

文章编号:0253-9985(2005)03-0297-08

塔里木盆地早古生代古地貌——坡折带特征及对地层岩性圈闭的控制

刘豪^{1,2}, 王英民^{2,3}

(1. 中国地质大学海洋学院, 北京 100083; 2. 石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249; 3. 中国石油大学资源与信息学院, 北京 102249)

摘要:塔里木盆地早古生代坡折很发育。中寒武世—中晚奥陶世发育典型的陆架坡折, 志留纪的坡折带是一种具有地形差异的古地貌, 有别于陆架坡折。在晚寒武—早奥陶世, 满加尔坡折是台地边缘相和深海盆地相的分界线; 中晚奥陶世时期, 满加尔—塔东坡折带是盆地相和混积陆棚相的分界, 塔中坡折带之上发育了典型的孤立台地相, 坡折带之下则以盆地相发育为主要特征; 志留纪时期, 塔中南部坡折明显控制了潮坪和滨岸沉积, 北部坡折是滨岸体系中远滨和前滨—临滨很好的分界带。沿着斜坡带—坡脚一带是寻找岩性圈闭的有利地区, 如中上奥陶统的塔中坡折带上下和满加尔—塔东坡折的塔东段以及志留系的塔中缓坡—潮坪带柯坪塔格组上段构造及岩性圈闭发育区、阿瓦提—满加尔南坡折—滨岸带柯坪塔格组下段地层超覆及岩性圈闭发育区和阿瓦提—满加尔北坡折—滨岸带柯坪塔格组下段地层超覆及不整合面圈闭发育区。

关键词:地层岩性圈闭; 坡折带; 构造古地貌; 早古生代; 塔里木盆地

中图分类号:TE111.2 **文献标识码:**A

Early Paleozoic palaeogeomorphology—characteristics of slope break zones and their control on stratigraphic-lithologic traps in Tarim Basin

Liu Hao^{1,2}, Wang Yingmin^{2,3}

(1 China University of Geosciences, Beijing; 2 Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation of Ministry of Education, Beijing; 3 China University of Petroleum, Beijing)

Abstract: Early Paleozoic slope breaks are well developed in Tarim basin. Typical shelf break was developed in Middle Cambrian-Middle-Late Ordovician. The Silurian slope break was a kind of palaeogeomorphology with landform difference, which was different from the shelf break. In Late Cambrian-Early Ordovician, the Manjiaer slope break acted as the boundary of platform edge facies and deep-sea basin facies. In Middle-Late Ordovician, the Manjiaer-Tadong slope break was the boundary of basin facies and diamictic shelf facies; while typical isolated platform facies and basin facies were developed above and below the Tazhong slope break, respectively. In Silurian, the southern Tazhong slope break evidently controlled the tidal flat and coastal deposits, while the northern Tazhong slope break was a good demarcation line between offshore and foreshore-shoreface in coastal system. Along the slope belt-lower footslope would be the favorable area for discovering lithologic traps, e.g. structural and lithologic traps are well developed in the Middle-Upper Ordovician above and below the Tazhong slope break and in the Tazhong segment of Manjiaer-Tadong slope break, and in the Silurian upper Kalpintag Fm Tazhong gentle slope-tidal flat belt; stratigraphic overlap and lithologic traps are well developed in the lower Kalpintag Fm in Awat-Southern Manjiaer slope break-coastal belt; and stratigraphic overlap and unconformity traps are well developed in lower Kalpintag Formation in Awat-Northern Manjiaer slope break-coastal belt.

Key words: stratigraphic-lithologic trap; slope break; palaeogeomorphology; Early Paleozoic; Tarim Basin

基金项目: 国家“973”重点基础研究发展规划项目(G1999043305)

第一作者简介: 刘豪, 男, 31岁, 博士, 层序地层学、含油气盆地分析、隐蔽圈闭描述

收稿日期: 2005-04-14

地层岩性油气藏与特定的层序地层格架下的特殊沉积体系以及储层发育密切相关,地层岩性油气藏多发育于陆架坡折带控制的低位域沉积中。据 Stow^[1]估计,世界上有1 200~1 300个油气田(包括40余个巨型油气田)是来自于陆架坡折带下部的深水沉积体系中,其中地层岩性油气藏

1.1 寒武纪—早奥陶世陆架坡折

研究过程中对寒武系作了3个界面的地震解释,分别对应于上、中、下统的底界。经过地震剖面反射特征以及地层等厚图的分析认为,早寒武世陆架坡折不发育;而中寒武世时期陆架坡折出现雏形。陆架坡折主要沿阿瓦提—满加尔凹陷南坡分布。

础上展开的,然后通过地震剖面形态特征、地层单元古构造恢复并结合地层等厚图、沉积环境平面展布等,最终建立起古地貌背景下的陆架坡折展布。通过研究认为,塔里木盆地早古生代坡折很发育。其中中寒武—中晚奥陶世发育典型的陆架坡折;志留纪的坡折带是一种具有地形差异的古地貌,有别于陆架坡折。

3),从盆地北部往南发育了满加尔—塔东和塔中坡折,分别位于满加尔凹陷周缘、塔中隆起北缘。从地震剖面上分析认为,满加尔—塔中坡折是晚寒武—早奥陶世陆架坡折继承发育的结果,但坡折的规模尤其是高差和坡度比早期坡折要大得多;另外,塔中坡折受塔中I号断裂带的控制,主要为一断裂坡折,坡折的宽度较小,但高差较大,约2 600 m(图4)。

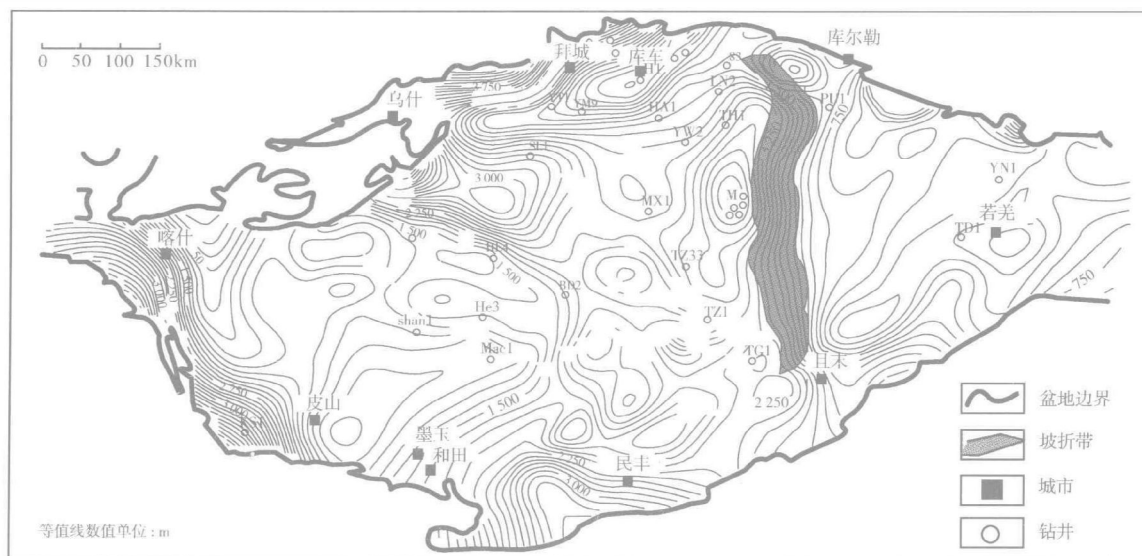


图1 塔里木盆地上寒武、下奥陶统等厚图及陆架坡折展布(图中坡折带命名为满加尔坡折带)

Fig.1 Isopach map of Upper Cambrian-Lower Ordovician and distribution of shelf breaks in Tarim basin

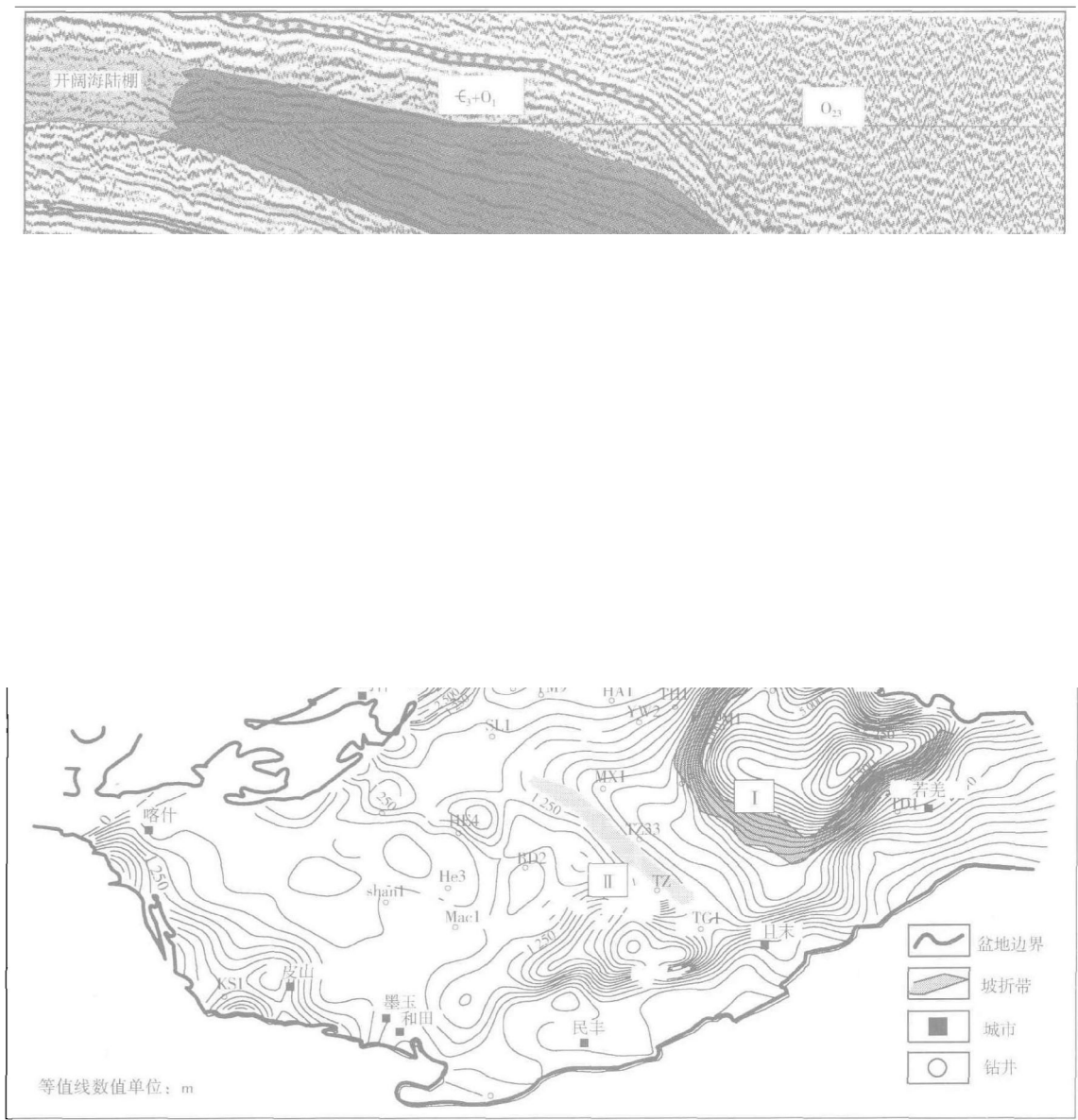


图3 中上奥陶统等厚图及陆架坡折展布
I. 满加尔-塔东坡折; II. 塔中坡折

Fig.3 Isopach map of Middle-Upper Ordovician and distribution of shelf breaks in Tarim basin.

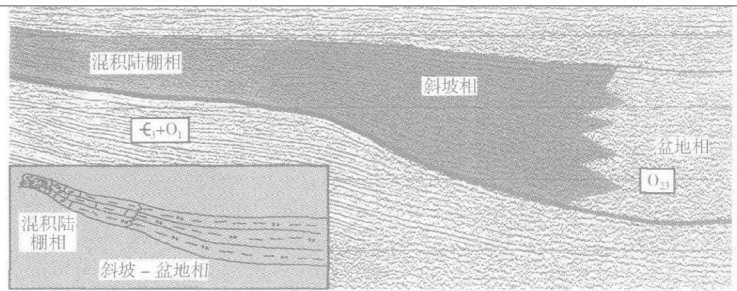


图4 中晚奥陶世满加尔-塔东陆架坡折地震剖面特征(tlm-L350)

Fig.4 Seismic profile showing characteristics of Middle Late Ordovician (tlm-350) Manjiacr Tadong shelf break

1.3 志留纪古地貌

地震剖面显示,志留系整体上较缓,与寒武纪和奥陶纪形成的大规模陆架坡折有明显区别。但是志留系底界上下的超覆削截特征表明,坡折仍然存在。它是一种具有地形差异的古地貌,往往坡折高差小、坡度缓,地震剖面上坡折的位置介于最高和最低超覆点之间。坡折的形成通常与早期的古地貌特征有密切关系,如区域或局部的隆起等,因此有别于早期的陆架坡折。

志留纪古地貌特征受奥陶纪末期构造运动控制。南北挤压造山后,塔中和塔北成为前隆,夷平

后顶部地形平缓,但在与中央坳陷区的过渡带仍保留了陡坡地形,形成南部、北部两个残留挠曲坡折带。而在满加尔坳陷西缘,在奥陶纪坡折带的背景上继承发育了挠曲坡折带。

志留纪坡折,主要沿中央坳陷区周缘发育,分别命名为北部坡折带、中部坡折带和南部坡折带(图5)。在塔中地区,南部坡折部位发育了一套前滨-临滨沉积,坡折之上是潮坪相,之下为盆地相沉积,具有明显的超覆特征(图6);而在塔东地区,该坡折控制了低位域沉积,坡折带的斜坡位置发育了特征明显的进积复合体,坡折之下则有可能

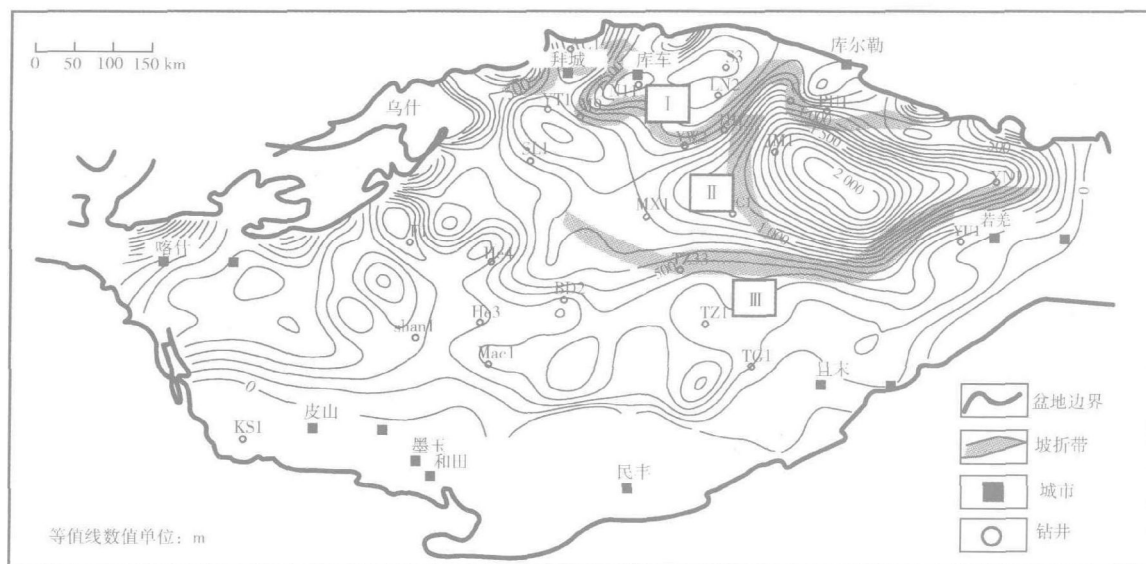


图5 志留纪地层等厚图及坡折展布

I. 北部坡折带; II. 中部坡折带; III. 南部坡折带

Fig.5 Isopach map of Silurian and distribution of slope break in Tarim basin

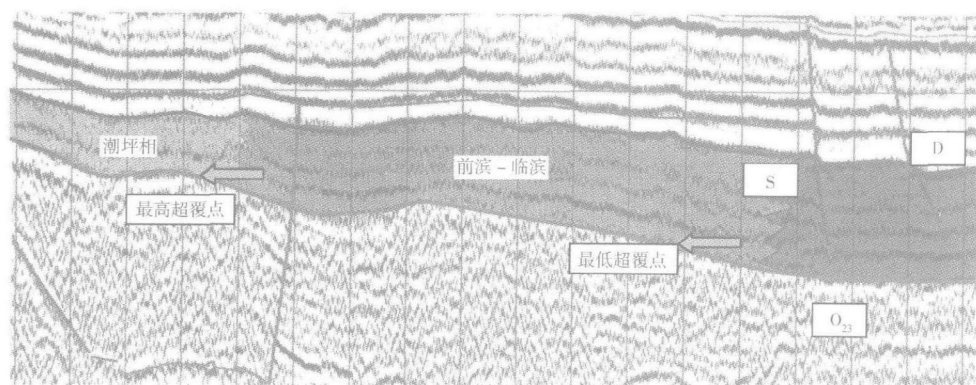


图6 志留纪满南坡折地震剖面特征(tlm-Z50)

Fig.6 Seismic profile showing characteristics of Silurian southern Manjiner slope break

是盆底扇。北部坡折带在现今剖面中发育不全,属于比较明显的残留坡折,坡折很好地控制了滨岸沉积。

2 对地层和隐蔽圈闭的控制

2.1 对地层和沉积体系的控制

坡折对地层和沉积体系的控制首先表现为对地层超覆、削截的控制。几乎沿着每个坡折上下,地层的不整合特征都十分明显(图4,6)。各时期发育的坡折与沉积体系的展布有着明显的匹配关系(图2,4,6)。

在晚寒武—早奥陶世,塔里木盆地的沉积相类型主要包括混积陆棚相、台地边缘相、局限台地相、斜坡相以及盆地相等。其中沿塔中38-库南1井以东主要为碳酸盐斜坡和盆地相,以西依次为台地边缘相、开阔陆棚和局限台地相。而满加尔坡折主要是沿着塔中38-库南1井一线呈南北向展布,是台地边缘相和深海盆地相的分界线,与碳酸盐岩沉积相模式完全一致。在坡折带的上部坡折位置将台地边缘和前斜坡分开,沿着坡折带的斜坡向下为坡脚位置,是碳酸盐岩斜坡相斜坡脚与盆地相的相分界带。分界带向东则是以盆地相沉积为主的停滞缺氧环境(图2)。

中晚奥陶世时期,塔里木盆地台盆区的沉积环境主要为塔西南和塔中低凸起地区的孤立台地相、巴楚和英买力地区的混积陆棚相以及满加尔坳陷的斜坡、盆地相。在这个时期发育的两个不同类型的坡折带分别控制了不同的沉积相类型。其中满加尔-塔东坡折明显控制了坡折之上的混积陆棚相和斜坡位置的斜坡相,整个坡折带是盆地相和混积陆棚相的分界;塔中坡折是一个断裂坡折,在断裂坡折上下也发育了不同的沉积环境,坡折带之上发育了典型的孤立台地相,在坡折带上部塔中I号断裂带的上升盘发育良好的生物礁滩,坡折带之下则以盆地相发育为主要特征(图4)。

志留纪时期,昆仑、阿尔金地区可能是物源区。由于其与南部坡折带间的距离向西增大,而塔中以南的盆地边缘相带保留不多,所以产生物源来自东部的表面现象;推测天山也可能是物源区,物源方向垂直于北部坡折。在志留纪时期,整个盆地地形南缓北陡、南浅北深,决定了南部以潮坪体系为主、北部以滨岸体系为主。志留系总体上表现为填平补齐的沉积特点,决定了地形早陡

晚缓、水体早深晚浅,从而晚期表现为潮坪体系更发育,早期可能滨岸体系更发育。沿着南部和北部坡折将不同类型的沉积体系分割开。塔中南坡折明显控制了潮坪和滨岸沉积(图6);坡折东段也具有类似的特征,但从地震剖面上看,对低位域的控制更为明显。北部坡折是滨岸体系中远滨和前滨—临滨很好的分界带。目前塔中所见到的主要是上部地层的潮坪体系,下部的柯坪塔格组滨岸体系均超覆尖灭在满南斜坡下部。

2.2 对地层岩性圈闭的控制

一直以来志留系是塔里木油气勘探取得突破的重点层位,同时考虑到地震资料在奥陶系及下部地层的分辨率较低,故本节关于坡折带对圈闭的控制作用将重点围绕志留系坡折带来展开。

2.2.1 隐蔽圈闭发育特征

由于沿着坡折带附近发育明显的地层超覆、削截等不整合,因此坡折带附近可能是地层超覆、削截不整合圈闭发育的有利场所。通过对塔里木盆地塔中、塔北地区坡折带附近二维地震工区加密测网(10 km × 10 km)的追踪解释,发现了一系列地层超覆、不整合遮挡形态圈闭(表1)。

表1 塔里木盆地塔北、塔中地区志留系隐蔽圈闭参数简表

Table 1 Simplified list showing Silurian subtle trap parameters in Tazhong and Tabei areas, Tarim basin

地区	圈闭名称	层位	面积/km ²	圈闭性质	备注
塔北	满西1北井区	S ₁ k	80	超覆	受北部坡折带控制
	羊屋2井区	S ₁ k	500	超覆 + 不整合遮挡	受北部坡折带控制
	草1井区	S ₁ k	150	超覆	受北部坡折带控制
塔中	塔中47井区	S ₁ k	6 672	超覆	受南部坡折带控制
	塔中31井区	S ₁ k?	6 736	超覆	受南部坡折带控制

其中,塔北地区为同一个超覆层位沿着坡折带附近形成的3个不同性质的隐蔽圈闭。圈闭面积相对较小,最大的约为500 km²。在地震剖面上表现出明显的超覆特征,向北逐渐超覆在志留系底界(Tg5)之上(图7),同时由于上覆地层的强烈削蚀,该超覆面在羊屋2井-塔河1井一带被石炭系底界(Tg3)所削,故沿着羊屋2井-塔河1井形成了明显的削蚀线;在连井剖面上主要体现为下部的柯坪塔格组滨岸体系均超覆尖灭在满南斜坡下部,斜坡的主体位置为志留系北部坡折带的斜坡带。

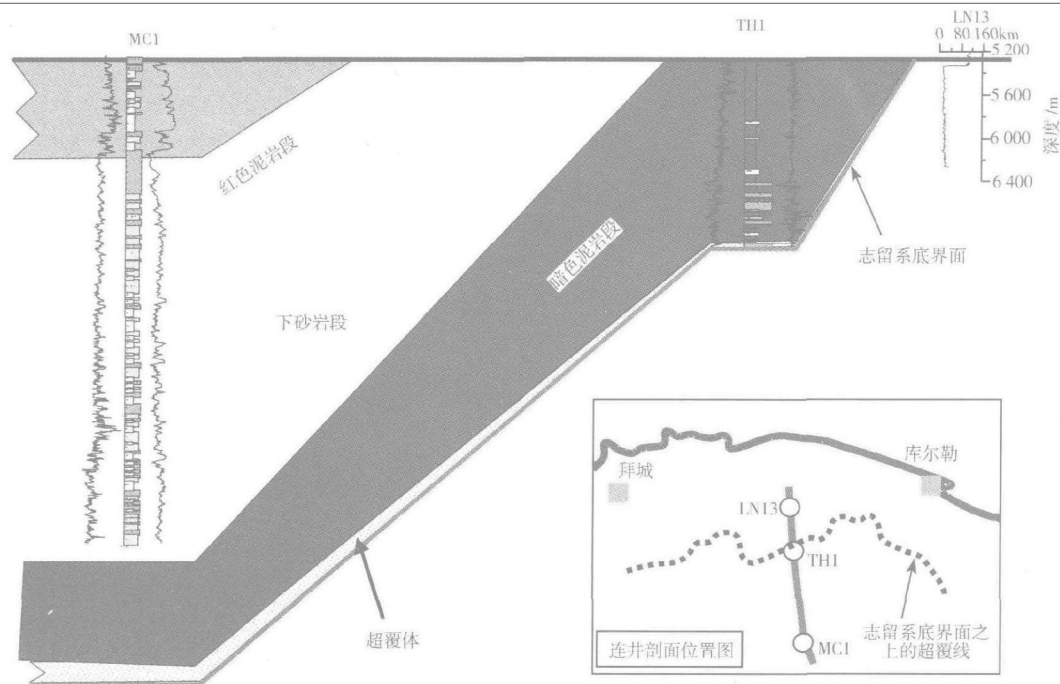


图7 过满参1-轮南13井连井剖面

Fig.7 Cross Section through Mancan 1-Lunnan 13 wells

在塔中地区,沿着满加尔坳陷南斜坡,即南部坡折带以北的斜坡带出现有两套地层逐层超覆在志留系底界面(Tg5)上,两个超覆体形成的超覆线与坡折带平面展布位置基本一致,所形成的两个地层超覆圈闭面积较大,都超过了6000 km²(图6,表1)。沿着南部坡折带向东,位于塔东低凸起南坡,发育明显的低水位体系域,沉积相分析表明主要为滨岸沉积体系,应该是岩性圈闭发育的有利地区。

2.2.2 控制机制和模式

在纵向上,层序内部主要表现为不同时期地层的叠置型式的变化,而地层的形成与破坏受可容空间大小的控制^[12]。地层的叠置模式受可容空间变化速率和沉积物供给速率之间比值(A/S)的控制^[13-17],而可容空间的大小由基准面与初始沉积表面(地貌)的差值所决定。在任一位置,基准面与地表面都随时间而变化,这决定了可容空间随时间的演化^[14,18]。因此不难看出,基准面和地貌是可容空间控制沉积响应的关键因素。其中,地貌大都表现为坡折带,因为只有类似这些在横向和纵向上具有一定规模的坡折带才可能对地层的叠置样式及沉积体系的发育和演化产生明显的

影响。另外,坡折带又可通过与其他因素如基准面、沉积物供给等的相互影响来控制沉积层序。因此层序内部地层的叠置样式是多种因素复合作用的结果。地层叠置样式的反复变化有利于形成地层超覆和削蚀等不整合。这些不整合为地层超覆和不整合遮挡圈闭的形成提供了条件。

坡折带更多是一种古地貌的反映,自身具有的形态特征为沉积相的纵、横向发育分布提供了一个很好的平台。一般坡上地形较缓,有利于形成水动力较弱的沉积物,如塔里木盆地志留系南北坡折带坡上柯坪塔格组的潮坪沉积;而斜坡带坡度较陡,沉积水动力较强,为滨岸沉积体系提供了有利场所;到了坡脚以下位置,坡度又逐渐变缓,沉积水动力减弱,为重力流等低水位沉积体系发育的有利地区。

在塔里木盆地,坡折带往往与盆地不同时期发育的古隆起和断裂密切相关,如志留系北部和南部坡折带的发育主要受到塔里木盆地塔北、塔中大型继承性古隆起的控制。这种古隆起几乎集中了盆地的大部分油气藏(田)。塔里木盆地近年的勘探实践表明,凡钻获高产或工业油气流的井,均位于塔北、塔中大型隆起带上^[19]。

3 勘探方向预测

3.1 志留系

根据对志留系坡折带、现有油气藏、已识别的

非构造形态圈闭分布特征的综合分析,将志留系今后勘探的方向分为3个区带(图8)。

1) 塔中缓坡-潮坪带柯坪塔格组上段构造及岩性圈闭发育区。该地区以塔中隆起为主,可发

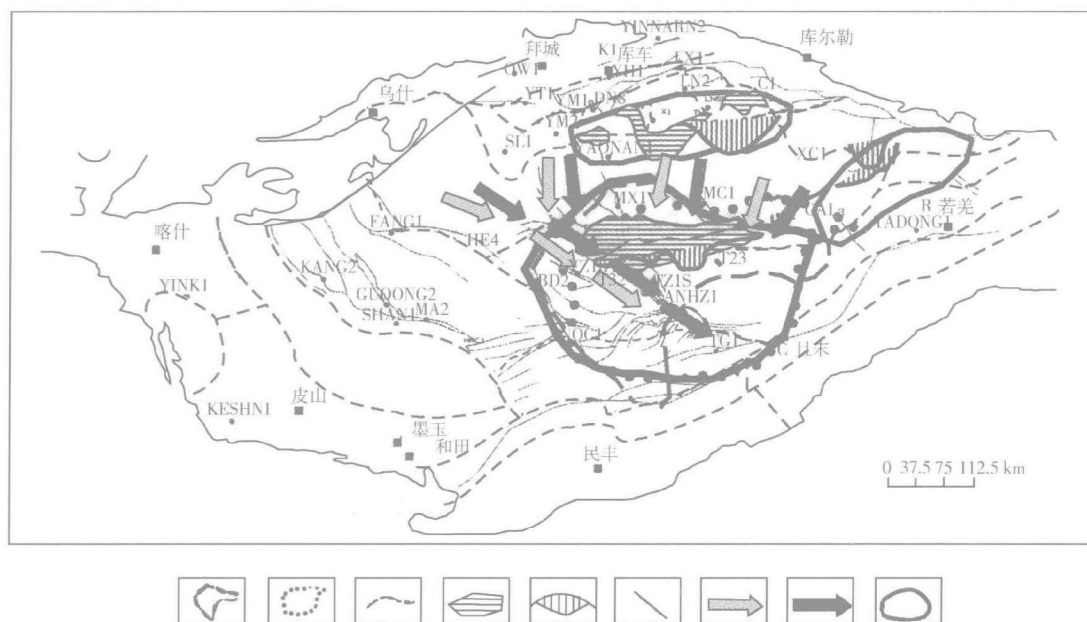


图8 塔里木盆地勘探有利地区分析图

Fig.8 Distribution of favorable exploration areas in Tarim Basin

育大型的构造圈闭,同时有利于柯坪塔格组上部形成岩性圈闭,且埋藏浅、油气运移条件好,是勘探取得突破最现实的地区。

2) 阿瓦提-满加尔南坡折-滨岸带柯坪塔格组下段地层超覆及岩性圈闭发育区。塔中北坡是志留系柯坪塔格组下部形成巨型地层圈闭的最有利地区,在满南斜坡东部也发育有大型的构造和地层超覆圈闭,应是下一步勘探的首选地区。

3) 阿瓦提-满加尔北坡折-滨岸带柯坪塔格组下段地层超覆及不整合面圈闭发育区。沿着阿满北坡折带,在志留系柯坪塔格组向北超覆尖灭和被上覆地层削蚀可形成地层超覆和不整合遮挡圈闭,具备形成较大型非构造圈闭群的地质条件,且储层物性较好,是志留系另外一个有利的油气勘探地区。

3.2 中、上奥陶统

中、上奥陶统塔中I号坡折带对奥陶纪生物礁滩有良好的控制作用。有利地区主要分布在塔

中坡折带上下。另外,满加尔-塔东坡折的塔东段也是较好的勘探有利区。

参 考 文 献

- 1 Stow D A V, Mayall M. Deep-water sedimentary systems: new models for the 21st century[J]. Marine and Petroleum Geology, 2000, 17 (2): 125-135
- 2 樊太亮,吕延仓,丁明华. 层序地层体制中的陆相储层发育规律[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 315-321
Fan Tai liang, Lu Yancang, Ding Minghua. The regularities of formation and distribution of reservoirs in systems of continental sequence stratigraphy[J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 315-321
- 3 林畅松,潘元林,肖建新,等. “构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(3): 260-266
Lin Changsong, Pan Yuanlin, Xiao Jianxin, et al. Structural slope-break zone: key concept for stratigraphic sequence analysis and petroleum forecasting in fault subsidence basins[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(3): 260-266
- 4 王英民,金武弟,刘书会,等. 断陷湖盆多级坡折带的成因类

- 型、展布及其勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 199~214
- Wang Yingmin, Jin Wudi, Liu Shuhui, et al. Genetic types, distribution and exploration significance of multistage slope breaks in rift lacustrine basin[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(3): 199~214
- 5 Wang Yingmin, Liu Hao, Xin Renchen, et al. Lacustrine basin slope break—the new domain of strata and lithological traps exploration[J]. Petroleum Science, 2004, 21(2): 25~30
 - 6 王英民, 刘豪, 王媛. 准噶尔盆地侏罗系非构造圈闭的勘探前景[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(1): 44~47
Wang Yingmin, Liu Hao, Wang Yuan. The exploration prospect of nonstructural traps of Jurassic in Junggar basin[J]. Petroleum Exploration & Development, 2002, 29(1): 44~47
 - 7 王英民, 刘豪, 李立诚, 等. 准噶尔大型坳陷湖盆坡折带的类型和分布特征[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(6): 683~688
Wang Yingmin, Liu Hao, Li Licheng, et al. Types and distribution characteristics of slope breaks of large type down warped lake basins [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2002, 27(6): 683~688
 - 8 刘豪, 王英民, 王媛, 等. 大型坳陷湖盆坡折带的研究及其意义——以准噶尔盆地西北缘侏罗纪坳陷湖盆为例[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 95~102
Liu Hao, Wang Yingmin, Wang Yuan, et al. Study on slope breaks in large down-warped lake basins and its significance[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(1): 95~102
 - 9 刘豪, 王英民, 王媛. 坳陷湖盆坡折带特征及其对非构造圈闭的控制[J]. 石油学报, Acta Petrolei Sinica, Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(1): 30~35
Liu Hao, Wang Yingmin, Wang Yuan. Characteristics of slope breaks and their control on atectonic traps in downwarped lake basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(1): 30~35
 - 10 刘豪, 王英民. 准噶尔盆地坳陷湖盆坡折带在非构造圈闭勘探中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4): 422~427
Liu Hao, Wang Yingmin. Significance of slope break zones in down-warped lake basins to exploration of non-structural traps in Junggar basin[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(4): 422~427
 - 11 辛仁臣, 王英民. 松辽盆地北部青山口—姚家组西部坡折带成因及演化[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2004, 29(5): 621~624
Xin Renchen, Wang Yingmin. Origin and evolution of west slope breaks of Qingshankou—Yaojia Formation in northern Songliao Basin [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(5): 621~624
 - 12 Jervey M T. Quantitative geological modeling of siliciclastic rock sequences and their seismic expressions[A]. In: Wilgus K, Hastings B S, Kendall C G St C, eds. Sea level changes: an integrated approach [C]. SEPM Special Publication, 1988, 42: 47~69
 - 13 Posamentier H W, Jervey M T. Eustatic controls on clastic deposition—(1) conceptual frameworks [A]. In: Wilgus K, Hastings B S, Kendall C G St C, eds. Sea-level changes: an interpreted approach [C]. SEPM Special Publication, 1988, 42: 104~114
 - 14 Cross T A, Lessenge M A. Sediment volume partitioning: rationale for stratigraphic model evaluation and high resolution stratigraphic correlation[A]. In: Gradstein F M, Sandvik K O, Milton N J, eds. Sequence stratigraphy concepts and applications[C]. NPF Special Publication, 1998, 8: 171~195
 - 15 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层学[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 90~97
Deng Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in US: high-resolution sequence stratigraphy[J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16(2): 90~97
 - 16 邓宏文, 王红亮. 沉积物体积分配原理——高分辨率层序地层学的理论基础[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 305~313
Deng Hongwen, Wang Hongliang. Sediment volume partition principle: theory basis for high resolution sequence stratigraphy[J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 305~313
 - 17 郑荣才, 尹世民, 彭军. 基准面旋回结构与叠加样式的沉积动力学分析[J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 369~375
Zheng Rongcai, Yin Shimin, Peng Jun. Grade division of base level cycles of terrigenous basin and its implications[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(2): 249~255
 - 18 Wheeler H E. Baselevel, lithostratigraphic surface and time stratigraphy[J]. Geological Society of American Bulletin, 1964, 78: 599~610
 - 19 卫平生, 郭彦如, 张景康, 等. 古隆起与大气田的关系 [J]. 天然气地球科学, 1998, 9(5): 1~9
Wei Pingsheng, Guo Yanru, Zhang Jinglian, et al. The relation between paleohigh and major field[J]. Natural Gas Geoscience, 1998, 9(5): 1~9

(编辑: 李军)