

塔里木盆地塔中北坡奥陶系一间房组 储集层主控因素分析

尚凯¹, 郭娜², 曹自成¹, 韩俊¹, 徐勤琪¹

(1 中国石化西北油田分公司勘探开发研究院; 2 中国石化西北油田分公司石油工程技术研究院)

摘要 综合分析钻井岩心、岩石薄片、测井资料以及各种化验分析资料,认为塔里木盆地塔中北坡中奥陶统一间房组深层碳酸盐岩储集层主要发育在台内滩相颗粒灰岩中,储层类型主要为裂缝型、裂缝-孔洞型和孔洞型。沉积微相、断裂和溶蚀作用是储层形成的主控因素。其中,台内高能滩的发育为后期选择性溶蚀奠定了物质基础,大气淡水溶蚀作用和埋藏期岩溶作用在一定程度上改善了储集性能,多期次活动的北东向断裂带是优质储层形成的关键。

关键词 塔里木盆地; 塔中北坡; 奥陶系; 一间房组; 碳酸盐岩; 储集层

中图分类号: TE122.2 文献标识码: A

1 前言

塔里木盆地塔中北坡紧邻满加尔坳陷,油气成藏条件优越,勘探开发潜力巨大,一直是勘探家和研究者普遍关注的热点地区^[1-5]。近年来,塔中北坡中石化矿权区内奥陶系深层碳酸盐岩油气勘探取得了可喜的成果,如:2005年部署的古隆1井(位置见图1)在中—下奥陶统鹰山组内幕获得低产天然气流,日产天然气10 067 m³,从而发现了塔中北坡鹰山组内幕白云岩储层^[4];2011年顺南1井又在中奥陶统一间房组测试获得突破,由此,塔中北坡奥陶系一间房组也引起了勘探工作者们的重视;2013年顺南4井和顺南5井均在鹰山组获得了高产气流,进一步展示了该区奥陶系岩溶缝洞储集体良好的勘探前景;近期钻探的顺南7井和顺托1井等多口探井在一间房组测试获得工业油气流,开拓了本区油气勘探的新领域。

塔中北坡一间房组顶部埋深5 700~7 600 m,为典型的超深层海相碳酸盐岩储层。与鹰山组相比较,一间房组的岩性主要为石灰岩,储层类型较为简单。但前期由于勘探程度较低,基础资料不够丰富,对于本区一间房组储层的研究相对比较薄弱,相关研究

报道也比较少。从目前的实钻情况来看,储层发育程度是决定塔中北坡一间房组油气成藏的关键因素,而塔中北坡一间房组储层的成因明显不同于勘探程度较高的塔北地区,因此对于这套储层的特征及主控因素的研究就显得至关重要。笔者在前人对塔里木盆地奥陶系研究的基础上,结合钻井、岩心、测井以及各种化验分析资料,对本区一间房组储层特征及主控因素进行了详细研究,以期与研究区进一步的勘探开发提供地质依据。

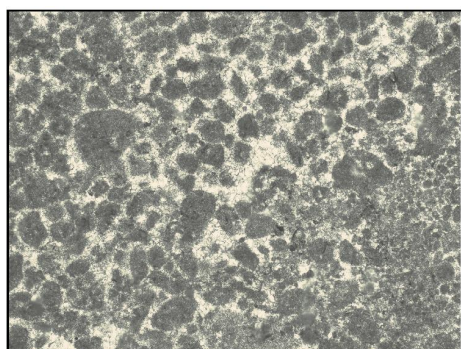
2 区域地质背景

塔中北坡位于卡塔克隆起以北、塔中I号断裂带下盘(图1),南部以塔中I号断裂带为界与卡塔克隆起相接,北至顺西2井区一线,东北方向毗邻满加尔坳陷,东南至古隆1井区,构造位置处于顺托果勒低隆东南部斜坡带和古城墟隆起西段的结合部位^[1]。塔中北坡现今构造形态为一个由东南向西北倾没的单斜,在构造演化各个时期一直处于满加尔生烃坳陷的油气源向卡塔克隆起的运移路径上,构造位置十分有利。该区发育多组北东向走滑断裂带(图1),它们是储集层发育的有利区带,同时也是晚期油气

收稿日期: 2015-04-07; 改回日期: 2016-05-27

本文受国家科技重大专项专题“塔里木盆地中央隆起区海相碳酸盐岩层系油气成藏主控因素与勘探突破目标评价”(编号: 2011ZX05005-004)资助

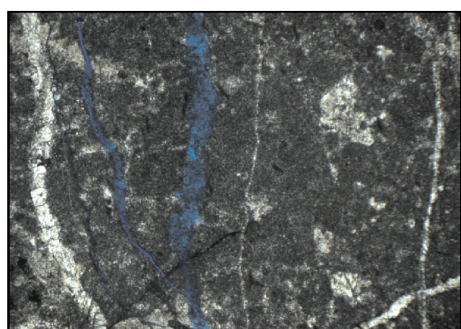
尚凯: 1982年生,工程师,2010年西安石油大学硕士毕业。主要从事石油地质综合研究。通讯地址: 830011 新疆乌鲁木齐市长春南路466号; E-mail: kaige925@163.com



(a) 亮晶砂屑灰岩。顺南4井6464m。薄片(-), × 5



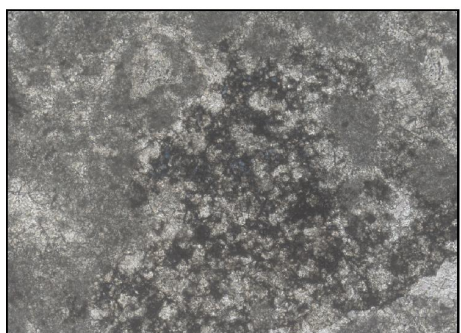
(b) 泥晶生物碎屑灰岩。顺南7井6386m。薄片(-), × 5



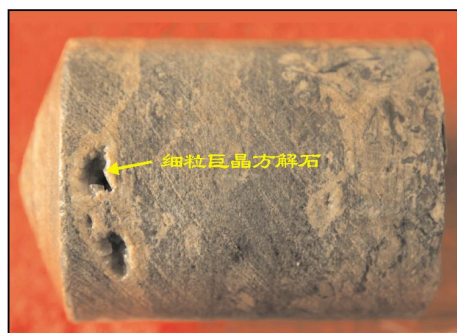
(c) 早期裂缝被方解石充填。古隆2井5761.88m。薄片(-), × 10



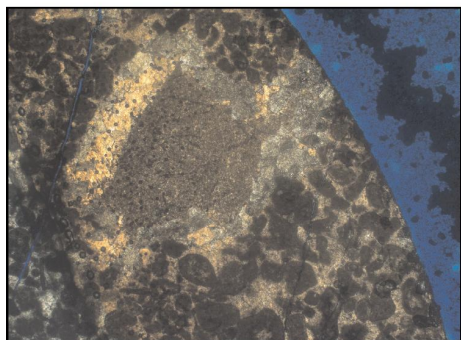
(d) 高角度裂缝被方解石全充填。顺南1井6532.16~6532.34m。岩心。



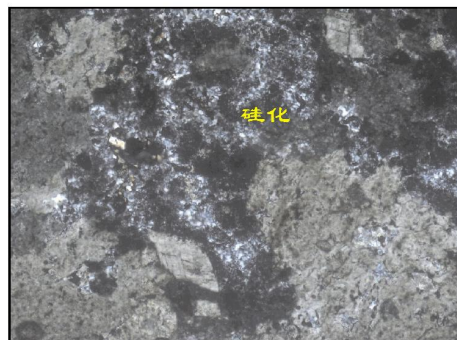
(e) 晶间溶孔, 分布黑色沥青。顺托1井7673.48m。薄片(-), × 10



(f) 亮晶砂屑灰岩, 溶蚀孔洞发育。顺南7井6547.64~6547.92m, 岩心。



(g) 渗滤灰泥充填构造。顺南7井, 6485.45m。薄片(-), × 2.5



(h) 硅质表面见残余粒屑结构。顺托1井7705.21m。薄片(-), × 5

图2 塔中北坡奥陶系一间房组岩石学特征及储集空间类型

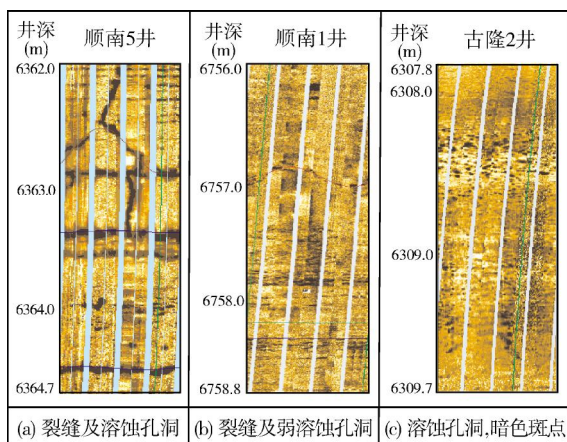


图3 塔中北坡奥陶系一间房组裂缝孔洞成像测井响应特征

3.3 储层物性特征

通过对工区内8口钻井92块岩心的常规物性分析资料统计表明,研究区一间房组储层是以低孔低渗为主,基质孔隙发育较差。孔隙度主要分布在0.2%~5%之间,平均值1.51%。渗透率的分布范围 $(0.0019\sim 5.84)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均值 $0.56\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。从孔隙度—渗透率交会图来看(图4),孔隙度和渗透率的相关性较差,孔隙度值在1%附近的区域,分布了一些渗透率相对比较高的值,这反映了微裂缝的影响。

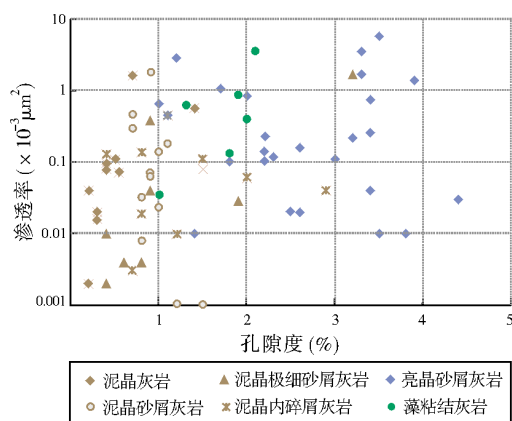


图4 塔中北坡奥陶系一间房组岩心储层物性交会图

4 储层主控因素

塔中北坡一间房组储集层发育的控制因素主要有沉积相、断裂活动和溶蚀作用三种。

4.1 台内高能颗粒滩发育为后期选择性溶蚀奠定了物质基础

不同的沉积环境,由于水动力条件的差异,形成的岩石矿物成分和岩石组构也有一定的不同,从而导致岩石的储集性能存在明显差异。一间房组沉积期,塔里木盆地以发育碳酸盐岩台地沉积体系为主^[7],塔中北坡中石化矿权区内一间房组为开阔台地相沉积,受台内微地貌和海平面震荡变化的影响,纵向上发育多个台内滩—滩间海沉积旋回^[8-9]。台内滩岩性主要为砂屑灰岩、生物碎屑灰岩,早期形成的粒内溶孔、铸模孔和粒间溶孔等孔隙比较发育。这些孔隙虽然后期大多被次生方解石、有机质和灰泥等物质充填,但依然会有一定数量的残余孔隙被保存了下来^[8],这为后期组构选择性溶蚀作用的发生及埋藏溶蚀作用的进一步改造奠定了物质基础。根据岩心观察、薄片鉴定和测井资料分析结果,一间房组储层溶蚀孔洞主要发育于台内滩的颗粒灰岩,而在滩间海的泥晶灰岩中则不发育(图5)。从图4也可以看出,物性相对较好的数据点主要对应于砂屑灰岩。如顺南7井第2回次岩心见到约1m厚的溶蚀孔洞发育段,岩性主要为亮晶砂屑灰岩(图2f),发育孔洞279个,最大20mm×30mm,被白色方解石或黑色有机质半充填—全充填,镜下可见渗滤灰泥结构(图2g)和微弱的粒内溶孔发育。这些现象均表明溶蚀孔洞的发育可能与沉积相带有一定的联系。

4.2 准同生期大气水岩溶与埋藏期溶蚀的叠加改善了储集性能

溶蚀作用在塔中北坡主要可识别出(准)同生暴露溶蚀作用和埋藏溶蚀作用两种。塔中北坡加里东期岩溶不发育,仅发育受短暂暴露大气水溶蚀作用控制的半充填—全充填溶蚀孔洞,并叠加埋藏期溶蚀改造。塔里木盆地中奥陶世海平面震荡变化比较频繁^[8],由于海平面的短暂下降,分布于台地内水下高地的颗粒滩沉积物露出水面,暴露于大气成岩环境中,接受大气淡水的选择性溶蚀,形成一定规模的溶蚀孔洞^[10]。以顺南1、顺南2和古隆2井为例,岩心断面均可见到似窗格孔构造发育,镜下可见粒内溶孔和粒间溶孔,为较典型的选择性溶蚀产物。从目前的钻井取心来看,尽管大部分与(准)同生暴露溶蚀有关的孔洞均已被多次次的方解石全充填,但仍为后

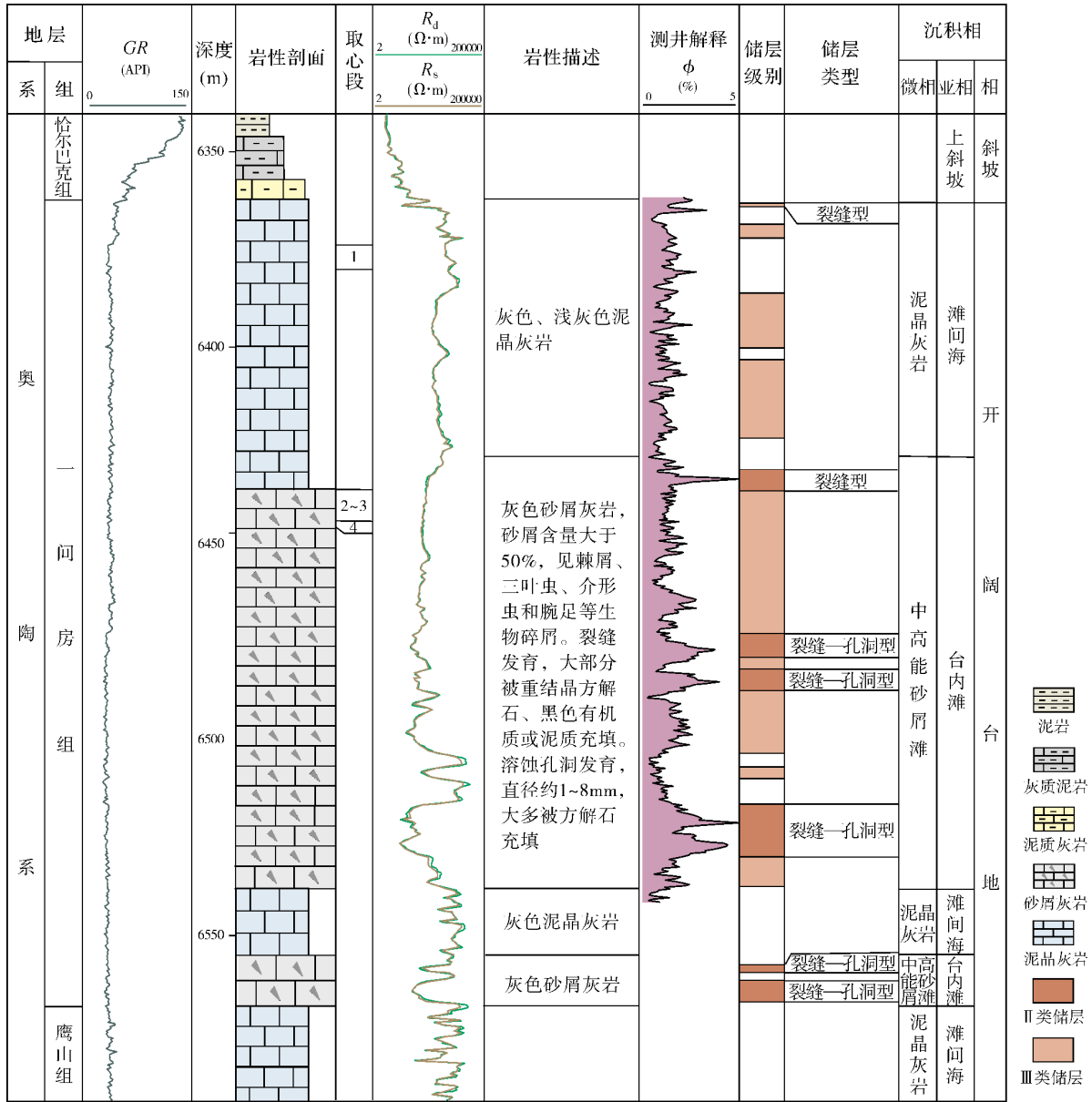


图5 塔中北坡顺南5井一间房组沉积微相综合柱状图

期溶蚀作用的发生奠定了基础。顺南1井和古隆2井一间房组碳、氧同位素分析表明,裂缝充填方解石的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 均比周围泥晶灰岩全岩的背景值(样品编号5)偏负(表1),表明早期有大气淡水溶蚀作用的参与^[5]。

塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层至少经历了3期埋藏溶蚀作用^[11]。由于研究区长期处于斜坡部位,构造运动影响的强度有限,埋藏环境较为稳定,因此具备埋藏溶蚀作用发生的条件。据前人研究,古隆1井

表1 塔中北坡一间房组裂缝充填方解石与泥晶灰岩碳、氧同位素组成^[5]

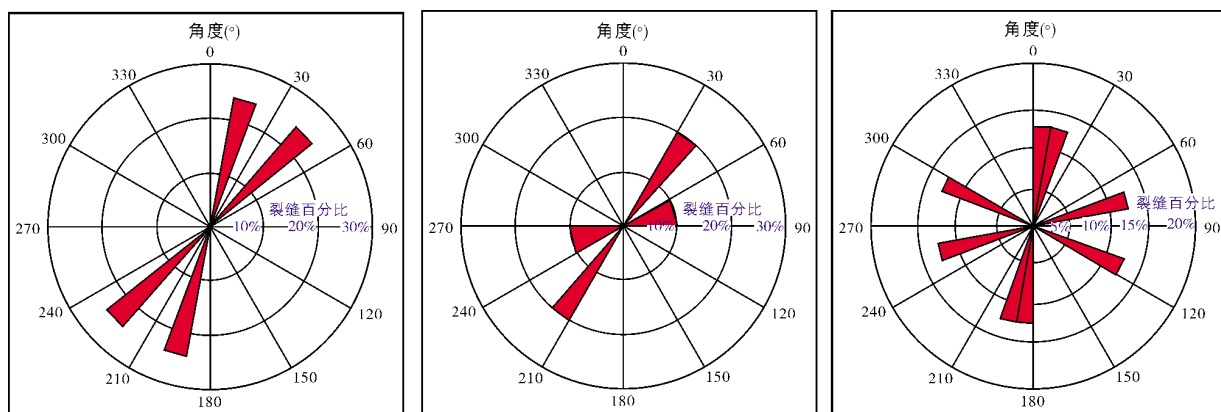
编号	井名	井深(m)	岩性/产状	$\delta^{13}\text{C}$ (‰PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰PDB)
1	顺南1	6532.62	裂缝充填方解石	-0.5	-10.4
2	古隆2	5755.53	裂缝充填方解石	0.5	-10.5
3	古隆2	5760.33	裂缝充填方解石	0.4	-9.7
4	古隆2	5786.08	裂缝充填方解石	-0.2	-9.4
5	古隆2	5760.38	泥晶灰岩	0.9	-7.5

和顺南4井在鹰山组均钻遇受热液流体改造的储集体^[4]。本文通过对研究区一间房组岩心样品中方解石充填物的流体包裹体分析表明,部分方解石以单液相盐水包裹体为主,而以气液两相包裹体为主的粒状方解石的包裹体均一温度为149.6~166.8℃,盐度的变化较大,为1.1~14.8 wt% NaCl。以气液两相包裹体为主的粒状方解石为埋藏期胶结的方解石,说明该溶蚀孔洞也遭受了埋藏期多期次热液流体的改造。此外,可见到细粒菱形巨晶方解石充填孔洞,早期缝合线及裂缝的溶蚀扩大(图2c, 3a)、硅化作用(图2h),以及部分溶蚀孔隙比较干净,未充填有机质和沥青、而附近有沥青浸染等现象也说明了埋藏期溶蚀作用的存在。

4.3 多期活动的北东向断裂促进了岩溶缝洞型储层发育

塔中北坡发育多期次活动的断裂系统,其中,多条加里东中期—海西期北东向走滑断裂及伴生的裂缝系统对本区奥陶系碳酸盐岩储集层的发育有着重要的控制作用。断裂系统的多期次活动能够促进构造裂缝的产生,形成广泛分布的断裂—裂缝体系,这不仅沟通了原有的孔、洞、缝系统,而且为后期流体

的活动提供了有利的通道,促进了岩溶缝洞型储层的形成^[12-14]。裂缝组构分析表明研究区发育多期裂缝,岩心及薄片中可以见到明显的裂缝期次(切割)关系(图2c)。早期裂缝多被亮晶方解石全充填,反映了准共生—早成岩期的胶结作用;后期裂缝多被粗大亮晶方解石全充填,阴极发光下呈现昏暗发光,代表富Fe的晚成岩期流体性质。而未完全充填的晚期构造缝和成岩缝,构成了现今有效的储集空间和油气运移通道,荧光下裂缝内赋存的油气发荧光。岩心、薄片和成像测井资料表明,北东向断裂带附近的钻井均发现有裂缝型储集空间,并且在断裂附近和褶曲轴部,岩溶缝洞型储层较发育,高产井大多分布在断裂带附近。如顺托1井第1回次岩心裂缝共发育112条,发育密度17条/m,其中立缝15条,斜缝34条,平缝63条,大多被黑色有机质全充填;溶蚀孔洞共计25个,孔径3~7 mm,发育密度4个/m,被方解石晶体全充填。顺南1井、顺南5井等多口钻井成像测井资料表明,一间房组和鹰山组裂缝走向与北东向断裂关系密切,其间成平行或近似平行关系(图6),表明受到了SSE—NW、SE—NW向地质应力的作用,形成单向或共轭裂缝,由此可见,构造破裂作用对缝洞型储层的形成起到了积极作用。



(a) 裂缝NE走向。顺南1井6750-6775m, 鹰山组

(b) 裂缝以NE走向为主。顺南5井6360-6580m, 一间房组—鹰山组

(c) 裂缝近NE走向。古隆2井5790-5880m, 一间房组

图6 塔中北坡奥陶系一间房组—鹰山组裂缝走向特征

5 储层发育演化模式

综合以上分析可知,塔中北坡一间房组储层的形成受到多种因素的控制,在此基础上建立了本区储集层发育演化模式(图7)。在一间房组沉积

期(图7a),由于海平面的暂时性相对下降,古地貌高地上沉积的台内滩间歇性暴露于大气淡水的成岩环境中,在富含CO₂的大气淡水的淋滤作用下,沉积物发生了选择性的溶蚀作用,形成了一定规模的粒内溶孔、粒间溶孔、铸模孔、裂缝及其充填

物。进入埋藏阶段后(图7b),经过多期构造运动(尤其是加里东晚期—海西期北东向断裂活动)以及埋藏溶蚀作用的改造,产生了断裂—裂缝体系以及溶蚀孔洞,它们与早期的残余孔隙共同构成了新的储—渗组合系统,最终形成了现今的岩溶缝洞储集体。

根据对地震资料和钻井资料的综合分析,笔者编制了塔中北坡沉积微相和断裂分布叠合图(图8),认为本区开阔台地台内颗粒滩发育,而邻近北东向走滑断裂带的台内滩发育区是一间房组储层最有利的发育带,受断裂和溶蚀作用改造的裂缝型、孔洞型和裂缝—孔洞型储层共存且多分布在断裂带附近,如顺南5、顺南501和顺南7等多口井均已证实这一点。

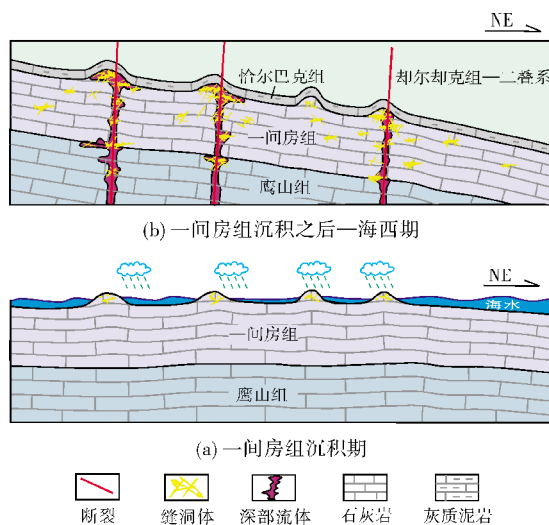


图7 塔中北坡一间房组储层成因演化模式

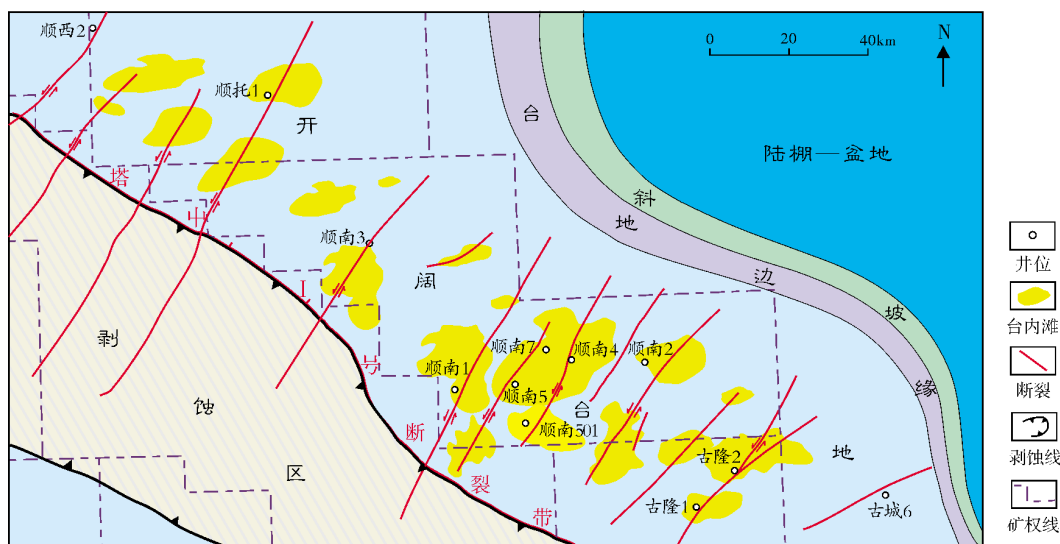


图8 塔中北坡一间房组沉积微相及断裂分布叠合图

6 结论

(1)中奥陶统一间房组海相碳酸盐岩是研究区最主要的储层之一,岩石类型主要有灰色、浅灰色(泥)亮晶砂屑灰岩、泥晶灰岩和藻粘结灰岩,储集空间主要为裂缝和溶蚀孔洞,以裂缝型、裂缝—孔洞型和孔洞型储层为主。

(2)储集层发育程度主要受沉积微相、断裂活动以及溶蚀作用控制,台内高能滩的发育为后期选择性溶蚀奠定了物质基础,大气淡水溶蚀作用和埋藏期岩溶作用在一定程度上改善了储集性能,多期次

活动的北东向断裂带是优质储层形成的关键。北东向走滑断裂带附近的台内滩发育区是一间房组海相碳酸盐岩储层的最有利发育带。

参考文献

- [1] 黄太柱. 塔里木盆地塔中北坡构造解析与油气勘探方向[J]. 石油实验地质, 2014, 36(3): 257-267.
- [2] 郭辉, 马中远, 张黎, 等. 塔中北坡下志留统柯坪塔格组裂缝发育特征及成藏意义[J]. 石油实验地质, 2015, 37(1): 22-27.
- [3] 王铁冠, 宋到福, 李美俊, 等. 塔里木盆地顺南—古城地区奥陶系鹰山组天然气气源与深层天然气勘探前景[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 753-762.

- [4] 云露,曹自成. 塔里木盆地顺南地区奥陶系油气富集与勘探潜力[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 788-797.
- [5] 马庆佑,沙旭光,李宗杰,等. 塔里木盆地塔中北围斜中下奥陶统顶部暴露剥蚀的证据探讨[J]. 石油实验地质, 2013, 35(5): 500-504.
- [6] 蔡习尧,钱一雄,陈强路,等. 塔里木盆地古隆1井奥陶系恰尔巴克组与一间房组的发现及意义[J]. 石油实验地质, 2011, 33(4): 348-352, 358.
- [7] 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.
- [8] 王招明,张丽娟,王振宇,等. 塔里木盆地奥陶系礁滩体特征与油气勘探[J]. 中国石油勘探, 2007, 12(6): 1-8.
- [9] 赵文智,沈安江,周进高,等. 礁滩储集层类型、特征、成因及勘探意义——以塔里木和四川盆地为例[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(3): 257-267.
- [10] 朱东亚,张殿伟,李双建,等. 四川盆地地下组合碳酸盐岩多成因岩溶储层发育特征及机制[J]. 海相油气地质, 2015, 20(1): 33-44.
- [11] 屈海洲,王振宇,张云峰,等. 塔中超深层奥陶系礁滩相碳酸盐岩优质储集层成因[J]. 新疆石油地质, 2013, 34(2): 169-173.
- [12] 杨圣彬,刘军,李慧莉,等. 塔中北围斜区北东向走滑断裂特征及其控油作用[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(6): 797-802.
- [13] 张新超,孙赞东,赵俊省,等. 塔中北斜坡走滑断裂断距对碳酸盐岩油气藏的影响[J]. 现代地质, 2014, 28(5): 1017-1022.
- [14] 刘忠宝,孙华,于炳松,等. 裂缝对塔中奥陶系碳酸盐岩储集层岩溶发育的控制[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(3): 289-291.

编辑:黄革萍

Main Controlling Factors of Reservoir in Ordovician Yijianfang Formation on the Northern Slope of Middle Tarim Basin

Shang Kai, Guo Na, Cao Zicheng, Han Jun, Xu Qinqi

Abstract: Based on the analysis of core observation, rock thin sections, logging data and a variety of testing data of the Middle Ordovician Yijianfang Formation on the northern slope of middle Tarim Basin, reservoirs are mainly distributed in grain limestone of intra-platform shoals. The main reservoir types in this area are fractured reservoirs, fractured-vuggy reservoirs and pore-cave reservoirs. The controlling factors of reservoir genesis are sedimentary microfacies, faults and dissolution. The carbonate shoals provide the early material basis for the later selective dissolution. Meteoric-water dissolution and burial dissolution improved the properties of reservoir to some extent. The multi-period activities of the NE-trend faults played a key role in controlling the high quality reservoir.

Key words: Carbonate rock; Reservoir; Yijianfang Formation; Ordovician; Tarim Basin

Shang Kai: MSc., Petroleum Geology Engineer. Add: Northwest Oilfield Branch Company, SINOPEC, 466 Changchun Nan Rd., Urumqi, Xinjiang, 830011, China

塔里木盆地塔中北坡奥陶系一间房组 储集层主控因素分析

尚凯¹, 郭娜², 曹自成¹, 韩俊¹, 徐勤琪¹

(1 中国石化西北油田分公司勘探开发研究院; 2 中国石化西北油田分公司石油工程技术研究院)

摘要 综合分析钻井岩心、岩石薄片、测井资料以及各种化验分析资料,认为塔里木盆地塔中北坡中奥陶统一间房组深层碳酸盐岩储集层主要发育在台内滩相颗粒灰岩中,储层类型主要为裂缝型、裂缝-孔洞型和孔洞型。沉积微相、断裂和溶蚀作用是储层形成的主控因素。其中,台内高能滩的发育为后期选择性溶蚀奠定了物质基础,大气淡水溶蚀作用和埋藏期岩溶作用在一定程度上改善了储集性能,多期次活动的北东向断裂带是优质储层形成的关键。

关键词 塔里木盆地; 塔中北坡; 奥陶系; 一间房组; 碳酸盐岩; 储集层

中图分类号: TE122.2 文献标识码: A

1 前言

塔里木盆地塔中北坡紧邻满加尔坳陷,油气成藏条件优越,勘探开发潜力巨大,一直是勘探家和研究者普遍关注的热点地区^[1-5]。近年来,塔中北坡中石化矿权区内奥陶系深层碳酸盐岩油气勘探取得了可喜的成果,如:2005年部署的古隆1井(位置见图1)在中—下奥陶统鹰山组内幕获得低产天然气流,日产天然气10 067 m³,从而发现了塔中北坡鹰山组内幕白云岩储层^[4];2011年顺南1井又在中奥陶统一间房组测试获得突破,由此,塔中北坡奥陶系一间房组也引起了勘探工作者们的重视;2013年顺南4井和顺南5井均在鹰山组获得了高产气流,进一步展示了该区奥陶系岩溶缝洞储集体良好的勘探前景;近期钻探的顺南7井和顺托1井等多口探井在一间房组测试获得工业油气流,开拓了本区油气勘探的新领域。

塔中北坡一间房组顶部埋深5 700~7 600 m,为典型的超深层海相碳酸盐岩储层。与鹰山组相比较,一间房组的岩性主要为石灰岩,储层类型较为简单。但前期由于勘探程度较低,基础资料不够丰富,对于本区一间房组储层的研究相对比较薄弱,相关研究

报道也比较少。从目前的实钻情况来看,储层发育程度是决定塔中北坡一间房组油气成藏的关键因素,而塔中北坡一间房组储层的成因明显不同于勘探程度较高的塔北地区,因此对于这套储层的特征及主控因素的研究就显得至关重要。笔者在前人对塔里木盆地奥陶系研究的基础上,结合钻井、岩心、测井以及各种化验分析资料,对本区一间房组储层特征及主控因素进行了详细研究,以期与研究区进一步的勘探开发提供地质依据。

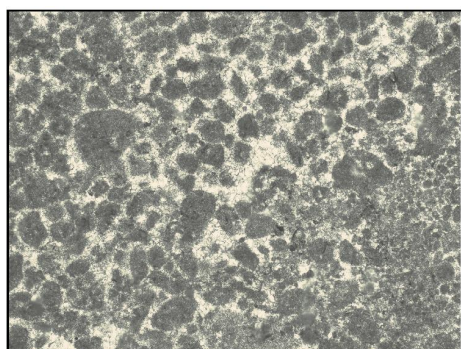
2 区域地质背景

塔中北坡位于卡塔克隆起以北、塔中I号断裂带下盘(图1),南部以塔中I号断裂带为界与卡塔克隆起相接,北至顺西2井区一线,东北方向毗邻满加尔坳陷,东南至古隆1井区,构造位置处于顺托果勒低隆东南部斜坡带和古城墟隆起西段的结合部位^[1]。塔中北坡现今构造形态为一个由东南向西北倾没的单斜,在构造演化各个时期一直处于满加尔生烃坳陷的油气源向卡塔克隆起的运移路径上,构造位置十分有利。该区发育多组北东向走滑断裂带(图1),它们是储集层发育的有利区带,同时也是晚期油气

收稿日期: 2015-04-07; 改回日期: 2016-05-27

本文受国家科技重大专项专题“塔里木盆地中央隆起区海相碳酸盐岩层系油气成藏主控因素与勘探突破目标评价”(编号: 2011ZX05005-004)资助

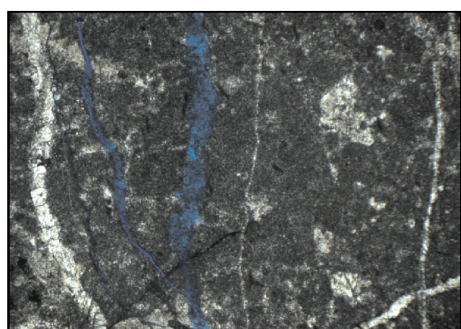
尚凯: 1982年生,工程师,2010年西安石油大学硕士毕业。主要从事石油地质综合研究。通讯地址: 830011 新疆乌鲁木齐市长春南路466号; E-mail: kaige925@163.com



(a) 亮晶砂屑灰岩。顺南4井6464m。薄片(-), × 5



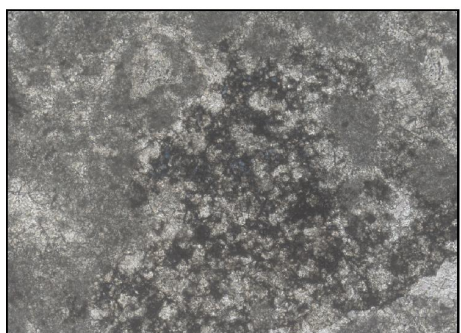
(b) 泥晶生物碎屑灰岩。顺南7井6386m。薄片(-), × 5



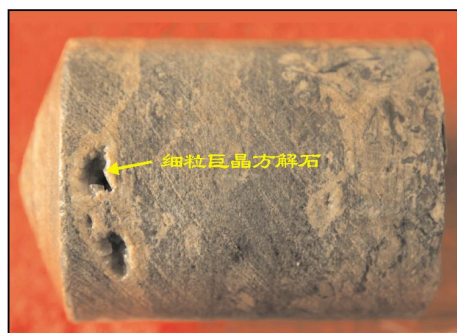
(c) 早期裂缝被方解石充填。古隆2井5761.88m。薄片(-), × 10



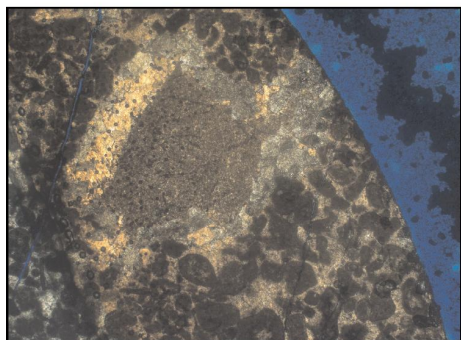
(d) 高角度裂缝被方解石全充填。顺南1井6532.16~6532.34m。岩心。



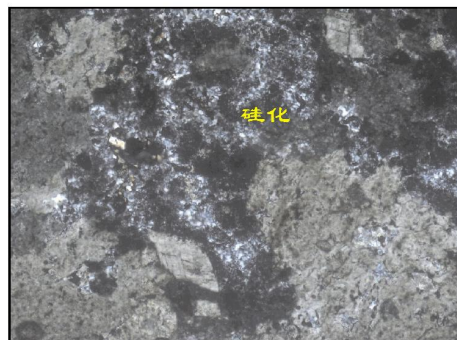
(e) 晶间溶孔, 分布黑色沥青。顺托1井7673.48m。薄片(-), × 10



(f) 亮晶砂屑灰岩, 溶蚀孔洞发育。顺南7井6547.64~6547.92m, 岩心。



(g) 渗滤灰泥充填构造。顺南7井, 6485.45m。薄片(-), × 2.5



(h) 硅质表面见残余粒屑结构。顺托1井7705.21m。薄片(-), × 5

图2 塔中北坡奥陶系一间房组岩石学特征及储集空间类型

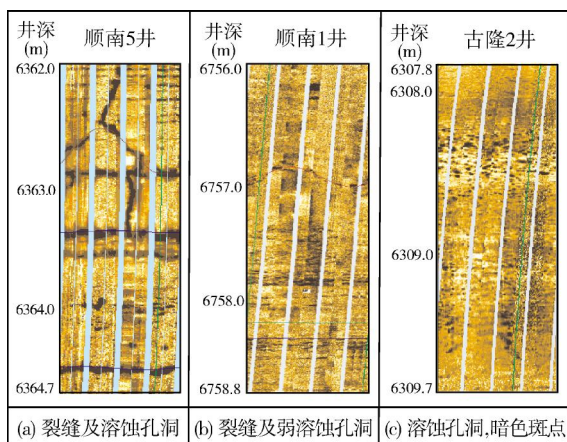


图3 塔中北坡奥陶系一间房组裂缝孔洞成像测井响应特征

3.3 储层物性特征

通过对工区内8口钻井92块岩心的常规物性分析资料统计表明,研究区一间房组储层是以低孔低渗为主,基质孔隙发育较差。孔隙度主要分布在0.2%~5%之间,平均值1.51%。渗透率的分布范围 $(0.0019\sim 5.84)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均值 $0.56\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。从孔隙度—渗透率交会图来看(图4),孔隙度和渗透率的相关性较差,孔隙度值在1%附近的区域,分布了一些渗透率相对比较高的值,这反映了微裂缝的影响。

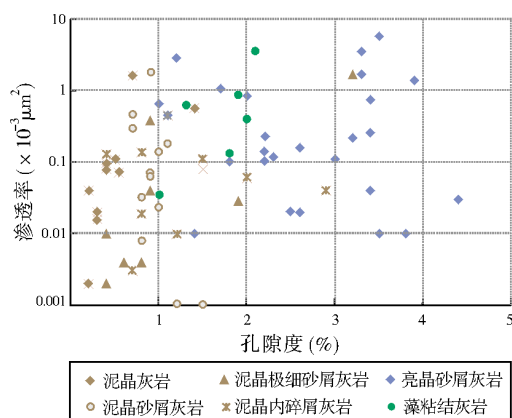


图4 塔中北坡奥陶系一间房组岩心储层物性交会图

4 储层主控因素

塔中北坡一间房组储集层发育的控制因素主要有沉积相、断裂活动和溶蚀作用三种。

4.1 台内高能颗粒滩发育为后期选择性溶蚀奠定了物质基础

不同的沉积环境,由于水动力条件的差异,形成的岩石矿物成分和岩石组构也有一定的不同,从而导致岩石的储集性能存在明显差异。一间房组沉积期,塔里木盆地以发育碳酸盐岩台地沉积体系为主^[7],塔中北坡中石化矿权区内一间房组为开阔台地相沉积,受台内微地貌和海平面震荡变化的影响,纵向上发育多个台内滩—滩间海沉积旋回^[8-9]。台内滩岩性主要为砂屑灰岩、生物碎屑灰岩,早期形成的粒内溶孔、铸模孔和粒间溶孔等孔隙比较发育。这些孔隙虽然后期大多被次生方解石、有机质和灰泥等物质充填,但依然会有一定数量的残余孔隙被保存了下来^[8],这为后期组构选择性溶蚀作用的发生及埋藏溶蚀作用的进一步改造奠定了物质基础。根据岩心观察、薄片鉴定和测井资料分析结果,一间房组储层溶蚀孔洞主要发育于台内滩的颗粒灰岩,而在滩间海的泥晶灰岩中则不发育(图5)。从图4也可以看出,物性相对较好的数据点主要对应于砂屑灰岩。如顺南7井第2回次岩心见到约1m厚的溶蚀孔洞发育段,岩性主要为亮晶砂屑灰岩(图2f),发育孔洞279个,最大20mm×30mm,被白色方解石或黑色有机质半充填—全充填,镜下可见渗滤灰泥结构(图2g)和微弱的粒内溶孔发育。这些现象均表明溶蚀孔洞的发育可能与沉积相带有一定的联系。

4.2 准同生期大气水岩溶与埋藏期溶蚀的叠加改善了储集性能

溶蚀作用在塔中北坡主要可识别出(准)同生暴露溶蚀作用和埋藏溶蚀作用两种。塔中北坡加里东期岩溶不发育,仅发育受短暂暴露大气水溶蚀作用控制的半充填—全充填溶蚀孔洞,并叠加埋藏期溶蚀改造。塔里木盆地中奥陶世海平面震荡变化比较频繁^[8],由于海平面的短暂下降,分布于台地内水下高地的颗粒滩沉积物露出水面,暴露于大气成岩环境中,接受大气淡水的选择性溶蚀,形成一定规模的溶蚀孔洞^[10]。以顺南1、顺南2和古隆2井为例,岩心断面均可见到似窗格孔构造发育,镜下可见粒内溶孔和粒间溶孔,为较典型的选择性溶蚀产物。从目前的钻井取心来看,尽管大部分与(准)同生暴露溶蚀有关的孔洞均已被多次次的方解石全充填,但仍为后

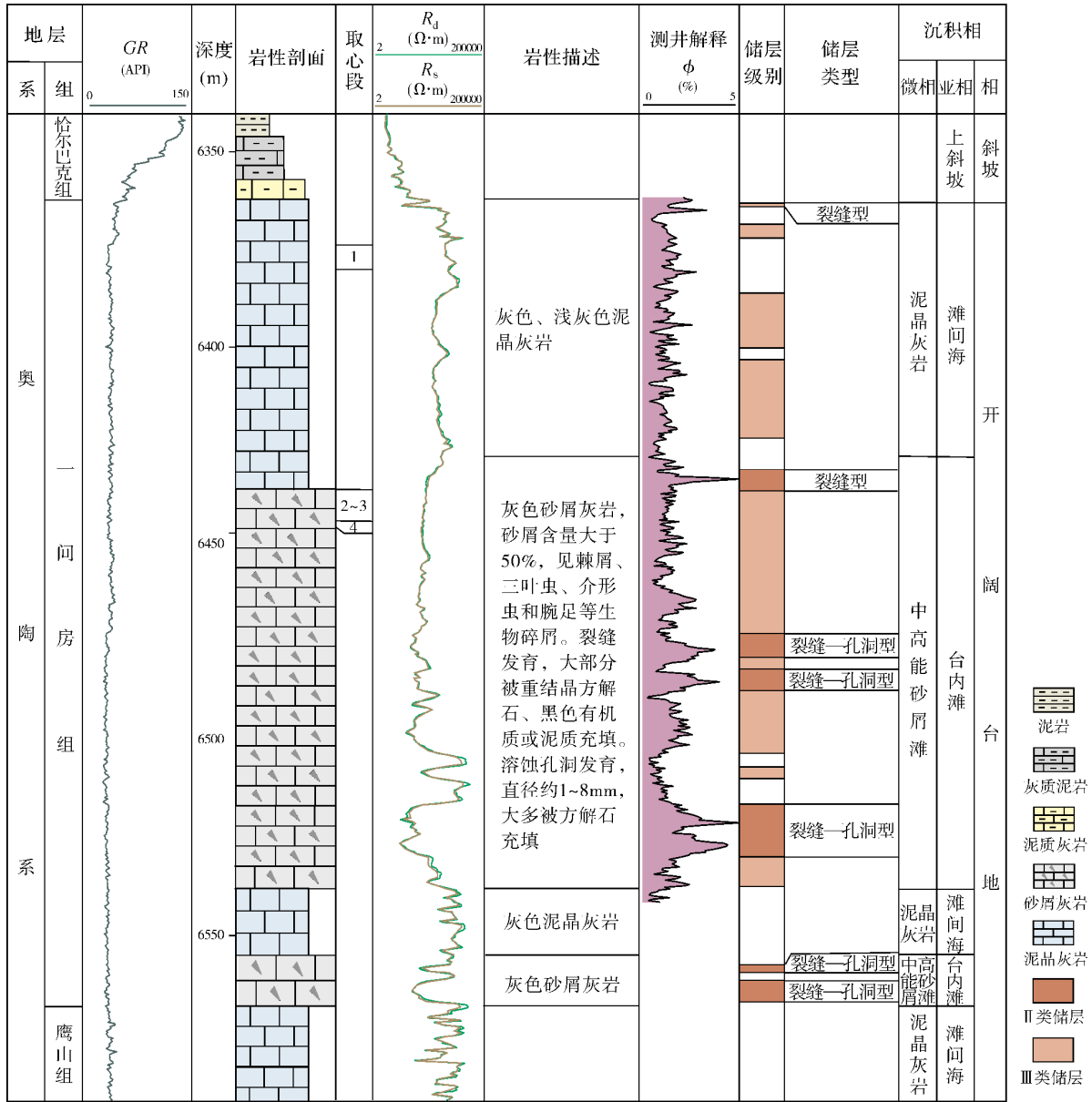


图5 塔中北坡顺南5井一间房组沉积微相综合柱状图

期溶蚀作用的发生奠定了基础。顺南1井和古隆2井一间房组碳、氧同位素分析表明,裂缝充填方解石的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 均比周围泥晶灰岩全岩的背景值(样品编号5)偏负(表1),表明早期有大气淡水溶蚀作用的参与^[5]。

塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层至少经历了3期埋藏溶蚀作用^[11]。由于研究区长期处于斜坡部位,构造运动影响的强度有限,埋藏环境较为稳定,因此具备埋藏溶蚀作用发生的条件。据前人研究,古隆1井

表1 塔中北坡一间房组裂缝充填方解石与泥晶灰岩碳、氧同位素组成^[5]

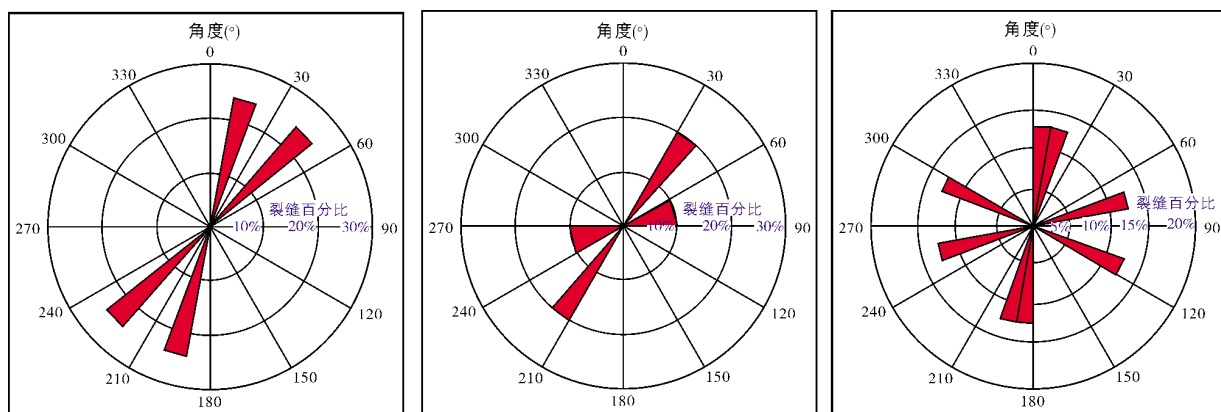
编号	井名	井深(m)	岩性/产状	$\delta^{13}\text{C}$ (‰PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰PDB)
1	顺南1	6532.62	裂缝充填方解石	-0.5	-10.4
2	古隆2	5755.53	裂缝充填方解石	0.5	-10.5
3	古隆2	5760.33	裂缝充填方解石	0.4	-9.7
4	古隆2	5786.08	裂缝充填方解石	-0.2	-9.4
5	古隆2	5760.38	泥晶灰岩	0.9	-7.5

和顺南4井在鹰山组均钻遇受热液流体改造的储集体^[4]。本文通过对研究区一间房组岩心样品中方解石充填物的流体包裹体分析表明,部分方解石以单液相盐水包裹体为主,而以气液两相包裹体为主的粒状方解石的包裹体均一温度为149.6~166.8℃,盐度的变化较大,为1.1~14.8 wt% NaCl。以气液两相包裹体为主的粒状方解石为埋藏期胶结的方解石,说明该溶蚀孔洞也遭受了埋藏期多期次热液流体的改造。此外,可见到细粒菱形巨晶方解石充填孔洞,早期缝合线及裂缝的溶蚀扩大(图2c, 3a)、硅化作用(图2h),以及部分溶蚀孔隙比较干净,未充填有机质和沥青、而附近有沥青浸染等现象也说明了埋藏期溶蚀作用的存在。

4.3 多期活动的北东向断裂促进了岩溶缝洞型储层发育

塔中北坡发育多期次活动的断裂系统,其中,多条加里东中期—海西期北东向走滑断裂及伴生的裂缝系统对本区奥陶系碳酸盐岩储集层的发育有着重要的控制作用。断裂系统的多期次活动能够促进构造裂缝的产生,形成广泛分布的断裂—裂缝体系,这不仅沟通了原有的孔、洞、缝系统,而且为后期流体

的活动提供了有利的通道,促进了岩溶缝洞型储层的形成^[12-14]。裂缝组构分析表明研究区发育多期裂缝,岩心及薄片中可以见到明显的裂缝期次(切割)关系(图2c)。早期裂缝多被亮晶方解石全充填,反映了准共生—早成岩期的胶结作用;后期裂缝多被粗大亮晶方解石全充填,阴极发光下呈现昏暗发光,代表富Fe的晚成岩期流体性质。而未完全充填的晚期构造缝和成岩缝,构成了现今有效的储集空间和油气运移通道,荧光下裂缝内赋存的油气发荧光。岩心、薄片和成像测井资料表明,北东向断裂带附近的钻井均发现有裂缝型储集空间,并且在断裂附近和褶曲轴部,岩溶缝洞型储层较发育,高产井大多分布在断裂带附近。如顺托1井第1回次岩心裂缝共发育112条,发育密度17条/m,其中立缝15条,斜缝34条,平缝63条,大多被黑色有机质全充填;溶蚀孔洞共计25个,孔径3~7 mm,发育密度4个/m,被方解石晶体全充填。顺南1井、顺南5井等多口钻井成像测井资料表明,一间房组和鹰山组裂缝走向与北东向断裂关系密切,其间成平行或近似平行关系(图6),表明受到了SSE—NW、SE—NW向地质应力的作用,形成单向或共轭裂缝,由此可见,构造破裂作用对缝洞型储层的形成起到了积极作用。



(a) 裂缝NE走向。顺南1井6750-6775m, 鹰山组

(b) 裂缝以NE走向为主。顺南5井6360-6580m, 一间房组—鹰山组

(c) 裂缝近NE走向。古隆2井5790-5880m, 一间房组

图6 塔中北坡奥陶系一间房组—鹰山组裂缝走向特征

5 储层发育演化模式

综合以上分析可知,塔中北坡一间房组储层的形成受到多种因素的控制,在此基础上建立了本区储集层发育演化模式(图7)。在一间房组沉积

期(图7a),由于海平面的暂时性相对下降,古地貌高地上沉积的台内滩间歇性暴露于大气淡水的成岩环境中,在富含CO₂的大气淡水的淋滤作用下,沉积物发生了选择性的溶蚀作用,形成了一定规模的粒内溶孔、粒间溶孔、铸模孔、裂缝及其充填

物。进入埋藏阶段后(图7b),经过多期构造运动(尤其是加里东晚期—海西期北东向断裂活动)以及埋藏溶蚀作用的改造,产生了断裂—裂缝体系以及溶蚀孔洞,它们与早期的残余孔隙共同构成了新的储—渗组合系统,最终形成了现今的岩溶缝洞储集体。

根据对地震资料和钻井资料的综合分析,笔者编制了塔中北坡沉积微相和断裂分布叠合图(图8),认为本区开阔台地台内颗粒滩发育,而邻近北东向走滑断裂带的台内滩发育区是一间房组储层最有利的发育带,受断裂和溶蚀作用改造的裂缝型、孔洞型和裂缝—孔洞型储层共存且多分布在断裂带附近,如顺南5、顺南501和顺南7等多口井均已证实这一点。

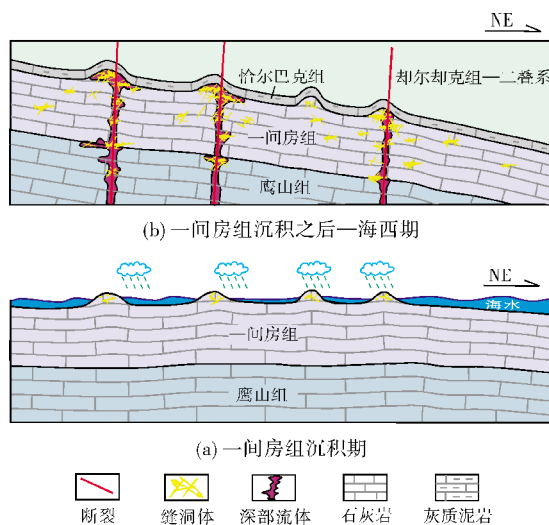


图7 塔中北坡一间房组储层成因演化模式

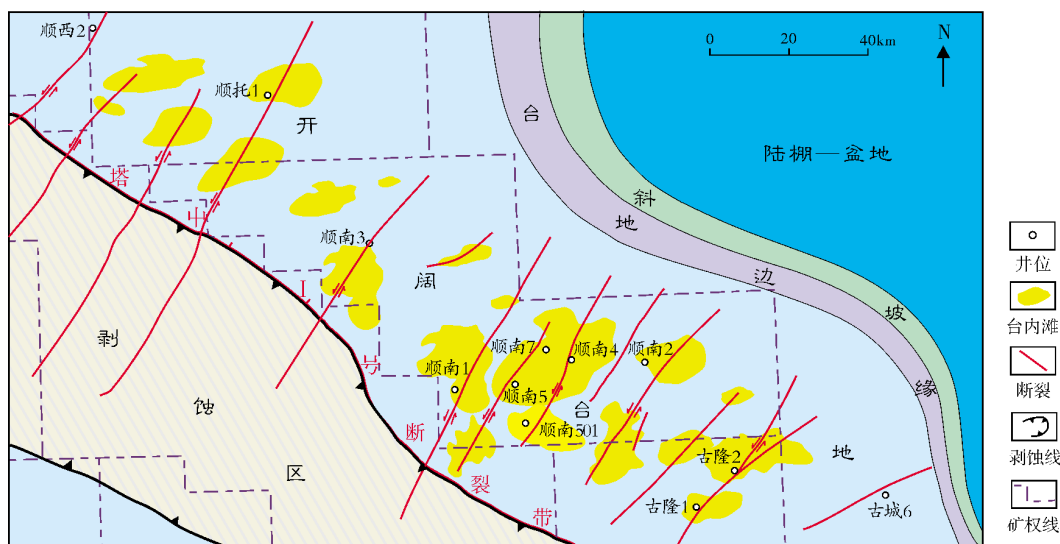


图8 塔中北坡一间房组沉积微相及断裂分布叠合图

6 结论

(1)中奥陶统一间房组海相碳酸盐岩是研究区最主要的储层之一,岩石类型主要有灰色、浅灰色(泥)亮晶砂屑灰岩、泥晶灰岩和藻粘结灰岩,储集空间主要为裂缝和溶蚀孔洞,以裂缝型、裂缝—孔洞型和孔洞型储层为主。

(2)储集层发育程度主要受沉积微相、断裂活动以及溶蚀作用控制,台内高能滩的发育为后期选择性溶蚀奠定了物质基础,大气淡水溶蚀作用和埋藏期岩溶作用在一定程度上改善了储集性能,多期次

活动的北东向断裂带是优质储层形成的关键。北东向走滑断裂带附近的台内滩发育区是一间房组海相碳酸盐岩储层的最有利发育带。

参考文献

- [1] 黄太柱. 塔里木盆地塔中北坡构造解析与油气勘探方向[J]. 石油实验地质, 2014, 36(3): 257-267.
- [2] 郭辉, 马中远, 张黎, 等. 塔中北坡下志留统柯坪塔格组裂缝发育特征及成藏意义[J]. 石油实验地质, 2015, 37(1): 22-27.
- [3] 王铁冠, 宋到福, 李美俊, 等. 塔里木盆地顺南—古城地区奥陶系鹰山组天然气气源与深层天然气勘探前景[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 753-762.

- [4] 云露,曹自成.塔里木盆地顺南地区奥陶系油气富集与勘探潜力[J].石油与天然气地质,2014,35(6): 788-797.
- [5] 马庆佑,沙旭光,李宗杰,等.塔里木盆地塔中北围斜中下奥陶统顶部暴露剥蚀的证据探讨[J].石油实验地质,2013,35(5): 500-504.
- [6] 蔡习尧,钱一雄,陈强路,等.塔里木盆地古隆1井奥陶系恰尔巴克组与一间房组的发现及意义[J].石油实验地质,2011,33(4): 348-352,358.
- [7] 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.
- [8] 王招明,张丽娟,王振宇,等.塔里木盆地奥陶系礁滩体特征与油气勘探[J].中国石油勘探,2007,12(6): 1-8.
- [9] 赵文智,沈安江,周进高,等.礁滩储集层类型、特征、成因及勘探意义——以塔里木和四川盆地为例[J].石油勘探与开发,2014,41(3): 257-267.
- [10] 朱东亚,张殿伟,李双建,等.四川盆地下组合碳酸盐岩多成因岩溶储层发育特征及机制[J].海相油气地质,2015,20(1): 33-44.
- [11] 屈海洲,王振宇,张云峰,等.塔中超深层奥陶系礁滩相碳酸盐岩优质储集层成因[J].新疆石油地质,2013,34(2): 169-173.
- [12] 杨圣彬,刘军,李慧莉,等.塔中北围斜区北东向走滑断裂特征及其控油作用[J].石油与天然气地质,2013,34(6): 797-802.
- [13] 张新超,孙赞东,赵俊省,等.塔中北斜坡走滑断裂断距对碳酸盐岩油气藏的影响[J].现代地质,2014,28(5): 1017-1022.
- [14] 刘忠宝,孙华,于炳松,等.裂缝对塔中奥陶系碳酸盐岩储集层岩溶发育的控制[J].新疆石油地质,2007,28(3): 289-291.

编辑:黄革萍

Main Controlling Factors of Reservoir in Ordovician Yijianfang Formation on the Northern Slope of Middle Tarim Basin

Shang Kai, Guo Na, Cao Zicheng, Han Jun, Xu Qinqi

Abstract: Based on the analysis of core observation, rock thin sections, logging data and a variety of testing data of the Middle Ordovician Yijianfang Formation on the northern slope of middle Tarim Basin, reservoirs are mainly distributed in grain limestone of intra-platform shoals. The main reservoir types in this area are fractured reservoirs, fractured-vuggy reservoirs and pore-cave reservoirs. The controlling factors of reservoir genesis are sedimentary microfacies, faults and dissolution. The carbonate shoals provide the early material basis for the later selective dissolution. Meteoric-water dissolution and burial dissolution improved the properties of reservoir to some extent. The multi-period activities of the NE-trend faults played a key role in controlling the high quality reservoir.

Key words: Carbonate rock; Reservoir; Yijianfang Formation; Ordovician; Tarim Basin

Shang Kai: MSc., Petroleum Geology Engineer. Add: Northwest Oilfield Branch Company, SINOPEC, 466 Changchun Nan Rd., Urumqi, Xinjiang, 830011, China