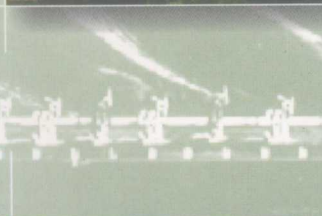


ORDOS PENDI

DISHENTOU YOUQITIAN KAIFA JISHU

# 鄂尔多斯盆地 低渗透油气田开发技术

王道富 朱义吾 李忠兴 主编



石油工业出版社

# 鄂尔多斯盆地 低渗透油气田开发技术

王道富 朱义吾 李忠兴 主编

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书回顾总结了多年来对鄂尔多斯盆地低渗透油气田开发的实践、理论研究和工艺技术。通过这些实践经验和技术成果的总结,可更好地认识和了解低渗透油气田的开发过程,同时在技术处理和工艺方法上有极好的借鉴作用。本书的内容对同类油田的开发具有较强的实用性。

本书可供从事低渗透油气田开发地质、采油工程、油田化学、室内试验、油田地面设计、规划的现场人员及有关院校的师生学习参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

鄂尔多斯盆地低渗透油气田开发技术 / 王道富等主编.  
北京:石油工业出版社,2003.8

ISBN 7-5021-4336-X

I. 鄂…

II. 王…

III. 鄂尔多斯盆地—低渗透油层—油田开发

IV. TE348

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 064397 号

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印刷  
新华书店北京发行所发行

\*

787×1092 毫米 16 开本 20.25 印张 520 千字 印 1—2000

2003 年 8 月北京第 1 版 2003 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-4336-X/TE·3038

定价:58.00 元

# 《鄂尔多斯盆地低渗透油气田开发技术》

## 编 委 会

主任：胡文瑞

主编：王道富 朱义吾 李忠兴

委员：张明禄 吕 强 李恕军

杨克文 赵继勇 荣春龙

# 代 序

鄂尔多斯盆地是我国大型沉积盆地之一,面积三十七万平方千米。四面大山环抱,三面黄河环绕。日月星辰,山海湖滨,构造运动,海陆变迁。春夏秋冬,地理演化,生命繁衍,奥妙无穷。油龙气虎,桃李争妍,千古神话,史诗为证:

公元前西汉末,王莽时期,就有高奴出脂水之说。

公元 32 至 92 年东汉班固《汉书·地理志》:“高奴有洧水可燃”;《汉书·郊祁志》:“祠天封苑火并于鸿门”。

1031 至 1095 年北宋沈括《梦溪笔谈·杂志》:“延境内有石油,旧说高奴出脂水,即此也”。“此物后必大行于世”。

1286 至 1303 年《元一统志》:“延长县南凿开石油一井,其油可燃”。“延川县西北有一井,岁纳百斤”;“宜君县西石井中,汲水澄而取石油”。

1903 年,陕西于彦彪、郑明德与德国商人汉纳根合约开采延长石油。

1906 年,创办延长石油官厂。次年钻成中国陆上第一口井。

1914 年,北洋军阀政府与美国美孚石油公司签订《中美合办油矿条约》。油量甚微,无重大发现。

1932 年,国防设计委员会再次勘探陕北石油,由北平地质调查所翁文灏组织石油地质调查,钻井 4 口。

1935 年中央红军长征到达陕北,陕甘宁边区政府恢复石油生产,毛泽东主席为石油劳模题词“埋头苦干”,石油为中国革命作出贡献。

1946 年抗日战争胜利后,中国石油有限公司成立,玉门油矿改称甘青分公司,在甘肃陇东、陕西彬县进行石油及油页岩调查。

1950 年政务院召开西北石油勘探会议,成立西北石油管理局,后改称地质局、钻探局,又改称西安地质调查处,组建陕北勘探大队,是新中国成立后在鄂尔多斯盆地开展最早的石油勘探活动。

1958 年石油部确定勘探重点仍是鄂尔多斯盆地,并成立陕甘宁石油勘探局,后改称银川石油勘探局,发现李庄子、马家滩油田。

1962 年石油部撤销银川石油勘探局,缩编为银川石油勘探处,隶属玉门石油管理局。

1966 年玉门石油管理局决定成立银川石油勘探指挥部,在盆地北、西、中、南部勘探,获得一系列有价值的发现。

1969 年玉门石油管理局根据石油部指示,组织陇东石油会战筹备组,后改称陇东石油勘探指挥部。

1970 年国务院、中央军委下发(70)81 号文件,成立中国人民解放军兰州军区长庆油田会战指挥部。庆 1 井钻探成功,拉开陕甘宁石油大会战的序幕。

1978 年成功开发红井子、马岭等油田,原油产量首次突破百万吨,外输兰州,始开外销商品原油的历史。

1983 年长庆油田会战指挥部更名为长庆石油勘探局。胡耀邦总书记 7 月 20 日视察油

田。塞1井钻探成功,发现安塞油田。长庆进入由侏罗系转向三叠系为主找油、中生界找油转向古生界同时找气的新时期。

1988年陕参1井钻探成功,发现靖边大气田,并获得国家科技进步一等奖,开创长庆油田天然气勘探开发的新局面。

1992年长庆油田咸阳石化总厂投产,构筑上下游业务协调发展的新格局。

1994年中国石油天然气总公司决定加快鄂尔多斯盆地油气勘探开发步伐,提出“33551”发展目标。安塞油田经济有效的开发技术,被誉为“安塞模式”,揭开低渗透油田开发的革命。

1995年中国最大的整装低渗透靖安油田投入正式开发。原油产量上升到200万吨。发现榆林大气田。

1996年9月11日国务院总理李鹏在银川听取长庆油田工作汇报。靖边气田投入正式开发。中国最大的天然气净化厂破土动工。

1997年原油产量上升到300万吨。陕京、靖西等输气管线投入运行,向北京、天津、西安等大城市输送天然气。

1998年原油产量突破400万吨。发现乌审旗大气田。油田总部由甘肃庆阳搬迁到西安,实现战略性转移。

1999年长庆油田重组改制为长庆石油勘探局和长庆油田分公司。10月22日国务院总理朱镕基在兰州听取长庆油田工作汇报。与英荷壳牌公司在北京钓鱼台国宾馆签订合同,合作开发榆林气田。

2000年苏6井钻探成功,发现中国最大的世界级的苏里格上古生界大气田。神木天然气勘探获得重大发现。天然气产量突破20亿立方米。

2001年累计探明石油储量突破10亿吨、探明天然气储量突破10000亿立方米大关。原油产量上升到500万吨、天然气产量攀升到30亿立方米。西17井钻探成功,发现西峰大油田,中生界延长统石油勘探开发又进入一个新时期。

2002年3月27日中共中央总书记、国家主席江泽民在榆林听取长庆油田关于鄂尔多斯盆地资源汇报。原油产量突破600万吨,天然气产量突破40亿立方米,实现历史性跨越。苏里格气田勘探获国家科技进步一等奖。

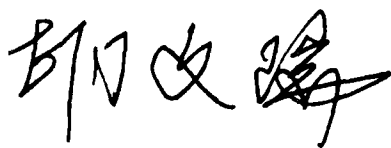
2003年原油产量攀上700万吨台阶,天然气产量力争50亿立方米。长庆天然气通过“西气东输”管线输送至长江三角洲。西峰大油田正式投入开发。

重新认识鄂尔多斯盆地;重新认识长庆低渗透;重新认识我们自己。解放思想,实事求是,与时俱进,续写春秋。

长庆油田前瞻性的“三个层面业务”总体发展战略,立足现实,谋划未来,惠及员工,造福社会。

长庆油田成长性的“三步走”发展战略目标,面向市场,做大做强,重在实效,立于不败。

鄂尔多斯盆地国之宝盆也!



2003年1月

# 前 言

新中国成立以后,长庆油田的石油工作者在鄂尔多斯盆地进行了全面系统的油气勘探开发工作,在低渗透油气藏开发实践中,积累了许多宝贵的经验,形成了一系列低渗透油气藏开发成果与工艺技术。回顾和总结这些经验和技術,对于更好地加深认识和开发这一类型的油气藏是适时的,也是十分重要的。

2001年,《中国油气田开发若干问题回顾与思考》(简称《回顾与思考》)编委会在组织安排全国各油田编写《回顾与思考》文稿时,曾希望各油田能够利用这一机会,组织安排对各自的油气田开发工作经验和技術,进行一次比较系统的回顾与总结,根据这一思路,长庆油田在完成《回顾与思考》编写提纲有关章节的基础上,组织编写了《鄂尔多斯盆地低渗透油气田开发技术》一书。

本书以长庆油田在鄂尔多斯盆地的油气开发实践为基础,以有关低渗透油气田开发的理论研究成果与技術为指导,吸取国内外有关低渗透油气藏开发的经验和教训,通过查阅文献,阅读盆地内部历史资料特别是20世纪90年代以来的成果资料,进行回顾思考、综合分析归纳总结编写而成。尽管以往在盆地油气开发方面的成果资料很多,但由于篇幅所限,在此只能选取一些主要内容和技术成果进行论述,供油气田开发工作者及有关专业人员阅读参考。

本书由王道富、朱义吾、李忠兴研究拟定提纲,全书共分为九章和两个附录。参加编写的人员有:绪论、第一至三章为朱义吾,第四章为朱圣举、艾芳、赵菊爱、胡建国、赵向宏、朱义吾,第五章为赵继勇、熊维亮、袁林、朱义吾,第六、七章为达世攀、朱义吾,第八章为朱义吾,第九章为朱义吾、吕强,附录一为陶明智,附录二部分引自《鄂尔多斯盆地勘探开发理论与技术》。全书由朱义吾修改、王道富审定完成。

本书在资料收集编写过程中得到史成恩、阎纪辉等同志的支持帮助,值此书出版之际,特向以上同志表示感谢。

由于我们水平有限,书中有些观点和认识难免有错误不当之处,恳切希望读者给予指正。

编 者

2002.11.30

# 目 录

|                                              |      |
|----------------------------------------------|------|
| 绪论                                           | (1)  |
| 第一章 概况                                       | (4)  |
| 第一节 自然地理                                     | (4)  |
| 第二节 油气田开发的基本情况                               | (6)  |
| 一、油田简况                                       | (6)  |
| 二、油气藏地质                                      | (8)  |
| 三、油气田开发状况                                    | (10) |
| 第三节 实现低渗透油气田开发持续发展的主要举措与开发效果                 | (10) |
| 一、主要举措                                       | (11) |
| 二、油气田开发效果                                    | (13) |
| 第二章 低渗透油气田开发的历程回顾                            | (15) |
| 第一节 油气田勘探开发历程的阶段划分                           | (15) |
| 一、第一阶段:20 世纪 50 年代盆地石油勘探开发的筹划启蒙时期            | (15) |
| 二、第二阶段:20 世纪 60 年代,盆地石油勘探开发的起步时期             | (16) |
| 三、第三阶段:20 世纪 70 年代,盆地石油勘探开发大规模发展,长庆油田组建和创业时期 | (17) |
| 四、第四阶段:20 世纪 80 年代,长庆油田的调整时期                 | (18) |
| 五、第五阶段:20 世纪 90 年代到目前,长庆油田的大发展时期             | (20) |
| 第二节 长庆油田的发展与重组改制                             | (22) |
| 一、1970 年以前,盆地内勘探开发工作概况                       | (22) |
| 二、1970 年后长庆油田建设发展与重组改制                       | (24) |
| 第三章 油气田地质                                    | (27) |
| 第一节 油气田区域地质                                  | (27) |
| 一、盆地演化及地层                                    | (27) |
| 二、区域构造单元划分                                   | (27) |
| 三、盆地油气资源丰富,主要油气田复合连片                         | (31) |
| 第二节 低渗透油气藏地质                                 | (32) |
| 一、侏罗系河流沉积的低渗透砂岩油藏                            | (32) |
| 二、三叠系三角洲沉积的特低渗透砂岩油藏                          | (35) |
| 三、上古生界石炭二叠系低渗透砂岩气藏                           | (38) |
| 四、下古生界奥陶系碳酸盐岩低渗透气藏                           | (41) |
| 第三节 不同低渗透油气藏地质开发特征                           | (44) |
| 一、侏罗系延安组低渗透砂岩油藏                              | (44) |
| 二、三叠系延长组特低渗透砂岩油藏                             | (44) |
| 三、上古生界二叠系低渗透砂岩气藏                             | (45) |

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| 四、下古生界奥陶系碳酸盐岩气藏·····                 | (45)  |
| <b>第四章 侏罗系低渗透砂岩油藏开发</b> ·····        | (47)  |
| 第一节 侏罗系低渗透油藏主要地质特征·····              | (48)  |
| 一、地质构造特征·····                        | (48)  |
| 二、储层沉积与分布特征·····                     | (48)  |
| 三、储层物性与孔隙结构·····                     | (48)  |
| 四、粘土矿物与渗流特征·····                     | (49)  |
| 第二节 油藏开发的主要特点·····                   | (50)  |
| 一、油层渗透率低,要依靠压裂投产提高单井产量·····          | (50)  |
| 二、提高油田采收率和持续稳产的关键是进行注水开发·····        | (50)  |
| 三、水驱油机理研究与注水开发中油藏地质变化特点·····         | (51)  |
| 第三节 低渗透油田开发实例·····                   | (52)  |
| 一、马岭油田·····                          | (52)  |
| 二、吴旗油田·····                          | (84)  |
| 三、李庄子油田·····                         | (102) |
| 四、元城油田·····                          | (111) |
| <b>第五章 三叠系特低渗透砂岩油藏开发</b> ·····       | (128) |
| 第一节 延长组油藏地质特征·····                   | (128) |
| 一、区域地质构造特征·····                      | (128) |
| 二、含油层系划分及对比·····                     | (128) |
| 三、储层沉积特征与砂岩体·····                    | (131) |
| 四、储层岩石学特征·····                       | (131) |
| 五、油藏物性与流体特征·····                     | (132) |
| 第二节 特低渗透油藏开发的主要特点·····               | (132) |
| 一、油层基本无自然产能,经压裂改造可较大幅度提高单井产量·····    | (132) |
| 二、利用自然能量开采递减大、采收率低,早期注水开发可提高采收率····· | (132) |
| 三、利用油层天然微裂缝走向与井网合理匹配,可提高开发效果·····    | (133) |
| 四、油层启动压差及驱替压力梯度大·····                | (135) |
| 五、油井见水后采液、采油指数下降·····                | (135) |
| 第三节 特低渗透油藏开发·····                    | (136) |
| 一、安塞油田·····                          | (136) |
| 二、靖安油田·····                          | (162) |
| <b>第六章 二叠系低渗透砂岩气藏开发</b> ·····        | (188) |
| 第一节 气藏开发基本情况·····                    | (188) |
| 第二节 气藏地质特征·····                      | (189) |
| 一、构造特征与地层划分·····                     | (189) |
| 二、储层沉积相·····                         | (191) |
| 三、储层特征·····                          | (201) |
| 四、气层评价·····                          | (209) |
| 五、流体性质及压力、温度·····                    | (210) |

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| 六、气藏类型 .....                      | (212) |
| 第三节 低渗透砂岩气藏开发 .....               | (212) |
| 一、开发前期气藏描述与综合评价研究 .....           | (212) |
| 二、气藏开发试验与产能建设 .....               | (213) |
| 第七章 奥陶系碳酸盐岩气藏开发 .....             | (216) |
| 第一节 概况 .....                      | (216) |
| 一、地理位置 .....                      | (216) |
| 二、气藏区域构造 .....                    | (216) |
| 三、勘探开发简况 .....                    | (217) |
| 第二节 碳酸盐岩气藏基本地质特征 .....            | (217) |
| 一、气藏构造与圈闭类型 .....                 | (217) |
| 二、储层特征 .....                      | (220) |
| 三、流体性质及气藏驱动类型 .....               | (237) |
| 第三节 气藏开发 .....                    | (241) |
| 一、气藏开发与工艺技术研究 .....               | (241) |
| 二、气藏开发特征 .....                    | (243) |
| 三、靖边气田实现了高效开发 .....               | (250) |
| 第四节 气藏高产稳产井区控制因素分析 .....          | (251) |
| 一、单因素分析 .....                     | (251) |
| 二、圈闭及高产富集规律 .....                 | (252) |
| 三、天然气富集高产区的预测 .....               | (252) |
| 第八章 低渗透油气藏开发研究与配套技术 .....         | (254) |
| 第一节 低渗透油藏开发研究与实践 .....            | (254) |
| 一、隐蔽性油藏的滚动勘探开发 .....              | (254) |
| 二、“三低”油田的经济开发 .....               | (256) |
| 第二节 低渗透油气藏四种不同的开发建设模式 .....       | (257) |
| 一、安塞特低渗透油田开发建设模式 .....            | (258) |
| 二、马岭低渗透油田开发建设模式 .....             | (259) |
| 三、小区块低成本开发地面建设模式 .....            | (259) |
| 四、低渗透气田开发建设模式 .....               | (259) |
| 第三节 低渗透油气田开发的十项主体技术 .....         | (261) |
| 一、侏罗系低渗透油藏开采工艺技术系列 .....          | (261) |
| 二、三叠系特低渗透油藏开发配套技术 .....           | (262) |
| 三、边底水油藏开发技术 .....                 | (263) |
| 四、低渗透气田开发优化布井与高效开发技术 .....        | (263) |
| 五、低渗透油气藏压裂酸化改造技术 .....            | (264) |
| 六、特低渗透油田早期超前、周期性和精细注水开发技术 .....   | (264) |
| 七、黄土塬复杂地貌条件下丛式井、小井眼井的油田开发技术 ..... | (264) |
| 八、隐蔽性油藏滚动勘探开发技术 .....             | (264) |
| 九、低渗透油气田油田化学应用技术 .....            | (265) |

|                                                         |       |
|---------------------------------------------------------|-------|
| 十、低渗透油藏裂缝研究与监测应用技术 .....                                | (265) |
| <b>第九章 低渗透油气藏开发的回顾及展望</b> .....                         | (267) |
| 第一节 低渗透油气藏开发的回顾与思考 .....                                | (267) |
| 一、低渗透油气田勘探开发难度大、难点多,依靠科技进步,立足在实践中创新,<br>经济有效地投入开发 ..... | (267) |
| 二、在实践中不断深化和重新认识低渗透油气藏的地质特征和规律 .....                     | (269) |
| 三、坚持科技创新,不断探索与油气藏特点相适应的配套技术 .....                       | (271) |
| 四、以经济效益为中心开发低渗油气田 .....                                 | (272) |
| 五、油气资源的保护与合理开发利用 .....                                  | (273) |
| 第二节 长庆油田发展前景与展望 .....                                   | (274) |
| 一、鄂尔多斯盆地油气资源现状 .....                                    | (274) |
| 二、鄂尔多斯盆地油气资源量的演变 .....                                  | (275) |
| 三、长庆油田发展前景与展望 .....                                     | (276) |
| <b>附录一 长庆油田油气藏开发大事记</b> .....                           | (278) |
| <b>附录二 低渗透油气藏开发技术政策与技术规范</b> .....                      | (293) |
| 一、四项技术政策 .....                                          | (293) |
| 二、六项技术规范 .....                                          | (294) |
| <b>参考文献</b> .....                                       | (311) |

## 绪 论

鄂尔多斯盆地的低渗透油气田开发,是在长期不断探索和拼搏创新的实践认识过程中,逐步开发建设成为目前油气田连片分布的大型油气区。在整个勘探开发实践认识过程中,有经验也有教训。总结和分析这些经验和教训,对进一步开发好这类油气田,无疑是很有益的。为此,我们搜集了过去有关鄂尔多斯盆地油气勘探开发的历史文献和长庆油田会战以来在低渗透油气田开发过程中的一些成果和总结资料,编写成《鄂尔多斯盆地低渗透油气田开发技术》一书,试图对这类低渗透油气田在开发实践中的若干问题进行回顾和论述。

鄂尔多斯盆地的油气勘探开发工作,早在上个世纪初就开始了。1907年我国陆上钻成的第一口油井——延1井(井深81m),就位于盆地东部陕北延长县境内延长组地层一个露头区。其产油层,也是目前大面积开发的三叠系延长组特低渗透油藏。

长庆油田在鄂尔多斯盆地进行油气勘探开发工作,可追溯到长庆石油会战前,从1950年组建陕北勘探大队开始,到目前已经走过了50多年曲折而又艰辛的开发历程。它经过了初期筹划启蒙,开始在盆地西部发现低渗透油气田后经历了70年代长庆油田大规模的石油会战,进入盆地内部的油气勘探开发创业以及近期的油气并重持续发展,特别是在进入20世纪90年代后,先后开发了安塞、靖安大油田和靖边、榆林大气田;跨入新世纪之时又发现苏里格气田和西峰油田并正在进行开发前期的评价。从而使长庆油田低渗透油气藏的开发生产进入快速发展的轨道,形成了目前的形势和油气协调发展的良好局面。这些既是几代石油人长期在这里“攻坚啃硬、拼搏创新”的劳动结晶,同时也凝聚着为盆地油气勘探开发进行过出谋划策者的心血和汗水。

在开发初期,由于对盆地内的低渗透油气层,缺乏实践经验和技术手段,因此,这类油气层的低渗透和低产的问题,就成了油气勘探开发过程中的一个个障碍,这正是因为低渗、特低渗透油田的开发,一直存在着投资与经济效益的矛盾。由于特低渗透油藏单井产量低,没有经济效益就难以投入开发。

为了攻克低渗透油气层、提高单井产量的这个大难题,一代代的长庆人,不断解放思想,总结经验,在重新认识低渗透油气藏特点的实践过程中,突破传统观念,转变认识,针对不同低渗透油层特点,在关键技术上下功夫,不断探索与油藏特点相适应的配套技术,始终坚持以经济效益为中心,进行开发建设和油田经营管理,在改造低渗油层提高单井产量的难题中,认真贯彻改革开放以来的方针政策,一步一步使这些低渗透油气田、经济有效地投入开发。

从1950年开始在盆地东部陕北地区开展石油地质调查和钻探起,首先在四郎庙枣园发现了三叠系延长组浅油层,但由于油层渗透率低,经试油未能获得工业性油流,因而就把勘探重点由陕北转向盆地西部,在灵盐地区经过几年勘探,于1960年在李庄子、马家滩构造上发现了三叠系和侏罗系油层,也因为油层渗透率低,经试油只获得低产出油井点,而暂缓了在该区继续进行的勘探工作,一直到1965年再次返回灵盐地区,集中钻探,并于1966年采用压裂技术,对低渗透油层进行压裂改造才分别在三叠系和侏罗系油层获得工业性油流井,从而第一次突破了低渗透油层勘探开发的技术难关,以后又陆续发现了大水坑,马坊油田和刘家庄气田。

1970年开始在盆地南部,进行大规模石油会战。开始就从取全取准第一手资料、加强地

质综合研究入手,开展低渗透油藏研究。通过对侏罗系延安组储层的实践和研究,首先提出侏罗系延安组油层属河流相沉积的砂岩储层,同时通过区域地质构造研究、三叠系油源与侏罗系储层接触关系研究,认为这种砂岩储层在与鼻状构造迭合处,又与下部三叠系延长组油源沟通,从而形成了一系列低渗透砂岩油藏。其主要特点是油层连通性差、非均质性强。对这种低渗透油层的勘探开发必须经过压裂改造,油井才能获得较高的工业油流。为了经济有效地投入开发,在深化油藏研究的同时,在油田内开辟了一个开发试验区,进行天然能量和注水开发试验,进行低渗透油层油井压裂投产、注水、采油工艺攻关试验研究和单管常温密闭油气集输流程试验。实践证明,只要突破常规的油田开发建设生产模式,以深化油藏研究,油井压裂投产,早期注水和简化地面建设流程为主要内容的技术系列完善配套过程中,才能逐步使马岭油田等一些侏罗系低渗透油藏,经济有效地投入开发。在开发过程中,通过深化油藏研究和以注水为主要措施的综合调整,使得这些油田保持相对稳产;同时在立足对低渗透油藏重新认识的基础上,从储层沉积微相研究入手,深化对油藏成藏规律和分布特点的认识,开展滚动勘探开发、实现增储建产一体化,从而使侏罗系低渗透油藏开发生产稳中有升持续发展。

在对三叠系延长组特低渗透油藏的勘探开发中难度更大。1966年在盆地西缘马家滩油田上,经油井压裂获工业油流后,于1970年开始就投入了开发。但对盆地内部大面积分布的延长组特低渗透油层来说,油层渗透率太低,打开油层后油井基本无自然产能,长期存在着投入大产出小的矛盾,难以经济有效地投入开发。例如,从1969年盆地南部完钻的庆参井的实际情况来看,延长组长6—8油层的渗透率均小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,1970年经多次压裂后,才获得日产 $3.1\text{m}^3$ 低产油流,这种情况一直持续到1990年安塞油田全面投入注水开发后,才开创了特低渗透油田经济有效投入开发的新局面。在这期间先后经历了20多年,一直都在不断加强对延长组特低渗透油层的地质综合研究和压裂攻关,并对重点井区进行注水开发试验和区域勘探。特别是1973年,在长庆油田的“压裂年”中,以攻克延长组油层增产关为目标,在盆地中南部甩开钻探,打了两条几百公里长的十字剖面24口压裂井来研究评价延长组油层,同时进行压裂改造和井下爆炸试验,开辟了二个注水开发试验区,进行了长期的注水开发试验,但都因为油层渗透率低,平均单井日产油量低,而难以经济有效的投入开发。

直到1983年,在盆地油气资源评价与三叠系延长组储层沉积相研究的基础上,开始再上陕北地区找油,此时在安塞—志丹地区发现了延长组三角洲相沉积的特低渗透油藏——安塞油田。为了经济有效地开发好这个油田,从1985年开始,就集中技术力量,从深化研究特低渗透油藏入手,以提高单井产量、最终采收率和开发效益为目标开展科研攻关和现场注水开发试验,同时与国内外有关科研单位和高等院校合作加强了科研攻关力度,对油藏开发进行了可行性研究。采取进行了井组开采试验、先导性注水开发试验和工业化开发试验,经历了5年时间才突破了难关,对安塞特低渗透油田进行了经济有效的开发,并于1990年全面投入注水开发。从而形成了以深化油藏研究、压裂改造、注水开发为主要内容的三大技术系列和八项配套技术。在此基础上,通过对特低渗透油藏开发理论的研究与实践,又连续开发了靖安大油田。

对盆地内天然气田的勘探开发是从1969年在盆地西部发现刘家庄气田后开始的。我们对古生界低渗透气田的勘探、研究和试采工作一直未曾间断,尤其是进入“七五”期间,为全面贯彻原石油工业部关于长庆油田要“加快天然气勘探开发,油气并举,协调发展”的指示精神,长庆油田加强了在盆地东部石炭二叠系和奥陶系的天然气勘探和开发试验工作。1989年随着靖边气田的发现,很快开展了低渗透气藏的研究、开发试验和气田开发前期准备工作,围绕提高气井产量,加强储层特征、气层酸化压裂、天然气开采工艺、集输净化工艺技术的研究。由

于前期工作准备扎实、开发政策科学、下游工程建设到位,从而实现了靖边气田初期的高效开发。通过对气田的开发实践,也形成了上古生界石炭二叠系砂岩气藏、下古生界碳酸盐岩气藏的低渗透气藏研究、酸化压裂、采气工艺和地面集输等配套技术,为长庆油田油气开发的协调发展创造了良好的条件。

回顾盆地油气勘探开发的艰辛历程,真好比是过去在“逆水行舟”中纤夫们在拉纤,不管前面的路途多遥远、泥泞和艰险,也要背负纤绳使劲地在逆水中去拉船,一步一个脚印的向前行。又好似一个身负重担的行人在登泰山,不论是严冬或酷暑,也不管是晴天或雨天,都要一个台阶一个台阶使劲的向上登攀,为达到目标而拼搏不断向前。

# 第一章 概 况

长庆油田位于鄂尔多斯盆地(亦称陕甘宁盆地),是目前在该盆地内进行油气勘探开发所属 41 个大中小油气田的总称。其企业基地设在陕西省西安市。

鄂尔多斯盆地横跨陕、甘、宁、蒙、晋五省区。进行油气勘探开发的历史悠久,是我国油气勘探开发最早的地区之一。早在公元 32~92 年东汉历史学家班固所著的《汉书·地理志》中就记载有“高奴有洧水可燃”,高奴今之延安,洧水为延河的一条支流。北宋时期,著名科学家沈括(公元 1031~1095 年)在公元 1080 年调任延州(今延安)后,在巡视陕北时,发现当地居民不烧柴禾,烧的是一种黑色液体,后经研究,在他所著的《梦溪笔谈》一书中写道:富(富县)延(延安)境内有石油,并预计到“此物后必大行于世”。另据资料记载,该盆地内最早发现油苗的地区,是在延长、永坪和富县一带。

就从 1907 年在盆地内钻成大陆第一口油井——延 1 井算起,盆地的油气勘探开发也有了 95 年的历史。从盆地内油气勘探开发的发展过程和历史演变来讲,可以按中华人民共和国成立前后,作为两个大的历史时期进行简述:在中华人民共和国成立之前(1907~1949 年)的 42 年,先后有不少中外地质学家在盆地作过石油地质调查。同时,在盆地东部陕北浅油层分布区,油苗附近钻浅井 52 口(井深 100~200m),进尺 12994m,发现了延长和永坪两个油田,累计产油 7054t;在此期间,前后经历了清末官办期(1907~1911 年)、中美合办期(1914~1919 年)、民国官办期(1932~1934 年)和陕甘宁边区人民政府办矿期(1935~1949 年)四个时期。

1949 年,中华人民共和国成立后,燃料工业部根据党中央人民政府的指示,1950 年开始筹划组织成立西北石油管理局,组建了陕北勘探大队,重新在陕北地区进行石油地质调查,以后经过了几代石油人的艰苦奋斗、拼搏进取,从盆地东部三叠系浅油层分布区,转移到北部伊盟格爾和西部西缘断褶带,最后进入盆地内中南部,开始组织了长庆油田会战,几经转战,直到进入新世纪,安塞、靖安等大油田和靖边等大气田投入开发,苏里格等大气田和西峰大油田的发现,使长庆油田跨入了持续稳定快速发展的新时期。

## 第一节 自然地理

鄂尔多斯盆地是我国第二大沉积盆地,北起阴山,南抵秦岭,南北长 770km;西至贺兰山、六盘山,东达吕梁山,东西宽 490km,总面积  $37 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。盆地主体范围  $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,其轮廓呈矩形,位于东经  $106^\circ 20' \sim 110^\circ 30'$ ,北纬  $35^\circ 00' \sim 40^\circ 40'$ 。目前除延长油矿在盆地东部进行浅油层开发外,长庆油田进行勘探开发的油气田,分布在陕、甘、宁、蒙四省区的 23 个县市(区),即:甘肃庆阳市的庆城、华池、环县、镇原、合水县、西峰区,宁夏吴忠市的盐池县、灵武市,陕西西安市的吴旗、志丹、安塞、子长、甘泉、富县,榆林市的定边、靖边、横山、子洲、米脂县、榆阳区和内蒙古鄂尔多斯市的鄂托克前旗、鄂托克旗和乌审旗境内(图 1—1)。

盆地周边断续为山系环绕,山脉海拔一般在 2000m 左右,盆地内部相对较低,一般海拔在 800~1500m,大致以长城为界,北为干旱的沙漠草原区,南为半干旱的黄土高原区、黄土覆盖几十米至 300m 多,经长期自然力的侵蚀形成了许多山高坡陡的原、梁、茆、沟等复杂地形。区

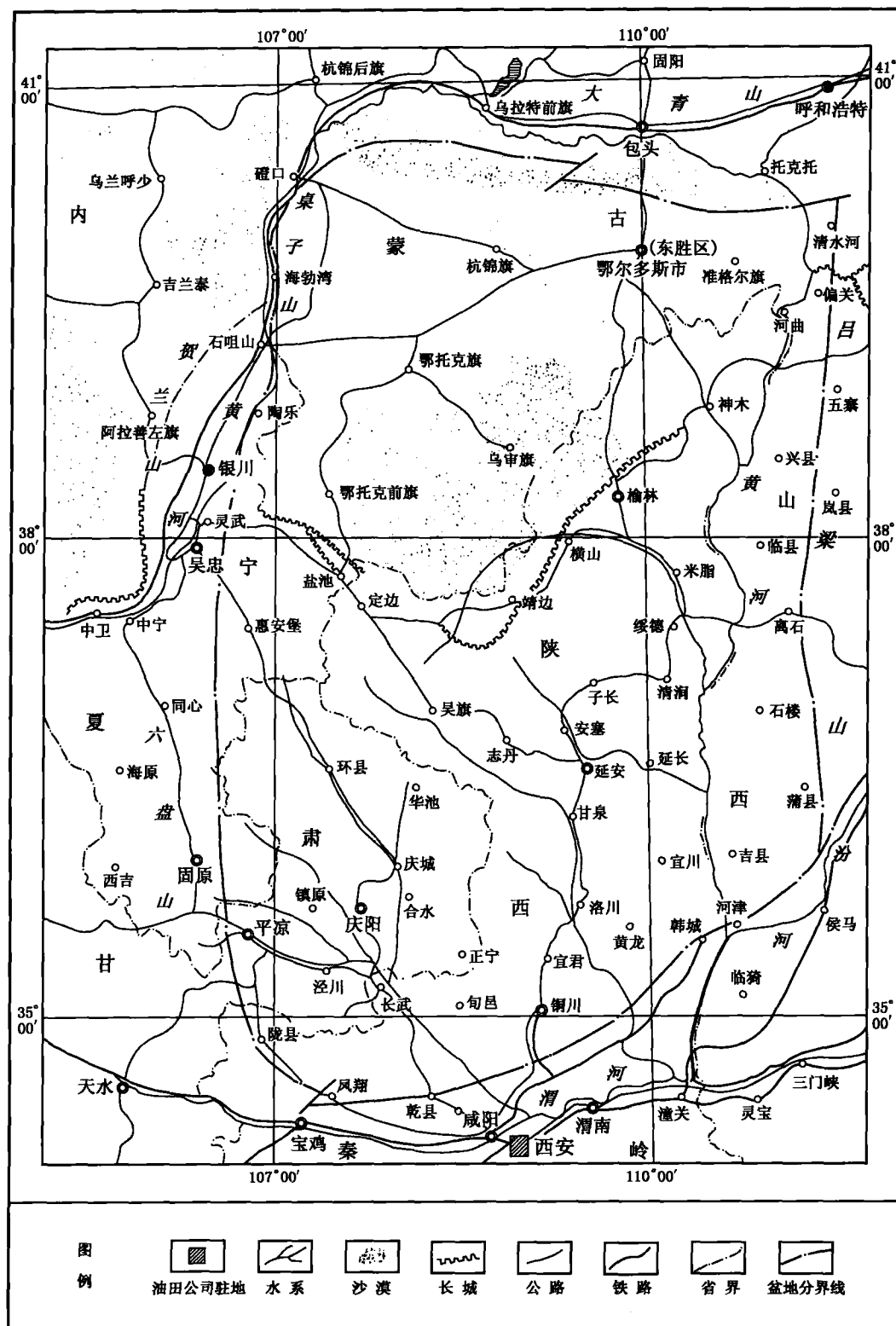


图 1—1 鄂尔多斯盆地地理位置图

内交通,除县市有公路干线相通外,乡镇之间主要为晴通雨阻的砂石路面;铁路有京包一包兰线、陇海线环绕盆地南缘、西缘、北缘,中东部有由西安经铜川、延安、榆林、神木与京包线相连,向南经西安与西南四川、重庆相通;航线有西安、延安、榆林、庆阳、银川等机场,可与全国主要城市通航。

主要河流为黄河中上游水系,盆地的西北、北、东三面为黄河,与南边的渭河,环绕整个盆地周围。盆地内泾河、环河、葫芦河、洛河、延河、清涧河、无定河等及其支流流经油气田区,最后汇入黄河。另外清水河、苦水河、都思兔河自东南流向西北,也汇入黄河。在沙漠草原区一般多为间歇河,大都流入沙漠湖泊或盐沼地内。一般地面河流,旱季流量小,部分干涸无水且水质差,不宜人畜饮用,但地下水资源丰富,第四系、白垩系等地层均有含水沙层可供工业和部分生活用水。

境内属大陆性半干旱和干旱气候,缺少雨水,气温的年温差和日温差大,夏季炎热,冬季严寒。北部沙漠区年平均温度为 $8^{\circ}\text{C}$ ,元月平均温度为 $-10^{\circ}\text{C}$ (最低为 $-30^{\circ}\text{C}$ ),七月温度 $24^{\circ}\text{C}$ (最高达 $40^{\circ}\text{C}$ ),区内年降雨量仅 $250\sim 300\text{mm}$ ,蒸发量则在 $2000\text{mm}$ 以上,且冬春两季多风沙,冬季长、夏季短,十一月初开始结冰,直到来年三月才开始解冻。南部黄土高原区年平均温度为 $9\sim 10^{\circ}\text{C}$ ,冬季冷,元月平均温度为 $-8\sim -30^{\circ}\text{C}$ ,春秋多风(四、五、十、十一月为风季),夏季热,七月平均温度为 $22\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。降雨量少而集中,年降雨量在 $300\sim 600\text{mm}$ ,秋季雨量占全年降雨量的一半,且多为暴雨,时有冰雹、山洪发生。区内除子午岭和南部渭北山区外,植被均不发育。

油田所在区内,以汉族为主,同时有回、蒙、满、藏等多民族聚居。其中长城以北内蒙古地区人口稀少,为蒙、汉杂居区,以畜牧业为主。宁夏地区回、汉杂居,为黄河灌区,稻田遍布,素有“塞上江南”之称,畜牧业发达,滩羊毛在国内享有盛名。陇东与陕北地区均以汉族为主。甘肃陇东土层深厚,土地肥沃,日光充足,盛产小麦是省内“粮仓”之一。陕北是农牧结合区,小米、糜子是陕北名产,经济作物以胡麻为主,羊的头数约占全省的 $80\%$ 。

盆地内矿产资源十分丰富,已探明的有60多个矿种,有煤、石油、天然气、池盐、岩盐、铀、褐铁矿、铝土矿、铅、石膏、天然碱、磷、石灰石、云母、石棉、水晶、地下水、地热等,尤以石油、天然气和煤炭资源丰富,广布于全区,目前正在进行大规模的开发建设。

## 第二节 油气田开发的基本情况

### 一、油田简况

从中华人民共和国成立算起,到2001年为止,长庆油田在鄂尔多斯盆地先后共发现33个油田,其中以侏罗系为主的油田21个,三叠系为主的油田12个;同时又发现了8个气田,其中上古生界6个,下古生界1个,三叠系1个(图1—2)。分布在陕西省境内的油田有马坊、油房庄、吴旗、安塞、靖边、安边、天赐湾、杨米涧、东红庄、直罗、下寺湾、王瓜子、白豹等16个,探明含油面积 $1405.2\text{km}^2$ ;气田有靖边、榆林、米脂和直罗等4个,探明含气面积 $5380.2\text{km}^2$ 。分布在甘肃省境内的油田有马岭、城壕、华池、元城、樊家川、南梁、镇北、演武、南庄、西峰等14个,探明含油面积 $739.8\text{km}^2$ 。分布在宁夏回族自治区境内的油田有李庄子、马家滩、大水坑、摆宴井、红井子等5个,探明含油面积 $46.2\text{km}^2$ ;气田有刘家庄1个,探明含气面积 $1.1\text{km}^2$ 。分布