

沙湾组油气地质特征与勘探实践

刘传虎, 王学忠

(中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司, 山东东营 257001)

[摘要] 准噶尔盆地沙湾组以岩性油气藏为主, 存在油砂体规模较小、油层薄、储层岩性变化快等勘探难题。2005年, 排2井在沙湾组钻遇油层, 日产油49.6 t, 地面原油粘度为1.6 mPa·s。立足实践、大胆开拓促成了沙湾组浅层、稀油、高产岩性油藏的突破, 高精度三维地震技术发挥了关键作用。车排子地区具有多油源输导、多层系含油、多类型富集、多品位共存的复式聚集特点和“三层楼”油气成藏模式。沙湾组轻质油藏油砂体形态与振幅属性具有较好的对应关系, 能够通过地震属性有效识别油水边界。稀油油浸为含油性下限, 粉细砂岩为岩性下限, 渗透率 $0.022 \mu\text{m}^2$ 、孔隙度20%为物性下限, 油层声波时差大于 $300 \mu\text{s}/\text{m}$, 电阻率大于 $1.5 \Omega \cdot \text{m}$, 电阻增大率大于5.5。已发现沙湾组油藏23个。

[关键词] 沙湾组; 油气成藏模式; 油气勘探; 石油地质特征; 统计规律; 准噶尔盆地; 春光油田

[中图分类号] TE343 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)04-0087-09

1 前言

准噶尔盆地已发现29个油气田, 探明石油地质储量为17.8亿t, 探明天然气地质储量为731亿 m^3 , 建成油气年生产能力为1500万 $\text{t}^{[1]}$ 。近年来, 沙湾组油气勘探取得了令人瞩目的成果, 被誉为中国隐蔽油气藏勘探的范例。沙湾组长期以来并不是一个勘探目标层系, 1936年独山子油田因其上有著名的泥火山油气显示而被发现, 并不是要找沙湾组油气田而发现的, 2005年3月, 排2井在沙湾组1013.4~1017.3 m钻遇油层3.9 m/层, 用4 mm油嘴试油获日产49.6 t/d高产工业油流, 地面原油粘度为1.6 mPa·s。2006年, 在车排子油田车89和车95井区沙湾组获高产工业油流, 2009年以来, 在排6井区实现了稠油和气藏的突破, 表明沙湾组逐步成为准噶尔盆地重要的勘探目标层系。

在车排子地区沙湾组发现春光油田后, 开始把准噶尔盆地沙湾组作为一个勘探目标层系加以系统研究, 内容涉及车排子古隆起发育史、层序地层、控砂机制、沙湾组油气源对比、成藏机制、地震及测井响应等诸多方面。总体上, 沙湾组具有埋藏浅、油质好、产能高的优势, 同时, 面临以岩性油气藏为主, 油砂体规模较小、油层薄、储层岩性变化快等勘探难题。沙湾组油气勘探工作方兴未艾, 其油气发现的规模在准噶尔盆地中所占比例还很低, 其勘探潜力有待进一步评估, 需要解决的技术难题还有很多。为此, 笔者在学习前人经验的基础上, 结合自身实践和感悟将分属于中国石油化工股份有限公司(以下简称中石化)、中国石油天然气集团公司的三个沙湾组油田作为统一的勘探目标进行了油气地质特征与勘探实践专题研究。

[收稿日期] 2010-09-19

[基金项目] 国家973项目“中国西部典型叠合盆地油气成藏机制与分布规律”(2006CB202306); 中国石化股份公司科研项目“准噶尔盆地腹部及西缘地区圈闭识别与成藏模式研究”(P03011)、“储层地震属性优化及属性体综合解释技术研究”(P04033)、“准噶尔新区大中型油气田成藏规律及评价技术”(P05005); 胜利油田科技项目“准噶尔盆地西缘油气成藏规律及勘探目标研究”(YKK0808)、“春光油田浅薄层稠油开发关键技术研究”(YKY0906)

[作者简介] 刘传虎(1964—), 男, 山东桓台县人, 博士, 教授级高级工程师, 胜利油田副总地质师, 长期从事油田勘探与管理工作; E-mail: liuchuanhu.slyt@sinopec.com

2 沙湾组油气勘探实践

2.1 勘探简史

准噶尔盆地已经发现独山子油田、春光油田、车排子油田的车 89、车 95 井区等 16 个沙湾组油藏。

2.1.1 稀油油藏

1) 利用油苗发现了独山子油田。独山子油田处在准噶尔盆地南缘天山北麓山前构造带,是一个不对称的穹窿背斜。古代的乌苏人经常在独山子的油泉泉眼处舀油点灯,1909 年,用顿钻的方式开掘了第一口工业化油井,井深 20 多米;1936 年,中苏联合开发独山子油田。黄汲清实地考察并写成《乌苏独山子油田》报告。1942 年,20 号井获日产 40 t/d 工业油流。独山子油田主要含油层系是沙湾组,探明含油面积为 1.2 km²,探明石油地质储量为 239 万 t,埋深为 904 ~ 1 689 m,平均孔隙度为 23 %,平均渗透率为 0.3 μm²,累产油 37 万 t,累产气 2.2 亿 m³[2]。

2) 创建准噶尔盆地西缘油气成藏模式,发现了浅层优质高效的春光油田。春光油田位于独山子油田的正北方向 80.0 km,区域构造上位于准噶尔盆地西部隆起车排子凸起东部,紧邻车排子、小拐和红山嘴油田,有利勘探面积为 1 560 km²,地面海拔为 298 m,油区面积为 168 km²。

在准噶尔盆地西缘已发现的油气田主要分布在冲断带的下盘,按照西北缘“大逆掩断裂带构造含油”模式和“沿断裂找高产”的勘探方针,沿红车、克乌、风夏断裂带形成了呈弧形展布的“帽檐式”含油带[3]。准噶尔盆地西缘车排子地区勘探始于 20 世纪 50 年代,至 2001 年中石化获得探矿权时,区内二维地震测线基本不成网,已钻 8 口探井(艾 4、户 2、户 3、车浅 5、车浅 1、车浅 13、车 8 和车浅 15),均未获突破。那么,断裂带上盘斜坡带的勘探潜力如何?应如何部署呢?简要回顾车排子地区的勘探部署历程,可概括为:a. 区域分析,坚定信心。该区通过深大断裂与玛湖、昌吉拗陷沟通,油气源条件十分优越,海西期后持续隆升,为油气运移的长期指向区,具备源岩-活动断层-骨架砂岩(不整合面)-圈闭构成的输导体系,与区内的各类圈闭匹配关系较好。形成多向供油、复式输导、多期成藏的特点。b. 解放思想,优选区带。鼻状构造及超剥带;油源断裂与骨干储层构成的运移通道和被断层切割的砂岩体;地层圈闭顶底板具有有效封堵条件的构造高部位及基岩断裂或裂隙发育带是有利的勘探区带和层系。在平面上确定首先实施勘探的有利区带为北部的车 13 ~ 车 8 区带、南部的车浅 5 以北区带,并分别部署探井排 1、排 2 井。c. 分析特征,建立成藏模式。车排子地区沙湾组具有多油源输导、多层系含油、多类型富集、多品位共存的复式聚集特点和“三层楼”油气成藏模式(图 1),上层白垩系、古近系、新近系沙湾组为地层不整合油气藏、岩性油气藏;中层侏罗系为沟谷充填地层-岩性油气藏;下层石炭系为基岩潜山油气藏。d. 大胆部署,取得突破。部署的排 1 井在白垩系、侏罗系 700 ~ 875 m 井段见到了 168.49 m 的油气显示,录井综合解释 6 层,油层 17.5 m/层,差油层 40.5 m/3 层,完钻后常规测试,因油稠获低产油流;排 2 并于 2005 年 3 月对上第三系沙湾组 1 013.4 ~ 1 017.3 m 井段进行试油,用 4 mm 油嘴控制放喷,喜获高产工业油流,折算日产油为 49.6 m³,油压为 2.3 MPa,原油密度为 0.794 8 g/cm³,原油物性好,地面原油粘度仅为 1.6 mPa·s,为轻质油,第一次在准噶尔盆地的浅层获得优质高产。应用高精度三维地震技术迅速找到类似排 2 井的 12 个浅层、稀油油藏,通过后续的滚动和产能建设,两年的时间高速建成了年产 50 万 t 生产能力的春光油田。油气地质勘探是一项不断探索未知领域的工作,没有思想上的解放、思维上的拓展和认识上的突破,勘探工作就无法取得成功。“油气不仅蕴藏在地下,还蕴藏在地质家的脑海里”,这是油气勘探和找油人最深刻的哲学。在反复对比论证的基础上,我们创建准噶尔盆地西缘油气成藏模式,发现了浅层优质高效的春光油田。

位及基岩断裂或裂隙发育带是有利的勘探区带和层系。在平面上确定首先实施勘探的有利区带为北部的车 13 ~ 车 8 区带、南部的车浅 5 以北区带,并分别部署探井排 1、排 2 井。c. 分析特征,建立成藏模式。车排子地区沙湾组具有多油源输导、多层系含油、多类型富集、多品位共存的复式聚集特点和“三层楼”油气成藏模式(图 1),上层白垩系、古近系、新近系沙湾组为地层不整合油气藏、岩性油气藏;中层侏罗系为沟谷充填地层-岩性油气藏;下层石炭系为基岩潜山油气藏。d. 大胆部署,取得突破。部署的排 1 井在白垩系、侏罗系 700 ~ 875 m 井段见到了 168.49 m 的油气显示,录井综合解释 6 层,油层 17.5 m/层,差油层 40.5 m/3 层,完钻后常规测试,因油稠获低产油流;排 2 并于 2005 年 3 月对上第三系沙湾组 1 013.4 ~ 1 017.3 m 井段进行试油,用 4 mm 油嘴控制放喷,喜获高产工业油流,折算日产油为 49.6 m³,油压为 2.3 MPa,原油密度为 0.794 8 g/cm³,原油物性好,地面原油粘度仅为 1.6 mPa·s,为轻质油,第一次在准噶尔盆地的浅层获得优质高产。应用高精度三维地震技术迅速找到类似排 2 井的 12 个浅层、稀油油藏,通过后续的滚动和产能建设,两年的时间高速建成了年产 50 万 t 生产能力的春光油田。油气地质勘探是一项不断探索未知领域的工作,没有思想上的解放、思维上的拓展和认识上的突破,勘探工作就无法取得成功。“油气不仅蕴藏在地下,还蕴藏在地质家的脑海里”,这是油气勘探和找油人最深刻的哲学。在反复对比论证的基础上,我们创建准噶尔盆地西缘油气成藏模式,发现了浅层优质高效的春光油田。

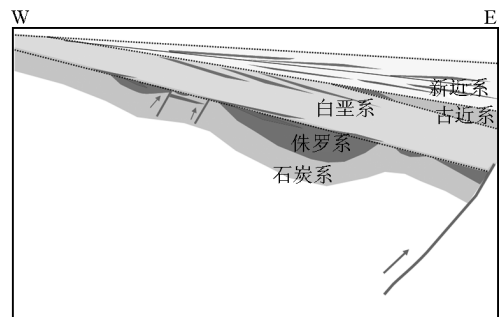


图 1 准噶尔盆地西缘油气成藏模式
Fig. 1 Oil and gas reservoiring mode
of west Junggar Basin

3) 车排子油田车 89 井区和车 95 井区。车排子油田位于排 2 区块东南方 26.0 km。2006 年 9 月,

应用车 28 井西三维地震资料钻探的车 89 井,在沙湾组 1 019 ~ 1 025 m 钻遇油层 9.5 m,日产油 45 t,日产气 1 300 m³[4]。车 89 井地面原油密度为 0.83 g/cm³,地面原油粘度为 3.4 mPa·s,含蜡量为 5.7%。车 95 井在沙湾组 879.5 ~ 885 m 钻遇油层 5.5 m,日产油 77 t。

2.1.2 稠油油藏

2005 年,在排 2 井北部 12 km 处部署的排 6 井和排 602 井在沙湾组见油气显示。排 6 井钻遇稠油层 2.1 m;排 602 井钻遇稠油层 4.7 m。进行了 500 m×500 m 化探,确定了 7 个综合异常。2008 年在排 6 区块部署了 10 m×10 m 三维地震。2009 年部署实施探井 6 口,测井解释油气层井占 50%。部署实施滚动井 15 口,油气层钻遇率为 100%。排 601-平 1 井(导眼)在 484.8 ~ 491.9 m 钻遇油层;排 6 井在 429.7 ~ 431.8 m 钻遇油层。排 601-P1 等三口井试采获得了 8 ~ 30 t/d 工业油流,排 601-P1 井已累产油 2 565 t。2010 年以来,排 601 井区钻探 2 口探井、8 口滚动井、75 口开发井,均取得成功,上报探明石油地质储量 1 038 万 t,上报预测石油地质储量 3 350 万 t。开发井采用具有自主知识产权的 HDNS 技术(水平井+降粘剂+氮气+蒸汽吞吐),已投产 55 口井,所有新井均获得工业油流,平均单井日产油能力 21 t,已经建成年生产能力 15 万 t。预计到 2012 年末,排 6 区块将累积探明石油地质储量 4 000 万 t,累积建成年生产能力 40 万 t。

排 601 井区位于准噶尔盆地西缘车排子凸起东部,由于地处荒漠,地震采集干扰因素较少,三维地震采集质量较高;油藏埋深 430 ~ 570 m,地震资料分辨率较高;地震主频为 50 Hz 左右,时间分辨率为 10 m 左右,振幅能量分辨率为 5 m 左右。排 601 区块砂体厚度一般为 5 ~ 12 m,其上为大套泥岩,下伏白垩系为厚层泥岩,砂体底面地震反射对应波谷,中强振幅,为连续性好、可追踪的同相轴。排 601 砂体构造背景是一南倾的宽缓斜坡,被排 6 断层穿过,地层倾角为 2°,为开展地震解释提供了便利条件;沉积类型由最初认为的以辫状河沉积为主转变为以扇三角洲前缘沉积为主。排 601 井区沙湾组原油油层温度(26 °C)对应原油粘度 50 000 ~ 90 000 mPa·s;50 °C 脱水原油粘度为 8 069 mPa·s,凝固点为 10 °C,属于浅层、中细砂岩、高渗透、高胶质含蜡稠油。排 601 区块的热敏感性较强,加热降粘效果明显。排 601 井区沙湾组油层有效厚度电性标准:深

感应视电阻率 $\geq 4.5 \Omega \cdot m$,声波时差 $\geq 377 \mu s/m$,排 601 区块平均有效厚度为 4.2 m。

2.1.3 天然气藏

2008 年以来,春光油田沙湾组发现排 2-80、排 604、排 603、车浅 1-4 等 6 个浅层气藏。2008 年 5 月钻探了排 2-80 井,对沙湾组一段 1 286.8 ~ 1 288.7 m,用 3 mm 油嘴放喷,日产气 7 748 m³/d,甲烷含量为 87%。2009 年,排 604 井在沙湾组一段扇三角洲前缘砂体发现气层。聚集时间相对较晚的断裂、砂体和断裂与不整合组合形成的输导通道天然气聚集效率相对较高,有利于快速形成气田[5]。

2.2 车排子古隆起发育史

准噶尔盆地是结晶与褶皱双重基底叠加挤压型盆地,发育多条南北向基底深大断裂[6],历经印支、燕山和喜山成藏期,侏罗纪四棵树-艾东地区发生沉降,隆起区演变为三角形的车排子凸起。新近系大面积超覆,且沉积速率较大,目前依然保持平缓的斜坡形态。准噶尔盆地随地质历史的演化地温梯度逐渐减小,现今地温梯度为 24.8 °C/km[7]。车排子凸起自海西期以来一直是一继承发育的凸起,二叠系、三叠系没有接受沉积,侏罗系发育局限,仅发育在石炭系顶面沟谷中,白垩系以上地层分布范围较为广泛,但埋藏浅,不具备生烃能力。但是从区域构造位置分析,车排子地区两面环注,继承性发育的特点成为南部四棵树凹陷和东南部昌吉凹陷油气运移的有利指向,断裂、不整合面、骨架砂共同作用形成的输导体系为油气的运聚提供了条件,为周围深注区生成的油气提供了有利“聚油背景”。新近纪车排子整体沉降接受沉积,并在中南部沉积厚度较大,喜山期至现今凹陷区侏罗系生烃区排出的大量油气运移至沙湾组圈闭中形成了稀油油藏。排 2 区块区域构造上位于准噶尔盆地西缘车排子高凸起东部,为压扭性盆地前隆-隆后斜坡带。基岩顶面及沉积盖层均为区域性向东南倾的单斜,地层倾角约 2°,构造比较平缓。排 2 砂体含油面积为 7.1 km²,高点埋深 970.1 m(海拔 -670 m),幅度为 61 m。

2.3 沙湾组层序地层

沙湾组分布在独山子-春光-车排子一带,油气显示范围为 2 000 km²,稀油、稠油、天然气并存。典型的沙湾组剖面在沙湾县霍尔果斯,厚 359 m,产丰富的介形类化石,如 *Cypris schichoensis*、*Eucypris pira* 等。南安集海至乌兰布拉克一带厚度一般为

150~500 m,乌鲁木齐市以东出露于阜康县大红沟剖面,厚131.7 m。四棵树地区四参1井,沙湾组厚250 m。沙湾组沉积早期气候干旱,湖平面比较低,以辫状河沉积为主;晚期气候相对湿润,浅湖沉积为主^[8]。沙湾组沉积期湖盆范围较大,物源主要来自西北部,不整合面作为沙湾组的层序界面。

春光油田沙湾组自北向南砂体增多,砂岩厚度增大,在东南部达400 m,储层呈薄层状展布。春光油田沙湾组三段以大套灰色厚层含砾细砂岩、细砂岩夹灰绿色泥岩沉积为主,呈向上变粗的反旋回,为一套扇三角洲前缘相沉积,厚60~75 m,侧向连通性好,是重要的油气运移输导层^[9]。春光油田沙湾组二段厚70~100 m,以砂泥岩互层为主,在车排子凸起不断右旋、隆升的作用下,扇三角洲亦右旋摆动,造成在南北剖面上自南向北砂岩趋于不发育,属扇三角洲前缘和滨浅湖滩坝沉积。目前发现的排2、排8等油藏均属于沙湾组二段砂岩岩性油藏。受扇三角洲和湖岸线双重控制,沿湖岸线呈“带状”展布,每个条带上都由孤立的“金豆子”形成有成因联系的“葡萄串”(图2)。

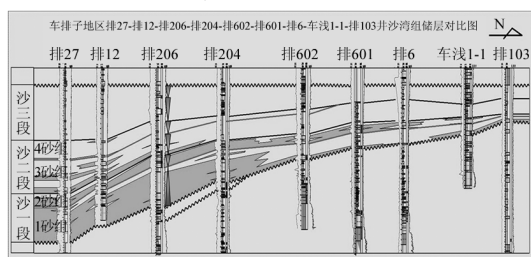


图2 车排子地区沙湾组储层对比图
Fig.2 Comparison of Shawan formation reservoir in Chepaizi District

春光油田沙湾组一段厚90~100 m,岩性以含砾砂岩为主,砂层厚、岩性粗,向北、向西北超覆或相变尖灭,砂体相对含量减少,泥质岩增多,有利于形成岩性油气藏。已发现了排22、排2-80、排2-86、排2-88 4个油气藏。沙湾组一段运移条件有利,储层要求不高,如排2-80井气层为粉砂岩,圈闭成为了沙湾组一段成藏关键。车89井储层为三角洲前缘水下分流河道砂。

2.4 控砂机制

目前沙湾组二段是春光油田主力产层,油藏分布于排2条带和排8条带。受多期扇三角洲和多期湖进、湖退的影响,存在多个“滩坝砂”发育期,由此形成“横向成排成串,纵向交叉叠置”的组合样式。

春光油田沙湾组低位期具有隆起区供砂,低隆起区和“梁”分砂,沟谷输砂,凹陷聚砂的特点,沙湾组层序湖扩期具有坡折带控砂和低隆起区控砂的特点^[10]。据排2等14口井的地层倾角测井,地层倾角为2°~4°,为向南倾的单斜地层。春光油田沙湾组古水流方向以北→南为主,最大水平地应力方位为北-南向。已发现的14个油藏基本都识别出了沟通板砂和成藏砂体的断层,这些断层起到了输导油气的重要作用。在具备断层沟通的条件下,越靠近“板砂”输导层,越容易成藏。

2.5 沙湾组油气源对比

由伟丰认为,排2井沙湾组原油属于侏罗系与古近系烃源岩混源^[11]。排2井区沙湾组轻质油与卡6井、独山子原油地化特征对比显示,排2块沙湾组原油与独山子油田原油地化特征相似,主要来自侏罗系烃源岩,成藏期在晚第三纪到第四纪;而同卡因迪克油田来自四棵树凹陷侏罗系烃源岩的原油差异明显,成熟度高于卡因迪克油田原油。因此,排2块沙湾组轻质油主要来自昌吉凹陷西部侏罗系烃源岩(见图3),为晚期油气成藏。车排子地区近垂向的扭性断层、沙湾组下部厚层砂岩、白垩系底部厚层砂砾岩三者构成了车排子区网毯式油气优势运移通道,为沙湾组岩性圈闭油气成藏提供了丰富的油气来源。张枝焕教授根据22个样品的储层流体包裹体分析,发现排2块原油的生物标志物特征与典型的侏罗系烃源岩存在比较明显的差别,推测有白垩系烃源岩的贡献^[12]。

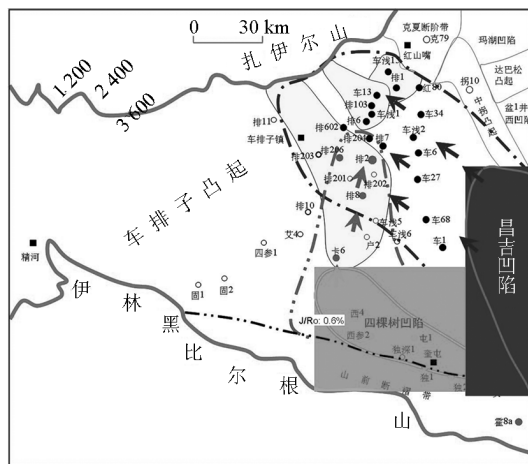


图3 春光油田沙湾组油源分析^[12]
Fig.3 Analysis of the Shawan formation oil source in Chunguang oilfield^[12]

2.6 成藏机制

车排子凸起沙湾组二段发育了多个古湖岸线和多套上超叠覆的滩坝砂,决定沙湾组二段浅层高产油藏具有成带成排分布的特点。油气富集受多因素控制,湖扩滩坝砂、垂向通源断裂、侧向封堵条件和古构造脊是控制油气成藏的四大要素,油气成藏模式为多源供烃、网毯输导、多期成藏形成的多层系含油、多油藏类型、多油质品位成藏模式。春光油田沙湾组以中小型岩性圈闭为主。除了排2岩性圈闭面积达到 8.1 km^2 ,其余的圈闭面积多在 1 km^2 以下,有的甚至只有 0.1 km^2 。虽然勘探目标较小,但埋藏深度只有 $1\ 100\text{ m}$ 左右,仍具有较大的勘探效益。

沙湾组岩性油藏已经基本形成的浅层河流相砂岩和缓坡薄互层勘探技术在勘探实践中发挥了重要作用。针对越来越复杂的勘探目标,以加强目标针对性、拓宽使用范围为主要目的,加强了单项技术的集成应用研究,取得了有益的成果。在原来已有的河流相砂岩勘探技术基础上,重点加强了高精度层序地层学基础上的砂体分布精细地质模型、输导体系分析基础上的油气成藏模型、地震动力学基础上的地震解释模型研究,使得该套技术拓宽了应用范围,适应了不同储地比下河流相岩性油气藏的勘探需求,大大提高了勘探成功率。

3 地质特征统计规律

以排2区块沙湾组为例,介绍沙湾组油气地质特征。

3.1 储层物性

排2区块沙湾组砂岩储集层疏松,风化蚀变程度中等,磨圆度为次棱角状,支撑方式为颗粒式,接触关系以点-线式为主。胶结类型以孔隙-接触式、接触式为主,胶结物主要是方解石,杂基为泥质,含量为 7.4% 。陆源碎屑成分含量:石英 40.9% ,长石 32.2% ,岩屑 26.9% 。岩屑成分以变质岩为主。成分成熟度、结构成熟度中等。据排2-1、2-2井63块岩心样品统计,平均孔隙度为 34.8% ,渗透率为 $3.566\ \mu\text{m}^2$ 。岩性为绿黄色饱含油细砂岩,孔隙直径为 $0.05\sim 0.07\text{ mm}$ 。据14块样品扫描电镜分析,粒间孔分布较均,微孔隙发育。填隙物主要为绿泥石、伊利石、伊蒙混层、石英。黏土矿物含量平均为 5.6% ,最大值为 9.0% ,最小值为 3% 。其中,伊蒙混层含量为 74.9% ,伊利石含量为 13.7% ,高岭石含量为 5.1% ,绿泥石含量为 6.3% ,伊蒙混层比

为 74.1% 。强水敏、极强酸敏,有速敏,临界流速为 13.8 m/d ,有盐敏,临界矿化度为 $80\ 000\text{ mg/L}$,中等偏强碱敏储层。为强亲水储层。据压汞分析,储层排驱压力为 0.019 MPa ;饱和度中值毛管压力为 0.27 MPa ;最大连通孔喉半径为 $75.1\ \mu\text{m}$;孔喉中值为 $25.1\sim 0.32\ \mu\text{m}$,平均值为 $10.5\ \mu\text{m}$;毛管压力曲线中间的平缓段长。排2块地层压力系数为 $0.98\sim 1.03$,为正常压力系统。地层中部温度为 $41.38\sim 42.37\text{ }^\circ\text{C}$,为正常温度系统,现今地温梯度为 $22.6\text{ }^\circ\text{C/km}$ 。

3.2 流体性质

排2区块沙湾组地面原油密度为 $0.807\ 0\text{ g/cm}^3$;地面原油粘度为 $1.6\text{ mPa}\cdot\text{s}$;含蜡量平均为 6.95% 。地层原油密度为 $0.784\ 9\text{ g/cm}^3$,地层原油粘度为 $1.72\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。原始气油比为 $5\text{ m}^3/\text{m}^3$,天然气相对密度为 1.2 ,溶解气中氮气含量为 61% 。地层水水型为 CaCl_2 型,总矿化度为 $104\ 330\text{ mg/L}$ 。表明,成藏后基本未遭到降解破坏。

3.3 油层的地震响应

春光油田沙湾组的勘探难点是油层较单一、砂体厚度薄、隐蔽性强,常规地震资料难以识别;油藏规模小,横向上储层厚度、岩性变化较大,勘探部署风险大,勘探成本较高。为此,采用了高密度三维地震采集、处理和解释技术, $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 高密度三维地震面积为 901.1 km^2 ,最大满覆盖次数为56次,地震面元为 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$,采样率为 1 ms ,有效频宽为 $0\sim 140\text{ Hz}$,主频为 63 Hz 。信息较丰富,反射波能量较强、波组特征强弱分明,断层位置较清晰,频带宽度和主频有明显的提高^[13]。

1)油砂体顶面地震反射特征。排2块沙湾组埋藏较浅,在 $1\ 020\text{ m}$ 左右,能够在三维地震资料上形成较好的地震反射,厚度为 $3\sim 5\text{ m}$,其上为 50 m 厚泥岩盖层,与下伏厚层砂体之间被 10 m 左右泥岩隔开,砂体顶面地震反射对应波峰,中强振幅,具有较连续、可追踪的同相轴。

2)岩性圈闭的地球物理特征。排2区块沙湾组具有高孔渗储层、充注轻质油的特点,因而这种特殊岩性圈闭在地球物理特征上表现出层速度、波阻抗、振幅特征等异常。地震记录的中-强振幅能量与自然电位曲线的指状形态一致,恰好为油层的综合地球物理响应特征(见表1)。

表 1 滩坝砂油藏油砂及其围岩地震波速统计表

Table 1 Seismic velocity table of both oil sand and surrounding rock in beach sand bar

项目	排 2	排 8	排 2-86	排 2-88	排 12	排 208	排 2-80
泥岩速度	2 440	2 817	2 917	2 904	2 538	2 421	2 849
油砂岩速度	2 030	2 334	2 318	2 418	-	-	1 870(气)
水砂岩速度	-	-	-	-	2 608	2 595	-
油层顶面速度差	410	482	599	486	-	-	978
水层顶面速度差	-	-	-	-	-70	-174	-

3) 岩性体的识别。排 2 区块正演模拟分析结果与实际地震剖面相同^[14]。排 2 区块沙湾组二段砂体薄,分布稳定,平均单井钻遇砂体厚度为 3.5 m。沙湾组二段油砂体形态与振幅属性具有较好的对应关系,含油面积内振幅值高于含水区振幅值,分界线基本平行于构造等值线(见图 4)。

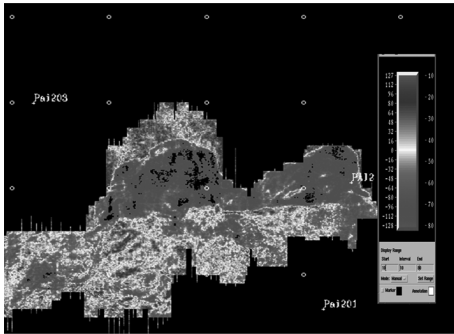


图 4 排 2 块沙湾组油层顶部振幅能量特征
Fig. 4 The feature of the amplitude energy in Pai 2 of Shawan formation forming top

吸收系数”的地震属性特征和“周围边界清晰、上凸下平”的振幅能量分布特征。利用变速成图技术进行时深转换,编制了砂体顶面构造图,误差小于 3 m。部署的排 206 井获得了 72 t/d 的高产油流,排 8 井也获得了 46 t/d 的高产油流。

据正演模型分析,亮点开始减弱的深度在 1 550 m 左右。随着南部埋深的加大,类亮点特征会逐渐减弱直至消失。建议不断总结岩性油藏在地质和地震上的响应规律,尽可能地落实有效圈闭。

截至 2009 年年底,中石化在车排子地区已完成二维地震 116 条 4 917.7 km,实施排 2 井、排 2 井西、排 6 井等 3 块三维地震 1 291 km²。部署实施探井 32 口,钻探地质浅井 6 口,实施滚动探井 40 口,应用排 2 区块三维地震部署的排 201 等 4 口探井均见到良好的油气显示,排 206 井日产油 72 t/d。春光油田已探明含油面积为 11.75 km²,探明石油地质储量为 933 万 t(见表 2)。以上区块单井产能较高(20 t/d),物性好,油质轻,流动性好,边水活跃,能够自喷生产,投产初期不含水。

沙湾组含油岩性体具有“强振幅、中低频率、高

表 2 春光油田油藏基本数据表

Table 2 Basic reservoir data of Chunguang oilfield

油砂体	油藏高点相应地面海拔/m	油藏高点海拔/m	层位	油藏高度/m	孔隙度/%	含油饱和度/%	原油密度/(g·cm ⁻³)	探明情况		
								探明时间	含油面积/km ²	有效厚度/m
排 2	300	-670	N ₁ s ₂	78.5	33.8	85.0	0.807	2006	7.10	3.20
排 206X15	290.5	-700	N ₁ s ₂	33.5	32.8	82.0	0.807	2006	2.29	2.30
排 2-15	298.7	-727.3	N ₁ s ₂	15	32.1	82.0	0.826	2006	0.52	2.00
排 8	300	-866	N ₁ s ₂	22	29.8	80.0	0.831	2008	0.72	3.90
排 8-30	296	-789	N ₁ s ₂	16	35.1	82.0	0.824	2008	0.35	4.2
排 8-40	295	-711	N ₁ s ₂	8	31.2	80.0	0.831	2008	0.26	3.9
排 2-30	290	-536	N ₁ s ₂	20	36.8	85.0	0.819	2008	0.86	3.9
排 2-40	300	-697	N ₁ s ₂	19	32.4	85.0	0.806	2008	0.42	3.8
排 2-86	302	-1 087	N ₁ s ₁	15	32.1	85.0	0.824	2008	0.24	3.3
排 2-88	291	-1 093	N ₁ s ₁	29	30.6	85.0	0.824	2008	0.50	3.6

笔者按照历年完钻顺序编绘了春光油田探井分布图,从中不难看出,勘探目标逐步集中在排2区块周边地区,但每年的侧重点有所不同(见图5),2003年在排2区块东,2005年在排2区块北,2006年在深化排2区块的同时,拓展到了排2区块西,2007年集中在排2区块北,2008年集中在排2区块西,2009年转移到了排6区块三维区。排2、排8、排206等探井先后获得高产工业油流,发现了多个类似排2区块的油气藏。

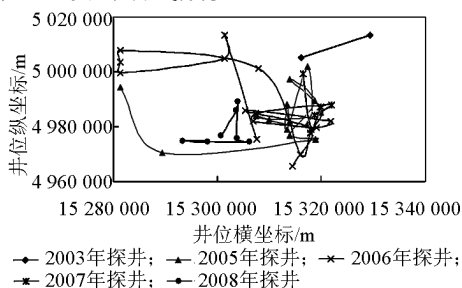


图5 春光油田沙湾组探井分布图
Fig.5 Exploratory wells distribution of Shawan formation in Chunguang oilfield

车89砂体勘探应用了车28三维地震资料和地震正演模型、地震属性分析、储层反演、油气检测技术。油层地震响应为:a.短轴状强振幅突然中断;b.亮点特征明显;c.速度降低;d.砂层含油后,波形特征表现为强波谷-强波峰的组合关系。

3.4 储层的下限标准

排2区块沙湾组自然伽玛曲线呈中-高幅度差,自然电位异常明显,视电阻率曲线呈平直状。共取心6口井,其中排2-1井为密闭取心,排2-2井为冷冻保型取心。共取样分析孔隙度样品66块,含水饱和度样品65块。

1)有效孔隙度下限。排2区块35口井49个层段的补偿声波分布范围为302~515 μs/m,主要分布区间为400~480 μs/m,占总层数的89.7%。排2-1、排2-2井平均孔隙度为34.5%,孔隙度分布范围为23%~43%,主要分布区间为31%~41%,占总块数的83.0%。根据上述资料,建立了春光油田沙湾组补偿声波测井值与岩心孔隙度关系式,排2区块35口油井40层解释有效地面孔隙度为20.29%~41.07%,井点有效厚度权衡值为35.88%。

2)含油饱和度下限。据排2-1井油层35块密闭取心样品分析统计,原始含油饱和度为83.7%。

根据岩电资料建立含水饱和度测井解释公式计算,35口井40层,单层解释含油饱和度为69.8%~91.2%,平均为88.1%。根据压汞资料推算原始含油饱和度,排2井砂体油水界面以上最大含油高度为65m,对应的原始含油饱和度为88%。

3.5 有效厚度下限标准

1)储层四性关系。岩性以细砂岩为主,占88.6%;粒度中值主要分布在0.2~0.35mm,占64.1%;颗粒分选性一般,分选系数为1.4~1.7,占74.8%。油藏含油性主要为饱和油-油浸,占88.6%;油层为高孔、高渗、低泥质含量和低碳酸盐含量特征;高地层水矿化度和高含油饱和度表现出油、水层电性分异明显,易于分辨。

排2井沙湾组岩性上部以泥岩为主,下部砂岩发育,且厚度大。自然伽玛值变化范围较小,砂泥岩分异性差;自然电位在砂岩处负异常幅度较大,泥岩处较平直;井径在砂岩处接近钻头直径,在泥岩处扩径。由于岩性和含油性不同,砂岩电阻率变化较大,为0.5~10.0 Ω·m,泥岩电阻率为1.1 Ω·m左右。从物性曲线特征看,中子、密度、声波显示砂岩物性较好,密度为2.16 g/cm³左右,中子值为26%~36%,声波值较大。

2)有效厚度下限。排2区块沙湾组6口取心井试采均为纯油层;岩心描述为饱和油和油浸细砂岩。因此,排2区块含油性下限定为油浸以上(包括油浸);岩性下限定为粉细砂岩以上(包括粉细砂岩)。

3)物性下限。排2区块沙湾组储层为高孔隙度、高渗透率、低排驱压力、大喉道、孔隙连通性好的储集层,物性下限采用毛管压力法结合试采结果确定,分别得到对应的渗透率值为0.022 μm²,孔隙度值为20%,即为物性下限。

4)电性下限。排2区块沙湾组38口井40层试采均为纯油,有效厚度的确定取决于油层厚度的认定。

综上所述,春光油田沙湾组有效厚度的标准见表3。

表3 春光油田沙湾组油层有效厚度下限
Table 3 The lower limit of effective oil thickness of Shawan formation in Chunguang oilfield

分类	下限值	备注
岩性、含油性	油浸级;细砂、粉细砂岩	目前证实
物 孔隙度(地面)	20%	目前证实
性 渗透率	0.022 μm ²	目前证实
声波时差	300 μs/m(91 μs/ft)	目前证实

续表

分类	下限值	备注	
测井	电阻率/($\Omega \cdot m$)	深感应 ≥ 1.5 , 4 m 时的感应 ≥ 1.5	目前证实
	电阻增大率	深感应 ≥ 6 , 4 m 时的感应 ≥ 5.5	目前证实
解释地层			
孔隙度/%	≥ 18		
解释含油			
饱和度/%	≥ 65		

4 结语

目前,沙湾组已经成为准噶尔盆地新的勘探目标层系。其中,车排子地区沙湾组上报探明石油地质储量 2 200 万 t,预测石油地质储量 3 350 万 t,建成年产原油生产能力 60 万 t,累积产油 230 万 t。

1) 车排子地区沙湾组具有多油源输导、多层系含油、多类型富集、多品位共存的复式聚集特点和“三层楼”油气成藏模式。车排子凸起沙湾组二段发育了多个古湖岸线和多套上超叠覆的滩坝砂,决定了沙湾组二段浅层高产油藏具有成带成排分布的特点。春光油田沙湾组以中小型岩性圈闭为主。

2) 立足实践,大胆开拓,促成了车排子凸起沙湾组浅层、稀油、高产岩性油藏的突破,高精度三维地震技术的应用发挥了关键作用。车排子凸起沙湾组轻质油藏具有“类亮点”特征,油砂体形态与振幅属性具有较好的对应关系,含油面积内振幅值高于含水区振幅值,分界线基本平行于构造等值线。沙湾组含油岩性体具有“强振幅、中低频率、高吸收系数”的地震属性特征和“周围边界清晰、上凸下平”的振幅能量分布特征。寻找古湖岸线附近的湖进滩坝砂是扩大勘探成果的关键。车排子凸起沙湾组稠油油藏无明显亮点特征,但地震响应特征明显,目前已描述出一批有利圈闭。

3) 沙湾组稀油油层自然伽玛曲线呈中-高幅度差,自然电位异常明显,视电阻率曲线呈平直状。沙湾组稀油油浸为含油性下限,粉细砂岩为岩性下限。物性下限为:渗透率大于 $0.022 \mu m^2$ 、孔隙度大于 20%,油层声波时差大于 $300 \mu s/m$,电阻率大于 $1.5 \Omega \cdot m$,电阻增大率大于 5.5。

4) 排 601 井区沙湾组稠油油层有效厚度电性

标准:深感应视电阻率 $\geq 4.5 \Omega \cdot m$,声波时差 $\geq 377 \mu s/m$,平均有效厚度为 4.2 m。采用 HDNS 技术(水平井+降粘剂+氮气+蒸汽吞吐),已投产 55 口井,所有新井均获得工业油流。

5) 准噶尔盆地沙湾组勘探潜力很大,但面临山地、沙漠、戈壁等恶劣的地面条件,地震、钻井的难度和成本控制的难度大,地下面临各种复杂构造。为此,建议加大沙湾组勘探工作力度。广泛开展沙湾组地质调查,评估油气资源潜力。在老探区通过老井资料复查、重新试油勘探沙湾组油气资源,在有利目标区采集高精度三维地震。

参考文献

- [1] 李丕龙. 准噶尔盆地石油地质特征与大油气田勘探方向[J]. 石油学报, 2005, 26(6): 7-9.
- [2] 王连芳. 解放前我国学者对新疆石油地质的调查和研究[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(5): 439-441.
- [3] 新疆油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志. 卷十五. 新疆油气区. 准噶尔盆地[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 8, 9, 30, 385-386.
- [4] 党玉芳, 尚春, 宁良. 物探新技术在准噶尔盆地车排子地区浅层油气勘探中的应用[J]. 天然气工业, 2007, 27(增刊 A): 486-488.
- [5] 付广, 孙永河, 吕延防. 输导通道类型对天然气聚集效率的影响[J]. 地质论评, 2006, 52(2): 236-242.
- [6] 马宗晋, 曲国胜, 李涛. 准噶尔盆地盆山构造耦合与分段性[J]. 新疆石油地质, 2008, 28(3): 271-277.
- [7] 邱楠生, 杨海波. 准噶尔盆地构造——热演化特征[J]. 新疆石油地质, 2002, 37(4): 423-439.
- [8] 杨藩, 唐文松, 魏景明. 中国油气区第三系——西北油气区分册[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994.
- [9] 洪太元, 张福顺, 由伟丰. 准噶尔盆地车排子地区排 2 井地层划分[J]. 中国西部油气地质, 2005, 1(1): 22-25.
- [10] 邢凤存, 陆永潮, 刘传虎. 车排子地区构造-古地貌特征及其控砂机制[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(1): 78-83, 106.
- [11] 王振奇, 支东明, 张昌民. 准噶尔盆地西北缘车排子地区新近系沙湾组油源探讨[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2008, 38(增刊): 97-104.
- [12] 张枝焕, 秦黎明. 准噶尔盆地腹部车莫古隆起南北两侧含油构造油源及烃源灶转移[J]. 中国地质, 2009, 36(4): 826-836.
- [13] 王学忠, 刘传虎, 王建勇. 应用三维地震属性识别春光油田原始油水界面[J]. 特种油气藏, 2009, 16(3): 48-49, 52.
- [14] 汪彩云. 地震技术在车排子地区岩性油藏勘探中的应用[J]. 勘探地球物理进展, 2009, 2(4): 280-285.

Geological features and reservoir exploration of Shawan formation

Liu Chuanhu, Wang Xuezhong

(Shengli Oilfield Company, China Petroleum & Chemical Corporation, Dongying, Shandong 257001, China)

[**Abstract**] Shawan exploration of Junggar Basin was faced with exploration problems of small scale oil sand, thin reservoir and rapid changes in lithology. In 2005, Pai 2 Well in Shawan formation drilled oil layer. It obtains 49.6 t/d industrial oil and the ground oil viscosity is 1.6 mPa·s. Practice and boldly exploiting contributes to Shawan's breakthrough of shallow, light oil and high lithologic oil reservoir, and high-precision three-dimensional seismic technology has played a crucial role. Chepaizi region of Shawan formation has double-gathered and the "three floors" oil and gas accumulation mode of multiple oil source transporting, multi-line oil, multi-type enrichment and multi-grade coexistence characteristics. Shawan's light oil sand body shape has a good corresponding relationship with amplitude property, and the oil-water boundary can be identified by seismic attributes. Oil of thin oil is oil lower limit, and powder and fine sandstone is lithologic lower limit, permeability of 0.022 μm^2 and porosity of 20 % is lower limit for the properties. Reservoir interval transit time is greater than 300 $\mu\text{s}/\text{m}$, resistivity is greater than 1.5 $\Omega\cdot\text{m}$ and resistivity index is greater than 5.5. 23 reservoirs have been found in Shawan.

[**Key words**] Shawan formation; oil and gas reservoiring mode; oil and gas exploration; petroleum geologic characteristics; statistics law; Junggar Basin; Chunguang Oilfield