

低渗透油气田 研究与实践 (续一)

闵琪 金贵孝 荣春龙 主编

石油工业出版社

低渗透油气田研究与实践

(续一)

闵 琪 金贵孝 荣春龙 主编

石油工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

低渗透油气田研究与实践:续一/闵琪等主编.
北京:石油工业出版社,1999.11

ISBN 7-5021-2843-3

I. 低…

II. 闵…

III. ①低渗透油层-油气勘探-研究-中国

②低渗透油层-油田开发-研究-中国

IV. TE348

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 67062 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)

北京来梦得有限责任公司排版

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 13 印张 320 千字 印 1—1000

1999 年 11 月北京第 1 版 1999 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2843-3/TE · 2222

定价:29.00 元

前 言

《低渗透油气田研究与实践》(闵琪、金贵孝、荣春龙主编)一书于1997年由石油工业出版社出版后,得到了广大科技工作者的热情关注和肯定。与此同时,长庆石油勘探局主办的《低渗透油气田》期刊也得到了更为广泛的关心与支持。为此,我们继续编辑了这本《低渗透油气田研究与实践》的续集,以期低渗透油气田研究与低渗透油气田勘探开发实践水平的进一步提高贡献更大的力量。

本书由闵琪、金贵孝、荣春龙主编,负责全书的选编、审核和定稿。文字加工和统稿工作由荣春龙负责,周季陶、谢国明、袁渊和袁开齐同志参加了部分文字加工工作。

编 者

1999年1月

目 录

鄂尔多斯盆地油气勘探的重大突破.....	张文昭(1)
对在低渗透油层孔隙结构研究中出现的某些参数的特殊性的认识	严衡文 皮广农 单秀琴 武平(9)
陆相低渗透储层裂缝与沉积微相的关系	曾联波 田崇鲁(15)
我国致密碎屑岩天然气储层特征	马文杰 陈丽华 王雪松(20)
深盆气藏与鄂尔多斯盆地	闵 琪(29)
鄂尔多斯盆地上古生界低渗透储层物性控制因素分析	南君祥 饶 巧 刘绥保(36)
辽河油田低渗透油藏的分类及其特征	杨周平 许 宁 郭秀文(40)
黄骅拗陷深层低渗透储层的特征及其控制因素	李会军 程文艳(44)
低渗透储集层岩心裂缝密度的定量描述方法	肖淑蓉(49)
鄂尔多斯盆地延长组地层的地应力及裂缝研究	林伟川 程 瑾(53)
鄂尔多斯盆地上古生界低渗透砂岩储层测井地质	石玉江 姜英昆 赵会涛(58)
低孔低渗储层测井精细解释方法的研究	高山荣 申辉林 陈钢花(66)
泥质砂岩非线性孔隙度模型	许与非 刘复屏(71)
低渗透油藏中径向定常渗流的特征	宋付权 刘慈群 刘雄明(79)
低渗多孔介质中的单向非定常渗流数值模拟	邓英尔 刘慈群(83)
低渗透油层润湿性对油水两相渗流规律的影响	陈付星 韩翼云 林光荣(90)
启动压力梯度对低渗油田注水开发的影响	邓英尔 刘慈群(94)
低渗透油田注水开发初期储层研究.....	石占中 郭 莉 宗 杰 李云(101)
裂缝参数对水平井压裂产能的影响.....	叶芳春 李 红(105)
低渗透气藏采收率计算方法的讨论.....	郝玉鸿(108)
低渗透油田合理注采井网系统探讨.....	毕研斌 邢洪斌(115)
低渗透油田的合理举升方式.....	陈劲松 陈丽燕(120)
低渗透油藏注气方式研究.....	杨胜来 郎兆新 张丽华(125)
安塞低渗透油田提高产量、降低成本的方法	胡文瑞 王道富 王俊仁(130)
胜利油区低渗透油田开发实例.....	刘泽凯 黄琼冰(137)
马西深层低渗透砂岩油藏的中后期高效开发.....	吴桂霞 郭宝玺(143)
周期注水对提高油藏水驱开发效果的研究.....	陈民锋 吴应川 杨 莉 陈天纲(149)
低渗、特低渗储集层损害机理探讨	樊世忠(155)
与“重复压裂可产生新缝说”商榷.....	李廷美(165)
最小主应力对水力压裂设计的影响.....	姚 飞(169)

鄂尔多斯盆地三迭系长 ₂ 底水油藏改造工艺技术	刘海浪	赵振峰(175)
鄂尔多斯盆地南部延长组低渗透储层压裂改造效果分析	刘勇谋	杨子玲(180)
靖安油田陶粒压裂试验实施效果分析	雷 群 宋振云	慕立俊(185)
大庆油田小井眼多层压裂技术	赵恩远 裴晓含 张伟臣	郭颜林(189)
二连油田阿南低渗透砂岩油藏压裂工艺评价		蒋廷学(194)
酸敏地层酸化技术研究和现场试验	李志航 李 勇	王小朵(199)

鄂尔多斯盆地油气勘探的重大突破

张 文 昭

(中国石油天然气集团公司)

鄂尔多斯盆地(又名陕甘宁盆地)地处我国中部,是我国第二大盆地,也是我国陆上油气勘探最早的盆地。这里发现的油气储量的95%为地层岩性隐蔽油气藏,鄂尔多斯盆地的勘探历程,漫长而艰难、曲折。从1907~1970年的60多年间几乎没有突破。进入70年代,才开始有所发现。80至90年代方取得突破性进展,接连不断地发现了大油田、大气田,其勘探工作至今仍方兴未艾。近年来,其新发现的石油储量每年以亿吨级数量上升,年产量从长期徘徊在 $100\times 10^4\text{t}$ 左右上升到 $400\times 10^4\text{t}$,已经探明长庆气田的储量近 $3000\times 10^8\text{m}^3$,1997年已向北京、西安供气。

油气勘探历程

鄂尔多斯盆地油气勘探所经历的90多年大体可以划分为5个阶段。

1. 延长石油官厂与中美合办时期

1905年,日本技师阿布正治郎在延长知县沈锡荣的陪同下,在延川、肤施、延长烟雾沟油苗区进行勘查。

1907年(清光绪三十三年)成立了陕西延长石油官厂,聘请了日本技师。于同年4月25日在延长西门外钻了延长一号井(延1井),7月底,井深达81m时,“井内油气沸腾”。8月初,日产油60桶(合8.2t)。这是我国陆上第一口油井。

1914年3月,中国北洋军阀政府同美孚石油公司签订了开发延长石油的合同,成立了中美油矿事务所,但油气勘探无任何进展。为此,美孚地质顾问富勒(M. L. Fuller)和克拉普(F. G. Clapp)曾发表文章说:“我可以说,我们发现了63个油苗,……没有一口井的产量可以认为有工业价值。勘探没有获得成功的原因是砂岩层系的巨大厚度造成了石油的散失,而不能聚集成为油藏……”(AAPG, 1919, Vol. 3, p155~156)。美孚的失败对世界影响很大,自此以后,各国均不认为中国是石油产地,而视中国为石油市场。此即“中国贫油论”与“陆相贫油”的起因。

2. 国民党国防设计委员会(资源委员会)时期

1929年,由中国技术人员自行设计、完成了新1井,井深173.3m,油层厚3m,最初日产量可达6~7t。

1932~1934年,由北平地质调查所所长翁长灏建议,资源委员会成立了陕北油矿勘探处。该处从1934年7月至1935年4月先后在延长、延川、永坪钻井7口,获油井2口。潘钟祥把四川与陕北进行了对比,说:“陕北不患无油层,而患无适当之构造,而四川不患无适当之构造,而患无较丰富之油层。”而且证明陆相是可以生油的。这是我国地质家发表的第一篇论陆相生油的论文。

3. 中国共产党边区政府时期

1940~1944年,汪鹏同志(清华大学毕业)到延长油田进行地质调查,提出“延长油田

属裂缝出油”。调查中发现七里村地区有一小背斜,建议集中勘探开发七里村,钻探结果证实七里村为一高产区。七1井初期曾自喷日产油93.6t,是盆地内第一口自喷井,也是延长油田产量最高的油井。1945年,还在油井内进行了爆炸增产试验,在七2、七3井的四次爆炸都见到增产效果。

据史料统计,至1949年底,延长油矿共产原油6035t。

4. 新中国建国初期的石油勘探(1950~1969年)

新中国成立之后的1950年3月22~27日,中央燃料工业部勘探组筹备会在北京召开。会议认为,应该把勘探重点集中在西北,首先对陕北开展地质调查和钻探工作。但是,时至1968年,勘探结果是到处有油气显示到处都不成气候,叫做“井井有油、井井不流”,仅发现了马家滩、李庄子、马坊、大水坑、大东等一批小油田。1969年,刘家庄构造的刘庆1井在二叠系获日产 $5.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的工业气流,这是鄂尔多斯盆地第一次发现天然气。盆地西缘发现的小油田和局部构造上的个别探井日产量还比较高,如马坊构造的盐9井在侏罗系延安统获日产油 77 m^3 、大水坑构造大3井获日产油 41.9 m^3 、大东构造的大东1井日产油 68.7 m^3 。这些情况在盆地东部是难以见到的,从而引起了燃料化学工业部的重视。

5. 石油大会战——长庆石油勘探局勘探时期(1970年至今)

从1970年长庆石油会战开始至今,由于加强了油气勘探的组织管理,引进了国内外勘探的高新技术和地质理论,油气勘探取得了突破的进展,接连发现了马岭油田(三叠系古河道油田群,探明储量近亿吨)、安塞油田(三叠系延长统三角洲型大面积油田群,探明储量 $1 \times 10^8 \text{ t}$)、长庆气田(奥陶系风化壳地层型和上古生界砂岩大气田,探明储量近 $3000 \times 10^8 \text{ m}^3$)和靖安油田(三叠系延长统三角洲型油田群,探明储量超过 $2 \times 10^8 \text{ t}$)等大油气田,年递增探明储量 1×10^8 多吨。同时,地质科研工作也大有进展,已初步掌握了鄂尔多斯盆地的地下油气分布的地质规律。

大油气田发现的回顾

1. 马岭等油田的发现

根据1969年编制的《陕甘宁盆地1970年和“四五”期间石油勘探会战方案》,在陇东地区,以天环向斜为对象,考虑白垩系地层构造,沿沟顺路拟定和踏勘第一批探井井位,组成纵横三排剖面穿过天环向斜。结果发现,庆3井日产油 28 m^3 ,进而发现了华池油田;庆1井日产油 36 m^3 ,发现了马岭油田,庆2、庆9、庆6井也都发现油气显示。产油层位主要是侏罗系延安组砂岩。之后,又相继发现元城、吴旗、红井子等油田。

古河道地层岩性油藏的概念形成于1970~1972年,1973年又重点研究侏罗系古地貌油田,编写了《陕甘宁盆地油气富集规律和高产大面积含油的基本地质条件及找油方向》,确定了该区古水系和丘陵地貌基本类型。在深入研究的基础上,又划分出三类七种油藏序列,且提出了一套侏罗系古河道隐蔽岩性油藏的勘探方法。

鄂尔多斯盆地地下侏罗统古河道油藏是国内罕见的一个大面积、区域性的岩性含油气区,具有独特的油藏形成条件和石油地质特征。油源来自不整合面以下的三叠系延长统的生油岩,储层则为下侏罗统底砂砾岩,其与华北等油区“新生古储”的古潜山油藏形成相反的生储结构(为“古生新储”的特征)。油藏分布于古河道凹槽两侧的斜坡,从下至上分为三带:凹槽低部位(以侵蚀面遮挡油藏为主)、凹槽两侧(以上倾尖灭油藏为主)、在两条古河道凹槽之间

的高部位（以带状、透镜体油藏为主），形成了宝塔型的分布（如马岭油田，见图1）。

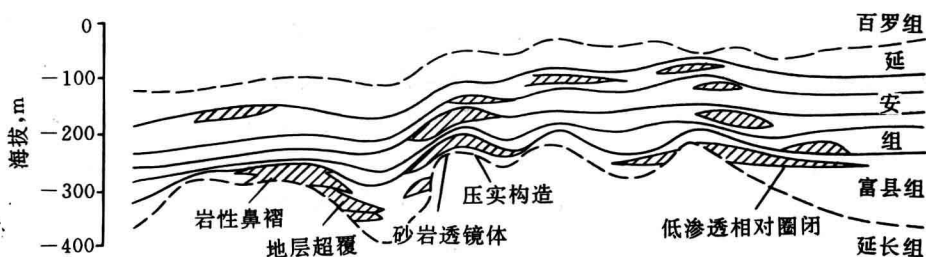


图1 马岭油田侏罗系油藏序列（引自杨俊杰，1982）

经十余年勘探，盆地西南部发现油田17个，建成 150×10^4 t的年生产能力。

2. 安塞油田的发现

长庆油田的地质家在实践中提出了三叠系延长统找油应“东抓三角洲、西探水下扇”的勘探战略。从区域地质背景分析，安塞地区是三角洲发育的有利地带，因而，将该区列为找油的重点，部署了二条区域大剖面，布探井6口。1983年，塞1井长₂油层日产油59.8t，从而发现了安塞油田。经过对三角洲发育区进行整体解剖，证实，安塞、志丹、吴旗三大三角洲分属不同物源，其前缘砂体具有复合展布的特点。其中，安塞三角洲前缘砂体最发育，浊沸石次生孔隙多、物性好，端部的塞121井长。层日产油32.6t，根部的塞38井长。层日产油16.2t，可望形成一个大面积的含油富集区。到现在为止，安塞油田共探明含油面积206km²，地质储量 1×10^8 t。

从安塞大油田的发现与探明可总结四点经验：

(1) 三角洲隐蔽型大油田的勘探必须从区域地质着眼，以地质理论为指导，选准突破口，这是发现大油田的首要勘探战略。

(2) 整体解剖东部三角洲、查明沉积格架、选定高产富集区、带是隐蔽油气藏勘探的重要方法。在安塞大油田勘探中，由于采用了此方法，才认识到安塞三角洲中坪桥、王窑、侯市是长。层三角洲前缘相带，其面积大、丰度高、油气富集，是三角洲含油的最佳部位。

(3) 查明油层中浊沸石分布，划定有效次生孔隙带，寻找相对高孔、高渗、高产区。

(4) 压裂改造低渗油层，提高单井产量。

3. 长庆气田的发现

鄂尔多斯盆地天然气的勘探是在长期石油勘探中发展起来的。自从“六五”引进了煤成气、深盆气理论后，加快了陕甘宁盆地地区天然气勘探的步伐。

1987年，在林家湾短轴背斜的高点部位拟定了一口科学探索井——陕参1井，经试油、酸化后，获日产气 14×10^4 m³。这是长庆气田的发现井。

1989年6月27日~7月1日，由长庆石油勘探局和甘肃石油学会在庆阳召开了“天然气发展战略战术研讨会”。来自全国的60余名专家学者协同“会诊”，献计献策，统一了在盆地中央古隆起区寻找大中型气田的认识，明确了突破中央古隆起北端（当时，认为中央古隆起延伸到靖边一横山一带）的勘探方向，坚定了开拓新兴天然气区的信心。当年9月18日，位于陕参1井东北40km的榆3井（在奥陶系中）又获日产气 13.6×10^4 m³。1990年4月相继在陕参1井和榆3井之间的林1井和林2井相同层位获工业气流，展示了奥陶系顶部白云岩为区域性含气层。为了扩大含气面积，大井距甩开钻探，部署了一批评价井。至1990年底，在

盆地中央古隆起靖边—横山地区累计完钻探井 11 口, 获工业气流井 8 口 (陕参 1 井、榆 3、林 1、2, 陕 2、4、5、6 井), 其中陕 5、6 二口高产气井无阻流量在 $100 \times 10^4 \text{m}^3$ 以上。控制含气面积达 600km^2 , 肯定了这是一个奥陶系不整合面地层型的大气田。1990 年 11 月, 王涛总经理率领各司局领导到长庆现场办公, 指出“大气田在握, 大气区在望”。

为了探明大气田的规模和储量, 1991 年的勘探思路是: 立足主战场, 放眼大气区, 主攻中部奥陶系风化壳, 拿下整装大气田; 注意多层系的复合含气区, 积极开拓新领域。

1991 年 7 月 26 日~29 日, 原石油天然气总公司在庆阳召开了“陕甘宁盆地天然气勘探开发技术座谈会”。会上要求长庆在“八五”期间, 探明天然气储量 $1500 \times 10^8 \sim 2000 \times 10^8 \text{m}^3$ 。至 1995 年底实际探明天然气储量为 $2300 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

1991 年完钻井 39 口, 试气 20 口, 14 口井获工业气流。累计共钻井 50 口, 产气量大于 $4 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 的井 23 口, 小于 $4 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 的井 10 口。超额完成气田中区基本探明储量, 在南北甩开的陕 12、陕 62、陕 11 等井中均获中、高产气流。“大气田在握、大气区在望”的局面已经形成。

1992 年是长庆气田天然气储量大幅度增加的一年。勘探继续向南、北发展, 提交北区、南区新增基本探明储量 $710.78 \times 10^8 \text{m}^3$, 含气面积 1310.92km^2 。累计天然气基本探明地质储量达 $1343.22 \times 10^8 \text{m}^3$ 。控制储量 $642.15 \times 10^8 \text{m}^3$ 。在气田南延的陕 93 井获得 $54.39 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 的工业气流, 准备了新的探明区域。同时, 在陕 67、陕 56 井的山西组砂岩气层首次突破工业气流关, 分别产气 $7.5551 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 、 $8.6425 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。

1993 年共完钻各类探井 44 口, 在南二区马五₁ 新增基本探明储量 $333.6 \times 10^4 \text{m}^3$ 、含气面积 643.8km^2 , 在陕 121 井获得 $183.8444 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 的高产气流; 在陕 181 井区首次提交马五₄ 基本探明储量 $51.03 \times 10^8 \text{m}^3$, 含气面积 84.0km^2 , 控制储量 $874.8 \times 10^8 \text{m}^3$ 。从而使长庆气田累计基本探明储量达 $1727.85 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

1994 年继续沿靖边古潜台主体向南发展, 同时开辟上古生界工业化评价区。至年底共钻井 31 口, 在北二区和陕 24 井区共新增基本探明含气面积 736.6km^2 , 地质储量 $343 \times 10^8 \text{m}^3$ 。在陕 175 井区完成控制储量 $263.7 \times 10^8 \text{m}^3$, 含气面积 498.5km^2 。上古生界天然气勘探获得重大突破, 陕 99 井石盒子组压裂后无阻流量为 $45.6349 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$, 揭示了上古生界有较大的含气潜力, 可以成为下古生界的接替层系。

至此, 含气潜台的展布格局基本明朗, 气田规模基本清楚。至 1997 年, 累计探明天然气地质储量近 $3000 \times 10^8 \text{m}^3$, 成为我国目前最大的气田, 同时也步入世界级大气田的行列。

4. 长庆气田发现与勘探经验

- (1) 引进先进地质理论, 重视地质综合研究是大气田发现的前提。
- (2) 依靠科技进步, 采用高新技术, “五位一体 (地震、钻井、测井、试气、地质综合研究结合在一起)” 的勘探组织是高速、高水平、高效益探明大气田的有效手段。
- (3) 科学求实的态度、扎实过硬的基础工作是高水平探明大气田的质量保证。
- (4) 遵循勘探程序、采用稀井广探是高速、高效探明大气田的途径。
- (5) 加强项目管理、注重立体勘探是拿下大气田的有力措施。

大油气田形成的主要地质规律

鄂尔多斯盆地之所以能形成地层、岩性隐蔽型大油气田, 据多年勘探实践, 可以总结出

五点地质规律。

1. 生油气凹陷控制了大油气田的分布

盆地内三叠系、侏罗系油气田的形成严格受三叠系延长统上、中部生油岩的控制。在平面上，油气田均分布在三叠系 $5.4 \times 10^4 \text{km}^2$ 生油凹陷范围内，主要在靖边一定边长城以南和旬邑以北地区。也就是说，成熟生油岩分布面积有多大，油气田分布面积就有多大（图 2）。在纵向上，油气田主要分布在延长统中部生油岩以上地层中（包括延长统中、上部和延安统、直罗统）。古生界的烃源岩更为广泛，特别是在上古生界石炭、二叠系中，在盆地南、北部都能生成油、气，面积可达 $15 \times 10^4 \sim 20 \times 10^4 \text{km}^2$ ，因而古生界气田分布面积更广。这也是陆相盆地“源控论”地质规律所决定的。

2. 两个大型沉积间断、假整合是油气运储的主要通道和场所

鄂尔多斯盆地上、下古生界之间和三叠系与侏罗系之间各存在一个沉积间断，形成了大面积的剥蚀面（假整合面），长庆气田和马岭油田的气、油藏就分别富集在这两个剥蚀面的上下地层中。这是因为剥蚀面之上的沉积比较粗松，物性好，而剥蚀面之下受长期风化溶蚀，次生孔隙发育，是油气运移的通道。因此，查明沉积间断和剥蚀面、古地貌的形态与寻找大油气田的关系十分密切。

3. 大型三角洲前缘、古湖岸线两侧是油气富集区

三叠系延长统的七个大型三角洲由盆地四周伸入湖盆之中，其中，东部的安塞、志丹、吴旗三个三角洲的勘探程度最高。从勘探实践中可以明显看出，在湖岸线上线下的三角洲前缘带是大油田分布的主要场所，油气最富集。这是因为三角洲砂体直接伸入生油岩之中，形成了良好的输导层，又三角洲前缘发育的河口砂坝、分流河道砂和“朵状体”砂体物性好，加之，湖岸线的多次进退形成了多个良好的生储盖组合，其形成油气藏的条件十分有利。因此，查明不同时期的湖岸线和三角洲分布及其形态是寻找三叠系大油田的关键。

4. 古河道（古水系）两侧斜坡带是油气聚集的有利场所

三叠系延长统沉积以后，鄂尔多斯盆地整体抬升，遭受剥蚀，形成了起伏不平的古地貌，其高差达 300~400m，形成了古河道、古水系。在古洼地，其接受了侏罗系底砂岩的充填式沉积。其主古河呈东西向分布，称之为甘陕古河。其他水系如直罗古河、合水古河等均流入

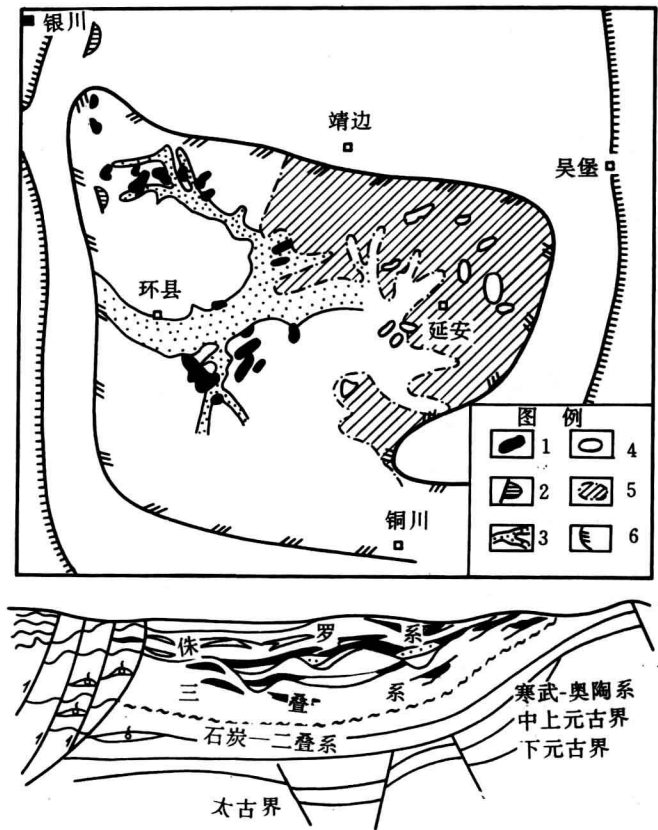


图 2 鄂尔多斯盆地油气藏分布模式图

1—侏罗系油藏；2—古生界天然气藏；3—侏罗系河道沉积；4—三叠系油藏；5—三角洲；6—三叠系生油有利区

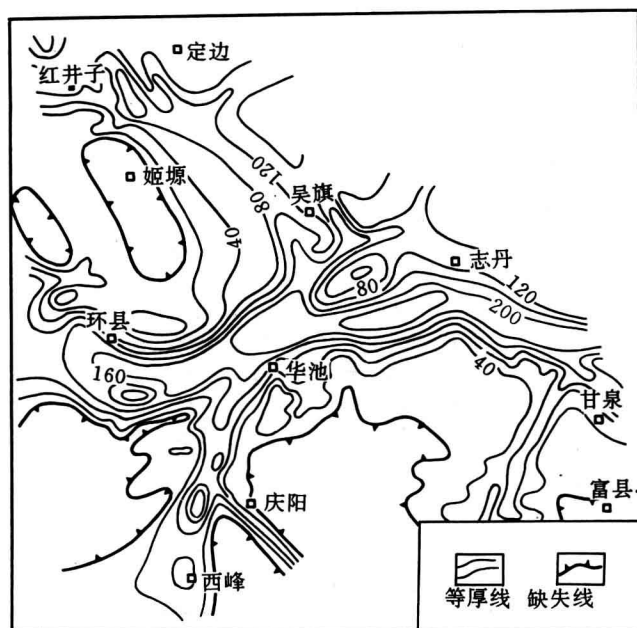


图 3 陕甘宁地区侏罗系底部砂岩等厚图 (据黄第藩, 1986)

甘陕古河。在古河道两侧,斜坡丘陵起伏,侏罗系延安组底砂岩超覆、披覆沉积其上,故可形成超覆、尖灭、砂岩顶变、差异压实、披覆等地层岩性油气藏或构造岩性油气藏,马岭油田是其中含油面积最大的一块。在古河道的中央,虽然底砂岩沉积巨厚,但缺乏圈闭条件,难以形成油气藏。在古地貌的高部位(如姬塬残丘、正华坡塬),由于未接受底砂岩的沉积,也不可能形成油气藏(见图 3、图 4)。

因此,准确查明三叠系顶部古地貌形态、明确侏罗纪古河道的分布是寻找侏罗系地层岩性油气田和构造岩性油气田的关键。

形成的区域构造背景,古鼻隆与渗砂岩叠合带是大气田局部富集区

鄂尔多斯古生代时期,在盆地西部发育一南北向的中央古隆起带,分隔了华北海和祁连海,形成东西两个系统的岩相古地理。在中央古隆起带顶部,各层沉积变薄或尖灭。华北海、湖生成的油气长期向西运移,在中央古隆起带东侧靖边一带形成了大气田(如图 5)。

大气田的形成有 5 个有利的地质条件。

- (1) 一个长期发育的中央古隆起带是油气长期运移、聚集的指向区。
- (2) 大气田东西部凹陷带有多套生气层系(下古生界为深层裂解气、上古生界为煤成气)。
- (3) 奥陶系马家沟组白云岩储集层区域分布稳定,并有次生孔隙存在。
- (4) 东部有大面积膏盐遮挡。
- (5) 下古生界风化壳上发育石炭系区域性铝土盖层。

这些地质条件不仅在陕北存在,进一步勘探,在鄂尔多斯盆地其它地区也会有新的发现。

鄂尔多斯盆地平缓西倾(坡降 8m/km 左右)的大斜坡上发育大型的鼻隆,这些鼻隆受基底隆起的控制,长期继承性发育,因此,其也是油气运移的指向和油气富集的场所。

关于地层隐蔽型大油气田勘探技术与方法

针对鄂尔多斯盆地的石油地质特征,在勘探上要重视以下高新技术的应用,以提高油气勘探效益。

1. 大力发挥高分辨率地震的作用

用高分辨率地震搞清奥陶系顶部和三叠系顶部两个侵蚀面(假整合)的古地貌形态;搞清三叠系延长统三角洲体系中的分支河道砂、河口砂坝、“朵状体”的形态与分布;搞清侏罗系延安统古河道的分布;查明大型古鼻隆与渗砂岩叠合区等这些形成地层岩性油气藏的重要条件可以大大提高勘探的成功率。

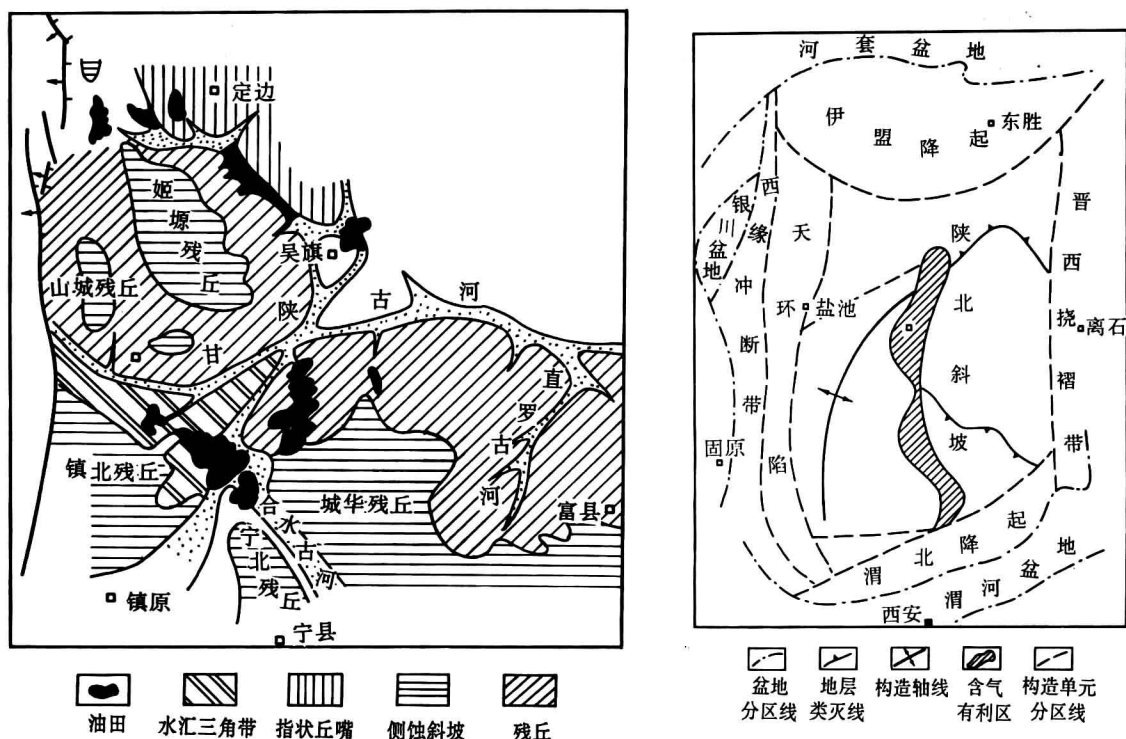


图 4 盆地南部侏罗纪早期地貌 (据杨俊杰, 1982) 图 5 气田地质条件示意图 (据杨俊杰, 1992)

2. 大力发展水平井、斜井、丛式井的高新技术

其可提高单井产量, 降低油田建设成本。特别在陕北、陇东的黄土高原地区, 沟谷纵横, 地形十分复杂, 斜井、丛式井势在必行。

3. 强化酸化、压裂高新技术, 提高油气井单井产量

在鄂尔多斯盆地勘探低渗油气层要严格按勘探程序办事, 技术工作要精益求精。

4. 编制小层岩相古地理图

分小层编制三叠系延长统、侏罗系延安统的岩相古地理图, 研究各个时期古湖岸线、古河道的变迁可准确掌握油气田分布规律, 优选油气富集区, 指导勘探工作。

5. 关于中生界探井井位的拟定

长期以来, 鄂尔多斯盆地井位的拟定主要凭老地质家的经验, 凭理论判断, 成功率较高。其方法可以概括为三点。

(1) 从油井出发, 即以高产井为基础往外推, 摸着石头过河。

(2) 理论判断选区, 即按地质理论推断, 找砂岩富集区 (分流河道砂、河口砂坝分布区, 即高产区)。

(3) 根据约束反演的高分辨率地震剖面找到最佳点, 进行地震验证定位 (即探井井位), 这样做, 探井钻探成功率会更高。

结 束 语

鄂尔多斯盆地是人们熟知的老盆地, 但勘探程度并不高, 资源探明率不到 30%, 属中等

程度，是我国油气资源的重要接替区。

在盆地北部的伊克昭盟沙漠和草原区，其南有大气田，北有大油苗，因此，在这近 $10 \times 10^4 \text{km}^2$ 区域内，发现大气田很有希望。中生界三叠系延长统七大三角洲目前勘探程度还比较低，吴旗、镇原、黄陵三角洲还有发现新油气田的希望，侏罗系延安统进一步勘探还会发现新的古地貌、古河道岩性油田。

本文编写过程中，承蒙宋四山、杨希荣同志提供部分勘探史料，并参阅了长庆石油勘探局编写的《大气田的崛起》一书，特此致谢。

对在低渗透油层孔隙结构研究中出现的某些参数的特殊性的认识

严衡文 皮广农 单秀琴 武 平

(北京石油勘探开发科学研究院廊坊分院)

摘 要 由低渗透油层孔隙结构研究的实际资料(20个油田、27个油层、2670块压汞资料)发现,在低渗透油层中,某些孔隙结构参数出现两种类型。一种(与中高渗透油层相同)为随渗透率增大,孔隙结构变好;另一种(为低渗透油层中的特殊类型)为随渗透率变小,孔隙结构变好。这两种类型都制约着低渗透油层的采出程度和开发效果。

我国低渗透砂岩油层中的地质储量近 $40 \times 10^8 \text{t}^{[1]}$, 因此,揭示低渗透油层的内部结构,开发好低渗透油田就成为热门课题。据不完全统计,我国石油工程界已采用45项参数来定量描述油层内部的孔隙结构。其中许多参数是我国独创的,能有效地解释油层内部结构的差异与采收率的关系。本人在总结各油田实际资料的基础上发现,某些孔隙结构参数在低渗砂岩油层中与在高渗透油层中不同,其具有特殊性,故撰文讨论。

研究概况

Nutting (1929)^[2]、W. R. 普赛尔 (1949)^[3,4]、L. Fatt (1956)、F. A. 杜林 (1972)、N. C. Wardlaw、R. P. Taylor (1976)、N. R. Morrow、N. Mungan (1971)、Robert. R. Berg (1975) 等人对揭示储集层内部结构都做出了有益的贡献。

我国关于孔隙结构研究始于北京石油学院的陈延蒙 (1962, 内部)。他首先设计了一套电阻法水银膨胀计,后经成绥民、黎用启等人改进、组装成套。其最高压力可达20MPa;并与玉门石油管理局研究所合作 (1964),在现场系统地测定了195块M油层岩心,总结出M₁油层比M₃油层好 (内部资料, 1965)。

70年代中期,我国微观孔隙结构的研究进入了一个新的历史时期。罗蛰潭总结了国内外的研究成果,提出微观孔隙系统呈正态概率分布;并与长庆会战指挥部研究所合作,定量描述了庆阳井组延长统低渗油层的微观孔隙结构。与此同时,祝总旗、邸世祥等人应用铸体和压汞技术研究了太白油田长₂油层的微观孔隙结构,提出低渗透油层的孔隙结构是以分散性的小孔隙为主,并与不同喉道连接成复杂的孔隙网络。

60年代初,Mattax C. 和 Kyte J. R. (1961)研究成功了玻璃毛管网络模型^[5]。80年代初期,在不同内径的玻璃毛管网络模型(郭尚平、黄延章等人,1983)的基础上,发展形成了毛细管润湿性处理及模型再生等一系列新技术,后又由随机刻蚀透明模型发展为光刻显微仿真模型(黄延章、曲志浩等人及长庆油田研究院等单位同期内完成了模型研究工作)。这种模型在国内是领先的,可耐压10MPa左右,在模型上可以直接考察孔隙系统内的油水流动特征。更为先进的技术是油层岩心的真实模型。这种模型的制作是曲志浩(1991)创立的^[6]。自此,我国才有了在真实模型上观察岩心内的油水流动特征的新技术。在真实的岩心模型上,他还研究了辽河油田、长庆马岭油田砂岩油层的油水流动特征和油层内部的结垢机理、结垢类型^[6]。

低渗透油层中某些孔隙结构参数的特殊性

据 20 个油田、27 个油层组、2670 块压汞样品的参数值 (共 45 项), 可把全国低渗透油层分为六类 (表 1): 即一般低渗透层、特低渗透层、超低渗透层、致密层、非常致密层和超致密层、裂缝层。

从表 1 中可以看出, 应用的大部分参数与渗透率不是呈正相关就是呈负相关关系。但其中某几项参数 (如退出效率、孔喉比等) 在不同的油田和油层中有其特殊性。

1. 退出效率

退出效率是指降压后退出的水银体积与进入岩样的水银体积最大值之比。该比值越大, 反映储集岩的性能愈好, 实际油层的采收率就越高。当用实际资料做图时, 出现两种类型 (图 1), 即尕斯库勒—火烧山型 (退出效率随渗透率的增大而增加, 其与中高渗透油层的特征相同) 和马岭—彩南型 (退出效率随渗透率的增加而减少, 其是低渗透油层的特殊类型)。

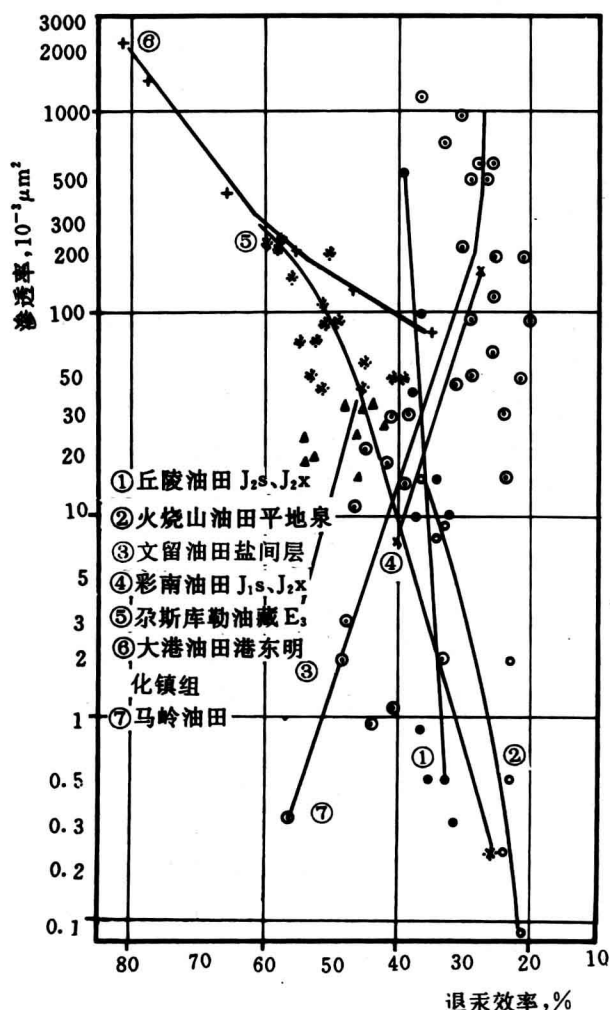


图 1 渗透率与退出效率关系图

2. 孔喉比

流体在孔隙介质中流动的难易程度受喉道大小的控制。因此, 孔喉比是度量油层样品储集性能的一项有效参数。低渗油层中的孔喉比有两种类型, 一种为随渗透率增大孔喉比变小, 这和中高渗透油层相似; 另一种为随渗透率增大孔喉比也增大的特别类型 (表 1)。

3. 孔隙结构特征参数

孔隙结构特征参数是相对分选系数与孔隙结构系数乘积的倒数, 其与渗透率的关系极为密切。实际资料表明, 中高渗透油层的特征参数随渗透率的增大而增大, 而马岭油田低渗透油层的特征参数却随渗透率的增大而降低 (图 2)。由于特征参数涉及到孔隙结构系数和相对分选系数两个参数, 故有必要简述这两个参数的特征。

(1) 相对分选系数或变异系数。

它是孔喉半径的方差除以平均值。该值愈小, 孔喉分布越均匀, 孔隙结构愈好。油层的相对分选系数或变异系数有两种类型: 新立油田的低渗透油层的变异系数随渗透率减小而增大; 丘陵油田的中、高渗透油层非均质性随渗透率增高而增强。

表 1 全国低渗透油层综合分类评价表^[1]

类 型	名 称	渗透率范围 ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)	特 征 参 数											储 集 层 评 价				
			排驱 压力 (MPa) (1)	中值 半径 (μm) (2)	主流喉道 半径 (μm) (3)	均值 系数 (4)	孔隙 几何 (5)	结构难度 指数 ($\times 10^{-3}$) (6)	储渗 参数 (7)	相对分 选系数 (8)	退汞效率 (%) (9)	最终驱 油效率 (%) (10)	特征参数 (%) (11)			孔隙比 (12)	驱动压力 (MPa) (13)	比表面积 (m^2/g) (14)
	对比层	>100	0.0761	2.6204	11.6519	0.23	0.7556	6.019	104.64	0.5616	58.12	30.65	0.25	I 1.60 II 2.56	0.2~3.5	0.48		
*	中低渗透层	100~50	0.1127	1.2485	4.39	0.25	0.7944	11.648	83.39	0.3692	47.35	31.0	0.18	0.2566	1.65	2.40	0.3~1.5	1.36
I	一般低渗透层	50~10	0.2362	0.6134	2.4714	0.28	0.8284	25.975	47.02	0.2604	41.50	34.95	0.1	0.4563	1.81	2.20	0.5~3.5	3.23
II	特低渗透层	10~0.1	0.3750	0.2056	1.5309	0.31	0.9594	91.766	20.33	0.2240	35.20	37.44		0.7805	2.0	1.75	3.0~10.0	
III	超低渗透层	1.0~0.1	2.272	0.1173	0.11	0.32	1.247	323.416	-10.99	0.1746	23.50	49.81		1.685	3.25	1.10	10.0~16.0	14.26
IV	致密层	0.1~0.01	5.5546	0.0620			5.32		-17.50	0.15	20.68						16.0~28.0	14.81
V	非常致密层 超致密层	0.01~0.001 0.001~0.0001	>6.0	0.0267 <0.0267					-17.04								>28.0	16.06
VI	裂隙层	变化大或 小于10	低—中															