

# 古岩溶盆地岩溶作用模式及古地貌精细刻画

## ——以鄂尔多斯盆地东部奥陶系风化壳为例

拜文华<sup>1,2</sup>, 吕锡敏<sup>3</sup>, 李小军<sup>1,2</sup>, 魏伟<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质大学 能源地质系, 北京 100083; 2. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北 廊坊 065007;  
3. 中国石油勘探开发研究院西北分院, 甘肃 兰州 730020)

**摘要:** 鄂尔多斯盆地东部奥陶系风化壳天然气勘探的核心问题是寻找储层, 关键技术是对古沟槽、古台地的识别。该区风化壳储层不发育有两方面的原因: 一是沉积相带不利; 二是风化壳岩溶部位不利, 属于岩溶洼地, 溶蚀作用较弱, 充填作用较强。鄂尔多斯盆地东部奥陶系风化壳古岩溶地貌为地势平坦、向东开口的半封闭岩溶盆地, 这就为该区古风化壳岩溶的发育创造了相对于其他全封闭盆地更好的条件。将岩溶盆地划分为谷地、台地、残丘、沟槽、浅洼 5 种三级地貌单元类型, 东部发育 3 个水平岩溶带, 第三水平岩溶带距夷平面 70~85m。根据观察结果及地下水的渗流规律, 提出深潜流溶蚀带—深泉排水模式, 为岩溶盆地风化壳储集体的发育提供了另一种可能的溶蚀作用方式。岩溶盆地在深埋藏期压释岩溶作用较强, 有利于储集体孔隙的改善、上古生界烃类的带入、古台地边缘致密带的产生及圈闭的形成。综合利用地质、钻井、地震及测井手段精细刻画了神木—榆林地区奥陶系风化壳古地貌, 结果表明该地区古台地规模适中、古沟槽较多, 认为东部是较有利的勘探区带。

**关键词:** 古岩溶; 深潜流溶蚀带; 压释水岩溶; 岩溶盆地; 鄂尔多斯盆地

**中图分类号:** TE13; P531 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-8527(2002)03-0292-07

## 0 引言

众所周知, 鄂尔多斯盆地奥陶系风化壳仅在中部的靖边一带古岩溶高地及岩溶斜坡发现了长庆大气田, 而在其东部的广大岩溶洼地, 除个别井获工业气流外, 至今尚未获得规模储量。这主要是因为风化壳储层不发育, 原因有两方面: 一是盆地东部马五<sub>1</sub>沉积相为泥云坪、潮缘泻湖, 缺少中部气田的含膏云坪及藻泥云坪微相, 因而缺少溶蚀孔洞发育的沉积基础<sup>[1]</sup>; 二是东部古地形较低, 属于岩溶洼地, 溶蚀作用较弱, 充填作用较强。为了寻找规模较大的储层, 研究岩溶盆地风化壳溶蚀作用以及恢复古地貌就显得十分重要。

## 1 马五<sub>1</sub>沉积相展布特征及岩石类型

### 1.1 沉积相带奠定了储层发育的基础

鄂尔多斯盆地东部奥陶系风化壳发育层位为下奥陶统马家沟组马五段碳酸盐岩地层。通常把马五<sub>1</sub>黑色泥晶灰岩以上地层作为风化壳储层发育的可能层位。从沉积相来看, 东部米脂—子洲一带已为膏盐盆地相, 不利于形成储集空间。

对层序地层及沉积相的研究表明, 早奥陶世马家沟组, 盆地东部正处于浅水陆相盆地环境。由于地壳不均衡的升降运动, 导致马家沟组一、三、五段在低海平面—高位域期形成的快速海侵缓慢海退层序中广泛发育了膏盐盆地和盆缘含膏云坪沉积。在风化壳主体层位马五段沉积时, 由于振荡运动, 纵向上形成了一套频繁交替的潮下一潮间—潮上的全旋回相律组合及潮间—潮上的半旋回相律组合。平面上, 沉积微相的展布从盆地东部的陕北坳陷到中央隆起区, 依次呈现泥云坪—藻泥云坪—灰云坪—藻泥云坪加含膏云坪的微相演化系列<sup>[2]</sup>。含

膏云坪、藻泥云坪微相带中的白云岩,是发育溶蚀孔洞的重要岩石组合,主要发育于盆地中部,是形成长庆中部大气田的沉积基础。盆地东部的云坪、灰云坪微相带中的白云岩是发育晶间孔、晶间溶孔的重要岩石组合;云灰坪、泥云坪微相带中的白云岩是发育微裂隙的主要岩石组合,它们构成了奥陶系岩溶盆地风化壳储层发育的物质基础。

### 1.2 同沉积期微岩溶发育的可能性

根据沉积相带的分布规律,同生期层间岩溶作用主要发育于盆地中部的潮坪沉积环境,但由于不间断的快速海侵和缓慢海退,在东部与米脂为中心的泥云坪、潮缘泻湖沉积也具备同生期层间岩溶发育的古水文地质环境。同生期层间岩溶作用,是随着白云岩化这一主导过程进行的。水岩作用主要发生在沉积物与间歇水之间。同生期层间岩溶的形成和发育对盆地中东部碳酸岩的成岩变化产生影响,使岩层物质结构重组和不均一化,为后期以层状为主的岩溶发育及演化奠定了水岩作用的基础。

## 2 岩溶盆地及其古风化壳岩溶

### 2.1 盆地东部奥陶系风化壳古地貌的特殊性

鄂尔多斯盆地东部奥陶系风化壳古岩溶地貌的特殊性表现在两方面:(1)总体高差不大。奥陶系风化壳在中奥陶世末期的古构造背景下,经过1.5亿年左右的风化剥蚀和淋滤改造,古地形已被岩溶化所解体,古地貌为一个向东平缓倾斜的斜坡,从中部的岩溶高地到东部的岩溶斜坡,高程一般在120 m范围内变化。无论是正地形还是负地形,均无法与现代岩溶区相比。原先的中央隆起带也已侵蚀切割成大小不等的台地,因而对于该区古地貌单元的划分,不同的学者有不同的划分方案和单元名称。但对于盆地东部的榆林—绥德地区,划分意见比较统一,它属于岩溶盆地,构成岩溶区的汇水排泄中心。(2)东部开口,为半封闭岩溶盆地。古岩溶盆地分布在盆地东部佳县—子洲—清涧—绥德地区,它发育于鄂尔多斯盆地中东部膏盐盆地的基础上,古地形本来就平坦开阔。北部、西部和南部为地势较高的古岩溶斜坡及岩溶台地,中心为低洼的半封闭盆地,构成区域性岩溶水的汇集区。正是由于东部地形局部稍高但总体趋势为向东逐渐降低的半封闭岩溶盆地,这就为该区古风化壳岩溶的发育创造了相对于其他全封闭盆地更好的条件。

### 2.2 古地貌的恢复方法

通过实践证实,综合考虑以下因素,可以较好

地恢复鄂尔多斯盆地奥陶系风化壳古地貌:(1)上覆地层石炭系的厚度及分布趋势;(2)奥陶系马家沟组的残余厚度;(3)风化壳溶蚀剖面结构及上覆铁铝质岩的发育情况;(4)古地形及古水动力场<sup>[3]</sup>。

### 2.3 古岩溶盆地地貌单元的划分

鄂尔多斯盆地东部石炭系总厚度小于150 m,且整体与风化壳古侵蚀面呈镜像关系。在大范围内,根据钻井统计的石炭系地层总厚度,采用“印模”法并结合古地理环境及古水动力分析,可恢复总体古地貌骨架。长庆油田研究院将盆地中东部划分为3种二级地貌类型,即I:岩溶高地(石炭系厚度小于50 m);II:岩溶斜坡(石炭系厚度为50~90 m);III:岩溶盆地(石炭系厚度大于90 m)。在此基础上,针对岩溶盆地又划分出3种三级地貌单元:谷地、台地、沟槽。为了研究岩溶盆地的储层发育规律,有必要对东部岩溶盆地内的三级地貌单元进行较为详细的划分。

古岩溶盆地内石炭系的沉积厚度普遍大于90 m,最厚达118.4 m。石炭系底部的铁铝质岩类除古谷地内被侵蚀外,一般保存厚度大(4~12 m)。奥陶系顶部层位由马五<sub>2</sub>、马五<sub>1</sub>向东变为马六段。据长庆油田研究院依据钻井资料的古地貌恢复研究结果,岩溶水由古沟槽汇集到岩溶盆地后,形成5条侵蚀河道,近东西向穿过岩溶盆地,构成了岩溶水流的主要排泄通道。因鄂尔多斯盆地东部地区地震资料与钻穿奥陶系风化壳的探井较少,所以岩溶盆地内三级地貌单元的识别和划分难度较大。根据该区已被钻探发现并识别出的地貌单元,结合对岩溶盆地的认识,将鄂尔多斯盆地东部奥陶系岩溶盆地划分出以下5个三级地貌单元。

(1)古谷地。古谷地是受地表水强烈侵蚀切割的带状低洼地形,它处于岩溶斜坡和岩溶盆地的转折部位,奥陶系顶部层位一般为马五<sub>3</sub>及其以下地层,最大切割深度为35 m。通过对顺3井2 719~2 813 m段奥陶系岩心的观察,94 m厚的地层竟出现3层石炭系地层,最上一层为煤和炭质泥岩,厚度为2.1 m;下面两层为暗色泥岩,厚度分别为3.9 m和1.8 m;最下一层石炭系沉积物位于奥陶系风化壳顶面之下78 m,作者认为它属奥陶系跨塌角砾岩洞穴被石炭系沉积物充填所致。

(2)古台地。古岩溶盆地内的古台地与古岩溶斜坡上的古台地在形态上有相似之处,但相对地势稍低,且面积大、形态平缓,周围的沟槽或浅洼切割浅。台地上奥陶系顶部层位以马五<sub>2</sub>地层为主,

向东为马六段地层。该台地处在古岩溶的汇水区  
内,奥陶系顶部白云岩的储集性较差。

(3) 古残丘。古残丘通常发育于岩溶斜坡上,  
但在岩溶盆地靠近岩溶斜坡的谷地附近由于古沟槽  
较为发育,因而也能出现少量的古残丘。它表现为  
孤立分布的地势高差较大而分布范围较小的丘状地  
形,其顶部为奥陶系马六段。其地势高差为10~  
30 m,单丘分布面积为20~60 km<sup>2</sup>,为马六段泥  
晶灰岩的溶蚀残留地貌,例如洲6井。

(4) 古沟槽。古岩溶盆地内的古沟槽与古岩溶  
斜坡上的古沟槽相似,但宽度变大,分布在古台地边  
缘,向谷地延伸汇合,总体方位近东西向。沟长15  
~20 km,沟宽2~5 km,最大切割深度为25 m。

(5) 古浅洼。古沟槽向东部岩溶盆地腹部延  
伸,地势平坦,下切作用减弱,深度通常小于20  
m,而宽度却达到5~10 km,这样的古地貌不适  
合再叫作古沟槽,而应称为古浅洼。

### 3 深潜流溶蚀带—深泉排水模式及其 意义

#### 3.1 深潜流溶蚀带—深泉排水模式

不仅仅是岩溶高地、岩溶斜坡存在以垂直渗流  
为特征的落水洞,在岩溶盆地中,也发育有较深的  
落水洞。大多数落水洞近乎垂直层面,在风化壳不  
整合面以下延伸达70余m,多被石炭系沉积物充  
填。既然发育落水洞,就必然有出水点,岩溶盆地  
的出水点通常只能存在于比岩溶盆地更低、更远的  
地方,因此,水平泄水溶洞延伸的距离比岩溶高地  
及斜坡的水平溶洞更远。

根据对东部钻遇奥陶系的鱼1、洲1、米1等  
10余口井的录井、测井资料的分析,鄂尔多斯盆  
地东部岩溶盆地发育3个水平岩溶带:第一水平  
岩溶带距奥陶系风化壳夷平面5~15 m;第二水平  
岩溶带距夷平面45~65 m;第三水平岩溶带距夷  
平面70~85 m。3个岩溶带的形成与地壳的抬升有  
一定的关系,但主要与风化淋滤的地下水动力分带  
及奥陶系地层的渗透性分层有关,第三溶蚀带有时  
深度能达到风化壳顶部之下100余m。资料表明,  
位于最上部的岩溶带主体为马五<sub>3</sub>白云岩,孔渗及  
含气性较好,为主力气层。根据上述观察结果及推  
论,作者提出了深潜流溶蚀带—深泉排水模式。

由于鄂尔多斯盆地奥陶系风化壳地貌为北、  
西、西南高,东部低,因此可能形成深潜流带溶  
洞,该类潜流带深度远大于通常意义上的潜流带,

底板为20~30 m厚的马五<sub>3</sub>黑色泥晶灰岩。由于  
供水区的岩溶高地地势远高于泄水区的岩溶盆地,  
所以它的排水是通过位于岩溶盆地的“深泉点”由  
下往上涌出(图1)。这样的排水方式可以把由岩  
溶高地、斜坡部位带来的沉淀物从“深泉点”排  
除,而不是充填、沉淀在风化壳,因此可以在岩溶  
盆地形成较好的风化壳储集体。

深潜流带—深泉排水模式为岩溶盆地风化壳储  
集体的发育提供了另一种可能的溶蚀作用方式。

#### 3.2 深潜流溶蚀带可提高马五<sub>3</sub>白云岩储集体的 孔隙

一般来讲,深潜流带主要发育于古岩溶斜坡的  
深部,因为从岩溶高地淋滤渗流下来的地表水在岩  
溶斜坡的深部达到了最大深度。所以,在岩溶高地  
与岩溶斜坡过度部位,深潜流带主体为层位稍高的  
马五<sub>3</sub>白云岩。而在岩溶斜坡乃至岩溶盆地靠斜坡  
一侧,大量的循环水汇集在渗滤地板马五<sub>3</sub>泥晶灰  
岩顶部层面附近,势必会对马五<sub>3</sub>甚至马五<sub>2</sub>地层  
中的易溶蚀岩层产生溶蚀。尽管马五<sub>3</sub>地层主要为  
黑色泥晶灰岩,但在其上部的马五<sub>3</sub>局部也有透镜  
状白云岩体,它们经过溶蚀改造物性得到了提高,  
成为较好的储集体。位于岩溶斜坡部位的陕196井  
马五<sub>3</sub>白云岩透镜体气藏就是一个很好的例证。这也  
也许从一个侧面说明了深潜流溶蚀带的存在。

#### 3.3 深潜流溶蚀带模式可用来预测马五<sub>3</sub>白云岩 储集体的展布

应该指出,深潜流溶蚀带及深泉排水模式仅是  
作者提出的初步设想,如果得到证实,可以扩大鄂  
尔多斯盆地中部大气田的目的层,至少对寻找马  
五<sub>3</sub>白云岩透镜体的气藏具有指导意义。

从沉积角度考虑,奥陶系马五<sub>3</sub>白云岩透镜体  
的形成,是在总体海侵背景上有一个小规模的海  
退,在沉积斜坡的转折处及其他类似部位水体变浅  
或短暂暴露,从而有透镜状白云岩沉积。这些转折  
部位在加里东期古风化壳形成时刚好处于岩溶斜坡  
部位,也处于可能发生的深潜流带。

沉积条件、古岩溶地貌以及深潜流带等有利因  
素的叠加,使我们有理由认为下一步寻找马五<sub>3</sub>白云  
岩透镜体气藏的有利部位在岩溶斜坡及其与岩溶盆  
地交界的神木—榆林—横山—延安这一弧形条带。

### 4 岩溶盆地中深埋期压释水岩溶及其 对风化壳储层的改造

#### 4.1 中深埋期压释水岩溶

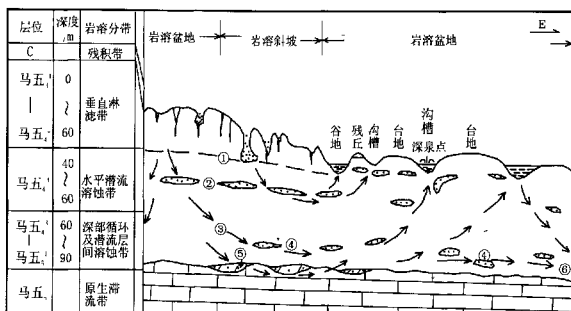


图1 鄂尔多斯盆地东部岩溶盆地深潜流溶蚀带—深泉排水模式图

Fig.1 Mode of deep underwater current zone and deep spring drainage in paleocarbonate, eastern Ordos Basin

①地下水; ②潜流带孔洞流; ③地下水流线; ④深部溶蚀带; ⑤马五<sub>1</sub>白云岩透镜体; ⑥向东部更低的斜坡泄水

岩溶盆地为中深埋期压释水岩溶提供了较好的沉积基础, 在岩溶盆地边缘和内部, 压释岩溶作用较强。奥陶系风化壳被上覆石炭、二叠系沉积覆盖后, 古岩溶环境由开放进入封闭体系, 在不断的埋藏和压实过程中产生大量的酸性水, 经初步估算, 山西组 and 太原组泥岩在压释成岩过程中释放出的水量为  $3 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ , 酸性流体通过渗水天窗或不整合面侵入奥陶系风化壳的岩石空间发生压释水岩溶作用, 对碳酸盐岩次生孔隙的形成和演化具有重要作用, 且与天然气运聚成藏密切相关。

东部岩溶盆地背景上沉积的石炭系乃至二叠系山西组的煤系地层厚度大于岩溶斜坡、台地之上的相应地层厚度, 因此产生的压释水量和流体压力也大得多。尽管岩溶盆地部位的溶蚀沟槽不如岩溶斜坡部位的多, 风化壳渗透性也不如岩溶斜坡的好, 但由于岩溶盆地中的谷地切割深度大、长度及宽度大, 因而也发育一些古沟槽。在古沟槽区, 由于水流的侵蚀冲刷, 一般缺失残坡积的铝土岩沉积, 下奥陶统马五<sub>1</sub>主力储层段的孔洞白云岩直接与石炭系砂泥岩接触。大量的酸性压释水通过这些谷地、沟槽等天窗进入奥陶系古风化壳, 使风化壳相对静止的储集环境因水动力的不平衡而产生对流, 促进了埋藏环境下岩溶作用的继续发育(图2)。所以岩溶盆地中压释岩溶的发育程度毫不逊色于岩溶斜坡等古地貌单元。经对岩心的观察后发现, 鄂尔多斯盆地东部的压释水岩溶主要分布于盟5、盟8井—榆林一洲2井—榆12井所围限的近北东、南西向弧形狭长地带, 该区带刚好位于岩溶斜坡和岩溶

盆地转折部位的古谷地的两侧。此外, 酸性压释水还将同期生成的石炭系、二叠系煤成烃带带入奥陶系风化壳储集空间, 弥补了奥陶系碳酸盐岩生烃的不足, 有利于天然气的运聚和成藏<sup>[4]</sup>。

#### 4.2 成岩致密带与储层非均质性及其天然气成藏

一方面, 压释水岩溶作用大大提高了岩溶盆地中残丘和台地靠近古沟槽附近的马五<sub>1</sub>、马五<sub>2</sub>白云岩储集体的孔渗, 构成东部奥陶系风化壳的主要目的气层, 同时还带入了部分烃类。另一方面, 随着埋藏的加深, 温压的升高, 后期压释水的pH值急剧向碱性转化, 使古谷地、古沟槽的两侧附近发生交代充填而强化了成岩封闭能力, 最终因古沟槽沉积物的不断压实与成岩致密带的密切配置, 导致了古地貌——成岩圈闭型气藏的形成。因此盆地东部奥陶系岩溶盆地背景上的风化壳储层有利发育带主要分布于靠近中部岩溶斜坡部位的被古谷地、古沟槽分割的古台地和古残丘。寻找风化壳有利储集体的关键在于恢复岩溶盆地内的三级古地貌单元。

鄂尔多斯盆地东部下奥陶统储层含油气差异性关键在于储层储集条件的非均一性, 原因是基底构造古隆起及凹陷、岩相古地理、成岩作用和古岩溶的综合影响, 其中基底构造古隆起及凹陷是基础, 岩相是条件, 成岩作用是关键, 古岩溶是决定因素<sup>[5]</sup>。主要气藏类型有古地貌(地层)圈闭、古地貌-成岩圈闭两种, 其与风化壳古地貌关系密切, 此外还有成岩透镜体圈闭、构造成岩圈闭等类型。

#### 5 岩溶盆地古地貌的精细刻画

为研究岩溶盆地风化壳储层的非均质性, 有必

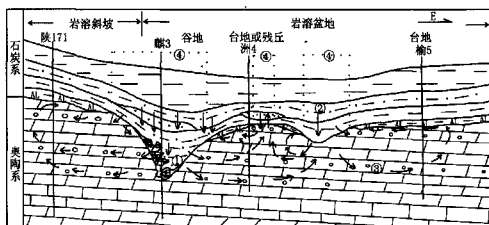


图2 岩溶盆地压释水岩溶模式图(据夏日元等, 1999 修改)

Fig.2 Mode of compaction related released water karst in palaeokarst basin

①跨塌角砾与石炭系沉积物混杂堆积; ②压释水运移方向; ③孔隙发育白云岩; ④潜水天窗

要对古地貌进行细致的恢复。虽然“印模”法在恢复该盆地奥陶系风化壳古地貌的大致格架上经勘探实践证明是有效的, 但不适合东部岩溶盆地的古地貌精细恢复, 这是因为: (1)古地形起伏不大。不同于岩溶斜坡, 岩溶盆地内的高差通常小于 25 m, 因而受石炭系沉积厚度的不均一性和差异压实的影响较大, 古地貌恢复误差大; (2)钻井数较少且分布不均, 并稀或无井区的古地貌恢复难度大。因此必须寻找更为精细而有效的古地貌恢复方法。

侵蚀沟槽地震解释和马五<sub>1+2</sub>地层残余厚度的预测是古地貌预测技术的核心。综合利用地质、钻井、地震及测井手段可以较好地恢复奥陶系风化壳古地貌, 主要是对古沟槽、古台地的识别。对原地震数据加密采样可以提高波阻预测古地貌的效果(图3)。图3显示, 采用古地貌地震解释及测井解释、前石炭系 Tc 等 T0 图3种方法可精细刻画神木—榆林地区奥陶系风化壳古地貌。其中, 测井方法主要用于对古沟槽的识别。此方法是根据石炭系本溪组(C<sub>2</sub>b)地层的充填结构分析古地貌, 即该地层的充填结构间接地反映奥陶系古地貌的特征。

古台地为铝土层直接覆盖在马五<sub>1</sub>白云岩之上, 铝土层在自然伽马曲线的测井响应为单峰状。古沟槽或浅洼有3种充填结构: (1)铝土层+泥岩覆盖在马五白云岩之上, 自然伽马曲线为缓坡形; (2)铝土层+泥岩+砂岩覆盖在马五白云岩之上, 自然伽马曲线为双峰状, 上面的峰为铝土层的测井响应, 下面的谷为砂岩的测井响应。榆16井比较典型, 本溪组(C<sub>2</sub>b)铝土层之下为砂岩, 下伏地层为马五(O<sub>1</sub>m<sub>3</sub><sup>2</sup>)白云岩, 表明榆16井风化壳为古沟槽; 镇川4本溪组铝土层之下砂岩的厚度较大, 达7 m, 下覆地层为马五(O<sub>1</sub>m<sub>3</sub><sup>2</sup>)白云岩,

也表明镇川4井风化壳为古沟槽; (3)铝土层+砂泥岩覆盖在马五白云岩之上, 自然伽马曲线为台阶状, 上面的峰为铝土层的测井响应, 下面的台阶为砂泥岩的测井响应(表1)。根据这4种解释模式, 对盆地东部神木—榆林地区地震剖面的 Tc 进行了精细解释。在前石炭系 Tc 等 T0 图上, 古台地呈 T0 平缓区, 古沟槽呈 T0 下凹的条带或 T0 密集带。据上述3种方法得出的结果编制了鄂尔多斯盆地东部神木—榆林地区奥陶系风化壳古地貌图(图4)。

盆地东部奥陶系古岩溶地貌为具有一定起伏的低洼谷地地形, 包括古台地、古残丘、古浅洼、古沟槽及古谷地, 其中古浅洼和古台地主要分布于岩溶盆地中东部的米脂—子洲一带, 这样的古地貌不

表1 本溪组(C<sub>2</sub>b)充填结构和奥陶系古地貌的关系

Table 1 Relationship between the filling structure of the Benxi Formation (Carboniferous) and palaeogeomorphology of Ordovician

井名	伽马曲线特征	本溪组充填结构	下伏地层	古地貌特征
神3	单峰状	铝土层	马五 <sub>1</sub>	古台地
神7	台阶状	铝土层—砂岩	马五 <sub>2</sub>	古沟槽
神8	单峰状	铝土层	马五 <sub>1</sub>	古台地
米1	单峰状	铝土层	马五 <sub>1</sub>	古台地
米2	双峰状	铝土层—砂岩	马五 <sub>2</sub>	古沟槽
镇川11	单峰状	铝土层	马五 <sub>1</sub>	古台地
鱼1	单峰状	铝土层	马五 <sub>1</sub>	古台地
榆2	台阶状	铝土层—砂岩	马五 <sub>2</sub>	古沟槽
榆9	单峰状	铝土层	马六	古台地
榆13	单峰状	铝土层	马六	古台地
榆16	台阶状	灰岩—铝土层—砂岩	马五 <sub>2</sub>	古沟槽
洲4	单峰状	铝土层	马五 <sub>2</sub>	古台地
洲6	单峰状	铝土层	马六	古台地
寨2	单峰状	铝土层	马五 <sub>1</sub>	古台地

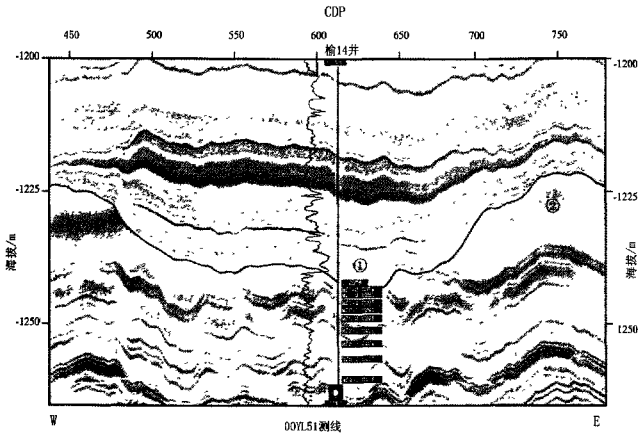


图 3 地震波阻抗剖面上的古台地、古沟槽形态

Fig. 3 Morphological features of the mesa and groove showed on the wave impedance inversion section  
①古台地；②古沟槽

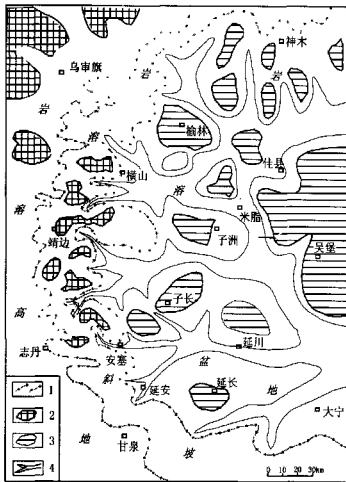


图 4 鄂尔多斯盆地东部奥陶系风化壳古地貌图

Fig. 4 Paleokarst morphology map of Ordovician in eastern Ordos Basin

1. 二级古地貌单元分界线；2. 岩溶斜坡或高地上的古台地；
3. 岩溶盆地上的古台地；4. 古沟槽或浅洼

利于风化壳岩溶和压释水岩溶的发育；而岩溶盆地西南缘、北缘的神木—榆林—横山一带则古台地、台地、残丘、沟槽发育，对溶蚀作用非常有利。通过对岩溶盆地西部古地貌的精细刻画发现，神 3 井到子洲一带存在 2 条主古沟槽和相应的支古沟槽，北部古沟槽较深，可达 20~25 m；南部古沟槽较浅，达 20 m，类似于浅洼；沟槽之间为 4 个古台地即子洲古台地、榆 9 井古台地、榆 12—榆 7 古台地及神 3—神 7 潜台。

### 6 结 论

(1) 与鄂尔多斯盆地中部长庆大气田区相比，盆地东部奥陶系风化壳虽然沉积相带、古地貌条件不利，但由于该区岩溶盆地的特殊性，为深潜流溶蚀带的发育提供了必要的条件，因此也能在总体储集物性差的大背景下找到物性较好的储集体，体现出岩溶盆地碳酸盐岩风化壳储层的非均质性。

(2) 岩溶盆地石炭系沉积厚度大，谷地、沟槽、浅洼发育，在中深埋藏期压释岩溶作用较强，在古台地或残丘的有利层段形成有利储集体，并将上古生界煤系地层生成的烃类带入围集空间，压释岩溶作用晚期在靠近谷地、沟槽、浅洼的古台地边缘形成成岩致密带，对气藏构成封闭。

(3) 鄂尔多斯盆地东部奥陶系岩溶盆地风化壳

天然气勘探的核心问题是寻找储集体。其关键是精细刻画风化壳古地貌寻找残丘或中等规模的台地。

(4)“印模”法不适合东部岩溶盆地的古地貌的精细恢复,综合利用地质、钻井、地震、测井手段可以较好地恢复奥陶系风化壳古地貌,采用古地貌地震解释、测井解释、前石炭系 Te 等 TO 图 3 种方法可以精细刻画神木—榆林地区奥陶系风化壳古地貌。

(5) 古台地靠近古沟槽部位有利于储集体的发育。神木—榆林地区古台地、古沟槽规模适中,马五<sub>1</sub> 地层保存较全,残留有类似中部气田的马五<sub>1</sub>、马五<sub>4</sub> 风化壳主力气层,且谷地、沟槽较多,有利于上古生界气源的下灌。此外该区还有利于马五<sub>5</sub> 白云岩透镜状储集体的发育。综合考虑该区可为盆地东部寻找古地貌气藏的有利目标区之一。

#### 参考文献:

- [1] 姜焯,李宝芳,王绍星.鄂尔多斯陆表海层序地层中的低域沉积[J].现代地质,2001,15(4):425—430.
- [2] 郑聪斌,吕强.鄂尔多斯盆地长庆气田成藏条件及气藏分布规律[J].低渗透油气田,1998,3(1):1—7.
- [3] 夏日元,唐建生,关碧珠,等.鄂尔多斯盆地奥陶系古岩溶地貌及天然气富集特征[J].石油与天然气地质,1999,20(2):133—136.
- [4] 何自新,郑聪斌,陈安守,等.长庆气田奥陶系古沟槽展布及其对气藏的控制[J].石油学报,2001,22(4):35—38.
- [5] 覃建雄,刘焯峰,曾允孚.鄂尔多斯盆地东部下奥陶统碳酸盐岩储层含油气差异性成因探讨[J].石油实验地质,1994,16(3):256—265.

## THE MODE OF PALAEOKARSTIFICATION AND THE FINE RECONSTRUCTION OF THE PALAEOGEOLOGY IN THE KARST BASIN: TAKING ORDOVICIAN KARST IN EASTERN ORDOS BASIN FOR EXAMPLE

BAI Wen-hua<sup>1,2</sup>, Lü Xi-min<sup>3</sup>, LI Xiao-jun<sup>1,2</sup>, WEI Wei<sup>1,2</sup>

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Langfang Branch of Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Langfang, Hebei 065007, China; 3. Northwest Branch of Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Lanzhou, Gansu 730020, China)

**Abstract:** The key problem in the natural gas exploration of Ordovician in the Ordos Basin is to look for the reservoirs. The key techniques are to identify the ancient groove and ancient mesa. There are two reasons that lead this area's karst reservoirs seldom: one reason is the sedimentary faces which are in disadvantage; the other is the place which is palaeokarst basin, so the leather are weak but the filling and precipitation are very strong. The palaeokarst physiognomy characteristics of Ordovician in eastern Ordos Basin are flat and open to the east, which means it is a half-closed karst basin. This is an advantage for the palaeokarst over other whole closed karst basin. This karst basin is divided into 5 types of palaeogeography units: mesa, remnant hillock, karren, groove and shallow depression. Three level leached zones are found, and the third zone is 70—85 m below the karst base level. According to the observed results and the seeping regulation of groundwater, a mode of deep underground current zone and drainage of deep spring is put forward. This new mode provides another kind of possible method about eclipse function for the generation of reservoirs in the karst basin. At the middle-deep buried karst period, the eclipse function of compaction related released water is very strong, which improved the porosity and permeability of the reservoirs, and benefited the taking of the upper Palaeozoic hydrocarbon into the formation and the generation of the traps. By using geological, well, seismic and log data, the fine palaeophysiognomys in Shenmu to Yulin area are reconstructed. The results indicate that the sizes of the ancient mesas are moderate and the grooves are developed in this area. The area from Shenmu to Yulin is the prospective exploration area in eastern Ordos Basin.

**Key words:** palaeokarst; deep underground water current zone; compaction related released water karst; palaeokarst basin; the Ordos Basin