

文章编号: 0253-9985(2007)05-0597-08

华北油田地层-岩性油藏勘探发现与启示

赵贤正¹, 卢学军¹, 王 权^{1,2}

(1 中国石油 华北油田有限公司, 河北 任丘 062552 2 中国地质大学, 北京 100083)

摘要: 在华北油田二连盆地的巴音都兰凹陷, 按照寻找地层岩性油藏的新勘探思路, 通过层序地层研究建立等时地层格架, 根据构造与沉积综合研究确定有利勘探区块, 依靠老井复查构建扇三角洲前缘砂体上倾尖灭岩性油藏成藏模式, 发现了以岩性油藏为主的宝力格油田。在冀中坳陷, 深化长洋淀潜山带成藏条件的研究, 建立了“新生古储古堵”的潜山油藏成藏模式, 使钻探获得新突破。

关键词: 巴音都兰凹陷; 长洋淀潜山带; 地层-岩性油藏; 华北油田

中图分类号: TE112.3 **文献标识码:** A

Discoveries and their implications in the stratigraphic-lithologic reservoir exploration of Huabei oilfield

Zhao Xianzheng¹, Lu Xuejun¹, Wang Quan^{1,2}

(1 Huabei Oilfield Company, PetroChina, Renqiu, Hebei 062552, China)

(2 China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract Huabei Oilfield Company has obtained many important achievements on the study and exploration of stratigraphic reservoirs in recent years. In the Bayindulan Sag of the Erlian Basin, guided by new exploration concept of searching for stratigraphic-lithologic reservoirs, the Baolige oilfield mainly composed of lithologic reservoirs was finally discovered through establishing isochronous stratigraphic framework based on sequence stratigraphic study, determining potential exploration areas by comprehensive study of structure and sedimentation, establishing the pooling pattern of updip pinchout lithologic reservoir of fan delta front sand based on reviewing old well data. While in the Jizhong Depression, new breakthrough was made by deepening the study of reservoiring conditions in Changyangdian buried hills and establishing a new reservoiring pattern of “new-generating old-accumulating and old-sealing”. These two successful cases shed light on the future exploration practices in similar areas.

Key words Bayindulan Sag; Changyangdian buried hill belt; stratigraphic-lithologic reservoir; Huabei oilfield

二连盆地和冀中坳陷是华北油田两大主要探区, 自 20 世纪 70 和 80 年代投入勘探, 在构造油藏和古潜山领域相继取得规模发现。但随着勘探程度的不断深入, 勘探发现难度日渐增大。进入新世纪, 勘探人员立足丰富的剩余油气资源基础, 深化地质研究, 积极转变勘探思路, 大胆构建地层-

岩性油藏成藏模式^[1~3], 通过钻探实施, 在砂岩地层-岩性油藏和潜山油藏领域取得了一系列重要勘探发现, 先后在二连盆地和冀中坳陷发现了多个整装规模储量区块和高产区块^[4], 开辟了油气勘探新局面。本文从近几年的众多勘探发现中撷取两例, 追溯其认识与发现过程, 总结从中所得到

收稿日期: 2007-08-09

第一作者简介: 赵贤正 (1962-), 男, 博士、教授级高级工程师, 石油地质

的启迪。

1 二连盆地巴音都兰凹陷宝力格油田的发现

巴音都兰凹陷位于二连盆地东北部,是在海西期褶皱基底上发育起来的中生代半地堑凹陷,包括南、北两个主要沉积洼槽,凹陷总体呈北东向展布,长约 80 km,宽约 16~ 20 km,面积约 1 200 km²(图 1)。

巴音都兰凹陷是二连盆地最早发现油气和最先投入油气钻探的地区。1977年 9月,解放军某部进行水文普查时,于巴音都兰凹陷钻探的 ZK5井,取心发现单层最大厚度 25 m,累计厚 73.94m的油砂^[5]。以此为线索,1978年地质部三普在 ZK5孔西侧钻探二连盆地第一口石油探井锡 1井,也见到良好油气显示。1981年,华北油田在巴音都兰凹陷全面展开油气勘探工作。但截至 2000年,20多年的时间里,勘探工作几上几下,战场在南、北洼槽间交替变换,钻井 37口,上交控制储量却不足 300×10⁴ t,勘探一直未取得实质性突破。

2001年,研究人员对巴音都兰凹陷的成藏条件进行了重新认识。通过开展凹陷资源评价,认定凹陷内发育腾格尔组和阿尔善组两套好烃源岩层系,南洼槽是主力生油洼槽,石油资源量在 4 000×

10⁴ t有较大勘探潜力。通过总结分析多年的勘探实践,明确了制约巴音都兰凹陷勘探进程的两大主要因素:一是构造与储集砂体分布不匹配,未找到好储层;二是地震资料品质差,难以满足深化勘探需要^[6]。

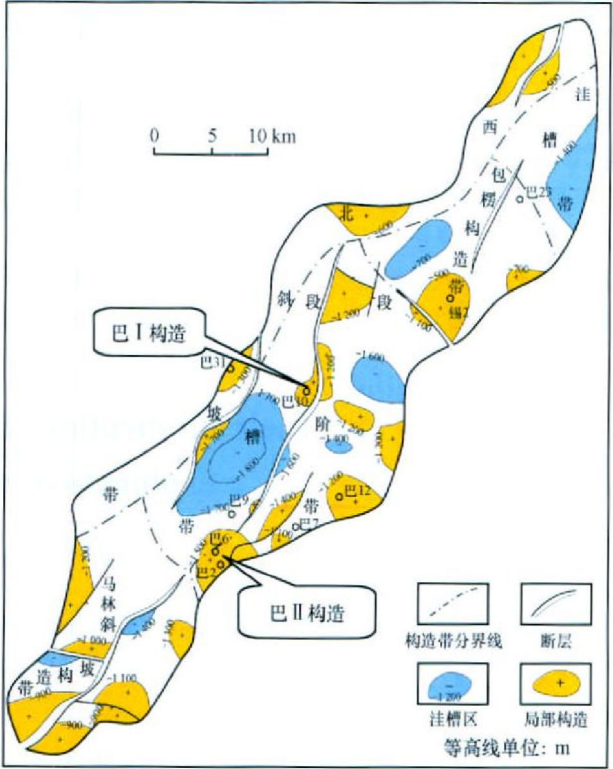


图 1 巴音都兰凹陷构造单元划分示意图
Fig. 1 Sketch map showing the division of structural units in the Bayindulan Sag

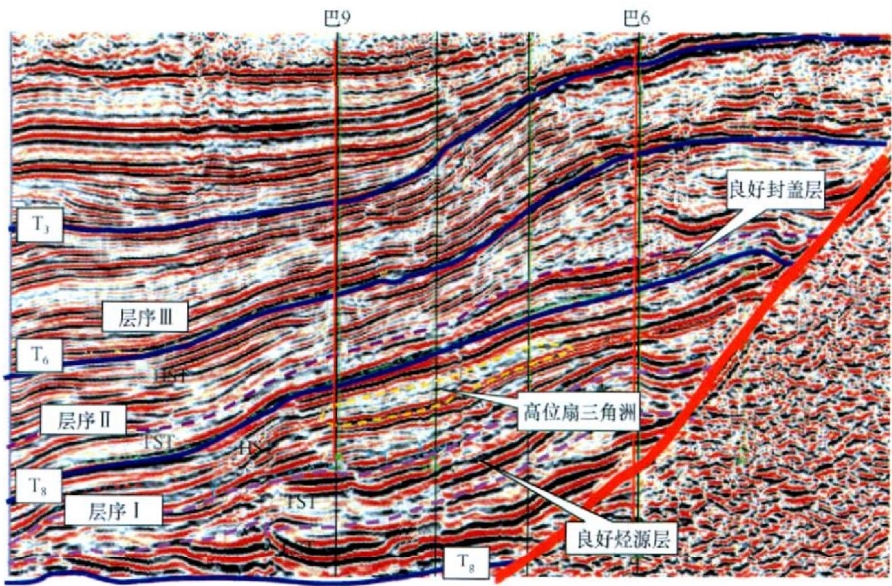


图 2 巴音都兰凹陷南洼槽层序地层划分
Fig. 2 Sequence stratigraphic division in the southern subsag of the Bayindulan Sag

1.1 开展地层层序研究, 建立等时地层格架

根据沉积演化、岩电组合建立了凹陷内地层层序剖面, 将巴音都兰凹陷下白垩统自下而上划分为 4 个三级层序, 分别对应于阿尔善组、腾 (格尔组) 一段、腾二段及赛汉组地层。进而, 通过单井- 地震结合, 建立了巴音都兰凹陷的层序格架 (图 2), 在阿尔善组和腾一段识别出了低位体系域、湖侵体系域和高位体系 3 种体系域类型。

阿尔善组三级层序内, 湖侵体系域上部的“凝缩段”广泛、稳定分布, 是凹陷内主力烃源层之一; 高位体系域以扇三角洲沉积体系为主, 水下河道发育, 是储集层有利发育带。

1.2 深化沉积- 储集砂体研究, 明确有利勘探层段

通过地震相研究, 在阿 (尔善组) 四段高位体

系域内识别出多个有透镜体形态的异常体, 主测线上异常体内斜交前积结构明显, 联络线上透镜体的核心部位呈断续、波状发射特征, 向两端连续性变好, 初步判断为砂体沉积。沉积相研究认为, 阿四段时期, 巴音都兰凹陷陡坡为平台型古地貌形态, 南北发育了巴 iv、巴 ㊦号两大高位体系域扇三角洲沉积体系^[7] (图 3); 阿四段透镜状地震异常体为扇三角洲前缘辫状水道和前缘楔状砂, 其岩性以长石- 石英细砂岩为主, 厚度 100 m 左右, 成岩演化处于晚成岩 A 期, 且现今阿四段埋藏深度正处于次生孔隙发育带, 溶蚀作用强烈, 砂岩粒间、粒内溶孔发育, 储集条件良好。而阿四段上、下分别为腾一段早期和阿尔善中期的两个湖侵体系域所夹持, 三者构成良好的生储盖配置关系, 由此确定, 阿四段应为凹陷内重点勘探目的层系。

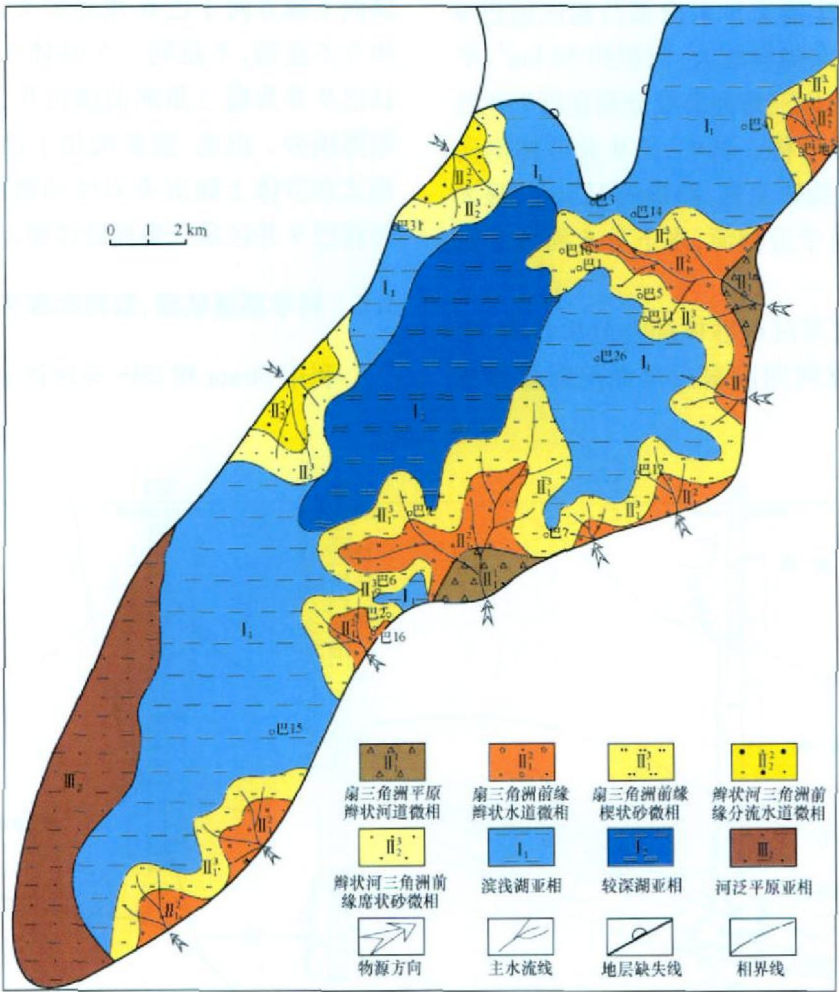


图 3 巴音都兰凹陷阿四段 ㊦砂组沉积相

Fig. 3 Sedimentary facies of the ㊦ sand layer in the fourth member of the Aershan Formation in the Bayindulan Sag

1.3 开展构造-沉积砂体综合研究, 优选有利勘探靶区

开展构造研究, 认为多期次、多形式的构造活动形成了巴音都兰凹陷复杂的构造格局, 尤其是腾一后期的构造反转活动致使凹陷内构造继承性变差, 凹陷正负向结构逆转, 对油气藏的形成起到了重要的制约作用。在南洼槽中南部, 构造反转活动表现为阿尔善期洼槽区基底整体抬升, 其上盖层发生塑性形变, 形成了巴 5 挤压背斜和巴 ⑤ 大型鼻状构造, 随着沉积中心的转移, 早期的洼槽带抬升成为断阶带。其中, 巴 5 挤压背斜和巴 2 大型鼻状构造成为油气的主要运移方向, 具备有利的成藏条件。

沉积砂体研究结果表明, 区内主要勘探目的层——阿四段以扇三角洲发育为特征, 发育有巴 9 巴 5 和巴 31 三大扇三角洲沉积体系。受古构造背景的控制, 南洼槽来自东南部凸起区的巴 9 扇三角洲沉积区分布规模较大, 面积约 50 km^2 , 平面上呈“V”形分布, 扇三角洲前缘分别在巴 9 和巴 10 井南形成两个朵叶体。其中, 巴 9 朵叶体侧向超覆于巴 ⑤ 号鼻状构造北翼, 面积约 12 km^2 , 最大厚度 350 m , 局部由于近物源, 水下分支河道砂砾岩、细砂岩发育。

通过上述构造与沉积砂体综合分析认为, 巴 ⑤ 号鼻状构造北翼阿四段扇三角洲前缘砂体发

育, 并夹于湖相暗色泥岩之间, 具备形成砂岩上倾尖灭岩性油藏的良好条件。因此, 将凹陷陡带巴 ⑤ 构造的翼部锁定为了岩性油藏的首选有利勘探靶区。

1.4 重新认识老井, 构建岩性油藏成藏模式

对巴 ⑤ 号构造 2000 年前已钻探井重新进行复查, 获得了两个发现: 一个是巴 9 井的储层物性、产液性、原油物性在全凹陷均为最好, 其储层平均孔隙度 15.5% , 平均渗透率 $308 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 试油日产油 $0.25 \text{ t}^{[8]}$, 产水 16 m^3 , 原油具常规稀油特征; 另一个是处于巴 ⑤ 号鼻状构造低部位的巴 9 井和高部位的巴 6 井, 阿四段试油均为油水同出, 二者层位相当, 中间没有断层, 显然油水关系存在矛盾。

以上述发现为线索, 对巴 9 和巴 6 井区进行精细的层位标定与砂体追踪, 确认巴 9 井含油砂体向上倾方向于巴 6 井北尖灭, 与巴 6 井含油砂体互不连通, 不是同一个砂体。单井相分析也确认巴 9 井为扇三角洲前缘沉积, 而巴 6 井为滨浅湖滩坝砂。由此, 重新构建了巴 ⑤ 号构造的沉积模式和砂体上倾尖灭岩性油藏成藏模式 (图 4), 并将巴 9 井区扇三角洲砂体锁定为勘探突破口。

1.5 科学部署钻探, 取得勘探突破

利用 Strata 和 ISIS 等软件对巴 9 井区扇三角

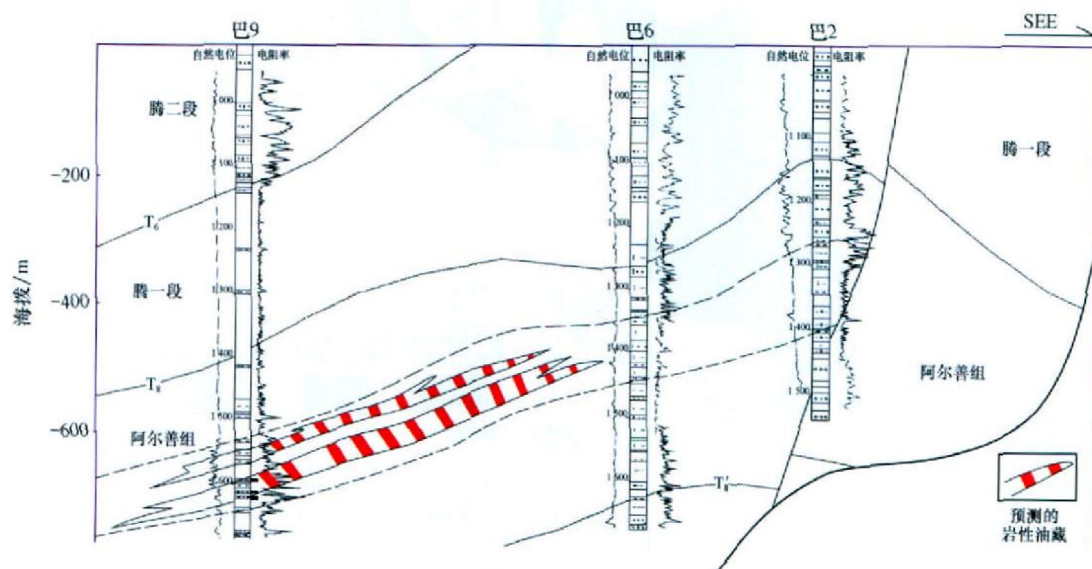


图 4 巴音都兰凹陷巴 ⑤ 号构造-岩性油藏成藏模式

Fig. 4 Accumulation pattern of the Ba-⑤ structural lithologic reservoir in the Bayindulan Sag

洲砂体进行储层预测研究, 清晰地刻画了砂体的空间展布, 并通过地震属性分析, 预测了砂体的平面分布范围, 圈定了岩性圈闭面积。按照“最大相似性”原则, 在巴 9 井高部位地震相特征和巴 9 井类似的位置率先部署钻探巴 19 井, 在阿尔善组电测解释油层 25.2 m (12 层), 两层试油分获日产 25 和 33 m³ 的高产工业油流, 原油性质为常规稀油, 实现了巴音都兰凹陷油气勘探历史性的突破。

巴 19 井突破后, 滚动式开展第二轮的储层预测工作。在新预测成果基础上, 于巴 19 南优选巴 21 井, 钻探再获成功, 电测解释油层 37 m (12 层), 试油获日产 21 t。随后, 又滚动式开展了第三轮的储层预测工作, 根据新的预测结果, 按照“油藏中部找富集、高部探岩性尖灭、低部定油水界面”的勘探思路, 部署了巴 18、巴 20、巴 22 等 3 口井, 钻探均获得成功, 其中, 巴 18 井获得了日产 58 m³ 的高产工业油流。

1.6 精细油藏描述, 确定油藏规模

利用多元油气预测方法^[9]开展油藏描述工作, 对巴 19 油藏油层有效厚度、孔隙度、含油饱和度等参数进行研究, 经储量计算, 巴 19 油藏探明含油面积 8.2 km², 探明石油地质储量逾 1 200 × 10⁴ t。一个新的油田——宝力格油田宣告发现。

1.7 进行滚动式研究与钻探, 扩大油田范围

首先经过深化研究, 在巴 19 井区东又发现了与巴 19 同源的另一支扇三角洲朵叶体, 其与巴 19 扇体在构造上以鞍部相连, 巴 20 井处于扇体低部位, 已获工业油流。分析认为, 该朵叶体同样具备良好的成藏条件, 可望形成与巴 19 油藏相似的高产岩性油藏。据此, 2002 年, 先后部署钻探巴 38、巴 42 井均获得成功, 进一步扩大了巴 ⑤号构造的含油规模。

进而重新认识和研究巴 iv 号构造, 构建了地层不整合、地层超覆及构造-岩性油藏成藏模式^[10], 先后部署钻探巴 48、巴 36、巴 40、巴 24、巴 28、巴 51、巴 54 等 7 口探井获得成功, 相继发现和探明了巴 10、巴 48 和巴 51 油藏, 形成了千万吨级的储量规模 (图 5)。

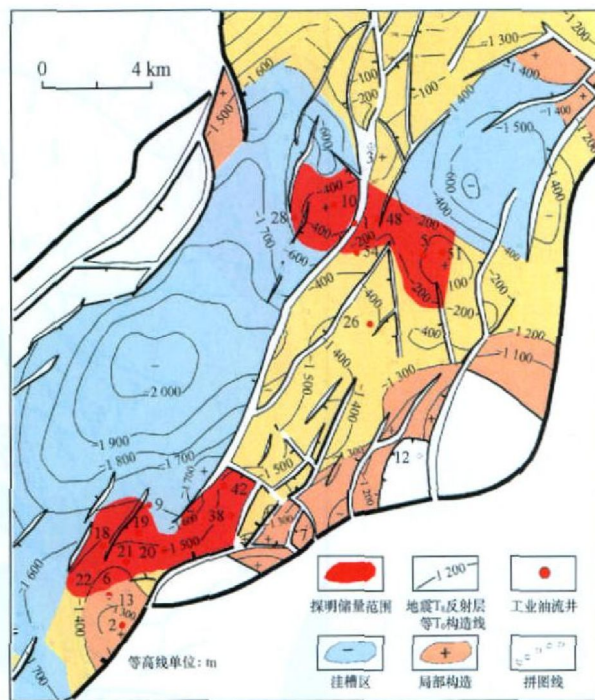


图 5 巴音都兰凹陷油气勘探成果

Fig. 5 Map showing the oil/gas exploration results in the Bayindulan Sag

截至 2005 年底, 巴 iv-巴 ⑤号构造宝力格油田发现油藏 5 个, 探明石油地质储量近 3 000 × 10⁴ t 建成了 25 × 10⁴ t 的原油生产能力。

2 冀中饶阳凹陷长洋淀潜山勘探的突破

潜山是华北油田得以扬名和最为重要的勘探领域, 20 世纪 70 年代末由潜山勘探到突破, 曾创下 1 年建成千万吨级石油生产基地和随后连续 10 年保持原油年产量 1 000 × 10⁴ t 以上的辉煌^[11]。但是, 自“七五”以后, 虽一直坚持潜山勘探, 成效却明显变差。1986—2000 年的 15 年间, 仅仅发现了 7 个潜山油气藏, 且单个油藏的储量均在 18~65 × 10⁴ t 之间, 累计仅探明石油地质储量约 200 × 10⁴ t 天然气地质储量约 30 × 10⁸ m³。进入新世纪, 冀中坳陷埋藏浅、面积大、易识别、成藏条件好的潜山绝大多数都已经钻探, 留下来的多为面积较小的深潜山、识别难度较大的隐蔽性潜山和内幕潜山, 勘探难度日趋增大。

长洋淀潜山带位于饶阳凹陷北部、任丘潜山油田的西侧 (图 6), 早在大规模潜山勘探的初期

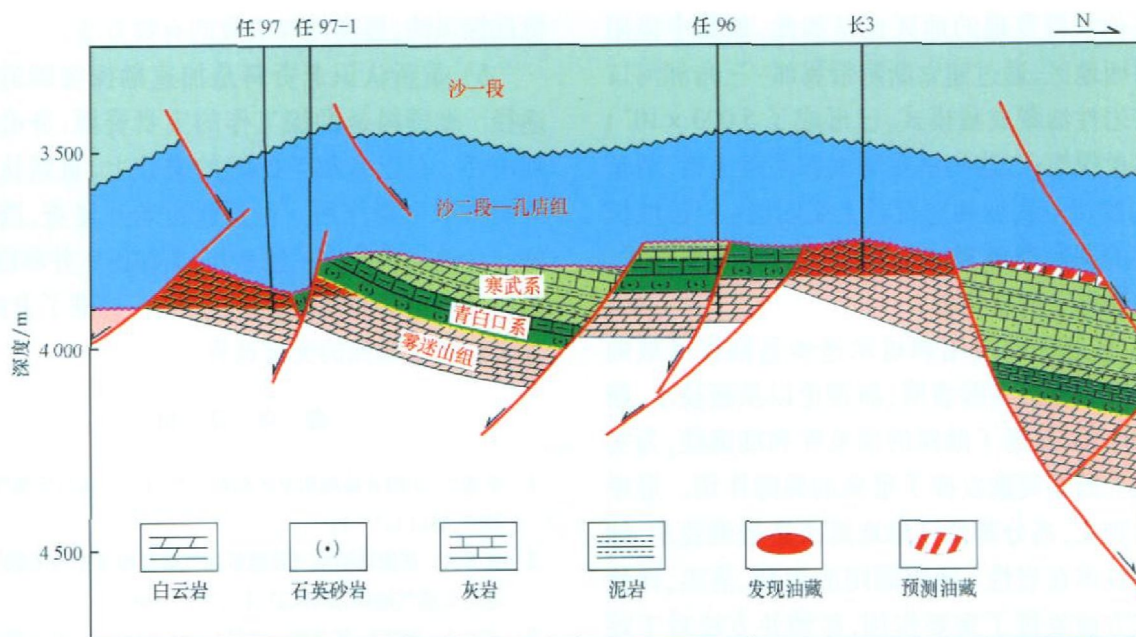


图 7 长洋淀潜山油藏剖面

Fig. 7 Profile of the Changyangdian buried hill reservoirs

2.3 创新认识, 建立“新生古储古堵”潜山油气成藏模式

通过开展精细的构造解释, 认为任 97-1 和任 97 两口井之间存在一断槽, 任 97-1 井并非任 97 井的高部位, 不同潜山山头油水界面不尽一致, 从而正确解释了两口井之间的油水关系。

通过对任 97、任 97-1 油藏的解剖, 结合该潜山构造带的地层展布特征, 认为长洋淀潜山以第三系为油源、雾迷山组为储集层、青白口系为侧向封堵层, 可以形成“新生古储古堵”式的潜山油藏 (图 7)。这一成藏模式认为潜山带内油气在山峰或内幕高分布, 不同于任丘潜山雾迷山组油藏整体含油, 具统一油水界面的模式。

2.4 开展精细构造解释, 潜山勘探获得新突破

在上述认识的指导下, 开展立体可视化解释, 精细刻画了潜山构造形态, 落实了长洋淀潜山圈闭。潜山圈闭面积 3.2 km^2 , 高点埋深 $4\,080 \text{ m}$, 潜山幅度为 300 m , 部署钻探长 3 井。该井于 $4\,086 \text{ m}$ 进山, 完钻井深 $4\,366 \text{ m}$ 。潜山地层为雾迷山组, 录井见油斑 28 m (3 层)、荧光 34 m (5 层)。对两层潜山井段进行中途测试, 分获日产油 408 m^3 和 518 m^3 , 创下了自 1985 年以来华北油田单井日产油量之最。

通过油藏特征及储量研究, 长 3 和任 97 两个潜山油藏基本控制石油地质储量 $500 \times 10^4 \text{ t}$ 以上。长 3 井的钻探成功, 展现了冀中坳陷深小潜山的勘探潜力, 也为这一领域的深化勘探吹响了号角。

3 启示

1) 立足资源基础、坚持勘探是发展勘探的重要前提。巴音都兰凹陷初期油气资源评价结果显示, 石油资源量仅次于阿南凹陷, 居整个二连盆地的第二位。但在勘探屡屡失利后, 部分勘探人员对凹陷的资源量产生了一定的怀疑, 希望重新进行资源量的测算。为此, 评价研究人员也曾几次反复, 但在科学评价之后, 一直坚信凹陷具有 $5\,000 \times 10^4 \text{ t}$ 级以上的资源规模。这是 20 余年来巴音都兰凹陷油气勘探工作能够坚持不懈, 并最终获得突破的重要前提。

2) 解放思想、创新认识是取得勘探突破的关键。巴音都兰凹陷的突破首先归功于地质研究和勘探决策人员解放思想, 从传统的构造勘探思路转变为了地层岩性油藏勘探思路, 宝力格油田发现的关键则在于创新认识、构建了新的扇三角洲砂岩上倾尖灭岩性油藏成藏模式; 长 3 井的突破则应归功于“新生古储古堵”这一新成藏模式的建

立。其他取得发现的地区也是如此,如冀中饶阳凹陷留西地区,通过建立断阶带翼部-三角洲河口坝砂岩岩性油藏成藏模式,已形成了 $5\,000 \times 10^4$ t 级的储量规模;二连乌里雅斯太凹陷南洼槽,则是通过构建简单斜坡构造背景上受断层-侵蚀坡折带控制的湖底扇砾岩体上倾尖灭岩性油藏模式,方带来勘探上的新突破。

3) 新理论的应用和技术进步是勘探突破的重要保障。勘探实践表明,新理论以及新技术、新工艺的应用,提高了勘探的预见性和准确性,为实现勘探上的新突破发挥了重要的保障作用。层序地层学理论,高分辨率三维地震采集处理技术、储层预测技术在岩性-地层圈闭的识别、落实、评价与优选方面发挥了重要作用;新测井方法对于评价油层、提高油层识别率,压裂新工艺在低渗透层的改造方面均发挥了重要的保障作用。而巴音都兰凹陷岩性油藏和长洋淀潜山的突破都与区内三维地震资料采集、处理工作大幅度提高了资料品质有直接关系。

4) 科学实施是提高勘探成效的有效方法。在地层-岩性油藏勘探实践过程中,逐步总结、完善形成了一套以“区带优选评价技术方法、圈闭落实评价技术方法、油藏发现评价技术方法”为核心的地层-岩性油藏勘探技术方法流程^[12~14]。其关键技术方法为“构造、砂体配置,构建地层-岩性油藏模式,预测有利成藏区;五面(最大湖泛面、地层不整合面、断层面、砂体顶面和底面)研究,综合分析圈闭的成藏条件,优选钻探目标;滚动预测-滚动评价-滚动钻探,滚动式勘探控制储量规模”。该套研究与勘探技术方法的提出,为深化勘探、指导勘探,不断实现油气勘探新突破和新发现起到了重要作用。巴音都兰凹陷应用了“滚动预测-滚动评价-滚动钻探”的滚动式勘探模式,在预测的基础上钻探,充分利用新的钻井资料再次预测,根据新的预测结果再进行钻探,如此循环往复,直至完全探明油气藏。预测先行,评价把关,钻探见效,重复运作,保证了连续突破。实践证明这是降

低勘探风险,提高勘探成效的有效方法。

5) 重新认识老资料是加速勘探突破的有效途径。老资料是勘探工作的宝贵资源,务必充分利用好。在巴音都兰凹陷的突破上,重新认识老井发挥了重要作用。正是通过老井复查,选出最好的含油显示井——巴 9 井,抓住巴 9 井和巴 6 井两口井所揭示的油藏之间的矛盾,选准了方向,才大大加速了勘探的突破进程。

参 考 文 献

- 1 李德生. 中国石油地质学的创新之路 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(1): 1~11
- 2 张善文. 济阳坳陷第三系隐蔽油气藏勘探理论与实践 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 731~740
- 3 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
- 4 Du Jinhua, Yi Shiwei, Lu Xuejun, et al. "Complementarity" feature of hydrocarbon distribution in oil-rich sag [J]. Petroleum Science, 2004, 1(2): 79~86
- 5 李正文, 殷宏平, 常亮, 等. 二连盆地巴音都兰凹陷隐蔽油藏勘探 [J]. 中国石油勘探, 2002, 7(2): 14~30
- 6 张以明, 史原鹏, 李林波, 等. 二连盆地巴音都兰凹陷岩性油藏勘探 [J]. 中国石油勘探, 2004, 9(3): 33~39
- 7 崔周旗, 吴健平, 李莉, 等. 二连盆地巴音都兰凹陷白垩世构造岩相带特征及含油性 [J]. 古地理学报, 2001, 3(1): 25~34
- 8 杜金虎, 邹伟宏, 易士威, 等. 华北油田隐蔽油藏的勘探 [J]. 中国石油勘探, 2002, 7(3): 7~15
- 9 韩文功, 张建宁, 王金铎. 济阳坳陷隐蔽圈闭识别与精细描述 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 849~859
- 10 秦伟军, 林社卿, 程哲, 等. 南襄盆地泌阳凹陷油气成藏作用及成藏模式 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(5): 668~673
- 11 杜金虎, 邹伟宏, 费宝生, 等. 冀中拗陷古潜山复式油气聚集区 [M]. 北京: 科学出版社, 2002, 7~9
- 12 杜金虎, 易士威, 王权. 华北油田隐蔽油藏勘探实践与认识 [J]. 中国石油勘探, 2003, 8(1): 1~10
- 13 易士威, 王权. 岩性地层油气藏勘探思路与勘探方法 [J]. 中国石油勘探, 2005, 10(2): 9~14
- 14 吴东胜, 扬申谷, 刘少华. 陆相盆地隐蔽油气藏综合勘探方法与应用初探 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(1): 118~123

(编辑 董立)