

# 塔里木盆地塔东地区下古生界碳酸盐岩 储层特征与勘探领域

刘伟<sup>1</sup>, 沈安江<sup>2,3</sup>, 柳广弟<sup>1</sup>, 郑兴平<sup>2,3</sup>, 陈娅娜<sup>2</sup>, 张友<sup>2</sup>

(1 中国石油大学(北京); 2 中国石油杭州地质研究院; 3 中国石油天然气集团公司碳酸盐岩储层重点实验室)

**摘要** 塔里木盆地塔东地区下古生界碳酸盐岩勘探虽已获得突破,但储层类型和主控因素不清、有效储层分布规律不明一直是制约该区勘探领域评价和井位部署的瓶颈之一。基于露头、岩心、薄片、钻井、测试和地震等资料,综合地球化学分析数据,指出塔东地区发育5类储层,分别为奥陶系一间房组—鹰山组上段的灰岩礁滩溶蚀型储层、鹰山组下段—蓬莱坝组的溶蚀型白云石化储层、寒武系台缘丘滩白云岩储层、塔东低凸起上寒武统斜坡深水重力流型白云岩储层和上震旦统微生物丘滩白云岩储层。其中溶蚀型白云石化储层和台缘丘滩白云岩储层是塔东地区重要的储层类型,礁(丘)滩体和溶蚀作用是这两类储层发育的主控因素。在此基础上评价了两个现实勘探领域和三个风险勘探领域。

**关键词** 塔东地区; 碳酸盐岩储层; 礁滩体; 溶蚀作用; 勘探领域

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

## 1 引言

塔东地区主要指塔里木盆地羊屋2井—满参1井—塔中32井—古城一线以东的地区(图1),包括塔东低凸起、满加尔凹陷、英吉苏凹陷以及孔雀河斜坡等二级构造单元,面积约 $12 \times 10^4 \text{ km}^2$ <sup>[1]</sup>。塔东地区碳酸盐岩油气勘探始于1989年,目前有探井20口(12口是2011年以来的新井),其中10口井获不同程度的油气显示或工业油气流,揭示了塔东地区下古生界碳酸盐岩良好的勘探前景。但是,由于塔东地区经历了多期构造活动和构造热事件<sup>[2-3]</sup>,烃源岩演化程度高<sup>[4-5]</sup>,成藏期次和后期保存条件复杂<sup>[6-8]</sup>,故下古生界碳酸盐岩油气勘探仍然面临诸多难题,其中关键难题之一是下古生界碳酸盐岩储层经历多期叠加改造而具有强烈的非均质性,储层类型、储层发育主控因素和储层规模不清,这直接影响了勘探领域评价和井位部署。

本文基于露头、16口井的岩心和薄片资料,综合钻井、录井和测试资料以及地球化学测试数据等,指出塔东地区发育5类储层,分别为奥陶系一间房组—鹰山组上段的灰岩礁滩溶蚀型储层、鹰山组下段—

蓬莱坝组的溶蚀型白云石化储层、寒武系台缘丘滩白云岩储层、塔东隆起上寒武统斜坡深水重力流型白云岩储层和上震旦统微生物丘滩白云岩储层,其中溶蚀型白云石化储层和台缘丘滩白云岩储层是塔东地区重要的储层类型,明确了礁(丘)滩体和溶蚀作用是这两类储层发育的主控因素,评价了两个现实勘探领域和三个风险勘探领域,期望能为塔东地区下古生界碳酸盐岩油气勘探提供支撑。

## 2 储层发育地质背景

塔东地区下古生界碳酸盐岩地层发育较全,在台地和斜坡—盆地两大相区均有分布(表1,图2)<sup>[9-11]</sup>。

从塔东1、塔东2、米兰1、古城4、古城6、城探1等钻井和却尔却克山、雅尔当山等剖面(位置见图2)来看,台地相区震旦系碳酸盐岩厚0~800 m,寒武系和中—下奥陶统蓬莱坝组、鹰山组、一间房组碳酸盐岩累计厚度近2 000 m,上覆吐木休克组碎屑岩;震旦系顶和寒武系顶存在明显的层间暴露剥蚀面。需要说明的是,根据工作程度一般把鹰山组分为上段和下段,在局部研究程度较高的井区,鹰山

收稿日期: 2016-01-12; 改回日期: 2016-03-06

本文受国家科技重大专项“四川、塔里木等盆地及邻区海相碳酸盐岩大油气田形成条件、关键技术及目标评价”(编号:2011ZX05004)资助  
刘伟: 1978年生,高级工程师。2008年中国石油勘探开发研究院毕业,获博士学位。从事海相碳酸盐岩沉积与储层研究。通讯地址: 100083 北京市海淀区学院路20号; E-mail: liuwei086@petrochina.com.cn

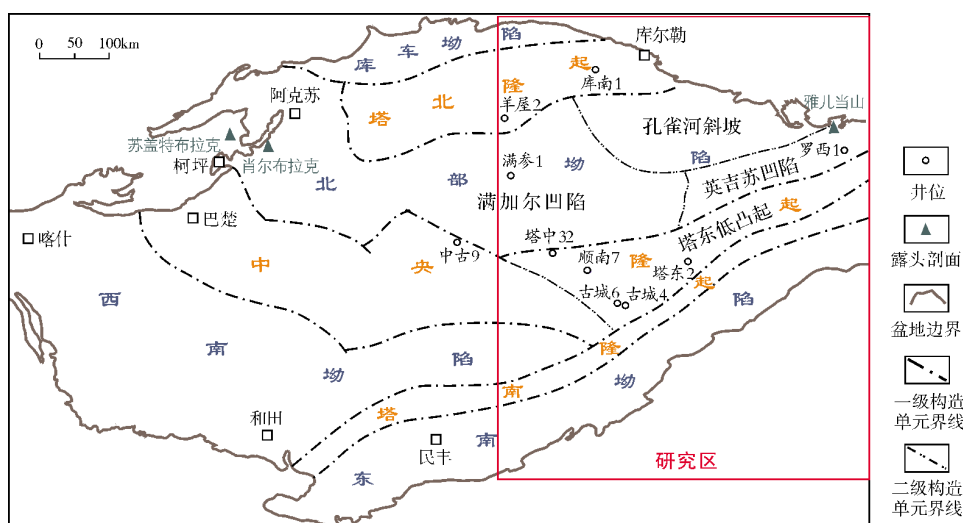


图1 塔里木盆地塔东地区构造位置

表1 塔东地区震旦系、寒武系和奥陶系地层与岩性简表

地 层		台 地 相 区	斜 坡 — 盆 地 相 区
		组(段)、岩性	群(组)、岩性
奥陶系	上统	吐木休克组: 泥晶生物碎屑灰岩、泥灰岩, 向上过渡为泥岩	却尔却克组: 巨厚暗色泥质岩、灰绿色粉—细砂岩为主
	中统	一间房组: 亮晶颗粒灰岩夹泥晶灰岩、生物礁(丘)	黑土凹组: 黑色页岩、泥岩、硅质岩为主, 夹粉砂岩和薄层灰岩
		鹰山组上段(鹰一段和鹰二段): 颗粒灰岩、泥晶灰岩互层, 夹生物礁	
	下统	鹰山组下段(鹰三段和鹰四段): 颗粒灰岩、泥晶灰岩夹白云岩	
		蓬莱坝组: 颗粒灰岩、泥晶灰岩、白云岩互层	突尔沙克塔格群(上亚群): 泥晶灰岩、泥质条纹灰岩
寒武系	上统	丘里塔格组: 巨厚结晶白云岩、颗粒白云岩、藻纹层白云岩, 上部可夹石灰岩, 顶部为侵蚀暴露面	突尔沙克塔格群(下亚群): 泥粉晶白云岩、细—中晶白云岩, 有的出现粉晶灰岩
	中统	尚未钻遇。根据塔北钻井和阿克苏露头区资料推测为礁丘白云岩、泥晶白云岩和砂屑、晶粒白云岩	莫合尔山组: 灰黑色泥岩夹泥质灰岩、泥灰岩
	下统	尚未钻遇。根据塔北钻井和阿克苏露头区资料推测为礁丘白云岩、泥晶白云岩和砂屑、晶粒白云岩	西大山组、西山布拉克组: 黑色泥岩、硅质泥岩为主
震旦系		东部塔东 1 井、东探 1 井等钻遇震旦系水泉组, 以泥—粉晶白云岩、细晶白云岩、蓝细菌白云岩为主, 顶部为侵蚀暴露面	

组上段又细分为鹰一段和鹰二段, 鹰山组下段则细分为鹰三段和鹰四段。

斜坡—盆地相区碳酸盐岩主要见于震旦系、上寒武统(突尔沙克塔格群下亚群)和下奥陶统(突尔沙克塔格群上亚群), 累计厚度 200~1 300 m, 震旦系顶存在明显的暴露剥蚀面。塔东地区碳酸盐岩的分布为储层发育奠定了物质基础。

前人对塔东地区早古生代岩相古地理做过较为系统的工作, 编制了系列岩相古地理图或沉积相图<sup>[11-14]</sup>。塔东地区早古生代总体为两台夹一盆的古

地理面貌(图 2)。台地相区以碳酸盐岩沉积为主, 台缘带礁滩和台内浅滩在不同层位均见规模发育, 斜坡—盆地相区以泥质沉积为主(黑土凹组、莫合尔山组和西大山组、西山布拉克组), 形成了优质烃源岩。在斜坡部位发育的碳酸盐重力流沉积<sup>[15]</sup>, 尤以上寒武统和下奥陶统的突尔沙克塔格群最为典型。早寒武世至晚寒武世, 台地边缘呈缓坡—弱镶边—强镶边的演化特征, 奥陶纪主体呈加积型强镶边演化特征。碳酸盐岩层序内幕发育多期小规模暴露, 这为颗粒滩灰岩的孔隙发育提供了地质背景。

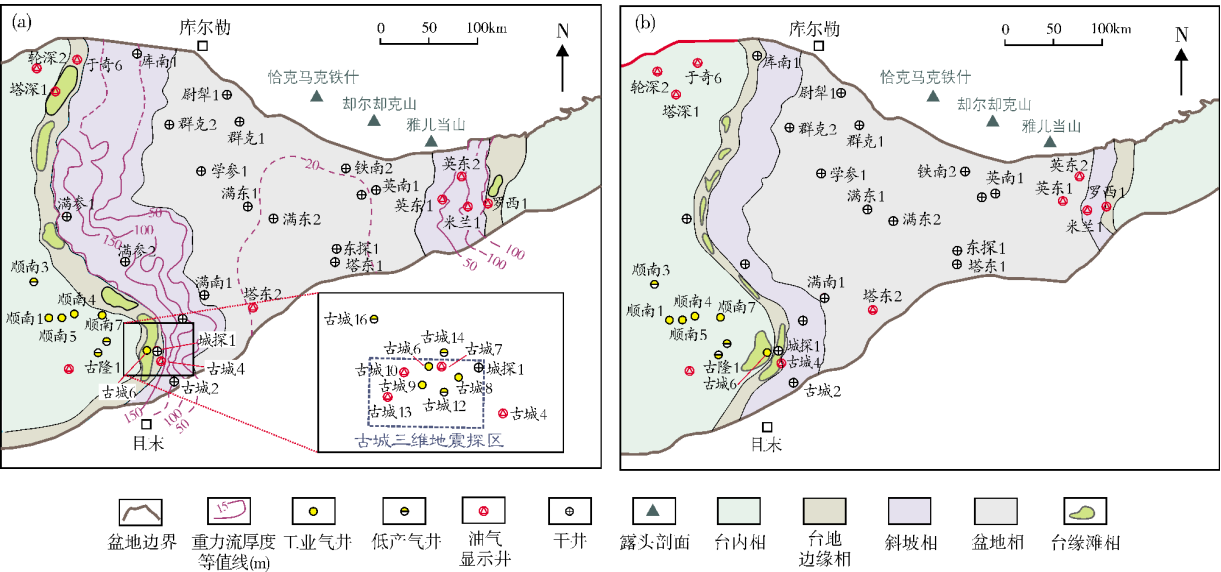


图2 塔里木盆地塔东地区上寒武统(a)和奥陶系鹰山组下段(b)岩相古地理(据文献[11-14]编绘)

3 储层类型与成因

塔东地区下古生界碳酸盐岩沉积相类型的多样性以及多期次表生暴露、埋藏溶蚀、埋藏白云石化作用导致储层类型多样、成因复杂。根据储层成因和分

布,可以将储层分为5种类型,分别是一间房组—鹰山组上段的灰岩礁滩溶蚀型储层、鹰山组下段—蓬莱坝组的溶蚀型白云石化储层、寒武系台缘丘滩白云岩储层、塔东低凸起上寒武统斜坡深水重力流型白云岩储层和上震旦统微生物丘滩白云岩储层(表2)。

表2 塔东地区震旦系—下古生界碳酸盐岩储层类型及勘探领域

序号	储层类型	层位	代表井	储层特征	勘探面积(km <sup>2</sup> )	勘探领域评价
1	灰岩礁滩溶蚀型储层	一间房组   鹰山组上段	顺南1 顺南4 顺南7 古城4 古城10 罗西1	储集空间: 以粒间溶孔、粒内溶孔、微细溶蚀孔、构造缝(胶结残余)等为主; 孔隙度: 最大3.81%, 平均0.84%(N=97); 测井解释: I+II类储层平均单井厚度3.7m(6口井统计结果)	6000	顺南(现实勘探领域) 古城(潜在勘探领域)
2	溶蚀型白云石化储层	鹰山组下段   蓬莱坝组	古城6 古城7 古城8 古城9 古城13 顺南5	储集空间: 以溶蚀缝洞、晶间溶孔、晶间孔、构造缝等为主; 孔隙度: 最大6.70%, 平均2.21%(N=55); 测井解释: I+II类储层平均单井厚度17.5m(6口井统计结果)	4000	古城 (现实勘探领域)
3	台缘丘滩白云岩储层	寒武系	古城4 城探1	储集空间: 包括较大尺度的溶蚀缝洞和较小尺度的晶间溶孔、晶间孔、细小溶蚀缝等; 孔隙度: 最大5.10%, 平均2.0%(N=18); 测井解释: I+II类储层单井厚度102m(2口井统计结果)	1800	古城台缘带 (现实勘探领域)
4	斜坡深水重力流型白云岩储层	上寒武统	塔东1 塔东2 东探1 尉犁1	储集空间: 以溶蚀孔洞、(砾)间溶孔、晶间溶孔、溶蚀缝、构造缝为主; 孔隙度: 最大4.01%, 平均1.11%(N=70), 非均质性较强; 测井解释: I+II类储层平均单井厚度37m(3口井统计结果)	4000	塔东低凸起 (风险勘探领域)
5	微生物丘滩白云岩储层	上震旦统	米兰1 英东1 英东2 库南1	储集空间: 以伴随裂缝的溶蚀小孔洞为主, 另有晶间(溶)孔等; 孔隙度: 0.2%~2.13%, 平均0.92%(N=25); 测井解释: I+II类储层单井厚度7.2m(3口井统计结果)	8600	塔东低凸起 (风险勘探领域)

其中鹰山组下段—蓬莱坝组白云石化溶蚀型储层和寒武系台缘丘滩白云岩储层,有良好的气测显示,并取得了工业性突破,这是塔东地区主要的和现实的储层类型。塔东地区西部台内—台缘带的古城 6 井在鹰山组下段获得天然气  $26.4234 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  的工业产能,古隆 1 井在鹰山组下段获得  $1.0067 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  的天然气产量,古城 4 井在一间房组和鹰山组均见有大量的沥青,近年来古城三维区的古城 7 井鹰山组下段气测显示很好,古城 8 井鹰山组下段获天然气  $47.84 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  的工业产能,古城 9 井鹰山组下段获天然气  $107.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  的工业产能。塔东地区东部台缘带的罗西 1 井在鹰山组见轻质原油侵染裂缝。台盆相区的塔东 2 井在寒武系获 52 升原油和少量的天然气,西部台缘带的城探 1 井在寒武系丘滩体中见很好的气测显示(由于工程原因未测试)。

本文重点介绍这两类储层的特征、成因和分布。其它三类储层,由于研究程度较弱,系统客观地论述其成因和控制因素尚还有困难,故在文中仅描述其储层特征(参见表 2)。

### 3.1 溶蚀型白云石化储层

塔东地区蓬莱坝组和鹰山组下段普遍发生白云石化,而且具有由下向上白云石化程度逐渐减弱的趋势。白云岩呈准层状、透镜状与灰岩大面积间互分布,白云石化率 30%~70%不等,由东向西白云石化率具逐渐增大的趋势,并一直延伸到塔中地区。储层主要见于白云岩中,未白云石化的石灰岩往往较致密,导致储层强烈的非均质性,故一般认为白云石化是储层发育的主控因素。古城 6、古城 7、古城 8、古城 9、古城 12 井在这套储层中发现了高产工业气流或很好的气测显示,产层为鹰山组三段,故本文以古城地区鹰三段为重点,探讨溶蚀型白云岩储层的成因和分布规律。研究认为这类储层的发育受以下三个因素控制。

#### 3.1.1 礁滩相沉积是储层发育的基础,相控特征明显

古城地区白云岩储层有大量残留颗粒结构或幻影,反映原岩为颗粒滩相的石灰岩(图 3a, 3b, 3d, 3g)。对 39.55 m 岩心、302 个井壁取心、333 块薄片以及 7100 m 成像测井资料分析统计,古城地区鹰山组下段—蓬莱坝组发育半局限台地颗粒滩夹滩间洼地、潮坪相沉积,颗粒滩是优势相(图 3c—3e)。鹰三段亮晶颗粒灰岩的比例高达 37%、泥晶/粘结颗粒灰岩的比例达到 33%,鹰四段亮晶颗粒灰岩的比例 16%、泥晶/粘结颗粒灰岩的比例达到 42%,这可能与紧邻台缘带、颗粒滩发育的地质背景优越有关,它为规模白云岩储层的发育奠定了基础。

基于岩心、薄片的标定,本文建立了亮晶颗粒灰岩(高能滩)(图 3c)、泥晶/粘结颗粒灰岩(中低能滩)(图 3d)、颗粒泥晶灰岩(滩间洼地)(图 3e)、残余颗粒白云岩、泥粉晶白云岩(潮坪)(图 3f)的成像测井和常规测井的岩-电识别标准(表 3)。据此,对古城地区 9 口井的鹰山组进行了测井岩性识别,经过井-震标定,通过时间切片,预测了古城地区鹰山组三段颗粒滩的分布(图 4),由图 4 可见,鹰三段早期发育 2 个颗粒滩条带,晚期西部颗粒滩连片分布,这些颗粒滩为古城地区规模储层的发育奠定了物质基础。

#### 3.1.2 颗粒滩暴露和淡水溶蚀是储集空间发育的关键

塔东地区的储层发育于白云岩中,而且白云岩的原岩为颗粒灰岩,但并不是所有的颗粒灰岩都发生了白云石化,因为这与原岩的孔隙特征有关。一方面,只有具较好孔渗性的原岩,才能在埋藏环境中为白云石化介质提供通道并导致白云石化;而未发生白云石化的颗粒灰岩大多较致密则从另一个方面说明了此问题。原岩的孔隙特征受沉积环境和早表生成岩环境控制,沉积环境控制原生孔隙的发育或破坏(胶结作用等),早表生期大气淡水淋溶则控制组

表3 基于岩心和薄片标定的奥陶系鹰山组三段不同岩性的岩-电识别标准

序号	岩 性	沉 积 相	成像测井特征	常规测井特征
1	亮晶颗粒灰岩	高能滩	厚层块状,高阻背景,有孔隙呈麻斑状暗点	低去铀伽马,伽马、电阻可高可低
2	泥晶/粘结颗粒灰岩	中低能滩	中—厚层,可夹暗色泥质纹层,中阻背景	铀伽马、伽马略偏高
3	颗粒泥晶灰岩	滩间洼地	薄层、暗色低阻纹层密集	去铀伽马略偏高,伽马偏高
4	残余颗粒白云岩	高能滩或中低能滩	厚层块状,高阻背景,有孔隙呈麻斑状暗点	低去铀伽马,伽马、电阻可高可低
5	泥粉晶白云岩	潮 坪	薄层、暗色低阻纹层密集	去铀伽马略偏高、伽马偏高



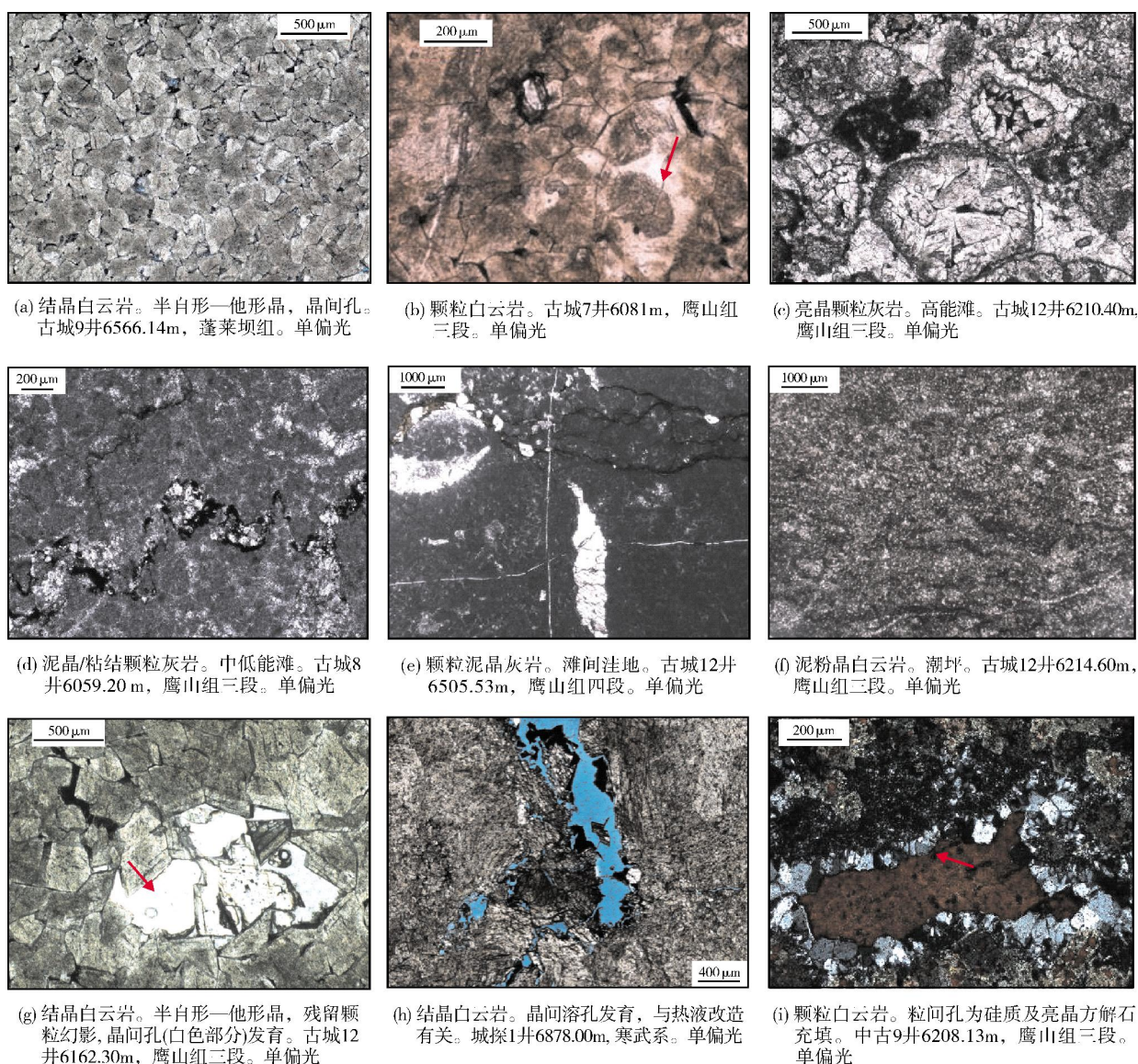


图3 塔里木盆地古城地区奥陶系颗粒滩和白云岩储层微观特征

构选择性溶孔的发育，并使原生孔隙进一步溶蚀扩大<sup>[16]</sup>。

古城地区鹰山组三段的内幕发育多期与海平面下降相关的暴露，岩心和薄片中可以见到较多渗流粉砂、示底构造和钙屑砂泥(渗流沉积)混杂堆积的现象，这些均反映了早表生期大气淡水淋滤作用非常普遍，并导致白云石化呈层状分布(图5)。白云岩位于向上变浅旋回的上部，似乎是受海平面变化控制，其实质是海平面变化控制了碳酸盐沉积物的暴露和组构选择性溶孔的发育，而溶孔的发育又为白云石化介质提供了通道的缘故。这也就为白云岩储

层预测提供了依据，即海平面旋回顶部的颗粒滩往往容易发生白云石化而成为有效储层。

### 3.1.3 白云石化和热液活动对储层有双重改造作用

前已述及，储层发育于白云岩中，但并不是所有的白云岩都是储层，这使得传统所认为的白云石化对孔隙发育贡献大的观点面临了挑战<sup>[17]</sup>。古城地区白云岩储层的储集空间以晶间孔和晶间溶孔为主，从晶间孔和残留颗粒结构分析(图3g)，晶间孔实际上是对原岩粒间孔的继承和调整，原岩的孔隙度不但会影响白云石化作用，而且还会影响白云岩储层的物性。事实上，前人已经对白云岩的原岩和孔隙的



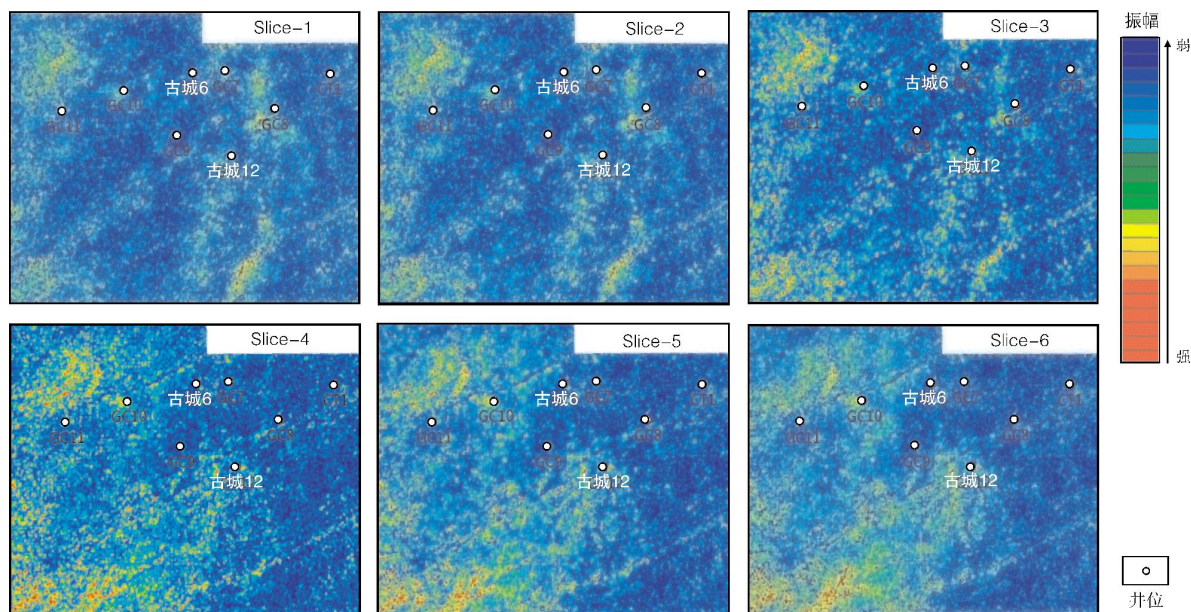


图4 基于地震属性分析的古城地区奥陶系鹰山组三段颗粒滩分布预测图  
slice1—slice6 代表由早至晚的时间切片,黄绿色代表颗粒滩沉积。古城三维地震探区位置见图2

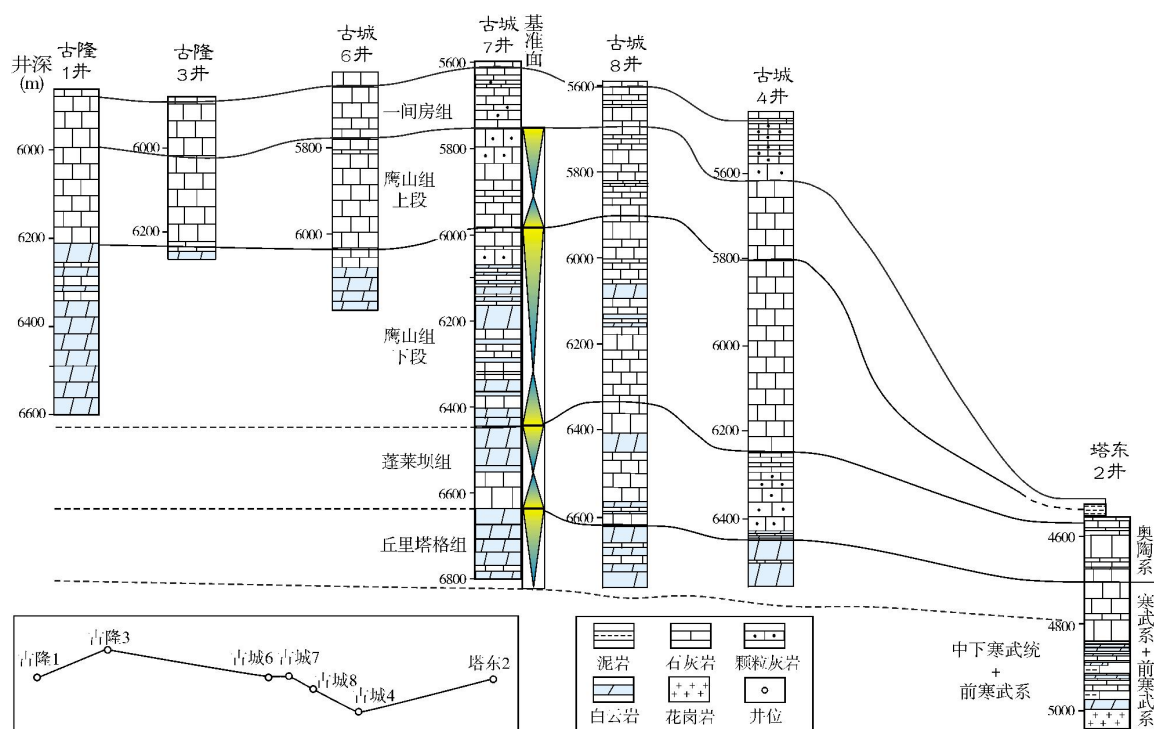


图5 塔东地区奥陶系鹰山组—蓬莱坝组连井剖面  
剖面揭示了白云石化和白云岩储层与颗粒滩、海平面升降的关系

成因做过深入的研究,认为晶粒白云岩的原岩大多为颗粒灰岩,白云岩的孔隙是对原岩孔隙的继承和调整<sup>[18]</sup>,塔东地区鹰山组白云岩储层也不例外。

热液对储层的改造具有双重作用:一方面,通过埋藏—热液溶蚀作用形成晶间溶孔(图3h);另一方面,通过热液矿物的充填而破坏孔隙<sup>[19]</sup>(图3i)。按断

层的活动时间和规模,塔东地区大致发育三期断层(图6):第①期断层活动较早,仅断穿寒武系底,规模一般小于3km,总体呈NE走向,不能作为鹰三段的热液通道;第②期断层断穿寒武系底—奥陶系灰岩顶,或者断穿寒武系底并进入奥陶系鹰山组,规模大,一般大于10km,总体呈NE走向,可作为鹰三段的热液通道,其中,不断穿奥陶系顶的断层最有利于热液白

云岩储层的发育;第③期断层活动较晚,仅断穿中下奥陶统,规模中等,一般3~10km,总体呈NW、NE、NNE走向,不能作为鹰三段的热液通道。热液作用导致的白云岩储层侧向上的分带性和非均质性(图7),可分为颗粒滩白云岩储层发育带(Ⅱ类储层,基质孔)、埋藏—热液溶扩孔洞带(Ⅰ类储层,基质孔+孔洞)、硅质胶结充填带和白云石/方解石胶结充填带。

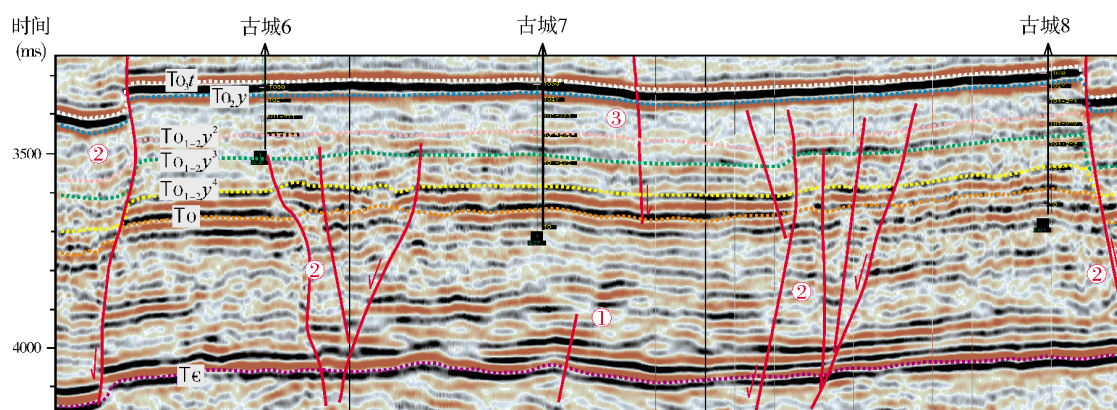


图6 塔里木盆地古城地区寒武系—奥陶系断裂发育特征

$O_3t$  吐木克组;  $O_2y$  一间房组;  $O_{1-2}y^2, O_{1-2}y^3, O_{1-2}y^4$  分别对应鹰山组二段、三段和四段

①、②、③分别代表3期断层

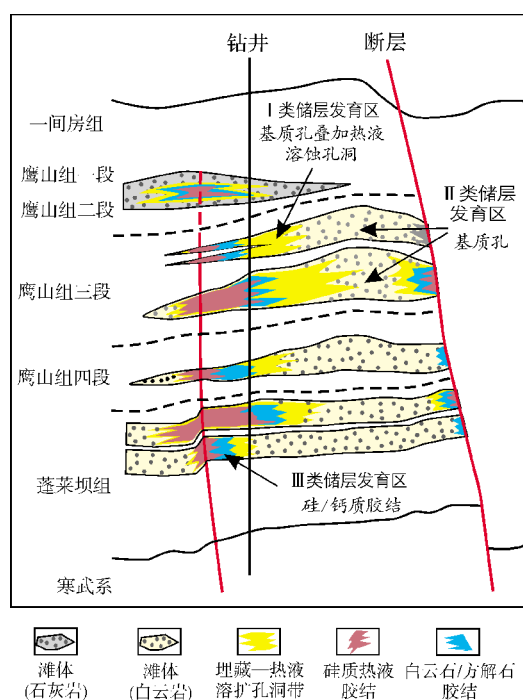


图7 塔里木盆地古城地区奥陶系鹰山组—蓬莱坝组埋藏—热液溶蚀、胶结序列与模式

综上所述,塔东地区鹰山组下段大面积发育溶蚀型白云石化储层,颗粒滩沉积是储层发育的基础,在原生粒间孔的基础上,颗粒滩暴露和淡水溶蚀是储集空间发育的关键,以组构选择性溶孔为主,同时为白云石化介质提供了通道,这也是导致白云石化呈斑块状和透镜状分布的原因。白云石化本身对储集空间的贡献并不大,但由于在表生环境中,白云岩比石灰岩难溶,白云岩构成的坚固格架有利于孔隙的保存,在深埋环境中,白云岩则比石灰岩易溶<sup>[20]</sup>,有利于通过埋藏-热液溶蚀作用而形成溶蚀孔洞。埋藏-热液溶蚀作用是把双刃剑,它既可以通过溶蚀作用形成孔隙,又可以通过热液矿物的沉淀而破坏孔隙。埋藏溶蚀孔洞沿先存孔隙发育带的分布具有继承性<sup>[21]</sup>,这也是埋藏-热液溶蚀孔洞主要发育于白云岩中的原因。

### 3.2 台缘丘滩白云岩储层

塔东地区西部寒武系由北向南发育轮古—古城台缘带,南北长近250km,东西宽近20km(图2a)。下寒武统以远端变陡的碳酸盐缓坡为特征,微生物丘

发育;中寒武统呈弱镶边特征,以微生物丘为主,伴生颗粒滩沉积;上寒武统为镶边台地特征,以颗粒滩沉积为主,伴生微生物丘。于奇6井和塔深1井位于轮古—古城台缘带的北段(图2a),钻遇的目的层为上寒武统,岩性为晶粒白云岩,推测原岩为礁

滩相沉积,溶蚀孔洞发育。城探1井和古城4井位于轮古—古城台缘带的南段,钻遇目的层为中上寒武统,晶粒白云岩中可见颗粒和微生物结构残留。本文重点以城探1井为例阐述寒武系台缘带丘滩储层的成因(图8)。

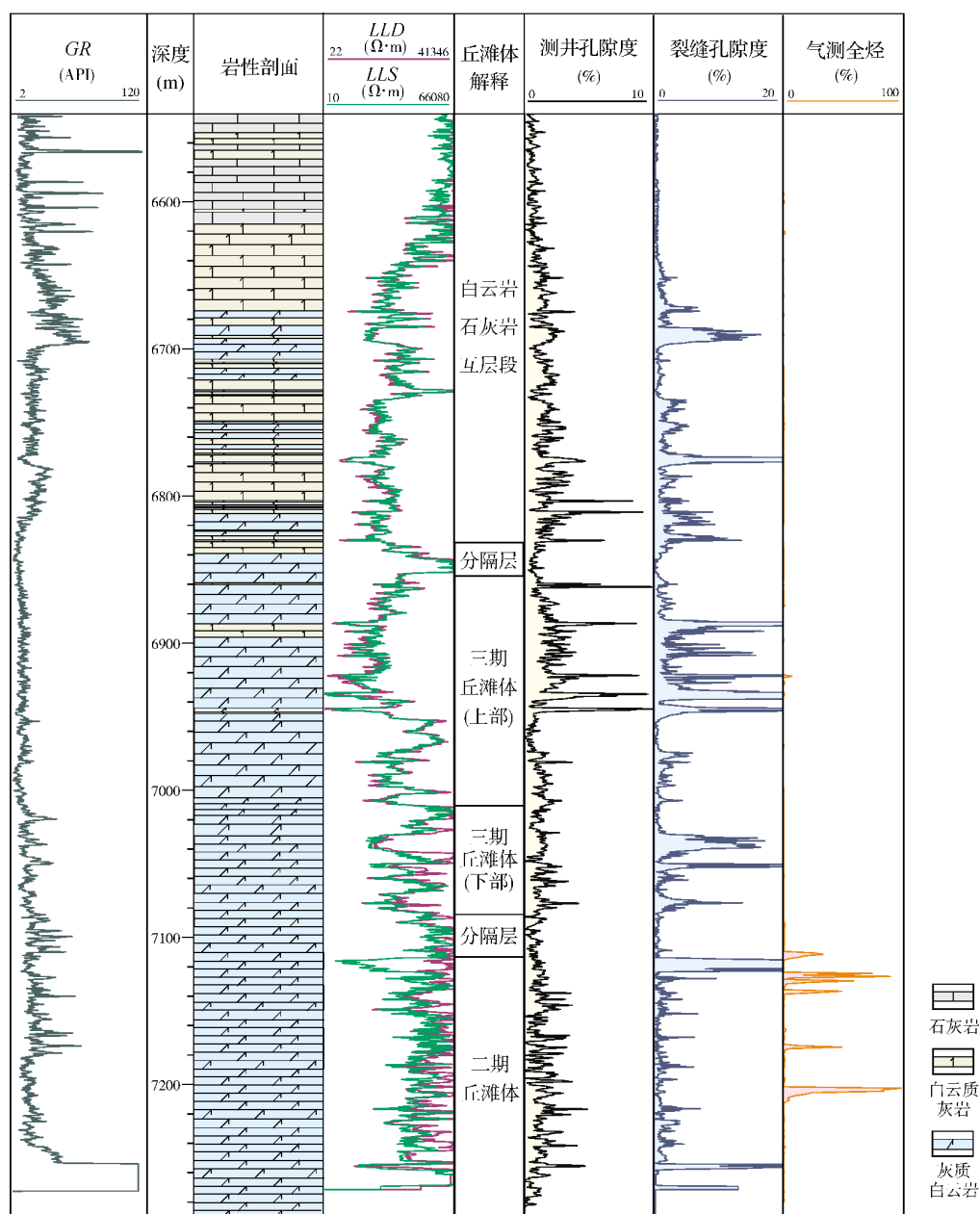


图8 塔里木盆地古城地区城探1井寒武系综合柱状图

### 3.2.1 台缘带丘滩体是储层发育的基础, 相控特征明显

地震资料显示古城地区寒武系台缘带发育多期

进积型丘滩体(参见图9)。丘滩体形态完整,丘状反射特征明显,第三期丘滩体顶部反射明显增强,前翼存在削截现象。城探1井钻遇第三期丘滩体的核部和



第二期丘滩体的翼部。第三期丘滩体上部岩心和井壁取心(第三期丘滩体下部和第二期丘滩体的翼部),薄片鉴定结果为颗粒白云岩和藻白云岩(图10a,10b),反映丘滩相沉积,薄片只见到少量好

的基质孔,但岩心溶蚀孔洞发育(图10c,10d)。第二期丘滩体气测显示很好,只是由于工程原因未能测试,第三期丘滩体为水层,这说明这套丘滩体应该发育好的储层。

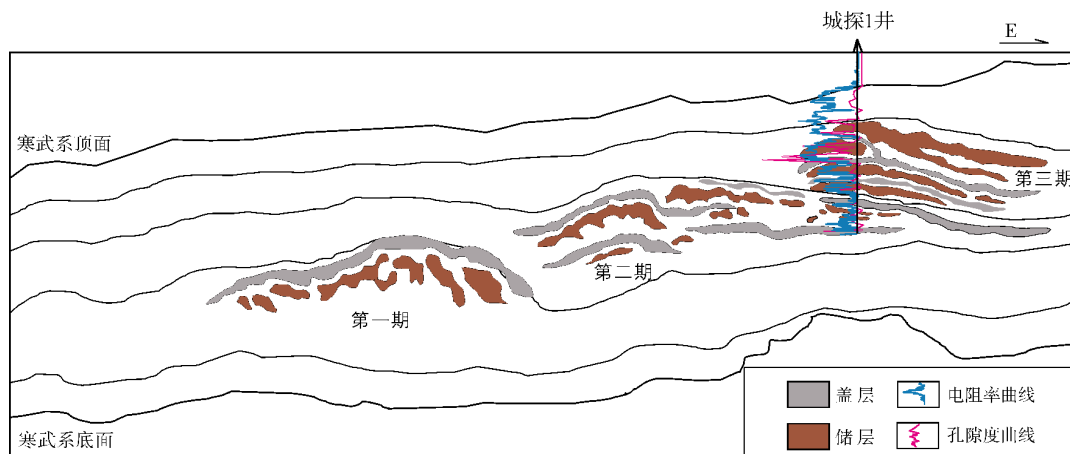


图9 塔里木盆地古城地区地震剖面的地质解释  
剖面揭示了寒武系发育多期丘滩体

该地区钻遇寒武系的钻井少,为了客观认识这套丘滩储层的特征,开展了柯坪地区苏盖特布拉克剖面寒武系肖尔布拉克组台缘带丘滩体解剖研究(图10e,10f,图11),这可为古城地区丘滩体认识提供借鉴。通过解剖发现,肖尔布拉克组上段多期丘滩体叠置发育,早期丘滩规模小,为点丘和透镜状滩,晚期丘滩规模大,呈厚层状连片发育,具“小丘大滩”的特征,厚层的砂屑滩为孔隙发育最主要的载体(图11)。

### 3.2.2 储集空间主要形成于表生环境的溶蚀作用

地震和岩心资料均揭示寒武系台缘丘滩体经历了表生期暴露溶蚀。地震剖面上,台缘丘滩体顶部有削截现象。钻遇第三期丘滩体的城探1井寒武系岩心见有溶塌角砾岩(图10d)和渗流粉砂、示底构造,并且溶洞充填物 $Sr/Ba < 1$ ,指示淡水沉积。表生岩溶作用形成规模不等的溶孔、溶洞及溶缝,对于储层的形成和改善有重要作用。岩溶垮塌作用形成的角砾岩具有较大的砾间孔洞,这为晚期热液流体进一步改造储层提供了有利条件。

### 3.2.3 埋藏-热液溶蚀作用对储集空间的发育具重要贡献

矿物学、流体包裹体测温和同位素等数据表明,塔东地区寒武系经历了热液改造。首先,不同规

模的溶蚀孔洞中发现了鞍状白云石、石英、方解石等矿物,包裹体均一温度主峰在 $160 \sim 200^{\circ}\text{C}$ ;其次,多数样品碳、氧同位素严重偏负,反映了较高的形成温度<sup>[22]</sup>;此外, $Sr$ 同位素比值高于寒武纪海水值,这可能与深部热液流经寒武系底部碎屑岩地层或结晶基底有关<sup>[19]</sup>。与奥陶系鹰山组类似,热液流体对寒武系的改造包括溶蚀成孔和钙镁/硅质胶结两个方面,岩心所见的溶蚀孔洞与埋藏-热液溶蚀作用有关,热液矿物则堵塞部分孔隙,增加储层的非均质性。

综上所述,古城地区寒武系台缘带发育规模丘滩储层,并具“小丘大滩”的特征,滩是储层的载体,在原生粒间孔的基础上,储集空间主要形成于表生环境的溶蚀扩大,以组构选择性溶蚀孔洞为主,埋藏-热液溶蚀作用形成的溶蚀孔洞对储集空间有重要贡献,主要沿先存的原生孔和组构选择性溶蚀孔发育带分布,具继承性,先存孔隙为埋藏-热液溶蚀介质提供了通道。

## 4 勘探领域评价

基于上述储层地质认识和已经取得的勘探成果,塔东地区下古生界(含震旦系)碳酸盐岩勘探领域是清晰的,可划分为两大类五个勘探领域(表2,图12)。

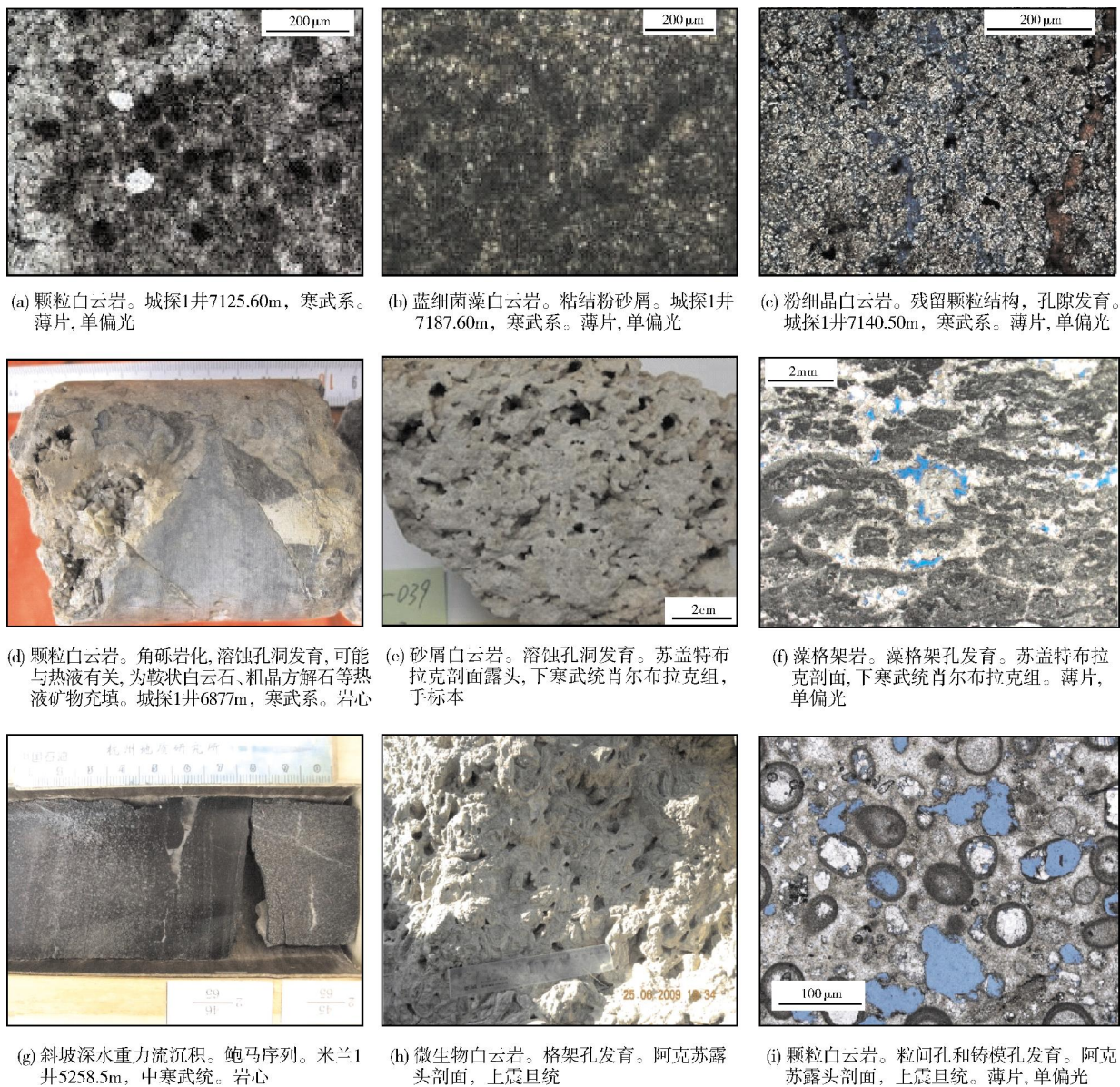


图10 塔里木盆地寒武系—震旦系储层特征:丘滩体(a—f), 重力流(g), 微生物岩(h—i)

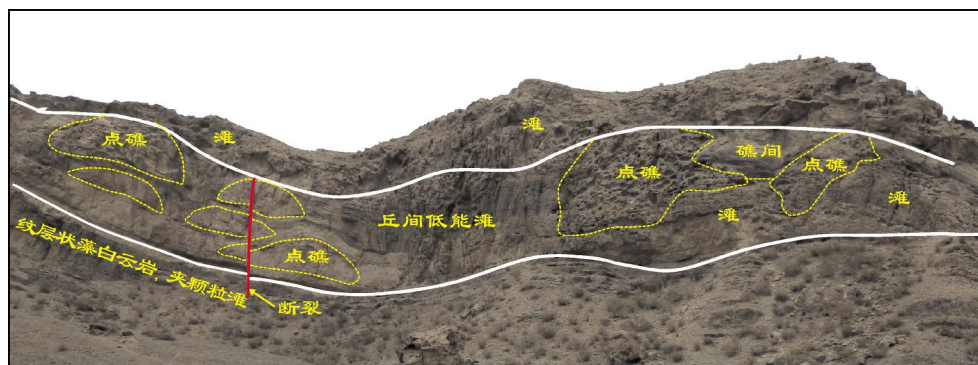


图11 塔里木盆地柯坪地区苏盖特布拉克剖面下寒武统肖尔布拉克组台缘礁滩体地质剖面



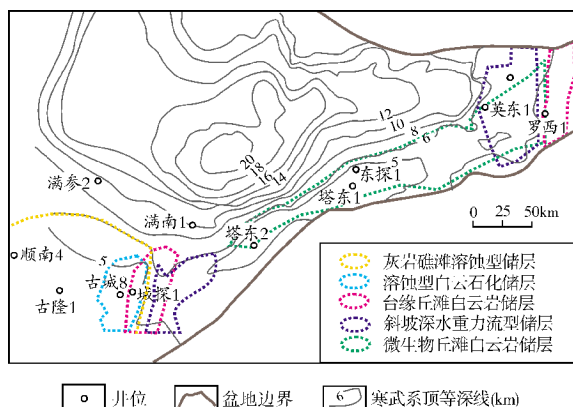


图12 塔里木盆地塔东地区下古生界碳酸盐岩勘探领域评价

#### 4.1 两个现实勘探领域

下奥陶统鹰山组下段—蓬莱坝组溶蚀型白云石化储层勘探领域 目前勘探集中在古城地区,层位主要位于鹰山组下段。白云岩储层大面积分布,古城7、古城8、古城9、古城12井相继获得高产气流或很好气测显示,但储层的非均质性也很强,可能以形成大面积展布的小气藏群为特征。

寒武系台缘丘滩白云岩储层勘探领域 塔东地区寒武系发育轮古—古城台缘带,南北长近250 km,东西宽近20 km,发育4期丘滩体。阿克苏露头剖面和城探1井井壁取心均证实了这套规模储层的存在。城探1井在寒武系台缘带丘滩体中发现了5套非常好的气测显示,累计厚度30~50 m,展示了寒武系台缘带巨大的勘探潜力。

#### 4.2 三个风险勘探领域

中奥陶统一间房组—鹰山组上段灰岩礁滩溶蚀型储层勘探领域 古城地区的钻井以及罗西1井均揭示塔东地区发育中奥陶统一间房组—鹰山组上段灰岩礁滩溶蚀型储层。顺南地区在相应层位的灰岩礁滩中发现溶蚀孔洞和洞穴,并且顺南4井钻进中放空5.48 m。古隆2井在5 750~6 000 m井段成像测井显示溶蚀孔洞发育,经储层改造后日产气量 $2 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,说明这是一个潜在的风险勘探领域。

上寒武统斜坡深水重力流型白云岩储层勘探领域 塔东地区台缘带斜坡上寒武统和蓬莱坝组发育深水重力流型白云岩储层,上寒武统最发育。据库南1、塔东1、米兰1等井资料,深水碳酸盐重力流沉积厚

50~150 m,占总厚度的比例从上斜坡的30%到盆地相区的10%,岩心上鲍马序列ABC段结构清晰(图10g)。砾间孔、晶间(溶)孔和微孔隙发育,是规模优质储层。虽然对这套储层的成因认识程度不高,但储层有相当规模,而且上下为烃源岩所夹,可以构成很好的生储组合,是值得探索的风险勘探领域。

上震旦统微生物丘滩白云岩储层勘探领域 塔东地区上震旦统主要岩石类型有蓝细菌藻白云岩(图10h)、颗粒白云岩(图10i)、泥晶白云岩、细—中晶白云岩,且以前两类为主<sup>[23-24]</sup>,原岩结构保存完好,藻架孔、粒间孔、铸模孔和溶蚀孔洞发育,是一套优质储层。塔东震旦系顶部存在不整合,推测在古隆起区和沉积区之间的过渡区发育岩溶储层(图12),也是一个值得关注的风险勘探领域。

### 5 结论与建议

塔里木盆地塔东地区寒武纪—早奥陶世呈两台夹一盆的古地理格局,盆地相区黑土凹组、莫合尔山组、西大山组和西山布拉克组等多套优质烃源岩发育,台地相区(含震旦系分布区)碳酸盐岩发育,储层类型多样,空间上形成有利的成藏组合。塔东地区埋深小于6 000 m的可勘探面积很大,是一个非常值得关注的勘探领域。

(1)塔东地区碳酸盐岩储层类型多样,包括一间房组—鹰山组上段的灰岩礁滩溶蚀型储层、鹰山组下段—蓬莱坝组溶蚀型白云石化储层、寒武系台缘丘滩白云岩储层、塔东低凸起上寒武统斜坡深水重力流型白云岩储层和上震旦统微生物丘滩白云岩储层,虽然成因复杂和非均质性强,但相控性明显,有一定规模且可预测。

(2)白云石化溶蚀型储层和台缘丘滩白云岩储层是塔东地区主要的和现实的储层类型。白云石化溶蚀型储层主要在奥陶系蓬莱坝组—鹰山组下段发育,其形成受控于礁滩相沉积和大气淡水溶蚀,白云石化和热液活动对储层有双重改造作用。台缘丘滩白云岩储层在寒武系台缘带发育,丘滩体是储层发育的基础,储集空间主要形成于表生环境的溶蚀,埋藏-热液溶蚀对储集空间的形成具有重要贡献。

(3)基于现有的地质认识程度、勘探程度和勘探成果,塔东地区碳酸盐岩层系可划分为现实的和具风险的两大类五个勘探领域。鹰山组下段—蓬莱坝组溶蚀型白云石化储层勘探领域、寒武系台缘丘滩



白云岩储层勘探领域是现实的勘探领域；一间房组—鹰山组上段灰岩礁滩溶蚀型储层、上寒武统斜坡深水重力流型白云岩储层、上震旦统微生物丘滩白云岩储层是风险勘探领域。

#### 参考文献

- [1] 吴光宏,黎兵,周新科,等.塔中古城墟隆起奥陶系钻探成果与勘探意义[J].新疆石油地质,2007,28(2): 154-157.
- [2] 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.
- [3] 陈汉林,贾承造.塔里木盆地地质热事件研究[J].科学通报,1997,42(10): 1096-1099.
- [4] 陈瑞银,赵文智,张水昌,等.塔里木盆地地下古生界油气晚期成烃成藏的地质依据[J].地学前缘,2009,16(4): 173-181.
- [5] 赵文智,汪泽成,张水昌,等.中国叠合盆地深层海相油气成藏条件与富集区带[J].科学通报,2007,52(增刊 I): 9-18.
- [6] 程宏岗,魏国齐,冉启贵,等.塔东地区下古生界固体沥青特征与油气成藏[J].天然气工业,2013,33(10): 40-46.
- [7] 张水昌,张宝民,李本亮,等.中国海相盆地跨重大构造期油气成藏历史——以塔里木盆地为例[J].石油勘探与开发,2011,38(1): 1-15.
- [8] 吕宝凤,王核,夏斌.新疆塔东地区含油气系统建设与改造[J].天然气工业,2006,26(2): 26-28.
- [9] 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.
- [10] 蔡习尧,窦丽玮,蒋华山,等.塔里木盆地塔东地区寒武系划分与对比[J].石油实验地质,2014,36(5): 539-545.
- [11] 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:石油工业出版社,2013.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 余宽宏,金振奎,李鹏,等.塔东地区寒武—奥陶纪岩相古地理分析[J].西北地质,2010,43(4): 113-118.
- [15] 郑兴平,张艳秋,张君龙,等.塔里木盆地东部寒武系碳酸盐深水重力流沉积及其储集性能[J].海相油气地质,2014,19(4): 1-8.
- [16] 沈安江,赵文智,胡安平,等.海相碳酸盐岩储集层发育主控因素[J].石油勘探与开发,2015,42(5): 1-10.
- [17] 赵文智,沈安江,郑剑锋,等.塔里木、四川及鄂尔多斯盆地白云岩储层孔隙成因探讨及对储层预测的指导意义[J].中国科学:地球科学,2014,44(9): 1925-1939.
- [18] 沈安江,余敏,胡安平,等.海相碳酸盐岩埋藏溶孔规模与分布规律初探[J].天然气地球科学,2015,26(10): 1823-1830.
- [19] Graham R D, Langhorne B S Jr. Structurally controlled hydrothermal dolomite reservoir facies: An overview[J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(11): 1641-1690.
- [20] 赵文智,沈安江,胡素云,等.塔里木盆地寒武—奥陶系白云岩储层类型与分布特征[J].岩石学报,2012,28(3): 758-768.
- [21] 赵文智,沈安江,胡素云,等.中国碳酸盐岩储集层大型化发育的地质条件与分布特征[J].石油勘探与开发,2012,39(1): 1-12.
- [22] 黄思静.碳酸盐岩的成岩作用[M].北京:地质出版社,2010.
- [23] 何金有,贾承造,邹光辉,等.新疆阿克苏地区震旦系风化石古岩溶特征及其发育模式[J].岩石学报,2010,26(8): 2513-2518.
- [24] 梁生正,孔丽萍,梁永梅,等.塔里木盆地东部大型碳酸盐岩油气藏勘探方向[J].石油实验地质,2005,27(2): 151-157.

编辑:董庸

## Characteristics and Exploration Domains of Lower Paleozoic Carbonate Reservoirs in Eastern Tarim Basin

Liu Wei, Shen Anjiang, Liu Guangdi, Zheng Xingping, Chen Ya'na, Zhang You

**Abstract:** Exploration has made great progress in Lower Paleozoic carbonate rock in eastern Tarim Basin in recent years but confused reservoir types, controlling factors and spatial distribution regularity still are the technical problems so as to affect domain evaluation and well site deployment. Based on outcrops, cores and thin sections from 20 wells, and well logging and geochemical data, five types of reservoir are recognized in the eastern part of Tarim Basin, which include: (1) Ordovician Yijianfang–Upper Yingshan reef–shoal dissolved limestone reservoirs, (2) Ordovician Lower Yingshan–Penglaiba dissolved dolomitized reservoirs, (3) Cambrian platform margin bioherm–shoal dolostone reservoirs, (4) Upper Cambrian slope deep–water gravity–flow dolostone reservoir, and (5) Upper Sinian microbial bioherm–shoal dolostone reservoirs. The dissolved dolostone reservoirs and platform bioherm–shoal dolostone reservoirs are the most significant types of reservoirs in this area. Reef or bioherm–shoal and dissolution are the main controlling factors for reservoir development. Two present exploration domains and three risk exploration domains are evaluated, which provides technical support to petroleum exploration in this area.

**Key words:** Carbonate reservoir; Reef–shoal facies; Dissolution; Petroleum exploration; Tarim Basin

Liu Wei; DSc., Senior Petroleum Geology Engineer. Add: China University of Petroleum, 20 Xueyuan Rd., Beijing, 100083, China