

文章编号: 0253-9985(2007)05-0564-06

# 油气田发现是正确地质认识与 适宜勘探技术的交集 ——以准噶尔盆地陆梁隆起西部油气勘探为例

张义杰, 董大忠

(中国石油 勘探开发研究院, 北京 100083)

**摘要:** 油气勘探是人类应用现有认识与技术探索未知领域、寻求油气发现的系统工程, 遵循实践、认识、再实践、再认识的辩证过程。油气田的发现是人类从事油气勘探所追求的终极目标, 是正确的地质认识与适宜的勘探技术耦合作用的结果。正确的认知过程是由面上的综合研究到点上的突破, 再由点上的突破逐步深化扩展到整个面上。对客观地质条件和成藏规律的正确认识是勘探取得发现的基石。认识无止境, 勘探可持续。适宜的勘探技术是正确认识与勘探发现的桥梁, 勘探技术的适用性比先进性更重要。通过认识的深化与勘探技术的进步, 可以促使油气勘探领域不断拓展和新的油气田不断被发现。

**关键词:** 地质认识; 勘探技术; 油气田发现; 陆梁隆起; 准噶尔盆地

**中图分类号:** TE122.1      **文献标识码:** A

## Correct understanding of geology and suitable application of exploration technologies jointly leading to discoveries — an example from the western Luliang Uplift in the Junggar Basin

Zhang Yijie, Dong Dazhong

(Research Institute of Petroleum Exploration &amp; Development, PetroChina, Beijing 100083, China)

**Abstract** Oil/gas exploration is a systematic engineering that applies available knowledge and technologies to the exploration of unknown areas for oil and gas and a dialectical process that follows the route of practice, cognition, re-practice, and re-cognition. Oil/gas discoveries are the ultimate pursuit for people who are engaged in exploration and a result of correct geological understanding and appropriate selection and application of exploration technologies. Correct cognitive process generally starts from comprehensive study of the whole subject and then focuses on one point to make a breakthrough so as to achieve an understanding. After that, the understanding shall be tested by applying it to the whole subject. A correct understanding of geological conditions and oil/gas accumulation pattern serves as the foundation of exploration successes. Since recognition is an endless process, exploration for oil and gas guided by new recognition shall also be sustainable. Suitable exploration technologies are the bridge between the correct understanding of geological information and oil/gas discovery. Right selection of exploration technologies is more important than simply pursuing the most advanced technologies. Understanding of geological information and advancement of exploration technologies makes it possible for the expansion of oil and gas exploration domains and more discoveries of oil and gas fields.

**Key words** geological understanding; exploration technology; oil/gas discovery; Luliang Uplift; Junggar Basin

自 1878 年我国在台湾地区钻探第一口石油 探井至今, 已近一个多世纪过去了。经过几代油

收稿日期: 2007-08-09

第一作者简介: 张义杰 (1960—), 男, 教授级高级工程师, 石油地质

气地质与勘探家们艰苦卓绝的奋斗, 至 2006 年底, 全国已发现油田 622 个, 气田 228 个, 累计探明石油地质储量  $263.07 \times 10^8$  t, 天然气地质储量  $53\,692 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, 我国已成为世界上重要的油气生产国。回顾我国及世界油气勘探发展历史, 油气田的发现都是源自持续进行的油气地质研究和日益发展的勘探技术。油气地质科学的发展为油气勘探指明了方向, 提供了思路, 日益发展的勘探技术又为油气田的发现提供了有效保障<sup>[1]</sup>。本文以准噶尔盆地陆梁隆起西部的油气勘探实践为例, 剖析油气勘探中正确的地质认识与适宜的勘探技术应用对一个地区油气发现所起的重要作用。

## 1 准噶尔盆地陆梁隆起西部油气勘探

### 1.1 地质概况

陆梁隆起位于准噶尔盆地腹部, 北部为乌伦古凹陷, 南部为中央凹陷, 西部与玛湖凹陷为邻, 东与克拉美丽山相接, 面积约  $18\,095$  km<sup>2</sup> (图 1)。陆梁隆起是一个海西期形成并经印支、燕山和喜马拉雅多期构造运动叠加、改造的大型继承性古隆起, 包括三个泉凸起、夏盐鼻凸、基南凹陷、基东

鼻凸、石南凹陷和滴水泉凸起等 6 个构造单元。陆梁隆起石油资源量  $12.08 \times 10^8$  t, 天然气资源量  $4\,935 \times 10^8$  m<sup>3</sup>。该区油气勘探始于 1956 年, 1992 年石西 1 井首获高产工业油流, 实现了陆梁隆起油气勘探的历史性突破<sup>[2]</sup>。目前, 该区已发现陆梁、石西、石南等 3 个亿吨级油田和一批含油气构造, 成为准噶尔盆地增储上产的重要地区之一 (图 2)。

### 1.2 油气勘探历程

#### 1.2.1 20 世纪 50 年代—80 年代的区域勘探

陆梁隆起西部的含油气远景早就为地质家们看好<sup>[3]</sup>。20 世纪 50 年代进行了重、磁普查, 发现了陆梁隆起。1957—1958 年在陆梁隆起上钻探了该区第一口探井——基 1 井, 因工程出现复杂情况提前完钻, 井深 3 024.5 m, 井底层位 T<sub>3</sub>b。该井虽未见到任何油气显示, 但后期的勘探实践证明当时的勘探方向选择还是正确的。20 世纪 80 年代初, 立足玛湖生油凹陷和隆起区二叠—三叠系目的层, 依据沙漠二维数字地震发现了多个背斜圈闭, 并在三个泉凸起上优选了背斜 (古潜山)、断鼻构造和地层尖灭带三类圈闭目标, 分别钻探了陆 2 井、陆 3 井和陆 1 井 (图 3)。

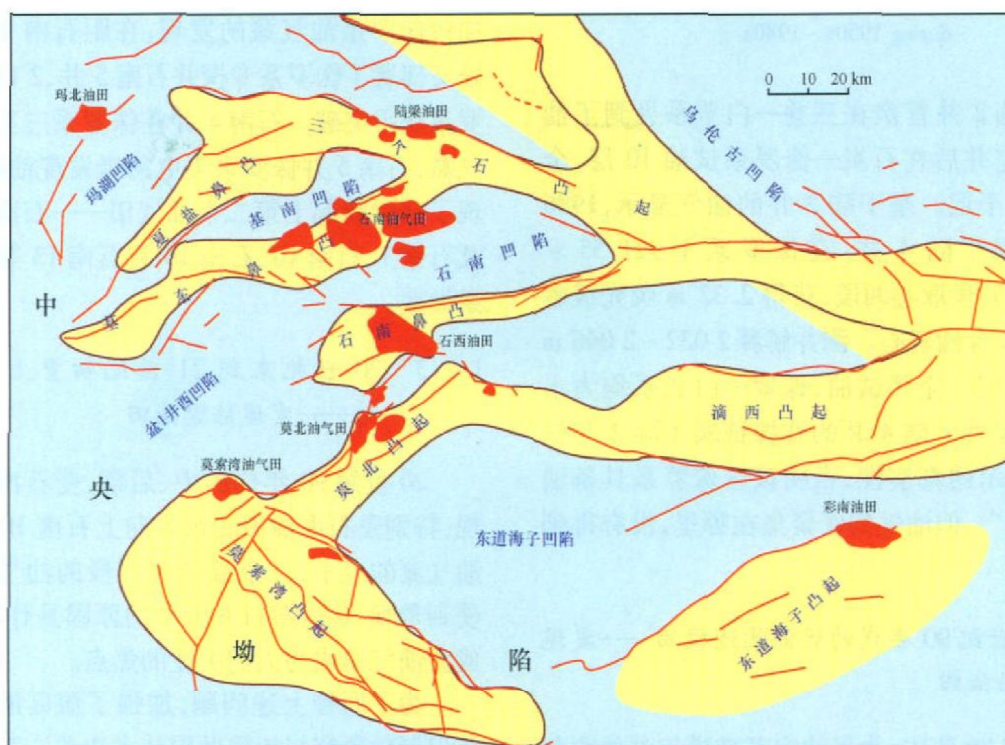


图 1 准噶尔盆地腹部陆梁隆起西段油气勘探成果

Fig. 1 Exploration results of the western Luliang Uplift in the abdominal part of the Junggar Basin

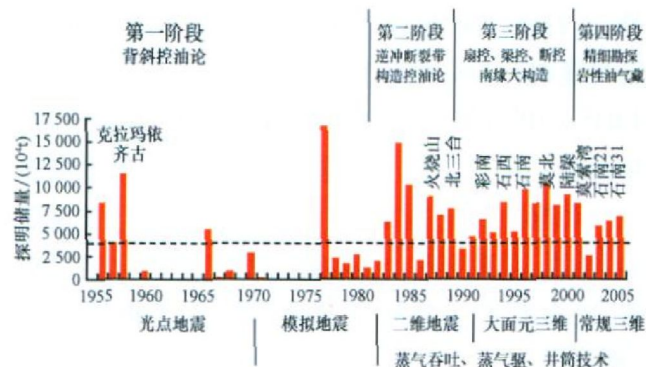


图 2 准噶尔盆地石油探明储量年增长统计

Fig. 2 Statistical chart of proved reserves in the Junggar Basin

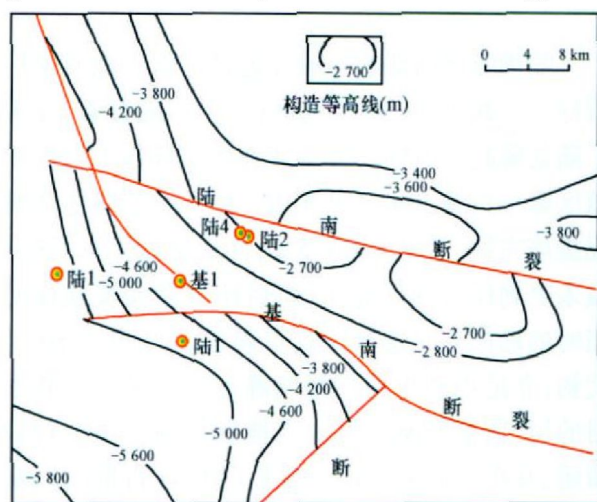


图 3 陆梁隆起 20 世纪 50—80 年代井位分布

Fig. 3 Distribution of wells drilled on the Luliang Uplift during 1950s-1980s

其中,陆 2 井首次在三叠—白垩系见到了油气显示,但完井后在石炭—侏罗系试油 10 层,全部为水层或干层。基于陆 2 井的油气显示,1986 年再次钻探了陆 4 井,在侏罗系 1 921.55 ~ 2 045.89 m 井段取心两段,获得 2.32 m 荧光级砂岩和 7.82 m 含油岩心。测井解释 2 032~2 046 m 段为油水同层。完井试油,侏罗—白垩系均为水层,仅见少量油。陆 4 井的钻探证实了陆 2 井侏罗系油气显示的真实性,表明该区侏罗系具备油气聚集条件<sup>[4]</sup>,但油气到底聚集在哪里,没有得到明确答案。

### 1.2.2 20 世纪 90 年代的近源构造找油——发现石西油田

20 世纪 80 年末,为尽快突破准噶尔盆地腹部

地区的油气勘探,1989 年开展了全盆地新一轮次的盆地分析模拟,研究结果确立了以盆 1 井西凹陷作为陆梁隆起主力生烃凹陷的地位,提出了立足近源以大型鼻状隆起为目标的找油勘探新思路<sup>[5 6]</sup>。1990—1991 年相继在腹部陆南、马桥和白家海凸起区域甩开预探,钻探了石西 1 井、盆参 2 井和彩参 2 井等 3 口预探井。1992 年石西 1 井获高产工业油气流,发现了陆梁隆起上第一个亿吨级油田——石西油田<sup>[7]</sup>,实现了陆梁隆起西部油气勘探的历史性突破。石西油田发现之后,依据“东西向油气聚集带”的认识,在三个泉凸起、夏盐鼻凸、石南凹陷等构造单元进一步甩开勘探,钻探了陆 5、陆 6、陆 7、陆 8 井、石南 1、石南 2、石南 3 井、夏盐 1、夏盐 2 井等,但均未取得突破。多口井钻探失利再一次引起了人们对该区油气的富集规律、控制因素的深思。

1994 年设立“陆梁隆起油气富集规律及勘探建议”研究专题,在综合研究及失利井分析的基础上,提出了该区油气沿北东向鼻状构造富集,即“源外沿梁”运聚模式<sup>[7]</sup>,每个伸入源区的鼻凸带(夏盐鼻凸、基东鼻凸等)是油气富集的主要场所。在这一认识的指导下,在基东鼻凸中部部署了石南 4 井,并第一次把侏罗系作为重要目的层<sup>[2]</sup>。该井钻入侏罗系后,油气显示良好。为了加快侏罗系油气藏的发现,在距石南 4 井 500 m 处又部署了侏罗系专探井石南 5 井,2 口井都在侏罗系获得突破。石南 4 井在侏罗系三工河组发现气藏,石南 5 井侏罗系头屯河组发现油藏,从而发现了陆梁隆起上第二个油气田——石南油气田以及石南 7、石南 10、石南 14 和石南 13 等一批侏罗系油藏。

### 1.2.3 20 世纪末到 21 世纪初重上三个泉凸起——发现陆梁油田

20 世纪 90 年代的中、后期,受石南油气田发现,特别是石南油田北东方向上石南 10 井获工业油气流的启示,三个泉凸起西段的油气勘探再次受到重视,该区多口井失利的原因是什么、能否形成大油气田成为人们关注的焦点。

为了回答上述问题,加强了该区的石油地质认识深化研究与地震勘探技术攻关<sup>[8~10]</sup>。进一步

深化了“源外沿梁”运聚成藏模式, 逐步形成了“源外沿梁断控阶状”油气成藏模式(图 4); 确定了侏罗—白垩系为主要目的层; 提出了以区带三维地震落实勘探目标的新思路。通过精细油源对比, 认为三个泉凸起的油源区为 100 km 外的盆 1 井西凹陷。三个泉凸起西段可通过基东鼻凸与盆 1 井西凹陷相连, 基东鼻凸上断裂发育, 可沟通油源, 而与来源于玛湖凹陷风城组的玛东 2 井原油不同源。油气沿梁汇聚, 在断裂疏导作用下, 由源区向源外呈阶状分布<sup>[8]</sup>。盆 1 井西凹陷二叠系烃源岩生成的油气沿不整合面和北东向断裂, 长距离侧向运移至基东鼻凸。喜马拉雅期的构造掀斜使基东鼻凸的油气沿不整合和断裂继续向北运移, 三个泉凸起位于油气运移的长期指向区, 是油气聚集的黄金地带。同时, 该区侏罗系、白垩系储层发育, 横向连通性较好。据 9 口井 134 个井下样品统计, 白垩系砂体发育, 虽单层厚度小(小于 10 m), 但层数多、累计厚度大(近 100 m); 岩性为细砂岩、中细砂岩和中砂岩; 储层埋深一般 1 300~3 100 m, 储层物性好。侏罗系砂体厚度大, 单层厚度 10~50 m, 累计厚度 300~400 m; 岩性以中—细粒、细粒岩屑砂岩为主; 埋深 2 400~3 200 m, 储层物性中等<sup>[11~14]</sup>。

针对老二维地震资料品质差、闭合差大, 低幅度构造高点难以准确落实及构造上的小断层空间展布不清等问题, 开展了三维地震攻关<sup>[15]</sup>。在三个泉凸起西部陆 4 井区实施三维地震 677.82 km<sup>2</sup>, CMP 网格 50 m × 100 m, 重点落实该区侏罗系和石炭系构造。采用针对性的三维地震采集、

处理解释一体化方案, 精细刻画出了三个泉凸起西部的构造形态(图 5)。三个泉 1 号背斜是一个由多高点组成的大型背斜构造, 以往钻探的陆 2、陆 4、陆 7 等井均不在局部四级圈闭内。新发现的三个泉 1 号背斜东高点是一完整的短轴背斜, 背斜轴部无断裂, 对油气的保存非常有利。东高点是在古隆起的背景下形成的背斜圈闭, 形成时间早, 圈闭面积大, 侏罗系—白垩系储盖层发育, 位于基东鼻凸上倾部位, 有利于油气聚集和保存。2000 年, 对东部高点开展了综合评价后, 部署了陆 9 井, 再次对三个泉凸起实施钻探。

在钻井设计中, 采用钾盐钻井液体系有效地保护了油气层; 测井采用了 CSU 系列和 MDT 测压及取样, 有效地识别出油气层。2000 年 6 月完井试油, 在侏罗系西山窑组 2 226~2 230 m 井段, 3.5 mm 油嘴, 获日产油 20.8 t 气 349 m<sup>3</sup>, 发现了侏罗系西山窑组油藏; 2000 年 7 月在白垩系呼图壁河组 1 414.5~1 418 m 井段, 3.5 mm 油嘴, 获日产油 13.8 t 气 479 m<sup>3</sup>, 首次在盆地白垩系获工业油流, 发现了陆梁油田。陆 9 井获得工业油气流后, 通过快速油藏评价, 探明石油地质储量  $12\,186.04 \times 10^4$  t, 陆梁油田自 2002 年起已年稳产在  $100 \times 10^4$  t 以上, 为准噶尔盆地原油持续稳定上产做出了重要贡献<sup>[14 16]</sup>。

陆梁油田的发现, 将盆地的含油气领域向北推进了 30 km。该发现证实了“源外沿梁断控阶状”运聚成藏模式的科学性和预见性。陆梁油田的发现是东西向构造带控油转向北东向构造带控油的结果, 是勘探目的层系从二叠系、三叠系向侏

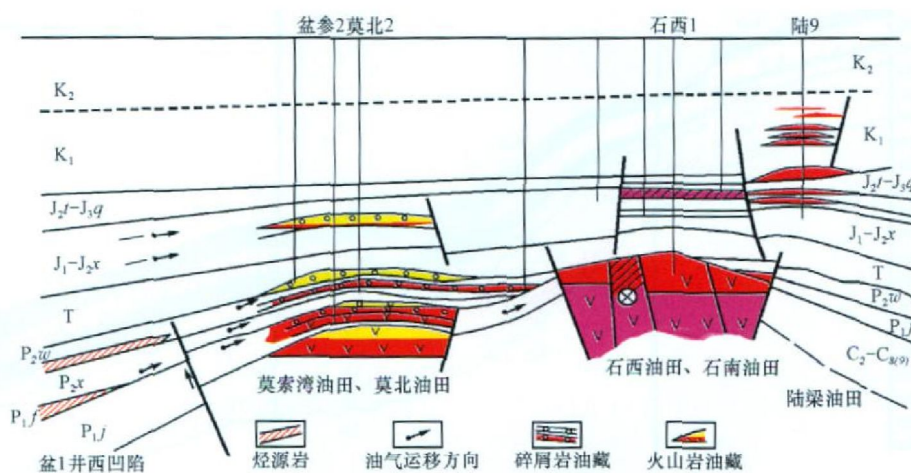


图 4 陆梁隆起西段“源外沿梁断控阶状”成藏模式

Fig. 4 Hydrocarbon accumulation pattern of “hydrocarbon migrating along faults and accumulating in paleohigh” in the western Luliang Uplift

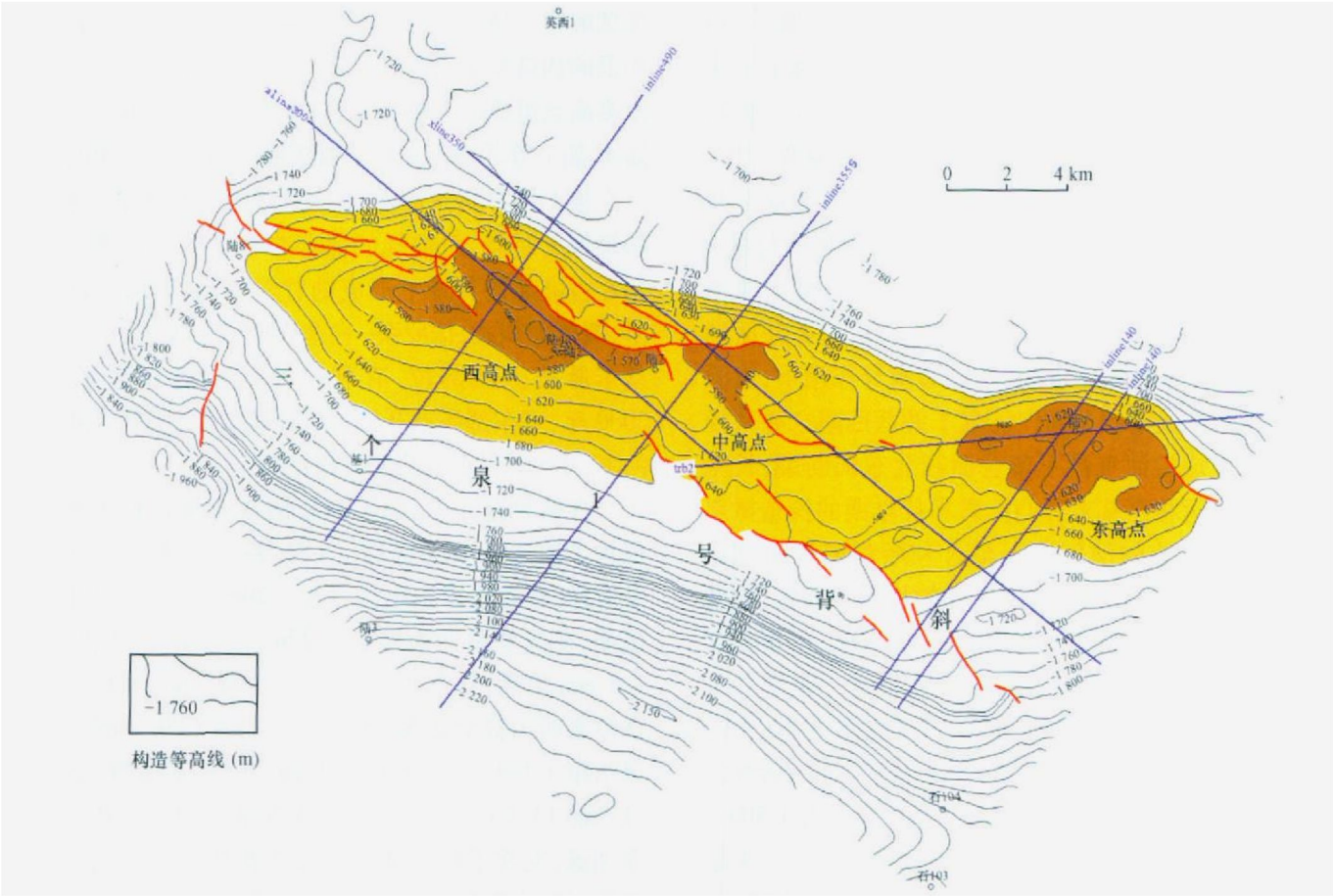


图 5 三个泉凸起陆 4 井区侏罗系顶面构造

Fig. 5 Structural map showing the top of the Jurassic in Lu-4 well block in the Sangequan Uplift

罗系、白垩系转移的结果,是三个泉背斜四级高点控油认识的结果;同时,该发现也是采用区带三维地震落实低幅度构造高点,以MDT为核心的快速识别评价油气层的结果<sup>[4 16]</sup>。充分说明了油气田发现中正确地质认识与适宜勘探技术耦合的重要作用。

1.2.4 2003年至今——岩性-地层油气藏勘探

随着陆梁西部勘探程度的不断增加,构造圈闭越来越少。区内是否还能发现大油田?大油田在哪里?在深化研究的基础上,提出了在油气运

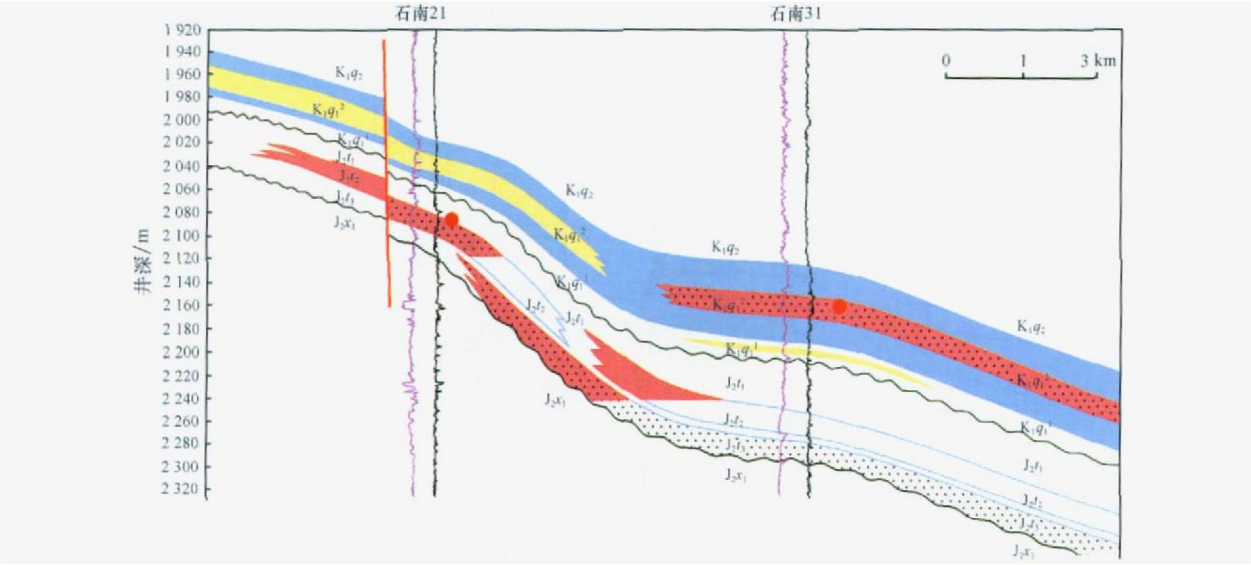


图 6 石南 21-石南 31 井区岩性-地层油藏剖面

Fig. 6 Profile of litho-stratigraphic reservoirs across Shinan21 and Shinan31 well blocks

移途径上的鼻状凸起斜坡部位具备形成岩性地层油气藏新认识。2003—2004年基于岩性地层油藏认识与圈闭识别技术,在基东凸起东斜坡部署石南 21 井及石南 35 井<sup>[4]</sup>,取得了岩性地层油气藏勘探的突破(图 6)。目前,石南 21 井区已建成了  $100 \times 10^4$  t 生产能力。而此后进一步的针对岩性地层油藏的勘探却未能有更大的发现,陆梁隆起西部油气勘探再次陷入相对困难时期。岩性地层油气藏将是准噶尔盆地腹部重要的勘探目标类型,相信随着该区认识的不断深化和勘探技术的进步,今后在陆梁隆起西部地区还会将有新的大油气田发现。

## 2 陆梁隆起西部油气勘探的认识与启示

### 2.1 坚定信念、坚持不懈是油气发现的根本

石西 1 井发现前,陆梁隆起的油气勘探已经历了 35 年艰苦的探索,三个泉凸起西段的勘探也经历了三上三下几个回合。但基于不同时期地质信息的分析,勘探家们始终对陆梁隆起存在大油田的信念没有动摇。

### 2.2 不断深化地质认识是油气勘探发现的基础

从立足玛湖凹陷找油,到基于盆 1 井西生烃凹陷近源勘探;再从“沿梁聚集”到“源外沿梁断控阶状”运聚模式的建立,不断深化的地质认识对陆梁隆起的油气发现起到了指导作用。

### 2.3 针对性应用适宜勘探技术是油气田发现的保障

陆梁隆起勘探中实施的区带三维地震,在构造解释中应用的三维地震切片、相干体、可视化等技术,为目标落实、有效评价提供了技术支持。针对陆梁隆起白垩系油层电阻率低 ( $4 \sim 10 \Omega \cdot \text{m}$ ) 的特点,采用了世界先进水平的 CSU 和 MAX500 测井系列;针对薄油层,试油难度大的特点,采用 MDT 测压、取样技术,实现了油层快速识别与评价。低阻油层识别、评价技术在陆梁油田的发现过程中提供了重要的技术支持,在快速识别低阻油层的同时提供了准确的储层评价参数,成为准噶尔盆地低阻油气藏勘探有效的配套技术之一。

## 3 结论

勘探实践表明,地质认识的不断深化和勘探技术的持续进步是油气勘探发现的基础,油气田的发现是正确的地质认识与适宜的勘探技术的交集。油气地质认识是分层次的,不同层次的认识对油气勘探部署有不同的指导作用。盆地、油气系统、亚油气系统的认识确定油气勘探的方向及勘探领域;成藏组合认识确定有利勘探区带、主要目的层系;勘探目标的认识决定勘探发现概率。确定适宜勘探技术是发现的重要保障。

### 参 考 文 献

- 1 赵文智,张光亚,王红军. 石油地质理论新进展及其在拓展勘探领域中的意义 [J]. 石油学报, 2005, 2(1): 1~7
- 2 张跃迁,张年富. 准噶尔盆地腹部油气勘探回顾及展望 [J]. 新疆石油地质, 2002, 21(2): 105~109
- 3 何登发,张义杰,王绪龙,等. 准噶尔盆地大油气田的勘探方向 [J]. 新疆石油地质, 2004, 25(2): 117~121
- 4 刘宝和. 从勘探实践看找油的哲学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2005, 146~158
- 5 张义杰,柳广弟. 准噶尔盆地复合油气系统特征、演化与油气勘探方向 [J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(1): 36~39
- 6 武恒志,孟闲龙,杨江峰. 准噶尔盆地腹部车-莫古隆起区隐蔽油气藏形成条件与勘探技术 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 779~785
- 7 张义杰,张有平,吴晓智. 准噶尔盆地石西复式油气区成藏特征及油气富集 [J]. 复式油气田, 1997, 4: 7~11
- 8 张义杰. 准噶尔盆地断裂控油的流体地球化学证据 [J]. 新疆石油地质, 2003, 24(2): 100~106
- 9 张义杰,向书政,王绪龙,等. 准噶尔盆地含油气系统特点与油气成藏组合模式 [J]. 中国石油勘探, 2002, 7(4): 25~35
- 10 尹伟,郑和荣,孟闲龙,等. 准噶尔盆地中部原油地球化学特征 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(4): 461~466
- 11 曹剑,张义杰,胡文瑄,等. 准噶尔盆地油气沿不整合运移的主控因素分析 [J]. 沉积学报, 2006, 34(3): 399~406
- 12 何登发,陈新发,张义杰,等. 准噶尔盆地油气富集规律 [J]. 石油学报, 2004, 25(3): 1~10
- 13 雷振宇,鲁兵,蔚远江,等. 准噶尔盆地西北缘构造演化与扇体形成和分布 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 86~91
- 14 邢焕清. 准噶尔盆地侏罗系层序地层研究展望 [J]. 石油实验地质, 2006, 28(1): 34~37
- 15 王绪龙,杨海波,康素芳,等. 准噶尔盆地陆梁隆起陆 9 井油源与成藏分析 [J]. 新疆石油地质, 2001, 22(3): 213~216
- 16 闫存章,尚尔杰. 集中力量,优势互补,陆梁油田实现高效勘探开发 [A]. 中国石油油气勘探开发调查报告集(二) [M]. 北京: 石油工业出版社, 2005, 41~47

(编辑 武新民)