

鄂尔多斯盆地乌审旗古隆起与中央古隆起形成演化及其对油气的控制作用

陈平,李维,周义军,裴文瑞,于小伟,韩伟,梁国平,路鹏程,王雷

(中国石油东方地球物理勘探有限责任公司研究院 长庆分院,陕西 西安 710021)

摘要:利用鄂尔多斯盆地最新二维格架大剖面,结合高精度三维地震资料与钻井资料,重新对盆地乌审旗古隆起与中央古隆起进行了系统研究,并再次厘定了盆地寒武纪—奥陶纪沉积构造格局,明确了古隆起变迁演化历程。研究结果表明:①证实奥陶纪乌审旗古隆起具有“北高南低”的构造格局。②乌审旗古隆起对寒武系沉积控制作用明显,而中央古隆起对奥陶系沉积控制作用明显。③三维地震资料证实怀远运动期(甚至怀远运动之前),乌审旗古隆起相较于中央古隆起遭受了更为严重的暴露剥蚀,前奥陶纪乌审旗古隆起更高。④乌审旗古隆起活动期为前寒武纪,逐步消隐至奥陶纪基本不再活动。中央古隆起隆升于奥陶系马家沟组沉积前,在此之前盆地西南部的庆阳古隆起与北部的伊盟古隆起独立活动,马家沟组沉积前隆升形成北达伊盟古隆起、南连庆阳古隆起的“L型”中央古隆起。⑤两大古隆起共同控制了沉积相带分布,形成了盆地中、东部有利储-盖组合,前奥陶纪风化壳型气藏、中部岩性气藏及东部断缝型气藏可能是有利勘探领域。

关键词:构造演化;奥陶纪;寒武纪;中央古隆起;庆阳古隆起;乌审旗古隆起;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Formation and evolution of the Wushenqi and Central paleo-uplifts, Ordos Basin and their control on hydrocarbon accumulation

CHEN Ping, LI Wei, ZHOU Yijun, PEI Wenrui, YU Xiaowei, HAN Wei, LIANG Guoping, LU Pengcheng, WANG Lei

(Changqing Branch of Geophysical Research Institute, BGP Inc., CNPC, Xi'an, Shaanxi 710021, China)

Abstract: Using the latest 2D framework section of the Ordos Basin, along with high-precision 3D seismic data and drilling data, we systematically reinvestigate the Wushenqi and Central paleo-uplifts within the basin. Accordingly, the Cambrian-Ordovician sedimentary structural framework of the basin is reestablished and the evolutionary history of these two paleo-uplifts is clarified. The results indicate that during the Ordovician, the Wushenqi paleo-uplift exhibited a structural framework characterized by high in the north and low in the south. The Wushenqi and Central paleo-uplifts produced significant controlling effects on the deposition of the Cambrian and Ordovician strata, respectively. The 3D seismic data reveal that during (or even before) the Huaiyuan movement, the Wushenqi paleo-uplift underwent greater exposure and denudation compared to the Central paleo-uplift, though remaining higher in altitude during the pre-Ordovician. The Wushenqi paleo-uplift was active during the Precambrian, followed by gradual diminishment until the Ordovician when it became largely inactive. In contrast, the Central paleo-uplift got uplifted and came into being in L shape connecting the Yimeng paleo-uplift in the north and the Qingyang paleo-uplift in the south before the deposition of the Ordovician Majiagou Formation, prior to which the Qingyang and Yimeng paleo-uplifts, located in the southwestern and northern parts of the Ordos Basin, respectively, were independently active. The Wushenqi and Central paleo-uplifts jointly govern the distribution of sedimentary facies zones, resulting in the favorable reservoir-caprock assemblages in the eastern and central Ordos Basin. Promising targets for hydrocarbon exploration in the Ordos Basin include the Pre-

收稿日期:2024-04-30;修回日期:2024-10-09。

第一作者简介:陈平(1995—),男,工程师,构造地质学及油气风险勘探。E-mail:243801601@qq.com。

通信作者简介:李维(1987—),男,博士、高级工程师,油气风险勘探。E-mail:409922430@qq.com。

基金项目:中国石油天然气股份有限公司科学研究与技术开发项目(2022KT0103);中国石油东方地球物理勘探有限责任公司油气勘探新领域综合研究项目(2023YQX10111)。

Ordovician gas plays in weathering crust, lithologic gas plays in the central part, and fault-fractured gas plays in the eastern part.

Key words: tectonic evolution, Ordovician, Cambrian, Central paleo-uplift, Qingyang paleo-uplift, Wushenqi paleo-uplift, Ordos Basin

引用格式:陈平,李维,周义军,等.鄂尔多斯盆地乌审旗古隆起与中央古隆起形成演化及其对油气的控制作用[J].石油与天然气地质,2024,45(6):1653-1664. DOI:10.11743/ogg20240612.

CHEN Ping, LI Wei, ZHOU Yijun, et al. Formation and evolution of the Wushenqi and Central paleo-uplifts, Ordos Basin and their control on hydrocarbon accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 2024, 45(6): 1653-1664. DOI: 10.11743/ogg20240612.

一直以来,古隆起都被认为是油气勘探的重要目标,如对四川盆地川中古隆起的勘探发现了安岳气田^[1-2],塔里木盆地相继在塔北隆起和顺托果勒低隆起发现了富满油田与顺北油田^[3]。鄂尔多斯盆地早古生代同样存在多个古隆起。1983年孙肇才等明确提出庆阳—吴旗地区存在横跨盆地南北的中央古隆起^[4-5];2022年包洪平提出,中央古隆起位于盆地中部偏西及偏南部地区,大体呈“L”形带状展布,其核部位于庆阳地区,北至伊盟古隆起^[6](图1a),而乌审旗古隆起是在2020年左右才被发现,大致位于乌审旗—靖边一带,虽然已有不少学者对两大古隆起开展了研究,但仍然存在较大争议,争议主要表现在古隆起边界的确认、古隆起的差异演化以及古隆起对沉积相带的控制作用。如魏柳斌等、张春林等、包洪平等和毛丹凤等刻画的两大古隆起平面分布明显不一致^[2,6-8],古隆起边界有待进一步明确;对于两大古隆起的形成演化历程,包洪平等认为中央古隆起最早形成于早古生代的寒武纪—奥陶纪,而乌审旗古隆起是寒武纪沉积前就已存在的古地形高地,奥陶纪早期开始消隐^[6],张春林等则认为两大古隆起均在寒武纪经历了海水淹没并接受沉积,寒武纪—奥陶纪抬升剥蚀,后稳定沉降^[7],因此“两大古隆起”成因也没有明确定论;几乎所有学者均认为两大古隆起对早古生代烃源岩、储层和盖层具有控制作用,但对不同时期的具体控制缺乏定论。本文利用最新采集处理的二维和三维地震资料,结合钻井资料对两大古隆起进行了重新研究,提出了古隆起演化新认识。

1 区域地质概况

鄂尔多斯盆地位于华北克拉通西南缘,面积约为 $25\times 10^4\text{ km}^2$ ^[9],可划分为晋西挠褶带、伊陕斜坡、天环坳陷、西缘冲断带、伊盟隆起和渭北隆起6个构造单元^[2](图1a)。研究区下古生界发育不全(图1b),奥陶系与寒武系均局部缺失,盆地基底为太古宇变质

岩,中元古界长城系为陆相沉积,岩性以石英砂岩为主,与上覆寒武系呈不整合接触(乌审旗古隆起之上与奥陶系呈不整合接触);寒武系为海相沉积,发育毛庄组、徐庄组、张夏组和三山子组,岩性以碳酸盐岩为主,夹泥岩,寒武系与奥陶系马家沟组呈不整合接触;奥陶系马家沟组同样为海相沉积,岩性以碳酸盐岩为主,自下而上细分为马(马家沟组)一段—马六段,西部奥陶系中统发育,奥陶系与石炭系呈不整合接触;石炭系为海—陆过渡相沉积,岩性以泥岩和煤层为主(图1b)。

前人研究表明,鄂尔多斯盆地下古生界先后经历了多期构造运动:太古宙—元古宙裂陷沉积,南缘发育拗拉槽;寒武纪—奥陶纪沉积剥蚀,奥陶系顶、底界面发育风化壳;石炭纪进入内克拉通盆地演化阶段^[10-11]。

2 乌审旗古隆起与中央古隆起识别

本次研究利用大量高品质二维和三维地震及钻、测井资料对古隆起发育范围和地层接触关系开展了研究,明确了寒武系—奥陶系沉积期古构造格局。

2.1 乌审旗古隆起与中央古隆起地层对比

连井剖面能够很好地揭示盆地不同区带沉积相带的差异及岩性变化。从鄂尔多斯盆地东西向连井剖面来看(图1中A—A'),寒武系自西向中部减薄(GT1井—T59井),GT1井位于中央古隆起西侧,钻遇寒武系三山子组(C_{2s}),推测三山子组之下残余张夏组(C_{2z})、徐庄组(C_{2x})和毛庄组(C_{2m}),三山子组岩性以白云岩为主;DT1井位于中央古隆起之上(图1),钻遇寒武系张夏组,推测张夏组之下残余徐庄组和毛庄组,张夏组岩性以白云岩为主;T59井仅钻遇寒武系毛庄组,岩性以泥岩和砂岩为主;乌审旗古隆起之上的T100井与S476井未钻遇寒武系,马家沟组直接与长城系接触;乌审旗古隆起东侧Y9井钻遇寒武系三山子组、张夏组和徐庄组,张夏组与三山子组岩性以白云岩为主,徐庄组以灰

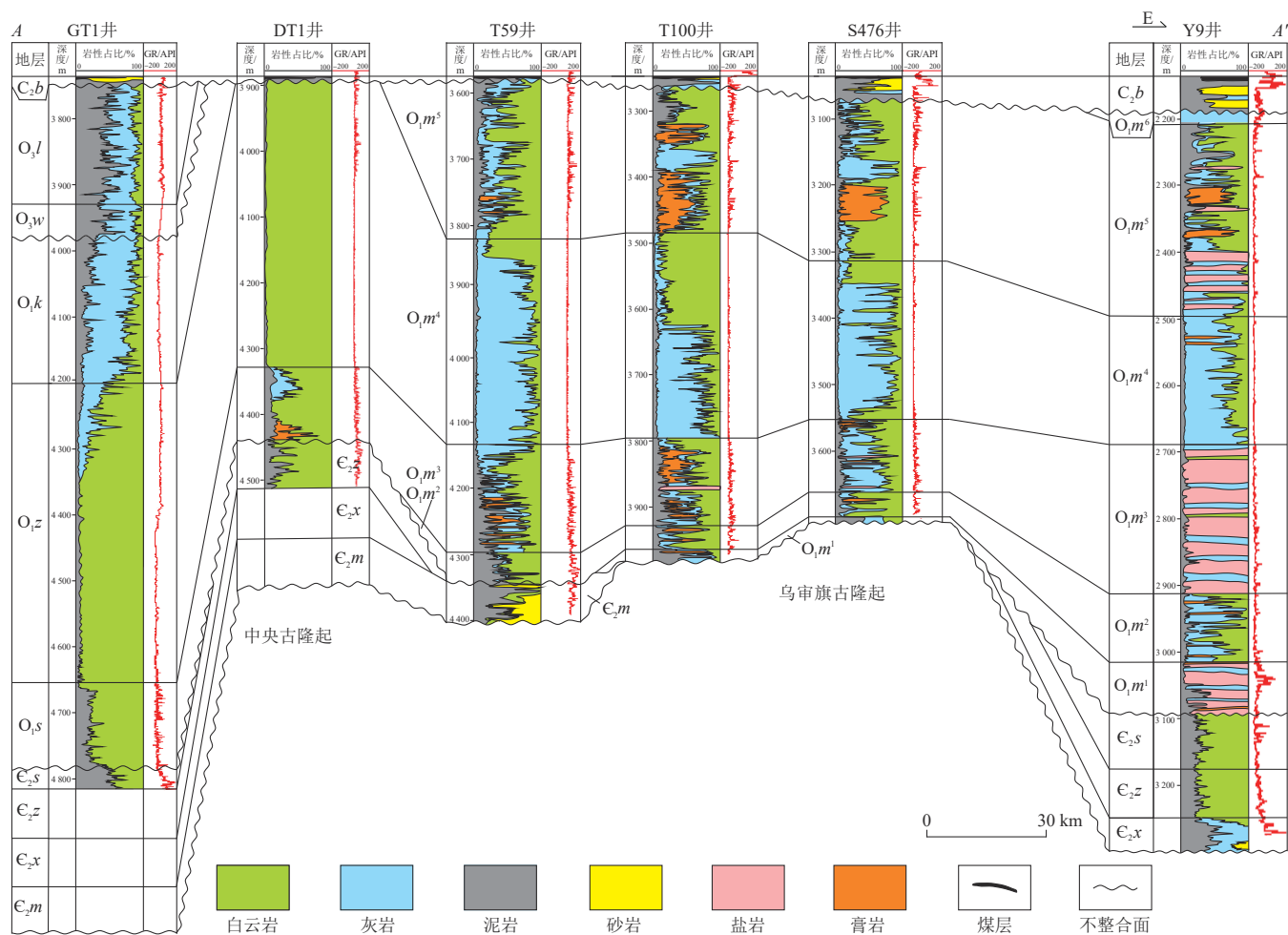


图2 鄂尔多斯盆地寒武系—石炭系东西向连井对比剖面(剖面位置见图1a)

Fig. 2 E-W-striking cross-well correlation of the Cambrian-Carboniferous strata in the Ordos Basin (see Fig. 1a for the section location)

从岩性差异来看,马二段和马四段以白云岩和灰岩为主,马一段、马三段和马五段除白云岩和灰岩外,还发育膏岩和盐岩,T83井马五段膏岩和盐岩不发育(图3)。因此,乌审旗古隆起南部边界应该在S476井—JT1井之间,北部边界应该在T83井—T21井之间。由于沉积期乌审旗古隆起古构造较高,古隆起之上的寒武系缺失,奥陶系马家沟组不全,马家沟组沉积期乌审旗古隆起北高南低(T83井—JT1井),导致T83井不仅缺失马一段和马二段,且由于古构造高,马五段膏岩和盐岩不发育(图3)。

2.2 乌审旗古隆起与中央古隆起二维地震识别

结合大量钻井资料对地震层位进行标定,明确主要界面地震反射特征,并对大量新采集处理的二维和三维地震资料进行解释,依据地层接触关系及构造特征确定乌审旗古隆起及中央古隆起发育区域,明确其平面分布。由于二维格架大剖面东西横跨数百千米,有着明显的沉积相带变化,因此层位解释会出现串轴现象,如盆地东部奥陶系底解释为波谷(图4中的Y9

井和LT2井附近,奥陶系底为马一段底,岩性主要为盐岩),中部解释为波峰(图4中的T59井、T100井和靳6井附近,奥陶系底为马一段底,岩性主要为白云岩、灰岩和膏岩),西部为波谷(图4中的DT1井附近,奥陶系底为马三段底,岩性主要为白云岩)。二维格架大剖面揭示(拉平本溪组底),长城系由西向乌审旗古隆起减薄,东部长城系不发育;寒武系直接与基底接触,东部和西部均发育寒武系,且均向乌审旗古隆起减薄(图4),乌审旗古隆起西侧见寒武系削截,东侧见寒武系超覆;中央古隆起之上缺失奥陶系马一段和马二段,马三段底直接与寒武系接触,中央古隆起东侧奥陶系顶部见地层削截(图4)。

横跨盆地的东西向区域格架大剖面D—D'与C—C'显示出相似的地质结构特征,但与C—C'剖面不同的是,D—D'剖面中乌审旗古隆起之上缺失马一段。长城系由西向乌审旗古隆起减薄,东部长城系不发育,寒武系直接与基底接触;东部和西部均发育寒武系,且均向乌审旗古隆起减薄(图5),乌审旗古隆起西侧可

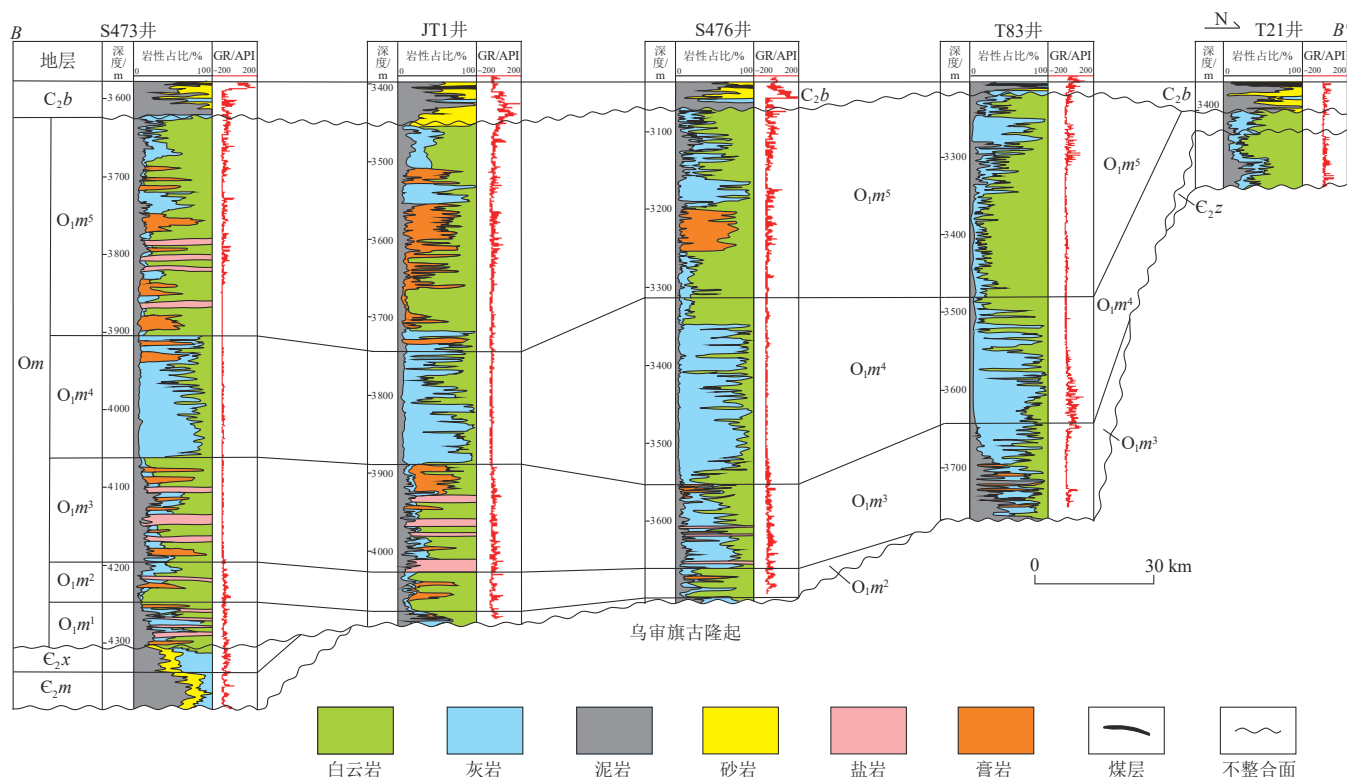


图3 鄂尔多斯盆地过乌审旗古隆起寒武系—石炭系南北向连井对比剖面(剖面位置见图1a)

Fig. 3 S-N-striking cross-well correlation of the Cambrian-Carboniferous strata across the Wushenqi paleo-uplift, Ordos Basin (see Fig. 1a for the section location)

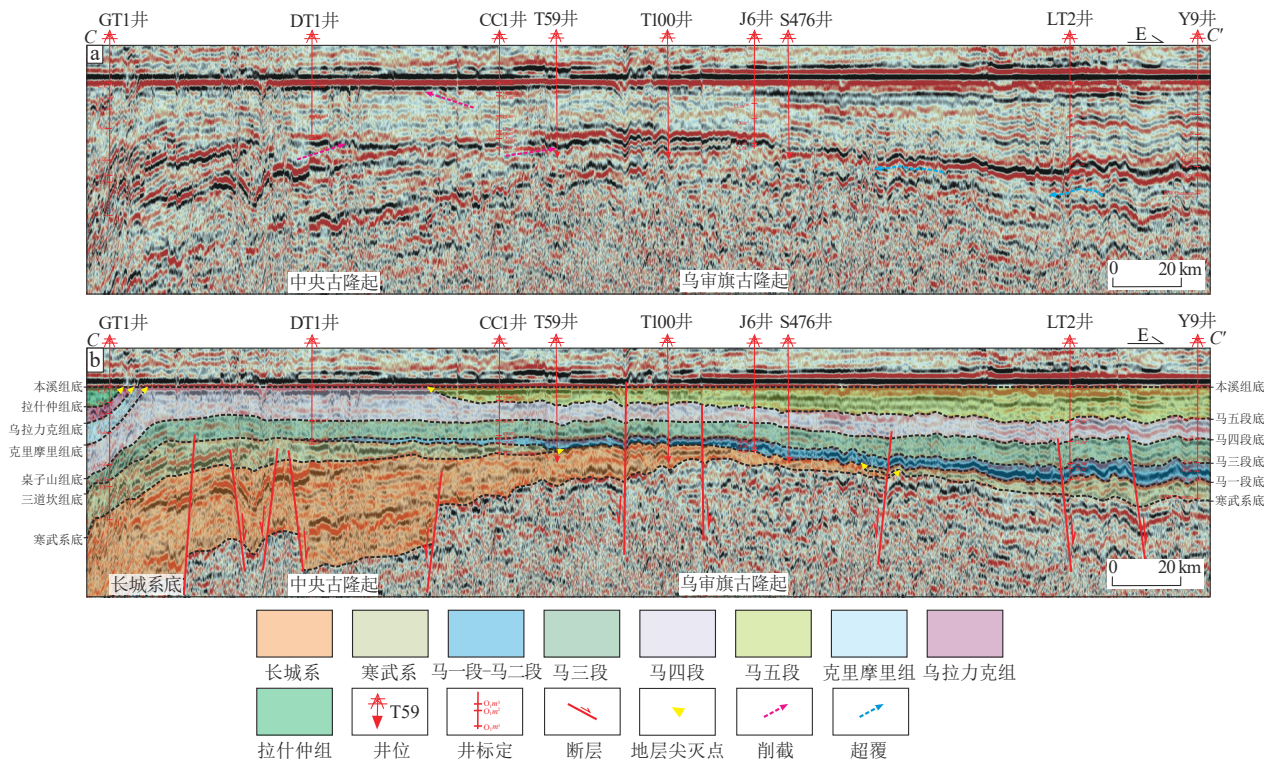


图4 鄂尔多斯盆地过中央古隆起北翼与乌审旗古隆起东西向二维格架大剖面(C—C') (剖面位置见图1a)

Fig. 4 E-W-trending 2D framework seismic section (C—C') across the north flank of the Central paleo-uplift and the Wushenqi paleo-uplift in the Ordos Basin (see Fig. 1a for the section location)

a. 未解释地震剖面; b. 解释地震剖面

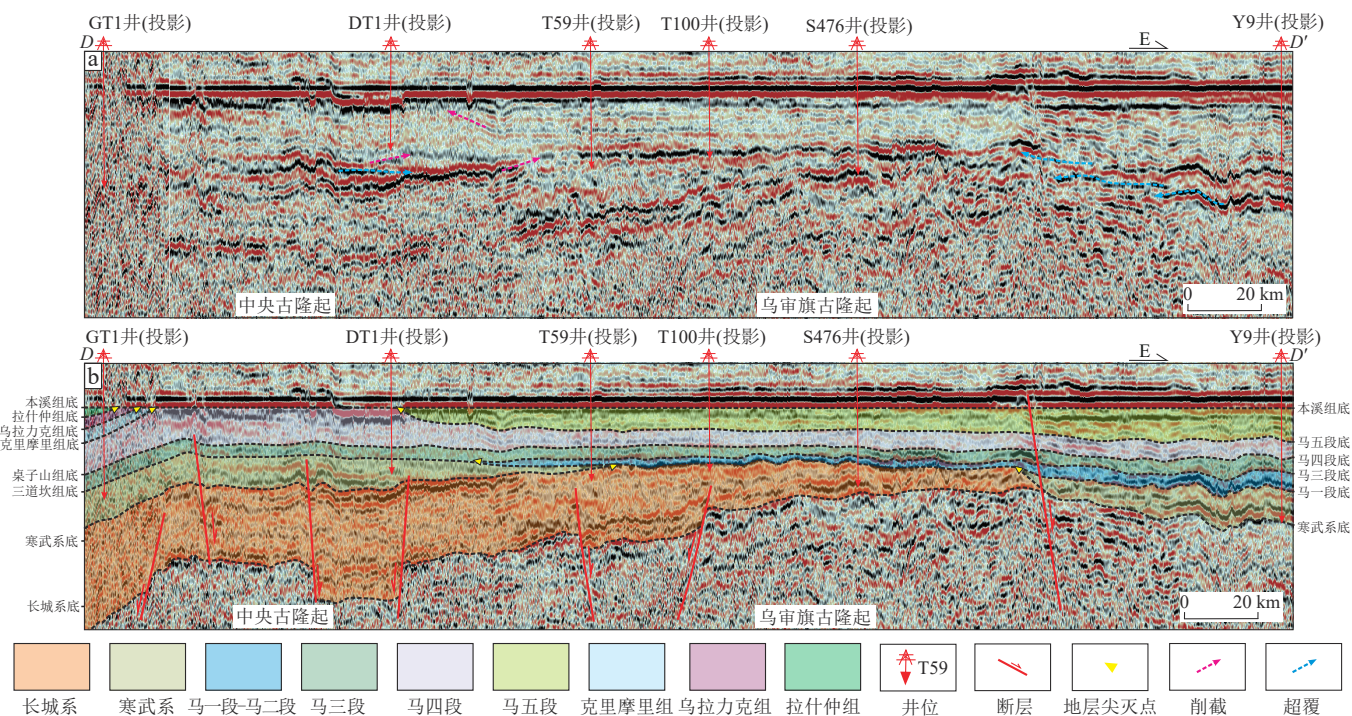


图5 鄂尔多斯盆地过中央古隆起北翼与乌审旗古隆起东西向二维格架大剖面($D-D'$) (剖面位置见图1a)

Fig. 5 E-W-trending 2D framework seismic section ($D-D'$) across the north flank of the Central paleo-uplift and the Wushenqi paleo-uplift in the Ordos Basin (see Fig. 1a for the section location)

a. 未解释地震剖面; b. 解释地震剖面

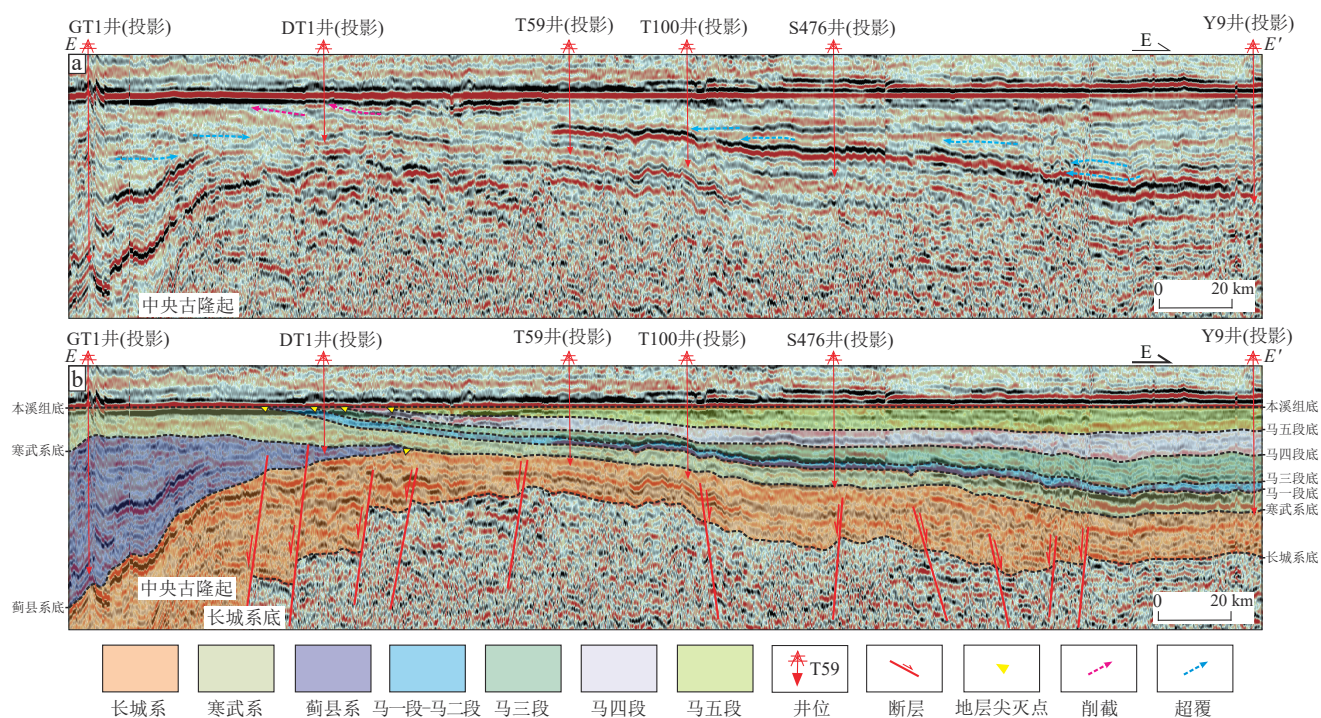


图6 鄂尔多斯盆地过中央古隆起与乌审旗古隆起东西向二维格架大剖面($E-E'$) (剖面位置见图1a)

Fig. 6 E-W-trending 2D framework seismic section ($E-E'$) across the Central and Wushenqi paleo-uplifts, Ordos Basin (see Fig. 1a for the section location)

a. 未解释地震剖面; b. 解释地震剖面

同时见到寒武系削截和超覆,东侧见寒武系超覆;中央古隆起之上缺失奥陶系马一段和马二段,马三段直接与寒武系接触,中央古隆起东侧奥陶系顶部见地层削截(图5)。C—C'剖面与D—D'剖面揭示寒武系沉积期,乌审旗古隆起拥有更高的古构造格局(寒武系向乌审旗古隆起超覆),寒武系沉积后中央古隆起至乌审旗古隆起一带地层被剥蚀(寒武系被削截);而马家沟组沉积期中央古隆起拥有更高的古构造格局(缺失马一段和马二段),奥陶系沉积后中央古隆起继续保持较高的构造格局(奥陶系顶部被削截)。

过中央古隆起核部的格架大剖面E—E'与其北部的C—C'和D—D'剖面不同,E—E'剖面中央古隆起西侧长城系与蓟县系接触,东侧长城系则直接与寒武系接触,中央古隆起之上奥陶系被剥蚀,寒武系与上覆本溪组直接接触(图6)。中央古隆起上见蓟县系超覆于长城系沉积后形成的古地形高地。E—E'剖面东部奥陶系自东向中央古隆起超覆(Y9井投影—T100井投影附近),中央古隆起东侧见奥陶系削截(DT1井投影附近)。E—E'剖面揭示至少在奥陶系沉积之前中央古隆起都不是构造高地,其隆升时间应该在寒武系沉积后,奥陶系沉积前。高品质二维格架大剖面的研究,明确了沉积期古构造格局与古隆起的发育范围。

3 乌审旗古隆起与中央古隆起形成机理及控沉积作用

除利用岩性、测井以及二维格架大剖面研究两大古隆起外,本文还利用多块三维地震资料寻求两大古隆起残留的古构造证据。通过大量二维和三维地震资料以及钻井资料研究,建立了中央古隆起与乌审旗古隆起形成演化模式,并通过残余厚度法,恢复了早长城世、早寒武世以及奥陶系马家沟组沉积期古地形。

3.1 乌审旗古隆起与中央古隆起古构造证据

寒武系沉积后,冶里期—亮甲山期鄂尔多斯盆内发生大面积水退,盆地剥蚀区分布范围西至盆地西缘,东至神木—佳县—延长—宜川—一线,北至临河—包头—一线,南至崇信—正宁—黄陵—宜川—一线以北一线^[12-14],环盆地剥蚀区的北部、东部及南部均有地层沉积,并形成了华北地台上一个重要的区域性不整合面——怀远不整合面^[13-14]。

三维地震资料揭示的残留冲刷沟槽很好地还原了此次构造事件(怀远运动)。研究区遭受最长达30 Myr的暴露剥蚀^[12-13],形成了奥陶系底部(或寒武系顶部/

长城系顶部)的冲刷沟槽,这种在乌审旗古隆起之上的冲刷沟槽可见于多个三维地震工区,平面上呈弯曲的河道状(图7a),剖面上表现为地震同向轴的褶皱下凹(图7d)。从本次选取的3个三维地震工区(图7中a—c)不难发现,越靠近乌审旗古隆起,冲刷沟槽便越发育。位于乌审旗古隆起发育区域的 α 三维地震工区其沟槽特征最为明显(图1,图7), β 三维地震工区位于乌审旗古隆起西侧,该区寒武系由西向东减薄(图7e),但沟槽发育程度明显弱于 α 三维地震工区(图7a,b),G—G'剖面见长城系向乌审旗古隆起超覆;位于中央古隆起东侧的 γ 三维地震工区(图1,图7),其沟槽特征更弱,难以识别(图7c),该三维地震工区见寒武系向东超覆(乌审旗古隆起方向),奥陶系向中央古隆起超覆(图7f)。乌审旗古隆起发育区奥陶系底部冲刷沟槽明显强于中央古隆起发育区,可能指示怀远运动期(甚至怀远运动之前)乌审旗古隆起古构造普遍高于中央古隆起, γ 三维地震工区H—H'剖面寒武系向东超覆也证实了这一观点,而奥陶系向西超覆则证实奥陶系沉积期中央古隆起古构造已高于乌审旗古隆起(中央古隆起发生了构造隆升),这一认识与测井资料及二维格架大剖面的认识一致。

利用二维格架大剖面和钻井资料,根据残余厚度和地层接触关系恢复了早长城世、早寒武世及马家沟组沉积期古地形(图8)。恢复的古地形图揭示了3个沉积期。①早长城世沉积期:盆地东高西低,西部发育一系列大致北东向展布的裂谷^[10],平面上具有堑—垒相间的构造格局,此时乌审旗古隆起与中央古隆起均未开始活动(图8a)。②早寒武世沉积期:乌审旗古隆起和庆阳古隆起轮廓清晰(以寒武系缺失为边界),推测前寒武纪两大古隆起经历了构造隆升,控制了寒武系沉积(图8b)。③奥陶纪马家沟组沉积期:寒武系沉积后,研究区发生大面积水退,使得绝大部分地区缺乏地层沉积,遭受了最长达30 Myr的暴露剥蚀;到马家沟组沉积晚期,乌审旗古隆起因地层填平补齐已不可见,中央古隆起对沉积的控制作用明显(图8c)。

从恢复的3期古地形图来看,中央古隆起与乌审旗古隆起均不是基底早已存在的构造高地^[6],中央古隆起应该隆升于马家沟组沉积前,此前盆地西南部的庆阳古隆起与北部的伊盟古隆起独立活动,马家沟组沉积前构造运动使古隆起隆升成型,形成了北达伊盟古隆起、南连庆阳古隆起的“L型”中央古隆起;乌审旗古隆起则是隆升于前寒武纪,控制寒武系沉积,后逐步消隐,至马家沟组沉积末期已几乎不可见。

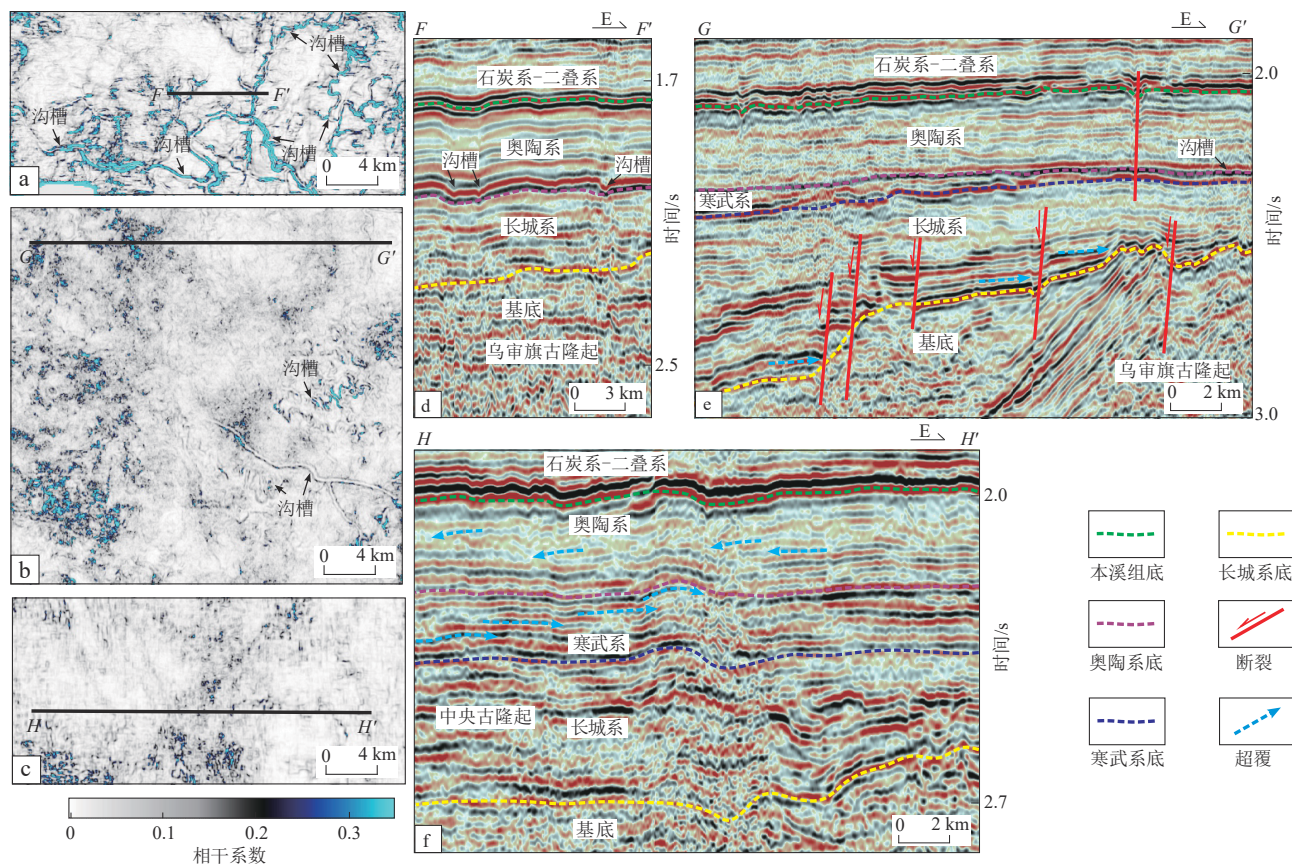


图7 鄂尔多斯盆地三维地震工区(α , β 和 γ)奥陶系底相干剖面与地震剖面(三维地震工区位置见图1a)

Fig. 7 Coherence map showing the bottom of the Ordovician and seismic sections for the 3D seismic acreage (α , β and γ) in the Ordos Basin (see Fig. 1a for the locations of the 3D seismic acreage)

a. α 三维地震工区奥陶系底顺层相干剖面; b. β 三维地震工区奥陶系底顺层相干剖面; c. γ 三维地震工区奥陶系底顺层相干剖面; d. α 三维地震工区F—F'地震剖面; e. β 三维地震工区G—G'地震剖面; f. γ 三维地震工区H—H'地震剖面

3.2 乌审旗古隆起与中央古隆起形成演化模式及对沉积的控制作用

据前文二维和三维地震资料的研究,乌审旗古隆起与中央古隆起形成演化及对沉积相带的控制作用表现为:①中寒武世毛庄组沉积期(图9a),乌审旗古隆起隆升,研究区构造格局开始改变。②晚寒武世徐庄组—三山子组沉积期(图9b),乌审旗古隆起东、西两侧均有地层沉积,沉积模式类似于碳酸盐缓坡沉积,寒武系向古隆起超覆,此时中央古隆起还未活动。③早奥陶世冶里组—亮甲山组沉积末期(图9c),盆内发生大面积水退,研究区大面积遭受暴露剥蚀,乌审旗古隆起由于古构造高,其剥蚀最为严重,长城系和寒武系均有剥蚀,中央古隆起古构造低于乌审旗古隆起,剥蚀程度较轻,寒武系部分地层得以保存。④奥陶纪马家沟组马六段沉积末期(图9d),乌审旗古隆起逐步被沉积填平,马家沟组沉积前中央古隆起开始隆升,使得中央古隆起之上缺失马一段和马二段,中央古隆起的隆升

将研究区分割为两大沉积体系,即东部的华北海沉积体系与西部的祁连海沉积体系。华北海域沉积马家沟组,由于海退、蒸发和围限,马一段、马三段和马五段沉积膏盐岩;祁连海域沉积三道坎组、桌子山组和克里摩里组,古隆起之上构造较高,马三段和马四段沉积高孔隙度白云岩,且厚度较大(图2)。⑤晚奥陶世及加里东末风化壳期(图8e),鄂尔多斯盆地整体抬升,中央古隆起由于马家沟组沉积前的隆升以及马家沟组沉积较厚,遭受剥蚀最为严重,马五段和马六段被剥蚀殆尽,马四段部分被剥蚀(图2);中央古隆起东部同样遭受剥蚀,马六段仅局部残留,西部沉积中—上奥陶统。

4 乌审旗古隆起与中央古隆起对油气成藏的控制作用

鄂尔多斯盆地中、东部天然气成藏具有上、下古生界双源供烃的优势^[15-17]。上古生界煤系烃源岩在盆地东高西低的构造格局下,可沿中央古隆起供烃窗口(马

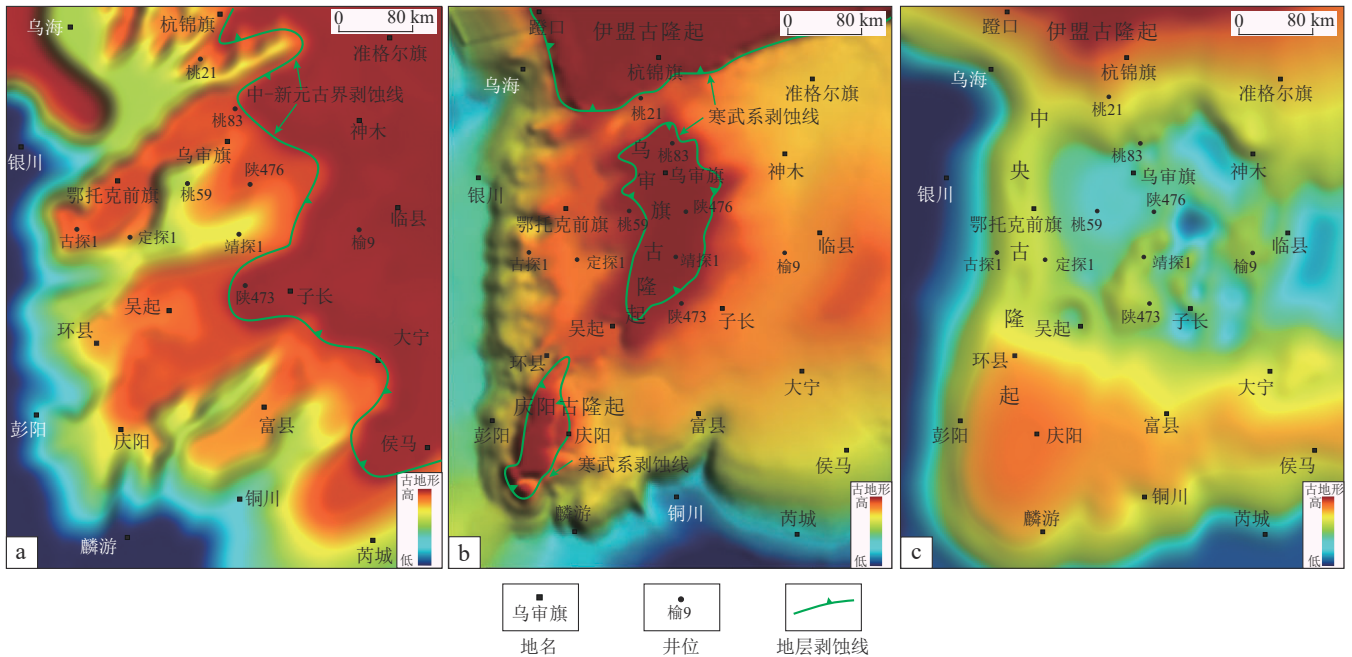


图8 鄂尔多斯盆地不同沉积期古构造恢复示意图

Fig. 8 Schematic diagrams showing the reconstructed paleo-structures of different depositional periods in the Ordos Basin

a. 早长城世; b. 早寒武世; c. 奥陶纪马家沟组沉积期

四段直接与二叠系接触)向盆地中、东部供烃,同时马一段、马三段和马五段发育海相烃源岩,具有良好生烃条件,寒武系发育泥岩、灰质泥岩与云质泥岩,同样具有一定的生烃潜力^[18-24]。与盆地西部及中央古隆起缺乏良好盖层相比,盆地中、东部发育海退环境下沉积的膏盐岩,可作为良好盖层^[20-22],相较而言,盆地中、东部有着更优越的油气成藏条件(图10)。除具有良好的烃源岩和盖层条件外,盆地中、东部马四段发育丘滩体储层,马五段发育风化壳型储层^[15-17],储层条件也较为优越,因此笔者认为下古生界油气勘探的潜力区带应该在盆地中、东部。

怀远运动使得寒武系顶部被大面积暴露剥蚀,能够形成风化壳型储层,在中、东部马一段膏盐岩盖层的封盖下,笔者认为其具有一定的勘探潜力,特别是乌审旗古隆起附近,古地形高、供烃潜力大、风化剥蚀严重、储层好,应该是勘探的重点(图10)。马一段—马三段重点勘探目标应该集中在盆地中部的乌审旗古隆起之上,具备源内气勘探的可能。马四段具有双源供烃的优势,盆地中部储层较好,且靠近上古生界供烃窗口,故认为大面积分布的岩性气藏是重要的勘探目标。而盆地东部由于储层更为致密,且远离上古生界供烃窗口,受岩性侧向封挡,上古生界供烃能力可能较差,因此认为盆地东部断缝体是重点勘探目标。勘探实践表明,断裂能有效改善储层且具有沟通下古生界薄互层烃源岩的能力(图10),盆地东部M1井在马四段钻遇

断缝型储层,试气获 $35.24 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的高产工业气流^[17]。马五段同样具有双源供烃的优势,马家沟组顶部风化壳与盆地中部马五⁶⁻¹⁰亚段均已获得大量油气发现,近日在盆地中部完钻的J41井以及HT8井在马五⁶⁻¹⁰亚段分别试气获 $21.36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 与 $11.06 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的高产工业油气,证实了该层段巨大的勘探潜力。

5 结论

1) 测井资料与二维格架大剖面揭示乌审旗古隆起北部缺失奥陶系马一段和马二段,证实马家沟组沉积前乌审旗古隆起具有“北高南低”的构造格局。

2) 寒武系沉积期,乌审旗古隆起拥有更高的古构造格局(寒武系向乌审旗古隆起超覆),寒武系沉积后(早奥陶世冶里组—亮甲山组沉积期)中央古隆起—乌审旗古隆起一带地层被剥蚀(寒武系被削截);而奥陶纪马家沟组沉积期,中央古隆起拥有更高的古构造格局(缺失马一段和马二段),且三维地震剖面见马家沟组向中央古隆起超覆,晚奥陶世中央古隆起继续保持较高的构造格局(奥陶系削截)。

3) 三维地震资料揭示乌审旗古隆起发育区奥陶系底部冲刷沟槽明显强于中央古隆起发育区,表明怀远运动期(甚至怀远运动之前)乌审旗古隆起相较中央古隆起遭受更为严重的暴露剥蚀,间接证实了前奥陶纪乌审旗古隆起更高的古构造格局。

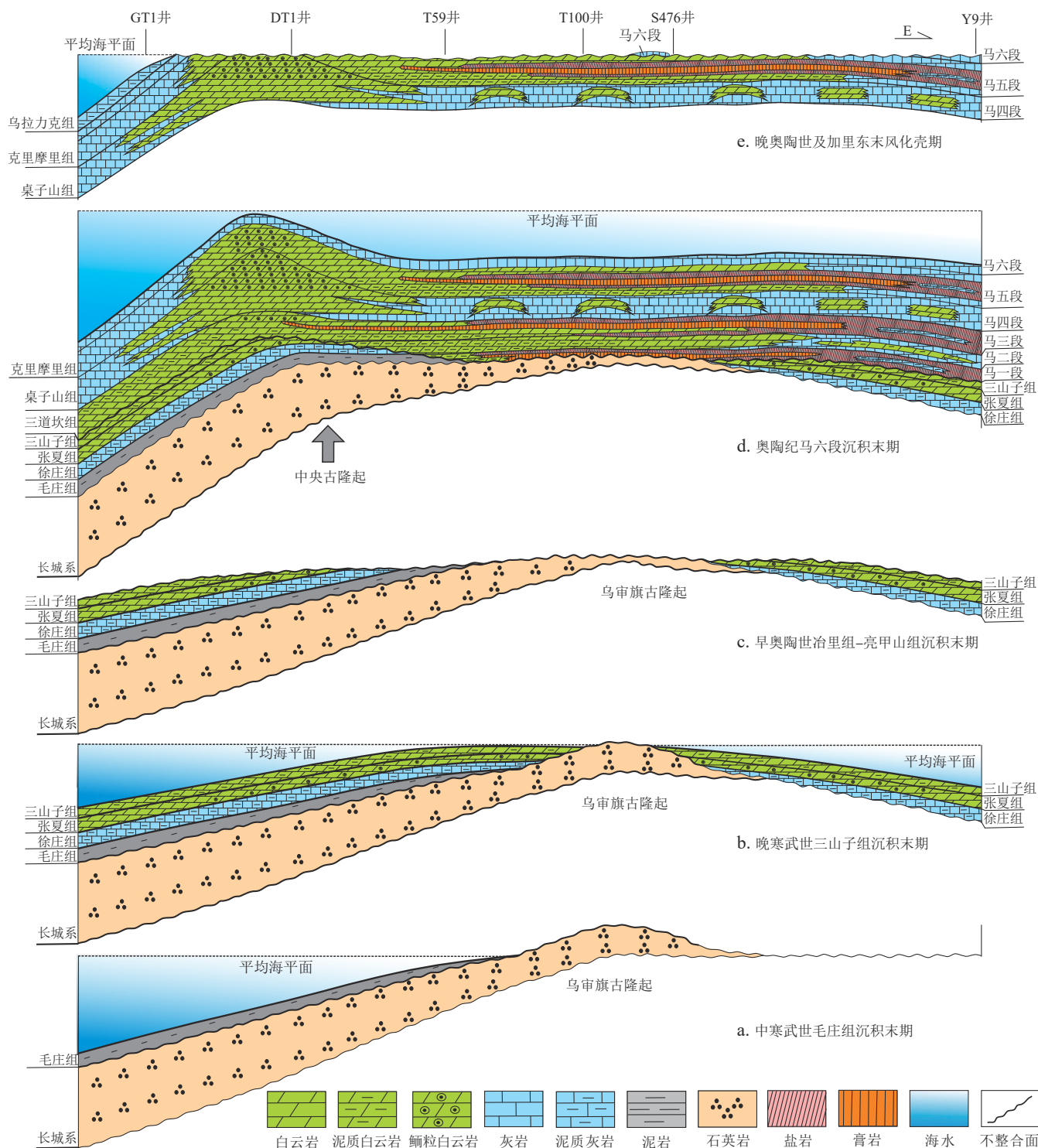


图9 鄂尔多斯盆地中央古隆起西部—乌审旗古隆起东部东西向构造演化剖面示意图

Fig. 9 Schematic diagrams showing the evolution of the E-W-trending section from the western Central paleo-uplift to the eastern Wushenqi paleo-uplift in the Ordos Basin

4) 通过对地层接触关系和残留地层厚度分析,笔者认为乌审旗古隆起活动期为前寒武纪,后逐步消隐,奥陶纪基本不再活动;中央古隆起则隆升于奥陶纪马家沟组沉积前,此前盆地西南部的庆阳古隆起与北部的伊盟古隆起独立活动,奥陶纪马家沟组沉积前由于

构造运动古隆起隆升成型,形成北达伊盟、南连庆阳古隆起的“L型”中央古隆起。

5) 两大古隆起共同控制了沉积相带分布,形成了盆地中、东部有利储-盖组合,加里东期末,鄂尔多斯盆地整体抬升,中央古隆起由于其地形较高,遭受剥蚀

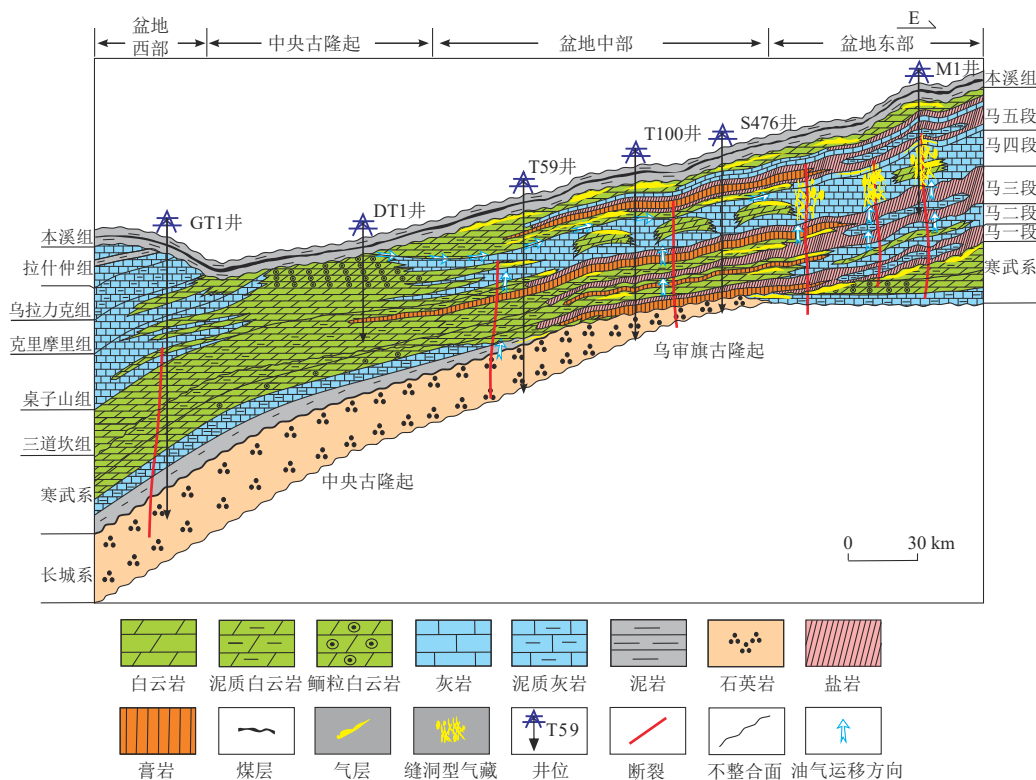


图10 鄂尔多斯盆地中央古隆起西部—乌审旗古隆起东部东西向油藏剖面示意图

Fig. 10 E-W-striking schematic oil reservoir profile from the western Central paleo-uplift to the eastern Wushenqi paleo-uplift in the Ordos Basin

最为严重,马四段直接与本溪组接触,使得盆地中、东部天然气成藏具有上、下古生界双源供烃的优势,前奥陶系风化壳型气藏,中部岩性气藏、源内气藏以及东部断缝型气藏可能成为有利勘探目标。

参考文献

- [1] 单玄龙, 邢健, 苏思远, 等. 川南长宁地区下古生界五峰组—龙马溪组一段页岩岩相与含气性特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2023, 53(5): 1323-1337.
SHAN Xuanlong, XING Jian, SU Siyuan, et al. Shale Lithofacies and Gas-Bearing Characteristics of the Lower Paleozoic Wufeng Formation-Member 1 of Longmaxi Formation in Changning Area, Southern Sichuan[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2023, 53(5): 1323-1337.
- [2] 魏柳斌, 陈洪德, 郭玮, 等. 鄂尔多斯盆地乌审旗—靖边古隆起对奥陶系盐下沉积与储层的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(2): 391-400, 521.
WEI Liubin, CHEN Hongde, GUO Wei, et al. Wushen-Jingbian paleo-uplift and its control on the Ordovician subsalt deposition and reservoirs in Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(2): 391-400, 521.
- [3] 何松高, 李传新, 张义平, 等. 基于构造物理模拟的塔中北坡NE走向滑断裂形成机理[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2023, 53(1): 73-87.
HE Songgao, LI Chuanxin, ZHANG Yiping, et al. Mechanism of the NE Trending Strike-Slip Fault in the North Slope of Tazhong Based on Analogue Modelling[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2023, 53(1): 73-87.
- [4] 孙肇才, 陈沪生, 郭正吾, 等. 试论发掘我国油气资源潜力的理论道路和方向[J]. 石油实验地质, 1983, 5(1): 36-44.
SUN Zhaocai, CHEN Husheng, GUO Zhengwu, et al. Approaching the theory, way and direction for tapping the potential of oil and gas resources of China[J]. Petroleum Geology and Experiment, 1983, 5(1): 36-44.
- [5] 汤显明, 惠斌耀. 鄂尔多斯盆地中央古隆起与天然气聚集[J]. 石油与天然气地质, 1993, 14(1): 64-71.
TANG Xianming, HUI Binyao. The central uplift of Ordos Basin and its gas accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 1993, 14(1): 64-71.
- [6] 包洪平, 何登发, 王前平, 等. 鄂尔多斯盆地四大古隆起演化及其油气控藏意义的差异[J]. 古地理学报, 2022, 24(5): 951-969.
BAO Hongping, HE Dengfa, WANG Qianping, et al. Four main paleo-uplifts evolution in Ordos Basin and their differences in significance of oil and gas reservoir control [J]. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 2022, 24(5): 951-969.
- [7] 何发岐, 张威, 丁晓琪, 等. 鄂尔多斯盆地乌审旗古隆起对岩溶气藏的控制机理[J]. 石油与天然气地质, 2023, 44(2): 276-291.
HE Faqi, ZHANG Wei, DING Xiaoqi, et al. Controlling mechanism of Wushenqi paleo-uplift on paleo-karst gas reservoirs in Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2023, 44(2): 276-291.
- [8] 毛丹凤, 何登发, 包洪平, 等. 鄂尔多斯盆地乌审旗古隆起的分布、演化及构造属性[J]. 石油勘探与开发, 2023, 50(4): 755-766.
MAO Danfeng, HE Dengfa, BAO Hongping, et al. Distribution, evolution and structural properties of Wushenqi paleo-uplift in Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2023,

- 50(4): 755-766.
- [9] 徐兴雨, 王伟锋. 鄂尔多斯盆地隐性断裂识别及其控藏作用[J]. 地球科学, 2020, 45(5): 1754-1768.
XU Xingyu, WANG Weifeng. The recognition of potential fault zone in Ordos Basin and its reservoir control[J]. Earth Science, 2020, 45(5): 1754-1768.
- [10] 周进高, 席胜利, 邓红婴, 等. 鄂尔多斯盆地寒武系—奥陶系深层海相碳酸盐岩构造—岩相古地理特征[J]. 天然气工业, 2020, 40(2): 41-53.
ZHOU Jingao, XI Shengli, DENG Hongying, et al. Tectonic-lithofacies paleogeographic characteristics of Cambrian-Ordovician deep marine carbonate rocks in the Ordos Basin[J]. Natural Gas Industry, 2020, 40(2): 41-53.
- [11] 邵东波, 包洪平, 魏柳斌, 等. 鄂尔多斯地区奥陶纪构造古地理演化与沉积充填特征[J]. 古地理学报, 2019, 21(4): 537-556.
SHAO Dongbo, BAO Hongping, WEI Liubin, et al. Tectonic palaeogeography evolution and sedimentary filling characteristics of the Ordovician in the Ordos area[J]. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 2019, 21(4): 537-556.
- [12] 李相博, 王宏波, 黄军平, 等. 鄂尔多斯盆地怀远运动不整合面特征及油气勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(5): 1043-1055.
LI Xiangbo, WANG Hongbo, HUANG Junping, et al. Characteristics of unconformity resulted from Huaiyuan movement in Ordos Basin and its significance for oil and gas exploration[J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(5): 1043-1055.
- [13] 张军涛, 张玉银, 谷宁, 等. 鄂尔多斯盆地乌审旗隆起东北侧怀远运动不整合特征及其对岩溶储层形成的意义[J]. 石油与天然气地质, 2023, 44(1): 101-109.
ZHANG Juntao, ZHANG Yuyin, GU Ning, et al. Unconformity characteristics of Huaiyuan movement in the northeast of Wushenqi paleo-uplift in Ordos Basin and its implications for karst reservoir generation[J]. Oil & Gas Geology, 2023, 44(1): 101-109.
- [14] 郭艳琴, 李文厚, 郭彬程, 等. 鄂尔多斯盆地沉积体系与古地理演化[J]. 古地理学报, 2019, 21(2): 293-320.
GUO Yanqin, LI Wenhui, GUO Bincheng, et al. Sedimentary systems and palaeogeography evolution of Ordos Basin[J]. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 2019, 21(2): 293-320.
- [15] 何海清, 郭绪杰, 赵振宇, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系盐下马四段天然气成藏新认识及勘探重大突破[J]. 石油勘探与开发, 2022, 49(3): 429-439.
HE Haiqing, GUO Xujie, ZHAO Zhenyu, et al. New understandings on gas accumulation and major exploration breakthroughs in subsalt Ma 4 member of Ordovician Majiagou Formation, Ordos Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2022, 49(3): 429-439.
- [16] 徐旺林, 李建忠, 刘新社, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系下组合天然气成藏条件与勘探方向[J]. 石油勘探与开发, 2021, 48(3): 549-561.
XU Wanglin, LI Jianzhong, LIU Xinshe, et al. Accumulation conditions and exploration directions of Ordovician lower assemblage natural gas, Ordos Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2021, 48(3): 549-561.
- [17] 付金华, 于洲, 李程善, 等. 鄂尔多斯盆地东部米探1井奥陶系马四段天然气勘探新发现及勘探方向[J]. 天然气工业, 2021, 41(12): 17-27.
FU Jinhua, YU Zhou, LI Chengshan, et al. New discovery and favorable areas of natural gas exploration in the 4th Member of Ordovician Majiagou Formation by Well Mitan 1 in the eastern Ordos Basin[J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(12): 17-27.
- [18] 刘丹, 冯子齐, 刘洋, 等. 鄂尔多斯盆地中东部下古生界奥陶系自生自储气地球化学特征[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(10): 1892-1903.
LIU Dan, FENG Ziqi, LIU Yang, et al. Geochemistry of the self-generated and self-accumulated gas of Lower Paleozoic in Ordos Basin, China[J]. Natural Gas Geoscience, 2016, 27(10): 1892-1903.
- [19] 李涵, 付金华, 季汉成, 等. 鄂尔多斯盆地西南部上古生界风化壳型铝土岩系发育过程及优势储层分布规律[J]. 石油与天然气地质, 2023, 44(5): 1243-1255.
LI Han, FU Jinhua, JI Hancheng, et al. Bauxite series in the Upper Paleozoic weathering crusts in the southwestern Ordos Basin: development and distribution of dominant reservoirs[J]. Oil & Gas Geology, 2023, 44(5): 1243-1255.
- [20] 于洲, 罗晓容, 周进高, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组四段优质白云岩储层发育特征及成因机制[J]. 天然气工业, 2024, 44(2): 30-39.
YU Zhou, LUO Xiaorong, ZHOU Jingao, et al. Development characteristics and genetic mechanisms of high-quality dolomite reservoirs in the 4th Member of Ordovician Majiagou Formation in the Ordos Basin[J]. Natural Gas Industry, 2024, 44(2): 30-39.
- [21] 孙玉景, 周立发. 鄂尔多斯盆地马五段膏盐岩沉积对天然气成藏的影响[J]. 岩性油气藏, 2018, 30(6): 67-75.
SUN Yujing, ZHOU Lifa. Influences of gypsum-salt deposition on gas accumulation of the fifth member of Majiagou Formation in Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2018, 30(6): 67-75.
- [22] 胡安平, 沈安江, 张杰, 等. 碳酸盐岩—膏盐岩高频沉积旋回组合生—储特征——以鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组中—下组合为例[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(4): 943-956.
HU Anping, SHEN Anjiang, ZHANG Jie, et al. Source-reservoir characteristics of high-frequency cyclic carbonate-evaporite assemblages: A case study of the lower and middle assemblages in the Ordovician Majiagou Formation, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(4): 943-956.
- [23] 陈平, 李明瑞, 李维, 等. 鄂尔多斯盆地东部高家堡地区下古生界断裂分层变形特征及形成机制[J]. 石油实验地质, 2024, 46(3): 542-552.
CHEN Ping, LI Mingrui, LI Wei, et al. Characteristics and formation mechanism of stratified deformation of Lower Paleozoic faults in Gaojiapu area, eastern Ordos Basin[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2024, 46(3): 542-552.
- [24] 安百州, 曾昭发, 闫照涛, 等. 鄂尔多斯盆地西缘热储构造模式及地热资源分布特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2022, 52(4): 1286-1301.
AN Baizhou, ZENG Zhaofa, YAN Zhaotao, et al. Thermal Reservoir Construction Mode and Distribution Characteristics of Geothermal Resources in Western Margin of Ordos Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2022, 52(4): 1286-1301.

(编辑 张玉银)