

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

肖玉茹^{1,2}, 何峰煜², 孙义梅¹

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国石化新星石油公司西北石油局, 新疆乌鲁木齐 830011)

摘要: 古洞穴型碳酸盐岩储层都具有显著的非均质性和预测难度大的特点。通过对比巴楚五道班野外露头剖面上的洞穴, 结合岩溶理论建立了古洞穴型储层的地质模型。以塔里木盆地塔河油田奥陶系古洞穴型储层为例, 系统分析和归纳了该类储层在钻井、录井、测井、试井、地震等资料上的响应特征和识别标志。在垂向上, 可将洞穴划分为洞穴顶部相、洞穴充填相与下部垮塌相, 其中洞穴顶部相和下部垮塌相对油气储集十分有利。而多层洞穴的发育则主要受控于构造抬升和海平面升降。影响古洞穴碳酸盐岩储层的平面非均质性的主要因素有古构造、古断裂、古水文系统、古岩溶地貌等, 其中与古岩溶地貌关系最为密切。研究表明, 储集性能较好的古洞穴型碳酸盐岩储层为未充填洞穴储层和大型洞穴充填孔隙型砂岩储层。

关键词: 古洞穴; 碳酸盐岩储层; 储层特征; 奥陶系; 塔河油田

第一作者简介: 肖玉茹, 女, 34岁, 高级工程师(博士生), 油气田开发

中图分类号: TE112.221

文献标识码: A

1 研究现状及有关分类

与岩溶有关的古洞穴系统, 构成了一类重要的碳酸盐岩油气储层。它们可以形成大型油气藏, 例如西德克萨斯下奥陶统的帕克特油田^[1]、西德克萨斯二叠系的耶茨油田以及墨西哥东部下白垩统的黄金巷油田。世界上还有许多古洞穴型油田也在文献中做了报道^[1]。20世纪70~80年代, 我国在任丘油田、长庆、四川气田发现古洞穴型碳酸盐岩储层之后, 90年代发现了大港千米桥气田, 特别是在塔里木盆地发现超亿吨级塔河油田, 其储集岩属于缝洞型碳酸盐岩。从而使古洞穴型碳酸盐岩储层的研究成为近年来的焦点之一。

Loucks^[1]详细探讨了古洞穴储层的一般演化特征及其规模、孔隙网络和空间复杂性, 提出塌陷古洞穴联合体储层的假说。唐文榜等^[2]指出, 只要主频集中在20~30 Hz的反射波, 溶洞高度在2~3 m以上就能用频率差异分析技术识别。前人曾认为溶洞是选择性组构孔隙, 因此, 洞穴或大溶洞是过去的洞。这种不严格的定义并不能解决洞穴-大溶洞的过渡问题, 也不能说明涉及到的水动力问题。洞穴可以划分为表生洞穴和深成洞穴两类。表生洞穴最易形成古洞穴储层, 这种洞穴

是岩溶作用的产物, 也是近地表碳酸盐岩地层在经受溶蚀作用后形成了各种各样的较大孔道。表生洞穴既可以形成于大陆岩溶区, 也可形成于海岸岩溶系统。深成洞穴由产生于地下深部的流体形成。

本文要讨论的是最常见的表生洞穴。Loucks^[1]定义与岩溶有关的洞穴系统为一套天然孔道(管孔、裂隙、洞室、峡谷及竖井), 由大气降水或大气降水与海水的混合物在地表以下对可溶性岩石发生溶蚀而形成。如果在长期出露或多期出露(复合不整合)过程中, 发生多个洞穴系统的相互叠覆, 就会形成复合洞穴系统。古洞穴是指古岩溶作用形成的洞穴, 它包括未充填空洞和充填在溶解空洞中的地下沉淀物(洞穴堆积)、塌陷角砾岩及沉淀在空洞底部或充填在孔隙中的机械堆积物等。塔河油田的洞穴系指洞穴直径大于100 mm的溶洞。

2 古洞穴特征

古洞穴型碳酸盐岩储层一般都具有复杂的形成史和突出的横向和纵向复杂性, 为了确定此类储层的几何形态、规模、储集性能和空间复杂性, 本文对比了巴楚五道班古洞穴型碳酸盐岩储层野外露头剖面, 并结合钻井、录井、测井、试井、地震

等方面的古洞穴识别标志,研究塔河油田奥陶系古洞穴型碳酸盐岩储层特征,从而为建立古洞穴型碳酸盐岩储层地质模型提供依据。

2.1 洞穴形态、结构及识别标志

地下溶解作用的结果以洞穴和洞穴系统的形式出现,与这些洞穴有关的地下通道的形状、规模、分布及形成顺序极为复杂。有人认为洞穴的形状是不可能完全预测的,因为原始通道相连通时,洞穴的发育受连通的裂隙中的水力梯度控制,而水力梯度方向的改变往往使这些裂隙复杂化。许多洞穴具多阶段的特征,分布在一系列不同的高度,呈现出浅的渗流形态,呈峡谷形或梯形;深的或混合潜水形态,呈椭圆形,这两种剖面都可因溶蚀垮塌而改变或消失。由富含 CO_2 的热水作用形成的洞穴,其形状为树枝或二维和三维迷宫式洞穴,在淡水和盐水混合的海岸带发育许多蜂窝状洞穴^[4]。

巴楚五道班露头剖面下奥陶统鹰山组灰白色

泥晶灰岩直接与下志留统柯坪塔格组底砾岩接触,形成角度不整合。在此剖面上还可以见到垂直洞穴(落水洞)、水平洞穴和溶斗。

垂直洞穴(落水洞)是指延伸方向垂直于岩层的洞穴,在水文地质中称为落水洞。形态多样,有圆桶状、同心状,主要分布于古风化壳的表面。洞穴直径由上至下,呈阶梯状缩小,由 2.5 m 至 0.35 m,洞穴高 1.4~4.0 m。在洞穴壁上可见到水流形成的细水槽。少数洞穴充填有上覆志留系的黄色钙质砂岩。这种大型的垂直洞穴成群出现,有 5~6 个成群发育的,分布面积达 100 m²(图 1a, b, c)。

水平洞穴指大于 0.5 m 的溶洞。水平洞穴沿层面分布,发育于古风化壳的下部。水平洞穴高 5 m,宽 10 m,洞内底部充填有岩溶角砾岩和纹层状内部沉积物。

溶斗即洞穴呈漏斗状,高 3.5 m,宽 5 m,内部充填志留纪土黄色钙质泥岩(图 1d)。

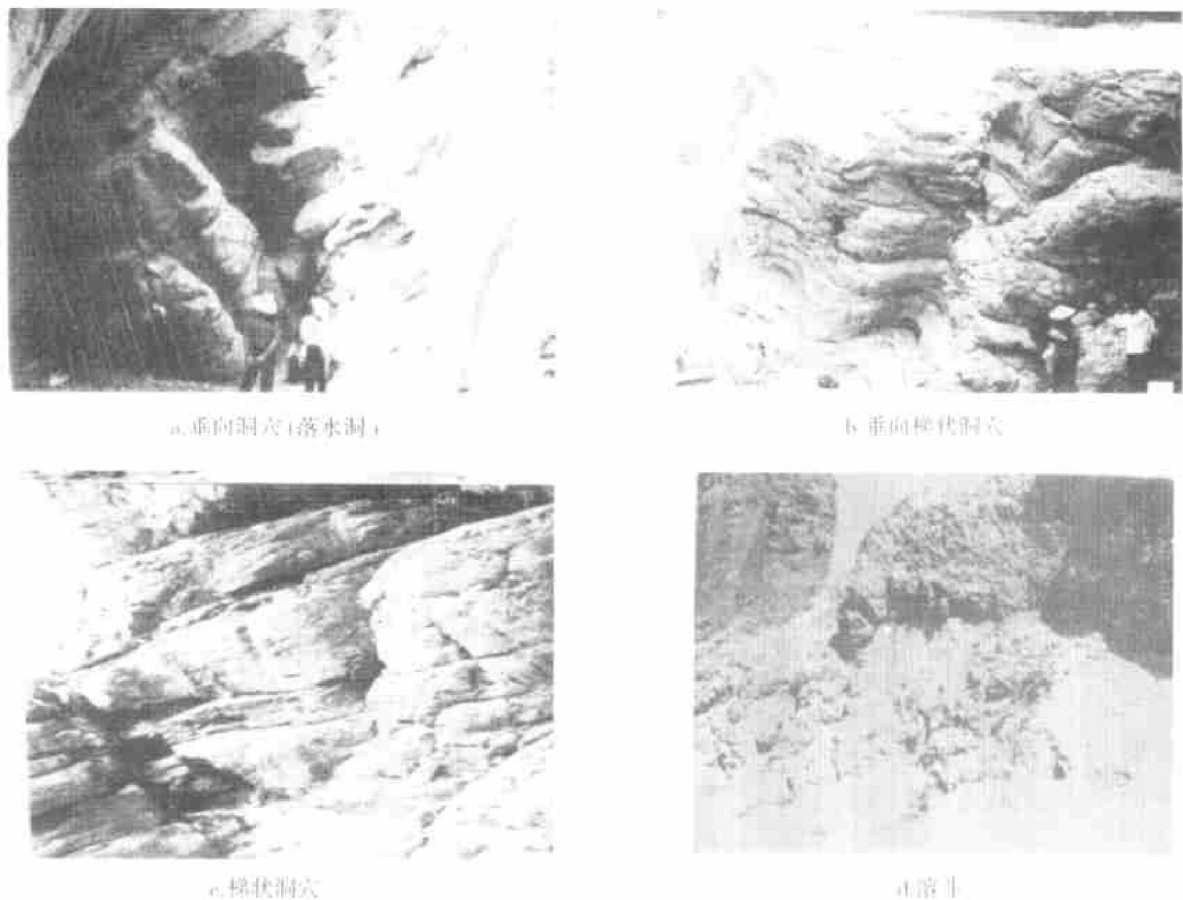


图1 巴楚五道班露头剖面上的洞穴特征

Fig. 1 Characteristics of paleocaves occurred in Wudaoban outcrop section in Bachu area

对塔河油田 39 口井奥陶系灰岩的洞穴发育情况进行统计, 共揭示出 51 个洞穴, 洞穴大小 0.22~ 67.06 m, 平均 5.0 m。洞径< 3 m 的占洞穴总数的 74.5%, 洞径 3~ 5 m 的占洞穴总数的 11.8%。未充填的洞穴 28 个, 占洞穴总数的 54.9%, 未充填的洞穴大小为 0.3~ 3.96 m, 平均洞径 1.54 m; 洞径< 3 m 占洞穴总数的 96.4%; 洞径 3~ 5 m 占洞穴总数的 3.6%, 未充填洞穴洞径小于半充填洞穴和全充填洞穴。

根据洞穴的结构特点, 可分为单层式和多层式洞穴, 大部分井发育 1 层洞穴、部分井发育 2 层洞穴、少数井发育 3 层洞穴。

塔河油田由于多期、不同规模的岩溶作用影响, 在岩溶地质剖面上, 可形成多期岩溶作用旋回的叠加, 各期次的岩溶带或次级岩溶带在垂向上互相叠置, 同时本区多期次、长时间的地壳隆升, 造成洞穴结构十分复杂, 可能存在近地表的树枝状、网状迷宫和交织式洞穴^[1](图 2)。

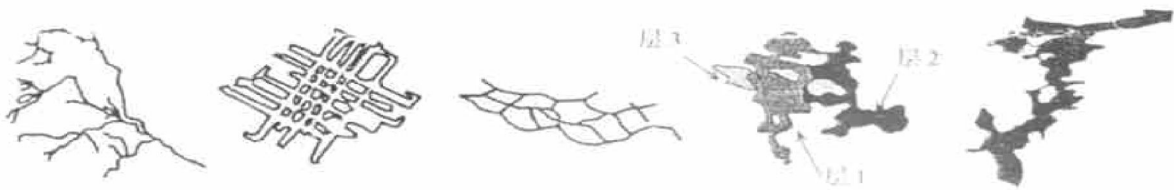


图 2 近地表岩溶洞穴多通道分布平面图(据 Robert G. Loucks)

Fig. 2 Near-surface cave geometries of multiple-passages shown in plan view (after Robert G. Loucks)

由于塔河油田(覆盖区)经历多期构造运动, 遭受风化淋滤的时间大于巴楚五道班露头奥陶系加里东期古风化壳储层, 因此保留的未充填的洞穴大小都比巴楚五道班露头奥陶系加里东期古风

化壳储层洞穴小。
综合塔河油田和轮南油田的资料^[5], 从钻井、录井、岩芯、测井、试井、地震等方面, 对古洞穴型碳酸盐岩储层的识别标志进行了归纳(表 1)。

表 1 古洞穴型碳酸盐岩储层的识别标志
Table 1 Identification marks of paleocave carbonate reservoirs

方法	识别标志	洞穴类型
钻井、录井、岩芯	钻时会突然减小、钻速明显加快, 钻具放空、严重泥浆漏失、泥浆油气浸、井涌、井喷等; 在排除了工程技术方面的因素后, 洞穴层发育段往往岩芯取芯率低。	未充填或部分充填洞穴
测井	①电阻率低(与泥浆电阻率接近); ②密度测井低, 可低至泥浆值; 中子孔隙度大, 可大于 30%; ③地层倾角测井出现饱和(平头)低阻异常; ④变密度图中波幅衰减, 波形干涉, 呈“V”字形; ⑤在 FMI 图像上颜色发黑的, 形状像小砾石, 多为分散的星点状或串珠状。	未充填洞穴
井响应	①自然伽马高, 一般为 45~ 100 API; ②电阻率低, 一般小于 2 Ω·m, 即使是较纯的泥岩也出现正差异; ③密度测井较低, 中子孔隙度较大, 反映充填的砂、泥岩未被压实; ④地层倾角测井出现相关性好的微细层理发育的低阻异常; ⑤变密度图中波幅缩减, 图像变浅甚至变白。	洞穴再沉积砂、泥岩、地下暗河沉积物
	①自然伽马比正常泥岩低, 比致密灰岩高, 一般为 30~ 60 API; ②电阻率比正常泥岩高, 比致密灰岩低, 一般为 3~ 70 Ω·m; ③地层倾角测井出现相关性不好的针刺状低阻异常, 这是角砾岩的典型特征; ④变密度图中出现扭曲、畸变等干涉现象; ⑤在井下声波电视图上, 反映为直观的角砾岩图像, 即白色图像的石灰岩角砾被暗色图像的泥质所包裹。	洞穴中垮塌角砾岩
试井	稳定试井的双对数导数图上出现 2 个“低谷”, 第一个“低谷”反映出洞穴系统解释的渗透率多在几十毫达西, 洞穴系统可能与其他介质在空间上不重叠出现。	洞穴
地震	在时间剖面上表现为“陷落柱状强振幅反射结构”, 在沿层振幅变化率图上表现为“椭圆形、串珠状、条带状振幅变化率异常”。	洞穴

2.2 洞穴沉积物特征

根据洞穴沉(堆)积物的物质成分、沉积环境以及形态组合特征等, 可将洞穴沉(堆)积物划分

为化学沉(淀)积、流水机械沉积和重力崩塌堆积等三大类。

2.2.1 化学沉(淀)积

巴楚五道班化学沉(淀)积物有溶积钙质泥岩和钟乳石两种。溶积钙质泥岩常充填于洞穴中,是由淡水淋滤形成的浅粉红色钙质泥岩,具水平纹层构造。钟乳石微观上具多层葡萄状、锯齿状、同心状纹层,方解石围绕中心呈放射状排列。这是由洞穴壁,特别是洞穴顶表面薄膜水和悬挂水滴沉淀形成的。本区钟乳石多为实心,是由表面薄膜水沉淀形成的。

塔河油田发育的化学沉(淀)积物有溶积灰岩,多见于潜流岩溶带,为该带溶洞中的化学充填物,主要由结晶粗大的方解石组成,具镶嵌状结构,发育在 th1 井下奥陶统 5 696~ 5 700 m th29 井 5 962~ 5 982 m 井段。

2.2.2 流水机械沉积

塔河油田发育大量暗河沉积的灰质砂砾岩、灰质砂岩、灰质粉砂岩和灰质泥岩以及溶积泥岩、泥质粉砂岩和溶积砂岩三大类。

(1) 暗河沉积的灰质砂砾岩、灰质砂岩、灰质粉砂岩和灰质泥岩:发育在潜流岩溶带的水平溶洞中,为地下暗河水流搬运沉积作用的产物,砾石成分较复杂,并常有外来成分的砂砾,有时可见与河流作用有关的层理。此类沉积发育在 10 多口井的洞穴中,是区内下奥陶统分布最为广泛的洞穴充填沉积。按照岩石结构或粒度可细分为灰质砂砾岩(角砾岩)、灰质砂岩、灰质粉砂岩和灰质泥岩等 4 种。碎屑组分以碳酸盐为主,但成分复杂,包括了砂屑灰岩、藻粘结灰岩、微晶灰岩、硅化结核、方解石晶屑、生物碎屑、钟乳石碎块等,往往相对富含陆源石英砂或粉砂等外来组分。灰质砂岩-灰质泥岩中见纹层状构造(水平纹理)发育。

(2) 溶积泥岩、泥质粉砂岩:主要见于潜流岩溶带水平溶洞中,并见于渗流岩溶带的宽大溶缝和溶洞中,主要为陆源砂、泥质。主要以全充填和半充填的形式发育在 6 口井的洞穴中。

(3) 溶积砂岩:th32 井奥陶系风化面以下 23 m 处发育一个高度达 19 m 的大型洞穴,洞穴内全充填褐灰色细砂岩,其成因可能是石炭纪海水侵入时形成的海岸溶洞沉积。

2.2.3 重力崩塌堆积

巴楚五道班的重力崩塌堆积物为岩溶角砾岩。岩溶角砾岩分布于洞穴中,角砾成分单一,主要由亮晶砂屑灰岩组成,呈次棱角状、次圆状,大

小不一。亮晶方解石充填胶结,这些胶结物沿着角砾边缘淡水淋滤沉淀所形成纤维状方解石纹层,岩石具角砾支撑结构。

塔河油田的岩溶角砾岩为洞穴塌陷角砾岩,它是古洞穴成因的油气储层,常常是塌陷洞穴系统的联合产物。典型的洞穴塌陷角砾岩发育在多口井中,位于地下暗河沉积物之上;岩石呈角砾支撑,角砾成分主要为微晶灰岩或砂屑灰岩,角砾大小混杂,可在 2~ 30 mm 范围内变化,排列无序,棱角分明,角砾间为灰质砂、方解石晶屑、铁泥质和少量陆源石英粉砂填积。此类岩石的形成与洞穴发育过程中(如潜流带形成的洞穴因构造抬升进入渗流带),由于水力、温差等外部因素所致洞壁破裂塌陷,或者与埋藏过程洞穴顶壁破裂塌陷有关。

2.3 洞穴成因及形成时间

洞穴成因在岩溶学理论研究中占有极其重要的地位,岩溶洞穴的渗流带、潜流带和地下水面生成理论是众所周知的。20 世纪 70 年代以来,人们进一步提出了灰岩洞穴自潜流带向地下水面发展的 4 个状态模型,是近代灰岩洞穴成因理论研究的重要进展^[6]。

塔河油田的洞穴主要为表生古岩溶作用形成的表生洞穴,洞穴的形成大体经历了洞穴(物理机械作用→断裂或裂缝→化学溶蚀与沉淀→溶孔、溶洞、洞穴形成→物理机械破碎作用与流水作用→崩塌角砾岩带及流水沉积物)→洞穴层→洞穴系统的演化过程,而树枝状、网状迷宫和交织式的洞穴结构则是本区洞穴长期演化的结果。在沙 14 井水平潜流岩溶带(5 413.7~ 5 429.5 m)溶洞充填物岩溶角砾岩的杂基中,采获了 *Rugospora*, *Verrucosiporites*, *Lophazonotriletes*, *Grandispora* 等早石炭世杜内期的孢粉化石,共有 15 个属种,在该区其他钻孔中也获得了 *Aneurospora*, *Schopfites* 等早石炭世孢粉化石,这表明洞穴充填的时代为早石炭世。对洞穴充填物的详细研究表明,洞穴中下部为洞顶坍塌沉积、碎屑流沉积及地下暗河沉积的互层产出,这种现象反映洞穴的形成与洞穴的充填基本上同时进行。

3 洞穴储集性能

3.1 主要储集类型

通过对野外古洞穴型储层的储集性能的估算

以及覆盖区(塔河油田)的储集物性分析和产能特征,认为古洞穴型储层中储集性能较好的储层主要为未充填洞穴储层和大型洞穴充填孔隙型砂岩储层(溶积砂岩)。

3.1.1 未充填洞穴储层

巴楚五道班的垂直洞穴(落水洞)是一个重要的可能储集层,具有可观的储集空间。仅根据露头测量结果进行预测估算,在 100 m^2 的面积内,地层厚达 5 m ,洞穴所占体积达 $7.7\sim 188.496\text{ m}^3$,计算孔隙度达 $1.54\%\sim 37.7\%$,这是一个可观的数字。如果把这个模式运用到覆盖区,那么就可以估算出一笔可观的油气资源,因此,古洞穴型储层是重要的勘探目标。

未充填洞穴储层油气产出的特点是不需酸压处理就能获得较高或高的油气产能,初期产量高、且产量稳定或较稳定、生产压差很小,产量和压力下降很慢,能保持稳定高产,有很大连通范围和大容量的储集体。塔河 4 号油田的 th13, th40, th17 等井的下奥陶统均属此类储层。由于其初产高、稳产期长,因此,该类储层是塔河地区奥陶系碳酸盐岩最重要的一种储层类型。如 th13 井完井测试,用 9.53 mm 油嘴求产,日产油 541.6 m^3 ,产气 $15\,000\text{ m}^3$;自投产至今累计产油 $64\times 10^4\text{ t}$,平均日产油 410 t 。该井是塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩油气井中累计产油量最多,稳产期最长,平均日产量最高的“王牌井”。

3.1.2 溶积砂岩

砂岩成分以石英为主,分选性、磨圆度都好,岩石的成分成熟度和结构成熟度都较高。砂岩孔隙度为 $15\%\sim 20\%$,渗透率多大于 $1\times 10^{-3}\text{ }\mu\text{m}^2$,孔隙度和渗透率具较好的相关性,显示出良好的储集性能,是塔河地区发现的一种新储层类型——大型洞穴充填孔隙型砂岩储层。th32 井发育大型洞穴充填孔隙型砂岩储层,该井中采用 6 mm 油嘴,日产油 100 m^3 ,该类储层的分布范围有限。

3.2 非均质性

古洞穴型碳酸盐岩储层形成了非均质性最强的碳酸盐岩储层类型,它主要受沉积后成岩作用(如岩溶化、裂缝、埋藏溶蚀等)的控制。不同油田之间的储层非均质性相差很大,即使同一油田内也是如此。

3.2.1 垂向

根据对美国二叠盆地下奥陶统岩溶的研究及

提出的溶洞相模式,可将溶洞相在垂向上分为 3 个相带,自上而下为:洞穴顶部相(发生原地角砾岩化、形成裂缝角砾岩、镶嵌角砾岩)、洞穴充填相与下部垮塌相,其中溶洞顶部相和下部垮塌相对油气储集十分有利。

钻入奥陶系碳酸盐岩的许多井可见潜流岩溶带发育,其中潜流带水平溶洞及其充填物保存完整的有轮南油田的轮南 12 井。该井从洞底至洞顶可分为下部塌陷相、中部地下暗河充填相及上部洞顶破裂相 3 个带。

(1) 下部塌陷相:为碎屑支撑的角砾状灰岩,角砾间为泥质、粉砂质充填,系由洞顶塌落的灰岩碎块在洞底堆积而成。

(2) 中部地下暗河充填相:包括含泥质、粉砂质角砾灰岩,灰岩角砾悬浮于泥质、粉砂质杂基中,部分砾石(角砾)显示定向性;含泥质细—粉砂岩,平行层理及中小型交错层理发育;具水平层理及中小型交错层理含泥粉砂岩;具波状、脉状、透镜状层理的泥质粉砂岩与粉砂质泥岩等厚互层;水平层理发育的含粉砂质泥岩。它们分别代表地下暗河流洪峰期—平水期沉积的产物。

(3) 上部溶洞破裂相:主要指溶蚀缝、破裂缝极为发育的洞顶灰岩层,即溶洞顶板。

塔河油田目前未在一口井中发育完整的溶洞 3 个相带,在不同井中可见下部塌陷相、中部地下暗河充填相及上部洞顶破裂相 3 个带。

塔河油田洞穴顶距古风化壳面深度范围 $1.26\sim 297.5\text{ m}$,平均值 90 m 。其中未充填洞穴有 25%分布在距古风化壳面深度 $0\sim 30\text{ m}$,21%分布在距古风化壳面深度 $60\sim 90\text{ m}$;半充填洞穴有 67%分布在距古风化壳面深度 $60\sim 90\text{ m}$,33%分布在距古风化壳面深度 $90\sim 1\,200\text{ m}$;全充填洞穴有 50%分布在距古风化壳面深度 $0\sim 30\text{ m}$,15%分布在距古风化壳面深度 $30\sim 60\text{ m}$,其他深度段也有少量分布(图 3)。

洞穴主要发育在距古风化壳面 5 个深度段: $0\sim 30\text{ m}$, $60\sim 90\text{ m}$, $90\sim 120\text{ m}$, $150\sim 180\text{ m}$, $180\sim 210\text{ m}$ 。其中发育最好的是在距古风化壳面 $0\sim 30\text{ m}$ 处,岩溶作用主要发育在距古风化壳面 $0\sim 200\text{ m}$ 以内,岩溶作用深度最深可达 300 m 左右。

塔河油田发育的多层洞穴主要受控于构造抬升和海平面升降。阿克库勒凸起围斜裙边状分布的志留—泥盆系及上奥陶统隔水层控制了洞穴发

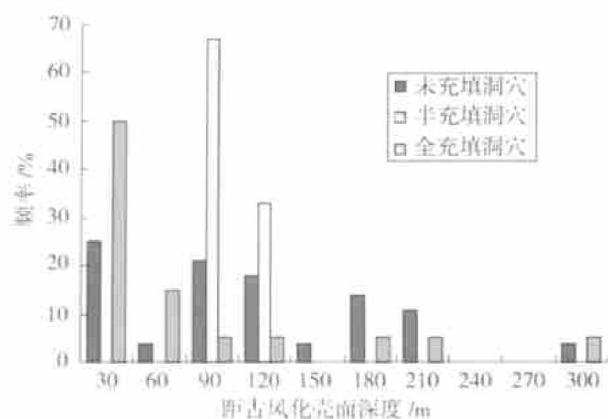


图3 未充填洞穴、半充填洞穴和全充填洞穴距古风化壳面深度直方图

Fig. 3 Histogram showing the distances of the unfilled, semi-filled and fully filled to the paleo-weathered crust

育的范围与深度,洞穴的发育深度基本上遵循“随深度递减”的规律。

3.2.2 平面

由于古洞穴碳酸盐岩储层发育具有很强的随机性,因此古洞穴碳酸盐岩储层非均质性研究难度大。影响古洞穴碳酸盐岩储层平面非均质性的主要因素有:古构造、古断裂、古水文系统、古岩溶地貌等,其中与古岩溶地貌关系最为密切。

古洞穴的展布方向与构造线、断裂、裂隙的走向密切相关。早期断裂构造控制深部洞穴的发育,当处于构造轴部或沿断裂、沿层面最有利于形成大型洞穴。大型溶洞常发育在分支断裂附近,洞穴的走向常与次级断裂走向及岩层走向一致,断裂的交汇处也容易形成大型洞穴。沿着断裂带发育的洞穴具明显的方向性,还常与断层性质有关,尤其是在两组断裂的共轭部位,更有利于深部洞穴的发育。

良好的汇水及水交替条件为岩溶作用的进行

提供了有利保证。地表径流的边缘往往容易形成侧向侵蚀的洞穴或与排水口连接的洞穴。初步认为塔河4号、牧场北地区发育南北向或北北东向的洞穴,洞穴沿断裂延伸,沿大的地表水系形成。塔河油田南部奥陶系则发育沿北东向中-上奥陶统尖灭线分布的大型洞穴,这些大型洞穴有相当一部分在后期的岩溶作用中产生崩塌及充填。

古洞穴发育与岩溶地貌关系最为密切。塔河油田及外围地区可划分为3个岩溶地貌单元,分别为岩溶高地、岩溶斜坡(可进一步划分为岩溶残丘或丘丛、岩溶洼地、岩溶平台)和岩溶谷地。阿克库勒地区下奥陶统岩溶斜坡的部分地区,特别是岩溶缓坡及其上的岩溶残丘,都是大型溶洞发育,且保留几率相对较高的地区。如牧场北丘丛、艾协克丘丛、艾北边缘丘丛、牧北洼地及南部-东部平台等。且岩溶缓坡(特别是其上的丘丛)与阿克库勒凸起轴部的叠合部位是岩溶最发育的地区,如牧场北丘丛、艾协克丘丛(中西部)等。岩溶缓坡及其上的次级岩溶残丘,是寻找古洞穴型储层的最佳地区;其次是岩溶高地及岩溶谷地近岩溶斜坡一侧。

参 考 文 献

- 1 Loucks R G. Paleocave carbonate reservoirs: origins, burial-depth modifications, spatial complexity, and reservoir implication[J]. AAPG Bull, 1999, 83(11): 1795~1834
- 2 唐文榜,刘来祥,樊佳芳,等. 溶洞充填物判识的频率差异分析技术[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 41~44
- 3 李定龙. 古岩溶和古岩溶地球化学概念与研究展望[J]. 高校地质学报, 1999, 5(2): 222~239
- 4 成都地质学院沉积所,长庆石油局勘探院译编. 古岩溶与油气储层[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1991. 6~8
- 5 欧阳健. 石油测井解释与储层描述[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 257~264
- 6 朱学稳,张元海,张任. 地下河洞穴发育的系统演化[J]. 中国岩溶, 1996, 15(1~2): 157~166

(Please Turn to Page 86)

CHARACTERISTICS OF STORM DEPOSITS IN UPPER TRIASSIC XUJIAHE FORMATION , SICHUAN BASIN

Li Huaqi^{1,2} Jiang Zaixing³ Xing Huanqing³ Xian Benzong³

(1. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong*; 2. *Department of Project, PetroChina, Beijing*; 3. *College of Earth Resource and Information, Petroleum University, Dongying, Shandong*)

Abstract: Storm deposits has been found for the first time in the 2nd member of Xujiache Formation (Upper Triassic) in western Sichuan Basin . Based on the micro- facies of cores, the main types of tempestite sedimentary characteristics have been identified, including gutter cast, scouring surface, truncated structure, storm lag deposit, hummocky cross- stratification , convoluted laminations, V- shaped structures generated by wave. A detailed study of sedimentary structures and petrological features of storm deposits has been made, such as individual laminates, thickness of storm deposit, and so on. The storm deposits are characterized by their lithologic features , and storm sedimentary sequence are related to storm activity and similar to the typical Bouma sequence . The sedimentary environment of tempestites is discussed, and the storm sedimentary model is explored.

Key words: Xujiache Formation; tempestites; deposit characteristics; sedimentary model

(Continued from Page 80)

RESERVOIR CHARACTERISTICS OF PALEOCAVE CARBONATES —A CASE STUDY OF ORDOVICIAN PALEOCAVE IN TAHE OILFIELD, TARIM BASIN

Xiao Yuru^{1,2} He Fengyu² Sun Yimei¹

(1. *China University of Geosciences, Beijing*; 2. *Northwest Petroleum Bureau of SINOPEC, Urumqi, Xinjiang*)

Abstract: Paleocave carbonate reservoirs are characterized by their heterogeneity , and they are very difficult to predict. For the sake of building a realistic geological model of the paleocave carbonate reservoir, correlation has been made with the paleocaves occurred in Wudaoban outcrop sections in Bachu area. The shape, size, structure, cave deposit, genesis and reservoir properties of the Ordovician paleocaves in Tahe oilfield , Tarim basin , have been studied on the basis of the theory of karst and the paleocave marks identified by means of drilling, logging, well logging, testing and seismic methods. The vertical and lateral heterogeneities of paleocave carbonate reservoir have also been discussed. Vertically , paleocave sediments can be divided into the top facies, filling facies and the lower sloughing facies. The top facies and the lower sloughing facies are quite favorable for hydrocarbon entrapment. But the development of multiple paleocaves have mainly been controlled by tectonic uplift and sea- level fluctuation. Ancestral structures, such as paleofault, paleodrainage system and paleokarst topography etc. have mainly been influencing the lateral heterogeneity of paleocave carbonate reservoirs, among which the paleokarst topography has the closest relation to lateral heterogeneity of paleocave carbonate reservoir. The study indicates that the relatively good paleocave carbonate reservoirs include the unfilled paleocave reservoirs and large paleocave- filling deposits —porous sandstone reservoirs.

Key words: paleocave; carbonate reservoir; reservoir characteristics; Ordovician; Tahe oilfield