

塔里木盆地奥陶系岩相古地理演化及沉积模式

郑和荣¹, 田景春², 胡宗全¹, 张翔², 赵永强³, 孟万斌²

(1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 成都理工大学, 四川 成都 610059;

3. 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:在前人研究基础上,通过对盆地周缘12条野外露头剖面的详细观测,对钻遇奥陶系31口典型井,特别是2016年以来新钻井岩心的详细观察,对盆地内钻遇奥陶系82口井的沉积相精细解释,以及对188条二维地震测线和5个工区三维地震资料的解释与地震相识别,按照从点—线—面的思路,在确定沉积相类型的基础上,开展沉积相对比,进而以组为编图单元,系统编绘塔里木盆地奥陶系各组沉积期岩相古地理图。结果表明:塔里木盆地奥陶系沉积演化过程中依次发育局限台地、开阔台地、淹没台地、台地边缘、台缘斜坡、陆棚和深水盆地等7种沉积相,进一步划分为16种亚相和若干微相。岩相古地理编图揭示了塔里木盆地早期蓬莱坝组—一间房组沉积期并非传统认识的“西台东盆”沉积格局,而是“单台双缘双盆”的沉积格局;塔里木盆地奥陶系碳酸盐台地经历了由统一的碳酸盐台地形成—台地分异形成多台地—台地最终消亡的演化过程。在上述基础上,建立了奥陶系3种沉积充填模式,分别是:单一台地—缓坡、陡坡边缘共存—盆地沉积模式,多台地—多台缘—多盆地沉积模式和陆源碎屑海洋环境沉积模式。

关键词:沉积相对比;古地理编图;岩相古地理演化;沉积模式;奥陶系;塔里木盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Lithofacies palaeogeographic evolution and sedimentary model of the Ordovician in the Tarim Basin

Zheng Herong¹, Tian Jingchun², Hu Zongquan¹, Zhang Xiang², Zhao Yongqiang³, Meng Wanbin²

(1. Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China; 2. Chengdu University of Technology,

Chengdu, Sichuan 610059, China; 3. Wuxi Branch, Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC,

Wuxi, Jiangsu 214126, China)

Abstract: Upon previous researches, insights have been gained through detailed observation of 12 new outcrop sections and cores (mostly gathered after 2016) from 31 typical wells on the periphery of Tarim Basin as well as fine interpretation of sedimentary facies in 82 wells together with the interpretation and seismic facies identification from 188 two-dimensional seismic lines and three-dimensional seismic data in five acreages focusing on the Ordovician in the Tarim Basin. Firstly, sedimentary facies types and features are determined by observing single outcrop sections and analyzing drilling data of single wells. Secondly, sedimentary facies changes are mapped through correlation between outcrop sections and well profiles. Thirdly, facies boundaries are delineated based on seismic facies types and their planar distribution determined through seismic interpretation and tracing. Finally, the lithofacies paleogeography during the deposition of each formation of the Ordovician are mapped to reveal their paleogeographic and sedimentary patterns. The results show that the sedimentary period of the Penglaiba-Yijianfang Formations in the early Ordovician is rather a pattern of "one platform with two edges and two basins" than a pattern of "a west platform coupled with an east basin" that as previously determined. The Ordovician carbonate platform is suggested to have evolved from a unified carbonate platform to multiple platforms after differentiation and to the final extinction. Based on these understandings, three sedimentary filling models are established for the evolution of the Ordovician, i. e., the early single platform - coexisting

收稿日期:2022-01-19;修订日期:2022-05-03。

第一作者简介:郑和荣(1962—),男,博士、教授级高级工程师,石油地质。E-mail:zhengherong_syky@sinopec.com。

通讯作者简介:田景春(1963—),男,博士、教授,沉积岩石学与岩相古地理。E-mail:tjc@cdut.edu.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05046-001)。

gentle slope and steep slope edge - basin, the middle multiplatform - multiple edge - multiple basin and the late marine environment with terrigenous clastic input.

Key words: sedimentary facies correlation, paleogeography mapping, lithofacies paleogeographic evolution, sedimentary model, Ordovician, Tarim Basin

引用格式:郑和荣,田景春,胡宗全,等.塔里木盆地奥陶系岩相古地理演化及沉积模式[J].石油与天然气地质,2022,43(4):733-745. DOI:10.11743/ogg20220401.

Zheng Herong, Tian Jingchun, Hu Zongquan, et al. Lithofacies palaeogeographic evolution and sedimentary model of the Ordovician in the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(4): 733-745. DOI: 10.11743/ogg20220401.

塔里木盆地作为中国大型含油气盆地,经历了漫长复杂的构造沉积演化过程^[1-3],形成了由前震旦纪基底、古生代克拉通原型盆地与中生代前陆盆地叠置而成的大型叠合盆地。其中,奥陶系海相碳酸盐岩是油气勘探的重要层系之一。20世纪90年代,在塔里木盆地奥陶系发现了中国第一个海相碳酸盐岩整装大油田——塔河油田,是中国古生界海相油气勘探的重大突破,成为中国油气工业发展史上的一座重要的里程碑^[4-6],实现了塔里木几代人寻找大油田的梦想。随后在哈德逊、英买力、麦盖提、巴楚隆起、塔中隆起、塔中北坡以及顺托果勒隆起奥陶系的油气勘探均取得重大突破,展现了塔里木盆地奥陶系海相碳酸盐岩巨大的勘探潜力和良好的勘探前景^[7-10]。

国内外油气勘探实践证明,岩相古地理研究在指导油气勘探开发方面发挥着重要的作用,这是因为各含油气盆地内的油气储层、烃源岩的形成与分布严格受古地理条件控制。在中国西部三大含油气盆地中,近年所发现的多个千亿立方米以上和亿吨储量规模的碳酸盐岩大油气田,无论是烃源岩发育、储层形成,还是盖层分布,都与沉积相带密切相关,而沉积相带的时空展布则受古地理及其演化的控制。因此,系统开展海相碳酸盐岩古地理演化研究是大型碳酸盐岩油气田勘探发现的基础和关键。前人从构造和层序地层等不同角度对塔里木盆地奥陶系海相碳酸盐岩古地理开展了大量研究,取得了一系列重要成果^[1,11-19],为推动盆地内碳酸盐岩大油气田的勘探发现起到了重要的促进作用,也为进一步深化研究奠定了重要基础。

针对塔里木盆地奥陶系古地理,不同时期、不同单位和不同学者针对不同层位采用不同思路开展了系统编图^[20-42],为进一步深化认识盆地内奥陶系油气成藏的基本地质条件奠定了基础。同时,可以看出不同时期、不同学者及同一学者、不同时期对同一层位所编绘的古地理图既具有一定的相似性,也有很大的差异性。相似性表现为不同时期沉积格局大致一致或相似,差异性表现为相带边界、微相展布不同。

因此,伴随着油气勘探不断深入,新的钻井资料、测井资料、地震资料和测试分析资料的不断获取,为进一步系统完整恢复与精细刻画奥陶纪各期的岩相古地理特征及建立其演化模式提供了可能。所以,在众多前人研究成果基础上,充分利用野外露头剖面资料、最新钻井资料、地震剖面资料和测试分析资料,系统编绘奥陶系蓬莱坝组、鹰山组、一间房组、恰尔巴克组、良里塔格组和桑塔木组岩相古地理图,并建立沉积演化模式,为塔里木盆地奥陶系下一步油气勘探战略方向的选择提供基础地质理论支撑。

1 地质背景

塔里木盆地奥陶系广泛分布,在盆地西部以碳酸盐岩为主,自下而上分为蓬莱坝组(O_{1p})、鹰山组(O_{1-2y})、一间房组(O_{2yf})、恰尔巴克组(O_{3q})、良里塔格组(O_{3l})和桑塔木组(O_{3s})。盆地东部以碎屑岩为主,自下而上分为突尔沙克塔格群上部[(ϵ_3-O_1) t]、黑土凹组(O_{1-2h})、却尔却克组(O_{3qr})^[20](图1)。

在奥陶系沉积演化过程中,不同时期塔里木板块在全球古纬度和方位不同,板块边缘经受了不同构造作用,形成了不同类型的沉积盆地,导致沉积格局及古地理面貌不同(图2)。正是由于奥陶纪塔里木陆块在不同阶段古纬度、古方位不同,再加之奥陶纪加里东早期Ⅱ幕和中期Ⅰ幕、Ⅱ幕、Ⅲ幕构造运动的影响,导致盆地经历了克拉通盆地演化阶段、周缘前陆盆地-陆内凹陷盆地演化阶段,从而导致不同阶段盆地沉积充填特征不同(图1)。

2 奥陶系岩相古地理编图思路

充分运用多种资料,按照从点一线一面的思路开展岩相古地理编图。具体过程如下。

1) 在点上确定沉积类型,即在野外剖面 and 单井剖面上确定每一层位沉积相类型。通过对盆地周缘12

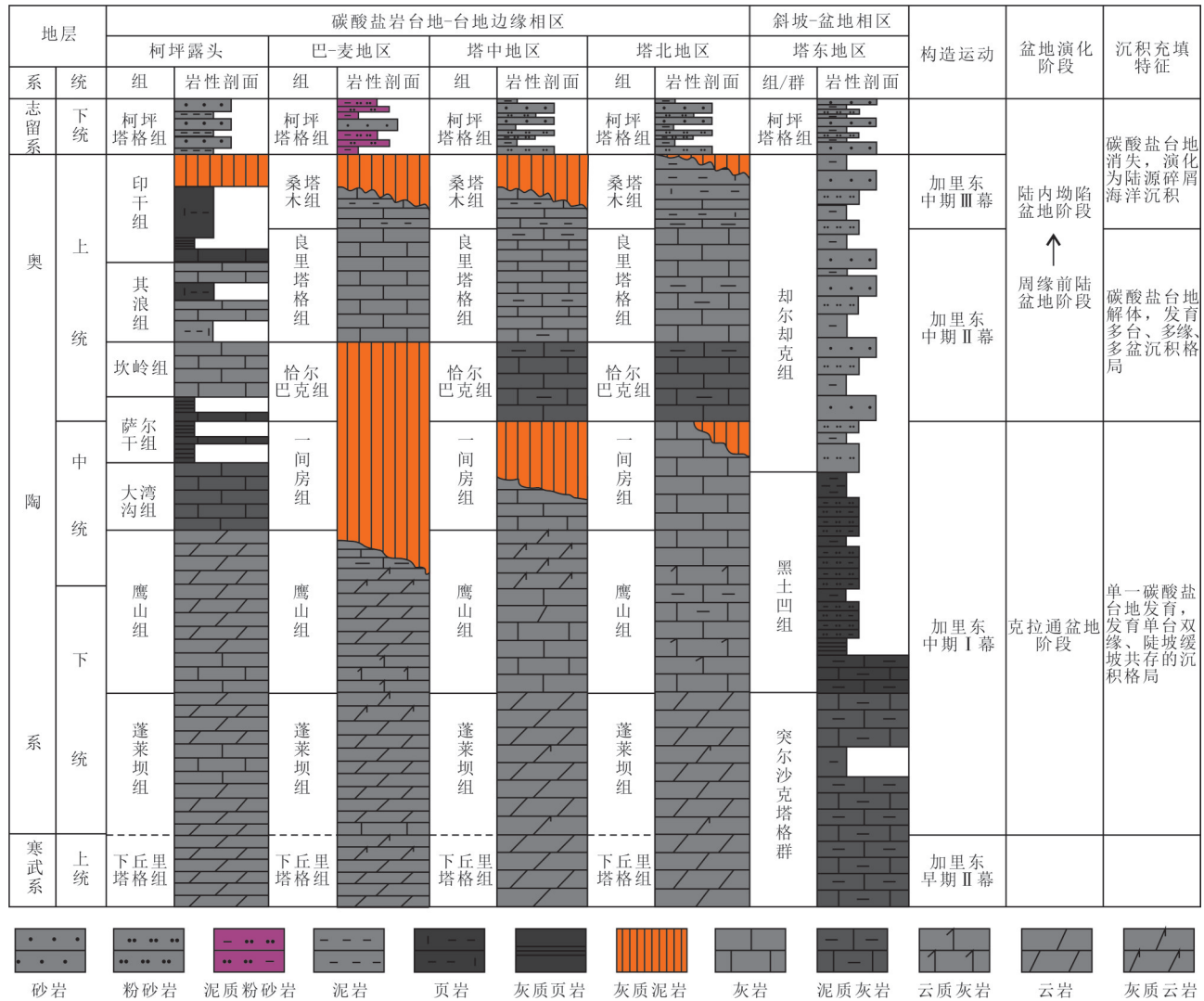


图1 塔里木盆地不同相区岩石地层单元构成及对比

Fig. 1 Lithostratigraphic units and their correlation in different facies areas, Tarim Basin

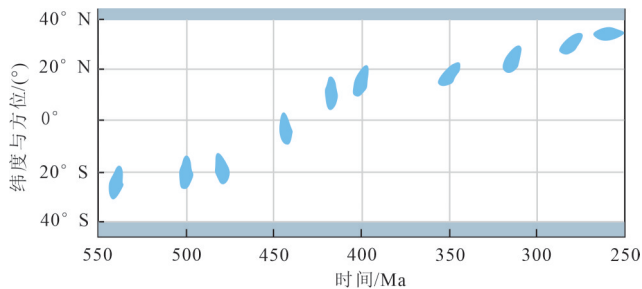


图2 塔里木陆块550~250 Ma古纬度与方位变化

Fig. 2 Paleolatitude and azimuth changes of the Tarim block during 550~250 Ma

条野外露头剖面的详细观测、对钻遇奥陶系31口典型钻井、特别是2016年以来最新钻井的岩心详细观察、盆地内钻遇奥陶系82口钻井的精细解释,从单剖面、单井上确定不同层位沉积时的沉积相类型及特征,可以看出塔里木盆地奥陶系沉积演化过程中沉积相类

型多样,主要包括7种沉积相、16种亚相和若干微相(表1)。限于篇幅,各类沉积相的详细特征就不赘述。

2) 在线上确定相变化,即开展穿越盆地南北和东西方向的野外露头剖面,不同钻井间的沉积相对比及过井地震剖面地震相对比研究,确定不同层位沉积相二维空间的变化特征(图3)。

3) 在面上确定相边界,即开展各层位地震解释与相识别、地震相平面编图。通过对横穿盆地的188条二维地震测线和5个三维工区地震资料的解释与追踪,根据地震反射外形、振幅、连续性、内部反射结构,塔里木盆地奥陶系可识别出22种地震相,分别代表局限台地、开阔台地、台地边缘、斜坡和盆地相沉积(表2)。在上述基础上,系统编绘了各组地震相平面分布图(限于篇幅,本论文仅展示蓬莱坝组地震相平面分布图,见图4),这为厘定各组不同沉积相边界提供了依据。

表1 塔里木盆地奥陶系沉积相划分

Table 1 Division of the Ordovician sedimentary facies, Tarim Basin

沉积相	亚相	微相	主要发育层位
局限台地	局限台坪(潟湖)	藻席、膏云坪、云坪、灰云坪、含砂云坪	蓬莱坝组、鹰山组下部
	台内滩	砾屑滩、砂屑滩、生屑滩、鲕粒滩	
	台坪(滩间)	灰坪、云灰坪	
开阔台地	台内滩	砂屑滩、砾屑滩、生屑滩	鹰山组、一间房组、良里塔格组
	台内礁(点礁)	粘结岩、障积岩、骨架岩	
	台间盆地	泥质灰泥	
	深水台地	泥质灰泥、灰质泥	
淹没台地	—	—	哈尔巴克组
台地边缘	台缘滩	砾屑滩、砂屑滩、生屑滩(藻屑滩)、鲕粒滩、核形石滩	蓬莱坝组、鹰山组、一间房组、良里塔格组
	台缘生物丘或礁	粘结岩、障积岩、骨架岩	
台缘斜坡	上斜坡	滑塌、斜坡泥、斜坡灰泥	蓬莱坝组、鹰山组、一间房组、哈尔巴克组、良里塔格组
	下斜坡	浊流、斜坡泥、斜坡灰泥	
陆棚	混积陆棚	灰泥、陆棚泥	蓬莱坝组、鹰山组、一间房组、哈尔巴克组、良里塔格组
	(内)陆棚	陆棚泥、灰泥、云化灰泥	
	外陆棚	陆棚泥	
深水盆地	浊积盆地	内扇、中扇、外扇	一间房组、哈尔巴克组、良里塔格组、桑塔木组
	欠补偿盆地	盆地泥、盆地灰泥、硅泥	

在上述基础上,点、线、面结合,系统编绘了奥陶系蓬莱坝组、鹰山组、一间房组、哈尔巴克组、良里塔格组和桑塔木组岩相古地理图,展示了各组沉积期的古地理格局和沉积面貌。

3 奥陶系岩相古地理特征及演化

在上述编图思路的指导下,结合原型盆地恢复成果,所编绘的塔里木盆地奥陶系不同时期的岩相古地理图,揭示了从早到晚古地理演化过程。具体各组的古地理特征如下。

3.1 下奥陶统蓬莱坝组(O_{1p})

下奥陶统蓬莱坝组沉积期继承了寒武系下丘里塔格组沉积期的局限台地-开阔台地沉积格局。此期的古地理格局表现为一个大的碳酸盐台地,周围被南天山洋和南昆仑洋所包围(图5)。

碳酸盐台地的西部边缘为碳酸盐岩缓坡,发育在昆仑山山前一线;台地的北部、东部边缘为镶边陆棚台缘,发育在于奇6井-满参1井-古城4井一线并向北东转向罗西1井,台缘及斜坡呈窄条带状分布,向东到满加尔坳陷为混积陆棚沉积(图5)。

碳酸盐台地内进一步划分为局限台地和开阔台地(图5)。局限台地分布在巴楚隆起东部和麦盖提斜坡东部,为灰、浅灰、深灰色结晶云岩、含灰云岩、云质灰岩,局部夹薄层含泥灰岩、含泥云岩,见少量灰色硅质白云岩。局限台地外围发育大面积开阔台地,在皮山

北2井以南、塔参1井-顺西1井-顺北2井-塔深1井围限区发育台内滩。沙雅隆起蓬莱坝组下部为褐灰色灰岩夹浅灰色云质灰岩、灰质云岩、云岩,中部为灰、褐灰色灰岩局部夹浅灰色云岩,上部为灰、褐灰色云质灰岩局部夹灰岩、砂屑灰岩。

3.2 中-下奥陶统鹰山组(O_{1-2y})

中-下奥陶统鹰山组沉积期,塔里木板块内部沉积格局、台地性质、相带展布继承了蓬莱坝组沉积期古地理格局,仍表现为一个大的碳酸盐台地,周围被南天山洋和北昆仑洋所包围(图6)。

但此期,碳酸盐台地分布面积缩小,主要表现为台地西部边缘向东退缩,迁移到巴开1井-皮山北2井-胜和2井一线,深水缓坡分布范围明显比蓬莱坝组沉积期加宽。北部、东部开阔台地边缘为镶边陆棚台缘,东部台缘-台缘斜坡发育在库南1-古城4并向东转向米兰1井一线。向东到满加尔坳陷相变为陆棚沉积,深水面积向南扩大。

碳酸盐台地内部仍为局限台地-开阔台地。其中,局限台地分化为3块,分别位于和4井-中13井区、玉龙6井区和塔中1井-中4井区。开阔台地大面积分布,台内滩主要集中在顺北-顺南一带(图6)。

3.3 中奥陶统一间房组(O_{2yj})

中奥陶统一间房组沉积期,由于构造运动的影响,古地理格局发生变化,主要表现为阿瓦提凹陷初

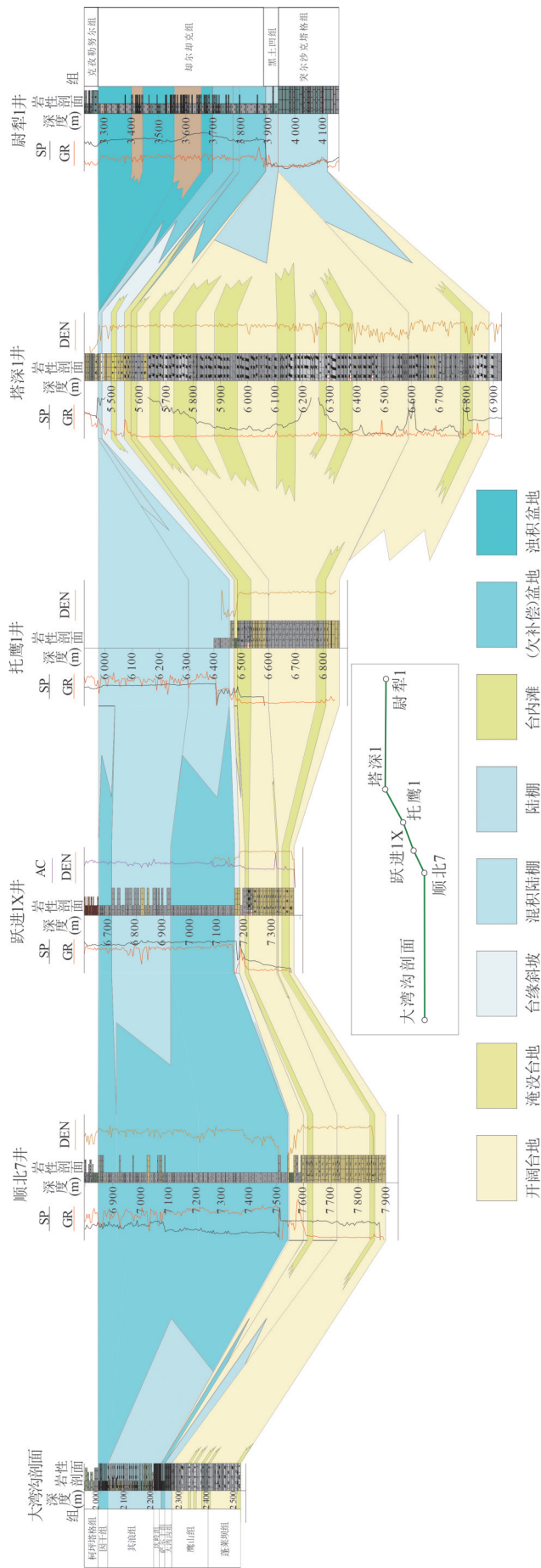


图 3 塔里木盆地大湾沟—顺北 7 井—跃进 1X 井—托鹰 1 井—尉犁 1 井奥陶系沉积相对比
Fig. 3 Correlation of Ordovician sedimentary facies across Dawangou outcrops and wells Shunbei 1, Yuejin 1X, Tuoying 1, Tashen 1, and Yuli 1, Tarim Basin

表2 塔里木盆地奥陶系地震相类型划分及特征

Table 2 Classification and characteristics of the Ordovician seismic facies, Tarim Basin

沉积相类型	地震相类型	地震相特征描述
局限台地	P_3, S_3, A_2, C_2, F_3	楔状波状结构, 中振幅, 中连续, 低频
	$P_1, S_2, A_2-A_3, C_2-C_3, F_2$	席状亚平行结构, 中-弱振幅, 中-差连续, 中频
	$P_1, S_2, A_1-A_2, C_2-C_3, F_2-F_3$	席状亚平行结构, 强-中振幅, 中-差连续, 中-低频
开阔台地	$P_2, S_2, A_2, C_3, F_2-F_3$	披盖状亚平行结构, 中振幅, 差连续, 中-低频
	$P_1, S_2, A_2-A_3, C_2-C_3, F_3$	席状亚平行结构, 中-弱振幅, 中-差连续, 低频
	P_2, S_2, A_2, C_2, F_3	披盖状亚平行结构, 中振幅, 中连续, 低频
	$P_2, S_2, A_2-A_3, C_1-C_2, F_2$	披盖状亚平行结构, 中-弱振幅, 好-中连续, 中频
	P_2, S_2, A_2, C_3, F_2	披盖状亚平行结构, 中振幅, 差连续, 中频
滩(礁)	P_6, S_5, A_2, C_3, F_2	丘状前积状结构, 中振幅, 差连续, 中频
	$P_4, S_4-S_5, A_2, C_2-C_3, F_2-F_3$	锥状发散-前积结构, 中振幅, 中-差连续, 中-低频
	$P_4-P_6, S_4-S_5, A_2, C_2, F_2$	锥状-丘状发散-前积结构, 中振幅, 中连续, 中频
	$P_3, S_3, A_2, C_1-C_2, F_2$	楔状波状结构, 中振幅, 好-中连续, 中频
	P_3, S_3, A_2, C_3, F_2	楔状波状结构, 中振幅, 差连续, 中频
台缘	P_6, S_5, A_2, C_2, F_3	丘状前积状结构, 中振幅, 中连续, 低频
	P_5, S_5, A_3, C_3, F_1	扇状前积状结构, 弱振幅, 差连续, 高频
斜坡	P_4, S_4, A_2, C_2, F_2	锥状发散结构, 中振幅, 中连续, 中频
	P_6, S_5, A_2, C_2, F_2	丘状前积状结构, 中振幅, 中连续, 中频
盆地	$P_1, S_2, A_2, C_2-C_3, F_2$	席状亚平行结构, 中振幅, 中-差连续, 中频
	$P_2, S_2, A_2-A_3, C_2-C_3, F_3$	披盖状亚平行结构, 中-弱振幅, 中-差连续, 低频
	$P_2, S_1-S_2, A_2, C_3, F_3$	披盖状平行-亚平行状结构, 中振幅, 差连续, 低频
	$P_1, S_1-S_2, A_2, C_1-C_2, F_2$	席状平行-亚平行结构, 中振幅, 好-中连续, 中频
	P_1, S_1, A_2, C_1, F_2	席状平形状结构, 中振幅, 好连续, 中频

注: P_1 . 席状反射外形; P_2 . 披盖状反射外形; P_3 . 楔状反射外形; P_4 . 丘状反射外形; P_5 . 不规则反射外形; S_1 . 平行反射构型; S_2 . 亚平行反射构型; S_3 . 前积反射构型; S_4 . 丘状反射构型; S_5 . 杂乱反射构型; A_1 . 强振幅; A_2 . 中振幅; A_3 . 弱振幅; C_1 . 好连续性; C_2 . 中连续性; C_3 . 差连续性

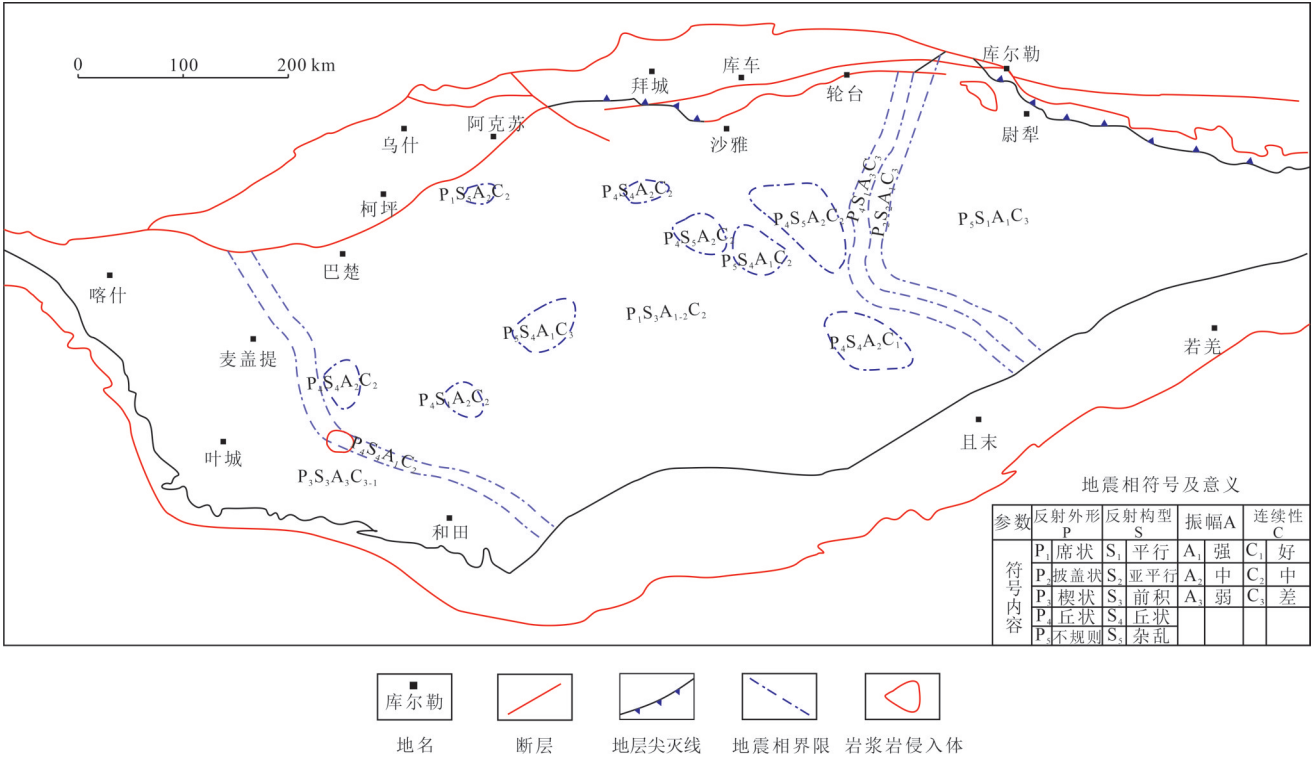


图4 塔里木盆地奥陶系蓬莱坝组地震相平面分布

Fig. 4 Plane distribution of seismic facies of the Ordovician Penglaiba Formation, Tarim Basin

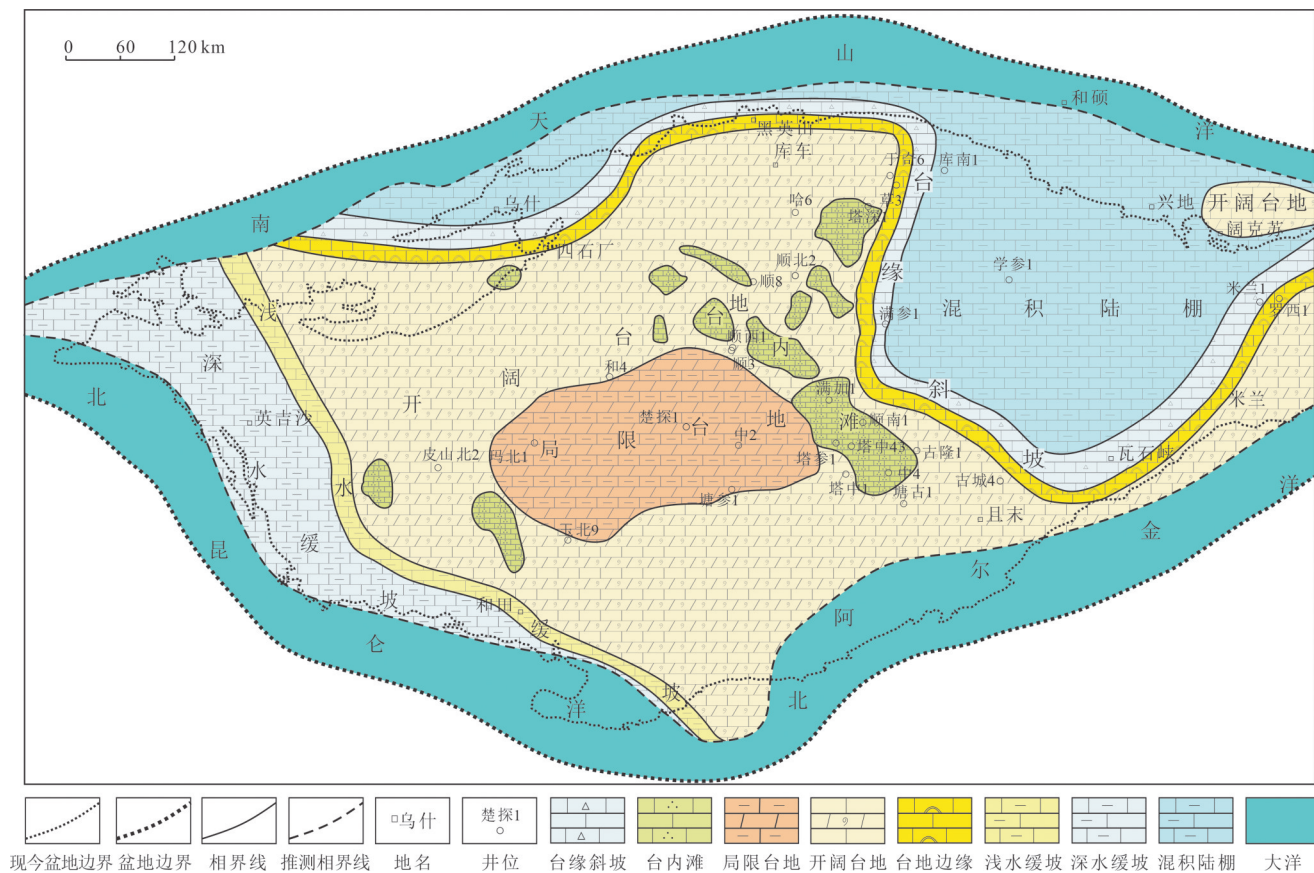


图5 塔里木盆地奥陶统蓬莱坝组沉积期岩相古地理

Fig. 5 Lithofacies paleogeographic map during deposition of the Lower Ordovician Penglaiba Formation, Tarim Basin

见端倪,碳酸盐台地西部、东部和北部边缘位置仅发生了较大改变(图7)。北部、东部台地边缘与鹰山组相比在塔中、塔北和阿瓦提之间向台内收缩明显,东南则向外扩展,发育在乔参1井—阿北1井—托普2井—哈得5井—古城4井—一线;向东到满加尔坳陷为台缘斜坡—陆棚—欠补偿盆地;西部边缘向塔西南发育陆棚沉积。

塔里木板块内部台地性质转变为开阔台地。塔西南坳陷—麦盖提斜坡、塔中巴楚隆起—卡塔克隆起—塘沽巴斯坳陷、塔北顺托果勒隆起—沙雅隆起发育大面积的开阔台地,顺南1井—塔中43井区、古隆1井—古城4井区、顺北评2井以南和哈6井—沙88井区发育台内滩;塔北沙109井、沙102井—沙91井、沙87井及塔深1井区见台内礁(海绵礁)。在顺南古隆及塘沽巴斯坳陷岩性以藻球粒、藻砂屑灰岩为主;在沙雅隆起主要为灰、黄灰色亮晶砂屑灰岩、砂屑微晶灰岩和微晶灰岩,夹鲕粒灰岩、藻粘结灰岩和海绵礁灰岩。塔西南陆棚发育在昆仑山山前一线。

受后期加里东运动中期I幕构造抬升剥蚀影响,巴楚隆起—麦盖提斜坡—塔西南坳陷及卡塔克隆起—

间房组被剥蚀。受后期加里东运动中期和海西早期构造抬升剥蚀影响,沙雅隆起北部一间房组被剥蚀。

3.4 上奥陶统恰尔巴克组(O_3q)

晚奥陶世恰尔巴克组沉积期,由于加里东运动I幕的作用,导致前期统一的大碳酸盐岩台地发生分异形成塔北、塔中和塔南3个台地,形成多台—多盆、隆—坳相间的沉积格局(图8)。此期,受同期全球海平面大规模上升的影响,3个台地为淹没台地,台地之间为混积陆棚沉积。阿瓦提断陷和满加尔坳陷为欠补偿盆地,在阿尔金隆起北侧发育海底扇。

3.5 上奥陶统良里塔格组(O_3l)

上奥陶统良里塔格组沉积期,塔里木板块内部继承了恰尔巴克组沉积期的多台—多盆、隆—坳相间的沉积格局(图9),前期的3个淹没台地转变为开阔台地,且南部台地发生分化,变为2个独立的台地。由开阔台地向外围发育台地边缘—台缘斜坡—陆棚沉积,向东向北进入欠补偿盆地,并在中昆仑隆起东侧和阿尔金隆起北侧发育海底扇。阔克苏隆起仍发育开阔台地(图9)。

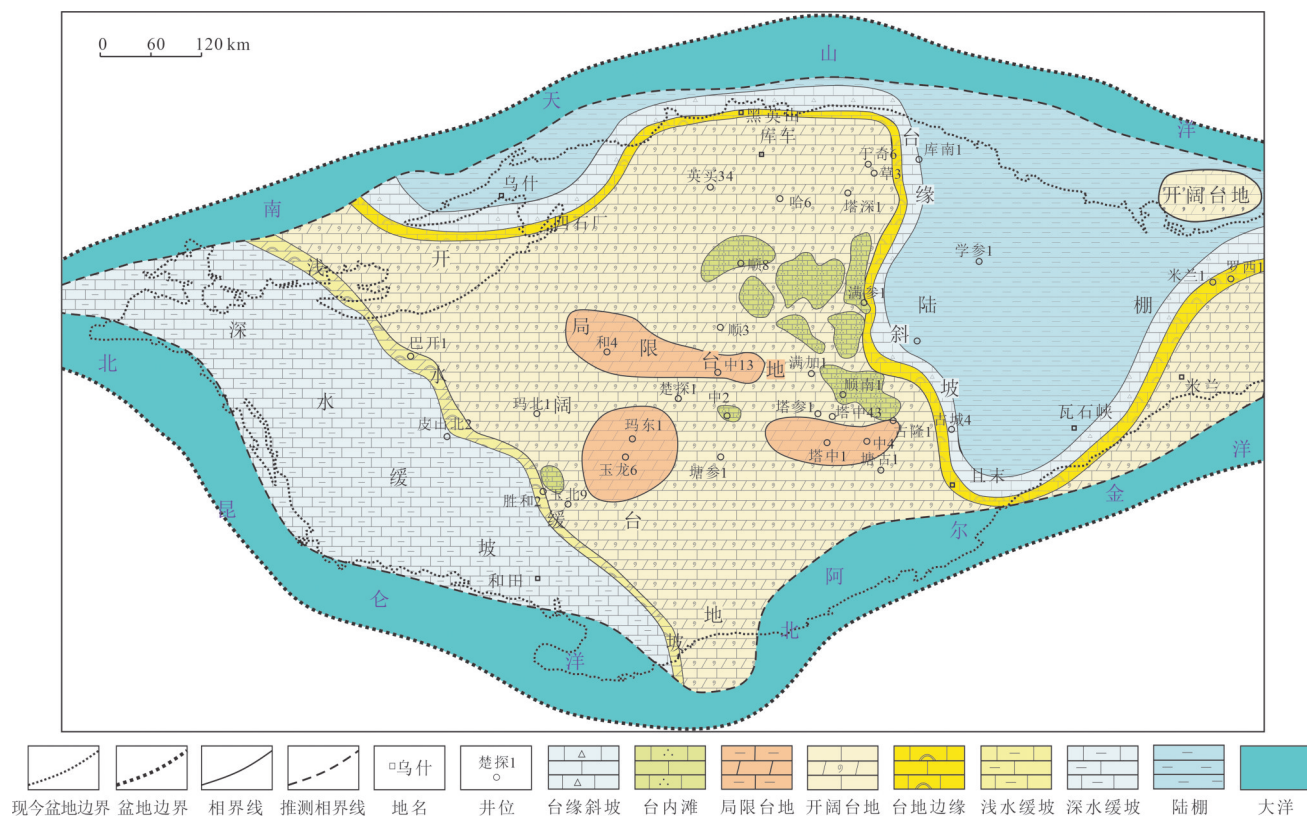


图6 塔里木盆地中-下奥陶统鹰山组沉积岩相古地理

Fig. 6 Lithofacies paleogeographic map during deposition of the Middle–Lower middle Ordovician Yingshan Formation, Tarim Basin

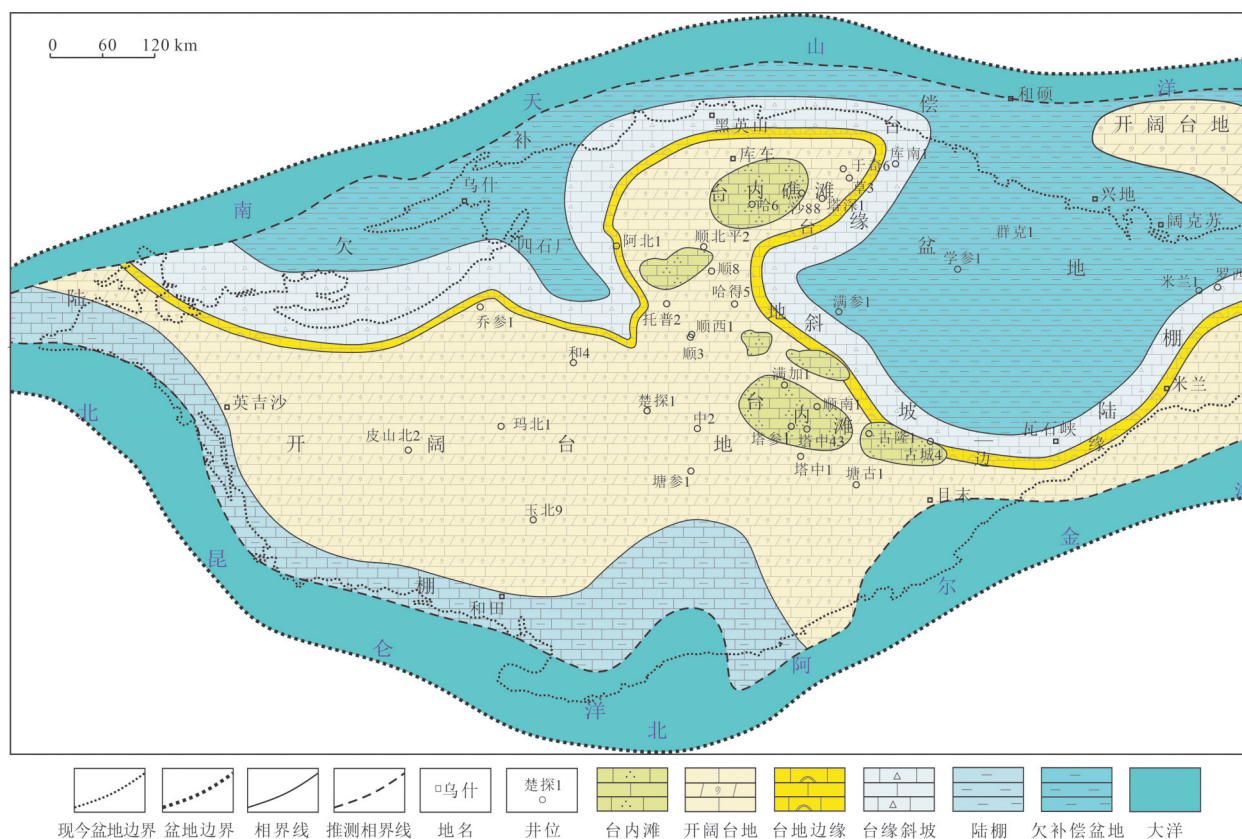


图7 塔里木盆地中奥陶统一间房组沉积岩相古地理

Fig. 7 Lithofacies paleogeographic map during deposition of the lower middle Ordovician Yijianfang Formation, Tarim Basin

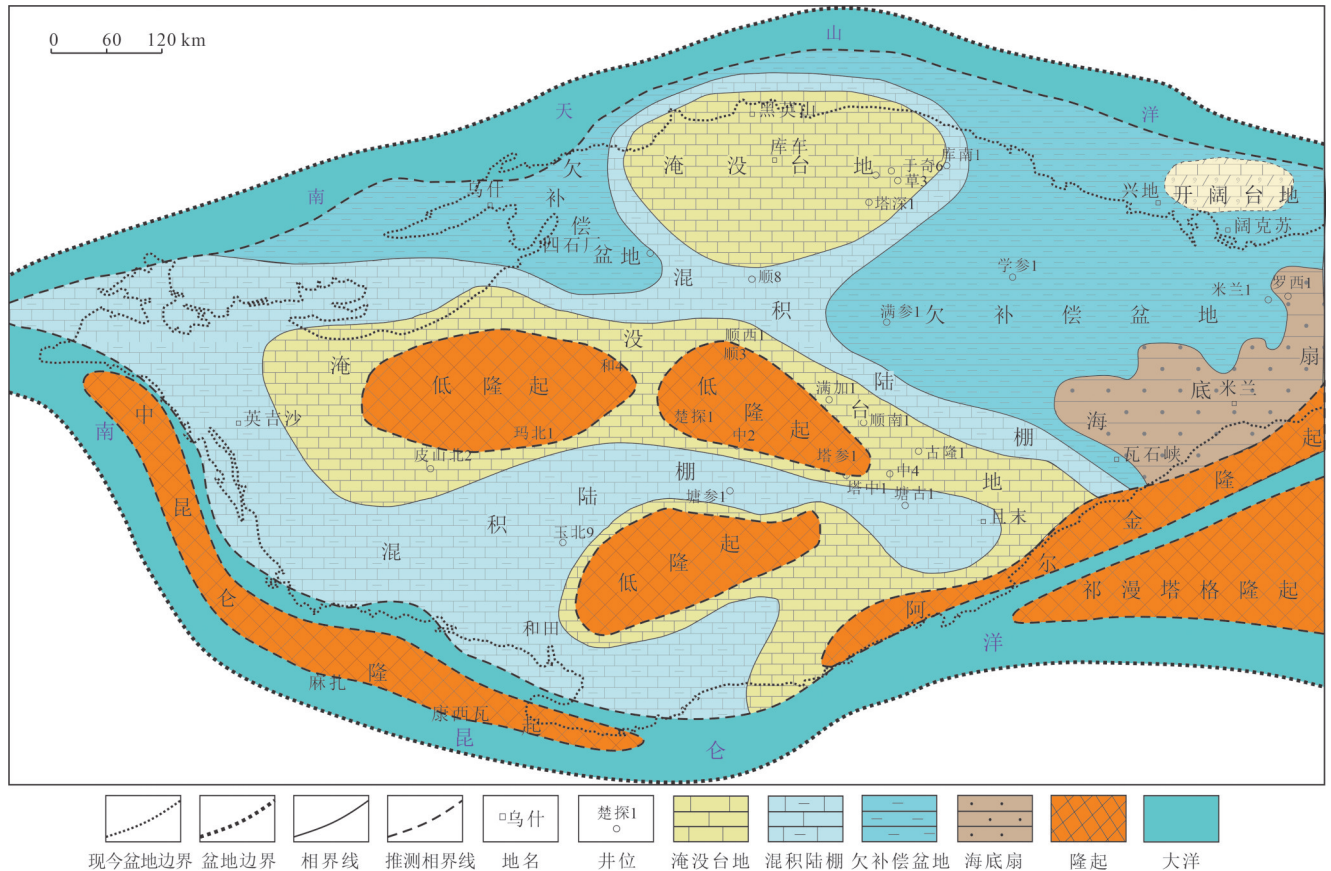


图8 塔里木盆地上奥陶统恰尔巴克组沉积期岩相古地理

Fig. 8 Lithofacies paleogeographic map during deposition of the Upper Ordovician Charbacian Formation, Tarim Basin

3.6 上奥陶统桑塔木组(O_3s)

上奥陶统桑塔木组沉积期,受同期全球海平面再次大规模上升影响,塔里木板块内部碳酸盐台地淹没消亡,原碳酸盐台地发育区演变为混积陆棚(图10),为灰、绿灰色泥岩、灰质泥岩夹灰色泥晶灰岩及泥质灰岩沉积。此外,由于阿尔金隆起提供了充足的物源,塘沽巴斯坳陷、古城墟隆起及满加尔坳陷发育沉积巨厚的浊积盆地,中昆仑隆起东侧和阿尔金北侧的浊积盆地中发育水下扇,满参1井区发育浊积扇,为深灰色薄-中厚层状泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩频繁互层,只在阔克苏隆起发育开阔台地(图10)。

4 奥陶系沉积模式

从上述奥陶系岩相古地理编图可以看出,塔里木盆地奥陶系沉积演化从早到晚经历了由碳酸盐岩沉积—陆源碎屑岩沉积的演化过程,盆地的沉积充填可分为3个阶段,归纳为3种模式。

4.1 单一台地—缓坡、陡坡边缘共存—盆地沉积模式

该沉积充填模式发育于蓬莱坝组—一间房组沉积期。这一阶段塔里木盆地发育一个大的碳酸盐台地(图11a),台地西缘向海一侧发育碳酸盐岩缓坡,台地东缘向东依次发育台地边缘、台缘斜坡、深水盆地。

4.2 多台地—多台缘—多盆地沉积模式

该沉积充填模式对应于恰尔巴克组—良里塔格组沉积期。这一阶段由于加里东中期I幕构造运动影响,前期的统一碳酸盐台地裂解、分异,在塔南、塔中和塔北形成3个小台地(图11b),形成了多台地、多台缘、多盆地的沉积格局。

4.3 陆源碎屑海洋环境沉积模式

该模式发育于桑塔木组沉积期。该时期由于晚奥陶世全球相对海平面上升,导致由前期的海相碳酸盐台地被淹没并消失,发育演化为海相碎屑岩沉积(局部发育混合沉积)(图11c)。

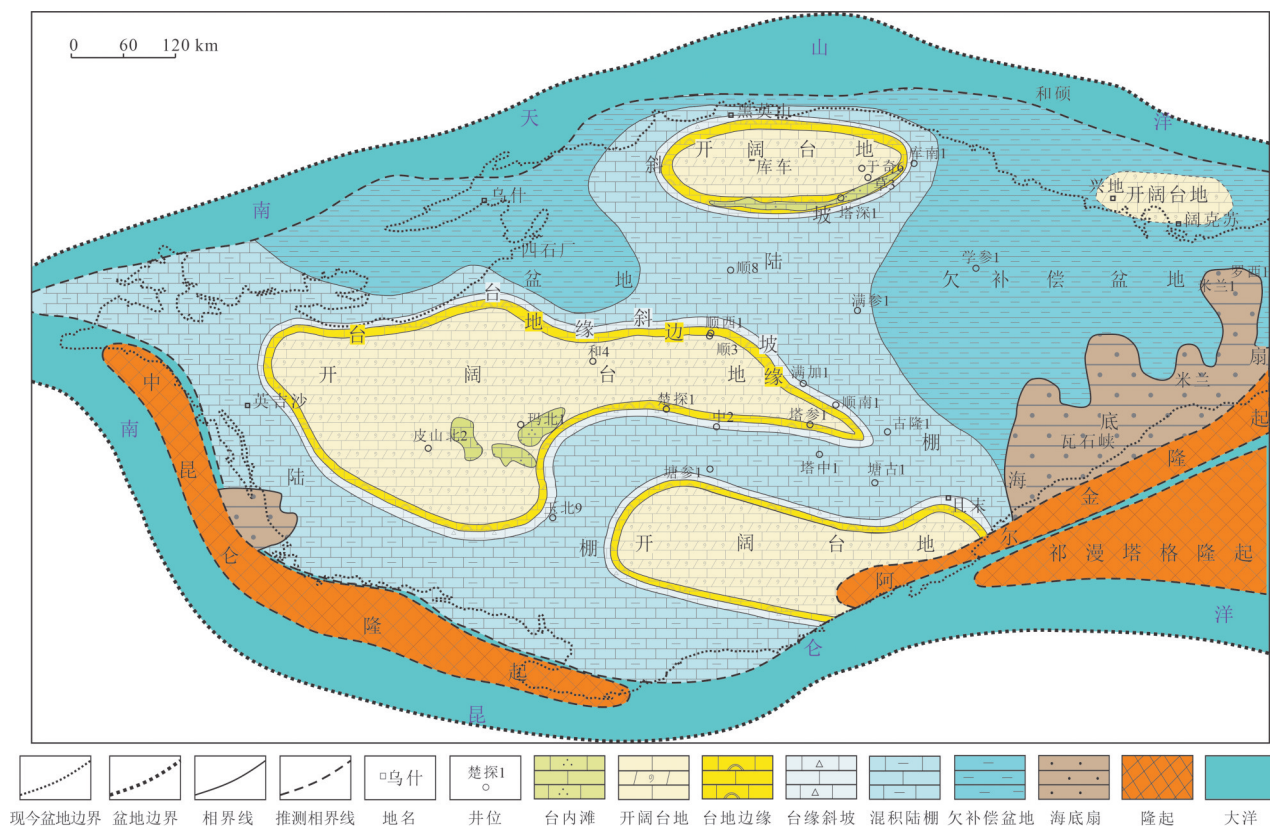


图9 塔里木盆地上奥陶统良里塔格组沉积期岩相古地理

Fig. 9 Lithofacies paleogeographic map during deposition of the Upper Ordovician Lianglitag period, Tarim Basin

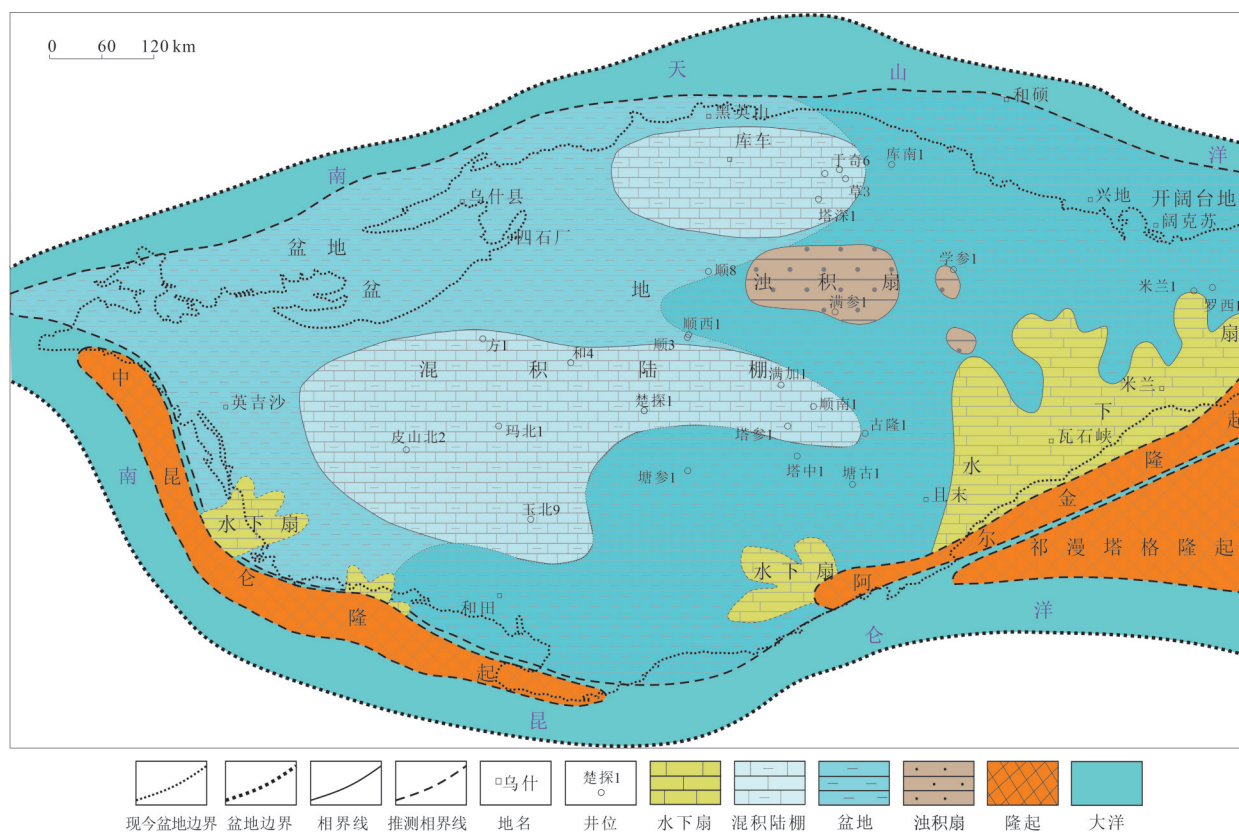


图10 塔里木盆地上奥陶统桑塔木组沉积期岩相古地理

Fig. 10 Lithofacies paleogeographic map during deposition of the Upper Ordovician Sangtam Formation, Tarim Basin

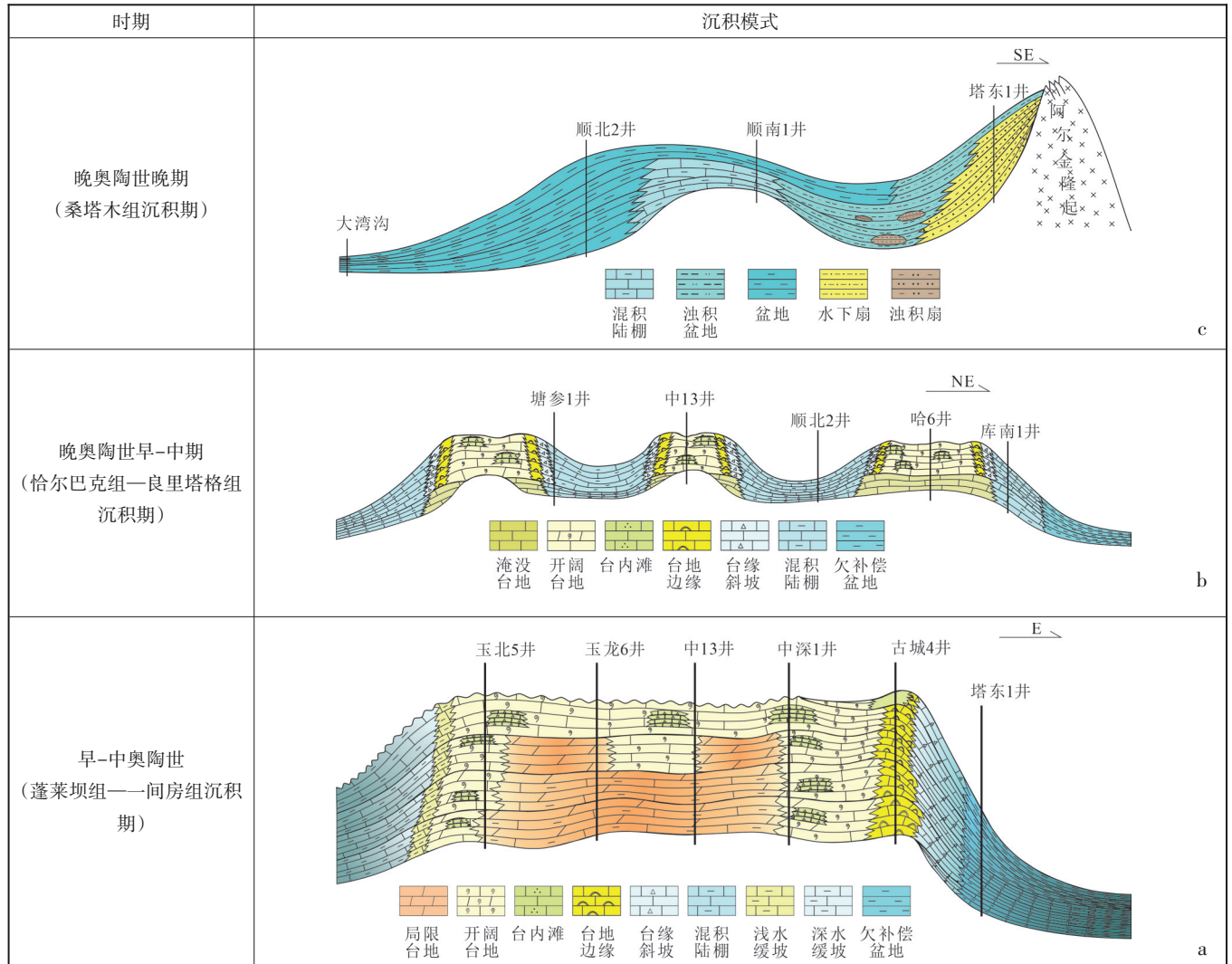


图 11 塔里木盆地奥陶系沉积充填模式

Fig. 11 Sedimentary filling patterns of the Ordovician, Tarim Basin

通过上述奥陶纪 3 大阶段沉积充填模式可以看出,塔里木盆地奥陶纪沉积演化过程中古地理格局和面貌具有以下特点:构造活动控制了“碳酸盐台地分异演化—单一大台地—台地分异—台地消亡”;环境变迁控制了“沉积相带的变迁演化—碳酸盐岩与碎屑岩共存—完全由碎屑岩组成”。

5 结论

1) 充分利用最新资料,按照从点—线—面的思路,在点上(单剖面、单井)确定沉积类型,在线上(连井、地震大剖面)确定相变化,在面上确定相边界(地震相识别、地震相平面分布);系统编绘塔里木盆地奥陶系各组岩相古地理图,展示不同沉积期古地理格局和沉积面貌。

2) 通过新一轮的编图,揭示了塔里木盆地蓬莱坝

组—一间房组沉积期新的古地理格局,并非是传统认识的“西台东盆”沉积格局,而是“单台双缘双盆”的沉积格局。

3) 进一步明确了奥陶系从早到晚沉积演化过程中碳酸盐台地的分异过程,主要表现为经历了由统一的碳酸盐台地形成(蓬莱坝组—一间房组沉积期)—台地分异形成多台地(恰尔巴克组—良里塔格组沉积期)—台地最终消亡(桑塔木组沉积期)的演化过程。

4) 系统建立了奥陶系从早到晚 3 种沉积充填模式,分别是:单一台地—缓坡、陡坡边缘共存—盆地沉积模式、多台地—多台缘—多盆地沉积模式和陆源碎屑海洋环境沉积模式。

参 考 文 献

- [1] 刘家铎,漆立新,田景春,等. 塔里木盆地构造演化与沉积格架 [M]. 北京:科学出版社,2014.
Liu Jiaduo, Qi Lixin, Tian Jingchun, et al. Tectonic evolution and

- sedimentary lattice in the Tarim Basin [M]. Beijing: Science Press, 2014.
- [2] 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.
- Jia Chengzao. Tectonic features of the Tarim Basin in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997.
- [3] 朱光有, 杨海军, 苏劲, 等. 塔里木盆地海相石油的真实勘探潜力[J]. 岩石学报, 2012, 28(3): 1333-1347.
- Zhu Guangyou, Yang Haijun, Su Jin, et al. True exploration potential of marine oils in the Tarim Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(3): 1333-1347.
- [4] 黎玉战, 徐传会. 塔里木盆地塔河油田发现历程及其意义[J]. 石油实验地质, 2004, 26(2): 180-186.
- Li Yuzhan, Xu Chuanhui. The discovery process of the Tahe oilfield in the Tarim Basin and its significance [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2004, 26(2): 180-186.
- [5] 翟晓先, 云露. 塔里木盆地塔河大型油田地质特征及勘探思路回顾[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(5): 565-573.
- Zhai Xiaoxian, Yun Lu. Geology of giant Tahe oilfield and a review of exploration thinking in the Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(5): 565-573.
- [6] 梁狄刚. 塔里木盆地轮南—塔河奥陶系油田发现史的回顾与展望[J]. 石油学报, 2008, 29(1): 153-158.
- Liang Digang. Review and expectation on the discovery of Ordovician Lunnan-Tahe Oilfield, Tarim Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 29(1): 153-158.
- [7] 漆立新. 塔里木盆地地下古生界碳酸盐岩大油气田勘探实践与展望[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 771-779.
- Qi Lixin. Exploration practice and prospects of giant carbonate field in the Lower Paleozoic of Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(6): 771-779.
- [8] 漆立新. 塔里木盆地顺托果勒隆起奥陶系碳酸盐岩超深层油气突破及其意义[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(3): 38-51.
- Qi Lixin. Oil and gas breakthrough in ultra-deep Ordovician carbonate formations in Shuntuoguole Uplift, Tarim Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(3): 38-51.
- [9] 康玉柱. 塔里木盆地寒武—奥陶系油气勘探重大进展及建议[J]. 中国西部油气地质, 2006, 2(3): 237-240.
- Kang Yuzhu. Major progress and recommendations in Cambrian-Ordovician oil and gas exploration in the Tarim Basin [J]. West China Petroleum Geosciences, 2006, 2(3): 237-240.
- [10] 杨宁, 吕修祥, 周新源, 等. 塔里木盆地碳酸盐岩油气聚集带[J]. 地质学报, 2006, 80(3): 398-405.
- Yang Ning, Lv Xiuxiang, Zhou Xinyuan, et al. Hydrocarbon accumulation zones of carbonate in the Tarim Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(3): 398-405.
- [11] 周新源, 杨海军, 韩剑发, 等. 中国海相油气田勘探实例之十二塔里木盆地轮南奥陶系油气田的勘探与发现[J]. 海相油气地质, 2009, 14(4): 67-77.
- Zhou Xinyuan, Yang Haijun, Han Jianfa, et al. Cases of discovery and exploration of marine fields in China (Part 12): Lunnan Ordovician Oil-Gas Field in Tarim Basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2009, 14(4): 67-77.
- [12] 贾承造, 魏国齐, 王良杰, 等. 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: 1-438.
- Jia Chengzao, Wei Guoqi, Wang Liangjie, et al. Tectonic characteristics and oil and gas in the Tarim Basin of China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 1-438.
- [13] 张光亚, 刘伟, 杨海军, 等. 塔里木克拉通寒武纪—奥陶纪原型盆地与岩相古地理[M]. 北京:地质出版社, 2013: 41-159.
- Zhang Guangya, Liu Wei, Yang Haijun, et al. Tarim Kraton Cambrian-Ordovician prototype basin and litigy paleogeography [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013: 41-159.
- [14] 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.
- Xu Xiaosong, Wang Zhengjiang, Wan Fang, et al. Tectonic paleogeographic evolution and source rocks of the Early Paleozoic in the Tarim Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 49-57.
- [15] 何登发, 周新源, 张朝军, 等. 塔里木地区奥陶纪原型盆地类型及其演化[J]. 科学通报, 2007, 52(S1): 126-134.
- He Dengfa, Zhou Xinyuan, Zhang Zhaojun, et al. Types of Ordovician prototype basins in the Tarim region and their evolution [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(S1): 126-134.
- [16] 冯增昭. 塔里木地区寒武纪和奥陶纪岩相古地理[M]. 北京:地质出版社, 2005: 1-179.
- Feng Zengzhao. Cambrian and Ordovician lithofacies paleogeography of the Tarim region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005: 1-179.
- [17] 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): 937-947.
- Zhao Zongju, Luo Jiahong, Zhang Yunbo, et al. Lithofacies paleogeography of Cambrian sequences in the Tarim Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 32(6): 937-947.
- [18] 赵宗举, 吴兴宁, 潘文庆, 等. 塔里木盆地奥陶纪层序岩相古地理[J]. 沉积学报, 2009, 27(5): 939-954.
- Zhao Zongju, Wu Xingning, Pan Wenqing, et al. Sequence lithofacies paleogeography of Ordovician in Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(5): 939-954.
- [19] 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.
- He Dengfa, Jia Chengzao, Li Desheng, et al. Formation and evolution of polycyclic superimposed Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1): 64-77.
- [20] 吕海涛, 丁勇, 耿锋. 塔里木盆地奥陶系油气成藏规律与勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 798-805.
- Lv Haitao, Ding Yong, Geng Feng, et al. Hydrocarbon accumulation patterns and favorable exploration areas of the Ordovician in Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(6): 798-805.
- [21] 马明侠, 陈新军, 张学恒. 塔里木盆地塔中地区寒武—奥陶系沉积特征及构造控制[J]. 石油实验地质, 2006, 28(6): 549-553.
- Ma Mingxia, Chen Xinjun, Zhang Xueheng, et al. The Cambrian-Ordovician sedimentary features and structural control in the Central Tarim Area [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(6): 549-553.
- [22] 王招明, 田军, 王清华, 等. 塔里木盆地油气勘探与实践[M]. 北京:石油工业出版社, 2004.
- Wang Zhaoming, Tian Jun, Wang Qinghua, et al. Oil and gas exploration and practice in the Tarim Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004.
- [23] 高志前, 樊太亮, 焦志峰, 等. 塔里木盆地寒武—奥陶系碳酸盐岩台地样式及其沉积响应特征[J]. 沉积学报, 2006, 24(1): 19-27.

- Gao Zhiqian, Fan Tailiang, Jiao Zhifeng, et al. The structural types and depositional characteristics of Carbonate platform in the Cambrian Ordovician of Tarim Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24(1): 19-27.
- [24] 许效松, 刘宝珺, 牟传龙, 等. 中国中西部海相盆地分析与油气资源[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- Xu Xiaosong, Liu Baojun, Mu Chuanlong, et al. Marine basin analysis and its oil and gas resources of Central-Western China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004.
- [25] 汪业勇, 张博, 李辉, 等. 塔里木盆地奥陶统蓬莱坝组沉积相研究[J]. *天然气技术与经济*, 2015, 9(1): 8-12.
- Wang Yeyong, Zhang Bo, Li Hui, et al. Sedimentary facies of the Lower Ordovician Penglaizhen Formation, Tarim Basin WANG Yeyong[J]. *Natural Gas Technology and Economy*, 2015, 9(1): 8-12.
- [26] 胡九珍, 冉启贵, 刘树根, 等. 塔里木盆地东部地区寒武系—奥陶系沉积相分析[J]. *岩性油气藏*, 2009, 21(2): 70-75.
- Hu Jiuzhen, Ran Qigui, Liu Shugen, et al. Sedimentary facies analysis of Cambrian-Ordovician in eastern Tarim Basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2009, 21(2): 70-75.
- [27] 高志前, 王惠民, 樊太亮, 等. 塔里木盆地寒武—奥陶系沉积相沉积体系及其组合序列[J]. *新疆石油天然气*, 2005, 1(1): 30-35.
- Gao Zhiqian, Wang Huiming, Fan Tailiang, et al. Facies, sedimentary system and assembled sequence in Cambrian-Ordovician of Tarim Basin[J]. *Journal of Xinjiang & Gas*, 2005, 1(1): 30-35.
- [28] 刘颜, 谢锐杰. 塔里木盆地塔中地区良里塔格组沉积相研究[J]. *中国锰业*, 2016, (5): 38-40.
- Liu Yan, Xie Ruijie. Sedimentary facies of Lianglitag Formation in Tazhong Area, Tarim Basin [J]. *China's Manganese Industry*, 2016, (5): 38-40.
- [29] 蔡习尧, 李慧莉, 马玉春, 等. 塔里木盆地古城墟隆起奥陶系沉积相特征[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2006, 37(S): 155-161.
- Cai Xiyao, Li Huili, Ma Yuchun, et al. Characteristic of sedimentary facies of Guchengxu Uplift Ordovician at Tarim Basin [J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2006, 37(S): 155-161.
- [30] 胡晓兰, 樊太亮, 高志前, 等. 塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩颗粒滩沉积组合及展布特征[J]. *沉积学报*, 2014, 32(3): 418-428.
- Hu Xiaolan, Fan Tailiang, Gao Zhiqian, et al. Depositional combination characteristics and distribution of ordovician carbonate shoals in the Tarim Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2014, 32(3): 418-428.
- [31] 周明, 罗平, 董琳, 等. 塔里木盆地柯坪地区奥陶系鹰山组台内滩沉积特征[J]. *沉积学报*, 2016, 34(5): 951-962.
- Zhou Ming, Luo Ping, Dong Lin, et al. Sedimentary characteristics of Lower-Middle Ordovician Yingshan Formation Carbonate intra-platform Shoals in Keping area, Tarim Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2016, 34(5): 951-962.
- [32] 焦志峰, 吴华, 李岩, 等. 塔里木盆地孔雀河地区寒武—奥陶系沉积相与沉积体系[J]. *新疆地质*, 2004, 22(2): 151-154.
- Jiao Zhifeng, Wu Hua, Li Yan, et al. Sedimentary facies and depositional system of Cambrian-Ordovician Kong Quehe Region, Tarim Basin [J]. *Xinjiang Geology*, 2004, 22(2): 151-154.
- [33] 罗少辉, 李九梅, 张旭光, 等. 塔里木盆地玉北地区奥陶系沉积相与沉积演化模式[J]. *海相油气地质*, 2017, 22(3): 23-29.
- Luo Shaohui, Li Jiumei, Zhang Xuguang, et al. Depositional facies and sedimentary evolution model of Ordovician in Yubei area, Tarim Basin[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2017, 22(3): 23-29.
- [34] 马宇驰. 塔里木盆地玉北地区奥陶系层序地层及沉积相研究[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2016.
- Ma Yuchi. Study on Ordovician sequence stratigraphy and sedimentary facies in the Yubei region of the Tarim Basin [D]. Beijing: China University of Petroleum, Beijing, 2016.
- [35] 韩杰, 吴萧, 潘文庆, 等. 塔里木盆地西北缘巴楚—乌什露头区奥陶系沉积相特征[J]. *沉积学报*, 2015, 33(4): 764-772.
- Han Jie, Wu Xiao, Pan Wenqing, et al. Ordovician sedimentary facies characteristic in Bachu-Wushi outcrop Area of Northwest Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2015, 33(4): 764-772.
- [36] Pomar L, Guillocheau F, Calves A G. Types of carbonate platforms: A genetic approach [J]. *Basin Research*, 2001, 13(3): 313-334.
- [37] Lin C, Yang H, Liu J, et al. Sequence architecture and depositional evolution of the Ordovician carbonate platform margins in the Tarim Basin and its response to tectonism and sea-level change [J]. *Basin Research*, 2012(24): 559-582.
- [38] P Razin F G A G. Carbonate platform margins and associated turbiditic systems in response to high aggradation rates the Palaeogene platform margin in Oman [C]// *Geophysical Research Abstracts*. Vienna, Austria: EGU, 2012.
- [39] 丁梦. 塔里木盆地寒武—奥陶系碳酸盐岩台地边缘结构样式及展布[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013.
- Ding Meng. The edge structure and spread of cambrian-ordovician carbonate terraces in the Tarim Basin [D]. Beijing: China University of Petroleum, Beijing, 2013.
- [40] 王冠, 樊太亮, 刘海龙. 塔里木盆地塔中—古城地区奥陶系碳酸盐岩台地边缘相特征及演化[J]. *现代地质*, 2014, 28(5): 995-1007.
- Wang Guan, Fan Tailiang, Liu Hailong. Characteristics and evolution of Ordovician Carbonate platform marginal facies in Tazhong-Gucheng area, Tarim Basin[J]. *Geoscience*, 2014, 28(5): 995-1007.
- [41] 孟祥杰, 高志前, 樊太亮, 等. 塔里木盆地中—下奥陶统台缘结构特征及油气指示意义[J]. *新疆石油地质*, 2015, 36(3): 293-298.
- Meng Xiangjie, Gao Zhiqian, Fan Tailiang, et al. Structural characteristics of carbonate platform margins in Lower-Middle Ordovician of Tarim Basin and related hydrocarbon implication [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2015, 36(3): 293-298.
- [42] 贺锋, 林杨松, 刘景彦, 等. 塔东南寒武系—中下奥陶统碳酸盐岩台缘带的迁移与相对海平面变化的关系[J]. *石油与天然气地质*, 2017, 38(4): 711-721.
- He Feng, Lin Changsong, Liu Jingyan, et al. Migration of the Cambrian and Middle-Lower Ordovician carbonate platform margin and its relation to relative sea level changes in southeastern Tarim Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2017, 38(4): 711-721.

(编辑 张亚雄)