

# 塔河油田奥陶系 古溶洞充填砂岩发育特征及成因

## ——以塔河七区 T615 井为例

张文博<sup>1</sup>, 邵殊福<sup>2</sup>, 张英敏<sup>3</sup>, 田飞<sup>2</sup>, 康逊<sup>2</sup>, 李志诚<sup>1</sup>

(1 中国石化胜利油田分公司东辛采油厂; 2 中国石油大学(华东); 3 胜利石油管理局高级人才培训中心)

**摘要** 塔河油田奥陶系古岩溶洞穴中分布有大量的充填砂岩,它们是极好的油气储集体。通过对塔河油田七区奥陶系古溶洞充填砂岩(以 T615 井岩心为主要剖析对象)的岩矿分析与对比、铸体薄片观察和测井资料分析,结合对盆地西北野外相似的奥陶系露头区的对比考察,查明了塔河油田奥陶系充填砂岩的成因与发育特征。认为该充填砂岩属于晚泥盆世东河塘期无障壁海岸砂充填奥陶系地下暗河溶洞所形成。充填砂岩的成分主要是亚岩屑砂岩和石英砂岩,砂岩物性好,原生粒间孔隙和溶蚀孔隙发育,表现出极佳的油气储集特性。在未来勘探开发中,应注重充填砂岩的沉积分布、溶洞的空间展布和前石炭纪古微地貌等方面的研究,为油田高效开发提供依据。

**关键词** 奥陶系; 古溶洞; 砂岩; 储层特征; 岩石成因; 塔河油田

**中图分类号**: TE122.2\*3

**文献标识码**: A

塔河油田具有我国储量规模最大的碳酸盐岩岩溶缝洞型油藏。目前,塔河油田的原油年产量已达700余万吨,其中奥陶系产油量约占总产量的75%,但奥陶系岩溶缝洞型储层的复杂性造成了原油采收率较低。为提高原油产量,迫切要求对储层作精细的研究,使对储层的研究由描述储层分布转向研究储层内部结构。近年来,随着钻井和取心数量的增加,进一步认识到溶洞内部充填物的特征对油藏的开发具有直接的影响。

塔里木盆地塔河油田奥陶系碳酸盐岩缝洞型储层的形成演化,因受构造条件、成岩环境、岩溶作用等的控制,表现出强烈的空间非均质性<sup>[1]</sup>,它是一种极为复杂的储层类型。岩溶缝洞的充填物,包括地表—近地表的沉积和垮塌充填物,以及埋藏过程中的垮塌和化学充填物<sup>[2-4]</sup>。很多学者对塔河油田碳酸盐岩缝洞的充填物进行了类型划分:肖玉茹等<sup>[5]</sup>划分为化学淀积物、流水机械沉积物和重力崩

塌堆积物三种;徐微等<sup>[6-7]</sup>则划分出化学淀积岩相、搬运型岩相、垮塌型岩相和渗流充填相,共4大类9小类;张文博等<sup>[8]</sup>划分出洞穴沉积物、垮塌角砾岩和化学充填物三类,其中洞穴沉积物主要是砂、砾石和黏土等。任美镠等<sup>[9]</sup>指出,形成于岩溶期地下暗河中的沉积物,可以是地表水向地下流动所携带的砂泥,也可以是溶洞垮塌的灰岩块,暗河水将各类碎屑物质搬运并在某些区域沉积,沉积物经过一定距离搬运,存在不同程度的分选和磨圆,有些还发育层理等沉积构造。溶洞充填砂岩属于洞穴沉积物的一种,这类沉积物在中国南方的现代溶洞中也见有广泛发育<sup>[10-11]</sup>。但目前针对古溶洞充填砂岩的研究多处在简单描述阶段,而对其储层发育特征和形成机制的研究还较少。

不同充填程度的溶洞具有不同的油气产能,未充填或半充填溶洞产能最好。如塔河四区S48井的产层为中—下奥陶统鹰山组上部的未充填型溶洞(洞

收稿日期: 2013-02-28; 改回日期: 2013-04-16

基金项目: 本文受国家重大科技专项《溶洞型储集体内部结构模式及分布规律研究》(编号: 2011ZX05014-002-002)资助

张文博: 1987年生,硕士,助理工程师。2012年中国石油大学(华东)矿产普查与勘探专业毕业,获硕士学位。主要从事油气地质与勘探方面的研究。通讯地址: 257000 山东省东营市

顶距不整合面仅0.76 m,在钻井过程中发生了强烈放空和钻井液漏失),自1997年投产以来,头三年累计产原油 $50 \times 10^4$  t以上<sup>[12]</sup>,此后连续自喷生产七年零九个月。S48井单井产量如此之高且稳定生产,在国内绝无仅有,是塔河油田的“王牌井”。充填型溶洞的储集特征取决于充填物的类型,而各类充填物中,以砂岩的储集条件为最佳<sup>[5]</sup>,因此查明古溶洞充填砂岩的发育特征、储集特性和形成机制,对研究塔河油田奥陶系剩余油分布和制定开发措施,以提高原油采收率,具有重要的意义。

本文在塔西北野外5处相似露头区考察的基础上,对塔北塔河油田12口井的中下奥陶统鹰山组的岩心进行了观察,并开展20余口井的测井解释分析,在综合各种条件的基础上,选取资料最丰富的塔河油田七区T615井古溶洞充填砂岩为重点对象来系统分析该类砂岩的发育特征并探讨其形成机制。T615井钻遇的溶洞高度达25 m(5 533.45~5 558.45 m井段,属鹰山组),溶洞中大部分被砂岩充填,且该井段全部取心,易于观察,测井、薄片和孔渗分析等资料也比较充足。

## 1 塔河油田区奥陶系地质特征

塔河油田位于塔里木盆地北部沙雅隆起阿克库勒凸起西南斜坡上,奥陶系由下而上分为下奥陶统蓬莱坝组( $O_1p$ )、中下奥陶统鹰山组( $O_{1-2}y$ )、中奥陶统一间房组( $O_2yj$ )、上奥陶统恰尔巴克组( $O_3q$ )、良里塔格组( $O_3l$ )和桑塔木组( $O_3s$ )。中一下奥陶统是一套质纯层厚的碳酸盐岩台地沉积,上奥陶统泥灰岩和泥岩数量增加,变为碎屑沉积与碳酸盐岩沉积共存<sup>[12-13]</sup>。

受加里东中期和海西早期(晚泥盆世)构造运动的影响,塔河油田区的奥陶系出露地表,发生强烈的大气水岩溶作用(主要发生在海西早期),形成了规模巨大、结构复杂和充填特征多样的岩溶缝洞系统,主要发育在鹰山组和一间房组。主体区(四区、六区和七区)上奥陶统和志留系—泥盆系被完全剥蚀,中、下奥陶统也不同程度的缺失,鹰山组或一间房组直接与上覆石炭系巴楚组不整合接触,志留系(柯坪塔格组)—泥盆系(东河塘组)及上奥陶统呈裙边状分布在西部和南部等围斜地区<sup>[14]</sup>(图1)。

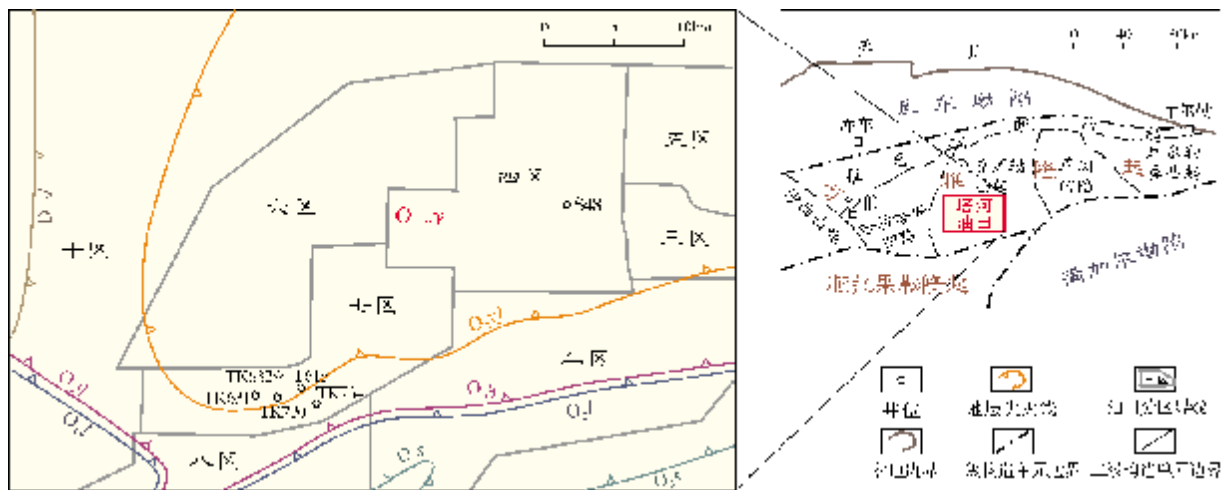


图1 塔河油田分区和奥陶系发育特征

地层分布与尖灭线:  $O_{1-2}y$  鹰山组;  $O_2yj$  一间房组;  $O_3q$  恰尔巴克组;  $O_3l$  良里塔格组;  $O_3s$  桑塔木组;  $D_3d$  东河塘组

## 2 充填砂岩的发育特征

### 2.1 塔西北野外露头特征

相似地区的地质特征类比是开展地质研究的常用方法,野外露头的考察结果和认识可有效指导下

地质问题的解决。我们在研究塔河油田深层奥陶系储层时也采用了这一方法——选择具有相似地质特征的塔里木盆地西北部柯坪—巴楚地区的奥陶系露头为研究对象。该地区奥陶系露头广泛发育古岩溶,其发育特征与塔河油田奥陶系的特征基本相似,在加里东运动中期发生强烈的大气水岩溶作用,鹰山组和一间房

组为岩溶主要发育层位。到燕山晚期前,该地区与塔河地区地质演化基本一致,不同的是,在喜马拉雅期,柯坪—巴楚地区奥陶系急剧抬升,形成良好露头,而塔河地区奥陶系则深埋地下成为优质油气储层<sup>[15-16]</sup>。

对塔西北5个奥陶系(鹰山组或一间房组)露头溶洞充填的考察点,包括硫磺矿、硫磺3号沟、一间房南7km沟、五道班、西克尔(314国道1310.4km沟)等地(图2)。其中在硫磺沟、一间房南7km沟和西克尔三地露头发现6个砂泥岩充填溶洞,溶洞的规模大小不

一,以硫磺3号沟大型砂泥岩充填溶洞为最大,也最为典型。硫磺3号沟溶洞高约5m,宽约4.2m,洞内被灰绿色泥质粉砂岩与棕黄色砂质泥岩互层充填(图3)。溶洞中的沉积物颗粒细且呈水平状,说明沉积时暗河水流强度不大,而今溶洞中的砂泥岩层弯曲变形,推测是区域构造运动导致岩层产状发生变化。此外,砂泥岩层上部和下部还存在垮塌角砾岩,角砾岩间隙充填了砂泥,因而认为岩溶期溶洞垮塌也是导致砂泥岩层变形的原因之一。

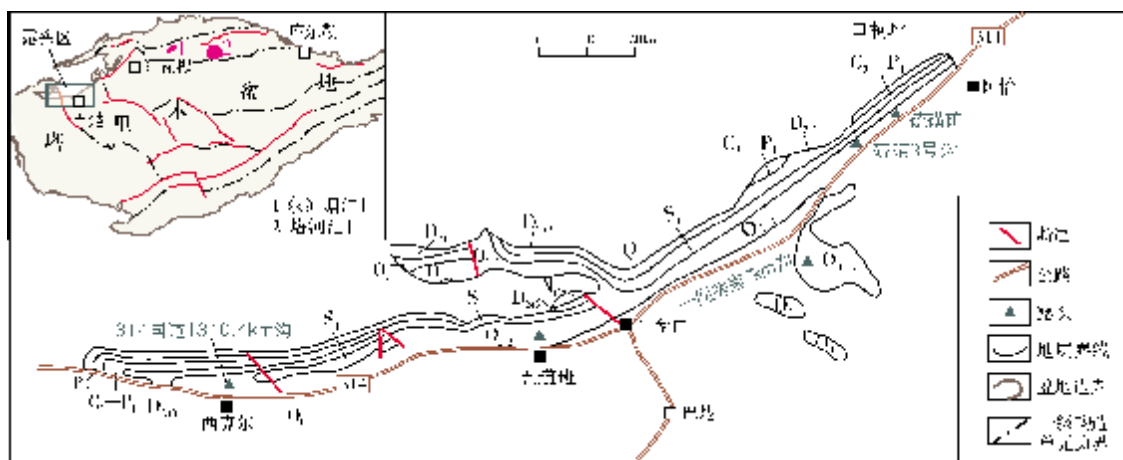


图2 塔西北露头区地层发育特征及考察点位置

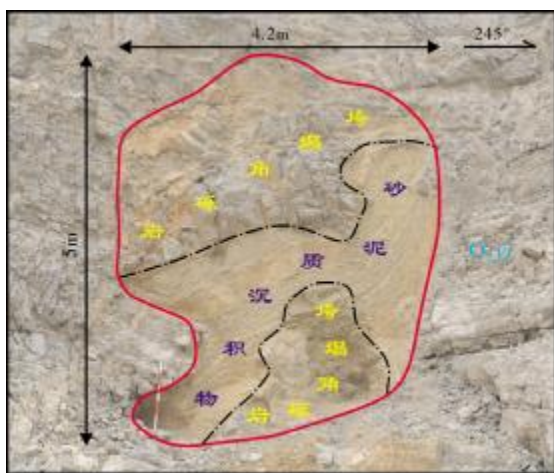


图3 塔西北露头区硫磺3号沟被砂泥岩充填的溶洞特征  
O<sub>2</sub> yj 一间房组

考察区其它露头的充填砂岩主要出现在溶洞底部,是溶洞演化初期的产物,溶洞中的其它部分多为垮塌角砾岩或多类型的化学充填物充填<sup>[7]</sup>。

## 2.2 塔河油田岩心和测井特征

塔河七区T615井5 533.45~5 558.45 m段的鹰山组古溶洞主要被砂岩和垮塌角砾岩所充填(图4),据分析,溶洞中的充填物为海西早期(D<sub>3</sub>)产物。该段全部取心,所以能够观察到全段的充填砂岩和垮塌角砾岩的发育特征以及二者的组合关系。

据岩心观察,该层顶部为揉皱状灰绿色与褐色细砂岩互层,含垮塌的灰岩角砾,砂泥质充填于破碎的角砾之间(图4a)。上部为灰绿色细砂岩与褐色细砂岩,呈细层状,细层厚约5 mm,少量斑块状、脉状,局部见揉皱构造,形成简单小褶曲或复杂的揉皱(图4b)。中下部为绿灰色细砂岩和角砾岩的交替出现,砂岩分选好,但磨圆较差,棱角状—次棱角状,较疏松,具平行层理,局部见槽状交错层理和不明斜层理,角砾岩规模大小不一(图4c)。这些特征与硫磺3号沟砂岩充填溶洞具有很大的相似性。岩心上很多地方都达到油斑—油浸级别,表现出良好



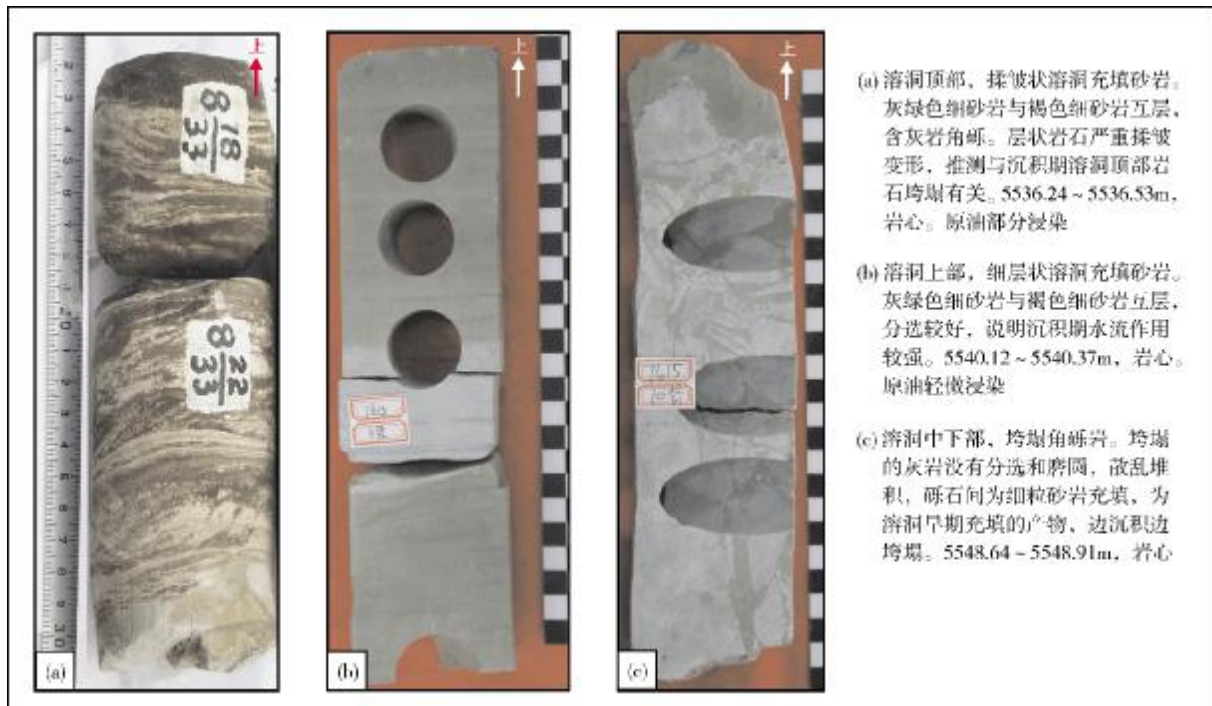


图4 塔河油田T615井奥陶系鹰山组溶洞充填特征

的含油气特征。另外,砂岩属于方解石胶结(滴盐酸放泡剧烈),认为这种现象与砂岩形成于碳酸盐岩溶洞中有关。

塔河油田奥陶系鹰山组和一间房组是质纯层厚的碳酸盐岩,因此在发育的溶洞中一旦充填大规模的砂岩,在测井资料上则会有明显的异常响应,即砂岩充填段与未发生岩溶作用的碳酸盐岩段在测井响应上截然不同。在成像测井上,砂岩因电阻率较低而呈现深黑色特征,有的可看到明显层理现象,在与角砾岩混杂区,则灰岩呈现出亮色的块状,间隙则是深色<sup>[17]</sup>。砂泥充填物形成于地下河中,泥质含量相对高,所以自然伽马(GR)值特别高,放射性测井铀(U)、钍(Th)、钾(K)值同样很高;深浅双侧向电阻率(RD和RS)值明显降低且幅度差明显(一般小于 $50\Omega\cdot\text{m}$ ),反映孔隙度的声波时差(AC)和中子(CN)测井值明显增大<sup>[18]</sup>(图5)。此外,由于砂泥岩较碳酸盐岩密度小,所以密度测井(DEN)值明显降低(较纯的砂泥岩密度约为 $2.65\text{g}/\text{cm}^3$ )。以上充填砂岩测井响应都明显区别于溶洞外比较纯的灰岩(较纯灰岩的测井曲线通常比较平直),所以利用测井资料比较容易识别出充填砂岩。

### 3 充填砂岩的储集性

#### 3.1 岩石学特征

T615井溶洞的充填砂岩中,矿物分选很好,但磨圆相对较差,为棱角状—次棱角状,颗粒间呈点或线接触关系,在镜下十分明显。通过该井12块岩心的岩矿分析数据(表1)可以看出,杂基含量普遍小于10%。

表1 塔河油田T615井古溶洞充填砂岩的岩矿分析

序号	深度(m)	成分含量(%)			杂基(%)	岩石定名
		石英	长石	岩屑		
1	5533.5	96	1	3	10	浅灰绿色细粒石英砂岩
2	5535.0	78	2	20	2	浅灰绿色细粒亚岩屑砂岩
3	5536.5	77	2	21	2	褐色细粒亚岩屑砂岩
4	5539.5	75	5	20	3	灰绿色细粒亚岩屑砂岩
5	5540.0	75	2	23	1	灰褐色细粒亚岩屑砂岩
6	5542.0	78	2	20	2	
7	5544.0	80	3	17	2	
8	5546.0	88	2	10	7	
9	5547.5	75	5	20	2	
10	5548.0	77	3	20	1	
11	5551.5	78	2	20	2	
12	5553.5	75	5	20	2	黄灰色细粒亚岩屑砂岩

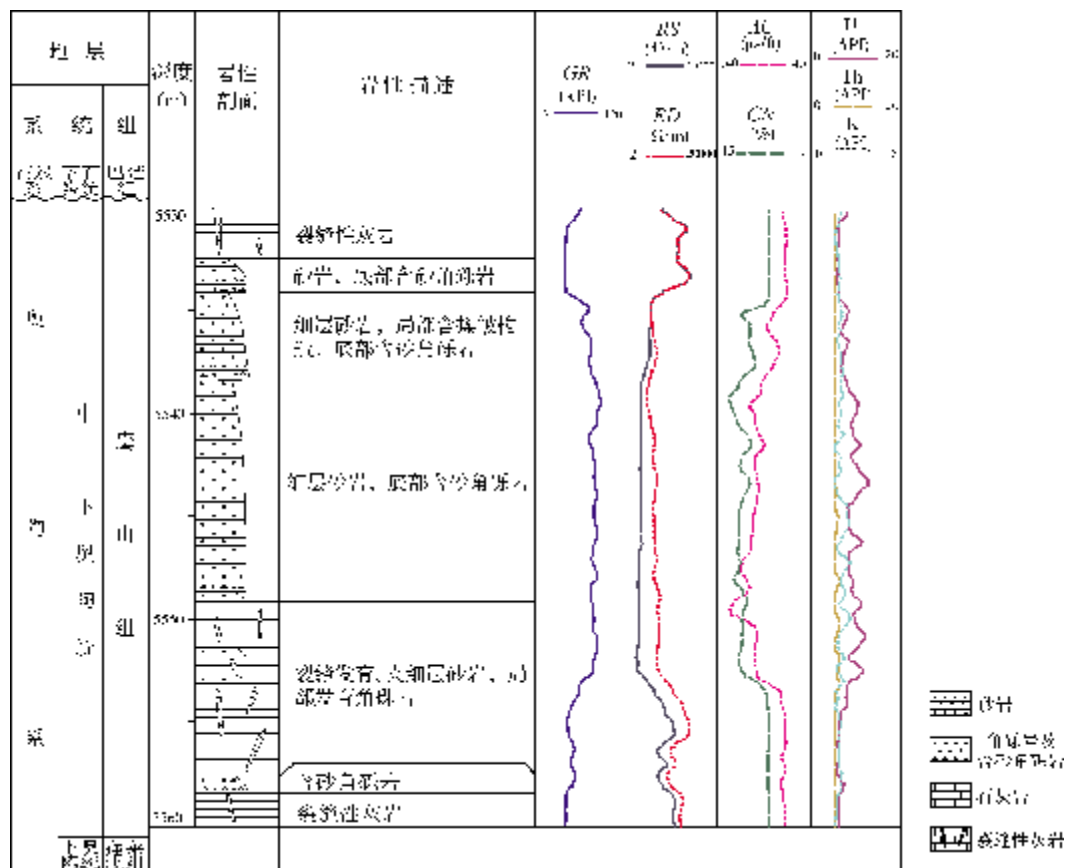


图5 塔河油田T615井鹰山组古溶洞充填砂岩剖面段岩性和常规测井响应特征

主要为2%~3%,属于净砂岩类。三端元图(图6)中,石英相对含量75%~96%,岩屑相对含量3%~23%,长石相对含量1%~5%(表1),参照碎屑岩命名准则<sup>[19]</sup>,将该井古溶洞充填砂岩命名为亚岩屑砂岩和石英砂岩。

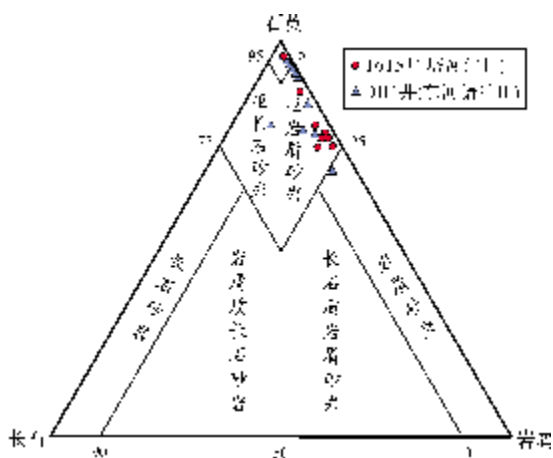


图6 塔河油田 T615 井鹰山组古溶洞充填砂岩岩石组分三角图

### 3.2 孔隙特征

T615 井古溶洞的充填砂岩以原生粒间孔隙为主,其次是次生溶蚀孔隙和裂缝(图 7)。由于分布在溶洞中,围岩相对致密坚硬,虽然埋深大于 5 500 m,但洞内砂岩压实作用仍然相对较弱,使得原生孔隙大量保留。由于溶洞是地下流体的最易流动的通道,且充填砂岩属于钙质胶结,因此在后期的油气充注过程中,酸性流体对砂岩也会造成一定的溶蚀,形成次生孔隙<sup>[20]</sup>。其中,碳酸盐胶结物溶蚀的孔隙是本区次生孔隙主要贡献者,其次是长石的溶蚀,石英和岩屑溶蚀较少。

### 3.3 孔-渗特征

古溶洞的充填砂岩具有极高的孔隙度和渗透率。从图 8 可以看出,绝大部分 T615 井溶洞充填砂岩样品的孔隙度大于 10%,最高达 20%,渗透率大于  $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,最高达  $60 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,具有很好的油气

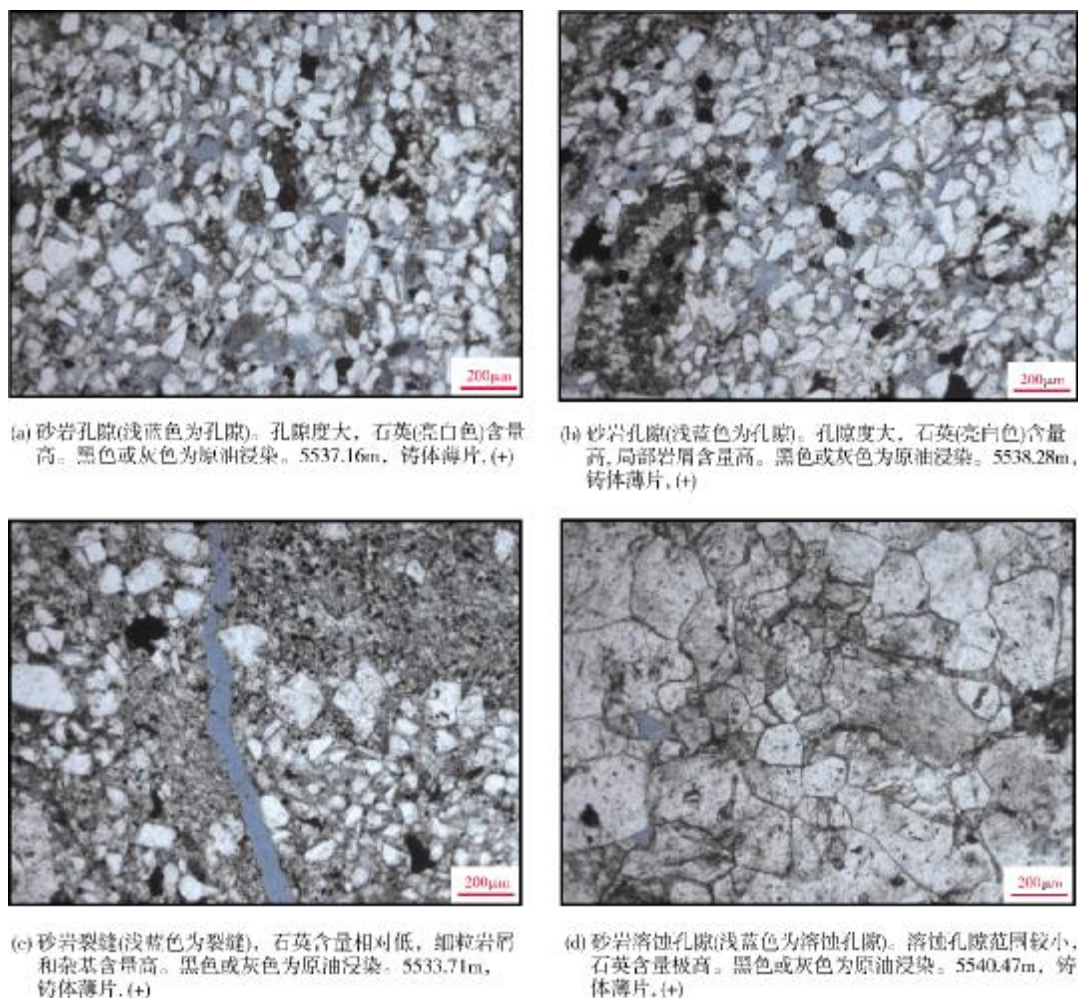


图7 塔河油田 T615 井鹰山组古溶洞充填砂岩镜下储集空间

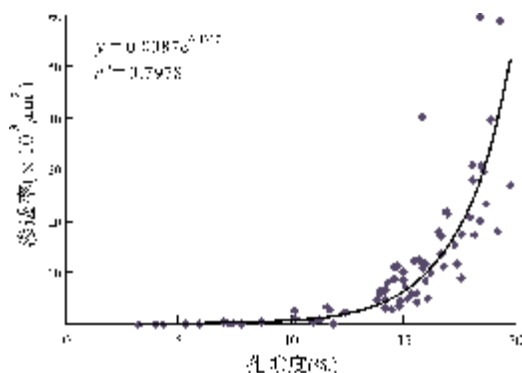


图8 塔河油田 T615 井鹰山组古溶洞充填砂岩孔隙度—渗透率关系曲线

储渗性能,且两者存在很好的指数关系。因此在致密的碳酸盐岩背景之下,古溶洞充填砂岩是一种极好

的油气储集体,它可成为研究剩余油分布和提高采收率技术的重点对象。

## 4 充填砂岩的形成机制

### 4.1 砂岩来源分析

在一般岩溶环境下,暗河搬运的物质大多是砂泥质和灰岩砾石,很难在 25 m 高溶洞内的大部分空间中充填如此纯净的砂岩,因而认为 T615 井的古溶洞充填砂岩可能与一般暗河沉积的砂泥岩有一定的差别。结合研究区岩溶背景和前人分析,认为塔河七区 T615 井大型古溶洞充填砂岩与塔里木盆地广泛分布的上泥盆统东河塘组“东河砂岩”属于同类。

“东河砂岩”是塔里木盆地晚泥盆世—早石炭世



一套穿时的岩石地层单元,它为一套结构和成分成熟度都很高的以海相岩屑石英细砂岩为主的滨岸沉积体,储集性能很好,分布较广,在塔北和塔中地区均有分布。1990年7月在塔北隆起东河塘断裂带的东河砂岩段获得高产油流,从而发现了我国第一个高产高丰度海相砂岩油田<sup>[21]</sup>。

结合顾家裕<sup>[22]</sup>提供的东河塘油田DH1井东河砂岩的矿物分析数据,与塔河油田T615井古溶洞充填砂岩进行岩矿对比,发现它们的特征十分相似,都属于亚岩屑砂岩和石英砂岩(表2,图6)。另外,由于东河砂岩属于海相沉积,所以推测T615井古溶洞充填砂岩也应呈现出一定的海相特征。刘显凤等<sup>[23]</sup>分析

了塔河油田溶洞内充填砂岩的微量元素和稀土元素,认为其沉积环境具有海水和淡水混合特征,它们与东河砂岩表现出一定程度的同源性。

另外,在晚泥盆世东河塘期,塔河油田主体区仍然出露地表,处于剥蚀阶段,但是东河塘组的沉积边界应该能够到达这一区域,因为前人的研究认为,现今的东河塘组的尖灭线属于剥蚀尖灭线<sup>[24]</sup>,位于塔河油田西部,与T615井相距并不远(见图1)。从这一点来看,虽然沉积边界仍然没有确定,但是结合上述岩矿和元素分析,认为T615井就位于东河塘组砂岩沉积区或边缘地带,而在溶洞内充填的砂岩就是东河塘组无障壁海岸砂。

表2 塔河油田 T615 井古溶洞充填砂岩与东河塘油田东河砂岩特征对比

砂岩特征	东河砂岩	古溶洞充填砂岩
来源	东河塘油田 DH1 井	塔河油田 T615 井
形成时代	晚泥盆世	晚泥盆世
岩类	石英砂岩和亚岩屑砂岩	亚岩屑砂岩和石英砂岩
矿物成分	石英含量高(一般大于 80%),杂基含量少,属于净砂岩类	石英含量高(普遍大于 75%),杂基含量少,属于净砂岩类
成熟度	磨圆较好,分选较好,成熟度高	磨圆度一般(棱角状—次棱角状),分选较好,成熟度高
沉积环境	海水特征	海水与淡水混合特征

## 4.2 充填过程

溶洞的沉积充填物主要包括两种:一是充填物来自地表,跟随地面河水通过深入地下的裂缝、小型漏斗或天坑等垂直通道进入地下,这属于外源物质;二是溶洞在不同程度垮塌后形成的大量灰岩块充填在溶洞内,这属于内源物质。无论外源物质还是内源物质,在溶洞内都可以随暗河水在经过一定距离的搬运后,在合适的地方堆积下来。前述的特征分析表明,T615井古溶洞充填砂岩属于外源物质,是由地表进入溶洞的。

T615井大型古溶洞形成于海西早期(晚泥盆世)大气水岩溶阶段,因上覆的中、上奥陶统已被全部剥蚀,古溶洞距顶部奥陶系/石炭系不整合面仅有12m。东河塘组沉积阶段,T615井区位于沉积范围内,海岸砂可以通过垂直的岩溶裂缝或漏斗直接灌入地下暗河溶洞中,也有可能是海岸砂在其它地区进入地下暗河,经过一段距离的搬运,然后在T615井溶洞中停止搬运而堆积下来。

## 4.3 分布预测

通过砂岩来源和充填过程分析,认为塔河七区T615井附近也应该存在相似的砂岩充填溶洞。通过钻井和测井曲线分析,发现TK631井、TK632井、TK730井和TK734井中都存在此类砂岩,砂岩规模大,厚度为16~24m,由此印证了上述推断的合理性。这些井之间相距不过几百米,通过振幅变化率(图9a)等地震属性的提取,发现这几口井都位于高振幅变化率区上,且井与井之间可以连接,由此推测这几口井的溶洞之间是互相连通的(图9b)。

由于塔河油田中下奥陶统鹰山组 and 一间房组是最主要的溶洞发育部位,溶洞数量多、规模大,因此推测塔河油田鹰山组—一间房组出露区与上泥盆统东河塘组东河砂岩沉积区交叉地带的浅层溶洞内都有可能充填了这类砂岩。

要分析充填有东河砂岩的溶洞分布,首先必须查明东河砂岩的沉积边界,其次是要分析奥陶系内部溶洞的展布范围。充填的砂泥物质进入溶洞之后,

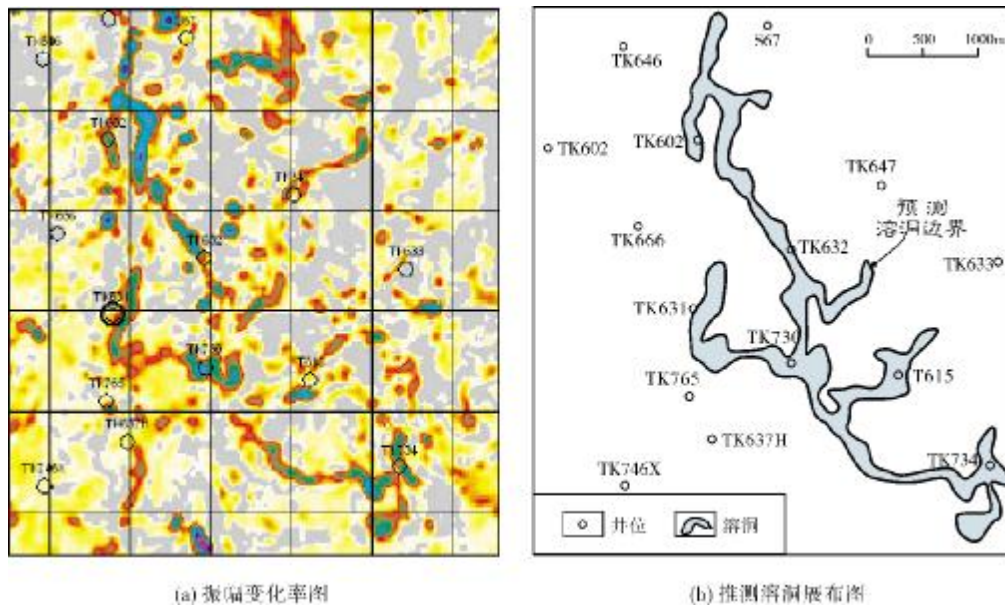


图9 塔河油田七区推测溶洞展布图

可能会经过一段距离的搬运,并在溶洞沿途很多地方沉积分布,因此查明溶洞展布也是分析砂岩分布的条件,尤其是那些距不整合面较近的表层溶洞,最易发生充填。

另外,砂岩堆积部位会受岩溶地貌的强烈控制,岩溶地貌的转换地带往往是沉积物容易堆积的部位。夏日元等<sup>[25]</sup>在塔河油田四区、六区和七区划分出岩溶高地、岩溶斜坡(上)、岩溶斜坡(下)和岩溶山间盆地四类二级前石炭纪古地貌,其中 T615 井就位于岩溶斜坡(上)和岩溶斜坡(下)的转换区,在该井及周围区域都发现了大规模充填砂岩。因此,在下一步的细致研究中,必须加强微地貌的研究,即三级古地貌的研究,以及微地貌与溶洞之间充填关系的研究,这也是研究充填砂岩分布的重要方面。

## 5 结论

(1)塔河油田广泛分布奥陶系岩溶缝洞。以T615井大型溶洞为典型代表的充填砂岩特征和成因分析表明,塔河油田奥陶系古溶洞中的充填砂岩为亚岩屑砂岩和石英砂岩,石英含量高,分选较好,结构成熟度高,孔隙以原生孔隙为主,溶蚀孔隙和裂缝次之,孔隙度和渗透率值都很高,是极好的油气储集体。

(2)塔河油田奥陶系古溶洞中的充填砂岩是晚

泥盆世东河塘期由无障碍海岸砂灌入地下暗河溶洞形成的。

(3)确定塔河地区上泥盆统东河塘组东河砂岩的沉积边界、奥陶系古溶洞的展布以及前石炭纪微古地貌特征,是查明古溶洞充填砂岩分布的重要途径。

### 参考文献

- [1] 何治亮,彭守涛,张涛. 塔里木盆地塔河地区奥陶系储层形成的控制因素与复合-联合成因机制[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(6): 743-752.
- [2] LOUCKS R G. Paleocave carbonate reservoirs: Origins, burial modifications, spatial complexity, and reservoir implication[J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(11): 1795-1834.
- [3] LOUCKS R G, MESCHER P K, McMECHAN G A. Three-dimensional architecture of a coalesced, collapsed-paleocave system in the Lower Ordovician Ellenburger Group, central Texas[J]. AAPG Bulletin, 2004, 88(5): 545-564.
- [4] LOUCKS R G. A review of coalesced, collapsed-paleocave systems and associated suprastratal deformation[J]. Acta Carsoologica, 2007, 36(1): 121-132.
- [5] 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.
- [6] 徐微,蔡忠贤,贾振远,等. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏溶洞充填物特征[J]. 现代地质, 2010, 24(2): 287-293.
- [7] 徐微,陈冬梅,赵文光,等. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏溶洞发育规律[J]. 海相油气地质, 2011, 16(2): 34-41.
- [8] 张文博,金强,徐守余,等. 塔北奥陶系露头古溶洞充填特征



- 及其油气储层意义[J]. 特种油气藏, 2012, 19(3): 50-54.
- [9] 任美镔, 刘振中. 岩溶学概论[M]. 北京: 商务印书馆, 1983: 170-173.
- [10] 张美良, 林玉石, 冉景丞, 等. 贵州荔波岩溶洞穴发育特征[J]. 中国岩溶, 2000, 19(1): 13-20.
- [11] 张顺志, 曾志飙, 张美良, 等. 湘西保靖白岩洞—金塘湾洞穴系统的发育特征[J]. 中国岩溶, 2000, 19(2): 188-194.
- [12] 康玉柱. 海相油气田勘探实例之四: 塔里木盆地塔河油田的发现与勘探[J]. 海相油气地质, 2005, 10(4): 31-38.
- [13] 漆立新, 云露. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩岩溶发育特征与主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 1-12.
- [14] 刘存革, 李国蓉, 朱传玲, 等. 塔河油田中下奥陶统岩溶缝洞方解石碳、氧、锶同位素地球化学特征[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2008, 33(3): 377-385.
- [15] 张师本, 倪寓南, 龚福华, 等. 塔里木盆地周缘地层考察指南[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 18-26.
- [16] 钟建华, 毛鑫, 李勇, 等. 塔北硫磺沟奥陶系含油古溶洞的发现及意义[J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(11): 1660-1680.
- [17] 柳建华, 周家驹, 马勇. 塔河油田成像测井储层类型识别与划分[G]//焦方正. 塔河油气田开发研究文集. 北京: 石油工业出版社, 2006: 356-365.
- [18] 温志新, 王红漫, 漆立新, 等. 塔河油田奥陶系缝洞型碳酸盐岩储层预测研究[J]. 地学前缘, 2008, 15(1): 94-100.
- [19] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 119-123.
- [20] LI K K, CAI C F. Origin of palaeo-waters in the Ordovician carbonates in Tahe Oilfield, Tarim Basin: Constraints from fluid inclusions and Sr, C and O isotopes[J]. Geofluids, 2011, 11(1): 71-86.
- [21] 周新源, 杨海军, 胡剑风, 等. 海相油气田勘探实例之十三: 塔里木盆地东河塘海相砂岩油田的勘探与发现[J]. 海相油气地质, 2010, 15(1): 73-78.
- [22] 顾家裕. 塔里木盆地沉积层序特征及其演化[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996: 153-169.
- [23] 刘显凤, 蔡忠贤. 塔河油田溶洞充填物的元素地球化学特征及环境意义[J]. 地质科技情报, 2009, 28(3): 53-57.
- [24] 张惠良, 杨海军, 寿建峰, 等. 塔里木盆地东河砂岩沉积期次及油气勘探[J]. 石油学报, 2009, 30(6): 835-842.
- [25] 夏日元, 邹胜章, 梁彬. 塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩缝洞系统模式及成因研究[M]. 北京: 地质出版社, 2011: 119-121.

编辑: 赵国宪

## Development Characteristics and Genesis of Filling Sandstone in Ordovician Paleocaves in Tahe Oil Field, Tarim Basin: A Typical Case of Filling Sandstone in Well T615 in Tahe Block 7

Zhang Wenbo, Shao Zhufu, Zhang Yingmin, Tian Fei, Kang Xun, Li Zhicheng

**Abstract:** Ordovician karst-cave reservoirs develop in Tahe Oil Field, Tarim Basin. Sandstones filling in these Ordovician paleocaves are excellent oil reservoirs. Through the observation and analysis of cores and logging data from some wells in Tahe Block 7, especially for those of Well T615 as the typical research object, and associated with the investigation into the contrastable Ordovician outcrops far in the northwest of the basin, the development characteristics and genetic mechanism of filling sandstone in Ordovician paleocaves are ascertained in the oil field. The analysis result indicates that the sandstone filling in paleocaves was the no-barrier coast sand sediments that filled into the Ordovician karst caves along underground rivers during Late Devonian Donghetang sedimentation. The filling sandstone consists of sublitharenite and quartzose sandstone. Contributing to good quartz sorting, high porosity and permeability, and developing primary intergranular pores and solution pores, the filling sandstone exhibits an excellent oil reservoir property. It is suggested that in the future exploration and development, it is necessary to carry out the researches including the sedimentary boundary of Late Devonian Donghetang filling sandstone in paleocaves, the spacial distribution of Ordovician karst caves and pre-Carboniferous micropaleogeomorphological feature.

**Key words:** Ordovician; Solution cave; Sandstone; Reservoir characteristics; Genesis; Tahe Oil Field; Tarim Basin  
 Zhang Wenbo; male, Master, Assistant Geology Engineer. Add: Dongxin Oil Production Plant, SINOPEC Shengli Oil-field Branch Company, Dongying, Shandong, 257000, China