

鄂尔多斯盆地古生代原型盆地演化 与构造沉积格局变迁

何发岐¹, 王付斌¹, 郭利果², 安川²

1. 中国石化华北油气分公司, 郑州 450006;

2. 中国石化华北油气分公司勘探开发研究院, 郑州 450006

摘要: 鄂尔多斯古生代盆地是在前寒武系裂陷体系上发育起来的克拉通盆地, 经历了早古生代克拉通边缘拗陷和晚古生代克拉通内拗陷两个阶段。其中早古生代克拉通边缘拗陷阶段可细分为早—中寒武世张夏期、晚寒武世三山子期—早奥陶世亮甲山期、中奥陶世马家沟期、晚奥陶世平凉期—背锅山期等4个阶段; 晚古生代克拉通内拗陷可细分为晚石炭世—早二叠世、中—晚二叠世等2个阶段。古生代盆地从早寒武世—中奥陶世被动大陆边缘伸展转变为晚奥陶世—二叠纪主动大陆边缘, 构造变革受周缘大地构造体制转变控制, 内部构造沉积格局具有从寒武纪早期西南“L”型伸展裂陷、中—晚寒武世“坳—坡—隆—坪”、奥陶纪“坳—坡—隆—坳”、石炭—二叠纪“一隆两坳”逐步演化的特征。古生代原型盆地演化和构造—沉积格局变迁过程中, 派生了多套烃源岩和储层, 其中盆地西—南缘持续沉降区域发育寒武系苏峪口组—辛集组、徐庄组、奥陶系平凉组、石炭—二叠系煤系烃源岩, 盆地内部沉降区发育奥陶系徐庄组、马家沟组、石炭—二叠系煤系烃源岩; 下古生界中央古隆起两侧古斜坡区发育张夏组高能鲕粒滩、克里摩里组生物礁滩—颗粒滩、马家沟组颗粒滩等有效储层。

关键词: 原型盆地; 构造环境; 沉积格局; 古生代; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE121.2

文献标识码: A

Evolution of prototype basin and change of tectonic-sedimentary pattern in Paleozoic, Ordos Basin

HE Faqi¹, WANG Fubin¹, GUO Ligu², AN Chuan²

1. SINOPEC North China Oil and Gas Branch Company, Zhengzhou, Henan 450006, China;

2. Research Institute of Exploration and Development, SINOPEC North China Oil and Gas Branch Company, Zhengzhou, Henan 450006, China

Abstract: The Ordos Basin is a craton basin developed based on the Precambrian rift system during Permian. It has experienced two stages of evolution including the Early Paleozoic craton marginal depression and Late Paleozoic intra-craton depression. The former can be further divided into four periods, including the Zhangxia period of Early to Middle Cambrian, the Sanshanzi period of Late Cambrian to the Liangjiashan period of Early Ordovician, the Majiagou period of Middle Ordovician, and the Pingliang-Beiguoshan period of Late Ordovician. The latter can be further divided into two periods, including Late Carboniferous to Early Permian and Middle to Late Permian. Controlled by the transformation of surrounding tectonic system of North-China blocks, the Paleozoic Ordos Basin evolved from passive continental margin extension in the Early Cambrian and Middle Ordovician to active continental convergence in Late Ordovician and Permian. The internal tectonic sedimentary pattern gradually evolved from a “L-shaped” extensional rift in the southwest of the basin during Cambrian, to “depression-slope-uplift-plateau” during the Middle-Late Cambrian, to “depression-slope-uplift-depression” during Ordovician, and to “one uplift and two depressions” during Carboniferous to Permian. During the evolution of Paleozoic prototype basin and the change of tectonic-sedimentary pattern, several sets of source rocks and reservoirs were derived. In the continuously subsiding region on the western and southern margin of the basin, coal-measure source rocks deposited in Cambrian Suyukou-Xinji formations, Xuzhuang Formation, Ordovician Pingliang Formation, Carboniferous and Permian. In the subsiding region inside

收稿日期: 2021-08-10; 修订日期: 2022-03-16。

作者简介: 何发岐(1967—), 男, 博士, 教授级高级工程师, 从事石油地质综合研究及油气勘探开发方面的工作。E-mail: hefq.hbsj@sinopec.com。

通信作者: 郭利果(1981—), 男, 博士, 高级工程师, 从事鄂尔多斯盆地石油地质研究。E-mail: ligo2000@163.com。

基金项目: 中国石化科技部重点项目(P17009-2)资助。

the basin, coal-measure source rocks deposited in Ordovician Xuzhuang Formation, Majigou Formation, Carboniferous and Permian. Effective reservoirs, such as high-energy oolitic beach of Zhangxia Formation, bioreef-granule beach of Krimori Formation and granulate beach of Majiagou Formation, were developed in the western and eastern paleoslope areas of the central paleouplift of the Paleozoic Ordos Basin.

Key words: prototype basin; tectonic setting; sedimentary pattern; Paleozoic; Ordos Basin

朱夏首次将“原型盆地”的概念应用于我国的含油气盆地分析中,把原型的概念和某一阶段盆地形成的地球动力学环境相关联,并基于“两种运动体制”的概念提出了原型盆地分析的系统方法^[1],张渝昌等学者继承了朱夏先生的学术思想,对中国和世界典型盆地原型进行了动态分析和分类总结^[2-6]。相比于其他盆地,由于前期二、三维地震及深钻井资料的缺乏或品质较差,前人关于鄂尔多斯盆地中新元古代及早古生代的盆地原型研究相对薄弱,一般集中在某一地区或某一阶段,编图单元普遍局限在现今盆地边界范围内,对相邻地质单元已有地质认识应用不够;盆地内部构造—环境分析主要依赖少数的区域探井,基于地质认识模式编制的图件对内部细节刻画精细程度相对有限^[7-14]。2017—2021年,针对鄂尔多斯盆地地下古生界及以下地层认识相对薄弱这一问题,中国石化华北油气分公司等单位利用盆地近年来实施的22条地震区域大剖面、300余条局部二、三维地震测线、122口深井,50余条盆缘古生界露头、2800多组测试分析数据,解析了盆地西缘—南缘—北缘—东缘构造样式并划分了构造活动期次,利用盆—山地质大剖面解释、沉积充填分析、平衡剖面+原型盆地恢复技术反演了中元古代—现今构造演化过程;明确了中元古代裂陷槽、中央古隆起对古生代不同时期构造—沉积格局的控制和影响作用,实现了全盆范围内体系域—三级层序约束下的地层—沉积对比与平面编图;确定了古生界潜在有效烃源岩发育层位,采用“碳酸盐岩成烃生物+酸溶有机质(全烃碳)校正+热演化恢复”技术明确了奥陶系马家沟组、平凉组海相烃源岩的有效性。

在明确了华北地区西部古生代各期深部地球动力学背景及构造—沉积环境,恢复了现今鄂尔多斯盆地早古生代各期原型盆地分布及其并列—迭加关系的基础上,将盆地古生代划分为早古生代克拉通边缘拗陷—晚古生代克拉通内拗陷2阶段6期,并探讨了古生代构造—沉积变迁过程中对下寒武统、奥陶系马家沟组、平凉组海相烃源岩、石炭—二叠系煤系烃源岩,盆地寒武系张夏组、奥陶系马家沟组、克里摩里组、石炭—二叠系储层发育的控

制和影响作用及其对古生界油气勘探的指示意义。

1 早古生代克拉通边缘拗陷阶段

鄂尔多斯古生代盆地是在前寒武裂陷体系基础上发展起来的大型克拉通盆地,宏观上属于华北克拉通西部部分。现今盆地范围中元古代长城纪表现为NE—SW走向一系列裂陷盆地并列;中元古代蓟县纪表现为一个相对统一的西南厚东北薄大型拗陷^[15-18];南华纪—震旦纪,现今鄂尔多斯盆地主体区经历了长约4.7亿年的沉积间断(图1),仅在华北克拉通西部、南部可见一定厚度震旦纪晚期沉积,从黄旗口—贺兰山—青龙山—洛南地区的露头来看,其主要为一套冰碛及碎屑流沉积物。零星的地层记录表明前寒武纪末华北克拉通北缘已表现为稳定的被动大陆边缘,与古亚洲洋相邻;南缘相继受600 Ma宽坪洋盆闭合和542 Ma商丹洋盆伸展影响^[19-20],仅在震旦纪末期保留了部分被动大陆边缘沉积。

1.1 早寒武世—中寒武世张夏期

寒武纪早期商丹洋开始向北部俯冲,形成了北秦岭岛弧带,华北南部表现为平缓的被动大陆边缘^[21];震旦纪末期分布在华北南缘的冰川由于气候变暖完全消失,华北西部—南部经历古生代第一次海侵并开始接受辛集期(对应于盆地西缘苏峪口期)和朱砂洞期海相超覆沉积,华北中北部仍表现为大面积隆起区未接受沉积(图2a,图3a-b)。辛集(苏峪口)组主体为一套含磷碎屑质—碳酸盐岩沉积,主体沿贺兰裂陷槽—北秦岭洋盆延伸方向分布,该套地层在豫西—贺兰山一线野外露头中已广泛出露,在鄂尔多斯盆地范围内鲜有揭示,目前仅在南缘彬长探区实施的风险探井——长探1井有发现。馒头期至徐庄期由于板块俯冲引起热地幔主动底辟上涌,成为弧后扩张的动力,在北秦岭岛弧带北侧—华北南侧区域发育二郎坪弧后盆地;徐庄期受早古生代第一次海侵影响,沉积范围已从寒武纪早期现今盆地西缘—南缘扩展到盆地内部(图2b,图3c)。张夏期二郎坪洋盆扩展受到南部北秦岭洋盆俯冲阻碍,开始向南俯冲,现今鄂尔多斯盆地海侵达到最大范围,盆内仅镇原

隆起、乌审旗隆起、吕梁隆起、杭锦隆起未接受沉积(图 2c, 图 3d)。

寒武纪早—中期受华北北部、华北南部被动大陆边缘背景联合控制, 现今鄂尔多斯盆地西缘—南缘持续接受沉积, 厚度较大; 盆地内部仅在海侵高位期接受沉积, 厚度相对较薄; 构造格局自西南缘秦祁海向盆地内部华北海表现为“坳—坡—隆—坪”的变化特征。辛集期—朱砂洞期—馒头期, 现今鄂尔多斯盆地表现为华北南部被动大陆边缘、走廊被动大陆边缘、华北西部贺兰裂陷槽等原型盆地的并列(图 3a-b); 毛庄期—徐庄期—张夏期, 表现为华北南部被动大陆边缘、富县坳陷、走廊被动大陆边缘、神木坳陷、贺兰裂陷槽、定边坳陷等原型盆地的并列(图 3c-d)。

1.2 晚寒武世三山子期—早奥陶世亮甲山期

三山子期, 华北南侧二郎坪洋盆向南俯冲形成岛弧与北秦岭岛弧组成双排岛弧带, 北侧古亚洲洋向南俯冲逐渐形成华北北缘岛弧带, 华北南北两侧均处在被动陆缘环境; 南北双向俯冲背景下, 现今鄂尔多斯盆地区域发生区域性海退, 沉积范围减小, 在寒武纪中期已存在的镇原隆起、乌审旗隆起、杭锦隆起沿南北方向连成一片, 形成鄂尔多斯中央隆起(图 2d, 图 3e)。早奥陶世冶里期—亮甲山期, 随着北侧古亚洲洋向南俯冲作用加强, 华北北

缘构造体制由被动陆缘转变为主动陆缘北缘坳陷带; 阿拉善隆起和鄂尔多斯中央隆起陆域面积不断扩大, 定边坳陷逐渐消失。亮甲山期末华北地区发生怀远运动, 大规模海退形成广泛的沉积间断; 先前存在的富县坳陷、神木坳陷逐渐衰亡, 表现为砂泥坪—潮坪沉积(图 3f)。

1.3 早—中奥陶世马家沟期

马家沟期, 现今鄂尔多斯盆地沉积受华北北部主动大陆边缘、华北南部—西南部被动大陆边缘背景联合控制, 整体具有构造相对稳定、震荡性海侵—海退、气候干旱—湿润频繁变化的特点(图 2e-f); 现今鄂尔多斯盆地范围沉积受中西部南北向延伸的古隆起弱分割, 外侧、内侧分别受秦祁海、华北海演化控制^[22]。

马一期华北发生早古生代第二次海侵, 海水从东、南、西 3 个方向再次侵入, 海侵范围扩大, 鄂尔多斯中央隆起范围较三山子期明显缩小; 马二段沉积时期, 海侵继续扩大, 隆起进一步缩小; 马三段沉积期, 区域发生振荡性海退, 气候干旱, 隆起以东以发育大规模膏盐岩沉积为特点(图 4a); 马四段沉积期是奥陶纪以来的最大海侵期, 水体变深, 除阿拉善隆起、杭锦隆起和西南镇原隆起外, 其余地区均被海水淹没(图 4b); 马五段沉积时期振荡性海退, 水体明显变浅, 镇原隆起向北延伸到定边, 向东

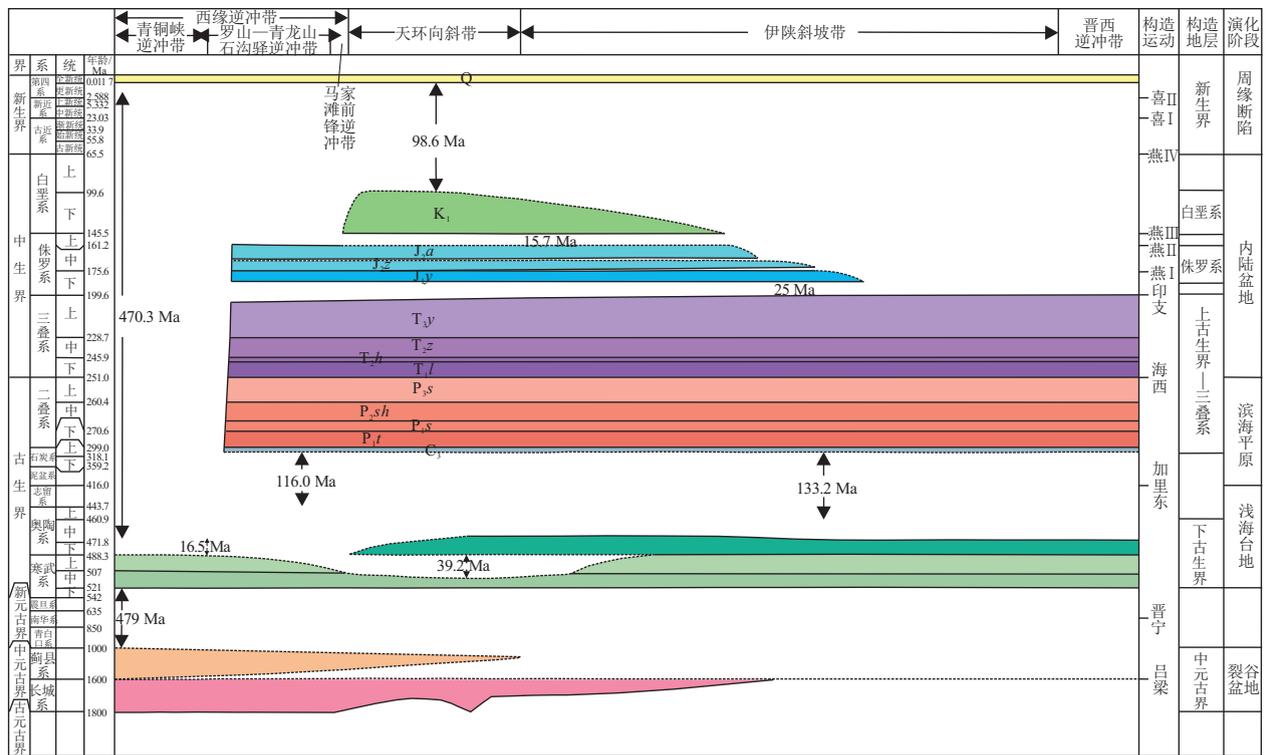


图 1 鄂尔多斯盆地中部东西向地震地质结构大剖面及构造—地层层序

Fig.1 E-W seismic geologic section and tectonic-stratigraphic sequences in central Ordos Basin

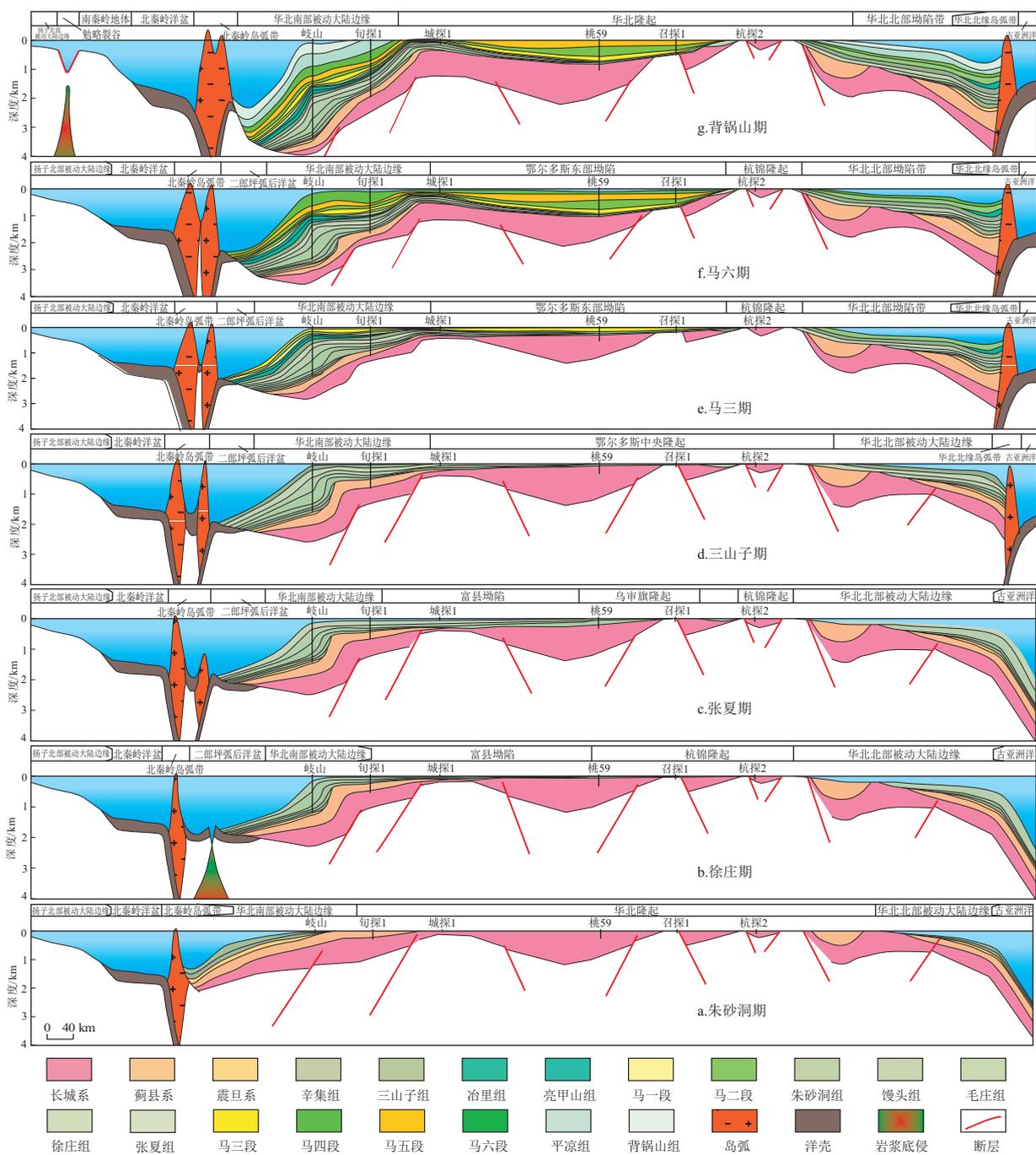


图 2 华北地区早古生代南北向区域构造—沉积演化模式

Fig.2 Regional tectonic-sedimentary evolution model of North China during Early Paleozoic

接近宜君,“L”型形态更加明显,杭锦隆起范围增大(图 4c);马六期存在一次规模较大的海侵,水体较马五期深,地层由于后期加里东—海西期剥蚀保存不全(图 4d)。

奥陶纪现今盆地西南缘仍表现为裂陷海槽或伸展海盆,沉积厚度巨大;中西部发育鄂尔多斯中央隆起;东部表现为一个相对统一,沉积厚度较大的大型坳陷;构造格局自西南缘秦祁海向盆内华北海变现为“坳—坡—隆—坳”的变化特征。马家沟期,现今鄂尔多斯盆地表现为华北南部被动大陆边

缘、走廊被动大陆边缘、贺兰裂陷槽、鄂尔多斯东部坳陷等原型盆地的并列。

1.4 晚奥陶世平凉—背锅山期

马六期后,受加里东运动影响,华北海退出现今鄂尔多斯盆地主体区,形成大面积隆起。平凉期,华北南部二郎坪弧后洋盆开始关闭,盆地南缘构造体制向前陆盆地转变,现今盆地南缘前陆盆地区—西缘贺兰裂陷槽区域伸展断裂活动频繁(图 4e)。背锅山期,二郎坪弧后洋盆关闭,并形成二郎坪弧后缝合线,向北到华北隆起之间发育华北

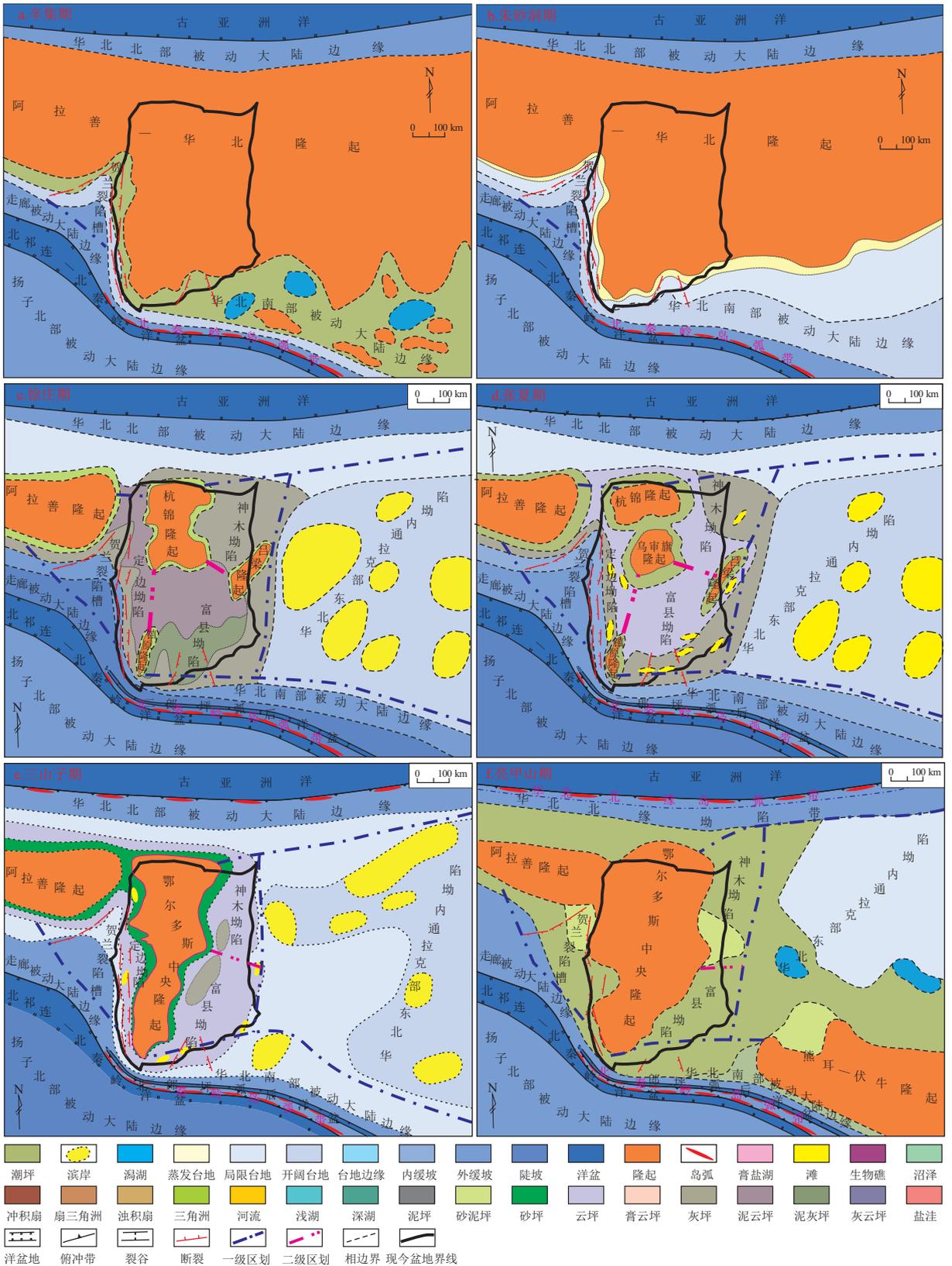


图3 华北地区寒武纪—奥陶纪早期不同阶段原型盆地分布

Fig.3 Distribution of prototype basins in different stages from Cambrian to Early Ordovician in North China

南部前陆盆地;华北西南部走廊被动大陆边缘也由于北祁连洋盆关闭造山转变为走廊前陆盆地,西缘贺兰裂陷槽由于受阿拉善地块与华北陆块陆陆拼

接影响,古地理形态也发生较大变化,已经不具有狭窄的三角槽型,向南迁移演变为以同心—海原为沉积中心形成贺兰坳陷(图2g,图4f)。背拗山期

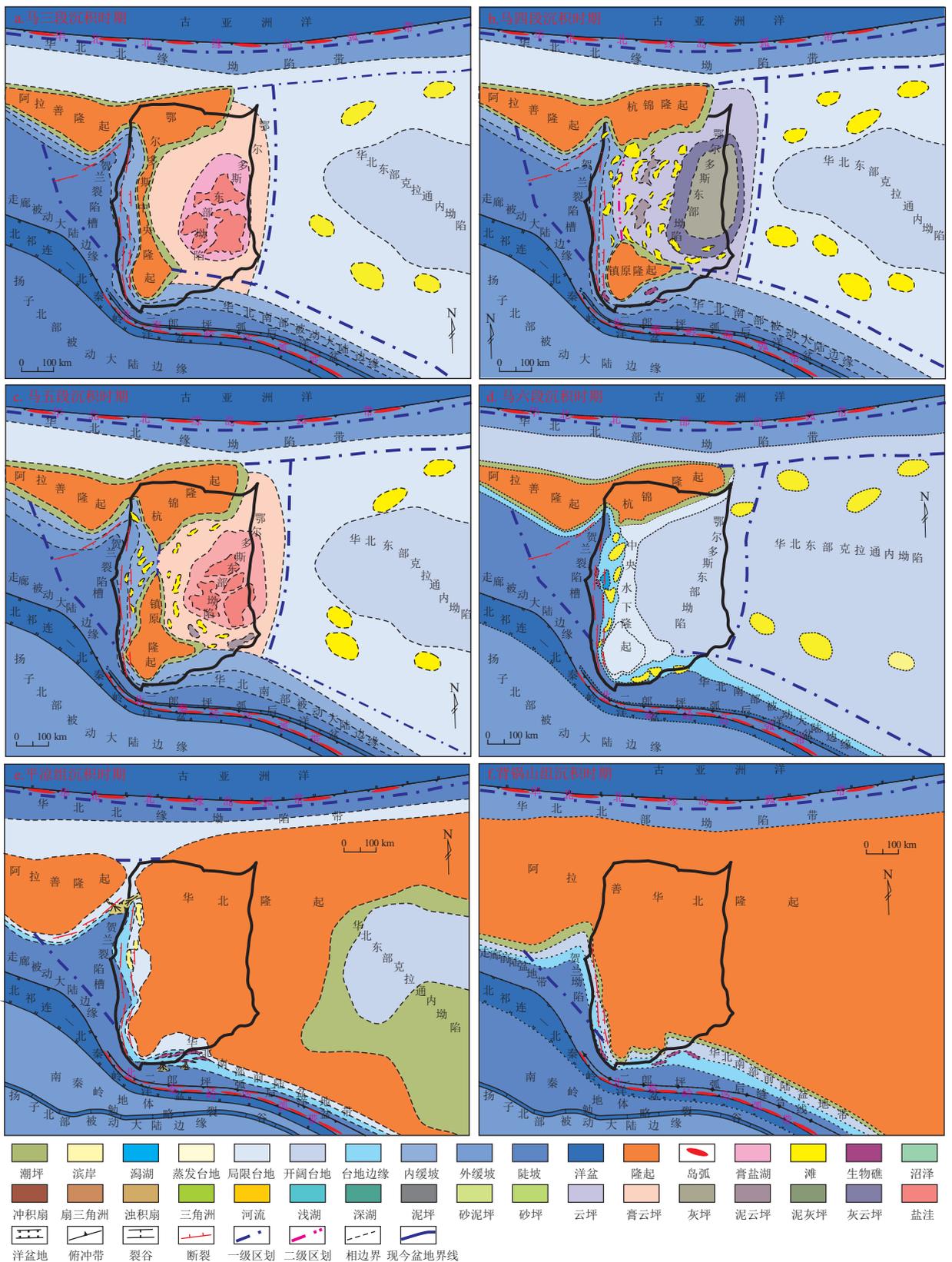


图4 华北地区奥陶纪中晚期不同阶段原型盆地分布

Fig.4 Distribution of prototype basins in different stages from middle to late Ordovician in North China

末,海水全面退出鄂尔多斯盆地南缘,奥陶纪沉积结束。

平凉—背锅山期盆地西—南缘构造及岩浆活

动强烈,平凉三道沟、银洞—官庄、泾阳铁瓦殿剖面、麟游、富平赵老峪等剖面中上奥陶统中广泛发育火山凝灰岩、凝灰质砂岩,这些凝灰岩、凝灰质砂

岩锆石 U-Pb 年龄均分布在 462~450 Ma 之间,与北秦岭—北祁连地区洋壳俯冲引起的火山弧喷发密切相关^[23-25];北部古亚洲洋仍以俯冲作用为主,盆地北缘延续了相对稳定的主动陆缘背景,构造及岩浆活动较弱;现今盆地主体区表现为弧后造山环境,大部分隆升成陆未接受沉积。

平凉期,现今鄂尔多斯盆地范围内表现为南缘前陆盆地、走廊被动大陆边缘、贺兰裂陷槽的并列;背锅山期表现为南缘前陆盆地、走廊前陆盆地、贺兰坳陷的并列。

2 晚古生代克拉通内拗陷阶段

志留纪—中石炭世,现今鄂尔多斯盆地整体处于会聚碰撞、抬升剥蚀阶段,华北北部温都尔庙洋

(古亚洲洋分支),华北西南部祁连洋、华北南部商丹洋盆(秦岭洋分支)相继关闭造山,华北西部阿拉善与华北地块沿贺兰山拼接并陆内造山^[26-27],整个华北地区形成了长达 1.3~1.5 亿年的沉积间断,普遍缺失志留系(图 1)。相对而言,中祁连地块与阿拉善—华北板块 470~450 Ma 以来的碰撞具“东早西晚”、“东强西弱”的特点^[28-29],因此,在北祁连—河西走廊地区仍保留了相对连续的志留—泥盆系海相沉积^[30]。

2.1 晚石炭世—早二叠世

晚石炭世本溪期,华北北部恩格尔乌苏洋(古亚洲洋分支)、南秦岭南部勉略洋盆(秦岭洋分支)快速扩展,华北西部祁连地块宗务隆山—同仁一线发育裂谷—小洋盆^[26],华北克拉通发生沉降重新

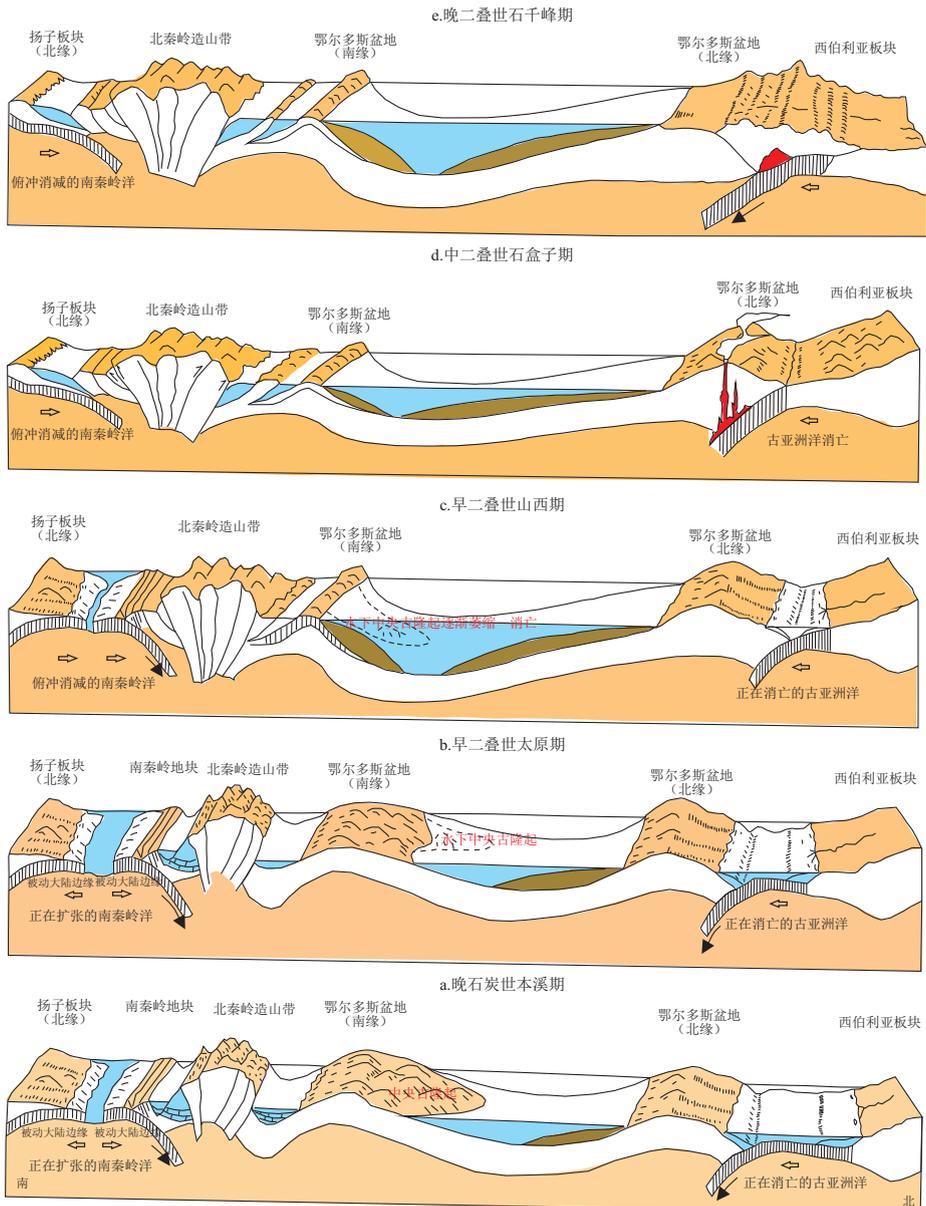


图 5 华北及邻区奥陶纪末—二叠纪南北向大地构造动力学背景

Fig.5 S-N tectonic dynamic background of North China and adjacent areas from Late Ordovician to Permian

接受沉积,海水主要从 NEE、SWW 两个方向侵入,华北东部形成受限陆表海,西部祁连海域形成深度较大的海湾—潟湖,本溪晚期分布在鄂尔多斯盆地中东部华北海与西部祁连海在现今盆地中北部发生连通,本溪组向中央古隆起方向超覆变薄,表现为广覆式“填平补齐”特征(图 6a)。晚石炭世末,北部索仑—西拉木仑洋(古亚洲洋分支)向南俯冲、消减,区域应力场受来自北侧南北向挤压应力控制,华北克拉通区域构造格局逐渐由志留纪—中石炭世的“南隆北倾”逐渐转为“北隆南倾”(图 5a)。早二叠世太原期,南秦岭南部勉略洋(秦岭洋分支)向北俯冲,华北海改由 SE 方向侵入研究区,经过了晚石炭世的填平补齐,陆表海进一步发展,并与西部祁连海广泛连通,水动力条件以潮汐作用为主,海平面升降频繁,表现为不连续的幕式海侵过程(图 5b,图 6b)。从早二叠世山西期开始,受北部古亚洲洋持续向南俯冲—消减影响,盆地北部物源区显著隆升,盆地内部海水逐步向南退出,进入以陆相沉积为主的演化阶段,仅在盆地南部局部保留残留海盆沉积(图 5c,图 6c)。

晚石炭世—早二叠世,盆地西缘具活化拗拉槽

特征,中央古隆起主体表现为水下低隆,盆地中东部表现为一大型克拉通内拗陷;盆地整体表现出“一隆两拗”的构造—沉积格局(图 6a-b);山西期以后,盆地逐渐表现出统一的克拉通内拗陷特征,东西向沉积分异变弱,南北向由于物源输入强弱差异分异加强(图 6c)。

2.2 中晚二叠世

中二叠世下石盒子期,随着古亚洲洋持续向南俯冲推挤,华北克拉通北缘进一步抬升,物源供给充足,地表径流作用最为活跃,砂体由北向南长距离输入;海水持续南撤,以海相灰岩为代表的陆表海沉积不复存在(图 5d,图 6d)。中二叠世上石盒子期,气候进一步变干燥,随基底沉降速率加快,沉积范围持续扩大,现今鄂尔多斯盆地南部的麟游、岐山地区上石盒子组超覆于奥陶系灰岩之上^[31-32]。石千峰期,北缘古亚洲洋因西伯利亚板块与华北板块对接而消亡,南秦岭南部勉略洋盆(秦岭洋分支)向北俯冲加剧,使华北克拉通整体抬升,海水撤出大华北地区(图 5e)。盆地由前期的近海湖盆演变为内陆湖盆,沉积环境完全转化为大陆体制,盆地的地形仍保持着“南陡北缓,南深北浅”的不

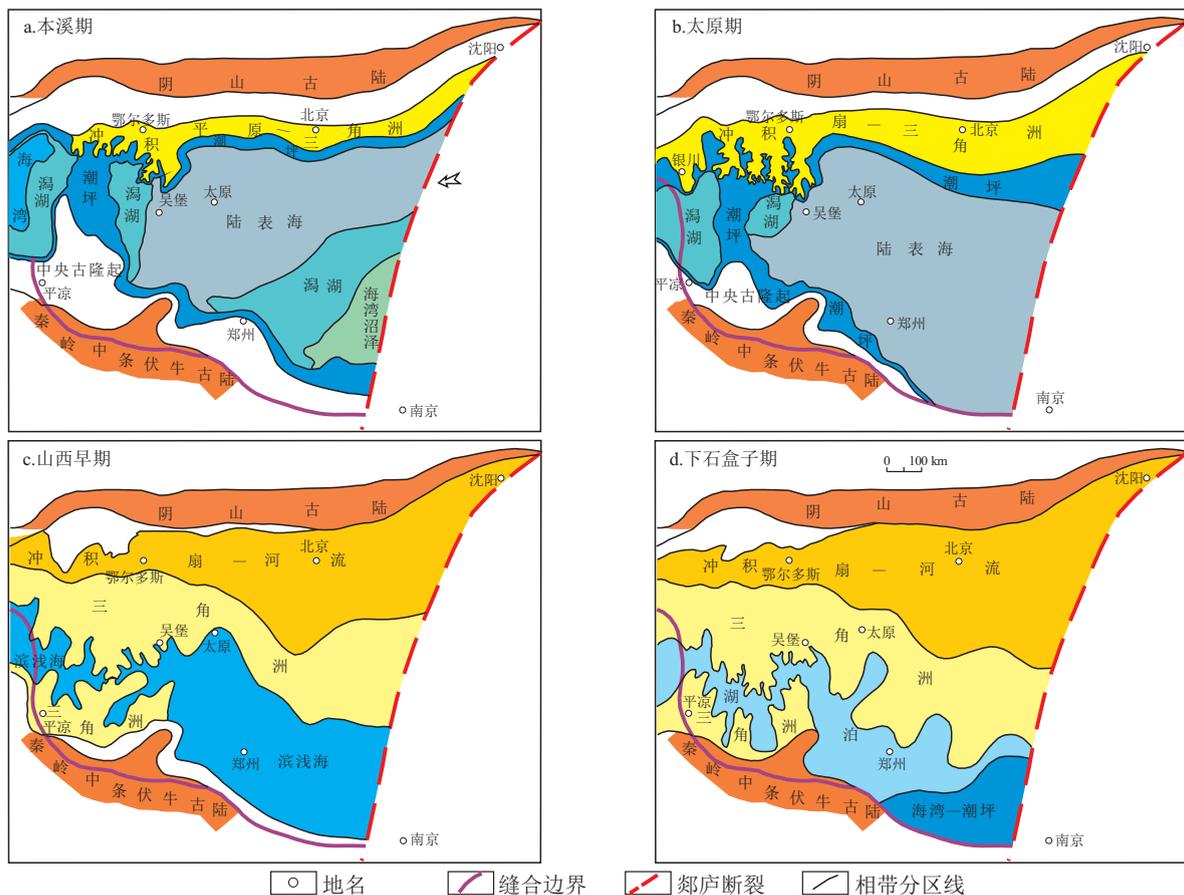


图 6 华北地区晚石炭世—早中二叠世构造—沉积格局

Fig.6 Tectonic-sedimentary pattern in North China from Late Carboniferous to Early-Middle Permian

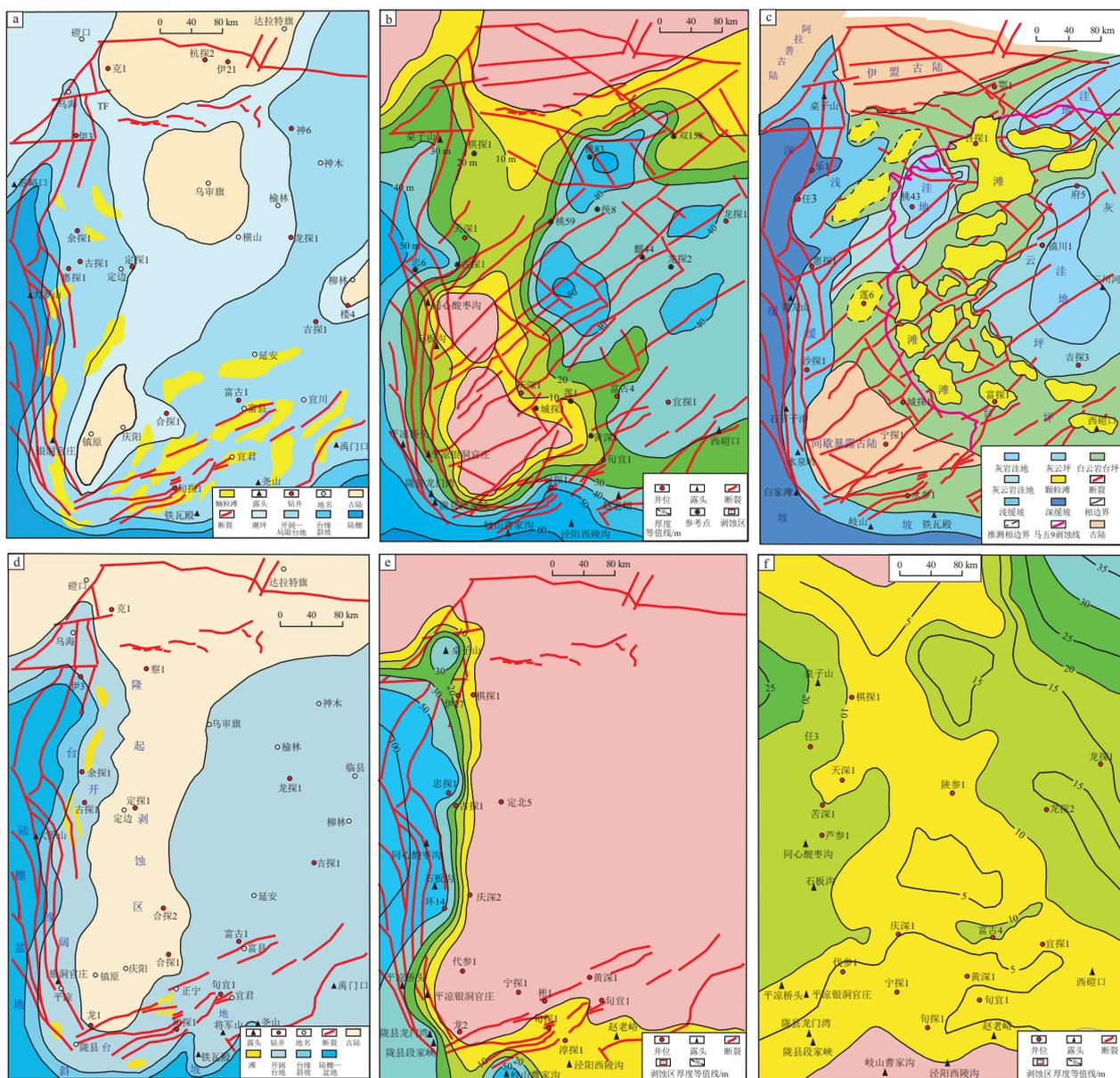


图7 鄂尔多斯盆地古生界有效烃源岩及储层平面分布

a.张夏组鲕粒滩储层;b.马家沟组烃源岩;c.马五段9亚段颗粒滩储层,底图据参考文献[36]修改;
d.马六段礁滩储层;e.平凉组烃源岩;f.上古生界煤系烃源岩

Fig.7 Distribution of effective source rocks and reservoirs in Paleozoic, Ordos Basin

对称箕状湖盆面貌,三角洲—湖泊沉积进一步萎缩。

3 古生代构造—沉积格局变迁对烃源岩、储层发育的控制作用

晚震旦世东坡期至早寒武世辛集(苏峪口)期,贺兰裂陷槽和南部被动陆缘近洋盆陡斜坡区域发育了一套高有机质(TOC含量约3%~5%)黑色页岩、暗色泥板岩优质烃源岩;该套烃源岩与伸展早期海相含磷碎屑质—碳酸盐岩沉积密切相关,并且已在盆地西缘苏峪口、华北南缘柞水—蓝田—洛南—栾川等地区广泛揭示^[17,33]。海侵高位的徐庄

期,华北地区相对分散独立的坳陷—洼陷中心区域发育一定厚度、颜色较深泥岩—泥质灰岩—泥质白云岩,部分TOC含量相对较高(0.5%~1%),母质类型为I~II型,基本可达到有效烃源标准^[34-35]。海侵最大的张夏期,被动大陆边缘—陆缘坳陷过渡区域发育物性条件较好的高一中能鲕粒滩,孔隙度最高可达7.5%左右,渗透率最高可达 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,可作为寒武系有效储层(图7a)。

马家沟期,盆地中东部地区潜在烃源岩发育受NE向基底断裂再活动宏观控制,在马三期、马五期气候相对干旱早期远离中央古隆起的环局限台地膏盐湖内斜坡和盐岩盆地发育了暗色泥岩、泥质碳酸

岩,具有厚度大(20~50 m)、原始 TOC 含量较高(>1%)的特点(图 7b);在盆地西部近南北向断裂及盆地内部 NE 向基底断裂再活动形成的块断凸起或低隆台坪环境发育了物性相对较好的生物礁滩、碳酸盐岩颗粒滩,形成相对优质的天然气储层(图 7c-d)。

平凉期前陆盆地主体斜坡—陆棚区域发育了一套厚度较大,有机质丰度较高的海相泥页岩、泥灰岩,为区域有效烃源岩。该套烃源岩为优质的海相 I—II₁型烃源岩,其在深水斜坡—陆棚主体区域具有较大的厚度(50~125 m)和较高有机质丰度(TOC 含量介于 0.5%~1.6%,图 7e)。

石炭—二叠纪早期,盆地广泛沉积了一套煤系烃源岩,古隆起核部区域煤系烃源厚度相对偏小,两侧远离古隆起坳陷煤层厚度较大(图 7f);本溪期—太原期砂体沿中央古隆起轴部延伸,且大致具有东部坳陷输入规模大,西部坳陷输入规模小的特点(图 6a-b);山西期—石千峰期砂体广泛发育,东西方向由于古隆起逐渐衰亡分异减弱,南北方向由于北部伊盟隆起持续隆升,砂体输入表现北强南弱的特点(图 6c-d)。

总体而言,盆地西缘、南缘古生代连续沉积区发育下寒武统苏峪口组—辛集组、中寒武统徐庄组、上奥陶统平凉组等多套海相烃源岩,发育上石炭统羊虎沟组、下二叠统太原组—山西组煤系烃源岩;发育寒武系张夏组台缘高能鲕粒滩、奥陶系克里摩里组和马家沟组六段台缘生物礁滩—台内颗粒滩碳酸盐岩储层,发育上石炭统本溪组—下二叠统太原组障壁岛、二叠系山西组—上石盒子组三角洲碎屑砂岩储层。盆地中东部古生代沉积不连续区域在马家沟期气候相对于早期发育局限台地膏盐湖内斜坡和盐岩盆地暗色泥岩、泥质碳酸盐岩烃源岩,在晚石炭世、早二叠世发育羊虎沟组、太原组—山西组煤系烃源岩;在马家沟期毗邻古隆起、坳陷内次级低隆或 NE 向断块凸起部位发育台内潮缘滩、台坪颗粒滩碳酸盐岩储层,在晚石炭世—二叠纪发育本溪组—太原组障壁岛、山西组—石千峰组三角洲碎屑砂岩储层。

4 结论与启示

(1)鄂尔多斯盆地在早古生代克拉通边缘拗陷阶段发生了晚寒武世三山子期—早奥陶世亮甲山期、晚奥陶世平凉—背锅山期 2 次构造变革,在晚古生代克拉通内坳陷经历了中晚二叠世构造变革,这 3 次构造变革分别与古亚洲洋开始向南俯

冲、二郎坪—北祁连洋盆关闭、西伯利亚板块与华北北缘挤压碰撞相关。

(2)鄂尔多斯盆地西缘寒武纪—晚奥陶世平凉期表现为走廊被动大陆边缘、贺兰裂陷槽的横向并列;晚石炭世—晚二叠世由早期再生拗拉槽性质的坳陷转变为统一鄂尔多斯盆地西部坳陷的一部分。盆地南缘经历了寒武纪—中奥陶世被动大陆边缘、晚奥陶世前陆盆地、晚石炭世—早二叠世东部坳陷南缘的垂向迭加,中晚二叠世则成为鄂尔多斯克拉通内坳陷的一部分。盆地中东部寒武纪中晚期—早奥陶世亮甲山期表现为北部神木坳陷和南部富县坳陷的并列;马家沟期—早二叠世成为鄂尔多斯盆地东部坳陷的主体;中晚二叠成为鄂尔多斯克拉通内坳陷的主体部分。

(3)盆地上古煤系烃源岩广泛发育,与上部碎屑砂岩储层构成“下生上储”成藏组合,近年来埋深相对较大的西部和煤层相对较薄的南部相继获得勘探突破,是下一步增储上产的有利区。盆地西缘下古天然气勘探应重点关注古隆起西侧、南侧向秦祁海槽过渡陡斜坡区,该区下古发育多套生储盖组合,现今天环坳陷范围地层未经历大的构造反转,抬升幅度较小,可能保留了原生气藏;盆地南缘渭北隆起范围内地层后期经历了构造反转,抬升幅度较大,应以寻找残留型油气藏为主。盆内主体区下寒武统徐庄组有效烃源不发育或厚度偏小,寒武系勘探应重点关注深部有中元古界裂陷槽分布的区域;奥陶系马家沟组发育多套生储盖组合,下一步应重点在古隆起上斜坡、马五段 6 亚段盐下层段洼陷间次级低隆、NE 向断块凸起展开勘探。

参考文献:

- [1] 朱夏.活动论构造历史观[J].石油实验地质,1991,13(3): 201-209.
ZHU Xia.Tectonic history viewpoint of active theory[J].Experiment Petroleum Geology,1991,13(3):201-209.
- [2] 张渝昌.动态的盆地和石油:从盆地原型系统的组合例解油气的形成和分布[M].北京:石油工业出版社,2010.
ZHANG Yuchang.Dynamic basin and petroleum[M].Beijing: Petroleum Industry Press,2010.
- [3] 张渝昌.中国含油气盆地原型分析[M].南京:南京大学出版社,1997.
ZHANG Yuchang.Prototype analysis of oil-bearing basins in China[M].Nanjing:Nanjing University Press,1997.
- [4] 刘池洋,王建强,赵晓辰,等.盆地“原型”及其相关外延称谓与研究[J].石油实验地质,2020,42(5):720-727.
LIU Chiyang,WANG Jianqiang,ZHAO Xiaochen,et al.The prototype basin and its nomenclatures and research[J].Petroleum

- Geology & Experiment, 2020, 42(5): 720-727.
- [5] 朱伟林,陈春峰,张伯成,等.南黄海古生代盆地原型演变与烃源岩发育特征[J].石油实验地质, 2020, 42(5): 728-741.
ZHU Weilin, CHEN Chunfeng, ZHANG Bocheng, et al. Paleozoic basin prototype evolution and source rock development in the South Yellow Sea[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(5): 728-741.
- [6] 杨凤丽,周晓峰,胡虞杨,等.新元古代扬子克拉通 TSM 盆地原型分析[J].石油实验地质, 2020, 42(5): 742-755.
YANG Fengli, ZHOU Xiaofeng, HU Yuyang, et al. TSM prototype basins on the Neoproterozoic Yangtze Craton[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(5): 742-755.
- [7] 王振涛,周洪瑞,王训练,等.鄂尔多斯盆地西缘北部奥陶纪盆地原型:来自贺兰山和桌子山地区奥陶系的沉积响应[J].地质评论, 2016, 62(4): 1041-1061.
WANG Zhen tao, ZHOU Hongrui, WANG Xunlian, et al. The Ordovician basin prototype in the northwest Ordos Basin: constraint from the Ordovician sedimentary respond in the Helan-Zhuozi mountains[J]. Geological Review, 2016, 62(4): 1041-1061.
- [8] 方成名,黄泽光.中国中西部大型盆地差异演化与碎屑岩油气响应[J].石油实验地质, 2016, 38(6): 703-712.
FANG Chengming, HUANG Zeguoguang. Differential characteristics of large-scale basin evolution and hydrocarbon response of clastic strata in central-western China [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(6): 703-712.
- [9] 张进,李锦轶,刘建峰,等.早古生代阿拉善地块与华北地块之间的关系:来自阿拉善东缘中奥陶统碎屑锆石的信息[J].岩石学报, 2012, 28(9): 2912-2934.
ZHANG Jin, LI Jinyi, LIU Jianfeng, et al. The relationship between the Alxa block and the North China Plate during the Early Paleozoic: new information from the Middle Ordovician detrital zircon ages in the eastern Alxa block [J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(9): 2912-2934.
- [10] 徐旭辉,方成名,陆建林,等.原型控源、迭加控藏:油气盆地资源分级评价与有利勘探方向优选思维及技术[J].石油实验地质, 2020, 42(5): 824-836.
XU Xuhui, FANG Chengming, LU Jianlin, et al. Hydrocarbon sources controlled by basin prototype and petroleum accumulation controlled by basin superposition: thoughts and technology of resource grading evaluation and exploration optimization in petroliferous basins [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(5): 824-836.
- [11] 周小进,倪春华,杨帆.华北古生界原型—变形构造演化及其控油气作用[J].石油与天然气地质, 2010, 31(6): 779-794.
ZHOU Xiaojin, NI Chunhua, YANG Fan. The Paleozoic prototype basins and their tectonic deformation in North China and their controlling effects upon hydrocarbon accumulation [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6): 779-794.
- [12] 余和中和,韩守华,谢锦龙,等.华北板块东南缘原型沉积盆地类型与构造演化[J].石油与天然气地质, 2006, 27(2): 244-252.
YU Hezhong, HAN Shouhua, XIE Jinlong, et al. Types of original sedimentary basins and tectonic evolution on southeastern margin of North China plate [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(2): 244-252.
- [13] 袁卫国,赵一鸣.鄂尔多斯南部地区早古生代被动大陆边缘特征与演化[J].西北大学学报(自然科学版), 1996, 26(5): 84-87.
YUAN Weiguo, ZHAO Yiming. Characteristics and evolution of passive continental margin during Early Palaeozoic Era in southern Ordos [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 1996, 26(5): 84-87.
- [14] 王玉新.鄂尔多斯地块早古生代构造格局及演化[J].地球科学(中国地质大学学报), 1994, 19(6): 778-786.
WANG Yuxin. Tectonic framework and evolution of Ordos massif in Early Paleozoic [J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 1994, 19(6): 778-786.
- [15] 冯娟萍,李文厚,欧阳征健.鄂尔多斯地区中新元古代构造沉积演化研究[J].西北大学学报(自然科学版), 2020, 50(4): 634-643.
FENG Juanping, LI Wenhong, OUYANG Zhengjian. Tectonic and depositional evolution of Meso-Neo Proterozoic in Ordos area [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2020, 50(4): 634-643.
- [16] 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 Jin'gao, 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.
- [17] 杜金虎,李相博,包洪平,等.鄂尔多斯盆地中新元古界—下古生界天然气成藏地质条件及勘探新领域[J].石油勘探与开发, 2019, 46(5): 820-835.
DU Jinhui, LI Xiangbo, BAO Hongping, et al. Geological conditions of natural gas accumulation and new exploration areas in the Mesoproterozoic to Lower Paleozoic of Ordos Basin, NW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2019, 46(5): 820-835.
- [18] 郝松立,孙六一,包洪平,等.鄂尔多斯盆地中—新元古界勘探方向及潜力[J].天然气地球科学, 2016, 27(12): 2127-2135.
HAO Songli, SUN Liuyi, BAO Hongping, et al. Exploration direction and potential of the Middle-Upper Proterozoic in Ordos Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2016, 27(12): 2127-2135.
- [19] LI Z X, BOGDANOVA S V, COLLINS A S, et al. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: a synthesis [J]. Precambrian Research, 2008, 60(1/2): 179-210.
- [20] DONG Yunpeng, SANTOSH M. Tectonic architecture and multiple orogeny of the Qinling Orogenic Belt, Central China [J]. Gondwana Research, 2016, 29(1): 1-40.
- [21] 张春林,姚涇利,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.
- [22] 张军涛,金晓辉,谷宁,等.鄂尔多斯盆地北部地区马家沟组岩溶储层的差异性和发育模式[J].石油与天然气地质,

- 2021, 42(5): 1159-1168.
- ZHANG Juntao, JIN Xiaohui, GU Ning, et al. Differences and development patterns of karst reservoirs in Majiagou Formation, northern Ordos Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2021, 42(5): 1159-1168.
- [23] 吴素娟, 张永生, 邢恩袁. 鄂尔多斯盆地西北缘奥陶纪凝灰岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及地质意义 [J]. *地质论评*, 2017, 63(5): 1309-1327.
- WU Sujuan, ZHANG Yongsheng, XING Enyuan. Zircon U-Pb ages and Hf isotope characteristics and their geological significance of tuff in Wulalike Formation in the northwestern Ordos Basin [J]. *Geological Review*, 2017, 63(5): 1309-1327.
- [24] 李振宏, 徐黎明, 刘新社, 等. 鄂尔多斯盆地南缘奥陶纪沉积充填记录的关键时限及其构造意义 [J]. *地质科学*, 2015, 50(2): 428-445.
- LI Zhenhong, XU Liming, LIU Xinshe, et al. Critical timing of sedimentary filling records of Ordovician and its tectonic significance on the southern Ordos Basin [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2015, 50(2): 428-445.
- [25] 金晓辉, 张军涛, 孙冬胜, 等. 鄂尔多斯盆地南缘上奥陶统平凉组浅钻中古岩溶洞穴的发现及其意义 [J]. *石油与天然气地质*, 2021, 42(3): 595-603.
- JIN Xiaohui, ZHANG Juntao, SUN Dongsheng, et al. Discovery and significance of the Ordovician paleo-karst caves in shallow drilling in the southern Ordos Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2021, 42(3): 595-603.
- [26] 张克信. 中国沉积大地构造图说明书 (1:2500000) [M]. 北京: 地质出版社, 2015.
- ZHANG Kexin. Explanatory note to the sedimentary tectonic map of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2015.
- [27] 张克信, 何卫红, 徐亚东, 等. 中国沉积岩建造与沉积大地构造 [M]. 北京: 地质出版社, 2017.
- ZHANG Kexin, HE Weihong, XU Yadong, et al. Sedimentary rock formation and geotectonics of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017.
- [28] 徐亚军, 杜远生, 杨江海. 北祁连造山带晚奥陶世—泥盆纪构造演化: 碎屑锆石年代学证据 [J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2013, 38(5): 934-946.
- XU Yajun, DU Yuansheng, YANG Jianghai. Tectonic evolution of the North Qilian Orogenic belt from the Late Ordovician to Devonian: evidence from detrital zircon geochronology [J]. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 2013, 38(5): 934-946.
- [29] XU Yajun, DU Yuansheng, CAWOOD P A, et al. Detrital zircon record of continental collision: assembly of the Qilian orogen, China [J]. *Sedimentary Geology*, 2010, 230(1/2): 35-45.
- [30] 杜远生, 朱杰, 韩欣, 等. 从弧后盆地到前陆盆地: 北祁连造山带奥陶纪—泥盆纪的沉积盆地与构造演化 [J]. *地质通报*, 2004, 23(9/10): 911-917.
- DU Yuansheng, ZHU Jie, HAN Xin, et al. From the back-arc basin to foreland basin: Ordovician-Devonian sedimentary basin and tectonic evolution in the North Qilian orogenic belt [J]. *Geological Bulletin of China*, 2004, 23(9/10): 911-917.
- [31] 胡云亭, 刘灵童, 王文升, 等. 基于沉积相控的优质储层预测: 以鄂尔多斯盆地 X 区块下石盒子组致密砂岩气为例 [J]. *断块油气田*, 2020, 27(6): 705-709, 718.
- HU Yunting, LIU Lingtong, WANG Wensheng, et al. High-quality reservoir prediction based on sedimentary facies control technique: taking tight sandstone gas of X block in Lower Shihezi Formation of Ordos Basin as an example [J]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2020, 27(6): 705-709, 718.
- [32] 罗开平, 杨帆, 陆永德, 等. 鄂尔多斯盆地杭锦旗地区关键构造期与二叠系致密气成藏响应 [J]. *石油实验地质*, 2021, 43(4): 557-568.
- LUO Kaiping, YANG Fan, LU Yongde, et al. Key structural periods and Permian tight gas accumulation response in Hangjinqi area, Ordos Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2021, 43(4): 557-568.
- [33] 廖建波, 陈启林, 李智勇, 等. 鄂尔多斯南缘下寒武统烃源岩的发现与意义 [J]. *中国矿业大学学报*, 2016, 45(3): 527-534.
- LIAO Jianbo, CHEN Qilin, LI Zhiyong, et al. Discovery and significance of hydrocarbon source rocks in the Lower Cambrian at the southern margin of Ordos Basin [J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2016, 45(3): 527-534.
- [34] 侯林君, 陈洪德, 罗林军, 等. 鄂尔多斯盆地前寒武纪末期古地貌恢复及其对烃源岩的控制作用 [J]. *地球科学与环境学报*, 2019, 41(4): 475-490.
- HOU Linjun, CHEN Hongde, LUO Linjun, et al. Reconstruction of Late Precambrian palaeogeomorphology in Ordos Basin, China and its control on source rocks [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2019, 41(4): 475-490.
- [35] 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.
- [36] 包洪平, 杨帆, 白海峰, 等. 细分小层岩相古地理编图的沉积学研究及油气勘探意义: 以鄂尔多斯地区中东部奥陶系马家沟组马五段为例 [J]. *岩石学报*, 2017, 33(4): 1094-1106.
- BAO Hongping, YANG Fan, BAI Haifeng, et al. Sedimentology study on sub-member lithofacies paleogeography mapping and its petroleum exploration significance: taking Ma5 member of Lower Ordovician Majiagou Formation in central-eastern Ordos Basin for example [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2017, 33(4): 1094-1106.