第 28 卷　第 2 期
2026 年　4 月

古　地　理　学　报
JOURNAL OF PALAEOGEOGRAPHY（Chinese Edition）

Vol. 28　No. 2
Apr. 2026

文章编号：1671-1505(2026)02-0484-21　　**DOI**:10.7605/gdlxb.2026.010

鄂尔多斯超级盆地形成演化*

何发岐[1]　刘光祥[2]　齐　荣[1]　张　涛[2]　苏　娟[2]
王琳霖[2]　鲁　锴[2]　赵　刚[2]　范玲玲[1]

1 中国石油化工股份有限公司华北油气分公司，河南郑州 450006
2 中国石化石油勘探开发研究院，北京 102206

摘　要　鄂尔多斯盆地为超级盆地，但目前对其古生代—中生代早期构造-沉积演化阶段及主要阶段盆地原型仍缺乏统一的认识。通过系统梳理兴—蒙造山带、秦—祁造山带构造-沉积演化，盆地内古生界区域不整合发育与分布，火山凝灰岩事件地层成因、发育与分布，古生代—中三叠世沉积充填特征，将鄂尔多斯古生代—中三叠世构造-沉积演化分为 8 个阶段，其中寒武纪、早中奥陶世发育西南缘被动大陆边缘坳陷、西北缘坳拉槽、中东部克拉通内坳陷 3 类并列盆地原型，晚奥陶世发育西南缘弧后裂谷、西北缘坳拉槽 2 类并列盆地原型，晚石炭世—早二叠世发育克拉通内坳陷与西北缘弧后裂谷 2 类并列盆地原型，中二叠世的造陆运动后，晚二叠世—中三叠世发育克拉通坳陷与包头前陆盆地。根据寒武纪—中三叠世盆地原型发育与分布、迭加组合关系及其控制的油气地质条件，结合最新勘探进展，提出鄂尔多斯盆地南缘下古生界、中东部盐下、西缘上奥陶统页岩油气、上古生界多类型天然气是鄂尔多斯超级盆地油气接替领域。

关键词　超级盆地　盆地原型　并列迭加　古生界　鄂尔多斯盆地

第一作者简介　何发岐，男，1967 年生，博士，教授级高级工程师，主要从事石油地质综合研究及油气勘探开发工作。E-mail：hefq.hbsj@sinopec.com。

中图分类号：P618.130.2　　**文献标志码**：A

Formation and evolution of the Ordos super basin

HE Faqi[1]　LIU Guangxiang[2]　Qi Rong[1]　Zhang Tao[2]　SU Juan[2]
WANG Linlin[2]　LU Kai[2]　ZHAO Gang[2]　FAN Lingling[1]

1 *North China Petroleum Bureau*, *SINOPEC*, *Zhengzhou* 450006, *China*
2 *Petroleum Exploration and Production Research Institute*, *SINOPEC*, *Beijing* 102206, *China*

Abstract　As a super basin, the Ordos Basin currently lacks a unified understanding of its Paleozoic-early Mesozoic tectono-sedimentary evolutionary stages and key basin prototypes. This study systematically examines the tectono-sedimentary evolution of the Hinggan-Mongolian and Qin-Qi orogenic belts, regional unconformities and distribution of Paleozoic formations within the basin, stratigraphic genesis and distribution of volcanic tuff events, and sedimentary filling characteristics from the Paleozoic to

谨以此文纪念冯增昭先生 100 周年诞辰。

* 中国石化科技攻关项目（编号：P24008，P21088-2）和华北油气分公司科技支撑项目（编号：33550099-23-ZC0609-0004）资助。[Co-funded by the Sinopec Science and Technology Department Project（Nos. P24008，21008-2）and the Science and Technology Department Project of North China Petroleum Bureau of Sinopec（No. 33550099-23-ZC0609-0004）]

收稿日期：2025-10-20　　改回日期：2025-12-19

Middle Triassic. The tectono-sedimentary evolution of the Ordos Basin is divided into eight stages in this periods. During the Cambrian and Early-Middle Ordovician periods, three types of basin prototypes coexisted: passive continental margin subsidence along the southwestern margin, northwest margin graben, and intra-cratonic subsidence in the central-eastern region. The Late Ordovician had coexistence of two basin prototypes: post-arc rift along the southwestern margin and northwest margin graben. The Late Carboniferous-Early Permian witnessed coexistence of two basin prototypes: intra-cratonic subsidence and post-arc rift along the northwest margin. Following mid-Permian land-building movements, intra-cratonic subsidence and Baotou foreland basin developed during the Late Permian-Middle Triassic. Based on the development and distribution of basin prototypes from the Cambrian to Middle Triassic, their superimposed relationships, and the oil and gas geological conditions they control, combined with recent exploration progress, this study proposes that the Lower Paleozoic formations along the southern margin, sub-salt formations in the central-eastern region, Upper Ordovician shale oil and gas along the western margin, and multi-type natural gas in the Upper Paleozoic constitute the oil and gas succession zones of the Ordos super basin.

Key words　super basin, basin prototype, juxtaposition and superposition, Paleozoic, Ordos Basin

About the first author　HE Faqi, born in 1967, Ph.D, professor-level senior engineer, is mainly engaged in comprehensive research on petroleum geology and oil and gas exploration and development. E-mail: hefq.hbsj@sinopec.com.

0　引言

超级盆地首先由 IHS 公司（2016）提出，其定义为：（1）已产出 50 亿桶油当量、至少还有 50 亿桶油当量可采资源的盆地，其致密油气、非常规油气资源也很丰富；（2）盆地具有多套烃源岩和含油气系统；（3）盆地已有较完善的基础设施和工程服务，作业者拥有水平井和完井等技术与经验，以开发剩余资源。据此定义，确定了全球陆上共有 25 个超级盆地和 24 个次超级盆地，其中中国的渤海湾盆地、松辽盆地属超级盆地，塔里木盆地、四川盆地和准噶尔盆地属次超级盆地。

自 1986 年开始，笔者作为学生在鄂尔多斯盆地实习了 5 年，此时整个盆地的油气年产量不到 200 万吨，且上产很慢。当时在长庆油田的驻地庆阳县，笔者遇到了冯增昭先生带领研究生做盆地碳酸盐岩沉积相研究。该时期参加长庆油田科研工作的学者很多，研究方向也很广，笔者跟着导师做构造样式及演化研究。大家在交流过程中，有学者提出了“鄂尔多斯盆地将来会是中国最大的产油气盆地”。直到 2016 年，笔者又回到鄂尔多斯盆地从事油气勘探开发，接触到了“超级盆地”的概念。届时长庆油田、延长石油 2 个公司在鄂尔多斯盆地的油气年产量已经上到 7000 万吨当量以上，特别是天然气勘探在奥陶系、石炭系、二叠系取得了重大突破，长庆油田每年提交探明储量规模很大，占国内同期 10% 以上，为鄂尔多斯超级盆地建设做出了巨大贡献。按照超级盆地的概念对比鄂尔多斯盆地 2 个时期的勘探开发形势，致密砂岩领域油气勘探开发技术的进步十分重要，然而地质学家对资源的前瞻性认识以及对油气勘探新领域宏观背景的研究则是突破的前提，油气在地质学家头脑里的论断又一次得到印证。

超级盆地的产量可以随工业技术的进步而变化，但决定因素还要回归于基础地质——盆地的原型。盆地的沉积研究是原型盆地研究最基础的学科。30 年前，包括中国碳酸盐岩沉积学研究的开拓者、奠基人冯增昭先生、贾振远先生的基础研究，是深谋远见之思想的根。鄂尔多斯盆地未列入（次）超级盆地是因为 2015 年底全盆地累计产出油气 4.87 亿吨油当量（约 35.7 亿桶），未达（次）超级盆地已产出 50 亿桶油当量的定义。随着近年来储、产量的增长（图 1），至 2019 年，全盆地累计产出油气约 54 亿桶油当量，已超过超级盆地产出 50 亿桶油当量的定义。从历年产量与累计产量图（图 1）可见，至 2024 年底累计产出油气 11.65 亿吨油当量（约 85 亿桶），在 2020—2024

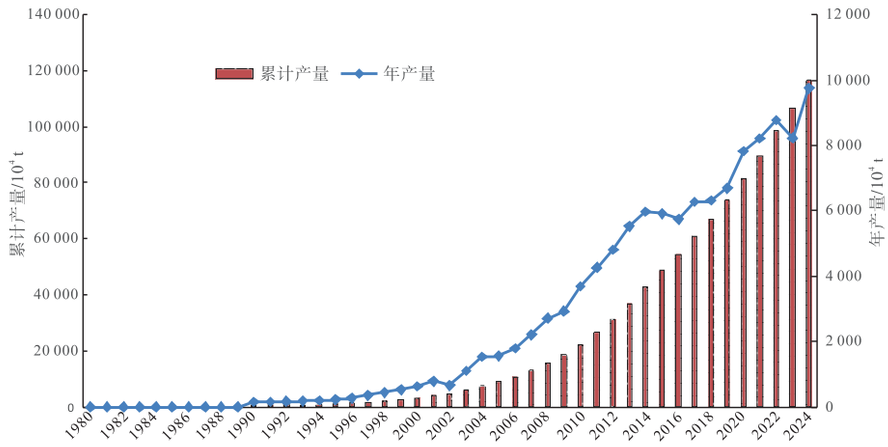


图 1 鄂尔多斯盆地油气产量（油当量）分布图

Fig. 1 Distribution chart of oil and gas production (oil equivalent) in Ordos Basin

年共 5 年内新增产出 31 亿桶油当量，且年产量仍有增加趋势，表明未来可采资源丰富。近年来，鄂尔多斯盆地延长组长 7 段页岩油、本溪组—山西组煤岩气等不断获得勘探突破并迈入开发阶段（付金华，2023；焦方正等，2023；刘显阳等，2023；朱星丞等，2025），表明其非常规油气资源十分丰富，且深部煤层气也取得勘探多点突破，在煤成气成藏理论的基础上资源潜力骤增（何发岐等，2024；赵喆等，2024）。烃源岩评价及油气—源岩对比证实，鄂尔多斯盆地发育中奥陶统马家沟组（一、三、五段）膏盐湖纹层状泥岩、云质泥岩，上奥陶统乌拉力克组硅质、碳质页岩，上石炭统—下二叠统煤岩、碳质泥页岩、暗色泥页岩，上三叠统延长组长 9 段、长 7 段泥页岩等 4 大层系多类型烃源岩，构成多个含油气系统；此外，还发育中新元古界、寒武系 2 套潜在烃源岩。鄂尔多斯盆地 2024 年油气产量当量约 9750 万吨①，持续保持中国最大油气产区的地位，表明已有完善的基础设施和工程服务，中国石油、延长集团、中国石化等拥有用以开发剩余资源的水平井及压裂和完井等技术与经验。因此，按照超级盆地的定义，鄂尔多斯盆地无疑可确定为超级盆地。

关于鄂尔多斯盆地形成演化已有大量的文献，但对显生宙以来的盆地演化阶段及其原型特征的认识还存在争议，特别是在古生代盆地演化阶段和盆地原型方面，如早古生代克拉通边缘坳陷、晚古生代克拉通内坳陷盆地（何发岐等，2022），早古生代寒武纪—早奥陶世被动陆缘—稳定克拉通盆地、中奥陶世台内坳陷—台缘裂陷和晚奥陶世弧后盆地（杨甫，2015），二叠纪为克拉通内坳陷（翟咏荷等，2023，2024）、西缘为再生坳拉槽（孙国凡和刘景平，1983）等不同认识。这些认识上的分歧在一定程度上制约了对油气形成与分布的认知，因此，在 TSM 盆地分析学术思想（朱夏，1983）指导下，笔者利用近年来在鄂尔多斯盆地实施的地震大剖面、重点区块三维地震资料、120 口深井钻探成果，结合构造年代学、地层学等最新研究进展，划分古生代盆地演化阶段、确定盆地原型并列迭加或组合关系及其对油气地质条件的控制作用，探讨其在超级盆地形成中的作用及未来勘探领域。

1 鄂尔多斯盆地古生代演化阶段

盆地的形成受控于其周缘构造环境（朱夏，1983；冯增昭等，1999；何登发等，2004；张渝昌，2010），现今国内外沉积盆地分类主要根据岩石圈性质（大陆、大洋、过渡岩石圈）、相对于板块边界位置（陆内或板块边缘）和距离盆地最近板块的活动类型（离散、会聚或转换）（Allen and Allen，2013）。鄂尔多斯古生代盆地原型及演化与兴—蒙造山带和秦—祁造山带的形成演化密切相关。

1.1 鄂尔多斯地块周缘古生代构造环境

① 国家能源局. 2025. 2024 年全国油气勘探开发十大标志性成果.

1.1.1　兴—蒙造山带

兴—蒙造山带白乃庙地区温都尔庙群下部的桑达来音呼都格组为深海火山建造，以基性火山岩为主，包含大洋洋壳和洋内弧等成分，形成时代为 500—424 Ma（图 2；图 3），属晚寒武世—奥陶纪南向俯冲增生楔。中上部为哈尔哈达组，原岩为含铁泥硅质岩建造，常见残留的放射虫等生物化石，属深海沉积，形成于晚奥陶世—中志留世（李承东等，2012；徐备等，2016；张金凤，2018；张晋瑞等，2018）。总体反映其为活动大陆边缘构造环境产物。

达茂旗包尔汉图剖面包尔汉图群岩石组合可分为上、下 2 段，上段以火山岩为主，夹凝灰岩和灰岩透镜体，下段为浅变质砂岩和泥岩。达茂旗包尔汉图、查干哈达西山地区及白云鄂博北部布龙、乌德等地区英安岩、安山岩、流纹岩、英安质凝灰岩等锆石 U-Pb 年龄为 518—432 Ma，岩石地球化学特征反映其形成于活动大陆边缘构造环境（Zhang *et al*., 2014；胡晓佳等，2022）。白乃庙群形成时限 500—443 Ma，构造属性是早古生代古亚洲洋向南俯冲形成的活动大陆边缘弧（柳长峰等，2014；张玉清等，2020）。

徐尼乌苏组岩石组合主要为浅变质碎屑岩、结晶灰岩及英安质凝灰岩、晶屑安山岩，不整合于白乃庙群之上，其上被西别河组角度不整合覆盖。该组 2 个变质英安质晶屑凝灰岩锆石 U-Pb 测年结果反映其形成时代为早志留世（张金凤等，2017）。徐尼乌苏组下部变质含砾粗粒杂砂岩锆石年龄分布于 452 ± 1.3 Ma ~ 535.0 ± 1.0 Ma 之间，峰值年龄 490 Ma，多为岩浆成因锆石，时代与白乃庙活动大陆边缘弧基本一致，反映了其间的内在联系；上部变质长石石英砂岩中的锆石年龄分布范围广（440

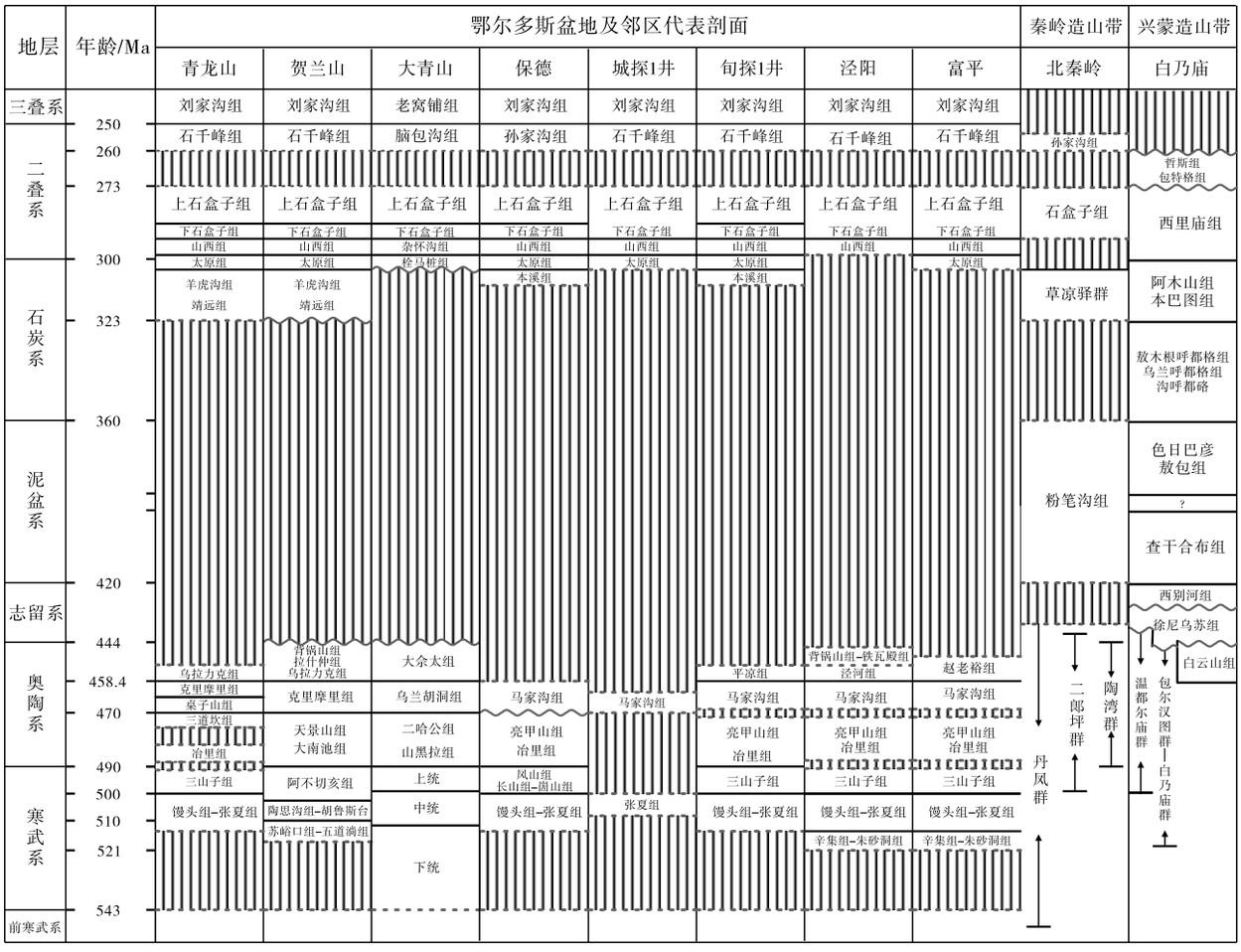


图 2　鄂尔多斯盆地及周缘古生界地层对比

Fig. 2　Correlation chart of the Paleozoic in Ordos Basin and its periphery

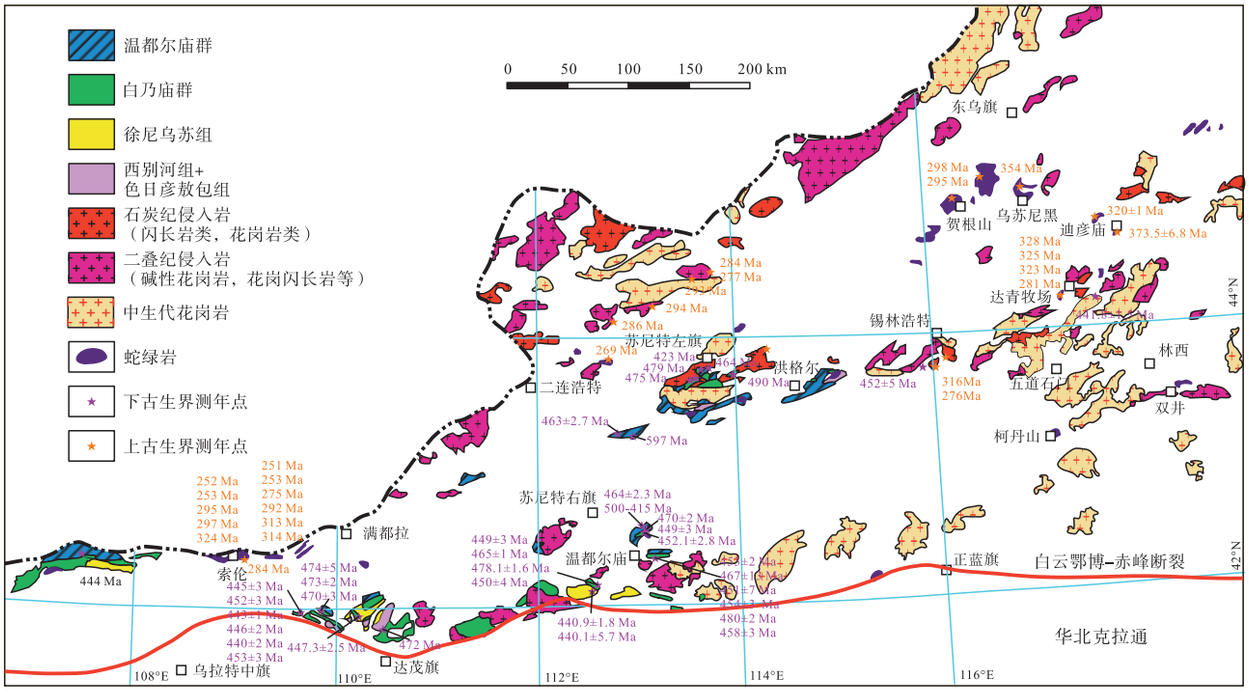


图 3 内蒙古中部地区地质简图及测年结果

Fig. 3 Geological sketch map and dating points with results of central Inner Mongolia

~>3200 Ma），揭示其物源来源复杂，不仅有华北板块基底变质岩，还有中新元古代再旋回物质。西别河组为一套稳定的滨浅海沉积建造，化石丰富，属晚志留世沉积。

温都尔庙—西拉木伦一带奥陶纪花岗质岩多属埃达克岩，为俯冲板块脱水部分熔融成因，而晚志留世高钾钙碱性花岗岩可能反映了加里东晚期的碰撞造山事件（石玉若等，2004，2014），这与西别河组磨拉石沉积建造相呼应。

泥盆系在兴—蒙造山带出露零星，在达茂旗出露的下泥盆统查干合布组为浅海相碎屑岩夹石灰岩，在苏尼特左旗见上泥盆统色日巴彦敖包组浅海或滨海相碎屑岩夹火山碎屑岩。索伦—西拉木伦河结合带南侧泥盆纪部分侵入体呈现出明显的 A 型花岗岩特征，乌兰哈达、水泉沟、三道沟等地的碱性岩带以及局部地区的基性—超基性岩等，反映出它们是加里东晚期碰撞后伸展体制下的壳-幔岩浆作用产物（刘敏，2017）。内蒙古敖汉旗地区泥盆系—下石炭统过铝质火山岩、双峰式火山岩表现出伸展体制成因（叶浩等，2014；孙立新等，2017；王森等，2020），且伸展作用一直持续到早石炭世。此外，Liu 等（2022）对迪彦庙地区混杂岩的研究表明，该区混杂岩中除石炭纪蛇绿岩外，还存在晚泥盆世（373.5±6.8 Ma）蛇绿岩残片，证实晚泥盆世存在大洋洋盆，而非造山带。由此表明，中亚造山带泥盆纪—早石炭世为造山后裂谷-洋盆构造环境，华北板块北缘属被动大陆边缘构造环境。

在中亚造山带东段，早古生代的蛇绿岩较少，据辉石、辉长岩、枕状玄武岩等 U-Pb 定年，其主要分布于 356—250 Ma，大多隶属于石炭纪—二叠纪（Yang *et al.*，2017；徐备等，2018；李英杰等，2023），少量可延续至早三叠世（Chu *et al.*，2013），反映出新生大洋的存在时限。在白乃庙岩浆弧长度超过 1000 km、宽度达 30~120 km 的岩浆岩带，侵入体的侵位时代大多为晚石炭世—二叠纪，少量形成于奥陶纪—泥盆纪，地球化学特征显示它们为钙碱性的 I 型花岗岩，通常具有富集的同位素组成，故被认为是古老下地壳熔融及来自富集岩石圈地幔物质的产物，为古亚洲洋向南俯冲形成的岩浆弧（肖文交等，2019）。温都尔庙地区上石炭统累计厚 3022 m，其中本巴图组（2051 m）下段为碎屑岩夹凝灰岩、灰岩及灰岩透镜体，中段为灰岩，上段为火山岩，顶部为砂岩夹灰岩；阿木山组（971 m）岩性组合自下向上由砂岩夹灰岩变为

灰岩。哲斯敖包地区下二叠统西里庙组厚 5386 m，岩性以火山岩为主，夹板岩及灰岩，反映构造活动达到鼎盛；而中二叠统角度不整合于其上，揭示构造环境发生了转化。近期的研究进一步表明，早—中二叠世岩浆岩普遍受到洋壳俯冲过程的影响，而晚二叠世—三叠纪岩浆岩产出于板块碰撞后的拉张环境（吴迪迪等，2021）。

阿拉善地块北缘恩格尔乌苏蛇绿岩混杂岩中枕状玄武岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄约为 302 Ma、沙拉扎山查干础鲁蛇绿岩混杂岩中辉长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 275 Ma（Zheng *et al*., 2014），北大山特拜蛇绿混杂岩中辉长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 278 Ma（Zheng *et al*., 2018），均反映出晚石炭世—早二叠世大洋的存在。地球化学特征揭示出恩格尔乌苏尔蛇绿混杂岩中块状和枕状玄武岩属正常大洋中脊玄武岩（N-MORB），揭示大洋的扩张；而查干础鲁、特拜蛇绿混杂岩是俯冲型（SSZ）蛇绿岩，形成于俯冲带相关的构造环境（Zheng *et al*., 2014，2018）。阿拉善地块岩浆岩年代学资料统计分析表明，显生宙构造热事件共分为 3 期，分别是晚奥陶世—泥盆纪（460—390 Ma）、石炭纪（360—300 Ma）、二叠纪—早三叠世（290—230 Ma）；它们可能是对中亚造山带早古生代以来造山作用的响应，且从奥陶纪到早二叠世，阿拉善地块可能处在古亚洲洋向南俯冲的活动大陆边缘环境（张建新和宫江华，2018）。

综上所述，520 Ma 之前，古亚洲洋扩张，华北克拉通北缘属被动大陆边缘构造环境。自 520 Ma 开始，古亚洲洋向南俯冲，形成温都尔庙增生杂岩体，俯冲作用持续至中志留世，其南侧形成包尔汉图—白乃庙活动大陆边缘弧，弧后伸展形成早志留世徐尼乌苏组弧后盆地沉积（南、北双向供源），构成“沟-弧-盆”体系；中晚志留世的碰撞造山变形导致西别河组角度不整合于徐尼乌苏组之上。进入晚古生代，兴—蒙加里东晚期造山后的伸展裂离，形成泥盆纪—早石炭世古亚洲洋盆，泥盆系—下石炭统海相碎屑岩与火山岩沉积建造巨厚；自晚石炭世始，晚古生代新生洋壳向南俯冲消减，形成规模宏大的白乃庙岩浆弧（迭加在早古生代大陆边缘弧之上）；俯冲作用持续至中二叠世，接着南蒙古复合地体与华北陆块碰撞造山，之后进入碰撞后伸展构造环境。狼山—巴彦乌拉山以西的阿拉善地块晚石炭世—早二叠世形成陆缘弧，鄂尔多斯地块西北缘属弧后构造环境。

1.1.2　秦—祁造山带

大量富集型洋中脊玄武岩（E-MORB）或正常型洋中脊玄武岩（N-MORB）年代学资料表明，北祁连洋至少存在于 600—448 Ma，北祁连构造带残留的 SSZ 型蛇绿岩残片（505—460 Ma）、高压—低温变质岩（528—446 Ma）以及北祁连构造带和中祁连构造带内大量的俯冲型花岗岩（516—460 Ma）揭示北祁连洋南向俯冲作用发生于 528—446 Ma；一系列 440—415 Ma 碰撞型花岗岩和洋壳型蓝片岩的俯冲折返和退变质时限 423—410 Ma 相一致，反映北祁连洋闭合于晚志留世—早泥盆世（董云鹏等，2022）。

商丹缝合带含有大量的蛇绿混杂岩，丹凤资峪等 N-MORB 型蛇绿岩、唐藏等 E-MORB 型蛇绿岩的 U-Pb 年龄为 534—471 Ma，结合丹凤蛇绿岩中玄武岩伴生硅质岩内寒武纪—奥陶纪的放射虫化石记录，反映商丹洋在寒武纪—早奥陶世已演化为成熟大洋。商丹带俯冲型火山岩时代为 523—472 Ma、辉长岩年龄为 514—422 Ma、I 型花岗岩年龄为 488—420 Ma，反映商丹洋北向俯冲发生于中寒武世—中志留世。商丹洋的俯冲导致弧后盆地沿二郎坪一线扩张，形成了系列 E-MORB 型蛇绿岩残片(448—443 Ma)、俯冲型玄武岩（467 Ma）、I 型花岗岩（461—459 Ma）和 S 型花岗岩（441—436 Ma），反映二郎坪弧后盆地在 509 Ma 之前已经打开，在 509—469 Ma 南向俯冲，并在 441—436 Ma 最终关闭（董云鹏等，2022）。勉略带勉略区段蛇绿岩形成时代为晚泥盆世—早三叠世（345—242 Ma），缝合带形成时代为中—晚三叠世（242—200 Ma），碰撞抬升的年龄为 200—192 Ma（张国伟等，2019）；而从地层发育情况看，泥盆系—二叠系（D-P）为海相建造，沉积厚度巨大（最大累计厚度近 20 000 m），且为连续沉积，具裂谷盆地沉积特征。

综上所述，约 520 Ma 之前，商丹洋扩张，华北克拉通南缘属被动大陆边缘构造环境。尽管自中寒武世开始商丹洋北向俯冲消减，与北秦岭地体构建活动大陆边缘构造环境，但随着二郎坪弧后洋盆打开，华北克拉通南缘仍属被动大陆边缘构造环境。晚奥陶世—志留纪，商丹洋、二郎坪弧后洋盆

相继俯冲消减并最终关闭造山，华北克拉通南缘处于活动大陆边缘—碰撞造山构造环境。泥盆纪，勉略洋形成，华北克拉通南缘属被动大陆边缘构造环境。自中二叠世始，勉略洋北向俯冲消减，华北克拉通南缘处于活动大陆边缘构造环境。至中晚三叠世，陆—陆碰撞造山，进入陆内成盆演化阶段。

1.2 鄂尔多斯盆地古生界构造-沉积特征

与周缘洋壳俯冲消减及弧-陆碰撞、微地体-大陆碰撞事件相呼应，盆地内沉积响应一是因周缘挤压作用变形或抬升剥蚀形成区域不整合，二是与构造事件相对应形成事件地层，如火山凝灰岩、震积岩等。

1.2.1 区域不整合

鄂尔多斯盆地及周缘古生界内发育 3 个区域不整合：奥陶系与寒武系（O/∈）、上古生界与下古生界（Pz_2/$AnPz_2$）、上二叠统与下二叠统（P_3/P_1）（图 2；图 3）。

奥陶系与寒武系不整合（O/∈）为怀远运动造成。露头剖面及钻井揭示出该不整合面主要为平行不整合，如富探 1 井、石 3 井、大深 1 井、旬宜 1 井、旬宜 2 井、城探 1 井等井揭示马家沟组不整合于三山子组或张夏组之上，不整合面附近呈现出高 GR、低深和浅侧向电阻率、低深和中感应电阻率及低补偿中子特征。地震剖面上总体无明显的响应，呈现出平行不整合特征；但在乌审旗古隆起周缘表现为角度不整合(图 4)，一是奥陶系覆盖于长城系之上，另是奥陶系对寒武系具超覆关系；另外，镇原古陆周缘也具角度不整合特征(图 5)。该不整合面时间持续 2~30 Ma（刘化清等，2021），呈现为 3 幕活动：张夏期，东南部抬升，后向北西部推进；三山子沉积末期，盆地内古隆起发育并遭受剥蚀；奥陶纪马家沟组沉积前，受全球海平面下降影响，盆地内马家沟组底部的碳同位素负漂（毛丹凤等，2024）。根据不整合时间间隔及地层接触关系推测，其可能与古亚洲洋、北祁连洋晚寒武世—早奥陶世的俯冲消减造成华北克拉通在整体挤压应力作用下的抬升剥蚀相关。

鄂尔多斯盆地古生界内第 2 个区域不整合为加里东晚期—海西早期构造运动所致，沉积间断长达 1.5 亿年之久，缺失志留纪、泥盆纪和早石炭世沉积(图 2至图 5)。这一不整合是对商丹洋、二郎坪弧后洋、北祁连洋约 440—410 Ma 最终闭合事件、古亚洲洋加里东晚期—海西早期闭合造山事件的构造响应。

鄂尔多斯盆地古生界内第 3 个区域不整合为上二叠统与下二叠统之间（P_3/P_1）的不整合。鄂尔多斯盆地上石炭统—二叠系的地层命名基本统一，普遍认为晚石炭世—早二叠世间无沉积间断，为连续沉积，而最新地层年代学研究表明，本溪组属于早巴什基尔期（Bashkirian）至早格舍尔期（Gzhelian），太原组属于晚格舍尔期至早阿瑟尔期（Asselian），山西组和下石盒子组属于中、晚阿瑟尔期，上石盒子组属于萨克马尔期（Sakmarian）至早空谷期（Kungurian），孙家沟组大部分属于乐平世（Lopingian）。这一新的时代框架大幅改变了华北石炭系—二叠系的传统划分对比方案。上石盒子组和孙家沟组/石千峰组之间可能存在 1 个约 20 Ma 的沉积缺失，这个间断主要表现为上石盒子组与石千峰组之间发育的大型冲刷面和一系列古土

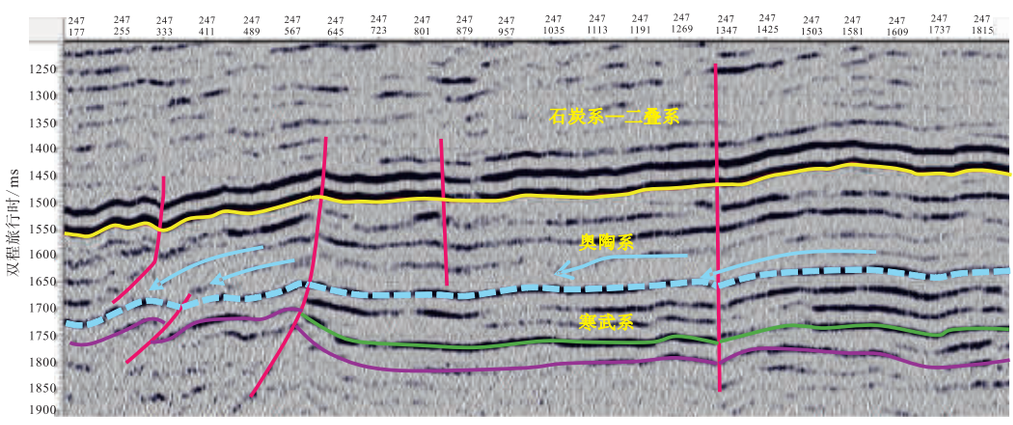


图 4 鄂尔多斯盆地大牛地探区 L268 地震地质解释剖面

Fig. 4 Seismic-geological interpretation section L268 in Daniudi Block of Ordos Basin

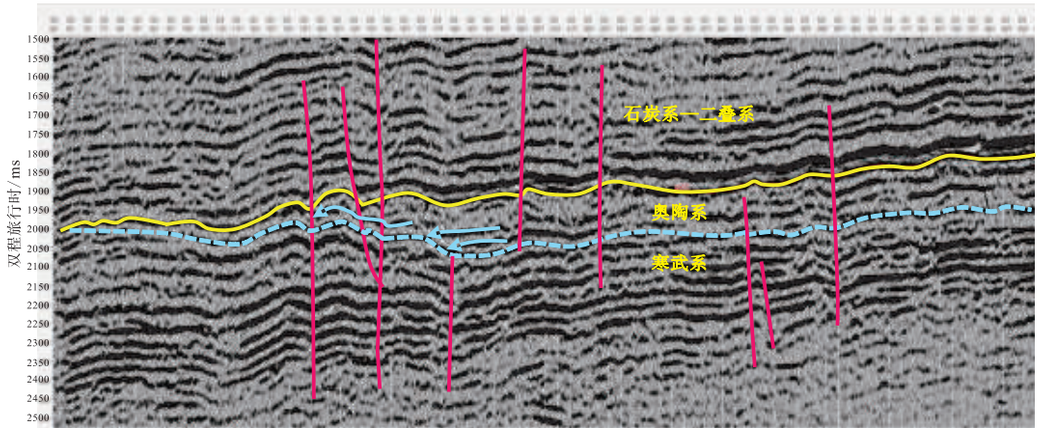


图 5　鄂尔多斯盆地彬长探区 L510 地震地质解释剖面

Fig. 5　Seismic-geological interpretation section L510 in Binchang Block of Ordos Basin

壤层及上、下植物群面貌的巨大差异（申博恒等，2022），可能与兴—蒙造山带中、下二叠统间的角度不整合揭示的构造事件和勉略洋从中二叠世开始自东向西的剪刀式关闭相关。

1.2.2　事件地层：火山凝灰岩

鄂尔多斯盆地西南缘上奥陶统广泛发育和分布的火山凝灰岩是秦—祁洋俯冲消减、火山弧构造事件的沉积响应（李振宏，2011；陈诚等，2012；王振涛等，2015）；如 Ta-Hf/3-Th、(Y+Nb)-Rb 图解均反映出富平赵老裕、平凉银洞官庄、泾阳西陵沟等剖面上奥陶统平凉组、金粟山组火山凝灰岩（钾质斑脱岩）与火山岛弧的火山喷发密切相关。对锆石 U-Pb 定年结果尽管存在一定的差异，但大多集中分布于 450—460 Ma 之间（陈诚等，2012；吴素娟等，2014；王振涛等，2015；汪建等，2023），归属晚奥陶世。吴浩文等（2024）对双 148 井马五$_4^1$ 和桃 56 井马五$_1^4$ 岩心凝灰岩锆石 U-Pb 测试结果分别为 458.4±2.4 Ma 和 460.9±2.9 Ma，划为中奥陶世达瑞威尔阶—上奥陶统桑比阶。这与前述二郎坪弧后洋盆的俯冲消减时限相对应。

上石炭统—下二叠统主要为煤层、砂岩、泥岩、薄层灰岩或灰岩透镜体。在本溪组及太原组中发育 6 期 12 次火山事件层，应是同期周缘火山弧的沉积响应，其特征与晚二叠世以陆相沉积为主的环境明显不同（钟蓉等，1996；钟蓉和傅泽明，1998）。

本溪组“G”层铝土矿中存在有大量岩浆成因锆石，锆石 U-Pb 测年结果为 338—291 Ma，锆石的 εHf（t）值变化于 2.2～-24.5 之间，且主要为负值，与华北北缘内蒙古隆起同期岩浆岩锆石 Hf 同位素组成相似，而与中亚造山带同期岩浆岩以锆石 εHf（t）正值为主明显不同。“G”层铝土矿中岩浆锆石的晚石炭世—早二叠世年龄与华北北缘内蒙古隆起上晚古生代弧岩浆岩的形成时代相一致，因此华北北缘铝土矿的物源主要是内蒙古隆起晚石炭世—早二叠世火山弧喷发的火山凝灰质，而不是下伏地层直接风化成因（Liu *et al.*，2014）。王天顺等（2021）对华北克拉通北缘（太原以北）本溪组“G”层铝土矿碎屑锆石 U-Pb 测年结果显示，其分布区间为 291～2733 Ma，其中主要年龄值为 300 Ma，与晚石炭世相对应，这与铝土矿成矿时代处于同一期，而 440 Ma 为次要年龄峰值，对应早志留世。华北陆块南缘（郑州以南）本溪组成铝区主要位于河南省西部，碎屑锆石年龄分布于 292～3219 Ma，主要年龄峰值为 436 Ma，此外，还有 300 Ma、960 Ma、1732 Ma 和 2495 Ma 等 4 个次要年龄峰值；大部分锆石颗粒具震荡环带，Th/U>0.4，具明显的岩浆岩锆石特征，且大多数锆石颗粒磨圆程度较高，晶形主要以自形—半自形为主，表现出长距离搬运的特征。结合 εHf（t）值及构造活动，推测华北克拉通北缘铝土矿 300 Ma 左右碎屑锆石来自内蒙古隆起岩浆弧火山灰，而华北克拉通铝土矿 440 Ma 及其他峰值碎屑锆石主要来自北秦岭造山带。

结合前述兴—蒙造山带和秦—祁造山带构造沉积演化、鄂尔多斯盆地本溪组—太原组地层发育特征及其火山凝灰岩发育与分布特征，认为本溪组—太原组黏土岩成因除风化作用外，主要表现为：在

鄂尔多斯盆地北部，“G”层铝土矿主要物源为白乃庙岛弧火山作用形成的（喷发岩的剥蚀及火山灰），次为加里东晚期侵入岩的剥蚀作用形成的；在鄂尔多斯盆地中北部（如山西大同），受伊盟隆起控制，地表径流难以将兴—蒙构造带加里东晚期造山抬升剥蚀提供的物质搬运至此区沉积，故其物源主要为晚石炭世—早二叠世火山喷发产生的火山灰；在鄂尔多斯盆地南缘，本溪组—太原组黏土岩碎屑锆石主要来自加里东晚期商丹洋、二朗坪弧后洋盆关闭的北秦岭造山作用中的侵入岩（440 Ma），次为隆升剥蚀的中—新元古界变质岩，少量的碎屑锆石来自白乃庙岛弧火山作用产生的火山灰。由此表明，本溪组—太原组凝灰岩是古亚洲洋晚石炭世—早二叠世向华北克拉通俯冲消减造成的大规模火山作用的沉积响应，同时也是对商丹洋、二郎坪弧后洋盆加里东晚期闭合造山和勉略洋扩张—俯冲作用背景下北秦岭持续隆升剥蚀的沉积响应。

1.3 古生代演化阶段划分

基于兴—蒙造山带和秦—祁造山带古生代构造-沉积演化、鄂尔多斯盆地古生界内区域不整合发育与分布及火山凝灰岩事件地层的成因与分布，将鄂尔多斯古生代—中生代早期盆地及周缘构造-沉积演化划分为 2 次大型“开-合”旋回，共包括 8 个阶段。其中加里东期“开-合”旋回包括寒武纪、早中奥陶世、晚奥陶世、志留纪 4 个阶段；海西—早印支期“开-合”旋回包括泥盆纪—早石炭世、晚石炭世—早二叠世、中二叠世、晚二叠世—中三叠世 4 个阶段(图 6)。

2 鄂尔多斯盆地古生代沉积充填特征

2.1 寒武纪

受秦—祁洋、古亚洲洋早、中寒武世扩张以及晚寒武世—早奥陶世构造事件制约，寒武系广泛分布于鄂尔多斯盆地及周缘，仅镇原隆起、乌审旗—伊盟隆起缺失(图 7)。在鄂尔多斯盆地西缘，寒武纪地层展布近南北向，厚度 500～>900 m，自东向西增厚率约 10 m/km；在盆地南缘，地层展布近东西向，厚度 500～>1000 m，自北向南增厚率也约 10 m/km；在盆地内，寒武系厚度主要分布于 100～300 m 之间，变化缓慢，自古隆起向周缘增厚率小于 3 m/km。

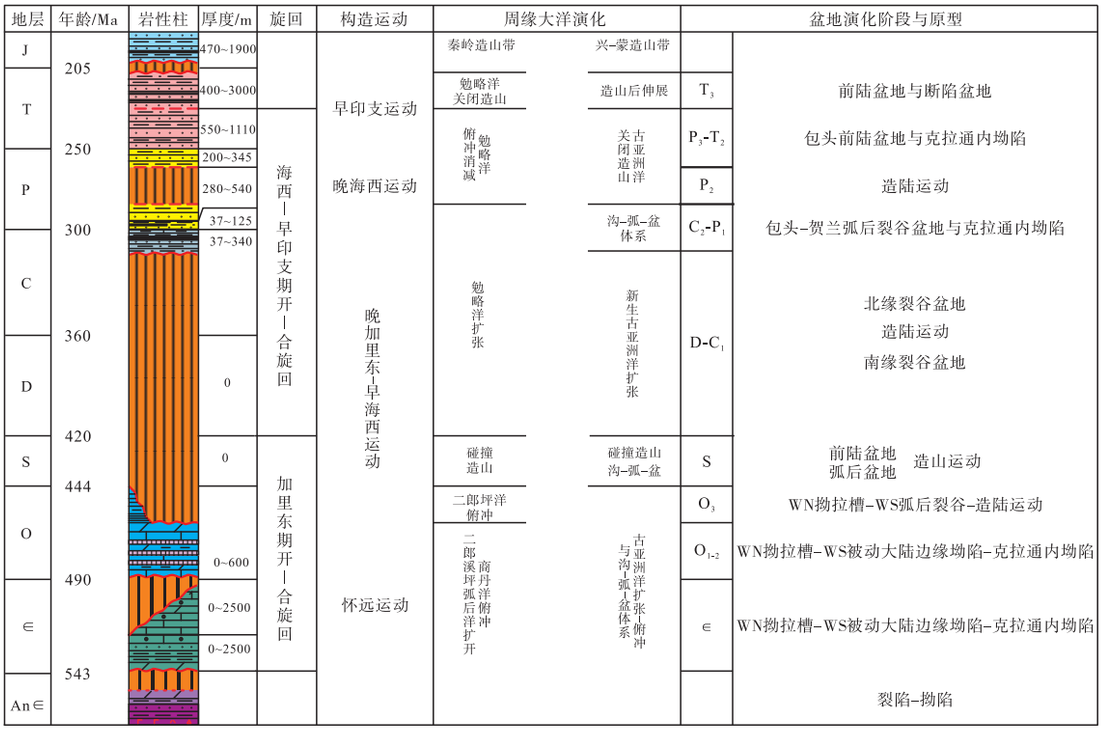


图 6 鄂尔多斯盆地及周缘构造演化阶段与盆地原型演化

Fig. 6 Tectonics evolution stages and basin prototype evolution of Ordos Basin and its periphery

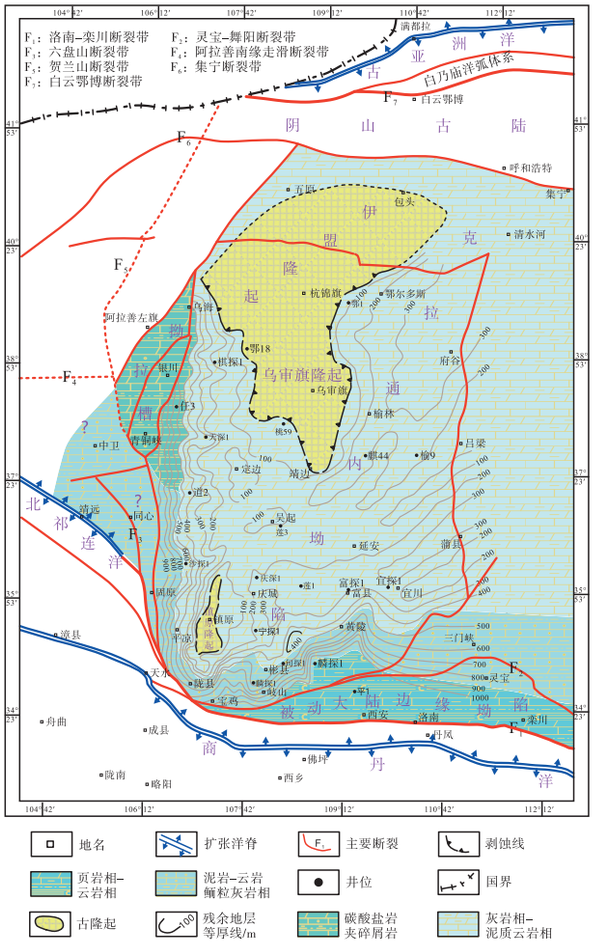


图 7　鄂尔多斯寒武纪盆地原型分布图

Fig. 7　Distribution map of the Cambrian prototypes basin in Ordos Basin

在沉积充填序列上，盆地内缺失早寒武世早期沉积(图 2)，仅在洛南—栾川一带见寒武系底统三道撞组（东坡组），岩性以碳质泥页岩、粉砂质泥岩夹灰岩为主，属深水陆棚—盆地沉积。下寒武统辛集组—朱砂洞组仅分布于盆地南缘和西缘，以碳酸盐岩为主，夹中粗粒石英砂岩、钙质细砂岩、长石质粉砂岩，属滨岸—陆棚沉积。早寒武世馒头组沉积时期（徐庄组—毛庄组—馒头组）广泛海侵，沉积地层覆盖鄂尔多斯盆地大部分地区，盆地南缘、西缘属陆棚沉积，分别向北、向东过渡为潮下坪至混积潮坪沉积，沉积厚度有序变化；受吕梁水下低隆、乌审旗—伊盟隆起控制，北东部府谷—清水河一带为潮下灰坪沉积，沉积厚度明显较上述隆起区大。中寒武世张夏组沉积时期海侵规模达最大，盆地南缘、西缘持续为陆棚沉积，往北、往东为窄的潮下带，且沉积厚度变化快；盆地内广大地区为潮坪沉积，颗粒滩广泛分布，为储集层发育奠定基础；古隆起周缘发育窄条带泥云坪沉积；此外，府谷—清水河一带也发育沉积厚度相对较大的泥云坪沉积。晚寒武世三山子组沉积期(崮山组—长山组—凤山组)，可能受北祁连洋俯冲-关闭影响，鄂尔多斯盆地形成近南北向中央古隆起，受其控制，沉积东、西分异显著，西缘自西向东发育南北向展布的潮下灰坪、潮间云坪、潮上云坪，中央古隆起东侧发育北东—南西展布的潮上泥云坪(窄)、潮间云坪(宽)，往南东过渡为潮下灰坪沉积。

2.2　早中奥陶世

因周缘构造环境的转化，鄂尔多斯盆地及周缘中下奥陶统地层展布较寒武系发生显著变化(图 8)。盆地西缘中下奥陶统发育齐全(图 2)，呈

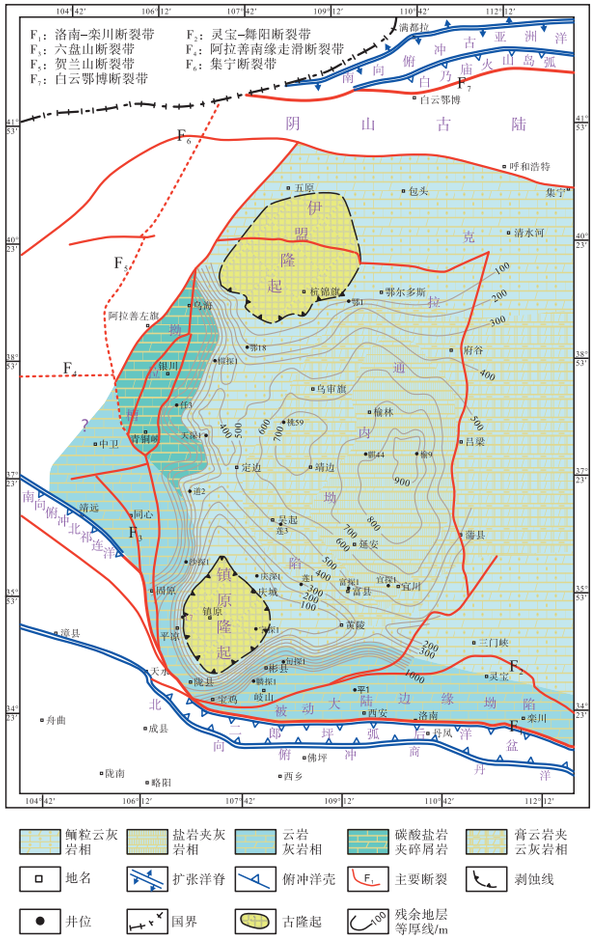


图 8　鄂尔多斯早中奥陶世盆地原型分布图

Fig. 8　Distribution map of the Early-Middle Ordovician prototypes basin in Ordos Basin

近南北向展布，累计厚度 500～>1000 m，厚度变化率为 32.2 m/km；中央古隆起地层厚度稳定，约 400 m，呈近南北向展布；中东部地区地层以马家沟为主，厚度 500～900 m，厚度变化率 2.9 m/km，明显较盆地西缘小；镇原隆起、伊盟隆起周缘地层不全，厚度最小，为 0～400 m，地层厚度变化较快，镇原隆起东缘变化率为 5.6 m/km，伊盟隆起南缘地层厚度变化率 7.3 m/km；受镇原—黄陵古隆起控制，其南缘地层厚度最大，为 500～>2000 m，厚度变化快，达 21.4 m/km。

在沉积充填序列上，早奥陶世冶里组—亮甲山组沉积期，鄂尔多斯盆地大部分地区未接受沉积，盆地东、南、西缘沉积了厚度较小的潮上泥云坪—潮间云坪沉积，向海一侧变为潮下沉积，地层厚度普遍较小。中奥陶世马家沟组沉积覆盖全盆地，其中马家沟组一段沉积时期，盆地西缘自西向东呈现为潮下—潮间—潮上近南北向沉积相带展布，地层厚度也逐渐减小；盆地南缘自南往北也呈现为潮下—潮间—潮上近东西向沉积相带展布，地层厚度亦逐渐减小；受近南北向中央古隆起、近东西向镇原—黄陵古隆起控制，克拉通内发育膏盐湖沉积，以麒 44-榆 9 井一带为中心发育膏盐湖，呈环带状向外依次为膏云坪、含膏云坪、泥云坪沉积，地层厚度也渐次变化，总体呈现为 1 个“L”隆起和 3 个坳陷（西、南、盆地中东部）格局。马家沟组二段沉积时期，因广泛海侵，以开阔台地—云坪沉积为主，沉积相带的展布和地层厚度变化趋势与马家沟组一段沉积时期相似；马家沟组三段沉积时期出现海退，沉积相及其展布、地层厚度的变化趋势与马一段沉积时期基本相似，仅各相带的分布范围、地层厚度有变化；马家沟组四段沉积时期再次海侵并达最大，主体以开阔台地—云坪沉积为主；马家沟组五段沉积时期亦发生海退，沉积相带的展布与马家沟组三段沉积时期基本相似；马家沟组六段沉积时期发生海侵，主体以开阔台沉积为主，因后期遭受剥蚀而造成盆地内地层保存较差，仅在盆地周缘发育与保存较好。

2.3 晚奥陶世

受晚奥陶世周缘构造环境及其后构造事件制约，上奥陶统仅分布于盆地西缘和南缘，盆地内主体缺失(图 9)。在鄂尔多斯盆地西缘（青铜峡—

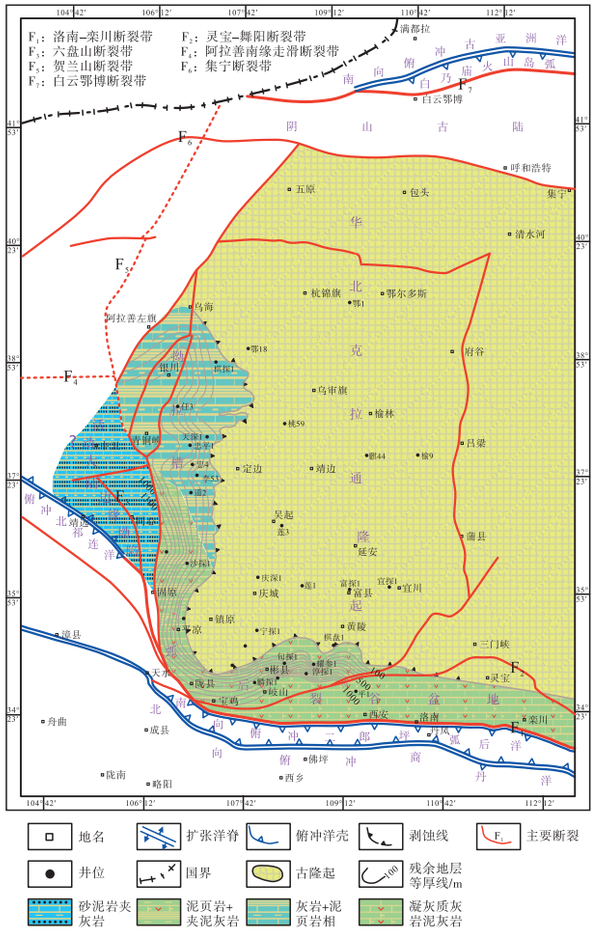


图 9 鄂尔多斯晚奥陶世盆地原型分布图

Fig. 9 Distribution map of the Late Ordovician prototypes basin in Ordos Basin

固原断裂以东），地层呈近南北向展布，厚 0～1200 m，厚度变化率约为 16 m/km；在青铜峡—固原断裂以西的米钵山—后井子剖面，上奥陶统（徐家圈组、狼嘴子组、磨盘井组）累计厚约 3300 m，自东往西地层增厚率为 28 m/km；在盆地南缘，地层呈近东西向展布，厚 0～1000 m，自北往南增厚率约 20 m/km。

在沉积充填序列上，盆地南缘平凉组沉积时期，陆棚相带较宽，向南面向广海，具较强的水体能量，为宽陆棚碳酸盐岩台地沉积模式，岩性主要为石灰岩，泥质含量少，出现了典型的丘礁，垂向上生物礁体与藻灰岩互层（如耀参 1 井）；另一显著的特点是火山凝灰岩夹层（如富平赵老峪、平凉银洞官庄等）发育，反映其南缘构造活动强烈；背锅山组泥质含量明显增多，岩性以泥质灰岩、泥

灰岩为主。在盆地西缘南段（青铜峡—固原断裂以东的彭阳地区），晚奥陶世乌拉力克组—拉什仲组沉积时期主体以盆地相沉积为主，向东的斜坡—台地相带窄，岩性组合为泥页岩夹粉砂岩、凝灰质砂岩，未见凝灰岩夹层，明显不同于南缘岩相组合；背锅山组沉积时期以开阔台地相厚层含燧石团块、条带灰岩、砾屑灰岩为主，夹薄层泥质灰岩、瘤状灰岩；在青铜峡—固原断裂以西，上奥陶统为一套砂岩与板岩组成的韵律状互层浊流沉积，夹石灰岩、硅质岩、碧玉岩、砾岩等，属半深海—大陆斜坡相沉积。在盆地西缘北段，晚奥陶世主体为斜坡—盆地相沉积，岩性变化较大，显著特点是未见与火山事件相关的沉积地层，反映其可能远离构造活动的中心带。

2.4　晚石炭世—早二叠世

继加里东晚期商丹洋、二郎坪弧后洋、古亚洲洋关闭造山，鄂尔多斯盆地整体处于造陆阶段，泥盆纪—早石炭世古亚洲洋、勉略洋的扩张，使周缘发育裂谷盆地，鄂尔多斯盆持续隆升剥蚀，直至晚石炭世才再次沉降接受沉积。

受晚石炭世—早二叠世勉略洋扩张、古亚洲洋俯冲消减控制，鄂尔多斯盆地上石炭统—下二叠统地层厚 40~600 m，整体构造呈北部隆起、中央隆起、南部隆起和西缘坳陷及东部坳陷的“三隆两坳”格局(图 10)。北部隆起（伊盟隆起）地层厚 40~300 m，呈近东近向展布；中央隆起地层厚 300~400 m，呈近南北向展布；南缘隆起地层厚 300~400 m，呈近东西向展布；古隆起整体呈“工”字型展布。西缘坳陷地层厚 400~600 m，呈近南北向展布；东部坳陷地层厚 300~540 m，呈近南北向展布；地层厚度变化率较小，总体呈现为克拉通拗陷特征。

在沉积充填序列上，本溪组—太原组沉积时期伊盟古隆起为物源区，向南以冲积平原—潮坪相砂泥岩沉积为主，呈东西向展布；盆地西部以潟湖相碎屑岩夹灰岩、煤岩沉积为主，呈南北向展布；中央隆起以潮坪相砂泥岩为主，煤层不发育，呈南北向展布；盆地东部以潟湖相砂泥岩夹灰岩、煤岩沉积为主，呈近南北向展布；盆地南部以潮坪相砂泥岩沉积为主，煤层不发育，呈近东西向展布。早二叠世山西组沉积时期，受勉略洋扩张、古亚洲洋南

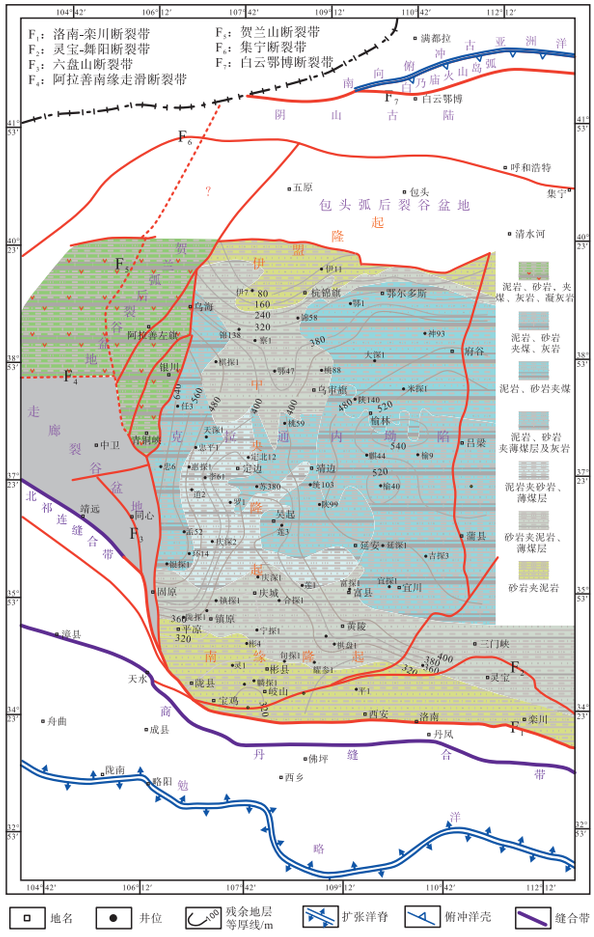


图 10　鄂尔多斯晚石炭世—早二叠世盆地原型分布图

Fig. 10　Distribution map of the Late Carboniferous to Early Permian prototypes basin in Ordos Basin

向俯冲导致的热沉降影响，盆地沉积范围向北、向南扩大，且沉积相带的展布从晚石炭世近南北向展布转换为近东西向，其中盆地北部由冲积平原向南渐变为三角洲平原→三角洲前缘→潟湖相沉积，南部由南往北呈三角平原→三角洲前缘→潟湖相带展布。早二叠世石盒子组沉积期基本继承山西组沉积格局，因海水完全退出，盆地中部由潟湖相沉积转化为湖相沉积，岩性组合上与本溪组—山西组差异显著，煤层与暗色泥岩不发育，砂岩增多。在沉积充填速率上，盆地内本溪组沉积时期具填平补齐特征，沉积速率约为 11 m/Ma，太原组、山西组、下石盒子组沉积时期沉积速率分别为 98.7 m/Ma、193.9 m/Ma 和 200.8 m/Ma，沉积速率逐渐增大，至上石盒子组沉积时期，平均沉积速率陡降为 12.9 m/Ma。上述沉积速率的变化，不仅反映了盆

地周缘构造活动和盆地内热沉降的强度，同时也是控源、控储发育与分布的因素之一。

2.5 晚二叠世—中三叠世

石千峰组沉积时期，勉略洋开始向北俯冲消减，北缘兴—蒙海槽因南蒙古复合体与华北板块拼合而消亡，海水自此撤出华北大盆地，鄂尔多斯盆地由前期的近海湖盆演变为内陆湖盆，以发育河流、三角洲和湖泊沉积体系为特征。该时期气候变得更为干燥，沉积了一套紫红色碎屑岩建造。古地理格局仍然继承了前一时期的沉积面貌，存在南、北两大物源供给区，其中盆地北部的冲积—三角洲沉积体系由于北部物源的渐趋消亡而有所萎缩，而盆地南部的三角洲沉积体系则由于古秦岭的隆升造山而使得物源供给较前期增强。早、中三叠世鄂尔多斯盆地以河流沉积为主，厚 400~1200 m。

3 鄂尔多斯盆地原型及其组合

3.1 古生代主要阶段盆地原型与分布

基于古生代鄂尔多斯盆地周缘构造演化、盆地内区域不整合和事件地层发育与分布、不同阶段沉积充填特征，对古生代主要阶段盆地原型分布进行简单阐述。

3.1.1 寒武纪盆地原型与分布

受商丹洋向北秦岭地体俯冲影响形成二郎坪弧后洋盆，华北克拉通南缘属被动大陆边缘构造环境，发育被动大陆边缘坳陷，沉积厚度相对较大，并向克拉通内快速减小，岩相组合也渐次变化。而受南白乃庙洋扩张影响，华北克拉通北缘亦属于被动大陆边缘构造环境，但并未接受沉积，为阴山古陆。受南、北两侧有限洋盆演化制约，华北克拉通发生热沉降，整体呈现为克拉通内坳陷盆地性质，沉积厚度小且变化平缓，呈隆—坳相间的格局，如乌审旗—伊盟隆起、镇原隆起等，它们对沉积具一定的控制作用。华北克拉通与阿拉善地体间因弱伸展发育坳拉槽，其岩相组合及地层厚度与克拉通坳陷盆地明显不同。总体而言，鄂尔多斯寒武纪盆地呈被动大陆边缘坳陷、克拉通内坳陷、坳拉槽 3 类原型并列(图 7)。

受盆地原型（包括大地构造位置、构造—热沉降机制、沉积充填结构）的控制，寒武系烃源岩主要发育于南部被动大陆边缘坳陷和西缘坳拉槽寒武系底统—下统（东坡组—馒头组），厚 30~90 m，有机质丰度高，母质类型好，处于过成熟演化阶段。如后碾村剖面东坡组 31 件样品 TOC 分布于 0.83%~11.26%之间，平均值为 3.15%，优质烃源岩（TOC 大于 2%）占比 80.6%，而水磨村剖面 30 件样品 TOC 分布于 0.86%~13.58%之间，平均值为 6.0%，优质烃源岩占比 86.7%，有机质类型属 Ⅰ-$Ⅱ_1$ 型。克拉通内坳陷烃源岩欠发育；克拉通内坳陷与坳拉槽、被动大陆边缘坳陷过渡带高能相带发育，为储集层的发育奠定了基础；怀远运动的剥蚀可在中上寒武统（张夏组、三山子组）形成岩溶储集层；它们构建了较好的旁生侧储、下生上储的源-储组合，可能是鄂尔多斯超级盆地潜在勘探领域。

3.1.2 早中奥陶世盆地原型与分布

至奥陶纪，商丹洋北向持续俯冲，同时二郎坪弧后小洋盆南向俯冲消减，华北克拉通南缘属被动大陆边缘构造环境，发育被动大陆边缘坳陷，向洋一侧沉积厚度大，如商州辋峪剖面陶湾群地层叠置厚度为 2489.85 m，具浊积岩特征，而向陆一侧，地层厚度快速减小（<500 m），岩相组合也依次变为台地相碳酸盐岩。南白乃庙有限洋向北俯冲消减（中奥陶世开始），古亚洲洋向白乃庙微地块俯冲，华北克拉通北缘仍属被动大陆边缘构造环境，但受阴山古陆控制，并未发育被动边缘坳陷。华北克拉通内因热沉降发育克拉通内坳陷，从南花山剖面中下奥陶统厚度、岩性组合分析，其下部为开阔台地相，向上为滨浅海相沉积，岩相组合特征与伊盟隆起南侧蒸发岩与碳酸盐岩互层组合差异显著，分属华北克拉通坳陷 2 个次一级凹陷。华北克拉通与阿拉善地体间因陆内伸展发育坳拉槽，地层厚度和岩相组合与华北克拉通坳陷差异显著。总体而言，鄂尔多斯早中奥陶世呈南缘被动大陆边缘坳陷、中部克拉通内坳陷和西缘坳拉槽 3 类盆地原型并列面貌（图 8）。

早中奥陶世 3 类盆地呈“三隆三坳”的构造格局。克拉通内坳陷中东部膏盐湖烃源岩发育（马一、三、五段），如大深 1 井钻揭马一、三段烃源岩厚 28 m，TOC 分布于 0.2%~1.8%之间，牛 2 井钻揭马五段中薄层暗色泥岩，TOC 为 0.87%，且靖边气田深层、米探 1 井、大深 1 井等盐下天然气成因与来源证实了这套烃源岩的有效性（刘文

汇等，2022；孔庆芬等，2024），构建的成藏组合为鄂尔多斯超级盆地的贡献者之一。西部坳拉槽盆地中下奥陶统（三道坎组—克里摩里组）烃源岩不发育。南缘被动大陆边缘坳陷未见中下奥陶统烃源岩，但从陶湾群发育多层碳质板岩推测，被动大陆边缘坳陷向洋一侧发育烃源岩。不同盆地类型过渡带高能相带呈“L”型分布，克拉通坳陷内台内浅滩发育（马二、四、五段），奠定储集层发育基础，而加里东晚期—海西早期长达 1.5 亿年的差异隆升剥蚀以及走滑断裂为岩溶储集层在纵向的发育创造了条件，故中下奥陶统源、储间形成了多类源储组合。

3.1.3　晚奥陶世盆地原型与分布

至晚奥陶世，因古亚洲洋持续向华北克拉通南向的安第斯型俯冲，华北克拉通北部阴山古陆扩大，整体未接受沉积，遭受剥蚀。盆地南缘因商丹洋的北向俯冲消减、二郎坪弧后洋盆的南向俯冲消减—碰撞，华北克拉通南缘因地幔热上涌、陆壳伸展减薄产生裂谷，沉积了夹凝灰岩层的碳酸盐岩地层，为弧后裂谷盆地。受北祁连洋俯冲消减，靖远—同心—中卫地区属活动大陆边缘，沉积了厚达 3000 余米的碎屑岩夹碳酸盐岩的浊流地层，属活动大陆边缘坳陷深海盆地—斜坡沉积。西缘北段地处华北克拉通与阿拉善地块间的沉降单元，远离构造活动带，属坳拉槽盆地性质。总体而言，鄂尔多斯晚奥陶世盆地原型呈南缘弧后裂谷盆地与西缘坳拉槽 2 类原型并列格局(图 9)。

晚奥陶世 2 类盆地尽管分布局限，但烃源岩相对较发育，其中南缘平凉组发育中低丰度的泥质烃源岩和碳酸盐岩烃源岩，平凉组、背锅山组斜坡相带储集层发育，构成自生自储和下生上储源储组合；西缘乌拉力克组发育硅质、钙质泥岩烃源岩，有机质丰度中等，如宁古 1 井，TOC 分布于 0.53%~1.56%之间，平均值为 0.9%；有机质类型Ⅰ-$Ⅱ_1$型，演化程度差异大，R_o 分布于 0.61%~1.95%之间，总体具北高南低、西高东低的特点，可构成自生自储源储组合，页岩油气勘探已获突破（付锁堂等，2021；席胜利等，2021，2023）；同时，该套烃源岩与下伏克里摩里组碳酸盐岩储集层可构成上生下储源储组合。该时期的成藏组合有望成为鄂尔多斯超级盆地储、产量的新增长点。

3.1.4　晚石炭世—早二叠世盆地原型与分布

晚石炭世—早二叠世，勉略洋持续扩张，南秦岭地区仍为裂谷盆地，沉积海相上石炭统—下二叠统碎屑岩和碳酸盐岩。上石炭统整合于下石炭统之上，厚度位于 434~1838 m 之间，岩性为碎屑岩夹泥灰岩；下二叠统连续沉积于上石炭统之上，厚度 744.4 m（镇安地层小区），岩性以灰岩为主，顶部夹黑色页岩。物源为加里东期商丹造山带—二朗坪造山带、北秦岭地体和华北克拉通南缘基底岩系，与扬子地台基底岩系无亲缘关系。在北秦岭造山带缺失上石炭统和早二叠世早期沉积，早二叠世晚期沉积（石盒子组）超覆于宽坪群之上，揭示出物源区高程、范围不断缩小。与此同时，古亚洲洋向白乃庙岛弧俯冲，呈“沟-弧-盆”构造格局，北部弧前—海沟沉积巨厚海相上石炭统—下二叠统，在白乃庙岛弧南侧发育包头弧后裂谷盆地。包头弧后裂谷盆地本溪组—山西组沉积期与华北克拉通坳陷盆地间受伊盟隆起分隔，水体并不连通，至石盒子组沉积期伊蒙隆起沉没才统一成盆。受阿拉善地块晚石炭世—早二叠世弧后洋盆俯冲消减控制，华北克拉通西北缘因热上涌地壳减薄伸展发育贺兰弧后裂谷盆地。华北克拉通主体受周缘构造活动的影响，地幔热流向北、向南的迁移，以热收缩沉降为主，具南、北双向供源特征，属克拉通内拗陷盆地。总体而言，鄂尔多斯晚石炭世—早二叠世发育弧后裂谷与克拉通内坳陷 2 类盆地原型并列(图 10)。

晚石炭世—早二叠世鄂尔多斯盆地原型主体为克拉通内坳陷，本溪组—山西组暗色泥页岩、碳质泥岩和煤层发育，形成鄂尔多斯盆地上古生界主力烃源岩，砂岩为重要储集层；近年来的勘探实践表明，太原组石灰岩、铝土岩也是重要的储集层，并已取得勘探发现（付金华等，2021b，2023）；该层系页岩气也是近年来勘探的重要领域，近期勘探也获突破，它们构成源内多类型勘探领域。下石盒子组沉积速率大，烃源岩不发育，但河流—三角洲相砂岩十分发育，为主力储集层；上石盒子组沉积速率低，泥岩发育，为区域盖层发育层段，它们与上石炭统—山西组烃源岩构成近源成藏组合。该时期盆地致密气是鄂尔多斯超级盆地现今天然气储、产量的主要贡献者，煤岩气、页岩气、致密灰岩气等是下一步增储上产的主要领域。

3.1.5 晚二叠世—中三叠世

自中二叠世始，勉略洋向北俯冲消减，南秦岭地体南缘出现火山岛弧，岛弧之南为弧前盆地，向北至商丹缝合带为“弧后盆地”，沉积海相中二叠统—中三叠统。

与晚石炭世—早二叠世一样，古亚洲洋在中二叠世持续向南俯冲消减，华北克拉通北缘仍为活动大陆边缘盆地性质。至晚二叠世—中三叠世，古亚洲洋自西向东呈“剪刀式”关闭，南蒙古复合体与华北克拉通拼合，华北克拉通北缘处于挤压状态发生挠曲沉降，形成包头前陆盆地。晚三叠世后造山阶段，处于伸展构造环境。

华北克拉通主体受周缘构造带转化的地球动力学控制，中二叠世为造陆运动的主要时期，沉积缺失；晚二叠世—中三叠世呈现为克拉通坳陷盆地。上二叠统石千峰组为砂泥岩互层，局部地区砂岩储集层发育，与上石炭统—山西组烃源岩层系构成远源成藏组合。

3.2 中新生代盆地原型

晚三叠世，华北克拉通北缘因古亚洲洋关闭造山后的伸展作用形成断陷盆地，如贺兰断陷盆地（董云鹏等，2021）；而受勉略洋关闭造山、北向逆冲推覆作用控制，南缘形成 NW-SE 展布、南西陡北东缓楔状前陆盆地（图 11）；上三叠统延长组以三角洲—湖相沉积为主，在盆地南部发育长 9 段、长 7 段黑色页岩，构成鄂尔多斯盆地主力油源岩，也是现今页岩油主要勘探开发层系，烃源岩与各层段砂岩构建优越源储组合，是鄂尔多斯超级盆地原油储、产量的主要贡献层段。印支末期—燕山早期抬升剥蚀后（延长组顶部地层保存不全以及部分地区缺失下侏罗统富县组），受太平洋板块俯冲远程效应的影响，早中侏罗世为陆内拗陷，以河流—三角洲—湖泊相沉积为主，地层及沉降中心展布呈近南北向（图 11），地层厚度向东、西两侧减小，变化梯度东缓西陡，发育的储盖组合与延长组烃源岩构成远源成藏组合，是近年原油增储上产的重要领域（付金华等，2021a）。晚侏罗世沉积受贺兰山—六盘山逆冲推覆影响，发育类前陆盆地，为一套磨拉石建造，仅发育于西缘，厚 200 ~ 1200 m。早白垩世，鄂尔多斯盆地整体再次沉降，发育陆内坳陷盆地，沉降中心西迁，展布格局呈近南北向（图 11）。晚白垩世及其以来的翘掀改造，奠定了鄂尔多斯盆地现今构造基本格局，新生代周缘断陷盆地的形成构建鄂尔多斯超级盆地现今面貌。

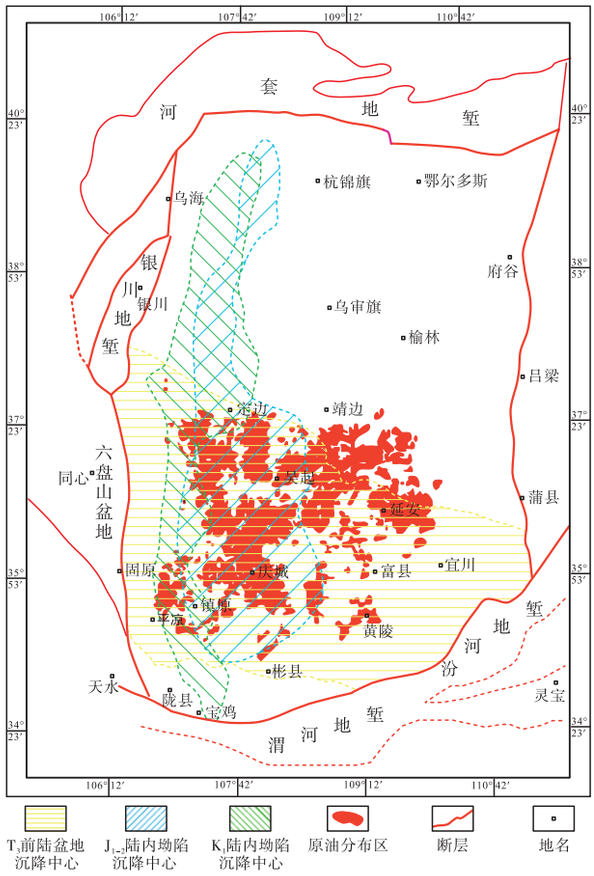


图 11 鄂尔多斯中新生代盆地沉降中心与原油分布示意图

Fig. 11 Schematic map of the Mesozoic to Cenozoic basin subsidence center and crude oil distribution in Ordos Basin

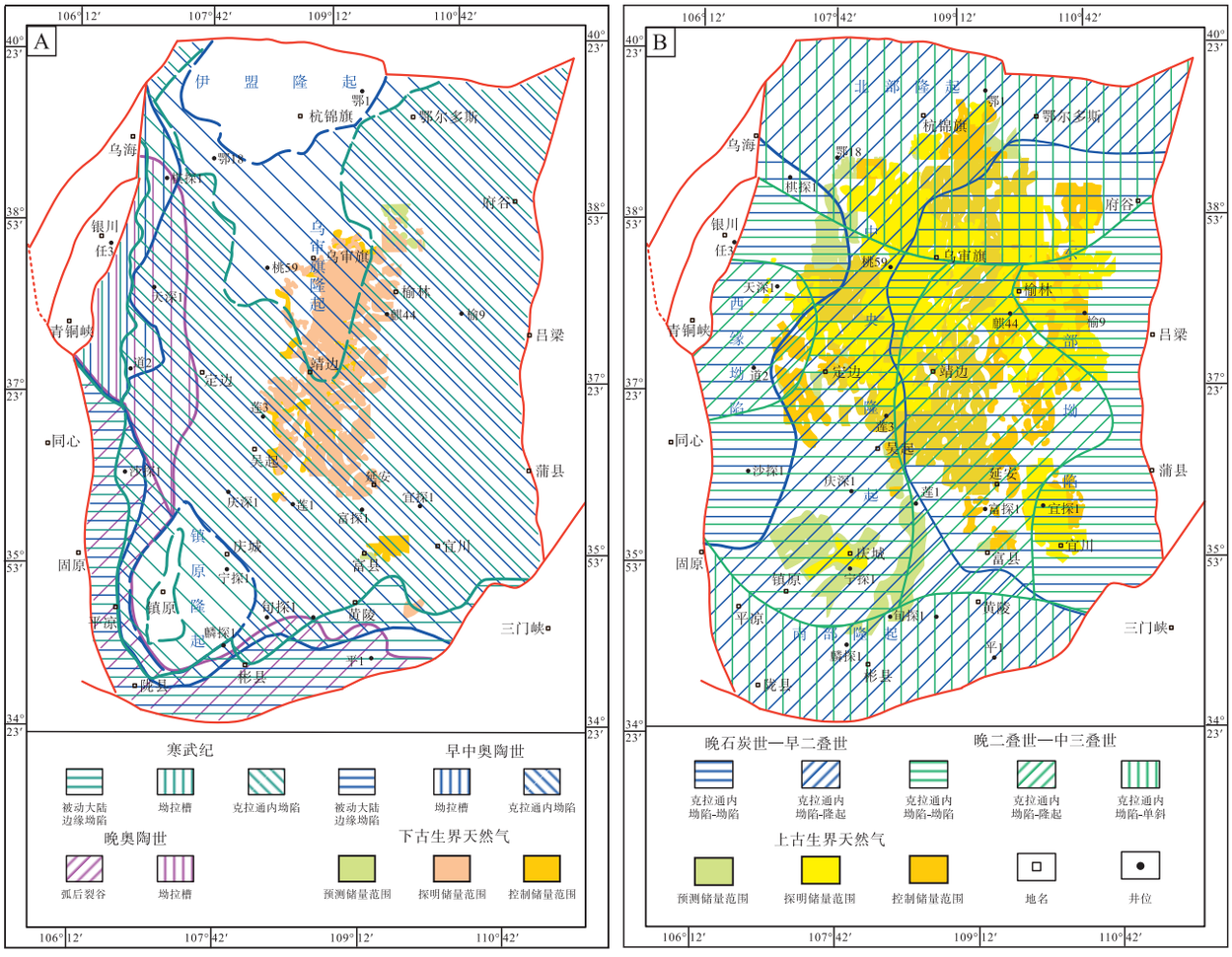
3.3 显生宙盆地原型组合与勘探方向

综上所述，鄂尔多斯超级盆地是不同阶段、不同类型盆地并列迭加组合而成的叠合盆地。就狭义的鄂尔多斯盆地而言，寒武纪、早中奥陶世、晚奥陶世发育多类型盆地原型并列，晚石炭世—早二叠世、晚二叠世—中三叠世尽管沉积分异明显，但盆地性质均为克拉通内坳陷，晚三叠世进入陆内变革成盆期以来，相继经历前陆盆地（T_3）、陆内坳陷（J_{1-2}）、类前陆盆地（J_3）和陆内坳陷（K_1）的迭加，不同地区的迭加差异一方面体现为迭加厚度的差异，另一方面体现为沉积充填及其控制的油气地质条件的差异。

3.3.1　下古生界

早古生代盆地原型并列迭加可划分为 3 个区。(1) 盆地西南区（青铜峡—麻黄山—平凉—陇县—彬县—黄陵一线西南区）：发育寒武纪被动大陆边缘坳陷、早中奥陶世被动大陆边缘坳陷、晚奥陶世弧后裂谷盆地，盆地分布范围除黄陵一带差异较大外，总体变化不大(图 12-A)；(2) 盆地西北区：寒武纪、早中奥陶世、晚奥陶世持续为拗拉槽，盆地东部边界随时代变新逐渐向克拉通内迁移；(3) 盆地主体区：寒武纪、早中奥陶世克拉通内坳陷，晚奥陶世发生造陆运动并持续至早石炭世，其中，镇原隆起寒武纪范围小，早中奥陶世范围扩大，晚奥陶世—早石炭世持续隆起剥蚀，直至晚石炭世—早二叠世沉没；乌审旗古隆起仅存在于寒武纪，早中奥陶世沉没；伊盟隆起寒武纪范围最大，早中奥陶世缩小，晚奥陶世—早石炭世的造陆运动持续隆升遭受剥蚀，晚石炭世—山西组沉积时期南、北双向超覆，至石盒子组沉积时期才完全沉没。

早古生代 2 期克拉通内坳陷迭加区是目前下古生界天然气三级储量主要发现区，已发现靖边、大牛地、富县、黄龙等气田。大牛地气田下古生界马五$^{1+2}$、五$^{6+7}$断层、裂缝控制的岩溶储集层天然气具上石炭统—下二叠统山西组煤系烃源岩和马家沟组海相烃源岩双源供烃特征；靖边气田奥陶系上组合天然气具同样特征，而中下组合（盐下）天然气为海相油型气（李芙蓉等，2023；邹才能等，2023），反映它们分属 2 个独立的成藏体系，从源储配置关系分析，奥陶系盐下是下一步天然气重要勘探方向，近期勘探突破（牛小兵等，2024）也



A—下古生界；B—上古生界—中三叠统

图 12　鄂尔多斯盆地原型迭加关系与油气分布

Fig. 12　Superposition relationships of basin prototypes and hydrocarbon distribution in Ordos Basin

证实了这一点。

鄂尔多斯盆地南缘下古生界为 3 期 2 类盆地迭加区，且持续为南深北浅坳陷区，直至白垩纪—新近纪才反转为地层北倾的现今面貌。被动大陆边缘拗陷向洋一侧发育东坡组、陶湾群 2 套优质烃源岩，弧后裂谷盆地发育平凉组中低丰度烃源岩，它们为油气成藏奠定物质基础；被动大陆边缘坳陷向陆一侧、弧后裂谷盆地北斜坡发育丘滩等高能相带，并经怀远运动、加里东晚期岩溶改造，发育多类型储集层，与前述 3 套烃源岩构建优越源-储组合，寒武系中广泛分布的源自东坡组烃源岩的储集层沥青和镇原隆起周缘源自东坡组烃源岩的天然气（黄军平等，2022）证实其成藏组合的有效性。因此，该地区下古生界可能是下一步天然气勘探的重要接替阵地。盆地西缘盆地迭加性质相似，但烃源条件变化较大，寒武系—中下奥陶统烃源岩欠发育，仅上奥陶统发育中低丰度、中低演化程度烃源岩，尽管已有页岩油发现，但从烃源岩品质和构造变形复杂带来的保存条件看，其勘探潜力可能有限。

鄂尔多斯盆地西北区下古生界为 3 期坳拉槽盆地迭加区，持续为西深东浅坳陷区，中新生代的逆冲改造使西缘构造更加复杂，而弱变形区持续保持西深东浅的构造面貌；乌拉力克组烃源岩发育，页岩气领域、上生下储型成藏组合具一定的勘探潜力。

3.3.2 上古生界

鄂尔多斯盆地晚石炭世—中三叠世经历 2 期克拉通坳陷的迭加，晚石炭世—早二叠世呈“三隆两坳”的沉积格局，晚二叠世—中三叠世呈“两坳两隆两单斜”沉积格局(图 12-B)。第 1 期盆地太原组、山西组煤层、碳质泥页岩、暗色泥岩烃源岩发育，石盒子组储集层发育，构建优越的近源成藏组合，据 2021 年储量公报，近源成藏组合中，盒 1 段是上古生界致密气储量分布的主要层段(占 51.7%)，源内成藏组合致密气储量占 44.8%，且发现储量不断向南、北拓展；近年来源内成藏组合非常规天然气（深部煤层气、页岩气）不断获得突破，铝土岩、石灰岩领域也不断获得发现，展现了良好的勘探潜力，它们是上古生界下一步增储上产的主要领域（付金华，2021b，2023；郭旭升等，2022）。

4 结论

1）鄂尔多斯盆地为一个超级盆地，早、晚古生代盆地原型的迭加组合奠定了超级盆地形成的主要物质基础。

2）根据寒武纪—中三叠世华北克拉通南北缘构造环境、鄂尔多斯盆地寒武系—中三叠统不整合发育与分布、火山凝灰岩事件地层的成因与分布、沉积充填特征，进一步将鄂尔多斯盆地寒武纪—中三叠世演化划分为 8 个阶段：寒武纪、早中奥陶世、晚奥陶世、志留纪、泥盆纪—早石炭世、晚石炭世—早二叠世、中二叠世、晚二叠世—中三叠世。

3）在寒武纪-早中奥陶世，发育西南被动大陆边缘坳陷、西北缘坳拉槽、中东部克拉通内坳陷 3 类并列盆地原型，晚奥陶世发育西南缘弧后裂谷与西北缘坳拉槽 2 类并列盆地原型，晚石炭世—早二叠世发育克拉通内坳陷与西北缘弧后裂谷 2 类并列盆地原型，晚二叠世—中三叠世发育克拉通内坳陷与包头前陆盆地。

4）根据不同阶段盆地原型并列迭加组合关系及受其控制的油气地质条件，认为鄂尔多斯盆地南缘下古生界、中东部盐下、西缘上奥陶统页岩油气、上古生界多类型天然气是鄂尔多斯超级盆地油气勘探接替领域。

参考文献(References)

陈诚，史晓颖，裴云鹏，王新强. 2012. 鄂尔多斯盆地南缘晚奥陶世钾质斑脱岩：SHRIMP 测年及其成因环境. 现代地质，26(2)：205-219. [Chen C, Shi X Y, Pei Y P, Wang X Q. 2012. K-bentonites from the jinsushan formation of late Ordovician, southern Ordos Basin: sHRIMP dating and tectonic environment. Geoscience, 26(2): 205-219]

董云鹏，李玮，张菲菲，孙娇鹏，何登峰. 2021. 南北构造带北段贺兰山的形成与演化. 西北大学学报(自然科学版)，51(6)：951-968. [Dong Y P, Li W, Zhang F F, Sun J P, He D F. 2021. Formation and evolution of the Helan Mountain in the northern section of the north-south tectonic belt. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 51(6): 951-968]

董云鹏，惠博，孙圣思，杨钊，张菲菲，何登峰，孙娇鹏，史小辉. 2022. 中国中央造山系原—古特提斯多阶段复合造山过程. 地质学报，96(10)：3426-3448. [Dong Y P, Hui B, Sun S S, Yang Z, Zhang F F, He D F, Sun J P, Shi X H. 2022. Multiple orogeny and geodynamics from proto-Tethys to paleo-Tethys of the Central China Orogenic Belt. Acta Geologica Sinica, 96(10): 3426-3448]

冯增昭，鲍志东，康祺发，张永生，谭健，李振亚，庞福民，赵学仁. 1999. 鄂尔多斯早古生代古构造. 古地理学报，1(2)：84-91. [Feng Z Z, Bao Z D, Kang Q F, Zhang Y S, Tan J, Li Z Y, Pang F M, Zhao X R. 1999. Palaeotectonics of Ordos in the early Palaeozoic. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 1(2): 84-91]

付金华. 2023. 鄂尔多斯盆地太原组致密灰岩天然气成藏地质特征与勘探潜力. 地学前缘，30(1)：20-29. [Fu J H. 2023. Accumulation characteristics and exploration potential of tight limestone gas in the Taiyuan Formation of the Ordos Basin. Earth Science Frontiers, 30(1): 20-29]

付金华，董国栋，周新平，惠潇，淡卫东，范立勇，王永刚，张海涛，古永红，周国晓. 2021a. 鄂尔多斯盆地油气地质研究进展与勘探技术. 中国石油勘探，26(3)：19-40. [Fu J H, Dong G D, Zhou X P, Hui X, Dan W D, Fan L Y, Wang Y G, Zhang H T, Gu Y H, Zhou G X. 2021a. Research progress of petroleum geology and exploration technology in Ordos Basin. China Petroleum Exploration, 26(3): 19-40]

付金华，李明瑞，张雷，曹茜，魏新善. 2021b. 鄂尔多斯盆地陇东地区铝土岩天然气勘探突破与油气地质意义探索. 天然气工业，41(11)：1-11. [Fu J H, Li M R, Zhang L, Cao Q, Wei X S. 2021b. Breakthrough in the exploration of bauxite gas reservoir in Longdong Area of the Ordos Basin and its petroleum geological implications. Natural Gas Industry, 41(11): 1-11]

付金华，王龙，陈修，刘江艳，惠潇，程党性. 2023. 鄂尔多斯盆地长 7 页岩油勘探开发新进展及前景展望. 中国石油勘探，28(5)：1-14. [Fu J H, Wang L, Chen X, Liu J Y, Hui X, Cheng D X. 2023. Progress and prospects of shale oil exploration and development in the seventh member of Yanchang Formation in Ordos Basin. China Petroleum Exploration, 28(5): 1-14]

付锁堂，付金华，席胜利，黄正良. 2021. 鄂尔多斯盆地奥陶系海相页岩气地质特征及勘探前景. 中国石油勘探，26(2)：33-44. [Fu S T, Fu J H, Xi S L, Huang Z L. 2021. Geological characteristics of Ordovician marine shale gas in the Ordos Basin and its prospects. China Petroleum Exploration, 26(2): 33-44]

郭旭升，周德华，赵培荣，刘曾勤，张殿伟，冯动军，邢凤存，杜伟，陈刚，杨帆，孙川翔. 2022. 鄂尔多斯盆地石炭系—二叠系煤系非常规天然气勘探开发进展与攻关方向. 石油与天然气地质，43(5)：1013-1023. [Guo X S, Zhou D H, Zhao P R, Liu Z Q, Zhang D W, Feng D J, Xing F C, Du W, Chen G, Yang F, Sun C X. 2022. Progresses and directions of unconventional natural gas exploration and development in the Carboniferous-Permian coal measure strata, Ordos Basin. Oil & Gas Geology, 43(5): 1013-1023]

何登发，贾承造，童晓光，李德生. 2004. 含油气区构造学研究进展. 石油勘探与开发，31(5)：1-7. [He D F, Jia C Z, Tong X G, Li D S. 2004. Advances in studies of petroliferous structures and tectonics. Petroleum Exploration and Development, 31(5): 1-7]

何发岐，王付斌，郭利果，安川. 2022. 鄂尔多斯盆地古生代原型盆地演化与构造沉积格局变迁. 石油实验地质，44(3)：373-384. [He F Q, Wang F B, Guo L G, An C. 2022. Evolution of prototype basin and change of tectonic-sedimentary pattern in Paleozoic, Ordos Basin. Petroleum Geology & Experiment, 44(3): 373-384]

何发岐，雷涛，齐荣，徐兵威，李晓慧，张茹. 2024. 鄂尔多斯盆地大牛地气田深部煤层气勘探突破及其关键技术. 石油与天然气地质，45(6)：1567-1576. [He F Q, Lei T, Qi R, Xu B W, Li X H, Zhang R. 2024. Breakthroughs and key technology in deep coalbed methane exploration in the Daniudi gas field in the Ordos Basin. Oil & Gas Geology, 45(6): 1567-1576]

胡晓佳，杨泽黎，王树庆，赵利刚，王文龙，李敏，段霄龙，程银行，杜亚龙. 2022. 内蒙古包尔汉图岛弧早古生代火山岩年代学、地球化学特征：岩石成因及对兴蒙造山带构造演化的约束. 地质学报，96(3)：897-917. [Hu X J, Yang Z L, Wang S Q, Zhao L G, Wang W L, Li M, Duan X L, Cheng Y H, Du Y L. 2022. Geochronology and geochemistry of the Early Paleozoic volcanic rocks from the Baoerhantu arc in Inner Mongolia: petrogenesis and constraints on the tectonic evolution of the Xing-Meng orogenic belt. Acta Geologica Sinica, 96(3): 897-917]

黄军平，林俊峰，张艳，刘新社，陈柱蓉，李相博，王雅婷. 2022. 鄂尔多斯盆地南缘下寒武统海相烃源岩有机地球化学特征与成藏贡献. 天然气地球科学，33(3)：461-471. [Huang J P, Lin J F, Zhang Y, Liu X S, Chen Z R, Li X B, Wang Y T. 2022. The organic geochemical characteristics of Lower Cambrian marine source rocks and its contribution to hydrocarbon accumulation in the southern margin of Ordos Basin. Natural Gas Geoscience, 33(3): 461-471]

焦方正，温声明，刘向君，熊先钺，李树新，谷一凡，李勇，吴勇，吴丰，张喜. 2023. 鄂尔多斯盆地海陆过渡相页岩气勘探理论与技术研究新进展. 天然气工业，43(4)：11-23. [Jiao F Z, Wen S M, Liu X J, Xiong X Y, Li S X, Gu Y F, Li Y, Wu Y, Wu F, Zhang X. 2023. Research progress in exploration theory and technology of transitional shale gas in the Ordos Basin. Natural Gas Industry, 43(4): 11-23]

孔庆芬，姚泾利，任军峰，赵太平，孔令印. 2024. 鄂尔多斯盆地奥陶系盐下天然气来源及勘探潜力. 天然气地球科学，35(7)：1187-1201. [Kong Q F, Yao J L, Ren J F, Zhao T P, Kong L Y. 2024. Sources and exploration potential of Ordovician subsalt natural gas in Ordos Basin. Natural Gas Geoscience, 35(7): 1187-1201]

李承东，冉皞，赵利刚，王惠初，张阔，许雅雯，谷永昌，张永清. 2012. 温都尔庙群锆石的 LA-MC-ICPMS U-Pb 年龄及构造意义. 岩石学报，28(11)：3705-3714. [Li C D, Ran H, Zhao L G, Wang H C, Zhang K, Xu Y W, Gu Y C, Zhang Y Q. 2012. LA-MC-ICPMS U-Pb geochronology of zircons from the Wenduermiao Group and its tectonic significance. Acta Petrologica Sinica, 28(11): 3705-3714]

李芙蓉，刘文汇，王晓锋，张东东，罗厚勇，陈晓艳，李福奇，张雯. 2023. 鄂尔多斯盆地古生界天然气地球化学特征与成因. 石油实验地质，45(4)：809-820. [Li F R, Liu W H, Wang X F, Zhang D D, Luo H Y, Chen X Y, Li F Q, Zhang W. 2023. Geochemical characteristics and genesis of Paleozoic natural gas in the Ordos Basin. Petroleum Geology & Experiment, 45(4): 809-820]

李英杰，王金芳，董培培，李红阳，张夏炜，王帅. 2023. 内蒙古西乌旗米斯庙蛇绿岩的识别及其地质意义. 岩石学报，39(5)：1305-

1321. [Li Y J, Wang J F, Dong P P, Li H Y, Zhang X W, Wang S. 2023. Discovery and significance of the Misimiao ophiolite in Xi U jimqin Banner, Inner Mongolia. Acta Petrologica Sinica, 39(5): 1305-1321]

李振宏. 2011. 鄂尔多斯盆地对秦岭造山过程的构造沉积响应. 中国地质科学院博士学位论文. [Li Z H. 2011. Response to Qinling orogenic with the tectonic and sedimentary evolution of Ordos Basin. Doctoral dissertation of Chinese Academy of Geological Sciences]

刘化清,李相博,马玉虎,白云来,黄军平. 2021. 鄂尔多斯盆地怀远运动不整合面与深层天然气勘探领域. 天然气工业,41(6): 1-12. [Liu H Q, Li X B, Ma Y H, Bai Y L, Huang J P. 2021. The unconformity caused by the Huaiyuan movement and the deep natural gas exploration field in the Ordos Basin. Natural Gas Industry, 41(6): 1-12]

刘敏. 2017. 兴蒙造山带中西部晚古生代岩浆作用与构造演化. 中国地质大学(北京)博士学位论文. [Liu M. 2017. Petrogenesis of the Late Paleozoic magmatism and tectonic evolution of the central-western Xing-Meng orogenic belt. Doctoral dissertation of China University of Geosciences(Beijing)]

刘文汇,王晓锋,张东东,蔡郑红,罗厚勇,陈晓艳,王桐,李芙蓉,张雯,李福奇. 2022. 鄂尔多斯盆地靖边气田地球化学特征与成因再认识. 西北大学学报(自然科学版),52(6): 943-956. [Liu W H, Wang X F, Zhang D D, Cai Z H, Luo H Y, Chen X Y, Wang T, Li F R, Zhang W, Li F Q. 2022. Restudy on geochemical characteristics and genesis of Jingbian gas field in Ordos Basin. Journal of Northwest University(Natural Science Edition), 52(6): 943-956]

刘显阳,李士祥,周新平,陈修,刘江艳,郭芪恒,魏嘉怡,廖永乐. 2023. 鄂尔多斯盆地石油勘探新领域、新类型及资源潜力. 石油学报,44(12): 2070-2090. [Liu X Y, Li S X, Zhou X P, Chen X, Liu J Y, Guo Q H, Wei J Y, Liao Y L. 2023. New fields, new types and resource potentials of petroleum exploration in Ordos Basin. Acta Petrolei Sinica, 44(12): 2070-2090]

柳长峰,刘文灿,王慧平,周志广,张华锋,唐永举. 2014. 华北克拉通北缘白乃庙组变质火山岩锆石定年与岩石地球化学特征. 地质学报,88(7): 1273-1287. [Liu C F, Liu W C, Wang H P, Zhou Z G, Zhang H F, Tang Y J. 2014. Geochronology and geochemistry of the Bainaimiao metavolcanic rocks in the northern margin of North China Craton. Acta Geologica Sinica, 88(7): 1273-1287]

毛丹凤,何登发,包洪平,魏柳斌,成祥,苟钧壹,石婧,许艳华. 2024. 鄂尔多斯盆地怀远运动期不整合类型及其分布特征. 古地理学报,26(1): 119-131. [Mao D F, He D F, Bao H P, Wei L B, Cheng X, Gou J Y, Shi J, Xu Y H. 2024. Distribution characteristics of different Huaiyuan unconformities in Ordos Basin. Journal of Palaeogeography(Chinese Edition), 26(1): 119-131]

牛小兵,范立勇,任军峰,师平平,魏柳斌,李维. 2024. 鄂尔多斯盆地奥陶系盐下缝洞体天然气勘探突破及其意义. 石油学报,45(12): 1715-1727,1817. [Niu X B, Fan L Y, Ren J F, Shi P P, Wei L B, Li W. 2024. Breakthrough and significance of natural gas exploration for Ordovician subsalt fracture-cavities in Ordos Basin. Acta Petrolei Sinica, 45(12): 1715-1727,1817]

申博恒,沈树忠,吴琼,张水昌,张斌,王向东,侯章帅,袁东勋,张以春,刘锋,刘俊,张华,史宇坤,王军,冯卓. 2022. 华北板块石炭纪—二叠纪地层时间框架. 中国科学: 地球科学,52(7): 1181-1212. [Shen B H, Shen S Z, Wu Q, Zhang S C, Zhang B, Wang X D, Hou Z S, Yuan D X, Zhang Y C, Liu F, Liu J, Zhang H, Shi Y K, Wang J, Feng Z. 2022. Time frame of Carboniferous-Permian strata in North China plate. Scientia Sinica (Terrae), 52(7): 1181-1212]

石玉若,刘敦一,张旗,简平,张福勤,苗来成,施光海,张履桥,陶华. 2004. 内蒙古苏左旗地区闪长—花岗岩类 SHRIMP 年代学. 地质学报,78(6): 789-799. [Shi Y R, Liu D Y, Zhang Q, Jian P, Zhang F Q, Miao L C, Shi G H, Zhang L, Tao H. 2004. SHRIMP dating of diorites and granites in southern Suzuoqi, Inner Mongolia. Acta Geologica Sinica, 78(6): 789-799]

石玉若,刘翠,邓晋福,简平. 2014. 内蒙古中部花岗质岩类年代学格架及该区构造岩浆演化探讨. 岩石学报,30(11): 3155-3171. [Shi Y R, Liu C, Deng J F, Jian P. 2014. Geochronological frame of granitoids from Central Inner Mongolia and its tectonomagmatic evolution. Acta Petrologica Sinica, 30(11): 3155-3171]

孙国凡,刘景平. 1983. 贺兰坳拉槽与前渊盆地及其演化. 石油与天然气地质,4(3): 236-245. [Sun G F, Liu J P. 1983. Helan aulacogen and front basin and their evolution. Oil & Gas Geology, 4(3): 236-245]

孙立新,张云,李影,张永,任邦方,张天福. 2017. 内蒙古赤峰地区晚泥盆世双峰式火山岩地球化学特征与板内伸展事件. 中国地质,44(2): 371-388. [Sun L X, Zhang Y, Li Y, Zhang Y, Ren B F, Zhang T F. 2017. Geochemical characteristics and intraplate extension of Late Devonian bimodal volcanic rocks in Chifeng area of Inner Mongolia. Geology in China, 44(2): 371-388]

汪建,赵红格,雷琳琳,曹红霞,王建强,王世哲,魏柳斌,李俊. 2023. 鄂尔多斯盆地奥陶系凝灰岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学特征及其地质意义. 矿物岩石地球化学通报,42(6): 1359-1371. [Wang J, Zhao H G, Lei L L, Cao H X, Wang J Q, Wang S Z, Wei L B, Li J. 2023. The zircon U-Pb geochronology and geochemical characteristics of the Ordovician tuff in the Ordos Basin and their geological significances. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 42(6): 1359-1371]

王森,渠洪杰,王欢,宋殿兰,程慕利,谭春亮,冉灵杰,冯跃文,陈英富,崔玉良,岳永东,林广利. 2020. 内蒙古敖汉旗地区晚泥盆世—早石炭世双峰式火山岩的发现及其地质意义. 地球化学,49(2): 150-167. [Wang S, Qu H J, Wang H, Song D L, Cheng M L, Tan C L, Ran L J, Feng Y W, Chen Y F, Cui Y L, Yue Y D, Lin G L. 2020. Discovery of the Late Devonian-Early Carboniferous bimodal volcanic rocks in the Aohanqi, Inner Mongolia, and their geological significance. Geochimica, 49(2): 150-167]

王天顺,付勇,何伟,龙珍,刘阳,龙克树. 2021. 中国铝土矿碎屑锆石记录与物质来源分析. 矿物学报,41(S1): 558-569. [Wang T S, Fu Y, He W, Long Z, Liu Y, Long K S. 2021. Detrital zircon records and material source analysis of bauxite deposits in China: a review. Acta Mineralogica Sinica, 41(S1): 558-569]

王振涛，周洪瑞，王训练，景秀春，张永生. 2015. 鄂尔多斯盆地西南缘奥陶纪火山活动记录：来自陕甘地区平凉组钾质斑脱岩地球化学和锆石年代学的信息. 岩石学报，31(9)：2633－2654. [Wang Z T, Zhou H R, Wang X L, Jing X C, Zhang Y S. 2015. Volcanic event records at the southwestern Ordos Basin: the message from geochemical and zircon U-Pb geochronology of K-bentonites from Pingliang Formation, Shaanxi and Gansu Region. Acta Petrologica Sinica, 31(9): 2633-2654]

吴迪迪，李舢，David CHEW，刘铁翊，郭东海. 2021. 中亚造山带东南缘二叠纪—三叠纪花岗质岩浆演化对增生—碰撞过程的制约. 中国科学：地球科学，51(6)：906-926. [Wu D, Li S, Chew D, Liu T, Guo D H. 2021. Permian-Triassic magmatic evolution of granitoids from the southeastern Central Asian Orogenic Belt: implications for accretion leading to collision. Scientia Sinica (Terrae), 51(6): 906-926]

吴素娟，李振宏，胡健民，公王斌. 2014. 鄂尔多斯盆地南缘赵老峪剖面奥陶系凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义. 地质论评，60(4)：903-912. [Wu S J, Li Z H, Hu J M, Gong W B. 2014. Confirmation of Ordovician sediments in south margin of Ordos Basin by SHRIMP U-Pb zircon dating of volcanic tuff interlayers and its significance. Geological Review, 60(4): 903-912]

吴浩文，苏中堂，裴文超，魏柳斌，任静，张成弓，付斯一. 2024. 鄂尔多斯盆地中东部奥陶系马家沟组凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及地质意义. 地质论评，70(5)：1767-1787. [Wu H W, Su Z T, Pei W C, Wei L B, Ren J, Zhang C G, Fu S Y. 2024. Zircon SHRIMP U-Pb ages and Hf isotope characterestics of the zircons from tuff in Ordovician Majiagou Formation in the central-eastern Ordos Basin and their geological significance. Geological Review, 70(5): 1767-1787]

席胜利，莫午零，刘新社，张雷，李剑，黄正良，王民，张春林，朱秋影，言语，周能武. 2021. 鄂尔多斯盆地西缘奥陶系乌拉力克组页岩气勘探潜力：以忠平 1 井为例. 天然气地球科学，32(8)：1235-1246. [Xi S L, Mo W L, Liu X S, Zhang L, Li J, Huang Z L, Wang M, Zhang C L, Zhu Q Y, Yan Y, Zhou N W. 2021. Shale gas exploration potential of Ordovician Wulalike Formation in the western margin of Ordos Basin: case study of Well Zhongping 1. Natural Gas Geoscience, 32(8): 1235-1246]

席胜利，魏嘉怡，张才利，王红伟，井向辉，杨亚娟，刘刚，李涵，张艳. 2023. 鄂尔多斯盆地海相页岩油勘探发现及意义. 石油学报，44(2)：253-269. [Xi S L, Wei J Y, Zhang C L, Wang H W, Jing X H, Yang Y J, Liu G, Li H, Zhang Y. 2023. Discovery and significance of marine shale oil exploration in Ordos Basin. Acta Petrolei Sinica, 44(2): 253-269]

肖文交，宋东方，Brian F. WINDLEY，李继亮，韩春明，万博，张继恩，敖松坚，张志勇. 2019. 中亚增生造山过程与成矿作用研究进展. 中国科学：地球科学，49(10)：1512-1545. [Xiao W J, Song D F, Windley B F, Li J L, Han C M, Wan B, Zhang J E, Ao S J, Zhang Z Y. 2019. Research progresses of the accretionary processes and metallogenesis of the Central Asian Orogenic Belt. Scientia Sinica (Terrae), 49(10): 1512-1545]

徐备，徐严，栗进，李群生. 2016. 内蒙古西部温都尔庙群的时代及其在中亚造山带中的位置. 地学前缘，23(6)：120-127. [Xu B, Xu Y, Li J, Li Q S. 2016. Age of the ander Sum Group in western Inner Mongolia and its position in the Central Asia Orogenic Belt. Earth Science Frontiers, 23(6): 120-127]

徐备，王志伟，张立杨，王智慧，杨振宁，贺跃. 2018. 兴蒙陆内造山带. 岩石学报，34(10)：2819-2844. [Xu B, Wang Z W, Zhang L Y, Wang Z H, Yang Z N, He Y. 2018. The Xing-Meng intracontinent orogenic belt. Acta Petrologica Sinica, 34(10): 2819-2844]

杨甫. 2015. 鄂尔多斯地块西南部早古生代海相盆地原型及其对油气地质条件的制约. 西北大学博士学位论文. [Yang F. 2015. Marine basin prototype of Early Paleozoic in the southwestern Ordos block and its restriction on oil and gas geological conditions. Doctoral dissertation of Northwest University]

叶浩，张拴宏，赵越，刘建民，何哲峰. 2014. 内蒙古赤峰地区泥盆纪晚期火山岩的发现及其地质意义. 地质通报，33(9)：1274-1283. [Ye H, Zhang S H, Zhao Y, Liu J M, He Z F. 2014. Recognition of the latest Devonian volcanic rocks in Chifeng area, northern North China block, and its geological implications. Geological Bulletin of China, 33(9): 1274-1283]

翟咏荷，何登发，开百泽. 2023. 鄂尔多斯盆地及邻区早二叠世构造-沉积环境与原型盆地演化. 地学前缘，30(2)：139-153. [Zhai Y H, He D F, Kai B Z. 2023. Tectono-depositional environment and prototype basin evolution in the Ordos Basin during the Early Permian. Earth Science Frontiers, 30(2): 139-153]

翟咏荷，何登发，开百泽. 2024. 鄂尔多斯盆地及邻区中—晚二叠世构造-沉积环境与原型盆地演化. 岩性油气藏，36(1)：32-44. [Zhai Y H, He D F, Kai B Z. 2024. Tectonic-depositional environment and prototype basin evolution of Middle-Late Permian in Ordos Basin and adjacent areas. Lithologic Reservoirs, 36(1): 32-44]

张国伟，郭安林，董云鹏，姚安平. 2019. 关于秦岭造山带. 地质力学学报，25(5)：746-768. [Zhang G W, Guo A L, Dong Y P, Yao A P. 2019. Rethinking of the Qinling Orogen. Journal of Geomechanics, 25(5): 746-768]

张建新，宫江华. 2018. 阿拉善地块性质和归属的再认识. 岩石学报，34(4)：940-962. [Zhang J X, Gong J H. 2018. Revisiting the nature and affinity of the Alxa Block. Acta Petrologica Sinica, 34(4): 940-962]

张金凤. 2018. 内蒙古温都尔庙—白乃庙地区早古生代构造演化. 吉林大学博士学位论文. [Zhang J F. 2018. Early Paleozoic tectonic evolution of the ondor sum-bainaimao region in Inner Mongolia. Doctoral dissertation of Jilin University]

张金凤，刘正宏，关庆彬，徐仲元，王兴安，朱凯. 2017. 内蒙古苏尼特右旗白乃庙地区徐尼乌苏组的形成时代及其地质意义. 岩石学报，33(10)：3147-3160. [Zhang J F, Liu Z H, Guan Q B, Xu Z Y, Wang X A, Zhu K. 2017. Age and geological significance of xuniwusu formation from Bainaimiao area of Sonid Youqi, Inner Mongolia. Acta Petrologica Sinica, 33(10): 3147-3160]

张晋瑞，魏春景，初航. 2018. 兴蒙造山带构造演化的新模式：来自内蒙古中部四期不同类型变质作用的证据. 岩石学报，34(10)：

2857-2872. [Zhang J R, Wei C J, Chu H. 2018. New model for the tectonic evolution of Xing'an-Inner Mongolia Orogenic Belt: evidence from four different phases of metamorphism in central Inner Mongolia. Acta Petrologica Sinica, 34(10): 2857-2872]

张渝昌. 2010. 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. 北京: 石油工业出版社. [Zhang Y C. 2010. Dynamic Basin and Petroleum. Beijing: Petroleum Industry Press]

张玉清, 张永清, 罗忠泽, 白玉岭, 白冰. 2020. 内蒙古白乃庙铜矿白乃庙组变质安山岩 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年. 地层学杂志, 44(2): 207-214. [Zhang Y Q, Zhang Y Q, Luo Z Z, Bai Y L, Bai B. 2020. LA-MC-ICP-MS dating of zircons from the meta-Andesites in the Bainaimiao Formation in the Bainaimiao copper mine, Inner Mongolia. Journal of Stratigraphy, 44(2): 207-214]

赵喆, 徐旺林, 赵振宇, 易士威, 杨威, 张月巧, 孙远实, 赵伟波, 史云鹤, 张春林, 高建荣. 2024. 鄂尔多斯盆地石炭系本溪组煤岩气地质特征与勘探突破. 石油勘探与开发, 51(2): 234-247, 259. [Zhao Z, Xu W L, Zhao Z Y, Yi S W, Yang W, Zhang Y Q, Sun Y S, Zhao W B, Shi Y H, Zhang C L, Gao J R. 2024. Geological characteristics and exploration breakthroughs of coal rock gas in Carboniferous Benxi Formation, Ordos Basin, NW China. Petroleum Exploration and Development, 51(2): 234-247, 259]

钟蓉, 孙善平, 付泽明. 1996. 华北地台本溪组、太原组火山事件沉积特征及时空分布规律. 地质力学学报, 2(1): 83-91. [Zhong R, Sun S P, Fu Z M. 1996. The characteristics of volcanic event deposits and their temporal-spatial distribution of Benxi and Taiyuan formations in North China platform (ncp). Journal of Geomechanics, 2(1): 83-91]

钟蓉, 傅泽明. 1998. 华北地台晚石炭世—早二叠世早期海水进退与厚煤带分布关系. 地质学报, 72(1): 64-75. [Zhong R, Fu Z M. 1998. The relationship between the distribution of thick coal belts and the late Carboniferous-early early Permian marine transgression-regression in the North China platform. Acta Geologica Sinica, 72(1): 64-75]

朱夏. 1983. 含油气盆地研究方向的探讨. 石油实验地质, 5(2): 116-123. [Zhu X. 1983. Approaches to the research of petroliferous basins. Petroleum Geology & Expeiment, 5(2): 116-123]

朱星丞, 路俊刚, 李勇, 何清波, 李树新, 肖正录, 蒋奇君, 陈瑞杰, 石雯心. 2025. 鄂尔多斯盆地山西组海陆过渡相页岩与煤岩储层全尺度孔隙结构表征及主控因素分析. 天然气地球科学, 36(7): 1291-1306. [Zhu X C, Lu J G, Li Y, He Q B, Li S X, Xiao Z L, Jiang Q J, Chen R J, Shi W X. 2025. Full-scale pore structure characterization and controlling mechanism of marine-continental transitional shale and coal reservoirs in the Shanxi Formation, Ordos Basin. Natural Gas Geoscience, 36(7): 1291-1306]

邹才能, 谢增业, 李剑, 张璐, 杨春龙, 崔会英, 王晓波, 郭泽清, 潘松圻. 2023. 典型碳酸盐岩大气田规模聚集差异性及其主控因素: 以四川盆地安岳气田和鄂尔多斯盆地靖边气田为例. 石油与天然气地质, 44(1): 1-15. [Zou C N, Xie Z Y, Li J, Zhang L, Yang C L, Cui H Y, Wang X B, Guo Z Q, Pan S Q. 2023. Differences and main controlling factors of large-scale gas accumulations in typical giant carbonate gas fields: a case study on Anyue gas field in the Sichuan Basin and Jingbian gas field in the Ordos Basin. Oil & Gas Geology, 44(1): 1-15]

Allen P A, Allen J R. 2013. Basin Analysis: Principles and Application to Petroleum Play Assessment (Third Edition). Hoboken: Wiley and Blackwell.

Chu H, Zhang J R, Wei C J, Wang H C, Ren Y W. 2013. A new interpretation of the tectonic setting and age of meta-basic volcanics in the Ondor Sum Group, Inner Mongolia. Chinese Science Bulletin, 58: 3580-3587.

IHS. 2016. Finding the next Super Basin[R]. Colorado: IHS.

Liu J, Zhao Y, Liu A K, Zhang S H, Yang Z Y, Zhuo S G. 2014. Origin of late Palaeozoic bauxites in the North China Craton: constraints from zircon U-Pb geochronology andin situHf isotopes. Journal of the Geological Society, 171: 695-707.

Liu J F, Li J Y, Zhang W L, Zhang J, Zhao S, Yin D F, Zhang X W. 2022. Newly discovered late Devonian and early Carboniferous ophiolite fragments in the Diyanmiao mélange in southeastern Inner Mongolia: implications for the Late Paleozoic tectonic evolution of the southeastern Central Asian Orogenic Belt. Lithos, 408: 106566.

Yang J F, Zhang Z C, Chen Y, Yu H F, Qian X Y. 2017. Ages and origin of felsic rocks from the Eastern Erenhot ophiolitic complex, southeastern Central Asian Orogenic Belt, Inner Mongolia China. Journal of Asian Earth Sciences, 144: 126-140.

Zhang S H, Zhao Y, Ye H, Liu J M, Hu Z C. 2014. Origin and evolution of the bainaimiao arc belt: implications for crustal growth in the southern Central Asian Orogenic Belt. Geological Society of America Bulletin, 126(9-10): 1275-1300.

Zheng R G, Wu T R, Zhang W, Xu C, Meng Q P, Zhang Z Y. 2014. Late Paleozoic subduction system in the northern margin of the Alxa block, Altaids: geochronological and geochemical evidences from ophiolites. Gondwana Research, 25: 842-858.

Zheng R G, Li J Y, Xiao W J, Wang L J. 2018. A new ophiolitic mélange containing boninitic blocks in Alxa region: implications for Permian subduction events in southern CAOB. Geoscience Frontiers, 9: 1355-1367.

(责任编辑 张西娟)