

# 塔里木盆地西南地区早中寒武世岩相古地理

姜海健<sup>1</sup>, 储呈林<sup>1</sup>, 杨鑫<sup>1</sup>, 陈强路<sup>1</sup>, 岳勇<sup>2</sup>, 邵志兵<sup>1</sup>

(1 中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所; 2 中国石化西北油田分公司勘探开发研究院)

**摘要** 塔里木盆地西南地区早中寒武世岩相古地理存在一定争议,这制约了该区的勘探评价。综合利用露头、钻井和地震资料,开展沉积相、地震相分析,并结合区域构造背景,恢复了岩相古地理格局,提出了相应的沉积模式。中下寒武统发育陆棚相、开阔台地相、局限台地相、蒸发台地相和缓坡相。震旦纪末期麦盖提斜坡南部形成水下低隆起,向西南在西南坳陷区残留部分被动陆缘,主要发育缓坡相、陆棚相;麦盖提斜坡区地势较高,地层较薄,主要发育局限台地和蒸发台地潮坪;巴楚隆起区水体局限,在干燥炎热气候下形成了厚度较大的蒸发台地膏盐湖沉积。巴楚隆起区和麦盖提斜坡区中下寒武统膏盐岩分布广泛,与下伏碳酸盐岩可构成良好的储盖组合,西南坳陷区残留部分被动陆缘,烃源岩发育条件较好,这表明塔西南具有较好的油气前景。

**关键词** 塔里木盆地; 寒武纪; 烃源岩; 沉积相; 古地理

**中图分类号** TE122.2

**文献标识码** A

塔里木盆地早中寒武世处于伸展构造背景,台缘斜坡和陆棚等相区烃源岩发育<sup>[1-2]</sup>,台地内发育了膏盐岩和盐下碳酸盐岩,它们构成了良好的生储盖组合<sup>[3-5]</sup>。随着塔里木盆地西南地区(简称塔西南)巴什托油气田、和田河气田(图1)等古生界油气田的发现,证实了该区较好的油气勘探前景,但塔西南(特别是麦盖提斜坡及西南坳陷)早中寒武世的沉积相分布仍存在较大争议,目前有研究区南部发育古隆起<sup>[6-8]</sup>和发育陆棚<sup>[9-12]</sup>的不同观点,这直接关系到研究区的寒武纪沉积演化规律和勘探潜力分析。本文通过洋盆格局分析,在露头、钻井、地震剖面沉积相和地震相分析基础上,建立了研究区早中寒武世岩相古地理和沉积模式,分析了古地貌与膏盐湖发育的关系,预测了下寒武统烃源岩发育区,以期为该区寒武系的勘探评价提供依据。

## 1 区域构造背景

震旦纪—早奥陶世,在造成罗迪尼亚(Rodinia)超大陆裂解的地幔柱控制下,地壳强烈伸展,塔里木古陆逐步裂解,在板块南缘,中昆仑地块从塔里木古

陆分离,昆仑洋形成,塔里木板块西南部的超基性岩和蛇绿岩套代表了早期洋盆的位置<sup>[13-14]</sup>。中晚奥陶世以后,洋盆俯冲消减并逐渐闭合,西昆仑地块和塔里木地块在志留纪碰撞拼合在一起;在后期强烈的构造活动叠加改造过程中,昆仑洋洋壳残留物进一步遭受变质和肢解,原被动大陆边缘的大部分已被大型推覆体掩埋或破坏<sup>[15]</sup>。

从西昆仑少量的震旦系、奥陶系露头剖面的沉积特征来看,塔里木古陆南缘寒武纪可能存在向南水体加深的被动大陆边缘和西昆仑多岛洋盆<sup>[16]</sup>,洋盆内含有隆起的微地块,在叶城县坎迪里克一带可以见到奥陶系底部的恰特组直接覆盖在中元古界变质基底之上<sup>[7]</sup>。

## 2 沉积相分析

塔西南下寒武统由玉尔吐斯组、肖尔布拉克组和吾松格尔组组成(图2),构成一个二级层序SSQ<sub>1</sub>,其中最大海侵发生在玉尔吐斯组沉积期,其后海平面快速下降,吾松格尔组膏盐岩较发育;中寒武统由沙依里克组和阿瓦塔格组组成(图2),构成一个二级

收稿日期: 2015-10-14; 改回日期: 2016-11-25

本文受中石化科技部项目“巴麦地区古生界油气成藏条件与勘探方向”(编号:P10023)及中石化西北石油局项目“塔里木盆地南部奥陶纪岩相古地理研究”(编号:KY-2013-S-039)资助

姜海健: 1983年生,工程师,硕士,主要从事层序地层与沉积学研究。通讯地址: 214151 江苏省无锡市滨湖区蠡湖大道2060号; E-mail: haijian\_08@sina.com

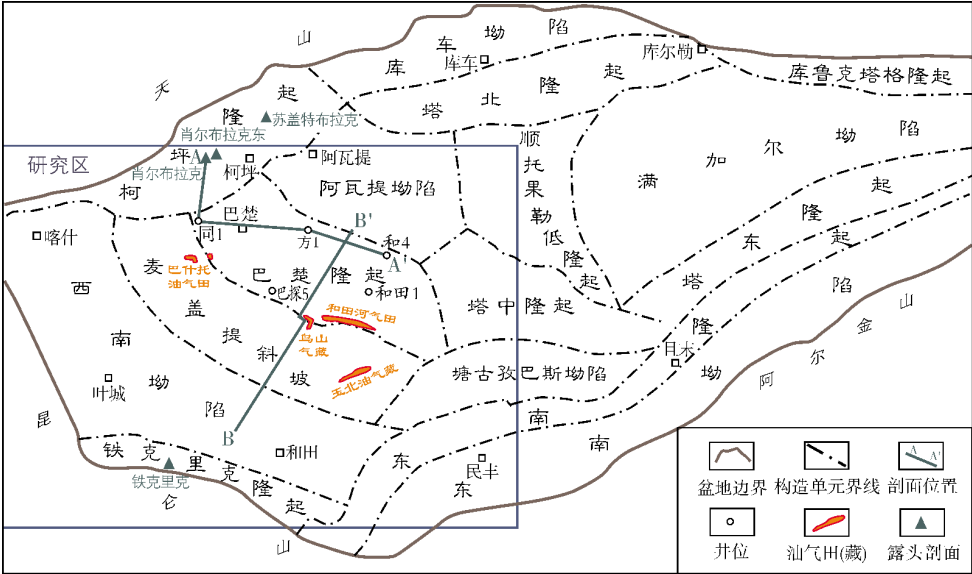


图1 塔里木盆地构造区划(据文献[15]等编制)及研究区位置

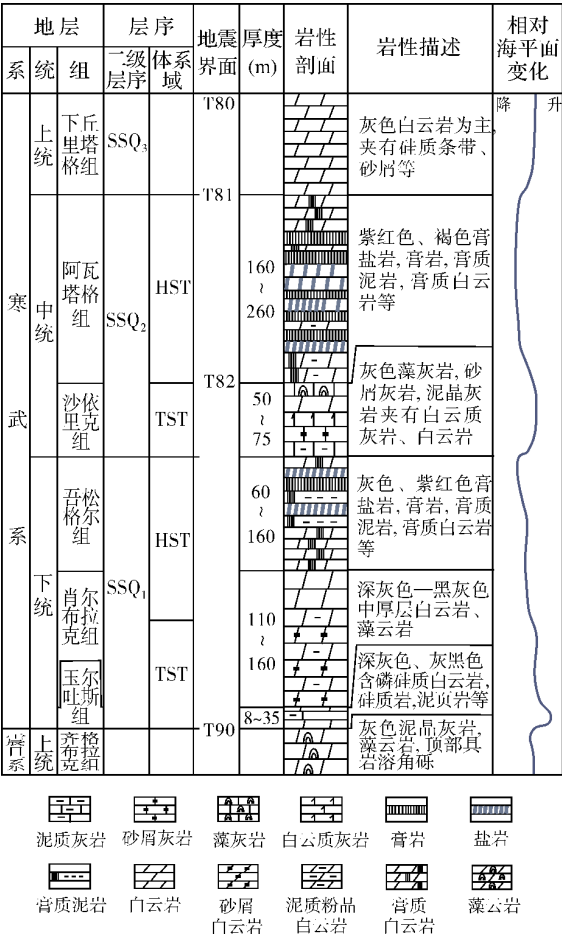


图2 塔西南寒武系地层综合柱状图

层序SSQ<sub>2</sub>,沙依里克组沉积期是最大海侵时期,其后海平面逐渐下降,同时气候比较干旱炎热,沉积了大套的膏盐岩和膏质白云岩。阿瓦塔格组和吾松格尔组构成了寒武系的上、下膏盐岩层段,而沙依里克组为盐间石灰岩段。

2.1 沉积相类型及特征

研究区中下寒武统可划分为陆棚相、开阔台地相、局限台地相、蒸发台地相和缓坡相等(图4)。

陆棚相 处于风暴浪基面之下,沉积期水体较深,以硅质和泥质沉积为主。玉尔吐斯组为一套深灰色—灰黑色的磷块岩、硅质岩、泥页岩夹硅质白云岩的组合(图3a,3b),含有底栖藻、浮游藻类和小壳化石等<sup>[17-18]</sup>,其中黑色页岩主要由细小的石英颗粒和黏土矿物组成,其次有少量石膏、重晶石和氟磷灰石结核组成,重金属元素富集,可能和海底上升洋流带来的基底物质有关<sup>[19]</sup>。

开阔台地相 主要发育在盐间石灰岩段(沙依里克组),代表了一次大规模的海侵事件(图2,图4)。包括了台内滩的砂屑滩、藻屑滩,岩性为亮晶砂屑灰岩、藻屑灰岩、砾屑灰岩,滩间海发育泥晶灰岩、藻灰岩、砂屑泥晶灰岩等。

局限台地相 在肖尔布拉克组、吾松格尔组和阿瓦塔格组都有分布。在柯坪地区肖尔布拉克剖面,吾松格尔组为局限台地沉积,岩性为深灰色—浅灰

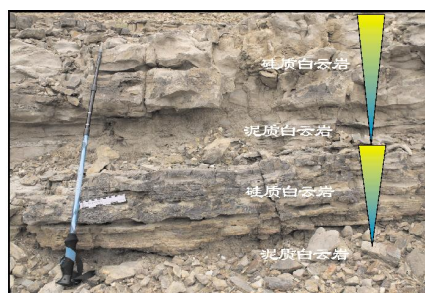
色白云岩与泥质白云岩频繁互层(图3c),代表了潮坪亚相的潮间—潮下灰质白云岩坪沉积,局部发育砾屑白云岩、竹叶状白云岩的潮道沉积。

**蒸发台地相** 阿瓦塔格组和吾松格尔组是两套膏盐岩地层,由于气候干旱、海平面下降,普遍发育了潮坪亚相的膏质泥岩坪、膏质白云岩坪和潟湖亚相的膏盐湖等。在柯坪地区肖尔布拉克剖面,阿瓦塔格组发育膏质泥岩坪、膏质白云岩坪,有膏质白云岩、泥质白云岩和粉细晶白云岩等(图3d)。巴楚地区同1井等井的吾松格尔组和阿瓦塔格组发育膏盐湖,为300~400m厚的膏岩、盐岩、膏质泥岩层(图3e,图4)。

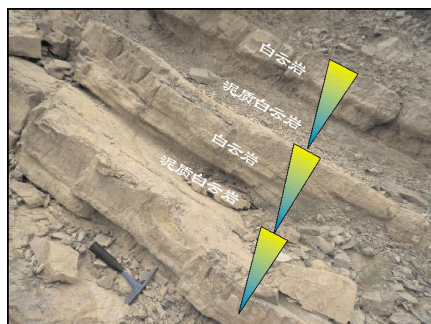
**缓坡相** 在肖尔布拉克剖面,肖尔布拉克组沉积早期发育灰黑色中薄层的纹层状白云岩与泥质白云岩互层,见到大量顺层溶蚀孔洞(图3f),似层状孔洞构造和纹层构造发育,其中发现了宏观藻类的生殖器官化石<sup>[20]</sup>,剖面中均未见明显的台缘格架礁,推断为中外缓坡的灰泥丘沉积。同时有学者也在柯坪地区苏盖特布拉克剖面(研究区之外,位置见图1)发现了多期碳酸盐岩微生物建造(蓝细菌),包括了下部微生物丘状和层状建造、中上部微生物礁和顶部叠层石建造,反映出早寒武世处于潮下低能带和高能带间互的沉积环境<sup>[21-23]</sup>。



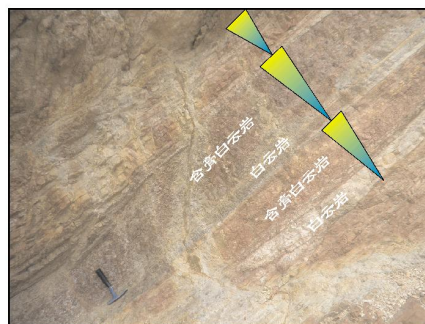
(a) 黑色泥页岩,夹有薄层硅质岩、硅质白云岩。下寒武统玉尔吐斯组,肖尔布拉克东剖面



(b) 硅质、泥质白云岩互层,形成多个向上变浅的准层序。下寒武统玉尔吐斯组,肖尔布拉克东剖面



(c) 白云岩与泥质白云岩互层,形成多个向上变浅的准层序。下寒武统吾松格尔组,肖尔布拉克剖面



(d) 褐灰色白云岩与红褐色膏质白云岩互层,形成多个向上变浅的准层序。中寒武统阿瓦塔格组,肖尔布拉克剖面



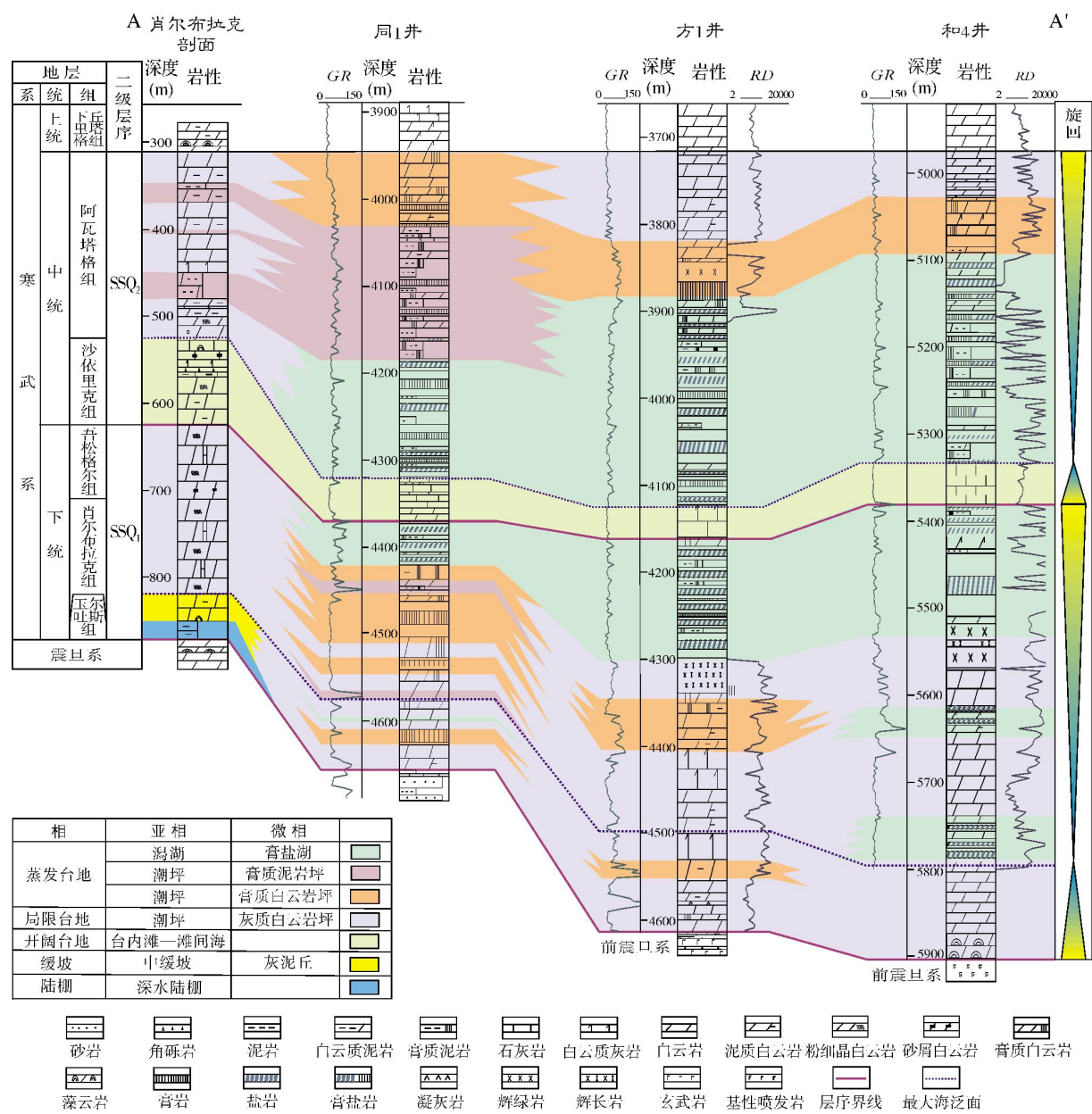
(e) 褐色盐岩。中寒武统阿瓦塔格组,巴探5井5489m。岩心



(f) 灰黑色泥质白云岩。下寒武统肖尔布拉克组,肖尔布拉克剖面

图3 塔西南中下寒武统露头 and 钻井岩心沉积特征





2.2 地震相特征

塔西南中下寒武统主要发育三大类地震相组合:“楔形”、“双层形”和“铁轨形”(图5)。研究区内,自南而北,“楔形”地震相位于西南拗陷区,表现为中强振幅、平行—前积、楔状反射结构,往北地层减薄,T90界面之上见上超特征;“双层形”地震相主要分布在麦盖提斜坡区,下部为中弱振幅、中等—弱连续

特征,而中上部为中强振幅、中低频、连续—中等连续特征;“铁轨形”地震相位于巴楚隆起区,表现为中强振幅、低—中—高频、连续特征。

地震相与沉积相具有紧密的联系,本文主要通过以下4个方面进行地震相的标定和沉积相的预测<sup>[24-25]</sup>:(1)根据位于地震测线上的钻井的优势沉积相,对过井地震剖面上相应层位的地震相进行标定;(2)根据不在测线上的钻井的优势沉积相,对井区地

震剖面上的相应层位地震相进行标定;(3)根据同一层位的地面露头资料对临近露头的地震剖面上相应层位的地震相进行标定;(4)根据地震相模式进行预测。

结合沿寒武系顶面的拉平剖面(图5)观察,大致推断:西南坳陷区临近塔西南被动陆缘,可容纳空间加大,“楔形”地震相对应中下寒武统的缓坡相;由于

低隆起隔开外海,麦盖提斜坡大部分地区下寒武统发育局限台地相潮坪—开阔台地相滩间海,随着海平面降低,中寒武统发育了局限台地相—蒸发台地相潮坪沉积,因地层上下岩性差异大而呈现“双层形”地震相;巴楚隆起区主要发育了局限台地相—蒸发台地相,潟湖亚相的膏盐岩夹潮坪亚相的白云岩,因岩性波阻抗差大而造成地震强反射。

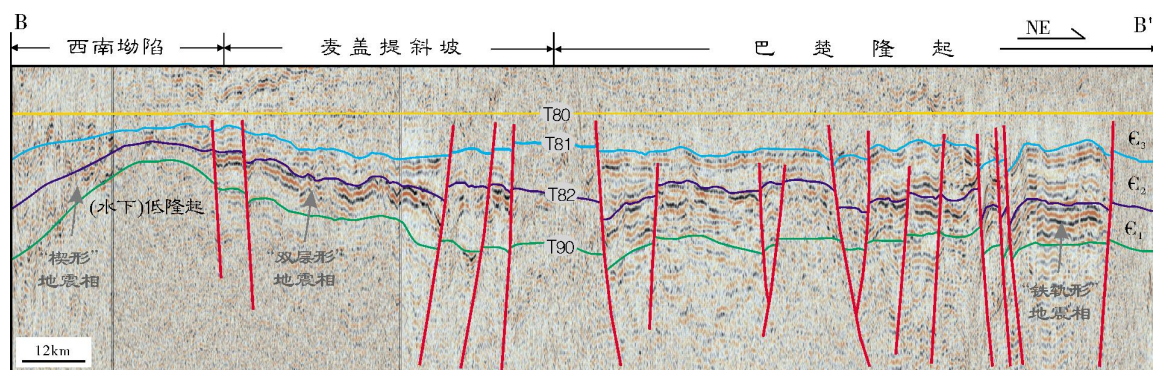


图5 塔西南区域地震解释剖面

沿寒武系顶面(T80)拉平。B—B'剖面位置见图1

### 3 岩相古地理及沉积模式

在前寒武纪古地理格局分析的基础上,综合前人的岩相古地理研究成果<sup>[7-11,15]</sup>,本文编制了研究区早中寒武世岩相古地理图,建立了沉积演化模式(图6)。

#### 3.1 晚震旦世—寒武纪塔西南古地理格局

在西昆仑区发现的新元古代—早寒武世变质岩系以及震旦纪花岗岩侵入岩体,其同位素年龄值在644~517 Ma<sup>[26-27]</sup>;东昆仑造山带中证实存在550~520 Ma的构造-热事件<sup>[28]</sup>;在阿尔金断裂带的西南端,榴辉岩的U-Pb年龄为500 Ma<sup>[29]</sup>。这些证据表明,塔里木盆地南部在震旦纪末—早寒武世曾发生过短暂的汇聚碰撞作用。在柯坪、巴楚等地区,均发现寒武系底界面与下伏震旦系的角度不整合(图4),这代表了震旦纪末发生的柯坪运动,表现为地壳的垂直隆升运动<sup>[30]</sup>。晚震旦世—早寒武世的构造运动导致了塔西南(水下)低隆起(位置参见图5)的形成,以该低隆起为中心,早中寒武世地层总体向南北两侧倾斜并增厚,克拉通坳陷内继承性发育了低凸起,地震剖面上显示南北两侧地层上超(图5),低凸起向南为残留的被动大陆边缘和洋盆。

寒武纪具有区域性的拉张背景,塔西南由克拉通坳陷、被动陆缘、库地洋、西昆仑隆起、原特提斯洋

等构成(图6),巴楚隆起—麦盖提斜坡区处于克拉通坳陷,巴楚隆起区发育半地堑充填沉积和正向断裂,半地堑呈带状分布<sup>[5]</sup>,西南坳陷区残留了被动陆缘。

#### 3.2 早寒武世(SSQ<sub>1</sub>层序)岩相古地理及沉积模式

早寒武世在克拉通坳陷内沉积了一套泥质白云岩、膏质白云岩、灰质泥岩和硅藻岩等地层,如和4井和方1井揭示(图4),沉积厚度较大,为局限台地相—蒸发台地相潟湖沉积(图6a)。在克拉通坳陷边缘,沉积厚度变小,沉积了一套白云岩、膏质白云岩、膏质泥岩、盐岩、含泥膏岩等地层,如同1井所揭示(图4),为局限台地相—蒸发台地相潮坪沉积(图6a)。克拉通坳陷南部的低凸起间歇性出露水面,形成障壁,向南为一个缓倾斜坡,形成了被动陆缘的缓坡—斜坡—陆棚相沉积。另有研究提及,在柯坪地区苏盖特布拉克剖面见到大量藻灰岩、藻丘、灰泥丘、生物丘等缓坡型台缘带沉积,推测为缓坡相—陆棚相<sup>[8,21]</sup>。

早寒武世良好的沉积环境和成烃环境,使得塔西南成为重要的烃源岩发育区。玉尔吐斯组沉积期为最大海侵期,伴随上升洋流,形成了缺氧还原环境<sup>[31]</sup>,柯坪地区沉积了一套含磷硅质岩、碳酸盐岩和黑色页岩组合,浮游藻类和底栖藻类等成烃生物大量发育<sup>[17]</sup>,故具有高 TOC 值。

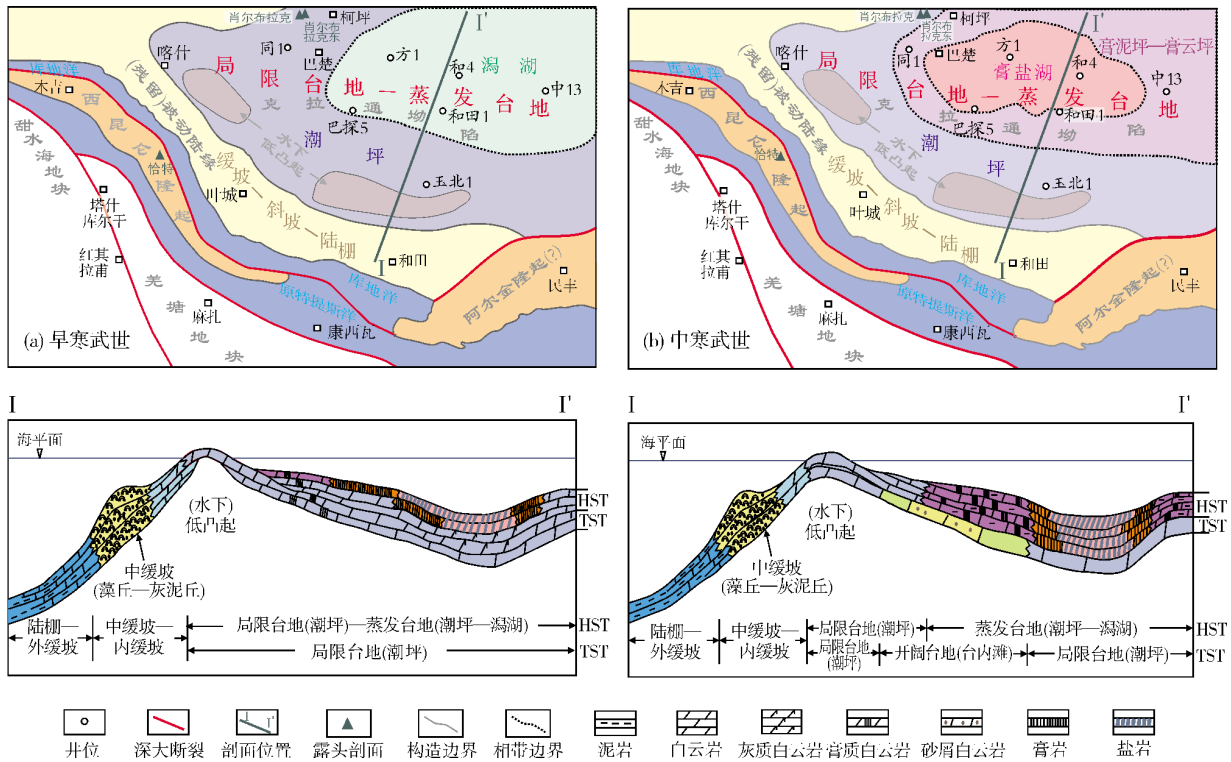


图6 塔西南早中寒武世岩相古地理及沉积演化模式(据文献[7-11,15]等编制)

### 3.3 中寒武世(SSQ<sub>2</sub> 层序)岩相古地理及沉积模式

中寒武世早期短暂的海侵期沉积了沙依里克组开阔台地相白云质灰岩以及石灰岩地层,由于克拉通坳陷南缘局部发育的低凸起露出水面,形成了障壁,造成了北部的水体流通受限,上覆阿瓦塔格组为蒸发台地—局限台地(图6b)的厚层膏岩、膏泥岩、盐岩、白云岩、泥质白云岩等(图4)。巴楚隆起区为局限干旱环境,膏盐岩潟湖沉积了厚层的膏盐岩、白云岩、膏质泥岩等,以方1井、和4井为例(图4),发育小型同沉积的正断层(图5);麦盖提斜坡区地层厚度稍薄,以膏泥岩为主,夹有盐岩、膏岩,以同1井为例(图4),为局限台地—蒸发台地潮坪沉积(图6b)。从地层厚度看,北部巴楚隆起区较南部麦盖提斜坡区厚度大,向南减薄特征明显(图5)。低凸起的南部为残留的被动陆缘。

## 4 结论

震旦纪末期的柯坪运动导致了塔西南(水下)低隆起的形成,伴随早中寒武世海平面变化,塔里木盆地西南地区发育了陆棚相、开阔台地相、局限台地相、蒸

发台地相、缓坡相。西南坳陷区发育缓坡—陆棚沉积,具有中强振幅、平行—前积、楔状地震反射特征;麦盖提斜坡区发育局限台地和蒸发台地潮坪,受相对海平面变化影响,早中寒武世沉积环境有差异,表现为上下两层的地震相,上部为中强振幅、中低频、连续—中等地震反射,下部为中弱振幅、中等—弱连续地震反射;巴楚隆起区蒸发台地膏盐湖广泛发育,表现为中强振幅、低—中—高频、连续反射特征。

早中寒武世古地理呈克拉通坳陷—被动大陆边缘—多岛洋盆的格局。早中寒武世在强烈伸展作用下,相对海平面快速上升,(残留)被动陆缘烃源岩发育。塔西南低隆起的存在,造成海水流通不畅,加之气候炎热干燥,克拉通坳陷内形成了膏盐湖沉积,膏盐岩区域盖层与下伏碳酸盐岩构成良好的储盖组合。生储盖的配置较好,反映塔西南具有较好的油气前景。

致谢:中石化研究院李慧莉和钱一雄等专家给予了指导和帮助,审稿专家和编辑老师对论文提出了重要意见和建议,在此一并表示感谢。

### 参考文献

- [1] 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.



- [2] 云金表,金之钧,解国军. 塔里木盆地古生界主力烃源岩分布[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 827-838.
- [3] 邵龙义,何宏,彭苏萍,等. 塔里木盆地巴楚隆起寒武系及奥陶系白云岩类型及形成机理[J]. 古地理学报, 2002, 4(2): 19-30.
- [4] 祝贺,刘家铎,孟万斌,等. 塔里木盆地巴楚隆起寒武系层序及岩相古地理[J]. 新疆石油地质, 2010, 34(4): 344-348.
- [5] 高志前,樊太亮,尹微,等. 塔里木盆地早中寒武世张裂构造及沉积响应[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2011, 33(3): 83-88.
- [6] 何登发,贾承造,李德生,等. 塔里木多旋回叠合盆地的形成与演化[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(1): 64-77.
- [7] 冯增昭,鲍志东,吴茂炳,等. 塔里木地区寒武纪岩相古地理[J]. 古地理学报, 2006, 8(4): 427-439.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 杨永剑,刘家铎,田景春,等. 塔里木盆地寒武纪层序岩相古地理特征[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(3): 450-459.
- [11] 高志前,樊太亮,杨伟红,等. 塔里木地区早古生界台缘斜坡带特征及分布[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2011, 42(12): 3811-3817.
- [12] 乔博,高志前,樊太亮,等. 塔里木盆地寒武系台缘结构特征及其演化[J]. 断块油气田, 2014, 21(1): 7-11.
- [13] 丁道桂. 西昆仑造山带与盆地[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 1-57.
- [14] 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 88-104.
- [15] 赵文智,张光亚,等. 被动大陆边缘演化与油气地质——以塔里木盆地西南地区为例[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007: 5-20.
- [16] 肖序常,王军,苏犁,等. 再论西昆仑库地蛇绿岩及其构造意义[J]. 地质通报, 2003, 22(10): 745-750.
- [17] 陈践发,孙省利,刘文汇,等. 塔里木盆地早中寒武统底部富有机质层段地球化学特征及成因探讨[J]. 中国科学: D 辑, 2004, 34(增刊 I): 107-113.
- [18] 胡广,刘文汇,腾格尔,等. 塔里木盆地早寒武统泥质烃源岩成烃生物组合的构造-沉积环境控制因素[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(5): 685-695.
- [19] 于炳松, Dong H, Widom E, 等. 塔里木盆地北部下寒武统底部黑色页岩的 Re-Os 和 Nd 同位素特征及其与扬子地台的对比[J]. 中国科学: D 辑, 2004, 34(增刊 I): 83-88.
- [20] 张宝民,张永昌,边立曾,等. 塔里木盆地早寒武世灰泥丘孔洞中钙化红藻生殖器官化石的发现[J]. 古生物学报, 2004, 43(4): 530-536.
- [21] 宋金民,罗平,杨式升,等. 塔里木盆地苏盖特布拉克地区下寒武统肖尔布拉克组碳酸盐岩微生物建造特征[J]. 古地理学报, 2012, 14(3): 341-354.
- [22] 倪新锋,沈安江,陈永权,等. 塔里木盆地寒武系碳酸盐岩台地类型、台缘分段特征及勘探启示[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(7): 1245-1255.
- [23] 李保华,邓世彪,陈永权,等. 塔里木盆地柯坪地区下寒武统台缘相白云岩储层建模[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(7): 1233-1244.
- [24] 高岩,赵秀岐,张玮,等. 塔里木盆地层序地层特征与非构造圈闭勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 68-70.
- [25] 牟中海,赵克斌,唐勇,等. 塔里木盆地西南古生代地震地层学特征[J]. 新疆地质, 2002, 20(增刊): 83-87.
- [26] 张传林,叶海敏,王爱国,等. 塔里木西南缘新元古代辉绿岩及玄武岩的地球化学特征: 新元古代超大陆(Rodinia)裂解的证据[J]. 岩石学报, 2004, 20(3): 473-482.
- [27] 毕华,王中刚,王元龙. 西昆仑造山带构造岩浆演化史[J]. 中国科学: D 辑, 1999, 29(5): 398-406.
- [28] 陈能松,孙敏,王勤燕,等. 东昆仑造山带中带的锆石 U-Pb 定年与构造演化启示[J]. 中国科学: D 辑, 2008, 38(6): 657-666.
- [29] 张建新,张泽明,许志琴,等. 阿尔金构造带西段榴辉岩的 Sm-Nd 及 U-Pb 年龄[J]. 科学通报, 1999, 44(10): 1109-1112.
- [30] 杨鑫,徐旭辉,陈强路,等. 塔里木盆地前寒武纪古构造格局及其对下寒武统烃源岩发育的控制作用[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(8): 1164-1171.
- [31] 张永昌, Wang Ruiliang, 金之钧, 等. 塔里木盆地寒武纪—奥陶纪优质烃源岩沉积与古环境变化的关系: 碳氧同位素新证据[J]. 地质学报, 2006, 80(3): 459-466.

编辑:董庸

## Lithofacies Paleogeography of Early-Middle Cambrian in Southwestern Tarim Basin

Jiang Haijian, Chu Chenglin, Yang Xin, Chen Qianglu, Yue Yong, Shao Zhibing

**Abstract:** The controversy over lithofacies paleogeography of Early-Middle Cambrian affected the hydrocarbon evaluation in southwestern Tarim Basin. According to outcrops, well and seismic data, the study of sedimentary facies and seismic facies was carried out, and the model of lithofacies paleogeography of Early-Middle Cambrian in southwestern Tarim Basin was reconstructed based on the tectonical background. Controlled by sea level change and paleogeographic pattern, there developed some facies including shelf, open platform, restricted platform, evaporate platform and gentle slope in Lower-Middle Cambrian. In Late Sinian, low uplifts formed in southern Maigaiti Slope, and thus a paleogeographic pattern of ocean basin-passive continental margin-intercraton depression distributed from south to north. In passive margin(south to the uplifts), gentle slope facies and shelf facies developed. In the south margin of craton depression(Maigaiti Slope), the tidal-flat facies of restricted platform and evaporate platform mainly developed with thin stratum. In the inner part of craton depression(Bachu Uplift), gypsum-salt lake developed due to hot and dry climate, and poor water circulation. Source rock developed in the residual part of passive continental margin. Reservoir-cap assemblage of gypsum-salt rock and underlying carbonate distributed in Bachu Uplift and Maigaiti Slope. Thus there are good prospects for petroleum exploration in Lower-Middle Cambrian, southwestern Tarim Basin.

**Key words:** Cambrian; Source rock; Sedimentary facies; Paleogeography; Tarim Basin

Jiang Haijian: MSc., Petroleum Geology Engineer. Add: Institute of Petroleum Geology, Research Institute of Petroleum Exploration & Production, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu, 214151, China