

文章编号: 1000-0550(2013)04-0563-08

鄂尔多斯盆地延安地区奥陶系风化壳古地貌恢复

王高平^{1,2} 王震亮*^{1,2} 赵雪娇² 李彦婧² 王念喜³ 任来义³ 曹红霞³

(1. 大陆动力学国家重点实验室 西北大学; 2. 西北大学 地质学系, 西安 710069;

3 陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院, 西安 710075)

摘要 鄂尔多斯盆地东南部延安地区奥陶系马家沟组顶部发育风化壳岩溶储层, 因古地貌代表了地层沉积和成岩作用的背景, 因而在储层的形成和演化过程中具有重要意义。在区域构造背景和地层展布的基础上, 综合利用残余厚度法和印模法, 并结合铝土岩厚度分布和古沟槽识别结果, 准确恢复出延安地区奥陶系风化壳古地貌分布格局。结果显示, 延安地区西南部表现为古岩溶高地, 中部大部分地区表现为古岩溶斜坡, 东部属岩溶斜坡与岩溶盆地之间的过渡带。古地貌格局和古沟槽的分布影响了储层的形成、发育和天然气的富集。延安地区岩溶古高地、靠近侵蚀古沟槽的斜坡位置含气性较好, 可能与大气水淋滤等因素导致的储层发育程度、物性好坏、不整合面之上盖层的封盖性等因素有关。

关键词 鄂尔多斯盆地 延安地区 古地貌特征 残余厚度法 铝土岩厚度 古沟槽

第一作者简介 王高平 1986年出生 男 硕士研究生 油气运移与成藏 E-mail: xiaosa_zuoyihui@163.com

通讯作者 王震亮 男 教授 E-mail: wangzl@nwu.edu.cn

中图分类号 P512.2 **文献标志码** A

近年来, 随着鄂尔多斯盆地奥陶系古岩溶储层研究的深入, 下古生界天然气勘探实现了较大的突破, 盆地在早奥陶世沉积后受加里东构造运动作用整体抬升, 经历长达 1.5×10^8 a 的风化剥蚀后^[1,2], 盆地中东部奥陶系风化壳古岩溶地貌可划分为岩溶高地、岩溶台地、岩溶盆地 3 种地貌单元^[3], 并可进一步将岩溶高地划分为洼地、平台、斜坡, 将岩溶台地划分为浅洼、缓丘、台坪、沟槽。气藏主要富集在奥陶系顶部的古风化壳内, 靖边气田就位于古地貌的高部位。相对而言, 岩溶斜坡这一古地貌较低部位的天然气藏形成研究较为薄弱。位于鄂尔多斯盆地东南部的延安地区, 在奥陶纪沉积了巨厚的碳酸盐岩, 加里东期的抬升作用, 导致奥陶系顶部岩溶作用强烈, 整体处于古岩溶斜坡背景(图1)。恢复其延安地区下古生界顶部的古地貌形态, 对于认识该地区碳酸盐岩储层特征, 探索其中的天然气藏形成具有重要科学意义。本文基于现今地层展布, 主要利用“残余厚度法”、“印模法”划分出岩溶高地、岩溶斜坡和岩溶沟槽等地貌单元, 并结合测井曲线进行了古沟槽的识别, 恢复出延安地区奥陶系风化壳的古地貌特征。

1 岩性和地层分布

延安地区研究面积约 2.0×10^4 km²。从组成下奥陶统马家沟组顶部碳酸盐岩储层的岩性看, 马六段主要为石灰岩、含云灰岩和白云岩, 马五段主要为白云岩、含灰云岩、石灰岩、含云灰岩和含泥云岩。马家沟组以蒸发潮坪沉积为主, 发育含膏云坪与藻泥云坪微相, 具有含硬石膏斑晶、硬石膏结核的岩石组合, 经古岩溶作用后, 形成了层状分布的溶蚀孔洞, 成为储集空间的主体。在经历了中奥陶世至早石炭世沉积间断后, 于中石炭世又再度接受沉积, 受到岩性、地层、古构造、古水动力场及古地理环境等多种因素的影响, 形成了高低起伏的古岩溶地貌, 进一步影响储层的发育特征^[3]。

鄂尔多斯盆地中东部地区的马家沟组沉积期经历了三次海进—海退旋回, 在纵向上构成了六个岩性段。其中马家沟组一、三、五段以白云岩、硬石膏岩和盐岩为主, 偶夹少量石灰岩, 马家沟组五段为风化壳发育的储层段, 又分为若干个亚段和小层, 马家沟组二、四、六段为石灰岩和白云岩, 在补偿拗陷盆地还有硬石膏岩产出。

①国家自然科学基金“延安地区下古生界碳酸盐岩天然气的成藏过程和机理”(41172122)、陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院(陕研11-8)联合资助
收稿日期: 2012-06-25; 收修改稿日期: 2012-08-27

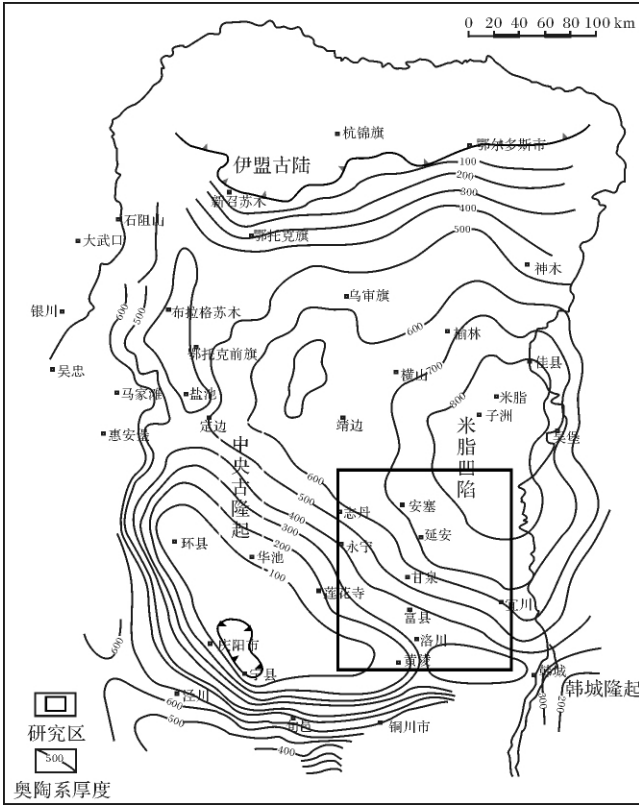


图1 鄂尔多斯盆地早奥陶世的古地理背景与延安地区所在位置

Fig.1 The palaeogeographic settings of Ordos Basin in early Ordovician epoch and the location of Yan'an area

马五段、马六段是本区下古生界勘探的主要目的层,从现今马家沟组残余地层分布看,马六段在延安地区西部及东缘延川等地明显缺失(图2),不整合面下直接出露马五段,而研究区中部、东南部相对较厚(15~20 m),分布在子长、清涧、延长、宜川、甘泉等地,呈南北向展布,说明其沉积后处于较低地貌部位,剥蚀较少。马五段主要为灰色、深灰色粉晶、微晶白云岩,厚70~80 m,自上而下又细分为马五₁、马五₂、马五₃、马五₄等多个亚段,受加里东晚期抬升、剥蚀和溶蚀作用的影响,以顶部的马五₁、马五₂亚段物性最好,是天然气藏的主要储层。天然气勘探结果表明,延安地区内多口井在奥陶系碳酸盐岩存在气测录井显示,含气层所在层位主要为马家沟组马五₁、马五₂和马六段,在8口井试气,获得1万方以上的无阻流量,其中两口井在马五₁达到了日产15~30万方的无阻流量,气层埋深2600~3800 m,气层有效厚度1.5~10.5 m,平均厚度3 m。

从马家沟组顶部地层被剥蚀的程度,也可作为反

映此时古地貌起伏变化的重要指标。因为古地貌相对较高处,地层遭受剥蚀的程度较大;古地貌相对较低处,地层遭受的剥蚀较小。由此分析,早石炭世,延安地区的西南部和东部局部地区古地貌相对较高,受剥蚀程度较大。

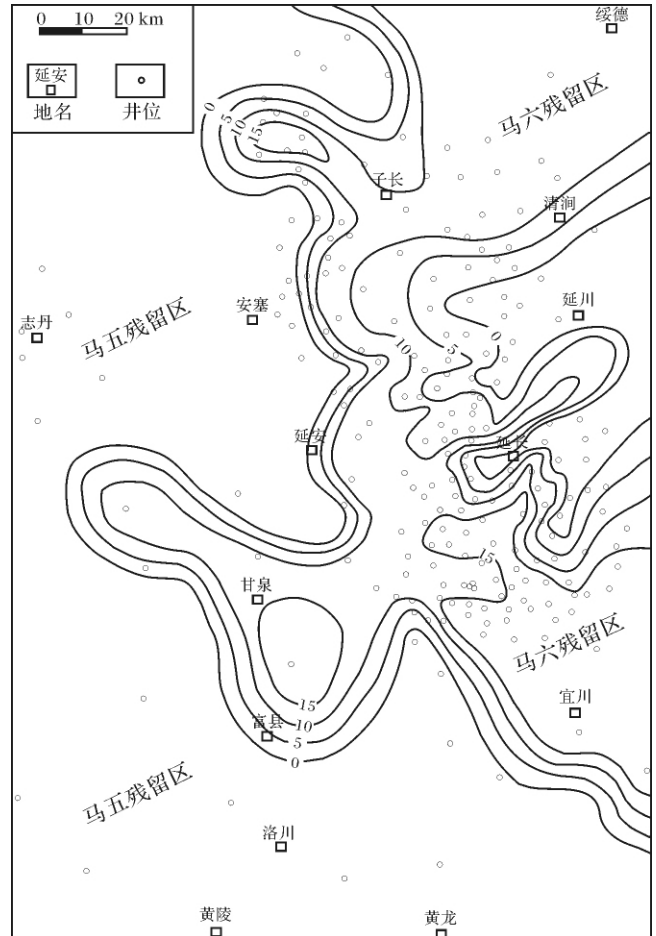


图2 延安地区马家沟组(O_{1m})顶部不整合面下地层出露和马六段残余厚度

Fig.2 The exposed formations below unconformable surface on the top of Majiagou Formation (O_{1m}) and the residual thickness of O_{1m6} bed, Yan'an area

2 古地貌恢复的方法

古地貌恢复对于认识一个地区储层的发育规律,探索天然气成藏因素具有一定的指导意义,也是盆地分析的内容之一。目前常用的方法主要有:残余厚度法、印模法、地球物理法、层序地层法、沉积学方法等,经过优选,在延安探区石炭系前古地貌恢复中采用了“残余厚度法”与“印模法”的组合。

2.1 残余厚度法和印模法

残余厚度法将待恢复地貌结束剥蚀开始上覆地

层沉积时视为一等时面,然后选择沉积地层中某一特殊岩性段为基准面,将其拉平,该面以上残余厚度的大小则代表了古地貌的形态。印模法是利用上覆沉积层中的标志层,然后将其拉平,统计不同钻井上覆沉积层中的标志层面到马家沟组顶剥蚀面的厚度,利用镜像关系将其转化为平面厚度图。两种方法相结合,可共同反映延安地区奥陶系马家沟组顶的古地貌格局。

2.2 等时界面的选取

根据对延安地区构造演化及地质特征的认识,马五₄¹底部经火山灰降落形成的沉凝灰岩层是等时发生的,且大面积地覆盖在本区范围内,故选取马五₄¹底部凝灰岩作为衡量下部等时界面—风化壳的地层残余厚度。风化壳以上本溪组沉积建立在奥陶系顶部的侵蚀、风化地貌基础上,主要以充填物形式沉积在风化面较低的古地貌部位,具“填平补齐”性质,低凹处一般沉积较厚,高地处沉积较薄或缺失,选取区域上分布稳定的8号煤层为等时界面。

2.3 古地貌单元划分的依据

加里东期风化壳的剥蚀程度与风化壳的古地貌状态呈正相关^[4-7],而风化壳古地貌的充填程度则与古地貌状态关系正好相反。因此,可利用不整合面与上、下标志层间的地层厚度对比,作为划分古地貌划分的重要依据(图3)。二者间的这种互补关系主要表现为^[5]:

- ①下薄+上薄:代表继承性隆起或高地,反映了岩溶高地特征。
- ②上厚+下厚:代表继承性坳陷或洼地,反映了岩溶盆地的特征。
- ③下厚+上薄(相对):反映了局部地势相对较高的残丘或台地台缘、残台等三级古地貌单元。

④下薄+上厚(相对):反映了局部下切侵蚀较明显的沟谷,或地势相对较低的阶坪、洼地。

3 延安地区奥陶系古地貌的综合恢复

在延安地区奥陶系风化壳古地貌的恢复过程中,为保证在大量钻井资料基础上,恢复结果的可靠性和准确性,我们主要立足以下三个方面的工作,以便进行多角度分析和对比:(1)奥陶系顶部与其上、下标志层的厚度及其对比;(2)不整合面发育的铝土岩厚度分布与古沟槽的关系;(3)利用测井资料的分布形态识别古沟槽,以保证结果的准确性。

3.1 风化壳上、下地层的分布及其厚度组合关系

图4为延安地区马家沟组顶部风化壳与马五₄¹底部沉凝灰岩、本溪组8号煤层间的地层残余厚度(分别用实线、虚线表示,单位:m),并用左斜线、水平线、右斜线所示阴影区分别表示“上薄+下薄”、“上厚+下厚”、“下薄+上厚”等三种组合关系。由图可见,风化壳至下部标志层间的地层最厚处横亘于研究区中部,从志丹—延安—富县—Y203井,呈“Z”字形大面积分布,其次在延长及其以东小范围存在,厚度均在80m以上。风化壳至上部标志层的地层厚度在中北部安塞—延安、东部的延川、延长两地,厚度均在60m以上。根据二者的组合关系,认为研究区西南角,风化壳到下部标志层的残余厚度<60m,风化壳到上部标志层的厚度<20m,上、下地层组合明显呈“下薄+上薄”组合方式(左斜线阴影区),应为继承性隆起,解释为岩溶高地,区带展布由近南北向逐渐转为北西—南东向。研究区东部风化壳上、下的地层组合为上厚+下厚(水平线阴影区),风化壳到下部标志层残余厚度>80m,风化壳至上部标志层的地层

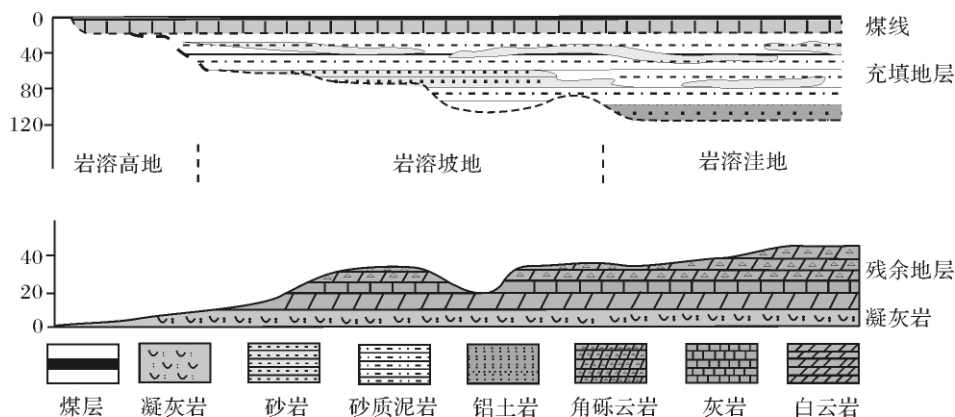


图3 不同古地貌单元间风化壳与上、下标志层间残留厚度的互补关系(据姚泾利等,2011)

Fig.3 The complementary relationship of remnant thickness between weathering crust and upper / lower markers in different palaeogeomorphic units(after Yao Jingli , et al. ,2011)

沉积厚度 > 60 m, 为区域的继承性洼陷, 应为米脂岩溶盆地(本区东北方向)和岩溶斜坡之间的过渡带, 中部延安、甘泉两地也有类似情况, 但测井数据偏少, 初步解释为岩溶斜坡。延安地区其余地区(未填充区)也解释为岩溶斜坡^[6-10]。因此, 根据不整合面上、下地层厚度的分布与量化组合关系, 基本划分出古地貌单元的属性。

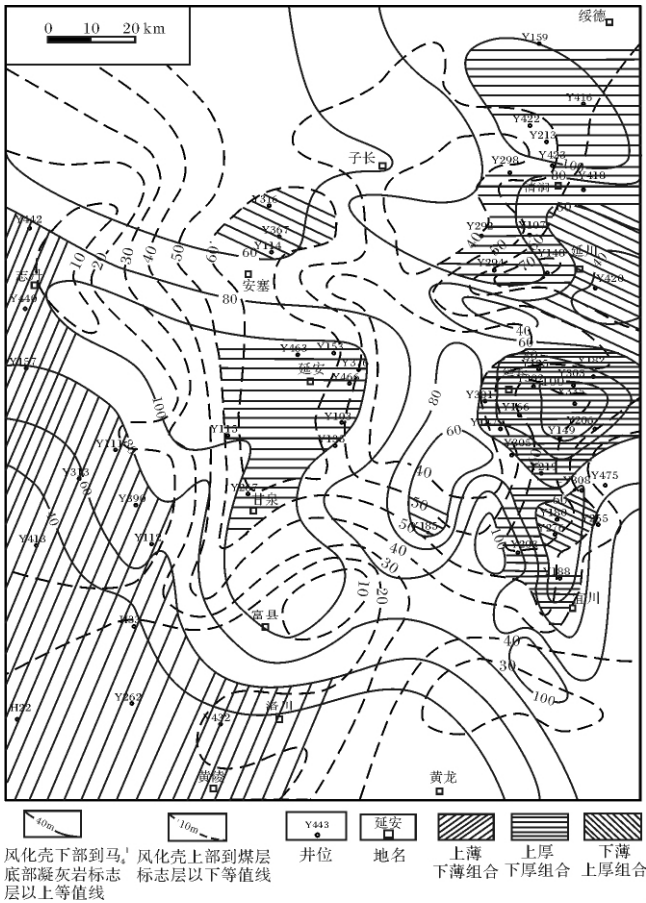


图4 风化壳与上、下部标志层之间的残余厚度叠合
Fig. 4 The superpose of remnant thickness between the weathering crust and upper / lower marker bed.

3.2 铝土岩厚度分布

铝土岩作为风化作用的产物, 较厚处说明其形成前所在的地势比较低, 有利于铝土岩的保存, 在铝土岩厚、薄相间的地带, 较厚处预示着古沟槽发育, 故也可作为划分古地貌单元的参考标志。研究中主要通过测井曲线并结合录井、取心资料来识别铝土岩(图5)。在铝土岩的测井响应表现为: 自然伽马高峰状突起, 声波时差高的锯齿状, 深侧向电阻率极低值(1~5 Ω·m), 密度曲线底部为特高值段, 与奥陶系风化壳岩溶段测井响应的低伽马、低声波时差值、中高电

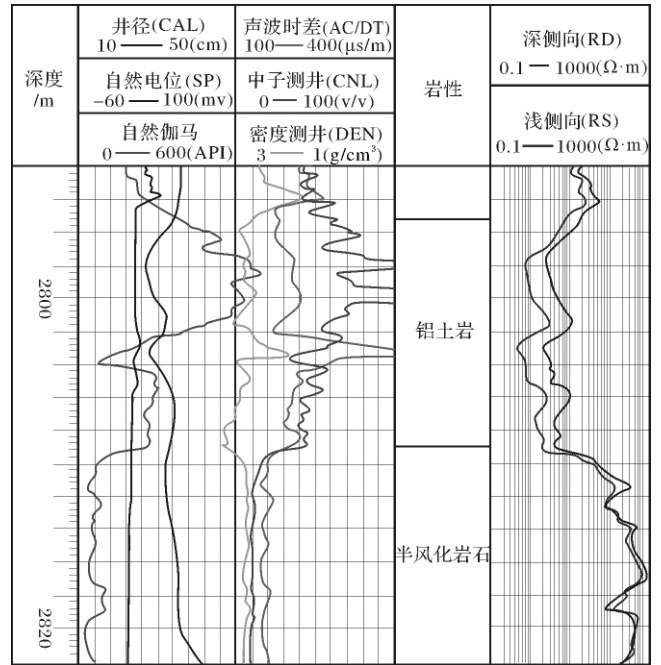


图5 延安地区 Y118 井内铝土岩的测井响应特征
Fig. 5 The logging response characteristics of bauxite in Y118 well, Ya' an area

阻率值、高密度值等特征有明显差别, 易于识别。

据此识别结果, 延安地区 249 口井内马家沟组顶部的铝土岩风化壳 0~13.7 m, 并编制了该地区铝土岩厚度的平面分布图(图6)。由图可见, 延安地区本溪组底部铝土岩的厚度整体上呈现西部薄东部厚的趋势, 说明风化壳形成的背景是西高东低。若以铝土岩厚度 > 6 m, 作为划分古沟槽存在与否的证据考虑, 则延安地区北部呈东西向分布的 Y449—Y398—Y131 井区块、Y353—Y210 井区块、Y422—Y416 井区块(图中方格阴影区), 可作为存在东西向古沟槽的证据。类似的地区还有: 延安地区中部的 Y459—Y366—Y365—Y102—Y318—Y215—Y148—Y107—Y418 井, 延安地区南部的 Y116—Y347—Y424—Y171—Y339—Y311—Y196—Y150—Y305—Y174—Y308—Y470—Y182—Y183 井一带, 均呈现出蜿蜒分布的条带, 能够较好地反映古沟槽的存在。此外, 在 Y269—Y271 井区、Y255—Y184 井区、Y428 井区, 呈零星状分布, 也可作为古沟槽局部发育的证据。研究区西南部局部铝土岩也较厚, 如 Y413—Y433—H33—Y261 井区, 因钻井相对稀少, 推测认为, 可能反映了整体高地势背景下的下切。铝土岩的这一厚度展布将为古岩溶地貌的恢复提供一定的参照^[11-18]。

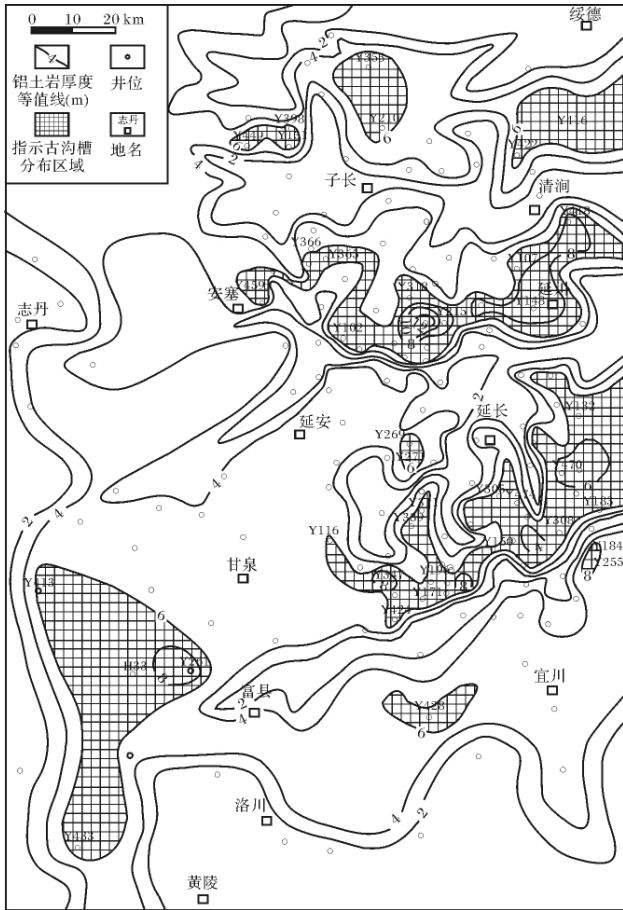


图 6 延安地区本溪组底部的铝土岩厚度分布

Fig. 6 The thickness distribution of bauxite at the bottom of the Benxi Fm (C₂b) in Yan'an area

3.3 古沟槽的测井识别

古沟槽是影响油气勘探和开发效果的重要因素,因岩溶作用的不均匀性,往往在沟槽的溶丘块体上倾向方向,储集性能优越,容易获得高产(何自新,2001)。因而古沟槽的识别成为古地貌恢复中不可或缺的重要工作。

研究中主要利用测井方法识别古沟槽^[9](表 1),此方法的原理是根据本溪组(C₂b)地层的充填结构,根据古台地、古沟槽内铝土岩与马家沟组灰岩或白云岩的组合关系,间接反映奥陶系古地貌的特征。古台地内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,对应三种显示:铝土层+泥岩覆盖在白云岩/灰岩上,自然伽马曲线为缓坡形;铝土层+泥岩+砂岩覆盖在白云岩上,自然伽马曲线呈双峰状;铝土岩+砂泥岩覆盖在白云岩/灰岩上,自然伽马曲线为台阶状^[12]。

延安地区西部、东部局部铝土岩的充填形式,是

直接覆盖在马家沟白云岩/灰岩之上,在测井曲线上识别出单峰状,应为古台地;在中—东部区域,本溪组主要充填结构为铝土岩+泥岩、铝土岩+砂泥岩以及铝土岩+泥岩+砂岩覆盖在马家沟白云岩/灰岩之上,从测井曲线上识别为古沟槽。本次研究中利用 202 口井的测井曲线进行了古沟槽和古台地的识别工作,其中 71 口井具古沟槽特征,131 口井显示古台地特征,部分井的识别结果见表 1。

表 1 延安地区部分井的测井识别古沟槽结果

Table 1 The identifying results of the ancient erosion grooves by way of logging curves from some wells in Yan'an area

井名	伽马曲线特征	本溪组充填结构	下伏地层	古地貌特征
Y107	台阶状	铝土岩	马五 ₁	古台地
Y118	台阶状	铝土岩	马五 ₁	古台地
Y250	台阶状	铝土岩	马五 ₁	古台地
Y283	台阶状	铝土岩	马六	古台地
Y147	台阶状	铝土岩	马六	古台地
Y346	台阶状	铝土岩	马六	古台地
Y459	台阶状	灰岩+铝土岩	马五 ₁	古沟槽
Y459	台阶状	灰岩+铝土岩	马六	古沟槽
Y466	台阶状	铝土岩	马五 ₁	古沟槽
Y162	双峰状	铝土岩+砂岩	马六	古沟槽
Y424	双峰状	铝土岩+砂岩	马五 ₁	古沟槽
Y293	双峰状	铝土岩+砂岩	马五 ₁	古沟槽
Y334	双峰状	灰岩+铝土岩	马六	古沟槽
Y116	单峰状	铝土岩+砂岩	马六	古沟槽
Y121	单峰状	铝土岩+泥岩	马五 ₁	古沟槽
Y126	单峰状	铝土岩	马六	古台地
Y159	单峰状	铝土岩	马六	古台地
Y168	单峰状	铝土岩	马五 ₁	古台地
Y175	单峰状	铝土岩	马六	古台地
Y177	单峰状	铝土岩	马六	古台地
Y221	单峰状	铝土岩	马六	古台地

图 7 是根据 202 口井的测井曲线特征识别出的延安地区古沟槽、古台地平面分布。由图可见,古沟槽主要分布在延安地区的东部地区,自北向南,第一条古沟槽分布受 Y449—Y395—Y131—Y353—Y210—Y422—Y416 等井控制,第二条古沟槽带由 Y316—Y133—Y366—Y459—Y318—Y293—Y390—Y466—Y389—Y297—Y148 等井控制,两个分支在 Y148 井东北方向汇合呈一条较大的沟槽,第三条古沟槽位于 Y424—Y171—Y331—Y338—Y121—Y471—Y178—Y334—Y182 井一线,第四条古沟槽位于研究区东南部,规模较小,主要由 Y224 井控制;其余地区则显示为古台地分布范围。

前人对盆地南部的古沟槽识别和研究受控制并

侧向和上倾泥质充填封堵性能比较好。

5 结论

(1) 采用残余厚度和补偿厚度印模法,并结合铝土岩厚度分布和古沟槽识别结果,恢复出延安地区奥陶系风化壳古地貌形态。延安地区西南部表现为岩溶高地,中部大部分地区表现为岩溶斜坡,东部属岩溶斜坡与岩溶盆地之间的过渡带。

(2) 从古地貌图可以看出,延安地区受鄂尔多斯盆地整体构造背景的影响,石炭纪构造面貌成像出西南高、东北低的整体趋势,造成了奥陶系风化壳古岩溶地貌格局。

(3) 古地貌格局和古沟槽的分布影响了储层的形成、发育和天然气的富集。延安地区岩溶古高地、靠近侵蚀古沟槽的斜坡位置含气性较好,可能与大气水的风化淋滤导致的储层发育程度、物性好坏、盖层的封堵性能等因素有关。

参考文献 (References)

- 戴金星. 国家“八五”天然气科技攻关丰硕成果梗概[J]. 天然气工业, 1996, 16(5): 1-5 [Dai Jinxing. Country "85" natural gas fruitful scientific and technological outline. Natural Gas Industry, 1996, 16(5): 1-5]
- 杨俊杰. 陕甘宁盆地中古生界天然气的发现[J]. 天然气工业, 1991, 11(2): 1-6 [Yang Junjie. The Lower Paleozoic in the in Shannan Basin natural gas discovery. Gas Industry, 1991, 11(2): 1-6]
- 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 [Xia Riyuan, Tang Jiansheng, Guan Bizhu, et al. Ordovician palaeokarst landform in Ordos basin and gas enrichment characteristics [J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20: 133-136]
- 姚泾利, 王兰萍, 张庆, 等. 鄂尔多斯盆地南部奥陶系古岩溶发育控制因素及展布[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(1): 56-65 [Yao Jingli, Wang Lan-ping, Zhang Qing, et al. Controlling Factor and Distribution of Paleo-karst Development in Ordovician of Southern Ordos Basin. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(1): 56-65]
- 何自新, 黄道军, 郑聪斌, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系古地貌、古沟槽模式的修正及其地质意义[J]. 海相油气地质, 2006, 11(2): 25-28 [He Zixin, Huang Daojun, Zheng Congbin, et al. Modification and Geology Implication of Ordovician Paleogeomorphology and Paleogeosyncline Distribution Models in Ordos Basin [J]. Marine Petroleum & Gas Geology, 2006, 11(2): 25-28]
- 侯方浩, 方少仙, 董兆雄, 等. 鄂尔多斯盆地中奥陶统马家沟组沉积环境与岩相发育特征[J]. 沉积学报, 2003, 21(1): 106-112 [Hou Fanghao, Fang Shaoxian, Dong Zhaoxiong, et al. The Developmental Characters of Sedimentary Environments and Lithofacies of Middle Ordovician Majiagou Formation in Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(1): 106-112]
- 李道燧, 张宗林, 徐晓蓉, 等. 鄂尔多斯盆地中部古地貌与构造对气藏的控制作用[J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(3): 9-15 [Li Daosui, Zhang Zonglin, Xu Xiaorong, et al. Palaeogeomorphology and structure control of the gas reservoir in the middle part of Ordos Basin [J]. Petroleum Exploration & Development, 1994, 21(3): 9-15]
- 郝蜀民, 司建平, 许万年. 鄂尔多斯盆地北部古生代岩溶及有利油气勘探区块预测[J]. 中国岩溶, 1994, 13(2): 176-187 [Hao Shumin, Si Jianping, Xu Wannian. Aleozoic karst and prediction of prospective sites for petroleum exploration in north Erdos basin. Casologica, 1994, 13(2): 176-187]
- 解国爱, 张庆龙, 郭令智, 等. 鄂尔多斯盆地西缘与南缘古生代前陆盆地及中央古隆起成因与油气分布[J]. 石油学报, 2003, 24(2): 18-23 [Jie Guoai, Zhang Qinglong, Guo Lingzhi, et al. Western Ordos Basin and the southern margin of Paleozoic foreland basin and the central ancient uplift causes of oil and gas distribution [J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(2): 18-23]
- 何自新, 郑聪斌, 陈安宁, 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 [He Zixin, Zheng Congbin, Chen Anning, et al. Distributive configuration of ancient valley-trough on Ordovician erosion surface in changqing gas field and its control over gas accumulations [J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(4): 35-38]
- 刘拴钧, 黄杰, 王根久, 等. 碳酸盐岩潜山油藏古地貌及剩余油分布关系[J]. 石油学报, 1999, 20(2): 39-44 [Liu Shuanju, Huang Jie, Wang Genjiu, et al. Carbonate rock buried hill reservoir in palaeogeomorphology and remaining oil distribution relationship [J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20(2): 39-44]
- 拜文华, 吕锡敏, 李小军, 等. 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[J]. 现代地质, 2002, 16(3): 292-298 [Bai Wenhua, Lv Ximin, Li Xiaojun, et al. The mode of palaeokarstification and the fine reconstruction of the palaeogeomorphology in the karst basin: Taking Ordovician karst in eastern Ordos basin for example [J]. Modern Geology, 2002, 16(3): 292-298]
- 邹新宁, 孙卫, 张盟勃, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系侵蚀沟谷顶面形态识别[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2006, 36(4): 610-614 [Zou Xinning, Sun Wei, Zhang Mengbo, et al. Recognition of eroded channel-valle and toop fluctuant configuration for Ordovician in Ordos Basin [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2006, 36(4): 610-614]
- 宁宁, 陈孟晋, 孙粉锦, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系风化壳古油藏的确定及其意义[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 280-286 [Ning Ning, Chen Mengjin, Sun Fenjin, et al. Determination and its significance of ancient oil pools in Ordovician weathering crust, Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(2): 280-286]
- 郑聪斌, 冀小琳. 陕甘宁盆地中部奥陶系风化壳储层特征[J]. 天然气工业, 1993, 13(5): 280-290 [Zheng Congbin, Ji Xiaolin. Ordovician weathering crust reservoir characteristics in the middle of Shaanxi-Gansu-Ningxia Basin. [J]. Natural Gas Industry. 1993. 13(5): 280-290]

- 16 朱静,李文厚,韩永林,等. 陇东地区前侏罗纪古地貌及油藏成藏规律研究[J]. 沉积学报, 2010, 28(6): 1229-1237 [Zhu Jing, Li Wenhou, Han Yonglin, *et al.*. Research on Palaeogeomorphic Features of Pre-Jurassic and Accumulation Regularity of Oil Reservoir in the Area of Eastern Gansu, Ordos Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(6): 1229-1237]
- 17 顾岱鸿,代金友,兰朝利,等. 靖边气田沟槽高精度综合识别技术[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(1): 60-64 [Gu Daihong, Dai Jinyou, Lan Chaoli *et al.*. High-precision integrative recognition technology for flutings in Jingbian Gasfield, Ordos Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2007, 34(1): 60-64]
- 18 杨华,黄道军,郑聪斌,等. 鄂尔多斯盆地中奥陶系岩溶古地貌气藏特征及勘探进展[J]. 中国石油勘探, 2006, 11(3): 1-5 [Yang Hua, Huang Daojun, Zheng Congbin, *et al.*. Characteristics of gas reservoir and exploration achievement for Ordovician paleokarst landform in Ordos Basin [J]. *China Petroleum Exploration*, 2006, 11(3): 1-5]

Palaeogeomorphology Restoring of Ordovician weathering crust in Yan'an area, Ordos Basin

Wang Gao-ping^{1,2} Wang Zhen-liang^{1,2} Zhao Xue-jiao² Li Yan-jing²
Wang Nian-xi³ Ren Lai-yi³ Cao Hong-xia³

(1. State key laboratory of Continental Dynamics (Northwest University), Xi'an 710069;

2. Department of Geology Northwest University, Xi'an 710069;

3. Institute of Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co. Ltd.; Xi'an 710075)

Abstract: The karst reservoir rock of Ordovician weathering crust is developed on the top of Majiagou Formation, Ordovician system, in Yan'an area, southeastern Ordos Basin. Because of the palaeogeomorphology stand for background of sedimentation and diagenesis in formations, so it is important in formation and evolutionary process of reservoir rocks. On the basis of regional tectonic setting and formation distribution, utilizing comprehensively "methods of residual thickness" and "methods of moulage", combining with thickness distribution of bauxite and identifying results of ancient erosion grooves, the spatial pattern of palaeogeomorphic features from Ordovician weathering crust in Yan'an area is restored correctly. It is showed from the results that it displays for karst highland in southwest, mostly of karst slope in middle parts, and intermediate zone between karst slope and karst basin in east of Yan'an area. The formation and development of reservoir rocks and accumulation of gas are influenced by the spatial pattern of palaeogeomorphic features and distribution of ancient erosion grooves. There are better gas display in karst paleo-highland, as well as in slope adjacent to eroded ancient erosion grooves, responsible for development degree of reservoir rock, physical property and sealing nature of caprock upon unconformity surface, caused probably by leaching of meteoric water.

Key words: Ordos Basin; Yan'an area; palaeogeomorphic feature; the method of remnant thickness; thickness of bauxite; ancient erosion groove