

# 鄂尔多斯盆地早古生代庆阳和乌审旗古隆起构造演化及其对寒武系岩相古地理的控制

张春林<sup>1</sup>, 邢凤存<sup>2,3</sup>, 张月巧<sup>1</sup>, 姜福杰<sup>4</sup>, 徐旺林<sup>1</sup>, 张阿敏<sup>5</sup>

[1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 成都理工大学油气藏地质与开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059; 3. 成都理工大学沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 4. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249; 5. 中国石油青海油田公司采油一厂, 青海 海西 816400]

**摘要:**鄂尔多斯盆地早古生代南、北两个古隆起的构造演化过程认识尚不明确, 制约了油气勘探及盆地沉积充填演化过程的研究。基于最新钻井、野外剖面及地震资料, 采用地震反射接触关系和滨岸相识别等手段, 对庆阳古隆起和乌审旗古隆起进行约束与刻画, 认为其总体经历了寒武纪的古隆起逐渐淹没阶段、寒武纪—奥陶纪的抬升剥蚀阶段、早奥陶世冶里组—亮甲山组沉积期之后的庆阳古隆起稳定—乌审旗古隆起快速沉降阶段、晚加里东期的挤压剥蚀和古隆起范围定型阶段、石炭纪—二叠纪的古隆起消亡阶段及二叠纪之后的构造掀斜定型阶段等6个主要阶段, 南、北两个古隆起具有早期发育特征相近、后期南部隆升—北部沉降的演化差异。两个古隆起形成隆—凹相间的古构造格局, 对寒武系沉积储层控制明显。古隆起总体呈东缓—西陡的古地貌特征, 古隆起东侧相对于西侧更有利于大面积白云岩储层的发育。庆阳古隆起和乌审旗古隆起在寒武纪的演化过程中对岩相古地理格局的控制具有差异性, 总体上前者控制地貌隆—凹格局及沉积更为持续。寒武纪晚期的怀远构造运动导致鄂尔多斯盆地抬升剥蚀, 致使寒武系顶部岩溶作用普遍发育。

**关键词:**古隆起; 构造演化; 沉积充填; 岩相古地理; 寒武系; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

## Tectonic evolution of Qingyang and Wushenqi paleo-uplifts during the Early Paleozoic and its control on Cambrian lithofacies paleogeography in the Ordos Basin

ZHANG Chunlin<sup>1</sup>, XING Fengcun<sup>2,3</sup>, ZHANG Yueqiao<sup>1</sup>, JIANG Fujie<sup>4</sup>, XU Wanglin<sup>1</sup>, ZHANG Amin<sup>5</sup>

[1. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China; 2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 3. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 4. College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China; 5. No. 1 Oil Extraction Factory, Qinghai Oil Field Company, PetroChina, Haixi, Qinghai 816400, China]

**Abstract:** The tectonic evolution process of Paleozoic paleo-uplifts in the north and south of the Ordos Basin is still not quite clear and this restricts the oil and gas exploration and the study on sedimentary filling evolution process in the basin. Based on the latest drilling, outcrop and seismic data, the study characterizes and defines the Qingyang and Wushenqi paleo-uplifts by means of seismic identification of reflector contact relationship and shore facies. The results show that the two paleo uplifts have experienced six major stages of evolution, namely the gradual submersion in the Cambrian, uplifting and denudation from the Cambrian to the Ordovician, stabilization of the Qingyang paleo-uplift and rapid subsidence of the Wushenqi paleo-uplift after the Yeli-Liangjiashan period, the compression, denudation and finalization of the paleo-uplifts during the Late Caledonian, the extinction of the paleo-uplifts in Carboniferous-Permian, and the tectonic tilting and finalization after the Permian. The two paleo-uplifts were similar during the early stages and differentiated during late stages with the south uplift rising and north uplift subsiding. The two paleo-uplifts together formed

收稿日期: 2022-05-30; 修订日期: 2022-10-20。

第一作者简介: 张春林(1979—), 男, 博士、高级工程师, 沉积储层与油气勘探目标评价。E-mail: mike\_zcl@163.com。

通讯作者简介: 邢凤存(1978—), 男, 博士、副教授, 沉积学、油气储层地质学和层序地层学。E-mail: xingfengcun@163.com。

基金项目: 中国科学院A类先导科技专项(XDA14010403); 中国石油“十四五”重大科技项目(2021DJ0605, 2022KT0302); 国家科技重大专项(2016ZX05007-002)。

an alternative rising-subsiding framework that had obviously controlled the sedimentary reservoirs of the Cambrian system. The paleo uplifts are gentle in the east and steep in the west. The east is more favorable for the large scale development of dolomite reservoirs. During the process of Cambrian lithofacies paleogeography evolution, both paleouplifts controlled the lithofacies paleogeography framework but with the Qingyang paleouplift working more continuously on the uplift-depression pattern and sedimentation. The Huaiyuan tectonic movement in the late Cambrian led to the uplift and denudation of the Ordos Basin, resulting in a widespread development of karstification at the top of the Cambrian.

**Key words:** paleo-uplift, tectonic evolution, sedimentary filling, lithofacies paleogeography, Cambrian, Ordos Basin

引用格式:张春林,邢凤存,张月巧,等.鄂尔多斯盆地早古生代庆阳和乌审旗古隆起构造演化及其对寒武系岩相古地理的控制[J].石油与天然气地质,2023,44(1):89-100. DOI:10.11743/ogg20230107.

ZHANG Chunlin, XING Fengcun, ZHANG Yueqiao, et al. Tectonic evolution of Qingyang and Wushenqi paleo-uplifts during the Early Paleozoic and its control on Cambrian lithofacies paleogeography in the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2023, 44(1): 89-100. DOI: 10.11743/ogg20230107.

鄂尔多斯盆地位于华北克拉通西部,包括吕梁山以西、桌子山—贺兰山—六盘山以东、阴山以南至秦岭北麓的广大地区,横跨陕、甘、宁、蒙、晋等5省区,面积约 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,是中国重要的含油气盆地<sup>[1-2]</sup>,其纵向上具有典型的“上油下气”的油气藏分布特点,上部发育三叠系延长组、侏罗系延安组两套含油层系,下部发育下古生界碳酸盐岩、上古生界砂岩两套含气层系<sup>[3-4]</sup>。鄂尔多斯盆地地下古生界形成于克拉通盆地稳定发育时期,主要发育碳酸盐岩沉积,沉积厚度大、分布广泛,油气地质成藏条件有利<sup>[1]</sup>。近年来陆续在鄂尔多斯盆地地下古生界碳酸盐岩中取得了一系列油气勘探突破<sup>[5-9]</sup>,引起广大学者的关注,鄂尔多斯盆地寒武系主要包括下寒武统辛集组、朱砂洞组、馒头组,中寒武统毛庄组、徐庄组、张夏组,上寒武统三山子组<sup>[1]</sup>,碳酸盐岩发育,但目前寒武系油气勘探尚未取得重大突破,是重点关注层系之一。

勘探实践证明,中国中、西部三大克拉通盆地的古隆起构造在油气勘探中具有十分重要的意义,其不仅是沉积盆地内重要的正向构造单元,而且对沉积储层与油气聚集具有重要的控制作用<sup>[10-15]</sup>。20世纪70年代,汤锡元等提出鄂尔多斯盆地发育中央古隆起,认为从太古宙以后长期存在的中央古隆起是寻找油气的有利地带,但尚不清楚古隆起的具体位置和发展史<sup>[16]</sup>;1983年孙肇才等明确提出庆阳至吴旗地区存在古中央隆起,是值得勘探的领域<sup>[17]</sup>;自此之后,很多学者针对鄂尔多斯盆地中央古隆起的成因、迁移及对沉积储层的控制作用做过大量相关研究,提出了4种中央古隆起形成机制的观点,分别为伸展背景下均衡翘升<sup>[11,18]</sup>、构造地体拼贴挤压<sup>[19-21]</sup>、继承基底构造成因<sup>[22-23]</sup>和早期伸展-晚期挤压复合成因<sup>[24-27]</sup>。但总体上来讲,受勘探程度限制,以往研究仅局限于中央古隆起这唯一的构造单元,而笔者近年来通过对鄂尔多斯盆地寒武系构造沉积特征研究,提出了“五槽五隆(陆)两洼”的寒武纪隆-凹相间沉积格局<sup>[28]</sup>,其中,庆阳古

隆起、乌审旗古隆起作为盆地内部的两个规模较大的隆起,对盆地主体沉积储层起到显著的控制作用。部分学者已开始关注乌审旗古隆起这一重要的构造单元,从陆内构造变形与盆地动力学角度分析,提出其为继承性隆起<sup>[27]</sup>,并且探讨了其对奥陶系马家沟组丘滩储集体分布的控制作用<sup>[29]</sup>。但上述研究偏重于动力学背景的分析与地层残余厚度的研究,缺少两大古隆起沉积边缘相标志的判识证据以及对寒武系岩相古地理的控制作用研究,为此基于地震资料、钻井资料和野外剖面资料,针对同一时期形成的庆阳古隆起和乌审旗古隆起,系统开展古隆起的识别与构造演化差异的研究,探讨其对寒武纪岩相古地理的控制作用,以期对鄂尔多斯盆地寒武系的油气勘探提供依据。

## 1 古隆起的判识标志

笔者应用钻遇寒武系的98口探井、16条野外剖面资料和22条二维地震大剖面,编制了鄂尔多斯盆地寒武系顶界地质图(图1),其呈现出鄂尔多斯盆地早古生代发育庆阳古隆起、乌审旗古隆起和伊盟古陆。但针对古陆或古隆起沉积期的分布范围以及演化过程仍存在争议,其主要是由于受到后期怀远运动(加里东运动I幕)和晚加里东运动的影响,盆地整体抬升,发生叠加剥蚀作用,造成部分地层出现缺失,一些记录没有保存下来。为能够精细刻画沉积期古陆或古隆起的分布,本文采用了多种方法进行共同约束刻画,并探讨后期的剥蚀改造。

### 1.1 地震剖面上的地震反射接触关系

本研究应用盆地级别二维地震大剖面(图1),结合钻井合成记录标定,对全盆地的寒武系底界、奥陶系底界和奥陶系顶界等关键界面进行地层对比追踪,同时通过原始地震剖面及关键界面层拉平进行地层超覆和削

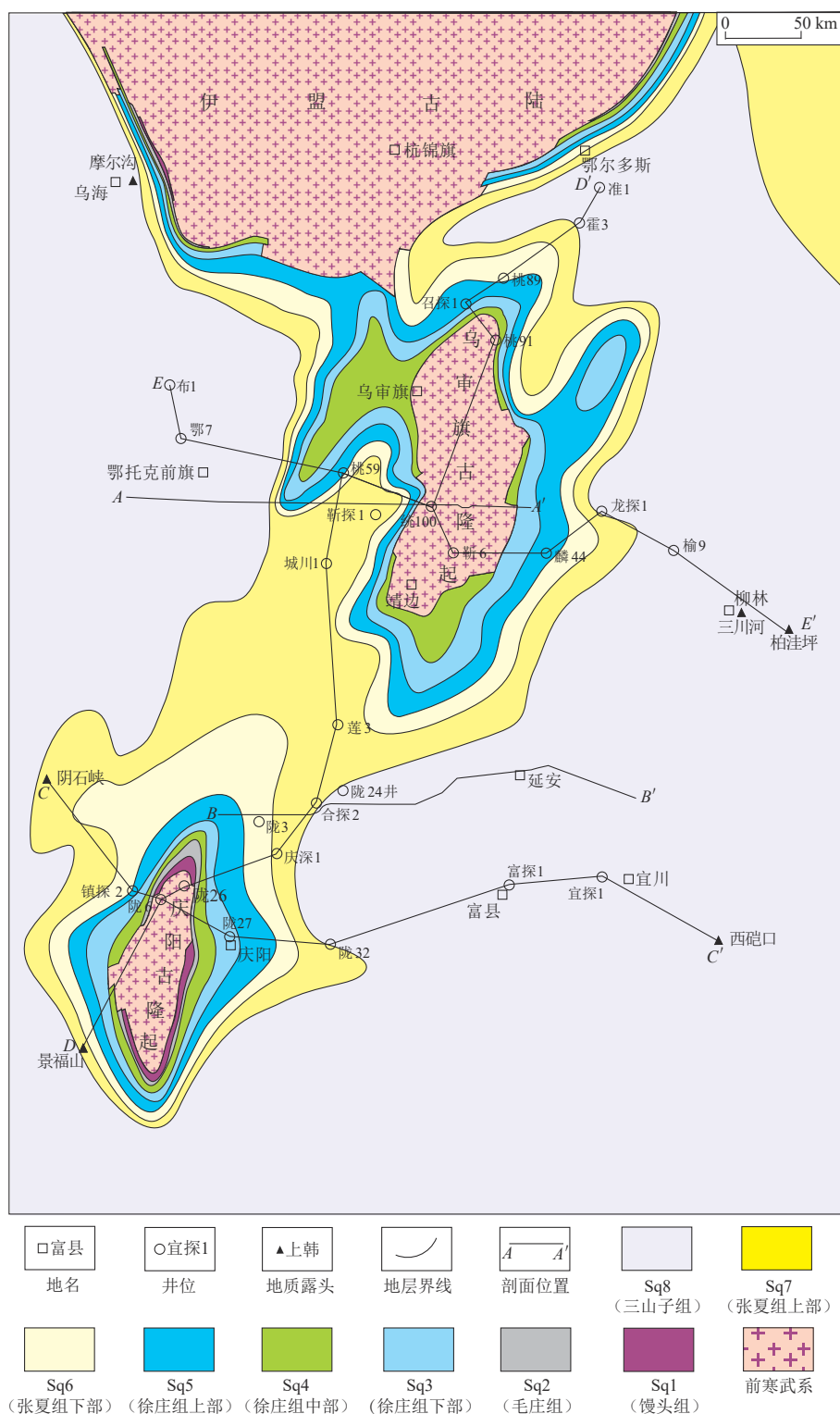


图1 鄂尔多斯盆地寒武系顶面地质图

Fig. 1 Paleogeological map showing the top of the Cambrian in the Ordos Basin

(本研究将寒武系划分出8个三级层序。)

截等现象的识别(图2)。从图2可以看出,总体上两个古隆起区的寒武系顶界和奥陶系顶界普遍具有地层削截特点,乌审旗古隆起地区的削截地震反射的范围约4 800 km<sup>2</sup>,庆阳古隆起地区的削截地震反射的范围约

2 400 km<sup>2</sup>,反映出寒武系和奥陶系沉积后均经历了构造抬升,并导致地层剥蚀缺失,而寒武系底界和奥陶系底界也可见到明显的上超特征(图2b),指示寒武纪沉积期是逐渐超覆到古隆起之上,而奥陶纪底部的超覆则反映

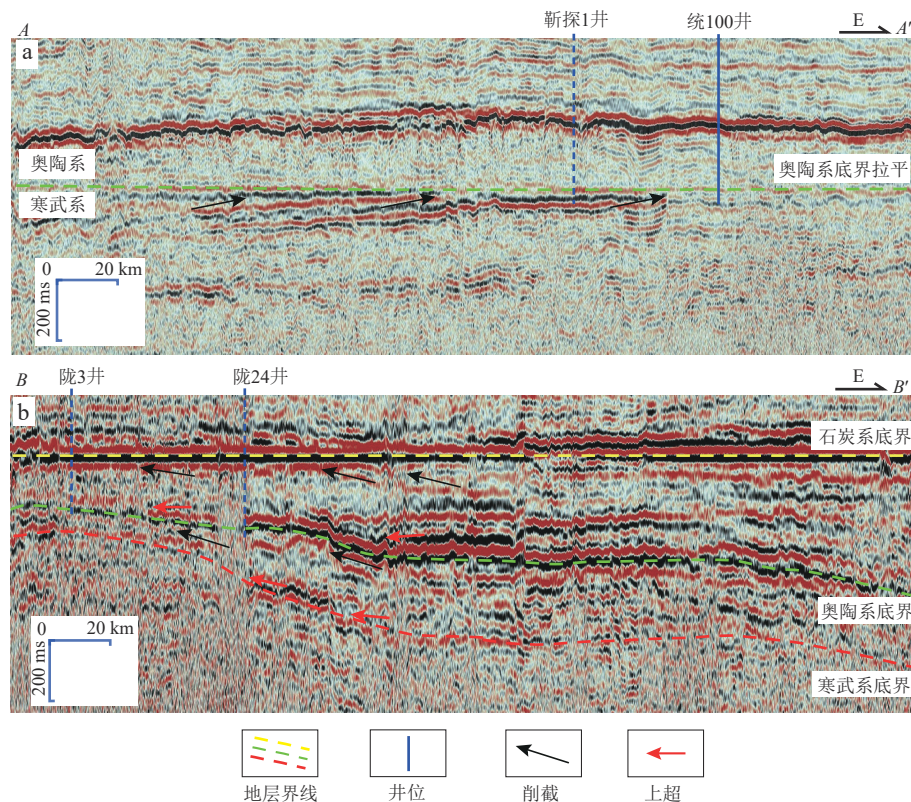


图2 鄂尔多斯盆地横跨乌审旗古隆起地震剖面(剖面位置见图1)

Fig. 2 Typical seismic profiles across the Wushenqi paleo-uplift, Ordos Basin (see Fig. 1 for the profile location)

出寒武纪地层遭受剥蚀后的海泛超覆沉积。地震剖面的地震反射接触关系能够指示地层接触关系,甚至可通过上超点判断沉积期古隆起的超覆过程,而顶部地层的剥蚀说明沉积期之后的古隆起被剥蚀过程。

## 1.2 沉积的边缘相识别

除应用地震剖面地层接触关系判别外,本次判识沉积期古隆起还充分考虑了边缘相,即滨岸相沉积记录。由于寒武系沉积在基底地层之上,基底地层多为变质岩、长城系石英砂岩、蓟县系的含硅质岩和燧石团块的白云岩、南华系的冰碛砾岩和砂岩等<sup>[30]</sup>。这种地质条件会导致在与古隆起接触的岸线区形成良好的滨岸相碎屑岩沉积,进而形成石英砂岩等滨岸相高成熟度的沉积物。相反,如是后期剥蚀地层,往往难于保留边缘相沉积物。因此,寻找碎屑岩发育的滨岸相,是判识沉积期的古隆起存在及范围的直接证据。图3a展示了临近庆阳古隆起边部彭阳店洼剖面,该剖面毛庄组发育浅红褐色含砾石英砂岩,且石英砂岩内可见平行层理和浪成交错层理(图3b)等,定为碎屑滨岸沉积;同时,含砾石英砂岩中可见来源于基底的砾石(图3c),其成分为变质岩、石英砂岩、石英岩和脉石英等,能够反映出基底的物质来源,也能够说明毛庄组沉积期庆阳古陆依然存在。图3d展示了平凉大台子剖面蓟县系

顶部含燧石团块白云岩风化壳发育,岩溶角砾化明显,其上沉积了毛庄组的中薄层石英砂岩(图3e),主要为滨岸相沉积,石英砂岩内部含硅质砾石,与下伏蓟县系燧石团块具有对应性,指示物源具有总体近源的特征,更进一步证明寒武纪早期庆阳古陆的存在。图3f是乌海摩尔沟剖面,离伊盟古陆较近,其寒武系三山子组顶部与奥陶系中-厚层状石英砂岩接触,三山子组主要为一套白云岩沉积,风暴沉积普遍,与奥陶系的滨岸石英砂岩突变接触,说明奥陶系沉积早期滨岸线位于该剖面附近,能够指示奥陶纪早期的伊盟古陆仍然暴露并遭受剥蚀。而三山子组未见明显陆源碎屑输入,说明在三山子组沉积期,伊盟古陆可能被淹没而远离该剖面区,没有为该剖面提供对应物源。

连井沉积相对比可以进一步约束沉积期的古陆或者古隆起的范围。图4展示出陇27井区的寒武系底部存在滨岸陆源碎屑沉积,说明其接近庆阳古隆起区,而镇探2井区的寒武系底部,以碳酸盐岩沉积为主,未见陆源碎屑岩性,但可见鲕粒滩发育,能够一定程度上指示古隆起边部,而该井距陇6井较近,陇6井区却缺失寒武系,结合陇27井存在滨岸沉积,认为后期构造抬升剥蚀可能造成了陇6井区地层的缺失,而镇探2井之所以没有出现陆源碎屑记录,很可能反映该地区沉积期古隆起范围有限,陆源碎屑仅分布在近古隆起区,未

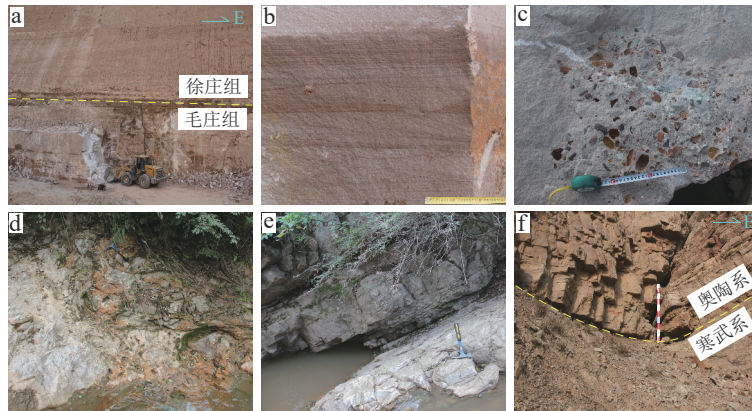


图3 鄂尔多斯盆地寒武系边缘相沉积特征野外照片

Fig. 3 Sedimentary characteristics of marginal facies in the Cambrian, Ordos Basin

a. 毛庄组和徐庄组分界,毛庄组主要为浅红褐色含砾石英砂岩,徐庄组主要为极薄层泥-粉晶云岩和泥质云岩,水平层理发育,两套地层产状一致,彭阳店洼剖面;b. 滨岸相石英砂岩,可见平行层理和浪成交错层理,毛庄组,彭阳店洼剖面;c. 含砾石英砂岩,砾石次圆-圆状,风化强,砾石周缘具有氧化圈,毛庄组,彭阳店洼剖面;d. 蓟县系顶部含燧石团块白云岩风化壳,平凉大台子剖面;e. 馒头组底部中-薄层石英砂岩,可见硅质砾石,平凉大台子剖面;f. 寒武系与奥陶系平行不整合接触,寒武系主要为泥-微晶白云岩,奥陶系为石英砂岩,乌海摩尔沟剖面

能提供充足的陆源碎屑到达镇探2井区。

综合上述研究认为,寒武纪早期庆阳古隆起和乌审旗古隆起均存在,但受到海泛影响及构造活动减弱,存在古隆起逐渐被超覆形成水下古隆起,由于两大古隆起周缘的野外剖面和钻井资料均能够见到徐庄组、张夏组和三山子组,且没有在寒武系中、上部见到陆源碎屑沉积,因此,认为两大古隆起在寒武纪中、晚期具有逐渐淹没消亡的特点。

## 2 古隆起构造演化阶段

在上述对两大古隆起判识研究的基础上,基于地震大剖面和连井地层对比剖面,应用地层厚度趋势延伸恢复剥蚀地层的方法,开展了地震大剖面和连井地层对比剖面的构造演化史分析(图5),并结合前人的研究成果<sup>[24-27]</sup>,探讨古隆起的形成与演化过程。需要说明的是,考虑到碳酸盐岩地层压实量有限,目前总体上对碳酸盐岩压实量恢复难度大,而地层厚度能够反映有效沉积厚度差异,因此本次未进行压实量校正。本次研究认为庆阳古隆起和乌审旗古隆起总体经历了6个阶段的构造演化,本次分析的重点在于寒武系和奥陶系碳酸盐岩储层相关的古隆起形成和演化阶段,即寒武系和奥陶系沉积期和接受剥蚀期(主要在阶段1—阶段4)。

### 2.1 阶段1:寒武纪的古隆起向北逐渐淹没阶段

在Rodinia超大陆解体后,早期拉张形成的深入鄂尔多斯现今盆地内部的断控区逐渐被海水淹没上超<sup>[31]</sup>。寒武纪早期海水从盆地南部和西部侵入,盆地

内部鄂尔多斯古陆被海水分离,形成隆凹相间的古构造格局,该时期古隆起是继承性古隆起,继承了Rodinia超大陆解体形成的地质格局。随着海侵的继续进行,寒武纪古隆起出现向北逐渐淹没的特征,南西方向被动超覆,其中,馒头组至毛庄组沉积时期水进快、面积大,徐庄组沉积时期水体达最大深度,张夏组沉积时期保持稳定,到寒武系晚期两个古陆均被淹没(图5a—e)。

### 2.2 阶段2:寒武纪—奥陶纪的抬升剥蚀阶段

在寒武系三山子组沉积之后,由于加里东运动I幕(怀远运动)的挤压背景<sup>[32-33]</sup>,引起构造明显抬升,海水退去,地层遭受抬升剥蚀,造成寒武系顶部地层普遍缺失,部分地区仅保存有崮山组相当的地层<sup>[34]</sup>,此阶段的暴露剥蚀,一直持续到早奥陶世的冶里组—亮甲山组沉积时期。该时期,海水重新开始侵入,但仅局限在鄂尔多斯盆地的东缘和南缘,鄂尔多斯主体仍为古陆,致使其向盆地主体呈地层超覆的沉积(图5f),因此,该时期鄂尔多斯地区仍大部分缺失冶里组、亮甲山组。需要指出的是,该期构造活动不排除叠加了加里东运动II幕的构造剥蚀改造<sup>[33]</sup>。

### 2.3 阶段3:早奥陶世冶里组—亮甲山组沉积期之后的南部稳定—北部快速差异沉降阶段

冶里组—亮甲山组沉积之后,受到加里东运动II幕的影响,地层遭受进一步剥蚀。在此之后,盆地主体沉降接受了马家沟组沉积,并且该阶段呈现出南、北沉降差异特征<sup>[31]</sup>。总体上,南部的庆阳古隆起虽处于水下,但隆起特征仍然明显,而北部的乌审旗古隆起沉降

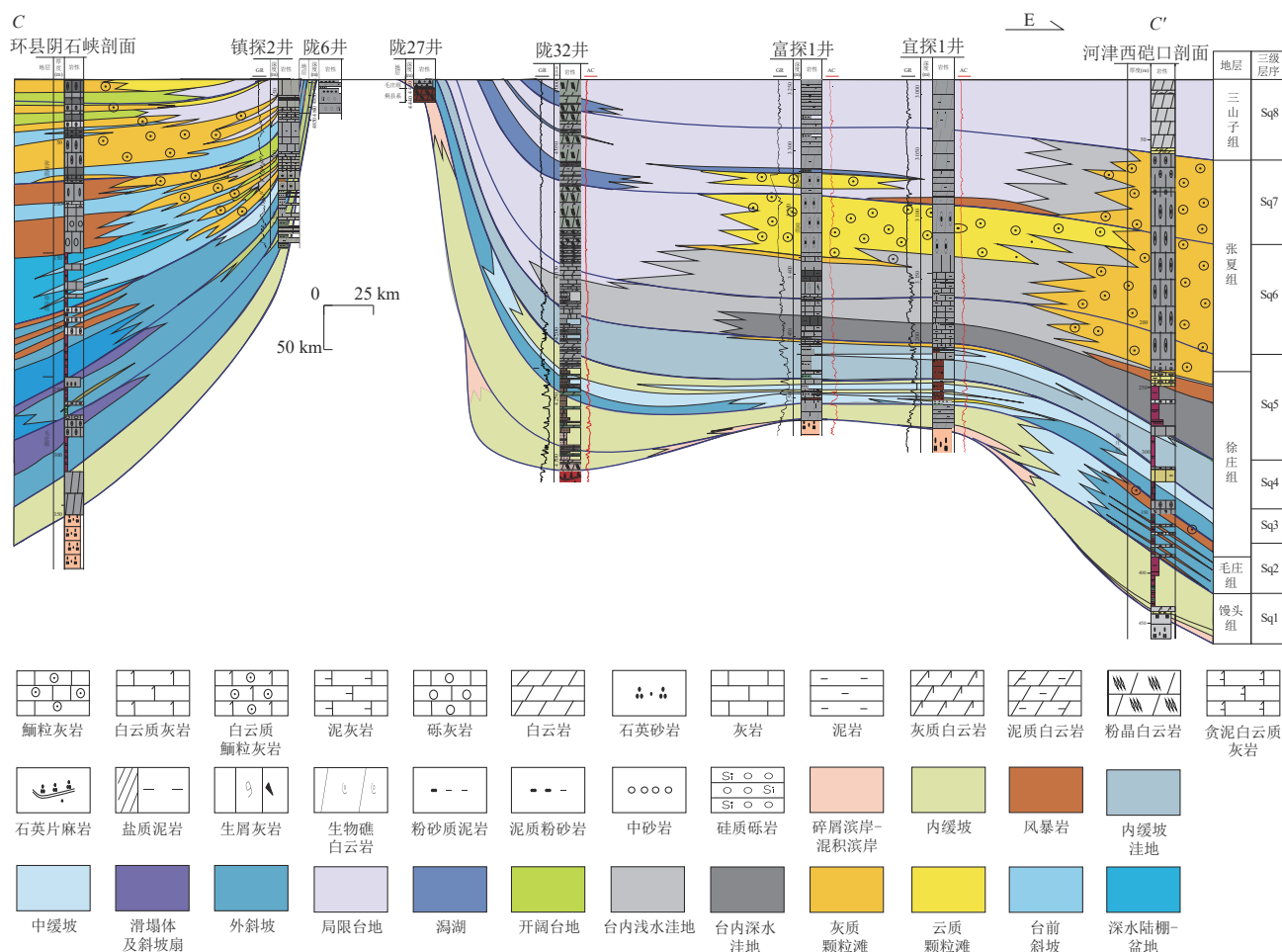


图4 鄂尔多斯盆地横跨庆阳古隆起的寒武系沉积相对比(剖面位置见图1)

Fig. 4 Cross-well correlation of sedimentary facies across the Qingyang paleo-uplift in the Cambrian, Ordos Basin (see Fig. 1 for the section location)

速度明显高于南部,这导致盆地北部地区沉积的马家沟组地层明显较南部地区地层厚度大(图5g)。

## 2.4 阶段4:晚加里东期的挤压剥蚀和古隆起范围定型阶段

该阶段主要表现为加里东运动Ⅲ幕使鄂尔多斯盆地及其整个华北地区隆起,使其遭受长达140 Ma的抬升剥蚀,至晚石炭世盆地主体部分才接受海侵,其间缺失了上奥陶统、志留系、泥盆系及下石炭统的沉积,造成了地层间的侵蚀不整合接触关系。相较于其他地区,两大古隆起区遭受更加强烈的挤压隆起剥蚀,从而定下了两大古隆起的最终范围(图1),并出现构造东迁乃至反转现象。

## 2.5 阶段5:石炭纪—二叠纪的古隆起消亡阶段

石炭纪,鄂尔多斯盆地南部的秦祁地区再次裂开形成南秦岭裂谷带,从而促使贺兰拗拉槽活动;同时,

由于伊盟古陆、乌审旗古隆起和庆阳古隆起的存在,鄂尔多斯盆地整体上被分割为东、西两部分,西部为裂陷盆地、东部为陆表海盆地。石炭纪末—早二叠世,乌审旗古隆起和庆阳古隆起逐渐调整,直至消亡<sup>[35-36]</sup>。

## 2.6 阶段6:二叠纪之后的构造掀斜定型阶段

二叠纪之后,发生了一系列构造运动,导致早期两大古隆起区深埋藏到地下,后期构造并未对两个古隆起造成剥蚀,仅为形态上的改造,鄂尔多斯盆地整体上表现为东部抬升、西部沉降特征<sup>[2]</sup>(图6),并形成现今向东掀斜的单斜地层结构。

综合上述分析认为,庆阳古隆起和乌审旗古隆起的演化具有差异性,在寒武纪末期—早奥陶世出现明显分异,北部乌审旗古隆起以沉降为主,沉降中心具有向东迁移趋势,地层保存较好;而庆阳古隆起则以隆升剥蚀为主,并叠加了后期多次构造运动改造,地层剥蚀强。总体特征表现为庆阳古隆起早期小、后期大,沉积

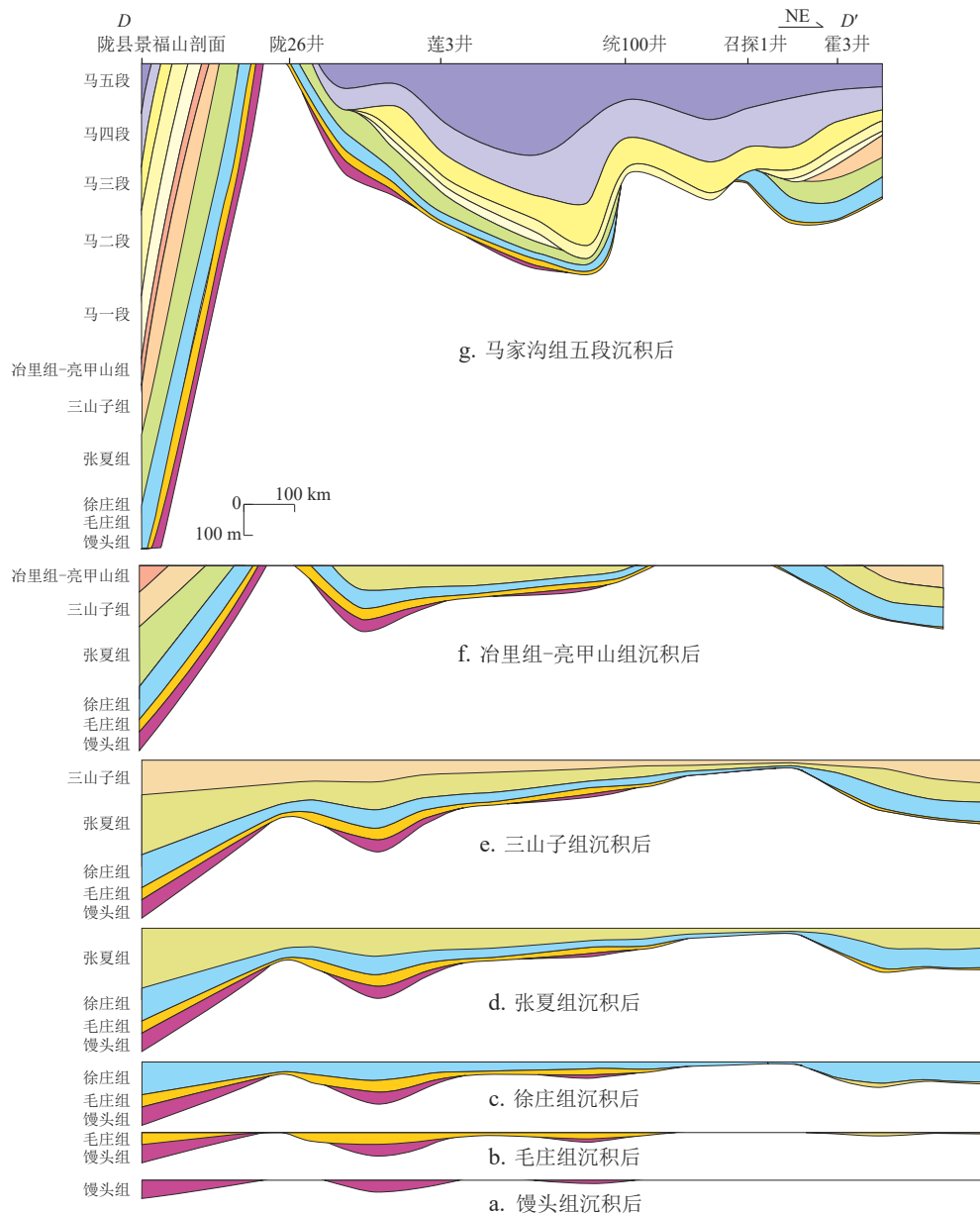


图5 鄂尔多斯盆地横跨两大古隆起的南北向构造-沉积演化剖面(剖面位置见图1)

Fig. 5 Tectonic-sedimentary evolution on a south-north section across two paleo-uplifts in the Ordos Basin (see Fig. 1 for the section location)

厚度小,后期挤压抬升和剥蚀强,对沉积储层影响大;乌审旗古隆起早期大、后期小,沉积厚度薄,后期挤压剥蚀弱。

### 3 古隆起对寒武纪岩相古地理的控制作用

两大古隆起的形成与演化控制着沉积环境与沉积岩性的迁移变化,不同时期的古隆起是沉积相展布乃至储集体发育的主要控制因素之一。2017年张春林基于野外剖面与钻井岩心的岩石学、沉积构造特征及测录井资料,对鄂尔多斯盆地寒武纪岩相古地理进行

了系统研究<sup>[1]</sup>,在该研究基础上,本次研究划分出碳酸盐台地和碳酸盐缓坡两类碳酸盐沉积样式,碳酸盐台地模式主要包含了局限台地(图6a,b)、开阔台地、台地边缘(图6c,d)、台前斜坡(图6e,f)、陆棚、盆地等沉积相类型,其主要发育在张夏组和三山子组内;而碳酸盐缓坡则主要由内缓坡(图7a,b)、中缓坡(图7c)、外缓坡(图7d)等构成,主要发育在馒头组、徐庄组,而在沉积期古隆起周围普遍发育陆源碎屑或者混积滨岸(图3)。

基于98口探井、16条野外剖面的岩石学和沉积构造特征的研究,对寒武系重点层系岩相古地理进行了研究,确认庆阳古隆起和乌审旗古隆起对鄂尔

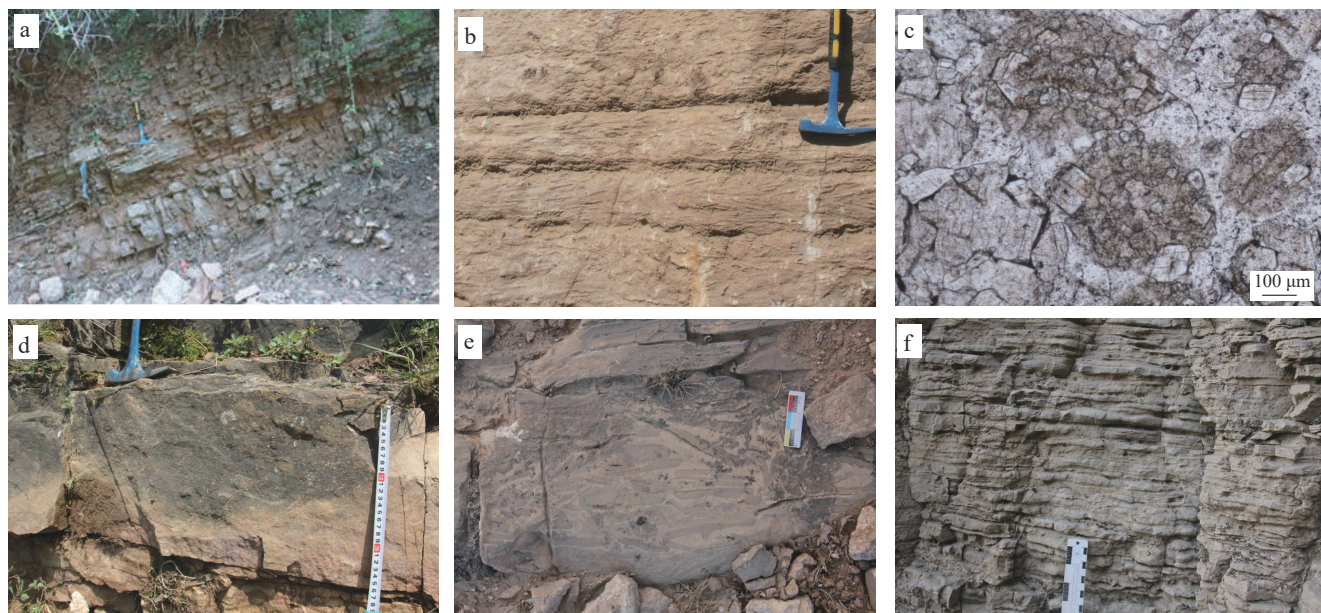


图6 鄂尔多斯盆地寒武系碳酸盐台地沉积典型照片

Fig. 6 Typical photos of sedimentary rocks on a Cambrian carbonate platform in the Ordos Basin

a. 灰色中-薄层粉晶白云岩,局限台地潮坪,三山子组,平凉大台子剖面;b. 羽状交错层理,潮坪沉积,张夏组,清水河剖面;c. 不等晶白云岩,残余鲕粒结构,台缘鲕滩,张夏组,庆探2井,深埋4 849.9 m;d. 潮汐层理,台缘鲕粒滩,张夏组,平凉大台子剖面;e. 竹叶状云岩,风暴沉积,三山子组,青龙山剖面(改自张春林等,2021)<sup>[37]</sup>;f. 台前斜坡正常沉积,张夏组,摩尔沟剖面(改自张春林等,2021)<sup>[37]</sup>

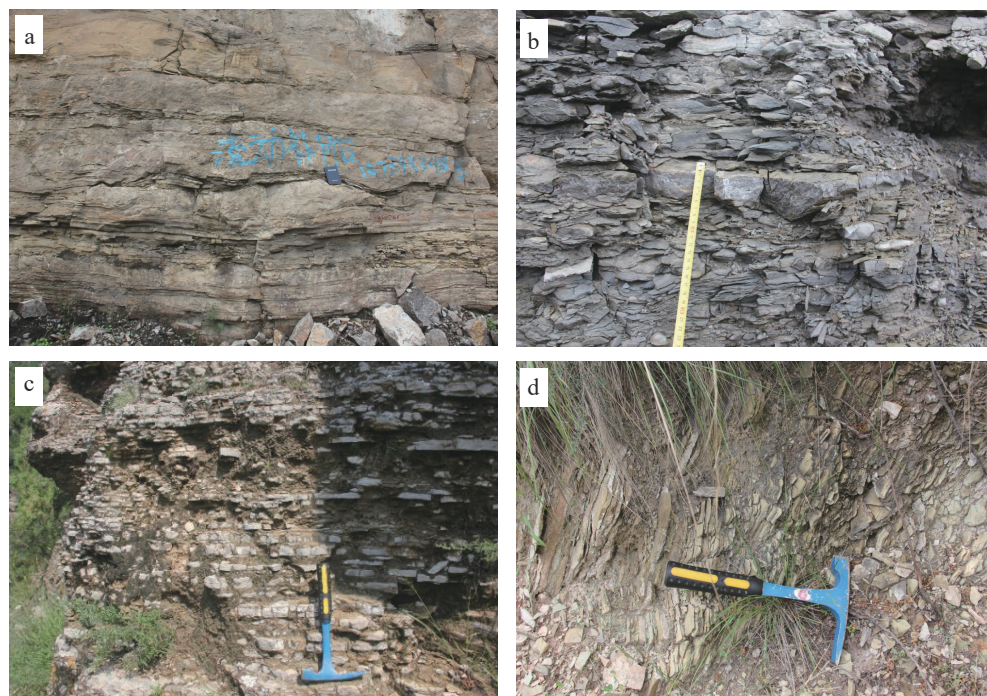


图7 鄂尔多斯盆地寒武系碳酸盐缓坡沉积典型野外照片

Fig. 7 Typical photos of sedimentary rocks on a Cambrian carbonate ramp in the Ordos Basin

a. 内缓坡潮道沉积,徐庄组,清水河剖面;b. 暗色泥页岩,局限台洼,徐庄组,中阳柏洼坪剖面;c. 泥晶灰岩与灰绿色页岩薄互层,中缓坡,徐庄组,兴县恶虎滩剖面;d. 绿灰色页岩,外缓坡,徐庄组,河津西碛口剖面

多斯盆地寒武系沉积的控制作用,总体表现为古隆起的存在致使该盆地寒武纪呈现隆-凹相间的古构

造格局<sup>[28]</sup>,两大古隆起区的上超尖灭带普遍发育陆源碎屑滨岸,庆阳古隆起两侧相对斜坡区发育碳酸

盐颗粒滩沉积,乌审旗古隆起两侧相对缓坡区发育碳酸盐潮坪沉积。

受海平面升降变化的控制,庆阳古隆起和乌审旗古隆起分布范围变化较大。寒武纪早期,海平面较低,鄂尔多斯地区主体表现为前寒武纪的基底暴露区,没有接受沉积,此时被称之为鄂尔多斯古陆<sup>[22]</sup>。辛集期—朱砂洞期,海域范围由南向北、自西向东开始侵入鄂尔多斯台地,但仅在鄂尔多斯地区西缘、南缘地区沉积了厚度较薄的含磷碎屑岩和含砂泥白云岩,主体地区仍为统一的古陆。馒头期,海平面继续上升,海域范围向北、向东有所扩大,但大部分区域仍然为古陆,独立的古隆起仍未形成,仅鄂尔多斯地区的西缘、南缘和东北缘可见部分内缓坡—潮坪沉积,鄂尔多斯古陆边缘环绕分布碎屑滨岸—混积滨岸沉积(图8a)。毛庄期—徐庄期,随着海平面持续上升,海水大规模进入鄂尔多斯地区,构造格局与馒头期相比差异性明显,主要体现为鄂尔多斯古陆被海水分割成庆阳古隆起、乌审旗古隆起、吕梁古隆起以及伊盟古陆,其中庆阳古隆

起属于高陡型、乌审旗古隆起属于宽缓型,并且庆阳古隆起所处区域的海水与外海沟通、海水循环能量强,致使庆阳古隆起周缘主要发育滨岸相砂岩沉积、潮坪和台缘高能鲕粒滩沉积,而乌审旗古隆起处于鄂尔多斯地区中部,其所处区域的海水较浅、海水循环能量弱,其周缘主要发育滨岸相砂岩沉积和低能潮坪沉积(图8b)。张夏期—三山子期,随着海平面的持续上升,庆阳古隆起和乌审旗古隆起均沉没于海平面以下,前期乌审旗古隆起周缘地貌已被填平补齐,此时该区域主要发育潮坪相沉积;相较之下,庆阳古隆起规模较大,成为水下古隆起,其周缘主要发育大面积的高能鲕粒滩,同时,早期的低洼区仍然具有继承性,成为台洼以及潟湖发育区(图9)。

## 4 结论

1) 依据钻井、野外剖面 and 地震等资料,编制了鄂尔多斯盆地寒武系顶界地质图,结合地震剖面上的地

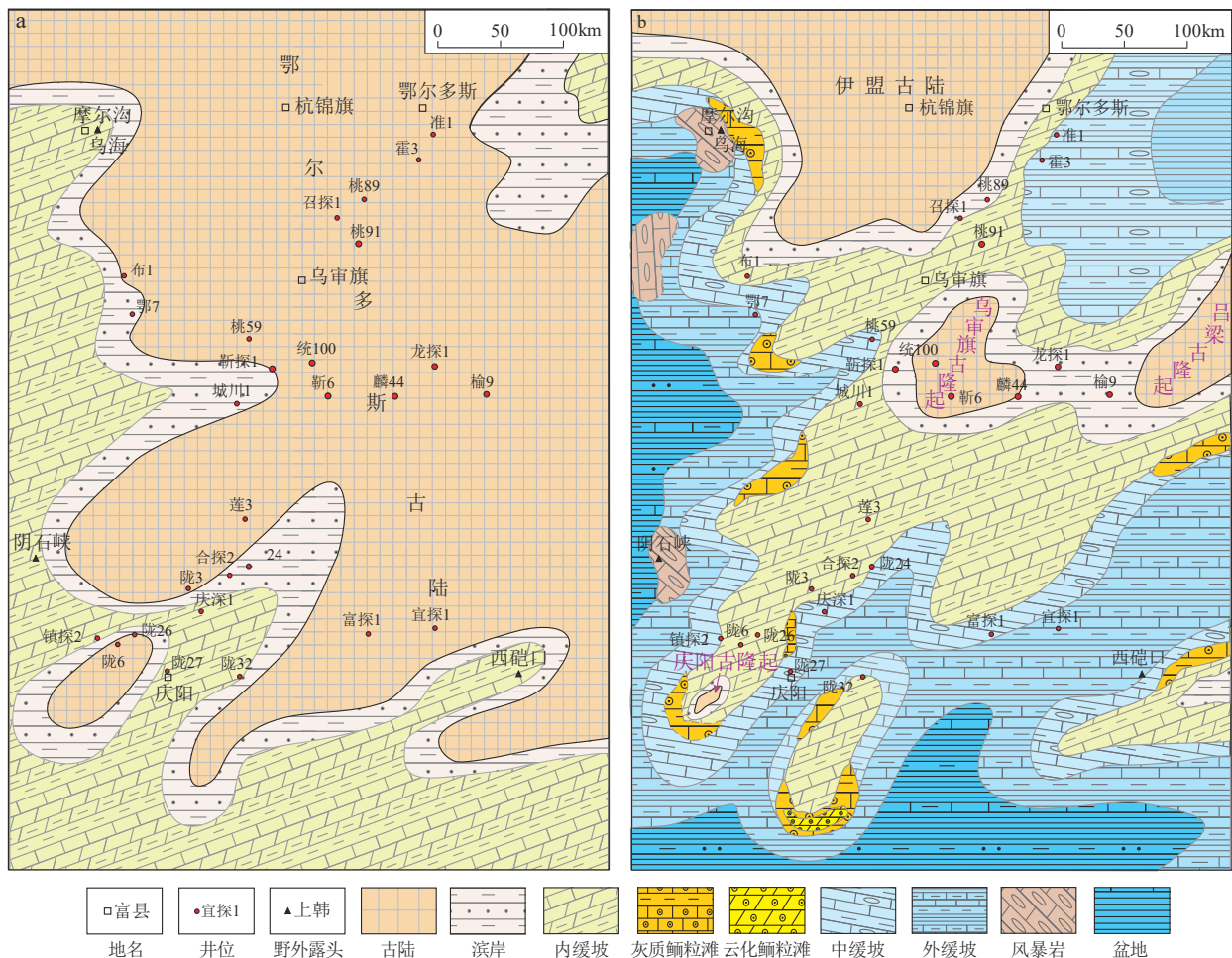


图8 鄂尔多斯盆地馒头期岩(a)和徐庄期(b)相古地理

Fig. 8 Lithofacies paleogeography of the Mantou (a) and Xuzhuang (b) periods in the Ordos Basin

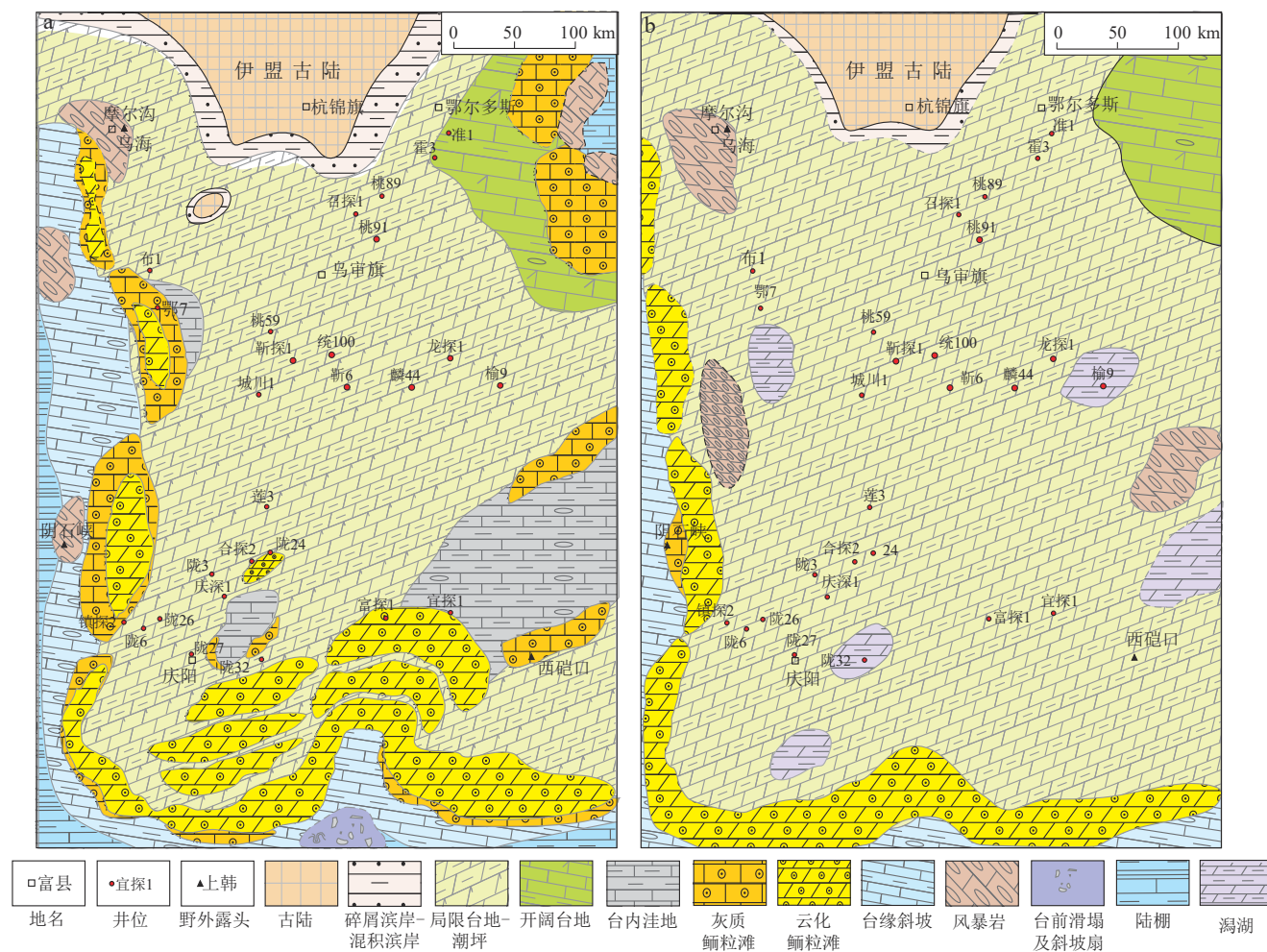


图9 鄂尔多斯盆地张夏期(a)和三山子期(b)岩相古地理

Fig. 9 Lithofacies paleogeography of the Zhangxia (a) and Sanshanzi (b) periods in the Ordos Basin

震反射接触关系和沉积边缘相识别等方法,揭示寒武纪早期鄂尔多斯盆地发育庆阳古隆起、乌审旗古隆起和伊盟古陆,寒武纪中、晚期庆阳古隆起和乌审旗古隆起逐渐被海水超覆形成水下古隆起,并逐渐消亡。

2) 鄂尔多斯盆地庆阳古隆起和乌审旗古隆起经历了寒武纪的古隆起逐渐淹没阶段、寒武纪—奥陶纪的抬升剥蚀阶段、早奥陶世冶里组—亮甲山组沉积期之后的庆阳古隆起稳定—乌审旗古隆起快速沉降阶段、晚加里东期的挤压剥蚀和古隆起范围定型阶段、石炭纪—二叠纪的古隆起消亡阶段及二叠纪之后的构造掀斜定型阶段等6个主要阶段。两大古隆起对寒武系的沉积控制明显但具有差异性,总体特征表现为庆阳古隆起控制云化台缘高能鲕粒滩,两侧逐渐向相对深水区过渡,寒武纪中、晚期地貌逐渐平整化,但仍对颗粒滩、台内潟湖和台洼沉积具有一定控制作用,该隆起后期挤压抬升和剥蚀作用强;乌审旗古隆起周边沉积厚度薄,发育潮坪沉积,寒武纪中、晚期逐渐填平补齐,潮坪沉积为主,颗粒滩发育弱,该隆起后期挤压剥蚀作用弱,对沉积影响小。

致谢:论文编写过程中得到了成都理工大学郑杭、古强、陈孝全等的帮助,感谢评审专家和编辑部老师提出的宝贵意见。

### 参 考 文 献

- [1] 张春林, 张福东, 朱秋影, 等. 鄂尔多斯克拉通盆地寒武纪古构造与岩相古地理再认识[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(2): 281-291.  
ZHANG Chunlin, ZHANG Fudong, ZHU Qiuying, et al. New understanding of the Cambrian palaeotectonic and lithofacies paleogeography in the Ordos craton basin [J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(2): 281-291.
- [2] 张春林, 侯连华, 刘新社, 等. 鄂尔多斯盆地东北部下古生界油苗地球化学特征及意义[J]. 中国矿业大学学报, 2022, 51(2): 329-343.  
ZHANG Chunlin, HOU Lianhua, LIU Xinshe, et al. Geochemical characteristics of oil seepage and its implications in Lower Paleozoic, northeastern Ordos Basin [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2022, 51(2): 329-343.
- [3] 刘池洋, 王建强, 张东东, 等. 鄂尔多斯盆地油气资源丰富的

- 成因与赋存-成藏特点[J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(5): 1011-1029.
- LIU Chiyang, WANG Jianqiang, ZHANG Dongdong, et al. Genesis of rich hydrocarbon resources and their occurrence and accumulation characteristics in the Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(5): 1011-1029.
- [4] 付金华, 李士祥, 刘显阳. 鄂尔多斯盆地石油勘探地质理论与实践[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(6): 1091-1101.
- FU Jinhua, LI Shixiang, LIU Xianyang. Geological theory and practice of petroleum exploration in the Ordos Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(6): 1091-1101.
- [5] 杨华, 付金华, 魏新善, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系海相碳酸盐岩天然气勘探领域[J]. 石油学报, 2011, 32(5): 733-740.
- YANG Hua, FU Jinhua, WEI Xinshan, et al. Natural gas exploration domains in Ordovician marine carbonates, Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(5): 733-740.
- [6] 时保宏, 刘亚楠, 武春英, 等. 鄂尔多斯盆地古隆起东侧奥陶系马家沟组中组合成藏地质条件[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(5): 610-618.
- SHI Baohong, LIU Yanan, WU Chunying, et al. Geological conditions for hydrocarbon accumulation in middle reservoir-source rock combination of the Ordovician Majiagou Formation on the east side of the paleo-uplift in Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(5): 610-618.
- [7] 王大鹏, 陆红梅, 陈小亮, 等. 海相碳酸盐岩大中型油气田成藏体系及分布特征[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(3): 363-371.
- WANG Dapeng, LU Hongmei, CHEN Xiaoliang, et al. Petroleum accumulation systems and distribution of medium to large marine carbonate fields [J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(3): 363-371.
- [8] 杨华, 包洪平. 鄂尔多斯盆地奥陶系中组合成藏特征及勘探启示[J]. 天然气工业, 2011, 31(12): 11-20.
- YANG Hua, BAO Hongping. Characteristics of hydrocarbon accumulation in the Middle Ordovician assemblages and their significance for gas exploration in the Ordos Basin [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(12): 11-20.
- [9] 何登发, 包洪平, 开百泽, 等. 鄂尔多斯克拉通地块活化了吗? [J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(6): 1271-1291.
- HE Dengfa, BAO Hongping, KAI Baize, et al. Has the Ordos Block, a cratonic block been reactivated? [J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(6): 1271-1291.
- [10] 冉启贵, 陈发景, 张光亚. 中国克拉通古隆起的形成、演化及与油气关系[J]. 现代地质, 1997, 11(4): 478-487.
- RAN Qigui, CHEN Fajing, ZHANG Guangya. Formation and tectonic evolution of cratonic paleouplifts and its relation to hydrocarbon migration and accumulation in China [J]. Geoscience, 1997, 11(4): 478-487.
- [11] 何登发, 谢晓安. 中国克拉通盆地中央古隆起与油气勘探[J]. 勘探家, 1997, 2(2): 11-19, 5-6.
- HE Dengfa, XIE Xiaolan. Petroleum exploration in central paleo-uplifts of cratonic basins in China [J]. Petroleum Explorationist, 1997, 2(2): 11-19, 5-6.
- [12] 孙冬胜, 李双建, 云金表, 等. 中国海相克拉通盆地古隆起的活动性与油气分布[J]. 地质学报, 2017, 91(7): 1589-1603.
- SUN Dongsheng, LI Shuangjian, YUN Jinbiao, et al. The activities of paleo-uplifts and distribution of oil and gas in marine craton basins, China [J]. Acta Geologica Sinica, 2017, 91(7): 1589-1603.
- [13] 李浩. 鄂尔多斯盆地古生界气藏成藏模式及优势储层预测[J]. 特种油气藏, 2022, 29(2): 57-63.
- LI Hao. Accumulation pattern and favorable reservoir prediction of Paleozoic Gas Reservoirs in Ordos Basin [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2022, 29(2): 57-63.
- [14] 赵靖舟, 王清华, 时保宏, 等. 塔里木古生界克拉通盆地海相油气富集规律与古隆起控油气论[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(6): 703-712.
- ZHAO Jingzhou, WANG Qinghua, SHI Baohong, et al. Marine hydrocarbon enrichment rules and palaeouplift-controlling hydrocarbon theory for the Paleozoic Tarim craton basin [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(6): 703-712.
- [15] 纪友亮, 周勇, 况军, 等. 准噶尔盆地车-莫古隆起形成演化及对沉积相的控制作用[J]. 中国科学: 地球科学, 2010, 40(10): 1342-1355.
- JI Youliang, ZHOU Yong, KUANG Jun, et al. The formation and evolution of Chepaizi-Mosuowan paleo-uplift and its control on the distributions of sedimentary facies in the Junggar Basin [J]. Science China: Earth Sciences, 2010, 40(10): 1342-1355.
- [16] 汤锡元, 赵重远, 王定一. 陕甘宁盆地前石炭系基底大地构造及其含油远景[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1978(3): 21-46, 97-98.
- TANG Xiyuan, ZHAO Chongyuan, WANG Dingyi. Pre-carboniferous basement tectonics and its oil-bearing prospects in Shaanxi-Gansu-Ningxia Basin [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 1978(3): 21-46, 97-98.
- [17] 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 & Experiment, 1983, 5(1): 36-44.
- [18] 赵重远, 刘池洋. 华北克拉通沉积盆地形成与演化及其油气赋存[M]. 西安: 西北大学出版社, 1990: 1-189.
- ZHAO Chongyuan, LIU Chiyan. The formation and evolution of the sedimentary basins and their hydrocarbon occurrence in the North China craton [M]. Xi'an: Northwestern University Press, 1990: 1-189.
- [19] 任文军, 张庆龙, 张进, 等. 鄂尔多斯盆地中央古隆起板块构造成因初步研究[J]. 大地构造与成矿学, 1999, 23(2): 191-196.
- REN Wenjun, ZHANG Qinglong, ZHANG Jin, et al. The plate tectonic formation of the central paleouplift in the Ordos Basin [J]. Geotectonica et Metallogenia, 1999, 23(2): 191-196.
- [20] 解国爱, 张庆龙, 郭令智. 鄂尔多斯盆地西缘和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, 29.
- XIE Guoai, ZHANG Qinglong, GUO Lingzhi. The genesis and

- hydrocarbon distribution of western and southern margins of Paleozoic foreland basin and central paleouplift in Ordos Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2003, 24(2): 18–23, 29.
- [21] 解国爱, 张庆龙, 潘明宝, 等. 鄂尔多斯盆地两种不同成因古隆起的特征及其在油气勘探中的意义[J]. *地质通报*, 2005, 24(4): 373–377.
- XIE Guoai, ZHANG Qinglong, PAN Mingbao, et al. Two different genetic types of paleouplift in the Ordos Basin and its significance in oil and gas exploration [J]. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(4): 373–377.
- [22] 贾进斗, 何国琦, 李茂松, 等. 鄂尔多斯盆地基底结构特征及其对古生界天然气的控制[J]. *高校地质学报*, 1997, 3(2): 144–153.
- JIA Jindou, HE Guoqi, LI Maosong, et al. Structural feature of basement in the Ordos Basin and its control to Paleozoic gas [J]. *Geological Journal of China Universities*, 1997, 3(2): 144–153.
- [23] 安作相. 陕北气区的形成与中央古隆起[J]. *中国海上油气(地质)*, 1998, 12(3): 150–153.
- AN Zuoxiang. Formation of Shanbei gas area and central paleouplift [J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 1998, 12(3): 150–153.
- [24] 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.
- [25] 黄建松, 郑聪斌, 张军. 鄂尔多斯盆地中央古隆起成因分析[J]. *天然气工业*, 2005, 25(4): 23–26.
- HUANG Jiansong, ZHENG Congbin, ZHANG Jun. Origin of the central paleouplift in Ordos Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2005, 25(4): 23–26.
- [26] 邓昆, 张哨楠, 周立发, 等. 鄂尔多斯盆地古生代中央古隆起形成演化与油气勘探[J]. *大地构造与成矿学*, 2011, 35(2): 190–197.
- DENG Kun, ZHANG Shaonan, ZHOU Lifa, et al. Formation and tectonic evolution of the Paleozoic central paleouplift of Ordos Basin and its implications for oil-gas exploration [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2011, 35(2): 190–197.
- [27] 何登发, 包洪平, 孙方源, 等. 鄂尔多斯盆地中央古隆起的地质结构与成因机制[J]. *地质科学*, 2020, 55(3): 627–656.
- HE Dengfa, BAO Hongping, SUN Fangyuan, et al. Geologic structure and genetic mechanism for the central uplift in the Ordos Basin [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2020, 55(3): 627–656.
- [28] 张春林, 姚泾利, 李程善, 等. 鄂尔多斯盆地深层寒武系碳酸盐岩储层特征与主控因素[J]. *石油与天然气地质*, 2021, 42(3): 604–614.
- ZHANG Chunlin, YAO Jingli, LI Chengshan, et al. Characteristics of deep Cambrian carbonate reservoirs in the Ordos Basin and main control factors [J]. *Oil & Gas Geology*, 2021, 42(3): 604–614.
- [29] 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.
- [30] 包洪平, 邵东波, 郝松立, 等. 鄂尔多斯盆地基底结构及早期沉积盖层演化[J]. *地学前缘*, 2019, 26(1): 33–43.
- BAO Hongping, SHAO Dongbo, HAO Songli, et al. Basement structure and evolution of early sedimentary cover of the Ordos Basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 2019, 26(1): 33–43.
- [31] 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.
- [32] 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- ZHANG Guowei, ZHANG Benren, YUAN Xuecheng, et al. Qinling orogenic belt and continental dynamics [M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [33] 何登发, 包洪平, 开百泽, 等. 鄂尔多斯盆地及其邻区关键构造变革期次及其特征[J]. *石油学报*, 2021, 42(10): 1255–1269.
- HE Dengfa, BAO Hongping, KAI Baize, et al. Critical tectonic modification periods and its geologic features of Ordos Basin and adjacent area [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2021, 42(10): 1255–1269.
- [34] 李文厚, 张倩, 陈强, 等. 鄂尔多斯盆地及周缘地区早古生代沉积演化[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2020, 50(3): 456–479.
- LI Wenhui, ZHANG Qian, CHEN Qiang, et al. Sedimentary evolution of Early Paleozoic in Ordos Basin and its adjacent areas [J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2020, 50(3): 456–479.
- [35] 贾浪波, 钟大康, 孙海涛, 等. 鄂尔多斯盆地本溪组沉积物物源探讨及其构造意义[J]. *沉积学报*, 2019, 37(5): 1087–1103.
- JIA Langbo, ZHONG Dakang, SUN Haitao, et al. Sediment provenance analysis and tectonic implication of the Benxi Formation, Ordos Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2019, 37(5): 1087–1103.
- [36] 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 Zhaoafa, 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.
- [37] 张春林, 邢凤存, 李剑, 等. 鄂尔多斯盆地周缘寒武系典型地质剖面图集[M]. 北京: 石油工业出版社, 2021.
- ZHANG Chunlin, XING Fengcun, LI Jian, et al. Typical geological profile Atlas of Cambrian system around Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2021.