

塔里木盆地寒武系沉积模式与烃源岩发育

陈强路, 储呈林, 杨鑫, 胡广, 史政, 姜海健, 申宝剑, 刘文汇

(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 214126)

摘要:综合利用露头、钻井和地震资料, 解剖了塔里木盆地中下寒武统沉积特征, 并建立其沉积模式, 预测烃源岩的分布。研究认为, 塔里木盆地寒武系发育缓坡和台地—陆棚 2 种沉积模式, 沉积演化总体上呈台地前缘斜坡由缓至陡, 坡度由小到大的变化趋势。结合寒武系沉积格局以及烃源岩的沉积构造、岩性组合、矿物成分与成烃生物特征, 认为寒武系有效烃源岩主要形成于深水陆棚环境。成烃生物与深水陆棚沉积环境协同演化, 表现为深水陆棚泥质区以底栖藻生物相占优势, 而深水陆棚钙质区以浮游藻生物相占优势。深水陆棚相在整个寒武纪期间不断发生空间上的变迁, 形成了纵向上叠置、平面上交错的烃源岩分布特征。肖尔布拉克组下部黑色薄层泥质灰岩发育于深水陆棚相, 沉积环境暗示这套岩性组合可能是塔里木盆地西部地区一套有效的烃源岩。

关键词: 沉积模式; 烃源岩; 寒武系; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.1⁺12

文献标志码: A

Sedimentary model and development of the Cambrian source rocks in the Tarim Basin, NW China

Chen Qianglu, Chu Chenglin, Yang Xin, Hu Guang, Shi Zheng, Jiang Haijian, Shen Baojian, Liu Wenhui

(Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China)

Abstract: Outcrop, drilling and seismic data were utilized to analyze in detail the sedimentary characteristics of the Middle and Lower Cambrian in the Tarim Basin. A sedimentary model was established to provide a scientific basis for the prediction of source rock distribution. The studies suggested that both the sedimentary models of ramp and platform-shelf were involved in the Cambrian deposition in the Tarim Basin. As a whole, the trend of the Cambrian sedimentary evolution was characterized by the variation of a low angle to steep platform margin. It was assumed that the effective source rocks of Cambrian in the Tarim Basin were mainly formed in a deep water shelf environment combined with the Cambrian sedimentary pattern and the sedimentary structure, lithological assemblage, mineral composition and hydrocarbon generating organisms of the source rocks. Hydrocarbon generating organisms evolved together with the deep water shelf sedimentary environment. In the argillaceous and calcareous deep water shelf, the advantage of biofacies lay with benthic algae and planktonic algae, respectively. As a result of the migration of the deep water shelf through the Cambrian period, the distribution of source rocks was vertically stacked and laterally staggered. Since the black thin marlite in the lower Xiaerbulake Formation developed in a deep water shelf, the sedimentary environment suggested that it was expected to be another source rock of the western Tarim Basin.

Key words: sedimentary model; source rock; Cambrian; Tarim Basin

中下寒武统烃源岩是塔里木盆地海相油气最主要的来源之一^[1-4], 目前除盆地北缘露头区外, 仅星火 1 井、尉犁 1 井、塔东 1 井、塔东 2 井、库南 1 井等少数井揭示了寒武系烃源岩, 对于 $56 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的塔里木盆地而言是十分有限的资料, 地震资料也难以直接识别烃源岩。因此, 寒武系烃源岩分布的确定仍是制约当前塔里木盆地油气勘探的重要难题。烃源岩发育于特定的沉积环境之中^[5-11], 关于塔里木盆地烃源岩以往多侧重于发育层位的研究,

而对烃源岩的形成环境研究较弱。本文从“成源”研究角度, 综合利用露头、钻井和地震资料, 详细剖析了中下寒武统的沉积特征, 并建立了沉积模式, 旨在为该区烃源岩的分布预测提供地质依据。

1 寒武系沉积特征

1.1 寒武系沉积前的沉积构造格局

前寒武系地质结构与寒武纪的区域构造格局对寒武系沉积具有明显控制作用。塔里木盆地周缘的

库鲁克塔格地区、柯坪地区和塔西南叶城出露的南华系、震旦系露头及盆地内揭示前寒武系的钻井,为研究寒武系的沉积结构提供了资料基础^[12-17]。

南华纪早期,中、新元古代固结的塔里木陆块,在全球性事件——Rodinia 超大陆裂解过程中古陆周缘相继裂陷,沉积的南华系一下震旦统陆源碎屑岩和大陆冰碛岩为初始盖层,以角度不整合超覆于浅变质或结晶基底之上^[18-19]。晚震旦世构造相对平静,周缘及克拉通内部进入统一的浅海碳酸盐台地环境中(表 1),沉积了一套以白云岩为主的岩石组合,在周边露头地层区均可以对比,包括柯坪地区的奇格布拉克组(Z_2q)、塔西南叶城地区的克孜苏胡木组(Z_2k)以及塔东北库鲁克塔格地区的水泉组(Z_2s)和汉格尔乔克组(Z_2h)。震旦纪末期的柯坪运动导致大部分地区抬升,上震旦统顶部白云岩段发生不同程度的剥蚀,一般与下寒武统呈不整合接触关系。

露头与钻井剖面的地层对比表明(图 1), T_0^0 界面(寒武系底界)以下,MB1 井出露古元古界黑云钾长片麻岩的基底,TC1 井一带为晋宁期花岗岩基底,是前寒武纪基底古隆起。隆起带北部 T1 井苏盖特布拉克组(Z_1s)主要为砂泥岩与辉绿岩、凝灰岩交互沉积,缺失奇格布拉克组云岩段。塔北地区柯坪露头、XH1 井的震旦系发育较齐全,盆地南

缘与之相似,铁克里克露头也保留完整的震旦系碎屑岩与白云岩段。东部的 YL1 井发育巨厚的震旦系育肯沟组、水泉组,缺失顶部的汉尔格乔格组。 T_0^0 界面以上,MB1 井和 TC1 井均缺失玉尔吐斯组(ϵ_{1y}),T1 井区玉尔吐斯组相变为近岸沉积的砂砾岩,与柯坪地区出露的黑色含磷硅质页岩—页岩—白云岩组合不同。上述地层展布、岩性组合及地震剖面资料表明,塔东地区“库满拗拉槽”经过南华—震旦纪快速充填,经历了由“槽”到“拗”的转变,经过震旦纪末期的柯坪运动后,寒武系沉积前呈现中部(MB1 井—TC1 井一带)为基底凸起的高地,南、北为地势平缓的斜坡、整体为西高东低的缓坡形态。

1.2 寒武系沉积序列与层序格架

塔里木盆地在早寒武世大规模海侵后形成广泛的陆表海,并构筑了寒武纪—早奥陶世由浅海大陆架向深海洋盆延伸的构造—古地理格架^[20-22]。寒武系沉积经历了多个海进海退的变化,可以划分出 3 个二级层序(表 1)。盆地中西部普遍沉积了一套黑色含磷硅质岩—页岩—白云岩组合的玉尔吐斯组及碳酸盐岩类为主的上覆地层,而盆地东部寒武系沉积以硅质泥岩—含灰质泥质—泥质灰岩为主。大量地球化学工作已证实,玉尔吐斯组、西山布拉克组(ϵ_{1xs})、西大山组(ϵ_{1d})、莫合尔山组(ϵ_{2m})是寒武系烃源岩发育的主要层位。

1.3 寒武系沉积结构

除 MB1 井、TC1 井附近的隆起高地外,玉尔吐斯组或西山布拉克组沉积在盆地广大地区,具有填平补齐的特征。玉尔吐斯组及西山布拉克组(上部)大套灰黑色页岩记录了寒武纪全球性大洋缺氧事件——“BACE”事件,玉尔吐斯组及西山布拉克组上部的 $\delta^{13}C$ 负漂移与当时的生物、海洋环境之间存在协同演化的关系,具有全球等时对比意义^[23-24];钻井上表现西山布拉克组上部黑色页岩电测值为 GR 块状异常高值,可作为沉积事件和层位对比的标志(图 2)。以特高 GR 值顶部为对比标志,YL1 井西山布拉克组沉积厚达 174 m,而 XH1 井沉积厚 33 m,TD1 和 TD2 井厚 20 余 m;XH1、TD1、TD2 井沉积缺失了相当于西山布拉克组中下部地层,而 MB1 井等隆起区则缺失玉尔吐斯组沉积(图 2)。玉尔吐斯组或西山布拉克组沉积厚度的变化是寒武系沉积前古地貌格局的“印模效应”。寒武系底部沉积围绕 MB1、TC1 井等基底凸起的超覆沉积,地震剖面上寒武系底部地层呈由盆地东北部的尉犁地区向西、向南超覆变薄的趋势。

表 1 塔里木盆地震旦系—寒武系沉积序列与层序地层格架
Table 1 Sedimentary succession and sequence stratigraphic framework of the Sinian-Cambrian in the Tarim Basin

系	统	年龄/ Ma	地震界面	柯坪露头	巴楚—塔中	塔东/库鲁克塔格地区	三级层序	二级层序	一级层序
奥陶系	中下统	477.7-485.4	T_0^0	鹰山组	鹰山组	黑土凹组	Sq9	Ssq7	III
				下里格组	下里格组	突沙塔格组	Sq8	Ssq6	
	上统	501-513	T_0^0	下里格组	下里格组	莫合尔山组	Sq6	Ssq5	
				阿塔格组	阿塔格组	西山布拉克组	Sq5	Ssq4	
				沙依里组	沙依里组	西山布拉克组	Sq4	Ssq3	
				肖尔布拉克组	肖尔布拉克组	西山布拉克组	Sq3	Ssq2	
				肖尔布拉克组	肖尔布拉克组	西山布拉克组	Sq2	Ssq1	
				玉尔吐斯组	玉尔吐斯组	玉尔吐斯组	Sq1	Ssq1	
				奇格布拉克组	奇格布拉克组	奇格布拉克组	Ssq2	Ssq1	
				苏特拉克组	苏特拉克组	苏特拉克组	Ssq1	Ssq1	
震旦系	上统	543	T_0^0	奇格布拉克组	奇格布拉克组	汉尔格乔克组	Ssq2	Ssq1	
				苏特拉克组	苏特拉克组	育肯沟组	Ssq1	Ssq1	
南华系		680	T_{10}^0						

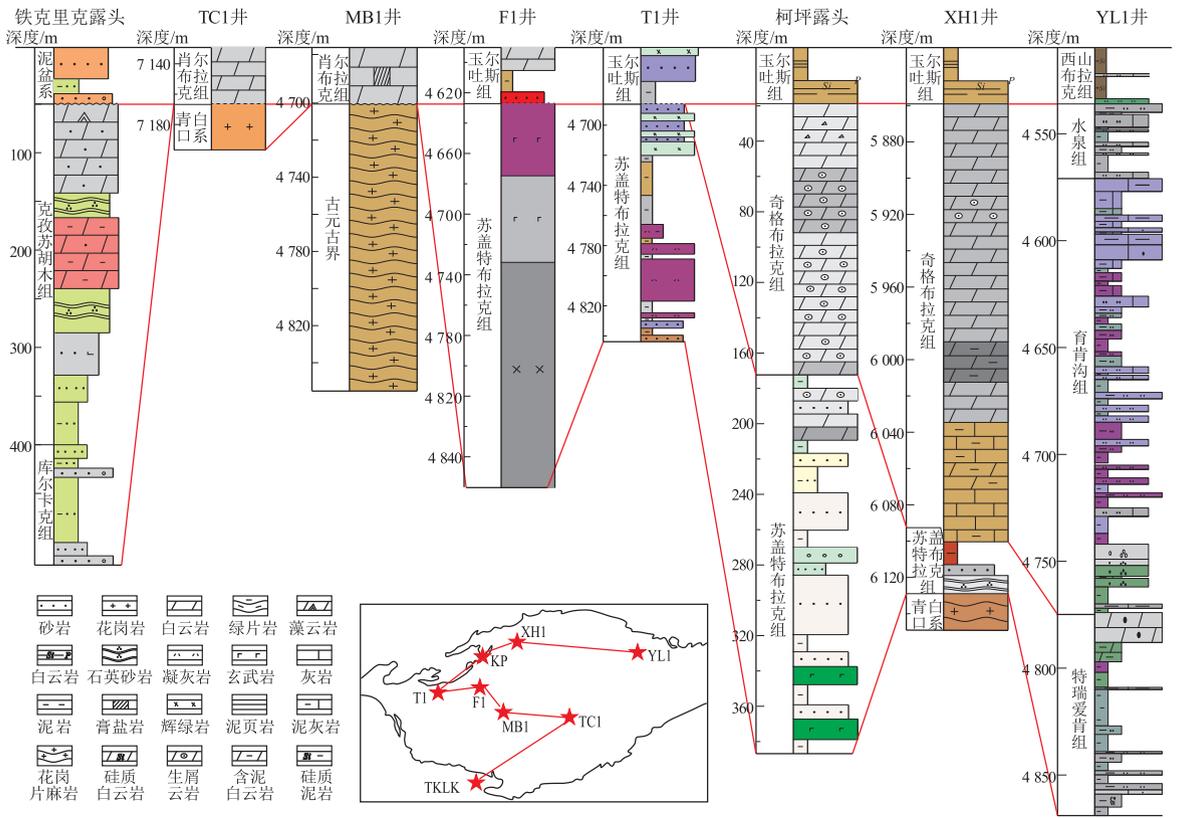


图 1 塔里木盆地寒武系底界附近地层剖面对比

Fig.1 Stratigraphic correlation of the Precambrian in the Tarim Basin

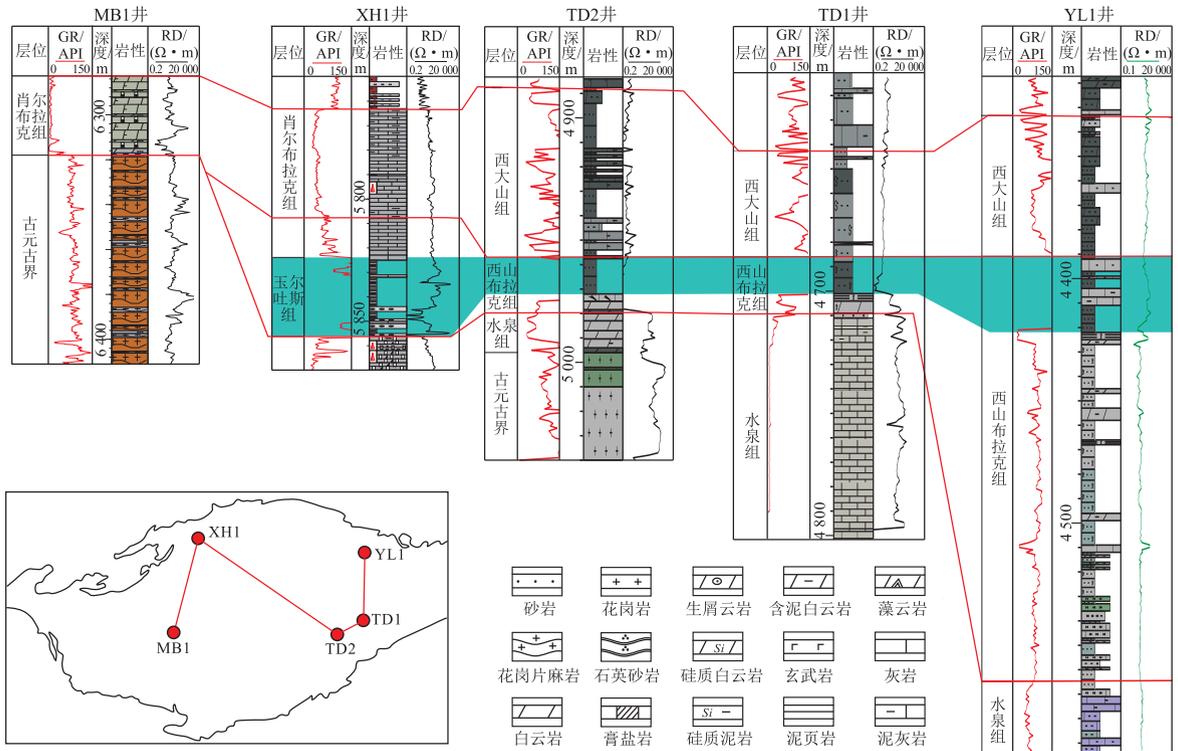


图 2 塔里木盆地下寒武统典型钻井地层对比

Fig.2 Stratigraphic correlation of the Lower Cambrian through typical wells in the Tarim Basin

早寒武世的沉积格局总体为缓坡沉积样式,由中西凸起向周边可进一步划分出内—中缓坡、外缓

坡—盆地相带。中—晚寒武世逐渐转变为西部台地东部陆棚的沉积格局,台棚之间为弱镶边的台地

边缘。以位于顺托果勒地区的近东西向地震剖面为例,可以清楚看出寒武纪沉积层序结构的变化(图 3)。地震剖面上 $T_9^0-T_8^3$ 、 $T_8^3-T_8^1$ 、 $T_8^1-T_8^0$ 反射界面所限定的地层分别为下寒武统、中寒武统和上寒武统。 $T_9^0-T_8^3$ 地震相的几何形态下部为平行反射、连续性好,由西向东均匀减薄,反映了寒武系底部缓坡沉积结构。中上部地震几何形态为楔状的前积反射,与早寒武世中晚期海退背景进积沉积有关,由缓坡发育成弱镶边的台地边缘—台缘斜坡的沉积组合。在楔状体之上 $T_8^3-T_8^1$ 为杂乱的丘状—楔状地震反射组合,反映了中寒武世海进之后大规模的海退台缘建隆的进积过程。中寒武世晚期持续的大规模海退,沉积结构发生明显变化,前期台地边缘沉积间断,台缘斜坡之上发育低位域,相变为台地相,沉积了厚层的白云岩,具有底超顶削的特征。晚寒武世晚期海平面上升,低位域之上发育高位域,地震反射呈弱连续的蚯蚓状。

2 寒武系沉积模式及演化

寒武系的沉积特征与演化可划分为 2 种模式,包括下寒武统下部的缓坡沉积模式,以及下寒武统上部至上寒武统的台地—陆棚沉积模式(图 4)。

寒武系玉尔吐斯组沉积期,受古地貌控制,不同沉积区岩性组合差异较大。在内—中缓坡区,西部 T1 井一带沉积以灰色泥质云岩、红色泥岩为主, F1 井一带主要为泥质云岩和褐红色细粒岩屑砂岩,在 H4 井一带出现厚约 30 m 的厚层状浅紫色硅藻岩。而中西部 MB1—TC1 井一带则缺失该时期沉积。处于外缓坡的柯坪露头区—XH1 井则沉

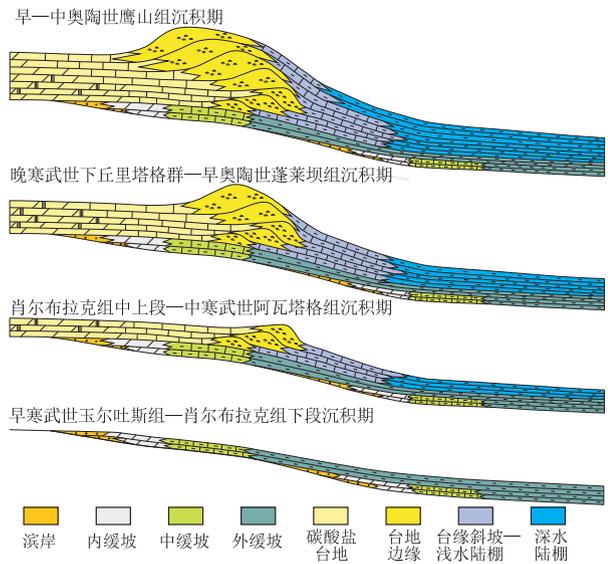


图 4 塔里木盆地寒武系沉积演化模式

Fig.4 Pattern of the Cambrian sedimentary evolution in the Tarim Basin

积了一套黑色含磷硅质页岩—白云岩组合,东部的 YL1-TD2-TD1 井一带沉积物以灰色含硅泥岩夹黄灰色泥质白云岩为主。

肖尔布拉克组沉积期,沉积格局仅呈现西高东低的态势,在海退背景下,由缓坡向弱镶边台地—陆棚沉积模式转变(图 4)。台地边缘相带沿塔深 1—顺托果勒—古隆 4 一带近南北展布,以西为碳酸盐岩台地,沉积了局限台地相的云质灰岩、灰质云岩、云岩、泥质云岩及膏质泥岩组合。台缘带以东为浅海陆棚—深水陆棚相和盆地相,深水陆棚相岩性以深灰色泥质灰岩为主夹有灰质泥岩。在 YL1 井一带为盆地相沉积,岩性以暗色晶灰岩、

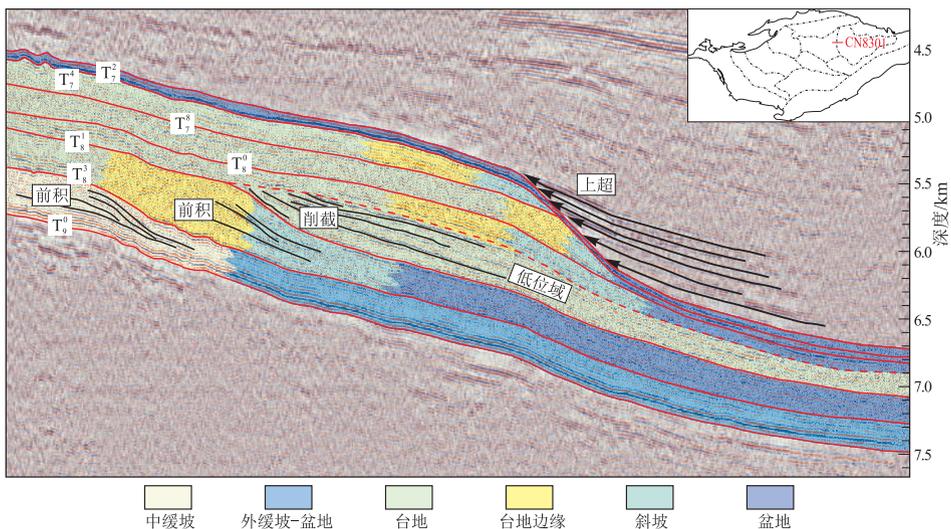


图 3 塔里木盆地顺托果勒地区典型地震剖面寒武系沉积演化的地质解释

Fig.3 Geologic interpretation of the Cambrian sedimentary evolution on typical seismic section in Shuntuoguole area of the Tarim Basin

灰质泥岩为主。西北部柯坪地区肖尔布拉克组下段为深灰色薄层泥质灰岩夹薄层泥岩、泥质白云岩,说明柯坪一带处于碳酸盐岩陆棚相带,向东至巴楚—阿瓦提一带过渡为碳酸盐岩台地,其间发育台地边缘。塔西南地区下寒武统在地震剖面上具有向南减薄的沉积特征,发育有前积结构。结合区域构造背景来看,寒武系沉积时塔西南地区可能处于深水陆棚相沉积,发育灰质泥岩、泥质灰岩。

中—晚寒武世期间,盆地中西部发育局限台地、蒸发台地相的白云岩—膏盐岩、膏质白云岩—白云岩沉积组合;盆地东部对应的莫尔山组—突尔沙克塔格组(C_3-O_1t)为一套灰黑色灰质泥岩、泥岩与泥质白云岩、含云灰岩、泥灰岩不等厚互层沉积,总体具有向上水体变浅的特征。

总体而言,塔里木盆地寒武系沉积演化由下寒武统进积型缓坡逐渐向中—上寒武统弱镶边台缘模式的转变,台地前缘斜坡由缓至陡变化,台地边缘高能相带不断向台缘斜坡—陆棚方向进积,前期台缘斜坡发育低位域(图4)。

3 沉积环境与烃源岩发育

早寒武世早期快速海侵背景下,缓坡相不同岩性组合超覆到 T_0 不整合面上,随海平面上升和沉积水体的加深,外缓坡发育了广泛分布的硅质岩—磷块岩—泥质岩—灰岩沉积组合,海洋环境与该阶段的生物协同演化,形成了第一套富含有机质的沉积。海退背景下演化成西台东盆的沉积格局,盆地东部为深水陆棚沉积环境,发育了西大山组—莫尔山组高丰度烃源岩。

盆地西中部玉尔吐斯组岩石组合为磷块岩/硅质岩—硅质页岩—泥质白云岩垂向序列,岩石矿物主要为硅质矿物和碳酸盐岩矿物,而黏土矿物小于50%(图5);生物相有底栖藻类残片、浮游藻类和纹层状蓝藻藻席、海绵骨针和少量的生物介壳残片,烃源岩中以底栖藻类生物相占优势。磷块岩矿物成分为胶磷矿,其次为磷灰石、石英,少量氧化铁。结构组分以砾屑为主,其次为砂屑和球粒,填隙物以胶磷矿为主,少量磷灰石和石英。磷块岩矿物组成及结构特征说明沉积于陆棚环境。硅质岩元素地球化学特征及区域地质分析认为,沉积环境受上升洋流的热影响^[25]。

上述岩性及生物组合说明,玉尔吐斯组发育于受上升洋流影响的陆棚沉积环境。该套烃源岩具有富含底栖藻、有机碳高丰度特征,8 m 厚的露头上11个样品平均TOC为9.67%。肖尔布拉克底

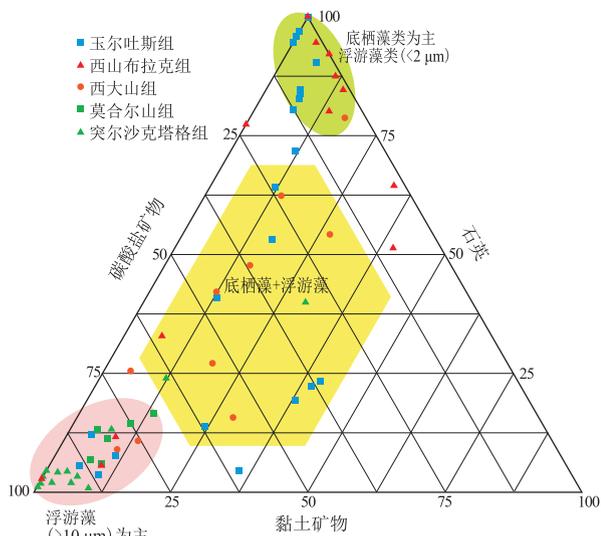


图5 塔北柯坪剖面 and 南雅尔当剖面寒武系烃源岩矿物组合及生物相特征

Fig.5 Mineral composition and biofacies characteristics of the Cambrian source rocks in outcrops of the northern Tarim Basin

部发育的中薄层泥质灰岩、灰质泥岩夹薄层泥,富含浮游藻类,3个样品 TOC 含量 0.6%~1.41%,由于以浮游藻类为成烃生物的烃源岩生排烃量更高^[26],推测这是一套有效烃源岩,其展布与玉尔吐斯组泥岩分布有继承性,范围大致相当。

盆地东部西山布拉克组上部和西大山组岩石组合表现为硅质岩—页岩—泥质碳酸盐岩多回次的交互层序列,岩石矿物主要为硅质矿物或碳酸盐矿物,黏土矿物含量低于30%;生物相下部以底栖藻为主,向上为底栖藻和浮游藻(图5)。西山布拉克组和西大山组火山岩—硅质岩、硅质岩夹黑色页岩组合,表明发育于深水陆棚沉积环境,热水成因的硅质岩^[27-28]指示了拉张裂解作用的构造背景。

莫尔山组、突尔沙克塔格组岩石组成以泥质碳酸盐岩为主,碳酸盐岩矿物含量达75%以上,硅质矿物、黏土矿物均小于15%,生物相浮游藻类占优势(图5)。突尔沙克塔格组的沉积构造为纹层、薄层的泥质灰岩,不发育重力流沉积,生物多样,是陆棚环境的沉积表现。高达75%以上的碳酸盐岩矿物含量及丰富的浮游藻类说明中晚寒武世水体向上变浅的沉积序列中,莫尔山组、突尔沙克塔格组发育更靠近碳酸盐岩沉积的边缘。

根据早寒武世缓坡和中—晚寒武世具弱镶边的台—盆结构特征,以及烃源岩段的沉积构造、岩性组合、矿物组成与成烃生物特征的综合分析,认为塔里木盆地寒武系有效烃源岩主要发育于深水陆棚环境。其中,深水陆棚泥质区以底栖藻生物相占优势,深水陆棚钙质区以浮游藻生物相占优势。

海侵序列中塔里木盆地广泛发育了玉尔吐斯组—西山布拉克组深水陆棚泥页岩烃源岩,海退序列中盆地西部在外缓坡的基础上发育泥质灰岩烃源岩。盆地中东部向上变浅的沉积序列中,在西大山组泥页岩烃源岩之上叠加了莫尔山—突尔沙克塔格组泥质碳酸盐烃源岩。寒武系沉积演化由下寒武统缓坡逐渐向中—上寒武统镶边台缘模式的转变,深水陆棚相纵向、横向均发生迁移,形成叠加交错的烃源岩分布特征。

4 结论

(1) 塔里木盆地寒武系发育缓坡和台地—陆棚 2 种沉积模式。玉尔吐斯组沉积期为缓坡沉积,由中西部基底凸起向周边可进一步划分内—中缓坡、外缓坡—盆地相带。中—晚寒武世海退背景下发生由缓坡向弱镶边的台地边缘—台缘斜坡—陆棚的沉积模式转变,台地边缘向台缘斜坡—陆棚方向进积。沉积演化总体上表现为台地前缘斜坡由缓至陡的变化特点。

(2) 塔里木盆地寒武系有效烃源岩主要发育于深水陆棚环境,成烃生物与深水陆棚沉积环境协同演化,深水陆棚泥质区以底栖藻生物相占优势,深水陆棚钙质区以浮游藻生物相占优势。寒武系沉积模式演化中深水陆棚相纵向、横向均发生迁移,形成纵向上叠加、平面交错的烃源岩分布。形成于深水陆棚钙质沉积区的肖尔布拉克组下部黑色薄层泥质灰岩推测是塔里木盆地西部一套有效的烃源岩。

参考文献:

- [1] 翟晓先,顾忆,钱一雄,等.塔里木盆地塔深 1 井寒武系油气地球化学特征[J].石油实验地质,2007,29(4):329-333.
Zhai Xiaoxian, Gu Yi, Qian Yixiong, et al. Geochemical characteristics of the Cambrian oil and gas in well Tashen1, the Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(4): 329-333.
- [2] 顾忆,邵志兵,陈强路,等.塔河油田油气运移与聚集规律[J].石油实验地质,2007,29(3):224-230,237.
Gu Yi, Shao Zhibing, Chen Qianglu, et al. Oil migration and accumulation pattern in the Tahe Oilfield [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(3): 224-230, 237.
- [3] 陈建平,梁狄刚,张水昌,等.泥岩/页岩:中国元古宙—古生代海相沉积盆地主要烃源岩[J].地质学报,2013,87(7):905-921.
Chen Jianping, Liang Digang, Zhang Shuichang, et al. Shale and mudstone: essential source rocks in the Proterozoic to Paleozoic marine basins in China [J]. Acta Geologica Sinica, 2013, 87(7): 905-921.
- [4] 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.
- [5] 于炳松,周立峰.塔里木盆地寒武—奥陶系烃源岩在层序地层格架中的分布[J].中国西部油气地质,2005,1(1):58-61.
Yu Bingsong, Zhou Lifeng. Distribution of hydrocarbon source rocks of Cambrian-Ordovician in sequence stratigraphic framework in Tarim Basin [J]. West China Petroleum Geosciences, 2005, 1(1): 58-61.
- [6] 于炳松,樊太亮.塔里木盆地寒武系—奥陶系泥质烃源岩发育的构造和沉积背景控制[J].现代地质,2008,22(4):534-540.
Yu Bingsong, Fan Taiyang. Sedimentary-tectonic control on the development of muddy hydrocarbon source rocks of Cambrian-Ordovician from Tarim Basin [J]. Geoscience, 2008, 22(4): 534-540.
- [7] 赵孟军,王招明,潘文庆,等.塔里木盆地满加尔凹陷下古生界烃源岩的再认识[J].石油勘探与开发,2008,35(4):417-423.
Zhao Mengjun, Wang Zhaoming, Pan Wenqing, et al. Lower Palaeozoic source rocks in Manjiaer Sag, Tarim Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(4): 417-423.
- [8] 高志勇,张水昌,张兴阳,等.塔里木盆地寒武—奥陶系海相烃源岩空间展布与层序类型的关系[J].科学通报,2007,52(增刊1):70-77.
Gao Zhiyong, Zhang Shuichang, Zhang Xingyang, et al. Relations between spatial distribution and sequence types of the Cambrian-Ordovician marine source rocks in Tarim Basin [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(S1): 70-77.
- [9] 金之钧,郑和荣,蔡立国,等.中国前中生代海相烃源岩发育的构造—沉积条件[J].沉积学报,2010,28(5):875-883.
Jin Zhijun, Zhen Herong, Cai Liguoguo, et al. Tectonic-sedimentary conditions for development of Pre-Mesozoic marine source rocks in China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(5): 875-883.
- [10] 张水昌,张宝民,边立曾,等.中国海相烃源岩发育控制因素[J].地学前缘,2005,12(3):39-48.
Zhang Shuichang, Zhang Baomin, Bian Lizeng, et al. Development constraints of marine source rocks in China [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 39-48.
- [11] 梁狄刚,郭彤楼,边立曾,等.中国南方海相生烃成藏研究的若干新进展(三):南方四套区域性海相烃源岩的沉积相及发育的控制因素[J].海相油气地质,2009,14(2):1-19.
Liang Digang, Guo Tonglou, Bian Lizeng, et al. Some progresses on studies of hydrocarbon generation and accumulation in marine sedimentary regions, Southern China (Part 3): controlling factors on the sedimentary facies and development of Palaeozoic marine source rocks [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2009, 14(2): 1-19.
- [12] 周肖贝,李江海,傅臣建,等.塔里木盆地西北缘南华纪—寒武纪构造背景及构造—沉积事件探讨[J].中国地质,2012,39(4):900-911.
Zhou Xiaobei, Li Jianghai, Fu Chenjian, et al. A discussions on the Cryogenian-Cambrian tectonic-sedimentary event and tectonic setting of northern Tarim Basin [J]. Geology in China, 2012, 39(4): 900-911.
- [13] 高林志,郭宪璞,丁孝忠,等.中国塔里木板块南华纪成冰事

- 件及其地层对比[J].地球学报,2013,34(1):39-57.
- Gao Linzhi, Guo Xianpu, Ding Xiaozhong, et al. Nanhuan glaciation event and its stratigraphic correlation in Tarim Plate, China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2013, 34(1): 39-57.
- [14] Zhu W B, Zheng B H, Shu L S, et al. Neoproterozoic tectonic evolution of the Precambrian Aksu blueschist terrane, northwestern Tarim, China: Insights from LA-ICP-MS zircon U - Pb ages and geochemical data[J]. Precambrian Research, 2011, 185(3/4): 215-230.
- [15] Zhang C L, Li Z X, Li X H, et al. Neoproterozoic mafic dyke swarms at the northern margin of the Tarim Block, NW China: age, geochemistry, petrogenesis and tectonic implications[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 35(2): 167-179.
- [16] 钱一雄, 尤东华, 陈代钊, 等. 塔里木盆地肖尔布拉克上震旦统苏盖特布拉克组层序界面与沉积相[J]. 地质科学, 2011, 46(2): 445-455.
- Qian Yixiong, You Donghua, Chen Daizhao, et al. The stratigraphic and sedimentation analysis of Sugaitbulak Formation of the Upper Sinian at Xianerbulak of Aksu in Tarim Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2011, 46(2): 445-455.
- [17] 张增耀, 杨松岭, 赵秀岐. 塔里木盆地盆内震旦系特征[J]. 海相油气地质, 2007, 12(2): 51-56.
- Zhang Zengyao, Yang Songling, Zhao Xiuqi. Characteristic of intrabasinal Sinian sedimentary system in Tarim basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2007, 12(2): 51-56.
- [18] 林畅松, 李思田, 刘景彦, 等. 塔里木盆地古生代重要演化阶段的古构造格局与古地理演化[J]. 岩石学报, 2011, 27(1): 210-218.
- Lin Changsong, Li Sitian, Liu Jingyan, et al. Tectonic framework and paleogeographic evolution of the Tarim basin during the Paleozoic major evolutionary stages[J]. Acta Petrologica Sinica, 27(1): 210-218.
- [19] 许志琴, 李思田, 张建新, 等. 塔里木地块与古亚洲/特提斯构造体系的对接[J]. 岩石学报, 2011, 27(1): 1-22.
- Xu Zhiqin, Li Sitian, Zhang Jianxin, et al. Paleo-Asian and Tethyan tectonic systems with docking the Tarim block[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(1): 1-22.
- [20] 赵宗举, 罗家洪, 张运波, 等. 塔里木盆地寒武纪层序岩相古地理[J]. 石油学报, 2011, 32(6): 937-948.
- Zhao Zongju, Luo Jiahong, Zhang Yunbo, et al. Lithofacies paleogeography of Cambrian sequences in the Tarim Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 32(6): 937-948.
- [21] 赵宗举, 张运波, 潘懋, 等. 塔里木盆地寒武系层序地层格架[J]. 地质论评, 2010, 56(5): 609-620.
- Zhao Zongju, Zhang Yunbo, Pan Mao, et al. Cambrian sequence stratigraphic framework in Tarim Basin[J]. Geological Review, 2010, 56(5): 609-620.
- [22] 刘伟, 张光亚, 潘文庆, 等. 塔里木地区寒武纪岩相古地理及沉积演化[J]. 古地理学报, 2011, 13(5): 529-538.
- Liu Wei, Zhang Guangya, Pan Wenqing, et al. Lithofacies palaeogeography and sedimentary evolution of the Cambrian in Tarim area[J]. Journal of Palaeogeography, 2011, 13(5): 529-538.
- [23] 樊茹, 邓胜徽, 张学磊. 寒武系碳同位素漂移事件的全球对比性分析[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(12): 1829-1839.
- Fan Ru, Deng Shenghui, Zhang Xuelei. Significant carbon isotope excursions in the Cambrian and their implications for global correlations[J]. Science China Earth Sciences, 2011, 54(11): 1686-1695.
- [24] 殷鸿福, 谢树成, 颜佳新, 等. 海相碳酸盐烃源岩评价的地球生物学方法[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(7): 895-909.
- Yin Hongfu, Xie Shucheng, Yan Jiaxin, et al. Geobiological approach to evaluating marine carbonate source rocks of hydrocarbon[J]. Science China Earth Sciences, 2011, 54(8): 1121-1135.
- [25] 于炳松, 陈建强, 李兴武, 等. 塔里木盆地肖尔布拉克剖面下寒武统底部硅质岩微量元素和稀土元素地球化学及其沉积背景[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 59-66.
- Yu Bingsong, Chen Jianqiang, Li Xingwu, et al. Rare earth and trace element patterns in bedded-cherts from the bottom of the Lower Cambrian in the Northern Tarim Basin, Northwest China: implication for depositional environments[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(1): 59-66.
- [26] 秦建中, 申宝剑, 陶国亮, 等. 优质烃源岩成烃生物与生烃能力动态评价[J]. 石油实验地质, 2014, 36(4): 465-472.
- Qin Jianzhong, Shen Baojian, Tao Guoliang, et al. Hydrocarbon-forming organisms and dynamic evaluation of hydrocarbon generation capacity in excellent source rocks[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(4): 465-472.
- [27] 孙省利, 陈践发, 刘文汇, 等. 塔里木盆地寒武统硅质岩地球化学特征及其形成环境[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(3): 45-48.
- Sun Xingli, Chen Jianfa, Liu Wenhui, et al. Geochemical characteristics of cherts of Lower Cambrian in the Tarim Basin and its implication for environment[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(3): 45-48.
- [28] 杨瑞东, 张传林, 罗新荣, 等. 新疆库鲁克塔格地区早寒武世硅质岩地球化学特征及其意义[J]. 地质学报, 2006, 80(4): 598-605.
- Yang Ruidong, Zhang Chuanlin, Luo Xinrong, et al. Geochemical characteristics of early Cambrian cherts in Quruqtagh, Xinjiang, West China[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(4): 589-605.

(编辑 徐文明)