

走滑断裂与盖层复合成藏模式

——以塔中东部中古51井区鹰山组为例

兰晓东^{1,2},吕修祥^{1,2},朱炎铭³,李世银⁴,谢恩⁴

(1. 中国石油大学 地球科学学院,北京 102249; 2. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室,北京 102249; 3. 中国矿业大学 煤层气资源与成藏过程教育部重点实验室,江苏 徐州 221008; 4. 中国石油 塔里木油田 勘探开发研究院,新疆 库尔勒 841000)

摘要:塔中地区东部中古51井区鹰山组碳酸盐岩油、气、水分布复杂。为探求鹰山组油气分布及成藏特征,通过对现有油、气、水勘探成果、断裂特征及储盖组合进行分析,应用常规测井、成像测井、地震及地化等多种方法开展研究。研究表明,该井区鹰山组储层以孔洞型和裂缝-孔洞型为主,沿不整合面层状分布。走滑断裂有着明显的控藏作用,油气井多分布在距离主干走滑断裂0.5~4.0 km范围内,产量随着离断裂距离的减少有增加的趋势;油气各地化性质距离走滑断裂也呈规律性的变化,呈现出“近断裂气远断裂油”的平面分布局面。良里塔格组良三一良五段联合鹰山组内部数套高阻层组成多套封隔盖层,垂向上多套储盖组合相互叠置,油气多层聚集。早期油藏受后期气侵影响,使得垂向上具有“上油下气”的特点。油气在盖层及走滑断裂的联合控制下,在有利的构造圈闭和岩性圈闭内成藏。

关键词:走滑断裂;盖层;油气成藏;鹰山组;中古51井区;塔中地区

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Hydrocarbon accumulation pattern jointly controlled by strike-slip faults and cap rocks: a case from Yingshan Formation in ZG-51 wellblock of eastern Tazhong area, Tarim Basin

Lan Xiaodong^{1,2}, Lü Xiuxiang^{1,2}, Zhu Yanming³, Li Shiyin⁴, Xie En⁴

(1. School of Earth Science, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, Beijing 102249, China; 3. Key Laboratory of Coalbed Methane Resources and Reservoir Formation Process, Ministry of Education, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China; 4. Exploration and Development Research Institute, Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla, Xinjiang 841000, China)

Abstract: Oil/gas/water distribution is complex in the marine carbonate reservoirs of the Yingshan Formation in ZG-51 wellblock of eastern Tazhong area. Based on analysis of the existing oil and gas exploration results, fault characteristics and reservoir-seal assemblage, we studied the oil/gas distribution and accumulation characteristics of the Yingshan Formation by using various data such as routine logging, image logging, seismic data and geochemical data. The reservoirs of Yingshan Formation in this wellblock are predominantly of vuggy type and fractured-vuggy type, and show quasi-layer distribution along unconformities. The strike-slip faults significantly controlled hydrocarbon accumulation. The distance between oil/gas wells and major strike-slip faults ranges from 0.5 to 4.0 km. The daily oil and gas output decreases away from the strike-slip faults. The geochemical behaviors of oil and gas also changes regularly with the distance to the strike-slip faults. In plane view, the gas reservoirs are near the faults, while oil reservoirs are far from these faults. The 3rd to 5th members of Lianglitag Formation as well as the high resistive intervals of the Yingshan Formation act as barriers. Vertically, multiple reservoir-seal combinations superimpose each other, resulting in oil/gas accumulation in multiple layers. The early oil pools were influenced by gas invasion in later stage, resulting in the vertical distribution characteristics of “upper oil and lower gas”. Hydrocarbons accumulated in favorable structural traps and lithologic traps under the jointly control of cap rocks and strike-slip faults.

Key words: strike-slip fault, cap rock, hydrocarbon accumulation, Yingshan Formation, ZG-51 wellblock, Tazhong area

作为全球油气勘探开发的重点靶区,碳酸盐岩油气藏储量较多,也是预测难度最大的油气藏^[1]。关于碳酸

收稿日期:2013-09-18;修订日期:2013-12-30。

第一作者简介:兰晓东(1984—),男,博士研究生,油气藏形成与分布。E-mail:lansecup@163.com。

基金项目:国家自然科学基金项目(41072102);国家科技重大专项(2011ZX05005-12HZ);中国石油大学(北京)博士生基础研究创新基金项目(2462013YXBS002)。

盐岩的研究越来越引起国内外学者和油气工业界的高度关注^[2-10],以期更好地认识碳酸盐岩及其油气分布机理。在我国中西部海相碳酸盐岩地层年代老、埋深大^[11-13],大都经历了多次构造运动的强烈改造作用和深部热液的叠加改造^[14-16],具有储层多样性、成岩演化复杂和非均质性强的特点^[17]。自 2004 年以来,塔中北斜坡奥陶系海相碳酸盐岩油气勘探取得了突破性进展,下古生界碳酸盐岩油气产量逐年递增,先后在鹰山组发现了中古 8 井区、中古 43 井区两个千亿方级大型凝析气田,探明了鹰山组层间岩溶 3 亿吨级凝析气田^[18]。勘探证实,塔中北斜坡鹰山组碳酸盐岩整体含油气,油气藏的分布受断裂、不整合、岩性和古地貌等多种地质因素的控制,没有明显边底水,为大型准层状、油气水分布复杂的非常规凝析气藏。然而随着勘探的进行,复杂的地质背景下油气藏的复杂性日益凸显。

1 地质背景

塔中隆起位于塔里木盆地中央隆起带上,现今呈现西北低,东南高的构造面貌,以中央断垒带为界分为塔中北斜坡及南斜坡。其中塔中北斜坡油气丰富,主要发育东北向的走滑断裂及北西向的逆冲断裂^[19]。中古 51 井区位于塔中北斜坡塔中 10 号构造带中东部

(图 1),是中古 43 井区大型凝析气藏的东延部分,北以塔中 I 号断裂为界,南以塔中 10 号断裂为界,东西以 F₁ 及 F₄ 走滑断裂为界。钻遇地层有新生界第四系、新近系、古近系,中生界白垩系、三叠系,古生界二叠系、石炭系、泥盆系、志留系、奥陶系,缺失侏罗系。目的层奥陶系,可细分为上奥陶统桑塔木组、良里塔格组及下奥陶统鹰山组、蓬莱坝组。桑塔木组岩性以深灰色泥岩、钙质泥岩为主,钻井厚度 206~829 m,可以作为良好的奥陶系碳酸盐岩盖层。良里塔格组可细分为 5 个岩性段(从上而下为良一段—良五段),厚度 384~641 m,自西向东有增厚的趋势。鹰山组均未钻穿,岩性总体上可以划分为灰岩类、白云岩类以及过渡类型,主要分为 4 段:鹰一段以亮晶(藻)颗粒灰岩为主;鹰二段以泥晶颗粒灰岩、泥晶灰岩、泥质灰岩为主;鹰三段以云质灰岩和泥晶灰岩互层发育为主;鹰四段以云质灰岩、灰质云岩、白云岩发育为主。自塔中 I 号断裂向塔中 10 号带,鹰山组地层逐渐尖灭,本井区自北而南剥蚀鹰一段及鹰二上亚段。

鹰山组发育的台地相碳酸盐岩^[20],自沉积后经历了中加里东期、晚加里东期、早海西等多期风化岩溶作用,加上碳酸盐岩成岩过程复杂,具有强烈的非均质性,致使储层发育十分复杂^[21-22]。与此同时,多期构造活动致使本地区断裂极其发育,鹰山组油气多期调

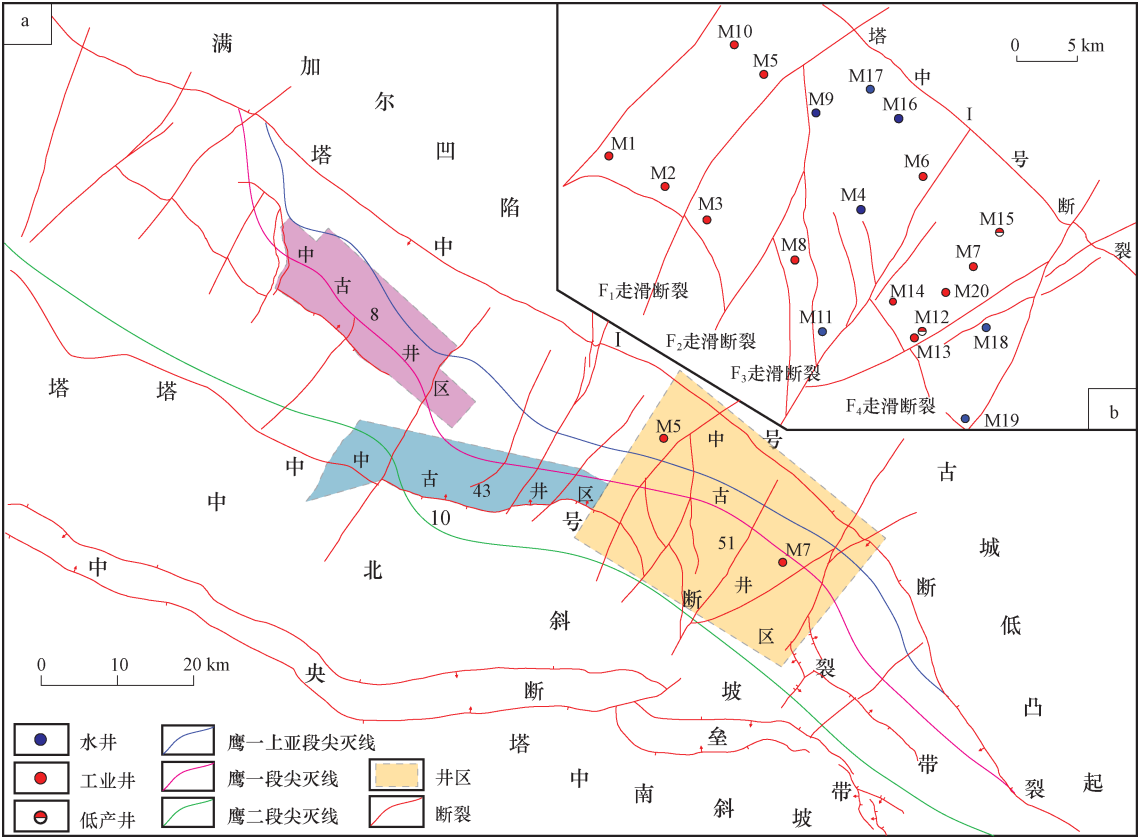


图 1 塔中地区中古 51 井区构造位置及地层展布情况
Fig. 1 Structure location and strata distribution of ZG-51 wellblock in Tazhong area
a. 塔中构造纲要及中古 51 井区位置;b. 中古 51 井区井位

整、改造,油气分布复杂,控制因素多样^[23-24],并不严格受构造控制。

2 储盖组合特征

2.1 储层特征

中古 51 井区奥陶系鹰山组钻井取心资料很少,成像测井表明碳酸盐岩储集空间类型主要有孔、洞、缝三大类。洞穴直径通常大于 500 mm,钻遇洞穴的井多出现大量泥浆漏失、钻具放空、溢流等工程异常(图 2)。其中 M9 井在井底 6 221.7~6 213.5 m,漏失 4.5 m³,M17 井在 6 375.5~6 389.4 m 井段漏失 125.2 m³,M5 井在 6 271.0~6 271.8 m 溢流 1.0 m³。根据孔、洞、缝组合特征可以把储层划分为孔洞型、裂缝型和裂缝-孔洞型。测井解释结果显示鹰山组洞穴型储层占 11.06%,孔洞型储层占 45.36%,裂缝-孔洞型储层占 33.95%,裂缝型储层占 9.63%,储集层以孔洞型和裂缝-孔洞型储层为主。

本井区鹰山组储层厚度较大,中古 51 井最厚达 80.3 m,其中 I 类储层厚 16.3 m,II 类储层厚 64 m,而测井解释孔隙度为 1.1%~10.7%,渗透率为 0.01×10⁻³~1.15×10⁻³ μm²。有效储层(有效孔隙度大于 1.8%,渗透率大于 0.01×10⁻³ μm²)厚度占到总厚度的 48%,主要分布在 5 089~5 122 m 和 5 163~5 250 m 两个深度范围内。上部主要为砂屑灰岩,受到

层间岩溶影响发育两套溶蚀洞穴型储层;下部储层为灰质云岩及云质灰岩类,孔隙较发育,主要类型为孔洞型。地震波阻抗连井剖面上(图 3),有效储层多分布在鹰二段上部,发育于不整合面以下 167 m 范围内,储层横向连续性好,呈准层状分布;纵向上储层分层叠置,间夹相对致密隔层。空间上裂缝、孔洞及洞穴相连,构成大型缝洞系统,成为油气储渗的关键。

2.2 盖层、隔层特征

鹰山组上覆良里塔格组三段一五段岩性较致密,主要岩性为泥晶灰岩、含泥灰岩,本身泥质含量较高,厚度较大(一般大于 200 m),在没有断层破坏的情况下,对鹰山组油气藏起到很好的封盖作用。

与此同时,鹰山组内部也存在数套单层厚度不大(几米至几十米)、岩性致密、电阻率较大(深、浅电阻率大于 1000 Ω·m)、渗透率低的非储集层,称之为高阻层^[25-28]。它们主要沉积在能量较低的潟湖或局限台地的滩间海,遭受风化后经历了强烈的致密化成岩作用,在裂隙不发育的条件下,形成具有封闭性能的封盖层。本井区高阻层以泥晶灰岩为主,其次为含云灰岩、含泥灰岩,3 套比较稳定发育,分别为鹰一上亚段高阻层、鹰二上亚段致密段及鹰二上亚段高阻层(图 2)。鹰一上亚段高阻层随着鹰一段自塔中 I 号断裂向中央断裂带尖灭,而鹰一下亚段还存在着 1~2 套不稳定的高阻层;鹰二上亚段存在着 3 套高阻层,推测鹰二下亚段至少存在 2 套。在垂向

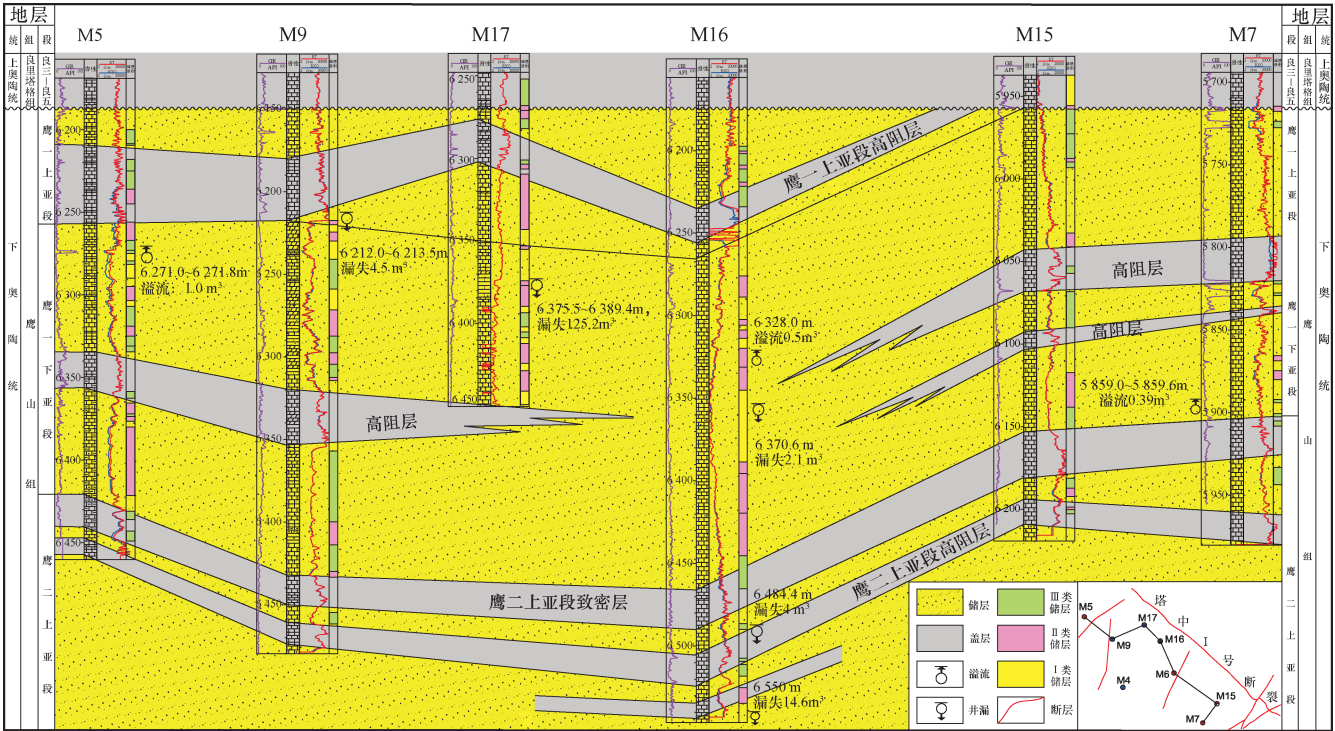


图 2 塔中地区中古 51 井区北段鹰山组储盖对比

Fig. 2 Correlation of reservoirs and cap rocks in the Yingshan Fm in ZG-51 wellblock of Tazhong area

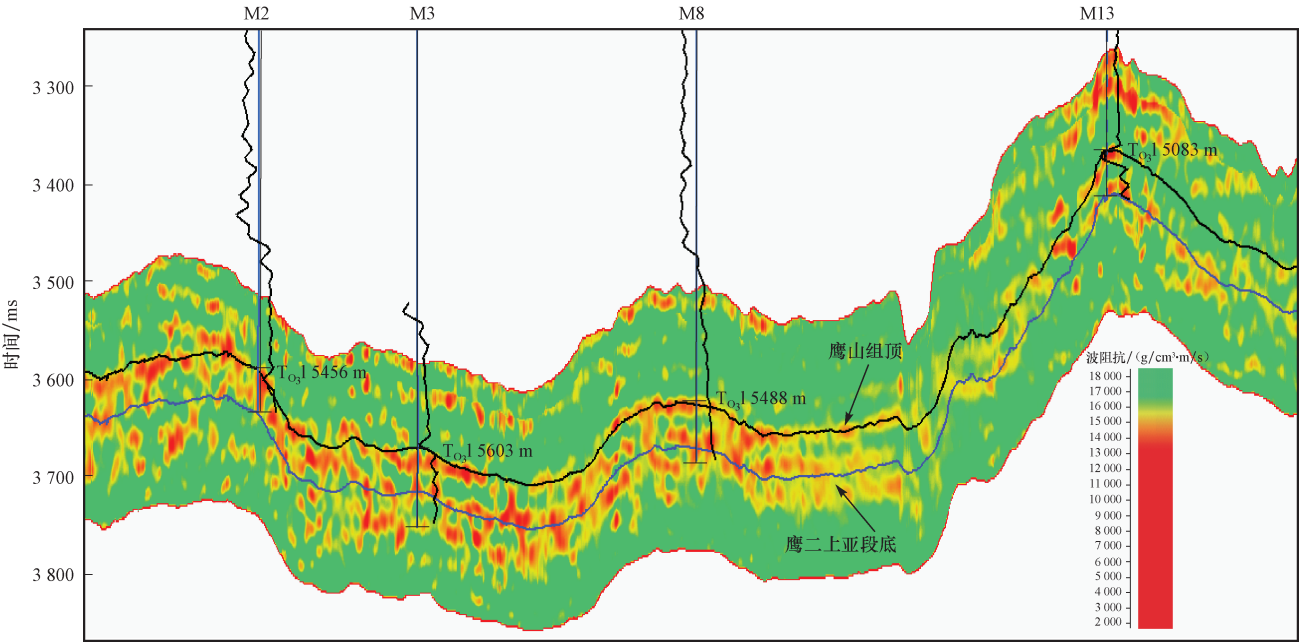


图 3 塔中地区中古 51 井区下奥陶统鹰山组波阻抗连井剖面(北西-东南向)

Fig. 3 Cross-well acoustic impedance section of Yingshan Formation in ZG-51 wellblock of Tazhong area (NW-SE)

上,数套储盖组合相互叠置,为多层油气聚集提供了条件。

3 走滑断裂及油气特征

3.1 走滑断裂特征

中古 51 井区被四条北东向走滑断裂所切割,分别为 F_1 、 F_2 、 F_3 及 F_4 走滑断裂(图 1),断裂极其发育。走滑断裂纵切塔中 I 号断裂,延伸至基底,垂向断距较小,一般在 50 ~ 200 m,断穿至石炭系底。剖面上走滑特征明显,具有海豚、丝带及花状识别标志;同时在靠近主干断层尾端即塔中 I 号断裂,发育一系列的 NNE 向的羽状断层,在剖面上呈

负花状构造样式(图 4a)。走滑断裂多为左行,水平位移量不等,左侧常发育“拉分地堑”,一般规模较小。如伴随 F_3 走滑断裂的中古 6 走滑拉分地堑,面积约 12 km²,形状近半羽毛状,拉开了塔中 10 号断裂带,在地震剖面及鹰山组顶面构造图都有良好的显示(图 4)。

3.2 油气特征

统计中古 51 井区 20 口钻井,其中 11 口工业油气井、2 口低产井、7 口水井。油气主要分布于良里塔格组良一—良三段及鹰山组,总体为凝析气藏局部油藏。天然气较重,一般相对密度 0.60 ~ 0.87,平均为 0.71;

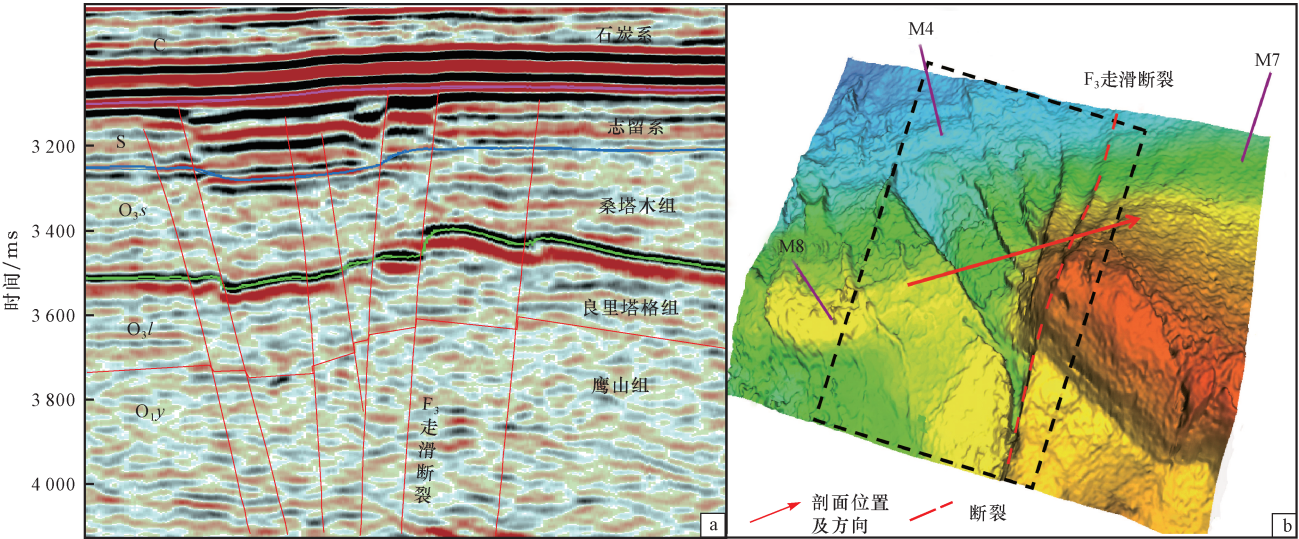


图 4 塔中地区中古 51 井区中古 6 走滑断裂拉分地堑

Fig. 4 ZG-6 pull-apart graben in ZG-51 wellblock of Tazhong area

a. 中古 6 拉分地堑剖面;b. 中古 51 井区鹰山组顶面构造

甲烷含量 65.7%~93.2%, 平均为 80.5%, 干燥系数为 0.89; 天然气非烃类含量较高, 普遍含 H_2S , 变化较大, 范围 1 000~410 000 mg/m^3 , 而二氧化碳 (平均 3.3%) 和氮气 (平均 3.5%) 与整个塔中地区天然气性质相近^[29]。天然气碳同位素很轻, 其中 $\delta^{13}C_2 < -28.8\text{‰}$, 来源于海相腐泥型母质^[30]。地面凝析油密度分布在 0.81~0.84 g/cm^3 (20℃), 平均 0.82 g/cm^3 ; 原油粘度 1.71~3.61 $mPa \cdot s$ (50℃), 平均 2.36 $mPa \cdot s$; 凝固点 -4~18℃, 平均 5.71℃; 含硫量 0.24%~0.51%, 平均 0.37%; 含蜡量 5.3%~22.2%, 平均 13.06%, 属于“低密度、低粘度、低-中含硫、高含蜡”的凝析油。

4 油气差异成藏特征

4.1 走滑断裂控制下的油气平面分布

虽然塔中地区油气源还存在着争议^[31-34], 但是北东向的走滑断裂形成早 (加里东中晚期), 长期发育, 且断至基底沟通下层寒武系-奥陶系的烃源岩^[35-37], 是有利的油气运移道。与此同时, 在走滑断裂附近以及走滑断裂与塔中 I 号断裂、塔中 10 号断裂交汇的地区, 裂缝更为发育, 能够形成重要的储集空间和流体渗流通道, 对鹰山组成藏起着至关重要的作用。经统计, 中古 51 井区油气主要分布在距走滑断裂 0.5~4.0 km

范围内 (图 5a), 并且随着距走滑断裂距离的减少, 油气产量有增加的趋势 (图 5b)。

同时, 油气各地化参数也随距离走滑断裂呈规律性变化 (图 6)。一般地, 走滑断裂附近天然气干燥系数数值较大, 由走滑断裂向两侧逐渐减小, 如 F_1 走滑断裂及 F_4 走滑断裂; 断裂附近气油比高, 沿着走滑断裂向两侧逐渐降低, 如 M13 井到 M14 井气油比从 6 565 降至 181, 再如 M5 到 M10 气油比从 2 913 降至 187, 呈现出“近断裂气, 远断裂油”的局面; 在 F_1 及 F_4 走滑断裂附近, H_2S 含量较高, M6 及 M9 井 H_2S 含量特别高达几十万 ppm, 推测是附近热液作用 TSR 作用强烈导致。总体而言, 走滑断裂作为油气运移通道对油气藏起着重要的控制作用。

走滑断裂形成的拉分地堑由于位于构造低部位, 除非有独立隔绝的缝洞系统, 否则油气难以在此聚集成藏。而实际勘探证实其以产水为主, 如中古 6 拉分地堑中的水井 M4, M11, M16 井等, 而在其四周相对高部位均获得良好的油气产能, 成藏条件相对有利, 如 M6 及 M14 井。

4.2 多级储盖组合控制下的分层聚集

塔中地区鹰山组层间岩溶发育, 形成一套沿不整合面分布的岩溶储层。而纵向上发育多套隔层, 储层被多套隔层所分隔, 而多期断裂又将其沟通, 形成了一

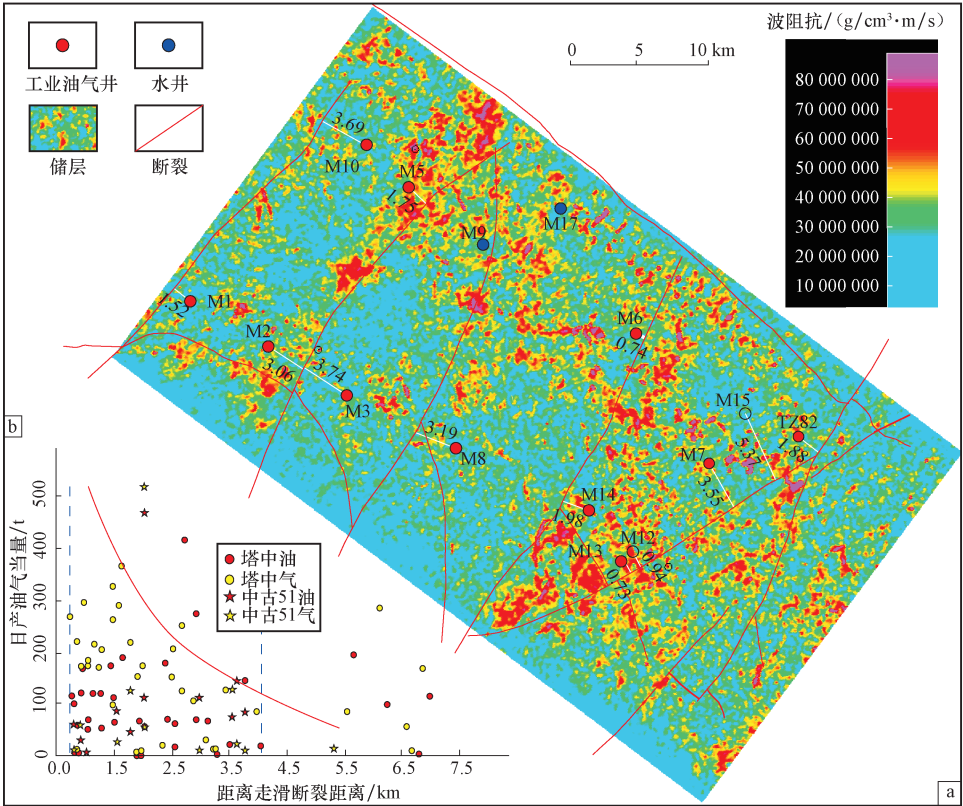


图5 中古 51 井区油气与走滑断裂关系

Fig. 5 Relationship between strike-slip faults and oil/gas distribution in ZG-51 wellblock

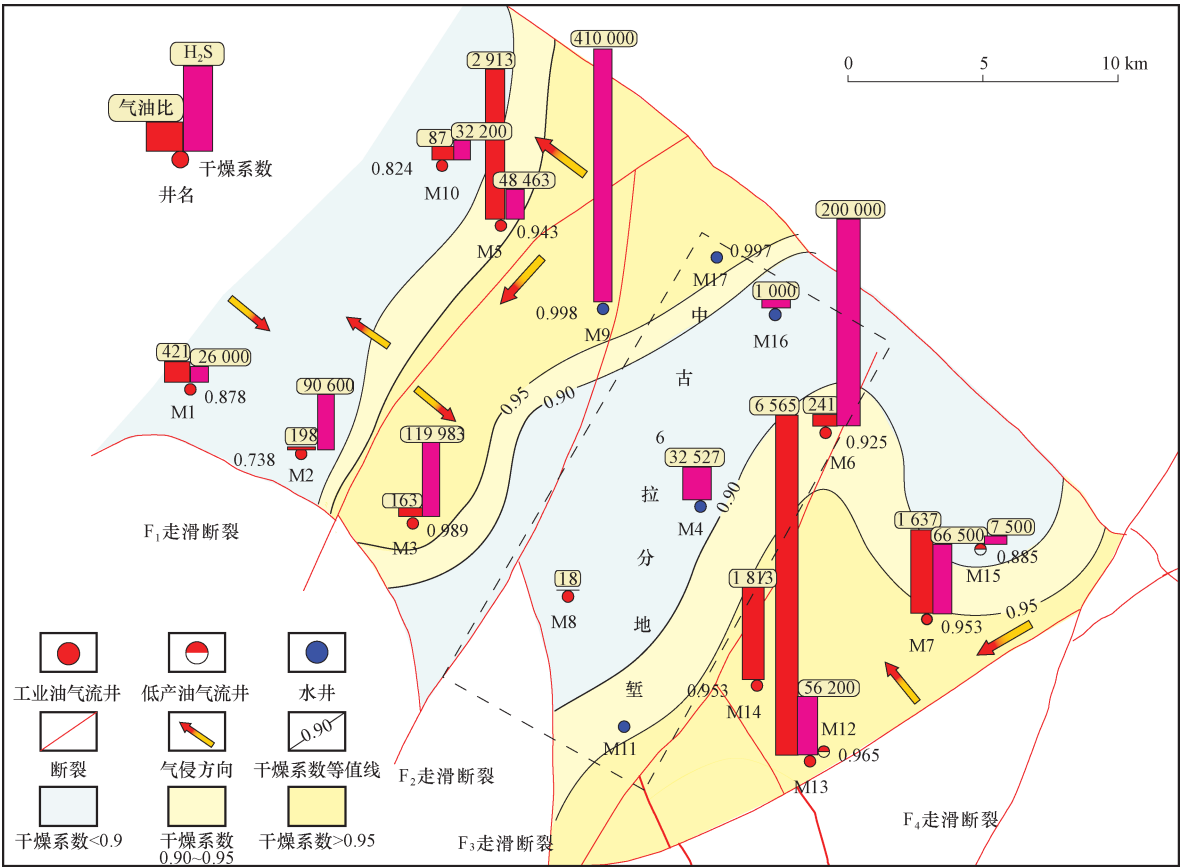


图 6 塔中地区中古 51 井区气油比、干燥系数及 H₂S 特征

Fig. 6 Characteristics of oil/gas ratio, dryness coefficient and H₂S in ZG-51 wellblock

个纵向上具有多层分布,又相互连通的复杂油气藏。如前所述,良三一良五段盖层在有断裂破坏的情况下,油气沿断裂向上运移至良里塔格组成藏,如 M8 井在良一、良二段获得工业油气流,M14 井在良 3 段获得油气流,M12 井在良一、良二段获得良好油气显示(图 7)。在北部靠近塔中 I 号带,良三一良五段联合鹰一段高阻层很好地封闭了油气,鹰一段储层获得了良好的工业产能,如 M10 和 M6 井;南部靠近塔中 10 号带,良三一良五段联合鹰二上亚段致密层段很好地封闭了油气,鹰二上亚段储层段为主力产层。与此同时,鹰山组高阻层在没有被断裂破坏的情况,起到很好的封盖油气作用,如 M13 井和 M12 井。其中 M13 井位于背斜轴部,断裂及裂缝较发育,鹰二上亚段致密段及良三一良五段被破坏,上层储层含水,而鹰二上亚段高阻层较完整,油气得以在其之下被封闭保存,呈现“下气上水”;而相邻 M12 井由于断裂切穿高阻层,油气沿断裂调整至良一、良二段,在桑塔木组遮盖下聚集成藏。

总之,本井区纵向上呈现多套储盖组合叠置,包括桑塔木组和良一—良二段储盖组合、良三段、良四—良五段和鹰一上亚段储层段储盖组合、鹰一上亚段高阻层与鹰一下亚段储层储盖组合、鹰二上亚段致密段和鹰二上亚段储层段储盖组合等,油气多层叠置聚集。

4.3 油气成藏模式

中古 51 井区鹰山组油气主要受盖层、高阻层及走滑断裂控制,成藏于构造圈闭和岩性圈闭内。在鹰一上亚段尖灭线以北地区,油气主要富集在良四—良五段之下的鹰一上亚段储层及鹰一上亚段高阻层之下的鹰一下亚段储层内,主要受构造部位的影响,如 M6 及 M16 井(图 7);在鹰一段尖灭线及鹰一上亚段尖灭线之间的地区,油气富集于良三一良五段盖层之下的鹰一下亚段储层段内,主要以岩性及披覆圈闭为主,如 M7 及 M15 井(图 8)。而在鹰一段缺失的塔中 10 号带,油气主要赋存在鹰二致密段之下的鹰二上亚段储层段内,受优质储层和局部构造控制,如中古 6 拉分地堑对油气富集不利,再如 M11 井构造位置较低存水;而在塔中 10 号构造带高点位置油气均较为有利,如 M1, M2 及 M14 井等。

多源多期油气充注导致油气水关系复杂,特别是喜山期大规模气侵更加剧了油气聚集的差异性。由于塔中油气藏具有多期成藏历史^[38-40],早期(加里东晚期—早海西早期、海西晚期)形成的是油藏,如塔中 10 号构造带上的 M1, M2, M3, M8 井可能大都保存为早期的油藏或是后期改造的油藏,气油比都很低;而晚期

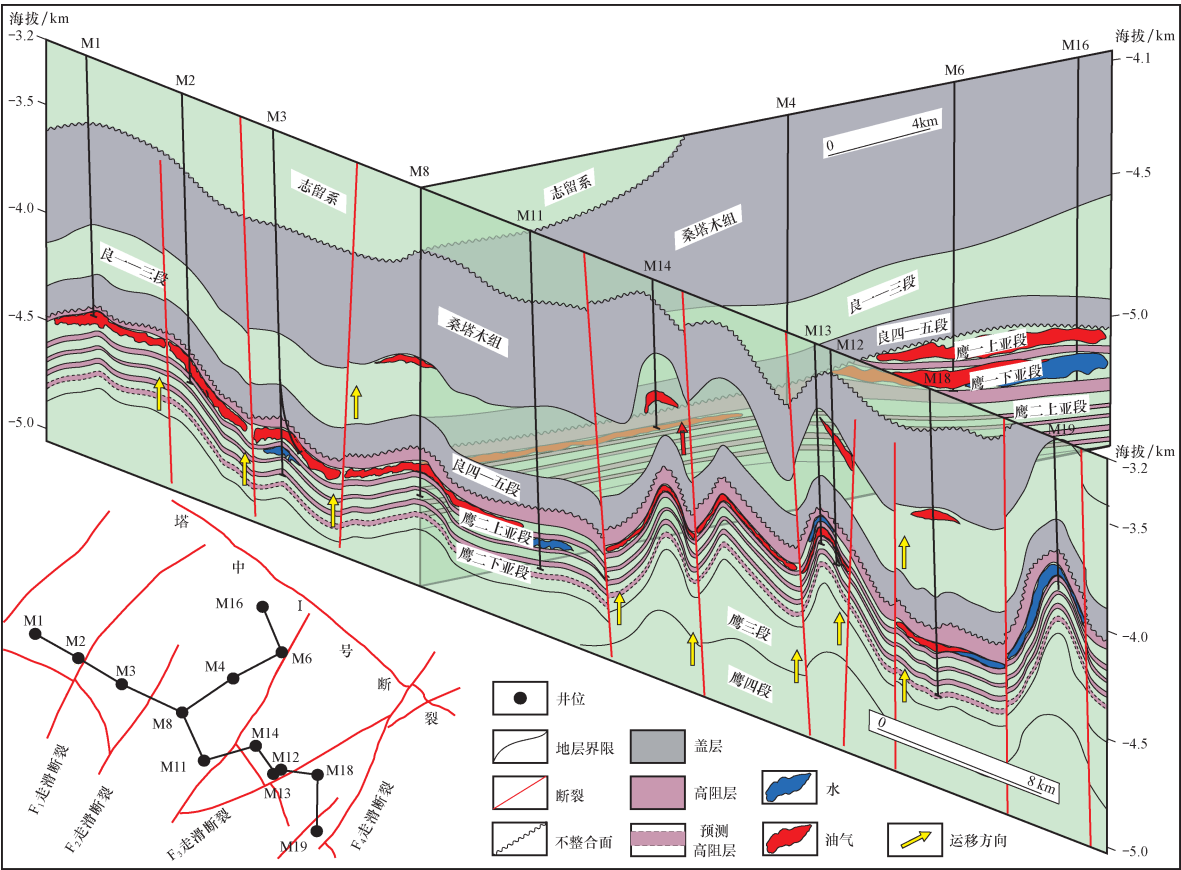


图 7 塔中地区中古 51 井区储盖组合及油气多层叠置图

Fig. 7 Reservoir-seal assemblage and superimposed multiple oil/gas reservoirs in ZG-51 wellblock

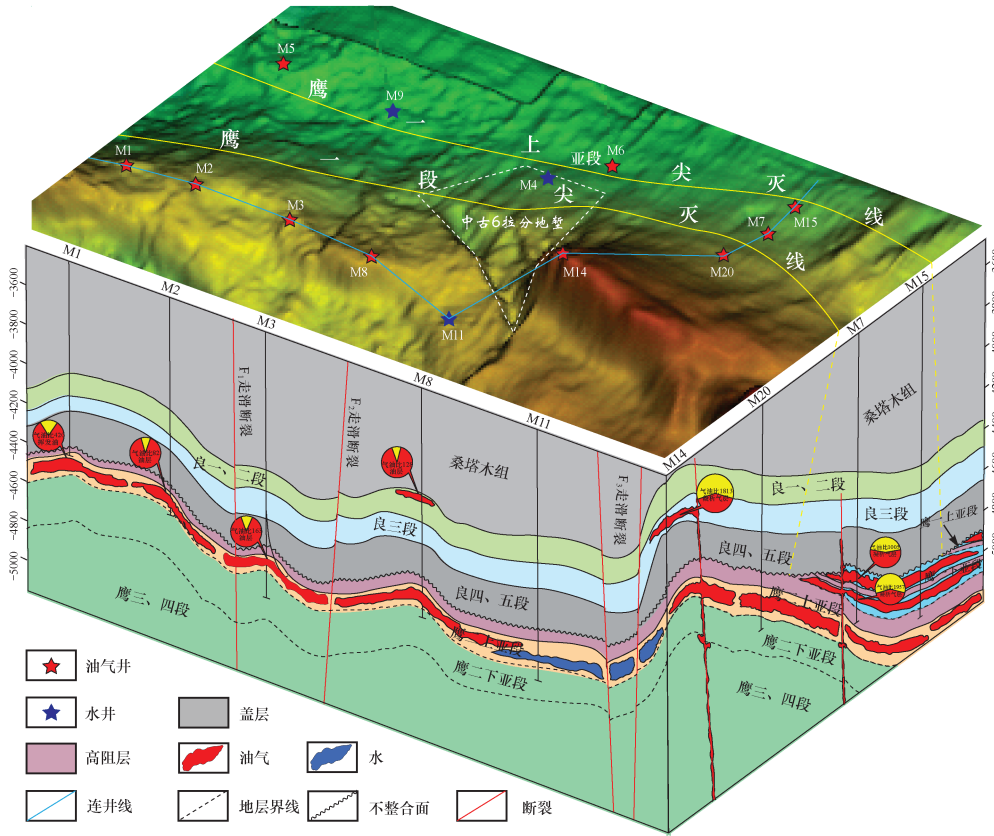


图 8 塔中地区中古 51 井区油气成藏特征

Fig. 8 Oil/gas accumulation characteristics of ZG-51 wellblock in Tazhong area

(印支期—喜马拉雅期)原油裂解气沿走滑断裂从下向上侵入,首先在下部储层中溶解聚集,过多的天然气注入使早期聚集的原油溶于气中,形成凝析气藏或干气藏;继续充注,气携带着轻质油突破隔层或沿缝洞向上运移,从而形成上部含较多溶解气的油藏。如 M15 井鹰二上段基本为纯气藏, M7 井在鹰一下亚段高阻层之下凝析气层气油比为 1 957,而在鹰一下亚段高阻层之上气油比为 1 005;又如 M5 井在鹰一下亚段储层为凝析气,气油比为 2 913, H_2S 量为 $48\ 463 \times 10^{-6}$,而临井 M10 井产层在鹰一上亚段为油藏,气油比为 187, H_2S 量为 $32\ 200 \times 10^{-6}$ 。一般地,中古 51 井区纵向上自下而上依次表现为气藏—凝析气藏—饱和油藏—油藏,具有“上油下气”的分布模式。

5 结论

1) 中古 51 井区储层呈准层状分布在不整合面以下 167 m 范围的层间岩溶带内,以孔洞型和裂缝—孔洞型储层为主。良里塔格组良三一良五段联合鹰山组内部数套高阻层,很好地封盖鹰山组油气,纵向上多套储盖组合叠置,在断裂沟通下油气多层聚集。

2) 井区内发育的 4 条走滑断裂及伴生断裂,可作为有利的油气运移通道。油气多分布在距离主干断裂 0.5~4.0 km 范围内,产量随着距离减少有增加的趋势;走滑断裂附近气油比、硫化氢和干燥系数均较高,沿着主干断裂向两侧降低,呈现出“近断裂气,远断裂油”的平面分布局面。

3) 鹰山组油气主要受盖层隔层及走滑断裂联合控制,聚集在有利的构造圈闭和岩性圈闭内。一般地,构造高点聚油气,构造低点存水,拉分地堑内多存水,四周高点聚油气;多期成藏特别是后期气侵致使垂向上具有“上油下气”的分布模式。

参考文献

- [1] 马永生. 中国海相碳酸盐岩油气资源、勘探重大科技问题及对策[J]. 世界石油工业, 2000, 7(2): 11–14.
Ma Yongsheng. Chinese marine carbonate oil and gas resource, major scientific and technological problems and countermeasures in exploration[J]. Petroleum Forum, 2000, 7(2): 11–14.
- [2] Al-Aasma I, Lonnee J, Clarke J. Multiple fluid flow events and the formation of saddle dolomite: examples from Middle Devonian carbonates of the Western Canada sedimentary basin[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2000, 69–70: 11–15.
- [3] Billi A, Salvini F. Fault-related solution cleavage in exposed carbonate reservoir rocks in the Southern Apennines, Italy[J]. Journal of Petroleum Geology, 2001, 24(2): 147–169.
- [4] Castillo M V, Mann P. Deeply buried, Early Cretaceous paleokarst terrane, southern Maracaibo Basin, Venezuela[J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(4): 567–579.
- [5] Cerepi A, Barde J P, Labat N. High-resolution characterization and integrated study of a reservoir formation: the Danian carbonate platform in the Aquitaine Basin (France) [J]. Marine and Petroleum Geology, 2003, 20(10): 1161–1183.
- [6] Ferrill D A, Morris A P. Fault zone deformation controlled by carbonate mechanical stratigraphy, Balcones fault system, Texas [J]. AAPG Bulletin, 2008, 92(3): 359–380.
- [7] Graham W B, Girdacea R, Mesonjesi A, et al. Evolution of fracture and fault-controlled fluid pathways in carbonates of the Albanides fold-thrust belt [J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(8): 1227–1249.
- [8] Lavoie D, Chi G X. The Lower Silurian Sayabec Formation in northern Gaspé: carbonate diagenesis and reservoir potential [J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 2001, 49(2): 282–298.
- [9] Leythaeuser D, Borromeo O, Mosca F, et al. Pressure solution in carbonate source rocks and its control on petroleum generation and migration [J]. Marine and Petroleum Geology, 1995, 12(7): 711–733.
- [10] Neilson J E, Oxtoby N H. The relationship between petroleum, exotic cements and reservoir quality in carbonates—a review [J]. Marine and Petroleum Geology, 2008, 25(8): 778–790.
- [11] 何治亮, 魏修成, 钱一雄, 等. 海相碳酸盐岩优质储层形成机理与分布预测[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(4): 489–498.
He Zhiliang, Wei Xiucheng, Qian Yixiong, et al. Forming mechanism and distribution prediction of quality marine carbonate reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(4): 489–498.
- [12] 金之钧. 中国海相碳酸盐岩系油气勘探特殊性问题[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 15–22.
Jin Zhijun. Particularity of petroleum exploration on marine carbonate strata in China sedimentary basins [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 15–22.
- [13] 邹才能, 陶士振. 海相碳酸盐岩大中型岩性地层油气田形成的主要控制因素[J]. 科学通报, 2007, 52(S1): 32–39.
Zou Caineng, Tao Shizhen. The main factors controlling the formation of the medium and large scale of lithostratigraphic oil/gas reservoir for marine carbonate rocks [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(S1): 32–39.
- [14] 贾振远. 论碳酸盐岩储集层(体) [J]. 海相油气地质, 2001, 6(4): 1–7.
Jia Zhenyuan. Carbonate reservoir [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2001, 6(4): 1–7.
- [15] 吕修祥, 杨宁, 周新源, 等. 塔里木盆地断裂活动对奥陶系碳酸盐岩储层的影响[J]. 中国科学(D 辑), 2008, 38(S1): 48–54.
Lü Xiuxiang, Yang Ning, Zhou Xinyuan, et al. Fault activity in the Tarim Basin affecting Ordovician carbonate reservoir [J]. Science in China (Series D), 2008, 38(S1): 48–54.
- [16] 吕修祥, 解启来, 杨宁, 等. 塔里木盆地深部流体改造型碳酸盐岩油气聚集[J]. 科学通报, 2007, 52(S1): 142–148.
Lü Xiuxiang, Xie Qilai, Yang Ning, et al. Deep hydrocarbon accumulation in fluid modified carbonate reservoir in the Tarim Basin [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(S1): 142–148.
- [17] 吕修祥, 金之钧. 碳酸盐岩油气田分布规律[J]. 石油学报, 2000, 21(3): 8–12.
Lü Xiuxiang, Jin Zhijun. Distribution patterns of oil-gas fields in the carbonate rock [J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(3): 8–12.
- [18] 周新源, 王招明, 杨海军, 等. 塔中奥陶系大型凝析气田的勘探和发现[J]. 海相油气地质, 2006, 11(1): 45–51.
Zhou Xinyuan, Wang Zhaoming, Yang Haijun, et al. Tazhong Ordovician condensate field in Tarim Basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2006, 11(1): 45–51.
- [19] 李本亮, 管树巍, 李传新, 等. 塔里木盆地塔中低凸起古构造演化与变形特征[J]. 地质论评, 2009, 55(4): 521–530.
Li Benliang, Guan Shuwei, Li Chuanxin, et al. Paleo-tectonic evolu-

tion and deformation features of the Lower Uplift in the Central Tarim Basin[J]. Geological Review,2009,55(4):521-520.

[20] 袁圣强,贾承造,高日胜,等. 塔中北斜坡中一下奥陶统碳酸盐岩沉积储层特征及地质模式[J]. 石油学报,2012,33(S1):80-88.

Yuan Shengqiang, Jia Chengzao, Gao Risheng, et al. Sedimentation characteristics and reservoir geological model of Mid-Lower Ordovician carbonate rock in Tazhong northern slope[J]. Acta Petrolei Sinica,2012,33(S1):80-88.

[21] 杨海军,韩剑发,孙崇浩,等. 塔中北斜坡奥陶系鹰山组岩溶型储层发育模式与油气勘探[J]. 石油学报,2011,32(2):199-205.

Yang Haijun, Han Jianfa, Sun Chonghao, et al. A development model and petroleum exploration of karst reservoirs of Ordovician Yingshan Formation in the northern slope of Tazhong palaeouplift[J]. Acta Petrolei Sinica,2011,32(2):199-205.

[22] 焦伟伟,吕修祥,周园园,等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层主控因素[J]. 石油与天然气地质,2011,32(2):199-206.

Jiao Weiwei, Lü Xiuxiang, Zhou Yuanyuan, et al. Main controlling factors of the Ordovician carbonate reservoirs in Tazhong area, the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology,2009,30(2):199-206.

[23] 韩剑发,于红枫,张海祖,等. 塔中地区北部斜坡带下奥陶统碳酸盐岩风化壳油气富集特征[J]. 石油与天然气地质,2008,29(2):167-188.

Han Jianfa, Yu Hongfeng, Zhang Haizu, et al. Characteristics of hydrocarbon enrichment in the Lower Ordovician carbonate rock weathering crust on the northern slope zone of Tazhong area[J]. Oil & Gas Geology,2008,29(2):167-188.

[24] 杨海军,韩剑发,陈利新,等. 塔中古隆起下古生界碳酸盐岩油气复式成藏特征及模式[J]. 石油天然气地质,2007,28(6):784-790.

Yang Haijun, Han Jianfa, Chen Lixin, et al. Characteristics and patterns of complex hydrocarbon accumulation in the Lower Paleozoic carbonate rocks of the Tazhong Palaeouplift[J]. Oil & Gas Geology,2007,28(6):784-790.

[25] 赵越,杨海军,刘丹丹,等. 塔中北斜坡致密碳酸盐岩盖层特征及其控油作用[J]. 石油与天然气地质,2011,32(54):890-908.

Zhao Yue, Yang Haijun, Liu Dandan, et al. Characteristics of tight carbonate cap rock and its control on hydrocarbon accumulation in the North Slope of Tazhong uplift[J]. Oil & Gas Geology,2011,32(54):890-908.

[26] 钱一雄,何治亮,陈强路,等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩封盖性能[J]. 石油与天然气地质,2012,33(1):1-9.

Qian Yixiong, He Zhiliang, Chen Qianglu, et al. Sealing capacity of the Ordovician carbonate rocks in Tazhong area, the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology,2012,33(1):1-9.

[27] 吕延防,付广,于丹. 中国大中型气田盖层封盖能力综合评价及其对成藏的贡献[J]. 石油与天然气地质,2005,26(6):742-745.

Lü Yanfang, Fu Guang, Yu Dan. Comprehensive evaluation of sealing ability of cap rock in China's large and medium gas fields and their contribution to gas accumulation[J]. Oil & Gas Geology,26(6):742-745.

[28] 胡国艺,汪晓波,王义凤. 中国大中型气田盖层特征[J]. 天然气地球科学,2009,20(2):162-166.

Hu Guoyi, Wang Xiaobo, Wang Yifeng. Cap rock characteristics of medium and large gas fields in China[J]. Natural Gas Geoscience,2009,20(2):162-166.

[29] 韩剑发,梅廉夫,杨海军,等. 塔里木盆地塔中奥陶系天然气的非烃成因及其成藏意义[J]. 地学前缘,2009,16(1):314-325.

Han Jianfa, Mei Lianfu, Yang Haijun, et al. Non-hydrocarbon origin of Ordovician natural gas in Tazhong of Tarim Basin and its implications for non-hydrocarbon accumulation[J]. Earth Science Frontiers,2009,16(1):314-325.

[30] 戴金星. 各类烷烃气的鉴别[J]. 中国科学,1992,(2):185-193.

Dai Jinxing. Identification of various alkane gases[J]. Science in China,1992,(2):185-193.

[31] 王招明,肖中尧. 塔里木盆地海相原油的油源问题的综合述评[J]. 科学通报,2004,49(S1):1-8.

Wang Zhaoming, Xiao Zhongyao. The sources of marine oils in Tarim Basin[J]. Chinese Science Bulletin,2004,49(S1):1-8.

[32] 张水昌,梁狄刚,黎茂稳,等. 分子化石与塔里木盆地油源对比[J]. 科学通报,2002,47(S1):16-23.

Zhang Shuichang, Liang Digang, Li Maowen, et al. Molecular fossil and source correlation in Tarim Basin[J]. Chinese Science Bulletin,2002,47(S1):16-23.

[33] 张水昌,王飞宇,张保民,等. 塔里木盆地中上奥陶统油源层地球化学研究[J]. 石油学报,2000,21(6):23-28.

Zhang Shuichang, Wang Feiyu, Zhang Baomin, et al. Middle-upper Ordovician source rock geochemistry of the Tarim basin[J]. Acta Petrolei Sinica,2000,21(6):23-28.

[34] 李素梅,庞雄奇,杨海军,等. 塔里木盆地海相油气源与混源成藏模式[J]. 地球科学,2010,35(4):1-11.

Li Sumei, Pang Xiongqi, Yang Haijun, et al. Generation, migration and accumulation model for the marine oils in the Tarim Basin[J]. Earth Science,2010,35(4):1-11.

[35] 李传新,王晓丰,李本亮. 塔里木盆地塔中低凸起古生代断裂构造样式与成因探讨[J]. 地质学报,2010,84(12):1727-1734.

Li Chuanxin, Wang Xiaofeng, Li Benliang. Paleozoic faulting structure styles of the Tazhong Low Uplift, Tarim Basin and its mechanism[J]. Acta Geologica Sinica,2010,84(12):1727-1734.

[36] 张承泽,于红枫,张海祖,等. 塔中地区走滑断裂特征、成因及地质意义[J]. 西南石油大学学报,2008,30(5):22-26.

Zhang Chengze, Yu Hongfeng, Zhang Haizu, et al. Characteristic, genesis and geologic meaning of strike-slip fault system in Tazhong area[J]. Journal of Southwest Petroleum University,2008,30(5):22-26.

[37] 邹光辉,成丽芳,刘玉魁,等. 塔里木盆地寒武—奥陶系走滑断裂系统特征及其控油作用[J]. 新疆石油地质,2011,32(3):239-243.

Wu Guanghui, Cheng Lifang, Liu Yukui, et al. Strike-slip fault system of the Cambrian-Ordovician and its oil-controlling effect in Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology,2011,32(3):239-243.

[38] 张鼎,田隆,邢永亮,等. 塔中地区奥陶系储层烃包裹体特征及成藏分析[J]. 岩石学报,2011,27(5):1548-1556.

Zhang Nai, Tian Long, Xin Yongliang, et al. Characteristic of hydrocarbon fluid inclusions and analysis of reservoir formation in Ordovician reservoir of Tazhong area, Tarim basin[J]. Acta Petrologica Sinica,2011,27(5):1548-1556.

[39] 赵宗举,周新源,范国章. 塔里木盆地塔中地区主要构造圈闭形成期分布及成藏意义[J]. 海相油气地质,2006,11(2):1-8.

Zhao Zongju, Zhou Xinyuan, Fan Guozhang. Dominant forming stages of structural traps in Tazhong area, Tarim Basin: distribution and implication for hydrocarbon accumulation[J]. Marine Origin Petroleum Geology,2006,11(2):1-8.

[40] 杨俊,姜振学,向才富,等. 塔里木盆地塔中 83—塔中 16 井区碳酸盐岩油气特征及其成因机理[J]. 石油与天然气地质,2012,33(1):101-110.

Yang Jun, Jiang Zhenxue, Xiang Caifu, et al. Carbonate reservoir characteristics and their genetic mechanisms in Tazhong 83-Tazhong 16 well block, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology,2012,33(1):101-110.