

塔里木盆地顺南地区奥陶系油气富集与勘探潜力

云露,曹自成

(中国石化西北油田分公司,新疆乌鲁木齐 830011)

摘要:塔里木盆地顺南地区位于卡塔克隆起塔中 I 号断裂下盘北部斜坡区,临近满加尔烃源灶,区域盖层良好,长期处于斜坡,是油气运移的指向区,发育多组北东向断裂,有利于发育储层和油气聚集,具备形成大油田的油气地质条件。加里东期—海西期多期构造运动控制着奥陶系碳酸盐岩多层系、多类型储层发育。受构造运动和海平面升降的影响,奥陶纪碳酸盐岩经历了多期暴露,具备岩溶储层发育的背景,多期断裂发育有利于表生及深部流体对储层进一步改造形成缝洞型为主储层,储集体发育程度控制了油气聚集规模,断裂带是油气富集的有利区带。通过地球化学分析结果认为顺南地区天然气为干气,成熟度高,成藏期为喜马拉雅期。顺南地区的天然气 $\ln(C_1/C_2)$ 值变化较大而 $\ln(C_2/C_3)$ 值变化不大,明显区别于原油裂解成因气。多井包裹体以甲烷气包裹体为主,少见含沥青气相包裹体和沥青包裹体,呈现以干酪根裂解成因气为主。通过钻井测试资料分析,奥陶系碳酸盐岩气藏可能是一个叠合连片含气、具有气柱高度大、受储层非均质性控制的大型缝洞型天然气藏群。

关键词:缝洞型储层;碳酸盐岩;油气富集;奥陶系;顺南地区;塔里木盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Hydrocarbon enrichment pattern and exploration potential of the Ordovician in Shunnan area, Tarim Basin

Yun Lu, Cao Zicheng

(Northwest Oilfield Branch, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: Shunnan area lies in the north slope to the down-thrown blocks of Tazhong No. 1 fault in Katake Uplift, and is adjacent to the hydrocarbon kitchen of Manjiaer Depression. The study area has regionally good cap rocks, and remains a slope for a long geological period, thus it is the main area where hydrocarbons migrate to and accumulate in. Multi-group NE-trending faults developed here were conducive to reservoir development and hydrocarbon accumulation, all such provide the favorable conditions for the formation of large oil and/or gas fields. Multi-period tectonic movements from the Caledonian to Hercynian controlled development of the multilayer and multiphase carbonate reservoirs. With tectonic movements and sea level fluctuations, the Ordovician carbonate rocks experienced multi-period exposure and led to the formation of karst reservoirs. The reservoirs were reconstructed by meteoric water and deep thermal fluids through faults, resulting in fractured-vuggy reservoirs. In brief, reservoirs determined the scale of hydrocarbon accumulation, and the strike-slip faults restricted the hydrocarbon accumulation zones. Geochemical analysis shows that the natural gas is dry gas with high maturity in Shunnan, and its accumulation period was the Himalayan. The natural gas in Shunnan area features in highly variable $\ln(C_1/C_2)$ value but low variable $\ln(C_2/C_3)$ value, a character obviously differing from that of cracked gas. The inclusions in several wells are dominated by methane gas inclusions, but rare bituminous gas phase inclusions and bitumen inclusions, indicating kerogen cracking origin. Analyses of drilling and test data reveal that the Ordovician carbonate gas accumulation is likely to be a large fractured-vuggy gas reservoir cluster featuring in vertical superimposition, lateral connection, high gas column and strong control of reservoir heterogeneity.

Key words: fractured-vuggy reservoir, carbonate rock, hydrocarbon enrichment, Ordovician, Shunnan area, Tarim Basin

塔里木盆地是具大陆地壳基底、由古生界克拉通与中生界前陆盆地组成典型的大型叠合型盆地,具有多烃源、多含油层系、多期成藏与改造、调整的

特点^[1]。古生界碳酸盐岩具有沉积范围广、厚度大、经多期构造抬升暴露形成多套储层和距烃源岩距离近的优势,是最有利的勘探层系。自 1984 年沙参 2

收稿日期:2014-10-9;修订日期:2014-11-07。

第一作者简介:云露(1972—),男,博士、教授级高级工程师,油气勘探。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05005-004)。

并在下奥陶统碳酸盐岩海相油气获重大突破以来,已发现了塔河油田、塔中油气田等十余个海相油气田(藏),形成沙雅隆起、卡塔克隆起和巴楚隆起-麦盖提斜坡3个油气聚集区带,探明石油地质储量达 17×10^8 t,油气当量超过 22×10^8 t,勘探开发潜力巨大,但是天然气探明率低,潜在资源量较大。在天然气需求日益增长的背景下,天然气的勘探显得尤为重要。

塔中地区一直是塔里木盆地的重点勘探区带。早期勘探主要集中在卡塔克隆起上,先后在志留系和奥陶系碳酸盐岩中发现了一系列油气藏。2009年以来,通过加强构造演化与断裂特征、储层发育机理与成藏条件研究,认识到顺南地区(图1)临近烃源灶,区域盖层良好,长期处于斜坡,是晚期天然气运移的有利指向区。加里东中期及以前发育的多幕次构造运动,多期暴露、断裂活动和热液作用有利于发育多成因多类型储层,多组北东向断裂发育有利于油气聚集。近期,该区多口井在中-下奥陶统碳酸盐岩中获得天然气勘探突破,进一步证实了该区良好的天然气勘探前景。本文对顺南地区油气富集条件与勘探潜力进行了分析,旨在为寻找其他类似地区的勘探提供参考与借鉴。

1 构造与沉积演化

顺南地区位于卡塔克隆起北斜坡,塔中I号断裂下盘,南部以塔中I号断裂与卡塔克隆起相邻,东临满

加尔坳陷,整体表现为东南高、北西低,在长期构造演化过程中,发生多幕次抬升、剥蚀,为多期缝洞型储层的发育奠定了基础。

寒武纪-中奥陶世,塔里木盆地处于克拉通内弱伸展构造背景,具有“东盆西台”的特征^[2-3]。寒武纪,塔里木盆地构造活动稳定,稳定的构造沉降速率和高速的碳酸盐岩建造形成了巨厚的碳酸盐岩地层。盆地中-西部地区广泛发育碳酸盐岩台地与膏盐岩潟湖,东部发育欠补偿深海盆地。塔中北坡位于稳定的浅水碳酸盐岩台地,沉积了巨厚的碳酸盐岩地层。早-中寒武世碳酸盐岩台地逐渐由浅水缓坡型向晚寒武世镶边型转变,台缘礁滩发育,向盆地方向迁移明显。晚寒武世末期全球海平面下降,导致碳酸盐岩台地广泛暴露并短暂喀斯特化,形成寒武系/奥陶系平行不整合界面。早奥陶世,碳酸盐岩台地发育继承了晚寒武世末古地理格局,但随着海平面的缓慢上升,水体逐渐开阔^[4]。早奥陶世末期,台缘结构进入差异演化阶段,由南向北逐渐由镶边台缘过渡为弱-无镶边开阔台地,致使古城地区水体因台缘封挡作用而相对局限、封闭,造成本区鹰山组下段白云岩化程度明显高于周边地区。露头地层学和碳同位素地层学研究表明,这一时期经历了两期较大的全球海平面升降旋回,在蓬莱坝组和鹰山组下段沉积末期存在较明显的全球海平面下降事件,导致碳酸盐岩台地遭受区域性暴露和溶蚀作用,形成区域性角度/平行不整合界面(图2)。

中奥陶世总体继承了早奥陶世格局,顺南地区总

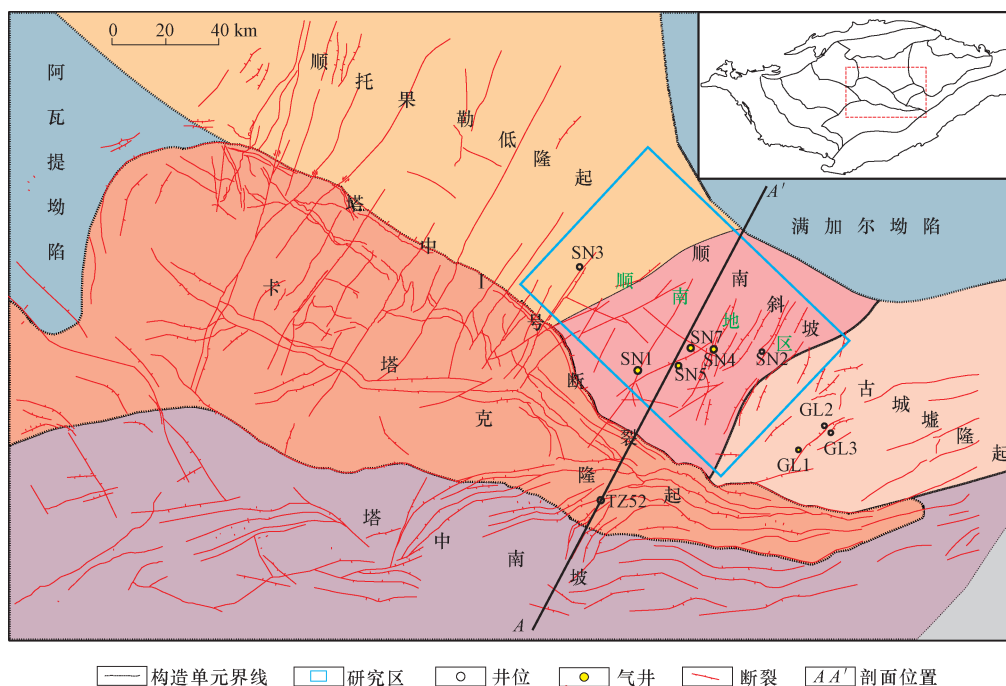


图1 塔里木盆地顺南地区构造位置

Fig. 1 Location of Shunnan area, Tarim Basin

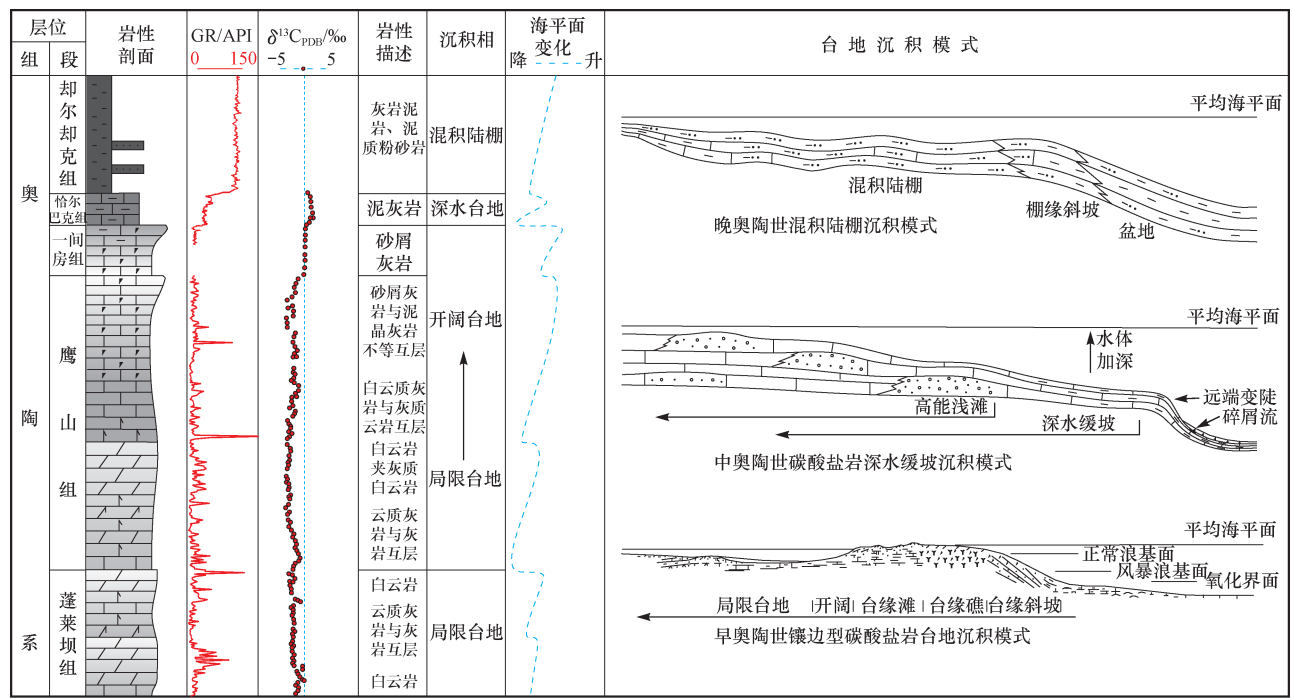


图 2 塔里木盆地顺南地区沉积演化

Fig. 2 Sedimentary evolution of Shunnan area, Tarim Basin

体处于台地内,东侧发育台地边缘。中奥陶世末,加里东中期 I 幕构造运动受西南侧古昆仑洋向西昆仑地块俯冲消减影响^[5-6],塔中 I 号断裂带等边界断裂开始活动(图 3),卡塔克隆起开始形成;塔中北坡位于塔中 I 号断裂下降盘,卡塔克隆起-塔中北坡-满加尔坳陷格局形成,塔中北坡西北高东南低,西北部发育顺托果勒低隆;同时,东南侧阿尔金洋盆向北聚敛,受西南、东南侧两个方向应力斜向挤压作用影响,北东向、北东东向压扭走滑断裂开始发育,将塔中地区切割成多个块体。

中奥陶世作为盆地构造-沉积性质转换的重要时期,对塔中北坡碳酸盐岩台地沉积演化具有重要控制作用。这一时期,全球海平面处于快速上升阶段,碳酸盐岩生长速率因水深变化而显著降低,台缘镶边结构消失,逐渐演变为深水碳酸盐岩缓坡,岩相结构以泥晶灰岩、含生屑泥晶灰岩和微(亮)晶粉-细砂屑灰岩为主,常见较深水底栖和浮游生物。中奥陶世末期,受加里东中期 I 幕构造隆升和全球海平面上升两种因素叠加影响,卡塔克隆起区剥蚀地层形成区域角度不整合界面,塔中北坡位于构造斜坡区,大部分地区暴露时间短剥蚀程度弱,形成区域平行不整合界面,临近塔中 I 号断裂带下盘区,构造隆升强度较大,局部可发育侵蚀角度/平行不整合界面。总体上该期顺南地区暴露时间较短,剥蚀程度弱。

晚奥陶世,塔中地区受大规模的海侵事件影响,逐渐由孤立碳酸盐岩台地转变为混积陆棚,早期沉积以碳酸盐岩为主,加里东中期 II 幕塔中 I 号断裂

活动明显,台地边缘沿 I 号断裂带展布,晚期主要沉积了巨厚的复理石建造(图 2)。奥陶纪末,古昆仑洋和阿尔金洋构造域聚敛作用加强^[7],顺南地区东南部强烈抬升,古城墟隆起开始发育,地层遭受强烈剥蚀。志留纪,顺南地区进一步抬升,志留系向东南尖灭,走滑断裂继承性发育,向下断穿寒武系,多数向上断至中奥陶统顶面附近,或消失在塑性的上奥陶统却尔却克组泥岩中,表现为断面陡直的直立断层或正花状构造(图 3)。

泥盆纪一早石炭世,基本继承了前期构造格局,北东向走滑断裂重新复活,再次继承性活动,形成了张扭走滑断裂,并伴生了一系列北北西向雁列式排列正断层,剖面上表现为明显的负花状构造特征,分支断裂向上撒开,向下收敛。由于沿断裂走向局部应力差异与多期断裂叠加造成,造成了塔中北坡走滑断裂具有较强的分段性,在增压弯曲部位造成挤压应力,走滑断块发生汇聚,造成两侧地层挤压而拱升;而在拉张部位发生离散,地层因拉张而下掉,并伴生张性正断层,沿走向挤压形成逆断层和局部拉张形成正断层交替出现;而海西早期张扭断裂叠加在早期压扭走滑断裂之上,断裂正断下掉深度不一致,局部向下断穿 T₄ 面,造成断层分段性;断层分段性对鹰山组储层发育具有控制作用,断裂拉张部位可能是储层发育的最有利部位。

早二叠世,在塔中北坡西北部顺托果勒低隆沿北东向基底断裂产生伸展作用,发生了强烈的岩浆活动并沿着早期断裂带喷出;伴随着深部富硅流体活

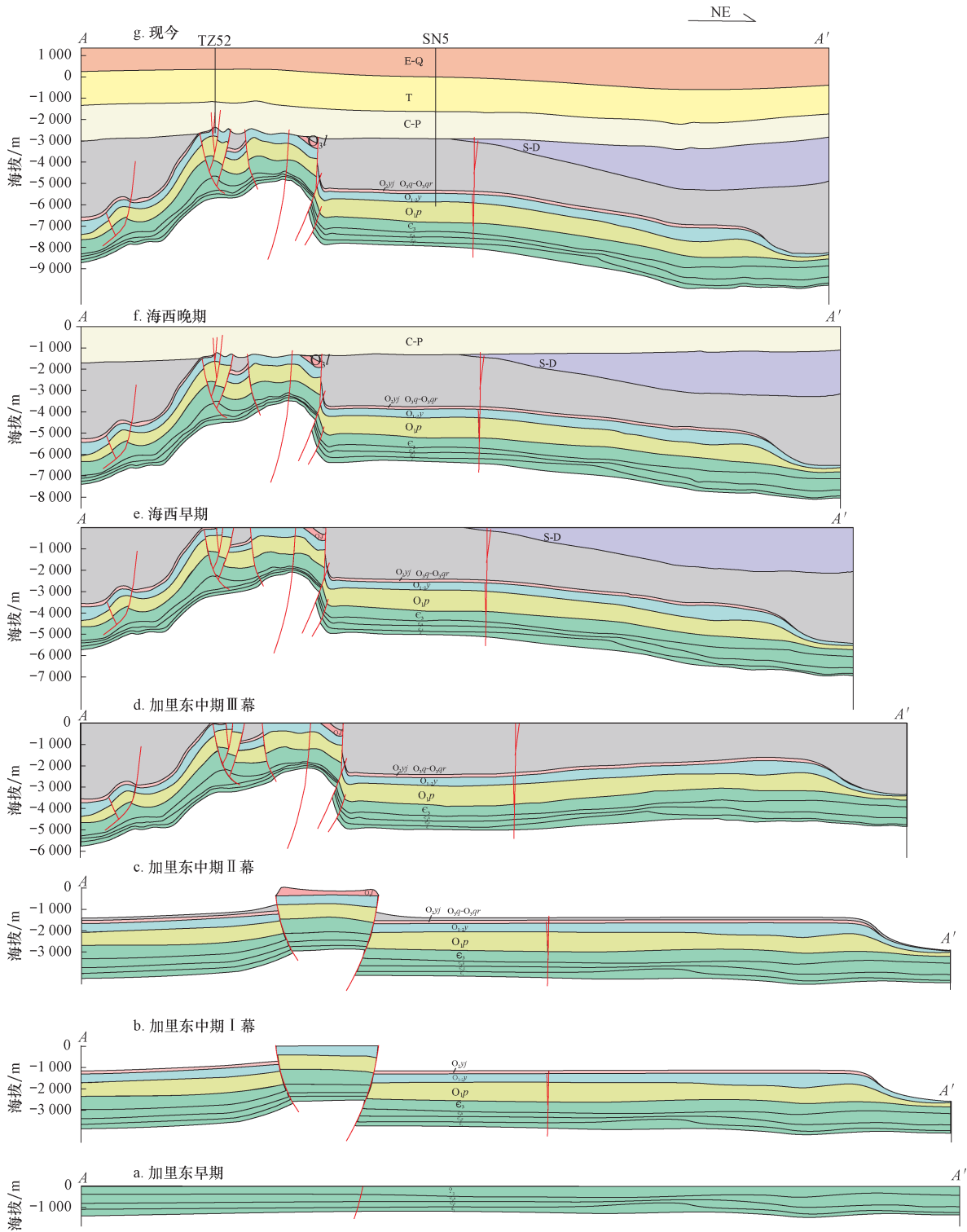


图3 塔里木盆地顺南地区北东向构造演化史(剖面位置见图1)

Fig. 3 Tectonic evolution history of NE-trending faults in Shunnan area(see Fig. 1 for the section location)

C₁. 下寒武统;C_{2s}. 中寒武统沙依里克组;C_{2a}. 中寒武统阿瓦塔格组;C₃. 上寒武统;O_{1p}. 下奥陶统蓬莱坝组;O_{1-2y}. 中-下奥陶统鹰山组;
O_{2yl}. 中奥陶统一间房组;O_{3l}. 上奥陶统良里塔格组;O_{3q}-O_{3qr}. 上奥陶统恰尔巴克组-却尔却克组;S-D. 志留系-泥盆系;
C-P. 石炭系-二叠系;T. 三叠系;E-Q. 古近系-第四系

动,很可能是深部富硅流体对碳酸盐岩储层进行改造的主要时期。晚二叠世,由拉张应力背景转变为挤压应力背景,顺托果勒低隆发育挤压性或压扭性断裂;海西晚期之后,构造活动很弱,以轻微褶皱变形为主(图3)。

2 储层特征

2.1 储集特征

钻井揭示塔中北坡奥陶系发育一间房组-鹰山组

上段、鹰山组下段和蓬莱坝组3段储层。奥陶系碳酸盐岩经各种成岩作用的改造,其原生孔隙已破坏殆尽,现今有效储集空间是构造及岩溶作用形成的裂缝和溶蚀孔洞。以构造缝和溶蚀孔、洞、缝等次生孔隙为主,储渗空间几何形态多样,大小悬殊,分布不均。按照储层储渗空间几何形态、大小和成因,将储集空间类型划分为三大类储集空间:碳酸盐岩大型洞穴(直径>50 mm)、溶蚀孔洞(直径为0.01~50 mm,孔洞多沿裂缝发育、连通)和裂缝(风化裂缝和构造裂缝,均为高角度缝)。裂缝既是储集空间又是主要的流体流动通道。通过已钻井资料对3套储层岩心资料统计分析,除顺南4井岩心的硅质岩脉中的晶间孔隙型储层孔渗[孔隙度(17.5%~20.5%),渗透率 $(23.2\sim72.4)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$]明显较高外(图4h),其余碳酸盐岩样品孔隙度范围值均在0.2%~3.8%,主体分布0.5%~1.0%,平均为0.9%;渗透率范围值在 $(0.001\sim18.3)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均 $1.08\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,说明绝大多数碳酸盐岩储层基质孔隙欠发育,不具备有效储集能力。

综合岩心、薄片、钻井和测试等资料,塔中北坡3段储层储集空间存在差异。一间房组-鹰山组上段主要储集空间为微裂缝-裂缝,其次为溶蚀孔洞。实钻该段储层均见未充填微裂缝-裂缝,如图4a显示未充填微裂缝切割早期方解石全充填缝,在岩心(图4b)及成像测井(图4c)均见裂缝发育。此外,该段储层还发育溶蚀孔洞,如顺南7井实钻取心发育溶蚀孔洞(图4d),孔洞发育段薄片见渗滤灰泥结构(图4e)及纤柱状方解石胶结物(图4f),表明其孔洞形成可能与大气水岩溶作用相关。

鹰山组下段储层主要储集空间为构造扩溶裂缝、孔洞和孔隙。如顺南4井取心揭示储层中,既发育受断裂-裂缝体系和溶蚀作用控制的半充填裂缝-溶蚀孔洞-洞穴系统(图4g),也发育受硅质交代灰岩形成的柱状石英晶间孔隙(图4h),顺南5井取心主要储集空间为裂缝-微裂缝(图4j),该井发生漏失,测试获高产气流,古隆1等井该段也发育少量与白云化作用相关的晶间孔(图4i)。

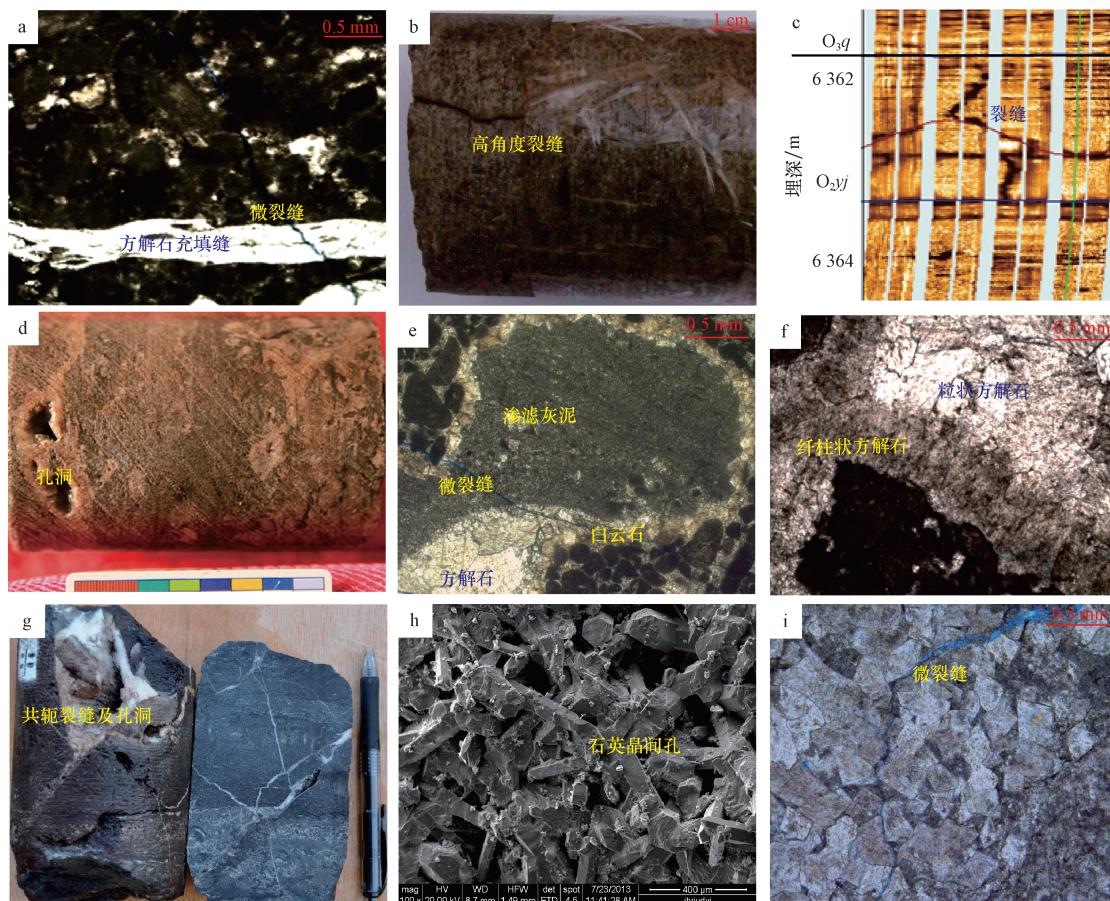


图4 塔里木盆地顺南地区奥陶系储层储集空间特征

Fig. 4 Characteristics of reservoir space in the Ordovician in Shunnan area, Tarim Basin

- a. 晚期张开缝切割早期方解石全充填缝, O_2y , 顺南1, 2-13/40; b. 高角度裂缝, 顺南1井, 埋深6 640.11~6 640.21 m; c. 成像测井, 一间房组顶面附近高角度缝, 顺南5井; d. 亮晶藻砂屑灰岩中发育的溶蚀孔洞, 顺南7井, 2-1/48; e. 亮晶砂屑灰岩中孔洞充填白云石、方解石及渗滤灰泥, 发育微裂缝, O_2y , 顺南7井, 埋深6 485.45 m, 铸体薄片; f. 亮晶内碎屑灰岩孔洞为纤柱状-粒状方解石充填, O_2y , 顺南7井, 埋深6 484.61 m; g. 局部含灰质致密硅质岩, 底部疏松, 见生物碎屑, 发育2条共轭的裂缝形成V字型溶孔, O_{1-2y} , 顺南4井, 4-11/11; h. 石英晶间孔, O_{1-2y} , 顺南4井, 埋深6 670.48 m, 扫描电镜; i. 细-中晶灰质云岩, 孔隙不发育, 发育1条微裂缝, O_{1-2y} , 顺南5井, 埋深7 069.60 m

根据3套储层基质物性及储集空间组合关系,除顺南4井发育硅质岩脉石英晶间孔隙型储层(图4h)外,其余储层类型均为碳酸盐岩缝洞型为主。依据缝洞型储层的微裂缝-裂缝与孔洞比例可细分为裂缝型、裂缝-孔洞型和洞穴型3种类型。其中一间房组以裂缝型为主,局部发育裂缝-孔洞型储层(如顺南7井);鹰山组及蓬莱坝组测试获高产工业气流,钻井过程中见漏失,特别是顺南4井在鹰山组钻井过程中放空5.48 m,分析认为其孔洞、洞穴的发育程度要明显强于一间房组-鹰山组上段,储层类型应以裂缝-孔洞型和洞穴型为主,受与基底深大断裂相关的构造破裂作用控制,局部也发育有裂缝型储层。

2.2 储层成因

基于各段储层储集空间特征及其成因的分析,初步认为塔中北坡中-下奥陶统储层发育主要受以下3方面因素控制。

2.2.1 中-下奥陶统内幕多期不整合及大气水岩溶作用为多套储层发育奠定了基础

综合研究表明,塔里木盆地柯坪露头区奥陶系内幕发育多期不整合,其中柯坪水泥厂剖面 and 鹰山北坡剖面在蓬莱坝组顶面牙形石带缺失,碳同位素对比研究也表明其存在不同程度的缺失^[8-9]。对比塔中地区井下中-下奥陶统碳、氧同位素反映的海平面变化^[10],结合薄片揭示的与大气水岩溶作用相关的沉积构造,如渗滤结构及典型的大气水胶结物,综合分析认为塔中北坡奥陶系内幕发育蓬莱坝组顶面(T_7^8 地震反射波)、鹰山组顶面(T_7^5 地震反射波)和一间房组顶面(T_4^4 地震反射波)等多期不整合,与多期不整合相关的大气水岩溶作用为多套储层发育奠定了基础(图2)。

2.2.2 多期活动的断裂-裂缝体系为大气水岩溶和深部热液溶蚀作用创造了有利条件

目前研究表明,塔中北坡发育加里东早-中期北西向、加里东中期-海西期北东、北东东向通源走滑断裂体系。地震剖面上断裂清晰可见,属性提取表明本区中-下奥陶统内幕还发育较多次级小断裂,形成平面广泛分布的断裂-裂缝体系。

对中-下奥陶统碳酸岩储层有明显改造的断裂可分为三大断裂系统:中奥陶世末-晚奥陶世压扭走滑断裂系统、晚泥盆世-早石炭世张扭走滑断裂系统和晚二叠世末挤压/压扭断裂系统。三大断裂系统既促进构造裂缝的发育,也为岩溶流体改造提供了通道。

从促进大气水岩溶作用的角度分析,只有在不整合同期或之前发育的断裂才可以为岩溶作用提供通道。显然,中奥陶世末及其之前的断裂促进了大气水岩溶作用的发育,而更晚的断裂只能为深部热液改造提供有利通道。从发育裂缝的角度分析,奥陶系沉积以来,本区多期活动断裂为广泛的断裂-裂缝-微裂缝体系发育创造了有利条件。

2.2.3 深部热液流体进一步改造储层,流体性质及岩性结构可能控制热液相关储层纵向分布

塔中地区发育广泛的热液活动^[11-15],如顺南4井富硅热液流体形成的硅质岩脉及古隆1井热液白云化作用,揭示了深部热液流体对储层的发育具有改造作用,富硅流体对储层的改造作用表现在对灰岩断裂-裂缝体系的溶蚀-交代-胶结作用,其中溶蚀、交代与胶结作用的相对强度、决定了储层的发育程度。目前勘探实践表明,塔中北坡(包括古城地区)鹰山组下段-蓬莱坝组储层总是发育在白云岩或白云岩与灰岩的过渡位置,说明岩性结构对热液流体溶蚀-交代-胶结具有较强的控制作用,进而间接控制了热液改造型储层的纵向发育位置,即在岩性变化界面附近有较强的建设性溶蚀改造,而后就表现为强烈的胶结充填,这可能也是顺南4井构造溶蚀缝先沉淀石英、后沉淀方解石的原因,也是一间房组-鹰山组上段构造裂缝往往为方解石强烈胶结的原因,顺南2井紧邻断裂带储层裂缝发育但被巨晶方解石强烈胶结也是如此。

通过近期研究初步认为,中-下奥陶统内幕多期构造运动形成多幕次暴露溶蚀作用是本区多套储层形成的最主要因素;断裂活动为岩溶发育和后期热液活动提供了有利流动通道,同时形成的裂缝也是有利储集空间;深部热液活动及相关储层分布局限,目前只有顺南4井钻遇。初步建立了塔中北坡奥陶系储层发育模式(图5)。

3 油气藏特征

3.1 油气地球化学特征及其来源

顺南地区目前钻井在奥陶系一间房组、鹰山组上段和鹰山组下段均获得油气突破。仅顺南1井在一间房组测试获少量凝析油外,其余均为高干燥系数的干气。

3.1.1 原油地球化学特征

顺南地区仅顺南1井获凝析油。顺南1井一间房组为凝析油气藏,气油比为8 844 m³/m³,凝析油原油

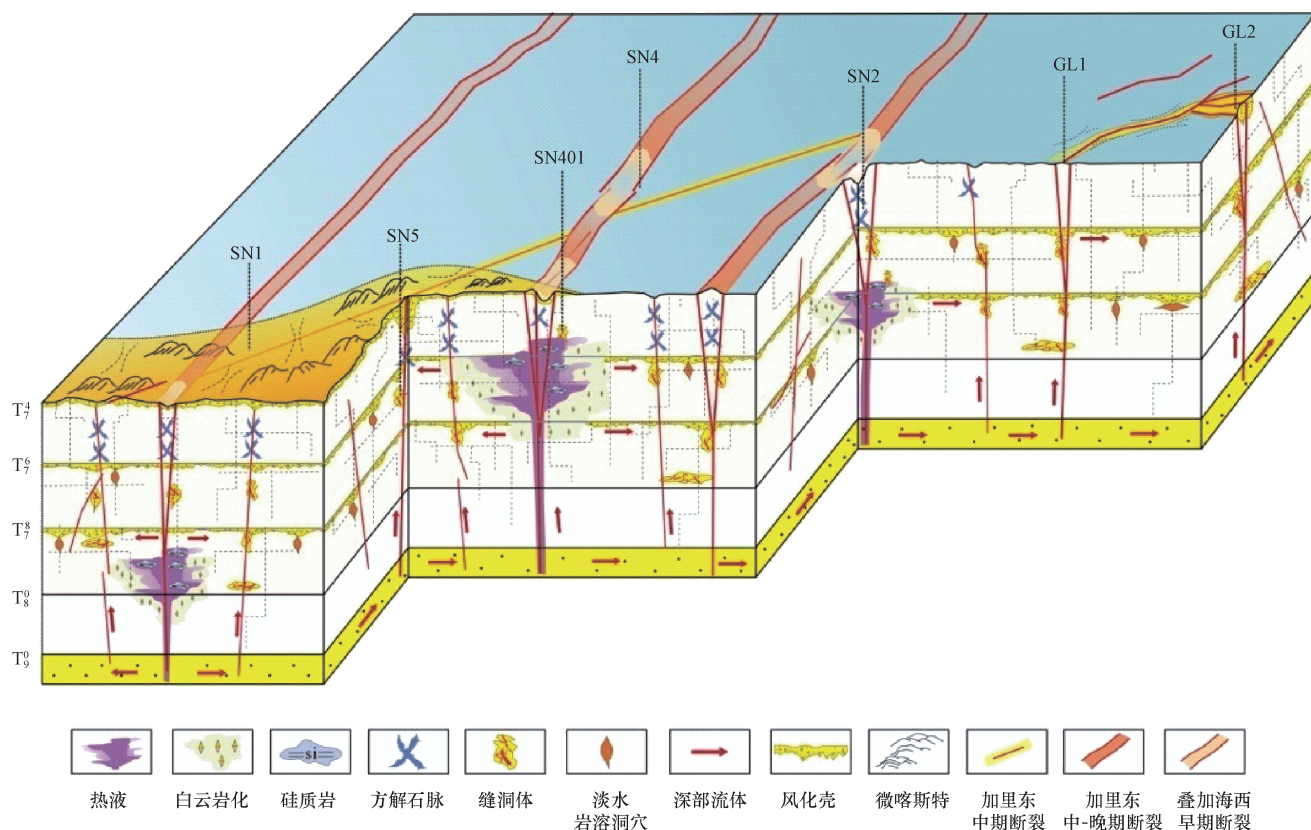


图5 塔里木盆地顺南地区奥陶系储层发育模式

Fig. 5 Development model of the Ordovician reservoir in Shunnan area, Tarim Basin

密度 0.7966 g/cm^3 , 粘度 $0.47 \sim 1.15 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, 含蜡量 $0.20\% \sim 0.38\%$, 含硫量 0.14% , 无沥青质和胶质, 属低粘度、低含硫、低含蜡凝析油。化学性质方面, 饱和烃含量 78.38% , 饱/芳值 14.5 , 非烃 + 沥青质含量中等, 占 16.22% ; 全油色谱呈前峰单峰态分布, 主峰碳 $n\text{C}_{17}$, 轻烃组分保留完整。

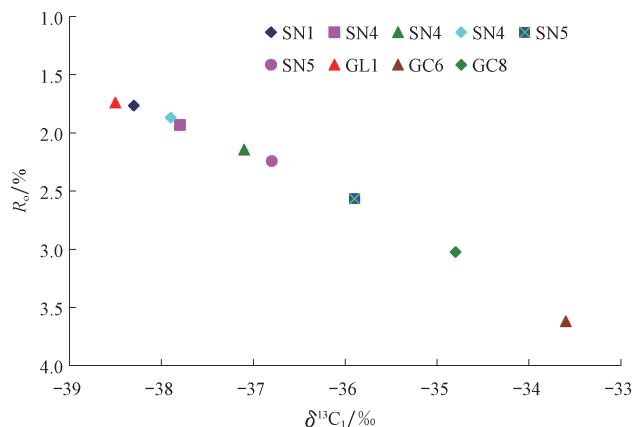
顺南1井原油 Pr/Ph 值 0.59 , $\text{C}_{21}/\text{C}_{23}$ 三环萜烷值 0.52 , 伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷丰度低、为 0.34 , 重排胆甾烷丰度低、为 0.4 , 甾烷系列呈 $\text{C}_{27} > \text{C}_{28} < \text{C}_{29}$ “V” 字型分布, C_{28} 甾烷相对含量为 24.3% , 仅含低丰度甲基三芳甾烷系列, 不具有芳香甲基甾烷优势, 全油与馏分碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 值大于 -30% , 原油特征与塔河相似, 初步认为来自寒武系 - 中、下奥陶统盆地 - 斜坡相烃源岩。

3.1.2 天然气地球化学特征及来源

顺南地区天然气以烃类气体为主, 甲烷含量为 $82.9\% \sim 95.8\%$, CO_2 含量为 $0.57\% \sim 9.83\%$, N_2 含量为 $0.07\% \sim 5.78\%$, 干燥系数为 $0.971 \sim 0.999\%$, 整体表现为 CO_2 含量中等、 N_2 含量低、 H_2S 含量低、干燥系数高的干气气藏特征。

顺南地区气藏中天然气的甲烷碳同位素值主体分布在 $-33.6\% \sim -38.3\%$, 乙烷碳同位素主体分

布在 $-27.3\% \sim -38.7\%$, 大多低于腐泥型母质和腐殖型母质来源天然气的分界 -28% , 属于海相腐泥型母质来源的油型气。 $\delta^{13}\text{C}_{2-1}$ 值小, 均小于 10% , 反映天然气成熟度高。根据天然气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 和 R_o 值关系式^[16], 换算出的天然气镜质体反射率 (R_o) 主体在 $1.77\% \sim 3.62\%$ (图6), 说明天然气处于过成熟阶段。这与塔河油田东部 TS1 井寒武系产出的天然气具有较好的相似性, 说明天然气主要来源于寒武系 - 中、下奥陶统盆地 - 斜坡相烃源岩。

图6 顺南地区奥陶系天然气碳同位素与 R_o 关系Fig. 6 Relationship between carbon isotope and R_o in the Ordovician gas in Shunnan area, Tarim Basin

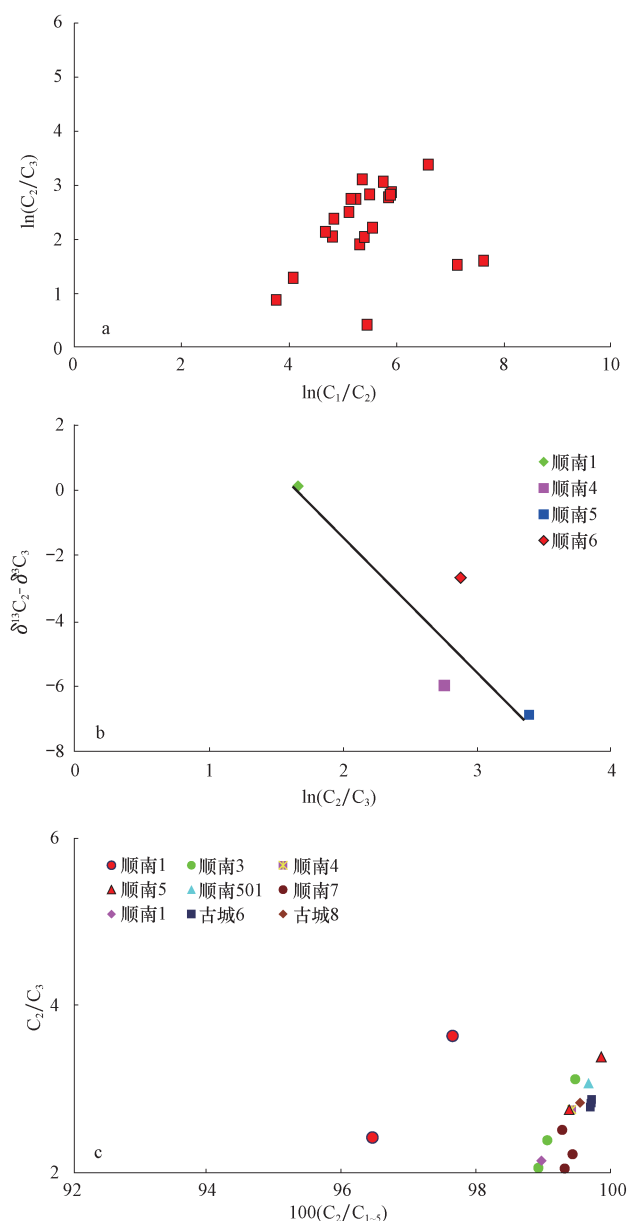


图7 塔里木盆地顺南地区天然气组分 a)、碳同位素 b) 及组分与干燥系数关系 c)

Fig. 7 Relationship among gas composition, carbon isotope and components and dry coefficient in Shunnan area, Tarim Basin

由图7分析,顺南地区的天然气 $\ln(C_1/C_2)$ 值变化较大而 $\ln(C_2/C_3)$ 值变化不大, $\ln(C_1/C_2)$ 为4~6, $\ln(C_2/C_3)$ 为2~3,明显区别于原油裂解成因的普光大气田^[17], $\ln(C_1/C_2)$ 与 $(\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_3)$ 呈现负相关关系,干燥系数高,多井包裹体以甲烷气包裹体为主,少见含沥青气相包裹体和沥青包裹体,呈现出干酪根裂解成因气的特征^[18-19]。

3.2 油气成藏过程

顺南地区油气主要来源于满加尔坳陷及顺南地区的寒武系-中、下奥陶统盆地-斜坡相烃源岩。通过储层中与天然气伴生的盐水包裹体的均一化温度统计,温

度主要分布在120~130℃和140~150℃,结合埋藏史分析,有效成藏期分别为海西晚期和喜马拉雅期。同时在早期形成的裂缝和白云岩晶间孔中见到沥青充填,表明海西早期及以前形成的油藏在其后强烈的构造作用下,油气经历强烈的调整破坏^[20]。晚海西期,满加尔坳陷寒武系-中、下奥陶统烃源岩进入生油和湿气阶段,生成的油气通过不整合面、断裂和裂缝输导体系运移至南部高部位的顺南地区和卡塔克隆起区,形成轻质油和湿气共存的油藏。喜马拉雅期,满加尔坳陷烃源岩全部进入生干气阶段,生成的过成熟天然气向顺南地区发生大规模的充注形成现今该区以干气为主的气藏。

3.3 油气藏类型

顺南地区多口井在多组段测试获高产气流。从测试情况分析,顺南地区奥陶系碳酸盐岩气藏可能是一个叠合连片含气、并具有气柱高度大、富集受储层发育程度控制、具有统一压力系统的大型缝洞型天然气藏。

3.4 油气成藏主控因素

3.4.1 寒武系-奥陶系优质烃源岩为形成大气藏提供物质基础

顺南地区油气主要来源于满加尔坳陷及顺南地区的寒武系-中、下奥陶统盆地-斜坡相烃源岩。通过露头 and 井下资料研究,烃源岩在满加尔坳陷区广泛分布,尉犁1井、塔东1井、塔东2井、米南1井等及库鲁克塔格露头均见此套优质烃源岩。寒武系自下而上发育下统西山布拉克组(ϵ_{1xs}) (下部相当于斜坡区玉尔吐斯组)、西大山组(ϵ_{1xd})、中统莫合尔山组(ϵ_{2m})、上统突尔沙克群(ϵ_{3te})多套烃源岩。西大山组泥岩厚度为80m左右,有机碳含量(TOC)最高3.52%;莫合尔山组泥岩厚度为50m左右, TOC 最高3.9%。黑土凹组泥岩厚度为50m左右, TOC 最高2.77%。

据烃源岩热演化的研究,满加尔坳陷寒武系-中、下奥陶统烃源岩具长期、持续生烃、多期供烃的特点。海西期是此套烃源岩生、排烃高峰时期,提供以原油为主的油气资源。喜马拉雅期该区烃源岩生、排烃的规模有所减少,并且提供以天然气和轻质油为主的油气资源。

盆地相烃源岩持续快速埋藏,热演化程度较高,现今已达过成熟阶段,以干气为主。近期研究表明阿瓦提-顺托-满加尔有斜坡-潮下带烃源岩,顺南地区下部也可能发育下寒武统斜坡-潮下带烃源岩,在此不在赘述。

总之,满加尔坳陷及顺南地区的寒武系-中、下奥

陶统盆地-斜坡相烃源岩分布范围广,厚度大,有机质类型好、丰度高,为顺南地区喜马拉雅山期天然气成藏提供了坚实的物质基础。

3.4.2 长期稳定发育的古斜坡、古隆起背景为天然气聚集提供了有利条件

勘探实践证实,长期发育的古隆起、古斜坡是油气运聚成藏的有利指向区。顺南地区的构造演化揭示,该区在寒武系-中奥陶统为统一的碳酸盐岩台地沉积。加里东中期Ⅲ幕(奥陶纪末期)开始,受阿尔金造山运动的影响,顺南地区及其南部强烈隆起,古隆起、古斜坡形成,之后至现今虽有小的构造运动,但大的古隆起、古斜坡背景一直保持,相对于满加尔生烃坳陷一直处于高部位,是油气运移聚集成藏的有利区。

3.4.3 储集体发育程度控制了油气聚集规模

塔河碳酸盐岩缝洞型圈闭油气勘探实践已经证实,优质缝洞系统是油气运移和聚集的主体。顺南地区碳酸盐岩基质孔不发育,有效储集空间绝大多数为次生的溶蚀孔洞与裂缝。实钻结果表明,储层发育与油气显示有很好的对应性,储层发育的地方油气显示好,同时该区顺南5井钻揭奥陶系碳酸盐岩873 m没有见到水层,充分说明本区晚期天然气充注成藏强度大,气藏气柱高度高。总之,碳酸盐岩油气沿优质储集体聚集成藏,储集体发育程度从根本上控制了油气聚集规模。

3.4.4 却尔却克组巨厚区域泥岩盖层为天然气富集提供重要保障

顺南地区以天然气藏为主,气藏对封盖性能要求更高,而本区在奥陶系上统发育一套巨厚的却尔却克组泥岩盖层,厚度大(在2 000 m左右),岩性纯(以泥岩为主),压实作用较强,岩性致密,为天然气在中-下奥陶统聚集提供了主要保障。

3.4.5 断裂带是油气富集有利区带

本区钻井揭示,离断裂带越近,奥陶系碳酸盐岩储层越发育,钻井测试产能越高。一方面是由于离断裂带近,构造裂缝发育,有利于岩溶流体与晚期热液运移改造储层;另一方面,断裂也是油气运移的主要途径,油气沿断裂运移在储集体中聚集成藏。因此,断裂带是油气富集有利区带,同时断裂带的拉张部位是油气富集有利部位。

4 结论

顺南地区具有优越的成藏地质条件,是天然气最

现实的增储上产阵地。自2005年古隆1井在鹰山组白云岩段获低产气流,至2011年顺南1井一间房组获得突破,2013年顺南4、顺南5井鹰山组获得高产天然气流,展示了奥陶系多层系富集成藏的特征。储层发育程度是控制油气富集规模的关键,近断裂带有利储层发育区是最有利的勘探区。顺南地区中、下奥陶统顶面埋深小于7 500 m勘探面积为6 261 km²,目前三维区已经发现圈闭面积1 132.76 km²,圈闭资源量3 732.78 × 10⁸ m³,展示了奥陶系勘探领域的巨大勘探潜力,具备形成大气田的油气地质条件。

虽然顺南地区取得油气突破,但由于该区勘探程度较低、地质条件复杂,在奥陶系储层成因与预测、油气富集规律等方面依然存在许多需要深入思考和攻关的问题。塔中北坡顺南地区获得油气突破,进一步坚定了我们在塔里木盆地发现大油气田的信心,这需要我们找准工作重点,潜心研究、转变勘探思路、配套工程工艺技术,争取早日发现、培育出塔里木盆地台盆区第一个大气田。

参 考 文 献

- [1] 金之钧,王清晨.中国典型叠合盆地与油气成藏研究新进展——以塔里木盆地为例[J].中国科学(D辑:地球科学),2004,34(增刊1):1-12.
Jin Zhijun, Wang Qingchen. New progresses in research of China's typical superimposed basins and reservoiring of hydrocarbons: taking Tarmi Basin as an example[J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2004, 34(S1): 1-12.
- [2] 金之钧.中国典型叠合盆地油气成藏研究新进展(之二)——以塔里木盆地为例[J].石油与天然气地质,2006,27(3): 281-288,294.
Jin Zhijun. New progresses in research of China's typical superimposed basins and reservoiring of hydrocarbons (Part II): taking Tarim Basin as an example[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 281-288, 294.
- [3] 林畅松,杨海军,刘景彦,等.塔里木早古生代原盆地古隆起地貌和古地理格局与地层圈闭发育分布[J].石油与天然气地质,2008,29(2):189-197.
Lin Changsong, Yang Haijun, Liu Jingyan, et al. Paleohigh geomorphology and paleogeographic framework and their controls on the formation and distribution of stratigraphic traps in the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(2): 189-197.
- [4] 高志前,樊太亮,焦志峰.塔里木盆地寒武-奥陶系碳酸盐岩台地样式及其沉积响应特征[J].沉积学报,2006,24(1):19-27.
Gao Zhiqian, Fan Tailiang, Jiao Zhifeng. The structural types and depositional characteristics of carbonate platform in the Cambrian-Ordovician of Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(1): 19-27.
- [5] 吴世敏,马瑞士,卢华复,等.西昆仑早古生代构造演化及其对塔西南盆地的影响[J].南京大学学报(自然科学版),1996,32(4):104-111.
Wu Shimin, Ma Ruishi, Lu Huaifu, et al. The western Kunlun pa-

- leozoic tectonic evolution and its effect on SW Tarim Basin[J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 1996, 32 (4) : 104 - 111.
- [6] 阳怀忠. 塔里木盆地中央隆起带隆坳格局变迁及其构造控制机制分析[D]. 北京: 中国地质大学, 2010.
- Yang Huaizhong. Research on uplift-depression framework evolution and its tectonic control mechanism in the central uplift belt[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2010.
- [7] 任建业, 张俊霞, 阳怀忠, 等. 塔里木盆地中央隆起带断裂系统分析[J]. 岩石学报, 2011, 01: 219 - 230.
- Ren Jianye, Zhang Junxia, Huaizhong, et al. Analysis of fault systems in the central uplift, Tarim Basin. [J]. Acta Petrologica Sinica, 27 (1) : 219 - 230.
- [8] 景秀春, 邓胜徽, 赵宗举, 等. 塔里木盆地柯坪地区寒武 - 奥陶系界线附近的碳同位素组成与对比[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2008, 38(10): 1284 - 1296.
- Jing Xiuchun, Deng Shenhui, Zhao Zongju, et al. Carbon isotopic compositions and contrast of nearby Cambrian-Ordovician boundary in Kalpin areas, Tarim Basin[J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2008, 38(10): 1284 - 1296.
- [9] 赵宗举, 赵治信, 黄智斌. 塔里木盆地奥陶系牙形石带及沉积层序[J]. 地层学杂志, 2006, 30(3): 193 - 203.
- Zhao Zongju, Zhao Zhixin, Huang Zhibin. Ordovician conodont zones and sedimentary sequences of the Tarim Basin[J]. Journal of Stratigraphy, 2006, 30(3): 193 - 203.
- [10] 刘忠宝, 于炳松, 李廷艳, 等. 2004, 塔里木盆地塔中地区中上奥陶统碳酸盐岩层序发育对同生期岩溶作用的控制[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 103 - 109.
- Liu Zhongbao, Yu Bingsong, Li Tingyan, et al. Sequence development controls on in-situ karst of the middle-upper Ordovician carbonate in Tazhong Area, Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(1): 103 - 109.
- [11] 朱东亚, 金之钧, 胡文瑄. 塔中地区热液改造型白云岩储层[J]. 石油学报, 2009, 30(5): 698 - 704.
- Zhu Dongya, Jin Zhijun, Hu Wenxuan. Hydrothermal alteration dolomite reservoir in Tazhong area [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30 (5) : 698 - 704.
- [12] 吕修祥, 杨宁, 解启来, 等. 塔中地区深部流体对碳酸盐岩储层的改造作用[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 284 - 289.
- Lu Xiuxiang, Yang Ning, Xie Qilai, et al. Carbonate reservoirs transformed by deep fluid in Tazhong area[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(3): 284 - 289.
- [13] 王嗣敏, 金之钧, 解启来. 塔里木盆地塔中 45 井区碳酸盐岩储层的深部流体改造作用[J]. 地质论评, 2004, 50(5): 543 - 546.
- Wang Simin, Jin Zhijun, Xie Qilai. Transforming effect of deep fluids on carbonate reservoirs in the well TZ45 region[J]. Geological Review, 2004, 50(5): 543 - 546.
- [14] 吴茂炳, 王毅, 郑孟林, 等. 塔中地区奥陶纪碳酸盐岩热液岩溶及其对储层的影响[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2007, 37(增刊 I) : 83 - 92.
- Wu Maobing, Wang Yi, Zheng Menglin, et al. Ordovician carbonate hydrothermal karst and the influence on reservoir in Tazhong area[J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2007, 37 (S1) : 83 - 92.
- [15] 潘文庆, 刘永福, Dickson J A D, 等. 塔里木盆地地下古生界碳酸盐岩热液岩溶的特征及地质模型[J]. 沉积学报, 2009, 27(5): 983 - 994.
- Pan Wenqing, Liu Yongfu, Dickson J A D, et al. The geological model of hydrothermal activity outcrop and the characteristics of carbonate hydrothermal karst of lower Paleozoic in Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(5): 983 - 994.
- [16] 戴金星, 戚厚发, 宋岩. 鉴别煤成气和油型气若干指标的初步探讨[J]. 石油学报, 1985, 6(2): 31 - 38.
- Dai Jinxing, Qi Houfa, Song Yan. On the indicators for identifying gas from oil and gas from coal measure [J]. Acta Petrolei Sinica, 1985, 6 (2) : 31 - 38.
- [17] 邹才能, 杜金虎, 徐春春, 等. 四川盆地震旦系 - 寒武系特大型气田形成分布、资源潜力及勘探发现[J]. 石油勘探与开发, 2014, 4(3): 278 - 293.
- Zou Caineng, Du Jinhu, Xu Chunchun, et al. Formation, distribution, resource potential and discovery of the Sinian Cambrian giant gas field, Sichuan Basin, SW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 4(3): 278 - 293.
- [18] 黄光辉, 张敏, 胡国艺, 等. 原油裂解气和干酪根裂解气的地球化学研究(II) ——原油裂解气和干酪根裂解气的区分方法[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2008, 38(S2): 9 - 16.
- Huang Wenhui, Zhang Min, Hu Guoyi, et al. Geochemistry study of oil cracking gas and kerogen cracking gas (II) : method for distinguishing oil cracking gas and kerogen cracking gas [J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2008, 38(S2): 9 - 16.
- [19] 张有瑜, Horst Zwingmann, 刘可禹. 塔中隆起志留系沥青砂岩油气储层自生伊利石 K-Ar 同位素测年研究与成藏年代探讨[J]. 石油与天然气地质, 2007, 38(2): 166 - 174.
- Zhang Youyu, Horst Zwingmann, Liu Keyu. K-Ar isotopic dating of authigenic illite and its application to the investigation of hydrocarbon accumulation history of the Silurian bituminous sandstone reservoirs in the Tazhong Bplift, Tarim basin [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28 (2) : 166 - 174.
- [20] 刘德汉, 肖贤明, 田辉, 等. 应用流体包裹体和沥青特征判别天然气的成因[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(3): 375 - 382.
- Liu Dehan, Xiao Xianming, Tian Hui, et al. Identification of natural gas origin using the characteristics of bitumen and fluid inclusions [J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36 (3) : 375 - 382.

(编辑 张玉银)