

文章编号:0253-9985(2010)01-0076-08

塔里木盆地巴楚-麦盖提地区早古生代古隆起的演化及其勘探意义

吕海涛¹,张仲培²,邵志兵²,张根法¹,岳勇¹

(1. 中国石油化工股份有限公司 西北油田分公司 石油勘探开发研究院,新疆 乌鲁木齐 830011;

2. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:利用地震和钻井资料,结合前人认识,运用叠合盆地构造解析方法,分析了塔里木盆地巴楚-麦盖提地区早古生代古隆起的形成展布及后期构造演化过程,并从油气成藏条件的角度,阐述了其油气勘探意义。认为研究区在加里东中期-海西早期具备岩溶发育的古隆起背景,奥陶系岩溶储集体值得勘探重视;麦盖提斜坡北部与巴楚隆起南缘带在早古生代为古隆起的北斜坡区,是长期的油气运移指向区,利于油气聚集;麦盖提斜坡北部的海西晚期构造带,是下一步有利的勘探区带。

关键词:古隆起;构造演化;油气勘探;碳酸盐岩岩溶;巴楚隆起;麦盖提斜坡;塔里木盆地

中图分类号:121.1

文献标识码:A

Structural evolution and exploration significance of the Early Paleozoic palaeouplifts in Bachu-Maigaiti area, the Tarim Basin

Lü Haitao¹, Zhang Zhongpei², Shao Zhibing², Zhang Genfa¹, and Yue Yong¹

(1. Petroleum Exploration & Production Research Institute, SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China;

2. SINOPEC Petroleum Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on integration of seismic and drilling data and in combination with the previous studies, we analyze the development, distribution and later tectonic evolution of the Early Paleozoic paleouplift in the Bachu-Maigaiti area by using the structural analysis method of superimposed basin. Its significance for hydrocarbon exploration is presented from the perspective of hydrocarbon accumulation conditions. A paleouplift favorable for karstification existed in the Middle Caledonian-Early Hercynian in the study area, and thus attentions should be paid to exploration of the Ordovician karst reservoirs. The northern part of the Maigaiti slope and the southern margin of the Bachu uplift were the northern slope zone of the paleouplift in the Early Paleozoic. They are the long-term target zone for hydrocarbon migration, and also are favorable for hydrocarbon accumulation. The Late Hercynian structural belt in the northern part of the Maigaiti slope is favorable for further exploration.

Keywords: palaeouplift, structural evolution, petroleum exploration, carbonate karstification, Bachu Uplift, Maigaiti Slope, Tarim Basin

巴楚-麦盖提(巴-麦)地区位于塔里木盆地的中西部,跨越巴楚断隆和麦盖提斜坡两个二级构造单元。北西邻柯坪断隆,北东接阿瓦提断陷,东南与塘古巴斯凹陷相连,西南与喀什凹陷、莎车

凸起、叶城凹陷为邻。巴楚隆起被夹持在色力布亚-玛扎塔格断裂带与阿恰-吐木休克断裂带之间,为一大型背冲断隆,麦盖提斜坡则为向西南倾的区域性斜坡(图1)。

收稿日期:2009-09-16。

第一作者简介:吕海涛(1977—),男,工程师,油气勘探。

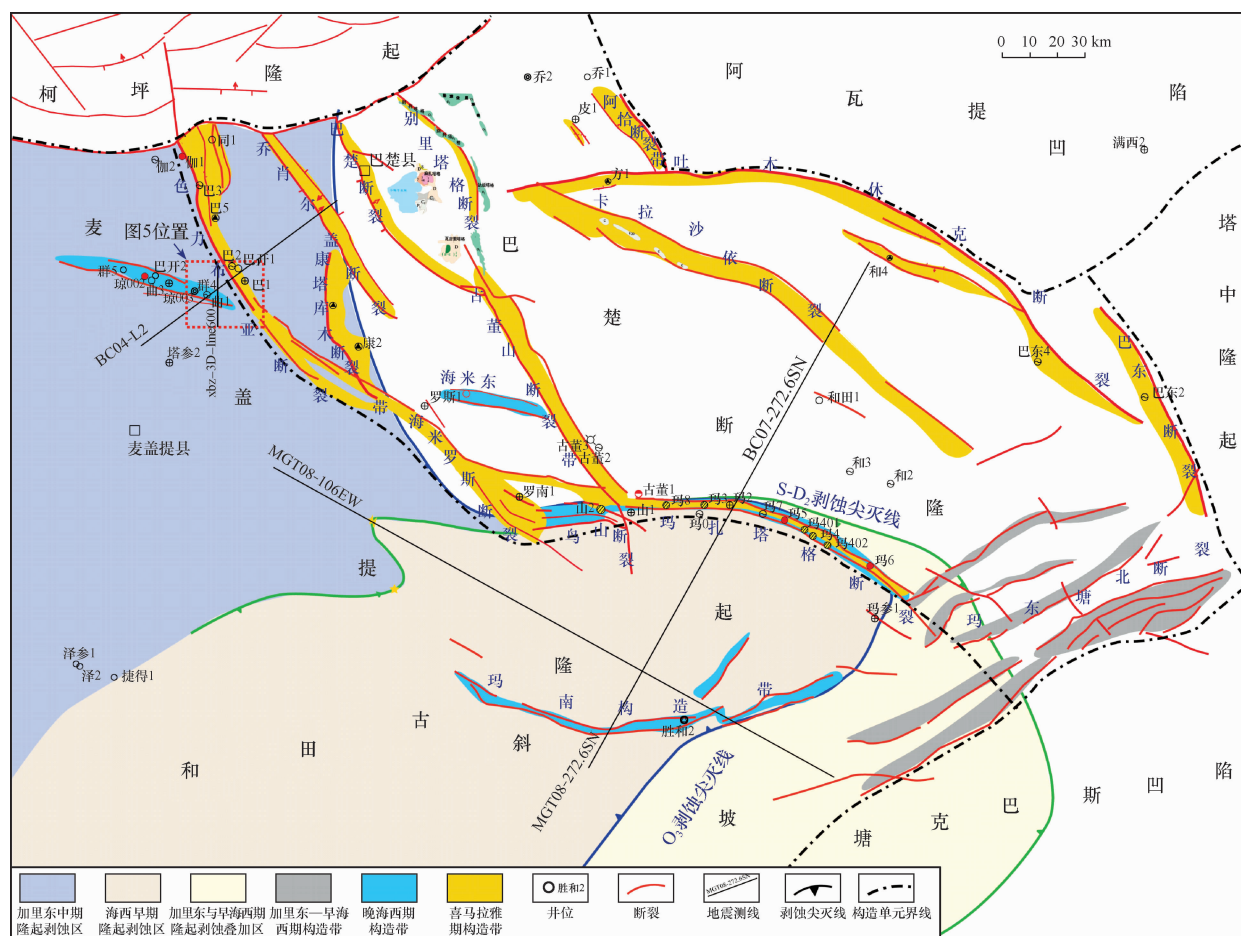


图1 巴楚-麦盖提地区古隆起与构造带分布

Fig. 1 Locations of palaeoupifts and structural belts in Bachu-Maigaiti area

在早古生代,受塔西南古隆起(与和田古隆起)形成演化的影响,麦盖提及其以南地区均处于隆起区及其北斜坡区,广大地区缺失中上奥陶统,下奥陶统也不同程度地遭受剥蚀,和田古隆起上还缺失志留-泥盆系,现今的麦盖提斜坡区当时为构造高部位或隆起北斜坡区^[1~3]。

早期的勘探已在巴楚隆起的南缘构造带和麦盖提斜坡北部构造带上取得了奥陶系与石炭-二叠系的油气突破,发现了和田河气田、乌山气田、巴什托与亚松迪油气田。但近年来的油气勘探一直未取得大的突破,尤其是对下古生界奥陶系的勘探,一直未取得进一步的突破。前期的地质研究针对巴楚隆起的构造样式与中新生代的构造演化^[4~8]、烃源岩与油气成藏过程^[9~12]、构造演化与油气分布的关系^[13~15]等取得了丰富的成果认识。

近几年来,随着对麦盖提斜坡地区地震勘探与钻探力度的加大,为认识这一地区早古生代的

古隆起结构形态及其演化提供了一些基础资料。文中从地震资料和钻井资料入手,把构造解析方法与区域构造背景分析相结合,在前人认识的基础上,分析巴-麦地区早古生代古隆起形成展布及后期的构造演化过程,进而从油气成藏条件角度阐述其油气勘探意义。

1 加里东中期—海西早期古隆起的形成与展布

1.1 加里东中期塔西南古隆起

寒武—奥陶纪,塔里木盆地南北两侧均为被动陆缘拉张时期,盆地西南缘发育库地洋;同时,在和田—叶城一线由于原裂谷肩部的均衡翘升,形成塔西南古隆起^[1,2]。巴-麦地区位于塔西克拉通内坳陷的主体部位,也即北部坳陷的北东倾南翼斜坡。晚奥陶世,库地洋向南侧中昆仑微陆

块俯冲消减,使塔里木板块南缘由被动边缘转化为主动边缘,这次的加里东中期构造活动使塔里木盆地西南部大幅度抬升,成为塔西南的前缘隆起区,玛扎塔格构造带北缘—罗南1井南缘—康2井一线以南以西中上奥陶统缺失(图1),下奥陶统遭到不同程度剥蚀,形成了上奥陶统顶部(T_7^0)与中下奥陶统顶部(T_7^4)两个重要不整合面。

1.2 海西早期和田古隆起

志留纪—泥盆纪,塔里木盆地处于克拉通内挤压盆地阶段,其南缘的库地洋于泥盆纪晚期闭合,塔里木与中昆仑地块拼合,北缘的南天山洋在这一时期也自东向西向中天山地块俯冲消减。

巴—麦地区北部整体沉降接受较厚沉积。中泥盆世末,在整体 SE—NW 方向挤压应力场的背景下,玛扎塔格地区—古董1井一线及其以南地区遭到强烈抬升、剥蚀,形成 NE 向展布的和田古隆起(图1)。其上缺失志留系—泥盆系,使石炭系角度不整合于奥陶系—寒武系不同层位之上(图2,图3),并在塔里木盆地南部形成志留纪—泥盆纪古逆冲构造带。玛东断裂带即为这一构造带的反冲断裂系统。此次构造活动形成的石炭系—泥盆系东河塘组与其下伏地层之间的不整合面(T_6^0)是一个大的构造转换面,它结束了早期巴—麦地区加里东中期西南高、东北低的沉积格局,形成了麦盖提斜坡南高北低、东高西低的构造格局。

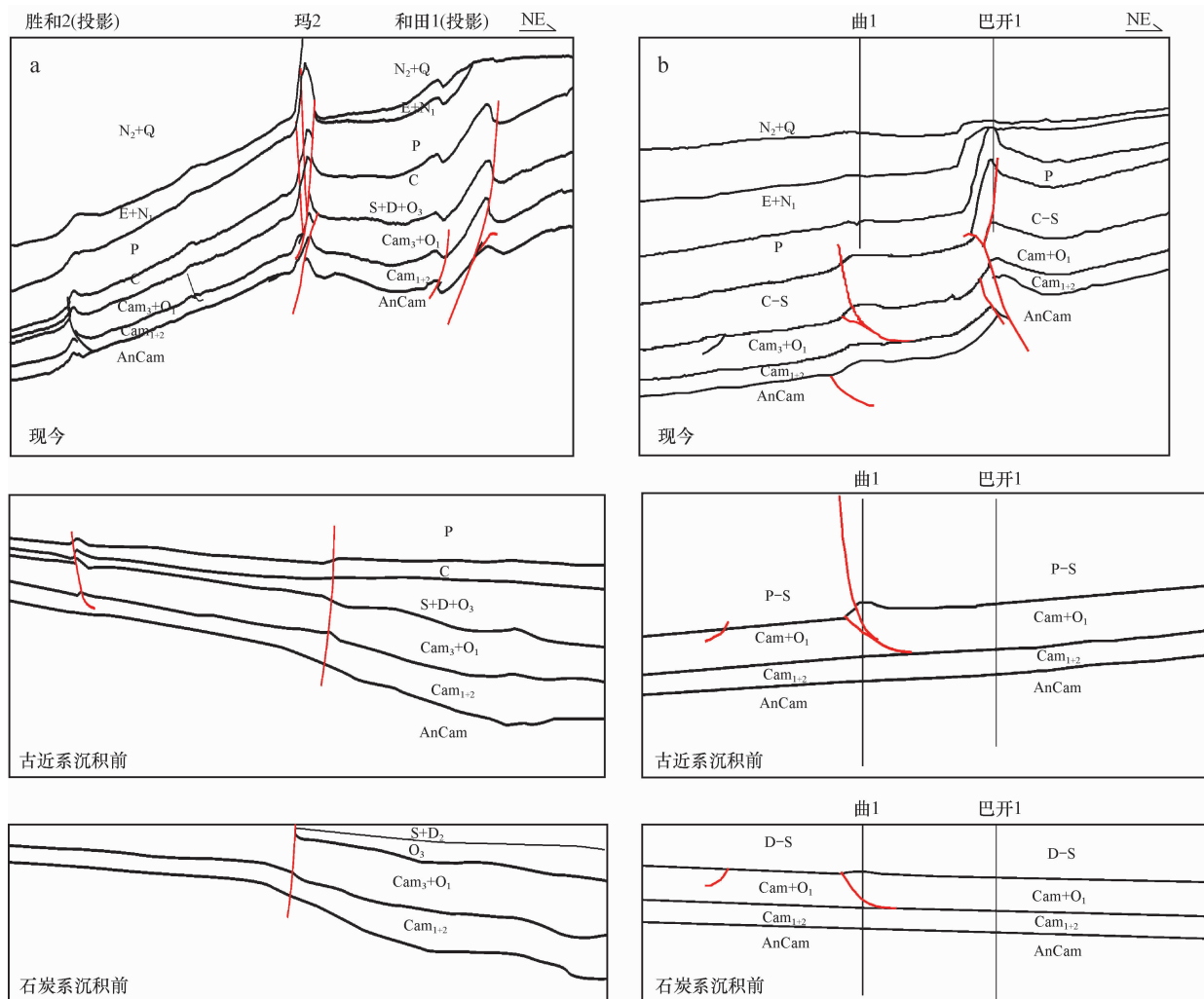


图2 巴楚—麦盖提地区东部与西部地震地质演化剖面(测线位置见图1)

Fig. 2 Seismogeologic profiles of eastern and western Bachu-Maigaiti areas (see Fig. 1 for section lines)

a. 东部地区(测线 MGT08-272.6SN); b. 西部地区(测线 13C04-12)

Q. 第四系; N_2 . 上新统; $E+N_1$. 古近系—中新统; P. 二叠系; C. 石炭系; S. 志留系; D. 泥盆系;

O_1+Cam_3 . 上寒武统—下奥陶统; O_3 . 上奥陶统; Cam_{1+2} . 中、下寒武统; AnCam. 前寒武系

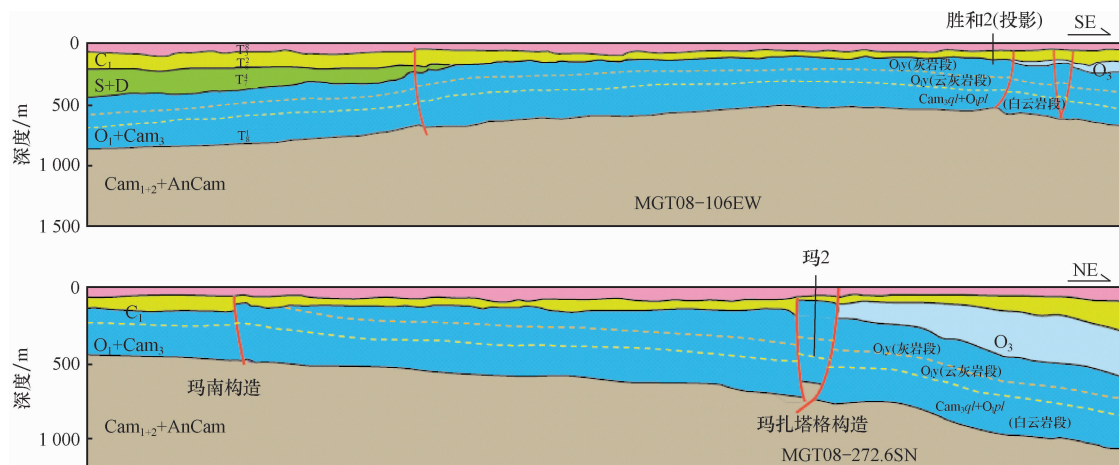


图3 麦盖提斜坡东部和田古隆起海西早期地质结构

Fig. 3 Sections showing the Early Hercynian geological structures of the Hetian palaeouplift in the Maigaiti Slope

(标准灰岩顶面 T_3^0 拉平后的剖面图,测线位置见图1)

C_1 . 下石炭统; $S+D$. 志留-泥盆系; O_1+Cam_3 . 上寒武一下奥陶统; O_3 . 上奥陶统; $Cam_{1+2}+AnCam$. 中、下寒武统一前寒武系

2 海西晚期—喜马拉雅期古隆起的后期演化

2.1 麦盖提地区海西晚期东、西分异演化

晚泥盆世—早二叠世,麦盖提地区的演化开始出现分异。麦盖提东部在沉降接受沉积过程中,和田古隆起仍保持东高西低、南高北低的构造格局(图2a)。而在西部地区,由于受南大洋闭合及岛弧碰撞的影响,现今巴楚隆起区的西北部逐渐抬升^[3,8];早二叠世中晚期,由于古特提洋向北俯冲消减,导致板块内部拉张、裂隙,岩浆活动异常强烈,形成了巴楚小海子水库东部麻扎塔格、南部瓦吉里塔格基性岩体、岩墙等;而位于其南部的叶城地区沉降为拗陷,原塔西南古隆起逐渐下沉并反转,导致巴-麦地区的西部由自震旦纪以来发育的北东倾单斜演化为区域性南倾单斜(图2b)。

2.2 中生代至喜马拉雅中晚期巴-麦地区整体隆升到强烈褶皱隆升与大幅度沉降为西南倾斜坡并存

中生代印支、燕山运动使巴楚隆起整体抬升为陆^[7]。中新世开始,印度板块与欧亚板块之间陆陆碰撞产生强烈的挤压变形,周缘造山带强烈隆升和向盆地内冲断推覆,从而使盆地边缘地带发生强烈的挠曲沉降而形成碰撞型前陆盆地,巴

楚隆起成为前陆盆地体系的前缘隆起。由于麦盖提以南地区构造和载荷作用形成挠曲沉降,随盆地的演化,前陆拗陷中心逐渐北移,造成在早古生代隆起(塔西南古隆起、和田古隆起)部位被动塌陷,古隆起的构造特征逐渐消失(图2)。上新世帕米尔突刺楔入,使塔里木盆地西部右旋,塔西南盆地转为压扭前陆盆地,巴楚隆起和麦盖提斜坡随之转向;同时巴楚隆起西段隆起主体上的大多数局部构造亦在此时期定型,且多带有压扭走滑性质^[5,8]。

3 油气勘探意义

巴-麦地区早古生代隆起的形成及其后期演化为下古生界碳酸盐岩层系多期岩溶作用与岩溶储层的形成、多层系含油气构造带的发育以及后期保存条件的形成奠定了基础,具有重要的油气勘探意义。

3.1 奥陶系加里东中期与海西早期岩溶广泛分布

巴-麦地区奥陶系广泛分布,不同地区上覆地层与奥陶系的不整合接触关系反映了碳酸盐岩岩溶的广泛性与长期性。西部的同1井、巴开1井、巴开2井、巴5井、康1井及康2井等表现为志留系上覆于中下奥陶统鹰山组,隆起上古董2井表现为志留系直接上覆于上奥陶统桑塔木组,古董1井在钻穿泥盆系东河塘组后直接进入中下奥陶统鹰山组;玛扎塔格带上玛3井表现为石炭系巴楚

组直接上覆于中下奥陶统鹰山组,而与其相邻的玛2井、玛10井却表现为良里塔格组直接下伏于泥盆系东河塘组;玛4井钻遇的情况与古董1井相同,而与玛4井相邻的玛401井却表现为泥盆系东河塘组与上奥陶统桑塔木组直接接触;玛南地区的胜和2井石炭系巴楚组下泥岩段直接下覆于中下奥陶统鹰山组之上。这种不同的接触关系与塔西南古隆起和田古隆起剥蚀程度的差异有着紧密关系。

沉积相研究显示,奥陶系沉积相类型主要包括局限台地相、开阔台地相和台地边缘浅滩相^[16]。但由于受加里东中期构造活动的影响,巴-麦地区的中部—西部部分地区的下奥陶统缺失。下奥陶统在整个巴-麦地区为开阔台地和局限台地相碳酸盐岩沉积区,所以,加里东中期岩溶分布广泛,控制了桑塔木组—中下泥盆统覆盖区岩溶储层的分布。受沉积相带和后期构造运动抬升剥蚀的控制,

有利的奥陶系勘探层系除在玛扎塔格及其周围有部分上奥陶统良里塔格组外,主要是中下奥陶统鹰山组。塔西南古隆起(和田古隆起)主要经历中晚奥陶世—泥盆纪剧烈隆起剥蚀,从而为鹰山组发育加里东中期—海西早期岩溶型风化壳储层的发育创造了良好的条件。研究表明,由于中西部大部分地区缺失中奥陶统一间房组及鹰山组上部,表明加里东中期一幕的岩溶广泛发育(图4)。由于受和田古隆起的控制,西南部岩溶作用总体强于东北部地区,海西早期岩溶主要发育于麦盖提区块。

岩溶作用的结果在上述地区形成了典型的岩溶古地貌特征。先巴扎三维区 T_4^4 界面之下一系列的地震属性提取揭示,中下奥陶统鹰山组具有典型的岩溶古地貌特征,发育有溶蚀谷地、溶蚀洼地、溶蚀残丘和溶蚀平原,平面上可形成古河道及纵横交错的古水系(图5)。

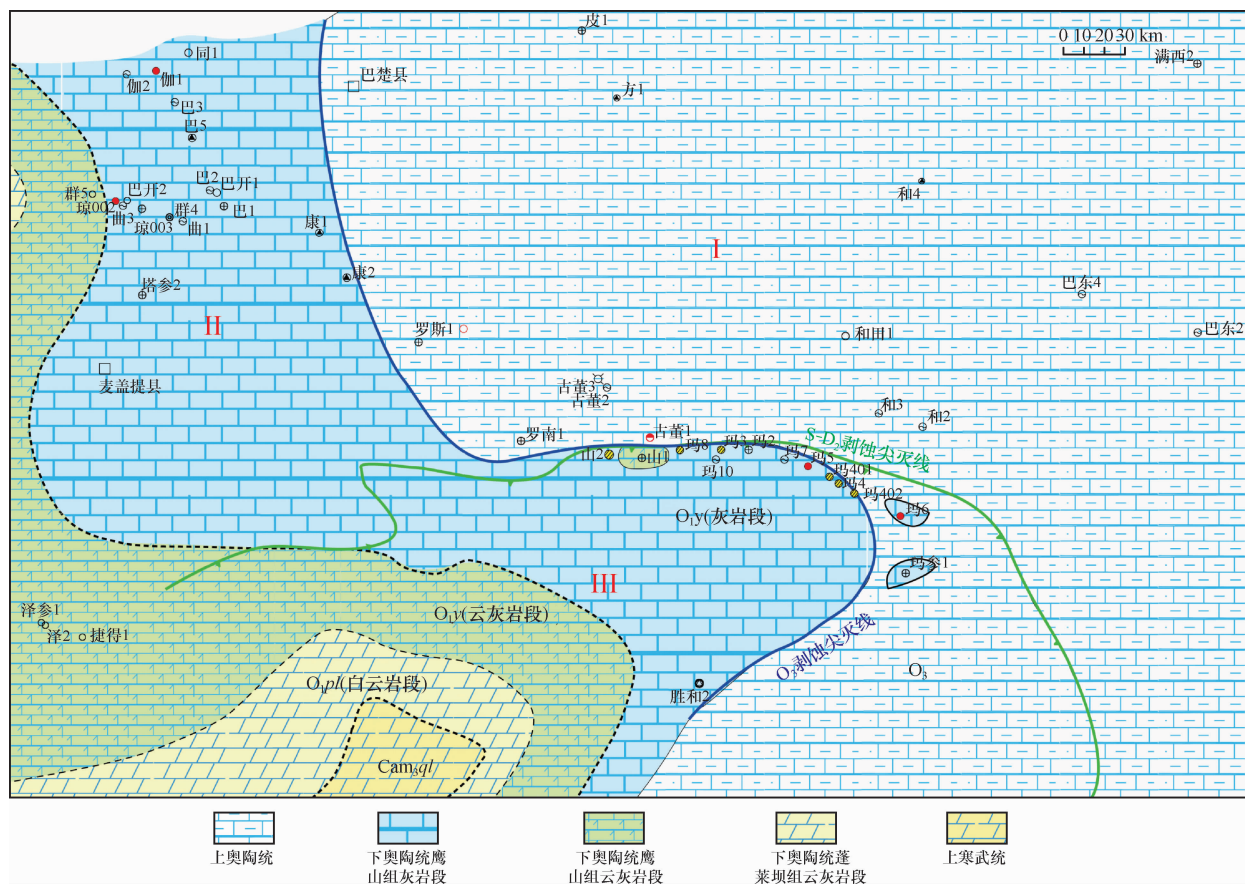


图4 巴楚-麦盖提地区中、下奥陶统加里东中期—海西早期岩溶分区

Fig. 4 Sketch map showing the Middle Caledonian-Early Hercynian karst zones in Bachu-Maigaiti area

I. 加里东中期I幕岩溶区; II. 加里东中期I、II幕岩溶区; III. 海西早期叠加改造区

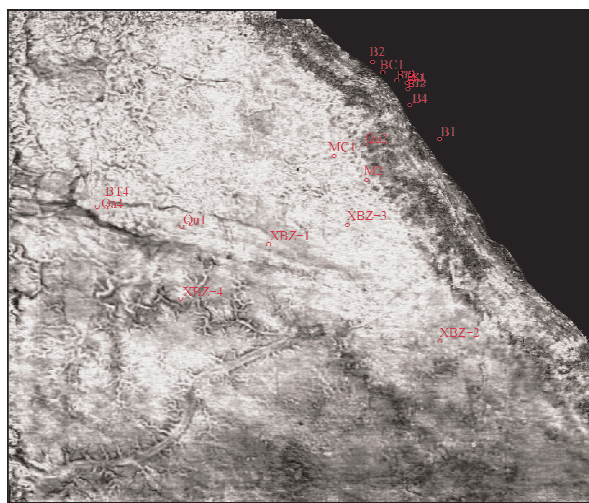


图5 麦盖提斜坡西部先巴扎三维区 T_7^4 界面以下
0~40 ms 平均振幅(工区位置见图1)

Fig. 5 0~40 ms average amplitude below the T_7^4 in the Xianbazha 3D seismic acreage in the western Maigaiti Slope

另外,和田古隆起上发育海西早期的岩溶叠加区,岩溶作用形成的岩溶残丘是有利的目标类型之一。麦盖提区块在和田古隆起的背景之上,发育加里东中期—海西早期三期岩溶。岩溶古地貌恢复显示,麦盖提区块总体处于和田古隆起的岩溶斜坡区,同样发育有一系列的岩溶残丘(图6)。相对而言,区块中北部区处于海西早期岩溶斜坡部位,主要出露鹰山组灰岩段,可能发育岩溶缝洞、岩溶残丘型圈闭,勘探相对有利;区块的西南部处于海西早期岩溶高地,主要出露鹰山组灰云岩段和白云岩段,可能发育白云岩、云灰岩岩溶残丘(图6a)。

钻井证实,奥陶系碳酸盐岩主要储层类型为裂缝-孔洞型、裂缝-溶洞型和裂缝-孔隙型。巴-麦地区典型的岩溶发育区是和田古隆起北缘的鸟山-玛扎塔格构造带,岩溶作用的结果形成大

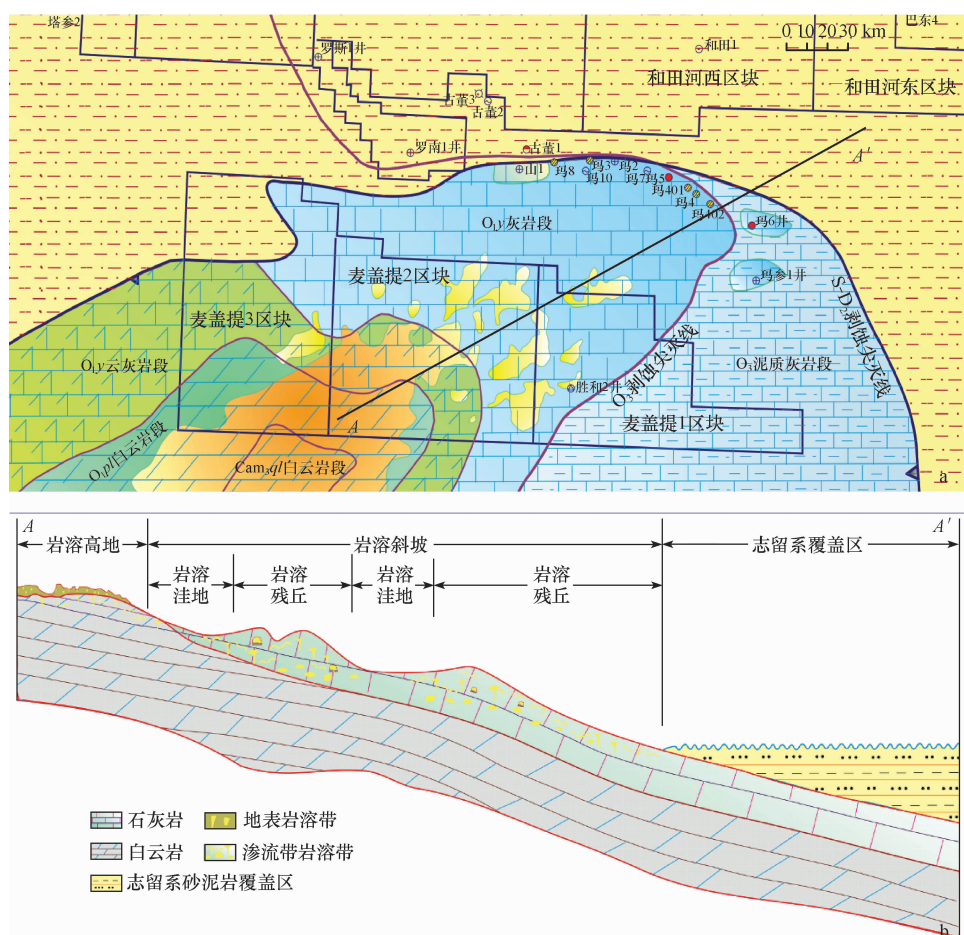


图6 麦盖提和田古隆起奥陶系古地貌分布(a)与海西早期岩溶发育模式(b)

Fig. 6 The Ordovician paleogeomorphology (a) and the Early Hercynian karstification mode (b) on the Hetian palaeouplift

量的溶蚀孔洞,由于碳酸盐岩储集体长期的暴露,在大气淡水的渗滤作用下,形成了一系列垂直的溶蚀孔洞系统和较大的溶蚀洞穴^[17]。此外,乌山-玛扎塔格构造带奥陶系储层发育的另一重要原因是构造运动形成的构造缝成为后期地层水(或热液)垂直渗滤的通道,沿着构造裂缝发育的一系列溶蚀孔洞大大增加了碳酸盐岩的储集空间,其储集空间主要有:粒间孔、粒间溶孔、晶间孔、晶间溶孔、裂缝溶孔、粒内容孔、基质溶孔、充填物溶孔、溶洞、窗格孔、收缩缝、构造溶蚀缝、压溶缝等。

综合研究表明,中下奥陶统鹰山组发育风化壳岩溶型储层,裂缝发育可提高储集体的储集性能,有利的勘探区带主要是色力布亚断裂带-海米罗斯断裂带及其断裂带南部下降盘平台区,和田古隆起主体区的麦盖提区块是另一有利的勘探区带。这些区带内除了发育加里东中期、海西早期岩溶外,还是多期构造运动的应力释放区,从而裂缝相对发育,形成鹰山组碳酸盐岩裂缝-孔洞型、裂缝-溶洞型和裂缝-孔隙型等良好储层。

3.2 早古生代隆起北斜坡区喜马拉雅期反转为西南倾斜坡,一直是油气侧向运移指向区

根据前述的隆起格局变化分析可知,巴-麦地区在演化历史过程中,其构造格局至少出现了三次主要的反转。从加里东中期到海西早期,麦盖提东部继承性隆起,形成和田河古隆起,而麦盖提西部则从隆起区变为沉降区;从海西早期到海西晚期—印支期,因巴楚隆起西段的隆升,巴-麦地区西部由早期的西南高北东低演变为北东高西南低,而东部则仍保持南高北低之势;从中生代到喜马拉雅晚期,因麦盖提斜坡以南地区的剧烈沉降和掀斜,巴-麦地区东部则由早期的南高北低反转成现今的北高南低,西部仍保持北东高西南低,但高差幅度增大。这种构造反转与构造格局的变化也决定了麦盖提斜坡区北部与隆起区南缘始终保持构造枢纽部位。

根据寒武系烃源岩的实测 R_o 值模拟的热演化结果^①,志留纪末期,巴楚隆起 R_o 值为 0.7% ~ 1.4%,演化相对较高,处于大量生油阶段;二叠纪末,中寒武统顶面以高成熟演化阶段为主,巴楚隆

起及塔西南坳陷成熟度相对较高, R_o 为 1.0% ~ 2.0%,主体处于生油与生气阶段;而麦盖提斜坡相对较低,尤其以麦盖提斜坡东部和田河古隆起区最低, R_o 值为 0.6% ~ 1.0%,处于生油阶段。至喜马拉雅晚期,中寒武统顶面以高成熟-过成熟演化阶段为主,巴楚隆起西部寒武系成熟度基本保持海西晚期时的成熟度状态,成熟度相对较低,其 R_o 为 1.0% ~ 2.0%,而巴楚隆起东部及塔西南坳陷、阿瓦提坳陷中寒武统成熟度均达过成熟阶段, R_o 为 2.0% ~ 4.0%,塔西南坳陷成熟度较低一些, R_o 为 1.0% ~ 3.0%。而现今石炭系烃源岩在巴楚隆起主体部位处于成熟阶段,其成熟度往周缘麦盖提斜坡、阿瓦提坳陷增大。

结合巴-麦地区的构造演化和烃源岩演化,加里东中晚期-海西早期,油气有自北、北东向南、南西方向运移的趋势,此时的北斜坡为北部生烃区油气向南、西南部隆起区运移的必经之地(图2);海西晚期,巴-麦东部地区仍保持自北向南运移趋势(图2a),而西部地区油气自南向北运移(图2b),现今麦盖提斜坡东部地区的玛南地区与西部地区的巴什托地区仍为油气运移的指向区;喜马拉雅中晚期,麦盖提斜坡的油气自南、西南向北、北东方向运移,因此斜坡北部及隆起南缘构造带仍为油气运移指向区。

3.3 晚海西期构造带喜马拉雅期沉降深埋藏,保存好,为有利的多层系勘探区带

在早古生代,巴-麦地区的西部、南部地区除在巴楚隆起的东南角分布有 NE 走向的玛东构造带外,构造带并不是广泛发育,构造以古隆起为重要特征。但进入海西晚期之后,由于受当时盆地北缘的天山造山作用形成的近 SN 方向的挤压应力场影响,在麦盖提斜坡上和巴楚隆起南缘构造带附近形成一系列呈近 EW 向展布的构造带,如巴什托-先巴扎构造带、玛南构造带、玛扎塔格构造带、海米东构造带等(图1)。喜马拉雅期,巴-麦地区虽受到了周边造山带活动的强烈影响,但褶皱变形主要发生在巴楚隆起区,麦盖提斜坡上的地层只有微弱活动,没有对早期构造带起到改造与破坏作用(图7)。此外,该期构造带与中下

^① 金之钧,王毅,马安来,等. 塔里木盆地台盆区有效烃源与油气勘探方向. 中国石化石油勘探开发研究院,西部新区勘探指挥部, 2005

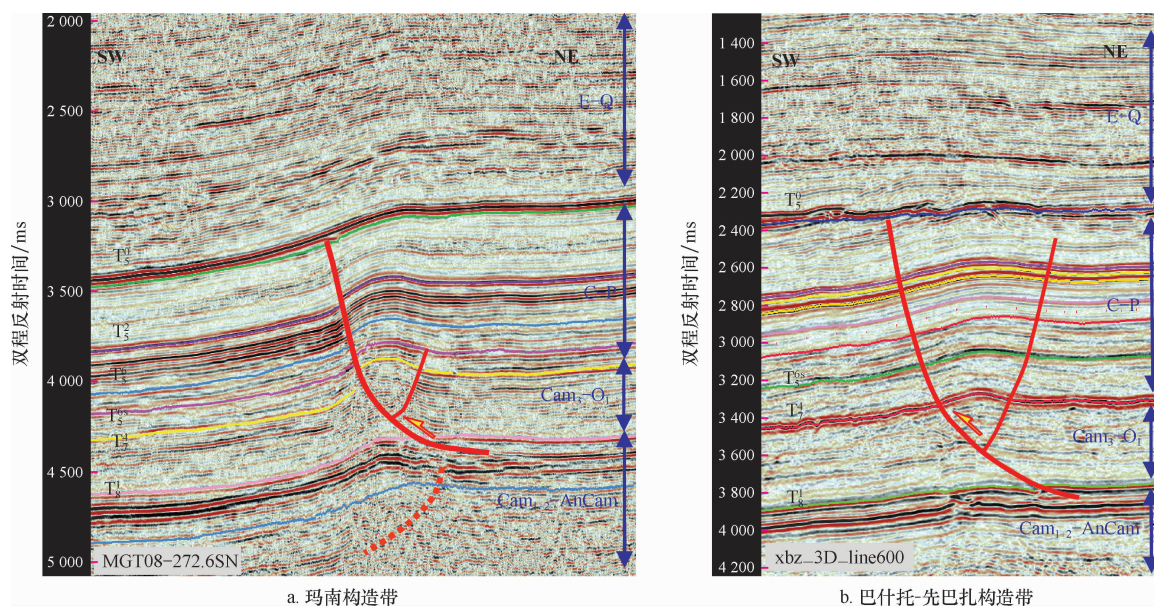


图7 巴楚-麦盖提地区典型晚海西期构造带地震解释(剖面线位置见图1)

Fig. 7 Seismic sections of the typical Late Hercynian structural belts in Bachu-Maigaiti area

E-Q. 古近系—第四系;C. 石炭系;P. 二叠系;S. 志留系;Cam₃-O₁. 上寒武统—下奥陶统;

Cam₁₊₂-AnCam. 前寒武系—中下寒武统

寒武统烃源岩在海西晚期大量生烃相匹配^[10~12],中、下寒武统烃源岩生成的油气可以沿断裂垂向运移至上覆古生界各层系,因此是有利的油气成藏构造带。

通过对3个主要时期形成的构造带的比较分析,认为喜山期构造活动强烈,部分断层通天,且对早期构造有一定的破坏作用;加里东期—海西早期的构造以发育古隆起为特征,主要分布在麦盖提斜坡及其以南地区(图1),剥蚀作用较强,早期构造带不明显;海西晚期—印支期的构造带形成时卷入的构造层巨厚(自寒武系至二叠系,甚至三叠系),虽然中生代经历了隆起剥蚀,但背斜构造保存较完整(图7),尤其是以麦盖提斜坡区和巴楚隆起南缘的构造带,上覆较厚的新生界地层,后期断裂活动较弱,对其并没有造成强烈改造。钻探揭示,巴什托-先巴扎构造带不仅在石炭系、二叠系发现工业油气流,而且在泥盆系东河塘组与克兹尔塔格组也见到了很多的油气显示。因此,这些构造带应该为有利的多层系含油气构造带。

4 结论

1) 加里东中期,巴-麦地区受NW向展布的塔西南古隆起的影响,西部和西南广大地区中上

奥陶统缺失,下奥陶统遭到不同程度剥蚀;海西早期,呈NE向展布的和田古隆起形成叠加在早期古隆起之上,导致玛南地区缺失志留系-泥盆系,使巴-麦地区东部石炭系角度不整合于奥陶系—寒武系不同层位之上;海西晚期,麦盖提地区分异演化,东部和田古隆起在沉降过程中仍保持南高北低,西部则反转成北高南低;中生代巴-麦地区整体隆升,喜马拉雅中晚期巴楚隆起强烈褶皱隆升,而麦盖提斜坡以南大幅度沉降形成西南倾斜坡。

2) 奥陶系加里东中期岩溶分布广泛,和田古隆起上发育海西早期的岩溶叠加区,岩溶储集体是麦盖提斜坡地区重要勘探对象;早古生代隆起北斜坡区在喜马拉雅期反转成西南倾斜坡,一直是油气侧向运移必经之地,有利于油气聚集与保存;麦盖提斜坡地区发育保存条件较好的海西期构造带,为有利的多层系勘探区带。

参 考 文 献

- 何登发,周新源,杨海军,等.塔里木盆地克拉通内古隆起的成因机制与构造类型[J].地学前缘,2008,15(2):207~221
- 郭光辉,李启明,肖中尧,等.塔里木盆地古隆起演化特征及油气勘探[J].大地构造与成矿学,2009,33(1):124~130
- 谢晓安,胡素云,卢华复.探讨塔里木盆地巴楚断隆的正反转构造[J].地质论评,1998,44(1):1~6

(下转第90页)