

文章编号: 0253-9985(2004)06-0696-07

柴北缘马海-大红沟凸起油气成藏模式 与有利勘探目标

汪立群^{1,2}, 庞雄奇¹, 党玉琪^{1,2}, 马达德^{1,2}, 马立协²

(1. 石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249; 2. 中国石油青海油田公司, 甘肃敦煌 736202)

摘要: 柴北缘马海-大红沟凸起油气成藏模式可概括为: 深部为早期原生成藏, 长期充注模式, 具有多期(至少两期)油气运移成藏特征; 浅部为早期排烃聚集, 晚期次生成藏模式, 具有晚期一次成藏的特征。古凸起区的两大构造运动、两套断裂体系所对应的圈闭形成期和成藏期是形成两种不同类型油气藏的关键。绿南山前构造带、马海-黄泥滩构造带、南八仙-东陵丘背斜带、以及马海构造的西南翼和东南翼的地层超覆区是今后勘探的重点目标。

关键词: 马海-大红沟凸起; 油气成藏; 成藏模式; 勘探目标; 柴北缘

中图分类号: TE112.31

文献标识码: A

Reservoiring patterns and favorable exploration targets in Mahai-Dahonggou salient in the northern edge of Qaidam basin

Wang Liqun^{1,2}, Pang Xiongqi¹, Dang Yuqi^{1,2}, Ma Dade^{1,2}, Ma Lixie²

(1. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation, University of Petroleum, Ministry of Education, Beijing;

2. Qinghai Oilfield Company, PetroChina, Dunhuang, Gansu)

Abstract: This paper summarizes the reservoiring patterns in Mahai-Dahonggou salient in northern edge of Qaidam basin. Reservoiring pattern in the deeper part is of early primary accumulation with long period of hydrocarbon charging, which is characterized by multi-stage (at least two stages) hydrocarbon migration and reservoiring. While Reservoiring pattern in the shallower part is of early expulsion and accumulation and late secondary reservoiring, which is characterized by late and once reservoiring. Trap forming stages and reservoiring stages that are corresponding to the two major tectonic movements and two fault systems in the palaeo-salient area are critical to the formation of these two different types of accumulations. Lunanshan piedmont structural zone, Mahai-Huangnitian structural zone, Nanbaxian-Donglingqiu anticlinal zone and the stratigraphic overlapping areas on the southwest and southeast limbs of Mahai structure are the major exploration targets in the future.

Key words: Mahai dahonggou salient; hydrocarbon accumulation; reservoiring pattern; exploration target; northern edge of Qaidam basin

20 世纪 50 年代后期, 在柴北缘马海-大红沟凸起区发现了马海气田。20 世纪 90 年代中后期, 随着地震勘探的进行, 逐渐认识到该区是前中生界的基岩古凸起, 并在老井资料复查的基础上探明了南八仙油气田。该区既有来自下侏罗统烃源岩的油气, 又有来自中侏罗统烃源岩的油气, 具有多方向供给油气的特点。2003 年下半年, 在马北

一号钻探的马北 1 井获得高产工业油气流, 马北三号钻探的马北 3 井发现基岩油气藏。2004 年在马西构造钻探的马西 1 井获得高产工业气流。

1 成藏条件

1.1 烃源岩

柴北缘侏罗系主要有两大含油气系统(图 1),

基金项目: 中国石油天然气集团公司“九五”重点科技攻关项目(970208)

第一作者简介: 汪立群, 男, 40 岁, 高级工程师(博士), 石油地质

收稿日期: 2004-12-02

冷湖-南八仙一线及其以南为下侏罗统烃源岩发育区控制的含油气系统,以湖相暗色泥岩含薄煤层为主,主要发育昆特依、伊北凹陷和鄂博梁 I、鄂博梁 II 号等次凹,面积 7 200 km²,具有有机质丰度高、成熟度高的特点。冷湖-南八仙以北为中侏罗统烃源岩发育区控制的含油气系统,岩性为湖沼相煤系泥岩,主要发育赛什腾、鱼卡和红山凹陷,面积 5 600 km²,具有有机质丰度较高、成熟度较低的特点。

由于中侏罗世坳陷湖盆较早侏罗世稳定,使得该地区的烃源岩除发育了以中侏罗统第一段至第六段沼泽相为主的含煤系地层外,还有以第七段泥岩、页岩和油页岩为主的湖相地层。主要分布在赛什腾-鱼卡-红山凹陷区(图 1),虽然厚度不大(50~200 m),但分布稳定,有机质丰度高、生烃强度大、类型好,有机碳平均为 11%,每克有机质的生烃潜量达 29.6 mg,氯仿沥青“A”为 0.197%,是盆地最好的烃源岩。

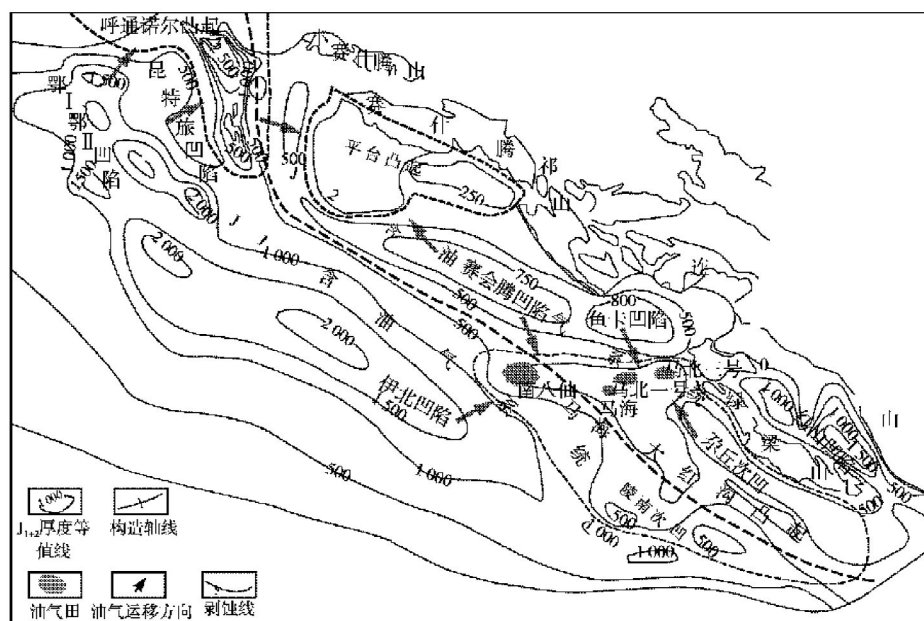


图 1 柴北缘中、下侏罗统残余厚度图

Fig. 1 Residual stratigraphic thickness of Middle and Lower Jurassic in the northern edge of Qaidam basin

马海-大红沟凸起区由多个侏罗系生油凹陷所包围,北有赛什腾(最大厚度达 800 m)、鱼卡(最大厚度达 950 m)中侏罗统生油凹陷,南有伊北下侏罗统凹陷(最大厚度达 2 000 m),自身有尕丘中侏罗统次凹(最大厚度达 600 m)、陵南下侏罗统次凹(最大厚度达 900 m),凸起区中、下侏罗统沉积总体上为西北薄、东南厚,具有中薄翼厚的特征。

1.2 构造及演化

柴北缘自侏罗纪以来主要经历了中生代末燕山和第三纪末喜山晚期两次大的构造运动,普遍发育的深、浅两种构造样式在垂向构成“二层楼”结构^[1~2]是两次构造运动的直接反映,一是基底卷入式逆冲断裂,深切下第三系和侏罗系及其基底,持续活动时间长,控制了早第三纪形成的古构造圈闭;二是以推覆走滑型(盖层滑脱型)逆冲断层,主要发育于上第三系,浅部断面较陡、向下逐渐变缓,并消失在层内,受其控制形成浅部断鼻或断背斜构造。

马海-大红沟凸起区是前中生界古凸起,属盆地柴北缘的亚一级单元,由马仙、陵间、绿南及黄泥滩等 4 条区域大断裂包围,呈菱形状,隆起时间早、幅度大。地面有 20 个三级构造,组成了“三隆两凹”的构造格局(图 2),即绿南山前、马海-黄泥滩和南八仙-东陵丘三个二级构造带,均呈反“S”型北西向展布,中间由尕丘和北陵丘两个次凹相隔。三个构造带各具特点,并具有东西分带和南北分块的特征。地面形迹与 4 条断裂展布相关,一组北东向,另一组北西向,表现出不对称挤压褶皱和剪切走滑的双重特征^[3~4]。

马海-大红沟凸起区是前中生界古凸起,属盆地柴北缘的亚一级单元,由马仙、陵间、绿南及黄泥滩等 4 条区域大断裂包围,呈菱形状,隆起时间早、幅度大。地面有 20 个三级构造,组成了“三隆两凹”的构造格局(图 2),即绿南山前、马海-黄泥滩和南八仙-东陵丘三个二级构造带,均呈反“S”型北西向展布,中间由尕丘和北陵丘两个次凹相隔。三个构造带各具特点,并具有东西分带和南北分块的特征。地面形迹与 4 条断裂展布相关,一组北东向,另一组北西向,表现出不对称挤压褶皱和剪切走滑的双重特征^[3~4]。

凸起区地质剖面(图 3)反映中生代至第三纪古新世时期,古地形相对较高,缺失中生界和路乐河组,或少有沉积,边缘发育的中生界和路乐河组向高部位逐层超覆尖灭或削蚀;第三纪早期,在基岩隆起背景上接受了下干柴沟组、上干柴沟组、下

油砂山组的沉积,沉积地层在凸起高部位变薄;上油砂山组沉积后发生的构造运动使本区整体抬升。狮子沟组和第四系沉积时,本区整体抬升,圈闭幅度进一步加大,高部位遭受强烈剥蚀,局部地层剥蚀可达数千米,地层残缺不全。

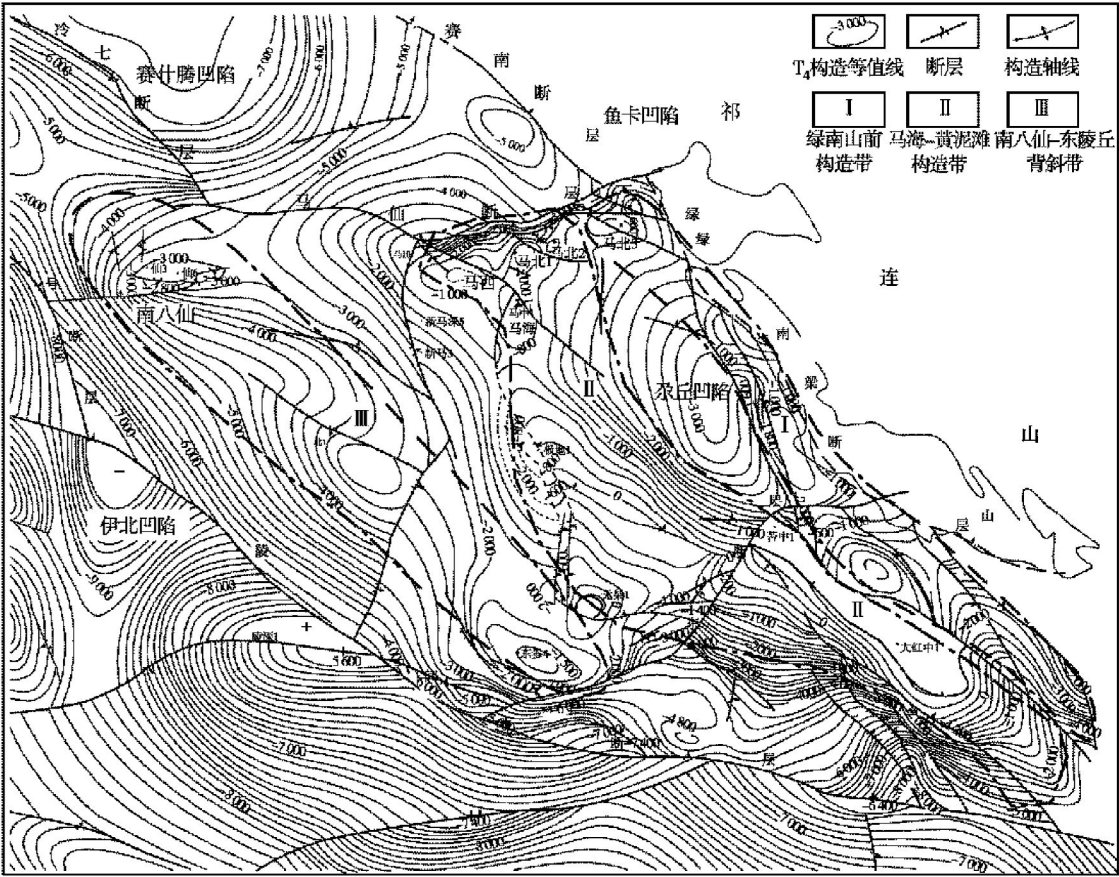


图 2 柴北缘马海-大红沟凸起区地震 T₄ 反射层构造等深度图

Fig. 2 Structural contour map of T₄ reflector in Mahai Dahonggou salient in the northern edge of Qaidam basin

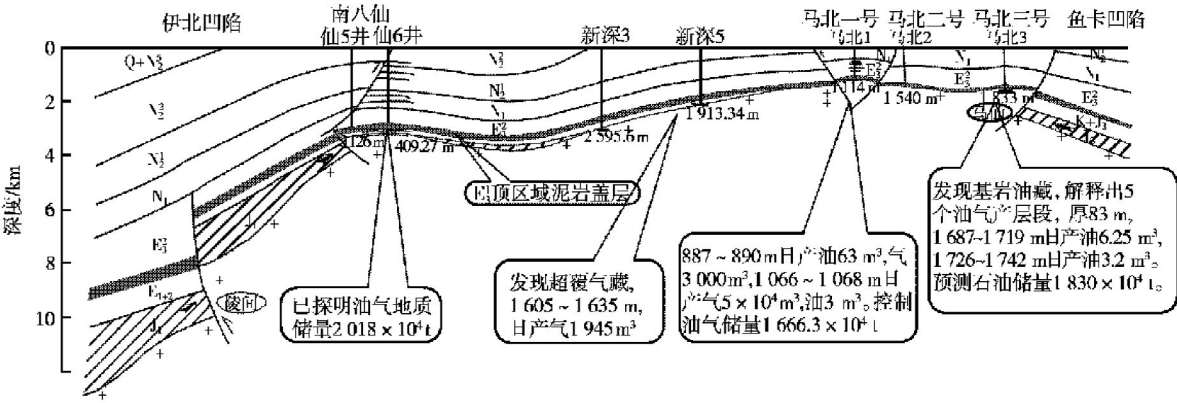


图 3 柴北缘伊北凹陷-马海北-鱼卡凹陷地质剖面图

Fig. 3 Yibei sag-northern Mahai-Yuqia sag geological cross section in the northern edge of Qaidam basin

1.3 储盖组合

第三系沉积环境由老到新,路乐河组-油砂山组沉积水体总体为逐渐加深的过程,沉积物逐渐由水上沉积转为水下沉积,由冲积扇→河流→泛滥平原相→三角洲前缘→滨浅湖相的相带变化特征。储集层主要有两大类,一是第三系碎屑岩孔隙型储集层,二是基岩风化壳溶蚀-裂缝型储集层。其中第三系储集层是该区的主要储集层,广泛发育于凸起区的各构造。储集层岩性包括砾岩、含砾砂岩、细砂岩和粉砂岩等。基岩储集层岩性较复杂,主要有花岗片麻岩、绿泥片岩等,既有顶部风化壳,又有基岩裂缝。

上第三系和下第三系储集层物性参数相差较大,其中以三角洲河道砂物性最好。上第三系储集层物性以高孔、高渗和中孔、中渗为主;下第三系以低孔、低渗和特低孔、特低渗为主,而马海构造区例外。下第三系由于埋藏浅(400~1600 m),马北1井取心井段平均孔隙度27.3%,平均渗透率 $1891.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为高孔、特高渗储集层。基岩顶风化壳厚度可达20~100 m,受构造运动的影响,发育有低角度和高角度两组不同方向的裂缝。

该区存在三套储盖组合,上第三系与下干柴沟组上段砂泥岩为互层式储盖关系,反映次生油气藏的成藏特点,各组地层中的泥质岩均可作为其下伏储集层直接或间接的盖层。

下第三系下干柴沟组下段上部有一套厚度为80~240 m的泥岩盖层,与凸起区的油气层分布关系十分密切。目前发现的南八仙深部原生油气藏、马海西南翼地层超覆气藏、马西高压气藏、马北一号基岩顶气藏、马北三号基岩风化壳油藏均

在这套盖层之下,而且南八仙深部异常高压(压力系数达1.5~1.8),说明其盖层对油气层的封盖作用十分良好,为原生油气藏的成藏特点。

基岩裂缝及不整合风化壳与其上部泥岩组成的储盖组合。在古凸起较高部位的马海及其周缘,下干柴沟组下段上部泥岩直接覆盖于基岩之上;在南八仙及东南区,侏罗系覆盖于基岩之上。在基岩之上两种不同盖层的油气藏在区内都有发现。

2 油气对比与运移

南八仙和冷湖地区原油与下侏罗统烃源岩甾烷对比发现^[5](图4),①规则甾烷均为不对称的“V”字型分布,甾烷 $C_{29} >$ 甾烷 $C_{27} >$ 甾烷 C_{28} ,甾烷 $\alpha\alpha\alpha C_{27}/$ 甾烷 $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 平均为0.55左右,而煤规则甾烷 $\alpha\alpha\alpha C_{27}/$ 甾烷 $\alpha\alpha\alpha C_{29}$ 平均小于0.25,差别较为明显。南八仙油田的原油烃源岩尽管有机质类型不太好,但仍好于煤。②南八仙原油甾烷的重排甾烷含量一般较高,这与冷科1井下侏罗统泥岩的重排甾烷含量相对应。③南八仙原油甾烷的 $20S/(20S+20R)-C_{29}$ 和 $\beta\beta-C_{29}/\Sigma C_{29}$ 两个异构化参数相对冷科1井等烃源岩普遍要高得多,尤其是 $\beta\beta-C_{29}/\Sigma C_{29}$ 差别更大,一是说明原油可能来自埋藏更深的烃源岩,二是原油确实经过一定距离的运移。④南八仙原油的孕甾烷含量相对较低,但相对冷湖地区原油要高一些,可能与运移距离相对较远或烃源岩环境或成熟度的差异有关。

马海气田、马北油气藏和绿梁山南翼地面原油地球化学特征与南八仙原油具有一定的差别,与鱼卡原油具有一定的相似性,它可能来源于绿梁山周围的侏罗系生油凹陷中侏罗统上段的富烃

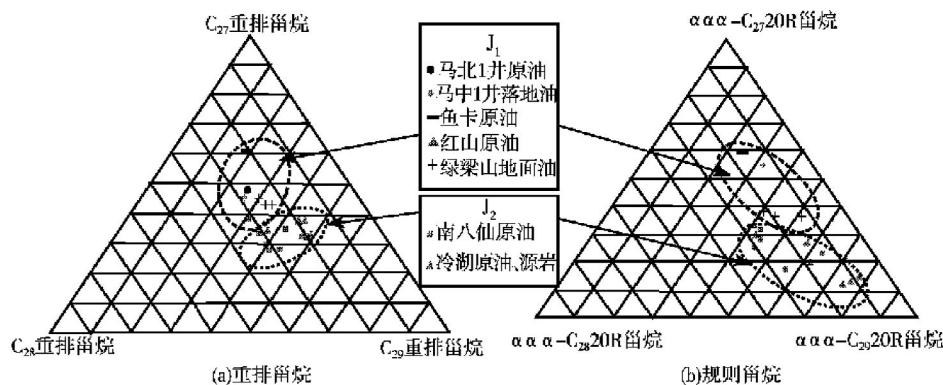


图4 柴北缘侏罗系原油、烃源岩甾烷组成三角图

Fig. 4 Triangle plots of sterane composition in Jurassic crude oil and source rock in the northern edge of Qaidam basin

页岩。①原油饱和烃色谱的姥/植为2,接近鱼卡地区原油(平均值1.73)和中侏罗统上段的富烃页岩。②规则甾烷分布也是甾烷 C_{27} >甾烷 C_{29} >甾烷 C_{28} ,规则甾烷 C_{27} 含量高,甾烷 $\alpha\alpha C_{27}$ /甾烷 $\alpha\alpha C_{29}$ 为1.73,比鱼卡地区的2.36低,但比南八仙原油的0.55要高;规则甾烷 C_{29} 含量为31.72%,比鱼卡地区的27.35%略高,比南八仙原油的53%低得多。③重排甾烷含量很高,这与鱼卡地区及南八仙原油均有差别。原因可能是该区原油的成熟度高或运移距离远,其孕甾烷含量低,与南八仙原油差别较大。④甾烷 $20S/(20S+20R)-C_{29}$ 和 $\beta\beta-C_{29}/\Sigma C_{29}$ 两个异构化参数很高,尤其是甾烷 $20S/(20S+20R)-C_{29}$ 最高,接近50%, $\beta\beta-C_{29}/\Sigma C_{29}$ 达到64.08%,表明其成熟度高,运移距离相对较远。⑤马海地区原油具有三降藿烷系列较高、三环萜烷含量较低等特点,这与高成熟的中侏罗统上段的富烃页岩也具有一定的可比性。⑥ $\delta^{13}C$ 类型比南八仙原油要偏轻,处于南八仙原油和鱼卡原油之间,主要与凹陷的中侏罗统上段II_F-I型母质的富烃页岩或油页岩有关。

以上油源对比认为马海、马北和绿梁山南翼

地面原油同源,油气应来自偏腐泥型的有机质,与鱼卡原油和鱼卡中侏罗统上段普遍发育的页岩、油页岩对比关系好,只是前者成熟度高,后者成熟度低。油气应该主要来自赛什腾、鱼卡凹陷和尕丘次凹的中侏罗统上段的富烃页岩或油页岩。而与来自冷湖构造带及其以南下侏罗统生油凹陷的冷湖、南八仙原油存在明显差异。

图3为伊北凹陷-南八仙和马海地区-鱼卡凹陷油气运移示意图,西南方向的伊北凹陷的油气指向区是南八仙-东陵丘构造区带,西北方向的赛什腾、北侧鱼卡和自身的尕丘凹陷的油气指向区是马海地区。尽管各凹陷的生排烃高峰不同^[6],前者为下干柴沟组-上干柴沟组沉积时期(图5a),后者为上干柴沟组-油砂山组沉积时期(图5b),但烃源岩排出的油气都是从生烃中心以不整合面(E/J)侧向运移为主,表现为油气沿地层不整合面和砂岩上翘方向,由西南向东北运移到南八仙,由西北向东南运移到马海地区,并在第三系和基岩顶不整合面上开始聚集,运移距离相对较远,形成了以侧向运移到垂向运移的原生和次生油气藏。

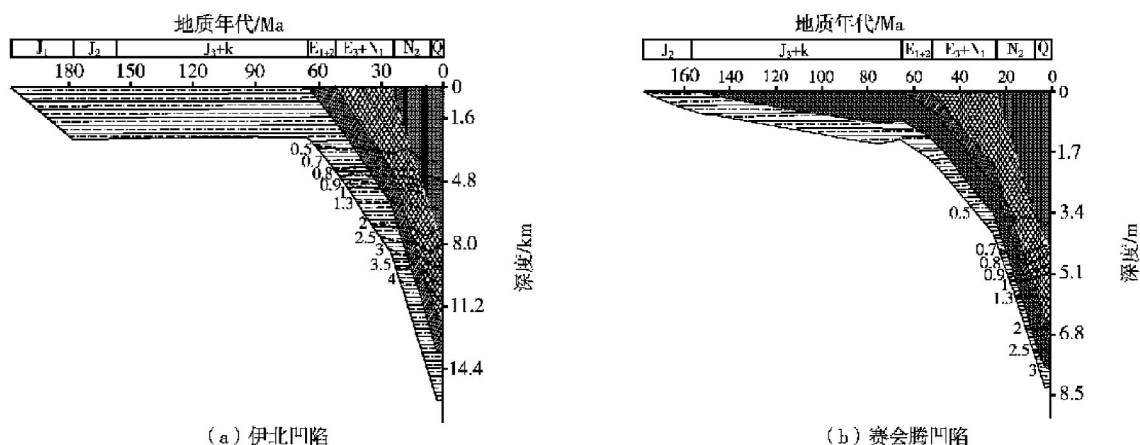


图5 柴北缘主要凹陷埋藏史、生烃史演化图

Fig. 5 Diagram showing evolution of burial history and hydrocarbon generating history of the major sags in the northern edge of Qaidam basin

3 成藏模式和过程

南八仙可划为深层油气藏和浅层油气藏,深层压力大,中浅层压力小。资料表明二者的油气是同源的。但是二者原油的成熟度差异很大,深层原油甾烷 $C_{29}20S/(20R+20S)$ 及 $C_{29}\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$

高达0.44~0.54和0.43~0.57,下限值达到异构化终点,说明烃源岩成熟度很高。而浅层原油二者比值为0.31~0.40和0.38~0.42,平均为0.368和0.399,成熟度较低。

南八仙油气藏的周缘现今找不到这种低熟烃源岩的生油凹陷。根据这个信息,结合南八仙构

造发展剖面(图6),采用油气运聚动态分析方法^[7],侏罗系烃源岩埋藏深度达到3 000~4 000 m,即渐新世末才能进入成熟期,与中浅层原油成熟度相当,但此时中、浅层上干柴沟组、下油砂山组地层尚未沉积,更谈不上成藏。南八仙是前中生界的古构造,渐新世末已形成较为完整的圈闭,加

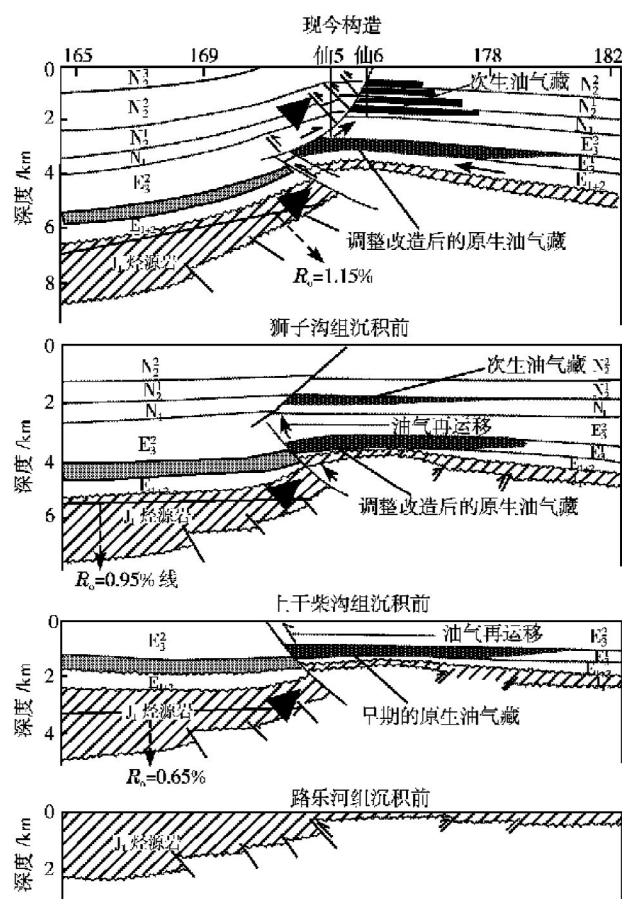


图6 柴北缘南八仙构造油气成藏过程和模式

Fig. 6 Process and pattern of oil and gas accumulation in Nanbaxian structure in northern edge of Qaidam basin

上下干柴沟组下段发育一套稳定的泥质岩区域盖层,此时,烃源岩处于生排烃高峰期,通过不整合面和断层,油气经过侧向到垂向聚集到早期圈闭中,因此,可以认为南八仙构造渐新世末即形成了成熟度较低的原生气藏。到了喜山末期,在原始构造的基础上,构造进一步隆起,并在浅部形成了滑脱逆断层,同时与深部断层相交,深部早期成藏的油气沿断层垂向二次运移,在浅部的上第三系形成次生气藏,这是南八仙浅部油气成熟度相对较低的直接原因。因此,南八仙浅层油气藏为早期排烃聚集,晚期次生成藏模式^[2,8]。

南八仙深层油气藏成熟度较高,虽然经历了喜山晚期的油气再运移,但周缘发育的巨厚烃源岩及较大的水动力条件为深层油气的进一步充注创造了条件。另外,深部存在的异常高压也为油气垂向运移提供了强大动力,如仙3井的油砂山组浅层油气藏压力仅8.3~9.1 MPa,仙4井上干柴沟组中部油气藏压力为20 MPa,深部的下干柴沟组下段油气藏压力达52~54 MPa。所以,南八仙深层下干柴沟组油气藏为油气长期充注,早期原生成藏模式。并由此形成在垂向上叠加的两种不同圈闭类型的油气藏。

南八仙深、浅层包裹体均一化温度存在明显差异^[1],上第三系为单峰特征,温度集中分布在65~85℃;下第三系为双峰特征,温度分布在75~90℃和100~115℃。包裹体组成中正构烷烃分布也具有上第三系单峰、下第三系双峰的特征,进一步证明下第三系(深层)为多期(至少两期)运移成藏,而上第三系(浅层)为晚期一次成藏。

综上所述,南八仙以至整个柴北缘的两大构造运动、两套断裂体系、两种圈闭类型形成了深浅两套性质不同的油气藏。马海-大红沟凸起区的一系列构造可分为两种,一种是在基岩隆起背景下形成的,侏罗系泥岩超覆或下干柴沟组下段泥岩披覆于基岩之上,如南八仙、马海、马北等构造,这类构造形成于燕山运动和喜山运动早期,改造于喜山晚期,其深层为原生气藏,浅层为次生气藏。另一种是绿南山前区的园丘、野马等构造,虽然有较厚的中生界、第三系沉积,但处于大的隆起背景之下,相对于周围凹陷区沉积明显要薄,同样是油气长期运移的指向区。因此该区的成藏条件具有多个生油凹陷、古凸起特征,只要有良好的储盖组合及运移通道,就能形成大规模的运移和油气藏^[9~12]。

4 有利勘探目标

4.1 绿南山前构造带

绿南山前构造带位于绿梁山山前绿南断层的西南侧,面积1 000 km²。包括小顶、平顶山、野马、园丘、小柴旦等局部构造,局部构造表现为受北倾断层控制的断背斜、断鼻。构造具有较好的继承性,从深层到浅层,构造的形态变化不大。构造走向呈“反S”北西-北北西展布,与绿梁山走向基本平行。

园丘、野马、园丘等构造地面出露油砂山组、

下干柴沟组,盖层相对缺乏。但马北3井揭示,在下干柴沟组下段存在泥岩盖层,且往东南方向侏罗系逐渐增厚,泥质岩盖层增多。马北3井基岩获得工业油流,绿梁山前基岩、尕中20井基岩出油,仙6、仙11井也获得工业气流,说明该区基岩油气藏具有很大的勘探前景。该带北靠鱼卡、南邻尕丘、东接小柴旦-红山等生油凹陷,绿南山前构造带是油气聚集很有利的构造带。

4.2 马海-黄泥滩构造带

马海-黄泥滩构造带位于凸起区中部,面积1 600 km²。包括马海、马北、古城丘、南、北、北极星、砂丘、南红沟、无柴沟、大红沟、黄泥滩等构造,凸起时间最早,构造应力集中,因而构造变形十分强烈,轴部地层剥蚀十分严重。以古凸起高点为界,南翼断层以北倾为主,北翼断层以南倾为主,形成了相向而倾的背冲断裂系统。构造轴向平行于构造主控断层呈北西向展布。马海西、马海北1和2号构造由于受马仙断层影响,构造轴向近乎平行于马仙断层,呈北东向展布。

该带北靠鱼卡、赛什腾凹陷,南邻北陵丘、陵南次凹,东北为尕丘次凹,东接小柴旦-红山等生油凹陷,古凸起特征十分明显,构造继承性强,埋藏浅,是油气聚集的有利场所。此外,马海构造的西南翼和东南翼的地层超覆油气藏也是今后勘探的重点目标。

4.3 南八仙-东陵丘背斜带

南八仙-东陵丘背斜带位于凸起区西南部,陵间断裂上盘,面积1 500 km²。包括南八仙、北陵丘、东陵丘三个构造。由于远离山前,构造活动相对较弱,与其他两个构造带相比,断裂发育较少,构造相对简单、完整。构造轴向平行于构造主控

断层,呈北西向展布。

该带西南靠伊北生油凹陷,东接凸起区陵南生油次凹。东陵丘、北陵丘构造与南八仙构造具有相同的构造背景和相似的构造演化特征,构造较为完整,储盖条件好,既可以形成下第三系原生油气藏。又可寻找上第三系次生油气藏,南八仙-东陵丘背斜带油气成藏条件优越。

参 考 文 献

- 1 高先志,陈发景.柴达木盆地北缘西段油气成藏机理研究[J].地球科学——中国地质大学学报,2002,27(6):757~762
- 2 高先志,陈发景.南八仙构造油气成藏模式及其对柴北缘勘探的启示[J].石油实验地质,2001,23(2):154~159
- 3 郑和荣,李铁军,蔡立国.中国中西部前陆冲断褶皱带油气地质条件及勘探建议[J].石油与天然气地质,2004,25(2):156~161
- 4 Allen M B, Vincent S J. Late Cenozoic tectonics of Kepingtage thrustzone: implications of the Tian Shan and Tarim Basin, northwest China[J]. Tectonics, 1999, 18(4): 639~654
- 5 Nishidai T, Berry J L. Structure and hydrocarbon potential of the Tarim Basin[J]. Journal of Petroleum Geology, 1990, 13(1): 35~38
- 6 庞雄奇,姜振学,李建青.油气成藏过程中的地质门限及其控制油气作用[J].石油大学学报,2000,24(4):53~57
- 7 赵重远,张小会,任战利.油气成藏动态预测[J].石油与天然气地质,2002,23(4):314~321
- 8 穆剑,汪立群.论柴达木盆地冷湖-南八仙构造带的含油气远景[J].石油学报,1999,20(2):18~22
- 9 陈振岩,吴文柱.辽河盆地东部凹陷幕式成藏特征[J].石油与天然气地质,2003,24(1):32~35
- 10 董月霞,周海民,夏文臣.南堡凹陷第三系层序地层与油气成藏的关系[J].石油与天然气地质,2003,24(1):39~41
- 11 张洪安,李继东.白庙构造油气成藏特征[J].石油与天然气地质,2003,24(1):45~49
- 12 罗家群.泌阳凹陷深层系油气成藏样式[J].石油与天然气地质,2003,24(1):55~57

《石油与天然气地质》再获殊荣

在2004年度中国石化集团公司科技期刊审读、评比中,《石油与天然气地质》继2001年之后,再次荣获中国石化集团公司科技期刊评比一等奖。

《石油与天然气地质》编辑部