

文章编号:1000-0550(2011)03-0465-10

# 塔里木盆地英买力—哈拉哈塘地区 奥陶系碳酸盐岩岩溶型储层特征及成因<sup>①</sup>

倪新锋<sup>1,2,3</sup> 张丽娟<sup>1</sup> 沈安江<sup>2,3</sup> 韩利军<sup>1</sup> 乔占峰<sup>2,3</sup> 赵宽志<sup>1</sup>

(1. 中国石油塔里木油田分公司 新疆库尔勒 841000; 2. 中国石油杭州地质研究院 杭州 310023;

3. 中国石油碳酸盐岩储层重点实验室 杭州 310023)

**摘要** 塔里木盆地近期获得重大突破的英买力—哈拉哈塘地区奥陶系碳酸盐岩油气藏在很大程度上受岩溶型储层发育的控制,深入总结其储层特征及成因机制对油气勘探开发具有重要意义。通过大量的岩芯、薄片、阴极发光、常规测井、成像测井及测试分析等资料进行综合研究,认为该区储层的基质孔渗极差,难以形成有利的储集空间,而次生孔隙(溶蚀孔洞、洞穴、裂缝等)构成了该区的主要储集空间。裂缝—孔洞型、孔洞型储集层优势发育,是最有勘探价值的储集层。(准)同生岩溶作用、层间岩溶作用、顺层岩溶作用、潜山岩溶作用、埋藏溶蚀作用是英买力—哈拉哈塘地区奥陶系岩溶储层发育的最主要成因,各种岩溶作用多期叠加、改造形成复合型优质岩溶储层。通过对岩溶作用过程的分析,认为储层的原生孔隙和沉积相带是次生孔隙形成的基础条件,岩溶作用是控制储层发育的主要因素,构造运动产生的裂缝是促进岩溶发育、控制储集体发育分布的关键因素。

**关键词** 岩溶储层 特征 成因 主控因素 奥陶系 英买力—哈拉哈塘地区 塔里木盆地

**第一作者简介** 倪新锋 男 1978年出生 在读博士后 高级工程师 沉积学与含油气盆地分析

E-mail: norriss2166@126.com

中图分类号 P588.24<sup>+</sup>5 文献标识码 A

碳酸盐岩岩溶型储层的勘探是当前塔里木盆地乃至全国油气勘探的重要领域,其形成、演化与沉积作用、成岩作用(岩溶作用)及构造作用密切相关<sup>[1-6]</sup>。塔里木盆地近期获得重大突破的英买力—哈拉哈塘地区奥陶系一间房组、鹰山组主要为岩溶型储层,其经历了多旋回构造演化过程,断裂系统复杂,多期、多类型岩溶作用叠加、改造<sup>[2,3,7,8]</sup>,导致储集层分布具有明显的非均质性及差异性,储集体研究难度大,规律性难于掌握。鉴于岩溶储层对该地区油气勘探的重要地位,为实现塔北碳酸盐岩快速建产的目标,对英买力—哈拉哈塘地区奥陶系碳酸盐岩岩溶储层的特征及成因机理进行研究显得相当必要,也必将对该地区进一步勘探开发具有重要意义。

## 1 岩溶储层发育的地质背景

塔里木盆地英买力—哈拉哈塘地区奥陶系油藏位于塔北隆起的西段南缘英买力低凸起和哈拉哈塘斜坡带上(图1)。奥陶系经历了加里东期、海西早期、海西晚期及燕山期—喜马拉雅期等多期构造运

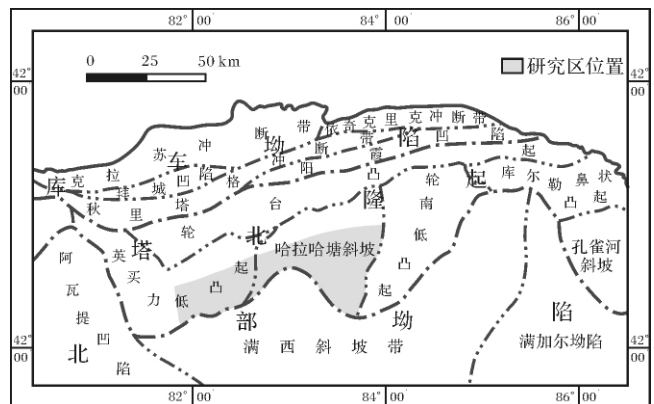


图1 研究区位置图

Fig. 1 Location map of the study area

动。地层遭受了多期岩溶作用,即沉积期受海平面变化控制的(准)同生溶蚀作用,加里东期受平行不整合面控制的层间岩溶作用,海西早期受角度不整合面控制的潜山岩溶作用和顺层岩溶作用以及海西期后与热液活动有关的埋藏溶蚀作用<sup>[2]</sup>,最终形成以岩溶缝洞型储层为主的整装油气藏。奥陶系碳酸盐岩

<sup>①</sup>国家科技重大专项(编号:2008ZX05004-002)及塔里木油田公司2008年度博士后项目(编号:041009080045)资助。  
收稿日期:2010-04-03; 收修改稿日期:2010-05-21

的广泛发育及其岩石组合类型为古岩溶作用的发生提供了有利的物质基础。然而,由于碳酸盐沉积物对成岩作用十分敏感,所以它们在沉积后很容易在胶结和压实等破坏性成岩作用的影响下演变成致密岩层,丧失其储集能力。因此,碳酸盐岩储层的形成往往与成岩过程中诸如岩溶、破裂等建设性成岩作用密切相关<sup>[1-3,9-12]</sup>。

## 2 岩溶储层基本特征

### 2.1 储层岩石学特征

据镜下鉴定,研究区以亮晶颗粒灰岩、泥晶颗粒灰岩、颗粒泥晶灰岩、泥晶灰岩为主,也包含少量的灰泥丘(藻粘结灰岩)、生物礁(托盘礁、绿藻礁)、重结晶灰岩、含云(质)灰岩和硅化岩等(图2)。其中一间房组岩性条件最好,以滩相亮晶颗粒灰岩、泥晶颗粒灰岩占主导优势,局部夹托盘等生物礁,为储层的发育奠定了良好的基础;鹰山组岩性为一大套颗粒灰岩、泥晶灰岩及其过渡岩性的互层,灰岩厚度大、较纯净,有利于发育岩溶缝洞储层;良里塔格组多数地区发育斜坡或台内洼地低能沉积,局部如乡3井等礁滩相发育带岩性条件较好。

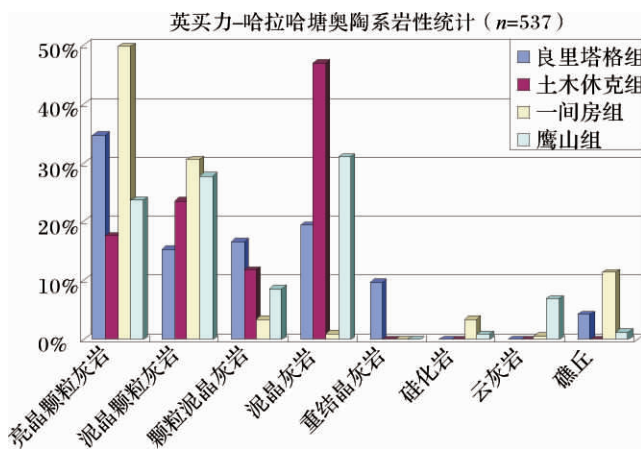


图2 英买力-哈拉哈塘地区奥陶系岩石类型频率分布图

Fig. 2 The lithology statistics of the Ordovician based on cores and thin sections in Yingmaili-Halahatang area

### 2.2 储集空间类型及特征

根据对研究区录井资料、岩芯、普通薄片、铸体薄片以及成像测井资料等观察和研究,认为英买力-哈拉哈塘地区奥陶系碳酸盐岩岩溶储层的储集空间主要有孔、洞、缝三大类。根据孔径和缝宽可划分为宏观孔洞缝和微观孔洞缝。其中,孔径小于0.01 mm,缝宽小于0.1 mm的称为微观孔洞缝;孔径大于

0.01 mm,缝宽大于0.1 mm的称为宏观孔洞缝。即人的肉眼能观察的宏观储集空间类型和镜下观察的微观储集空间类型<sup>[10]</sup>。

#### 2.2.1 宏观储集空间类型

宏观储集空间类型包括岩芯描述统计的孔、洞、缝;钻井放空、井喷、井漏、大型溶蚀暗河、溶洞,也包括测井资料解释的大型溶洞。

① 大型溶洞: 洞穴储集空间洞径一般大于20 mm,在英买力-哈拉哈塘地区较为发育。溶洞发育段一般取芯困难,收获率低、岩芯破碎,但可通过常规测井和成像测井识别,也可通过洞穴角砾岩、地下暗河沉积物、巨晶方解石充填、钻井放空、泥浆漏失、钻时明显降低等标志识别出来。如英买203井发育洞穴,未完全充填,7.61 m洞穴,放空7 m,收获0.57 m方解石(图3a);哈8井在6675~6677 m井段放空2 m,哈9井在6693~6701 m井段顶部1 m发生放空,显示有大型洞穴存在,此外哈7井在6626.4~6645.24 m漏失泥浆达1223.72 m<sup>3</sup>,显示有可观的储集空间。钻井异常段在常规测井和成像测井上均有显著的响应,常规测井表现为井径扩大、电阻率降低并有幅度差、声波时差增大、密度降低、中子孔隙度增大等特征,成像测井上洞穴的特征也较明显,以哈9井为典型(图3b);地震剖面上呈串珠状强反射特征。

② 孔洞(一般为肉眼可见的小洞、大孔): 孔洞的孔径一般大于2 mm,为英买力-哈拉哈塘地区重要的储集空间类型,较为发育。多为顺层状发育或沿裂缝发育,常被方解石、泥质、有机质其中的一种或多种全充填或半充填,部分未充填。以哈6C、哈9井一间房组以及英买201井、英买202井、英买203井、英买206井、英买102井等为典型(图3c)。成像测井图像上,未充填或泥质充填的孔洞一般表现为暗色高导斑点或斑块,与碳酸盐岩围岩亮色高阻显示形成鲜明的反差,易以识别(图3d、e)。

③ 裂缝: 裂缝是碳酸盐岩重要储集空间,也是主要的渗流通道之一,当多组裂缝相互沟通或者裂缝与发育的溶蚀孔、洞储集空间相互沟通可成为好的有效储层。裂缝从成因来分主要有三种类型:即构造缝、溶蚀缝和成岩缝。研究区以高角度构造缝为主,约占60%以上;溶蚀缝在研究区奥陶系碳酸盐岩中也较为常见(图3f),一般沿早期缝溶蚀扩大或沿缝壁岩石或易溶充填物不均匀溶蚀形成孔洞(图3g)。成像测井资料显示,哈601、哈6C、哈9、英买204井一间房组-鹰山组裂缝发育(图3h),半充填或未充填方解

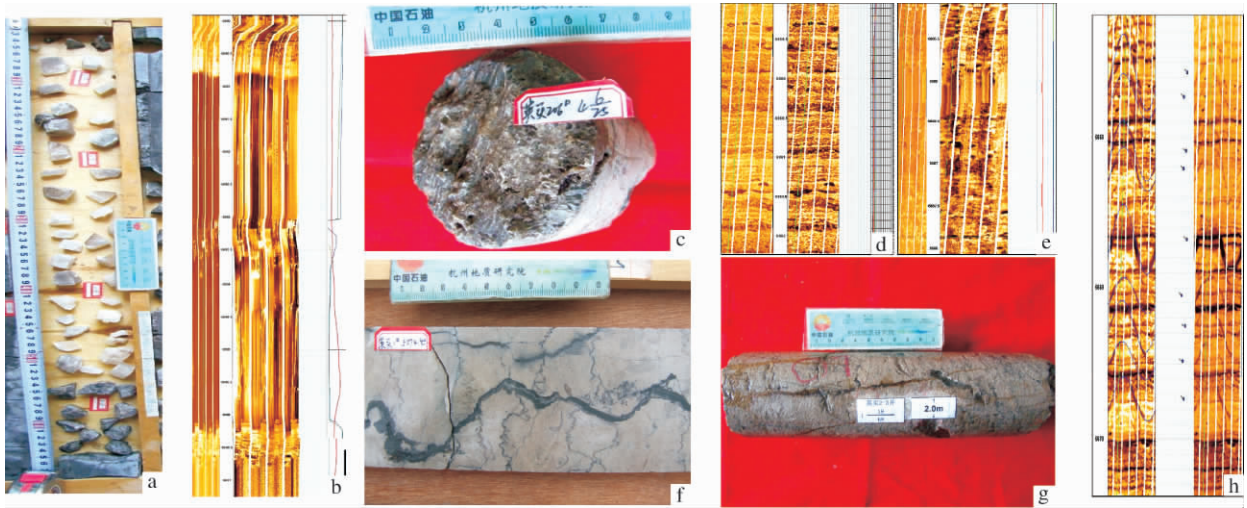


图3 英买力—哈拉哈塘地区奥陶系宏观储集空间特征

Fig. 3 The macroscopical reservoir space characters of Ordovician in the Yingmaili-Halahatang area

- a. 英买 203 井  $\rho$  131.4 ~ 6 139 m,  $O_{1-2Y}$ , 发育洞穴, 未完全充填, 放空 7 m, 收获 0.57 m 方解石; b. 哈 9 井  $\rho$  990 ~ 6 997 m,  $O_{1-2Y}$ , 暗色高导斑块, 钻井放空 1 m, 发育洞穴; c. 英买 206 井 4-6/25,  $O_{2Y}$ , 亮晶砂屑灰岩, 溶蚀孔洞发育; d. 哈 13 井  $\rho$  859 ~ 6 862 m,  $O_{1-2Y}$ , 暗色高导斑点, 溶蚀孔洞顺层发育, 部分半充填, 孔洞型储层; e. 哈 9 井  $\rho$  685 ~ 6 688 m,  $O_{2Y}$ , 暗色高导斑点, 溶蚀孔洞发育, 孔洞型储层; f. 英买 1 井, 5 374.4 m,  $O_{2Y}$ , 亮晶生屑砂屑灰岩, 高角度溶缝, 缝壁泥质充填, 中央为方解石充填; g. 英买 2-3 井, 1-18/68,  $O_{2Y}$ , 亮晶砂屑灰岩, 高角度裂缝方解石充填, 沿裂缝方解石充填物中发育溶蚀孔洞, 油迹; h. 哈 601 井  $\rho$  667.2 ~ 6 670.4 m,  $O_{2Y}$ , 高角度裂缝发育, 暗色高导正弦曲线
- a. Yingmai 203, 6 131.4 ~ 6 139 m,  $O_{1-2Y}$ , cavity developed, unfilled completely, 7 m blowing off, 0.57 m calcite gained; b. Ha 9, 6 990 ~ 6 997 m,  $O_{1-2Y}$ , dark high conductivity patches, 1m blowing off, cavity developed; c. Yingmai 206, 4-6/25,  $O_{2Y}$ , sparite calcarenite limestone, dissolved vuggies developed; d. Ha 13, 6 859 ~ 6 862 m,  $O_{1-2Y}$ , dark high conductivity spots, dissolved vuggies along the layer, some were half-filled, vuggy reservoir; e. Ha 9, 6 685 ~ 6 688 m,  $O_{2Y}$ , dark high conductivity spots, dissolved vuggies developed, vuggy reservoir; f. Yingmai 1, 5 374.4 m,  $O_{2Y}$ , sparite bioclastic-calcarenite limestone, dissolved fractures with high angle, the fracture wall filled with mud, and calcite filled in the center; g. Yingmai 2-3, 1-18/68,  $O_{2Y}$ , sparite calcarenite limestone, high angle fracture filled with calcite, dissolved vuggies developed along the fracture, oil trace; h. Ha 601, 6 667.2 ~ 6 670.4 m,  $O_{2Y}$ , fractures with high angle, dark high conductivity sinusoid

石, 这些裂缝都是较好的储集空间, 构成工区内的主要储渗空间。

### 2.2.2 微观储集空间类型

微观储集空间主要有孔洞和裂缝两大类, 其中孔洞包括粒内溶孔、粒间溶孔、铸模孔及其它溶孔(图 4)。哈拉哈塘地区以粒内溶孔、粒间溶孔、构造缝、溶蚀缝为主(图 4b、c); 英买力地区则以构造缝(图 4d~f)和网状微裂缝系统, 以及缝合线、缝合线伴生溶孔、晶间孔和晶间溶孔、粒间溶孔为主(图 4d), 粒内溶孔和微孔隙对储层的贡献相对较小。

总之, 英买力—哈拉哈塘地区奥陶系碳酸盐岩储层的主要储集空间首推大型溶洞及溶蚀孔洞, 其次是构造缝、网状微裂缝和微观孔洞系统, 储层主要的渗滤通道是构造缝和微裂缝系统。

## 2.3 储层物性

### 2.3.1 岩芯孔渗特征

英买力—哈拉哈塘地区奥陶系碳酸盐岩岩芯孔隙度范围 0.03% ~ 8.53%, 平均 1.27%, 渗透率变化较大。英买力地区和哈拉哈塘地区储集空间类型和物性存在差异, 其中哈拉哈塘基质孔隙比英买力地区更为发育。哈拉哈塘岩芯孔隙度变化在 0 ~ 3.88%, 平均值 2.73%; 渗透率变化在  $0.31 \times 10^{-3} \sim 21.39 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 平均值  $2.56 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。英买力地区奥陶系孔隙度范围值 0.02% ~ 10.27%, 平均孔隙度 1.08%, 渗透率范围值  $0.001 \times 10^{-3} \sim 21.56 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 平均渗透率  $1.19 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。反映了研究区奥陶系碳酸盐岩是一种低孔低渗岩溶型储层。

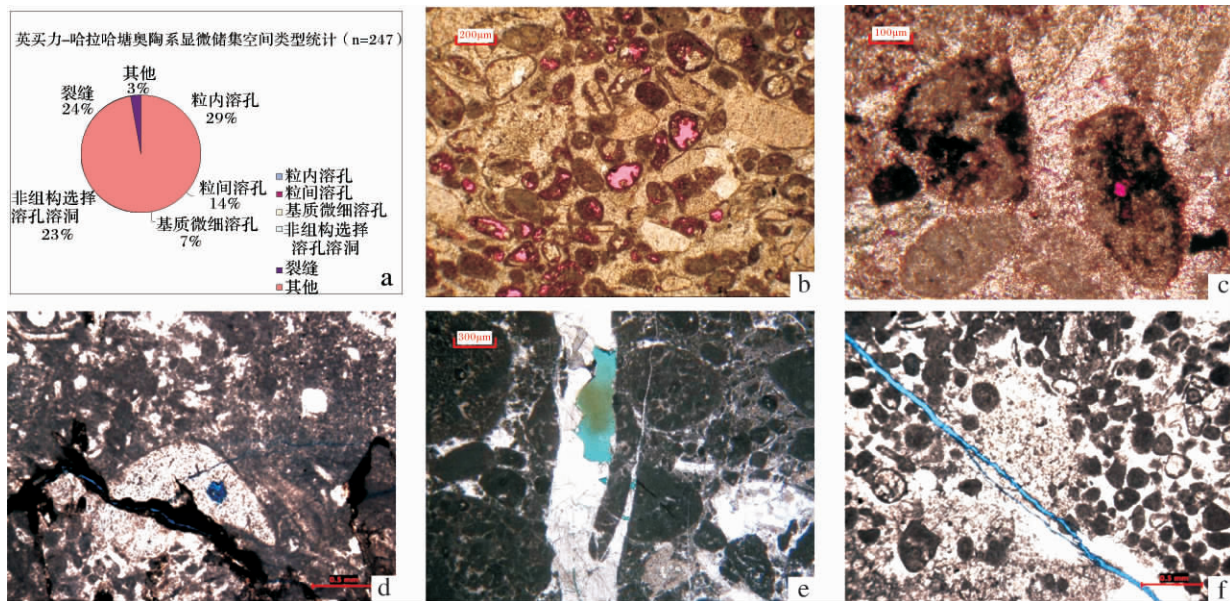


图4 英买力—哈拉哈塘地区奥陶系微观储集空间特征

Fig. 4 The microcosmic reservoir space characters of Ordovician in the Yingmaili-Halalatang area

a. 英买力—哈拉哈塘地区奥陶系微观储集空间统计; b. 哈得 13 井 6 649.28 m, O<sub>2</sub>y, 亮晶砂屑棘屑灰岩 粒内溶孔、铸模孔发育, 铸体, 单偏光; c. 哈 9 井 6 624.1 m, O<sub>2</sub>y, 砂粒屑灰岩 粒内溶孔, 铸体, 单偏光; d. 英买 102 井 5 421.04 m, O<sub>2</sub>y, 棘屑粒内溶孔, 部分未充填压溶缝, 铸体, 单偏光; e. 英买 2 井 6 051.50 m, O<sub>1-2</sub>y, 亮晶含生屑砂砾屑灰岩 裂缝方解石充填物中发育溶蚀孔洞和残留晶间孔, 铸体, 单偏光; f. 英买 102 井 5 427.19 m, O<sub>2</sub>y, 未充填构造缝, 铸体, 单偏光

a. Microcosmic reservoir space statistics of Ordovician in the Yingmaili-Halalatang area; b. Hade 13, 6 649.28 m, O<sub>2</sub>y, sparite calcarenite-echinoderm limestone, with intra-granular dissolved pores and moldic pores, casting thin section, single polar; c. Ha 9, 6 624.1 m, O<sub>2</sub>y, calcarenite, with intra-granular dissolved pores, casting thin section, single polar; d. Yingmai 102, 5421.04m, O<sub>2</sub>y, echinoderm limestone, with intra-granular dissolved pores and some unfilled pressolution fracture, casting thin section, single polar; e. Yingmai 2, 6 051.50 m, O<sub>1-2</sub>y, sparite bioclastic calcarenite-calcirudite, fracture filled with calcite, dissolved pores in the fracture and rudimental intercrystalline pores, casting thin section, single polar; f. Yingmai 102, 5 427.19 m, O<sub>2</sub>y, unfilled fracture, casting thin section, single polar

2.3.2 测井物性特征

由于碳酸盐岩储层的非均质性与取芯层位的局限性, 测井解释储层物性对于未取芯段储层物性的认识与整体储层评价将起到至关重要的作用。对哈拉哈塘地区钻井一间房组—鹰山组测井解释孔渗统计分析可知, 横向上各井储层物性差异较大, 哈 6、哈

6C、哈 9、哈 10、哈 13 井孔隙度集中区均小于 1.8%, 哈 7、哈 11、哈 12 和哈 601 井孔隙度较高, 集中区为 1.8% ~ 4.5%; 渗透率差异不明显, 除哈 6 井外, 其他各井渗透率在 0.01 × 10<sup>-3</sup> ~ 3 × 10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup> 均约占 50% (图 5)。

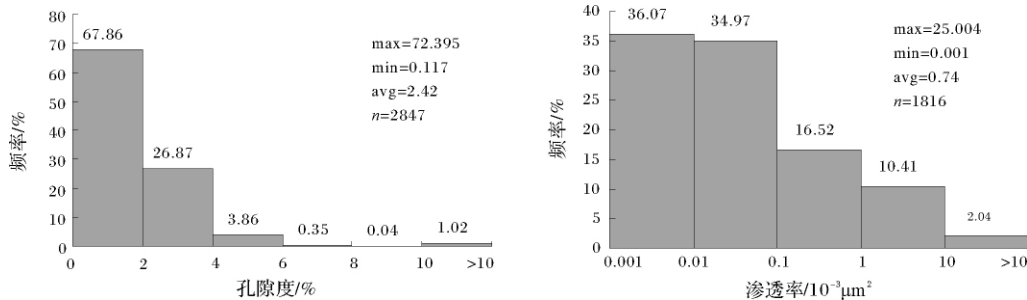


图5 哈拉哈塘地区奥陶系测井孔隙度、渗透率直方图

Fig. 5 Porosity and permeability statistics of the Ordovician reservoir based on well logging in Halalatang area

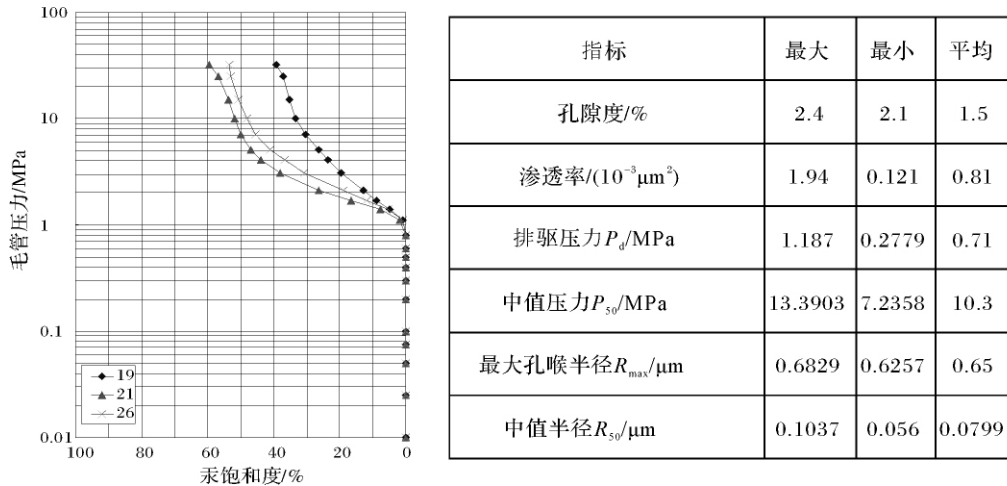


图 6 哈 9 井压汞曲线图及特征参数  $O_2y$

Fig. 6 The injection-Hg capillary pressure curve and its parameter of Well Ha9 ( $O_2y$ )

2.3.3 储层孔隙结构特征

储集岩的孔隙结构是指岩石中所具有的孔隙和喉道的几何形状、大小、分布及其相互连通关系,与岩石的储集性密切相关。哈 9 井一间房组 3 个样品的毛管压力曲线显示歪度粗一中、分选较好—中等,汞毛管压力曲线参数具排驱压力、饱和度中值压力低,非饱和孔隙体积百分数小的特征(图 6)。孔隙度在 1.1% ~ 2.4% 之间,平均孔喉分布为 0.20 ~ 0.23  $\mu\text{m}$ ,最大孔喉半径达 0.68  $\mu\text{m}$ 。反映该类储层具有一定的孔隙度,但是吼道总体相对较为细小,渗透率偏低,岩石基质储集性相对较差。

2.4 储层类型及特征

英买力—哈拉哈塘地区奥陶统储集空间主要为成岩后生和表生作用形成的次生孔、洞、缝,具有以下基本特征:①基质孔隙度很低,渗透性能较差;②裂缝和溶蚀孔洞相当发育;③储集空间分布纵横非均质性很强。钻探揭示研究区奥陶系主要发育四类储层:孔

洞型、裂缝—孔洞型、洞穴型、裂缝型(图 7)。划分依据是构成储集条件最主要储集空间类型的组合特征。

2.4.1 洞穴型储层

洞穴型储层以洞穴为储渗空间,围岩缺少裂缝发育,该类储层在钻进过程中常发生放空、泥浆漏失等现象,具极好的储集性能。研究区以英买 203 井、哈 9 井、哈 8 井最为典型,在岩芯、测井及钻进过程泥浆漏失、放空等特征上也显示了洞穴型储层的特点(图 3a、b)。

2.4.2 孔洞型储层

孔洞型储层是以溶蚀孔洞作为主要储集空间,缺少裂缝发育,为孔隙层扩溶而形成,空间上为准层状(图 3c ~ e),以哈 6C 井为典型。该类储层孔隙度较好,但渗透率较差,产能较低。从研究区奥陶系岩芯物性分析可知,基质孔隙度多在 2% 以下,但溶蚀孔洞发育段孔隙度可达 3% ~ 4%,局部甚至高达 10% 以上。

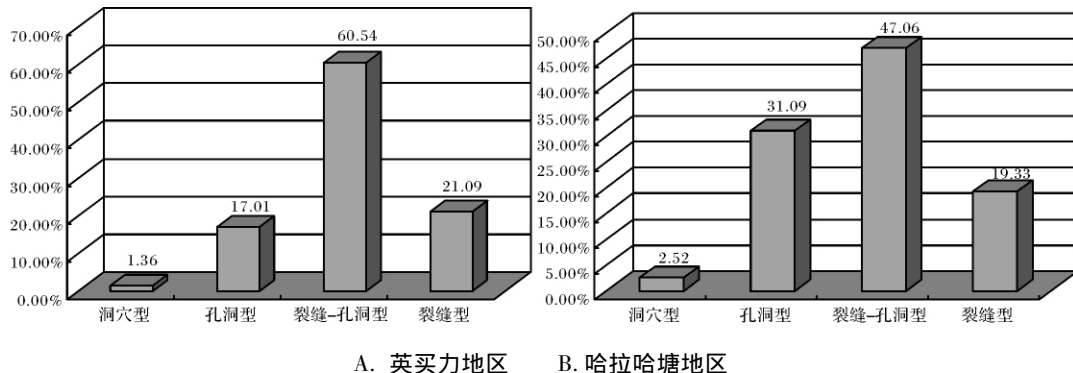


图 7 英买力—哈拉哈塘地区奥陶系测井解释储集空间类型分布

Fig. 7 The reservoir space characters of Ordovician based on well logging in the Yingmaili-Halahatang area

### 2.4.3 裂缝—孔洞型储层

裂缝—孔洞型储层以次生溶蚀孔洞为主要储集空间,裂缝兼具渗滤性和储集性,主要起沟通孔洞的作用。成像测井上可明显看出裂缝沟通孔洞,或孔洞沿裂缝发育的特征(图3h)。岩芯及薄片上见泥亮晶砂砾屑灰岩,发育横向层间微裂缝、缝合线及纵向裂缝,横向微裂缝及缝合线中被黑色泥质充填,纵向裂缝形成较晚且宽,其中被白色方解石充填,局部沿裂缝发育有溶蚀孔洞,未充填(图4d)。该类储层具有较好的储集性和渗透性,为研究区重要的储层类型,含油气性较好,以哈7井、哈11井、哈13井一间房组为典型。

### 2.4.4 裂缝型储层

储集空间主要是裂缝和少量沿层分布的溶孔或孔隙薄层,后者由微—小喉道连通,渗滤通道为裂缝和少量毛细管—超毛细管级喉道。裂缝发育可使无储渗能力的致密灰岩形成裂缝型储层,裂缝既是储集空间更是渗滤通道。多组系构造缝相互交叉,构成网络状裂缝系统。当裂缝系统范围大、厚度大时,可形成工业性油气藏。在钻井过程常伴有井漏显示。在电性特征上表现为齿状低阻、低自然伽马,声波、中子、密度等无显著变化。裂缝型储层主要发育在英买2号构造带上,如英买204井、英买206井,在成像测井及岩芯、薄片上均有表现;在哈拉哈塘地区裂缝型储层在哈601井有少量发育。

总体来说,英买力地区主要以裂缝型及裂缝—孔洞型为主,哈拉哈塘地区以孔洞型及裂缝—孔洞型为主(图7)。

## 3 岩溶储层形成机制

### 3.1 礁滩体为岩溶型储层的形成提供了有利的物质基础

礁滩相颗粒灰岩的分布范围控制了有利岩溶储层的展布,例如岩溶储层较为发育的哈拉哈塘地区中奥陶统颗粒灰岩厚度在50~150 m,哈9井可达212 m;英买力地区中奥陶统颗粒灰岩厚度也在50~200 m,英买2井甚至可达355 m。由于礁滩体易发育在地貌上的相对隆起,相对海平面的微弱下降就可导致浅海相礁滩体暴露于大气淡水淋溶作用之中,由于此时矿物相的不稳定,文石质及高镁方解石易于溶蚀,而导致粒内溶孔、粒间溶孔等组构选择性溶孔发育。礁滩体中发育的粒内溶孔和粒间溶孔等为层间岩溶发育期间大气水的重要渗滤通道,有效地提高了岩石

的比表面积,水岩比有效提高,加速了岩溶作用的发生,在原组构选择性孔隙的基础上扩溶而形成溶蚀孔洞甚至洞穴。

### 3.2 岩溶作用是岩溶型储层形成的主要因素

岩溶作用是提高储层孔渗性能的重要建设性成岩作用,是本区优质储层形成的根本原因。溶蚀孔、缝的存在是溶蚀作用的直接证据。岩溶作用是溶蚀作用在碳酸盐岩地区的继续,是在特殊地质条件下的一种大规模溶蚀作用<sup>[11]</sup>。通过岩芯、薄片观察、成像测井及地震资料的解释,并结合构造、沉积等地质背景分析,综合认为(准)同生岩溶作用、层间岩溶作用、顺层岩溶作用、潜山岩溶作用、埋藏溶蚀作用是英买力—哈拉哈塘地区奥陶系岩溶储层发育的最主要成因,各成因机制在作用时间、建孔成岩作用、形成的孔隙特征、识别标志、宏观特征及展布规律等方面具有明显差异性<sup>[1~3]</sup>(表1)。

沉积时期,短暂的周期性海平面下降期间,在古地貌高部位,通常使刚沉积下来没固结或弱固结的碳酸盐沉积物暴露于水面之上,受大气淡水溶蚀作用的影响,形成组构选择性孔隙层,尽管随后的海水胶结作用会降低孔隙率,但这些孔隙层的存在为以后进一步的岩溶叠加改造奠定了基础。

一间房组沉积末期及良里塔格组末期,受塔里木盆地挤压构造的影响,塔北地区整体抬升,使得已成岩地层暴露地表,受层间岩溶作用的影响,在一间房组顶不整合面之下130 m范围内形成大量的非组构选择性溶蚀孔洞及溶缝,成为重要的储集层段,且总体来看层间岩溶型储层从不整合面向下发育程度逐渐减弱(图8)。

志留系沉积前,塔北地区整体抬升暴露地表,使得研究区遭受不同程度的剥蚀作用,总体北部剥蚀更强烈,奥陶系上部地层缺失较多,如哈8井吐木休克组以上地层全被剥蚀,在其南部地层逐渐保留较全。此时,哈8井以北地区遭受潜山岩溶作用,形成缝洞型储层;在哈8井以南地区,沿早期同生岩溶作用及层间岩溶作用所形成的孔隙层发生顺层溶蚀作用,潜山区为淡水的补给区域,哈8井至哈9井之间的带状区域为渗流区,顺层岩溶作用的叠加改造使得该区域储集性得到优化。

海西期以后的浅—深埋藏形成相对封闭的成岩环境,长期持续埋藏下的酸性地层水—岩石相互作用,产生了有别于大气淡水和海水环境的成岩作用,发生埋藏溶解—胶结作用,对先期储层改造调整,进

一步增加了储层的非均质性。受喜山期构造应力场影响,发育一些高角度构造破裂缝及网状微小缝,大多未充填,对储集空间有一定贡献,但相对前期作用较小。

表 1 英买力—哈拉哈塘地区岩溶型储层 5 种孔隙形成机理

**Table 1 Origin of five kinds of karst reservoir porosity in the Yingmaili-Halahatang area, Tarim Basin**

成因机制	建孔成岩作用	作用时间	孔洞特征	识别标志	宏观特征	分布规律
(准)同生岩溶作用	同生期大气淡水溶蚀作用	同生期	基质孔为主,也可形成洞穴	礁滩相,基质孔为亮晶方解石充填	局部地貌高,暴露时间短,以组构选择性溶蚀作用为主,形成基质孔隙。	台内、台缘的古地貌高部位;带状、面状展布;
层间岩溶作用	表生大气淡水淋滤溶蚀作用	加里东期	小—中等洞穴,数厘米—米	洞穴充填物为同期的碳酸盐岩风化剥蚀的产物,或围岩垮塌的产物,顺层分布	遭受中期暴露剥蚀,溶蚀作用沿不整合面进行形成非组构选择性孔洞	面状分布,尤其是台内古地貌高的部位
顺层岩溶作用	大气淡水溶蚀作用	晚加里东期至海西期	中—大洞穴,米—数米	洞穴充填物为异源的石英系或更晚的碎屑岩,或围岩垮塌的产物	沿先期形成的孔隙层或断裂发生,对已有孔洞的改造扩溶作用	带状分布,发育在古斜坡部位
潜山岩溶作用	表生大气淡水淋滤溶蚀作用	晚加里东期至海西期	小—中等孔洞及大型洞穴	洞穴充填物为围岩垮塌或后期风化剥蚀产物,伴有断裂及裂缝发育。	遭受长期暴露剥蚀,沿不整合面发生非组构选择性溶蚀作用,形成缝洞和大尺度洞穴。	古隆起或古隆起围斜部位、缓坡;面状展布
埋藏溶蚀作用	热液溶蚀作用 压溶作用	后海西期	基质孔或大小不等的洞穴	受断裂及早期孔隙层控制,方解石胶结物洁净明亮,并见有热液矿物	有机酸、盆地热卤水及TSR作用形成基质孔、洞穴,表现为对已有储集空间的扩溶及改造。	带状或面状展布,与先期断裂或孔隙层相关

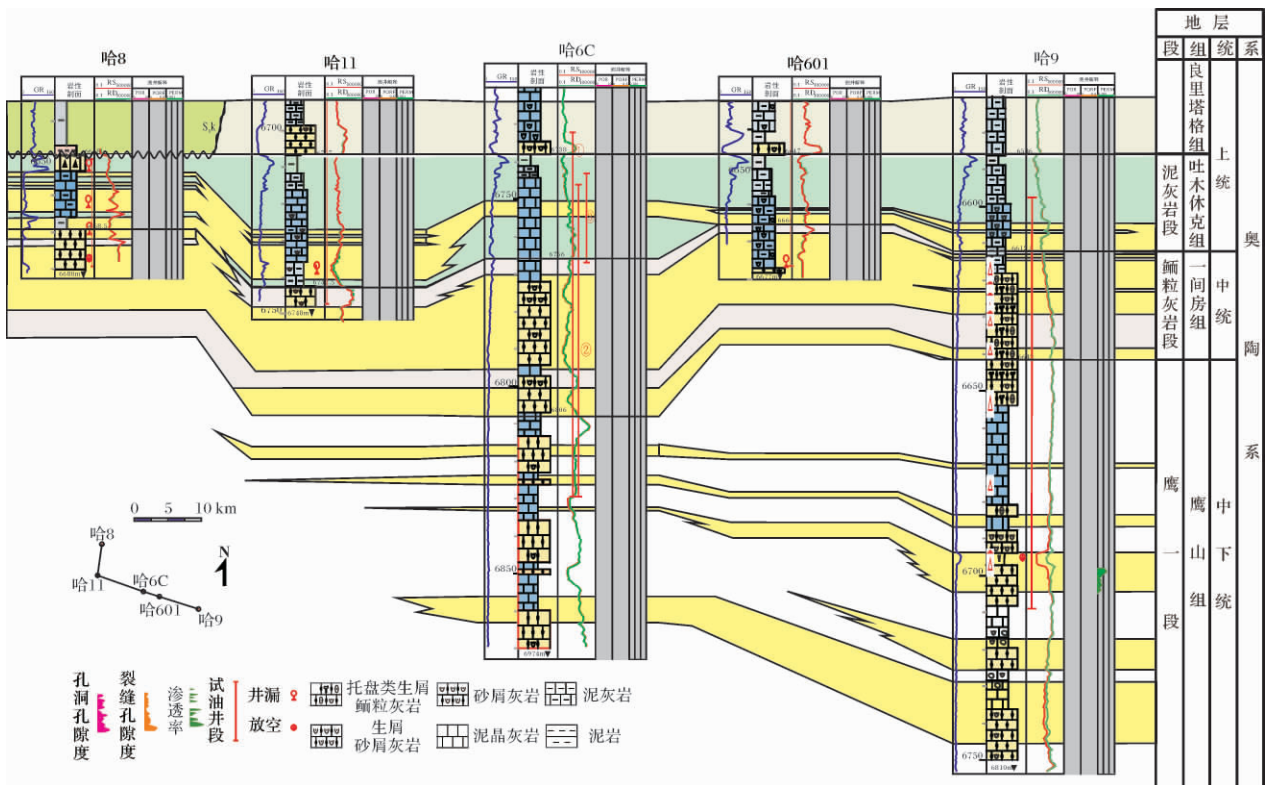


图 8 哈拉哈塘区块奥陶系碳酸盐岩岩溶储层对比图

Fig. 8 Karst reservoir correlation of Ordovician in the Halahatang area

值得一提的是,英买力地区西侧二叠纪时期的火山侵入作用形成的热液通过断层、裂缝、不整合面等各种层面与其附近的碳酸盐岩发生反应,对前期的岩溶储层或致密的碳酸盐岩储层进行改造作用,产生大量溶蚀孔洞,为油气聚集提供了良好的储集空间。

事实上,英买力—哈拉哈塘地区任何一种岩溶型储层都不是单一成因的,都是各种岩溶作用多期叠加、改造的结果。准同生期岩溶为后期的岩溶作用准备了成岩介质通道,随后发育的层间岩溶使储层基本形成,潜山岩溶、顺层岩溶及埋藏岩溶则是继承并叠加早期准同生岩溶和层间岩溶通道的发育,使储集性进一步优化,最终成为潜在的优质储层。

### 3.3 构造作用产生的断裂及裂缝改善了储集性并控制了储层的分布

英买力—哈拉哈塘地区的研究显示岩溶带的走向往往平行裂缝和断层的走向,且断裂带储层更发育、深度更深。断裂及其伴生的裂缝是影响奥陶系碳酸盐岩储层储渗性质的重要因素之一。

构造断裂活动造成碳酸盐岩破碎,导致裂缝十分发育。研究区发育的3期构造裂缝<sup>[12~15]</sup>,尤其是晚加里东—早海西期及其以后(主要为海西晚期—印支早期及喜马拉雅期)构造运动形成的裂缝对本区储层物性影响更是重大,其间构造运动形成的裂缝往往未充填,形成了复杂的裂缝系统,大大地提高了水岩比,并且水体可通畅地进行流动加速岩溶作用的进行,从而,溶蚀孔洞和溶缝大量发育形成有效的储渗系统,进一步优化了储集性。通过对已有井的分析研究也证实了这一过程的重要性。以乡3井里塔格组顶部为典型,薄片可见亮晶鲕粒灰岩,发育的粒内溶孔和铸模孔均为方解石充填,岩芯上可见近垂直溶缝方解石充填物中溶蚀孔洞发育,对5 955.74~5 968.4 m进行测试,折日产油5.38 m<sup>3</sup>,水19.3 m<sup>3</sup>;哈拉哈塘地区哈6C井、哈601井、哈9井、哈13井一间房组的成像测井中也均见有沿裂缝发育的溶蚀孔洞。

另一方面后海西期形成的大型断裂沟通大气淡水以及英买力地区二叠纪时期火山侵入作用形成的热液,使流体沿断裂面向下侵入或上涌增大、沿断裂伴生的裂缝向碳酸盐岩内部渗入,增加了岩溶的深度和广度。前已叙述,不整合面控制的层间岩溶作用形成的孔—缝—洞岩溶储层多限于不整合顶面下130 m以内,构造断裂导致岩溶作用深度和强度加大。断裂较为发育的英买1-2井区溶蚀孔洞深度较大,如英

买101井鹰山组二段发育三期洞穴,距鹰山组顶面分别为:203 m、229 m、306 m,进一步加大了岩溶储层勘探领域。

## 4 结论

(1) 储层的基质孔渗极差,难以形成有利的储集空间,而溶蚀孔洞、洞穴、裂缝等次生孔隙构成了研究区的主要储集空间。

(2) 储层类型主要包括洞穴型、孔洞型、裂缝—孔洞型及裂缝型4种类型。其中,裂缝—孔洞型、孔洞型储集层优势发育,是最有勘探价值的储集层。

(3) (准)同生岩溶作用、层间岩溶作用、顺层岩溶作用、潜山岩溶作用、埋藏溶蚀作用是英买力—哈拉哈塘地区奥陶系岩溶储层发育的最主要成因,各种岩溶作用多期叠加、改造形成复合型优质岩溶储层。通过对岩溶作用过程的分析,认为储层的原生孔隙和沉积相带是次生孔隙形成的基础条件,岩溶作用是控制储层发育的主要因素,构造运动产生的裂缝是促进岩溶发育、控制储集体发育分布的关键因素。

## 参考文献 (References)

- 1 陈景山,李忠,王振宇,等.塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩古岩溶作用与储层分布[J].沉积学报,2007,25(6):858-868 [Chen Jingshan, Li Zhong, Wang Zhenyu, et al. Paleokarstification and reservoir distribution of Ordovician carbonates in Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(6): 858-868]
- 2 倪新锋,张丽娟,沈安江,等.塔北地区奥陶系碳酸盐岩古岩溶类型、期次及叠合关系[J].中国地质,2009,36(6):1312-1321 [Ni Xinfeng, Zhang Lijuan, Shen Anjiang, et al. The paleo-karstification types, karstification periods and superimposed relationship of Ordovician Carbonates in the Northern Tarim Basin [J]. Geology in China, 2009, 36(6): 1312-1321]
- 3 王振宇,李凌,谭秀成,等.塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩古岩溶类型识别[J].西南石油大学学报:自然科学版,2008,30(5):11-16 [Wang Zhenyu, Li Ling, Tan Xiucheng, et al. Types and recognizable indicators of Ordovician carbonate rock karstification in Tarim Basin [J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2008, 30(5): 11-16]
- 4 张宝民,刘静江.中国岩溶储集层分类与特征及相关的理论问题[J].石油勘探与开发,2009,36(1):12-29 [Zhang Baomin, Liu Jingjiang. Classification and characteristics of karst reservoirs in China and related theories [J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(1): 12-29]
- 5 刘静江,刘池洋,孙红海.塔里木盆地轮南地区奥陶系沉积储层研究新进展[J].中国地质,2007,34(3):515-521 [Liu Jingjiang, Liu Chiyang, Sun Honghai. New advances in the study of Ordovician sedimentary reservoirs in Lunnan, Tarim basin [J]. Geology in China,



- 2007, 34(3): 515-521]
- 6 康玉柱. 塔里木盆地塔河大油田形成的地质条件及前景展望[J]. 中国地质, 2003, 30(3): 315-319 [Kang Yuzhu. Geological characteristics of the formation of the large Tahe oilfield in the Tarim basin and its prospects[J]. Geology in China, 2003, 30(3): 315-319]
  - 7 万云, 刘存革, 刘洪, 等. 塔河油田奥陶系多期岩溶作用的识别标志[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2009, 33(5): 6-11 [Wan Yun, Liu Cunge, Liu Hong, et al. Identification signs of multi-phase karstification of Ordovician reservoir in Tahe Oilfield[J]. Journal of China University of Petroleum: Science & Technology Edition, 2009, 33(5): 6-11]
  - 8 鲍志东, 齐跃春, 金之钧, 等. 海平面波动中的岩溶响应——以塔里木盆地牙哈—英买力地区下古生界为例[J]. 地质学报, 2007, 81(2): 205-211 [Bao Zhidong, Qi Yaochun, Jin Zhijun, et al. Karst development response to sea-level fluctuation: a case from the Tarim area in the early Paleozoic[J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(2): 205-211]
  - 9 赵明, 甘华军, 岳勇, 等. 塔里木盆地古城墟隆起西端奥陶系碳酸盐岩储层特征及预测[J]. 中国地质, 2009, 36(1): 93-100 [Zhao Ming, Gan Huajun, Yue Yong, et al. Characteristics of Ordovician carbonate reservoirs in the western plunge of Guchengxu uplift, Tarim basin[J]. Geology in China, 2009, 36(1): 93-100]
  - 10 胡剑凤, 蔡振忠, 马青, 等. 塔里木盆地轮古东奥陶系碳酸盐岩储层特征与主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(6): 776-783 [Hu Jianfeng, Cai Zhenzhong, Ma Qing, et al. Characteristics and main rock reservoirs controlling factors in Lugudong area of the Ordovician carbonate, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(6): 776-783]
  - 11 王宝清, 章贵松. 鄂尔多斯盆地苏里格地区奥陶系古岩溶储层成岩作用[J]. 石油实验地质, 2006, 28(6): 518-522, 528 [Wang Baoqing, Zhang Guisong. Diagenesis of Ordovician paleo-karst reservoir in the Sulige area, Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(6): 518-522, 528]
  - 12 肖玉茹, 王敦则, 沈杉平. 新疆塔里木盆地塔河油田奥陶系古洞穴型碳酸盐岩储层特征及其受控因素[J]. 现代地质, 2003, 17(1): 92-98 [Xiao Yuru, Wang Dunze, Shen Shanping. The characteristics of paleocave carbonate reservoir and its control factors in Ordovician of the Tahe Oilfield in Tarim Basin, Xinjiang[J]. Geoscience, 2003, 17(1): 92-98]
  - 13 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 [Liu Zhongbao, Sun Hua, Yu Bingsong, et al. The control of fractures on karst in Ordovician carbonate reservoirs in Tazhong area, Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28(3): 289-291]
  - 14 吕海涛, 丁文龙, 云露, 等. 塔河油田西南部地区中—下奥陶统碳酸盐岩储层缝洞发育特征与分布[J]. 现代地质, 2009, 23(4): 699-708 [Lü Haitao, Ding Wenlong, Yun Lu, et al. Lower-middle Ordovician carbonate reservoir karst-fracture characteristics in the Southwest area of Tahe Oilfield[J]. Geoscience, 2009, 23(4): 699-708]
  - 15 吕修祥, 杨宁, 周新源, 等. 塔里木盆地断裂活动对奥陶系碳酸盐岩储层的影响[J]. 中国科学: D 辑, 2008, 38(增刊1): 48-54 [Lü Xiuxiang, Yang Ning, Zhou Xinyuan, et al. Effects of fractures on the Ordovician carbonate reservoir in Tarim Basin[J]. Science in China: Series D 2008, 38(Suppl. 1): 48-54]

## Characteristics and Genesis of Ordovician Carbonate Karst Reservoir in Yingmaili-Halahatang Area, Tarim Basin

NI Xin-feng<sup>1,2,3</sup> ZHANG Li-juan<sup>1</sup> SHEN An-jiang<sup>2,3</sup> HAN Li-jun<sup>1</sup>  
QIAO Zhan-feng<sup>2,3</sup> ZHAO Kuan-zhi<sup>1</sup>

(1. Tarim Oilfield, PetroChina, Korla, Xinjiang 841000;

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

3. Key Laboratory of Carbonate Reservoir, PetroChina, Hangzhou 310023)

**Abstract** The carbonate karst reservoir in Yingmaili-Halahatang area which gained breakthrough recently in Tarim Basin was controlled by lithology, karstification and tectonic evolution. So, it is very important to study the characteristics and genesis of the reservoir for the exploration and development. Based on the cores, normal thin sections, cast thin sections, cathodoluminescence, FMI and testing data, the proto-pores and permeability of the Ordovician carbonate karst reservoir in the study area were poor, and it's difficult to form favorable reservoir space. However, the second pores, for example, solution pores, cavities and fractures constitute the main reservoir space, and their heterogeneity in the vertical and horizontal distribution is very strong. Reservoir space according to the combination of characteristics of the Ordovician reservoir is divided into four categories: vuggy, fracture-vuggy, cavern, fracture. The types of Yingmaili area are mostly fracture and fracture-cavern, while the types of Halahatang area are vuggy and fracture-

vuggy. Overall, fracture-vuggy and vuggy reservoir developed preponderantly, and they were the most excellent reservoir. Penecontemporaneous karstification, intra-strata karstification, along-strata karstification, buried-hill karstification, burial dissolution was the main genesis of the carbonate karst reservoir in Yingmaili-Halahatang area. And complex and pronounced superimposed karstification made the reservoir finally becoming potential excellent one. During the depositional period of the short-term cyclical falling in sea level, the unconsolidated carbonate sediment on the high parts of the ancient landscape exposed over the sea level to form a fabric choice of porous layer stack for further transformation of karstification as a foundation by the affection of fresh water dissolution. At the end of the Yijianfang Formation and Lianglitage Formation, Tabei area was uplifted as a whole by compression structure of Tarim Basin, making the stratified rock exposed on the surface, and controlled by the intra-strata karstification, a large number of non-fabric selective dissolution pores and dissolved fracture were formed in the depth of 130 meters under exposed surface of the top of Yijianfang Formation, and becoming an important reservoir intervals. Before Silurian sedimentation, Tabei uplift as a whole exposed on the surface, making the study area with varying degrees of erosion. The area on the north of Sangtamu pinch-out underwent buried-hill karstification forming fractured reservoir. Meanwhile, the area on the south of Sangtamu pinch-out underwent along-strata karstification with porous layer by early penecontemporaneous karstification and intra-strata karstification, and the buried-hill region was the fresh water supply source, and these made the reservoir of the region being optimized. After Hercynian, the reservoir buried in a shallow-deep relatively closed diagenesis environment, the interaction between the acid stratum water and the rock under long-term buried environment resulted from of diagenesis differed from that resulted in the fresh water and marine environment, and burial dissolution occurred with cementation, and that made the early reservoir reconstructed to further increase the heterogeneity of the reservoir. Some of the high angle fractures and net tiny fractures during the Himalayan which were mostly unfilled adjusted the reservoir with a certain contribution. With the study of karstification process, it is pointed that the proto-pores and the sedimentary facies were the basic factors of second pores forming, and karstifications were the main factors which controlled the reservoir development, and fractures during the tectonic evolution were the key factors which accelerated the reservoir development and controlled its distribution.

**Key words** karst reservoir; character; genesis; control factors; Ordovician; Yingmaili-Halahatang; Tarim Basin