

文章编号: 1000-0550(2007) 02-0214-10

# 塔河油田加里东期岩溶储层特征及分布预测

张达景<sup>1,2</sup> 吕海涛<sup>3</sup> 张涛<sup>2</sup> 邬兴威<sup>2</sup>

(1 中国石油大学(北京)盆地与油气藏研究中心 北京 102249 2 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院 北京 100083  
3 中国石油化工股份有限公司西北分公司勘探开发研究院 乌鲁木齐 830011)

**摘要** 岩溶储层是塔河油田奥陶系碳酸盐岩的主要储层,是海西早期与加里东期岩溶作用的结果。海西期岩溶储层主要发育在石炭系直接覆盖于中下奥陶统之上的地区,上奥陶统覆盖区的岩溶储层主要是加里东期岩溶作用形成的。地震剖面奥陶系反射波组底部上超、顶部削切特征,牙形刺化石带的缺失、志留系层序地层对比均证实奥陶系在加里东中期有过隆升剥蚀,说明塔河油田具备有加里东岩溶作用的地质条件,锶同位素特征证实了加里东期岩溶洞穴的存在。在上奥陶统覆盖区,岩溶储层主要发育于加里东不整合面( $T_7$ 和  $T_7^2$ )下 300 m 之内,岩溶储层中,岩溶洞穴高度主要为 0~30 m 之间,最大可达 75 m 显然是加里东中期岩溶作用的产物。加里东期断裂控制了加里东岩溶储层的发育,由此预测了加里东期岩溶储层的发育区带。

**关键词** 塔河油田 岩溶储层 不整合面 加里东期岩溶 控制因素

**第一作者简介** 张达景 男 1962 年出生 高级工程师 博士研究生 石油地质 E-mail zhangdajing@pepris.com

**中图分类号** TE122.2 **文献标识码** A

## 1 前言

岩溶是指碳酸盐岩地区一系列溶蚀作用过程和产物。按形成时间,岩溶又可分为现代岩溶和古岩溶两类,古岩溶是指在新生代以前地史时期中形成的岩溶。从水-岩作用角度,岩溶从此又可分为沉积期、暴露期及埋藏期三种岩溶类型<sup>[1]</sup>。其中暴露岩溶是指碳酸盐沉积成岩后,暴露地表发育的岩溶,目前发现的 90% 近地表洞穴被认为是近地表的碳酸盐岩地层在经受溶蚀作用后形成的,10% 的近地表洞穴为深成洞穴<sup>[2]</sup>。

古岩溶作用形成的洞穴是重要的油气田储集层。目前在得克萨斯州发现了 8 个下奥陶统洞穴系统的油气田<sup>[3~8]</sup>,四川盆地川东地区碳酸盐岩气藏、大港油田的千米桥油气田、鄂尔多斯盆地中部气田、塔里木盆地塔河油气田等均属于以岩溶洞穴系统为储层的油气藏<sup>[9~26]</sup>。

岩溶作用发育受潜水面升降、不整合面、碳酸盐岩的岩性、断裂和裂缝、岩溶古地貌等地质因素所控制<sup>[2~37]</sup>。潜水带孔道(直径 > 5 mm)在潜水面以下的发育深度受控于裂缝的定向、密度以及地层产状。裂缝垂向连通性很好的地区,有利于发育深切孔道回路,而裂缝横向连通性很好的地区多形成潜水面

孔道。复合不整合面有可能发育多个洞穴系统。较老系统的废弃和塌陷,有可能受到一个或多个较新系统的叠加,从而发育巨厚的岩溶改造带。碳酸盐岩是岩溶发育的基础和内在条件。在巨厚层的微晶泥晶灰岩中,溶蚀作用普遍而强烈。裂缝和断层是地下水运动的良好通道,裂缝和断层发育的地区,岩溶发育;反之,岩溶一般也不发育。岩溶高地地形较平缓,坡度小,地下水流动较慢,溶蚀作用较弱。岩溶斜坡坡度大,地下水流速快,有利于溶蚀。基准面之下的岩溶洼地溶蚀作用弱,而基准面之上的岩溶洼地溶蚀作用较强;塌陷是洞穴演化的组成部分。洞顶和洞壁塌陷的主要产物,是混杂塌落角砾以及洞顶和洞壁的裂纹角砾岩。

塔河油田位于塔里木盆地塔北隆起阿克库勒凸起的倾没端,由奥陶系、三叠系、石炭系等油气藏组成,奥陶系是其主力的油气藏,奥陶系已探明储量(至 2004 年底)占油田储量的 90% 以上。奥陶系油气藏的储层为岩溶缝洞储集体<sup>[14,15,20~26]</sup>。

随着塔河奥陶系岩溶缝洞型油气藏的发藏,李国蓉、闫相宾、叶德胜等人对塔河奥陶系岩溶储层特征及成因进行了深入的研究,其研究的工区范围主要是中上奥陶统缺失区。研究认为奥陶系岩溶储层的特征主要表现为:岩溶作用规模非常大,发育有效洞

穴(放空、钻时加快、漏失)的钻井达 115 口, 占钻井总数的 36. 8%。已发现的最大的未充填溶洞达 29. 49 m (T808K 井 O<sub>1-2y</sub> 5763 51~ 5793 00 m), 最大的全充填溶洞达 75 m (TK409 井: 5586~ 5659 m); 有效洞穴层主要分布在塔河主体区(桑塔木组地层尖灭线以北地区)(图 1)。

在上奥陶统缺失区, 奥陶系岩溶作用主要发生于海西早期, 岩溶作用持续时间约 10 Ma<sup>[22]</sup>, 在此地质剥蚀时期内, 阿克库勒隆起下古生界遭受了强烈剥蚀, 由南向北剥蚀程度加大, 塔河主体中、下奥陶统部分被剥蚀, 表现为复合不整合面的特点。上奥陶统桑塔木组隔水层限制了岩溶作用的发育深度和范围<sup>[22-23]</sup>。海西早期岩溶洞穴在纵向上发育了三套岩溶旋回, 形成了三套洞穴型储层。第一套洞穴型储层主要发育在海西早期不整合面之下 0~ 50 m 范围内, 第二套洞穴型储层主要发育于海西早期不整合面下 40~ 100 m, 第三套洞穴型储层主要发育在海西早期不整合面下 150~ 200 m。平面上, 从第一套洞穴型储层到第三套, 洞穴型储层发育区域不断向南扩展和扩大。

本文主要是在前人研究基础上, 讨论塔河南部上奥陶统覆盖区具有发育加里东期岩溶作用的地质条件, 分析已发现的岩溶储层特征及其控制因素。

## 2 塔河油田具有发育加里东期岩溶作用的地质条件

### 2.1 地震剖面反射特征表明存在加里东期隆升剥蚀现象

新疆地区自加里东运动中、晚期大面积隆起至早石炭世接受沉积期间, 奥陶系至少有 3 次(中奥陶世, 晚志留世, 中晚泥盆世)曾因隆起而出露地表遭受风化剥蚀(图 2), 接受岩溶改造<sup>[24]</sup>。

在地震剖面上, 中奥陶统一间房组与上奥陶统恰尔巴克组之间存在明显的削截现象, 上奥陶统内部的桑塔木组自南、西、东等方向向阿克库勒凸起高部位明显上超现象(图 3)。这说明中奥陶统沉积末期, 阿克库勒凸起曾有过整体隆升, 一间房组地层受剥蚀; 良里塔格组沉积后阿克库勒凸起曾有一次更明显的隆升剥蚀过程, 这次构造运动导致了桑塔木组沉积环境与良里塔格组明显的差异, 沉积物以潮坪相

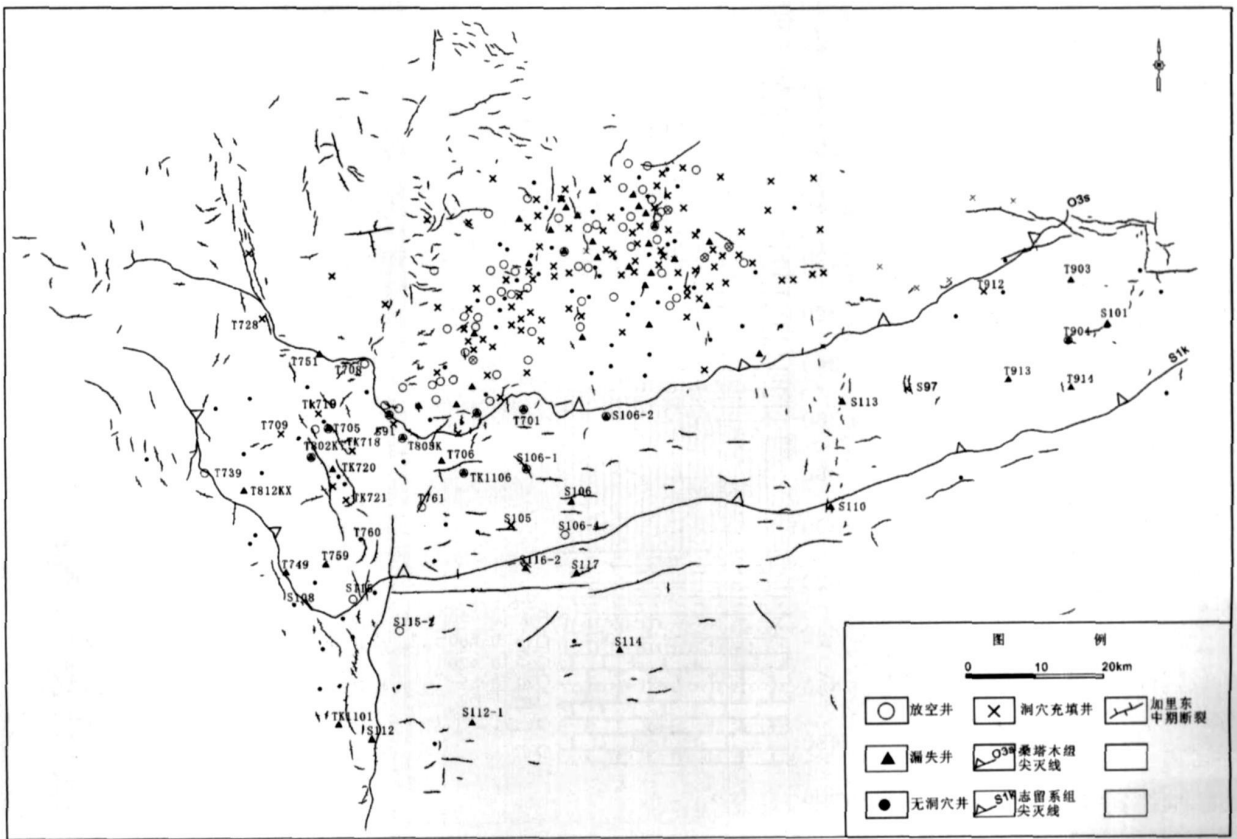


图 1 塔河油田奥陶系岩溶洞穴分布图(资料截止 2005 年 11 月)

Fig 1 Map of karst cave distribution in the Ordovician karst reservoirs in Tahe oil field

的碎屑岩为主, 碳酸盐岩沉积比良里塔格组更少。

2.2 牙形刺化石带的缺失表明加里东期一幕发生了沉积间断

塔中、巴楚地区下奥陶统与中奥陶统之间缺失 8

~ 12 个牙形刺带, 表明加里东中期一幕发生了 30~ 50 Ma 的沉积间断。塔河地区 S69 等井牙形刺带分析认为, 在 O<sub>1</sub> 与 O<sub>2</sub> 之间缺失 2~ 4 个牙形刺带, 表明塔河地区在早奥陶世末至中奥陶世初, 发生了沉积间断。

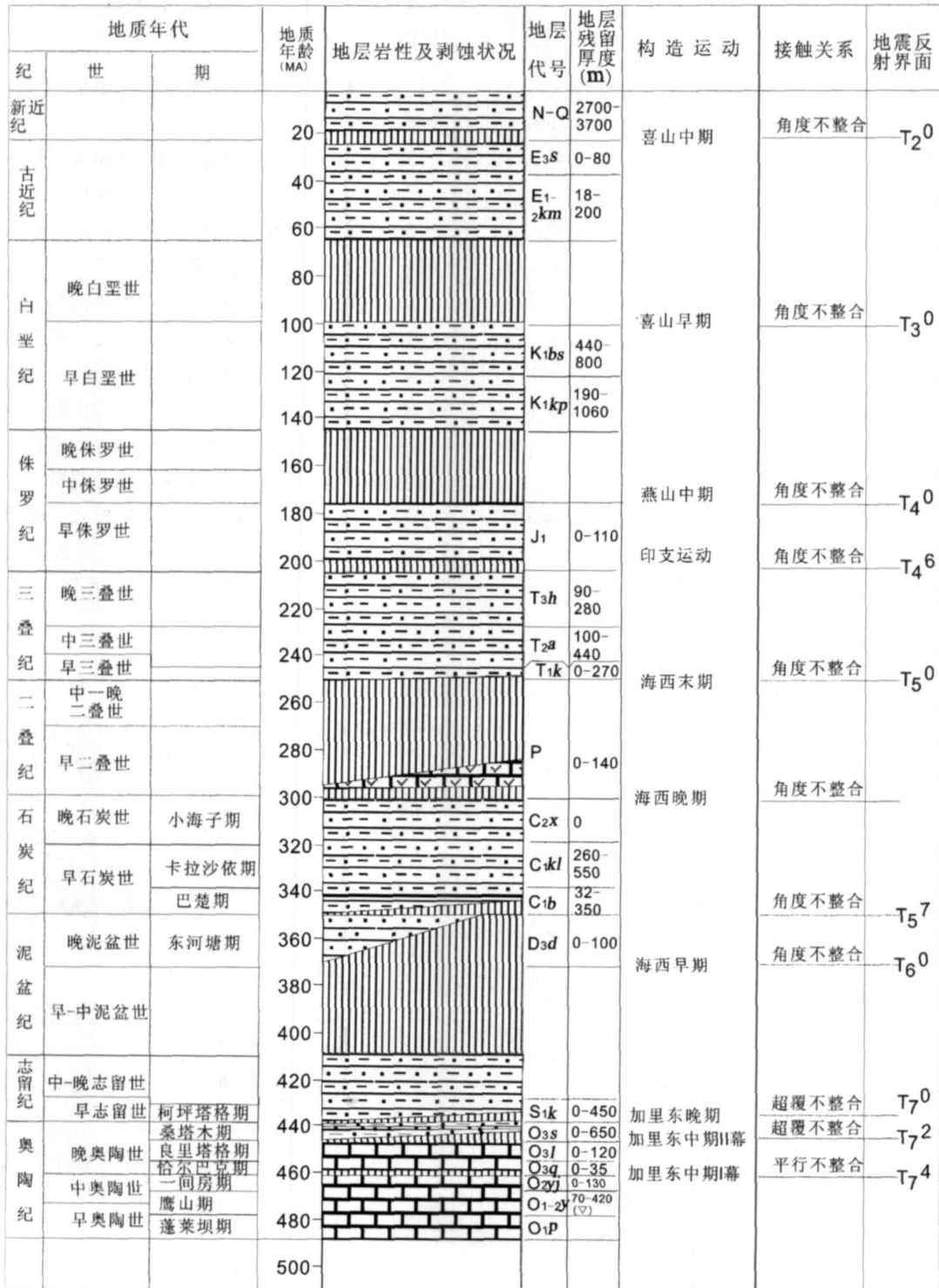


图 2 塔河油田地层、构造运动期综合柱状图

Fig 2 Composite columnar section of stratum and tectonic movement period in Tahe oil field

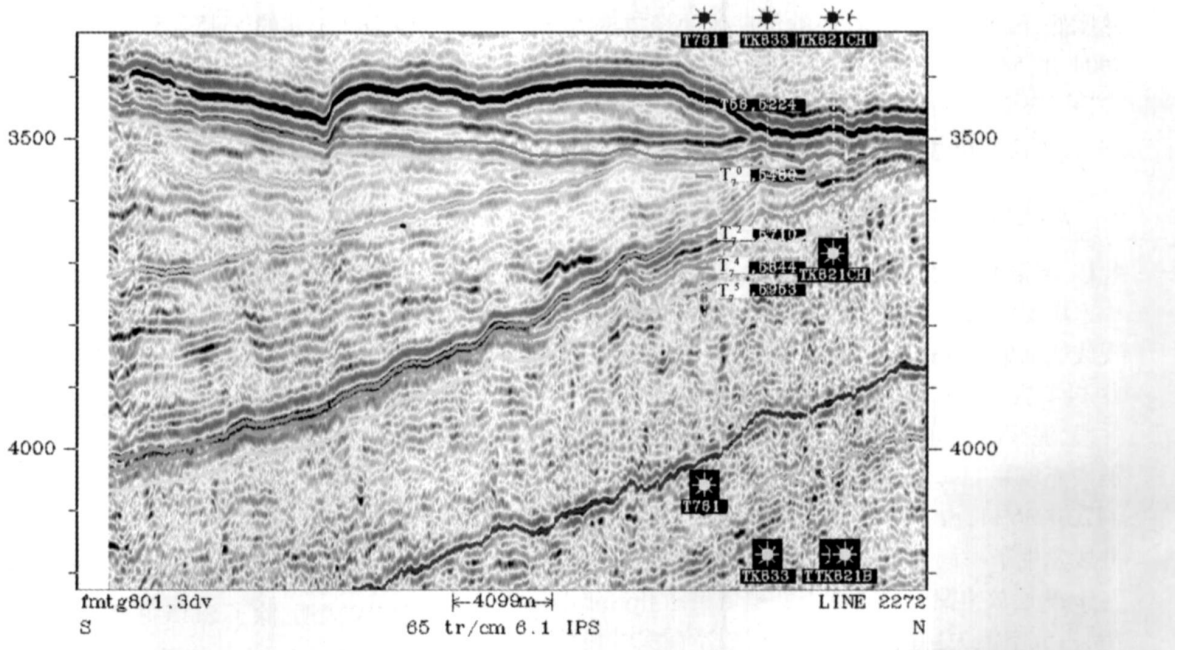


图 3 塔河油田南部 LINE2272 南北向地震解释剖面图

Fig 3 NS seismic interpretation section of Line 2272 in the south of Tahe oil field  
(图中 T<sup>0</sup>与 T<sup>2</sup>之间为上奥陶统桑塔木组地层, 具有由南向北上超的特点)

### 2.3 志留系层序地层对比表明奥陶纪末塔河西部、南部发生隆升剥蚀

志留系钻井层序地层对比分析表明(表 1), 塔河南部及西部志留系下部缺失 1~4 个层序, 局部地区(S98井)顶部缺失 1 个层序, 而塔河东部的 S32井志留系层序发育较齐全, 同时, 区域地震地层层序也表明, 志留—泥盆系具有向阿克库勒隆起超覆、顶部削截的特点, 这些均说明奥陶系沉积末期, 塔河南部及西部发生了隆升剥蚀。

表 1 塔河地区志留系 S102井—S32井层序地层对比表

Table 1 Stratigraphic correlation for Silurian system from Well S102 to Well S32

S98			S32		
深度	体系域	三级层序	深度	体系域	三级层序
			5390.79	TST	S6
5384.20	HST	S5	5426.66	HST	S5
5406.00	TST		5461.05	TST	
			5513.00	HST	S4
			5582.48	TST	
			5643.99	HST	S3
			5683.27	TST	
			5708.35	HST	S2
			5747.46	TST	
			5818.93	HST	S1
			5884.00	TST	

### 3 岩溶洞穴方解石的锶同位素特征已证实发育有加里东岩溶储层

巴楚五道班露头剖面经历了加里东期多期抬升剥蚀, 剥蚀强度大, 因而形成了规模较大的加里东期岩溶洞穴, 在奥陶系顶面发现众多的岩溶洞穴<sup>[25]</sup>, 这显然是加里东期岩溶作用形成的。塔河油田南部加里东中期至少存在两幕岩溶作用(第一幕和第二幕)(叶德胜, 2002)。第一幕岩溶作用发生于中奥陶统一间房组与上奥陶统恰尔巴克组之间(T<sup>4</sup>构造运动面), 第二幕岩溶作用发生于上奥陶统良里塔格组与桑塔木组之间(T<sup>2</sup>构造运动面)。

加里东中期岩溶洞穴方解石的锶同位素比值 < 0.7094<sup>[26]</sup>, 同时含烃盐水包裹体的烃类成熟度较低; 根据重结晶方解石斑块的 Sr 同位素值为 0.709352~0.708196, 与早奥陶世海洋的 Sr 同位素组成 0.7077~0.7094 范围相近, 因此, 加里东中期与洞穴形成同期充填方解石沉淀过程中成岩溶液中的 Sr 同位素主要受奥陶系本地层的碳酸盐岩控制, 其锶同位素值低于 0.709400, 此外, 加里东期烃源岩生成的油气成

叶德胜. 塔河油田南部平台地区奥陶系储层预测与油气勘

探靶区评价研究, 2002

熟度低,因此洞穴方解石烃类包裹体的烃成熟度低。T904井,5892~5900 m 段为巨晶方解石充填洞穴,洞穴顶距奥陶系顶面 432 m,这是一个加里东期形成的洞穴,其锶同位素比值 0.70923。

## 4 加里东期岩溶储层分布特征

### 4.1 岩溶洞穴空间发育状况

塔河油田桑塔木组覆盖区内,据 90 口井统计,出现放空漏失井 43 口,占钻井总数的 48%,其中放空井 14 口井(其中 7 口井还发生了泥浆漏失)共 15 层井段,泥浆漏失井 25 口共 28 层井段;测井识别出的洞穴充填井 11 口 22 层井段,占钻井总数的 12%;无洞穴井 36 口,占 40%。在层位上,共 32 层放空漏失井段发生于一间房组和鹰山组,占放空漏失层段的 74%;9 层放空漏失井段位于良里塔格组和恰尔巴克组,占放空漏失层段的 21%;2 层放空漏失井段位于桑塔木组,占放空漏失层段的 5%。

统计结果表明,加里东期岩溶储层还是比较发育的,平面上,放空漏失井主要分布于桑塔木组与志留系两地层尖灭线之间(图 1)。

### 4.2 岩溶洞穴高度一般小于 30 m

钻遇的放空、漏失井段厚度统计表明,最大的放空洞穴为 S116-1 井 5851.9~5880 m 井段,厚 28.1 m,其次为 TK1106 井的 5876.2~5887 m 井段,厚 9.99 m,多数放空洞穴厚度位于 0~10 m 之间(图 4);最大的漏失井段为 S101 井 5699.02~5820 m 井段,厚 120.98 m,其次是 T701 井 5693.5~5776.43 m 井段,厚 82.93 m,多数漏失井段厚度介于 1~50 m 之间(图 4)。

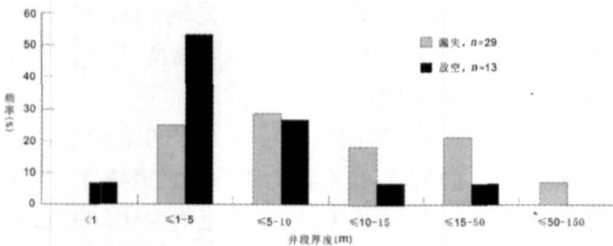


图 4 塔河油田桑塔木组覆盖区钻井放空、漏失井段厚度频率直方图

Fig 4 Frequency histogram of drilling break and mud loss well section in the area covered by Sangtanu Formation in Tahe oil field

测井识别出 22 层充填洞穴厚度统计表明,最大的充填洞穴为 S105 井 6188~6214 m 井段,厚 26 m,

其次为 TK721 井的 5545~5567 m 井段,厚 22 m,多数放空洞穴厚度位于 0~10 m 之间(图 5)

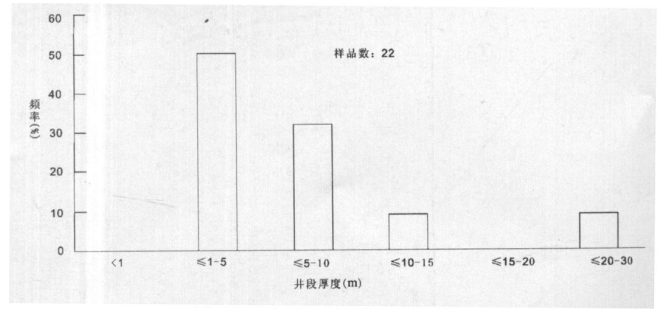


图 5 塔河油田桑塔木组覆盖区钻井充填洞穴厚度频率直方图  
Fig 5 Frequency histogram of thickness of packed cave in the area covered by Sangtanu Formation in Tahe oil field

### 4.3 加里东期岩溶与加里东期不整合面之间的关系

图 6A 表明,除了 S115 井外,钻井放空井段主要发育于距  $T_4^1$  不整合面(加里东中期幕不整合面)下 200 m 范围以内,距  $T_7^2$  不整合面(加里东中期幕不整合面)下 250 m 以内。图 6B 表明,除 T701 井外,钻井放空洞穴均位于石炭系与前石炭系之间的不整合面(海西早期不整合面)之下 200~800 m。在没有上奥陶统一泥盆系覆盖的塔河主体区,纯、厚层的中、下奥陶统灰岩经受了强烈的海西早期岩溶作用改造下,形成的洞穴主要位于海西早期复合不整合面下 250 m 的范围内,在桑塔木组覆盖区,由于上奥陶统桑塔木组、良里塔格组砂泥岩层较发育,碳酸盐岩发育不纯,受海西早期不整合面控制下的岩溶作用形成的洞穴,其发育深度应远比主体区的差。因此可见,桑塔木组覆盖区奥陶系岩溶洞穴主要是加里东中期岩溶作用的产物。

显然,加里东期岩溶的发育深度受加里东中期不整合面岩溶作用所控制,加里东中期幕不整合面控制形成的岩溶洞穴受幕不整合面控制的岩溶作用所改造。形成的岩溶洞穴主要发育于不整合面下 250 m 的范围内。

录井中泥浆漏失井段也是岩溶作用形成了较大的岩溶裂缝带所致,图 7 表明,桑塔木组地层尖灭线以南地区绝大多数漏失井段位于海西早期不整合面下 200~1100 m 的范围内。与放空井段一样,也应是加里东中期岩溶作用的产物。

测井识别出的充填洞穴,是岩溶作用形成的洞穴在后期演化过程中被泥砂质或巨晶方解石充填或洞穴跨塌所致。图 8 表明,绝大多数的充填洞穴位于海

西早期不整合面下 200~ 800 m 范围内, 但仅位于加里东中期不整合面下 250~ 300 m 的范围内, 同样显示出, 充填洞穴与加里东期不整合面控制下的岩溶作用关系密切。

可见, 无论是反映岩溶作用的有效洞穴、充填洞

穴、泥浆漏失等, 都无一例外地说明, 桑塔木地层覆盖区存在加里东中期岩溶洞穴或岩溶裂缝带, 它们发育的深度位于加里东中期、幕不整合面下 0~ 300 m 的范围内, 岩溶作用受加里东中期、幕不整合面所控制。

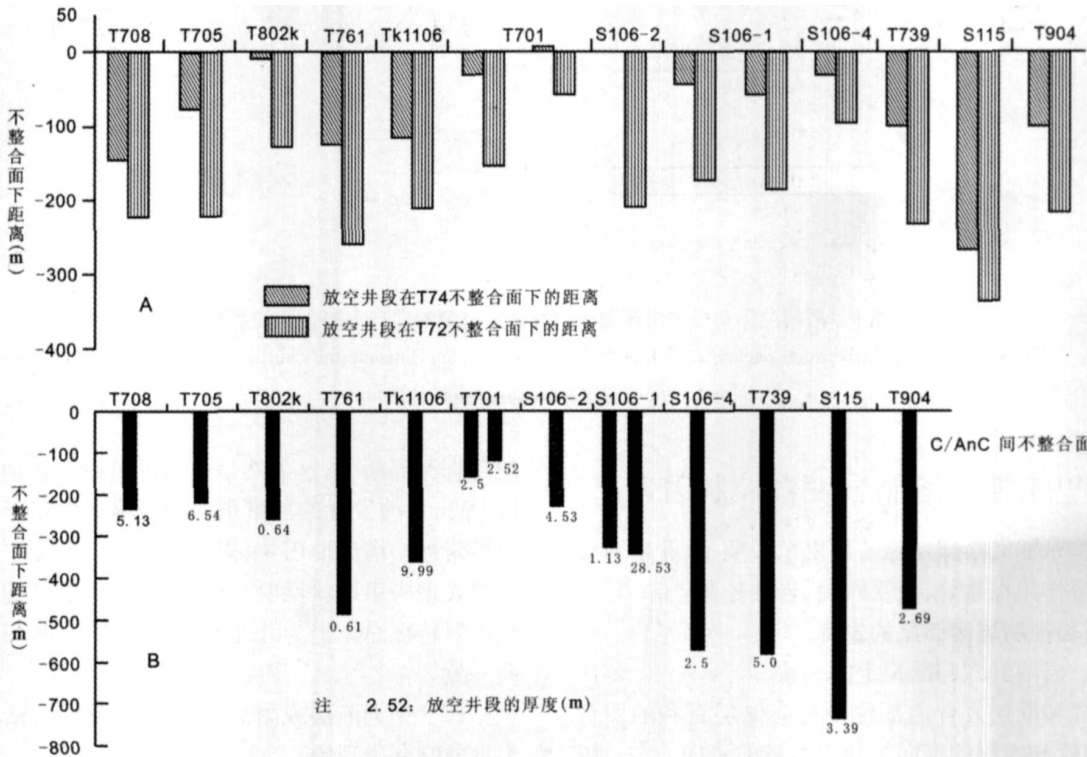


图 6 塔河油田桑塔木组覆盖区钻井放空(洞穴)井段与不整合面关系图

Fig. 6 Relationship between the well drilling break (cave) hole interval and unconformity surface in the area covered by Sangtamu Formation in Tahe oil field

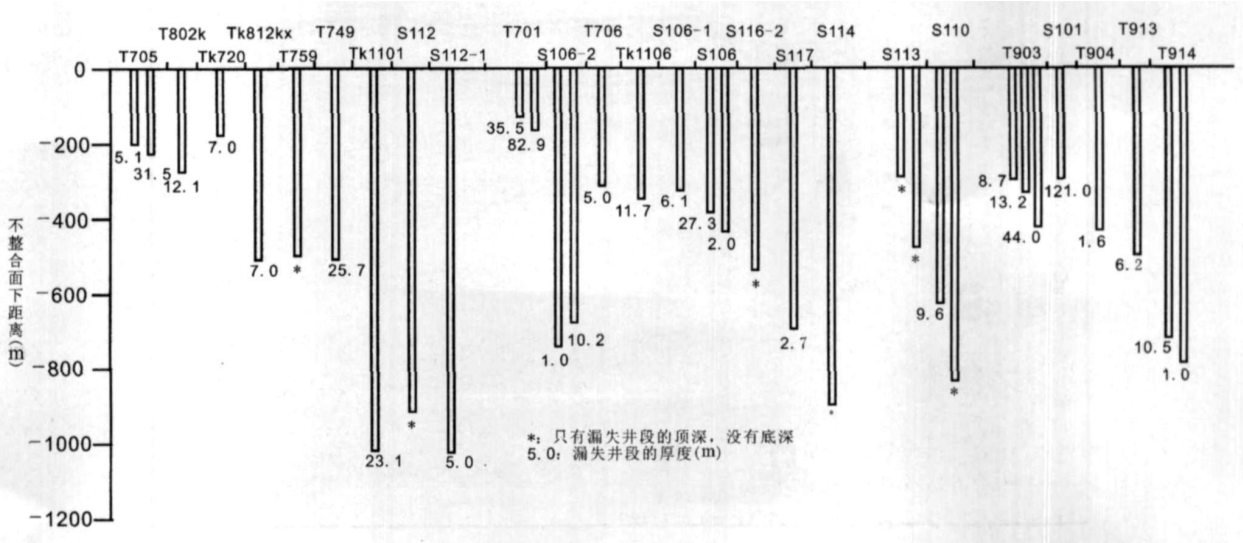


图 7 塔河油田桑塔木组覆盖区钻井泥浆漏失井段与海西早期不整合面关系图

Fig. 7 Relationship between mud loss hole interval and early Hercynian unconformity surface in the area covered by Sangtamu Formation in Tahe oil field

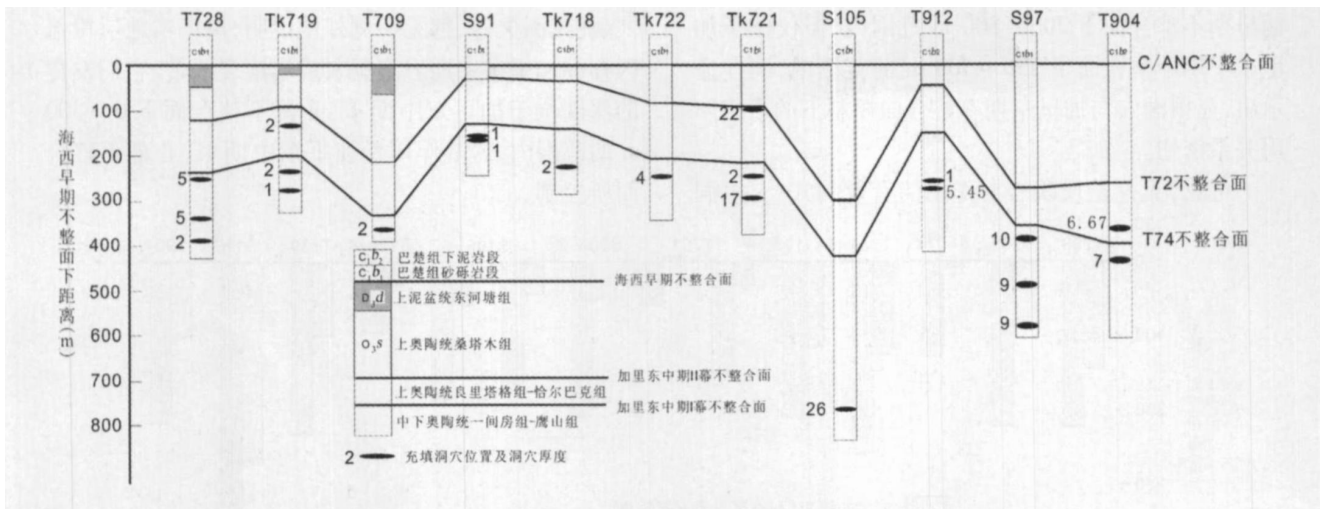


图 8 塔河油田桑塔木组覆盖区测井识别充填洞穴与不整合面关系图

Fig 8 Relationship between packed cave identified by well log and unconformity surface in the area covered by Sangtamu Formation in Tahe oil field

### 5 加里东期岩溶储层发育控制因素

加里东期岩溶储层除了加里东中期、幕不整合面岩溶作用控制外,还受断裂、岩性控制。

#### 5.1 断裂控制岩溶储层的发育

##### (1) 岩溶洞穴与断裂走向一致

裂缝和断层发育的部位是岩溶储层有利的发育部位,裂缝和断层的走向控制岩溶带的走向<sup>[9,29]</sup>。塔河南地区三维地震解释中,发现了众多未断穿 T<sub>4</sub>面

的陡直深部断裂,这显然是在加里东中期运动形成的(图 9),目前发现的加里东中期岩溶多分布于早期断裂带附近。塔河油田主体区放空漏失并段在地震上主要表现为串珠状反射特征,目前从地震剖面看串珠状反射特征总体上为北北西向和北北东向,与断裂走向一致。

(2) 钻遇断层或附近位置存在断裂的钻井多数出现放空漏失现象

S101井在奥陶系良里塔格组和一间房组中钻遇

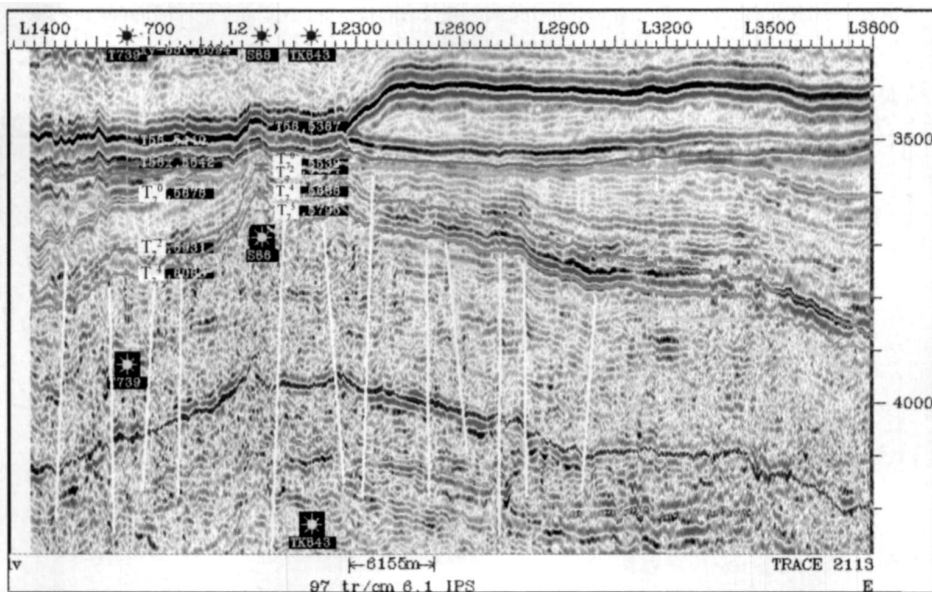


图 9 过 T739井东西向地震时间偏移剖面

Fig 9 EW time offset seismic profile across Well T739

了孔缝发育带, 取芯中见到裂缝和溶孔发育现象, 在 5694 48~ 5694 87 m 见到有具断层泥和滑动擦痕的大裂缝存在, 缝宽大于 6 m, 缝内充填物为方解石、碳质和泥质, 裂缝充填物疏松。在良里塔格组 5699 02~ 5769 28 m 和一间房组 5769 28~ 5820 00 m 严重漏失, 总共漏失泥浆 2136 m<sup>3</sup>, 5766 40~ 5766 50 m、5767. 30~ 5767. 40 m、5769 15~ 5769. 25 m 钻时约 1 分钟 /m, 近似放空。

## 5.2 奥陶系岩性控制了岩溶发育层位

塔河油田中下奥陶统为一套厚层质纯的碳酸盐岩, 其中中奥陶统一间房组发育了滩相的颗粒灰岩, 因而是塔河油田岩溶储层发育最有利的层位。上奥陶统恰尔巴克组、良里塔格组主要岩性为瘤状灰岩, 泥质含量高, 不利于岩溶作用的发生, 但是良里塔格组质纯的碳酸盐岩与泥岩直接接触, 也可以发育沿岩性突变面发生顺层岩溶作用。上奥陶统桑塔木组为砂泥质(灰)岩, 不易发生岩溶作用。

勘探表明, 在上奥陶统覆盖区, 放空、漏失的井段主要发生在中奥陶统一间房组, 其次是良里塔格组, 这充分说明了岩性对岩溶发育层位起着重要的控制作用。

## 6 加里东期岩溶储层分布预测

根据加里东期岩溶作用的控制因素分析, 加里东期岩溶储层最发育的地区是加里东期断裂与滩相储层发育的叠合区。因此, 加里东岩溶储层有利发育区为阿克库勒凸起的轴部倾没端和塔河西部、塔河南部的 S112 井近南北断裂发育带等。

阿克库勒凸起轴部倾没端: 在 NW - SE 向加里东中期构造主应力作用下, 形成向西南倾没的阿克库勒凸起。凸起轴部裂缝发育, 因而加里东中期岩溶也发育。该轴部西南倾没端的 T708、T705、T802k、T739、T812kx 等井均有大型溶洞发育(钻具放空或泥浆漏失)(图 1)。

塔河西部钻探程度极低, 受 NW 向断裂控制, 该区岩溶缝洞应呈北西向发育。

塔河南部 S112 井、S113 井近 SN 向加里东期断裂带, 是加里东中期岩溶发育的有利区, 该带的 S115、S115-2、S112 等井钻井见放空与泥浆漏失。该带岩溶缝洞可能呈近南北向发育。

S106-1、S106-4、S117、S114 井一带, 钻井也见到了放空、漏失, 说明岩溶缝洞发育, 受断裂走向控制, 岩溶缝洞可能呈近东西向带状分布。

## 7 结论

(1) 塔河油田除了发育海西期岩溶储层外, 还发育有加里东中期岩溶储层。加里东中期岩溶储层主要发育于阿克库勒凸起轴部的倾没端、塔河南部 S112 井、S113 井近 SN 向加里东断裂带。

(2) 加里东中期岩溶发育的主控因素为断裂与奥陶系地层的岩性, 因此岩溶发育的主要层位为中奥陶统一间房组。

## 参考文献 (References)

- 李定龙, 贾疏源. 威远构造新灰岩岩溶隙洞系统发育演化特征. 石油与天然气地质, 1994, 15(2): 151-157 [Li Dinglong, Jia Shuyuan. Development and evolution of Karst fissure-cave in Yangxin Series Weiyuan Structure. Oil & Gas Geology, 1994, 15(2), 151-157]
- Arthur N Palmer. Geochemical Models for Origin of Macroscopic Solution Porosity in Carbonate Rocks. AAPG Memoir 63, 1995, 77-101
- Monahan G A, Zeng X, Loucks R G, Mescher P. Ground penetrating radar imaging of a collapsed palaeocave system in the Ellenburger dome, central Texas. Journal of Applied Geophysics, 1998, 39(1): 1-10
- Loucks R G. Paleocave carbonate reservoirs: origins, burial+depth modification, spatial complexity, and reservoir implications. AAPG Bulletin, 1999, 83(11): 1795-1834
- Handford C R. Prediction of paleocave of reservoirs through seismic modeling of analogs. AAPG Int Conf (NICE, FRANCE, 9/10-13/95) PAP, AAPG Bulletin, 1995, 79(8): 1220
- Handford C R. Stratigraphic geometry of cavern collapse and seismic modeling: a predictive tool for exploration. Annual AAPG-SEPM-EMD-DPA-DEG CONV (HOUSTON, 3/5-8/95) PAP Abstract, 1995, 38
- Hammes U, Lucia F J, Kerans C. Reservoir heterogeneity in karst-related reservoirs: Lower Ordovician Ellenburger Group, Precambrian-Devonian geology of the Franklin Mountains, West Texas - Analogs for exploration and production in Ordovician and Silurian karsted reservoirs in the Permian Basin. Annual West Texas Geology Society Field Trip (MIDLAND, TX, 1996)
- Hammes U, Charles K, Lucia F J. Development of a multiphase cave system: Ellenburger Formation, Lower Ordovician, West Texas. Annual AAPG-SEPM-EMD-DPA-DEG CONV (DALLAS, 4/6-9/97) PAP Abstract, 1997, 47
- 金振奎, 邹元荣, 蒋春雷, 由伟丰. 大港探区奥陶系岩溶储层发育分布控制因素. 沉积学报, 2001, 19(4): 530-535 [Jin Zhenkui, Zou Yuanrong, Jiang Chunlei, You Weifeng. Distribution and controlling factors of Ordovician karst reservoirs in Dagang Region. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(4): 530-535]
- 戴弹申, 王兰生. 四川盆地碳酸盐岩缝洞系统形成条件. 海相油气地质, 2000, 2(1-2): 89-97 [Dai Danshen, Wang Lansheng. Forming conditions of the fracture-cavity system in carbonate rocks in Sichuan



- Basin, Marine Origin Petroleum Geology, 2000, 2(1-2): 89-97]
- 11 裴宗平, 韩宝平, 韩彦丽, 李淑民, 孟宪军. 北奥陶系岩溶发育规律及对油田开发的影响. 中国矿业大学学报, 2000, 29(4): 368-372 [Pei Zongping, Han Baoping, Han Yanli, Li Shumin, Meng Xianjun. Journal of China University of Mining & Technology, 2000, 29(4): 368-372]
  - 12 郑聪斌, 冀小林, 贾疏源. 陕甘宁盆地中部奥陶系风化壳古岩溶发育特征. 中国岩溶, 1995, 14(3): 280-288 [Zheng Congbin, Ji Xiaolin, Jia Shuyuan. Palaeokarst features of Ordovician Weathering crust in the centre of Shangannin Basin. Carsologica Sinica, 1995, 14(3): 280-288]
  - 13 贾振远, 蔡忠贤, 肖玉茹. 古风化壳是碳酸盐岩一个重要的储集层(体)类型. 地球科学——中国地质大学学报, 1995, 20(3): 283-289 [Jia Zhenyuan, Cai Zhongxian, Xiao Yuru. Paleoweathering crust an important reservoir(body) type of carbonate rocks. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1995, 20(3): 283-289]
  - 14 林忠民. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征及成藏条件. 石油学报, 2002, 23(3): 23-26 [Lin Zhongmin. Carbonate rock reservoir features and oil-gas accumulating conditions in the Ordovician of Tahe oilfield in northern Tarim Basin. Acta Petrolei Sinica, 2002, 23(3): 23-26]
  - 15 张抗. 塔河油田性质和塔里木碳酸盐岩油气勘探方向. 石油学报, 2001, 22(4): 1-6 [Zhang Kang. The characteristics of Tahe oilfield and the oil-gas exploration direction in the carbonates of Tarim basin. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(4): 1-6]
  - 16 林忠民. 塔里木盆地塔河油田奥陶系大型油气藏形成条件. 地质论评, 2002, 48(4): 372-376 [Lin Zhongmin. Formation condition of large-scale oil-gas pool in Ordovician carbonate rock in the Tahe oilfield. Tarim Basin. Geological Review, 2002, 48(4): 372-376]
  - 17 王运生. 四川盆地地下二叠统白云岩及古岩溶的形成与峨眉地裂运动的关系. 成都理工大学学报, 1997, 24(1): 8-16 [Wang Yunsheng. The formation of dolomite and paleokarst of lower Permian series in Sichuan basin and the relation to the Emei taphrogenesis. Journal of Chengdu University of Technology, 1997, 24(1): 8-16]
  - 18 王兴志, 黄继祥, 侯方浩, 等. 四川资阳及邻区灯影组古岩溶特征与储集空间. 矿物岩石, 1996, 26(2): 47-56 [Wang Xingzhi, Huang Jixiang, Hou Fanghao, et al. The relations between paleokarst and reservoir procity in Denying formation, Sinian of Ziyang and ne boring area Sichuan. Journal of Mineral Petrology, 1996, 26(2): 47-56]
  - 19 郑聪斌, 王飞雁, 贾疏源. 陕甘宁盆地中部奥陶系风化壳岩溶及岩溶相模式. 中国岩溶, 1997, 16(4): 351-361 [Zheng Congbin, Wang Feiyuan, Jia Shuyuan. Karst rock of weathered crust of Ordovician and its karstification mode in central Shaangannin basin. Carsologica Sinica, 1997, 16(4): 351-361]
  - 20 钱一雄, 蔡立国, 李国蓉, 等. 碳酸盐岩岩溶作用的元素地球化学表征: 以塔河 1 号的 S60 井为例. 沉积学报, 2002, 20(1): 70-74 [Qian Yixiong, Cai Liguo, Li Guorong, et al. Element Geochemical Implications for carbonate karstification interpretation: Taking well S60 in Tahe as an example. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(1): 70-74]
  - 21 陈洪德, 张锦泉, 叶德胜, 等. 新疆塔里木盆地北部古岩溶储集体特征及控油作用. 成都: 成都科技大学出版社, 1994, 27-77 [Chen Hongde, Zhang Jinquan, Ye Desheng, et al. Paleokarst Reservoir Characteristics and its Controls to Oil Accumulation in the North Tarim Basin, Xinjiang Province. Chengdu: Chengdu University of Technology Press, 1994, 27-77]
  - 22 陈强路, 王恕一, 钱一雄, 马红强. 塔里木盆地阿克库勒地区下奥陶统古岩溶及油气分布. 沉积学报, 2002, 20(4): 633-638 [Chen Qianglu, Wang Shuyi, Qian Yixiong, Ma Hongqiang. Paleokarst and distribution of oil and gas of Lower Ordovician in Akekule area Tarim Basin. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(4): 633-638]
  - 23 阎相宾. 塔河油田下奥陶统古岩溶作用及储层特征. 江汉石油学院学报, 2002, 24(4): 23-25 [Yan Xiangbin. Paleokarst and reservoir characteristics of Lower Ordovician in Tahe Oilfield. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2002, 24(4): 23-25]
  - 24 张抗. 塔河油田似层状储集体的发现及勘探方向. 石油学报, 2003, 24(5): 4-9 [Zhang Kang. Discovery and exploration of like-layered reservoir in Tahe Oilfield of Tarim Basin. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(5): 4-9]
  - 25 肖玉茹, 何峰煜, 孙义梅. 古洞穴型碳酸盐岩储层特征研究——以塔河油田奥陶系古洞穴为例. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 75-80, 86 [Xiao Yuru, He Fengyu, Sun Yimei. Reservoir characteristics of paleocave carbonates—a case study of Ordovician Paleocave in Tahe Oilfield, Tarim Basin. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 75-80, 86]
  - 26 张涛, 云露, 邬兴威, 叶德胜. 锶同位素在塔河古岩溶期次划分中的应用. 石油实验地质, 2005, 27(3): 299-303 [Zhang Tao, Yun Lu, Wu Xingwei, Ye Desheng. The application of strontium isotopes in division of paleokarst stages in Tahe Oilfield. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(3): 299-303]
  - 27 夏日元, 唐健生, 罗伟权, 邓自强, 关碧珠. 油气田古岩溶与深岩溶研究新进展. 中国岩溶, 2001, 20(1): 76 [Xia Riyuan, Tang Jiansheng, Luo Weiquan, Deng Ziqiang, Guan Bizhu. Advances in the study on paleo-karst and deep-karst in oil & gas field. Carsologica Sinica, 2001, 20(1): 7]
  - 28 陈清华, 刘池阳, 王书香, 等. 碳酸盐岩缝洞系统研究现状与展望. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 196-202 [Chen Qinghua, Liu Chiyang, Wang Shuxiang, et al. Study on carbonate fracture-cavity system—status and prospects. Oil & Gas Geology, 2002, 23(2): 196-202]
  - 29 李彬, Stein-Erik Lauritzen. 挪威极地岩溶及其形成机制. 中国岩溶, 1997, 16(2): 177-185 [Li Bin, Stein-Erik Lauritzen. Karst and its development mechanism in the pole region of Norway. Carsologica Sinica, 1997, 16(2): 177-185]
  - 30 吕金波, 李铁英, 孙永华, 车用太. 北京石花洞的岩溶地质特征. 中国区域地质, 1999, 18(4): 373-378 [Lu Jinbo, Li Tieying, Sun Yonghua, Che Yongtai. Karst geology of the Shihua Cave, Beijing. Regional Geology of China, 1999, 18(4): 373-378]
  - 31 区永和. 碳酸盐岩的裂隙网络连通度及其对岩溶的控制. 地球科学——中国地质大学学报, 1991, 16(1): 71-77 [Ou Yonghe. Fracture network, interconnectivity of the carbonate rock and its control over

- Karst Earth Science—Journal of China University of Geosciences 1991, 16(1): 71-77]
- 32 何发岐. 碳酸盐岩地层中不整合—岩溶风化壳油气田——以塔里木盆地塔河油田为例. 地质论评, 2002, 48(4): 391-397[He Faqi Karst weathering crust oil-gas field on carbonate unconformity: an example from the Tahe Oilfield in the Ordovician reservoir in the Tarim Basin. Geological Review, 2002, 48(4): 391-397]
- 33 韩宝平, 刘仁达, 罗承建, 等. 岩溶作用对任丘古潜山碳酸盐岩油藏赋存的控制作用. 中国岩溶, 1998, 17(1): 75-80[Han Baoping Liu Rendai Luo Chengjian *et al.* Study on control of karstification to buried carbonate hill reservoir in Renqiu Oilfield. Carso logica Sinica 1998, 17(1): 75-80]
- 34 郑聪斌, 章贵松, 王飞雁. 鄂尔多斯盆地奥陶系热水岩溶特征. 沉积学报, 2001, 19(4): 524-529, 535 [Zheng Congbin Zhang Gu Song Wang Feiyan Hot water karst characteristics of Ordovician Period in Ordos Basin. Acta Sedimentologica Sinica 2001, 19(4): 524-529, 535]
- 35 杨俊杰, 黄思静, 张文正, 等. 表生和埋藏成岩作用的温压条件下不同组成碳酸盐岩溶蚀成岩过程的实验模拟. 沉积学报, 1995, 13(4): 49-54 [Yang Junjie Huang Sijing Zhang Wenzheng *et al.* Experimental simulation of dissolution for carbonate with different composition under the conditions from epigenesis to burial diagenesis environment. Acta Sedimentologica Sinica 1995, 13(4): 49-54]
- 36 祝凤君. 碳酸盐岩断层岩的溶蚀作用及其在岩溶水研究中的应用. 中国岩溶, 1989, 8(2): 163-176 [Zhu Fengjun Study on corrosion of carbonate fault rock and its application to karst water research. Carso logica Sinica 1989, 8(2): 163-176]
- 37 沈继方, 史毅虹, 于青春, 万军伟. 碳酸盐岩中岩溶洞穴的形成条件及预测方法初探. 地球科学——中国地质大学学报, 1991, 16(1): 61-70 [Shen Jifang Shi Yihong Yu Qingchun Wan Junwei On the formation condition and prediction method of karst caves in carbonate rocks. Earth Science—Journal of China University of Geosciences 1991, 16(1): 61-70]
- 38 陈学时, 易万霞, 卢文忠. 中国油气田古岩溶与油气储层. 沉积学报, 2004, 22(2): 244-253 [Chen Xueshi Yi Wanxia Lu Wenzhong The paleokarst reservoirs of oil/gas fields in China. Acta Sedimentologica Sinica 2004, 22(2): 244-253]

## Characteristics of Caledonian Karstification Reservoir in Tahe Oilfield and Its Distribution

ZHANG Da-jing<sup>1,2</sup> LU Hai-tao<sup>3</sup> ZHANG Tao<sup>2</sup> WU Xing-wei<sup>2</sup>

(1 Research Center of Basin and Oil Reservoir, University of Petroleum, Beijing 102249

2 Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083

3 Design and Planning Institute of Northwest Petroleum Bureau, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011)

**Abstract** As a result of karstification in early Hercynian and Caledonian, karst reservoirs are the main kind of Ordovician carbonate reservoirs in Tahe oilfield. Karst reservoirs in Hercynian develop mostly in the area where Carboniferous strata directly overlay the mid-lower Ordovician, and the karst reservoirs in the area covered by upper Ordovician were formed in Caledonian. The Ordovician strata had experienced uplift and erosion, which is proven by bottom overlap and top erosion truncation of the Ordovician reflected wave group in seismic section, lack of conodont fossil belt and sequence stratigraphic correlation in Silurian. So, there were geologic conditions for Caledonian karst formation in Tahe oilfield. In addition, the existence of karst cave has been proven by Sr isotope characteristics. In area covered by upper Ordovician, karst reservoirs mainly develop in the depth less than 300 m under Caledonian unconformity surface. In these karst reservoirs, the height of karst caves is between 0 and 30 m, maximum of 75 m, which shows that the karst caves were distinctly formed by mid-Caledonian karstification. Based on the domination of Caledonian faults on the development of Caledonian karst reservoirs, this paper predicts the development area of Caledonian karst reservoirs.

**Key words** Tahe oilfield; karst reservoir; unconformity surface; Caledonian karst; controlling factor