

doi: 10.12029/gc20210310

左沼滔, 胡忠贵, 张春林, 胡明毅, 杨威, 莫午零. 2021. 克拉通盆地差异性构造活动对碳酸盐岩储集体的控制——以鄂尔多斯盆地马家沟组盐下储层为例[J]. 中国地质, 48(3): 794–806.

Zuo Mingtao, Hu Zhonggui, Zhang Chunlin, Hu Mingyi, Yang Wei, Mo Wuling. 2021. Control of differential tectonic activities on carbonate reservoirs in craton basin: A case study of the subsalt reservoir of Majiagou Formation in Ordos Basin[J]. *Geology in China*, 48(3): 794–806 (in Chinese with English abstract).

# 克拉通盆地差异性构造活动对碳酸盐岩储集体的控制 ——以鄂尔多斯盆地马家沟组盐下储层为例

左沼滔<sup>1</sup>, 胡忠贵<sup>1</sup>, 张春林<sup>2</sup>, 胡明毅<sup>1</sup>, 杨威<sup>2</sup>, 莫午零<sup>2</sup>

(1. 长江大学沉积盆地研究中心, 湖北 武汉 430100; 2. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

**摘要:** 中国海相碳酸盐岩往往具有发育时期较老、埋藏较深、后期成岩作用改造较强等特点, 致使对其优质碳酸盐岩储层及其主控因素的研究仍存在较大的进步空间。鄂尔多斯盆地马家沟组沉积时期, 盆地由拉张动力背景向南北向挤压动力背景转换, 从而诱发了一系列的构造活动。为了探讨不同构造活动对马家沟组马五段盐下沉积的影响, 文章在前人研究基础上, 以碳酸盐岩沉积学为理论指导, 对研究区内二维地震剖面进行剖析, 总结差异性构造活动, 分析马五段盐下沉积期地震相与沉积相的特征, 阐述差异性构造活动对颗粒滩储集体的影响, 得到以下几点认识: (1) 研究区识别出 4 种地震相类型, 对应不同沉积相类型, 其中颗粒滩储层为研究区内优势储集体; (2) 盆地内发育基底断裂(拗拉槽)、同沉积断裂及古隆起 3 类构造活动; (3) 将不同类型的构造活动与颗粒滩储集体进行匹配分析, 总结出差异性构造活动对此类碳酸盐岩储集体的发育及分布的控制作用模式, 并将颗粒滩储集体分为断控储集体和隆控储集体两大类。

**关键词:** 克拉通盆地; 差异性构造活动; 碳酸盐岩储集体; 马五段; 盐下颗粒滩储层; 鄂尔多斯盆地

**中图分类号:** TE112.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2021)03-0794-13

## Control of differential tectonic activities on carbonate reservoirs in craton basin: A case study of the subsalt reservoir of Majiagou Formation in Ordos Basin

ZUO Mingtao<sup>1</sup>, HU Zhonggui<sup>1</sup>, ZHANG Chunlin<sup>2</sup>, HU Mingyi<sup>1</sup>, YANG Wei<sup>2</sup>, MO Wuling<sup>2</sup>

(1. *Sedimentary Basin Research Center, Yangtze University, Wuhan 430100, Hubei, China*; 2. *Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China*)

**Abstract:** Carbonate rocks in China tend to have the characteristics of the older development period, deeper burial, and stronger later diagenetic transformation, which leaves a large space for the study of high-quality carbonate reservoirs and their main controlling factors in China. During the sedimentary period of Majiagou Formation in the Ordos Basin, the basin witnessed changing

收稿日期: 2020-05-21; 改回日期: 2021-04-16

基金项目: 国家科技重大专项(2016ZX05007002)、湖北省教育厅重点项目(D20171302)、国家自然科学基金面上项目(41772103)、长江大学“地质资源与地质工程一流学科开放基金项目”联合资助。

作者简介: 左沼滔, 男, 1992年生, 博士生, 主要从事沉积学方面的研究; E-mail: zmt199204@163.com。

通讯作者: 胡忠贵, 男, 1979年生, 博士, 副教授, 主要从事储层沉积学方面的研究; E-mail: hzg1978@yangtzeu.edu.cn。

from tension to longitudinal compression, which induced a series of tectonic activities. To explore the influence of different tectonic activities on the subsalt deposition of Mawu Member in Majiagou Age, based on the previous studies and under the guidance of carbonate sedimentology, two-dimensional seismic profiles in the study area were analyzed, and differential tectonic activities were summarized. Combined with the analysis of seismic facies and sedimentary facies in the sub-salt sedimentary period of the Mawu Member, the influence of differential tectonic activities on the grain beach reservoir were depicted. As a result, the following understandings are obtained: a. four types of seismic facies have been identified in the study area, corresponding to different types of sedimentary facies, of which the grain beach facies is a good reservoir in the study area; b. there are three types of tectonic activities in the basin, basement faults (sag troughs), synsedimentary faults and uplifts; and c. based on the matching analysis of different types of tectonic activities and grain beach reservoirs, the control of differential structural activities on the development and distribution of this kind of carbonate reservoir is finally obtained, and its action mode is summarized. Finally, granular beach reservoirs are divided into fault-controlled reservoirs and uplift-controlled reservoirs.

**Key words:** craton basin; differential tectonic activities; carbonate reservoirs; Mawu Member; the grain beach of the subsalt reservoir; Ordos Basin

**About the first author:** ZUO Mingtao, male, born in 1992, doctoral candidate, engaged in the research of sedimentology; E-mail: zmt199204@163.com.

**About the corresponding author:** HU Zhonggui, male, born in 1979, doctor, associate professor, engaged in reservoir sedimentology research; E-mail: hzg1978@yangtzeu.edu.cn.

**Fund support:** Funded by the National Science and Technology Major Project(No.2016ZX05007002), the Key project of Education Department of Hubei Province(No.D20171302), the General Program of National Natural Science Foundation of China (No.41772103)and Open Foundation of Top Disciplines in Yangtze University.

## 1 引言

据国家最新一轮的统计结果表明,中国陆上海相碳酸盐岩油气资源极其丰富,据估计石油及天然气的预测资源量分别达 $340\times 10^8\text{t}$ 及 $24.3\times 10^{12}\text{m}^3$ ,展现了极大的资源潜力(马永生等,2017)。近年来,随着中国中西部三大盆地的海相碳酸盐岩油气资源的重大勘探突破,相继在三大盆地内发现了普光、元坝、塔河、靖边等大中型海相碳酸盐岩油气田(Li et al., 2008; Ma et al., 2016; Lu et al., 2017; Guo et al., 2018; Dai et al., 2020),展现了中国海相碳酸盐岩良好的勘探开发潜力,有望成为未来油气开发的主要研究领域(孙龙德等, 2013; Cao et al., 2019; Dai et al., 2019)。

鄂尔多斯盆地为中国中西部地区典型的多旋回古老海相克拉通盆地,前人对于克拉通盆地古老海相碳酸盐岩的研究更多的是关注克拉通盆地的稳定性以及古隆起对碳酸盐岩储集层的控制作用(汪泽成等,2017)。随着研究的不断深入,大家逐渐意识到古环境及古地貌对碳酸盐岩储集体的发育有着较大的贡献,特别是受沉积相控制的礁滩类储层,高能相带的发育与古环境及古构造关系密切,

结合建设性成岩作用与构造运动的改造,往往能够形成良好的碳酸盐岩储集体(Yu et al., 2018; Fu et al., 2019; Xiong et al., 2019; 洪海涛等, 2020)。

近几十年的勘探开发研究表明,鄂尔多斯盆地内部纵向上部发育多套产气层位,其中下古生界马家沟组就发育了多套海相碳酸盐岩储层,如马五<sub>1-4</sub>亚段的古风化壳储层、以靖西地区马五<sub>3</sub>亚段为主的白云岩储层及近几年发现的盐下(马五<sub>6</sub>、马五<sub>7</sub>及马五<sub>9</sub>亚段)以颗粒滩为主的岩性油气藏(吴东旭等, 2018; 李百强等, 2018; 于洲等, 2018)。其中盐下储层段的发现,展现出膏盐岩下地层的油气资源潜力。但是,以往对于克拉通盆地内颗粒滩沉积的研究,往往集中于海平面等因素对颗粒滩沉积的影响(席胜利等, 2017a),现今越来越多的研究表明,克拉通盆地内的稳定性是相对的,不同的构造活动对于碳酸盐岩储集体的发育具有明显的控制作用。

为此,笔者以鄂尔多斯盆地马家沟组为例,利用钻井、测井及地震解释为手段,详细剖析盆地范围内132条二维地震剖面,分析元古宙—奥陶纪主要的构造活动,从古地理格局、地震及地质等多方面论证鄂尔多斯盆地马家沟期的地质特征,并探讨不同构造活动对鄂尔多斯盆地马家沟组颗粒滩的

分布规律及控制作用,这对深刻认识鄂尔多斯盆地马家沟期颗粒滩储集体的发育和分布规律具有重大意义。

### 2 区域地质概况

鄂尔多斯盆地位于华北克拉通西南部,面积约37×10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>,为中国第二大的沉积盆地。早奥陶世,盆地发育陆表海碳酸盐岩沉积,整个马家沟期盆地共经历了3次短期的海侵与海退过程,表现为一次完整的、规模性的海侵—海退的旋回沉积。

研究区位于鄂尔多斯盆地的中东部地区,主要位于陕北斜坡带上(图1a)。马家沟组共分为6段,其中马一、马三、马五主要以蒸发岩沉积为主,马二、马四、马六以碳酸盐岩沉积为主(图1b),但由于加里东运动的影响,使研究区存在一个长达130 Ma的沉

积间断,使研究区内马六段遭受不同程度的剥蚀(王丽珍等,2018)。其中,马五段沉积时期,主要以高位体系域的潮坪相沉积为主,为盆地内主要的储集层发育的层段,该时期发育的颗粒滩相储集体的层位往往统称为盐下储集层段,即马五<sub>6-10</sub>亚段。

### 3 古沉积格局

早奥陶世马家沟期,由于南北洋壳的俯冲影响,造成盆地内部由奥陶纪沉积期前拉张构造背景向相对挤压的构造环境转变(刘耘等,2018)。整体上表现为中央古隆起暴露出地表,与之相伴生的米脂坳陷接受沉积,由于相互协调作用的影响,整体上表现为西高东低的古构造沉积格局(苏中堂等,2012;杨帅等,2016)。

受多期次、频繁性海平面升降变化的影响,鄂

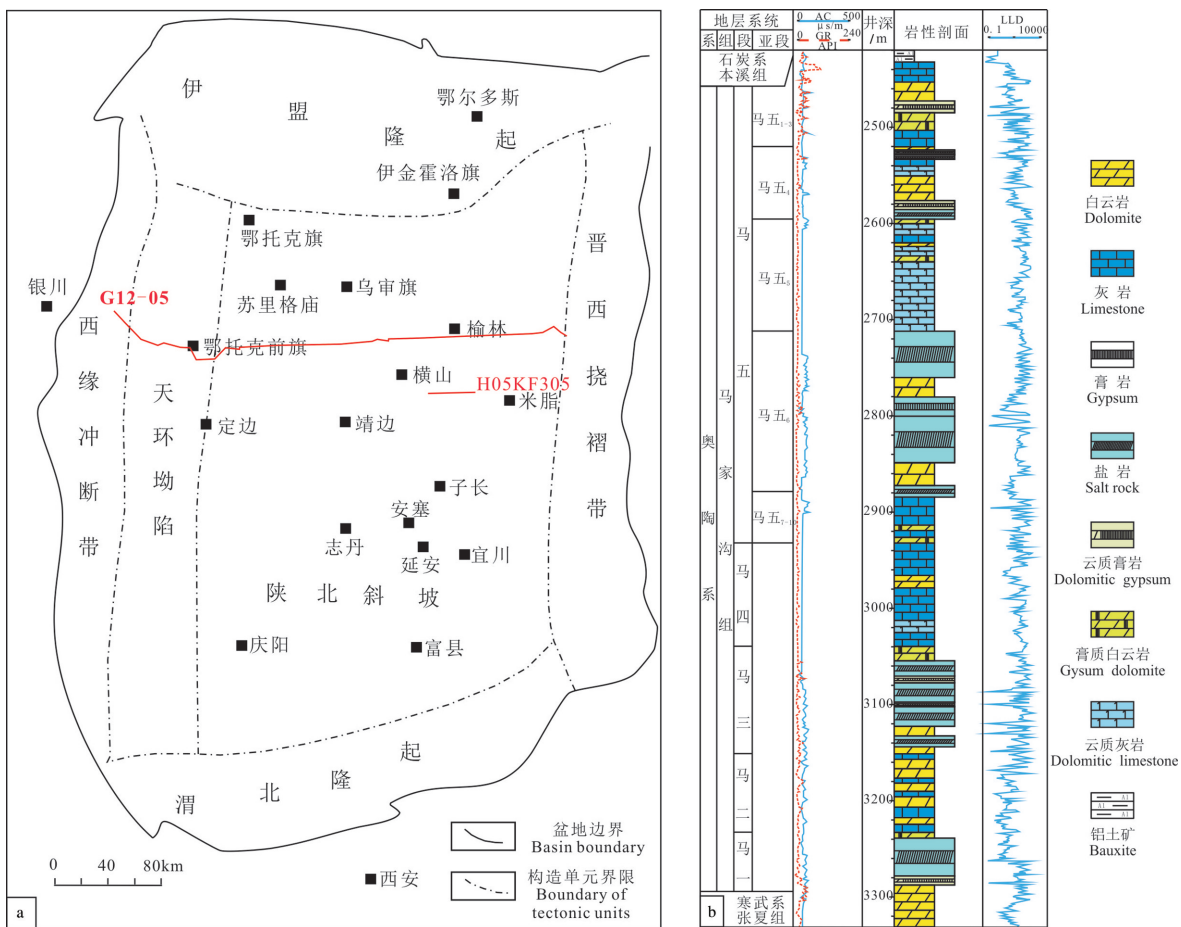


图1 研究区构造位置及岩性柱状图  
a—研究区位置;b—镇钾1井岩性柱状图  
Fig.1 Structural location and lithologic column of the study area  
a—Location of study area;b—Lithologic column of Zhenjia No.1 well

鄂尔多斯盆地东部地区沉积了厚层的碳酸盐岩和蒸发岩。该时期继承了马四段沉积格局,整体以“大隆大坳”的沉积格局为主。海平面上升时期,在东部米脂凹陷内以灰坪相沉积为主;在盆地中央古隆起一米脂凹陷一带,发育大量北东走向展布的颗粒滩沉积,颗粒滩间多发育低能环境的滩间海;而中央古隆起西缘仍以潮坪-台地边缘-斜坡-盆地的沉积体系为主,台地边缘相带上零星分布台缘礁及台缘滩沉积(图2a);海平面下降时期,为马家沟组蒸发岩主要沉积时期,厚度可达几十到几百米不等。此时,米脂凹陷内发育膏盐湖沉积,环膏盐湖外部依次发育膏云坪、云坪相沉积;在中央古隆起东侧的云坪发育的面积进一步缩小,内部发育少量颗粒滩及滩间海沉积,隆起西缘仍以潮坪-台地边缘-斜坡-盆地的沉积体系为主(图2b)。

奥陶系沉积后,经历了加里东运动构造抬升,在长达130 Ma的风化暴露后,研究区盐下碳酸盐岩地层由古隆起一侧向东部地区发生逐层剥蚀(席胜利等,2017b)。马五<sub>7-10</sub>亚段,盆地中东部地区存在着多个沉积中心(图2),证实该时期盆地中东部地区发育了与前人研究成果相一致的“多隆多洼”的古沉积格局(图3)。

## 4 地震相类型及特征分析

在对研究区范围内对所有地震测线进行解释分析后,基于人工相面法,系统地总结各反射特征的内部结构、外部几何形态、连续性、振幅及频率等特征,将区内马五段盐下地震响应特征大致划分为4类。并根据这些地震响应特征进行井-震结合标定,可进一步识别出不同地震响应特征对应的沉积微相类型及沉积环境特征,从而划分地震相类型。详细地震相类型及特征如下所述(图4)。

### 4.1 席状平行—亚平行连续地震相

该地震相是研究区普遍发育的地震相之一,其典型特征主要表现为地震反射同相轴的近似相互平行或亚平行的状态,外形形态主要表现为席状连续的反射特征(图4a、b),主要反映一个相对稳定的沉积环境。在研究区又可以分为中—弱振幅席状平行—亚平行连续反射地震相和中—强振幅席状平行—亚平行连续反射地震相;通过对地震相与沉积相的标定,中—弱振幅席状平行—亚

平行连续反射地震相主要表现为潮坪亚相,全区均有发育;而中—强振幅席状平行—亚平行连续反射地震相则对应着膏盐湖微相,主要沉积于盆地中东部地区,层位上主要位于高位体系域时期所发育的地层中。

### 4.2 准席状欠连续—断续地震相

该地震相是研究区最典型的地震相之一。在研究区内主要分布在盆地中部及中央古隆起周缘地区,地震反射轴通常表现为中—弱振幅欠连续—断续的反射特征。通过典型单井沉积相标定,该地震相所对应的沉积相为颗粒滩微相,为研究区盐下主要的勘探目标;根据发育位置的不同,又可以分为与古隆起有关的颗粒滩微相(图4c)和与断裂活动有关的颗粒滩微相(图4d)。

### 4.3 层状上超反射地震相

研究区内上超反射多表现为与古隆起相伴生的近层状上超反射(图4e、f),地震反射同相轴近乎等间距排列,反映当时水体能量相对稳定的沉积环境,代表由于断层或古隆起导致的地形差异而形成的相对低洼处的低能沉积。

### 4.4 丘状杂乱(空白)反射地震相

研究区丘状反射主要表现为外形的丘状隆起,根据内部及边缘反射形态的差异,又可以分为丘状空白反射地震相(图4g)和丘状杂乱反射(图4h)。丘状空白发射反射地震相主要体现为丘状反射外形,而内部地震特征表现为空白的现象,据前人研究,这类地震相为膏盐湖内盐隆等底辟构造(张永生等,2013);而丘状杂乱地震相通常是古隆起伴生的颗粒滩沉积,使地震反射同相轴表现相对杂乱。

## 5 剖面地震精细解释

### 5.1 区域地震大剖面

该剖面为横跨盆地范围内的一条大剖面(图5),位置如图1中所示。研究表明,元古宙—奥陶纪前,鄂尔多斯盆地正处于拉张构造背景,发育了一系列以基底断裂活动为主的正断层,构成了元古宙拗拉槽(管树巍等,2017),这些拗拉槽在地震剖面中也具有相对明显的反射特征,从图中可以清晰地看到拗拉槽相对“底凸”的特征(图5),底部可见由于地形所引起的反射轴上超现象,槽体沉积厚度较周缘明显增大。

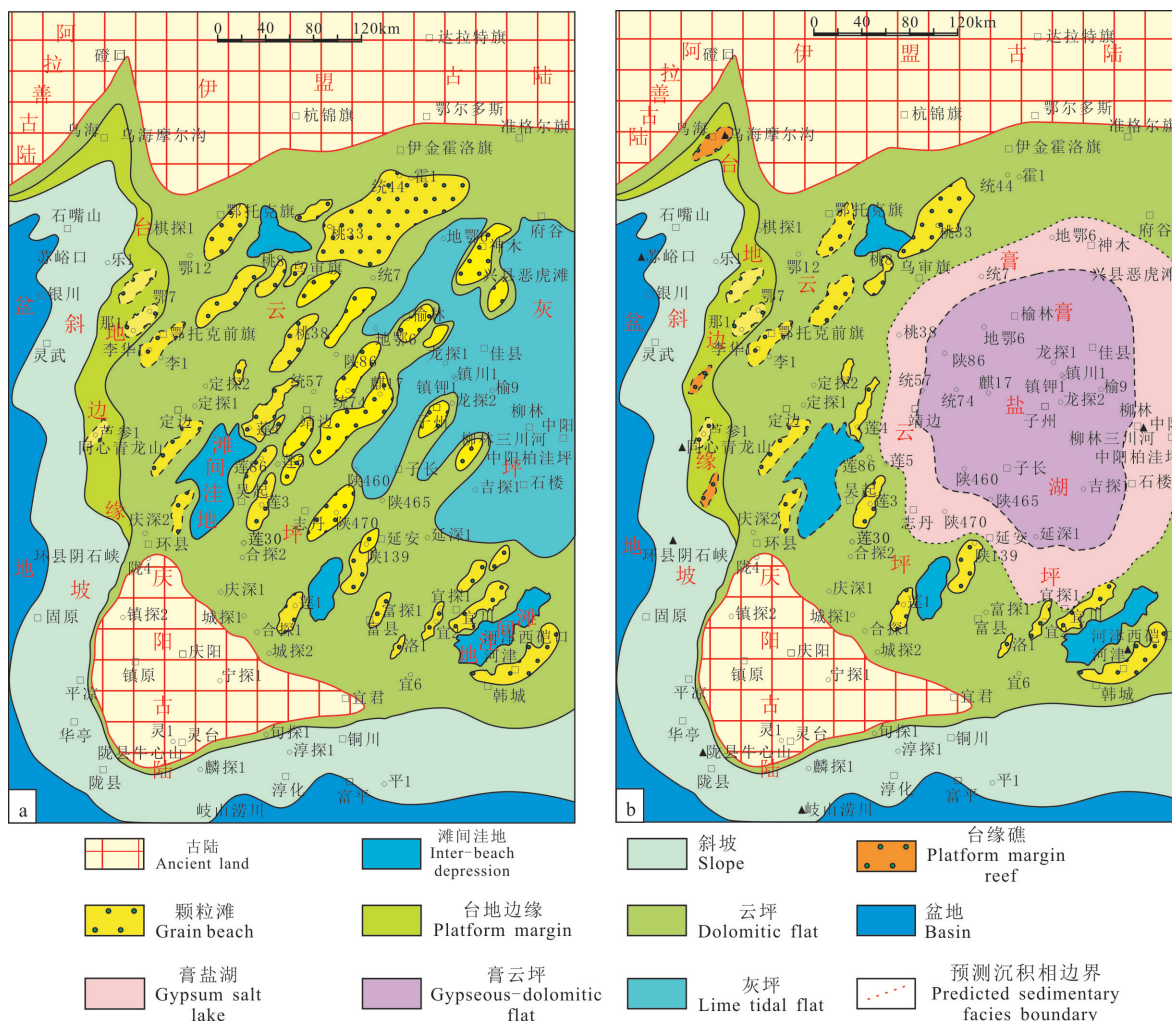


图2 鄂尔多斯盆地马五段盐下古地理图

a—海平面上升时期古地理图; b—海平面下降时期古地理图

Fig.2 Paleogeographic map of the subsalt reservoir of Mawu Member in Ordos Basin

a—Paleogeographic map of sea level rising period; b—Paleogeographic map of sea level falling period

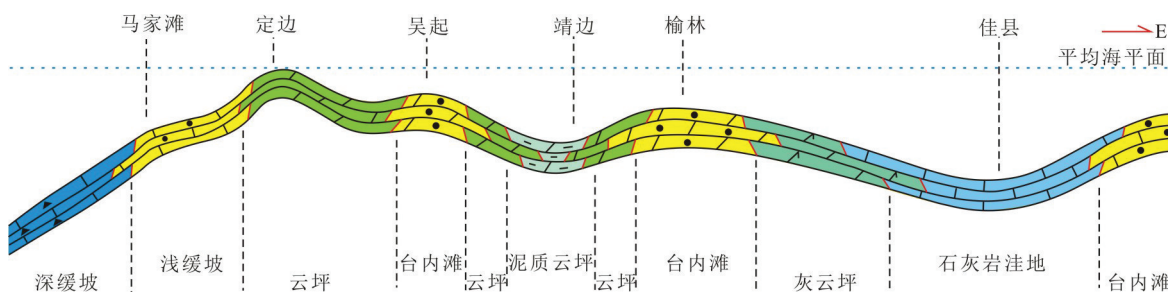


图3 鄂尔多斯盆地马五段盐下沉积模式(据Fu et al.,2017)

Fig.3 Sedimentary pattern of the subsalt reservoir of Mawu Member in Ordos Basin(after Fu et al.,2017)

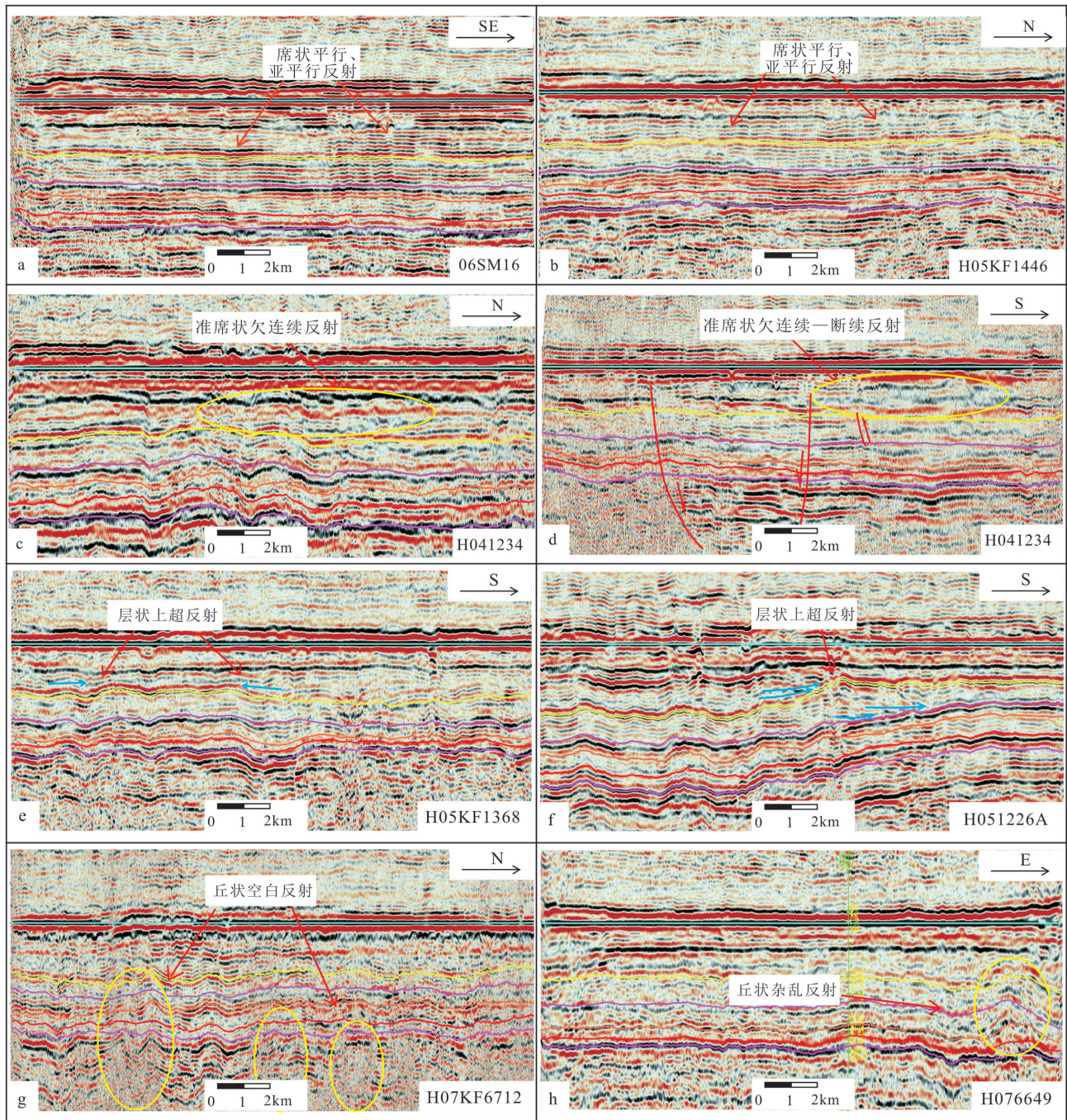


图4 研究区马家沟组五段典型地震相类型

a,b—席状平行—亚平行连续地震相;c,d—准席状欠连续地震相;e,f—层状上超地震相;g,h—丘状杂乱(空白)反射地震相

Fig.4 Typical seismic facies types of the Mawu Member in the study area

a,b—Sheet parallel subparallel continuous seismic facies;c,d—Quasi sheet discontinuous seismic facies;e,f—Layered supra seismic facies;g,h—Mound random (blank) reflection seismic facies

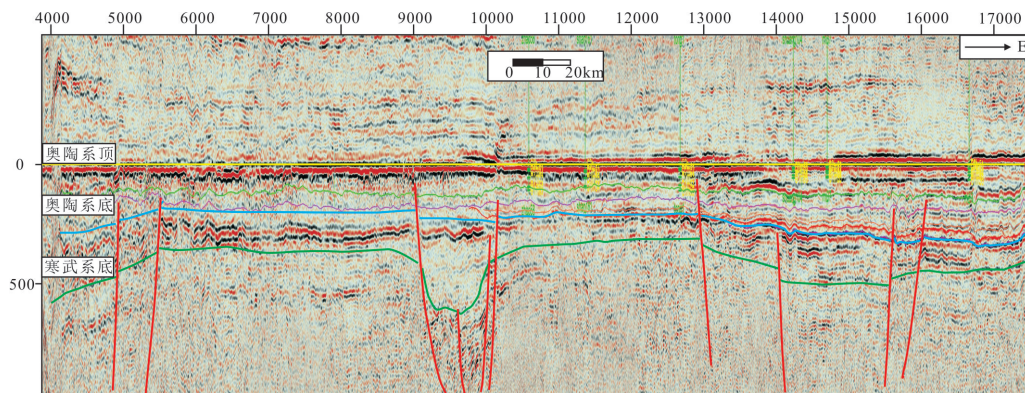


图5 区域地震测线分析

Fig.5 Analysis of regional seismic line

### 5.2 台内典型地震剖面精细解释

如图6所示,为研究区内部一条东西向的地震剖面,主要展现台地内部的构造形态,分布位置如图1中所示。通过观察发现,该剖面中发育两种不同形态的断裂及组合:一种为自元古宙开始发育的正断层;另一种则为奥陶纪挤压背景下所发育的同沉积逆断层。结合地震相分析,颗粒滩相沉积与断层的发育有着对应的匹配关系。

### 5.3 构造样式分析

通过对盆地内10条区域地震大剖面及研究区内122条区域地震剖面的解释分析表明,按构造活动特征来分,研究区内既存在元古宙—奥陶纪前拉伸环境下的继承性基底正断裂,也存在奥陶纪挤压构造背景下的同沉积逆断层与同沉积隆起;同时还存在着继承性古隆起这4类构造活动。不同构造活

动对研究区马家沟期的沉积特征产生不同的影响,其中基底断裂与隆起对研究区寒武系及奥陶系的沉积格局产生较大的影响,主要呈现隆洼相对的沉积格局(张春林等,2017)。

## 6 差异性构造活动对相控型碳酸盐岩储集体的影响

通过研究发现,优质海相碳酸盐岩储层的形成往往受控于沉积相及后期成岩作用的改造(赵文智等,2014),而与沉积关系密切的相控型储层的发育往往又受控于不同类型的构造活动。因此,有必要研究差异性构造活动对这类相控型碳酸盐岩储集体发育和分布的控制作用。

结合单井沉积相分析,利用井—震结合的方法,将地震相与沉积相结合,从地震剖面中利用地震

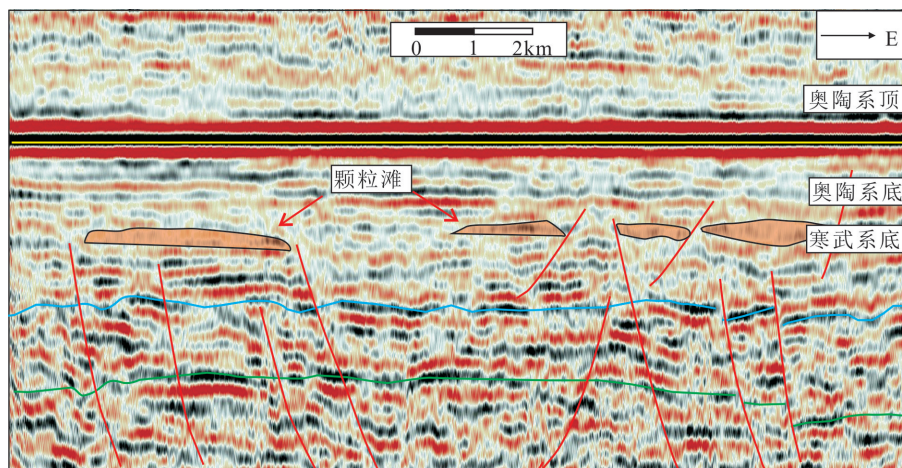


图6 台内典型地震剖面分析

Fig.6 Analysis of typical seismic lines in the platform

相来识别沉积相的变化,进而探讨不同类型构造活动对不同沉积相的控制作用。其中详细的沉积相—地震相的对应解释在他文详细叙述,本文仅简略概述颗粒滩相的地震相特征主要是呈现出弱振幅、欠连续的地震反射特征。

### 6.1 拗拉槽

前人研究表明,古地貌高点有利于海相碳酸盐岩储集体的发育,特别是依赖于高能相带的相控型储集体,这类古地貌高点区域有利于各类构造、岩性油气藏的发育(赵文智等,2017)。研究区鄂尔多斯盆地西侧元古宙发育了4条近北东向的拗拉槽,这些拗拉槽为伸展背景下一系列正断层所组成,其对沉积地层的影响一直持续到奥陶系(Fu et al., 2017),由这些拗拉槽形成的地貌差异,持续控制着寒武系及奥陶系的沉积格局,形成相对隆凹的古地理格局。通过在地震剖面对拗拉槽的刻画及颗粒滩储集体的地震相特征分析(图7a),发现这些基底断裂与颗粒滩的发育和分布有着较大的关系:颗粒滩多发育于基底断裂上升盘一侧,由于这类基底断裂形成的地貌差异,奥陶纪受继承性影响在基底断裂上升盘一侧构成了相对高能沉积环境,为奥陶纪颗粒滩的沉积奠定了环境基础。

### 6.2 同沉积断裂

研究证实,进入奥陶纪沉积期,鄂尔多斯盆地的构造样式发生改变,形成盆地内南北向相对挤压的构造环境(刘耘等,2018)。从区内二维地震剖面中不难发现,存在着与基底断裂性质相反的同沉积逆断层(图7b);这些逆断层的发育,伴随着断层上盘的相对隆升,对奥陶纪沉积古地貌的影响较大,形成的局部地貌高点,有利于奥陶系颗粒滩的沉积,所以在个别逆断层上盘一侧,同样发育了颗粒滩沉积。

### 6.3 古隆起

研究区的古隆起按形成时间,可大致分为同沉积古隆起和继承性古隆起。其中,已有不少学者证实,环继承性古隆起(中央古隆起)周缘发育了大量颗粒滩沉积(孙冬胜等,2017),故着重对同沉积古隆起进行分析。

研究区内同沉积隆起较为常见,这些古隆起的存在造成了盆底地形极不平坦,呈现局部隆凹的现象;并且,伴随着这些隆起带的存在,使得部分地区的沉积环境处于相对高能相带,古地貌又处于相

对隆起地区,这样的环境更有利于颗粒滩沉积的发育(图7c)。

## 7 差异性构造活动控储模式及颗粒滩平面分布规律

### 7.1 差异性构造活动控储模式

由于埋藏深、成岩作用改造强烈等特点,使得中国海相碳酸盐岩优质储层的形成具有特殊性。通过对中国碳酸盐岩优质储层的研究,马永生等(2005)提出了优质海相碳酸盐岩储层形成的“三元控储”模式。针对于中国优质储层的形成,沉积—成岩环境控制着储层早期孔隙的发育,成为优质储层形成的基础,这类储层往往与沉积相的关系较为密切,如中国四川盆地长兴组—飞仙关组台缘礁滩储层,早期沉积—成岩环境控制着沉积微相的发育及孔隙的发育与保存。

马永生等(2007)对于碳酸盐岩优质储层的发育的基本规律总结为“构造控盆、盆地控相、相控储层”,但针对于目前的研究情况来看,鄂尔多斯盆地马家沟组盐下碳酸盐岩储层的构造—岩相古地理研究不够精确,构造控储机制还不够明确。

基于此次对盆地中东部构造活动及盐下储集体的研究,重点对研究区差异性构造活动及储集体联系匹配关系,分析其对储集体的形成及分布的控制作用(图8)。文中差异性构造活动主要指盆地内受构造应力、先存构造等可对沉积地层产生影响的盆地动力学因素,故差异性构造活动可分为元古宙—奥陶纪前发育的基底断裂、奥陶纪同沉积逆断层及同沉积古隆起和继承性古隆起4类。

断控储集体主要表现为克拉通盆地内断裂活动对储集体具有良好的控制作用,按断裂活动发育的时间及性质来说,又可以分为基底断裂控储和同沉积断裂控储。两者在研究区内均可见,但基底断裂控储模式较为常见,这类构造活动发生在元古宙—奥陶纪前的拉张背景下,由于持续性的基底断裂活动,裂隙区快速沉降,寒武纪地层厚度变化较大,奥陶纪地层构造沉降差异不明显,地层厚度变化较寒武系变化较弱,但受继承性影响仍能形成差异较大的古地貌格局。

相类似的,由于古洋壳扩张,上扬子克拉通在晚古生代—奥陶纪早中生代发生了一次区域性拉



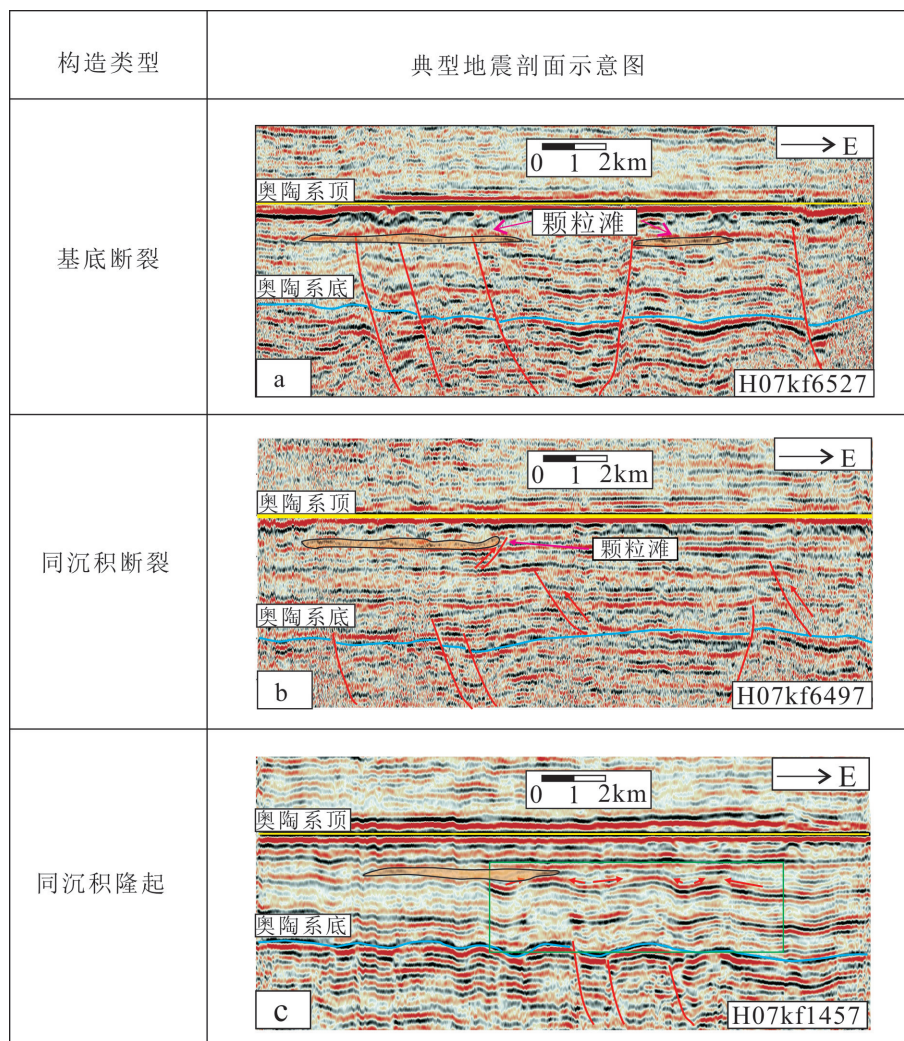


图7 不同类型构造活动与颗粒滩相匹配关系

a—基底断裂与颗粒滩的配置关系;b—同沉积断裂与颗粒滩的配置关系;c—同沉积隆起与颗粒滩的配置关系

Fig.7 Matching relationship between different types of tectonic activities and grain beach

a—The relationship between basement faults and grain beaches;b—The relationship between synsedimentary faults and grain beaches;c—The relationship between synsedimentary uplifts and grain beaches

张活动,使得现今中国的四川盆地长兴期飞仙关期发育了一系列的克拉通内断陷,形成当时“三隆三凹”的古地理环境,期间形成的礁滩体的发育及分布主要受控于差异性沉降(基底断裂)活动(邢凤存等,2018),经过后期成岩作用改造,形成了良好储层。塔里木盆地塔北奥陶系则受同沉积断裂活动控制着盆地及台缘带的分布,进而控制着储集体的发育及分布(蔡习尧等,2019)。

隆控储集体则表现为克拉通内隆起对储集体的发育具有良好的控制作用,按时间及性质分,可分为古隆起控储及同沉积隆起控储两种模式。其中,研究区内古隆起控储主要表现为区内盐下地层

所发育的与古隆起有关的颗粒滩储层,多集中于环古隆起及周缘地区,形成大面积的颗粒滩储集体;同沉积古隆起则是由于奥陶纪时期,盆地处于南北向挤压环境下,发育了一系列的同沉积隆起,形成古地貌高点,利于颗粒滩的发育,同时沉积水体环境相对较浅,有利于颗粒滩早期成岩作用的发育,为优质储层的发育奠定了基础。研究区主要控储模式以断裂活动与同沉积古隆起所形成的地貌高点控储及古隆起控储的模式为主。

新近研究表明,川中古隆起为区域性拉张作用向挤压作用转换的产物,古隆起区发育大量颗粒滩沉积,如龙王庙组颗粒滩为环川中同沉积古隆起分

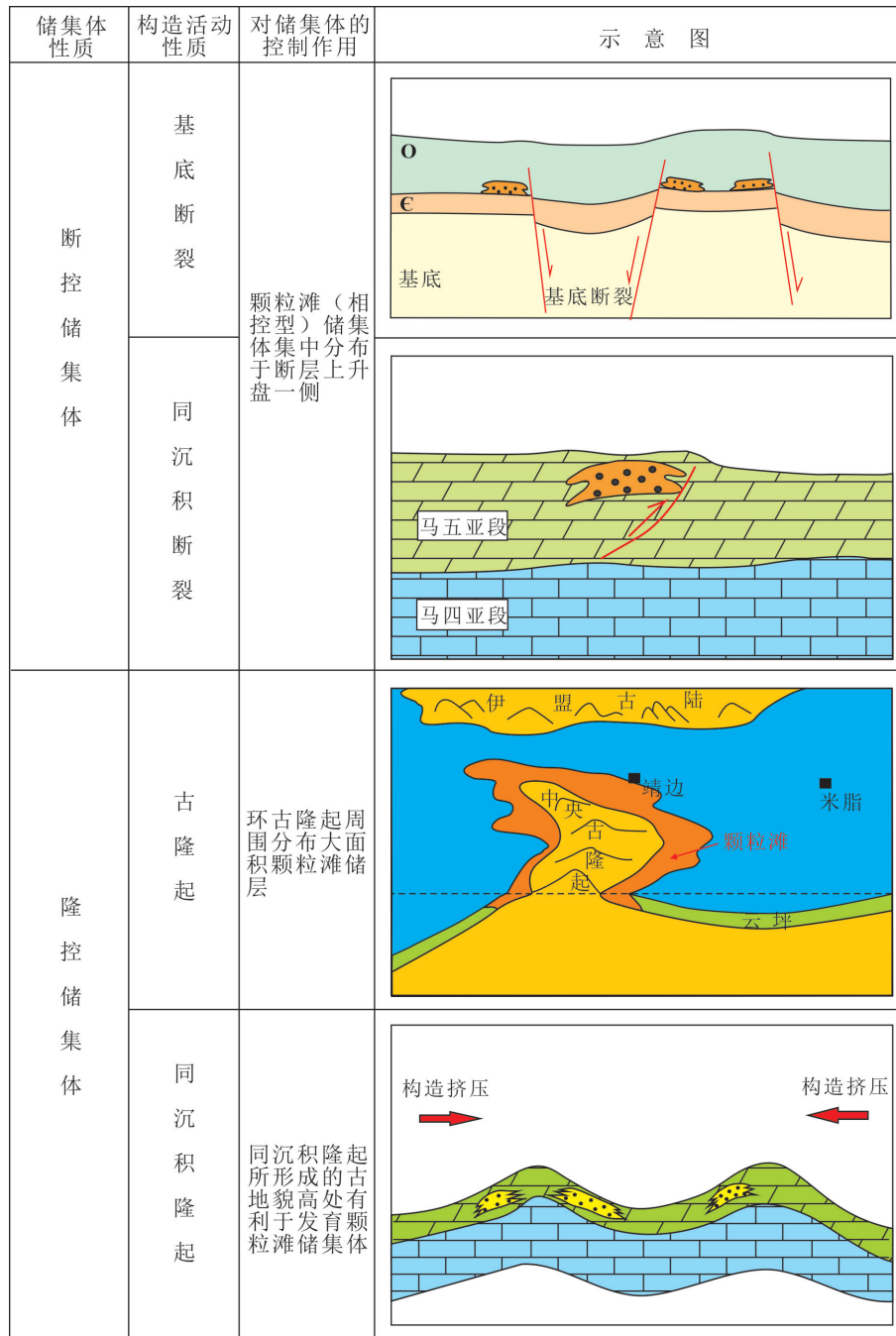


图8 差异性构造活动对碳酸盐岩储集体的发育及分布示意图

Fig.8 The development and distribution of carbonate reservoir controlled by different tectonic activities

布(赵爱卫等,2015;代林呈等,2017)。

7.2 油气地质意义

差异性构造活动及其形成的构造古地貌或继承性古地貌制约着沉积相分布及储层的发育特征与分布规律,如基底断裂活动的发育影响了盆地内沉积格局,从而控制着沉积期相控型碳酸盐岩储集体的发育,在基底断裂两侧常发育台缘礁滩体或台

内礁滩体,如四川盆地长兴组—飞仙关组;而在古隆起周缘及其斜坡带,易发育环隆起带的颗粒滩沉积,如四川盆地磨溪地区龙王庙组颗粒滩。

差异性构造活动对成岩演化及油气成藏同样有着较大的制约。差异性构造活动对古地貌的改变,直接影响着成岩演化的差异,古地貌高处有利于准同生期岩溶作用及白云石化作用的改造,为优

质储集体的形成提供了保障,如塔里木盆地塔北地区奥陶系。在油气成藏方面,裂陷槽内部通常沉积了厚层的优质烃源岩,如四川盆地德阳—安岳裂陷内沉积了3套优质烃源岩,为安岳气田的开采提供了物质保障;其次,在裂陷槽两侧通常发育了优质的礁滩、丘滩类相控型储集体,经过建设性成岩作用改造,可称为有利储集体。

综上所述,差异性构造活动发育区域有利于相控型碳酸盐岩储集体的发育,并富集成藏,有望发育为优势储层,从而成为油气勘探开发工作的主要目标区。

## 8 结 论

(1)鄂尔多斯盆地中东部地区马家沟组共存在4种主要的地震相类型,不同的地震相特征反映出不同的沉积特征及微相类型;其中,马五段盐下沉积期发育了大量颗粒滩沉积,为优质储层的形成奠定了基础。

(2)研究区盐下沉积时期,为盆地拉张背景转换为挤压背景,发育了多种差异性构造活动,主要可分为基底断裂(拗拉槽)、同沉积断裂及古隆起3类构造活动。

(3)通过对研究区内二维地震剖面的剖析,将不同类型的构造活动与颗粒滩储集体进行匹配分析,最终得到差异性构造活动对此类碳酸盐岩储集体的发育及分布模式,可分为断控储集体和隆控储集体两大类,他们具有不同的控储方式。此外,差异性构造活动发育区域有利于相控型碳酸盐岩储集体的发育。

## References

Cai Xiyao, Gao Xiaopeng, Li Huili, Zhao Yi. 2019. Sedimentary microfacies and setting of the Upper Ordovician carbonates in the Yubei area, Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 40(2):403–412 (in Chinese with English abstract).

Cao Yinghui, Wang Shan, Zhang Yajin, Yang Min, Yan Lei, Zhao Yimin, Zhang Junlong, Wang Xiandong, Zhou Xiaoxiao, Wang Hongjiang. 2019. Petroleum geological conditions and exploration potential of Lower Paleozoic carbonate rocks in Gucheng Area, Tarim Basin, China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 46(6):1165–1181.

Dai Lincheng, Zhu Xiang, Li Bisong, Wang Xingzhi, Zeng Deming. 2017. Characteristics and distribution of grain bank of the Lower

Cambrian Longwangmiao Formation in Eastern Sichuan Basin[J]. *Geological Science and Technology Information*, 36(6):187–195 (in Chinese with English abstract).

Dai Xiaofeng, Du Benqiang, Zhang Ming, Li Jun, Tang Tingke, Xu Youping, Gan Lideng, Sun Xiping. 2020. Reunderstanding and significance of high-quality reservoirs of the inner Dengying Formation in the Anyue Gas Field[J]. *Natural Gas Industry B*, 7(2):109–119.

Fu Jinhua, Wu Xingning, Sun Liuyi, Yu Zhou, Huang Zhengliang, Ding Zhenchun. 2017. New understandings of the lithofacies paleogeography of the middle assemblage of Majiagou Fm in the Ordos Basin and its exploration significance[J]. *Natural Gas Industry B*, 4: 278–286.

Fu Siyi, Zhang Chenggong, Chen Hongde, Chen Anqing, Zhao Junxing, Su Zhongtang, Yang Shuai, Wang Guo, Mi Wentian. 2019. Characteristics, formation and evolution of pre-salt dolomite reservoirs in the fifth member of the Ordovician Majiagou Formation, mid-east Ordos Basin, NW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 46(6): 1153–1164.

Guan Shuwei, Wu Lin, Ren Rong, Zhu Guangyou, Peng Chaoquan, Zhao Wentao, Li Jie. 2017. Distribution and petroleum prospect of Precambrian rifts in the main cratons, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 38(1): 9–22 (in Chinese with English abstract).

Guo Xusheng, Hu Dengfa, Li Yuping, Duan Jinbao, Ji Chunhua, Duan Hua. 2018. Discovery and theoretical and technical innovations of Yuanba gas field in Sichuan Basin, SW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 45(1):14–26.

Hong Haitao, Tian Xingwang, Sun Yiting, Ma Kui, Li Geng, Wang Yunlong, Yang Dailin, Peng Hanlin, Luo Bing, Zhou Gang, Xue Jiuhuo, Ye Mao, Shan Shujiao. 2020. Hydrocarbon enrichment regularity of marine carbonate in Sichuan Basin[J]. *Geology in China*, 47(1): 99–110(in Chinese with English abstract).

Li Baiqiang, Wang Qizong, Zhang Xiaoli, Zhang Yu, Li Jie, Du Meixin, Lei Yixuan. 2018. Characteristics of diagenetic facies and its effect on the reservoir of M55–M51 sub-members of Majiagou Formation in central-southern Ordos Basin[J]. *Journal of Northwest University(Natural Science Edition)*, 48(2):255–267 (in Chinese with English abstract).

Li Jian, Zhang Wenzheng, Luo Xia, Hu Guoyi. 2008. Paleokarst reservoirs and gas accumulation in the Jingbian field, Ordos Basin[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 25(4/5): 401–415.

Liu Yun, Tan Xiucheng, Liu Xianyan, He Wei, Xiong Ying, Liu Ling, Liu Mingjie, Yang Qingyu. 2018. Sedimentary characteristics and distribution of grain shoals of Ma57 submember in the Central Ordos Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 36(4):796–806 (in Chinese with English abstract).

Lu Xibian, Wang Yan, Tian Fei, Li Xinhua, Yang Debin, Li Tao, Lü Yanping, He Xinming. 2017. New insights into the carbonate karstic fault system and reservoir formation in the Southern Tahe

- area of the Tarim Basin[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 86: 587–605.
- Ma Xinhua, Yang Yu, Wen Long, Luo Bing. 2019. Distribution and exploration direction of medium- and large- sized marine carbonate gas fields in Sichuan Basin, SW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 46(1):1–15.
- Ma Yongsheng, Guo Xusheng, Guo Tonglou, Huang Rui, Cai Xunyu, Li Guoxiong. 2005. Discovery of the large-scale Puguang gas in the Sichuan Basin and its enlightenment for hydrocarbon prospecting[J]. *Geological Review*, 51(4):447–480(in Chinese with English abstract)
- Ma Yongsheng, Cai Xunyu, Zhao Peirong. 2016. Characteristics and formation mechanism of Changxing Formation– Feixianguan Formation reef–shoal reservoirs in Yuanba Gasfield[J]. *Petroleum Research*, 1(2):123–134.
- Ma Yongsheng, He Dengfa, Cai Xunyu, Liu Bo. 2017. Distribution and fundamental science questions for petroleum geology of marine carbonate in China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 33(4):1007–1020 (in Chinese with English abstract).
- Su Zhongtang, Chen Hongde, Ouyang Zhengjian, Jin Xueqiang. 2012. Sequence-based lithofacies and paleogeography of Majiagou Formation in Ordos Basin[J]. *Geology in China*, 39(6): 623–633(in Chinese with English abstract).
- Sun Dongsheng, Li Shuangjian, Yun Jinbiao, Sun Yipu, Sun Runxuan. 2017. The activities of paleo-uplifts and distribution of oil and gas in marine craton basins, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 91(7) : 1589–1603(in Chinese with English abstract).
- Sun Longde, Zou Caineng, Zhu Rukai, Zhang Yunhui, Zhang Shuichang, Zhang Baomin, Zhu Guangyou, Gao Zhiyong. 2013. Formation, distribution and potential of deep hydrocarbon resources in China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 40(6):641–649(in Chinese with English abstract).
- Wang Lizhen, Xie Jinlong, Lu Enjun, Wu Xingning, Yu Zhou, Wang Shumin. 2018. Characteristics of sedimentary microfacies of Majiagou Submember– 57 of Ordovician in northern Jingbian gas field of Ordos Basin[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 23(4) : 35–41 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zecheng, Zhao Wenzhi, Hu Suyun, Xu Anna, Jiang Qingchun, Jiang Hua, Huang Shipeng, Li Qiufen. 2017. Control of tectonic differentiation on the formation of large oil and gas fields in craton basins: A case study of Sinian– Triassic of the Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 37(1): 9– 23(in Chinese with English abstract).
- Wu Dongxu, Wu Xingning, Wang Shaoyi, Yu Zhou, Ding Zhenchun, Sun Yunchuan, Yang Yuedong. 2017. Characteristics and main controlling factors of Ordovician grain beach dolomite reservoir in Ordos Basin[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 22(2):40–50(in Chinese with English abstract).
- Xi Shengli, Xiong Ying, Liu Xianyang, Lei Jingchao, Liu Mingjie, Liu Ling, Liu Yun, Wen Huibo, Tan Xiucheng. 2017a. Sedimentary environment and sea level change of the subsalt interval of Member 5 of Ordovician Majiagou Formation in central Ordos Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 19(5):773–790 (in Chinese with English abstract).
- Xi Shengli, Yu Zhou, Zhang Daofeng, Wu Xingning, Sun Zhe, Ding Zhenchun. 2017b. Sedimentary pattern and reservoir genesis of ordovician pre-salt grain beach in Ordos Basin[J]. *Journal of Northwest University(Natural Science Edition)*, 48(4): 557–567(in Chinese with English abstract).
- Xing Fengcun, Hu Huarui, Hou Mingcia, Lu Yongchao. 2018. Carbonate reservoirs cycles and assemblages under the tectonic and palaeogeography control: A case study from Sichuan Basin[J]. *Earth Science*, 43(10): 3540–3552 (in Chinese with English abstract).
- Xiong Ying, Tan Xiucheng, Zuo Zhifeng, Zou Guoliang, Liu Mingjie, Liu Yun, Liu Ling, Xiao Di, Zhang Jie. 2019. Middle Ordovician multi-stage penecontemporaneous karstification in North China: Implications for reservoir genesis and sea level fluctuations[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 183:1–14.
- Yang Shuai, Chen Anqing, Chen Hongde, Zhang Chenggong, Su Zhongtang, Zhao Junxing, Fu Siyi. 2016. The sedimentation mechanism and preservation condition of the potassium evaporate series in the Majiagou Formation, east of Ordos Basin[J]. *Geology in China*, 43(6): 2192–2201(in Chinese with English abstract).
- Yu Yichang, Sun Longde, Song Xinmin, Guo Rui, Gao Xingjun, Lin Minjie, Yi Liping, Han Haiying, Li Fengfeng, Liu Hangyu. 2018. Sedimentary diagenesis of rudist shoal and its control on reservoirs: A case study of Cretaceous Mishrif Formation, H Oilfield, Iraq[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 45(6): 1075–1087.
- Yu Zhou, Ding Zhenchun, Wang Lihua, Zhang Daofeng, Luo Chao, Wei Yuan, Guo Wei, Wei Liubin. 2018. Main factors controlling formation of dolomite reservoir underlying gypsum– salt layer in the 5th mem member of Ordovician Majiagou Formation, Ordos Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 39(6):1213–1224(in Chinese with English abstract).
- Zhang Chunlin, Zhang Fudong, Zhu Qiuying, Liu Ruie, Xin Ming. 2017. New understanding of the Cambrian palaeotectonic and lithofacies palaeogeography in the Ordos Craton Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 38(2):281–291 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yongsheng, Zheng Mianping, Bao Hongping, Guo Qing, Yu Changling, Xing Enyuan, Su Kui, Fan Fu, Gong Wenqiang. 2013. Tectonic differentiation of O<sub>2</sub>m<sup>56</sup> deposition stage in Salt Basin, Northern Shaanxi, and its control over the formation of potassium sags[J]. *Acta Geologica Sinica*, 87(1):101–109(in Chinese with English abstract).
- Zhao Aiwei, Tan Xiucheng, Li Ling, Luo Bing, Li Hongtao, Liu Jiwei, Wang Yong, Duan Zhuo. 2015. Characteristics and distribution of

- grain banks in the Cambrian Xixiangchi Group of Sichuan Basin and its adjacent areas[J]. *Journal of Palaeogeography*, 17(1): 21–32 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Wenzhi, Shen Anjiang, Zhou Jingao, Wang Xiaofang, Lu Junming. 2014. Types, characteristics, origin and exploration significance of reef-shoal reservoirs: A case study of Tarim Basin, NW China and Sichuan Basin, SW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 41(3): 257–267(in Chinese with English abstract).
- Zhao Wenzhi, Wei Guoqi, Yang Wei, Mo Wuling, Xie Wuren, Su Nan, Liu Mancang, Zeng Fuying, Wu Saijun. 2017. Discovery of Wanyuan-Dazhou intracratonic rift and its exploration significance in the Sichuan Basin, SW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 44(5): 659–669 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 蔡习尧, 高晓鹏, 李慧莉, 赵焱. 2019. 塔里木盆地玉北地区上奥陶统碳酸盐岩沉积微相及沉积环境[J]. *石油与天然气地质*, 40(2): 403–412.
- 代林呈, 朱祥, 李毕松, 王兴志, 曾德铭. 2017. 川东地区龙王庙组颗粒滩发育特征及分布规律[J]. *地质科技情报*, 36(6):187–195.
- 管树巍, 吴林, 任荣, 朱光有, 彭朝全, 赵文韬, 李杰. 2017. 中国主要克拉通前寒武纪裂谷分布于油气勘探前景[J]. *石油学报*, 38(1): 9–22.
- 洪海涛, 田兴旺, 孙奕婷, 马奎, 李庚, 王云龙, 杨岱林, 彭瀚霖, 罗冰, 周刚, 薛玖火, 叶茂, 山述娇. 2020. 四川盆地海相碳酸盐岩天然气富集规律[J]. *中国地质*, 47(1): 99–110.
- 李百强, 王起琼, 张小莉, 张宇, 李洁, 杜美馨, 雷易璇. 2018. 鄂尔多斯盆地中南部马家沟组马五5–马五1亚段白云岩成岩相特征及其对储层的影响[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 48(2): 255–267.
- 刘耘, 谭秀成, 刘显岩, 何为, 雄鹰, 刘灵, 刘明洁, 杨清宇. 2018. 鄂尔多斯盆地中部马五7亚段颗粒滩沉积特征及空间分布[J]. *沉积学报*, 36(4): 796–806.
- 马永生, 郭旭升, 郭彤楼, 黄锐, 蔡勋育, 李国雄. 2005. 四川盆地普光大型气田的发现与勘探启示[J]. *地质论评*, 51(4): 447–480.
- 马永生, 何登发, 蔡勋育, 刘波. 2017. 中国海相碳酸盐岩的分布及油气地质基础问题[J]. *岩石学报*, 33(4): 1007–1020.
- 苏中堂, 陈洪德, 欧阳征健, 金学强. 2012. 鄂尔多斯地区马家沟组层序岩相古地理特征[J]. *中国地质*, 39(6): 623–633.
- 孙冬胜, 李双建, 云金表, 孙宜朴, 孙润轩. 2017. 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*, 91(7): 1589–1603.
- 孙龙德, 邹才能, 朱如凯, 张云辉, 张水昌, 张宝民, 朱光有, 高志勇. 2013. 中国深层油气形成、分布于潜力分析[J]. *石油勘探与开发*, 40(6): 641–649.
- 汪泽成, 赵文智, 胡素云, 徐安娜, 江青春, 姜华, 黄士鹏, 李秋芬. 2017. 克拉通盆地构造分异对大油气田形成的控制作用[J]. *天然气工业*, 37(1): 9–23.
- 王丽珍, 谢锦龙, 卢恩俊, 吴兴宁, 于洲, 王淑敏. 2018. 鄂尔多斯盆地靖边气田北部奥陶系马五7亚段沉积微相特征[J]. *海相油气地质*, 23(4): 35–41.
- 吴东旭, 吴兴宁, 王少依, 于洲, 丁振纯, 孙云川, 杨越东. 2017. 鄂尔多斯盆地奥陶系颗粒滩白云岩储层特征及主控因素[J]. *海相油气地质*, 22(2): 40–50.
- 席胜利, 熊鹰, 刘显阳, 雷晶超, 刘明洁, 刘灵, 刘耘, 文汇博, 谭秀成. 2017a. 鄂尔多斯盆地中部奥陶系马五盐下沉积环境与海平面变化[J]. *古地理学报*, 19(5): 773–790.
- 席胜利, 于洲, 张道锋, 吴兴宁, 孙哲, 丁振纯. 2017b. 鄂尔多斯盆地奥陶系盐下颗粒滩沉积模式及储层成因[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 48(4): 557–567.
- 邢凤存, 胡华蕊, 侯明才, 陆永潮. 2018. 构造和古地理控制下的碳酸盐岩储集体旋回和集群性探讨: 以四川盆地为例[J]. *地球科学*, 43(10): 3540–3552.
- 杨帅, 陈安清, 陈洪德, 张成弓, 苏中堂, 赵俊兴, 付斯一. 2016. 鄂尔多斯盆地东部马家沟组含钾蒸发岩系沉积机制及保存条件[J]. *中国地质*, 43(6): 2192–2201.
- 于洲, 丁振纯, 王利花, 张道峰, 罗超, 魏源, 郭玮, 魏柳斌. 2018. 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组五段膏盐下白云岩储层形成的主控因素[J]. *石油与天然气地质*, 39(6):1213–1224.
- 张春林, 张福东, 朱秋影, 刘锐娥, 辛铭. 2017. 鄂尔多斯盆地克拉通盆地寒武纪构造与岩相古地理再认识[J]. *石油与天然气地质*, 38(2): 281–291.
- 张永生, 郑绵平, 包洪平, 郭庆, 于常青, 邢恩袁, 苏奎, 樊馥, 龚文强. 2013. 陕北盐盆马家沟组五段六亚段沉积期构造分异对成钾凹陷的控制[J]. *地质学报*, 87(1): 101–109.
- 赵爱卫, 谭秀成, 李凌, 罗冰, 洪海涛, 刘吉伟, 王勇, 段卓. 2015. 四川盆地及其周缘地区寒武系洗象池群颗粒滩特征及分布[J]. *古地理学报*, 17(1): 21–32.
- 赵文智, 沈安江, 周进高, 王小芳, 陆俊明. 2014. 礁滩储集层类型、特征、成因及勘探意义——以塔里木和四川盆地为例[J]. *石油勘探与开发*, 41(3): 257–267.
- 赵文智, 魏国齐, 杨威, 莫午零, 谢武仁, 苏楠, 刘满仓, 曾富英, 武赛军. 2017. 四川盆地万源—达州克拉通内裂陷的发现及勘探意义[J]. *石油勘探与开发*, 44(5): 659–669.