏联、拉美和非洲五大石油产区。进入七十年代以后,中东与非洲在世界石油总产量中的比重继续增大,东南亚开始成为一个重要的石油产区,西欧也发展成为一个新的石油产区,美国在世界石油总产量中的比例继续下降,拉美和加拿大产区所占比例也开始下降,而苏联产量所占比例继续增长。1981年世界上的主要产油国:是苏联、沙特阿拉伯、美国、墨西哥、委内瑞拉、中国、英国、印度尼西亚、阿拉伯联合酋长国、尼日利亚、加拿大、利比亚和科威特。伊朗和伊拉克自两国交战以来,石油工业

遭到严重破坏，石油产量急剧下降（见表1—7）。1981年世界上石油产量超过一亿吨的国家只有6个，我国处于第6位。

表1—7 1981年产石油5000万吨以上国家和地区

排列次序	国家和地区	1981年产量 (亿吨)	比1980年 增长(%)	排列次序	国家和地区	1981年产量 (亿吨)	比1980年 增长(%)
1	苏联	6.04	3.9	11	加拿大	0.6435	9.6
2	沙特阿拉伯	4.821	0.1	12	阿布扎比	0.5725	-15.2
3	美国	4.294	-0.1	12	利比亚	0.5315	-40.5
4	墨西哥	1.195	23.4		亚洲和大洋洲地区	2.390	-2.2
5	委内瑞拉	1.047	-3.4		欧洲	7.530	1.3
6	中国	1.004	-7.7		中东	7.847	-14.9
7	英国	0.895	10.4		非洲	2.18	-27.7
8	印度尼西亚	0.804	1.9		美洲	7.946	1.9
9	伊朗	0.6875	-17.3		全世界	27.893	-6.0
10	尼日利亚	0.6845	-33.4				

注：中国产量包括台湾省产量

海上油气开采近二十年来得到迅速发展。1960年在大陆架上勘查油气的大约只有20个国家，而目前发展到100个国家以上。海上活动钻井平台和油气产量平均每年增长10%。1968年~1978年十年间石油产量翻了一番，从1968年平均日产82.9万吨增加到1978年的157万吨。目前在海上采油的国家已有30多个。海洋钻探技术的发展也极快。1960年油气钻探的水深纪录为80米，1975年前后为200米，目前的钻探的水深为1500~1700米，不久将发展到2000米。作为科学考察的深海钻探，水深纪录甚至达到6000多米。

七十年代以来，海上石油产量的迅速增长，是世界石油生产中的重要发展趋势。目前，海上石油的主要产区有8个：

中东，约占世界海上石油产量的50%，其中以波斯湾最为重要，苏伊士湾次之；

北美，约占世界海上石油产量的20%，以墨西哥湾、加利福尼亚沿海大陆架最为重要，阿拉斯加沿海大陆架次之；

非洲，约占世界海上石油产量的13%，以几内亚湾为主，地中海南缘大陆架次之；

东南亚与澳大利亚，约占世界海上石油产量的11%，以印度尼西亚沿海大陆架为主，马来西亚与文莱沿海及巴斯海峡大陆架次之；

苏联，以里海为主；

南美，以马拉开波湖为主；

西欧的北海大陆架；

西印度群岛沿海大陆架。

中东、北美、非洲和东南亚与澳大利亚四个产区的产量约占世界海上石油产量的94%。

海上石油产量在各大产油区内地位和作用可以从表1—8中明显看出。西欧海上石油产量占该地区总产量的比例最高，达到90%。东南亚和太平洋地区占53%，拉丁美洲占35%。苏联和东欧国家最低，仅占2%。

表1—8 世界海上分区产油量比例

产油区	西欧	东南亚太平洋地区	南美	非洲	中东	北美	苏联东欧国家
海上产量占该区总产量百分比	90	53	35	23	18	11	2
海上产量占世界海上总产量百分比		11		13	50	20	

海上石油产量的80%主要产自沙特阿拉伯(世界上最大的萨法尼亚海上油田)，委内瑞拉、英国和挪威、美国、阿拉伯联合酋长国、印度尼西亚、伊朗以及尼日利亚和埃及。

根据预测，海上石油产量和在世界石油总产量中的所占比例将继续增长。八十年代以后，海上石油产量可能将占世界石油总产量的30%。

世界上曾经年产5000万吨以上的油田有13个，但从1976年以后，直到目前只有8个油田保持了年产5000万吨以上的水平。这些油田是加瓦尔(沙特阿拉伯)、布尔干(科威特)、玻璃瓦尔油区(委内瑞拉)、萨法尼亚—卡夫奇(沙特阿拉伯—中立区)、普鲁德霍湾(美国)、萨马特洛尔(苏联)、罗马什金(苏联)和我国的大庆油田。

三、美国、苏联油田的采收率

美国的油田平均采收率，根据各种文献报道，变化范围为30~35%，平均为33%^[1,3]。1980年初，累计发现的原始地质储量625~628亿吨，累计采出原油172亿吨，占总地质储量的27%。1981年底剩余可采储量40.8亿吨，占总储量的6.5%。地下剩余的，在现有工艺技术经济条件下尚采不出来的地质储量411~414亿吨^[2]，占总地质储量的66%。美国油田平均采收率低有以下原因：

1. 美国大量的低产低渗率油田和碳酸盐油田都已投入开发，影响了油田平均采收率的提高^[3]。

(1) 地层岩性油藏的地质储量占38%，其设计采收率只有27.3%，比构造油藏设计采收率34%低6.7%。

(2) 碳酸盐岩油藏的地质储量占28%，平均设计的采收率为27.2%，比砂岩油藏的平均设计采收率33.3%低6.1%。

(3) 重油的储量占26%，其采收率在—次采油时不到5%。

2. 美国绝大部分油田和石油储量在开发早期均采用效率低的自然枯竭法开采，一般最终采收率只有15~25%，而且现在有部分油田能够采用注水注气开发的油田还没有采

用二、三次采油方法。据埃克森公司理查逊估计,如果美国所有需要注水的油田都采用注水开发,则一、二次采油的采收率可以增加7%,即油田平均采收率可提高到37~42%^[4]。

但从五十年代,六十年代投入开发,并实现了早期注水注气开发的新油田,或三十年代、四十年代投入开发,中后期也进行了全面注水注气的老油田设计采收率和实际采收率都能达到40%以上,不少达到60%以上,大大超过了美国油田的平均采收率。

苏联油田已经达到的实际采收率和油田的设计采收率都比美国的高。1961年在基辅召开的全苏采油(气)会议上公布的苏联油田的平均采收率为44%左右^[5],较美国的平均采收率高10%左右。根据1979年苏联向第十届世界石油会议提供的资料,苏联原始可采储量大于200万吨,在人工或天然水压驱动条件下开采的400多个油藏中,已有65个油藏进入开采的结束阶段,其中50个油藏资料齐全可靠,油田的实际采收率已达到50%以上(第一阶段采出10.3%,第二阶段采出15.4%,第三阶段采出21%,第四阶段5%,总共51.7%)。近20年来,苏联探明石油储量构成发生明显变化,复矿物成份砂岩和高粘油田(>10厘泊)储量明显增加(表1—9、10)。

表 1—9 不同储层储量所占原始可采储量%

储层类型	1961.1.1	1971.1.1	1979.1.1
石英砂岩	84.9	63.7	41.5
复矿物成分砂岩	8.5	27.5	49.2
碳酸盐岩	6.6	8.8	9.3

1—10表 高粘油田(>10厘泊)储量
所占地质储量百分比

1961.1.1	1971.1.1	1979.1.1
7.2	13.9	16.7

由于这两个因素的影响,苏联油田的平均采收率不断下降,下降最快是在60年代中期。苏联分析了1950年到1979年发现并投入开发的近100个油田资料,这些油田的年产量约占全苏产量的80%。储层为单矿物的石英砂岩、复矿砂岩和碳酸盐岩。原油粘度从一厘泊到几十、几百厘泊。油田预计采收率25~75%。

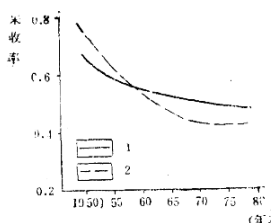


图 1—2 苏联油田设计采收率变化

1. 根据累计采油量比累计地质储量计算值;
2. 根据相应的年平均设计计算结果。

1979年1月1日油田设计的平均采收率与1951年1月1日相比,下降了38%(图1-2、3)。1979、1980年全国油田的平均采收率已经趋于相对稳定,新油田的设计采收率40%左右^[6]。

第十届世界石油会议预计,到2000年全世界油田平均采收率将从目前的34%增加到40%,其中发达国家将达到45%,发展中国家将达到38%。提高采收率的主要方法将是相对

完善的热法，如注蒸气、注热水、热气、蒸气热处理，以及与注水联合使用的层内火烧法。

苏联学者认为，本世纪末达到的油田采收率值可能比上述值要高些。为此，必须全面推广已研制出来的或正在试验的全套强化采油和提高采收率的手段和方法。主要措施是：

1. 合理地使用保持油层压力的方案，调整平面和纵向上的注采关系，加入各种药剂，提高注入水的洗油性能。其中包括：

(1) 选择油层和生产井的合理工作制度，确定深部致密的裂缝性碳酸盐岩储集层和泥板岩的强化油流的方法；

(2) 研究均质和非均质液体在极度泥岩化储集层和鳞片状泥岩中的渗滤机理，作为采用综合措施作用油层系统的基础。研究加入极性物质的水驱油时发生在储集层内的表面现象，如液体和泥质颗粒间的离子交换使泥岩膨胀而缩小孔隙度，油层润湿性的变化等具有重要意义。

2. 使用大型作用油层及其结构的方法，以改变油层的物理性质和地质结构。

(1) 核爆炸提高油层渗透率，改善和建立构造不同地区的水力学联系；

(2) 油层顶部泄压和实行大型水力压裂造成延伸长的水平和垂直裂缝，增加低渗透率油层和薄油层的出油体积；

(3) 在油水界面和气油界面间打隔板完善开发系统，防止形成水锥和气锥；

(4) 打水水平井开发复杂油田。

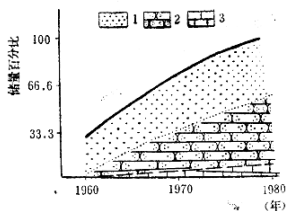


图1—3 不同类型储层原始地质储量变化

1. 石英砂岩；2. 复矿物砂岩；
3. 碳酸岩。

第二章 世界几个产油国家油田开发状况

一. 美国

美国本土面积936.3万平方公里，有利于油气生储的沉积岩分布总面积830万平方公里，其中陆地为470万平方公里，大陆架为230万平方公里，大陆坡为130万平方公里。根据地质条件和含油气状况，美国可分为九个含油气区，三十一一个含油气盆地。

美国的五十个州中，有三十四四个州不同程度地生产油气，但大多集中在得克萨斯、阿拉斯加、路易斯安那、加利福尼亚、俄克拉何马和怀俄明六个州、这六个州1981年产油量为3.6亿吨，占美国同年产油量的84.9%。实际上，仅得克萨斯、阿拉斯加和路易斯安那三个州的产油量就占全美总产油量的63.6%左右。

美国从1859年开始生产油气，除凝析气藏的产油量外，仅按原油计算（包括油田凝析油），1919年产油量达5000万吨，1925年上1亿吨，1966年为4亿吨，1970年达历史最高水平为4.75亿吨。美国历年产油量和其它指标见表1—11。到1980年底，美国的石油

探明可采储量207.9亿吨,如果按美国目前的油田平均采收率35%计算,则累计探明的总地质储量达594亿吨,累计钻采油井150余万口,累计采油172.25亿吨,剩余可采储量35.64亿吨。1981年产油4.24亿吨,居苏联和沙特阿拉伯之后,为世界第三位。

至1977年底,美国共发现油气田29280个,其中油田有19565个,气田9714个。油田中可采储量大于1350万吨的有315个,可采储量大于1亿吨的有23个。最大的油田是普鲁德霍湾油田,其次是东得克萨斯油田。依据1981年产油量计,年产1000万吨以上的油田只有2个,即普鲁德霍湾油田和沃森油田,1981年产油量分别为7506和1082.8万吨。年产500万吨以上的油田共有6个,它们是东得克萨斯、耶茨、埃尔克山、中途日落、威明顿和克恩河油田。以上8个油田1981年合计产油1.26亿吨,占美国同年总产油量的29.7%,而它们的剩余可采储量占美国总剩余可采储量的41.9%。

五十年代末及整个六十年代,美国的产油量一直是上升的,平均每年增长980万吨,递增速度约为3%,年储采比保持在10~12左右。

七十年代以来,美国的原油产量(1970年除外)总的来讲出现了下降趋势。产油量最低的一年是1976年,为4.01亿吨。1978年是因为阿拉斯加管线全部完工,普鲁德霍湾油田正式投产使得美国原油产量有所增长,达4.29亿吨,当年的增长率为6.4%。1980年产油4.27亿吨,年增长率为1.5%。从1970~1980年的11年间,美国的原油产量平均每年递减217.7万吨,年递减率为0.5%,年储采比变化在9~11之间(详见表1—11)。

七十年代以来,美国原油产量递减的主要因素是在于后备储量不足及老油田产量自然递减所致。后备储量不足:美国经百余年的勘探开发历史,至1978年累积完成钻井256万余口,总进尺25.97亿米,其中探井达45万口,进尺6.5亿米。近二十年间,平均每年上地震队310个,动用钻机2065台,平均年完成探井5957口,进尺达1023万米,加之对一些找油新概念的及时引用,诸如了解沉积盆地的类型与构造,进行岩相分析及环境

重塑,对老油气区地质资料如物探资料的重新整理,重新解释,配合以地震勘探为主,兼用重、磁及电法找油手段和使用高精度的多次复盖、反褶积、亮点技术等,油气勘探取得了一定的成果。从1972~1976年,探井成功率达16%;1979年最高达18%。近二十年中,平均每年可发现新的油气田752个。但是,新发现的油气田储量却在不断减少。在最近的三十年中,仅只有5年其探明的新储量才超过当年美国的年采油量。而且,据统计在五十年代,美国平均每发现一个新油田可获得80万吨储量,六十年代以后下降到50万吨,1974~1976年间再次下降到40万吨以下,而1976年~1980年

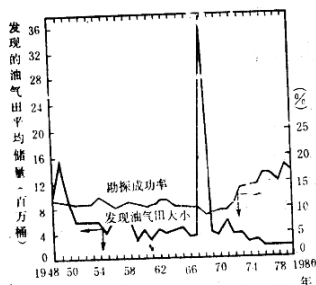


图1—4 1948—1980年勘探成功率和新发现油气田平均储量变化

间只有27万吨左右。1948~1950年美国勘探成功率和新发现油气田平均储量变化见图1—4。

表 1-11

美国 1956 年~1980 年石油储、采变化基本数据表

项 目	年 份	1956	1957	1958	1959	1960
年初剩余可采储量 (1) (亿吨)		40.55	41.1	40.9	41.25	42.85
年末剩余可采储量 (1) (亿吨)		41.1	40.9	41.25	42.85	42.71
年剩余储量增减率 (%)		+1.4	-0.5	+0.9	+3.9	-0.3
年增加的新储量 (2) (亿吨)		4	3.28	3.52	4.95	3.2
全国地震队 (3) (个)		568	524	422	425	385
开钻钻机数 (1) (台)		4845	4791	4114	3991	3543
新油田探井数 (4) (口)		8742	8014	6950	7031	7320
年探井进尺 (4) (万米)		1291	1192	1042	1081	1094
勘探成功率 (3) (%)		9.93	10.88	11.31	10.98	10.18
发现新油气田数 (3) (个)		868	872	786	772	745
新油田平均可采储量 (3) (万吨)		90	84.8	87.5	40.3	64.2
年产量 (5) (万吨)		35359	35354	33086	34783	34787
比上一年增减率 (%)		+5.3	-0.01	-6.4	+5.4	+0.01
新储量比年产量增减值 (亿吨)		+0.5	-0.25	+0.22	+1.47	-0.28
年储采比		11.5	11.6	12.4	12.1	12.3
全国总完井数 (2) (口)		58418	53783	49101	50179	46831
新完油井数 (口)		30641	27519	24311	25532	22256
新完油井占总完井 (%)		52.4	51.1	49.5	50.9	47.5
年钻井总进尺 (6) (万米)		7174.6	6732	5989.5	6285	5932.7
新油井钻井进尺 (6) (万米)		3670.7	3370	2851	2962	2638.6
新油井进尺占总进尺 (%)		51.2	50	47.6	47	44.5
当年开井的油井数 (2) (口)		551170	569273	574905	583141	591158
自 喷 井 (1) (口)		-	68527	68123	68614	67267
人工升降井 (口)		-	500746	506782	514527	523891
人工升降井占总油井 (%)		-	88	88.2	88.2	88.6
低产井总井数 (2) (口)		370489	372519	373870	392535	403323
低产井占总油井 (%)		67.2	65.4	65.0	67.3	68.2
低产井总产量 (2) (万吨)		6561	6416	6915	7207	7797
低产井产量占全国总产量 (%)		18.6	18.1	20.9	20.7	22.4
全国平均日产量 (5) (万吨)		96.6	96.8	90.6	95.3	95.3
单井平均日产量 (吨)		1.76	1.70	1.58	1.63	1.61