

塔中北斜坡奥陶系鹰山组碳酸盐岩高阻层分布特征及其意义

华晓莉^{1,2,3}, 罗春树⁴, 吕修祥^{1,2}, 于红枫⁴, 王 祥⁴, 张金辉³, 孙希家³, 华 侨⁵

[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. 中海石油(中国)有限公司 天津分公司, 天津 300452; 4. 中国石油 塔里木油田分公司 勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000; 5. 中国石化 胜利油田分公司 临盘采油厂, 山东 德州 251509]

摘要:塔里木盆地奥陶系油藏储集层具有很强的非均质性,其油气水分布规律复杂。综合钻井、录井、测井等资料对鹰山组高阻层段岩性、厚度进行了统计分析,并在此基础上根据单井柱状图建立了各井区及内外带的连井剖面图,总结了其分布特征规律。结果表明,鹰山组高阻层岩性主要为泥晶灰岩,且在成像测井图像上呈亮黄色成层性特征,空间上具有“横向分布不稳定,纵向叠置”的分布特征。通过实验手段对高阻层段岩石矿物铸体薄片进行鉴定,初步认为高阻层的成因机制主要包括机械-化学充填作用和大气降水选择性溶蚀作用。高阻层厚度与其下伏原油的物性、油气日产量及油气比显示出较好的相关性,即随着高阻层厚度增大,其下伏油气的日产量及油气比逐渐增大,而油气的密度及粘度却逐渐减小。高阻层对下伏油气的分布具有一定的控制作用。由此推断,鹰山组高阻层可以作为一套或多套隐蔽“盖层”,与下伏储层可能形成良好的“储-盖”组合配置关系。

关键词:高阻层;碳酸盐岩;鹰山组;塔中北斜坡;塔里木盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Distribution and significance of high-resistivity carbonates of Ordovician Yingshan Formation of northern slope of Tazhong area, Tarim Basin

Hua Xiaoli^{1,2,3}, Luo Chunshu⁴, Lü Xiuxiang^{1,2}, Yu Hongfeng⁴, Wang Xiang⁴, Zhang Jinhui³, Sun Xijia³, Hua Qiao⁵

(1. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. Tianjin Branch, CNOOC (China) Ltd., Tianjin 300452, China; 4. Petroleum Exploration and Development Research Institute, Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla, Xinjiang 841000, China; 5. Linpan Oil Production Plant, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dezhou, Shandong 251509, China)

Abstract: The Ordovician oil reservoirs in Tarim Basin are highly heterogeneous with a complex distribution pattern of fluids. Drilling data, mud logging and well logging data were integrated to analyze the lithology and thickness of high-resistivity layers in the Yingshan Formation. Well tie profiles of each wellblock and inner-outer zones based on single well histograms were generated and the distribution patterns of these high-resistivity carbonates were mapped. The lithology of high resistivity layers in the Yingshan Formation is mainly micritic limestone. They occur as layered bright yellow on imaging logs and show spatial distribution featuring in “lateral unstableness and vertical superimposition”. Examination of rock mineral cast thin sections of high resistivity layers indicates that the high resistivity layers were formed mainly by mechanical-chemical filling and selective dissolution by atmospheric water. In addition, the thickness of high resistivity layer correlate well with properties of oil in the underlying reservoir, daily oil/gas production and gas/oil ratio. With increasing thickness of high resistivity layer, daily oil/gas production and gas/oil ratio increase, while density and viscosity of oil decrease, suggesting that high resistivity layers could have a certain control on underlying oil and gas distribution. The high resistivity layers in the Yingshan Formation could act as a set or multiple sets of subtle local seals for the underlying reservoir.

Key words: high resistivity layer, carbonate rock, Yingshan Formation, northern slope of Tazhong area, Tarim Basin

收稿日期:2012-12-01;修订日期:2013-03-04。

第一作者简介:华晓莉(1988—),女,硕士研究生,油气藏形成与分布。E-mail:1412689683@qq.com。

基金项目:国家自然科学基金项目(41072102);国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2012CB214804);国家科技重大专项(2011ZX05008-003)。

众所周知,盖层是油气成藏必不可少的条件之一^[1-6]。随着油气勘探的深入以及大型油气田的发现,盖层的研究越来越受到广大学者的关注,盖层对油气运聚成藏的影响也越来越受到重视^[7-10]。勘探实践业已证明,泥岩可以作为有效盖层。关于碳酸盐岩能否充当盖层的相关文献较少,吕修祥^①等人研究认为致密碳酸盐岩也可以作为盖层^[11-12]。碳酸盐岩沉积之后,经过多次构造变动和多种、多期成岩作用的改造^[13-14],可形成孔、洞、缝为主的储集层,也可能形成致密层。

塔中地区奥陶系是塔里木盆地油气勘探的重点区域之一,目前已在奥陶统良里塔格组发现了亿吨级大型礁型油气藏,近三年以来又在下奥陶统鹰山组取得了较大的勘探突破^[15]。自2005年以来,塔中北斜坡在下奥陶统鹰山组碳酸盐岩中发现的油气,探明和控制储量达 1.28×10^8 t 油气当量。2006年,塔中83井在下奥陶统鹰山组获得重大发现,打开了下奥陶统岩溶风化壳领域勘探的新局面。下奥陶统鹰山组碳酸盐岩油藏是一个特殊的缝洞型碳酸盐岩油藏,储集体的空间分布受成岩、裂缝、地层分布、古地形、地貌、气候以及后期埋藏历史等因素影响,即一方面由于原始沉积的致密碳酸盐岩基质渗透性差,另一方面由于后期改造充填,使得鹰山组具有很强的非均质性,表现

为裂缝、溶洞的形态不规则、裂缝溶洞发育不均一、空间分布随机性大等特点^[16-18]。正是由于非均质性极强,在某些区块(中古8井区、中古5-中古7井区和中古43井区)鹰山组内部发现多套碳酸盐岩隔层,距鹰山组顶部不整合面40~200 m。目前关于这套隔层的分布特征及其与油气的关系鲜有报道,因此本文根据钻井、录井、测井等资料详细统计了鹰山组内部隔层的岩性及厚度,深入分析了鹰山组内部隔层的分布特征,并进一步探讨其与油气之间的关系,对深刻分析塔中地区油气成藏主控因素,归纳成藏模式及总结该区油气富集规律、指导油气勘探具有重要的现实意义。

1 区域地质概况

塔中低凸起位于塔里木盆地中部的沙漠腹地,构造上属于塔里木盆地中央隆起中段,北依塔中I号断裂与满加尔凹陷(北部拗陷)相邻,西部与阿瓦提凹陷、巴楚断隆相接,南与塘古孜巴斯凹陷(西南拗陷)成斜坡过渡关系^[19],东与塔东低凸起相接,整体呈西北-东南方向展布,自东向西呈指状分布,平面上形成明显南北分带的构造格局(图1),从北向南依次为:塔中I号断裂带、塔中北斜坡、塔中中部凸起和塔中南斜

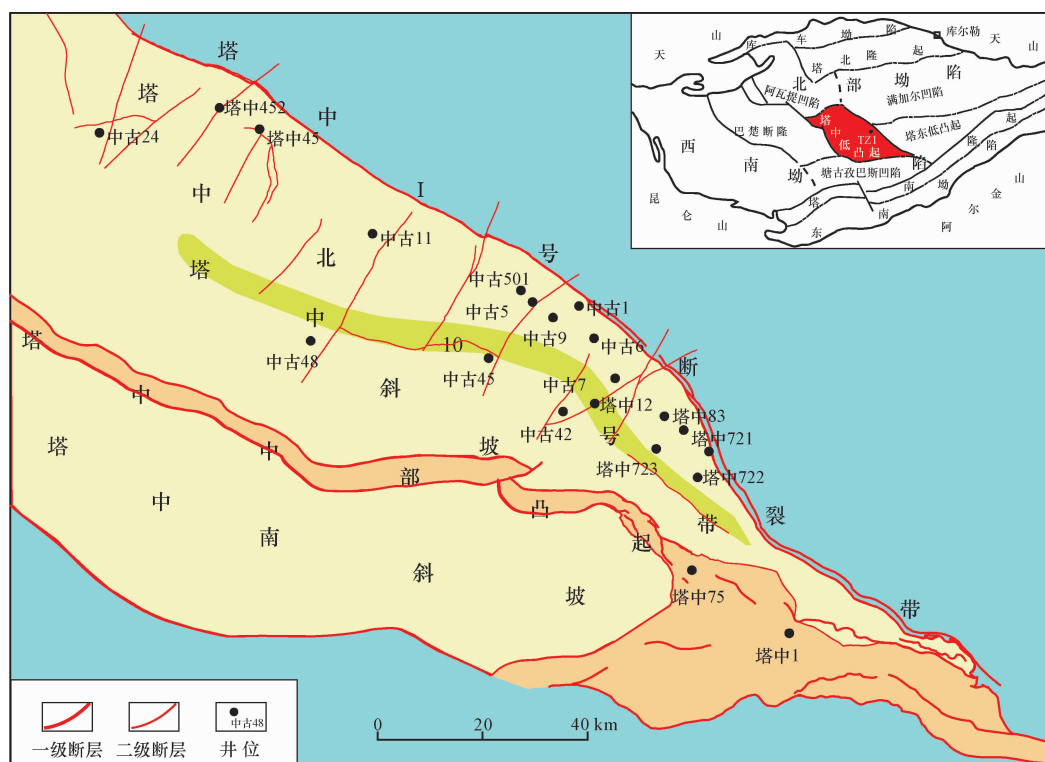


图1 塔中北斜坡构造位置

Fig. 1 Structural location of the northern slope of Tazhong area

① 吕修祥,于红枫,李素梅,等.塔中地区下奥陶统碳酸盐岩油气水分布规律研究.石油大学(北京),2011.

坡。塔中低凸起经历了塔里木、加里东、海西、印支、燕山、喜马拉雅运动的多期改造,其中最明显的是早奥陶世末的加里东早期、晚奥陶世末的加里东中期、志留期末期的加里东晚期、泥盆纪末的海西早期等构造运动^[20]。

该区断裂非常发育,可分为两期断裂体系,第一期为形成于加里东早期的塔中 I 号断裂和塔中 10 号逆冲断裂体系,呈北西-南东走向,断距大,延伸远,控制了塔中北斜坡构造的整体格局;第二期为海西期发育的北东-南西及近南北向的走滑断裂体系,进一步加深改造了塔中北斜坡的构造面貌^[21-23]。奥陶系自上而下发育桑塔木组、良里塔格组、鹰山组和蓬莱坝组,鹰山组与上覆良里塔格组之间呈角度不整合关系,与下伏蓬莱坝组整合接触。对于塔中地区奥陶系鹰山组,前人已做过很多研究,提出了鹰山组可细分为四段。由于在沉积过程中以及沉积后遭受过多次构造运动的改造,鹰一段在该区剥蚀殆尽,鹰二段只在北部的塔中 45 井区有残留,鹰三、鹰四段在区域上大面积分布,地层厚度变化较大,为 200~400 m^[23]。塔中地区下奥陶统鹰山组为一套巨厚的台地相碳酸盐岩沉积,岩性以微浅褐灰色泥晶灰岩和亮-砂晶灰岩为主,夹白云质灰岩。在暴露侵蚀、埋藏溶蚀、断裂活动、热液改造等作用下,其顶部发育大型岩溶风化壳,在不整合面之下 0~220 m 呈准层状分布,其内部发育多

套高阻层及良好的储集层,储集空间以溶蚀孔洞和裂缝为主。

2 高阻层特征

一般而言,致密碳酸盐岩基质不具有储渗意义,只能作为储集体(或储层)的封堵体(或隔层、夹层),分隔和遮挡各类储集空间^[24]。除此之外,岩溶缝洞储集体中的溶蚀孔、洞及裂缝被方解石、硅质等化学充填后,堵塞流体流动的渗流通道,形成了缝洞储集体内的渗流屏障,加剧了油藏内流体的分隔性和非均质性(图 2),因此被充填的渗流屏障可以作为缝洞储集体中的隔层。

通过所收集的录井资料观察发现,鹰山组内部存在多套致密岩层,结合微电阻率成像测井资料分析,这些致密岩层在双侧向电阻率曲线上表现出典型的高阻值($\geq 1\,000\ \Omega \cdot \text{m}$),远大于对应储层段的电阻率,在成像测井图像上显示出亮黄色特征。此外,在其他常规测井曲线上表现出以下几点特征(图 3):①自然伽马值极低,多小于 10API,为泥晶灰岩特征;②非渗透性明显,测井解释为渗透率极低的非储集层;③三孔隙度曲线为骨架值,与储层段和油气层测井响应特征差别明显。为了方便研究,我们将这几套致密岩层统称为“高阻层”。

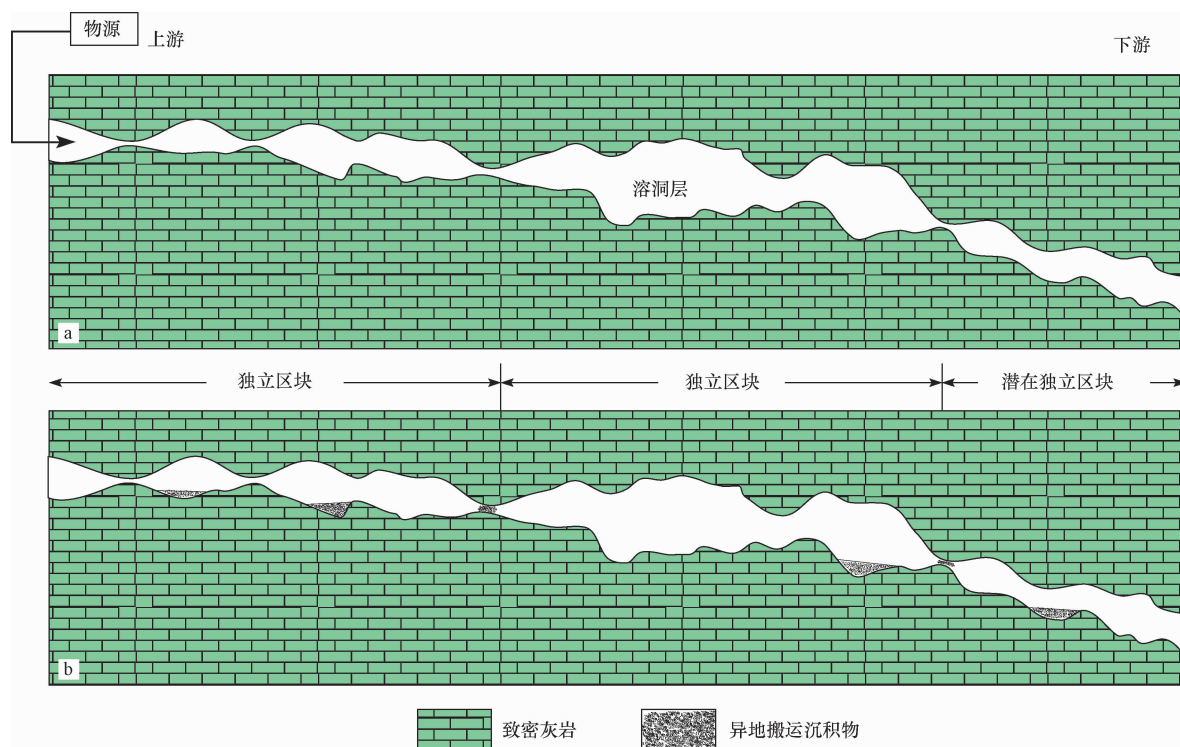


图 2 充填作用形成的缝洞型碳酸盐岩储层的渗流屏障^[24]

Fig. 2 Seepage barriers of fractured-vuggy carbonate reservoirs resulted from filling^[24]

a. 充填前的溶洞层为层状高连通;b. 充填后变为区块连通

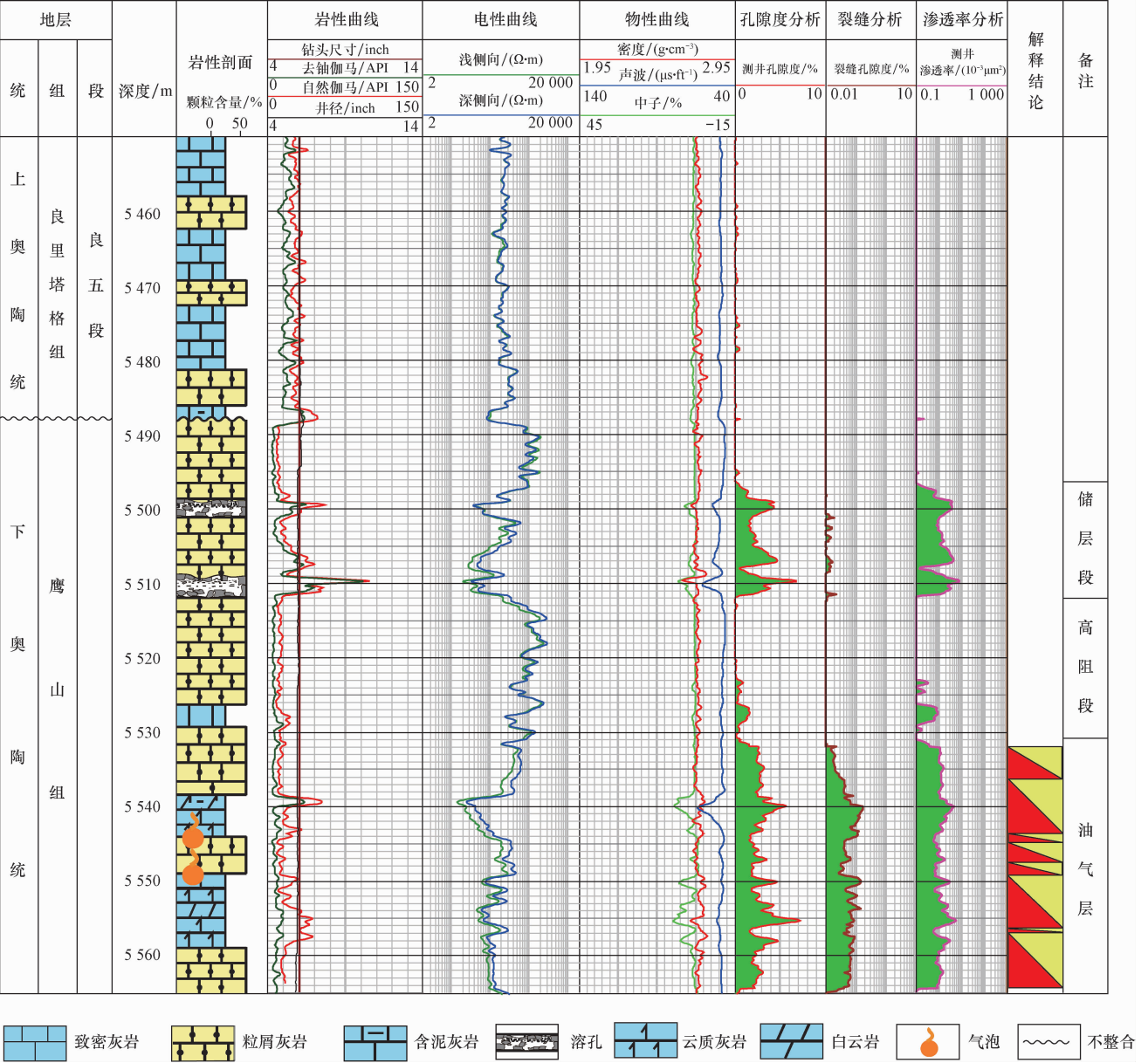


图 3 塔中北斜坡 X 井综合柱状图

Fig. 3 Synthetical columnar section of Well X on the northern slope of Tazhong area

3 高阻层空间分布特征及成因

3.1 岩性特征

通过统计 21 口井所钻遇的鹰山组高阻层岩性发现,高阻层以泥晶灰岩为主,其次为含云灰岩、粉晶灰岩、含泥灰岩、云质灰岩等(图 4)。中古 15 井西、中古 5-7 井区、中古 43 井区泥晶灰岩和含云灰岩所占比例较大,粉晶灰岩次之,且中古 15 西井区和中古 5-7 井区泥晶灰岩厚度自东向西呈逐渐减小的趋势,而中古 43 井区泥晶灰岩厚度则是自西向东逐渐减小;中古 8 井区泥晶灰岩和粉晶灰岩比例占明显优势,含云灰岩较少,泥晶灰岩厚度自东向西逐渐减薄。总体上,泥晶灰岩厚度分布在 40~100 m,大多数占整个高阻层

段的 60% 以上;含云灰岩厚度一般在 30 m 左右,占整个高阻层段的 30% 左右;粉晶灰岩厚度均在 10~50 m,在高阻层段所占比例较小,其他岩性厚度更小,所占比例也很小。

一般而言,结晶、致密岩石在成像测井上显示高阻亮色的特征,多数井的成像测井图像显示鹰山组内部夹多套高阻亮色岩层,具有明显的成层性,而且致密性好,与上下岩层特征区分明显(图 5)。Y 井钻遇鹰山组的深度段为 5 608~5 804 m,其试油测试段深度在 5 479.64~5 745 m,结合塔中高阻层测井响应特征,深度分别为 5 605~5 642 m,5 750~5 775 m 的岩层段电阻率值高且分布稳定,成像测井上显示出明显的亮黄色、较好的成层性和致密性特征,这可能是原始沉积的基质碳酸盐岩,而其深度段上、下的储层则颜色较高阻

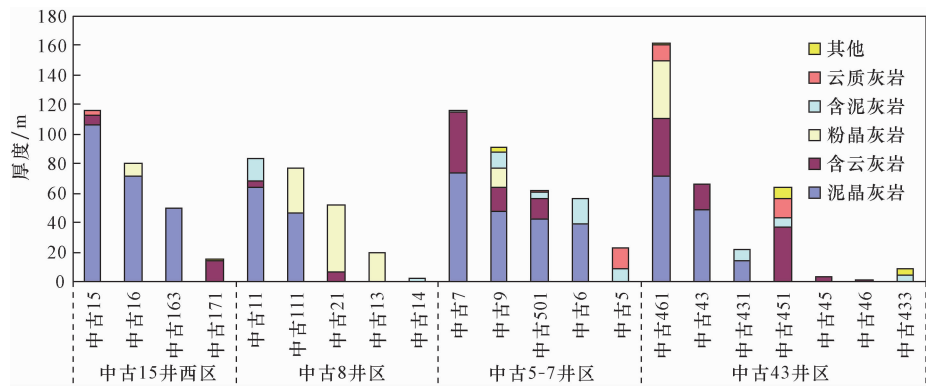


图 4 塔中北斜坡鹰山组高阻层不同岩性厚度分布柱状图

Fig. 4 Thickness histogram of high resistivity layers with different lithologies in the Yingshan Formation, the northern slope of Tazhong area

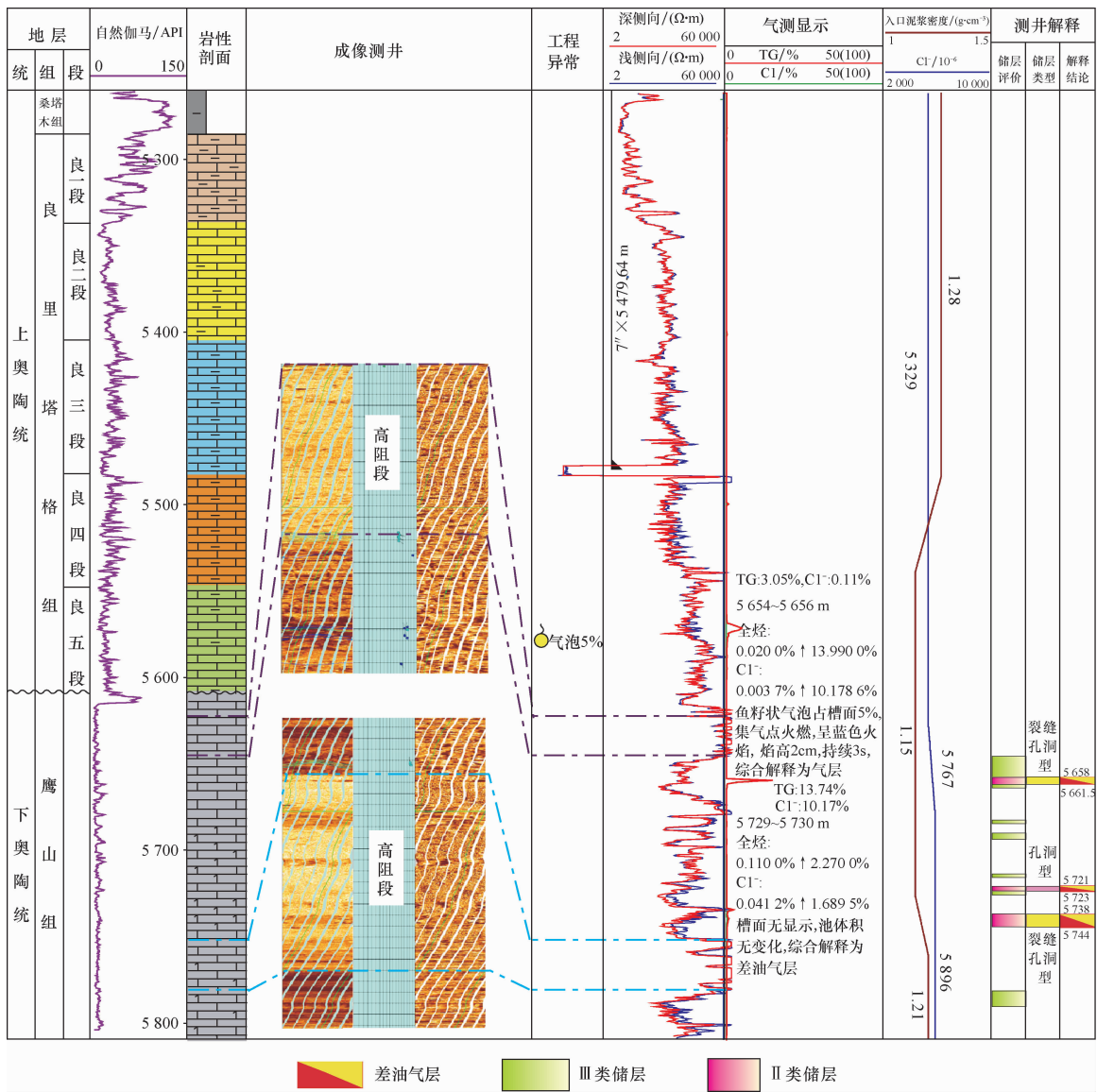


图 5 塔中北斜坡 Y 井成像测井图

Fig. 5 Image log of Well Y on the northern slope of Tazhong area

层暗,显示褐色甚至偏黑色,且成层性相对高阻层稍差。根据前人研究提出的观点^[25],泥晶灰岩在成像测井图像上具有很强的致密性、成层性,这也恰好验证了高阻层以泥晶灰岩为主的岩性特征。结合高阻层定义

及岩性统计分析,鹰山组高阻层非常致密且孔渗性极差,孔隙度一般在 0.1% 左右,对比盖层的相关特征^[26]试想鹰山组高阻层是不是可以作为“盖层”,起到封闭油气的作用呢?

3.2 空间展布特征

依据岩性特征、测井曲线特征的相似性,鹰山组高阻层在连井剖面图上的分布表明,平面上,外带中古15西井区、中古8井区和中古5-7井区高阻层具有明显的分段性,连续性较差(图6),纵向上,各井区均分布有多套高阻层,靠近I号断裂带即外带中部(中古8、中古10井区)高阻层厚度较大,且主要集中在鹰山

组上部,东部(中古5-7井区)和西部(中古15西井区)高阻层相对较薄,中古15西井区高阻层主要集中在鹰山组中下部,而中古5-7井区则主要集中分布在鹰山组上部;远离I号断裂带即内带(中古43井区)厚度明显大于外带,且连续性较好,在鹰山组上中下部均有分布(图7)。根据我们所统计的各井区鹰山组高阻层的厚度,外带中古15西井区高阻层厚度主要分布在100 m左右,中古8、中古10井区高阻层厚度主要分

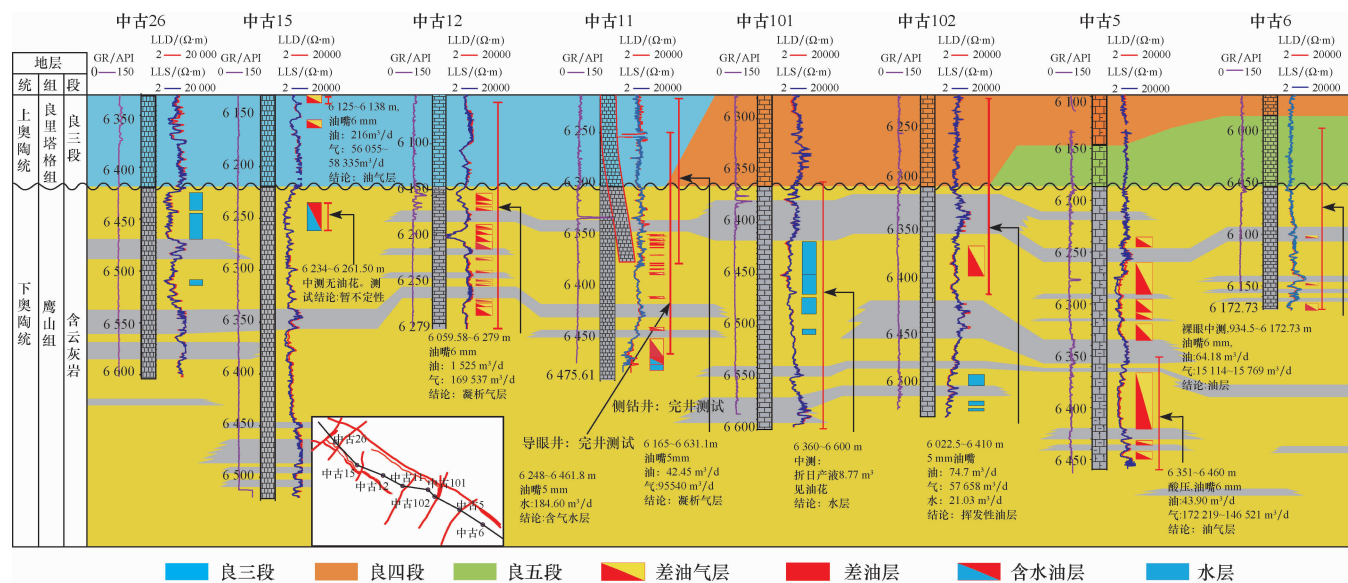


图6 塔中北斜坡外带高阻层连井剖面

Fig. 6 Cross-well section showing the high resistivity layers in the outer zone, northern slope of Tazhong area

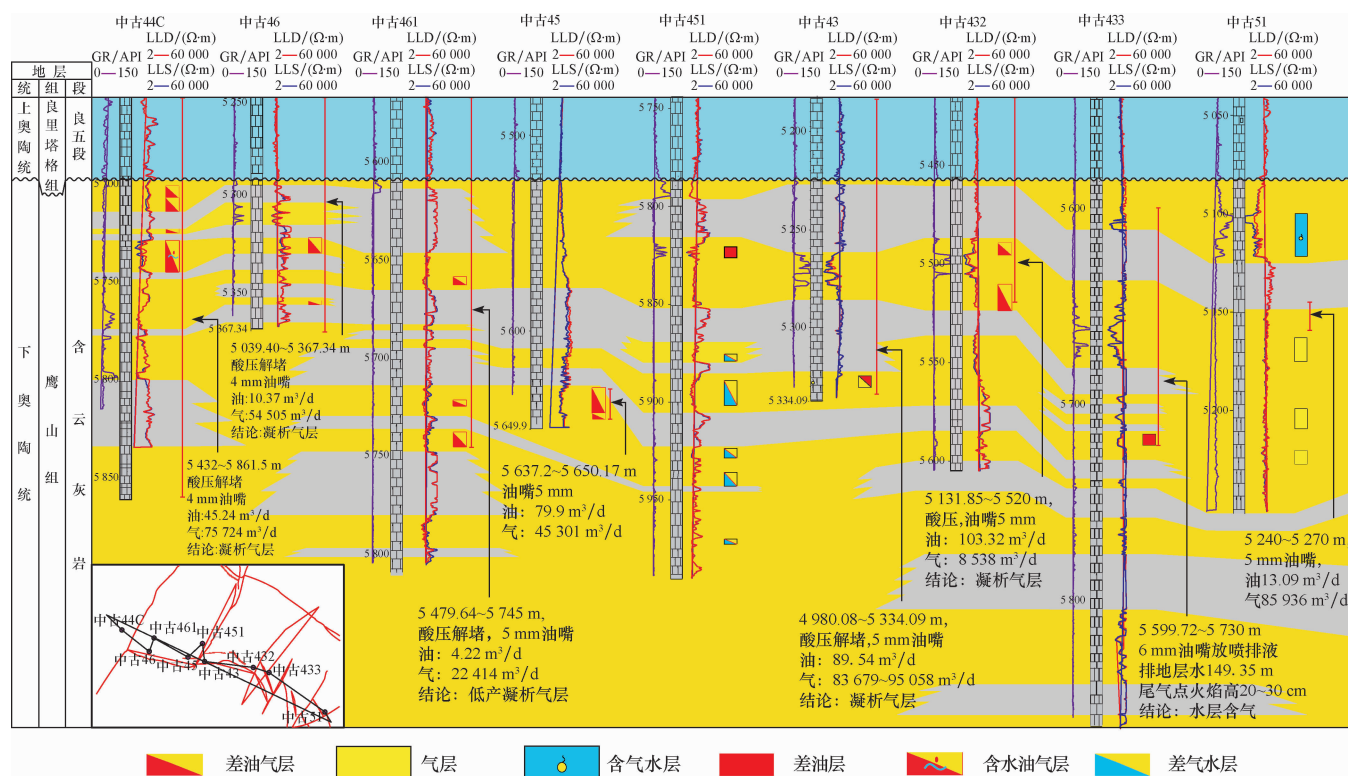


图7 塔中北斜坡内带高阻层连井剖面

Fig. 7 Cross-well section showing the high resistivity layers in the inner zone, northern slope of Tazhong area

布在 50 ~ 80 m, 中古 5-7 井区高阻层厚度主要分布在 50 ~ 120 m, 内带中古 43 井区高阻层厚度变化较大, 最大可达 200 多米, 且在各深度段都有分布, 且分布比较密集, 尤其是中古 461 井、中古 43 井、中古 433 井高阻层厚度特别大。整体上, 塔中北斜坡鹰山组内部至少分布有两套或两套以上的高阻层, 高阻层横向上分布不稳定, 纵向上构成了多套叠置关系。

众所周知, 塔中奥陶系鹰山组储层具有“横向连片, 纵向叠置”的分布特征^[27-28], 然而据上面分析得出鹰山组高阻层具有“横向分布不稳定, 纵向叠置”的分布格局。鹰山组内部高阻层与储层的这种分布特征, 很可能构成良好的空间配置关系, 形成一套或多套储盖组合。

3.3 成因初探

结合塔中北斜坡鹰山组高阻层岩性及岩石矿物铸体薄片分析, 初步认识高阻层有两方面的成因。一方面是由于机械-化学沉积充填作用形成了致密的高阻层段, 碳酸盐岩成岩阶段后期改造强烈, 碳酸盐岩储集空间的形成就是溶蚀作用和充填作用相互作用的结果^[29-30]。鹰山组顶面出露地表遭受风化淋滤作用, 内部形成了大小不一的溶孔溶洞, 其中部分可能后期被风化壳期机械沉积的泥质物充填, 还有化学沉积形成的方解石等一些高阻矿物充填(图 8), 溶洞减小甚至被完全充填, 形成了致密的高阻段。另一方面的成因是大气降水选择性溶蚀作用, 与储层成因机制类似, 只是溶蚀程度不同导致储层与高阻层形成的差异性。一般来说, 一个发育完整的岩溶序列自上而下分为表层岩溶带、垂直渗流带、水平潜流带和深部缓流带^[31], 而在垂直渗流带和水平潜流带之间存在一个过渡段, 溶蚀作用较弱, 下部水平潜流带则发生了很强的水平溶蚀作用, 形成很好的储集空间, 在未接受或接受了很弱溶蚀作用的层段, 仍然是碳酸盐岩基质, 渗透性差, 致

密性好, 且高阻层岩性以泥晶灰岩为主, 前面已提及致密、结晶岩石在成像测井上显示了高阻亮色的特征, 因此在后期改造剧烈的条件下, 选择性溶蚀作用也可能是高阻层形成机制之一。总体上, 据目前分析, 塔中北斜坡鹰山组内部高阻层成因机制主要包括机械-化学充填作用和大气降水选择性溶蚀作用。

4 高阻层对油气聚集的影响

根据塔中北斜坡各井区鹰山组内部有油气显示井的资料, 统计了与油气相关的高阻层厚度, 发现高阻层厚度与其下伏油气的物性、产能存在一定的相关性。高阻层厚度与其下伏油气的密度、粘度之间的散点图显示(图 9a, b), 随高阻层厚度增大, 其下部油气的密度及粘度呈递减的趋势; 然而高阻层厚度与其下部油气的日产量、气油比之间的散点图显示, 随高阻层厚度增大, 其下部油气的日产量及气油比呈递增的趋势(图 9c, d)。根据统计的结果, 中古 5-7 井区, 其与油气相关的高阻层厚度最大, 故相应的油气密度和粘度最低, 日产油气的气油比最高, 这与按录井资料统计的结果是一致的, 由此可见, 高阻层厚度对其下伏油气具有一定的控制作用。结合高阻层段的岩性特征、成像测井资料以及空间展布特征, 高阻层与下伏油气层在空间上构成了良好的储“盖”组合配置关系, 进而对其下伏油气起到一定的封盖作用。

5 结论

1) 塔中北斜坡奥陶系鹰山组内部高阻层岩性以泥晶灰岩为主, 其次为含云灰岩和粉晶灰岩, 成像测井图像表现为亮黄色、致密成层性特征。区域上, 内、外带鹰山组内部至少分布有两套或两套以上高阻层, 且内带高阻层总厚度大于外带, 整体上构成“横向分布不

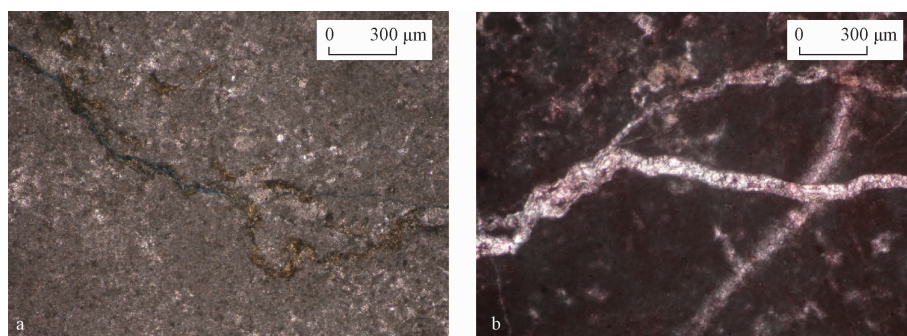


图 8 塔中北斜坡鹰山组高阻层代表井岩心铸体薄片

Fig. 8 Cast thin sections of cores from the high resistivity layers of the Yingshan Formation in representative wells on the northern slope of Tazhong area

a. 中古 41 井, 5 602.74 m, $\times 5$ (单偏光) 泥晶灰岩, 弱重结晶, 缝合线发育局部泥质充填;

b. 塔中 79 井, 4 939.5 m, $\times 5$ (单偏光) 泥晶灰岩, 裂缝发育, 但多被方解石充填

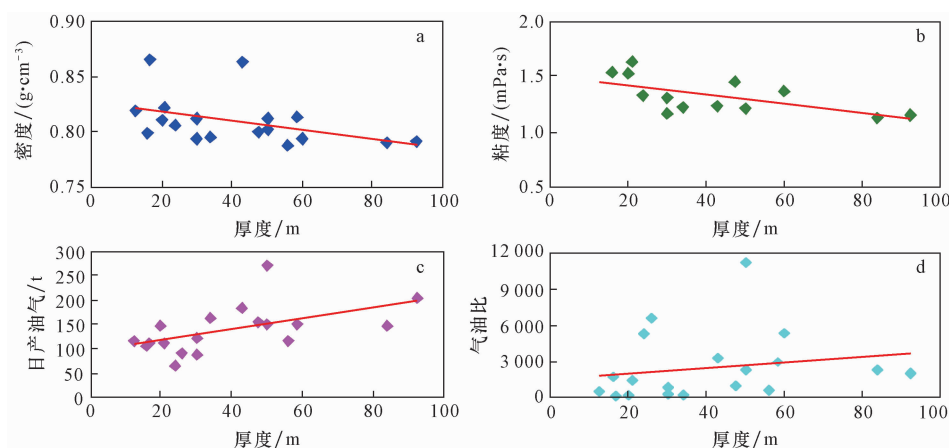


图9 塔中北斜坡高阻层厚度与原油性质、油气日产量、气油比关系散点图

Fig. 9 Scatter diagrams showing the relations of the thickness of high resistance layers to the properties of crude oil, daily oil/gas production and gas/oil ratio on the northern slope of Tazhong area

稳定,纵向叠置”的分布格局,此外,高阻层的成因机制初步认为有两个方面,一是机械-化学充填作用,二是大气降水选择性溶蚀作用。

2) 高阻层的纵横向展布与其下伏储层相得益彰,且高阻层厚度与油气物性、产量、气油比之间的相关性表明高阻层对下伏油气具有一定的封盖作用,推断鹰山组内部高阻层可以作为一套隐蔽的“盖层”,与下伏储层构成良好的储“盖”组合配置关系,这对进一步认识该区油气富集规律及油气勘探前景具有重要的现实意义。

参考文献

- [1] 吕修祥,周新源,李建交,等. 塔里木盆地塔北隆起碳酸盐岩油气成藏特点[J]. 地质学报,2007,81(8):1057-1064.
Lü Xiuxiang, Zhou Xinyuan, Li Jianjiao, et al. Oil and gas accumulation characteristics of carbonate rock of Tabei uplift in Tarim Basin [J]. Journal of Geology, 2007, 81(8): 1057-1064.
- [2] 吕修祥,白忠凯,赵风云. 塔里木盆地塔中隆起志留系油气成藏及分布特点[J]. 地质前缘,2008,15(2):156-166.
Lü Xiuxiang, Bai Zhongkai, Zhao Fengyun. Oil and gas reservoir forming and distribution characteristics of Silurian in Tazhong uplift of Tarim Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(2): 156-166.
- [3] 吕修祥,胡轩. 塔里木盆地塔中低凸起油气聚集与分布[J]. 石油与天然气地质,1997,18(4):288-309.
Lü Xiuxiang, Hu Xuan. Oil and gas accumulation and distribution in Tazhong low uplift of Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(4): 288-309.
- [4] 刘克奇,金之钧,吕修祥,等. 塔里木盆地塔中低凸起奥陶系碳酸盐岩油气成藏[J]. 石油实验地质,2004,26(6):531-536.
Liu Keqi, Jin Zhijun, Lü Xiuxiang, et al. Oil and gas reservoirs of carbonate of Ordovician in Tazhong low uplift of Tarim Basin [J]. Petroleum Geology and Experiment, 2004, 26(6): 531-536.
- [5] 赵宗举,李宇平,吴兴宁,等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系特大型岩性油气藏成藏条件及勘探潜力[J]. 中国石油勘探,2004,5:12-21.
Zhao Zhongju, Li Yuping, Wu Xingning, et al. The giant lithologic oil and gas reservoir forming conditions and exploration potential of Ordovician in Tazhong area of Tarim Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2004, 5: 12-21.
- [6] Lash G. Top seal development in the shale-dominated Upper Devonian Catskill Delta Complex, western New York State [J]. Marine and Petroleum Geology, 2006, 23: 317-335.
- [7] 游秀玲. 天然气封盖层评价方法探讨[J]. 石油与天然气地质, 1991, 12(3): 1-10.
You Xiuling. A study of evaluation methods of cap rock in sealing gas [J]. Oil & Gas Geology, 1991, 12(3): 1-10.
- [8] 郑朝阳,张文达,朱盘良. 盖层类型及其对油气运移聚集的控制作用[J]. 石油与天然气地质,1996,17(2):96-101.
Zhen Chaoyang, Zhang Wenda, Zhu Panliang. Cover types and their control over hydrocarbon migration and accumulation [J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(2): 96-101.
- [9] 周兴熙. 源-盖共控论述要[J]. 石油勘探与开发,1997,24(6):4-7.
Zhou Xingxi. Essentials about hydrocarbon distribution controlled by source and seal [J]. Petroleum Exploration and Development, 1997, 24(6): 4-7.
- [10] 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):743-746.
Lü Yanfang, Fu Guang, Yu Dan. Comprehensive evaluation of sealing ability of caprock in China's large and medium gas fields and their contribution to gas accumulation [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(6): 743-746.
- [11] 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气作用[J]. 石油与天然气地质,2011,32(6):890-896.
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(6): 890-896.
- [12] 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.
- [13] 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, 2011, 32(2): 199-206.
- [14] 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): 167-173.
- 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): 167-173.
- [15] 何长坡, 王振宇, 张云峰, 等. 塔中北斜坡中下奥陶统鹰山组沉积相类型及分布研究[J]. 新疆石油天然气, 2009, 5(2): 10-19.
- He Changpo, Wang Zhenyu, Zhang Yunfeng, et al. Study on sedimentary facies types and distribution of the Middle-Lower Ordovician in the northern slope of Tazhong[J]. Xinjiang Oil and Gas, 2009, 5(2): 10-19.
- [16] 刘洛夫, 王伟力, 姜振学, 等. 塔中地区奥陶系储层特征及其与油气聚集关系[J]. 中国矿业大学学报, 2010, 39(3): 395-402.
- Liu Luofu, Wang Weili, Jiang Zhenxue, et al. Ordovician reservoir characteristics and its relationship to oil and gas accumulation in Tazhong area[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2010, 39(3): 395-402.
- [17] 赵明, 樊太亮, 于炳松, 等. 塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层裂缝发育特征及主控因素[J]. 现代地质, 2009, 23(4): 709-718.
- Zhao Ming, Fan Tailiang, Yu Bingsong, et al. Carbonate reservoir fracture characteristics and main controlling factors of Ordovician in Tazhong area[J]. Modern Geology, 2009, 23(4): 709-718.
- [18] 刘忠宝, 孙华, 于炳松, 等. 裂缝对塔中奥陶系碳酸盐岩储集层岩溶发育的控制[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(3): 289-291.
- Liu Zhongbao, Sun Hua, Yu Bingsong, et al. Control of fractures to the development of Karst of Ordovician carbonate reservoir in Tazhong[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28(3): 289-291.
- [19] 李传新, 贾承造, 李本亮, 等. 塔里木盆地塔中低凸起北斜坡古生代断裂展布与构造演化[J]. 地质学报, 2009, 83(8): 1065-1073.
- Li Chuanxin, Jia Chengzao, Li Benliang, et al. Fault distribution and tectonic evolution of Paleozoic in the north slope of Tazhong uplift in Tarim Basin[J]. Journal of Geology, 2009, 83(8): 1065-1073.
- [20] 周生友, 李长征, 田纳新, 等. 塔中地区奥陶系风化壳岩溶型油气藏形成条件[J]. 内蒙古石油化工, 2008, 18: 112-115.
- Zhou Shengyou, Li Changzheng, Tian Naxin, et al. Forming conditions of weathering crust karst reservoir of Ordovician in Tazhong area[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2008, 18: 112-115.
- [21] 郭光辉, 李启明, 张宝收, 等. 塔中 I 号断裂带构造特征及勘探领域[J]. 石油学报, 2005, 26(1): 27-30.
- Wu Guanghui, Li Qiming, Zhang Baoshou, et al. Structural characteristics and exploration fields of No. 1 Faulted Slope Break in Tazhong area[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(1): 27-30.
- [22] 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(自然科学版), 2008, 30(5): 22-27.
- 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(Science & Technology Edition), 2008, 30(5): 22-27.
- [23] 张仲培, 王毅, 云金表, 等. 塔中地区断裂不同演化阶段对油气聚集的控制[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(3): 316-323.
- Zhang Zhongpei, Wang Yi, Yun Jinbiao, et al. Control of faults at different evolution stages on hydrocarbon accumulation in Tazhong area, the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(3): 316-323.
- [24] 丁勇. 塔河油田奥陶系岩溶型储层特征及对开发的影响[D]. 成都: 成都理工大学, 2009.
- Ding Yong. Karst reservoir characteristics of Ordovician and the influence on the development in Tahe oilfield[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2009.
- [25] 张延华. 藻灰岩的测井识别[J]. 青海石油, 2007, 25(1): 14-17.
- Zhang Yanhua. Logging identification of algal limestone[J]. Qinghai Oil, 2007, 25(1): 14-17.
- [26] 郑开富, 杨鹏举, 何禹斌. 下扬子区浦口组的岩石类型与油气封盖特征[J]. 复杂油气藏, 2010, 3(3): 9-12.
- Zheng Kaifu, Yang Pengju, He Yubin. Rock types and hydrocarbon sealing characteristics of Pukou group in lower Yangtze area[J]. Complex Oil and Gas Reservoir, 2010, 3(3): 9-12.
- [27] 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.
- [28] 沈安江, 王招明, 杨海军, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层成因类型、特征及油气勘探潜力[J]. 海相油气地质, 2006, 11(4): 1-12.
- Shen Anjiang, Wang Zhaoming, Yang Haijun, et al. Carbonate reservoir origin type, characteristics and hydrocarbon exploration potential of Ordovician of Tazhong area in Tarim Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2006, 11(4): 1-12.
- [29] 刘永先. 陕甘宁盆地中部气田奥陶系碳酸盐岩储层溶蚀及充填作用特征[J]. 岩相古地理, 1995, 15(5): 43-51.
- Liu Yongxian. Dissolution and infilling of the Ordovician carbonate rock reservoirs in the gas fields in the central part of the Shanxi-Gansu-Ningxia Basin[J]. Lithofacies Paleogeography, 1995, 15(5): 43-51.
- [30] 闫相宾. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 262-265.
- Yan Xiangbin. Characteristics of Ordovician carbonate rock reservoirs in Tahe oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(3): 262-265.
- [31] 王俊明, 肖建玲, 周宗良, 等. 碳酸盐岩潜山储层垂向分带及油气藏流体分布规律[J]. 新疆地质, 2003, 21(2): 210-213.
- Wang Junming, Xiao Jianling, Zhou Zongliang, et al. Vertical zoning and fluid distribution for carbonate rock reservoir of buried hill[J]. Xinjiang Geology, 2003, 21(2): 210-213.