

鄂尔多斯盆地南部下古生界岩溶古地貌及储层研究

高纪杨^{1,2}, 高胜利^{1,2}, 曹红霞³

¹西安石油大学地球科学与工程学院, 陕西 西安

²西安石油大学陕西省油气成藏地质学重点实验室, 陕西 西安

³陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院, 陕西 西安

收稿日期: 2024年1月22日; 录用日期: 2024年3月12日; 发布日期: 2024年3月19日

摘要

鄂尔多斯盆地地下古生界马家沟组主要以海相碳酸盐岩沉积为主。马家沟组上段地层受到风化剥蚀的影响, 古沟槽发育, 形成“台中有沟, 沟前有河”的古风化壳分布格局。延长探区马家沟组出露的地层主要有马六和马五₁, 马六地层局部存在, 受剥蚀影响, 地层厚度变化较大; 马五上段的地层发育受古沟槽发育的影响, 使得在沟槽中, 大多缺失马五₁段地层。探区内以古岩溶台地、古岩溶斜坡和古岩溶盆地为主, 局部存在岩溶残丘, 发育两条近东西向的主要古沟槽和一条南西-北东向的次要古沟槽, 探区东部主要发育岩溶盆地, 古岩溶斜坡以北西-南东向展布。尽管受目前勘探范围所限, 但周边古岩溶盆地内微隆起部位储层的发现, 预示着本区岩溶盆地内部的微地貌特征也是今后一个值得关注的对象。

关键词

岩溶古地貌, 延长探区, 下古生界, 碳酸盐岩, 有利目标区

The Study of Karstic Ancient Landforms and Reservoirs in the Lower Paleozoic of Southern Erdos Basin

Jiyang Gao^{1,2}, Shengli Gao^{1,2}, Hongxia Cao³

¹School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Petroleum University, Xi'an Shaanxi

²Shaanxi Key Laboratory of Petroleum and Gas Reservoir Geology, Xi'an Petroleum University, Xi'an Shaanxi

³Research Institute of Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

Received: Jan. 22nd, 2024; accepted: Mar. 12th, 2024; published: Mar. 19th, 2024

Abstract

The Lower Paleozoic Magmachu Formation in the Erdos Basin is mainly composed of marine carbonate rocks. The upper strata of the Magmachu Formation are affected by weathering and erosion, and the ancient troughs develop, forming a distribution pattern of “platforms with trenches and rivers in front of the trenches” in the ancient weathered crust. The exposed strata of the Magmachu Formation in the Changyan exploration area mainly include the Maliu and Mawu1 layers. The Maliu strata exist locally and are affected by erosion, resulting in significant changes in strata thickness. The development of the upper strata of the Mawu Formation is affected by the development of ancient troughs, so that in the troughs, most of the Mawu1 strata are missing. The exploration area is mainly dominated by ancient karst platforms, karst slopes, and karst basins, with local karst residual hills. There are two main ancient troughs with a nearly east-west orientation and one secondary ancient trough with a south-west-north-east orientation. The eastern part of the exploration area is mainly developed as karst basins, and the karst slopes are distributed in a north-west-south-east direction. Although limited by the current exploration scope, the discovery of reservoirs in the micro-uplift areas within the surrounding ancient karst basins indicates that the micro-geomorphological characteristics within the karst basins in this area are also an object worthy of attention in the future.

Keywords

Ancient Karst Geomorphology, Changyan Exploration Area, Lower Paleozoic, Carbonate Rocks, Favorable Target Area

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

鄂尔多斯盆地是我国第二大沉积盆地，总面积 $37 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，盆地古生界蕴藏着丰富的天然气资源，构造活动稳定，下古生界发育广泛分布、厚度较大的碳酸盐岩，白云岩化普遍，古岩溶作用强烈，膏岩层分布面积大，有一定规模的台地边缘相带发育，具备较好的成藏条件[1]。受地层分布、岩性、古构造、古地理环境及古水动力场等多种因素制约，形成了形态多样的古岩溶地貌形态，导致空间上(平面、剖面)岩溶作用的差异，并影响储层储集性质。不同期次古岩溶的叠加发育，为古地貌圈闭的形成奠定了基础，控制着碳酸盐岩储层的形成和分布。

本文根据实际情况，在比较丰富的钻井分层数据基础上，结合最新的地震及测井资料，选择“残余厚度法”+“印模法”组合，采用其各自的优点，综合恢复研究区古岩溶地貌单元。因此，古岩溶作用的发育部位及性质和岩溶台地内被岩溶水流侵蚀切割而成的沟槽展布是决定目前气田天然气富集分布的重要因素。

2. 区域地质概况

鄂尔多斯盆地位于华北台地的西部，地跨陕、甘、宁、蒙、晋五省区，地理位置处于东经 $106^{\circ}20' \sim 110^{\circ}30'$ ，北纬 $35^{\circ} \sim 40^{\circ}30'$ ，是一个矩形构造盆地。盆地四周均以构造断裂与周围构造单元相邻，东部以离石断裂带与吕梁山隆起带相接，南面与渭河地堑的北界断裂相邻，西缘则以桌子山、惠安堡-沙井子断裂带分别

与河套弧形构造带西南翼和六盘山弧形构造带东翼相接，北界为河套地堑南缘断裂。南北长 700 km，东西宽 400 km，总面积 25 万 km²，由六个构造单元组成(见图 1)。

鄂尔多斯盆地具有多旋回叠合发育的特点，因多次抬升，形成了加里东、印支和燕山等侵蚀界面。特别是下古生界海相碳酸盐岩的沉积和加里东期不整合侵蚀面的形成，为古岩溶的发育及天然气的运聚成藏奠定了区域地质背景[2] [3]。

鄂尔多斯盆地构造区划及油气田位置图

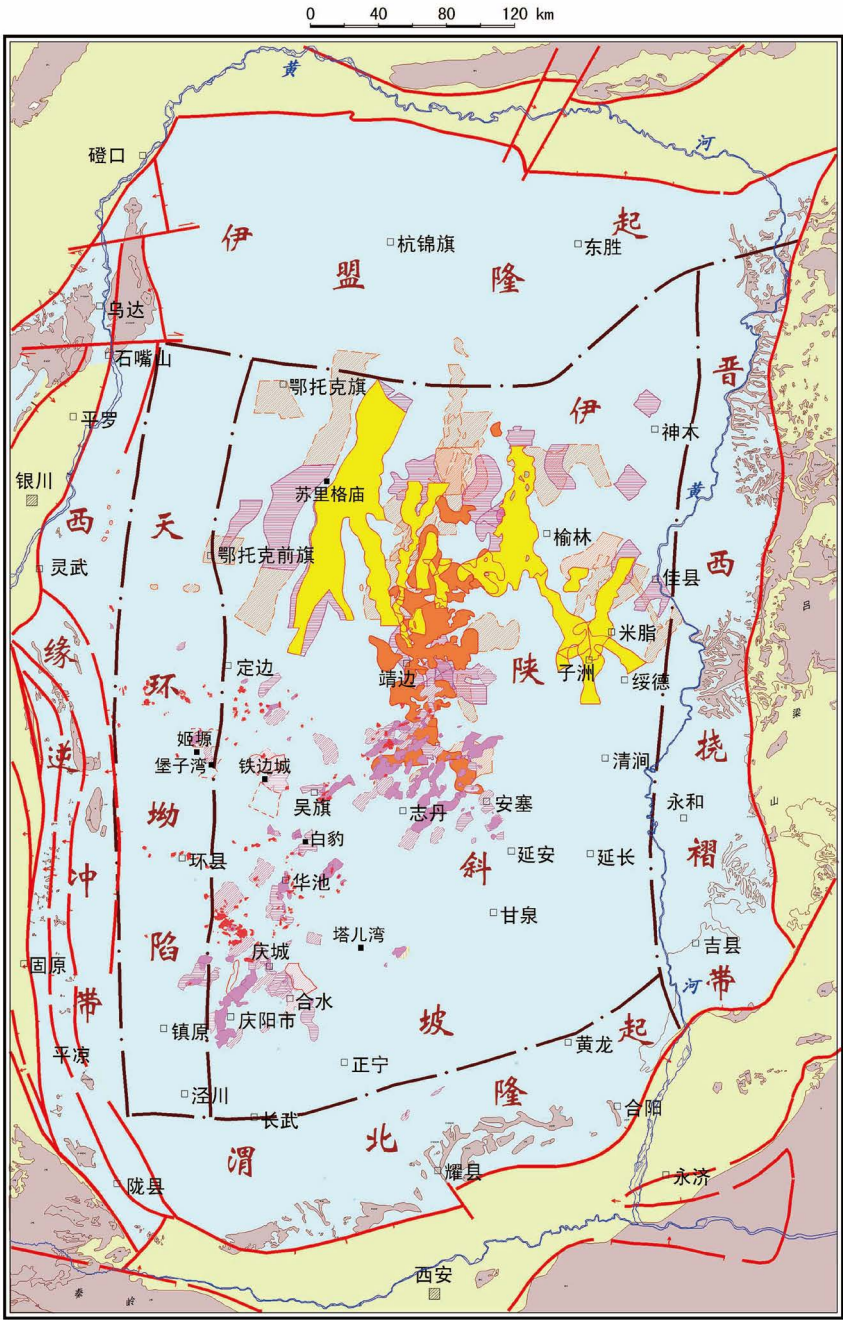


Figure 1. Tectonic zoning and oil-gas field location map of Ordos Basin
图 1. 鄂尔多斯盆地构造区划及油气田位置图

3. 岩溶古地貌的恢复

3.1. 古岩溶地貌恢复基本路线

古地貌恢复是研究古岩溶地貌的关键，在基础地质资料分析的基础上，统计相关基础数据，采用“残余厚度法 + 印模法”对古地貌加以恢复，并与相关测井地震相结合，最终完成古地貌格局划分，具体采用的研究路线如下[4] (见图 2):

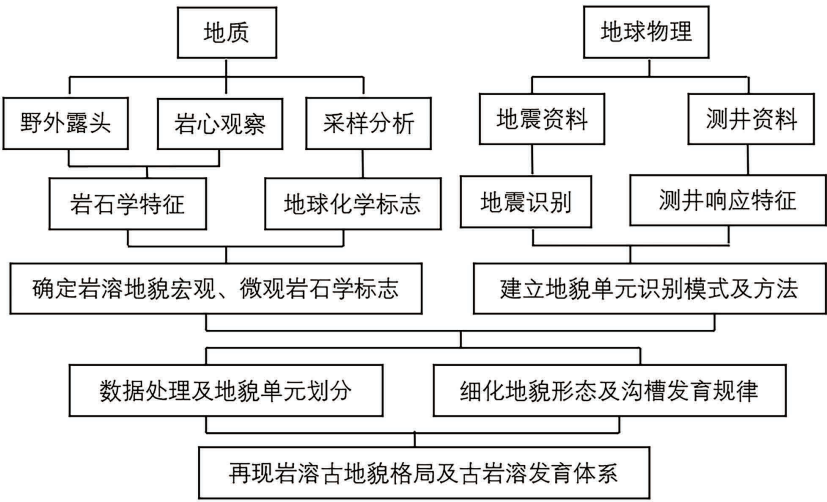


Figure 2. Basic route of restoration of ancient karst landform
图 2. 古岩溶地貌恢复基本路线

3.2. 古地貌恢复

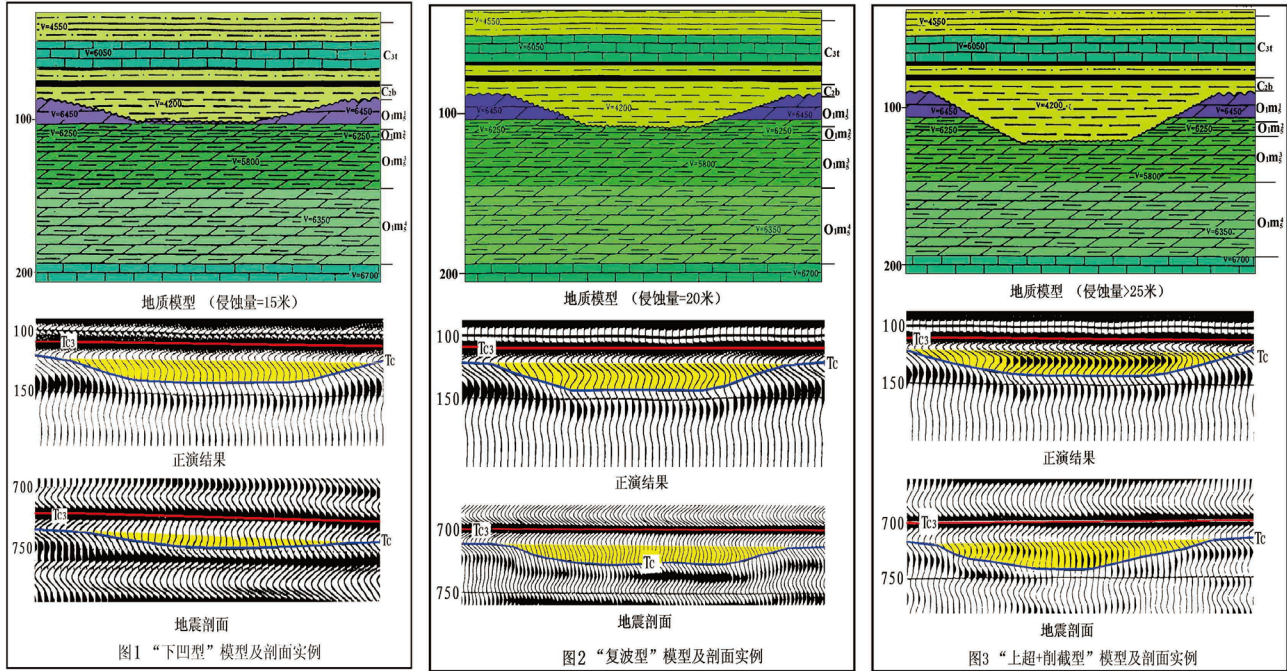


Figure 3. Ancient trench erosion model
图 3. 古沟槽侵蚀模型

残余地层厚度参数是古地貌恢复研究中最基础的参数，反映了沉积盆地在经受长期地质历史后，现今残留下来的地层厚度分布特征。残留地层的展布和厚度变化，主要受奥陶系沉积末古地貌与差异风化侵蚀作用的控制[5]。该方法视待恢复地貌结束剥蚀开始上覆地层沉积时为一等时面，然后选择沉积地层中某一特殊层段为基准面，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。具体做法为：首先在上覆地层中选择一个对剥蚀地貌有填平补齐性质的地层作为基准面，由于本溪-太原组沉积基础为加里东期奥陶系侵蚀风化地貌，地层主要以充填物形式沉积在风化面较低凹的古地貌部位。该组沉积具填平补齐性质，沉积厚度主要受古地貌控制，低凹处一般沉积较厚，高地部位沉积较薄或缺失，本次研究选取区域上分布稳定的8号煤层为基准面，将该基准面拉平，然后度量全区不同钻井基准面到马家沟组顶剥蚀面的厚度，并将其转化为平面厚度等值图，同时参考了区域研究成果，勾绘出延长探区奥陶系马家沟组古地貌图。

应用地震解释模型，结合钻井资料进行了沟槽的识别和厘定，前人研究主要有：古沟槽侵蚀模型(见图3)以及古构造洼地模型[6][7](见图4)。当奥陶系残余厚度较大而上覆石炭系充填沉积厚度较薄时，为相对岩溶高地形；当奥陶系残余厚度较小而上覆石炭系充填沉积厚度较大时，说明古地表侵蚀作用较强，为相对岩溶负地形；当下奥陶统马五段地层保存较全，残余厚度较大，而上覆石炭系充填沉积厚度比周围有明显增厚时，表明该区处于古构造低部位；当下奥陶统马五段地层不全，残余厚度较小，而上覆石炭系充填沉积厚度亦较小时，表明该区处于古构造高部位；侵蚀沟槽发育部位，上覆石炭系底部铝土岩因沟槽中的水流侵蚀而缺失，以砂、泥岩充填沉积为特征，一般垂直岩溶带不发育，水平岩溶带厚度减薄[8]。

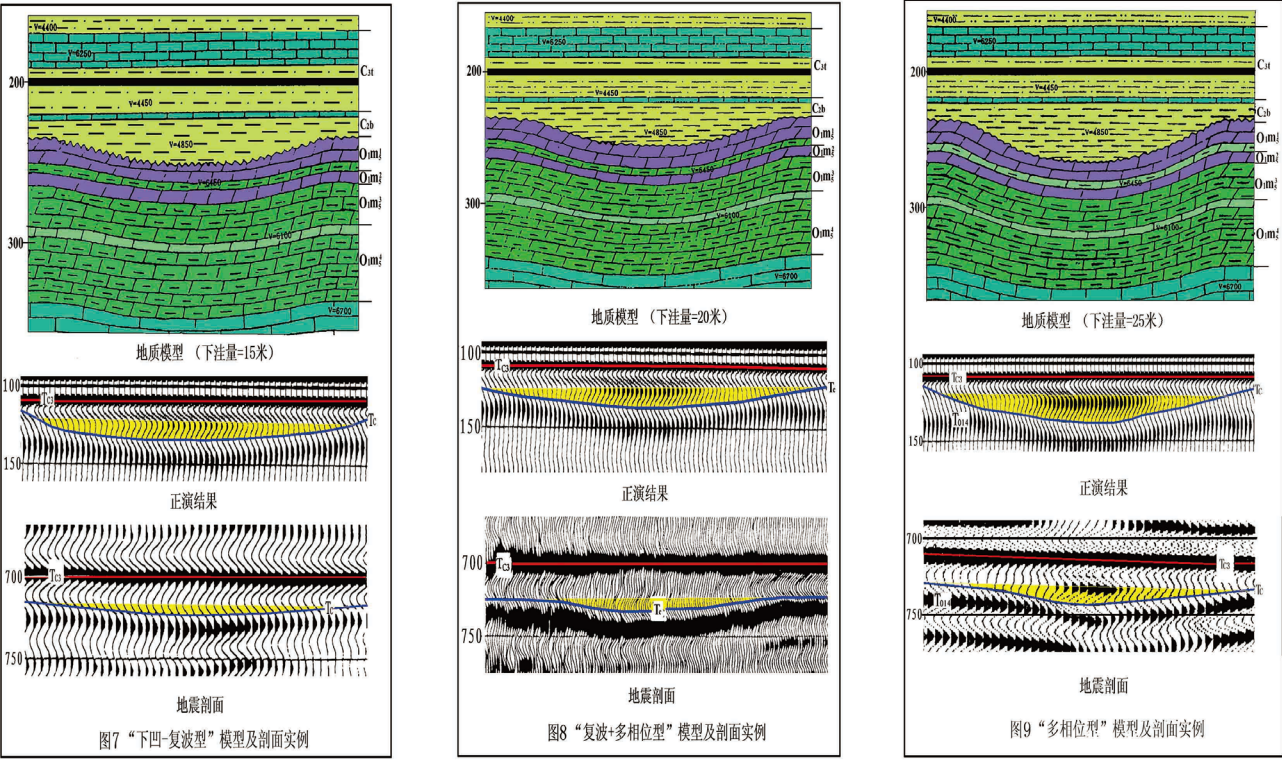


Figure 4. Palaeotectonic depression model
图 4. 古构造洼地模型

3.3. 区域古地貌发育特征

鄂尔多斯盆地前石炭纪岩溶古地貌图

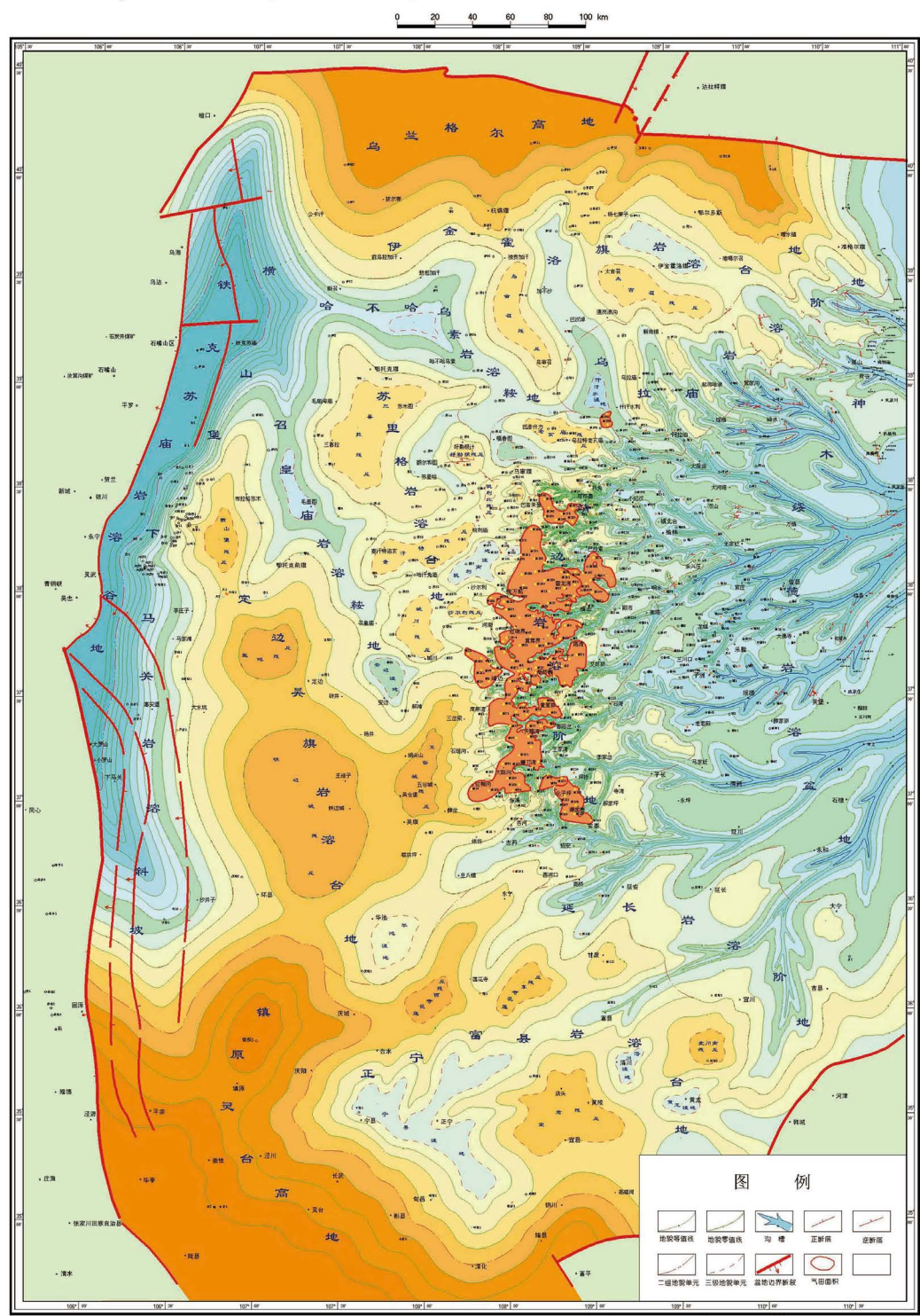


Figure 5. Pre-carboniferous karst paleogeomorphological map of the basin
图 5. 盆地前石炭纪岩溶古地貌图

盆地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。依据印模法和残厚法,通过对古风化壳上下地层对应关系的分析,可进行古地貌识别。中晚石炭世沉积的初期首先是对基底填平补齐,形成了 3~15 m 厚的残积铝土岩系;本溪组(C2b)主要沉积于盆地东部和西部的汇水区及侵蚀区,盆地中部则缺乏该组沉积。该组的特点表现为厚度相对变化大,分布具有一定不连续性。上石炭统(P1t)沉积分布广泛,厚度小而稳定。中晚石炭纪沉积总厚度小于 150 m,整体与风化壳古侵蚀面呈镜像关系。虽然由于其厚度不同在成岩过程中会产生一定差异性压实,但由于整体厚度小,差异误差在数米以内,故利用石炭系标志层在区域上的展布特征及其厚度变化来分析区域性的古地貌形态是可行的[9]。

岩心实测结果分析和测井解释成果均显示,探区马家沟组白云岩储层孔隙度低,物性差,多属于特低孔、特低渗的差储层。探区构造平缓、相邻井层位厚度稳定,沉积具有一定的连续性和继承性,而含气储层横、纵向厚度变化较大、连续性差,气藏的形成明显受不整合面沟槽地貌的控制,在靠近侵蚀沟槽的斜坡位置含气性能明显变好,侧向和上倾封堵取决于不整合面上存在泥质充填的古岩溶沟槽分布。因此寻找有利区带时主要考虑侵蚀斜坡区的有利部位。

靖边气田勘探经验和气藏地质特征也已表明,奥陶系马家沟组储层发育程度和成藏条件主要受古岩溶地貌控制,其顶面起伏形态对气田储层物性及产能有明显的影响作用。因此,精细准确识别奥陶系顶面起伏形态与分布特征,恢复古地貌格局,有效解释侵蚀沟谷,是进行有利储层展布与含气性预测的基础[10]。

古岩溶是指在可溶性岩石地区,在地下水和地表水的化学过程(溶解和沉淀)和物理过程(流水的侵蚀、重力崩塌和堆积、充填)的共同作用下,对可溶性岩石的破坏和改造作用,及其形成的水文现象和地貌现象。而古岩溶则是指地质历史中的岩溶,它通常被年轻的沉积物或沉积岩所覆盖(James & Choquette, 1988)。加里东运动后,在奥陶系沉积后发生了一亿四千万年的风化剥蚀淋滤,在西高东低的古地貌背景上,形成了具有古岩溶地貌特征,即侵蚀潜台、侵蚀斜坡、侵蚀谷底三种地貌单元,侵蚀谷自西向东变低变宽。岩溶与成岩作用匹配,造就了一系列以溶孔、溶洞、微裂缝相互沟通的储集空间网络,天然气主要聚集在风化壳中由古岩溶作用形成的储集空间中(见图 5)。

前人研究表明,鄂尔多斯盆地奥陶系存在多种多样的古岩溶成因类型:将古岩溶作用分为表生和埋藏两大时期,其中表生期古岩溶包括早表生期层间岩溶和裸露期风化壳岩溶两种类型;埋藏期古岩溶包括压释水岩溶和热水岩溶两种类型。

不同期次古岩溶的叠加发育,为古地貌圈闭的形成奠定了基础,控制着碳酸盐岩储层的形成和分布。因此,古岩溶作用的发育部位及性质和岩溶台地内被岩溶水流侵蚀切割而成的沟槽展布是决定目前气田天然气富集分布的重要因素。

3.4. 探区古地貌特征

本次研究在进行古岩溶地貌类型划分的基础上,分析了各类型区地貌特征及其对岩溶发育的影响。古岩溶地貌类型划分的依据:① 选取区域上分布稳定的奥陶系风化壳上覆地层石炭系 8 号煤层为基准面,并统计此基准面至马家沟组顶部的厚度,研究其分布趋势;② 研究前石炭系地层展布趋势;③ 分析古水流特征;④ 风化壳表面侵蚀、溶蚀特征及沉积物性质。通过对马家沟组顶至本溪组 8 号煤层的厚度统计,制作了古地势图(见图 6、图 7),并通过单井解剖和剖面对比,从点到面分析岩溶地貌特征和古沟槽展布趋势,从而判断出岩溶古地貌的正地形、负地形、古构造高地、古沟槽发育位置等(见图 8、图 9)。

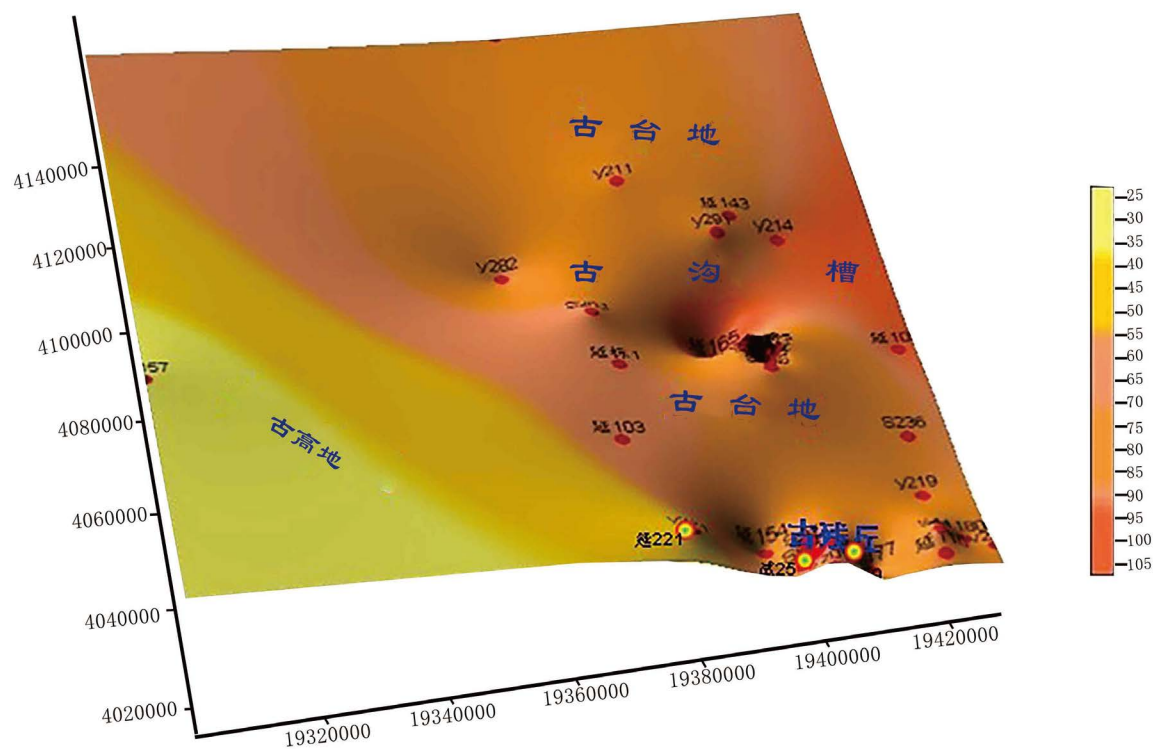


Figure 6. Top paleotopographic map of Majiagou Formation in Yanchang exploration area
图 6. 延长探区马家沟组顶古地势图

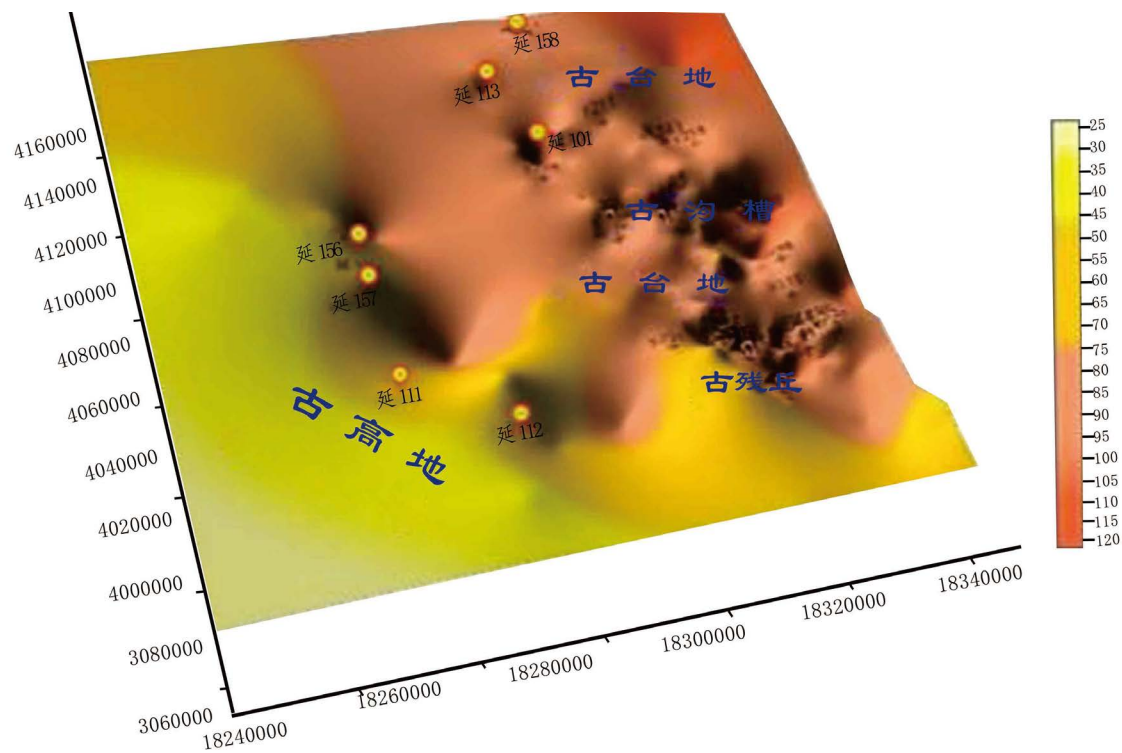


Figure 7. Mapping paleotopographic map of Majiagou Formation in Yanchang exploration area
图 7. 延长探区马家沟组马五顶古地势图

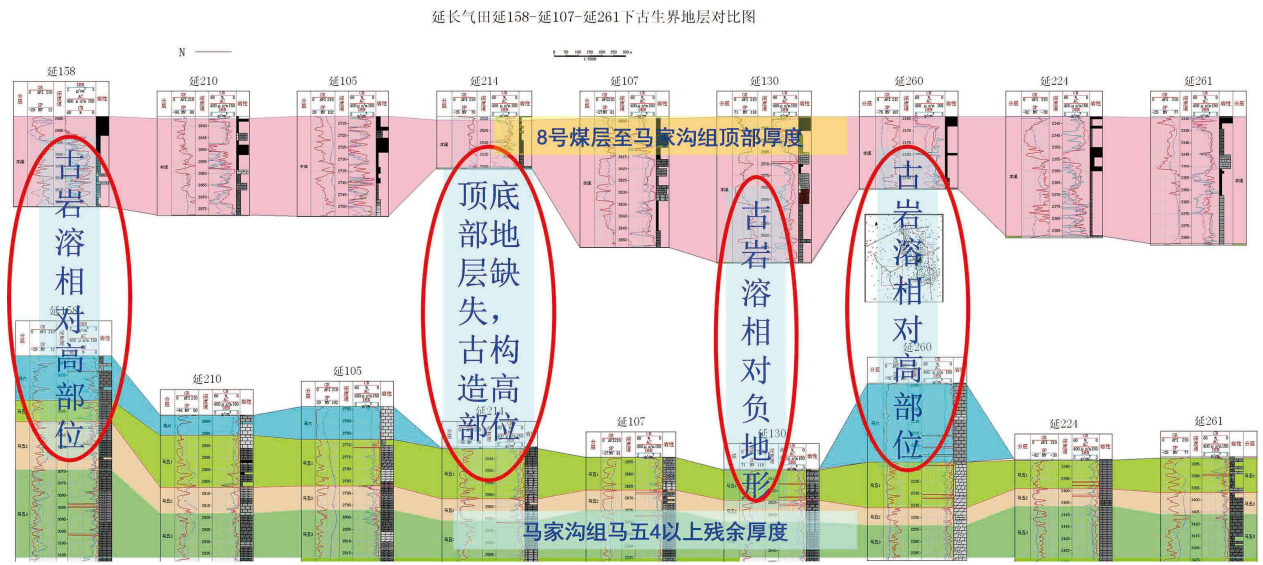


Figure 8. Comparative analysis of weathering crust development in Yan158-Yan261 paleokarst section
图 8. 延 158-延 261 古岩溶剖面风化壳发育对比分析图

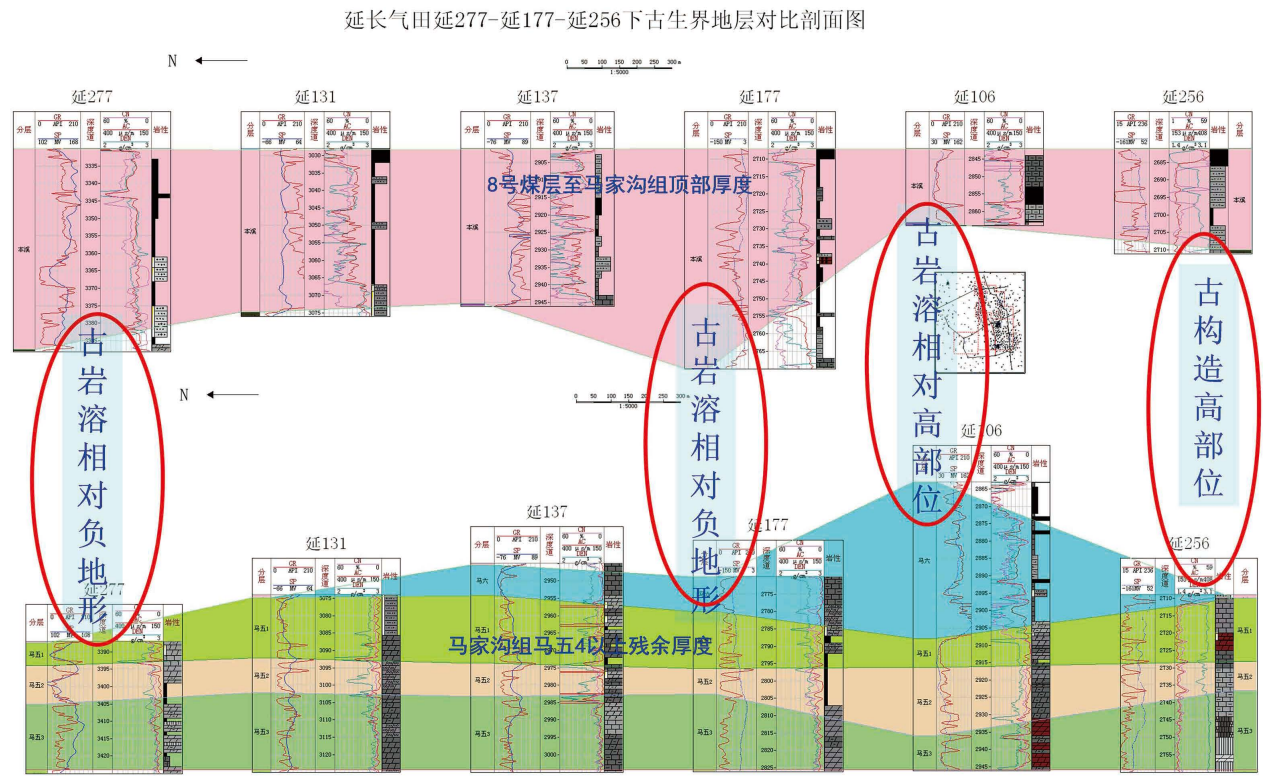


Figure 9. Comparative analysis of weathering crust development in Yan277-Yan256 paleo-karst section
图 9. 延 277-延 256 古岩溶剖面风化壳发育对比分析图

同时,应用地震解释模型,结合钻井资料进行了沟槽的识别和厘定(见图 10、图 11)。从地震剖面可以看出,位于探区南部延 221 井马家沟组顶部地层波阻抗反映发生变化,为处于古岩溶斜坡带,受古岩溶作用比较强烈,从地震剖面的起伏来看,可以反映地层的变化特征,从延 221 井至试 25 井地势变高,结合岩性特征延 221 井区可能存在较好的储层[11]。

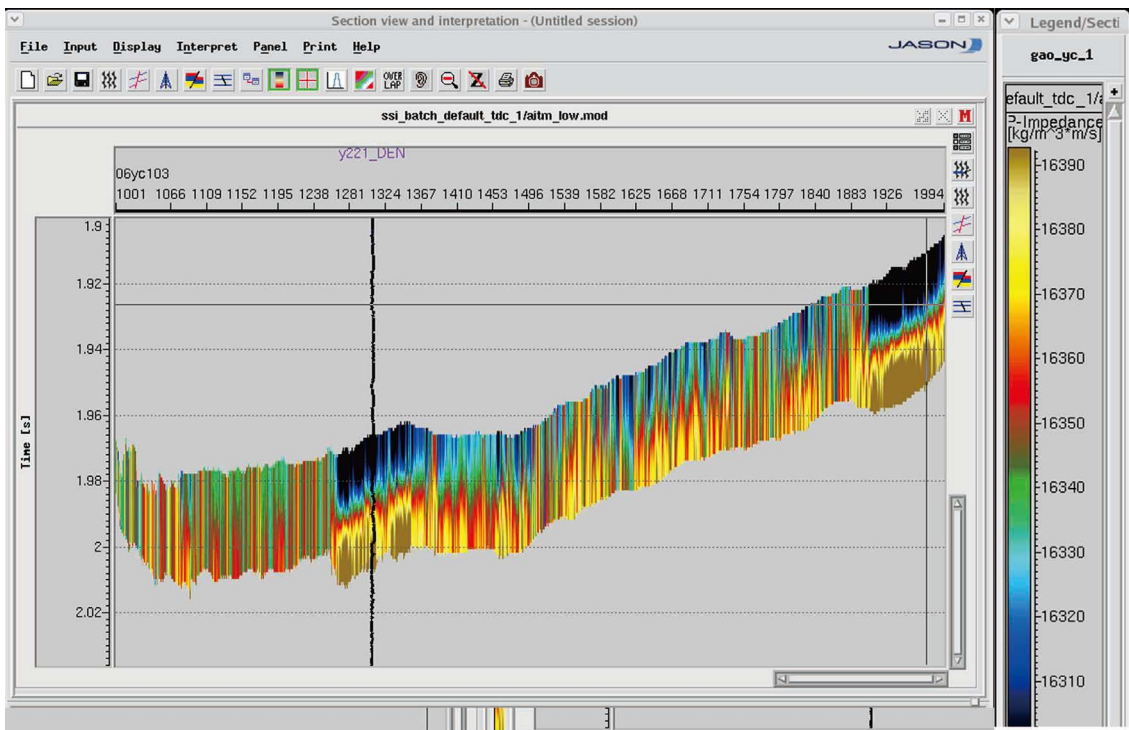


Figure 10. Seismic profile of Majiagou Formation of Yan221-Jiangu25 well
图 10. 延 221-试 25 井马家沟组地震剖面

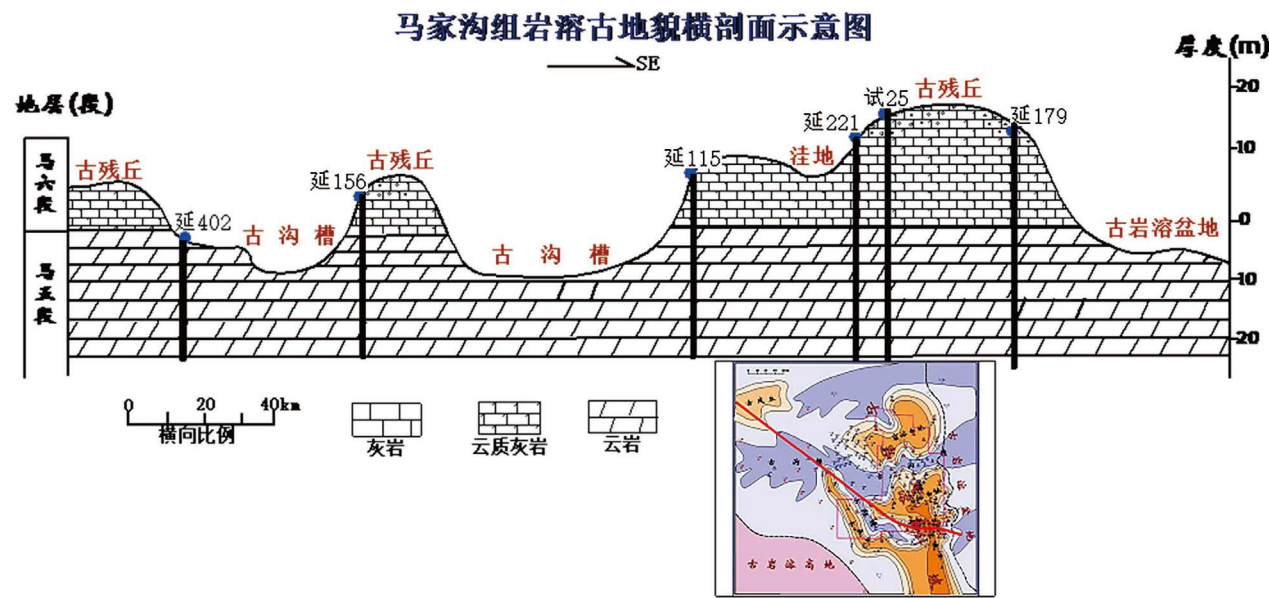


Figure 11. Schematic diagram of karst paleogeomorphology of Majiagou Formation
图 11. 马家沟组岩溶古地貌横剖面示意图

为进一步明确古地貌发育特征,对延长探区马家沟组顶部的铝土岩风化壳厚度进行了统计,并制作了铝土岩厚度等值线图(见图 12),铝土岩较厚的区域说明形成前期地势较低,从而保存较好[12]。图中可以看出,铝土岩较厚的区域主要位于探区中部及东部地区,这预示着古沟槽的发育部位,将为古岩溶地貌恢复提供进一步的参照[13]。

在前期工作的基础上，进行了延长探区奥陶系风化壳古岩溶地貌恢复(见图 13)，将古地貌划分为岩溶台地、岩溶斜坡和岩溶盆地 3 种二级地貌类型和高地、台地、缓丘、坡地、溶丘、洼地、盆地、残丘和沟槽等 9 种三级地貌类型，确立了岩溶古沟槽总趋势为近东西向、形态呈树枝状的展布格局。

古岩溶台地主要位于探区中部、西南部，中间被沟槽分割，其顶部岩性主要为马五段的云岩和灰质云岩；古岩溶斜坡总体沿北西 - 南东向分布，在探区分布范围较大；古残丘在探区南部、东南部零星分布，其顶部主要为马六段的灰岩和云质灰岩；古岩溶盆地地位于探区东部，呈南北向分布并向东延伸，是地势较低的区域，也是古沟槽流水汇聚区域，在岩溶盆地中也存在局部微隆区[14]。由于古沟槽的切割，区内古地貌呈现出以台地为主，沟台并存的局面，也使研究区马家沟组地层存在保存相对完整马六残留区和被剥蚀的马五区，侵蚀沟槽为最大侵蚀深度，在沟槽中，大多缺失马五 1 段地层。

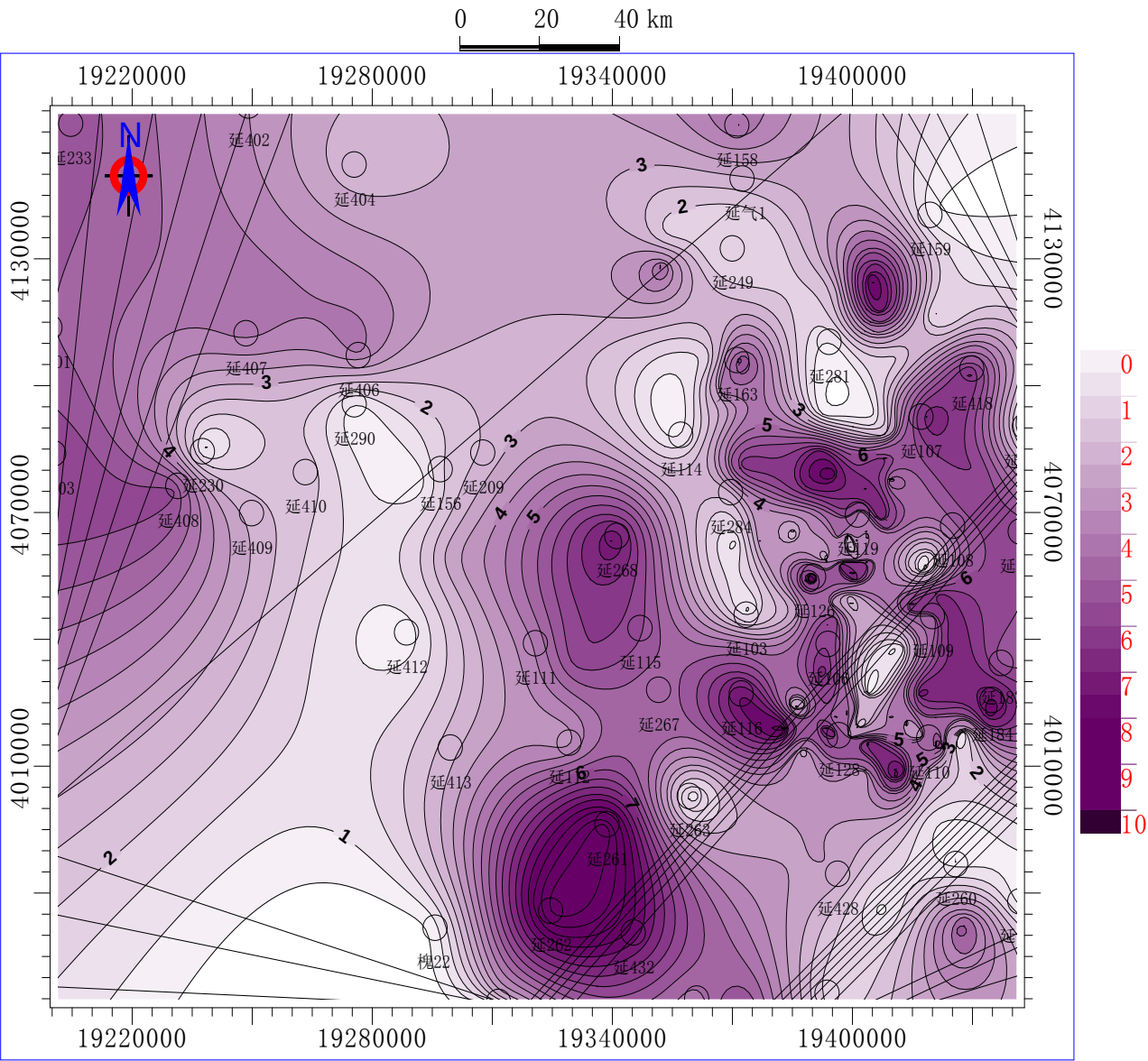


Figure 12. Thickness map of bauxite weathering crust at the bottom of Benxi Formation in Yanchang exploration area
图 12. 延长探区本溪组底部铝土岩风化壳厚度图

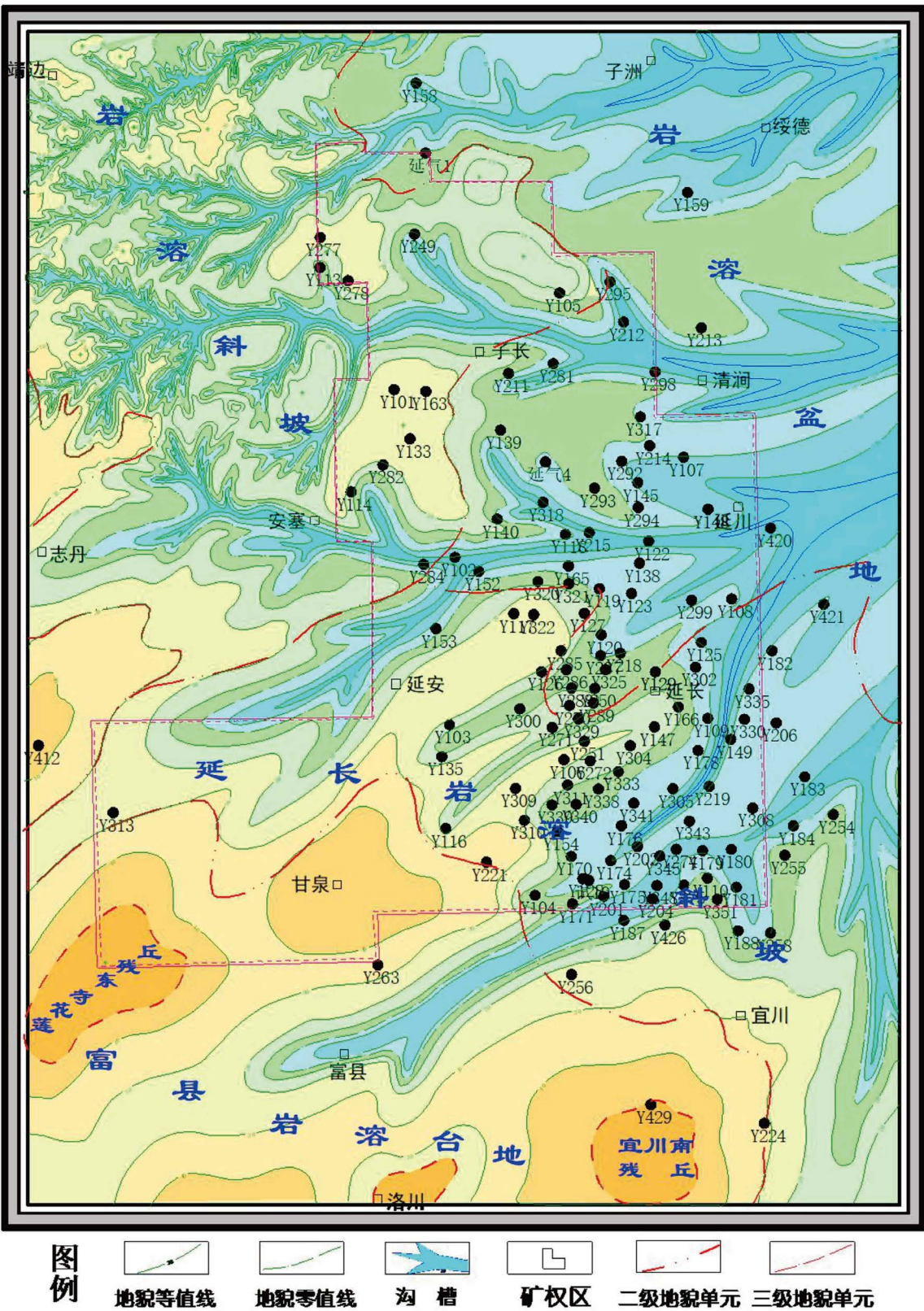


Figure 13. Paleokarst geomorphology map of Yanchang exploration area
图 13. 延长探区古岩溶地貌图

4. 古地貌对有利区预测的作用

在加里东期，马家沟组属古风化壳岩溶期，有利于溶蚀孔洞型储层的产生。层状分布的白云岩、灰岩储层被侧向和上倾方向侵蚀谷充填的本溪组稳定分布的铝土质泥岩遮挡覆盖，形成地层－岩性圈闭[15][16]，具备了天然气成藏的基本地质条件。

通过地层特征、沉积相、古岩溶地貌及储层特征等综合研究，对探区的勘探有利区带有了较全面的认识。分布稳定的蒸发湖坪环境和古岩溶作用是天然气赖以存在的基础之一，然而在不同的相带、不同的古地貌部位，古岩溶作用所产生的效果是不同的。

4.1. 试气成果

Table 1. Gas test results table of Majiagou Formation in Yanchang exploration area
表 1. 延长探区马家沟组试气成果表

井号	层位	射孔段 (m)	日产气量 (m ³ /d)	无阻流量 (m ³ /d)	日产水量 (m ³ /d)	累计气产量 (m ³)	备注
延 101	马五 1	3237.0~3244.1	3133	4241.00	0	32847.00	
延 109	马五 2	2350.0~2368.2	无可燃气 含少量 H ₂ S		3.2		无可燃气体 含少量 H ₂ S
延 118 井	马五 41	2839.0~2841.9	见气显示		0		见气显示
延 111 井	马五 1	3498.0~3500.0 3506.0~3509.0			2.24		
延 112 井	马五 1	3338.0~3341.0 3346.0~3349.0	7334	21631.00	0	22410.00	
延 113 井	马五 1	3381.1~3384.1 3387.0~3389.5	12,483	29313.00	0	286282.00	
延 115 井	马五 1	3327.5~3329.5 3331.0~3334.0	86		0	766.00	
延 156 井	马五 1	3669.7~3672.7	5820	11517.00		58754.00	
延 157 井	马五 1	3601.4~3604.4	5302		0.7	13758.00	
延 158 井	马五 1	3062.5~3067.0 3059.0~3061.0	114		0	143268.00	
延 186	马五 1	2786.0~2783.0 2783.0~2780.0			1.7		无气显示
试 11	马五 1	2796.0~2802.0					无气显示
试 25	马六	2645.0~2650.0	6725	13006.00		27402.00	
试 33	马六	2510.0~2514.0					液面 1950 m
试 44	马六	2474.0~2480.0					无气显示
延 179	马六	2362.0~2368.0	10,253	24500.00		54389.00	
延 221	马六	2905.0~2907.0 2909.0~2912.0 2914.0~2918.0	1096			13506.00	液面 714 m

到目前为止，延长探区下古生界试气井资料共 21 口，还有部分井正在试气。结合试气成果表(见表 1)、

试气井分布图及探区沉积特征, 马五期处于潮上(含)膏云坪相-潮间云坪相沉积环境的小层中多钻遇天然气, 其中在马五 1、马五 41 两小层中获气的井最多, 构成了本区的主力产气层。

4.2. 产气井分析

根据试气井资料分析, 全区产气井在区域上和地层分布上都有一定的分布特征, 马五产气的井在探区北部、南部都有分布, 无阻流量最大的一口井延 113 井位于探区西北部, 主要产气层位为马五, 其次在岩心观察中发现, 探区中部也存在物性较好的储层, 探区西南部的富县一带也有较好的气显示, 有待进一步试气证实[17]; 马六也试气在探区东南部也有较好的显示, 例延 179 井的马六, 但是马六试气显示较好的井在区内分布主要集中在探区东南部的风化壳古残丘边缘[18]。

产气井的分布除了与沉积相带有联系外, 古岩溶地貌形态对天然气储集起着明显控制作用[19]: 1) 岩溶斜坡处于地下水强径流带, 岩溶作用最强烈, 是天然气富集的最有利区; 2) 岩溶斜坡与岩溶盆地的接触部位, 为水动力转换带, 岩溶作用强烈, 为岩溶储层的有利分布带; 3) 岩溶斜坡中的溶丘、岩溶盆地中的残丘地带, 主力气层保存完整, 层状岩溶比较发育, 是天然气富集的有利地区; 4) 岩溶沟槽两侧上方斜坡(相邻沟槽之间的溶丘), 岩溶作用最为强烈, 溶蚀孔洞空间较大, 是高产气井的有利分布区; 5) 沟槽是风化壳岩溶储层与古地貌成藏圈闭形成的重要因素, 沟槽网络的发育控制了气藏的分布和天然气的富集区带。

古地貌对气藏的控制模式主要有两种类型: 其一为在已形成的古地貌背景上, 经差异压实而形成披覆型压实构造圈闭及上倾尖灭圈闭等, 从而控制油气聚集, 属古地貌作用的外延性。其二为由于古侵蚀面之上发育不渗透层, 形成区域性地层遮挡圈闭, 油气沿不整合面直接聚集在下伏古风化壳有利部位; 受台、丘、坡、谷的控制[20] [21]。

全区产气井主要分布在古岩溶斜坡部位, 由于处于岩溶台地与岩溶盆地的中间地带, 地下水以径流状态为主, 加之强烈的膏溶作用, 形成了良好的溶蚀孔洞储集体, 为气藏的形成提供了有利储集空间。探区内马家沟组碳酸盐形成的未被充填或半充填的溶孔和微裂缝为储层发育提供了良好的条件。近几年勘探实践证明, 该类型区储层相对厚度大, 物性好, 气层钻遇率高。马六段产气井主要分布在探区东南部古残丘边缘的斜坡地带, 其岩性主要为云质灰岩; 含气条件较好的马五 1 及马五 4 的溶蚀白云岩储层的形成与侵蚀沟谷密切相关, 古地貌图反映了侵蚀谷两侧斜坡区是有利储层发育区, 这在钻井试气上也得到了证实[22]。

4.3. 有利区带优选

本区有利区带的优选原则: ① 首先参考试气井资料, 分析产气井的主要分布层位及分布区域; ② 充分考虑岩溶古地貌发育特征, 在区带上优选出古岩溶斜坡、古台地边缘以及古残丘边缘地带; ③ 结合室内测井曲线含气性识别, 分析出有利层段; ④ 结合野外岩心观察宏观资料及微观薄片分析资料, 明确储层发育特征; ⑤ 考虑地层分布规律, 马五段在全区有较好的试气成果, 马六段重点考虑探区东南部; ⑥ 考虑全区沉积环境特征, 明确有利区带的分布规律; ⑦ 考虑微构造及相关裂缝发育程度; ⑧ 考虑勘探有利层位的深度, 结合实际勘探成本, 优选出主要和次要有利区带[23] [24]。

探区内发育的三条较大型侵蚀谷展布为: 两条近东西向, 一条南西-北东向。在侵蚀谷两侧附近的斜坡区, 是有利储层发育区, 结合岩性及微观特征, 优选出 I 类较有利区带、II 类次有利区带及 III 类较次有利区带[25] [26] [27] (见图 14)。另外, 该区小幅度的构造、断裂及相关裂缝对天然气成藏也具有一定的控制作用。

综上分析, 延长探区马家沟组主力储层马五 1 段在古岩溶斜坡区及古地貌高部位边缘地带由于岩溶

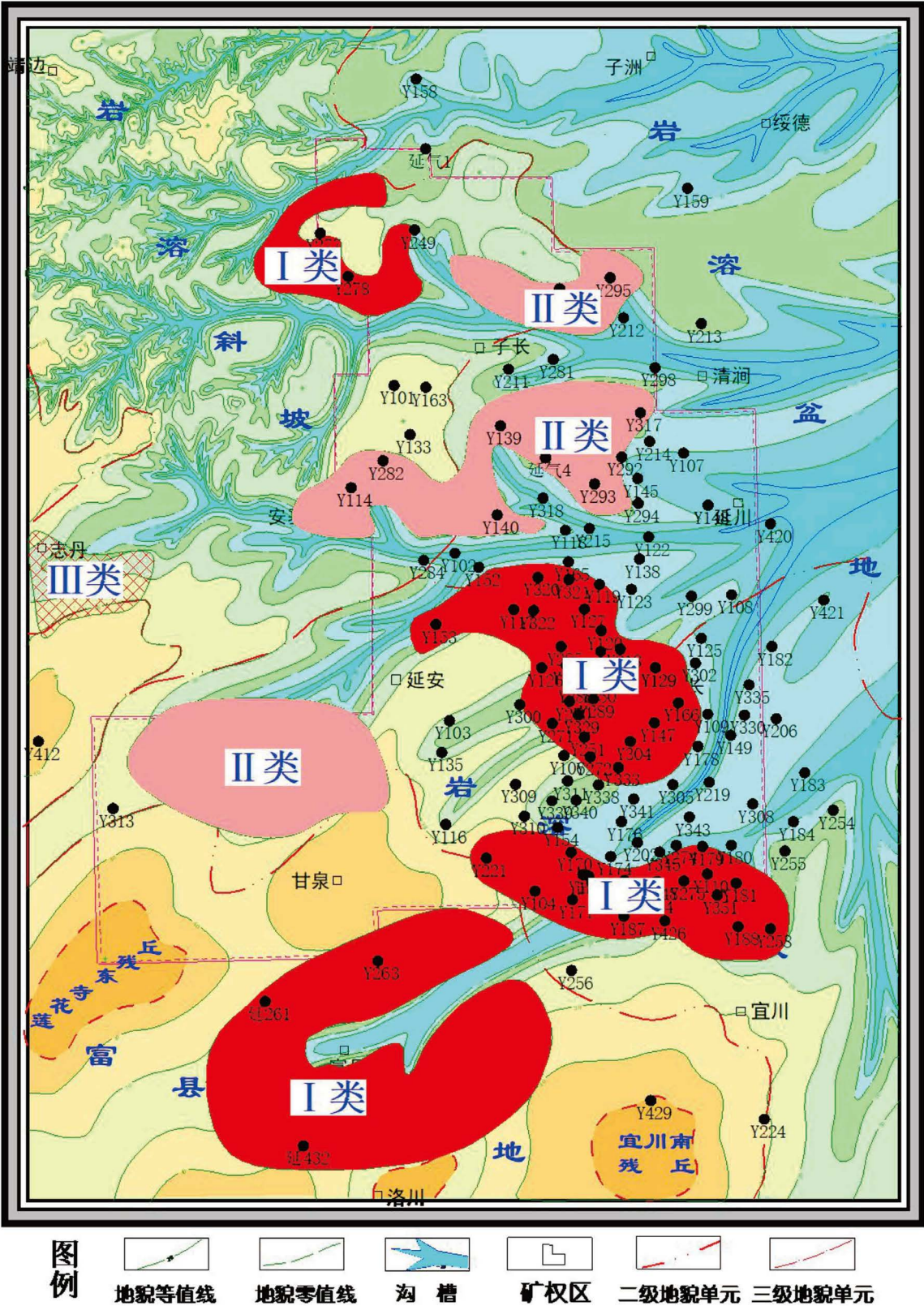


Figure 14. Forecast map of favorable target area of Majiagou Formation in exploration area
图 14. 探区马家沟组有利目标区预测图

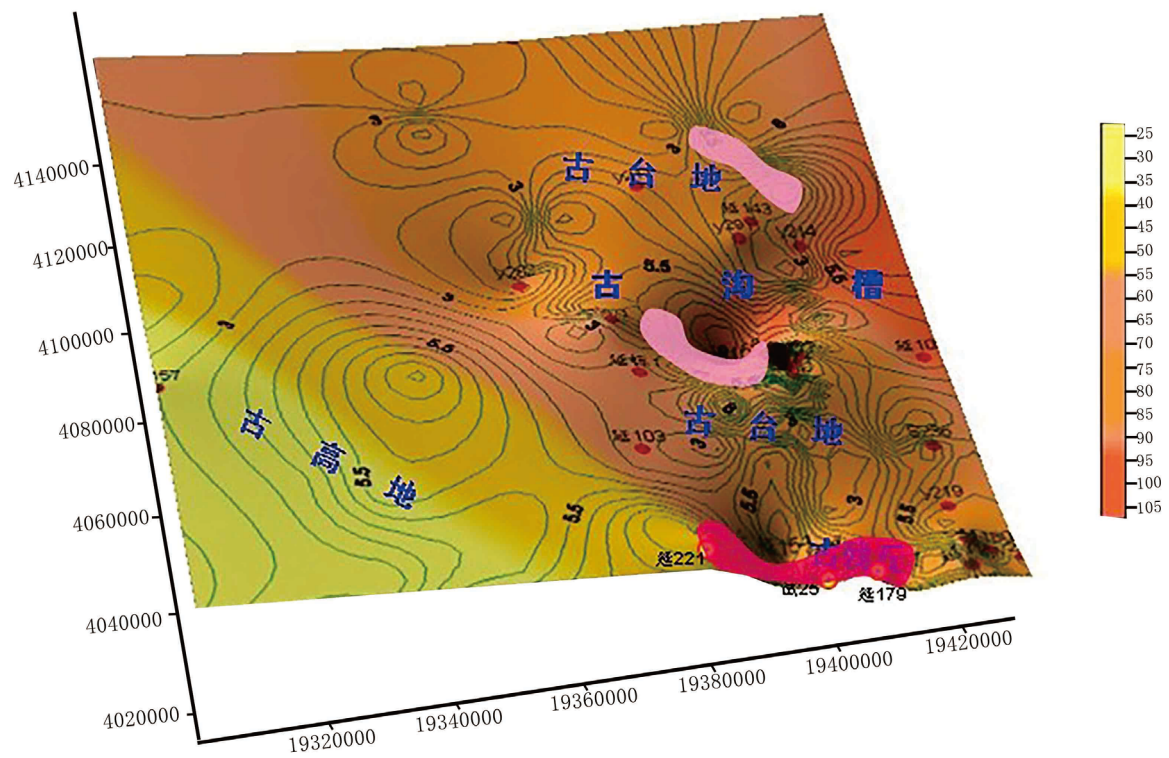


Figure 15. Prediction map of favorable reservoir facies belt in Malu member of the exploration area
图 15. 探区马六段有利储集相带预测图

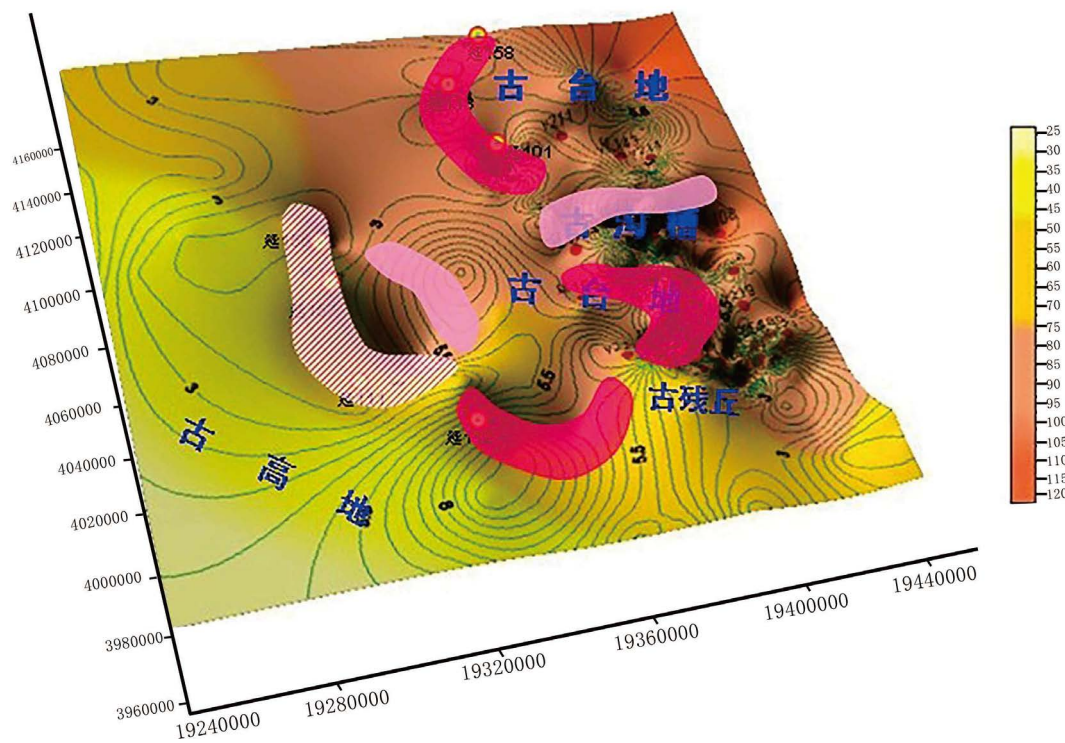


Figure 16. Prediction map of favorable reservoir facies belt in Ma 5th Member of the exploration area
图 16. 探区马五段有利储集相带预测图

作用强烈,孔缝发育,是天然气的富集区域。为进一步明确勘探有利目标区,在古地势图的基础上叠加本溪组底部铝土岩风化壳发育厚度等值线,对马家沟组马五段及马六段进行了预测[28][29](见图15、图16)。另外,寻求马五出露区或马六物性较好、可溶组分相应较多的区域,以及探区内所处岩溶盆地中的微隆起是今后勘探值得关注的地方。

5. 结论

鄂尔多斯盆地古生界马家沟组上段地层受到风化剥蚀的影响,古沟槽发育,形成“台中有沟,沟前有河”的古风化壳分布格局。

1) 古岩溶地貌特征:探区内以古岩溶台地、古岩溶斜坡和古岩溶盆地为主,局部存在岩溶残丘。主要发育两条近东西向的古沟槽和一条南西-北东向的次要古沟槽。古岩溶斜坡呈北西-南东向展布,而古岩溶盆地则主要在探区东部,呈南北向展布。

2) 储层分布规律:古地貌特征与储层分布有明显的相关规律。在斜坡带,由于流水的风化淋溶作用,储层的孔隙较为发育,连通性好,后期若较少次生充填则形成良好储层。南部古残丘的云质灰岩和灰岩若可溶组分发育,则为储层形成提供良好场所。在探区内古地貌高部位边缘地带,由于岩溶作用强烈,孔缝发育,是天然气富集区域。

3) 有利储层分布:延长探区马家沟组有利储层主要集中在马五段中上部,具体为马五1和马五41段。在区域上,认为岩溶斜坡中的溶丘、岩溶盆地中的残丘地带是主力气层保存完整的有利地区,主要分布在研究区的东南部延179井~试25井区。岩溶沟槽两侧上方斜坡(相邻沟槽之间的溶丘)是高产气井的有利分布区,主要分布在研究区的西北部延131井区以及西南部富县延432~延261井区。沟槽是风化壳岩溶储层与古地貌成藏圈闭形成的重要因素,沟槽网络的发育控制了气藏的分布和天然气的富集区带,主要分布在研究区的中部延147~延153井~延115井区。

基金项目

陕西省自然科学基金研究计划一般项目(2019JM-359);

西安石油大学研究生创新与实践能力的培养计划资助项目(YCS2311411)。

参考文献

- [1] 代金友,何顺利.鄂尔多斯盆地中部气田奥陶系古地貌研究[J].石油学报,2005,26(3):37-39,43.
- [2] 苏中堂.鄂尔多斯盆地塔巴庙地区奥陶系马家沟组沉积相与古岩溶储层特征[D]:[硕士学位论文].成都:成都理工大学,2008.
- [3] 邓军,王庆飞,黄帮飞,等.鄂尔多斯盆地演化与多种能源矿产分布[J].现代地质,2005,19(4):538-545.
- [4] 冯增昭,等.鄂尔多斯奥陶纪地层岩石岩相古地理[M].北京:地质出版社,1998.
- [5] 周义军,杨遂正,王欣.鄂尔多斯盆地奥陶系顶面演化与岩溶储层[J].石油物探,2006,45(3):304-310.
- [6] 冯增昭,等.鄂尔多斯早古生代古构造[J].古地理学报,1999,1(2):84-91.
- [7] 付金华,郑聪斌.鄂尔多斯盆地奥陶纪华北海和祁连海演变及岩相古地理特征[J].古地理学报,2001,3(4):25-34.
- [8] 惠宽洋.塔巴庙地区奥陶系风化壳马五5亚段储层特征[J].天然气工业,2005,25(11):25-26.
- [9] 贾振远,蔡忠贤.碳酸盐岩古风化壳储集层(体)研究[J].地质科技情报,2004,23(4):94-104.
- [10] 黄道军.鄂尔多斯盆地东部奥陶系风化壳有利储层分布规律[D]:[硕士学位论文].西安:西安石油大学,2009.
- [11] 韩敏强.鄂尔多斯盆地延长探区奥陶纪末古地貌与马五段储层预测[D]:[硕士学位论文].西安:西北大学,2010.
- [12] 杨华,黄道军,郑聪斌,等.鄂尔多斯盆地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, 12.
- [13] 马振芳, 周树勋, 于忠平, 等. 鄂尔多斯盆地中东部奥陶系顶部风化壳特征及其与天然气富集的关系[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(5): 21-25.
- [14] 钱一雄, 蔡立国, 李国蓉, 等. 碳酸盐岩岩溶作用的元素地球化学表征[J]. 沉积学报, 2002, 20(1): 70-74.
- [15] 王少飞, 李振宏, 王飞雁. 鄂尔多斯盆地奥陶系沉积格局及其储层展布[J]. 低渗透油气田, 2006, 11(1): 18-22.
- [16] 杨亮. 鄂尔多斯盆地苏里格地区奥陶系马家沟组古岩溶储层特征[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安石油大学, 2009.
- [17] 席胜利, 郑聪斌, 李振宏. 鄂尔多斯盆地西缘奥陶系地球化学特征及其沉积环境意义[J]. 古地理学报, 2004, 6(2): 196-206.
- [18] 孟祥豪. 鄂北塔巴庙地区奥陶系风化壳结构特征与储层评价[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2006.
- [19] 张锦泉, 陈洪德, 刘文均, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系沉积古岩溶及储层特征[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993.
- [20] 赵俊兴, 陈洪德, 时志强. 古地貌恢复技术方法及其研究意义[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(3): 260-266.
- [21] 郑聪斌, 章贵松, 王飞雁. 鄂尔多斯盆地奥陶系热水岩溶特征[J]. 沉积学报, 2001, 19(4): 524-531.
- [22] 王建麾. 鄂尔多斯盆地南缘下古生界成藏组合研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2009.
- [23] 韩吟文, 马振东. 地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 2003.
- [24] Taylor, S.R. and McLennan, S.M. (1985) *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford.
- [25] 桑树勋, 郑永飞, 张华, 等. 徐州地区下古生界碳酸盐岩的碳、氧同位素研究[J]. 岩石学报, 2004, 20(3): 707-716.
- [26] 夏日元, 唐建生, 邹胜章, 等. 碳酸盐岩油气田古岩溶研究及其在油气勘探开发中的应用[J]. 地球学报, 2006, 27(5): 503-509.
- [27] 张文淮, 陈紫英. 流体包裹体地质学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993.
- [28] 张秀莲. 碳酸盐中氧、碳稳定同位素与古盐度、古水温的关系[J]. 沉积学报, 1985, 3(4): 17-30.
- [29] 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.