

文章编号: 1000-0550(2009) 05-0939-17

塔里木盆地奥陶纪层序岩相古地理^①

赵宗举^{1,2} 吴兴宁³ 潘文庆^{1,4} 张兴阳² 张丽娟⁴ 马培领⁴ 王振宇⁵

(1. 北京大学地球与空间科学学院 北京 100871)

2. 提高石油采收率国家重点实验室(中国石油勘探开发研究院) 北京 100083;

3. 中国石油杭州地质研究院 杭州 310023

4. 中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司 新疆库车 841000;

5. 西南石油大学 成都 610500)

摘要 通过大量钻井取芯及露头沉积相观察、地震层序解释及地震相分析,结合蛇绿混杂岩带及板块构造演化等区域地质资料,首次编制了层序地层格架下的 8 张塔里木盆地奥陶纪岩相古地理图,发现了塔里木板块内部存在 5 个孤立碳酸盐台地(塔北台地、巴楚—塔中台地、罗西台地、塘南台地及库鲁克塔格台地)及其“台—盆”相间的古地理格局,对塔里木盆地海相油气勘探具有重要指导意义。最初发生于早震旦世及早寒武世的塔里木板块北缘大陆裂谷运动及震旦纪—中奥陶世的张裂构造环境控制了塔里木板块内部多个孤立碳酸盐台地及其间深水沉积区的形成,而晚奥陶世发生于板块南缘的阿尔金岛弧及库地岛弧与塔里木板块的碰撞挤压运动及其产生的大量陆源碎屑物源,则导致了板块内部多个孤立碳酸盐台地的逐步消亡及板块南部浊流盆地群的形成。

关键词 沉积相 层序地层 板块构造 海相 碳酸盐岩 岩相古地理 奥陶纪 塔里木盆地

第一作者简介 赵宗举 男 1967 年出生 博士后 教授级高级工程师 石油地质学 E-mail: zhaozongju@petrochina.com.cn

中图分类号 P534.42 P539.2 **文献标识码** A

0 引言

前人在塔里木盆地奥陶纪岩相古地理方面已做了较多研究工作,主要侧重于对盆地内塔中^[1-12]、塔河油田^[13-16]及塔东^[17,18]等局部地区及奥陶系局部层段沉积相及岩相古地理的研究,对全盆地的岩相古地理研究与编图工作则主要从年代地层^[19]及岩石地层单位的角度^[20]或者是仅对局部层段进行了探讨^[21-23]。这些研究工作及其所取得的有益认识十分值得借鉴。但总体上看,对于塔里木盆地奥陶纪沉积相及岩相古地理的研究,尚缺乏从层序地层学及板块构造对沉积体系的控制作用的角度、以及地表露头—钻井—地震资料有机结合的系统研究,本文试图综合大量的钻井岩芯及地表露头沉积相观察资料、地震相及地震层序地层解释认识、以及蛇绿混杂岩、板块构造演化等区域地质资料,来探讨层序地层格架下塔里木盆地奥陶纪不同层序—体系域的沉积体系分布及岩相古地理、以及塔里木板块及其周缘地块的大地构

造演化对板块内沉积盆地及其沉积体系发育与演化的控制作用。

1 奥陶纪层序划分

从现今塔里木盆地西缘的柯坪、巴楚地区及东北缘的却尔却克山—元宝山地区出露的奥陶系露头层序地层分析出发,结合盆地内不同沉积—构造单元主要钻井沉积层序划分及二维地震层序骨干大剖面、三维地震层序精细解释,建立了塔里木盆地奥陶系层序地层格架(表 1)^[24],划分出 8 个在露头、钻井及地震资料中可以全盆地追踪对比的三级层序,其中的下奥陶统包含 2 个层序(OSQ1 及 OSQ2)、中奥陶统包含 2 个层序(OSQ3 及 OSQ4)、上奥陶统包含 4 个层序(OSQ5 OSQ6 OSQ7 及 OSQ8)。所建立的三级层序与岩石地层、年代地层的相互关系,为全盆地层序—体系域级别的沉积相研究与岩相古地理编图,奠定了坚实基础。关于塔里木盆地奥陶系层序地层格架的建立依据,作者已有专文论述^[24],在此从略。

①国家科技重大专项课题(批准号: 2008ZX05000-004-001)、中国石油重大研发项目(批准号: 070201)资助。

收稿日期: 2009-02-22 收修稿日期: 2009-06-27

表 1 塔里木盆地奥陶系层序地层格架

Table 1 The sequence stratigraphy framework of Ordovician in Tarim Basin

| 统 | 阶 | 时间 /Ma | 三级层序 | 体系域 | 柯坪露头 | 巴楚露头 | 巴楚凸起 | 塔中凸起 | 塘古兹巴斯坳陷 | 轮南凸起 | 英买力凸起 | 塔东凹陷 | 塔东北露头 | |
|------|-------|--------|------|-----|---------|-------|-------|-------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|
| | | | | | 志留系 | 第四系 | 志留系 | 志留系 | 志留系 | 志留系 | 志留系 | 志留系 | 志留系 | 志留系 |
| 上奥陶统 | 钱塘江阶 | 443.7 | OSQ8 | | 铁热克阿瓦提组 | | | | | 铁热克阿瓦提组 | | | 银屏山组 | |
| | | 447 | | | | | | | | | | | | |
| | 艾家山阶 | | OSQ7 | | 印干组 | | 桑塔木组 | 桑塔木组 | 桑塔木组 | "却尔却克组" | 桑塔木组 | 桑塔木组 | 桑塔木组 | 元宝山组 |
| | | 451 | OSQ6 | | 其浪组 | 良里塔格组 | 良里塔格组 | 良里塔格组 | 良里塔格组 | | 良里塔格组 | 良里塔格组 | 良里塔格组 | 杂土坡组 |
| | | 455.8 | OSQ5 | | 坎岭组 | 吐木体克组 | | | | | 吐木体克组 | 吐木体克组 | | 却尔却克组 |
| | | 460.9 | | | 萨尔干组 | 一间房组 | | | 一间房组 | | 一间房组 | 一间房组 | | |
| 中奥陶统 | 达瑞威尔阶 | 468.1 | OSQ4 | HST | | | | | 一间房组 | 一间房组 | 一间房组 | 黑土凹组 | 黑土凹组 | |
| | 大湾阶 | 471.8 | OSQ3 | TST | 鹰山组 | 鹰山组 | 鹰山组 | 鹰山组 | 鹰山组 | 鹰山组 | 鹰山组 | | | |
| 下奥陶统 | 道保湾阶 | 477.4 | OSQ2 | HST | | | | | | | | | | |
| | | 486.2 | OSQ1 | TST | 蓬莱坝组 | 蓬莱坝组 | 蓬莱坝组 | 蓬莱坝组 | 蓬莱坝组 | 蓬莱坝组 | 蓬莱坝组 | 突尔沙克塔格群 | 突尔沙克塔格群 | |
| | 新厂阶 | 488.3 | CSQ6 | HST | 丘里塔格组 | 丘里塔格组 | 丘里塔格组 | 丘里塔格组 | 丘里塔格组 | 丘里塔格组 | 丘里塔格组 | | | |
| 上寒武统 | 凤山阶 | | | | | | | | | | | | | |

注明: TST 指海侵体系域, HST 指高位体系域; 时间 (Ma) 中的新厂阶、大湾阶、达瑞威尔阶、艾家山阶之底界及钱塘江阶之顶界数据引自 [25], 其它数据由柯坪、巴楚露头实测的 Milankovitch 高频旋回推算。

2 奥陶纪塔里木板块周缘大地构造环境

对塔里木板块周缘造山带中所发育的早古生代蛇绿混杂岩带 (板块缝合带) 的研究, 前人已做了大量有益工作并取得一些共识 [26~37], 即塔里木板块周缘主要发育了以长阿吾子蛇绿岩为代表的南天山早古生代蛇绿混杂岩带、以库地蛇绿岩为代表的西昆仑早古生代蛇绿混杂岩带及以阿尔金北部的红柳沟—拉配泉构造混杂岩带和南部的阿帕—茫崖构造混杂岩带为代表的阿尔金早古生代蛇绿混杂岩带, 由此表明了早古生代塔里木板块被深水洋盆所环绕, 其北侧为南天山洋、南侧为古 Tethys 洋。与华南及华北板块相似, 它们均为游离于 Gondwana (冈瓦纳) 大陆周缘、处于赤道附近并被洋盆所环绕的小型克拉通 [38~41]。研究认为, 长阿吾子蛇绿岩形成于弧后盆地环境 [29~31], 推测为北天山洋壳向南俯冲于伊犁—中天山岛弧陆块之下所引发形成的南天山弧后小洋盆, 通常认为该蛇绿岩形成于志留纪—早泥盆世 [28, 30, 31], 亦即指示了洋壳的主要消减时代。研究认为库地蛇绿

岩产于弧前环境 [35, 36], 推测为塔里木板块西南被动陆缘俯冲于库地岛弧陆块之下所形成的弧前盆地, 其形成时代为新元古代—早古生代早期 [26, 27, 32, 33]。阿尔金的 2 条早古生代蛇绿岩带——北部的红柳沟—拉配泉构造混杂岩带和南部的阿帕—茫崖构造混杂岩带被阿尔金 (米兰河—金雁山) 岛弧地块隔开 [34], 研究认为该蛇绿岩的形成环境为洋岛或海山环境 [35], 形成于早古生代早期 [34, 37]。

从天山及库鲁克塔格、柯坪地区分布的下震旦统及下寒武统中均发育了大陆裂谷型玄武岩 [42~45] 来看, 说明了早震旦世及早寒武世是塔里木板块北缘的 2 期主要拉张裂解运动, 并由此导致了伊犁—中天山陆块从塔里木陆块中裂解出去 [42, 46] 及塔里木板块内部的张裂构造环境, 这种张性应力背景可一直持续到早中奥陶世 [42]。

3 奥陶纪层序岩相古地理

3.1 早奥陶世层序 OSQ1 沉积期岩相古地理

因受震旦纪—早奥陶世区域板块构造张裂运动

的影响^[42], 在早奥陶世层序 OSQ1 发育时期, 塔里木板块内形成了塔西、塘南、罗西及库鲁克塔格 4 个孤立碳酸盐台地(图 1), 其间被深水盆地及外缓坡沉积相带所分隔。这一岩相古地理格局基本继承了早期寒武纪的沉积面貌(关于塔里木盆地寒武纪层序岩相古地理, 作者将另文专述)。

塔西台地是 4 个孤立碳酸盐台地中最大的台地, 其东西宽达 600 km、南北宽达 400 km, 台内主要发育了厚达 200~ 500 m 的蓬莱坝组局限一半局限台地相白云岩夹砂屑灰岩、藻纹层灰岩、藻粘结岩及泥晶灰岩, 属于台内滩相夹藻席及滩间海沉积。地震剖面显示台地东缘为沉积坡度较小的加积型镶边台缘(恢复其原始沉积斜坡的坡度角大约为 3°~ 5°, 图 3), 库南 1 井层序 OSQ1 取芯显示主要为外缓坡相弱变形层理泥晶灰岩夹砾屑灰岩及钙屑浊积岩, 其中砾屑灰岩的砾屑多呈准同生成因的弱变形状(图 6), 均说明该斜坡坡度不大。推测塔西台地西北缘及南缘以沉积坡度更小的镶边台缘甚至是缓坡台缘为主。塔西台地东南部发育了可能受当时的塔中 1 号正断裂活动控制并沿断裂北侧分布的较深水台沟相带—中古台沟, 塔中 5 井及塔中 43 井中见到层序 OSQ1 发育

了台缘藻礁^[1]与斜坡相沉积(图 6), 说明沿塔中 1 号断裂带北侧存在深水相带。另外, 塔参 1 井还钻遇了层序 OSQ1 的台内洼地(塔中台洼)沉积, 主要表现为一套低能带沉积的泥晶灰岩夹风暴事件沉积的砂屑灰岩(被后期白云石化, 图 7), 说明其沉积水体较深、可能位于风暴浪基面附近。

据罗西 1 井钻遇的层序 OSQ1 取芯显示为一套灰白色亮晶砂砾屑灰岩及砂屑灰岩, 应属台地边缘高能浅滩相沉积, 其过井地震剖面显示罗西台地西缘为加积型镶边台缘(图 3), 恢复其沉积斜坡角度可达 10°左右。塘南台地迄今尚无钻井钻遇, 从地震剖面来看(图 4), 其北缘层序 OSQ1 厚度总体呈 SE 向 NW 逐渐变薄的趋势, 推测属于加积型缓坡台地。

在乌里格孜塔格剖面出露的突尔沙克塔格群层序 OSQ1 主要为一套泥晶角砾灰岩及泥晶灰岩^[47, 48], 推测代表了库鲁克塔格台地的南侧斜坡相沉积。

在却尔却克山地区出露及塔东 1 井、塔东 2 井等钻遇的突尔沙克塔格群层序 OSQ1 则为一套典型的深水盆地相泥质泥晶灰岩及泥质灰岩夹钙屑浊积岩(泥晶砂屑灰岩)。

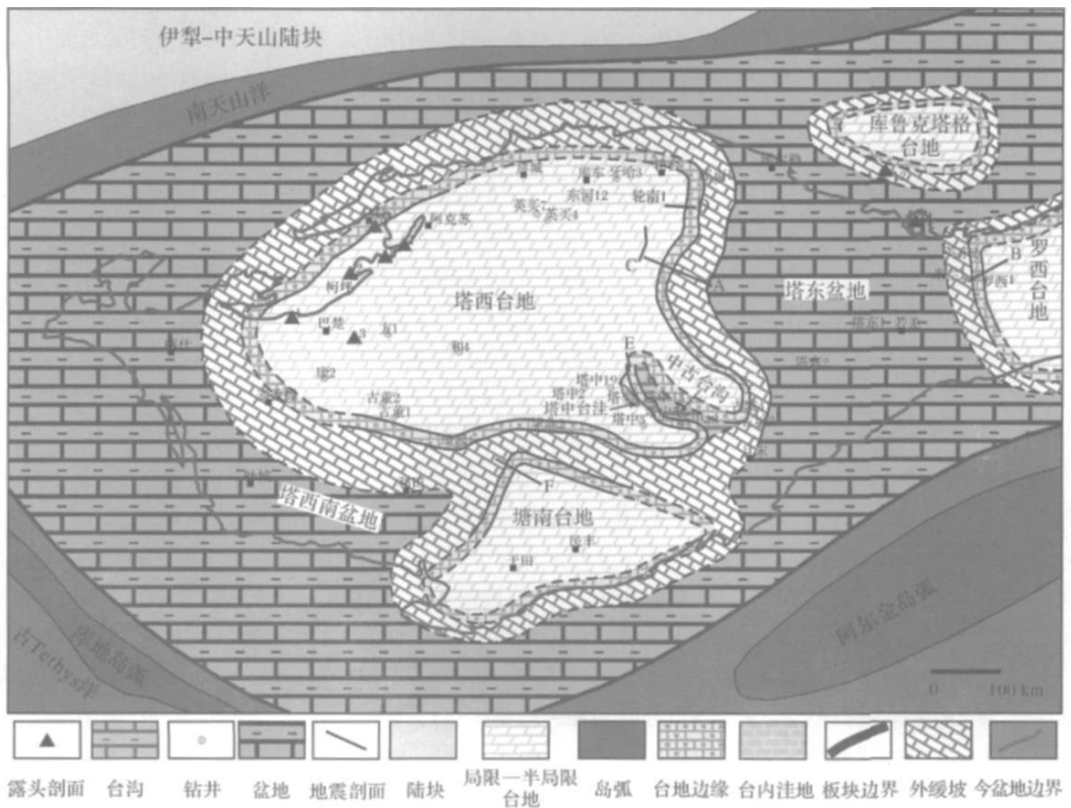


图 1 塔里木盆地早奥陶世层序 OSQ1 沉积期岩相古地理图(露头及地震剖面编号同图 12)

Fig 1 The lithofacies paleogeography of sequence OSQ1 in early Ordovician in Tarim Basin (No. of outcrops & seismic lines same as Fig 12)
 © 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

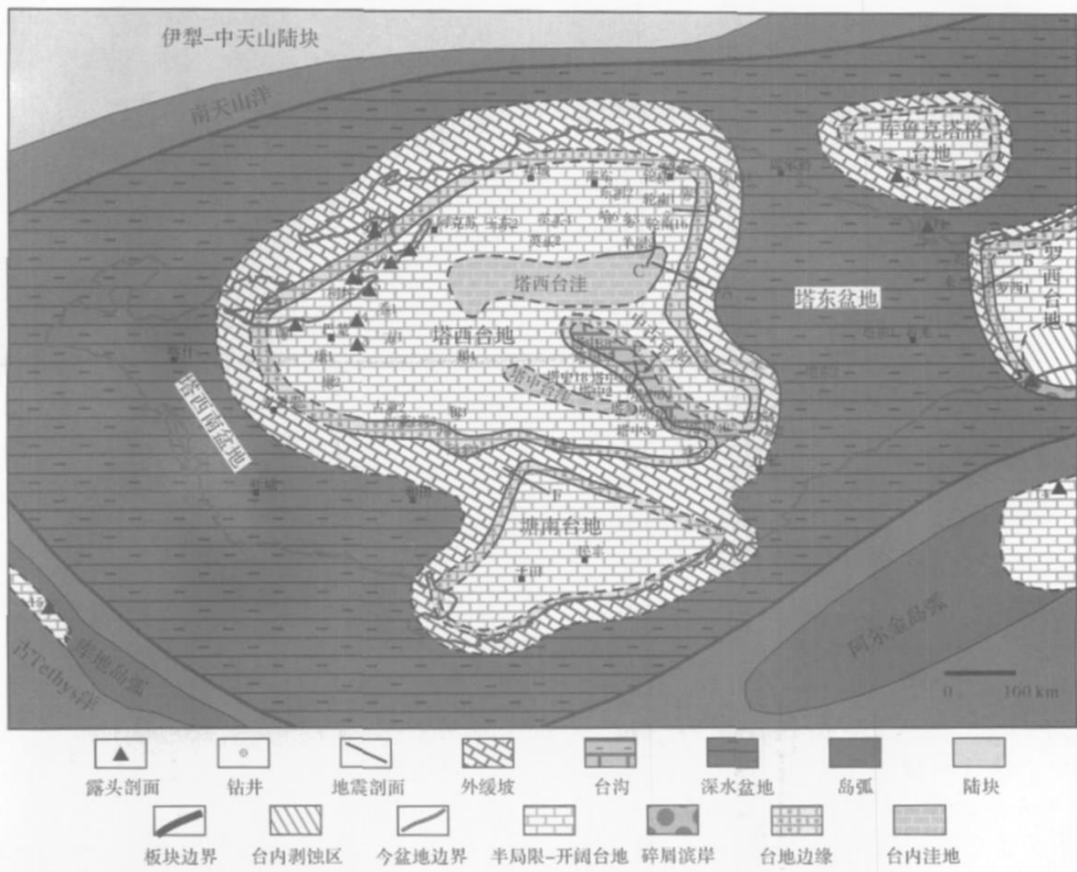


图 2 塔里木盆地早中奥陶世层序 OSQ2—OSQ3 沉积期岩相古地理图 (露头及地震剖面编号同图 12)

Fig 2 The lithofacies paleogeography of sequence OSQ2—OSQ3 in early-middle Ordovician in Tarim Basin (No. of outcrops & seismic lines same as Fig 12)

3.2 早中奥陶世层序 OSQ2—OSQ3 沉积期岩相古地理

早中奥陶世层序 OSQ2—OSQ3 发育时期, 塔里木板块内的岩相古地理格局总体与前期相似 (图 2), 但中古台沟及塔中台洼均有所扩大, 推测出现了分布范围更大的塔西台洼。

塔西台地内部主要沉积了厚达 500~900 m 的鹰山组半局限—开阔台地相潮下藻席泥晶灰岩夹滩相泥亮晶颗粒灰岩, 迄今已有超过 200 口钻井钻遇了该套沉积。由于塔中 I 号断裂带的继续活动, 导致了中古台沟进一步向北西方向发展与扩大, 推测其南侧台地边缘属于加积型镶边台缘 (图 4), 而北侧台缘可能为缓坡, 该台沟深水沉积证据也主要是塔中 5 井鹰山组中依然发育了台缘藻礁、滩相及斜坡相崩塌角砾岩, 说明其北侧为台沟深水相带。塔参 1 井鹰山组中依然发育潮下低能带沉积的风暴岩 (图 7), 说明塔中台洼依然存在。塔西台洼迄今尚无钻井钻遇, 从地震剖面上可以看到鹰山组表现出波状前积结构 (图 5),

可能为台洼内沉积的风暴岩丘及台洼边缘浅滩相带向台洼内进积的表现。从图 3 看到塔西台地东缘鹰山组层序 OSQ2—3 的地震响应特征在台缘与台内差异不大, 且台缘带也未见到明显加厚现象, 库南 1 井钻遇了鹰山组外缓坡相沉积的弱变形层理泥晶灰岩、泥灰岩偶夹砾屑灰岩 (碎屑流) 及砂屑灰岩 (钙屑浊积岩), 以及塔西台地西北缘乌什牙尔巴哈剖面中也见到了鹰山组外缓坡相沉积的薄板状钙屑浊积岩及泥晶灰岩夹厚层状碎屑流砾屑灰岩 (图 13), 说明塔西台地东缘及西北缘可能均为加积型末端变陡缓坡, 其台缘高能相带可能并不发育。但从玛 4 玛 5 井中见到了鹰山组台地边缘高能鲕滩沉积 (图 8) 及塘参 1 井鹰山组为一套灰泥丘藻粘结岩来看, 推测塔西台地南缘为发育台地边缘高能相带的加积型缓坡。

罗西 1 井钻遇的鹰山组取芯显示层序 OSQ3 为开阔台地台缘灰泥丘沉积, 以藻粘结颗粒灰岩为主 (图 8), 图 3 显示罗西 1 井处存在鹰山组明显加厚现象, 说明灰泥丘建造是厚度加大的重要原因, 因此, 罗

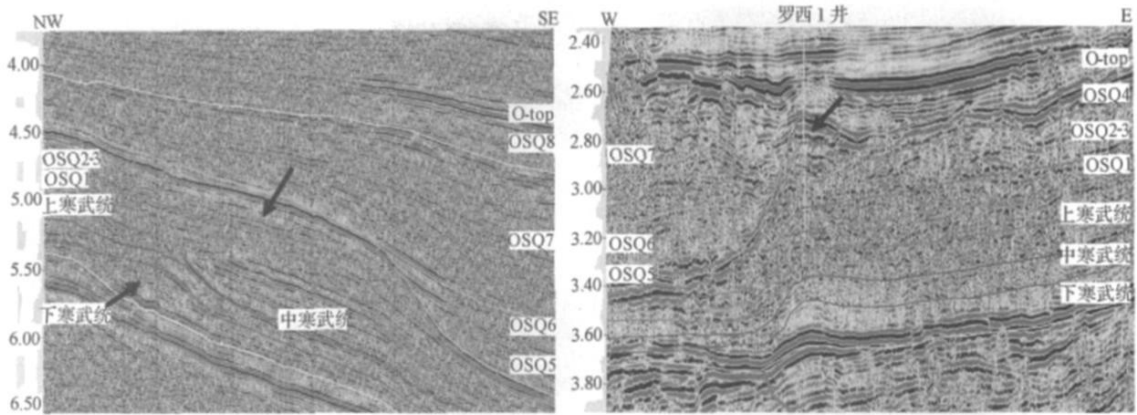


图 3 塔西台地东缘(左)及罗西台地西缘(右)台地边缘地震显示

Fig. 3 The seismic show of platform margins on the eastern Taxi platform (Left) & western Luoxi platform (Right)

左:地震剖面 A,右:地震剖面 B;地震剖面位置见图 1、图 2;箭头指示台地边缘相带;

O-top 指示奥陶系顶面,奥陶系层序代号 OSQ1—OSQ8 同表 1

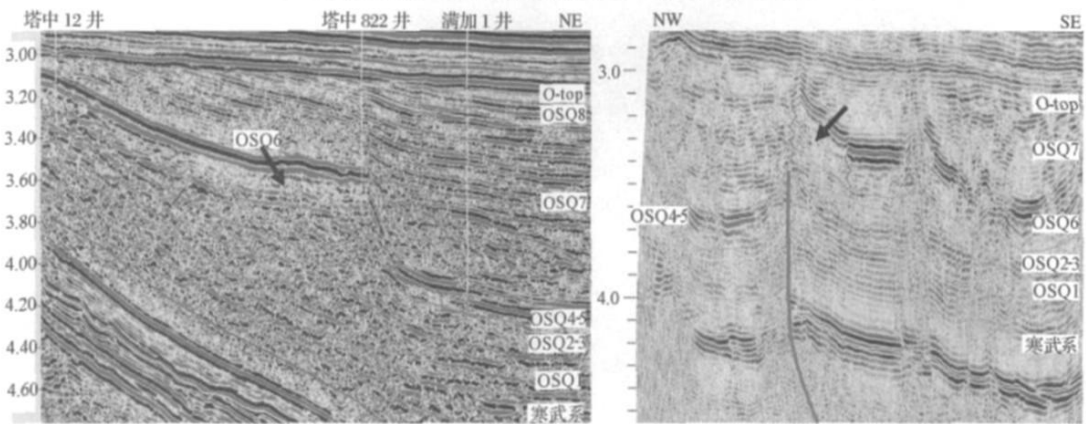


图 4 塔中台地北缘(左)及塘南台地北缘(右)台地边缘地震显示

Fig. 4 The seismic show of platform margins on the northern Tazhong platform (Left) & northern Tangnan platform (Right)

左:地震剖面 E,右:地震剖面 F;地震剖面位置见图 12;箭头指示台地边缘高能相带;

O-top 指示奥陶系顶面,奥陶系层序代号 OSQ1—OSQ8 同表 1

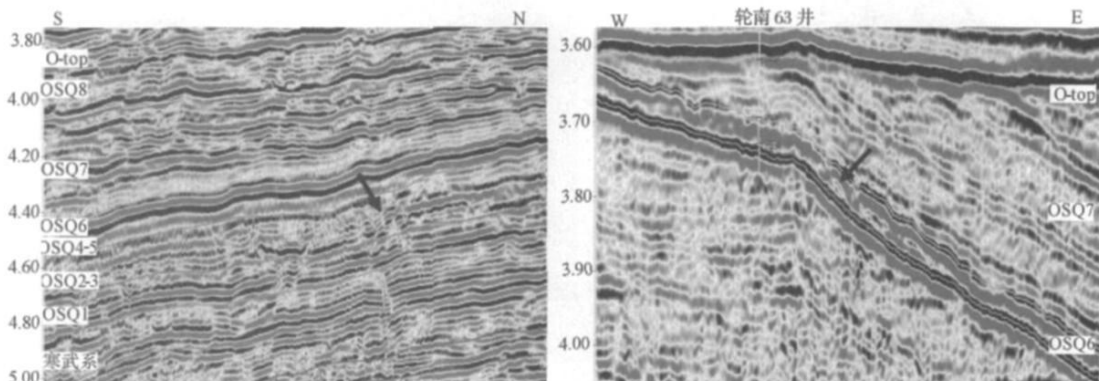


图 5 塔西台内洼地(左)及塔北台地缓坡(右)边缘相带地震显示

Fig. 5 The seismic show of marginal facies in Taxi intra-platform sag (Left) & Tabei ramp (Right)

左:地震剖面 C,箭头指示边缘相带波状前积结构;右:地震剖面 D,轮南 63 井钻遇层序 OSQ6(良里塔格组)

台缘高能滩相亮晶砂屑灰岩,箭头指示台缘滩相向东的叠瓦状前积结构;地震剖面位置见图 2、图 12;

O-top 指示奥陶系顶面,奥陶系层序代号 OSQ1—OSQ8 同表 1

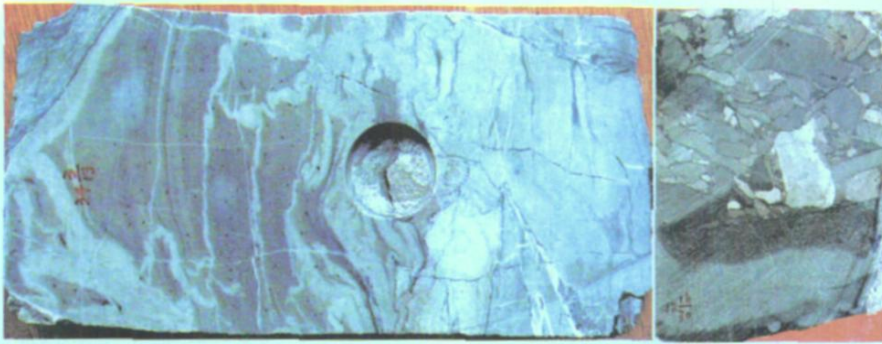


图 6 塔西台地下奥陶统层序 OSQ1 斜坡相沉积特征

Fig. 6 The sedimentary characteristics of slope facies in sequence OSQ1 of lower Ordovician in Taxi platform

左: 同生重力滑动变形的泥晶灰岩夹白云化亮晶砂屑灰岩及藻叠层泥晶白云岩角砾, 塔中 5 井; 右: 砾屑灰岩, 砾屑成分以泥晶灰岩为主, 少量为砂屑灰岩, 砾屑间被砂屑胶结, 多呈颗粒支撑; 底部见厚约 2~3 cm 的逆粒序泥晶砂屑灰岩, 反映为碎屑流沉积之前的前端颗粒流沉积; 砾屑多为斜坡相原地沉积的泥晶灰岩, 反映为外缓坡上部因触发事件引起的原地沉积物的向下滑动成因机制, 库南 1 井

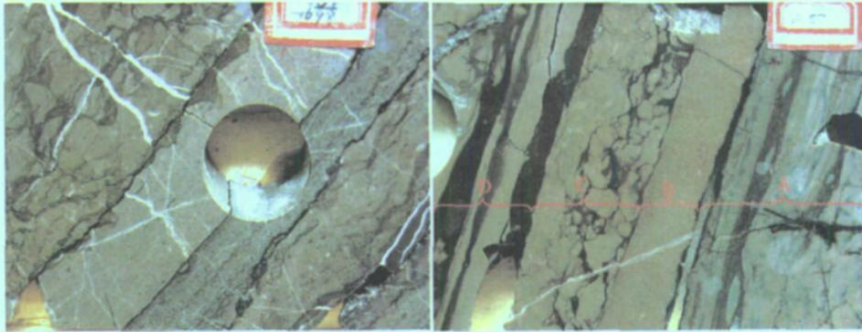


图 7 塔中台洼塔参 1 井下奥陶统台内洼地沉积特征

Fig. 7 The sedimentary characteristics of lower Ordovician of Tacan-1 in Tazhong intra-platform sag

左: 台内洼地正常沉积的泥晶白云岩夹风暴沉积的正粒序层理砂屑白云岩薄层, 层序 OSQ1; 右: A 为灰质泥粉晶白云岩(原岩为藻凝块灰岩), B 为风暴沉积的亮泥晶鲕粒灰岩, C 为正常沉积但被风暴扰动的藻粘结灰岩, D 为黑灰色泥质泥晶灰岩夹风暴沉积的条带状球粒灰岩及砂屑灰岩, 层序 OSQ2

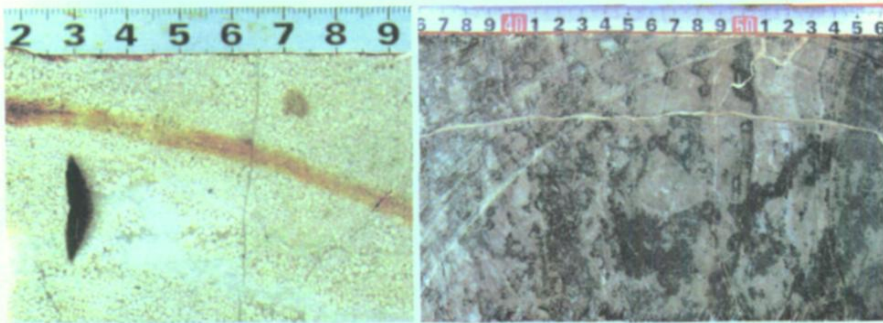


图 8 中下奥陶统鹰山组层序 OSQ2—OSQ3 台地边缘高能相带沉积特征

Fig. 8 The sedimentary characteristics of platform marginal facies in sequence OSQ2 - OSQ3

(Yingshan Formation) of middle-lower Ordovician

左: 高能滩沉积的亮晶鲕粒灰岩, 塔西台地南缘玛 4 井; 右: 灰泥丘沉积经生物扰动的藻粘结生屑砂屑灰岩, 被沥青侵染, 罗西台地西缘罗西 1 井

西台地西缘应属于加积型镶边台地, 恢复其沉积斜坡 角度可达 14°。图 4 显示塘南台地北缘鹰山组层序

OSQ2~OSQ3发育特征与蓬莱坝组层序 OSQ1相似,推测也为加积型缓坡台地。

乌里格孜塔格剖面出露的巷古勒塔格组(相当于层序 OSQ2—OSQ3),为一套灰—灰黑色薄层状弱变形层理及瘤状构造的泥质泥晶灰岩及泥晶灰岩^[47, 48],推测代表了库鲁克塔格台地的南侧斜坡相沉积。

塔东却尔却克山露头、古城 2井、塔东 1、塔东 2、英东 2及米兰 1井均为黑土凹组深水饥饿盆地相沉积的碳质泥岩夹硅质岩,其中缺乏碳酸盐岩,说明其沉积水深处于 CCD之下,据地震资料估算可达 2 000 m,为此处于还原环境并形成了平均残余有机碳高达 2.67%的优质烃源岩^[49]。

3 中奥陶世层序 OSQ4沉积期岩相古地理

在中奥陶世层序 OSQ4海侵体系域发育时期,因受区域板块构造张裂运动的持续影响,前期的中古台沟继续向西北扩展并发育成为阿满台盆,致使前期统一的塔西台地分化为塔北台地及巴楚—塔中台地 2个孤立碳酸盐台地,此时的塔里木板块内就形成了塔北、巴楚—塔中、塘南、罗西及库鲁克塔格 5个孤立碳酸盐台地(图 9),其间被深水盆地、台盆及外缓坡沉积相带所分隔。

已有资料显示,塔北台地南缘及东缘、巴楚—塔中台地东北缘及南缘、库鲁克塔格台地南缘表现为缓坡台地边缘,而巴楚—塔中台地北缘、罗西台地西缘及塘南台地北缘则表现为镶边台地边缘(图 3~图 5)。塔北台地南缘及东缘因受控于沉积坡度十分平缓的古地形而形成了宽达 30~60 km 的一间房组台地边缘高能礁滩相带,这已被该区许多钻井所证实^[15, 16],古城 4井取芯显示了层序 OSQ4海侵体系域即为一套厚约 60 m 的台缘高能滩相沉积(图 14),应该代表了塔北台地最东侧的台地边缘相带。巴楚—塔中台地西北缘的巴楚地区出露良好的一间房组台地边缘高能礁滩相带也较宽,据露头剖面实测宽约 10~15 km^[50],其外缓坡沉积为以柯坪羊吉坎剖面为代表的一套厚 31 m 的瘤状泥晶灰岩及瘤状泥质灰岩、缺乏坡度较陡的斜坡相崩塌砾屑灰岩沉积,说明其沉积坡度十分小,应属于缓坡台缘。乌里格孜塔格剖面出露的赛力克达坂组下部(相当于层序 OSQ4)为一套硅质泥岩及泥晶生屑灰岩^[47, 48],也缺乏斜坡相砾屑灰岩,应属于库鲁克塔格台地南侧缓坡台缘之外的外缓坡沉积。地震资料显示,巴楚—塔中台地北缘(图 4)、罗西台地西缘(图 3)及塘南台地北缘(图

4)表现为沉积斜坡坡度较陡的镶边台地边缘,其中罗西台地西缘一间房组沉积较厚,可达 330 m,推测为台缘障积礁—滩相沉积组合;而巴楚—塔中台地北缘及塘南台地北缘可能曾经沉积了较薄的台缘相带但被后期(中奥陶世晚期—晚奥陶世早期)的台地暴露剥蚀掉了。

在上述 5个孤立台地内部则主要表现为以泥晶灰岩及泥晶生屑灰岩为主的开阔台地相沉积。在孤立台地之间的深水盆地相区则沉积了以盆地西部柯坪地区萨尔干组及塔东地区黑土凹组为代表的富含沉积有机质的黑色泥岩,该黑色泥岩成为现今塔里木盆地海相油气勘探的主力烃源岩^[49, 51]。

此时的南天山蛇绿岩所代表的南天山洋及西昆仑库地蛇绿岩、阿尔金蛇绿岩所代表的古 Tethys 洋,推测仍处于扩张状态,亦即飘浮于天山洋中的伊犁—中天山陆块及古 Tethys 洋中的库地岛弧、阿尔金岛弧均尚未与塔里木板块发生汇聚拼合。

随着塔里木板块南部被动陆缘分别沿红柳沟—拉配泉缝合带向阿尔金(米兰河—金雁山)岛弧之下^[52]、沿库地缝合带向库地岛弧之下^[53, 54]俯冲作用的进行,导致了中奥陶世末期即层序 OSQ4高位体系域发育时期的构造应力体制由早期的张裂性质逐渐转变为汇聚挤压性质^[55, 56],此时的阿尔金岛弧已成为以亚普恰萨依露头剖面亚普恰萨依组中部^[47]为代表的斜坡相砾屑灰岩与陆缘碎屑浊积扇的物源区(图 10)。由于构造应力体制的转换,导致了巴楚—塔中台地北缘断裂(吐木休克断裂及塔中 1号断裂)及南缘断裂(玛札塔格断裂及塔中南缘断裂)由前期的张性活动转变为挤压逆冲活动,并分别向北及向南发生(反向)逆冲活动,进而控制了巴楚—塔中台地的隆升剥蚀,造成现今多口钻井证实的巴楚—塔中台地主体部位层序 OSQ4(一间房组)的缺失(图 10)。由于塔中 1号断裂由南向北的逆冲活动,使得作为其北侧逆冲下降盘的塔北台地南部缓坡发生沉降,导致其台地边缘高能礁滩相带分布范围的向北退缩与缩小,同时使阿满台盆的分布面积扩大,塔中 29井 6 267~6 300 m 所钻遇的水下碎屑流沉积的砂砾屑灰岩及钙屑浊积岩即代表了阿满台盆南缘下斜坡相沉积(图 13),其钙屑物源来自南侧的塔中台地剥蚀区。此时的塘南台地、罗西台地及库鲁克塔格台地在挤压应力背景下也发生了不同程度的隆升剥蚀作用,其中库鲁克塔格隆起区成为形成却尔却克山地区却尔却克组下部浊积岩的沉积物源区^[57](图 10)。此时的

南天山洋盆推测仍未发生大规模的汇聚作用。

3.4 晚奥陶世层序 OSQ5 沉积期岩相古地理

晚奥陶世初期即层序 OSQ5 发育时期, 库地岛弧及阿尔金岛弧进一步与塔里木板块南缘发生汇聚, 特别是阿尔金岛弧此时可能与塔里木板块东南部发生强烈碰撞挤压^[52, 58], 并为塔东浊流盆地提供大量陆源碎屑物源、形成厚达 1 500 m 的浊积岩^[57], 从现今盆地东北缘却尔却克山露头剖面中所识别出的却尔却克组中上部浊积岩古流向主要表现为由南向北的流动方向及其砂岩物源区属性表现为大陆岛弧性质来看^[57], 说明来自南部阿尔金岛弧的陆源碎屑物源供给是多么的丰富! 进而导致了距离阿尔金岛弧物源区至少 200 km 的却尔却克地区均主要堆积了来自南部物源区的浊积岩, 由此推论整个塔东浊流盆地的主要陆源碎屑物源供给也应该来自南部的阿尔金岛弧(图 11)。

由于库地岛弧尤其是阿尔金岛弧向北的挤压作用, 致使塘南台地、罗西台地及巴楚—塔中台地的大部地区依然保持隆升剥蚀状态, 使得这些剥蚀区缺失了层序 OSQ5(吐木休克组)沉积(图 3 图 4 图 11), 甚或在巴楚—塔中台地的局部高部位还造成了下伏层序 OSQ4(中奥陶统一间房组)及层序 OSQ2-3(中下奥陶统鹰山组)的剥蚀, 这些地层缺失情况已被巴楚—塔中台地多口钻井及钻遇罗西台地西缘的罗西 1 井所证实。在巴楚台地西北缘的巴楚地区出露了代表其台缘高能相带的生屑滩相沉积(图 14)。

在挤压应力背景下, 巴楚—塔中台地北缘逆冲断裂继续发生由南向北的逆冲活动, 并进一步导致其北侧作为断裂下降盘的阿满台盆乃至塔北台地的构造沉降, 加之在中晚奥陶世全球性海平面上升背景中^[59], 致使塔北台地被淹没并沉积了众多钻井所钻遇的吐木休克组含生物碎屑泥晶灰岩及泥质灰岩, 该灰岩中所含的生物碎屑主要为小型的薄壳双壳类、三叶虫等以及普遍发育瘤状构造, 说明其沉积环境相当于外缓坡深水环境, 属于典型的淹没台地(图 11); 从盆地西部柯坪地区层序 OSQ5(坎岭组)台盆相瘤状泥质灰岩、塔北淹没台地层序 OSQ5(吐木休克组)以及塔东浊流盆地相层序 OSQ5(却尔却克组中上部)浊积岩中所夹的泥晶灰岩中, 均发现了深水相牙形石化石带 *Pygodus anserinus* 带、*Baltoniodus abbatus* 带^[60], 也说明了塔北淹没台地及阿满台盆的沉积水体较深。而此时的库鲁克塔格台地隆起区也在全球海平面上升背景下, 再次被海水淹没并发育了开阔台

地相沉积, 乌里格孜塔格地区出露的赛力克达坂组上部(相当于层序 OSQ5)为一套亮晶海百合茎灰岩^[47, 48], 应代表了库鲁克塔格台地南部边缘相高能生屑滩沉积。

3.5 晚奥陶世层序 OSQ6 沉积期岩相古地理

晚奥陶世层序 OSQ6 发育时期, 塔里木板块与其周缘的库地岛弧、阿尔金岛弧及伊犁—中天山陆块均发生汇聚拼合, 致使阿尔金岛弧及库地岛弧均成为大量陆源碎屑供给的物源区, 并导致了塔东盆地、塘南盆地及塔西南盆地均主要被陆源碎屑浊积岩所充填, 形成典型的塔里木板块南部浊流盆地群(图 12), 而伊犁—中天山陆块与塔里木板块北缘的碰撞拼合, 则导致了塔北古陆的最初形成, 乌什亚科瑞克露头剖面层序 OSQ6(桑塔木组下部)发育了滨岸潮坪相陆源碎屑岩即说明了该塔北古陆的存在(图 15)。以塔东 1 井、塔中 29 井等钻遇的层序 OSQ6(却尔却克组)厚达 1 768 m 的陆源碎屑浊积岩为代表的浊流沉积(图 18), 表现为明显的向北减薄及楔形前积结构^[57], 说明了塔东浊流盆地的主要陆源碎屑物源区为南侧的阿尔金岛弧(图 12); 而以塘参 1 井钻遇的层序 OSQ6(却尔却克组)厚逾 1 024 m 的陆源碎屑浊积岩为代表的浊流沉积, 反映了塘南浊流盆地也堆积了较厚的浊积岩, 推测其物源区既有东南侧的阿尔金岛弧, 也有西南侧的库地岛弧(此时的库地岛弧因火山活动减弱而演变为活动陆缘隆起)^[57]。

在全球海平面上升背景下^[59], 前期的巴楚—塔中台地隆起剥蚀区及塘南古陆均被海水淹没并发育为开阔台地, 因巴楚—塔中台地、塘南台地及库鲁克塔格台地的边缘均主要受断裂控制进而形成垂向加积型镶边台地边缘(图 4), 其台地边缘高能礁滩沉积相带发育宽度较窄、但厚度较大。已经 100 余口钻井证实的塔中台地北缘镶边高能礁滩相带^[3, 12]即沿塔中 1 号断裂南侧分布的层序 OSQ6(良里塔格组)台缘相带宽约 3~8 km、厚达 300~600 m^[61], 据钻井标定解释塔中台地北缘地震剖面(图 4), 显示为典型高角度沉积斜坡加积型镶边台地, 恢复其沉积斜坡角度可达 40~45°, 据地震剖面估算其北侧阿满台盆古水深可达 1 500 m; 据塔中 52 井、中 2 井、巴东 2 井及玛 2 井钻探及地震资料显示^[11], 巴楚—塔中台地南缘也表现为沉积斜坡较大的镶边台地边缘高能礁滩相带; 据乔 1 井钻探及巴楚一间房地区出露的良里塔格组高能环境中沉积的礁滩相^[62]、以及巴楚一间房地区还见到了良里塔格组的斜坡相崩塌巨砾屑灰岩来看,

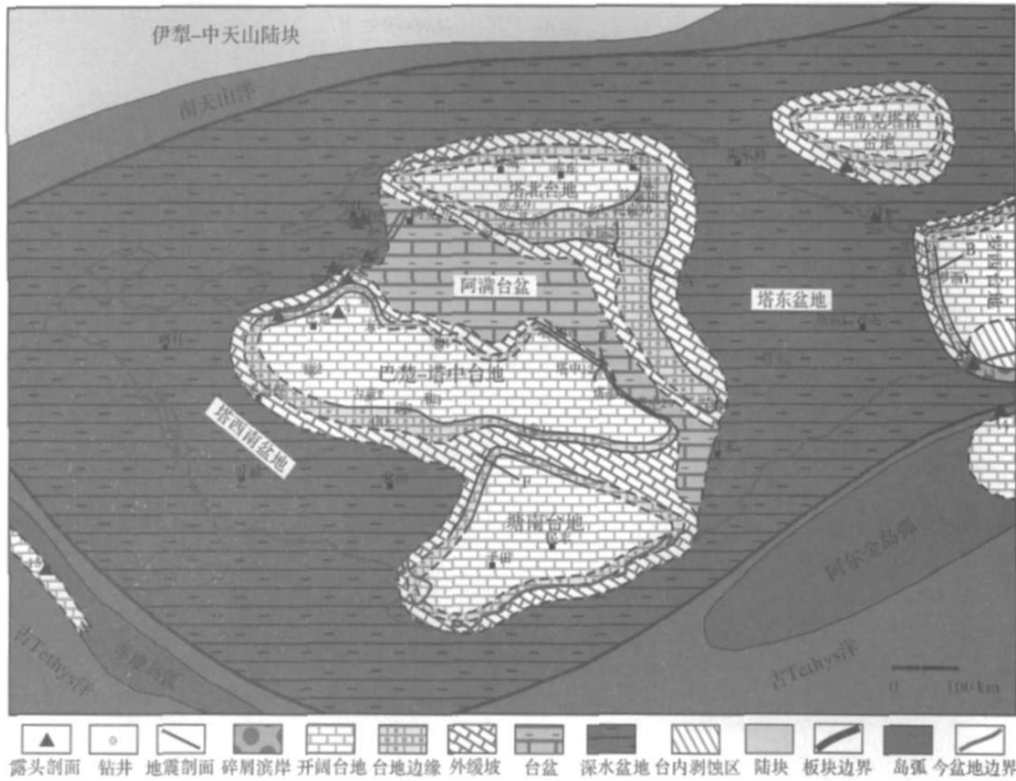


图 9 塔里木盆地中奥陶世层序 OSQ4 海侵体系域沉积期岩相古地理图(露头及地震剖面编号同图 12)

Fig. 9 The lithofacies paleogeography of TST of sequence OSQ4 in middle Ordovician in Tarim Basin

(No. of outcrops & seismic lines same as Fig. 12)

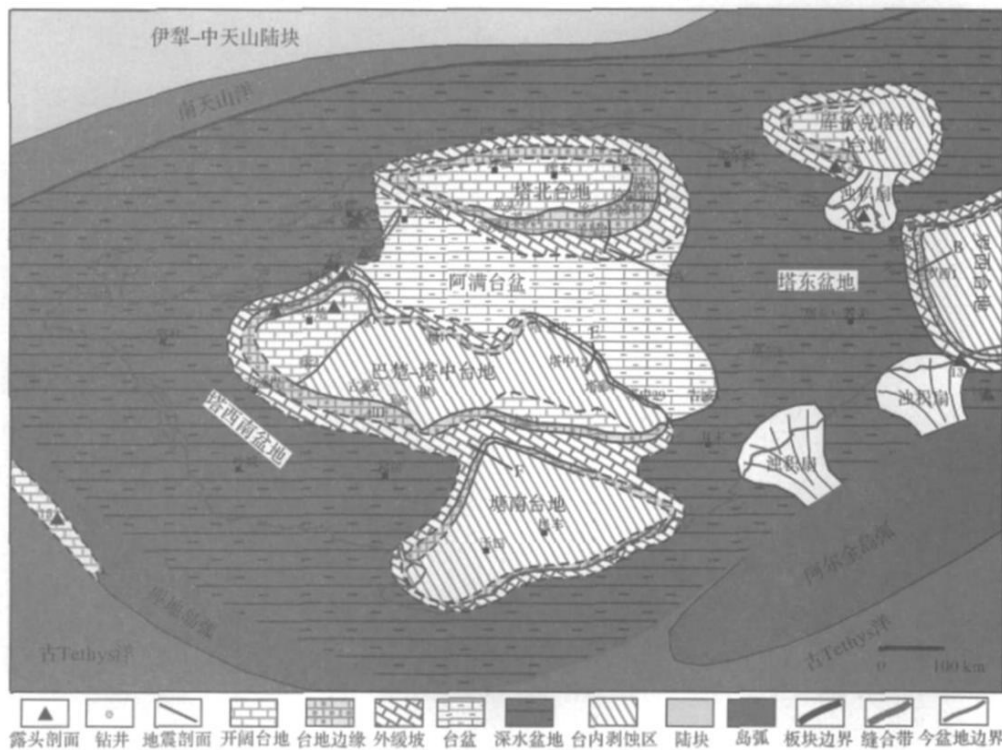


图 10 塔里木盆地中奥陶世层序 OSQ4 高位体系域沉积期岩相古地理图(露头及地震剖面编号同图 12)

Fig. 10 The lithofacies paleogeography of HST of sequence OSQ4 in middle Ordovician in Tarim Basin

(No. of outcrops & seismic lines same as Fig. 12)

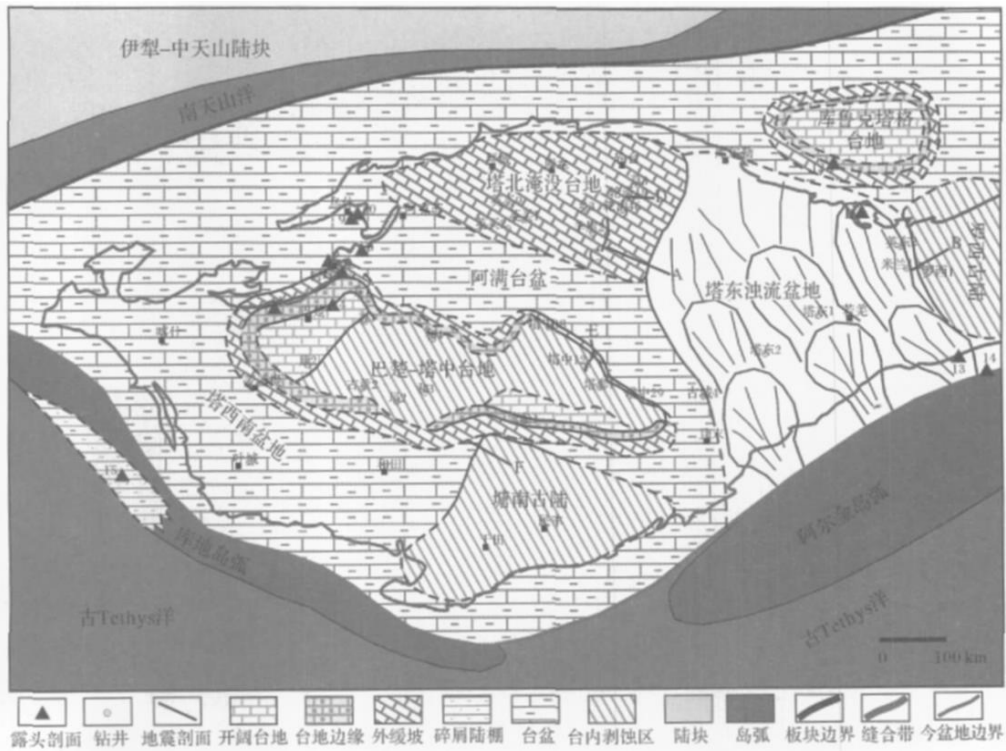


图 11 塔里木盆地晚奥陶世层序 OSQ5 沉积期岩相古地理图(露头及地震剖面编号同图 12)

Fig. 11 The lithofacies paleogeography of sequence OSQ5 in late Ordovician in Tarim Basin

(No. of outcrops & seismic lines same as Fig. 12)

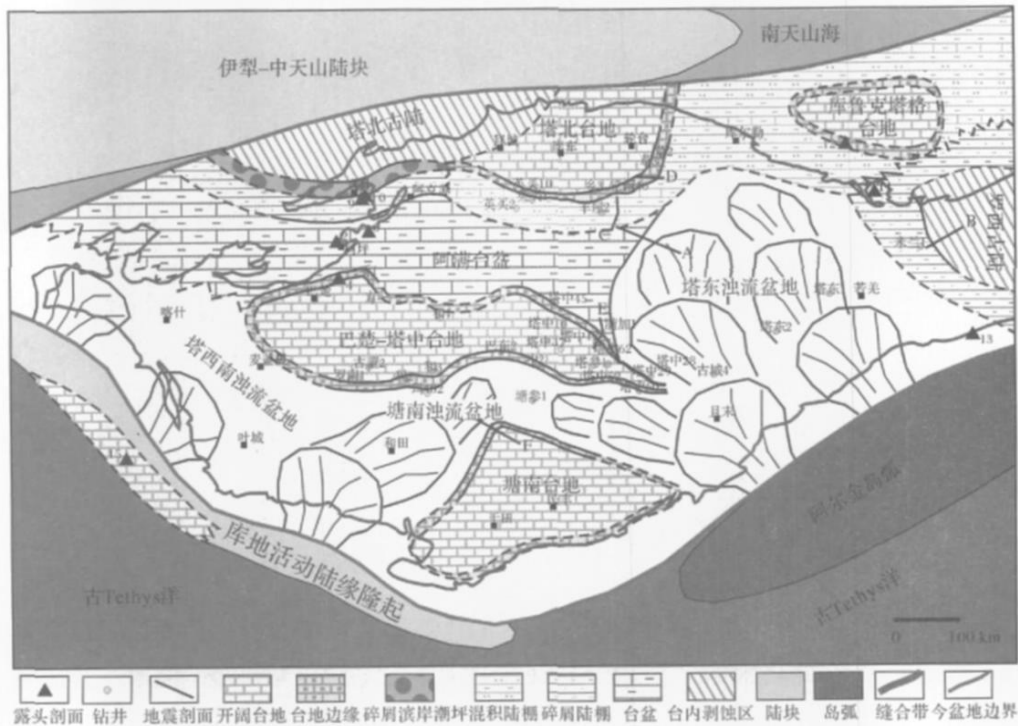


图 12 塔里木盆地晚奥陶世层序 OSQ6 沉积期岩相古地理图

Fig. 12 The lithofacies paleogeography of sequence OSQ6 in late Ordovician in Tarim Basin

露头剖面编号:1.伽师三间房剖面;2.柯坪县北水泥厂剖面;3.巴楚大坂塔格剖面;4.巴楚一间房剖面;5.柯坪羊吉坎剖面;
 6.柯坪大湾沟剖面;7.肖尔布拉克剖面;8.乌什鹰山北坡剖面;9.乌什牙尔巴哈剖面;10.乌什亚科瑞克剖面;11.却尔却克山—
 元宝山剖面;12.乌里格孜塔格剖面;13.亚普恰萨依剖面;14.环形山剖面;15.坎地里克剖面。A、B、C、D、E、F为地震剖面



图 13 中下奥陶统斜坡相沉积特征

Fig. 13 The sedimentary characteristics of slope facies of middle-lower Ordovician

左: 上部为碎屑流砾屑灰岩, 砾屑成分以薄板状泥晶灰岩及钙屑浊积岩为主, 下部为薄板状钙屑浊积岩及泥晶灰岩, 塔西台地西北缘乌什牙尔巴哈剖面鹰山组层序 OSQ2-3 外缓坡相; 右: 大部为碎屑流沉积的含砾砂屑灰岩, 右侧为浊流形成的砂屑灰岩, 阿满台盆南缘塔中 29 井层序 OSQ4 下斜坡相

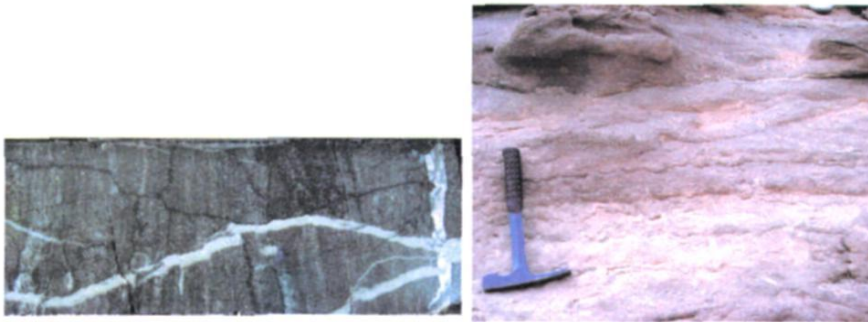


图 14 中奥陶统层序 OSQ4(左)及上奥陶统层序 OSQ5(右)台地边缘高能滩相沉积特征

Fig. 14 The sedimentary characteristics of platform marginal shoals in sequence OSQ4 of middle Ordovician (Left) & sequence OSQ5 of upper Ordovician (Right)

左: 平行—低角度交错层理泥亮晶砂屑灰岩, 塔北台地南缘古城 4 井层序 OSQ4 海侵体系域; 右: 槽状交错层理亮晶棘屑灰岩, 巴楚—塔中台地西北缘巴楚一间房剖面吐木休克组层序 OSQ5 下部

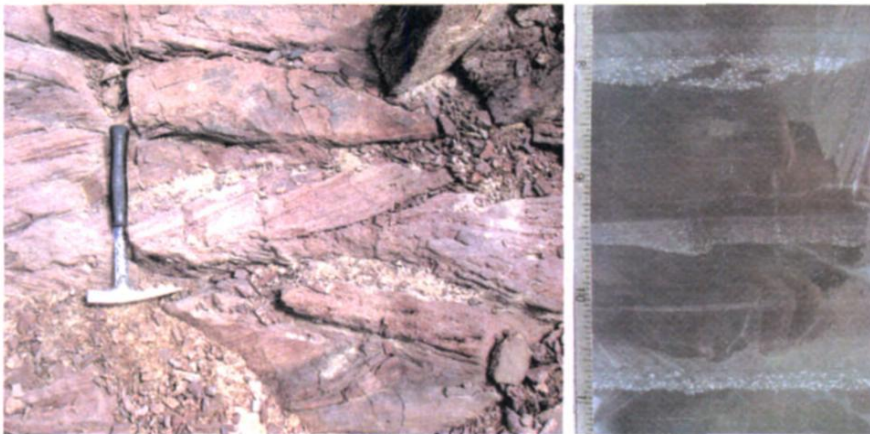


图 15 上奥陶统层序 OSQ6 陆源碎屑潮坪(左)及盆地相(右)沉积特征

Fig. 15 The sedimentary characteristics of detrital tidal flat (Left) & basin facies (Right) in sequence OSQ6 of upper Ordovician

左: 潮道沉积的双向交错层理岩屑砂岩夹砾屑灰岩, 塔北古陆南缘乌什亚科瑞克剖面桑塔木组下部; 右: 正常沉积的钙质泥岩夹钙屑浊积岩条带(正粒序层理泥晶生屑砂屑灰岩, 生屑以海百合碎屑为主), 阿满台盆南缘满加 1 井

巴楚—塔中台地西北缘也应为沉积斜坡较陡的镶边台地边缘。在巴楚—塔中台地内部则为开阔台地相,主要表现为一套厚约 200~400 m 的潮下藻席沉积的藻粘结泥晶灰岩、藻纹层灰岩及低能带沉积的泥质条带泥晶灰岩、泥质灰岩。地震剖面显示(图 4),塘南台地北缘层序 OSQ6 与塔中台地北缘具有相似的叠置特征,推测塘南台地北缘也属于受断裂控制的加积型镶边边缘,初步估算其沉积斜坡角度为 30°左右。塔北台地因碳酸盐加积作用的进行,逐渐由前期沉积水深较大的淹没台地演变为沉积水体较浅的开阔台地^[13],其南缘因缺乏断裂及总体表现为坡度极小的平缓沉积地形,在高产率碳酸盐的堆积作用下,形成了坡度极为平缓的层序 OSQ6(良里塔格组)加积—进积型缓坡台地边缘高能礁滩相带(图 5),已有多口钻井证实该高能相带宽达 5~10 余千米^[13]、但厚度较小仅几十~100 余米,且总体表现为向上变浅的沉积特征。

此时的罗西古陆在阿尔金岛弧的持续挤压作用下,仍然保持了隆升剥蚀状态,并在其周缘形成了以却尔却克山—元宝山地区出露的层序 OSQ6(杂土坡组)为代表的陆源碎屑陆棚—滨岸相沉积。在阿满台盆中则沉积了以柯坪地区出露的其浪组为代表的薄层状泥晶灰岩、泥质灰岩夹远源钙屑风暴岩^[63]、以塔中台地北侧满加 1 井钻遇的层序 OSQ6 为代表的泥岩夹泥晶灰岩、钙屑浊积岩(图 15),均属于典型的盆地相沉积。前期的南天山洋盆此时已经演变为南天山海盆,库米什以南硫磺山地区出露的硫磺山群千枚岩夹砂岩、粉砂岩、钙质砾岩及生物灰岩,代表了该海盆为陆源碎屑—碳酸盐混积陆棚及滨岸相沉积,推测具洋壳性质的洋盆已向东推移到以九个泉蛇绿岩为代表的北祁连地区,与该蛇绿岩伴生的蓝片岩的变质年龄为 447 Ma^[64],应该代表了该北祁连洋盆的封闭时间。

3.6 晚奥陶世层序 OSQ7 沉积期岩相古地理

晚奥陶世层序 OSQ7 发育时期,随着塔里木板块与其周缘的岛弧、陆块的进一步汇聚碰撞,库地活动陆缘隆起也更趋稳定,由于周缘陆块及岛弧提供了大量陆源碎屑物源,致使几乎整个塔里木板块被陆源碎屑沉积物所覆盖,仅库鲁克塔格台地因距离陆源区较远而仍然保持了清水碳酸盐台地沉积环境,乌里格孜塔格地区出露的乌里格孜塔格组上部厚 267 m 的亮晶生物屑灰岩及亮晶砂屑灰岩^[47, 48],推测为库鲁克

塔格台地南侧的边缘高能滩相。此时的阿尔金岛弧仍然向塔东浊流盆地提供大量陆源碎屑物源并形成厚达 3 000 余米的浊积岩堆积^[57]。而前期的塘南台地、巴楚—塔中台地及塔北台地均因大量陆源碎屑的注入而结束了清水碳酸盐沉积环境,演变为陆源碎屑陆棚或陆源碎屑—碳酸盐混积陆棚沉积环境(图 16),并沉积了以桑塔木组为代表的厚达 2 000 m 的地层,其中陆源碎屑陆棚相沉积以泥岩、粉细砂岩为主,混积陆棚相沉积以泥岩、粉细砂岩为主夹少量泥质生屑灰岩、泥质灰岩等碳酸盐岩^[5, 8],反映为较深水的陆棚沉积环境。阿满台盆则由前期较为开阔的深水盆地相环境演变为被陆源碎屑或混积陆棚环绕的滞流盆地相环境,其中沉积了以柯坪地区出露的印干组黑色泥岩为代表的深水沉积,该黑色泥岩也是塔里木盆地重要海相烃源岩^[51]。罗西古陆依然存在并在其周缘沉积了以却尔却克山—元宝山地区出露的元宝山组为代表的陆源碎屑滨岸潮坪相(图 19)。

3.7 晚奥陶世层序 OSQ8 沉积期岩相古地理

晚奥陶世层序 OSQ8 发育时期,受南、北两侧陆块及岛弧的挤压,塔里木板块中西部的巴楚—塔中地区及塔北地区均隆升成陆,进而形成海湾形的阿满碎屑陆棚及其周缘的陆源碎屑滨岸潮坪三角洲相带(图 17),因处于海湾形阿满陆棚的最西端,海水波浪能量较弱而主要受潮汐作用控制,则形成了以柯坪—乌什地区铁热克阿瓦提组(原柯坪塔格组下段)为代表的以潮坪环境为主的陆源碎屑沉积(图 19),而在塔中古陆北缘及塔北古陆南缘则主要为受控于海水波浪作用的无障碍开阔滨岸及三角洲沉积环境(图 20)。此时的阿尔金岛弧依然为塔东浊流盆地提供了大量陆源碎屑物源并形成了厚近 2 000 m 的浊积岩^[57],位于塔东浊流盆地北缘的群克 1 井所钻遇的层序 OSQ8 厚逾 1 600 m 的浊积砂岩(图 18),研究其物源区应该来自阿尔金岛弧^[57]。此时的塔里木海盆可能只剩下其东北侧的库鲁克塔格地区与外海沟通,因陆源碎屑的大量注入,使得长期保持清水碳酸盐台地沉积环境的库鲁克塔格台地最终消亡,并演变为陆源碎屑—碳酸盐混积陆棚沉积环境,沉积了以乌里格孜塔格地区出露的哈达布拉克塔格组为代表的泥岩、泥灰岩及生物屑灰岩^[47, 48],而在元宝山地区则发育了以银屏山组为代表的厚达 1 500 余米^[47]的陆源碎屑陆棚相沉积。

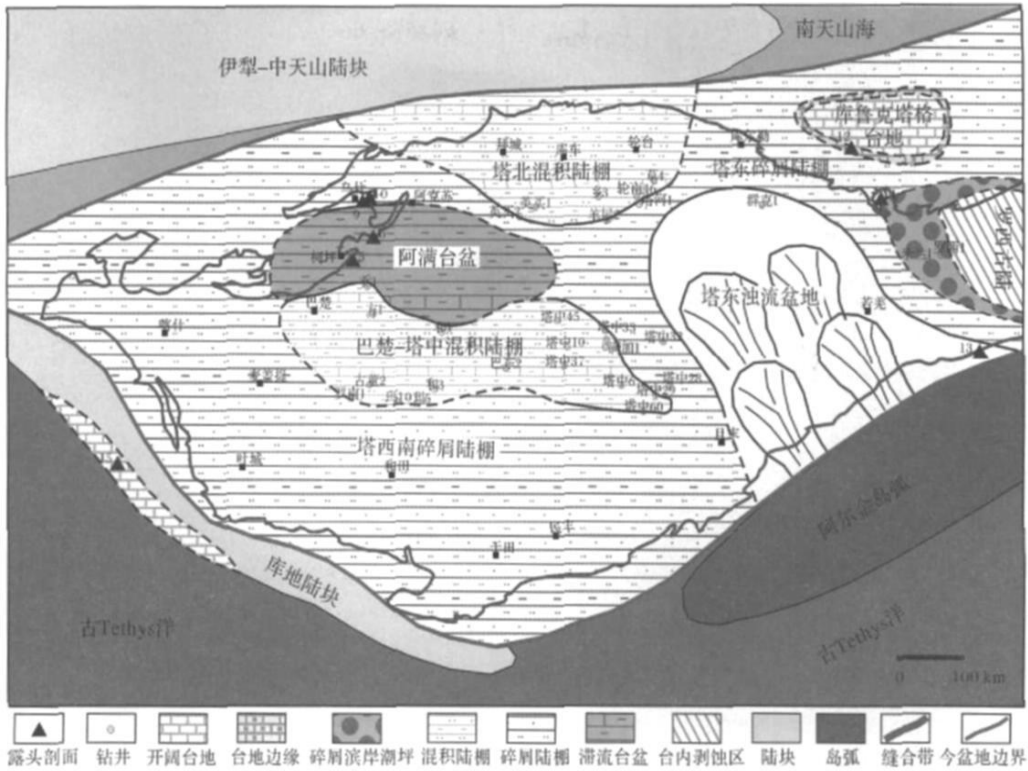


图 16 塔里木盆地晚奥陶世层序 OSQ7 沉积期岩相古地理图(露头剖面编号同图 12)

Fig. 16 The lithofacies paleogeography of sequence OSQ7 in late Ordovician in Tarim Basin (No. of outcrops & seismic lines same as Fig. 12)

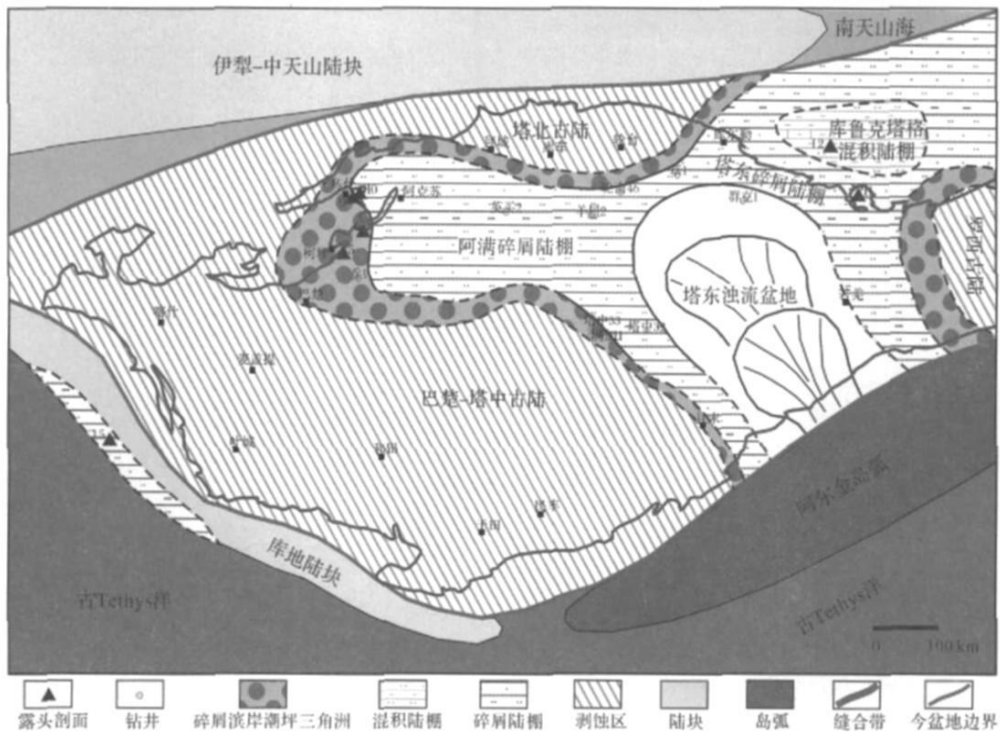


图 17 塔里木盆地晚奥陶世层序 OSQ8 沉积期岩相古地理图(露头剖面编号同图 12)

Fig. 17 The lithofacies paleogeography of sequence OSQ8 in late Ordovician in Tarim Basin (No. of outcrops & seismic lines same as Fig. 12)

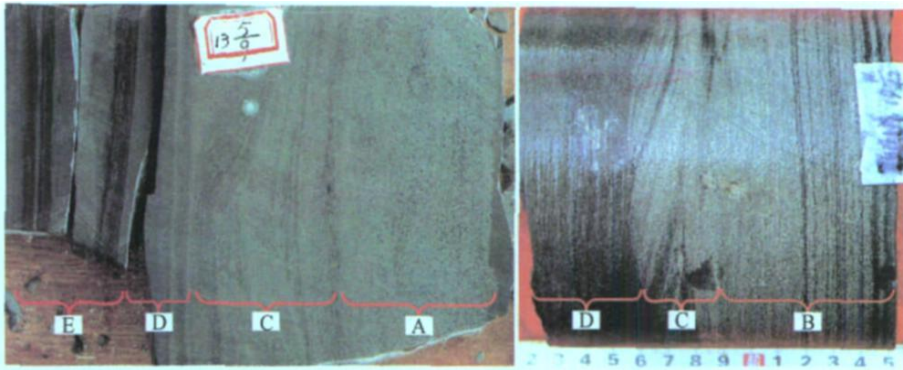


图 18 塔东浊流盆地上奥陶统陆源碎屑浊积岩沉积特征

Fig. 18 The sedimentary characteristics of detrital turbidites of upper Ordovician in Eastern Tarim basin
 左: 浊积岩不完整 Bouma 序列(A 段为底部发育冲刷面的正粒序层理钙质粉细砂岩, C 段为弱变形层理泥质粉砂岩, D 段为水平层理粉砂质泥岩, E 段为黑灰色泥岩), 塔东浊流盆地东部塔东 1 井层序 OSQ6; 右: 浊积岩 Bouma 序列(B 段为平行层理钙质粉细砂岩, C 段为沙纹层理钙质粉砂岩, D 段为粉砂质泥岩), 塔东浊流盆地北部群克 1 井层序 OSQ8

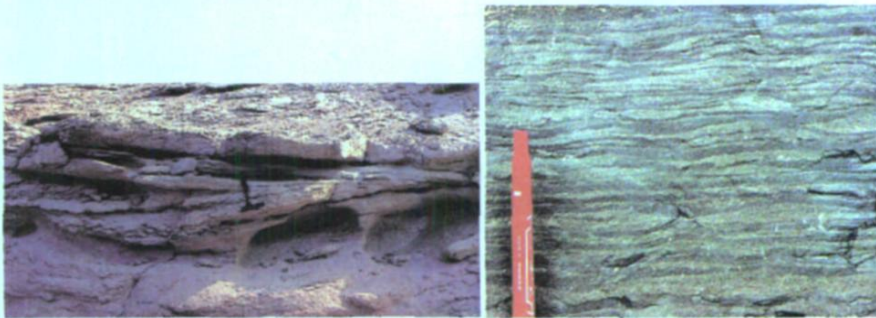


图 19 上奥陶统层序 OSQ7 陆源碎屑滨岸(左)及层序 OSQ8 陆源碎屑潮坪(右)沉积特征

Fig. 19 The sedimentary characteristics of detrital foreshore in sequence OSQ7 (Left) & detrital tidal flat in sequence OSQ8 (Right) of upper Ordovician

左: 前滨沉积的平行层理、低角度交错层理钙质含砾中粗石英砂岩及中粗砂岩, 塔东碎屑陆棚却尔却克山剖面元宝山组; 右: 混合潮坪沉积的透镜状层理粉细砂岩夹粉砂质泥岩, 阿满碎屑陆棚西缘柯坪大湾沟剖面铁热克阿瓦提组底部

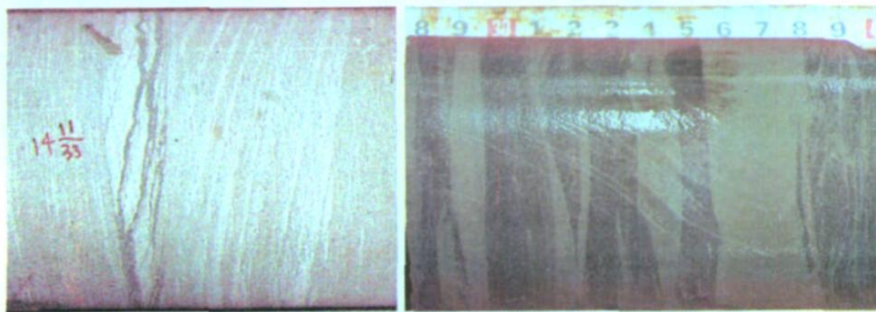


图 20 上奥陶统层序 OSQ8 陆源碎屑三角洲沉积特征

Fig. 20 The sedimentary characteristics of detrital delta in sequence OSQ8 of upper Ordovician

左: 三角洲平原分流河道沉积的槽状交错层理钙质中粗—中细岩屑长石砂岩, 巴楚—塔中古陆北缘塔中 31 井; 右: 三角洲分流河道决口扇沉积的沙纹层理及变形层理粉细砂岩, 塔北古陆南缘塔河 1 井

4 结论及意义

块体的构造演化对板块内沉积盆地及其沉积体系的发育与演化具有十分明显的控制作用。自震旦纪至中奥陶世的拉张构造背景控制形成了塔里木板块内

从前述岩相古地理恢复来看, 塔里木板块周缘各

部多个孤立碳酸盐台地及其“台—盆”相间的古地理格局,推测板块内部的这些孤立碳酸盐台地最初均由正断裂控制形成。而中奥陶世末期特别是晚奥陶世以来的阿尔金岛弧及库地岛弧与塔里木板块的“陆—陆”碰撞挤压作用^[52, 58],则导致了前期多个孤立碳酸盐台地的逐渐消亡及大量陆源碎屑物源自南侧的注入并形成板块南部浊积盆地群。由此看来,塔里木板块及其板内沉积盆地的演化,早期(震旦纪—中奥陶世)主要受控于北缘的拉张裂解作用,晚期(晚奥陶世)则主要受控于南缘的挤压碰撞运动。

迄今为止,已经在塔北台地及巴楚—塔中台地的台地边缘高能相带及其台地内部发现了以塔河—轮南油气田、塔中 I 号油气田及和田河气田为代表的一批大中型油气田,尤其是近年来发现的塔中 I 号亿吨级凝析油气田^[61, 65]及在塔河—轮南凸起南部—东部斜坡的勘探新发现^[66],均主要分布于碳酸盐台地的边缘高能相带中,因此,从层序地层分析的角度来系统研究各碳酸盐台地及其边缘高能相带的时空分布,对于准确预测有利储集相带、生储盖展布及油气勘探选区具有十分重要的指导意义。另外,从层序地层分析及层序岩相古地理恢复的角度,也可以精细地研究塔里木板块内部沉积盆地及其沉积体系的发育与演化,为大地构造演化、“盆—山”耦合关系的研究与认识提供一种全新的视角与依据。反之,从板块构造演化对沉积盆地及其沉积体系控制作用研究的角度,也为深入研究及认识上述碳酸盐台地的发育与演化、生储盖时空展布预测及油气勘探选区,提供一种新思路与新方法。

参考文献 (References)

- 1 孔金平,刘效曾.塔里木盆地塔中 5 井下奥陶统隐藻类生物礁[J].新疆石油地质,1998,19(3):221-224
- 2 吴光红,张宝民,边立曾,等.塔中地区中晚奥陶世灰泥丘初步研究[J].沉积学报,1999,17(2):198-203
- 3 陈景山,王振宇,代宗仰,等.塔中地区中上奥陶统台地镶边体系分析[J].古地理学报,1999,1(2):8-17
- 4 刘胜,杨海军,李新生,等.塔中地区早奥陶世沉积特征及沉积演化分析[J].新疆石油地质,2000,21(1):54-57
- 5 高振中,何幼斌,张兴阳,等.塔中地区中晚奥陶世内波、内潮汐沉积[J].沉积学报,2000,18(3):400-407
- 6 李宇平,李新生,周翼,等.塔中地区中、上奥陶统沉积特征及沉积演化史[J].新疆石油地质,2000,21(3):204-207
- 7 张传禄,韩宇春,罗平,等.塔中地区中及上奥陶统沉积相[J].古地理学报,2001,3(1):35-44
- 8 何幼斌,高振中,张兴阳,等.塔里木盆地塔中 32 井中上奥陶统内潮汐沉积[J].古地理学报,2003,5(4):414-425
- 9 吴兴宁,赵宗举.塔中地区奥陶系米级旋回层序分析[J].沉积学

- 报,2005,23(2):310-315
- 10 刘延莉,樊太亮,薛艳梅,等.塔里木盆地塔中地区中、上奥陶统生物礁滩特征及储集体预测[J].石油勘探与开发,2006,33(5):562-565
- 11 舒志国,何希鹏,邓世新.塔里木盆地塔中隆起南坡上奥陶统礁滩相带的发现及油气勘探意义[J].海洋地质与第四纪地质,2007,27(6):77-82
- 12 王振宇,严威,张云峰,等.塔中 16-44 井区上奥陶统台缘礁滩体沉积特征[J].新疆石油地质,2007,28(6):681-683
- 13 侯明才,万梨,傅恒,等.塔河南盐下地区上奥陶统良里塔格组沉积环境分析[J].成都理工大学学报:自然科学版,2006,33(5):509-516
- 14 万梨,侯明才,傅恒,等.塔河南上奥陶统桑塔木组沉积环境分析[J].成都理工大学学报:自然科学版,2007,34(2):128-134
- 15 邓小江,李国蓉,徐国强,等.塔河油田南部中奥陶统一间房组沉积相精细划分[J].石油学报,2008,29(1):35-40
- 16 侯明才,万梨,傅恒.塔河南盐下地区中奥陶统一间房组沉积环境分析[J].成都理工大学学报:自然科学版,2008,35(6):601-609
- 17 刘忠宝,于炳松,陈晓林,等.塔里木盆地塔东地区中—上奥陶统海底扇油页岩层序地层格架及沉积特征[J].现代地质,2003,17(4):408-414
- 18 罗俊成,杨海军,朱长见,等.塔里木东部寒武纪—中奥陶世坡折带沉积特征及勘探潜力[J].地质科学,2008,43(4):661-670
- 19 冯增昭,鲍志东,吴茂炳,等.塔里木地区奥陶纪岩相古地理[J].古地理学报,2007,9(5):447-460
- 20 张丽娟,李勇,周成刚,等.塔里木盆地奥陶纪岩相古地理特征及礁滩分布[J].石油与天然气地质,2007,28(6):731-737
- 21 许效松,汪正江,万方,等.塔里木盆地早古生代构造古地理演化与烃源岩[J].地学前缘,2005,12(3):49-57
- 22 王恕一,黄继文,蒋小琼.塔里木盆地上奥陶统沉积及古地理特征[J].石油实验地质,2006,28(3):236-242
- 23 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
- 24 赵宗举,潘文庆,张丽娟,等.塔里木盆地奥陶系层序地层格架[J].大地构造与成矿学,2009,33(1):187-200
- 25 International Commission on Stratigraphy. International Stratigraphic Chart [J/O/L]. <http://www.stratigraphy.org/column.php?id=Chart/in%20Scale> 2008
- 26 许荣华,张玉泉,谢应雯,等.西昆仑山北部早古生代构造—岩浆带的发现[J].地质科学,1994,29(4):313-328
- 27 邓万明.喀喇昆仑西昆仑地区蛇绿岩的地质特征及其大地构造意义[J].岩石学报,1995,11(增刊):98-111
- 28 高俊,汤耀庆,赵民,等.新疆天山蛇绿岩的地质地球化学特征及形成环境初探[J].岩石学报,1995,11(增刊):85-97
- 29 高长林,崔可锐,钱一雄.天山微板块构造与塔北盆地[M].北京:地质出版社,1995:1-158
- 30 汤耀庆,高俊,赵民.西南天山蛇绿岩和蓝片岩[M].北京:地质出版社,1995:1-210

- 31 李茂松, 何国琦, 高俊. 中国西南天山的蛇绿岩带 [C]// 张旗主编. 蛇绿岩与地球动力学研究. 北京: 地质出版社, 1996 112-116
- 32 王元龙, 李向东, 毕华, 等. 西昆仑库地北构造带两侧地质特征对比及其大地构造意义 [J]. 地质地球化学, 1997, (2): 53-59
- 33 周辉, 李继亮, 侯泉林, 等. 西昆仑库地蛇绿混杂带中早古生代放射虫的发现及其意义 [J]. 科学通报, 1998, 43 (22): 2448-2451
- 34 刘良, 车自成, 王焰, 等. 阿尔金高压变质岩带的特征及其构造意义 [J]. 岩石学报, 1999 15 (1): 57-64
- 35 张旗, 周国庆. 中国蛇绿岩 [M]. 北京: 科学出版社, 2001: 1-182
- 36 方爱民, 李继亮, 刘小汉, 等. 新疆西昆仑库地混杂带中基性火山岩构造环境分析 [J]. 岩石学报, 2003 19 (3): 409-417
- 37 修群业, 于海峰, 刘永顺, 等. 阿尔金北缘枕状玄武岩的地质特征及其锆石 U-Pb 年龄 [J]. 地质学报, 2007 81 (6): 787-794
- 38 朱日祥, 杨振宇, 吴汉宁, 等. 中国主要地块显生宙古地磁视极移曲线与地块运动 [J]. 中国科学: D 辑, 1998 28 (增刊): 1-16
- 39 Scotese C R. Paleogeographic Atlas Paleomagnetic Project Progress Report No. 90-0497 [M]. Department of Geology, University of Texas at Arlington Arlington 1997: 45
- 40 方大钧, 沈忠岳, 谈晓东, 等. 塔里木盆地显生宙古地磁与板块运动学 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2006 1-364
- 41 黄宝春, 周焯秀, 朱日祥. 从古地磁研究看中国大陆形成与演化过程 [J]. 地学前缘, 2008 15 (3): 348-359
- 42 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997 1-425
- 43 杨树锋, 陈汉林, 董传万, 等. 塔里木盆地西北缘晚震旦世玄武岩地球化学特征及大地构造背景 [J]. 浙江大学学报: 自然科学版, 1998 32 (6): 753-760
- 44 姜常义, 白开寅, 黑爱芝, 等. 库鲁克塔格地区火山岩的岩浆过程与源区组成 [J]. 岩石矿物学杂志, 2000 19 (1): 8-18
- 45 李向民, 夏林圻, 夏祖春, 等. 天山地区新元古代一早寒武世火山岩地球化学和岩石成因 [J]. 岩石矿物学杂志, 2006 25 (5): 412-422
- 46 夏林圻, 张国伟, 夏祖春, 等. 天山古生代洋盆开启、闭合时限的岩石学约束——来自震旦纪、石炭纪火山岩的证据 [J]. 地质通报, 2002 21 (2): 55-62
- 47 钟端, 郝永祥. 塔里木地震旦纪至二叠纪地层古生物 (I), 库鲁克塔格地区分册 [M]. 南京: 南京大学出版社, 1990: 1-105
- 48 贾承造, 张师本, 吴绍祖. 塔里木盆地及周边地层 (下册) 各分区地层表 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1-516
- 49 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
- 50 沈安江, 郑剑锋, 顾乔元. 塔里木盆地巴楚地区中奥陶统一间房组露头礁滩复合体储层地质建模及其对塔中地区油气勘探的启示 [J]. 地质通报, 2008 27 (1): 137-148
- 51 张水昌, 王飞宇, 张保民, 等. 塔里木盆地中上奥陶统油源层地球化学研究 [J]. 石油学报, 2000 21 (6): 23-28
- 52 郝杰, 王二七, 刘小汉, 等. 阿尔金山脉中金雁山早古生代碰撞造山带: 弧岩岩浆的确定与岩体锆石 U-Pb 和蛇绿混杂岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究的证据 [J]. 岩石学报, 2006, 22 (11): 2743-2752
- 53 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): 650-657
- 54 肖文交, 侯泉林, 李继亮, 等. 西昆仑大地构造相解剖及其多岛增生过程 [J]. 中国科学: D 辑, 2000 30 (增刊): 22-28
- 55 吴才来, 杨经绥, 姚尚志, 等. 北阿尔金巴什考供盆地南缘花岗岩杂岩体特征及锆石 SHR MP 定年 [J]. 岩石学报, 2005, 21 (3): 846-858
- 56 吴才来, 姚尚志, 曾令森, 等. 北阿尔金巴什考供-斯米尔布拉克花岗岩杂岩特征及锆石 SHR MP U-Pb 定年 [J]. 中国科学: D 辑, 2007, 37 (1): 10-26
- 57 赵宗举, 潘懋, 俞广, 等. 塔里木盆地中晚奥陶世浊积岩物源分析及构造意义 [J]. 地质论评 (待刊)
- 58 刘永江, 葛肖虹, J Genser 等. 阿尔金断裂带构造活动的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄证据 [J]. 科学通报, 2003 48 (12): 1335-1341
- 59 Vail P R, Mitchum R M Jr, Thompson S. Seismic Stratigraphy and global changes of sea level (Part 4): global cycles of relative changes of sea level [C]. AAPG Memoir 26, 1977 83-98
- 60 赵治信, 张桂芝, 肖继南. 新疆古生代地层及牙形石 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2000 1-340
- 61 赵宗举, 李宇平, 吴兴宁, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系特大型岩性油气藏成藏条件及勘探潜力 [J]. 中国石油勘探, 2004, 9 (5): 12-20
- 62 蔡习尧, 吴亚生, 姜红霞, 等. 新疆巴楚地区中上奥陶统生物礁群落古生态学 [J]. 地质学报, 2008 82 (8): 1046-1052
- 63 方国庆, 刘德良. 塔里木盆地西北缘中奥陶统其浪组风暴岩中遗迹化石及其环境意义 [J]. 沉积学报, 2000 18 (1): 68-72
- 64 宋述光. 北祁连山俯冲杂岩带的构造演化 [J]. 地球科学进展, 1997, 12 (4): 351-365
- 65 周新源, 王招明, 杨海军, 等. 中国海相油气田勘探实例之五 塔中奥陶系大型凝析气田的勘探和发现 [J]. 海相油气地质, 2006, 11 (1): 45-51
- 66 翟晓先, 俞仁连, 何发岐, 等. 塔河地区奥陶系一间房组微裂隙颗粒灰岩储集体的发现与勘探意义 [J]. 石油实验地质, 2002, 24 (5): 387-392

Sequence Lithofacies Paleogeography of Ordovician in Tarim Basin

ZHAO Zong-ju^{1, 2} WU Xing-ning³ PAN Wen-qing^{1, 4} ZHANG Xing-yang²

ZHANG Li-juan⁴ MA Pei-ling⁴ WANG Zhen-yu⁵

(1. School of Geoscience and Space Science of Peking University, Beijing 100871;

2. State Key Laboratory of Enhanced Oil Recovery (Research Institute of Petroleum Exploration and Development), Beijing 100083;

3. Hangzhou Institute of Geology, PetroChina, Hangzhou 310023;

4. PetroChina Tarim Oilfield Company, Kuerek, Xinjiang 841000;

5. Southwest Petroleum University, Chengdu 610500)

Abstract Based on sedimentary facies observation of many wells cores and outcrops, seismic sequence interpretation and seismic facies analysis, synthesizing the regional geological data such as ophiolite-mélange and plate tectonic evolution, it is first worked out the 8 lithofacies paleogeography maps of Ordovician in Tarim basin under the sequence stratigraphy framework (Fig 1, Fig 2, Fig 9 to Fig 12, Fig 16 and Fig 17), and found the 5 isolated carbonate platforms (Northern Tarim Platform, BaChu-Central Tarim Platform, Western LuoBuBo Platform, Southern Tarim Platform, KuLuKeTaGe Platform) of Ordovician in Tarim plate and the basins between them, it is very important to marine oil & gas exploration in Tarim basin. The continental riftingogenesis initially developed at the northern margin of Tarim plate in Cryogenian and Early Cambrian, and the tensional stress tectonic environment from Late Neoproterozoic to Middle Ordovician controlled the formation of several isolated carbonate platforms and the deep water sedimentation areas between them in Tarim plate, otherwise, the collision compressional movement developed between AERJin arc, KuDi arc and Tarim plate at the southern margin of Tarim in Late Ordovician and abundance terrigenous clasts produced by the collision, brought on gradually disappear of isolated carbonate platforms and the formation of turbidite sedimentary basins distributed in the southern Tarim.

Key words sedimentary facies, sequence stratigraphy, plate tectonic, marine, carbonate, lithofacies paleogeography, Ordovician, Tarim Basin