

· 地震地质 ·

吐哈盆地葡萄沟地区储层预测及成藏特征探讨

张进学^{*①②} 代瑜^② 屈战海^③

(①中国石油大学(华东), 山东东营 257061; ②东方地球物理公司乌鲁木齐分院, 新疆乌鲁木齐 830016; ③东方地球物理公司长庆经理部, 宁夏银川 750006)

张进学, 代瑜, 屈战海. 吐哈盆地葡萄沟地区储层预测及成藏特征探讨. 石油地球物理勘探, 2008, 43(5): 600~605

摘要 葡萄沟地区是吐哈盆地油气最为富集的有利区带之一。综合研究表明, 葡萄沟地区主要目的层七克台组为一套近西物源的辫状河三角洲沉积体系, 发育有水下分流河道和滩砂坝等有利储集相带, 七克台组油藏类型以背斜、断背斜等构造油藏为主, 上油藏以边水层状油藏为主, 下油藏以底水块状油藏为主; 三间房组油藏以构造—岩性油藏为主。古构造与现今构造的良好配置、有利的储集相带以及燕山期形成具封堵性的断层是成藏的主控因素。火焰山断层上盘南部背斜带和北部斜坡带分别是下一步构造圈闭和构造—岩性圈闭的有利勘探方向。

关键词 吐哈盆地 火焰山中央隆起带 葡萄沟 油气成藏规律 储层预测

1 引言

火焰山中央隆起带是吐哈盆地油气资源最丰富的地区之一, 在该区已先后发现了胜南、神泉、雁木西、火焰山、神北2号等含油气构造, 葡萄沟地区在近几年的勘探开发中取得了重大突破(图1)。

1994年葡4井在该区七克台底部上砂组的顶部薄砂层中获得工业油气流, 其后在该区钻探的葡

砂1等井失利, 勘探开发基本上处于停滞状态。2003年在该区葡萄沟6号构造上的葡6井在七克台组底部砂组获得高产油气流, 紧接着在葡萄沟5号构造上钻探的葡砂2井也在该层位获得高产油气流, 并在白垩系获得低产油气流, 一举打破了该区多年的沉闷局面。葡萄沟9号构造上的葡9井在七克台组获得高产油流, 进一步展示了该区良好的滚动勘探开发潜力, 但后来钻探的葡15井和葡7井相继失利, 表明该区尽管油气富集, 但油气的分布规律十分

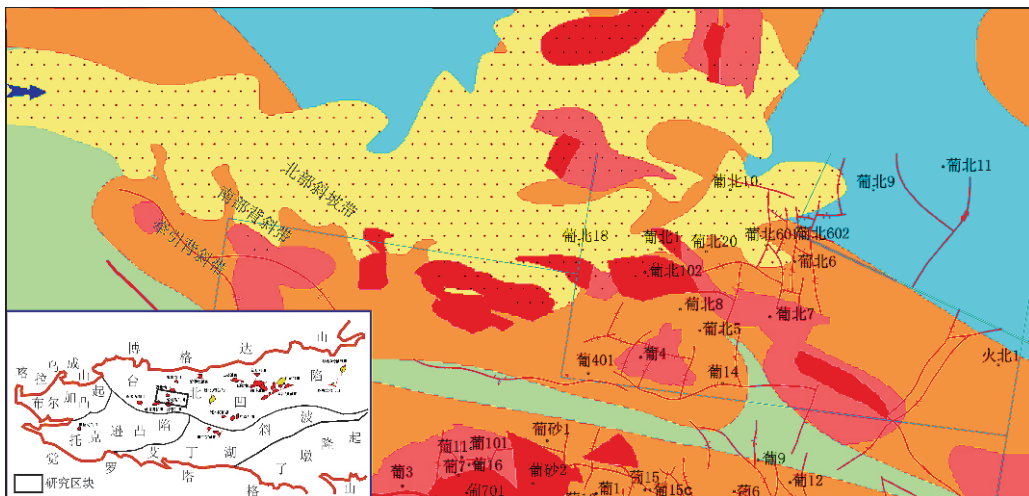


图1 区域位置图

* 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市迎宾北一路4号乌鲁木齐分院, 830016
本文于2006年12月19日收到, 修改稿于2008年7月28日收到。

复杂。制约该区扩大勘探成果的主要难点为:一是地震资料垂向分辨率不能满足单层薄砂体刻画的需要,精细构造解释和储层细致研究有很大困难;二是速度横向变化大,致使局部圈闭的钻探结果与构造解释成果有较大的误差;三是油气层薄、横向变化大,声波曲线砂泥岩特征不明显,砂层识别难;四是油气分布特征、成藏规律及主控因素仍不十分清楚。

开展该区储层预测和油气成藏特征研究的总体思路是:结合区域研究成果,瞄准主要目的层系和重点部位,同时关注潜在的勘探层系;进行精细构造解释、储层横向预测和油藏规律研究,对重点圈闭进行综合评价,积极跟踪钻探动态,进行钻探效果分析,修正以前的认识,加大研究深度。

2 区带地质结构特征

火焰山中央隆起带西段被喜山期的火焰山断层分成南北两个部分,北部为葡萄沟构造带,南部为神北构造带,均呈北西西向展布。

葡萄沟构造带中侏罗统构造具有“南北分带”的特征,火焰山断层上下盘可以分为三排构造带:下盘牵引背斜带、上盘南部背斜带和北部斜坡带(图 2)。

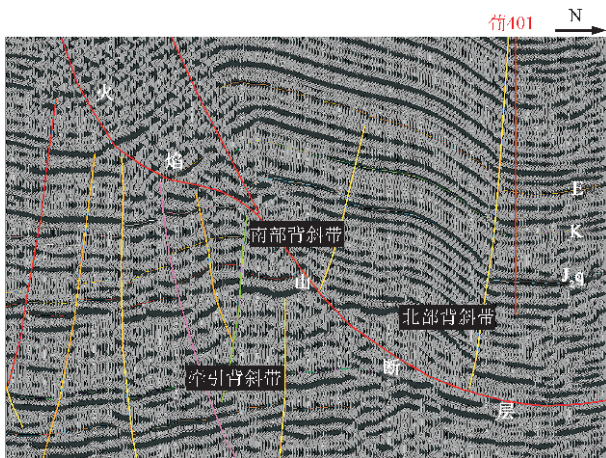


图 2 火焰山构造带南北向地震剖面

葡萄沟地区的圈闭类型以背斜、断背斜为主,断鼻、断块次之,上盘南部背斜带自西向东发育有葡萄沟 3 号、7 号、5 号、2 号和 6 号近东西走向断背斜构造;北部斜坡带发育有葡萄沟 10 号、15 号、9 号、12 号和 4 号等断鼻构造。下盘牵引背斜带圈闭类型以背斜为主,断鼻次之,自西向东发育有亚东 1 号、3 号、神北 2 号和 6 号构造。

该区主要发育两组方向的断层。一是近东西向的断层,对构造的形成起着重要的控制作用,如火焰山断层,该断层西段基本上形成于晚喜山期,东段形成于中晚燕山期;另一组断层近南北向,主要形成于中晚燕山期,喜山期活动轻微。对于火焰山断层下盘神北地区的断层,从地震剖面上看,大部分断层断面直立,断开的层位较多,浅至第三系,深到侏罗系以下地层,表现为压扭应力下形成的走滑断层特征,是受到晚喜山期火焰山断层逆冲推覆的影响所致。

从目前所发现的构造来看,除葡萄沟 3 号构造西高点为晚喜山期构造外,葡萄沟地区的构造大多在中晚燕山期形成了构造的雏形,除葡萄沟 4 号构造外,大多数构造在晚喜山期受到了强烈的改造,一些构造还遭受了破坏,如葡萄沟 2 号构造。

3 沉积特征及储层横向预测

3.1 沉积特征

研究区的白垩系(K)总体为冲积扇扇中、扇端、冲积平原和滨浅湖沉积,沉积物由北西南东加厚,粒度由粗变细,砂层由厚变薄、层数变多。该套地层底部为一套杂色不等厚的细砾岩,在葡 401、葡 4 井处为冲积扇扇中的巨厚细砾岩,向东南葡 2 井处变为冲积平原的棕红色、紫红色和灰色薄层细砂岩、粉砂岩与泥岩不等厚互层的沉积。自然电位曲线呈齿化的箱形,视电阻率曲线为高阻齿化的箱形。中部岩性变化与下部相似,由巨厚细砾岩向东南葡 2 井处变为滨浅湖的紫红色泥岩夹泥质粉砂岩沉积。上部为紫红色的滨浅湖泥岩沉积,自然电位曲线平直,视电阻率曲线为低阻齿状。白垩系的储集层都为冲积扇沉积的细砾岩,物性较差。从井的储层统计参数看,除葡 1、葡 4 井处属中孔低渗的储层外,其余属低孔低渗储层。

七克台组(J_2q)可分为下砂组和上砂组两套砂层。下砂组地层总体上为一套滨浅湖—曲流河三角洲相沉积组合,其岩性变化较快,主要为薄层—厚层(块状)细砂岩和暗色泥岩交错分布。砂岩有以下几个特征:①厚层—块状细砂岩,SP 曲线柱状,低异常,电阻率曲线变化复杂,其沉积相为水下分流河道或砂坝沉积体;②中层—厚层状细砂岩,SP 曲线为指状特征,低电阻,与厚度可对比的暗色泥岩呈互层分布,分析认为该类型的砂岩基本为三角洲前缘席

状砂—河口砂坝沉积。总体上本砂组的沉积为三角洲分流河道—滨浅湖—砂坝—席状砂沉积,泥质及砂岩同样发育。随着湖盆水体的不断增加、相对湖平面上升和湖岸线的逐步后退,该区七克台上砂组的沉积物逐渐变细,泥岩较为发育,而砂体基本变为砂坝—三角洲前缘席状砂沉积。该段地层中厚层—块状砂岩明显减少,而薄层状砂岩及块状砂体或砂体发育区主要分布在葡北6—葡北7井区和葡北101—葡北5-2—葡北3-7—葡北4-10井区和葡4井区,其余地区均为薄层—中层状细砂岩散布于厚层泥岩之中,说明该套地层沉积时水体明显变深。

三间房组(J_2s)总体为曲流河三角洲—滨浅湖相沉积。在该套地层的底部为一套浅灰—灰绿色厚层—块状细砂岩,局部夹薄层—中层深灰色泥岩,SP曲线为柱状,低电阻,齿化程度弱,为一套分流河道—前三角洲沉积。在中部为一套中—厚层状浅灰色细砂岩与中厚层状暗色泥岩互层,砂岩多为指状SP,低异常,泥岩均为暗色。这段地层砂岩及泥岩平面上厚度变化不大(个别砂层除外)。综合其岩性、电性及平面变化特征,认为该套地层为三角洲前缘席状砂—砂坝(分流河道沉积)。上部为一套暗色泥岩,俗称“泥脖子”,其电性特征为低阻、低SP异常,厚度30~40m,滨浅湖相沉积,在全区广泛分布,为一套区域性优质盖层。

3.2 储层横向预测

利用地震属性分析、单井相及平面沉积微相分析、测井解释统计、地震和测井联合反演等手段对研究区内各区块主要目的层的储层进行横向预测。地震、测井联合反演是储层横向预测的有效手段之一,但它必须建立在与储层特征相协调、有较高信噪比和分辨率的地震资料和储层特征明确的测井资料的基础之上。纵观研究区三维地震资料,其信噪比和分辨率都相对较低,对于研究单砂层无能为力,只能基本满足对砂层组进行横向预测的需要。

3.2.1 基础资料分析

从砂层厚度统计上可以看出,葡萄沟—神北—葡北地区储层厚度薄,最大的单砂层厚度在葡2井,仅有11m左右,一般都在3~5m左右,属于薄层范畴。从主要目的层段地震资料频谱分析可以看到,该区地震资料的分辨率不能满足薄层的反演需要,葡萄沟地区地震资料主频为20Hz,如果速度按3500m/s计算,在理论上能分辨的最小砂层厚度为

43.8m。也就是说,七克台组薄砂层厚度不到其可分辨的理论厚度的四分之一。从工区内各井的组合测井曲线上可以看到,声波曲线在反映砂层特征上不很明显,例如,七克台组底部储层砂岩与上下泥岩的声波时差值相差很小,且有时砂岩层均值还高于泥岩层均值,而且泥岩层的声波时差值忽高忽低,变化规律性不强,用实测声波时差值进行多井约束反演识别砂层有一定困难。

3.2.2 采取的主要对策

针对上述困难,主要采取了两个方面的对策。一是地震资料重采样,根据该区目的层层速度3500m/s计算,基本上7m厚的地层有一个采样点,4ms的采样间隔不能反映主要层段中各砂层或油层的特征。为此对本区地震数据采样间隔加密到1ms,基本上达到了2m一个数据采样点,这样就与本区七克台组和三间房组砂层或油层的厚度比较匹配,亦即每个主要储集层有1~2个地震采样数据。二是进行叠后反褶积处理,针对该区七克台组储集层及油层厚度薄、横向变化快的特点,对经过重采样的地震数据进行了叠后反褶积处理,使其纵向分辨率有了明显的提高。处理后地震资料主频由20Hz提高到32Hz,理论分辨率可达27.3m左右,基本上能使地震资料纵向分辨率与主要储集层的厚度相匹配,但对于七克台组底部和三间房组顶部的砂层组来说,已经能够满足地震反演及储层横向预测的要求。

3.2.3 多井约束波阻抗反演

在对地震、测井资料分析和相应处理的基础上,应用Strata软件进行多井约束波阻抗反演。主要进行下面四个方面的研究工作:①测井资料的方波化及编辑;②声波曲线与地震资料相关性分析;③建立地质模型;④波阻抗反演方法选择及参数确定。

为了提高地震反演的可靠程度,在反演前进行地震数据、约束条件和反演参数试验基础上,再利用Strata波阻抗反演软件中的三种反演方法和已有的地震、测井数据进行反演方法和数据试验。经过分析,确定以葡萄沟等地区的声波数据为约束条件,对经反褶积的地震数据体应用基于模型方波化反演方法进行多井约束地震反演。

3.2.4 储层横向预测结果

葡萄沟地区七克台组底部砂层组的厚度在葡3—神北3以北区域自西向东存在一个相对较厚

的条带,到葡 4 井南侧分为两支,北支沿葡北 7 井南侧向东延伸,南支沿神北 1 井北侧向东延伸,最薄在葡 3—神北 3 附近,为 25m 左右,最厚在葡 6—葡 9

和葡 7 南侧附近,约 75m(图 3)。

从波阻抗反演预测的七克台组底部砂组孔隙度平面变化图上看,孔隙度整体变化范围为 10%~

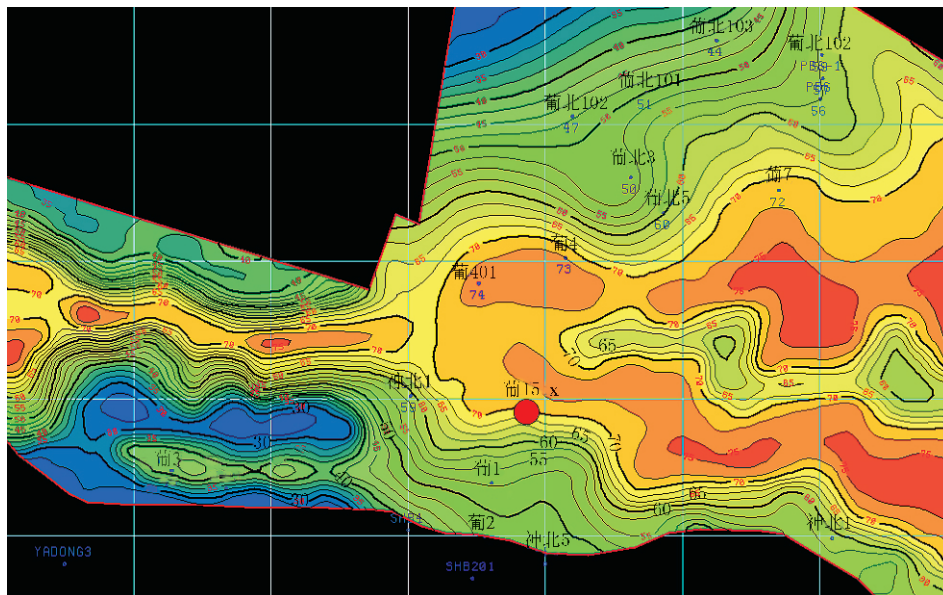


图 3 葡萄沟地区七克台组底部砂组厚度平面图

24%。在葡 3 井以北到葡砂 1、葡 401 井一线存在一个相对较高值的区域,而葡 3—神北 3—葡 1 井附近较低。渗透率平面变化趋势与孔隙度基本一致。这一波阻抗储层预测的结果基本与葡萄沟地区区域沉积体系研究一致,即主要目的层七克台组是一套西物源的沉积体系,同时发育水下分流河道和滩砂坝等砂体。从七克台组底部砂组厚度和预测孔隙度平面图看,葡砂 1—葡 401 井区是油气富集的有利区带,葡 15-x 井在七克台组获得高产油流,也进一步验证了本次反演预测结果的合理性和正确性。

我们还利用井资料了解该区的储层物性,七克台组底部砂组孔隙度和渗透率自西向东逐渐增大,下砂组孔隙度和渗透率自北西向南东逐渐增大,但这只是反映了一种平均效应。

4 成藏特征分析及典型油气藏解剖

4.1 成藏特征分析

(1) 油气运移聚集主要发生于中晚燕山期—早喜山期

从钻井资料揭示的情况来看,穿过火焰山断层上下盘的探井以及火焰山断层上下盘相距很近的探井,其油气显示层位和显示段的长度具有相似性,如

神北 3 井和葡 1 井的上下盘油气显示层位一致,这充分说明其油气运移聚集是发生在火焰山断层大规模形成之前。

从火焰山断层的演化历史分析来看,西段葡萄沟地区火焰山断层形成较晚,到早喜山期时还未形成,而中东段(胜金口以西地区)火焰山断层形成较早,侏罗系沉积时期表现为正断层,晚燕山—早喜山期开始反转逆冲,此时火焰山断层的规模还不是很大,直到晚喜山期才完全冲出地表。随着断层向西扩展,火焰山断层的西段得以形成,因此火焰山断层大规模形成于晚喜山期。

从胜北次凹烃源岩的热演化历史分析看^[1],下侏罗统烃源岩在中燕山—晚燕山早期为生烃高峰期,西山窑组烃源岩在晚燕山晚期—早喜山期为生烃高峰期,七克台组烃源岩在早喜山期后进入生烃期。

(2) 燕山期形成的侏罗系油藏类型以断背斜、断块(断鼻)油藏为主

葡萄沟地区的油气运移聚集发生在中晚燕山期—早喜山期,而从台北凹陷中晚燕山期七克台组底古构造图上可看到,中晚燕山期在神北—葡北这一区域内只形成了神泉构造以及葡北 1 号构造,其余地区的圈闭类型以断鼻、断块为主,这一构造格局直到早喜山期并未改变。也就是说,中晚燕山期—

早喜山期,神北—葡萄沟地区的圈闭类型以断鼻、断块圈闭为主,局部地区可能发育有幅度较小的背斜构造,如葡萄沟5号构造。此外,该区中侏罗统主要发育辫状河三角洲—前缘亚相沉积,砂体横向变化较大,油气成藏肯定要受到岩性的控制。

(3)油气运移路径和砂体展布方向决定了七克台组、三间房组油气显示差异性

从钻井揭示的情况来看,葡萄沟地区七克台组、三间房组的油气显示情况差异较大,如葡1井,在七克台组见显示而在三间房组未见显示,这一差异是由该区的油气运移路径及砂体的展布方向所决定的。该区的主要油气运移路径可能有条,一条沿神北1井—葡1井一带,一条沿葡北5井—葡4井一带。对于七克台组来说,由于油气主要运移路径与砂体展布方向一致,油气比较容易沿着砂体作侧向运移。而对三间房组来说,由于油气主要运移路径与砂体展布方向不一致,油气作侧向运移难度大,这可能就是该区三间房组油气显示情况不如七克台组的主要原因。

(4)近南北向断层对该区成藏起着重要作用

该区无论是侏罗系还是白垩系及第三系,砂体连通性较差,需要有断层特别是近南北向的断层沟通砂层共同组成油气侧向运移的通道;此外,该区中侏罗统的砂体大多近东西向展布,对于南北两侧来说可形成侧向封堵,但对东西两侧来说需要有近南北向断层断开砂层形成侧向封堵,因此近南北向断层对该区油气成藏起着至关重要的作用。

(5)燕山期形成的断层断距普遍较小,导致该区断块圈闭中主要是薄层成藏

除葡北地区因燕山期形成的是背斜构造而使厚层砂能够成藏外,其他地区大多是薄层成藏,这是因为其他地区燕山期形成的圈闭类型以断块、断鼻为主,起侧向封堵作用的断层断距普遍较小,不能断开厚层砂形成有效的侧向封堵。

(6)浅层具有成藏条件,但受到下伏古油藏的控制

葡萄沟地区有4口探井钻到浅层圈闭范围之内,其中位于葡萄沟2号构造上的葡1井、葡2井见到油气显示,而位于葡萄沟3号构造上的葡3井、神北3井未见到油气显示,表明该区浅层成藏可能受到下伏燕山期古油藏控制。因此,葡萄沟地区尽管燕山期形成的古油藏大多遭受调整或破坏,但现今保存较好的燕山期形成的圈闭仍是下步有利的勘探开发目标。

4.2 典型油气藏解剖

目前在葡萄沟地区发现的油藏主要有葡萄沟5号、10号、2号、6号、9号七克台组构造油藏和葡萄沟10号三间房组岩性油藏。

葡萄沟地区七克台组油藏以层状和底水断块油藏为主(图4),且各油藏油水界面不同,自东向西有逐渐抬高的特点。从葡萄沟5号和葡萄沟6号七克台组油藏特征看,该区七克台组油藏可分为上下两个油藏。上砂组对应的上油藏油层薄,未见到地层水,属于边水层状油藏;下砂组对应的下油藏油层相

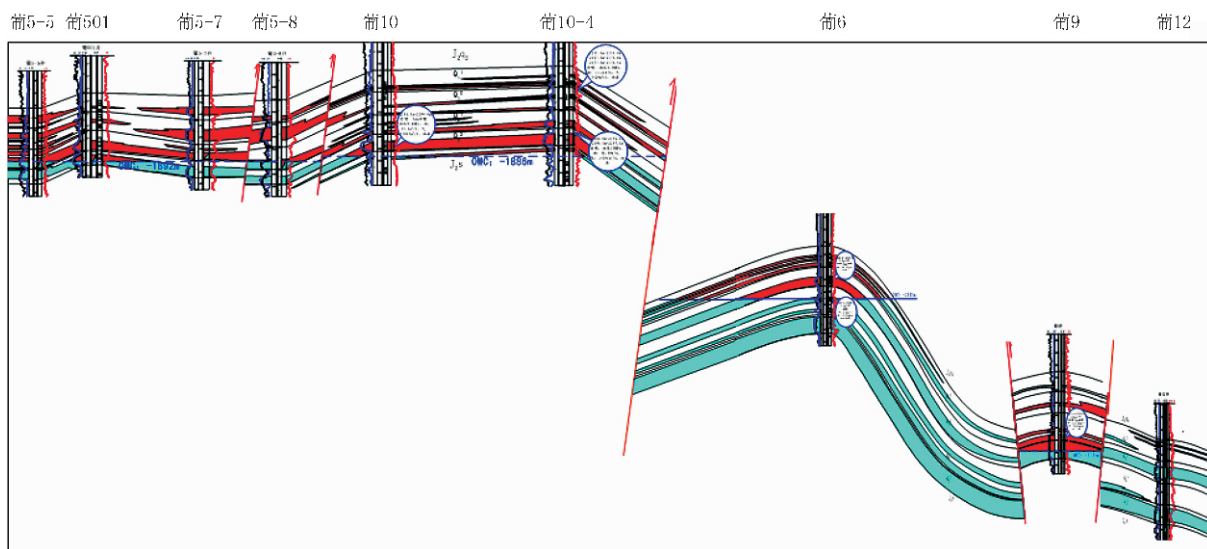


图4 葡萄沟地区东西向油藏剖面

对较厚,见到油水界面,属于底水块状油藏。

七克台组油藏的油气来源于胜北生烃次凹水西沟群烃源岩^[2],油气主要沿侏罗系底部不整合面和连通性好的砂层顺着晚燕山期的古鼻隆侧向运移,再通过断层垂向运移到圈闭中聚集成藏,在晚喜山期重新调整而成现今的油藏。

火焰山构造带胜火 2 井的钻探表明,该区七克台组油藏成藏期可能是晚喜山期,如果这种观点成立,形成较晚的葡萄沟 3 号构造也可能捕获晚期油气而成藏。

葡萄沟 6 号构造北断块的葡 9 井钻探获得高产油流表明,在葡萄沟伸向胜北次凹斜坡上的断块,只要圈闭落实,后期改造不强烈,依然可以成藏。因此,葡萄沟 6 号构造以东和以北斜坡上的断块是下一步滚动勘探开发的有利目标。

葡萄沟地区的探井失利有以下三个方面的原因:一是探井位于圈闭之外或低部位,如葡 1、葡 2 和葡 3 等井;二是受喜山期构造运动影响,圈闭条件变差,原有古油藏遭受破坏,如葡 401 井;三是受构造和储层双重因素影响,如葡 8 井等井。

5 油气勘探方向

综上所述,葡萄沟地区受火焰山断裂的影响,上盘南部背斜带发育如葡萄沟 3 号、7 号、5 号、2 号、15 号、12 号、13 号和胜火 4 号、3 号、2 号等构造,这些构造落实可靠,储层相对较发育,古构造背景好,后期改造作用较微弱,具备成藏条件,东西和南北向的两组断裂为油气运移提供了良好的通道。火焰山断裂下盘以牵引背斜为主,断鼻次之,自西向东发育有亚东 1 号、3 号、神北 2 号和 6 号等构造。下一步勘探开发的方向在火焰山断层下盘和上盘南部背斜带,应以构造圈闭为主,进一步扩大该区的储量规模,下步滚动钻探的有利目标有葡萄沟 3 号背斜构造、葡萄沟 15 号断鼻构造和葡萄沟 10 号东块等。葡萄沟地区北部斜坡带储层横向变化大,主要目的层七克台组为一套近西物源的辫状河三角洲沉积体系,发育有水下分流河道和滩砂坝等有利储集砂体,

三角洲前缘砂体后期向南抬升,具备形成岩性油气藏的条件。因此葡萄沟地区的北部斜坡带应以构造—岩性圈闭勘探为主,下一步勘探开发的方向应以葡 101 井和葡 9 井北区块为主。

为进一步在该区寻找新的构造圈闭和在北坡落实岩性圈闭,提高圈闭的落实程度、降低钻探风险,建议对葡萄沟地区三维地震资料进行连片叠前深度偏移处理,同时进一步加强葡萄沟地区构造精细解释、储层及成藏研究,特别是加大葡萄沟 6 号构造—胜火 2 号构造斜坡部位构造特征和葡萄沟地区中部斜坡带上三间房组岩性圈闭研究的力度。

6 结论

(1)葡萄沟地区中侏罗统构造具有“南北分带”特征,自南向北可分为下盘牵引背斜带、上盘南部背斜带和北部斜坡带,构造形成于中晚燕山期,喜山中晚期改造定型,改造强度自西向东逐渐加强,白垩系构造形成于喜山中晚期。

(2)主要目的层七克台组为一套近西物源的辫状河三角洲沉积体系,发育有水下分流河道和滩砂坝等有利储集相带。

(3)七克台组油藏类型以背斜、断背斜和断块(断鼻)等构造油藏为主,上油藏以边水层状油藏为主,下油藏以底水块状油藏为主,自东向西油藏的油水界面逐渐抬高,三间房组油藏以岩性油藏为主。

(4)古构造与现今构造的良好配置、有利的储集相带以及燕山期形成具封堵性的断层是成藏的主控因素。

研究中得到了吐哈油田分公司杨珍祥、涂小先、桑庭义等专家的指导和大力支持,在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] 程克明. 吐哈盆地油气生成. 北京:石油工业出版社, 1994
- [2] 袁明生,李华明,王志勇. 吐哈盆地台北西部原油族群及成藏期划分. 新疆石油地质, 2002, 23(3): 186~188

(本文编辑:冯小球)