

文章编号:0253-9985(2012)01-0101-10

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

杨俊¹,姜振学^{2,3},向才富^{2,3},王红平⁴

(1. 中国石化石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所,江苏 无锡 214151;

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. 中国石油大学 资源与信息学院 盆地中心,北京 102249;

4. 中国石油 石油勘探开发研究院 杭州分院,浙江 杭州 310023)

摘要:塔里木盆地塔中隆起塔中83—塔中16井区下古生界海相碳酸盐岩含油气层位多,油气性质差异大,油(气)、水分布复杂。以研究区现今油气特征为基础,结合塔中隆起成藏过程,从油气运移的动态角度,突出分析了“喜马拉雅期天然气气侵对现今油气性质和分布具有决定性影响”的成因机理,得出:1)同一层位、不同区带的油气藏,因存在多个气源断裂,表现出“两端为气,中间为油”的特征;2)同一地区、不同层位的油气藏,因沿主要气源断裂气侵的天然气量有限,以及碳酸盐岩储层的非均质性,从下至上表现出“从纯气藏变为凝析气藏直至油藏”的特征;3)同一层位、同一区带,因局部构造形态(分割槽)和致密层的存在,油(气)、水分布突变。总结认为,气源断裂、不整合面作为优势通道主导运移方向,局部构造形态及致密层限定油气运移范围,二者是研究区油气性质和油(气)、水分布的主控因素。预测勘探层位越深,越靠近气源断裂,则越有利于天然气勘探。

关键词:油气性质差异;成因机理;油气运移;碳酸盐岩;塔中隆起;塔里木盆地

中图分类号:TE122.1 **文献标识码:**A

Carbonate reservoir characteristics and their genetic mechanisms in Tazhong83 – Tazhong16 wellblock, Tarim Basin

Yang Jun¹, Jiang Zhenxue^{2,3}, Xiang Caifu^{2,3} and Wang Hongping⁴

- (1. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute, Wuxi, Jiangsu 214151, China; 2. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 4. Hangzhou Branch, PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Hangzhou, Zhejiang 310023, China)

Abstract: The Lower Paleozoic marine carbonate reservoirs in Tazhong83 – Tazhong16 wellblock in Tazhong uplift within Tarim Basin have multiple oil/gas-bearing horizons, great differences in hydrocarbon properties and complicated oil/gas-water contact. On the basis of current hydrocarbon reservoir characteristics in the study area, in conjunction with the hydrocarbon accumulation process in Tazhong uplift, we analyzed the genetic mechanism of “the Himalayan gas invasion’s decisive influence on current nature and distribution of hydrocarbon reservoirs” from the viewpoint of dynamic hydrocarbon migration, and drew three conclusions: (1) Hydrocarbon pools in the same horizon but different areas show the characteristics of “gas at both ends and oil in the middle” due to the existence of multiple faults connected with gas sources; (2) Hydrocarbon pools in the same area but at different horizons show the characteristics that “pure gas change progressively into condensate gas and finally

收稿日期:2011-06-16;修订日期:2011-12-21。

第一作者简介:杨俊(1982—),男,硕士、工程师,油气藏形成与分布及油气地球化学研究。

基金项目:国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2006CB202308);国家自然科学基金项目(40972088)。

into oil from bottom to top due to the limited gas charge along faults connected with gas sources and the heterogeneity of carbonate reservoirs; (3) Hydrocarbon pools in the same horizon and same area show abrupt change of oil/gas-water contact due to the local structural configuration and the existence of tight barriers. It is believed that the faults connected with gas source and unconformities that serve as the dominant hydrocarbon migration pathways control the direction of hydrocarbon migration, while the local structure configuration and tight barriers confine the extent of hydrocarbon migration. They both are the major factors controlling the nature of hydrocarbon reservoirs and the oil/gas-water contact. It is estimated that the deeper the exploration targets are and the closer they are to the faults connected with gas sources, the more favorable they are to gas exploration.

Key words: difference in hydrocarbon properties; genetic mechanism; hydrocarbon migration; carbonate rock; Tazhong uplift; Tarim Basin

塔里木盆地塔中地区主要存在寒武系—下奥陶统和中—上奥陶统两套烃源岩。寒武系—下奥陶统烃源岩存在3期大量生排烃,分别为晚加里东—早海西期、晚海西期和喜马拉雅期,现今处于高成熟裂解生气阶段。中—上奥陶统烃源岩分布局限,主要分布于台地斜坡和台内低凹部位,有机质丰度低,存在晚海西期和喜马拉雅期两期生排烃,现今还处于生油阶段,与寒武系—下奥陶统烃源岩相比生烃量有限^[1-6]。塔中地区碳酸盐岩储盖组合从下至上可分为4套:①下寒武统(ϵ_1)白云岩为储层,中寒武统(ϵ_2)膏岩为盖层;②上寒武统—下奥陶统蓬莱坝组(ϵ_1 — O_{1p})白云岩内幕型储盖组合,属自储自盖型;③下奥陶统鹰山组(O_{1y})风化含云灰岩为储层,上奥陶统良里塔格组(O_3l)含泥灰岩为盖层;④上奥陶统良里塔格组为储层,桑塔木组(O_{3s})巨厚泥岩为盖层。大量断裂和不整合面构成了油气运移通道格架。塔中I号断裂、各控带断裂和走滑断裂都是重要的输导断裂^[7-9],利于油气垂向运移。塔中地区碳酸盐岩在古生代多次抬升、遭受风化淋滤,岩溶作用使不整合面附近风化壳地层孔渗性极佳,有利于油气横向运移。塔中地区中生代—新生代构造稳定,聚集的油气没有被抬升至地表遭受破坏,仅受到部分调整。肖贤明(1996)^[10]、肖中尧(1997, 2005)^[11-12]、刘洛夫(2000)^[13]、林青(2002)^[14]、赵靖舟(2002)^[15]、刘克奇(2004)^[16]、张鼎(2010)^[17]、吕修祥(2008)^[18]等不同专家利用构造演化史、单井埋藏史、烃源岩生排烃演化史、圈

闭形成史、有机包裹体均一温度、沥青反射率和伊利石K—Ar测年等多种方法,对塔中油气成藏期次进行了深入研究。借鉴以上专家成果,分析认为塔中寒武系—奥陶系碳酸盐岩存在晚加里东—早海西期、晚海西期和喜马拉雅期3期成藏,且早期以形成油藏为主,中、晚期以形成气藏为主,喜马拉雅期气侵为油气藏定型关键时期。

1 地质特征

塔中83—塔中16井区位于塔中隆起北坡中东部,为I、II和III号断裂包围。下奥陶统鹰山组顶面构造图显示研究区是一个北西倾的鼻状构造,构造高点位于塔中83井和塔中721井附近,与塔中16井区呈鞍状接触,塔中83—塔中721—塔中722井与塔中84—塔中723井之间存在明显的分割槽(图1)。上、下奥陶统构造总体具有继承性,差别在于下奥陶统I号带内带整体高于外带,而上奥陶统恰好相反,II、IV和V号断裂在上奥陶统发育不明显。塔中83—塔中16井区下古生界海相碳酸盐岩地层发育比较完整(图2)。下奥陶统鹰山组与上奥陶统良里塔格组(O_3l/O_{1y})之间为平行不整合接触。下奥陶统鹰山组长期遭受剥蚀、淋滤,从而形成优质碳酸盐岩储层。良里塔格组I号断裂坡折带发育优质的礁滩相储层,张宝民(2006)、罗春树(2006)研究认为塔中古隆起上奥陶统良里塔格组灰岩与其上桑塔木组泥岩(O_{3s}/O_3l)为不整合接触关系^{①,②}。

① 张宝民,张立平,贾进华.塔中奥陶系古潜山碳酸盐岩储层特征与评价.塔里木油田分公司勘探开发研究院,2006.

② 罗春树,董立胜,赵仁德,等.塔中奥陶系碳酸盐岩不整合面的重新认识与勘探突破.塔里木油田分公司勘探开发研究院,2006.

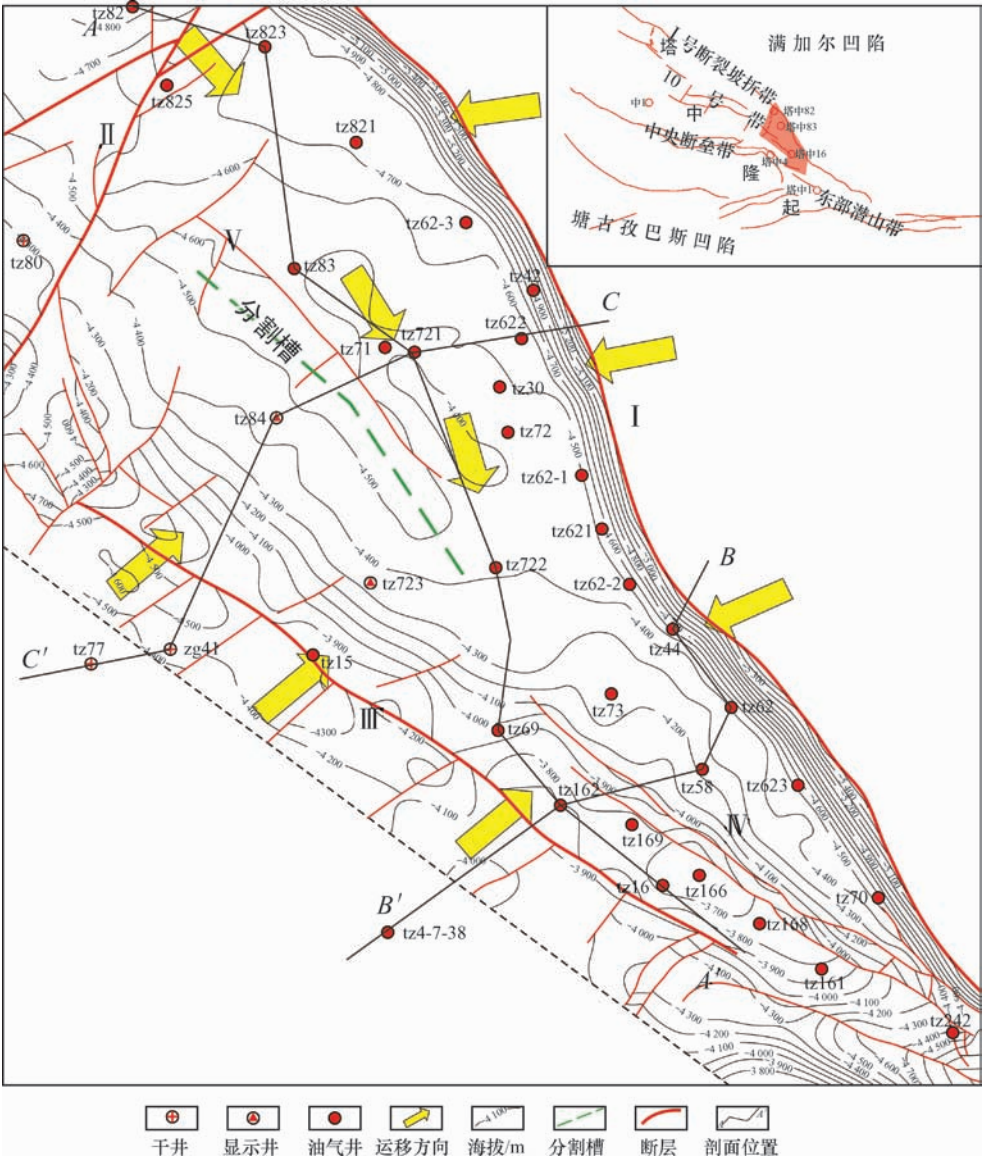


图1 塔中83—塔中16井区构造位置及下奥陶统顶面构造示意图

Fig.1 Schematic diagram showing structure location and the Lower Ordovician top structure in Tazhong83 - Tazhong16 wellblock (I, II, III, IV and V为断层编号。除II号为走滑断层外,其他均为逆断层。I号断层为塔中隆起与满加尔坳陷地质界线,为控隆断裂。)

2 成藏过程及油气特征成因

2.1 成藏过程

晚加里东—早海西期(晚奥陶世—早石炭世末),塔中83—塔中16井区下奥陶统风化壳型和上奥陶统礁滩型储层初步形成。满加尔坳陷寒武系烃源岩进入成熟阶段,油先沿塔中I, II和III号断裂向上运移[I, II和III号断裂向下断至中—下

寒武统,为研究区主要的油(气)源断裂;IV和V号断裂为派生断裂,未断到基底],再沿O₃l/O₁y和O₃s/O₃l不整合面横向向塔中721、塔中16等构造高点运移、聚集成藏(图1)。

晚海西期(晚石炭世—二叠纪末),寒武系烃源岩进入生湿气和轻质油为主阶段,油气同样沿早期的断裂裂缝系统和不整合面向高部位运移。塔中83—塔中16井区在前古油藏的基础上再次充注,塔中4井区充注的油气大量被调整到石炭系形成次生油气藏。

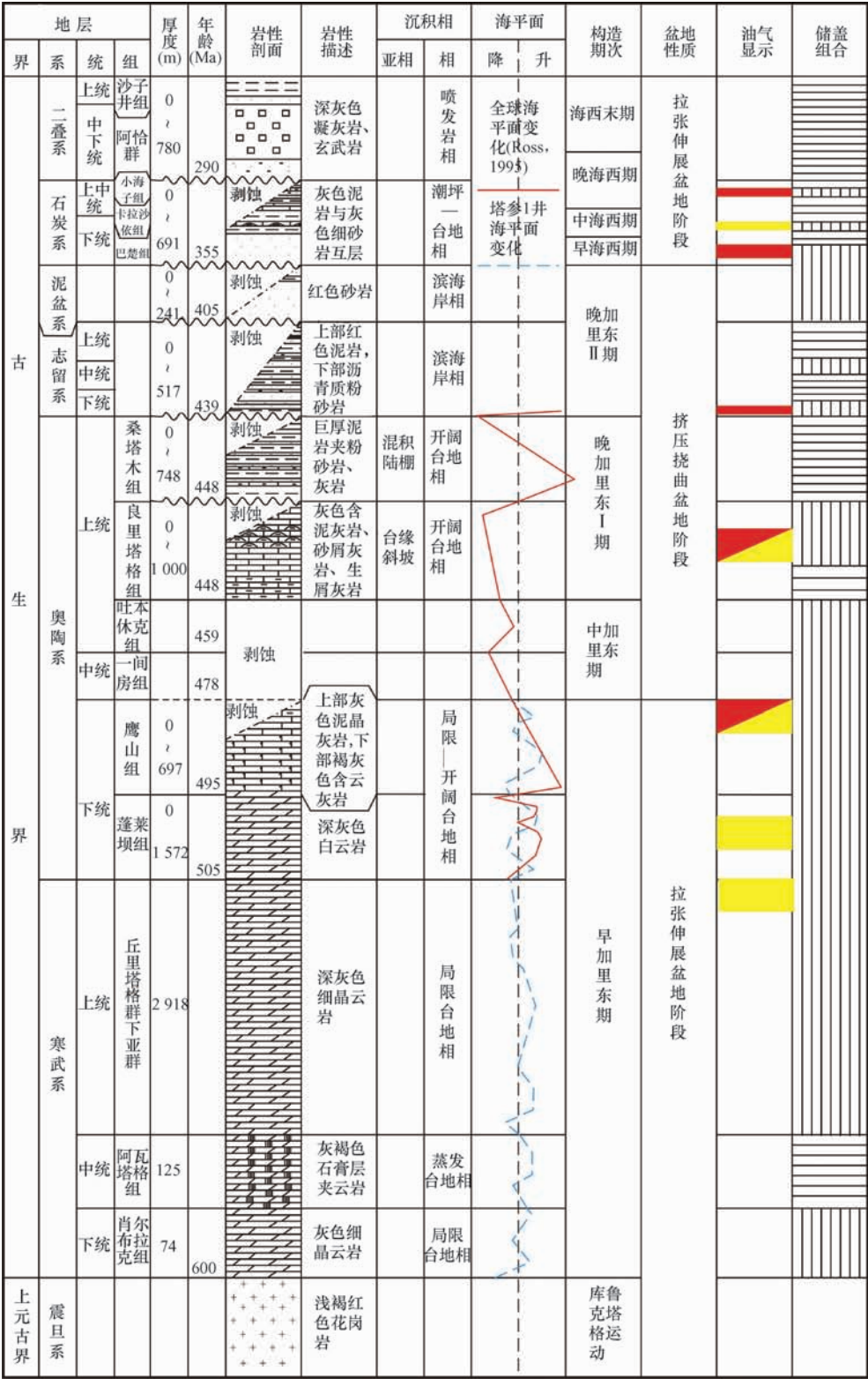


图 2 塔中 83—塔中 16 井区古生界综合柱状图

Fig. 2 Composite columnar section of the Paleozoic in Tazhong83 - Tazhong16 wellblock

喜马拉雅期(新生代),寒武系烃源岩进入生干气阶段,下寒武统和上寒武统一奥陶统蓬莱坝组古油藏裂解生气变成纯气藏或者被气侵形成凝析气藏。生成的干气沿早期断裂和不整合面对

古油藏气侵,沿充注方向不断对古油藏的油气性质进行改造,最终形成现今的油气分布特征。塔中83—塔中16井区下奥陶统鹰山组和上奥陶统良里塔格组古油藏都不同程度受到来自下部天然气的气侵影响,油藏性质发生重大变化。离气源断裂越近,气侵越严重,多表现为高气/油比;离气源断裂越远,气侵减弱,含气量越少,越接近原先古油藏的特点。喜马拉雅期天然气气侵对现今油气性质和分布具有决定性影响,使塔中地区油气藏最终定型。

2.2 油气分布特征

勘探实践证明,塔中83—塔中16井区含油气层位多,上奥陶统良里塔格组、下奥陶统鹰山组和下奥陶统蓬莱坝组均有油气发现,油气性质见表1。

上奥陶统良里塔格组普遍含气,以凝析气为主,外带气/油比都明显大于内带和塔中16井区;下奥陶统鹰山组气/油比在短距离内变化很大,塔中721井和塔中83井以产凝析气为主,但距离他们仅几千米的塔中722井却以产油为主,塔中84井更是未获工业油气流。不同部位蓬莱坝组油气的性质差异极大。塔中162为白云岩内幕型气藏,9 mm孔板试油日产气164 205 m³;塔中4-7-38C为白云岩风化壳型油藏,8 mm油嘴试油日产油206.67 m³、气2 251 m³,原油密度为0.988 2 g/cm³,为重质油(图3)。由此可见,塔中83—塔中16井区油气特征不同区带、不同层位存在巨大差异。

2.3 油气特征成因

成藏过程分析表明,喜马拉雅期气侵使塔中

油气藏最终定型。塔中83—塔中16井区碳酸盐岩油气特征主要受气侵控制,各层位、各区带油气性质的巨大差异与成藏过程密不可分。

2.3.1 气源断裂和不整合面

同一层位、不同区带的油气藏,因存在多个气源断裂,而表现出“两端为气,中间为油”的特征。自西向东,从Ⅰ号带外带到内带直到塔中16井区,鹰山组表现为“两端为气,中间为油”(图4)。同一层位中,天然气从低部位开始充注。如塔中83到塔中722,Ⅱ号断裂为重要气源断裂,气侵时期从Ⅱ号断裂运移上来的天然气沿O₃l/O₁y不整合面由低处向高处运移,由于碳酸盐岩储层非均质性和充注强度有限,造成鹰山组油气藏沿运移路径“塔中83到塔中721再到塔中722”气/油比明显降低(图4),上倾方向可能保存早期古油藏特征。塔中16井区天然气沿Ⅲ号断裂向上运移,由于碳酸盐岩储层非均质性导致油气优先充注下部储层,之后才能继续向上运移,因为充注量有限,导致从下至上气/油比逐渐降低,表现出“同一地区,不同层位(从蓬莱坝组到鹰山组再到良里塔格组),油气藏类型从纯气藏变为凝析气藏直至油藏”的变化特征(图4,图5)。总之,越靠近气源断裂,油气藏气/油比越高。

同一层位、不同区带油气性质差异显著。上奥陶统良里塔格组油气藏,Ⅰ号断裂坡折带外带气/油比大于内带和16井区(图3)。上奥陶统外带礁滩型储层靠近塔中最大的气源断裂——塔中Ⅰ号断裂,且上奥陶统外带整体高于内带,气侵时天然气先在外带高部位聚集,逐渐将油向内带驱赶,又因为碳酸盐岩非均质性强,气驱油不存在统一的界面和路径,所以上奥陶统油气藏外带气/油

表1 塔中83—塔中16井区各层油气性质特征
Table 1 Hydrocarbon properties and characteristics in each layer in Tazhong83 – Tazhong16 wellblock

层位	20℃密度/ (g·cm ⁻³)	50℃动力粘度/ (mPa·s)	含腊量,%	胶质+沥青质 含量,%	气/油比	干燥系数,%	天然气相对密度
O ₃ l	0.736 4~0.866 4/ 0.817 7(129)	0.500~616/ 2.616(129)	1.10~20.18/ 8.34(109)	0.08~9.81/ 1.63(101)	0~62 393.33/ 4 760.75(13)	72.74~98.50/ 95.04(105)	0.58~1.10/ 0.67(105)
O ₁ y	0.802 6~0.824 5/ 0.815 0(8)	1.776~5.585/ 2.890(8)	9.27~24.95/ 17.46(8)	1.24~3.19/ 2.22(4)	0~27 933.28/ 9 870.36(4)	91.38~99.02/ 93.78(5)	0.61~1.02/ 0.79(5)
O ₁ p	塔中4-7-38C井:密度0.983 2~0.992 7/0.987 3(5),动力粘度2 196~3 123/2 590(5),含腊量5.04~7.64/6.18(5),胶质+沥青质含量24.24~26.18/25.19(5);塔中162井:9 mm孔板,日产气164 205 m ³						

注:表中数据为最小值~最大值/平均值(样品数)。

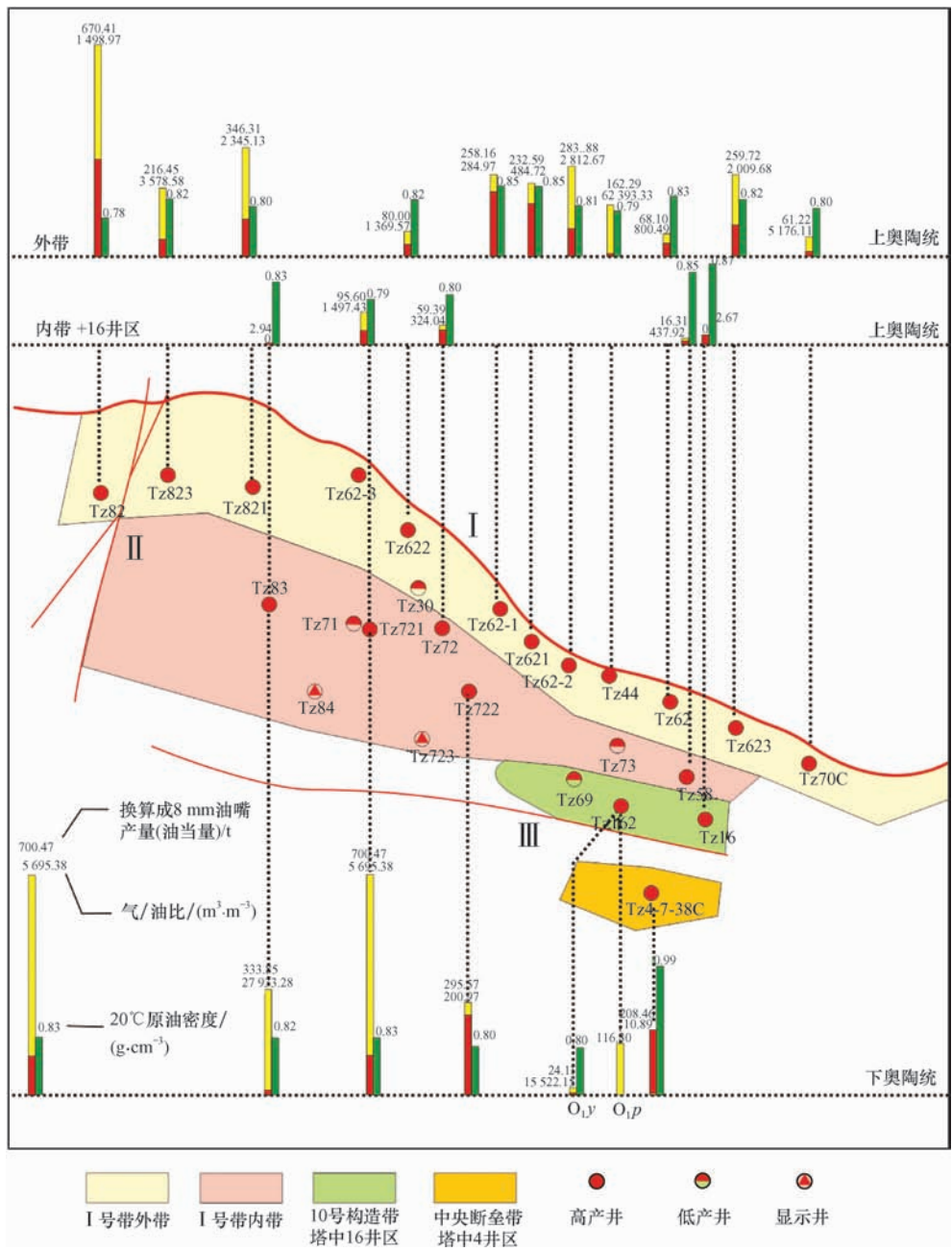


图 3 塔中 83—塔中 16 井区油气产能及原油密度分布

Fig. 3 Production capacity and oil density distribution in Tazhong83 - Tazhong16 wellblock
(I, II 和 III 为断层编号。)

比大于内带,且没有明显统一的气、油界面(图 6)。对于塔中 16 井区,前面分析认为主要是因为良里塔格组垂向上离气源较远,气侵时期沿Ⅲ号断裂运移的天然气,主要充注于层位上更靠近气源的储层,对早期油气藏进行改造,而对良里塔格组充注量十分有限,导致该组油藏气/油比很低(图 5)。

不同区带、不同层位的油气藏在类型上可能相同,但其形成机理存在巨大差异。塔中 4 - 7 -

38C 下奥陶统蓬莱坝组与塔中 16 井区上奥陶统良里塔格组虽然同为风化壳型油藏而未能形成气藏,但其形成原因存在差异。塔中 4 - 7 - 38C 下奥陶统蓬莱坝组喜马拉雅期运移上来的天然气主要沿中央断垒带控带断裂继续运移到上覆石炭系中形成油藏气顶或气藏,而塔中 16 井区喜马拉雅期运移至良里塔格组风化壳的天然气本来就十分有限(图 5)。

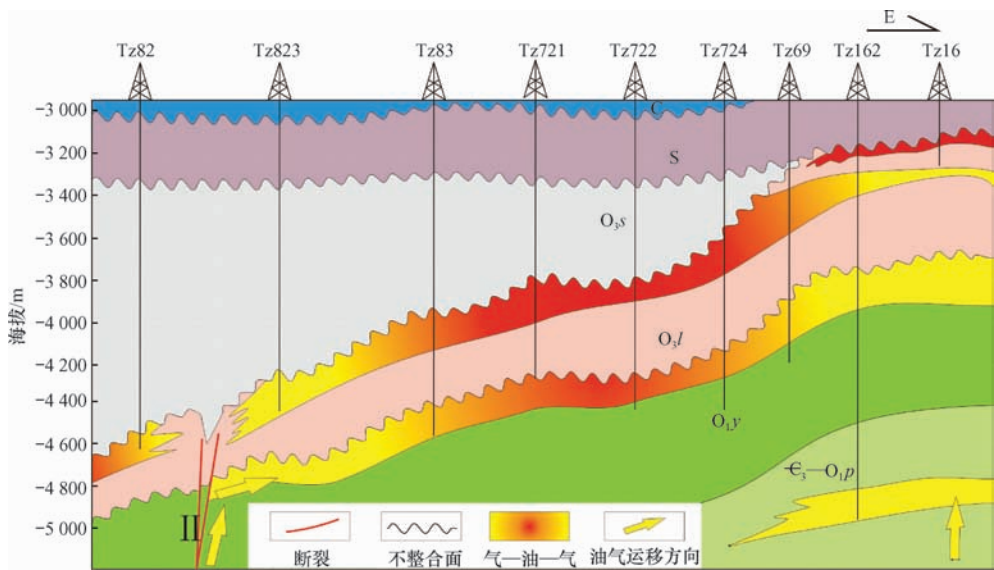


图4 A—A'剖面油气运移模式示意图(剖面位置见图1)

Fig. 4 Schematic diagram of hydrocarbon migration pattern along A – A' cross-section (see Figure 1 for section location)
(II 为断层编号,指图1中走滑断层。)

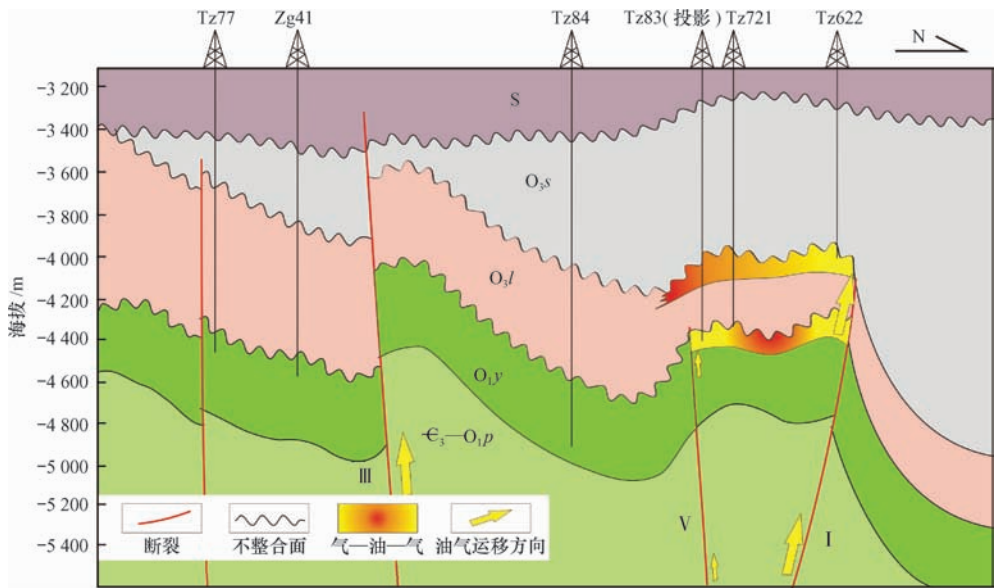


图5 B—B'剖面油气运移模式示意图(剖面位置见图1)

Fig. 5 Schematic diagram of hydrocarbon migration pattern along B – B' cross-section (see Figure 1 for section location)
(I , III 和 V 为断层编号,指图1中逆断层。)

2.3.2 局部构造形态和致密层

同一层位、同一区带油(气)、水分布受局部构造形态和致密层控制。I号带内带鹰山组风化壳型储层中,塔中83井高产油气,而塔中84井出水。因为塔中83井与塔中84井之间存在一个油气分割槽,沿II号气源断裂上来的天然气在分割槽北侧运移,不能到达塔中84井(图1)。沿III号

气源断裂上来的天然气,在分割槽南侧运移,大部分聚集于塔中15—塔中16井区高部位,也不能到达塔中84井(图6)。另外,储层分析发现,虽然塔中83—塔中722、塔中84—塔中723井下奥陶统岩溶储层都很发育,但是两个储层发育带之间存在着封闭条件相对较好的致密带,使塔中83—塔中722、塔中84—塔中723井成为两个相对独立的运聚单元,导致沿II号气源断裂运移上来的天然

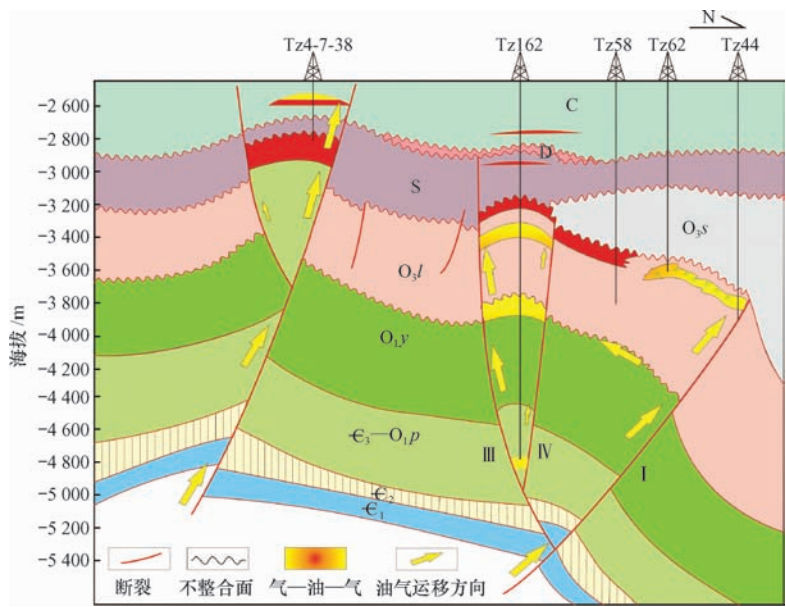


图 6 C—C'剖面油气运移模式示意图(剖面位置见图 1)

Fig. 6 Schematic diagram of hydrocarbon migration pattern along C—C' cross-section (see Figure 1 for section location)
(I , III 和 IV 为断层编号, 指图 1 中逆断层。)

气不能到达塔中 84—塔中 723 井区。

3 油气分布主控因素

从油气特征成因分析发现,气源断裂、不整合面作为优势通道主导运移方向,局部构造形态及致密层限定油气运移范围,二者是研究区油气性质和油(气)、水分布的主控因素。

在断裂不发育的情况下,例如塔中 721,油气主要沿不整合面向构造高部位横向运移,同一层位中越靠近不整合面,油气密度、动力粘度、含蜡

量越小(表 2)。断裂发育区,例如塔中 622 靠近 I 号气源断裂,油气性质随着深度的增加,即越靠近喜马拉雅期气侵气源,油气密度、动力粘度、含蜡量越小,说明油气沿断裂主要发生垂向运移(表 2)。主导的运移方向(横向或者垂向)不同,导致不整合面起主导作用的地区,油气密度、动力粘度、含蜡量具“下大上小”特征;断裂起主导作用地区则恰好相反。

综合分析,塔中 83—塔中 16 井区可归纳为“古隆起斜坡背景下断裂、不整合面优势输导、储层及局部构造形态联合控制、构造-岩性圈闭喜马

表 2 断裂和不整合面引起的油气性质变化特征

Table 2 Hydrocarbon reservoir variation caused by fault and unconformity

井号	层位	井深 1/m	井深 2/m	密度/(g·cm ⁻³)	动力粘度/(mPa·s)	含蜡量, %
塔中 721	O ₃ l	4 911.37	4 980.44	0.772 4	1.175	8.03
塔中 721	O ₃ l	4 946.00	4 961.00	0.796 3	1.333	9.30
塔中 721	O ₃ l	5 030.00	5 070.00	0.814 9~0.825 6/ 0.821 9(4)	2.162~2.725/ 2.429(4)	6.39~9.65/ 8.52(3)
塔中 721	O ₃ l	5 355.50	5 505.00	0.825 4~0.827 6/ 0.826 5(2)	3.170~3.474/ 3.322(2)	14.71~20.18/ 14.75(2)
塔中 622	O ₃ l	4 913.52	4 925.00	0.805 7~0.848 5/ 0.828 9(8)	1.568~5.108/ 3.143(8)	6.30~10.30/ 9.22(4)
塔中 622	O ₃ l	4 913.52	4 952.00	0.786 7~0.798 1/ 0.792 5(4)	1.028~1.274/ 1.156(4)	8.30~8.60/ 8.40(4)

注:表中数据为最小值~最大值/平均值(样品数)。

拉雅期气侵定型”的成藏模式。因此,对塔中隆起古生界碳酸盐岩油气勘探应该摆脱“构造背斜论”束缚,进而寻找靠近断裂、不整合面等优势通道的局部构造高点,从地层圈闭、岩性圈闭及其复合圈闭寻找突破,勘探层位可以向下延伸,层位越深、越靠近气源断裂则越有利于天然气勘探。

4 结论

1) 不同区带同一层位中油气藏油气性质因具有多条气源断裂,呈现出“两端为气,中间为油”;同一地区不同层位中油气藏油气性质,因充注强度和碳酸盐岩非均质性,呈现出“从下至上,从气藏向凝析气藏再到油藏”的变化趋势,由此推测层位越深越有利于天然气勘探。

2) 塔中83—塔中16井区油气分布受控于充注通道(断裂和不整合面)。碳酸盐岩地层中断裂和不整合面是油气运移优势通道,其优势运移方向不同,不整合面以横向运移为主,断裂以垂向运移为主。不整合面起主导作用的地区,油气密度、动力粘度、含腊量具有“下大上小”特征;断裂起主导作用地区则恰好相反。沿充注方向,越靠近气源,气/油比越高。

3) 局部构造形态(分割槽)和岩溶非均质性导致油(气)、水分布复杂。分割槽和致密带使塔中83井和塔中84井位于不同的运聚单元,导致鹰山组中位于油气运移主方向上的塔中83井高产油气,不在油气运气主方向上的塔中84井出水。

参考文献

- [1] 孙龙德,周新源,王国林.塔里木盆地石油地质研究新进展和油气勘探主攻方向[J].地质科学,2005,40(2):167-178.
Sun Longde, Zhou Xinyuan, Wang Guolin. Contributions of petroleum geology and main directions of oil-gas exploration in the Tarim Basin[J]. Chinese Journal of Geology, 2005, 40(2): 167-178.
- [2] 韩剑发,梅廉夫,杨海军,等.塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩礁滩复合体油气来源与运聚成藏研究[J].天然气地球科学,2007,18(3):426-435.
Han Jianfa, Mei Lianfu, Yang Haijun, et al. The study of hydrocarbon origin, transport and accumulation in Tazhong area, Tarim Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(3): 426-

435.

- [3] 马安来,金之钧,王毅.塔里木盆地台盆区海相油源对比存在的问题及进一步工作方向[J].石油与天然气地质,2006,27(3):356-362.
Ma Anlai, Jin Zhijun, Wang Yi. Problems of oil-source correlation for marine reservoirs in Paleozoic craton area in Tarim Basin and further direction of research [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 356-362.
- [4] 庞雄奇,高剑波,孟庆洋.塔里木盆地台盆区构造变动与油气聚散关系[J].石油与天然气地质,2006,27(5):494-603.
Pang Xiongqi, Gao Jianbo, Meng Qingyang. A discussion on the relationship between tectonization and hydrocarbon accumulation and dissipation in the platform-basin transitional area of Tarim basin [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(5): 594-603.
- [5] 赵宗举,周新源,郑兴平,等.塔里木盆地主力烃源岩的诸多证据[J].石油学报,2005,26(3):10-15.
Zhao Zongju, Zhou Xinyuan, Zheng Xingping, et al. Evidences of chief source rock in Tarim Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(3): 10-15.
- [6] 邬光辉,汪海,陈志勇,等.塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩复杂油气藏的特性[J].石油与天然气地质,2010,31(6):763-769.
Wu Guanghui, Wang Hai, Chen Zhiyong, et al. Characteristics of the complex Ordovician carbonate reservoirs in the Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6): 763-769.
- [7] 赵勇生,刘克奇.塔里木盆地塔中地区油气运移输导体系研究[J].中国石油大学学报(自然科学版),2007,31(4):8-13.
Zhao Yongsheng, Liu Keqi. Petroleum migration pathway system of Tazhong area in Tarim Basin [J]. Journal of China University of Petroleum, 2007, 31(4): 8-13.
- [8] 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.
- [9] 吕修祥,杨海军,王祥,等.地球化学参数在油气运移研究中的应用——以塔里木盆地塔中地区为例[J].石油与天然气地质,2010,31(6):838-846.
Lü Xiuxiang, Yang Haijun, Wang Xiang, et al. Application of geochemical parameters in hydrocarbon migration studies: taking Tazhong area of the Tarim Basin as an example [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6): 838-846.
- [10] Xiao X M, Liu D H, Fu J M. The multiphases of hydrocarbon generation and migration of Tazhong petroleum system of Tarim Basin [J]. Organic Geochemistry, 1996, 25(3/4): 191-197.
- [11] 肖中尧,张水昌,赵孟军,等.简析塔中北斜坡A井志留系

油气藏成藏期[J]. 沉积学报,1997,15(2):150-154.

Xiao Zhongyao, Zhang Shuichang, Zhao Mengjun, et al. A brief analysis on forming periods of Silurian pools in the Tazhong A well [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15 (2):150-154.

[12] 肖中尧,卢玉红,桑红,等. 一个典型的寒武系油藏:塔里木盆地塔中 62 井油藏成因分析[J]. 地球化学,2005,34(2):155-160.

Xiao Zhongyao, Lu Yuhong, Sang Hong, et al. A typical Cambrian oil reservoir: origin of oil reservoir in Well TZ62, Tarim Basin[J]. Geochimica,2005,34(2):155-160.

[13] 刘洛夫,赵建章,张水昌,等. 塔里木盆地志留系沥青砂岩的形成期次及演化[J]. 沉积学报,2000,18(3):475-479.

Liu Luofu, Zhao Jianzhang, Zhang Shuichang, et al. Hydrocarbon filling ages and evolution of the Silurian asphalt sandstones in Tarim basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18 (3):475-479.

[14] 林青,王培荣,金晓辉,等. 塔中北斜坡塔中 45 井奥陶系油藏成藏史浅析[J]. 石油勘探与开发,2002,29(3):5-7.

Lin Qin, Wang Peirong, Jin Xiaohui, et al. Reservoir-forming history of Ordovician reservoir at Well Tazhong-45 in the northern slope of Tazhong uplift [J]. Petroleum Exploration and Development,2002,29(3):5-7.

[15] 赵靖舟,李秀荣. 晚期调整再成藏——塔里木盆地海相油气藏形成的一个重要特征[J]. 新疆石油地质,2002,23 (2):89-92.

Zhao Jingzhou, Li Xiurong. Late adjustment and re-accumulation as a major feature of marine petroleum accumulation in Tarim basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2002, 23 (2): 89-91.

[16] 刘克奇,金之钧. 塔里木盆地塔中低凸起奥陶纪油气成藏体系[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2004,29(4):489-494.

Liu Keqi, Jin Zhijun. Ordovician petroleum accumulation system in Tazhong low uplift of Tarim basin [J]. Earth Science Journal of China University of Geosciences, 2004, 29 (4): 489-494.

[17] 张翀,赵瑞华,张蒂嘉,等. 塔中 I 号带奥陶系烃包裹体荧光特征与成藏期[J]. 石油与天然气地质,2010,31(1):63-68,75.

Zhang Nai, Zhao Ruihua, Zhang Dijia, et al. Fluorescence characteristics of the Ordovician hydrocarbon inclusions in the Tazhong- I slope-break zone and the timing of hydrocarbon accumulation [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31 (1): 63-68, 75.

[18] 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]. 地学前缘,2008,15(2):156-166.

Lü Xiuxiang, Bai Zhongkai, Zhao Fengyun. Hydrocarbon accumulation and distributional characteristics of the Silurian reservoirs in the Tazhong uplift of the Tarim basin [J]. Earth Science Frontiers,2008,15(2):156-166.

(编辑 李 军)

(上接第 100 页)

[20] Williams M. Assessing dynamic reservoir uncertainty: integrating experimental design with field development planning [C] // 2006/2007 SPE Distinguished Lectures Series. Houston, USA: SPE, 2006:1-10.

[21] 霍春亮,刘松,古莉,等. 一种定量评价地质模型不确定性的方法[J]. 石油勘探与开发, 2007, 31(5): 574-579.

Huo Chunliang, Liu Song, Gu Li, et al. A quantitative method for appraising reservoir geological model uncertainty [J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 31 (5): 574-579.

[22] Plackett R L, Burman J P. The design of optimal multifactorial experiments[J]. Biometrika, 1946, 33(4): 305-325.

[23] 陈克勇. 长岭气田火山岩储层三维岩相建模[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(2): 206-211.

Chen Keyong. Three dimensional lithology modeling of volcanic reservoirs in the Changling gas field [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(2): 206-211.

(编辑 李 军)