

胡明毅, 蔡全升, 杨巍, 等. 塔北哈拉哈塘地区奥陶系鹰山组——一间房组岩溶储层特征及成因模式[J]. 中国地质, 2014, 41(5):1476-1486.  
Hu Mingyi, Cai Quansheng, Yang Wei, et al. Characteristics and genetic model of karst reservoirs of Ordovician Yingshan-Yijianfang Formation in Halahatang area, northern Tarim Basin[J]. Geology in China, 2014, 41(5): 1476-1486(in Chinese with English abstract).

# 塔北哈拉哈塘地区奥陶系鹰山组——一间房组岩溶储层特征及成因模式

胡明毅<sup>1,2</sup> 付晓树<sup>1,2</sup> 蔡全升<sup>1,2</sup> 杨巍<sup>1,2</sup> 朱文平<sup>3</sup>

(1.长江大学油气资源与勘察技术教育部重点实验室, 湖北 武汉 430100; 2.长江大学地球科学学院, 湖北 武汉 430100;  
3.中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000)

**摘要:** 塔里木盆地北部哈拉哈塘地区奥陶系岩溶型储层油气勘探近年来获得了重大突破, 其主要勘探目的层系为鹰山组——一间房组碳酸盐岩, 进一步深化碳酸盐岩岩溶储层认识对于加快塔里木盆地海相油气勘探具有重要意义。在分析区域地质背景的基础上, 结合钻井、岩心、测井、地震等资料, 对研究区鹰山组——一间房组岩溶储层特征以及储层发育主控因素和成因演化模式进行了深入研究。研究认为, 鹰山组——一间房组岩溶储层基质孔渗条件差, 基质孔隙不能单独成为有利的油气储集空间, 储层储集空间主要为溶蚀孔洞以及裂缝系统。储层经历的岩溶作用类型主要有(准)同生岩溶作用、风化岩溶作用以及埋藏热液岩溶作用等, 各种岩溶作用的多期叠加改造使得鹰山组——一间房组岩溶储层极为发育。通过对储层成因过程的研究分析, 认为构造隆升为岩溶储层的发育提供了有利条件并控制了储层发育格局; 多期岩溶作用是形成岩溶储层的关键因素; 断裂及裂缝的发育促进了岩溶储层的形成并改善了储层的储集性能。

**关键词:** 哈拉哈塘地区; 奥陶系; 鹰山组——一间房组; 岩溶储层; 成因模式

**中图分类号:** P581; P583 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)05-1476-11

碳酸盐岩古岩溶与油气关系十分密切, 其溶蚀孔洞、裂缝通常是油气聚集的重要场所, 且易形成大型—超大型碳酸盐岩岩溶型油气田<sup>[1-6]</sup>。目前, 该类型油气田在中国渤海湾、鄂尔多斯、塔里木等盆地中皆有发现, 碳酸盐岩岩溶储层已经成为中国油气勘探的重要领域之一<sup>[5-8]</sup>。塔里木盆地近年来获得重大突破的哈拉哈塘地区奥陶系鹰山组——一间房组即为碳酸盐岩岩溶型储层, 由于经历了多期构造活动以及岩溶作用, 使得该区储层非均质性极强, 储层发育规律难以掌握, 油气勘探难度较大<sup>[9-16]</sup>。为此, 笔者在前人

研究的基础上, 结合钻井、岩心、地球物理以及测试分析等资料, 对研究区鹰山组——一间房组岩溶储层特征、主控因素和成因演化模式进行了详细研究, 以期为该区域乃至整个塔北地区碳酸盐岩岩溶储层油气勘探和有利储层分布预测提供一定的参考依据。

## 1 地质背景

哈拉哈塘地区位于塔里木盆地塔北隆起中部, 其东为轮南低凸起, 西连英买力低凸起, 南接满西

收稿日期: 2013-09-25; 改回日期: 2014-04-24

基金项目: 国家重大专项(2011ZX05023-001)资助。

作者简介: 胡明毅, 男, 1965年生, 教授, 博士, 主要从事沉积学与层序地层学方面的研究; E-mail: humingyi65@163.com。

斜坡,北邻轮台低凸起,总面积约4000 km<sup>2</sup>,包括哈6、新垦、齐满、热瓦甫等4个勘探区块。该区奥陶系自下而上发育蓬莱坝组、鹰山组、一间房组、吐木休克组、良里塔格组和桑塔木组,其中鹰山组——一间房组为该区主要勘探目的层系,目前已经被证实具有良好的油气勘探潜力<sup>[1]</sup>。本次主要的研究区域为哈6区块(图1)。

前人研究表明碳酸盐岩岩溶储层的形成和分布与地层所经历的构造活动有密切关系。在一间房组沉积末期,受加里东中期昆仑洋闭合活动影响,塔里木盆地北部由拉张环境转变为挤压环境,轮台古隆起相对抬升,整个塔北地区表现为以轮台古隆起为区域构造高部位的斜坡带<sup>[17-22]</sup>,此时哈拉哈塘位于轮台古隆起的南部斜坡区,使得研究区鹰山组——一间房组沉积古地貌表现为北高南低的特点,地层上倾方向均指向轮台古隆起,之后沉积的奥陶系各地层单元均向北部超覆减薄;同时,由于构造抬升作用,一间房组、吐木休克组、良里塔格组、桑塔木组在沉积末期均遭受剥蚀并形成不整合面,其中以桑塔木组沉积之后抬升剥蚀作用最为强烈。在研究区最北端,一间房组直接与志留系柯坪塔格组呈不整合接触,吐木休克组、良里塔格组、桑塔木组依次向北尖灭。海西期—印支期,在南部斜坡带的大背景上英买力凸起、轮南凸起和轮台断隆先后成型,形成了哈拉哈塘凹陷现今的基本构造格

局。在燕山期—喜山期,受库车凹陷沉降影响,研究区中新生界和古生界地层发生了翘倾,地层由北高南低转为北低南高的构造形态<sup>[23-25]</sup>。研究区经历的构造运动,特别是加里东中晚期的构造抬升活动,使得鹰山组——一间房组产生大量破裂并暴露地表遭受剥蚀形成不整合面,这些为碳酸盐岩岩溶作用的发育以及岩溶储层的形成创造了有利条件。

## 2 岩溶储层基本特征

### 2.1 储层岩石学特征

研究区多数钻井目前只钻至鹰山组一段,其岩石类型以泥微晶灰岩、含砂屑泥微晶灰岩、(亮)泥微晶砂屑灰岩为主,(亮)泥晶砂屑灰岩呈薄层状或斑块状分布,岩石结构以泥晶结构为主,砂屑粒径较小,多为极细砂屑灰岩,在鹰山组顶部可见亮晶含砾屑灰岩(图2-A)。一间房组以发育砂屑滩、砾屑滩和海绵生物丘为特征,钻井揭示其岩性为颗粒灰岩夹生屑泥晶灰岩、藻粘结灰岩和生物丘灰岩(图2-B、C),颗粒灰岩包括泥(亮)晶砂屑灰岩、泥(亮)晶内碎屑灰岩、泥晶生屑灰岩等。在岩心观察中,可见少量黄铁矿和硅质;颗粒以砂屑为主,含量为25%~75%,少量为砾屑、生物屑、藻屑等;局部可见粉—泥晶白云石,含量3%~5%;亮晶方解石含量4%~25%;岩石结构以泥晶为主,局部重结晶后为细晶—粗晶。

### 2.2 储集空间类型

根据岩心、岩石薄片、成像测井以及录井等资料,综合分析后认为哈拉哈塘地区鹰山组——一间房组碳酸盐岩岩溶储层的储集空间类型有微观孔隙、孔洞(包括大型溶洞)、裂缝等3大类,其中以孔洞和裂缝为主。

#### 2.2.1 微观孔隙

研究区微观孔隙型储集空间主要包括粒内溶孔、粒间溶孔、晶间溶孔等(图2-D),均需在显微镜下才可以观察到。一间房组微观孔隙多发育于礁滩体沉积物中,其粒间孔隙常被亮晶方解石胶结充填,鹰山组基质孔则不甚发育。由于碳酸盐岩沉积物受成岩作用影响大<sup>[26]</sup>,在经历压实和胶结等成岩作用之后,微观孔隙类储集空间大量被破坏,碳酸盐岩通常容易形成致密层,从而使得微观孔隙对深层碳酸盐储层特别是岩溶型储层贡献作用比较小。

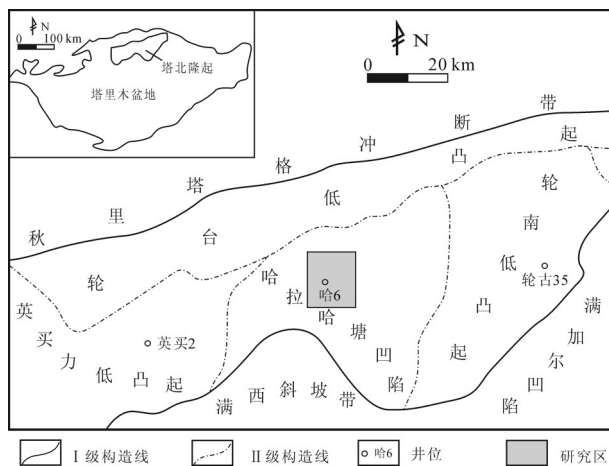


图1 塔北哈拉哈塘地区构造位置图

Fig.1 Structural units of the Halahatang area, northern Tarim Basin

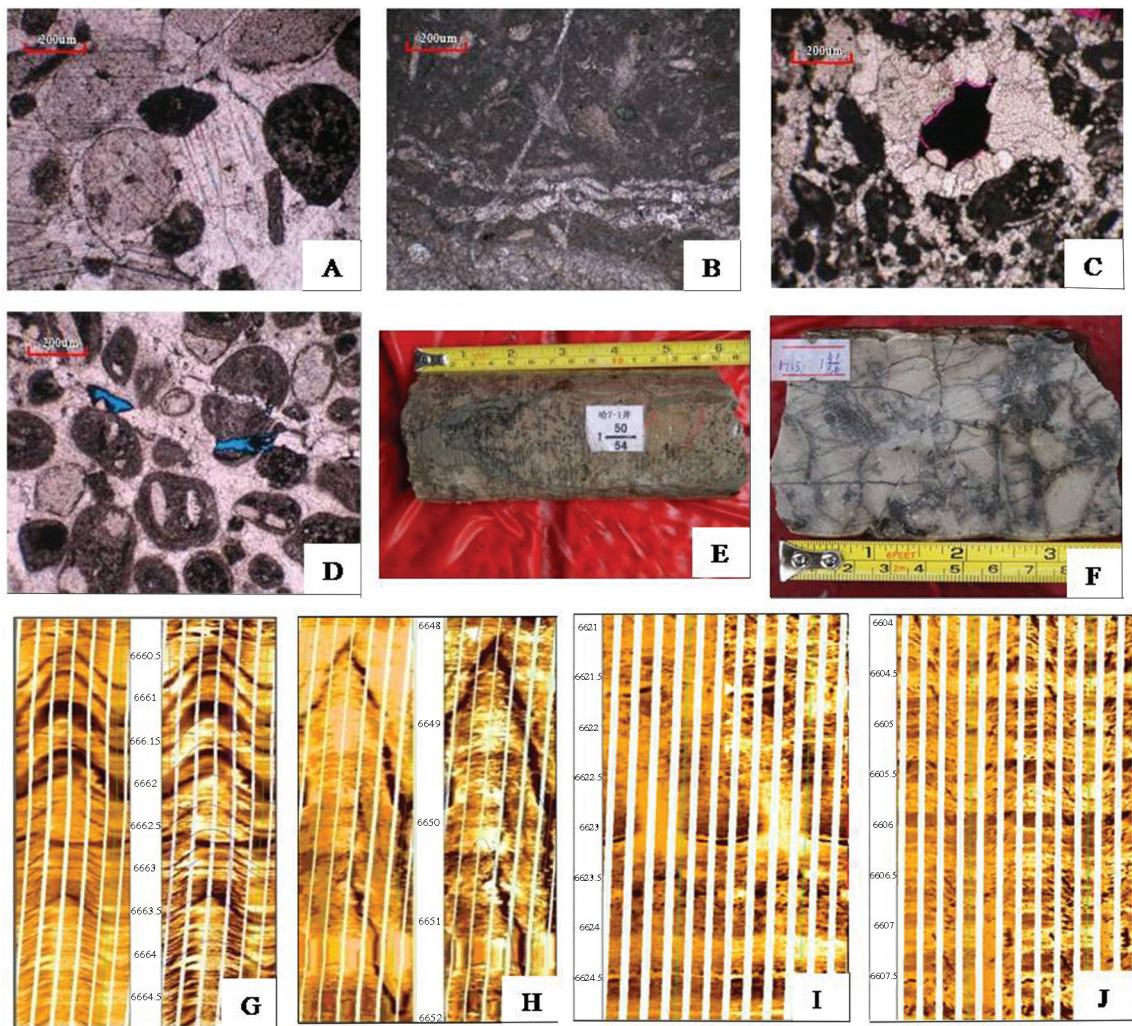


图2 储层岩石学特征及储集空间类型

A—亮晶含砾砂屑灰岩, 哈601-4, 鹰山组, 6651.1 m(-); B—含生屑泥晶灰岩, 哈11-1, 一间房组, 6681.98 m(-); C—粒间孔中充填方解石与沥青, 哈7-1, 一间房组, 6578.63 m(-); D—少量粒内溶孔, 哈601-4, 鹰山组, 6650.39 m(-); E—溶蚀孔洞被沥青充填, 哈7-1, 一间房组, 6575.2 m; F—溶蚀裂缝及溶蚀孔洞被沥青、方解石充填, 哈7-2, 一间房组, 6593.3m; G—水平开启缝发育, 暗色波纹状曲线, 哈15, 鹰山组, 6660.5~6664.5 m; H—高角度缝发育, 暗色直立条带, 哈803, 一间房组, 6648~6652 m; I—孔洞发育, 暗色高导斑点, 孔洞型储层, 哈7-2, 鹰山组, 6621~6624.5 m; J—裂缝空洞均发育, 黑斑点与暗色条带相连, 裂缝-孔洞型储层, 哈7-1, 鹰山组, 6604~6607.5 m

Fig. 2 Petrologic features and types of reservoir space

A—Sparry gravel-bearing calcarenite, Well Ha 601, Yingshan Formation, 6651.1 m (-); B—Bioclast-bearing micrite limestone, Well Ha 11-1, Yijianfang Formation, 6681.98 m (-); C—Calcite and bitumen filling inter-grain pore, Well Ha 7-1, Yijianfang Formation, 6578.63 m (-); D—Intragranular dissolved pore, Well Ha 601-4, Yingshan Formation, 6650.39 m (-); E—Dissolved pore filled with bitumen, Ha 7-1, Yijianfang Formation, 6575.2 m; F—Dissolution fissure and pore filled with calcite and bitumen, Ha 7-2, Yijianfang Formation, 6593.3 m; G—Horizontal fracture reflected by corrugated curve with dark color, Well Ha 15, Yingshan Formation, 6660.5~6664.5 m; H—high-angle fracture reflected by vertical band with dark color, Yijianfang Formation, 6648~6652 m; I—Dissolved pore reflected by spot with dark color, Well Ha 7-2, Yingshan Formation, 6621~6624.5 m; J—Fracture and pore reflected by spot and band with dark color, Well Ha 7-1, Yingshan Formation, 6604~6607.5 m

### 2.2.2 孔洞

孔洞型储集空间的孔径大小变化范围很大, 一般大于2 mm, 部分可达数米, 是研究区最主要的储集空间类型。该类储集空间常被方解石、岩溶角

砾、泥质、有机质等半充填或全充填(图2-E)。孔洞发育区在钻井、测井以及地震剖面上均有特殊响应。在钻井过程中, 孔洞发育区通常会出现钻时降低、钻井放空、泥浆漏失等现象, 如哈16井在鹰山组

——一间房组 6646~6700 m 共发生 7 次漏失, 漏失量达 1388.2 m<sup>3</sup>, 哈 8 井在一间房组 6675~6677 m 处放空 2 m 等。在测井上, 常规测井表现为声波时差增大、井径扩大、电阻率降低、密度减小等特点, 在成像测井上多显示为暗色高导斑块。此外, 多个大型溶蚀洞穴的垂向叠置在地震剖面上常呈串珠状反射特征。

### 2.2.3 裂缝

裂缝型储集空间对于碳酸盐岩形成油气储层具有重要作用<sup>[27-29]</sup>。裂缝本身不仅可以储集油气, 还可以作为油气运移通道连接孔洞, 并形成缝洞型储层, 改善储层储渗性质(图 2-F)。研究区裂缝类型主要有构造缝、溶蚀缝和成岩缝, 其中构造缝包括构造直立缝和斜交缝, 约占总裂缝含量 60% 以上。溶蚀缝多为不均溶蚀或沿早期微裂缝溶蚀后形成的, 缝宽大小不一。成岩缝则多平行于层面, 形状不规则, 如压溶缝合线等。在钻井过程中, 裂缝发育区也会出现漏失现象, 另外在成像测井和岩芯上也有相应的表现特征(图 2-G、H)。

### 2.3 储层物性特征

根据测试资料分析认为, 研究区鹰山组——一间房组基质孔隙发育较差, 以粒内溶孔、粒间溶孔、晶间溶孔和铸模孔为主, 仅在一间房组礁滩体岩溶储层中稍好。岩心测试资料显示鹰山组——一间房组孔隙度为 0.27%~4.72%, 平均值 1.19%; 渗透率为  $0.0017 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 371 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 平均值  $6.54 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  (图 3)。测井解释奥陶系鹰山组——一间房组孔隙度为 0.12%~72.40%, 平均 2.42%; 渗透率为  $0.001 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 25.004 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 平均  $0.74 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。岩芯和测井资料均显示工区内鹰山组——一间房组储层物性以低孔低渗为特征。

### 2.4 储层类型

根据储集空间类型组合特征, 研究区储层类型可划分为孔洞型储层、裂缝-孔洞型储层和裂缝型储层, 其中孔洞型和裂缝-孔洞型储层占绝大多数, 裂缝型储层较少见。

孔洞型储层主要以溶蚀孔洞作为储集空间, 包括单个或多个大型溶洞储集体, 孔洞周围裂缝不发育, 多为易溶区扩容后形成。该类储层在钻进过程中常遇到放空漏失现象, 常规测井上显示为低电阻率、低密度、大井径特点, 成像测井中表现为暗色高导斑点(图 2-I)。该类储层储集能力通常有限, 在生产过程中常会出现生产压力减小, 产能下降较快的情况。如哈 7 井——一间房组孔洞型储层, 目前已经经过 27 轮注水, 累计注水  $6.29 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 累计产液体积为  $6.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 与注入水体积相近(误差约为 3.3%), 且产出水的密度为  $1.007 \text{ g/cm}^3$ , 与注入水密度相近, 远低于地层水密度  $1.134 \text{ g/cm}^3$ , 产出水实际为注入水, 说明该类储层储集空间有限, 不具有持续稳产能力。

裂缝-孔洞型储层在哈拉哈塘地区广泛分布, 是研究区最重要的储层类型。孔洞是该类储层主要的储集空间, 裂缝在提供部分储集空间的同时, 更重要的是起到连通渗流渠道的作用, 使得储层成片发育。相比孔洞型或裂缝型储层, 孔洞和裂缝共存更能提高储集、渗流能力。在成像测井动态图像上, 裂缝孔洞常显示为黑斑点与垂直暗色条带相连接的特点, 在哈 11-2、哈 7-1、哈 601-1 等岩心观察井中均可见到相当发育的裂缝-孔洞系统(图 2-J)。

## 3 岩溶储层主控因素

### 3.1 构造隆升作用控制了岩溶储层的发育格局

构造隆升作用对于岩溶储层的形成具有重要

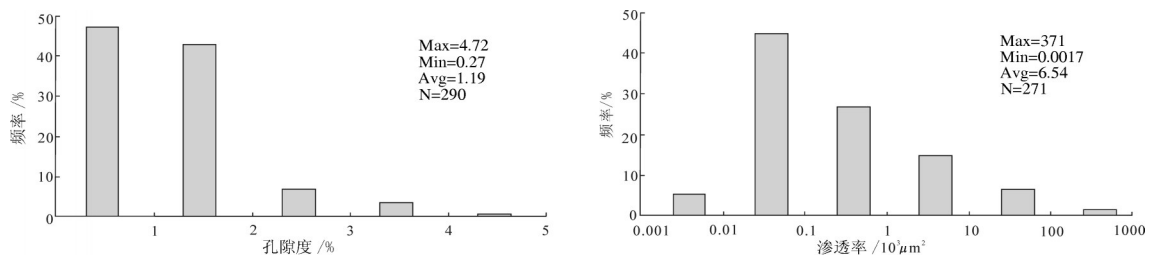


图 3 哈 6 区块鹰山组——一间房组岩心储层物性特征

Fig.3 Reservoir physical properties of Yingshan-Yijianfang Formation in the Ha 6 area

意义。在鹰山组——一间房组沉积时期, 研究区古地貌较为平缓, 鹰山组与一间房组之间为连续整合沉积。一间房组沉积之后, 区域上开始出现大规模构造隆升活动, 塔北地区成为向南倾斜的斜坡地带, 使得研究区鹰山组——一间房组呈现北高南低的地貌特征, 并且一间房组顶部遭受大量剥蚀, 岩溶作用开始普遍发育。在志留系沉积之前, 研究区北部鹰山组——一间房组又经历多次抬升暴露侵蚀, 大气淡水在北部沿早期溶蚀的孔洞和裂缝向下渗入, 并向南发生顺层岩溶作用, 岩溶作用强度逐渐减弱, 储层发育程度也有所降低(图4~5)。因此, 根据古地貌、岩溶作用类型及特征将研究区划分3个区带: 潜山岩溶区、岩溶斜坡区、岩溶平原区(图4)。在潜山岩溶区, 岩溶作用最为发育, 但由于位于古构造高点, 一间房组剥蚀量较大, 现存厚度小, 有利储层更多发育于鹰山组。在岩溶斜坡带, 地层剥蚀厚度稍小, 由于靠近淡水水源供应区, 溶蚀作用普遍发育,

该区一间房组——鹰山组皆为有利储层分布区。在南部岩溶平原区, 由于远离淡水水源, 地势平缓, 上部地层厚度大, 岩溶作用强度较低, 造成该区岩溶储层不甚发育。区域上储层的发育程度呈现由北向南逐渐减弱的特征。

### 3.2 多期岩溶作用是形成岩溶储层的关键

研究区储层物性特征表明, 鹰山组——一间房组储层基质孔隙度极小, 通常不能单独成为有效的储集空间, 而钻井实践显示该区普遍发生漏失和放空现象, 这些说明鹰山组——一间房组溶蚀孔洞普遍发育, 因此岩溶作用是该区形成优质储层的关键。研究区的岩溶作用类型根据成因机制可主要划分为(准)同生岩溶、风化岩溶、埋藏岩溶3大类, 其中风化岩溶中的层间岩溶作用、潜山岩溶作用、顺层岩溶作用对储层的形成最为重要, 而海西期及以后的埋藏热液岩溶作用较少见, 影响作用较小(表1), 多期岩溶作用叠加改造是形成岩溶储层的关键因素。

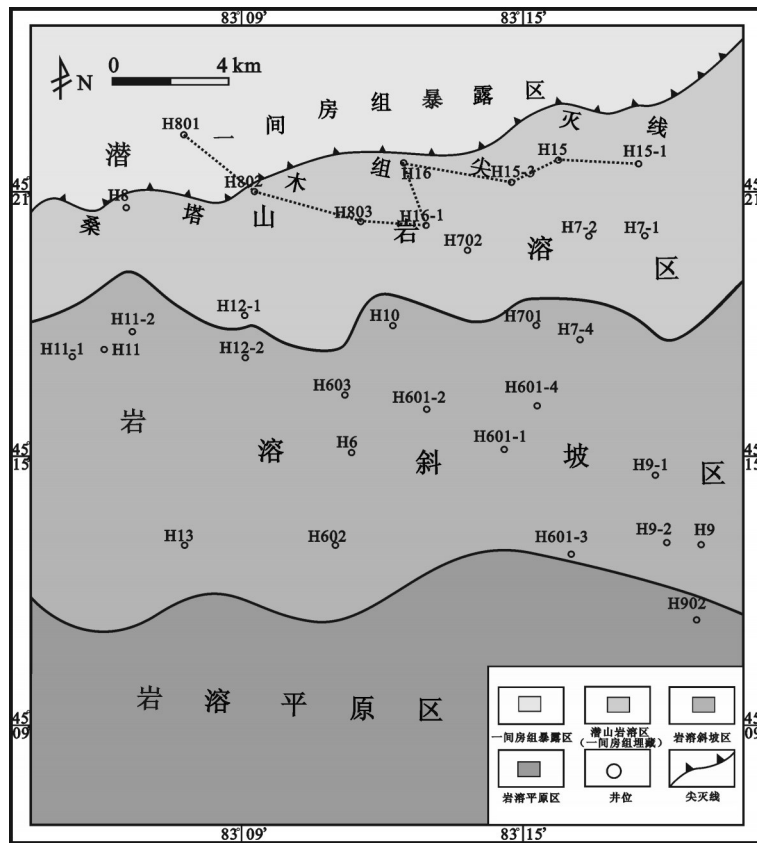


图4 哈6区块鹰山组——一间房组岩溶区带平面分布  
Fig.4 Karst zonation of Yingshan-Yijianfang Formation in the Ha 6 area

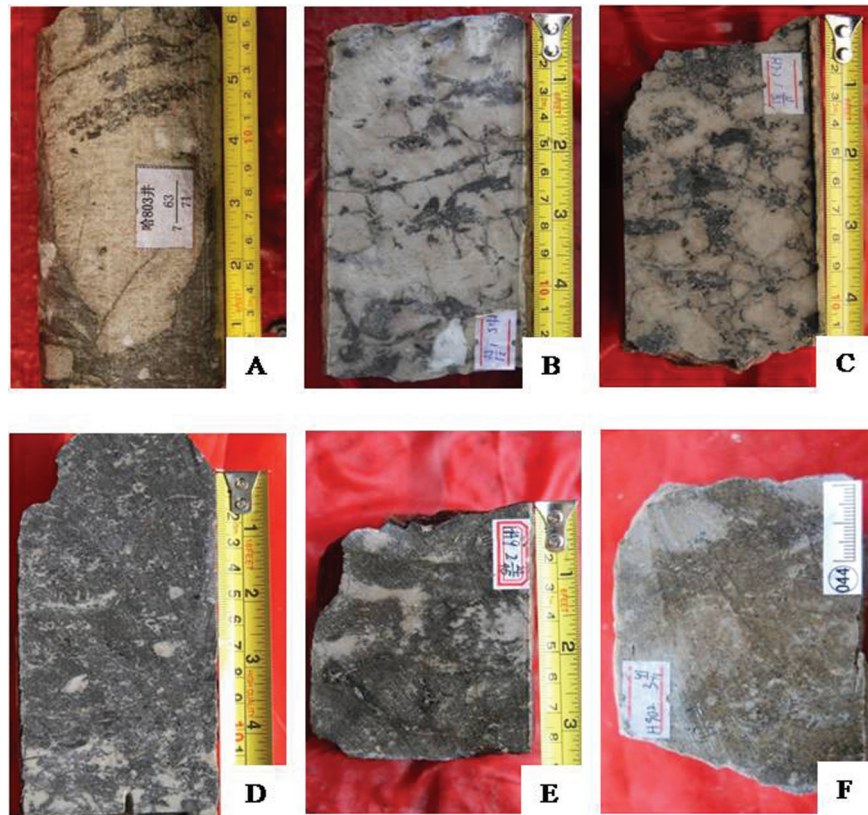


图5 一间房组岩溶作用特征典型照片

A—灰色亮晶含砾砂屑灰岩, 见大量岩溶角砾, 岩溶作用强烈, 哈803井, 一间房组, 7-63/71; B—灰色亮晶砂屑灰岩, 岩溶孔隙发育, 部分岩溶角砾化, 哈15井, 一间房组, 1-21/50; C—浅灰色亮晶砾砂屑灰岩, 岩溶孔隙发育, 哈7-2井, 一间房组, 1-31/51; D—深灰色亮晶生屑砂屑灰岩, 基质孔隙发育, 见少量岩溶孔洞, 哈601-4井, 一间房组, 1-61/68; E—深灰色亮晶生屑砂屑灰岩, 岩溶作用较弱, 岩溶孔洞少见, 哈9井, 一间房组, 2-24/45; F—泥晶砂屑生屑灰岩, 岩溶作用不发育, 哈902井, 一间房组, 3-41/71

Fig. 5 Features of karstification in the cores from Yijianfang Formation

A—Gray sparry gravel-bearing calcarenite, karst breccias are well developed, Well Ha 803, Yijianfang Formation, 7-63/71; B—Gray sparry calcarenite, karst breccias can be found, Well Ha 15, Yijianfang Formation, 1-21/50; C—Light gray sparry calcarenite, dissolved pore and fracture are well developed, Well Ha 7-2, Yijianfang Formation, 1-31/51; D—Dark gray sparry calcarenite with some biotritus, matrix pore is well developed, dissolved pore is not common, Well Ha 601-4, Yijianfang Formation, 1-61/68; E—Dark gray sparry calcarenite with some biotritus, karstification is not weak and dissolved pore is rare, Well Ha 9, Yijianfang Formation, 2-24/45; F—Micrite bioclast limestone, karstification is poorly developed, Well Ha 902, Yijianfang Formation, 3-41/71

表1 哈6区块鹰山组——一间房组岩溶作用类型及其发育特征

Table 1 Types and characteristics of karstification of Yingshan-Yijianfang Formation in the Ha 6 area

岩溶大类	岩溶亚类	分布地区	发育时期	分布层位	储集空间发育特征
(准)同生	暴露高点	全区	同生期、准同生期	一间房组、 鹰山组	基质孔隙为主, 可形成小型溶孔溶洞, 基质孔隙多被亮晶方解石填充
风化	层间	全区	表生期	一间房组	易形成小—中型洞穴, 数 cm~m 级, 多呈面状分布
	潜山	北部暴露区	表生期	一间房组、 鹰山组	小—中型溶蚀孔洞或大型洞穴, 多具有垂向延伸特征
	顺层	研究区中南部	表生期、埋藏期	一间房组、 鹰山组	可形成中—大型洞穴, 1 m~数 m, 条带状分布
埋藏	热液	少见	埋藏期	鹰山组	多为基质孔隙, 少量小型溶孔溶洞

(准)同生岩溶作用主要发生于鹰山组——一间房组沉积时期。由于海平面小幅度的升降,分布于微古地貌高部位的沉积物常暴露于水面并被大气淡水选择性溶蚀,形成基质孔隙,也可以形成少量小孔洞,多呈带状或面状展布。尽管该类孔隙常被亮晶方解石所充填,但仍为后期岩溶作用的发育提供了一定的基础。

层间岩溶作用主要发生于一间房组沉积末期。区域性的抬升作用使得一间房组大范围暴露并遭受剥蚀,层间岩溶沿着不整合面普遍发育,多为小型—中型溶蚀孔洞,同时沿裂缝垂向发育,但岩溶强度向下逐渐减弱,这使得形成的岩溶储层主要分布于不整合面附近。

潜山岩溶作用与顺层岩溶作用主要发生于桑塔木组沉积末期。受到塔北地区构造抬升运动的影响,研究区北部奥陶系成为山区并长期暴露,鹰山组——一间房组之上各组地层均被暴露剥蚀,在强烈的淡水淋滤作用下,发生潜山岩溶作用并形成大量溶蚀孔洞。在土木休克组尖灭线以南地区,鹰山组——一间房组未直接出露,溶蚀水体由北部潜山区渗入,在前期岩溶作用的基础上向南溶蚀,发生顺层岩溶作用,使得岩溶储层顺层发育。

### 3.3 断裂及裂缝系统促进了岩溶作用发育并改善了储层储集性能

研究区岩溶储层的发育与断裂活动有密切关系<sup>[30-31]</sup>,在断裂附近通常发育有大规模的溶蚀洞穴,地震剖面表现为“串珠状”(图6),且岩溶发育带多与断层走向平行,说明断裂为流体进行溶蚀作用提供了流动通道。另外,由断裂形成的裂缝系统也是改

善储层储渗能力的重要因素之一。前人研究表明<sup>[18]</sup>,研究区鹰山组——一间房组共发育有4期构造裂缝,分别为中加里东期、晚加里东期、早海西期和中海西期及以后,其中中、晚加里东期的裂缝系统对岩溶储层的形成最为重要,裂缝的发育使得岩溶作用侧向与纵向延伸,在前期溶蚀的基础上,溶蚀孔洞与裂缝大量发育,极大地改善了储层储渗能力,而海西期及以后形成的的裂缝系统则为油气的运移提供了直接有效的通道。

## 4 岩溶储层成因演化模式

研究表明,鹰山组——一间房组岩溶储层的形成受到多种因素的控制,其主要形成期为鹰山组——一间房组沉积期至志留系沉积之前(图7)。在鹰山组——一间房组沉积时期,由古地貌差异造成的微构造高部位沉积物随海平面短期下降而间歇性暴露水面,在大气淡水淋滤作用下,发生(准)同生岩溶作用,形成一些小型溶蚀孔洞但并不普遍发育。一间房组沉积末期,受昆仑洋闭合活动影响,塔北地区开始隆升,研究区地层整体表现为向南小幅度倾斜,一间房组整体暴露,此次暴露时间相对较短,没有形成大规模强烈的岩溶作用,在一间房组顶面,层间岩溶作用普遍发育,并向下溶蚀,部分可延伸至鹰山组,但溶蚀作用强度逐渐减弱,大小不一的溶蚀孔洞沿不整合面大量发育。在土木休克组和良里塔格组暴露期,由于暴露时间较短,岩溶作用多不强烈,主要沿断裂及裂缝向下溶蚀。桑塔木组沉积末期到志留系沉积之前是该区潜山岩溶作用和顺层岩溶作用发生的主要时期,也是岩溶储层发

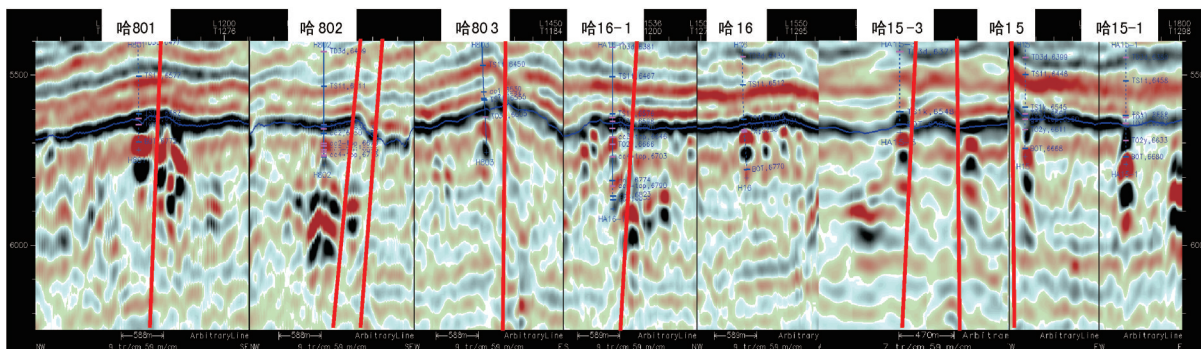


图6 哈拉哈塘地区哈6区块北部断裂与“串珠状”储层相互关系  
Fig.6 Relationship between beads-shaped reservoirs and faults in the Ha 6 area, Halahatang

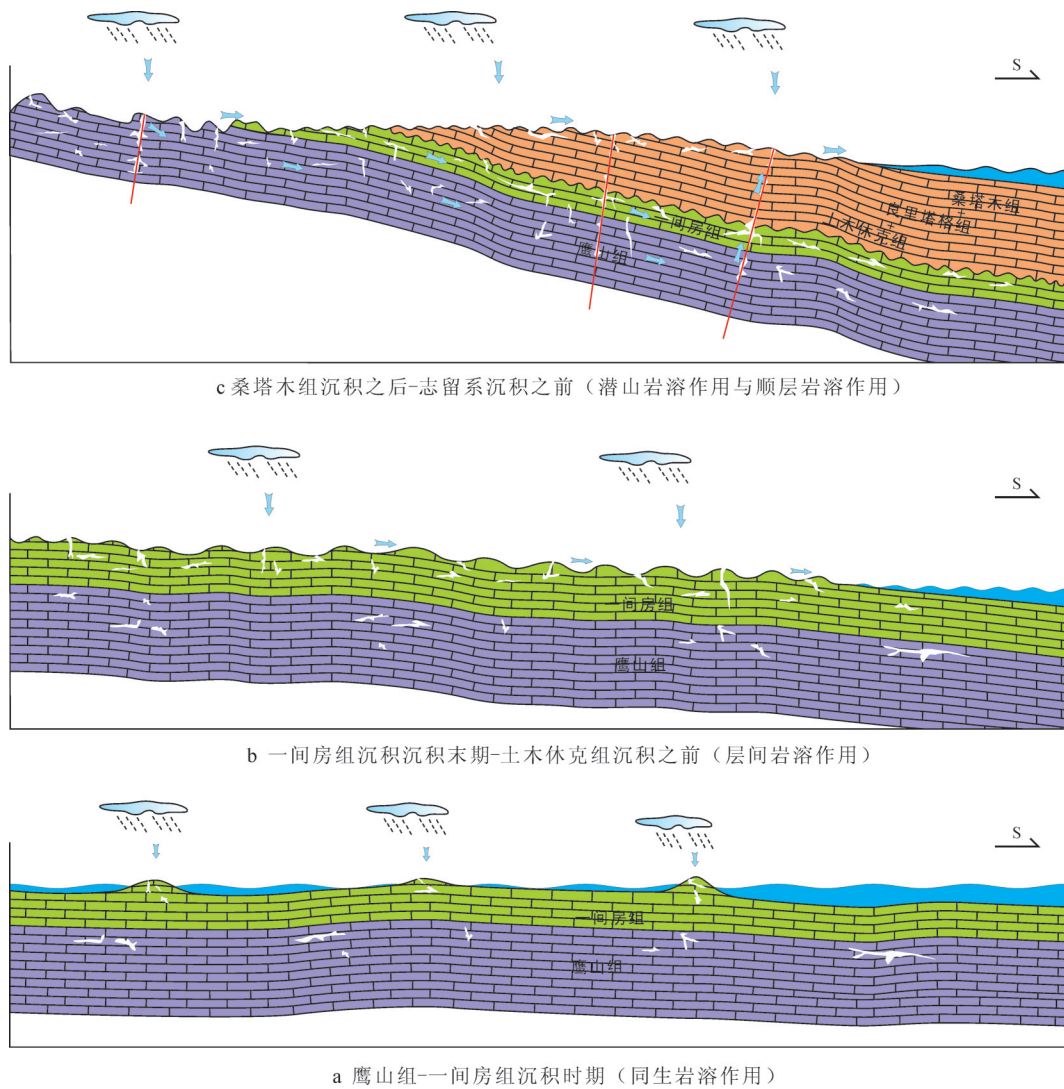


图7 哈6区块鹰山组——一间房组岩溶储层成因演化模式

Fig.7 The genetic evolution model of karst reservoirs of Yingshan-Yijianfang Formation in the Ha 6 area

育的关键时期。由于此次构造抬升活动强烈,暴露时间长,研究区北部隆起成山,鹰山组——一间房组之上地层被严重剥蚀,发生潜山岩溶作用,常形成大型溶蚀洞穴。在中南部地区,潜山区溶蚀流体沿断层、裂缝以及前期溶蚀孔洞顺层向南溶蚀,前期溶蚀空间得到连通,岩溶储层顺层成片发育,有效提高了储层储渗能力,使得鹰山组——一间房组碳酸盐岩形成优质岩溶储层成为了可能。

## 5 结论

(1)研究区一间房组岩石类型主要为颗粒灰岩,

夹少量泥晶灰岩、藻粘结灰岩和生物丘灰岩,鹰山组一段岩石类型以泥微晶灰岩、含砂屑泥微晶灰岩、泥微晶砂屑灰岩为主,(亮)泥晶砂屑灰岩呈薄层状或斑块状分布。

(2)鹰山组——一间房组碳酸盐岩岩溶储层基质孔渗条件极差,难以成为有效储集空间,孔洞、裂缝是研究区主要的储集空间类型,因而该区的储层类型也以孔洞型和裂缝-孔洞型为主。

(3)研究区鹰山组——一间房组岩溶储层的主要形成期为鹰山组——一间房组沉积期至志留系沉积之前,经历的岩溶作用可划分为(准)同生岩溶作用、



风化岩溶、埋藏岩溶3大类,其中风化岩溶中的层间岩溶作用、潜山岩溶作用、顺层岩溶作用对储层的形成最为重要,埋藏热液岩溶作用较为少见。

(4)通过对岩溶储层成因过程的综合分析,认为该区构造隆升作用控制了研究区岩溶储层的发育格局,多期岩溶作用叠加是该区储层形成的关键,而断裂及裂缝系统则使得储层岩溶作用进一步发育并改善了储层的储集性能。

**致谢:** 审稿人及编辑部杨艳老师对论文提出许多宝贵意见,在此一并致以诚挚的谢意!

#### 参考文献(references):

- [1] 兰光志,江同文,张廷山,等. 碳酸盐岩古岩溶储层模式及其特征[J]. 天然气工业, 1996, 16(6): 13-17.  
Lan Guangzhi, Jiang Tongwen, Zhang Tingshan, et al. Carbonate rock palaeokarst reservoir mode and its characteristics[J]. Nature Gas Industry, 1996, 16(6): 13-17(in Chinese with English abstract).
- [2] 杨威,魏国齐,杜平,等. 新疆巴楚凸起奥陶系潜山气藏形成的主要控制因素及区域预测[J]. 中国地质, 2003, 30(4): 419-423.  
Yang Wei, Wei Guoqi, Du Ping, et al. Principal controlling factors of the formation of the Ordovician buried hill gas accumulations and regional gas prospect evaluation in the Bachu Rise, Tarim basin[J]. Geology in China, 2003, 30(4): 419-423(in Chinese with English abstract).
- [3] 周江羽,吕海涛,林忠民,等. 塔河油田奥陶系岩溶作用模式及控制因素[J]. 石油实验地质, 2009, 31(6): 547-550.  
Zhou Jiangyu, Lv Haitao, Lin Zhongmin, et al. Karstification models of the Ordovician carbonates and their influential factors in the Tahe oilfield, the Tarim basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2009, 31(6): 547-550(in Chinese with English abstract).
- [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(in Chinese with English abstract).
- [5] 胡明毅,蔡习尧,胡忠贵,等. 塔中地区奥陶系碳酸盐岩深部埋藏溶蚀作用研究[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(6): 49-54  
Hu Mingyi, Cai Xiyao, Hu Zhonggui, et al. Deep buried dissolution of Ordovician carbonates in Tazhong area of Tarim basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2009, 31(6): 49-54(in Chinese with English abstract).
- [6] 金之钧,蔡立国. 中国海相油气勘探前景、主要问题与对策[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 722-730.  
Jin Zhijun, Cai Ligu. Exploration prospects, problems and strategies of marine oil and gas in China[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6): 722-730(in Chinese with English abstract).
- [7] 李振宏,胡健民. 鄂尔多斯盆地构造演化与古岩溶储层分布[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 640-647.  
Li Zhenhong, Hu Jianmin. Structural evolution and distribution of paleokarst reservoirs in the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 640-647(in Chinese with English abstract).
- [8] 朱光有,张水昌. 中国深层油气成藏条件与勘探潜力[J]. 石油学报, 2009, 30(6): 793-802.  
Zhu Guangyou, Zhang Shuichang. Hydrocarbon accumulation conditions and exploration potential of deep reservoirs in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(6): 793-802(in Chinese with English abstract).
- [9] 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]. 西南石油学院学报, 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(in Chinese with English abstract).
- [10] 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(in Chinese with English abstract).
- [11] 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(in Chinese with English abstract).
- [12] 沈安江,潘文庆,郑兴平,等. 塔里木盆地地下古生界岩溶型储层类型及特征[J]. 海相油气地质, 2010, 15(2): 20-29.  
Shen Anjiang, Pan Wenqing, Zhen Xiping, et al. Types and characteristics of Lower Palaeozoic karst reservoirs in Tarim Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2009, 15(2): 20-29 (in Chinese with English abstract).
- [13] 倪新锋,张丽娟,沈安江,等. 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[J]. 沉积学报, 2011, 29(3): 465-474.  
Ni Xinfeng, Zhang Lijuan, Shen Anjiang, et al. Characteristics and genesis of Ordovician carbonate karst reservoir in Yingmaili-Halahatang area, Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(3): 465-474(in Chinese with English abstract).
- [14] 朱光有,杨海军,朱永峰,等. 塔里木盆地哈拉哈塘地区碳酸盐岩油气地质特征与富集成藏研究[J]. 岩石学报, 2011, 27(3): 827-844.  
Zhu Guangyou, Yang Haijun, Zhu Yongfeng, et al. Study on

- petroleum geological characteristics and accumulation of carbonate reservoirs in Hanilcatam area, Tarim Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(3): 827–844(in Chinese with English abstract).
- [15] 李让彬, 樊太亮, 高志前, 等. 塔里木盆地卡塔克隆起卡1三维区块奥陶系鹰山组储层特征与影响因素[J]. *中国地质*, 2011, 38(4): 1016–1024.
- Li Rangbin, Fan Tailiang, Gao Zhiqian, et al. Characteristics and influencing factors of reservoirs in the Ordovician Yinshan Formation of the Kal three dimensional seismic area within Katake uplift, Tarim basin[J]. *Geology in China*, 2011, 38(4): 1016–1024(in Chinese with English abstract).
- [16] 张学丰, 李明, 陈志勇, 等. 塔北哈拉哈塘奥陶系碳酸盐岩岩溶储层发育特征及主要岩溶期次[J]. *岩石学报*, 2012, 28(3): 815–826.
- Zhang Xuefeng, Li Ming, Chen Zhiyong, et al. Characteristics and karstification of the Ordovician carbonate reservoir, Halahatang area, northern Tarim Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(3): 815–826(in Chinese with English abstract).
- [17] 张宗命, 贾承造. 塔里木克拉通盆地内古隆起及其找油气方向[J]. *西安石油学院学报*, 1997, 12(3): 8–13, 42.
- Zhang Zongming, Jia Chengzao. Paleohighs in craton basin of Tarim and exploration objectives[J]. *Journal of Xi'an Petroleum Institute*, 1997, 12(3): 8–13, 42(in Chinese with English abstract).
- [18] 张光亚, 赵文智, 王红军, 等. 塔里木盆地多旋回构造演化与复合含油气系统[J]. *石油与天然气地质*, 2007, 28(5): 655–663.
- Zhang Guangya, Zhao Wenzhi, Wang Hongjun, et al. Multicycle tectonic evolution and composite petroleum systems in the Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2007, 28(5): 653–662(in Chinese with English abstract).
- [19] 程海艳, 李江海, 赵星. 塔北隆起古生代构造样式和构造反演[J]. *中国地质*, 2009, 36(2): 314–321.
- Cheng Haiyan, Li Jianghai, Zhao Xing. Paleozoic structural styles and evolution of the North Tarim Uplift[J]. *Geology in China*, 2009, 36(2): 314–321(in Chinese with English abstract).
- [20] 林畅松, 李思田, 刘景彦, 等. 塔里木盆地古生代重要演化阶段的古构造格局与古地理演化[J]. *岩石学报*, 2011, 27(1): 210–218
- Lin Changsong, Li Sitian, Liu Jingyan, et al. Tectonic framework and paleogeographic evolution of the Tarim basin during the Paleozoic major evolutionary stages[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(1): 210–218(in Chinese with English abstract).
- [21] 何登发, 孙方原, 何金有, 等. 温宿北—野云沟断裂的构造几何学与运动学特征及塔北隆起的成因机制[J]. *中国地质*, 2011, 38(4): 917–934.
- He Dengfa, Sun Fangyuan, He Jinyou, et al. Geometry and kinematics of Wensubei–Yeyungou fault and its implication for the genetic mechanism of North Tarim uplift[J]. *Geology in China*, 2011, 38(4): 917–934(in Chinese with English abstract).
- [22] 汤良杰, 漆立新, 邱海峻, 等. 塔里木盆地断裂构造分期差异活动及其变形机理[J]. *岩石学报*, 2012, 28(8): 2569–2583.
- Tang Liangjie, Qi Lixin, Qiu Haijun, et al. Poly-phase differential fault movement and hydrocarbon accumulation of the Tarim Basin, NW China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(8): 2569–2583(in Chinese with English abstract).
- [23] 徐国强, 刘树根, 李国蓉, 等. 塔中—塔北古隆起形成演化及油气地质条件对比[J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(1): 114–119, 129.
- Xu Guoqiang, Liu Shuguo, Li Guorong, et al. Comparison of tectonic evolutions and petroleum geological conditions in Tazhong and Tabei palaeohighs in Tarim Basin[J]. *Oil and Gas Geology*, 2005, 26(1): 114–119, 129(in Chinese with English abstract).
- [24] 安海亭, 李海银, 王建忠, 等. 塔北地区构造和演化特征及其对油气成藏的控制[J]. *大地构造与成矿学*, 2009, 33(1): 142–147.
- An Haiting, Li Haiyin, Wang Jianzhong, et al. Tectonic evolution and its controlling on oil and gas accumulation in the northern Tarim Basin[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2009, 33(1): 142–147(in Chinese with English abstract).
- [25] 高计县, 唐俊伟, 张学丰, 等. 塔北哈拉哈塘地区奥陶系一间房组碳酸盐岩岩心裂缝类型及期次[J]. *石油学报*, 2012, 33(1): 64–73.
- Gao Jixian, Tang Junwei, Zhang Xuefeng, et al. Types and episodes of fractures in carbonate cores from the Ordovician Yijianfang Formation in the Halahatang area, northern Tarim Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 33(1): 64–73(in Chinese with English abstract).
- [26] 陈景山, 李忠, 王振宇. 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. Paleokarstification and reservoir distribution of Ordovician carbonates in Tarim basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(6): 858–868(in Chinese with English abstract).
- [27] 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(in Chinese with English abstract).
- [28] 倪新锋, 王招明, 杨海军, 等. 塔北地区奥陶系碳酸盐岩储层岩溶作用[J]. *油气地质与采收率*, 2010, 17(5): 11–16.
- Ni Xinfeng, Wang Zhaoming, Yang Haijun, et al. Formation mechanism of Ordovician carbonate karst reservoir in the northern Tarim Basin[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency* 2010, 17(5): 11–16(in Chinese with English abstract).
- [29] 倪新锋, 杨海军, 沈安江, 等. 塔北地区奥陶系灰岩段裂缝特征及其对岩溶储层的控制[J]. *石油学报*, 2010, 31(6): 933–940.
- Ni Xinfeng, Yang Haijun, Shen Anjiang, et al. Characteristics of Ordovician limestone fractures in the northern Tarim Basin and their controlling effects on karst reservoirs[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 31(6): 933–940(in Chinese with English abstract).

- Sinica, 2010, 31(6): 933–940(in Chinese with English abstract).
- [30] 龚福华, 刘小平. 塔里木盆地轮古西地区断裂对奥陶系古岩溶的控制作用[J]. 中国岩溶, 2003, 22(4): 313–317.
- Gong Fuhua, Liu Xiaoping. Controlling effects of faults over palaeokarst in west Lungu region, Tarim Basin[J]. Carsologica Sinica, 2003, 22(4): 313–317(in Chinese with English abstract).
- [31] 苏劲, 张水昌, 杨海军, 等. 断裂系统对碳酸盐岩有效储层的控制及其成藏规律[J]. 石油学报, 2010, 31(2): 196–203.
- Su Jin, Zhang Shuichang, Yang Haijun, et al. Control of fault system to formation of effective carbonate reservoir and the rules of petroleum accumulation[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(2): 196–203(in Chinese with English abstract).

## Characteristics and genetic model of karst reservoirs of Ordovician Yingshan-Yijianfang Formation in Halahatang area, northern Tarim Basin

HU Ming-yi<sup>1,2</sup>, FU Xiao-shu<sup>1,2</sup>, CAI Quan-sheng<sup>1,2</sup>, YANG Wei<sup>1,2</sup>, ZHU Wen-Ping<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources, Ministry of Education, Yangtze University, Wuhan 430100, Hubei, China; 2. School of Geoscience, Yangtze University, Wuhan 430100, Hubei, China; 3. Research Institute of Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla 841000, Xinjiang, China)

**Abstract:** The most important exploration target of the Ordovician strata in Halahatang area of the Tarim Basin is carbonate karst reservoir in Yingshan–Yijianfang Formation, and a breakthrough of oil–gas exploration was made in this area in recent years. Therefore, a further study of karst reservoir for marine petroleum exploration will be very important. In this paper, based on the analysis of regional geological background, in combination with drilling, core, logging and seismic data, the authors studied in detail the characteristics, main controlling factors and genetic evolution model of karst reservoirs in Yingshan–Yijianfang Formation. The results indicate that the porosity and permeability of the matrix in Yingshan–Yijianfang Formation are poor, micropores which mainly consist of solution cave and fracture cannot serve as favorable reservoir space. The main types of karstification are penecontemporaneous or contemporaneous karstification, buried karstification, and weathering karstification. Superimposed reformation of polyphase karstification has made a great contribution to karst reservoirs. Based on synthetic analysis of the formation process of karst reservoirs, the authors have arrived at several conclusions: The distribution of karst reservoirs is controlled by tectonic uplift, polyphase karstification is the main factor for reservoir development, and faults and fractures formed during the tectonic evolution have facilitated the development of karst reservoirs and improved the reservoir property.

**Key words:** Halahatang area; Ordovician; Yingshan–Yijianfang Formation; karst reservoir; genetic model

**About the first author:** HU Ming-yi, male, born in 1965, professor, supervisor of doctor candidates, mainly engages in the study of reservoir sedimentation and sequence stratigraphy; E-mail: humingyi65@163.com.