

鄂尔多斯盆地西缘古岩溶洞穴特征

郑聪斌 张军 李振宏

(中国石油长庆油田公司勘探开发研究院)

郑聪斌等.鄂尔多斯盆地西缘古岩溶洞穴特征.天然气工业,2005;25(4):27~30

摘要 鄂尔多斯盆地西缘主要发育碳酸盐岩洞穴,颗粒灰岩、生物灰岩、藻灰岩及细晶白云岩是主要成洞基岩。成洞有利条件不仅包括沉积间断、气候、岩性,而且与断裂体系的发育紧密相关,断裂附近是古岩溶洞穴发育的有利场所。古岩溶洞穴由于埋藏较深,钻井和测井是识别其发育程度的主要方法。洞穴堆积物主要为溶塌角砾岩及冲积砂砾岩,发育晶间孔、晶间溶孔、角砾间孔、溶缝和溶洞,因受到洞壁的保护而免受正常压实,是重要的天然气储层。由于鄂尔多斯盆地西缘断裂构造发育,沟通了深部热流体,洞穴堆积物的储集空间受到后期的改造较大,对天然气成藏既有建设性作用,又有不利因素。

主题词 鄂尔多斯盆地 西喀斯特 洞穴 形成 断裂 储集层 热水

鄂尔多斯盆地西缘早古生代毗邻秦祁海槽,具有被动大陆边缘的性质。岩相古地理格局可分为剥蚀台地、台缘斜坡和海槽,呈现狭长的南北向带状分布(见彩插图4)^[1~3]。该区从早奥陶世晚期至中奥陶世,由浅水台地沉积演变为深水斜坡重力流与浊流沉积。中奥陶世后,加里东运动使海槽逐渐消失,隆升为陆,海水由西南退出了鄂尔多斯地区而结束了古海盆演化历史。该区大部分地区(除盆地西缘、南缘有O₂—O₃沉积外)地层层序上缺失了中—上奥陶统至中—下石炭统约1.1~1.4亿年的沉积地层。在这段漫长的地质年代里,暴露于大气地表环境的奥陶系碳酸盐岩经受了长期的风化淋滤作用,最终形成了一个范围大、作用时间长的巨大风化淋滤带。钻井过程中,在该风化淋滤带中常发生井喷、井涌、漏失及钻具放空等现象频繁,充分表明了地下岩溶洞穴相当发育。特别是在天池构造天1井放空段试气获 $16.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的工业气流,进一步确定了古岩溶洞穴的存在及其对油气资源的贡献。

一、古岩溶洞穴成洞基岩及成洞条件

1. 成洞基岩岩性

岩性是影响岩溶洞穴发育的重要因素,一般质纯的灰岩和次生云岩易于遭受溶蚀,形成岩溶储集层;含泥或泥质碳酸盐岩、泥灰岩、灰质泥岩抗淡水淋滤作用强,不仅本身难以形成发育的孔洞,而且常

常成为隔水层,阻止淋滤作用向下进行。因此,淋滤带的地层及岩性分布特征对奥陶系古岩溶洞穴的发育具有重要的影响。

鄂尔多斯盆地西缘古岩溶洞穴的成洞基岩主要包括颗粒灰岩、生物灰岩、藻灰岩及细晶白云岩,主要发育于中奥陶统克里摩里组及马四段,厚度一般为57~200 m。

颗粒灰岩:是指岩石中的内碎屑和其它颗粒含量大于50%的石灰岩。颗粒包括砾屑、屑、生屑、粉屑与藻屑、球粒、鲕粒等,其中砾屑、砂屑、生屑较为常见,鲕粒则在局部地区的个别层段中尚可见及,其它颗粒虽可常见,但含量较少。颗粒间的填隙物以灰泥为主,亮晶次之,亮晶与灰泥二者兼有的一般较为常见。灰泥大部分未重结晶,只有少量发生重结晶作用,形成细粉晶—粗粉晶方解石。

生物灰岩:岩石中生物门类较多,有棘皮类、腹足类、头足类、双壳类、腕足类、三叶虫、介形虫、海棉骨针、苔藓虫、藻类和钙球等。各种生屑的分选和磨圆度差异较大,从差到好均有,并常与砂屑共生,粒间填隙物以灰泥为主。形成于浅水较高能环境的生屑石灰岩,其生屑的分选和磨圆较好,长轴多呈定向排列,且生物门类较少,分异较小,含量高,粒间以亮晶胶结物为主。形成于弱动力,较安静的低能环境的生屑灰岩,其生屑的分选和磨圆度较差,生物种类多,分异度小,粒间填隙物以灰泥为主。

作者简介 郑聪斌,1946年生,高级工程师;长期从事石油天然气地质研究,已在各类学术刊物上发表论文40余篇。地址:(710021)陕西省西安市长庆兴隆园小区。电话:(029)86592442。E-mail:zcb_cq@petrochina.com.cn

藻灰岩:主要以直管藻、葛万藻,似念珠藻屑为主,含量高达60%,与其共生的含有球松藻、海百茎、双壳类、腕足类、介形虫、钙球和粉屑、砂屑等,形态清晰,个体较完整,长轴相互平行或杂乱无序,填隙物以灰岩为主,亮晶—灰泥次之,单层厚度可以达到2~3 m,无任何特征的构造。

细晶白云岩:其原岩多为颗粒岩,埋藏云化成因,在盆地西缘马四段分布广泛。

2.成洞条件

根据成洞基岩的岩性,溶洞主要有碳酸盐岩溶洞及盐类岩石溶洞两类,鄂尔多斯盆地西缘地区的古岩溶溶洞属于前者。其成洞的有利条件主要有:

①沉积间断。地层出露地表时间长达1.1~1.4亿年,风化淋滤时间长。②古气候条件有利。据崔克信等(1984)研究^[4],中国从震旦纪—二叠纪一直处于热带、亚热带气候中,这样的气候带对古喀斯特的发育是有利的。另外,古地磁资料确定的石炭纪全球古地理图可知,鄂尔多斯地区(乃至整个华北地台),在石炭纪时位于古赤道以北,中—低纬度之间,属于炎热、温暖、潮湿的气候区。鄂尔多斯地区中—上石炭统底部常有铝土质泥岩、铝土岩,也证明当时的古气候是潮湿多雨的亚热带至温带气候。③岩性有利。主要出露质纯的灰岩,这对岩溶发育是十分有利的。④构造条件有利。根据古今喀斯特研究,喀斯特溶孔溶洞一般沿着断裂带最为发育,在有大断裂的地区,喀斯特作用深度可达千米以上。鄂尔多斯盆地西缘北段天池继承性隆起附近断裂发育,断裂沟通地表流体,为洞穴的发育提供了有利的条件。

3.古岩溶洞穴沉积物类别

岩溶作用产生的机械沉积物、化学沉积物及其它物质经搬运堆积在岩溶洞穴中,固化后形成的岩石均属于洞穴沉积物的类型。按其产状可以进一步划分为5个亚类。

(1)洞穴残积岩:岩溶作用产生的未溶组分,堆积在洞穴后固结成岩的岩石称为洞穴残积岩。如风化壳顶部混杂角砾岩。成分复杂,填隙物多为泥质、砂质及碳酸盐岩碎屑,胶结物以灰质为主,局部见有铁质侵染。

(2)洞穴塌积岩:主要由岩层的崩、塌、滑、陷,导致岩块位移而堆积形成的岩石,常见的有溶坑塌积角砾岩和洞穴塌积角砾岩。需要指出的是巨大的岩溶塌陷体,往往在钻井资料上难以识别,仅见位移不明显的拉裂缝发育,如果将裂缝壁嵌合,便可恢复原

岩的面貌。

(3)洞穴填积岩:岩溶洞穴中由于下渗水流携带搬运而沉积的物质叫岩溶填积物。填积物既可来自洞穴发育的同层,也可来自地表一定分布范围的其它成岩的物质。由填积物形成的岩石称为岩溶填积岩。奥陶系风化壳常见的岩溶填积物有黑色泥岩、凝灰质、煤、砂质及高岭石、褐铁矿等。

(4)洞穴冲积岩:由地下暗河搬运、沉积的物质叫岩溶冲积物。由冲积物形成的岩石叫岩溶冲积岩。最常见的岩溶冲积岩有砂、砾屑白云岩和硅质砂、砾岩,磨圆度中等,分选较好,砾石具定向排列,底部冲刷明显,并见平行层理,常与水平洞穴填积岩伴生。剖面上与岩溶填积岩—洞穴塌积角砾岩—拉裂角砾岩组成典型的三段式岩溶岩组合。

(5)洞穴淀积岩:岩溶水引起的化学淀积物或淀积层,形成的岩石称为岩溶淀积岩。常见的淀积岩有钟乳、钙结层及次生结晶灰岩等。

二、古岩溶洞穴储层特征

1.古岩溶洞穴储层识别方法

古岩溶洞穴埋藏较深,目前主要通过钻井和测井资料加以识别。根据洞穴的发育情况,其在钻井和测井上的识别又存在着一定的差异。

(1)洞穴现今仍很发育。这种古岩溶洞穴较大,钻井时出现放空、泥浆漏失、钻时加快等现象,岩屑中可有自形晶方解石或石钟乳等溶穴充填物。测井曲线上表现为井径扩大、声波时差值增高。低密度、低电阻、低自然伽马等特征。这种洞穴易于发现、易于识别。以天1井3933.8~3939.8 m井段测井曲线最为典型(图1)。

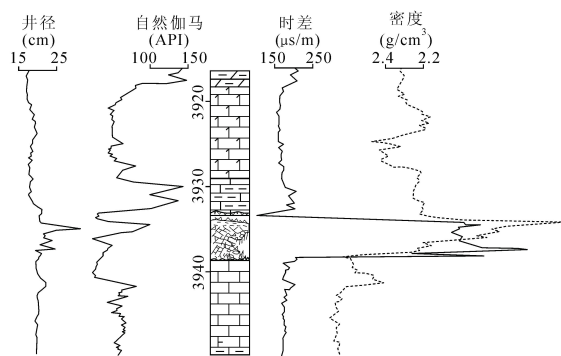


图1 天1井古岩溶洞穴测井曲线特征图

(2)溶孔、溶洞现今不很发育。没有大的溶洞,以小的溶洞、溶孔或针孔为主,或原来发育的溶孔、溶洞大部分被次生方解石和其它矿物充填。这种古

溶洞,钻井时可出现钻时加快、测井曲线上井径可能有所扩大,声波时差略高,自然伽马值高。这些特征与含泥质碳酸盐岩夹层电性特征差异不大,如果没有取心实物,很难确定出充填洞穴。如李华 1 井 4327.61~4331 m 井段,岩心上溶孔较多,呈扁平状顺层分布,局部面孔率可以达到 25%~30%,但测井

曲线上岩溶洞穴特征并不明显,只是声波时差值略有增大。

鄂尔多斯盆地西缘不仅具备古岩溶洞穴储层形成的条件,而且勘探实践也证实确有古岩溶洞穴储层的存在(表 1)。通过恢复石炭纪沉积前奥陶系顶侵蚀面的古地形起伏,可以初步得出奥陶系地层中

表 1 鄂尔多斯盆地西缘钻井漏失及放空统计表

井号	漏失情况			放空情况		距奥陶系顶距离(m)	试气 (10 ⁴ m ³ /d)
	漏失井段(m)	漏失层厚度(m)	漏失量(m ³)	放空井段(m)	放空段厚度(m)		
天 1				3934.7~3935.8	1.1	82.8	16.4
天深 1	4069~4175	6	323	4071~4071.25	0.25	157.5	180.5
	4198~4397.36	199.36	595				
李 1	3906.4~3911.6	5.2	5		0.5	67	89.4
	3934~3940	6	153				
鄂 6	3848~3851.5	3.5	290			217.5	
鄂 8	3921~3922	1	1700			96	
鄂 9	3921~3922	1	200			68	
伊 8	3856~3867			3968.2~3868.8	0.6	122.8	

古岩溶期形成的古岩溶洞穴带(图 2)。下部古岩溶洞穴层形成时间早,后期多被矿物充填。靠近侵蚀面 80~120 m 有一厚约 150 m 的岩溶发育带,形成时间较晚,又距离侵蚀面顶部有一定的距离,孔洞不会被石炭系泥质充填,目前仍表现出较好的储集性能。从发育深度判断,该岩溶期发育时间大约在中石炭世前后。其下的岩溶洞穴发育带,埋深大,受后期成岩作用影响较大,现今孔洞充填严重,对油气储集的意义相对降低。

而减小。因而,其孔隙性反而比结构混杂的粗粒沉积物好得多。

鄂尔多斯盆地西缘洞穴堆积型储集空间除溶洞外,主要有晶间孔、晶间溶孔、铸模孔、角砾间孔和溶缝。晶间孔:常呈多面体或四面体,孔径一般 0.01~0.18 mm,面孔率一般为 1%~5%,最高可达 10%~15%,部分晶间孔常被泥质及细粒碳酸盐充填。晶间溶孔:由晶间孔、晶间微孔经溶蚀扩大而成。孔隙形态不规则,孔隙周围多呈溶蚀状、港湾状,孔径一般 0.1~0.6 mm,面孔率一般 2%~8%,多呈分散状或顺层密集状分布。铸模孔:多见于藻屑选择性溶蚀后形成的孔隙,形态不规则,孔径 0.2~0.35 mm,宽 0.02~0.03 mm。角砾间孔:由岩石垮塌破碎后,形成的角砾之间的不规则孔隙。大小不等,多见半充填或全充填。溶缝:主要由岩溶作用沿裂缝溶蚀扩大而成,缝壁凹凸不平,缝宽大小不一,缝宽多在 0.5~10 cm。

3. 深埋藏期热水作用对洞穴堆积物储集性的影响

奥陶系古岩溶洞穴被石炭、二叠系沉积覆盖后,岩溶环境由开放体系转为封闭体系,岩溶洞穴堆积物的储集空间是在没有压实的特殊条件下进行演化的,其主要受到热水作用的改造^[5]。鄂尔多斯盆地西缘紧临西缘逆冲带,有断裂、裂隙与基底相通,热

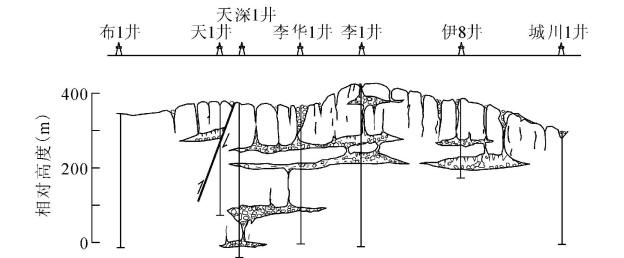


图 2 鄂尔多斯盆地西缘奥陶系古岩溶洞穴发育剖面示意图

2. 古岩溶洞穴储集空间特征

洞穴堆积型储集岩与一般沉积岩的孔隙发育有明显的差别。在一般砂泥岩系列中,颗粒越细的沉积物,当其埋深后,压实越强烈,储集性能越差,而洞穴堆积物中却情况相反。由于受到洞壁的保护,细粒沉积物的原始高孔隙度,并不过多受压实的影响

水的来源不仅有深部循环的热水,局部地区可能有来自深部热液的补充。缓慢上升的富 Ca^{2+} 热卤水在相对稳定的环境中沿孔、缝渗透,对可溶岩作持久的、穿透力弱的溶蚀作用,形成以溶孔、溶缝为主,顺层分布的岩溶发育带。溶孔多呈球粒状,大小 2~5 mm,溶扩后多呈下大上小的倒八字状,充填物多分布于溶缝的上部。充填物以异形白云石、石英及淀粉云母为主,并见闪锌矿、方铅矿晶体。因此,热水的循环对洞穴堆积物储集空间既具有建设性作用,又具有破坏性的作用。洞穴堆积物储集空间中的充填矿物的地球化学特征可以进一步提供热水存在的证据。定探 1 井马四段热水岩溶孔洞中充填的白云石,在阴极发光下残余雾心为昏暗褐孔色发光,宽大亮边不发光,反映了热水溶蚀并交代早先的细晶白云岩的结果。其有序度因晶粒不同有一定差异,其中粗粉晶白云石有序度为 0.65~0.88, CaCO_3 摩尔含量为 51.8%,极细晶白云石有序度为 0.53~0.95, CaCO_3 摩尔含量为 50.65%,细晶白云石有序度为 0.81~0.95, CaCO_3 摩尔含量为 50.4%,马鞍状白云石有序度为 0.64, CaCO_3 摩尔含量为 52.3%~53.5%,表明从粗粉晶白云石到细晶白云石有序度增高 CaCO_3 摩尔含量降低,只有马鞍状的白云石,因形成于较高热温中,有序度低而摩尔含量相对较高。另外,盆地西部的定探 1 井、李华 1 井、鄂 6 井的洞穴堆积物的粉细晶白云石,具有高的 Fe、Mn 含量,低的 Sr 含量,显然是经历了深埋环境下热水作用的结果(表 2)。

三、结 论

(1)鄂尔多斯盆地西缘古岩溶洞穴储层主要发育于颗粒灰岩、生物灰岩、藻灰岩及细晶白云岩中,其成洞条件不仅与岩性、古气候有关,而且与断裂体系的发育紧密相连,断裂附近是古岩溶洞穴发育的有利部位。

(2)古岩溶洞穴储层埋藏较深,目前主要通过钻井及测井来识别,依据洞穴的充填情况,其在钻井和测井上的表现又存在一定的差异。

(3)古岩溶洞穴堆积物的储集空间主要受到后期热水作用的影响,断裂体系是热水循环的主要通道。热水作用对储集空间既具有建设性的作用,又具有破坏性的作用。

参 考 文 献

- 1 郑聪斌.鄂尔多斯盆地奥陶系热水岩溶特征.沉积学报, 2001;19(4):17~24
- 2 冯增昭,陈继新,张吉森.鄂尔多斯地区早古生代岩相古地理.北京:地质出版社,1991:1~206
- 3 冯增昭,鲍志东,张永生等.鄂尔多斯奥陶纪地层岩石岩相古地理.北京:地质出版社,1998:1~144
- 4 崔克信.中国震旦纪至二叠纪古气候.地质科学,1984(1):15~20
- 5 李振宏,郑聪斌.古岩溶演化过程及其对油气储集空间的影响——以鄂尔多斯盆地奥陶系为例.天然气地球科学, 2004;15(3):247~252

表 2 洞穴充填白云岩 Fe、Mn、Sr 含量统计表 ppm

定探 1 井				鄂 6 井			
井深(m)	Fe	Mn	Sr	井深(m)	Fe	Mn	Sr
3907.1	1553	117	68	3628.5	6765	220	61
3911.9	1957	97	73	3637.7	2756	141	64
3922.0	1723	95	47	3645.7	2741	121	71
3930.0	2324	143	70	3648.2	4263	213	55
3940	5251	262	99	3849	1180	345	58
3945	1354	87	55	385.2	20610	664	96

(收稿日期 2005-02-19 编辑 黄君权)