

塔里木盆地西北缘上震旦统 白云岩储层特征

李朋威¹, 罗平², 宋金民³, 金廷福³, 王果谦³

(1 中国石化石油勘探开发研究院; 2 中国石油勘探开发研究院; 3 成都理工大学)

摘要 以塔里木盆地西北缘震旦系露头为主要研究对象,通过地质观察、镜下鉴定与孔渗分析等研究手段,较为系统地研究了上震旦统白云岩储层的类型及其发育特征。储层主要发育四种成因类型:古岩溶型、微生物型、结晶型和热液改造型。古岩溶储层广泛发育于上震旦统的顶部,溶蚀孔隙极发育,但区域分布差异较大,受控于古构造隆起而呈带状分布;微生物白云岩储层主要发育于上震旦统的中上部,以发育与微生物结构相关的多种溶蚀孔隙为主,以低孔特低渗为特征,但横向上分布稳定,规模大,相控作用明显,为深层具有一定规模的致密储层;结晶白云岩储层以晶间孔、溶蚀孔为主,其孔隙度与渗透率具有正相关性,为低孔低渗储层,且分布局限,呈楔状或透镜状分布;热液改造型储层以与热液溶蚀作用有关的溶蚀孔隙或残余晶间孔为主,主要发育于肖尔布拉克地区,分布较为局限,多与深部大断裂有关。

关键词 塔里木盆地; 上震旦统; 白云岩储层; 储层类型; 储层特征

中图分类号: TE122.2 文献标识码: A

1 引言

塔里木盆地内部及周边的晚震旦世地层中,广泛发育了一套以微生物白云岩为主的碳酸盐岩,且这套岩层在盆地腹部往往埋藏较深。微生物碳酸盐岩能够形成良好的油气储层已成为不争的事实,如美国的亚拉巴马州上侏罗统Smackover组的凝块石礁储层储存了该州一半以上的油气储量,Mancini等^[1-2]认为凝块间的孔隙为储层的主要孔隙类型,白云石化和溶蚀作用对储层的储集性质有了明显的改善。另外,在我国四川威远气田和华北任丘油田,微生物白云岩也是重要的储集岩石类型之一^[3-10]。

前人针对塔里木盆地震旦系的研究多以盆地周缘的露头为主要研究对象。如宋立勋等^[11]最早在库鲁克塔格地区雅尔当山震旦系藻白云岩晶洞和裂隙中发现了沥青和网状沥青细脉,表明震旦纪地层能够成为有效的储层,且在地质历史时期曾发生过油气充注;叶德胜^[12-13]认为上震旦统藻白云岩(微生物碳酸盐岩的一种)为塔里木盆地震旦系重要的储集

岩石类型,它们发育有与纹层及藻纹层、藻管有关的溶蚀孔隙以及晶间孔;何金有等^[14-15]则认为受震旦纪末期不整合面的影响,震旦系顶部还可能广泛发育古岩溶储层,这也是塔里木盆地油气勘探的重要目的层。在实际钻探中,塔北沙4井(位置见图1)在震旦系获工业油气流,塔东1和塔东2井(位置见图1)也发现了可疑气层,这些均展示了塔里木盆地的震旦系具有良好的油气勘探前景。

塔里木盆地震旦系的油气勘探程度低,可利用的钻井资料非常有限,虽然前人做了部分研究工作,但关于该套白云岩地层的储层类型、分布特征及其展布规律还很不明确,而这一问题的解决将对塔里木盆地震旦系深层油气勘探,尤其对于寻找有利靶区、降低油气勘探成本具有重要的研究意义。本文选择了出露完好的塔里木盆地西北缘上震旦统露头区(研究区位置见图1)为主要研究对象,通过地质观察、镜下鉴定和孔渗分析等研究手段,并结合现代微生物碳酸盐岩储层的研究理论,详细解剖了研究区震旦系白云岩储层的类型及其发育特征,研究结果

收稿日期: 2014-10-19; 改回日期: 2015-03-14

本文受中国石油勘探开发研究院项目“微生物碳酸盐岩与塔里木盆地深部储层的形成研究”(编号:101001cq0b52139)和中国石油天然气股份有限公司项目“塔里木盆地碳酸盐岩野外露头储层地质建模研究”(编号:2008D-070602-02)联合资助

李朋威: 1983年生,工程师,2013年获中国石油勘探开发研究院博士学位,目前主要从事沉积与储层地质研究。通讯地址:北京市海淀区北四环中路267号奥运大厦805室; Email:lpwei@126.com

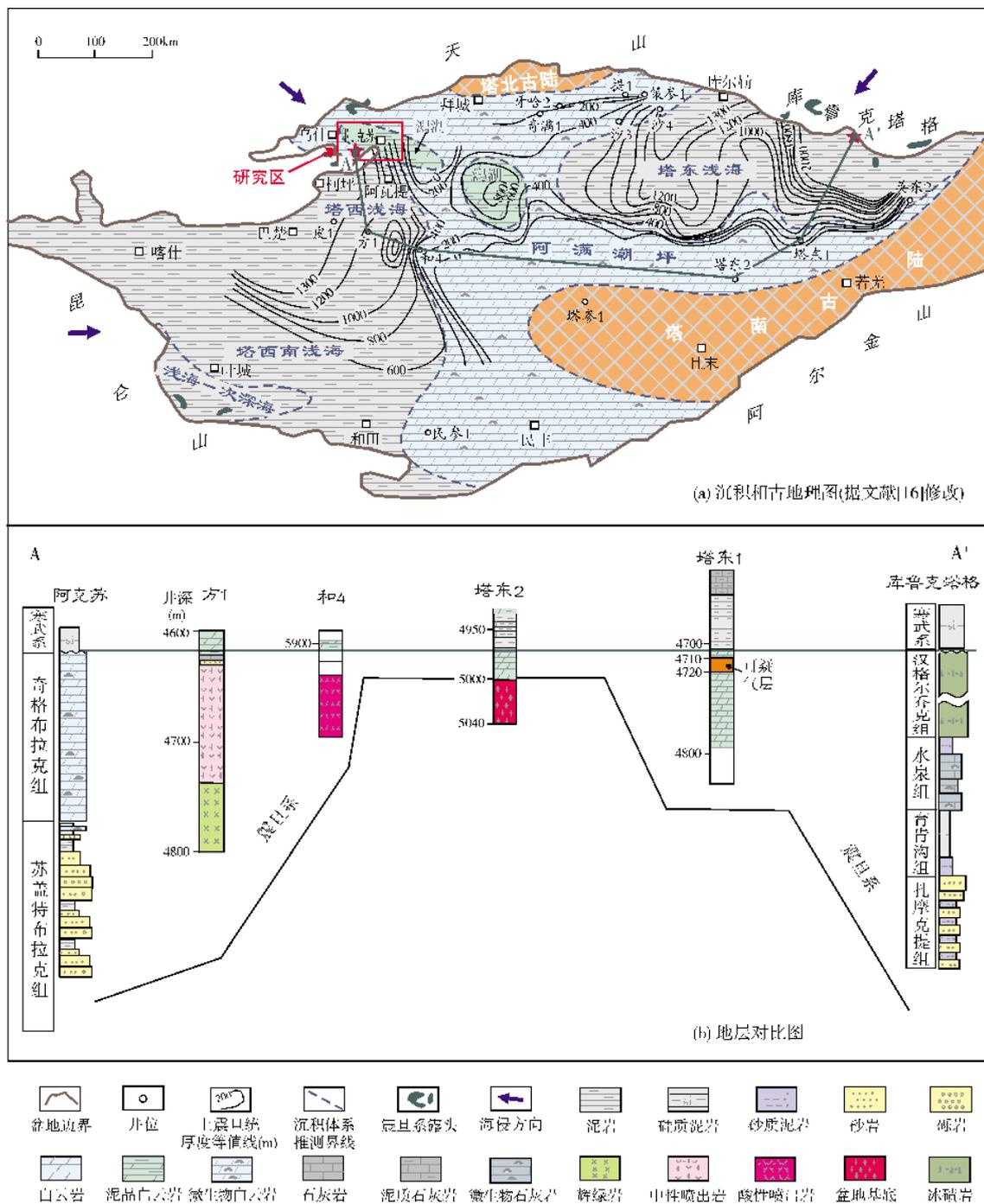


图1 塔里木盆地晚震旦世沉积相古地理与地层对比图

表明该区上震旦统至少发育了四种成因的碳酸盐岩储层类型,并具有不同的展布规律。

2 地质背景

新元古代末期,受罗迪尼亚(Rodinia)超大陆裂

解的影响,塔里木板块的周边开始裂解。在南华纪至震旦纪期间,塔里木板块先后经历了大陆裂谷、半深海、滨浅海、广海碳酸盐岩台地等几个发展阶段。上震旦统为一套滨海—浅海相浅灰色中—厚层状白云岩,富含叠层石、核形石和微古植物化石等^[17]。

张增耀等^[16]根据钻井和地震资料解析,认为晚震旦世塔里木盆地以阿满地区相对隆起区为中心,主要发育了塔东和塔西两个沉积凹陷,形成了塔东、塔西两个浅海沉积体系,以及塔西南浅海—次深海沉积体系(图1a),塔东和塔西两个沉积区以阿满潮坪沉积体系为中心近乎对称分布,碳酸盐岩主要发育于阿满潮坪沉积体系区域内,并向中央隆起带东部的北斜坡区增厚。总体来看,上震旦统沉积厚度表现为东西厚、中间薄的特征,并在库鲁克塔格山前地带沉积最厚,达2000m以上(图1a)。在震旦纪末期,“柯坪运动”使塔里木板块遭到一定程度的抬升,震旦系顶部的碳酸盐岩遭受不同程度的剥蚀并发生古岩溶作用。根据于靖波等^[18]对塔里木盆地巴楚隆起区构造-热演化历史的研究,认为该区经历了两次明显的高温热演化过程:第一次发生在震旦纪—早奥陶世,由于此时塔里木盆地处于拉张期,岩石圈变

薄,底部热物质上涌,地表热流值高达71.3 mW/m²;第二次发生在二叠纪至三叠纪期间,此时由于受到海西—印支运动的影响,隆起的局部地区松弛伸展,张性断裂和基性岩浆活动强烈,并伴有明显的深部构造热液活动,此时的热流值高达71.3~73.6 mW/m²。其中,第二次高温热演化过程由于伴随了大量的深部构造热液活动,因此对该区深部碳酸盐岩储层的形成及其改造作用明显。

塔里木盆地西北缘的震旦系露头主要分布于阿克苏、乌什和柯坪之间,出露于巧恩布拉克、尤尔美那克、苏盖特布拉克、奇格布拉克及肖尔布拉克一带(图2)。在构造上,研究区位于柯坪断隆北端,南华纪—震旦纪的地层发育较为齐全,研究程度相对较高,具有我国扬子区的沉积特征(表1)。研究区内交通相对便利,本文选择了苏盖特布拉克剖面、肖尔布拉克西沟剖面和什艾日克剖面(图2)为主要研究对象。

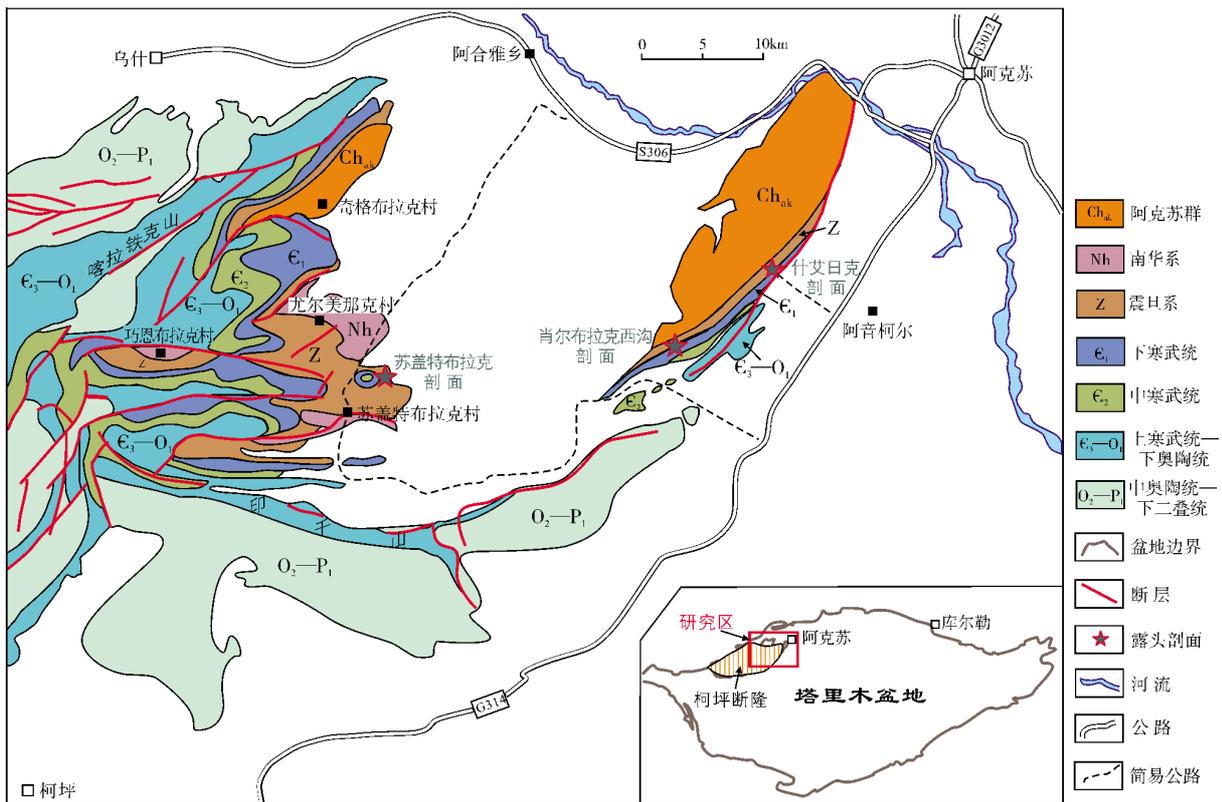


图2 塔里木盆地西北缘地质简图(据文献[14])与剖面点位置

3 储层岩石类型与展布特征

通过野外露头地质观察与薄片鉴定,认为塔里木

盆地上震旦统奇格布拉克组(Z₂q)白云岩主要由微生物白云岩、结晶白云岩、角砾白云岩、颗粒白云岩等组成,其中微生物白云岩为其最主要的岩石类型(图3)。

表1 塔里木盆地新元古界地层划分对比表(据文献[19]修改)

地 层			地 区			
			库鲁克塔格	阿克苏—柯坪	铁克里克	阿尔金山
上覆地层			西山布拉克组	玉尔吐斯组	奇兹那夫组	额兰塔克组
新 元 古 界 (Pt ₃)	震旦系 (Z)	上统 (Z ₂)	汉格尔乔克组△ 水泉组Ⅱ	奇格布拉克组	克孜苏胡木组Ⅱ —? 库尔卡壳组	索尔库里群
		下统 (Z ₁)	育肯沟组 扎摩克提组		苏盖特布拉克组	
	南华系 (Nh)	特瑞爱肯组△ 阿勒通沟组△ 照壁山组 贝义西组△	乌什南山群	尤尔美那克组△	波龙组△	
		北赛纳尔塔格组		牙拉古兹组		
		赛纳尔塔格组		苏库洛克群 阿奇克巴组		
		东巧恩布拉克组 西方山组		玉沙斯组		
	青白口系 (Qb)	帕尔岗塔格群	巧恩布拉克群			

△ 冰碛岩; Ⅱ 碳酸盐岩

微生物白云岩主要由非叠层泡沫绵层白云岩、非叠层球粒白云岩,以及层状、丘状和柱状叠层石白云岩等组成。在结构类型上,微生物白云岩以泥—粉晶结构为特征,并大都保留了原始的泡沫绵层、微生物席、球粒等微生物结构特征。其中,非叠层泡沫绵层白云岩、球粒白云岩和层状叠层石主要发育于上震旦统奇格布拉克组的中上部,而丘状和柱状叠层石则主要分布于奇格布拉克组的底部。总体上,这类微生物碳酸盐岩厚度大、横向上分布稳定,具有可对比性。

结晶白云岩以细晶—中晶为主,晶形为半自形至他形,晶形曲面化严重。在所测的剖面中,以苏盖特布拉克剖面中的最为发育,厚度最大,达66.2m,并向肖尔布拉克一带减薄,分布于奇格布拉克组的上部。

角砾白云岩的角砾主要由残余球粒粉晶—细晶白云岩组成,可见晶间与晶间溶孔,角砾的短轴与长

轴大小一般分别介于2~8cm、8~20cm之间,多呈长条形、棱角状,为岩溶滑塌角砾岩,表明该区表生岩溶作用强烈。角砾白云岩主要分布于什艾日克—肖尔布拉克一带,发育在上震旦统奇格布拉克组的顶部。

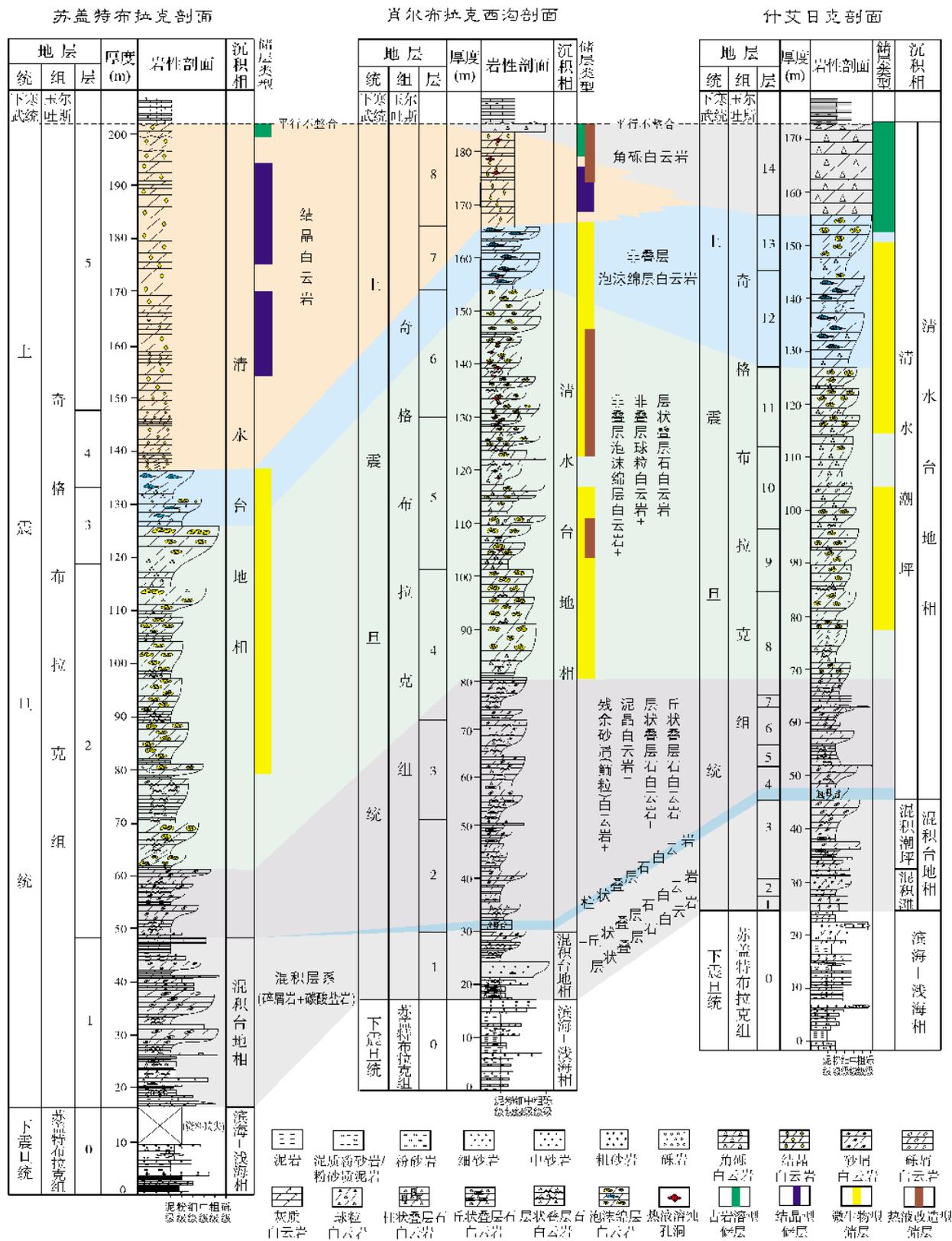
颗粒白云岩主要包括鲕粒白云岩、砂屑和砂砾屑白云岩等,发育于奇格布拉克组的下部,往往以薄层状产出,并常与泥晶白云岩、层状或丘状叠层石互层,为奇格布拉克组次要的白云岩类型。

4 储层成因类型

根据研究区上震旦统白云岩储层成因和岩石学特征,可将震旦系白云岩储层划分为古岩溶型、微生物型、结晶型和热液改造型等四种储层成因类型。不同成因的储层具有不同的储集空间类型和物性特征、以及不同的空间展布规律(如表2)。

表2 塔里木盆地西北缘上震旦统白云岩储层成因类型与特征一览表

储层类型	储集空间	控制因素	孔隙度 (%)	孔渗率 ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)	储集性能	储层分布
古岩溶型	溶蚀孔洞、溶蚀缝、角砾间孔	构造抬升、破碎表生岩溶作用、古岩溶地貌	12~20	—	好	上震旦统顶部,呈楔状
微生物型	窗格孔、泡沫绵层腔孔、花边孔洞、晶间孔与晶间溶孔	微生物结构、白云石化、溶蚀作用	2.5~6.0	<0.01	中	上震旦统中上部,横向分布稳定
结晶型	晶间孔、晶间溶孔	埋藏交代、重结晶作用	0.7~4.5	<5.0	中	苏盖特—肖尔布拉克一带上震旦统上部,呈楔状
热液改造型	热液溶蚀孔洞、缝、晶间孔	热液改造	—	—	较差	肖尔布拉克一带上震旦统中上部,沿裂缝或层面分布



4.1 古岩溶型

古岩溶型储层亦即古岩溶风化壳储层,习惯上也称之为古潜山储层,主要是指成岩后的碳酸盐岩经过较长时期的暴露与淡水淋滤、溶蚀作用改造后所形成的有效岩溶储层^[20-22]。在塔里木盆地西北缘露头区,震旦系顶部可见广泛发育的古岩溶风化壳(图3,图4),厚度不等,以什艾日克—肖尔布拉克一带的岩溶残余厚度最大,厚度约20~50 m,顶部可见垮塌变形和垮塌角砾岩,以及大量的呈半充填状的溶蚀孔洞。而在苏盖特布拉克地区,震旦系顶部仅见厚约1~1.5 m的古岩溶风化壳,未见垮塌角砾岩,同时,溶蚀孔洞也相对不发育,说明当时此处岩溶风化作用相对较弱。以上表明,研究区古岩溶地貌保存相对完整,什艾日克—肖尔布拉克一带在表生岩溶期处于古岩溶地貌高地或斜坡区,岩溶作用强烈,而苏盖特布拉克地区则处于古岩溶地貌较低的位置,可能为古岩溶洼地。

古岩溶型储层的储集空间以各种蜂窝状的溶蚀孔洞、角砾间缝和溶蚀缝为主,溶洞大小一般短轴为2~6 cm、长轴为3~8 cm,面孔率一般分布在12%~20%之间,局部可见巨型溶洞。溶蚀孔洞内可见石英、巨晶方解石、萤石等矿物充填或半充填,局部大型溶洞被暗色针铁矿等矿物充填。萤石等热液矿物为晚期充填物,表明古岩溶风化壳受到了后期构造热液活动的改造作用。在顶部角砾岩层内,角砾大小一般短轴为2~8 cm、长轴为8~20 cm,多呈长条型、角砾状。通过镜下鉴定,角砾主要由残余球粒粉晶-细晶白云石组成,晶间溶孔发育,基质孔隙度约2%~8%。相比较而言,古岩溶储层为震旦系最好的储层类型。

塔里木盆地震旦系顶部古岩溶风化壳的形成主要与震旦纪末的“柯坪运动”有关。但由于勘探资料有限,震旦系顶部古岩溶风化壳在盆地内的分布还不是很明确。吴绍祖^[23]认为震旦纪末期的柯坪运动,使塔西潮坪相带抬升遭受剥蚀,同时使塔西南和塔中剥蚀区扩大,两块剥蚀区连接一体,剥蚀区北界推移至吐木休克断裂—塔中断裂一带。何金有等^[24]通过地震资料分析认为盆地腹地震旦系与寒武系之间存在两种不整合面,其中平行不整合面主要分布在中央隆起带以北的北部拗陷内;而角度不整合主要分布在中央隆起带北翼,

呈东西向带状分布。

4.2 微生物型

如前所述,微生物白云岩为组成塔里木盆地晚震旦世地层的主体,并以层状叠层石和非叠层泡沫绵层、球粒白云岩为主,可见柱状叠层石白云岩、丘状叠层石白云岩等。微生物白云岩大多保留了微生物席、泡沫绵层、球粒等微生物结构特征。研究发现,并非所有的微生物岩类均有利于储层的形成。其中,上震旦统奇格布拉克组的中上部是该区震旦系微生物白云岩储层的主要发育层段,其岩性以层状叠层石和非叠层泡沫绵层、球粒白云岩为主,而以丘状叠层石和柱状叠层石为特征的奇格布拉克组下部,白云岩储层则不发育。

微生物白云岩的储集空间类型多样(图5),以发育窗格孔、泡沫绵层腔内的溶蚀孔、泡沫绵层腔铸模孔、花边孔洞、晶间孔与晶间溶孔以及球粒溶蚀孔等为特征。虽然窗格孔洞、泡沫绵层腔以及花边孔洞大多被白云石等充填,但仍可见残留孔隙。

据研究区资料统计(图6),微生物白云岩储层的孔隙度一般分布在2.5%~6.0%之间,最大可达9.3%,而渗透率较低,一般小于 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,根据镜下观察,孔隙连通性较差。从岩石物性来看,非叠层泡沫绵层白云岩物性最好,其孔隙度介于3.0%~9.3%之间,渗透率小于 $6.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;其次为非叠层球粒白云岩,其孔隙度介于2.9%~3.0%之间,而渗透率很低,小于 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;叠层石球粒白云岩物性最差,其孔隙度一般介于2.0%~2.9%之间,且渗透率小于 $0.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。因此,微生物白云岩储层物性与微生物岩的结构关系密切,相比较而言,泡沫绵层结构最有利于储集空间的形成。根据最新的碳酸盐岩储层评价标准,认为该类储层为低孔特低渗储层。

沉积相严格控制着岩石类型的展布。其中,层状叠层石和非叠层泡沫绵层、球粒白云岩主要发育在潮上带和潮间带的上部,而丘状叠层石白云岩和柱状叠层石白云岩则主要发育于潮间带和浅潮下带^[25]。因此,微生物碳酸盐岩储层具有明显的相控特征。由于微生物白云岩储层以多种溶蚀孔隙较为常见,并发育一定量的白云石晶间孔,说明溶蚀作用和白云石化大大改善了微生物白云岩储层的储集物性。



图4 塔里木盆地西北缘上震旦统奇格布拉克组古岩溶储层宏观与微观特征

4.3 结晶型

在白云石交代方解石的过程中, 白云石晶粒变

粗大, 石灰岩的原始结构遭到破坏, 等分子量的交代作用可增加16%的孔隙度, 使得大晶粒的白云石晶间孔发育, 并常伴有小溶洞形成, 可成为良好的储层。

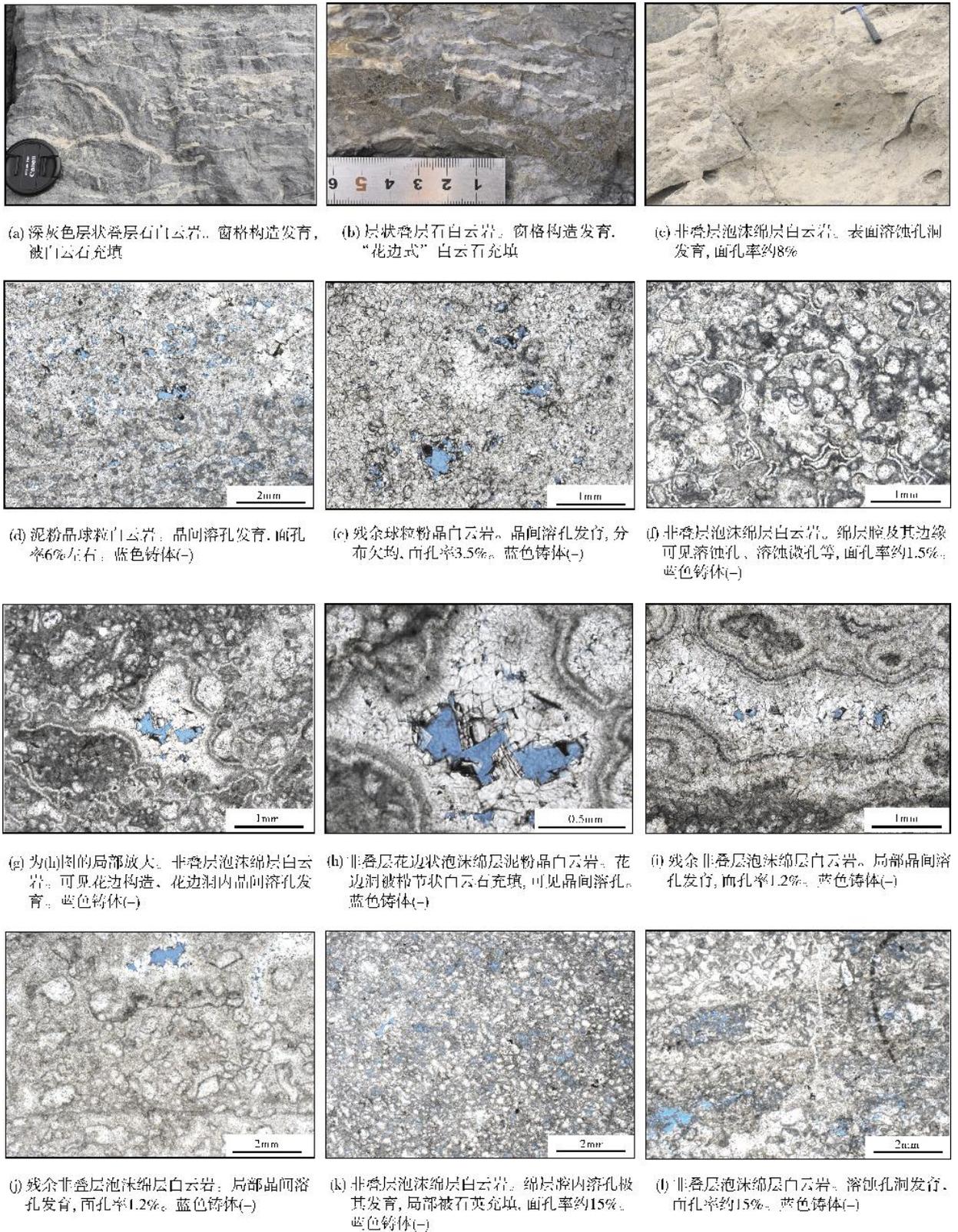


图5 塔里木盆地西北缘什艾日克剖面上震旦统奇格布拉克组微生物白云岩储层宏观与微观特征

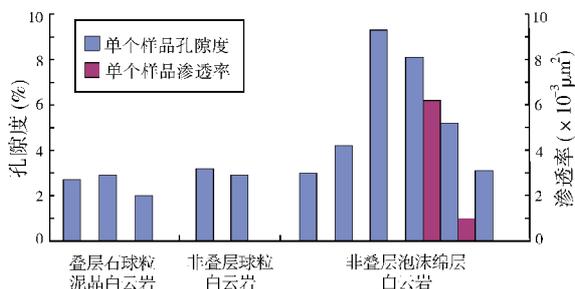


图6 塔里木盆地什艾日克剖面上震旦统奇格布拉克组微生物白云岩储层孔隙度渗透率分布特征

卿海若^①认为白云石的晶形曲面化说明其形成温度超过了临界界面温度,大部分是在同生、准同生白云石化基础上,局部发生埋藏白云石化作用的产物。因此,白云石晶面曲面化可作为埋藏白云石化的一个标志。塔里木盆地上震旦统白云石晶体以细晶—中晶的他形为主(图7),晶形曲面化明显(图7a,7b,7d—7f),可见雾心亮边结构(图7e,7f),表明该区结晶白云岩具有埋藏白云石化的特征。

结晶白云岩储层的储集空间以晶间孔、晶间溶孔、晶内溶孔以及超大溶蚀孔为主,可见针状溶蚀孔(图7c)、张开裂缝等(图7f)。大多溶蚀孔隙近圆形或椭圆形,其直径一般在0.1~0.3mm之间,同时还发现具有残余泡沫绵层结构的埋藏白云岩的溶蚀孔隙相对较大,其直径一般介于0.2~0.3mm之间。但这些储层的共同点就是孔隙之间的连通性较差,个别孔隙局限于泡沫绵层腔幻影内。局部也可见连通性非常好的晶间孔与晶内溶孔,面孔率可达12.5%左右。另外,张开裂缝的发育对于孔隙的连通性具有很好的改善作用。

结晶白云岩储层的孔隙度与白云石的晶粒大小具有一定的正相关性,随着晶粒的增大,其孔隙度由0.5%增大至7.8%,一般介于0.7~4.5%之间(图8);渗透率也具有类似的变化规律,随着晶粒的增大,其值由近于0增大至 $15 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,一般介于 $(0.4 \sim 5.8) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,且以中晶白云岩的渗透率为好。这表明白云岩结晶越大,储层物性越好。因此,结晶白云岩储层以中晶白云岩为最有利的储集岩石类型。

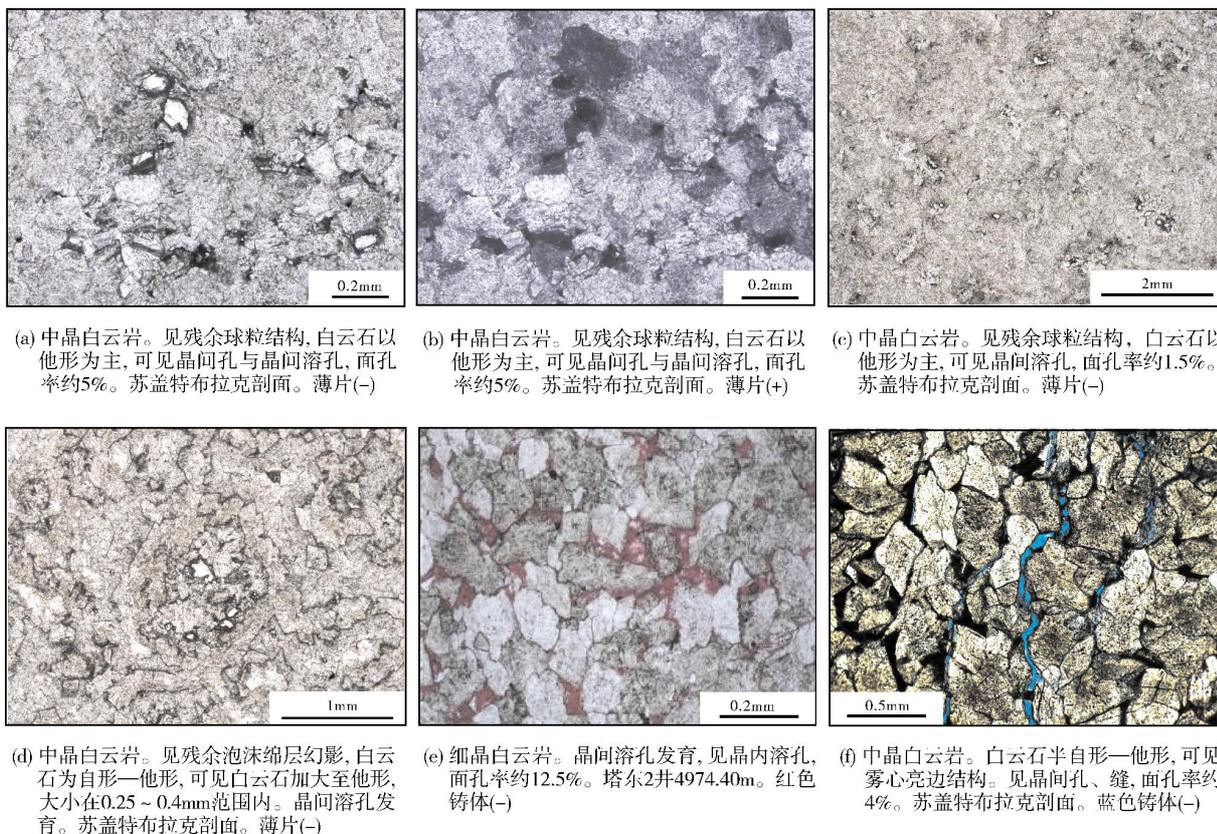


图7 塔里木盆地上震旦统奇格布拉克组结晶白云岩储层微观特征

① 卿海若. 塔里木盆地和四川盆地白云岩岩石学、地球化学的特征与形成机理研究[R]. 内部交流报告, 2011

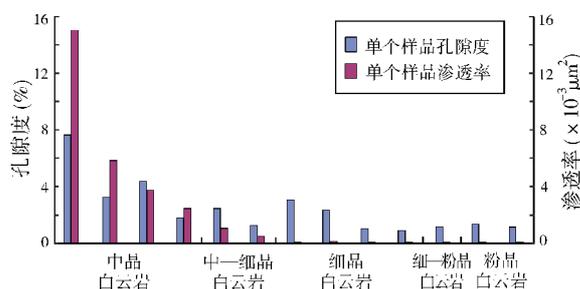


图8 塔里木盆地西北缘上震旦统结晶白云岩储层孔渗柱状图

塔里木盆地震旦系结晶白云岩横向分布不稳定,在所测剖面中,以苏盖特布拉克上震旦统顶部最为发育,总厚约66.2m,肖尔布拉克西沟剖面的结晶白云岩则主要发育于古岩溶风化壳及其下部一段,总厚仅30m,而什艾日克剖面结晶白云岩相对不发育。因此,推测塔里木盆地震旦系结晶白云岩的空间展布呈楔状或透镜状,厚度在苏盖特布拉克较厚,向肖尔布拉克—什艾日克一带呈现递减的趋势(图3)。

4.4 热液改造型

热液改造型储层是指受热液活动所引起的溶蚀作用以及热液白云石化作用所形成的一类储层。热液

可来源于与区域构造运动、火山活动、变质作用有关的构造热液、火山热液和变质热液等^[26]。在热液白云石化的过程中,热液流体会对围岩造成一定的溶蚀,从而使原岩的孔隙度大大增加,并进而增加了原岩的连通性,因此有利于优质储层的形成。然而具有经济价值的热液改造型储层并不多见,更多的是对先前形成的储层的一种叠加改造,因深源热液需要不整合面、断裂作运移通道,这就导致了热液白云岩储层的分布具有局限性^[22]。因此,热液改造型储层的发育往往受到古岩溶风化壳和断裂系统的控制,大多是叠加在古岩溶和裂缝型储层之上的一种叠加改造型储层。

鞍形白云石是识别热液白云岩的重要标志。经过对阿克苏地区震旦系白云岩的露头观察及镜下鉴定,发现热液白云岩主要发育在肖尔布拉克地区,区域上的分布具有明显的局限性。白云石以鞍形的粗晶为主,晶形呈曲面,且热液白云石大多沿裂缝、层面或古岩溶风化壳分布,并常常伴有石英、萤石、重晶石等热液矿物(图9)。

卿海若^①认为在塔里木盆地广泛发育的二叠纪火山活动对于该区热液改造型储层的形成具有重要的贡献,火山活动为深部白云岩的改造提供了热动力和热流体,热液沿断裂系统运移并与宿主白云岩



图9 塔里木盆地西北缘肖尔布拉克西沟剖面上震旦统奇格布拉克组热液改造型白云岩储层宏观与微观特征

的相互作用(溶蚀、交代和重结晶),溶离出镁离子,并随流体上移,当流体中的镁离子浓度相对于白云石过饱和的情况下,再次在孔、缝中沉淀。可见,断裂(特别是深部断裂)系统可为热液流体的输导提供重要通道,其中张性(扭张性)断裂更有利。

5 白云岩储层展布规律

碳酸盐岩储层的分布及其储集性能往往受多种因素的影响,主要有沉积、成岩和构造等因素。其中,沉积作用往往是决定性的,成岩和构造作用叠加在沉积作用之上,它们是使储层不均一性更加剧烈的重要因素。通过对以上四种成因的白云岩储层的特征及其主控因素的分析,认为塔里木盆地西北缘白云岩储层由于成因不同而具有不同的展布规律(表3)。

概括起来,盆地西北缘的震旦系白云岩储层主要受岩性、表生岩溶作用、埋藏溶蚀和热液改造作用等四个方面的影响(图10),其中:古岩溶型储层的发育主要受不整合面、古构造、古气候条件等因素的控制,它们往往沿古构造隆起的高地或斜坡区呈带状分布;微生物白云岩储层的形成具有明显的结构选择性,以层

表3 塔里木盆地西北缘上震旦统白云岩储层
主控因素与展布特征

储层类型	主控因素	展布特征
古岩溶型	不整合面、古构造、古气候条件等	带状分布
微生物型	沉积相(潮坪相)、白云石化、溶蚀作用等	层状
结晶型	白云石化、埋藏溶蚀作用	沿层面分布或呈透镜状
热液改造型	不整合面、断裂系统、深部构造热液活动	不规则

状叠层岩和非叠层泡沫绵层、球粒白云岩为主要储集岩石类型,因此相控作用明显,并主要发育于潮上带和潮间带的上部,同时,白云石化、溶蚀作用等对该类储层的形成具有明显的改善作用,微生物白云岩储层呈层状分布,横向分布较为稳定,在规模上,分布面积大,成层性好,勘探开发更易于识别和预测;结晶白云岩储层主要受控于白云石化、埋藏溶蚀作用,常沿层面分布或呈透镜状,但结晶白云岩成因受控因素较多,需做大量地质研究,才能找到其分布规律;而热液改造型储层主要与不整合面、断裂系统以及深部构造热液活动有关,在地层中往往呈不规则状分布,难以预测。

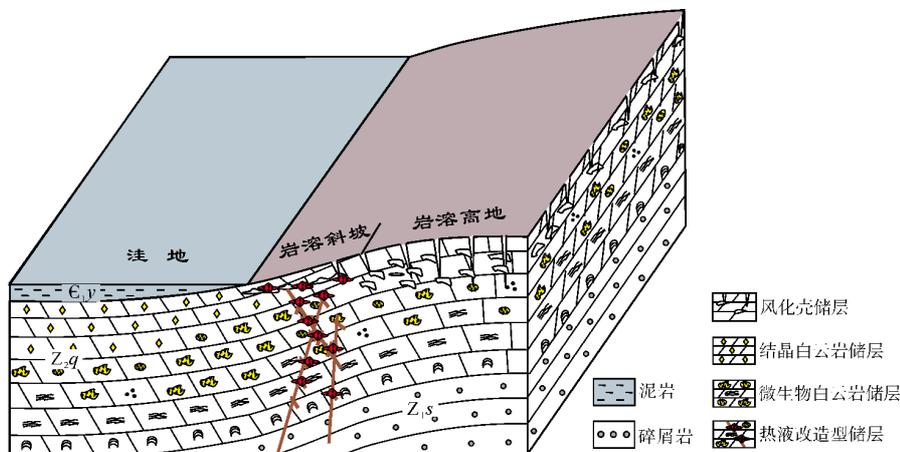


图10 塔里木盆地上震旦统白云岩储层发育模式图

C_{1y} 下寒武统玉尔吐斯组; Z_{2q} 上震旦统奇格布拉克组; Z_{1s} 下震旦统苏盖特布拉克组

6 结论

以微生物白云岩为主的塔里木盆地上震旦统奇格布拉克组,经历了古风化壳岩溶、白云石化、埋藏溶蚀和热液改造等作用,发育了多种成因的白云岩储层类型,并因其成因不同而具有不同的展布规律。按成因共划分出四种储层类型:古岩溶型、微生物白云岩型、结晶白云岩型和热液改造型。

古岩溶储层广泛发育于上震旦统的顶部,溶蚀

孔洞极其发育,可见大型洞穴和蜂窝状溶蚀孔洞,但区域分布差异较大,受控于古构造隆起,呈带状分布;微生物白云岩储层主要发育于震旦系的中上部,以发育与微生物结构相关的多种溶蚀孔隙为特征,为低孔特低渗储层,但横向分布稳定,规模大,相控作用明显;结晶白云岩储层以晶间孔、晶间溶孔、晶内溶孔以及超大溶蚀孔为主,其孔隙度与渗透率具有正相关性,呈楔状或透镜状分布;而热液改造型储层以与热液溶蚀作用有关的溶蚀孔洞或残余晶间孔

为主,分布较为局限,多与深部大断裂有关。

致谢:薄片观察与鉴定过程中得到中国石油勘探开发研究院杨式升高级工程师的指导以及实验中心罗忠、周川阔的帮助;野外地质考察工作由王鑫、陆朋朋等协助完成;评审过程中诸多专家给予了许多中肯意见,在此一并衷心地感谢!

参考文献

- [1] Mancini E A, Benson D J, Hart B S, et al. Appleton field case study(eastern Gulf coastal plain): Field development model for Upper Jurassic microbial reef reservoirs associated with paleotopographic basement structures[J]. *AAPG Bulletin*, 2000, 84(11):1699-1717.
- [2] Mancini E A, Llinás C L, Parcell W C, et al. Upper Jurassic thrombolite reservoir play, northeastern Gulf of Mexico[J]. *AAPG Bulletin*, 2004, 88(11): 1573-1602.
- [3] 王兴志,刘仲宣. 影响四川资阳地区震旦系灯影组储集空间的主要因素[M]//王英华,鲍志东,朱筱敏. 沉积学及岩相古地理学研究进展. 北京:石油工业出版社, 1995:561-563.
- [4] 王兴志,侯方浩,黄继祥,等. 四川资阳地区灯影组储层的形成与演化[J]. *矿物岩石*, 1997, 17(2): 55-60.
- [5] 刘树根,马永生,王国芝. 四川盆地震旦系—下古生界优质储层形成与保存机理[J]. *油气地质与采收率*, 2008, 15(1): 1-5.
- [6] 黄文明,刘树根,张长俊,等. 四川盆地震旦系储层孔洞形成机理与胶结充填物特征研究[J]. *石油实验地质*, 2009, 31(5): 449-461.
- [7] 陈宗清. 四川盆地震旦系灯影组天然气勘探[J]. *中国石油勘探*, 2010, 15(4): 1-14.
- [8] 施泽进,梁平,王勇,等. 川东南地区灯影组葡萄石地球化学特征及成因分析[J]. *岩石学报*, 2011, 27(8): 2263-2271.
- [9] 余家仁,樊哲仁. 任丘古潜山油田碳酸盐岩储层研究[J]. *石油学报*, 1981, 2(1): 57-70.
- [10] 余家仁,雷怀玉,刘趁花. 试论海相碳酸盐岩储层发育的影响因素——以任丘油田雾迷山组为例[J]. *海相油气地质*, 1998, 3(1): 39-48.
- [11] 宋立勋,刘万祥. 塔里木地台震旦纪古地理概貌[J]. *新疆石油地质*, 1990, 11(3): 199-203.
- [12] 叶德胜. 塔里木盆地东北地区震旦—奥陶系白云岩的储集性[J]. *石油实验地质*, 1992, 14(2): 125-134.
- [13] 叶德胜. 塔里木盆地北部震旦系至奥陶系白云岩的岩石学及地球化学特征[J]. *地球化学*, 1993, 93(1): 1-9.
- [14] 何金有. 塔里木盆地震旦系古岩溶储层研究及油气勘探意义[D]. 北京:中国石油勘探开发研究院, 2010.
- [15] 何金有,郭光辉,李启明,等. 塔里木盆地震旦系石油地质特征及勘探方向[J]. *新疆石油地质*, 2010, 31(5): 482-484.
- [16] 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.
- [17] 高振家,王务严,李永安,等. 新疆阿克苏—乌什震旦系[M]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社, 1985.
- [18] 于靖波,张健,史保平. 塔里木盆地巴楚隆起区构造—热演化历史研究[J]. *地球物理学报*, 2010, 52(10): 2396-2404.
- [19] 程裕淇,王泽九,黄枝高,等. 中国地层典·总论[M]. 北京:地质出版社, 2009.
- [20] 钱一雄, Taberner C, 邹森林,等. 碳酸盐岩表生岩溶与埋藏岩溶比较[J]. *海相油气地质*. 2007, 12(2): 1-7.
- [21] 赵宗举,范国章,吴兴宁,等. 中国海相碳酸盐岩的储层类型勘探领域及勘探战略[J]. *海相油气地质*, 2007, 12(1): 1-11.
- [22] 罗平,张静,刘伟,等. 中国海相碳酸盐岩油气储层基本特征[J]. *地学前缘*, 2008, 15(1): 36-49.
- [23] 吴绍祖. 新疆震旦纪古地理[J]. *新疆地质*, 2000, 18(4): 301-304.
- [24] 何金有,郭光辉,徐备,等. 塔里木盆地震旦系—寒武系不整合面特征及油气勘探意义[J]. *地质科学*, 2010, 45(3): 698-706.
- [25] 李朋威,金廷福,王果谦,等. 微生物碳酸盐岩及其油气勘探意义[J]. *地质科技情报*, 2013, 32(3): 66-74.
- [26] 张景廉,曹正林,于均民. 白云岩成因初探[J]. *海相油气地质*, 2006, 8(1/2): 109-115.

编辑:黄革萍

Characteristics of Upper Sinian Dolostone Reservoirs in Northwestern Margin of Tarim Basin

Li Pengwei, Luo Ping, Song Jinmin, Jin Tingfu, Wang Guoqian

Abstract: There are outcropping Upper Sinian carbonate rocks in the northwestern margin of Tarim basin. Based on field investigation and experimental analysis of outcrop samples, four types of carbonate reservoirs are recognized and the characteristics of them are as follows: (a) Paleokarst reservoirs, in which solution pores and caves are general and various, widely develop in the weathering crust on the top of the Upper Sinian strata. They are the best reservoirs in this area. (b) Microbial dolostone reservoirs, in which various microfabric-associated solution pores are common, develop in the middle and upper parts of the Upper Sinian strata. They are a sort of deeply-buried tight reservoirs with low porosity and extremely low permeability. (c) Crystalline dolostone reservoirs, in which intercrystal and solution pores are typical, are characteristic of low porosity and low permeability and are locally distributed. (d) Thermal-altered dolostone reservoirs, in which hydrothermal dissolved pores and caves or residual intercrystal pores are common, are distributed only in some local area (such as Xiaerbulake) where great faults develop in deep.

Key words: Early Sinian; Dolostone reservoir; Reservoir type; Reservoir characteristics; Tarim Basin

Li Pengwei: DSc., Petroleum Geology Engineer. Add: SINOPEC Exploration & Production Research Institute, 267 Bei Sihuan Zhong Rd., Beijing, 100083, China