

文章编号:1672-9854(2008)-04-0012-07

## 二连盆地基底石炭系碳酸盐岩油藏的发现及地质特征

赵贤正, 金凤鸣, 赵志刚, 郭永军, 王吉茂, 任春玲

(中国石油华北油田公司)



赵贤正

**摘要** 赛汉塔拉凹陷赛51井首次发现了基底石炭系碳酸盐岩油藏,酸压试油获得日产油226m<sup>3</sup>。这是二连盆地自1979年大规模石油勘探以来获得的最高产量,也是在中国东部地区石炭系碳酸盐岩中的首次发现,为中国东部开辟了一个重要的油气勘探新领域。赛51油藏位于赛汉塔拉凹陷缓坡一侧的扎布断阶带上,紧邻主生油洼槽,具有不整合面与断层两种供油方式,油气源充足;同时,有利的背斜圈闭形态、孔缝洞十分发育的石炭系碳酸盐岩储层、良好的以致密火山岩为主的盖层条件等,是该油藏形成并高产富集的关键因素。赛51油藏的发现对类似地质条件的地区具有重要的指导意义。

**关键词** 石炭系; 碳酸盐岩油藏; 油气藏特征; 油气勘探; 勘探前景; 二连盆地; 赛51油藏

**中图分类号** TE122.14 **文献标识码** A

**赵贤正** 1962年10月生,教授级高级工程师。1989年获石油大学(北京)硕士学位,2005年获中国石油大学(北京)博士学位,现为中国石油华北油田公司副总经理。主要从事油气勘探、煤层气勘探开发研究与管理工。通讯地址:062552 河北省任丘市

海相碳酸盐岩油藏产量高、效益好,是重要的勘探领域<sup>[1]</sup>。海相碳酸盐岩油藏在我国东部、西部都有发现,如渤海湾盆地的任丘油田<sup>[2]</sup>、塔里木盆地的塔河油田等<sup>[3]</sup>。二连盆地勘探早期(20世纪80年代)也曾以寻找碳酸盐岩潜山油藏为重点,部署过多口探井,但均未能取得突破。2007—2008年于二连盆地腾格尔坳陷赛汉塔拉凹陷钻探的赛51井终于取得了石炭系碳酸盐岩油藏的发现,并获得高产油流,这不仅开辟了二连盆地碳酸盐岩油藏勘探的新局面,还将对我国东部地区该领域的油气勘探工作起到重要的指导作用。

### 1 基底石炭系碳酸盐岩油藏的发现

二连盆地不是一个统一的湖盆,而是在海西期地槽褶皱基底上发育起来的中—新生代断陷湖盆群,由50余个分散独立的小型断陷盆地组成,单个断

陷盆地(凹陷)的大小悬殊,最大者可达 $1.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,小的仅 $250 \text{ km}^2$ ,一般在 $1\,000 \text{ km}^2$ 左右。每个断陷盆地都是一个独立的湖盆,发育有边缘相沉积,形成单独的沉积体系及成藏体系<sup>[4]</sup>。

腾格尔坳陷赛汉塔拉凹陷位于二连盆地的西南部(图1),南靠温都尔庙隆起,北和西为苏尼特中央隆起,东接查干诺尔凸起(腾格尔坳陷),凹陷总体呈北东走向,东西宽约23 km,南北长约100 km,总面积 $2\,300 \text{ km}^2$ 。前白垩系基底为侏罗系煤系地层、上古生界石炭系碳酸盐岩及中元古界蓟县系温都尔庙群(Jxw)绿色片岩。盖层为下白垩统的阿尔善组( $K_1ba$ )、腾格尔组一段( $K_1bt_1$ )、腾格尔组二段( $K_1bt_2$ )、赛汉塔拉组( $K_1bs$ );盖层的最大厚度为3 900 m,一般在2 500~3 000 m。

该凹陷石油勘探工作始于1980年,截至赛51井钻探前(2007年底),已经历了三大勘探阶段。

收稿日期:2008-08-21

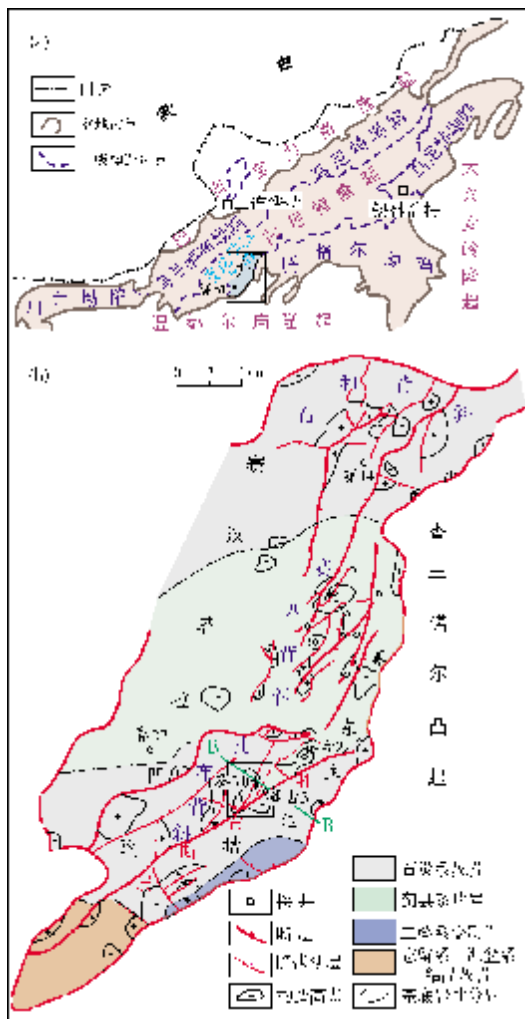


图1 赛汉塔拉凹陷位置(a)与基底结构纲要(b)示意图

一是1980—1988年基于 $1 \times 1 \text{ km}$ 至 $0.5 \times 0.5 \text{ km}$ 测网二维地震资料的预探突破和构造详探阶段;二是1989—2000年基于三维地震资料的构造油藏精细勘探阶段;三是2001—2007年基于老三维地震资料重新精细处理与部分三维地震资料重新采集的岩性油藏勘探阶段。三大勘探阶段历时28年,累计完成二维地震6567.47 km,三维地震满覆盖面积 $704.815 \text{ km}^2$ ,完成各类石油探井89口,总进尺 $16.05 \times 10^4 \text{ m}$ ,获工业油流井32口。钻探证实了阿尔善组、腾格尔组一段是凹陷的主力生烃层系,发现了阿尔善组、腾格尔组一段、腾格尔组二段三套主要含油层系,发现了赛汉(赛4号)油田和扎布油田。

总体而言,该凹陷是二连盆地开展石油勘探较早并获得油气发现的富油凹陷之一,但同时又是历

经长达28年却勘探成效不高,探明储量与凹陷资源量不相匹配的一个凹陷<sup>[5-7]</sup>。

2006年以来,立足资源基础,加大新领域及预探目标的研究力度,对凹陷基底结构进行了重新认识。赛汉塔拉凹陷南部深层发育一套以安山岩为主的火山岩系地层,由于过去一直认为是侏罗系(最新研究仍为下白垩统阿尔善组的下部地层),所以钻探中通常钻达火山岩地层时即完钻。后来利用2006年赛汉塔拉凹陷重新采集处理的整体连片高精度三维地震资料<sup>[8]</sup>对火山岩下基底构造进行解释,结果发现了扎布构造带火山岩下的赛51背斜(图2,图3)。

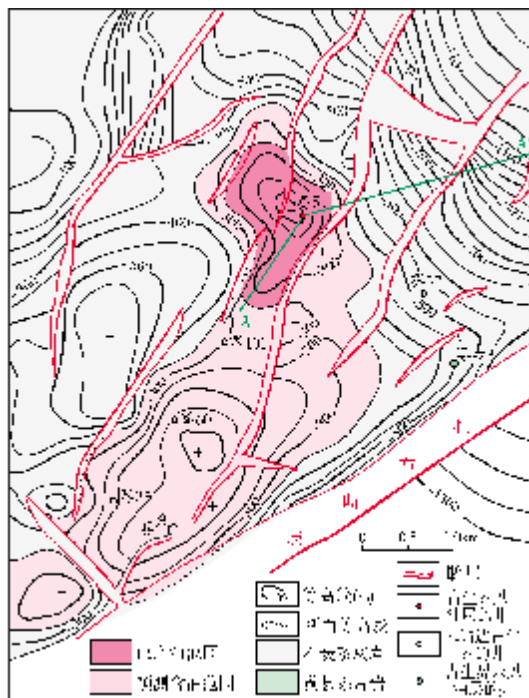


图2 赛51井区前中生界基底顶面海拔构造图

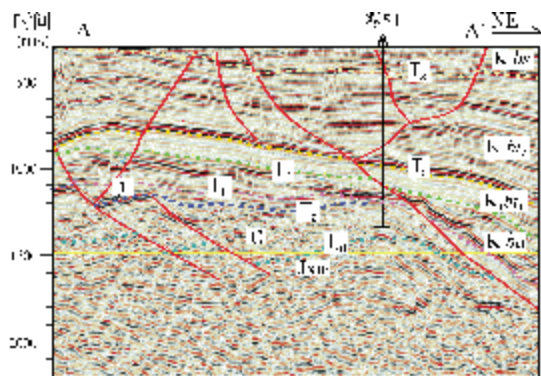


图3 过赛51井地震剖面

通过进一步的基底结构分析,凹陷北部已钻探的赛14井揭示基底为上古生界石炭系碳酸盐岩,凹陷中部已钻井揭示基底为中元古界蓟县系温都尔庙群片岩,凹陷南部所有钻达基底的井仅揭开侏罗系煤系地层,但凹陷周边有古生代石炭纪碳酸盐岩地层露头;由此表明赛汉塔拉凹陷基底为一复背斜,具有中部地层老,南北两翼地层新的特征。由此推断,南部火山岩之下的赛51背斜构造地层可能为古生界石炭系碳酸盐岩。根据赛14井取心,石炭系碳酸盐岩张性裂缝十分发育,具有良好的储集性能。油源及油气运移条件分析又表明,赛51背斜构造通过东侧断距达600~1000m的扎布大断层与下降盘的中生界白垩系主生油洼槽的烃源岩对接,北部以斜坡形式与凹陷中部的中生界白垩系主生油洼槽相连,油气可通过扎布断层和斜坡背景上的不整合面向赛51背斜运移和聚集。赛51背斜构造上覆的安山岩岩性致密,是良好的盖层。这一有利的成藏条件,构建了“中生古储火山岩下油藏”的形成模式<sup>[9]</sup>。于是,2007年9月部署钻探了赛51井。

赛51井于1267.0m钻穿安山岩进入了石炭系碳酸盐岩,与设计十分吻合。赛51井钻开碳酸盐岩地层420m(未穿),发现各类油气显示10层37m。通过对1275.00~1300.43m井段酸压后求产,12mm油嘴自喷,油压1.2MPa,日产油226m<sup>3</sup>。这是二连盆地自1979年开展大规模石油勘探以来获得最高产量的一口井,不仅首次在二连盆地发现了高产富集的基底石炭系碳酸盐岩油藏,在我国东部也属首次发现,由此开辟了二连盆地乃至中国东部断陷古生界基底石炭系碳酸盐岩找油新领域,意义十分重大。

## 2 油藏形成特征

### 2.1 有利的构造背景

赛汉塔拉凹陷是叠置在古生代纬向构造带上的北东向同生断超型凹陷,呈东断西超,发育了东部主洼槽带、西部次洼槽带和中央隆起带<sup>[10]</sup>。凹陷前白垩系基底整体上为一复背斜结构,具有凹陷中部地层老,南北两翼地层新的特征。凹陷中部已钻井揭示基底为中元古界蓟县系温都尔庙群的片岩,凹陷北部已钻探的赛14井揭示基底为古生界石炭系碳酸盐岩,南部为古生界石炭系碳酸盐岩,局部残留侏罗

系煤系地层。

凹陷内发育有一个与凹陷走向一致,呈北东走向的中央潜山隆起构造带。它又可划分为三大局部构造,即自南向北依次为南部的扎布断垒—断阶状潜山超覆构造、中部的赛4号断垒状潜山披覆背斜构造、北部的布和内陷式潜山披覆背斜—鼻状构造(图1b)。其中,受扎布大断层控制的扎布构造,其基底抬升幅度高,且紧邻赛东主生烃洼槽,油气源最充足,为基岩油藏的形成奠定了有利的构造背景。

赛51油藏位于扎布构造带南端。扎布构造带南北方向上为一西南抬、东北倾的斜坡,东西方向上为受扎布等断层北东方向切割的断阶,构造带面积120km<sup>2</sup>,其中构造带东侧的扎布断层是区内主控断层。该构造带基底南部斜坡高部位出露地层新,为侏罗系煤系地层,向北部斜坡低部位出露地层老,依次为古生界石炭系碳酸盐岩、中元古界蓟县系片岩,具有早期(白垩系沉积前)向东北方向隆起剥蚀,后期(白垩系沉积时)又向西南方向抬升翘倾的结构特点(图3)。

扎布构造带基底内部发育有一个形态完整的背斜,该背斜长7km,宽2~2.5km,由赛51、赛60和赛25南三个高点组成,背斜长轴与扎布断层成锐角相交(图2),为扎布构造带基底油气藏的形成奠定了良好的圈闭条件。

### 2.2 孔隙洞发育的高产储集体

据赛51井1273.10~1277.23m岩心薄片鉴定,岩性主要为泥晶碳酸盐岩、含粒屑泥晶碳酸盐岩、粒屑泥晶碳酸盐岩和泥晶粒屑碳酸盐岩等4种岩石类型,局部具白云石化后形成的泥晶粒屑白云(化)质碳酸盐岩等(图4)。粒屑以生物碎屑为主(主要为有孔虫、棘皮等),其次为砂屑。

本井碳酸盐岩地层钻井取心2次,岩心极为破碎,收获率仅为20.1%~24.6%。岩心观察缝洞发育,缝密度6~7条/m,缝宽0.25~0.3mm,孔密度9个/m,直径1~5mm,被原油、泥质、方解石半充填。钻井过程中在钻至井深1506.5m处发生钻具放空0.32m,表明地层中还发育有溶洞。对1273.10~1277.23m井段岩石薄片观察,有构造裂缝、晶间孔、晶间溶孔、晶内溶孔、小型溶洞等储集空间(图4c,4d)。

测井解释储层主要发育在石炭系碳酸盐岩地层顶部1268.6~1386.0m井段,其中I类储层3层计

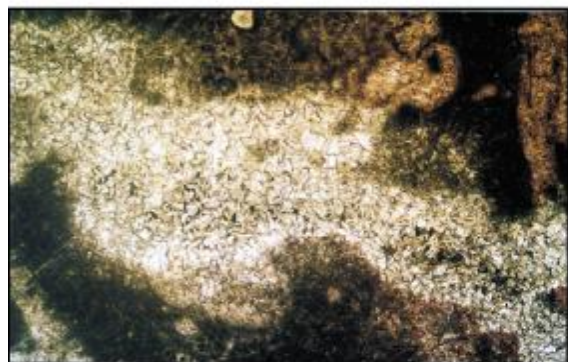




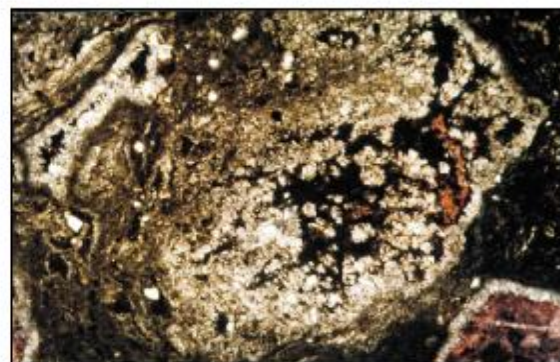
(a) 含粒屑泥晶碳酸盐岩, 粒屑为棘皮、有孔虫等生物屑及砂屑, 早期构造缝被方解石全充填。1273.10m。(-) × 40



(b) 泥晶粒屑碳酸盐岩, 笔类化石及碎片。1273.60m。(+) × 40



(c) 泥晶粒屑白云(化)质碳酸盐岩, 粉晶白云石晶间孔被油充填。1276.83m。(-) × 40



(d) 泥晶粒屑白云(化)质碳酸盐岩, 粉晶白云石晶间溶孔被油充填。1276.83m。(-) × 40

图4 赛51井石炭系石灰岩特征

37.2 m, II类储层5层计48.6 m, 储层段占地层的73.1%。测井解释孔隙度为3.2%~7.5%。对1275~1300 m井段酸化压裂试油, 获得日产油226 m<sup>3</sup>。

综上所述, 赛51井石炭系碳酸盐岩为孔缝洞发育的高产储集体。

### 2.3 充足的油气源

赛汉凹陷发育有阿尔善组(一、二、三、四段)与腾格尔组一段两套主力有效烃源岩。其中赛东洼槽是烃源岩纵向叠置的主力生烃区, 该洼槽阿尔善组烃源岩干酪根类型为II<sub>1</sub>—II<sub>2</sub>型, 有机碳平均含量为1.30%、沥青“A”含量平均为0.1352%, 综合评价为—好—极好生油岩, 热演化程度达到成熟—高成熟。类比法资源评价, 赛汉凹陷远景资源量为9 050×10<sup>4</sup> t, 是二连盆地资源量较丰富的凹陷之一。

地化分析, 赛51井1282~1500 m段石炭系原油密度较低, 为0.849 2 g/cm<sup>3</sup> (20℃); 热演化程度较

高, 20S/(20S+20R)C<sub>29</sub>为47.46%, ββ/ΣC<sub>29</sub>为55.30%, 为处于生油高峰期的烃源岩生成的原油, 也是目前赛汉塔拉凹陷发现的成熟度最高的原油(表1), 表明其油源主要来自于凹陷深部热演化程度较高的阿尔善组烃源岩。同时, 赛51井原油高蜡低硫, 含蜡25.2%, 含硫0.09%; 在αααC<sub>29</sub>甾烷S/R与C<sub>29</sub>甾烷αββ/ααα对应关系图上, 原油数据点落在理论演化趋势线波动范围之内, 表明赛51井原油没有经过远距离的运移, 具有近油源特征。

地质结构分析与油源对比表明, 赛51井油藏的形成具有两种供油方式。

一种是依靠油藏侧翼的扎布断层断面供油。扎布构造带通过其东翼的扎布大断层与断层下降盘的赛东主力生烃洼槽相对接, 赛东洼槽生成的油气可穿过断面直接向扎布构造带基底石炭系碳酸盐岩储集层中运移聚集(图5)。油源对比表明, 赛51井1282.0~1500.0 m石炭系的原油与赛东洼槽赛

表1 赛51井与相邻井原油饱和烃参数对比表

井号	井深(m)	层位	样品类别	$C_{27}/C_{29}$	$C_{28}/C_{29}$	20S/(20S+20R)	$\beta\beta/\Sigma C_{29}$	$\gamma$ -蜡烷/ $C_{31,32}$	Pr/Ph
赛51	1282.0~1500.0	石炭系(C)	原油	0.44	0.26	47.46	55.3	0.68	0.70
赛79	1986.0~1993.0	腾格尔组( $K_1bt_1$ )	原油	0.52	0.23	46.77	51.69	0.29	0.80
赛69	1783.5	阿尔善组( $K_1ba$ )	油砂	0.45	0.20	42.70	58.6	0.85	0.74
赛71	1933.0~1933.2	阿尔善组( $K_1ba$ )	油砂	0.59	0.36	46.42	51.31	2.01	0.71
赛71	2058.0~2058.4	阿尔善组( $K_1ba$ )	油砂	0.42	0.33	49.01	52.05	1.12	0.70
赛84	1560.0~1577.3	腾格尔组( $K_1bt_2$ )	原油	0.55	0.32	30.76	30.09	0.31	0.59

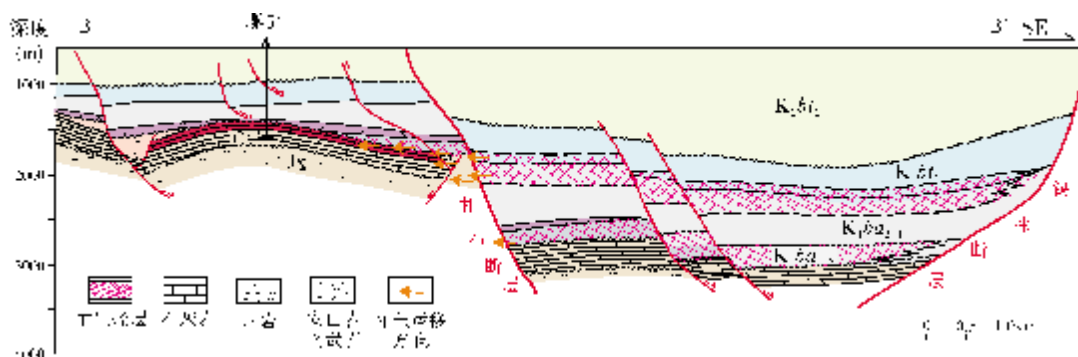


图5 赛51井石炭系碳酸盐岩油藏形成模式图

79井1986.0~1993.0 m腾格尔组一段的原油、赛69井1783.5 m阿尔善组的油砂、赛71井1933.0~1933.2 m和2058.0~2058.4 m阿尔善组的油砂为同源,并都与赛69井阿尔善组烃源岩具有较好的亲缘关系(表1,图6)。

另一种是油藏顶部的不整合面供油。在钻探赛51井之后,于扎布构造带北部下倾方向扩大钻探的赛古2井钻穿火山岩之后新发现了一套湖相碎屑岩地层,其中深灰色泥岩厚130 m。古生物分析该套地层属下白垩统阿尔善组一、二段。据有机地化分析,12个样品有机碳含量为0.41%~2.43%,平均值为1.10%;生烃潜量为0.31~5.94 mg/g,平均值为2.28 mg/g。5个样品氯仿沥青“*A*”含量0.039 8%~0.255 2%,平均值为0.129 7%,达到了中—好烃源岩标准。该套烃源岩是赛汉塔拉凹陷目前已经钻遇的层位最老、埋藏深度最大的一套烃源岩,因受到上覆火成岩的烘烤,热演化程度高。赛古2井样品,热解 $T_{max}$ 平均值为447℃,烃指数平均值为21 mg/g,氯仿沥青“*A*”/有机碳平均值为8.8%,总烃/有机碳平均

值为5.4%,表明烃源岩已经成熟并且具有排烃能力,且烃源岩抽提物生物标志物与赛51井原油有着良好的可比性。赛51井所处扎布构造带北翼下倾方向古生界基底被该套地层角度不整合直接覆盖,油气从烃源层排出后可直接进入基岩储层之中,并且具有“大面积直接接触供油”和“早期注入、持续供油”的特点。

## 2.4 良好的保存条件

赛51井区石炭系碳酸盐岩上覆有三套盖层,一是阿尔善组一、二段以泥质岩为主的碎屑岩地层,在构造北翼直接超覆于石炭系之上,对构造北翼石炭系碳酸盐岩构成了良好的盖层;二是在构造高部位阿尔善组一、二段超覆尖灭线之后,区内广泛分布的火山岩地层直接覆盖于石炭系之上,火山岩岩性致密,厚度40~100 m,构成了构造高部位良好的盖层;三是构造西南部,残留的中—下侏罗统的煤系地层覆盖于石炭系之上,也是良好的盖层。因此,尽管该区石炭系碳酸盐岩之上通过不整合面

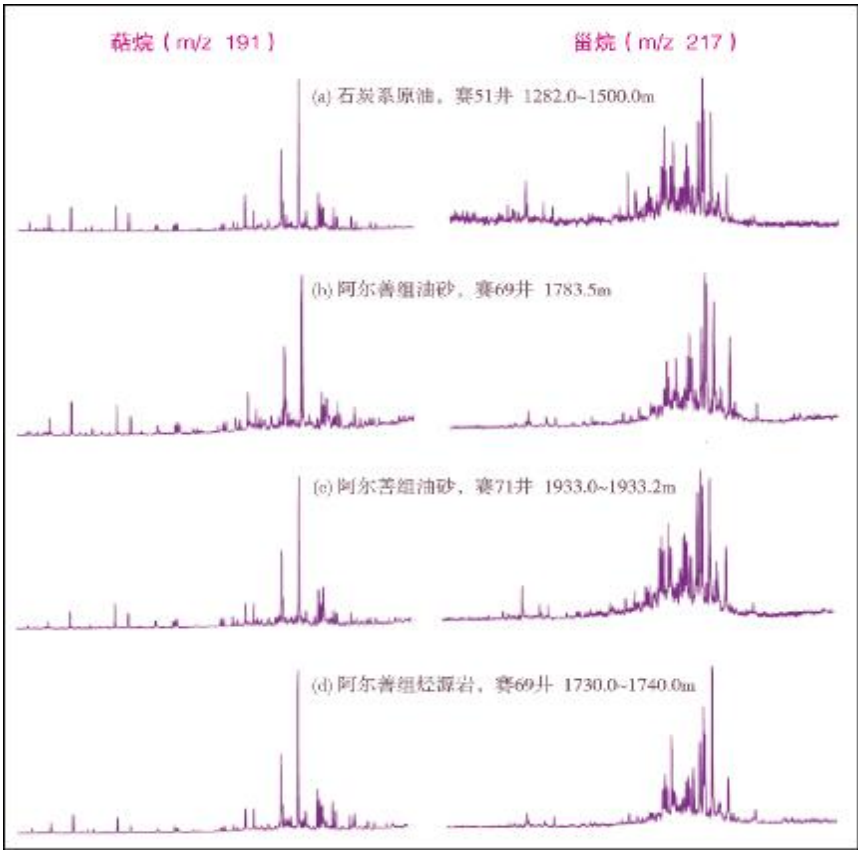


图6 赛51井油源对比图

上覆多种地层和岩性,但它们都具有较好的封盖能力,保存条件良好。

2.5 高产富集的碳酸盐岩古风化壳油藏

赛51井1275.00~1300.43 m油层测试获得高产油流,产油指数为3309 m<sup>3</sup>/(d·MPa),属高产油层;原油密度为0.849 2 g/cm<sup>3</sup> (20℃),黏度为11.78 MPa·s (60℃),凝固点为40℃,胶质+沥青质为15.8%,含蜡量为25.2%,含硫量为0.09%,初馏点为142℃,为高含蜡胶质原油。地层压力系数为0.97,说明能量充足。

赛51井录井油气显示主要发现于碳酸盐岩地层顶部的1269~1317 m井段,成像测井I、II类储层也主要发育在顶部1268.6~1386.0 m井段。以下的碳酸盐岩地层裂缝不发育,录井未见油气显示,地层测试为干层。综合分析认为,储层发育受风化壳的控制,油藏类型为碳酸盐岩古风化壳油藏(图5),未见底水。油藏具有南北两个局部高点,油

藏含油底界深度1467 m,油藏高度200 m,含油面积6.0 km<sup>2</sup>。

3 勘探启示与前景展望

- (1)赛汉塔拉凹陷是二连盆地中石油资源相对丰富、但多年勘探成效不高的凹陷之一,曾一度被认为是“骗子”凹陷。立足该凹陷丰富的石油资源,坚持勘探,是赛51石炭系碳酸盐岩油藏发现的重要前提。
- (2)赛汉塔拉凹陷开始勘探时期较早,早期的地震资料品质较差,制约了勘探进程。随着地震勘探技术的进步,对该凹陷主体富油气区进行了二次三维地震资料采集和全凹陷大连片处理,资料品质得到明显改善,为赛51油藏的突破提供了重要的技术保障。
- (3)重新开展凹陷的整体评价,并转变研究思路,加强凹陷新层系、新领域的研究,突破了火山岩下“勘探禁区”,构建了火山岩下碳酸盐岩新的成藏



模式并实施风险钻探,是最终实现赛 51 油藏发现和突破的关键。

(4)赛 51 井基底石炭系碳酸盐岩油藏的发现,开辟了二连盆地一个新的勘探领域。在赛汉塔拉凹陷目前已发现和落实同类圈闭 19 个,总圈闭面积 192 km<sup>2</sup>,勘探潜力巨大。此外,在二连盆地其它凹陷周边也大量出露有石炭系露头,而且在石炭系见到了大套厚层碳酸盐岩,在志留系西别河组发育有上千米的碳酸盐岩地层,在青白口系、泥盆系和二叠系也发育有碳酸盐岩透镜体,只要它们在凹陷中形成圈闭并与油气源沟通,都有可能形成高产富集的油气藏。加强研究与勘探,石炭系乃至志留系等的碳酸盐岩油藏有望成为二连油田重要的接替领域。

#### 参考文献

- [1] 赵宗举,范国章,吴兴宁,等. 中国海相碳酸盐岩的储层类型、勘探领域及勘探战略[J]. 海相油气地质, 2007, 12(1): 1-11.
- [2] 费宝生,汪建红. 中国海相油气田勘探实例之三: 渤海湾盆地任丘古潜山大油田的发现与勘探[J]. 海相油气地质, 2005, 10(3): 43-50.
- [3] 康玉柱. 中国海相油气田勘探实例之四: 塔里木盆地塔河油田的发现与勘探[J]. 海相油气地质, 2005, 10(4): 31-38.
- [4] 费宝生,祝玉衡,邹伟宏,等. 二连裂谷盆地群油气地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 4-5.
- [5] 赵贤正,金凤鸣,王权,等. 华北探区断陷洼槽区油气藏形成与分布[J]. 中国石油勘探, 2008, 13(2): 1-8.
- [6] 张久强,吕亚辉,李林波,等. 二连盆地赛汉塔拉凹陷赛中洼槽岩性油藏勘探[J]. 中国石油勘探, 2004, 9(3): 54-58.
- [7] 赵志刚,史原鹏,贾继荣,等. 二连盆地腾二段高产油藏成藏模式[J]. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(2): 5-6.
- [8] 赵贤正,张以明,唐传章,等. 高精度三维地震采集处理解释一体化勘探技术与管理[J]. 中国石油勘探, 2008, 13(2): 74-82.
- [9] 王权,赵贤正,金凤鸣,等. 陆相盆地断陷洼槽区典型油藏成藏模式[J]. 中国石油勘探, 2008, 13(2): 9-12.
- [10] 赵志刚,李亮,李书民,等. 二连盆地赛汉塔拉凹陷构造样式及凹陷成因类型研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(6): 11-13.

编辑:赵国宪

## Discovery and Geologic Characteristics of Carboniferous Basement Carbonate Reservoir in Erlian Basin

Zhao Xianzhen, Jin Fengming, Zhao Zhigang,  
Guo Yongjun, Wang Jimao, Ren Chunling

**Abstract:** A basement Carboniferous carbonate reservoir is discovered with production rate of 226 m<sup>3</sup>/d through acid-fracturing production test in Well Sai-51 in Saihan Tal Sag, Erlian Basin. It has been the highest production rate since large-scale petroleum exploration was initiated in Erlian basin in 1979 and it also becomes an important new field of oil and gas exploration as the first discovery in eastern China. Sai-51 reservoir is located at a multiple-fault zone on the gentle slope of the sag that is adjacent to the main oil-generating trough through which hydrocarbon is sufficiently supplied by two kinds of oil supplying modes including unconformity surface and faults. Favorable anticlinal traps and developed pores, fractures and caves are common in the Carboniferous carbonate reservoir that is capped by tight volcanic andesite rock, which is the key for rich hydrocarbon accumulation in the reservoir and high oil yield. The discovery of Sai-51 reservoir plays an important role for the areas with similar geologic settings.

**Key words:** Carboniferous; Basement; Carbonate oil reservoir; Reservoir characteristic; Oil and gas prospecting; Discovery; Saihan Tal Sag; Sai-51 Reservoir

Zhao Xianzheng: male, Doctor, Professor. Add: PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei, 062552 China