



鄂尔多斯盆地及周缘岩相古地理与沉积演化

李文厚¹, 张倩², 李兆雨³, 李克永⁴, 郭艳琴⁵, 冯娟萍⁴,
陈强⁶, 袁珍⁵, 马瑶⁵

(1. 西北大学地质学系, 陕西西安 710069; 2. 陕西科技大学化学与化工学院, 陕西西安 710021;
3. 临沂大学生命科学学院, 山东临沂 276000; 4. 西安科技大学地质与环境学院, 陕西西安 710054;
5. 西安石油大学地球科学与工程学院, 陕西西安 710065; 6. 长安大学地球与资源学院, 陕西西安 710054)

摘要 鄂尔多斯盆地的沉积演化起始于中元古代, 发育陆缘裂谷和陆内拗拉槽, 沉积滨海相碎屑岩和潮坪相碳酸盐岩, 新元古代盆地性质为大陆边缘地堑型拗陷, 沉积滞留海盆碎屑岩、冰水沉积物组合及陆棚碎屑岩; 早古生代寒武纪和奥陶纪的克拉通盆地主要沉积浅海碳酸盐岩, 在西南缘发育沟-弧-盆体系; 经过加里东运动抬升剥蚀后, 开始了华北克拉通拗陷盆地的沉积演化过程, 晚石炭世和早二叠世发育了陆表海沉积, 早二叠世晚期—中三叠世形成了近岸碎屑湖盆沉积; 中晚三叠世延长期至早白垩世, 鄂尔多斯盆地最终形成, 进入大型内陆差异沉积盆地的形成和发展时期, 上三叠统、侏罗系和下白垩统是在鄂尔多斯盆地缓慢沉降过程中堆积的以河流-三角洲-湖泊相为特征的陆源碎屑岩系; 新生代进入周边断陷发育阶段, 先后发育河流-湖泊及风成沉积。这一系列沉积演化过程揭示了鄂尔多斯盆地复杂的地质历史和多样的沉积环境。

关键词 克拉通边缘叠合盆地; 碎屑湖盆; 岩相古地理; 沉积演化; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: P512.2 DOI: 10.16152/j.cnki.xdxbr.2024-06-001

Lithofacies palaeogeography and sedimentary evolution of Ordos Basin and its periphery

LI Wenhou¹, ZHANG Qian², LI Zhaoyu³, LI Keyong⁴, GUO Yanqin⁵,
FENG Juanping⁴, CHEN Qiang⁶, YUAN Zhen⁵, MA Yao⁵

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China;

2. College of Chemistry and Chemical Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China;

3. College of Life Science, Linyi University, Linyi 276000, China;

4. College of Geology and Environment, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;

5. School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China;

6. School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract The sedimentary evolution of the Ordos Basin began in the Mesoproterozoic, characterized by the development of continental marginal rift and intracontinental aulacogen. During this time, clastic rocks of the coastal facies and tidal flat carbonatites were deposited. In the Neoproterozoic, the basin evolved into a conti-

收稿日期: 2024-09-26

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(42230815, 41630312)

第一作者: 李文厚, 男, 教授, 博士生导师, 从事沉积学研究, liwenhou@nwu.edu.cn.

mental margin graben-type depression, resulting in the deposition of clastic rocks indicative of a stagnant environment, glacial sediments, and shelf clastic rocks. Throughout the Early Paleozoic Cambrian and Ordovician periods, the cratonic basin primarily accumulated shallow marine carbonates, with a trench-arc-basin system distributed along its southwestern margin. Following the uplift and denudation related with the Caledonian orogeny, the sedimentary evolution of North China Craton depression basin commenced. During the Late Carboniferous and Early Permian periods, the Ordos area was dominated by epicontinental sea deposits, succeeded by nearshore clastic lake basin from the late Early Permian to the Middle Triassic. From the Yanchang Period of the Middle-Late Triassic to the Early Cretaceous, the Ordos Basin underwent significant development and ultimately evolved into a large-scale, differentiated inland sedimentary basin. The Upper Triassic, Jurassic, and Lower Cretaceous strata primarily composed of fluvio-deltaic-lacustrine clastic rocks, accumulated during the slow subsidence of the Ordos Basin. In the Cenozoic, Ordos Basin entered the stage of peripheral fault development, with the successive accumulation of fluvial, lacustrine and aeolian deposits. The sedimentary evolution processes reveal the complex geological history and diverse sedimentary environments of the Ordos Basin.

Keywords Craton marginal superimposed basin; clastic lake basin; lithofacies palaeogeography; sedimentary evolution; Ordos Basin

鄂尔多斯盆地是华北地台西部典型的克拉通边缘叠合盆地,其发展演化与华北地台一脉相承,除了自身的独特性外,同时还受盆地南、北古海槽多期开合演化的控制与影响。沉积盆地发展演化至今,经历了中元古代大陆裂解、早古生代陆缘海盆、晚古生代一中三叠世克拉通盆地、晚三叠世—白垩纪前陆盆地、新生代周缘断陷盆地阶段,形成了波澜壮阔的沉积地层,为盆地丰富的石油、天然气、煤和铀等重要的矿产沉积奠定了基础。

本文主要回顾了 50 多年来本团队在鄂尔多斯盆地研究工作和进展,调研了盆地及周缘各个时代野外剖面 and 地层,观察并实测了野外地质剖面 100 余条,描述了 1 800 余口钻井岩心,编制了大量全盆地各时代的沉积相图。在冲积扇、河流、湖泊、三角洲、滨浅海、深海、重力流和碳酸盐岩沉积等方面进行了系统的总结,尤其在陇东三叠系延长组辫状河三角洲、苏里格上古生界沉积相与储层、石炭系本溪组障壁岛、下古生界和三叠系延长组重力流沉积等诸多领域取得了一系列原创成果。当然,地质科学也是一门经验积累的科学,许多认识受研究者个人因素的影响,难免有其局限性,本文有关观点供同行探讨和批评。

1 中新元古代沉积演化

鄂尔多斯地区中元古代长城纪为裂谷演化阶段,开始沉积了第一套盖层,初次海侵由西、南向

东、北方向,西南缘发育石英砂岩及少量页岩,盆地内部为滨浅海相的石英砂岩。除北部发育有少量冲积扇、河流相砂岩外,向南则分别出现滨岸浅滩、滨浅海相的砂岩沉积,西南方向则主要为半深海-海湾,局部出现潟湖沉积(见图 1)。蓟县纪被动大陆边缘拗陷演化阶段,发育水体浅、水动力弱的平坦宽阔陆表海,潮坪沉积大范围分布,主要为碳酸盐岩潮坪和碎屑岩潮坪两种类型,可划分为潮上带、潮间带和潮下带,这 3 种相带在垂向及侧向上频繁交互和迁移。青白口纪边缘沉降演化阶段发育滞留海盆、大陆斜坡等。震旦纪边缘拗陷演化阶段发育冰川相。

1.1 长城纪

长城系在鄂尔多斯内部钻遇地层较少,根据区域露头资料显示,主体为一套纯净的石英砂岩夹少量页岩。北部在长城系底部还发育陆相-海相的过渡型沉积,在桌子山至杭锦旗一带自下而上构成了从陆相河流到滨浅海相碎屑岩的沉积序列,底部砾岩、含砾粗砂岩发育大型板状交错层理,向上过渡为纯净的石英砂岩,含海绿石,发育对称波痕。北部伊盟隆起的钻井中长城系主体均为一套紫红色的石英砂岩、泥岩的组合,泥岩含量较西南缘明显增多,代表近陆更为低能的潮坪沉积环境,根据岩性及沉积构造等特征,北部的长城系主体应属于河流沉积过渡至滨浅海海岸沉积。在甘肃华亭一带长城系为紫红色厚层含砾石英砂岩、石英砂岩,分选磨圆好,石英次生加大胶结,成

分成熟度和结构成熟度较高,发育对称波痕,主要为滨浅海的海滩堆积^[1-3]。

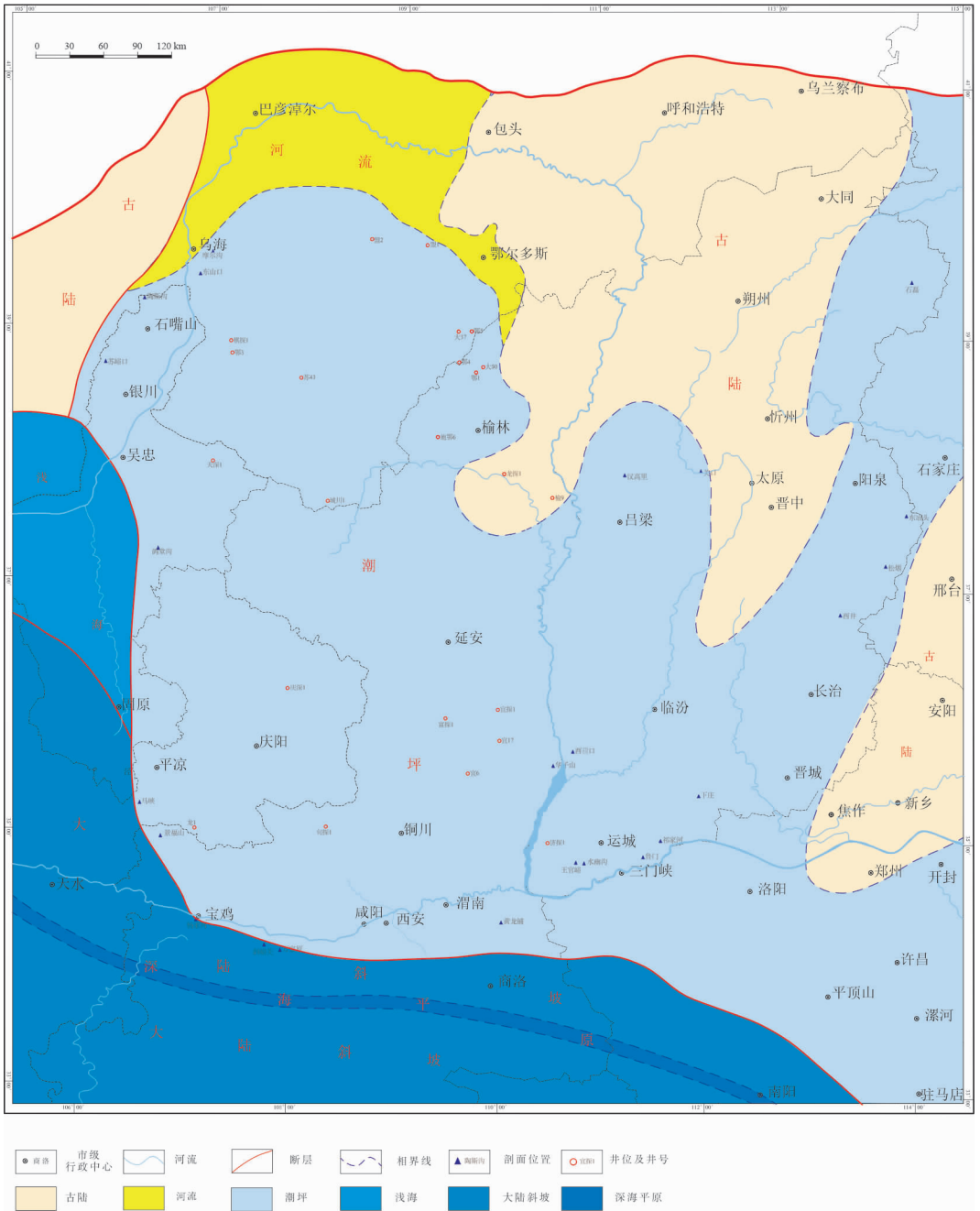


图 1 鄂尔多斯盆地长城纪沉积相图

Fig. 1 Sedimentary facies map of the Changcheng Period in the Ordos Basin

鄂尔多斯南部属于豫陕坳拉槽的范围,底部发育熊耳群一套陆相-海相中性为主的火山熔岩夹碎屑岩建造,由洛南、三门峡、汝阳一带向北至绛县一带近南北向分布,在西南缘的千阳一带零星分布。长城系主要发育灰白色、紫红色石英砂岩夹白云质砂岩、白云岩、粉砂质板岩,主体为滨浅海相潮坪沉积及海滩沉积,在洛南地区发育齐全,保存和出露良好。海滩沉积大都保存在向上变粗的海退层序中,从近滨粗粉砂岩、砂质板岩、

板岩,变为分选好的前滨中-粗粒石英岩状砂岩。砂岩体的形态常呈席状或条带状,具冲洗层理、板状交错层理、浪成交错层理及流水波痕、浪成波痕等,具有多向的古水流方向。从熊耳群-高山河群反映了区域环境由早期的槽台过渡型的活动性沉积逐渐转变为稳定型的滨浅海相砂岩沉积。中条山一带广泛发育薄层状-中厚层状石英岩状砂岩,羽状交错层理、波状层理、透镜状层理、脉状层理发育,浪成干涉波痕、浪成对称波痕也十分常见,

表明形成于水体较浅的障壁海岸潮坪环境,砂坪沉积尤其发育,顶部由黑色页岩过渡为夹少量薄层细砂岩,沉积环境应为障壁海岸潟湖^[4-5]。

1.2 蓟县纪

经历了长城纪早期的活动裂陷及其后的稳定滨岸沉积后,鄂尔多斯地区蓟县纪的沉积格局基本上稳定下来,沉积了一套浅海潮坪相的沉积,发育硅质条带叠层石藻白云岩,分布范围以及地层厚度均较长城纪明显减小,沉积范围向西南收缩,具有西厚东薄、南厚北薄的特点。东北部靠近剥蚀古陆区为滨岸浅滩沉积,而西南部为浅滩台地沉积,沉积厚度较大,主要是一套硅质条带白云岩、藻叠层石白云岩。其中西缘的青龙山、贺兰山和桌子山地区蓟县系岩性上为一套碳酸盐岩,以含硅质条带或结核的叠层石白云岩为主,局部地区含少量石英砂岩或石英砾岩。下部为潮间带上部的间歇性暴露的沉积环境,泥质白云岩中鸟眼构造发育。上部为潮下带反复涨潮退潮的较高能的沉积环境,含海绿石砂岩夹层中羽状交错层理发育。而南缘蓟县系主要分布在华亭、平凉、陇县、岐山、洛南一带,地层发育良好,为一套富含叠层石的硅质白云岩夹泥质白云岩(见图2)。硅质白云岩常常发育有大型柱状叠层石,局部可构成叠层石生物礁。

蓟县系潮上带能量很低,岩石类型以纹层状泥-粉晶白云岩、含燧石条带白云岩为主,常见鸟眼、干裂等构造。潮间带主要发育的藻坪、云坪、泥云坪及潮汐沟等微相,潮下高能带常发生潮坪风暴沉积,以泥晶白云岩为主,在动能较高的地方也可出现砾屑白云岩、含硅质砾屑白云岩、含燧石条带细晶白云岩等。其中潮汐沟微相的砾屑白云岩的砾屑多呈板条状,来自潮上带的沉积产物,受水流方向反复变化影响多呈定向排列,形成叠瓦状构造,底部常见扁平角砾白云岩及潮水沟的冲刷与充填构造。它与风暴沉积的区别在于后者砾屑白云岩往往以放射状排列为主,而正常潮坪沉积的砾屑白云岩则呈反向叠瓦状排列,二者在沉积结构上可呈突变或渐变关系^[6-7]。鄂尔多斯蓟县纪在地层岩性组合上应该属于稳定性沉积组合,充分反映该沉积期区域构造环境已基本趋于稳定,并没有发生剧烈的褶皱造山或大的构造运动。

1.3 青白口纪

鄂尔多斯地区青白口纪整体抬升为剥蚀古

陆,仅在陕西洛南到河南卢氏—灵宝—栾川一带分布着青白口系沉积,平行不整合于蓟县系之上。主要为一套灰黑色碳质板岩、硅质板岩夹硅质灰岩,显示了滞留海盆的特征,厚度20~385 m。早期为次深海相炭泥质、钙泥质及硅质沉积夹菱铁矿层。晚期水体变浅,出现了钙泥质和碳酸盐岩相间沉积,其后过渡为富藻碳酸盐岩沉积,局部为泥炭沼泽沉积。

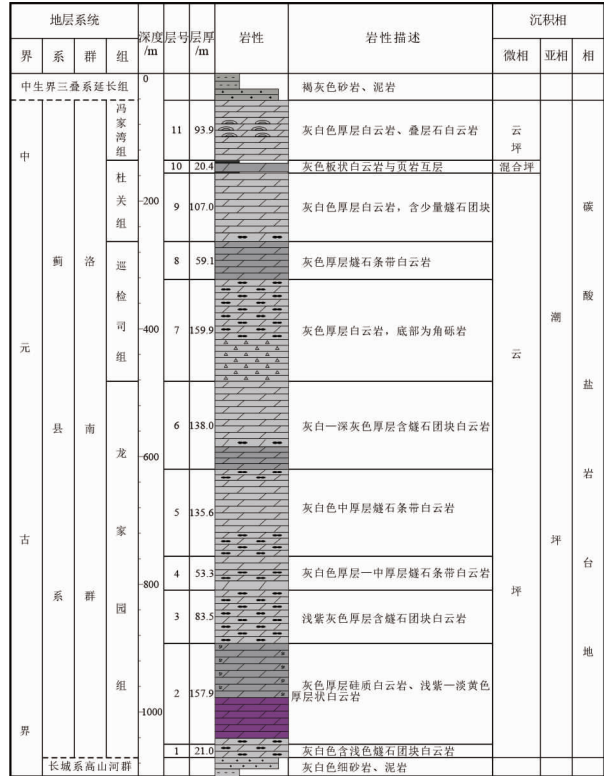


图2 华亭马峡剖面蓟县系沉积相综合柱状图

Fig. 2 Comprehensive column of sedimentary facies of Jixian System in Maxia section of Huating

1.4 震旦纪

震旦纪大体上继承了青白口纪的沉积格局,仅在鄂尔多斯西缘及南缘有一定的分布^[8]。西缘贺兰山地区称为正目观组及兔儿坑组,南缘北秦岭地区则称为罗圈组及东坡组。其中正目观组和罗圈组为冰川沉积,下部发育冰砾岩,局部出现重力流沉积,上部发育冰海沉积,冰坠石十分发育。而兔儿坑组和东坡组则为浅海陆棚环境,岩性为灰-深灰色粉砂质板岩夹薄层状细砂岩,水平层理及波状层理发育。

2 早古生代沉积演化

早古生代开始,鄂尔多斯进入相对稳定的克

拉通盆地发育时期,在多期的海进、海退的过程中形成了一套全区稳定的海相碳酸盐岩为主夹碎屑岩的沉积。区域上,西以青铜峡—固原断裂为界与祁连海槽相邻,南侧以宝鸡—洛南断裂为界与秦岭海槽相接,北侧以内蒙古陆与兴蒙加里东海槽相隔,形成北高南低、中部高两侧低的古构造背景。在鄂尔多斯内部沉积了厚达千米的下古生界海相碳酸盐岩沉积,而在其西缘沉积了厚度很大的深水斜坡-盆地相沉积。晚奥陶世鄂尔多斯的构造格局发生了极大变化,仅在其西南缘接受了大陆斜坡等沉积,加里东运动导致主体隆升为陆并遭受风化剥蚀,形成统一的古陆。

2.1 寒武纪

早寒武世沧浪铺期从西、南两个方向发生海侵,鄂尔多斯南部形成了含磷的碎屑岩与碳酸盐岩互层的潮坪沉积,随后沉积了开阔海台地相鲕粒灰岩,后期由于海水退却变浅,沉积了一套局限海台地相的白云岩(见图 3)。

2.1.1 早中寒武世辛集期朱砂洞期馒头期

早寒武世辛集期鄂尔多斯西南缘出现了一个环台地边缘沉积区,陆外为坪、坪外为海、海外为槽是它基本的古地理格局,沉积地层由东向西、由北向南依次增厚。盆地边缘地区为滨海低位体系域潮坪相碎屑岩系。朱砂洞期为海侵体系域碳酸盐岩沉积。馒头期沉积范围逐渐扩大,鄂尔多斯古陆被分割为若干个古陆,分别为中央古陆、伊盟古陆及吕梁古陆。早期沉积范围仍局限于西南缘,以环陆滨岸潮坪沉积为主。晚期沉积范围迅速扩大,广泛发育清水碳酸盐台地沉积。而在地势低洼平坦、水动力条件弱的地方则形成一套局限海台地潮坪沉积^[2,9-10]。

2.1.2 中寒武世张夏期

中寒武世张夏期鄂尔多斯地区海侵达到寒武纪顶峰,海水覆盖了全区,形成了温暖和清洁的浅海碳酸盐岩沉积环境,大范围高能动荡的鲕粒滩沉积是其重要的特征,区域上广泛发育中厚层-块状的鲕粒灰岩,其展布特征与中央古隆起走势基本一致(见图 4)。古隆起内外差异明显,内侧因水体与外海沟通不畅,发育了局限台地潮坪沉积^[3]。外侧的广阔海域由于沟通通畅,以开阔高能的鲕粒滩沉积为特征。更外侧的桌子山-贺兰山一带,水体进一步加深,形成台地前缘斜坡沉积。

2.1.3 晚寒武世三山子期

鄂尔多斯晚寒武世发育形成了一套灰黄色中层状泥质白云岩夹紫红色薄层状泥粉晶白云岩、泥页岩的组合及竹叶状白云岩,竹叶砾屑具有特征的氧化圈构造,粒度可达几个厘米,磨圆较好,多呈扁平状,往往沿层面定向排列,代表了潮上带-潮间带上部的产物^[3,11-12]。晚期海退持续发展,水体变浅,古陆面积增大,随后短暂抬升为陆,导致鄂尔多斯大部晚寒武世地层普遍缺失。

2.2 奥陶纪

早奥陶世鄂尔多斯主体为统一的古陆,围绕着古陆形成环陆潮坪沉积,中奥陶世广泛发育陆表海沉积,晚奥陶世海水退却,仅在西南缘保留有深海沉积。

2.2.1 早奥陶世冶里期亮甲山期

早奥陶世冶里期为灰色、浅灰色薄层状泥质云岩、泥粉晶云岩夹竹叶状白云岩,发育微细水平层理、波状层理、透镜状层理及压扁层理等潮汐层理以及鸟眼构造,区域上沉积特征基本一致,但沉

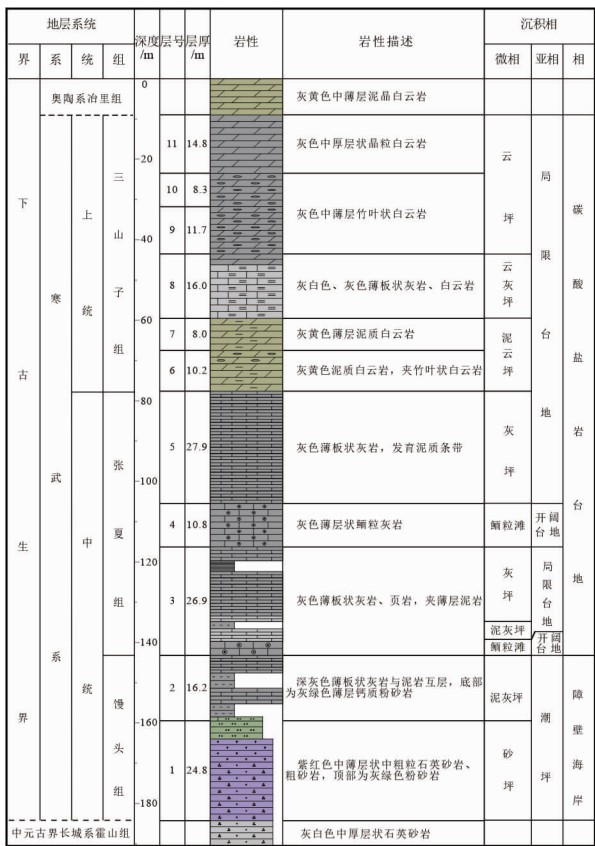


图 3 中阳柏洼坪剖面寒武系沉积相综合柱状图

Fig. 3 Comprehensive column of sedimentary facies of Cambrian System in Baiwaping section of Zhongyiang

积环境相对稳定,环陆潮坪沉积十分发育^[3,11]。亮甲山期虽然水体加深,主要为富含燧石条带及团块的中厚层状白云岩夹竹叶状白云岩,区域上岩性主要为灰色、浅灰色中厚层状白云岩、泥岩、

云质灰岩夹竹叶状白云岩,同时富含燧石条带及团块,偶尔出现叠层构造。亮甲山期末的怀远运动造成一次大规模的海退,导致鄂尔多斯整体抬升暴露,马家沟组与亮甲山组之间出现沉积间断。

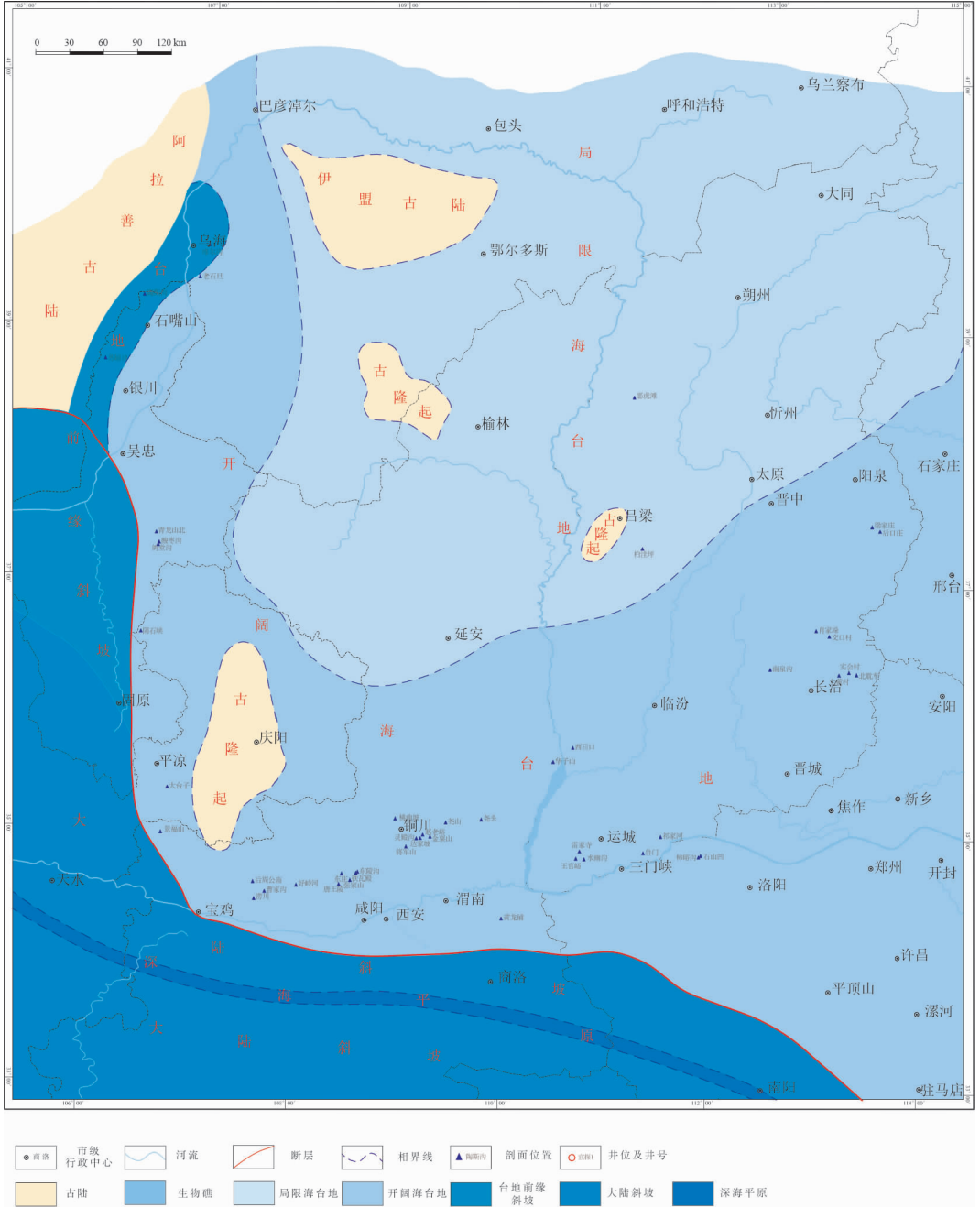


图 4 鄂尔多斯盆地寒武纪张夏组沉积相图

Fig. 4 Sedimentary facies map of the Cambrian Zhangxia Formation in the Ordos Basin

2. 2. 2 中奥陶世马家沟期峰峰期

中奥陶世马家沟期和峰峰期鄂尔多斯本部出现大规模海侵,形成隆拗相间的构造格局,构成了 3 个海进海退的沉积旋回,其中马家沟组马一、马三、马五期发育膏盐湖、膏云坪和云坪,为低海平面期沉积,马二、马四期和峰峰期发育灰岩和云质

灰岩,为高海平面期局限-开阔台地相(见图 5)。总之,马家沟组沉积期由于处在陆表海环境,鄂尔多斯普遍发育碳酸盐岩沉积^[10-15];中奥陶世峰峰期再度出现海侵,鄂尔多斯本部为开阔海台地,西缘的乌海老石旦、同心青龙山及岐山曹家沟为台地前缘斜坡^[11,16]。

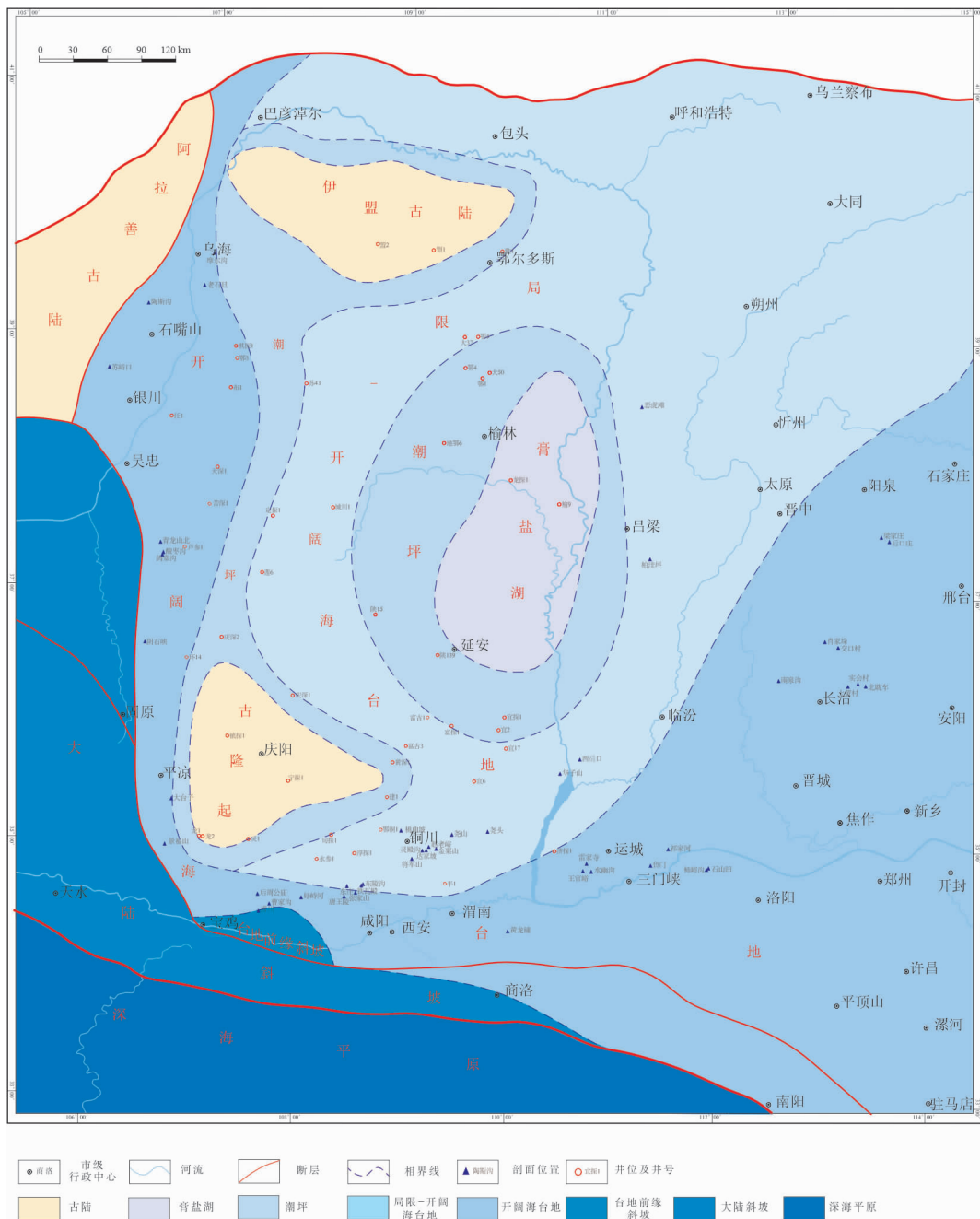


图5 鄂尔多斯盆地奥陶纪马家沟组沉积相图

Fig. 5 Sedimentary facies map of the Ordovician Majiagou Formation in the Ordos Basin

2.2.3 晚奥陶世平凉期背锅山期

晚奥陶世平凉期在鄂尔多斯地块西南缘由陆向海依次发育开阔台地相、台地边缘礁滩相、前缘斜坡相及大陆斜坡-深海盆地相等多种沉积背景横向并存的古地理格局(见图6)。富平赵老峪等地为台地前缘斜坡相深水碳酸盐岩建造,发育碎屑流、颗粒流及浊流沉积^[11, 17-19];岐山一带为台地前缘斜坡相向大陆斜坡相过渡。乌海老石旦、同心青龙山、环县石板沟、平凉太统山等地,特别是乌海老石旦一带的乌拉力克组的黑色笔石页岩

相,为深海盆地沉积^[11, 20-22]。

晚奥陶世背锅山期以海退为主,仅在西南缘接受背锅山期开阔海台地相及台地前缘斜坡相沉积,盆地主体上升为陆,是奥陶系顶部古岩溶风化壳的物质基础^[10, 13]。

3 晚古生代沉积演化

晚古生代鄂尔多斯是华北地台的一部分,构造演化和沉积充填同华北地台一致,主要受北侧

季和雨季交替,由于地形平坦,旱季时河流和三角洲平原广布,雨季时湖水泛滥,尽管水体很浅,仍然覆盖了广大地区,致使三角洲平原转变为三角

洲前缘,从而使得研究区湖岸线变化频繁,三角洲平原与三角洲前缘交替出现^[37-39]。

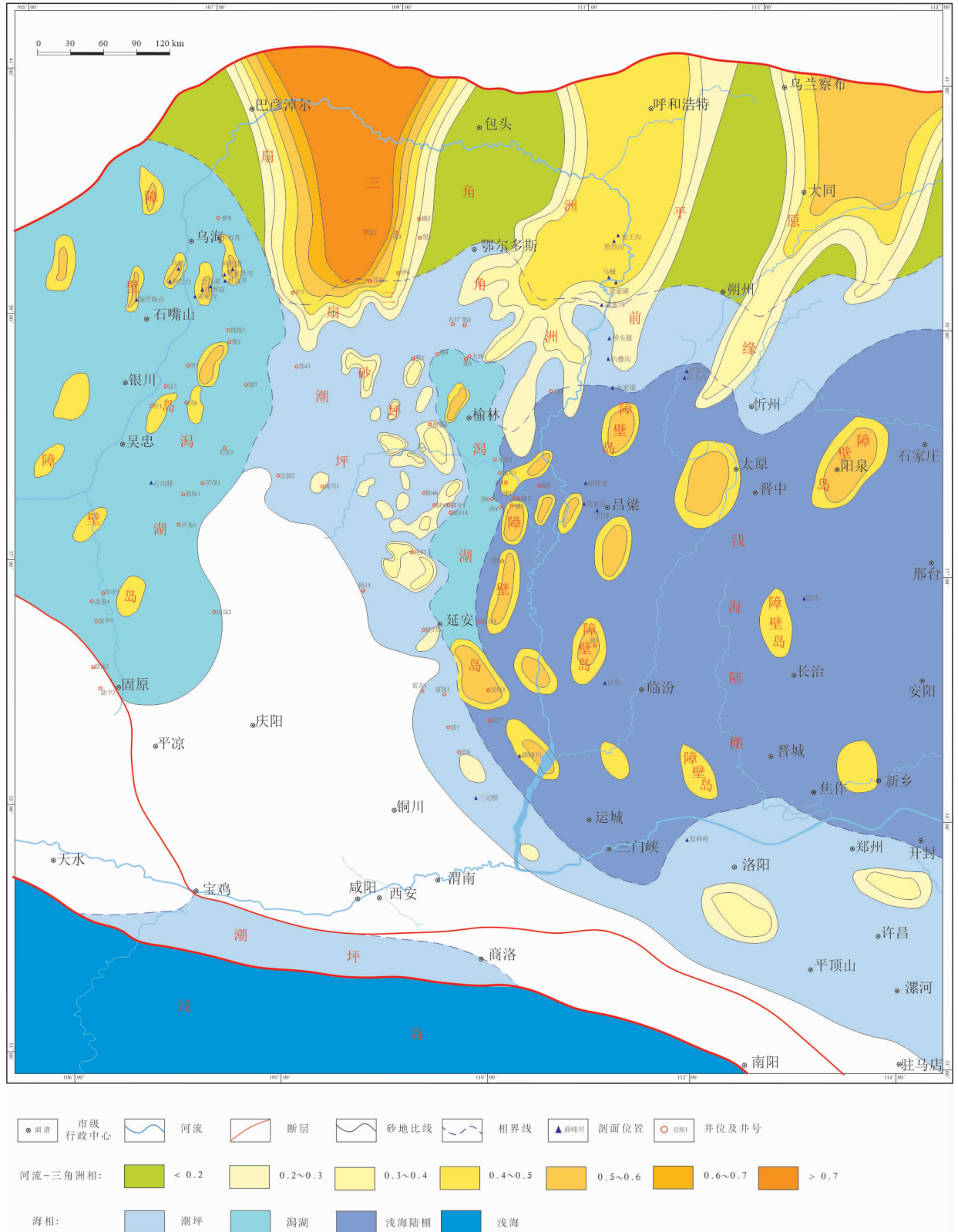


图 7 鄂尔多斯盆地石炭纪本溪组沉积相图
Fig. 7 Sedimentary facies map of the Carboniferous Benxi Formation in the Ordos Basin

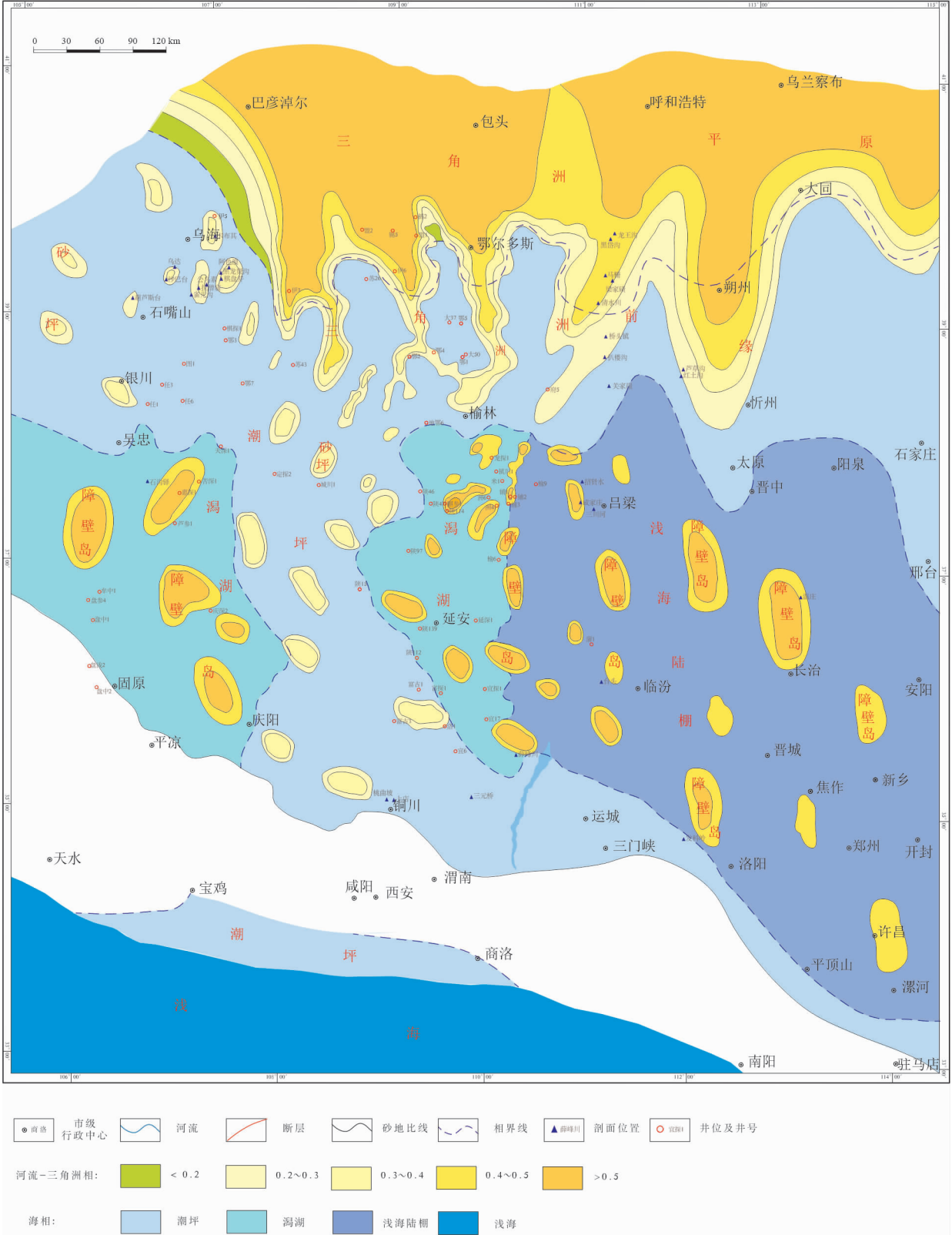


图8 鄂尔多斯盆地二叠纪太原组沉积相图

Fig.8 Sedimentary facies map of the Permian Taiyuan Formation in the Ordos Basin

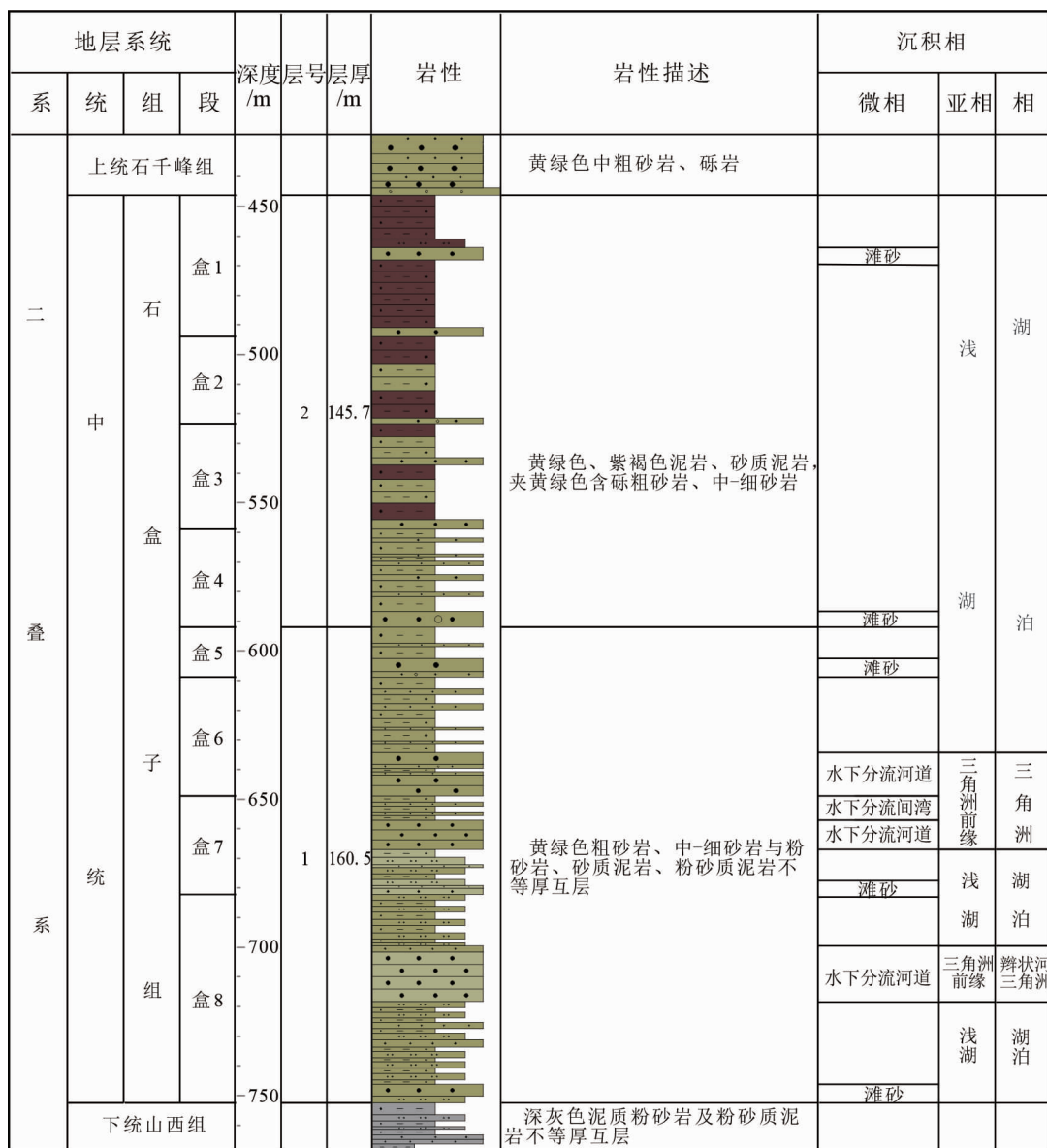


图 9 柳林成家庄剖面二叠系石盒子组沉积相综合柱状图

Fig.9 Comprehensive column of sedimentary facies of Permian Shihezi Formation in Chengjiazhuang section of Liulin

4 中生代沉积演化

早中三叠世鄂尔多斯地块内陆盆地逐渐萎缩,由于仍处于低纬度旱季与雨季交替地区,三角洲平原与三角洲前缘频繁交替,主要为一套河湖相和三角洲相红色碎屑岩沉积,沉积中心近东西向展布,显示其较好的继承了晚古生代后期沉积盆地南北分异的古地理格局。中晚三叠世气候温暖潮湿,深湖沉积发育,河流、三角洲与浊积岩成为重要的油气储集层。鄂尔多斯盆地中侏罗世为大面积河湖三角洲沉积,延安组顶部遭受到不同程度的侵蚀,直罗组和安定组与延安组呈平行不

整合接触。晚侏罗世受燕山运动的影响,盆地整体抬升,仅在西缘发育一套磨拉石建造。早白垩世,由于盆地东部持续不断隆升,狭义的鄂尔多斯盆地形成,沉积范围仅分布于吕梁山以西,沉积及沉降中心向西、向北迁移,在定边—环县—华池—庆阳一带形成了湖泊沉积,围绕着湖泊分别发育有河流与沙漠。新生代盆地周边发育一系列断陷盆地,并在全盆地形成了大范围的黄土沉积。

4.1 早中三叠世刘家沟期、和尚沟期、纸坊期

早三叠世刘家沟期,湖泊沉积占据了鄂尔多斯中部大部分地区,北部由西而东分别发育了一系列三角洲。经过早三叠世和尚沟期和中三叠世纸坊期过渡,整个盆地相对沉降的幅度并无明显

4.2 中晚三叠世延长期

中晚三叠世湖盆发育初期(长10期)为特提斯构造动力体系向古太平洋构造体系转变的关键时刻,河流沉积广为发育,沉积厚度普遍在200 m以下。与此同时在盆地西南部存在一个沉降带,围绕着环县—华池—正宁—旬邑—长武—泾川—平凉一带沉积厚度有500 m以上,而在庆阳—镇原—彭阳—华池—崇信一带厚度在800 m以上,最厚处达1 300余米。由于厚度较大,其下部地层被前人误认

为“黑纸坊”^[42-43],并在定边—吴起—志丹、宁县—正宁、宜君和卢氏—南召一带断续分布有湖水,沉积了深灰色泥岩夹砂岩(见图11)。长9—长8期,湖侵规模加大,将长10期的三角洲体系全部淹没水下,长9末期在吴起—志丹—甘泉一带发育有效烃源岩李家畔页岩^[44],长9—长8期受西缘断裂的影响,湖盆西陡东缓,西部发育近源粗粒三角洲,东部发育远源细粒三角洲^[45-47]。

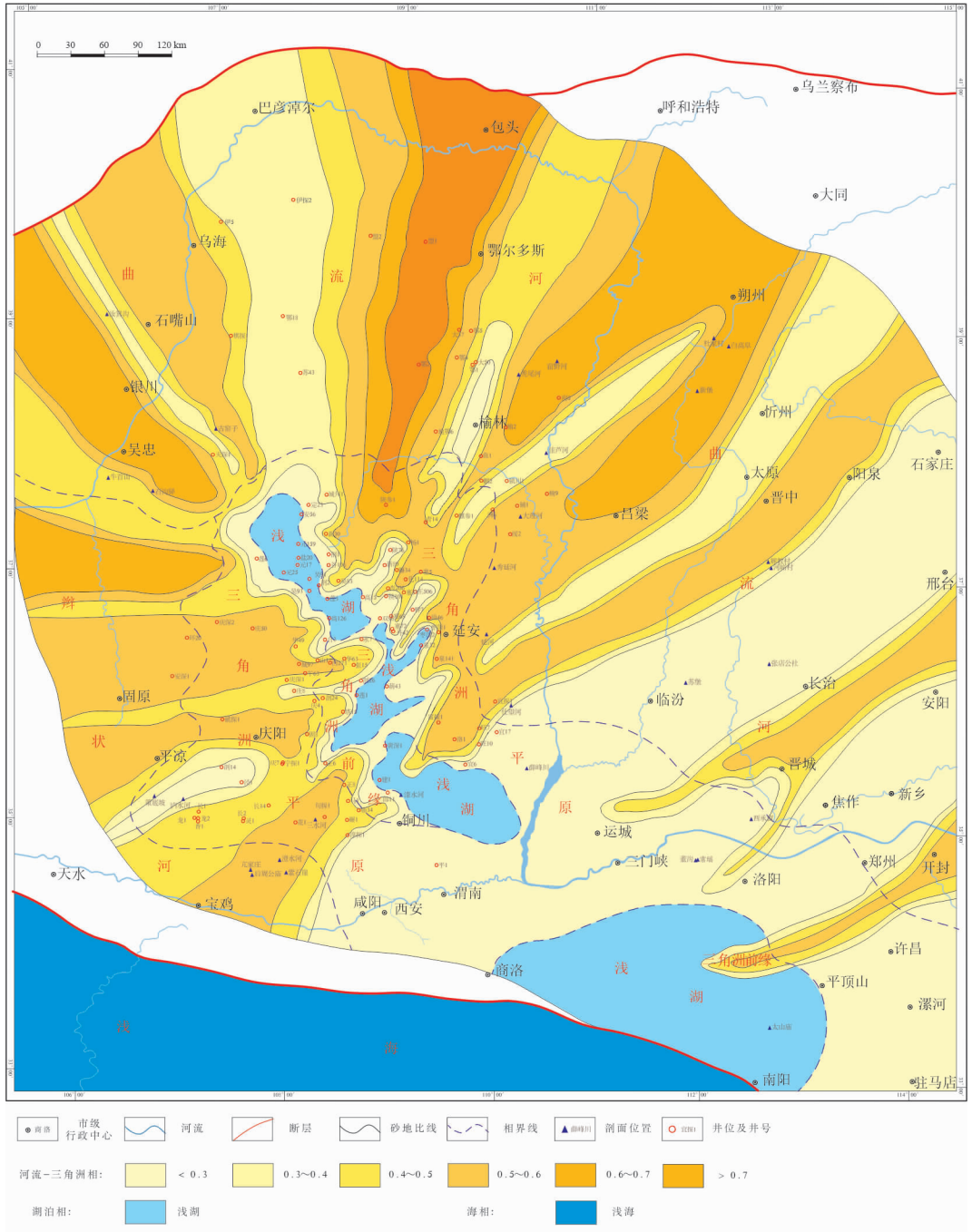


图11 鄂尔多斯盆地三叠纪延长组长10期沉积相图

Fig. 11 Sedimentary facies map of the Chang 10 Period in Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin

长 7 期为湖盆鼎盛期,铜川、宜君一带的油页岩厚度达 30 m 左右,为盆地主力烃源岩,深湖区浊积砂体为良好的储层;长 6 期主要发育浅水型三角洲,偶尔可见深水型三角洲(见图 12),与长 8、长 7 期大体相似,该时期突出的特征是东北、东部的物源大大加强。长 4 + 5 期继承了长 6 期的

沉积格局^[48-52]。长 3 期沉积作用再次加剧,三角洲向盆地进积,近南北向的分流河道也十分发育。长 2 期由于湖盆的持续收缩,北部三角洲连成一片。长 1 期由于秦岭的抬升,浅湖区支离破碎,局部存在深湖沉积,并发育浊积岩^[53-56]。

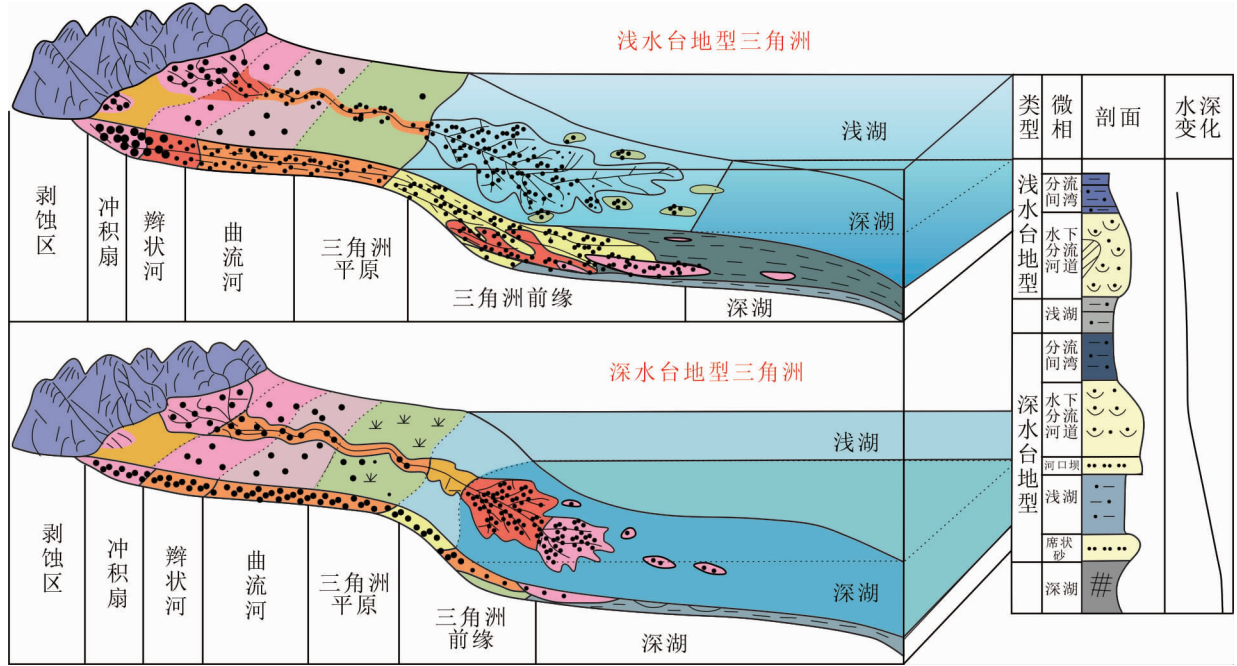


图 12 鄂尔多斯盆地三叠系延长组浅水台地型和深水盆地型三角洲沉积模式

Fig. 12 Sedimentary models of shallow water platform and deep water basin delta in the Triassic Yanchang Formation of the Ordos Basin

4.3 侏罗纪

早侏罗世富县组沉积初期,在河谷发育冲积或残积的红层,河流可分为低弯度砾砂质河流及低弯度砂质河流,均起到填平补齐作用。

中侏罗世延 10 期 5 条水系为低弯度河流,其中甘陕、庆西、宁陕和蒙陕古河为辫状河,河道砂坝中砂砾岩沉积厚度大,具明显的正韵律,晋陕古河缺少底部砾质河床滞留沉积,下切作用弱。根据古流向推测甘陕古河道应该继续向东流去,在河南三门峡、济源、焦作以及山西垣曲、临汾、晋城一带相当延安组地层中发现大量介形虫、叶肢介、瓣鳃类和鱼类化石,初步判断汇水区应该在这里^[1, 57-58]。延 9 期曲流河沉积发育,鄂尔多斯盆地中部及东南部吴起、子长、铜川、焦作一带为滨浅湖,四周注入多支吉尔伯特型三角洲^[58],上游地区特别是西北部地区发育曲流河、曲流河三角洲,河漫滩发育煤层(见图 13)。延 8 期三角洲沉积进一步扩大,薄层河道砂体与厚层泥岩的交互沉积^[2, 60-61]。延 7—延 6 期湖盆稳定充填期含煤

沼泽广泛发育,是主要的成煤期,河流作用减弱,三角洲前缘收缩。延 4 + 5 期盆地萎缩阶段河流沉积作用再次增强,滨浅湖规模减小。延 3、延 2 及延 1 期鄂尔多斯地区再次出现河流回春作用,湖泊萎缩,盆地逐渐消亡,构成了延安期完整的盆地沉积发育旋回^[58, 61]。

中侏罗世直罗期和安定期为侏罗纪的第二个沉积旋回。直罗组初期为辫状河沉积,后期逐渐演化为曲流河、三角洲及湖泊相。安定组初期为半深湖相,发育富含介形虫、瓣鳃类和鱼类化石的油页岩,后期发育富含菱铁矿与黄铁矿结核的紫红色、灰黑色泥岩、泥灰岩,为干热环境下的浅湖环境^[1-2, 58]。上述两个沉积旋回反映了大型内陆拗陷沉积盆地的形成、发展至萎缩、消亡的过程,每一个旋回由几个次一级的沉积旋回组成,导致岩性、岩相的多变性^[58-61]。

晚侏罗世芬芳河期盆地整体抬升,仅在盆地西缘一线发育一套巨厚的冲积扇砂砾岩沉积。

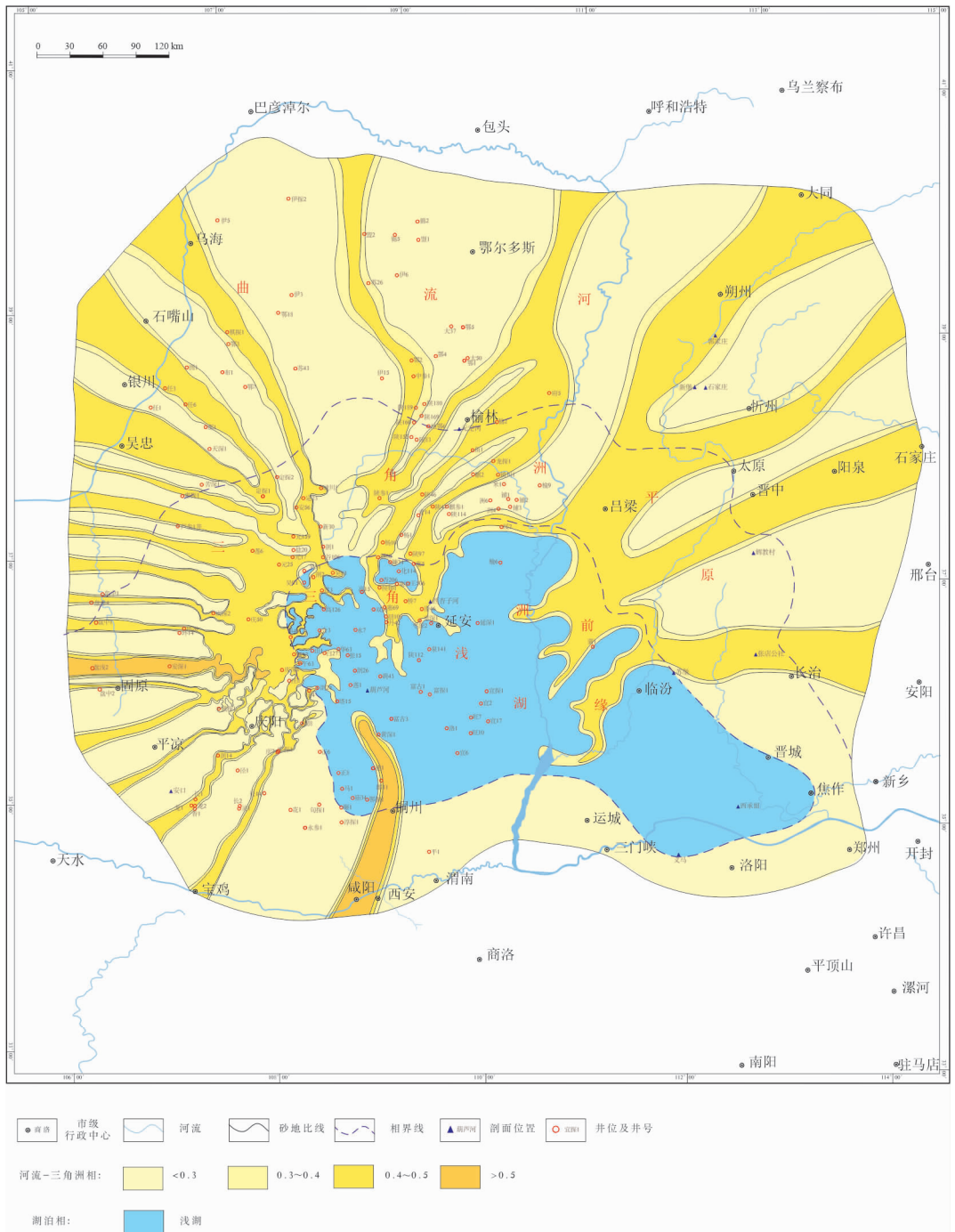


图 13 鄂尔多斯盆地侏罗纪延安组延 9 期沉积相图

Fig. 13 Sedimentary facies map of the Yan 9 period in Jurassic Yan'an Formation in the Ordos Basin

4.4 白垩纪

鄂尔多斯盆地下白垩统志丹群宜君期在宜君、旬邑、彬州一带发育杂色砾岩及含砾砂岩,为近源冲积扇,推测物源来自南部的秦岭与西南缘陇西古陆。洛河期乌审旗—榆林—靖边—延安—富县—黄陵一带为发育大型板状交错层理的沙漠相砂岩,以南以西为河流相,盐池—环县—庆阳一带为滨浅湖。环河—华池期湖侵面积扩大到鼎盛

期,横山—榆林一带缺失沉积,定边、靖边一线以北为河流相沉积,定边、靖边以南的盐池至庆阳一带为湖泊相沉积,盆地西南缘陇县及景福山一带为冲积扇沉积^[1, 62]。罗汉洞期盆地边部发育冲积扇、河流相,盆地西南部为沙漠相、河湖相,吴起、定边以西主要发育棕红色、紫红色具大型板状交错层理砂岩,为沙漠相。泾川期为白垩系第二个沙漠萎缩-消亡期,发育泥岩、砂岩夹泥灰岩,见

叶肢介、介形虫及鱼类化石^[2, 62], 主要为浅湖相沉积(见图 14)。

地相似, 围绕着中心的湖泊, 周缘发育沙漠、河流和三角洲沉积。

西缘的六盘山盆地白垩系沉积与鄂尔多斯盆

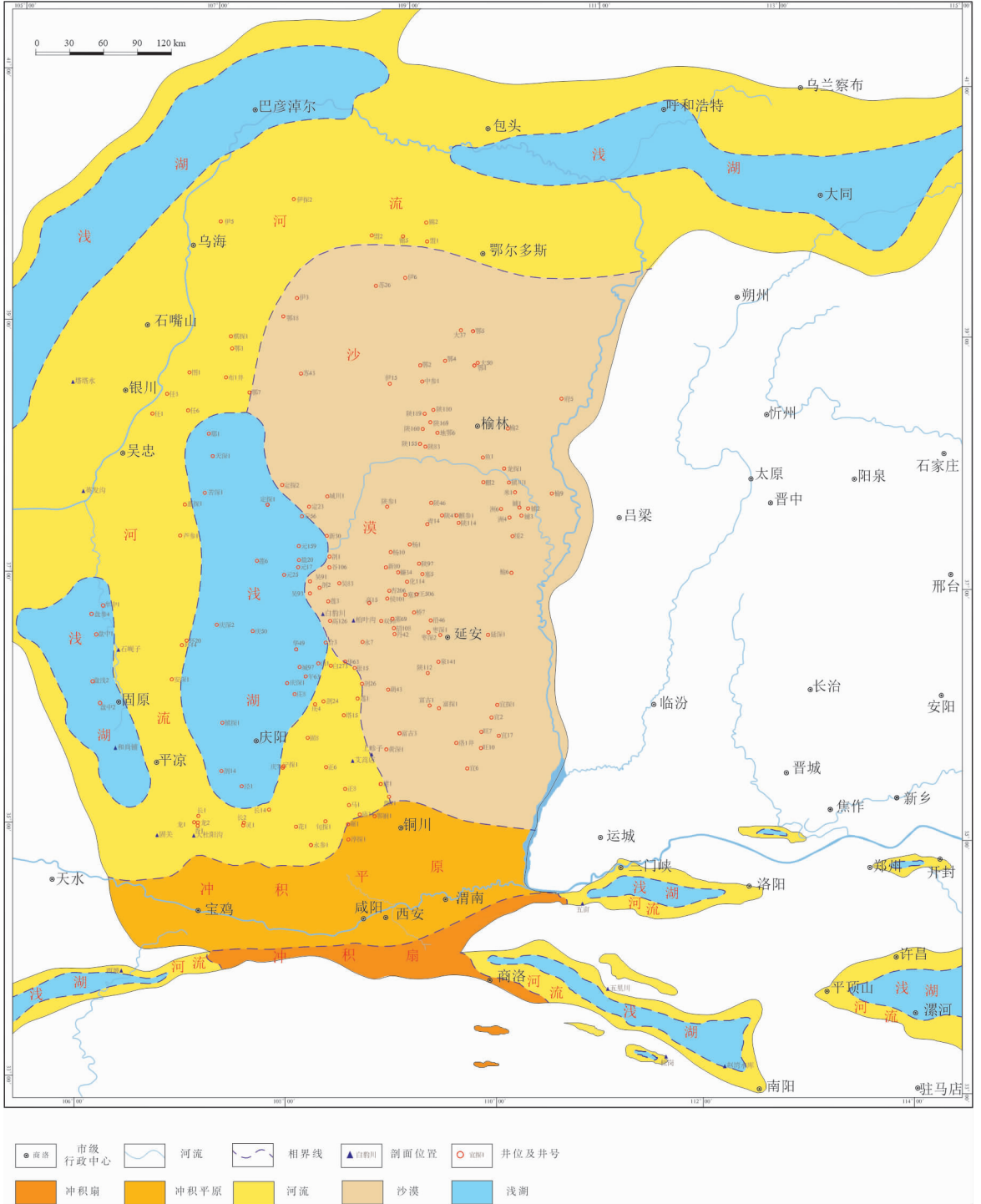


图 14 鄂尔多斯盆地白垩纪沉积相图

Fig. 14 Sedimentary facies map of the Cretaceous Period in the Ordos Basin

4.5 新生代沉积演化

新生代在鄂尔多斯周边发育一系列断陷盆地, 主要有河套盆地、银川盆地、汾渭盆地以及六

盘山盆地, 上述这些断裂盆地古近纪、新近系先后出现河流、三角洲和湖泊沉积(见图 15)。第四纪全盆发育风成黄土沉积^[63-65]。

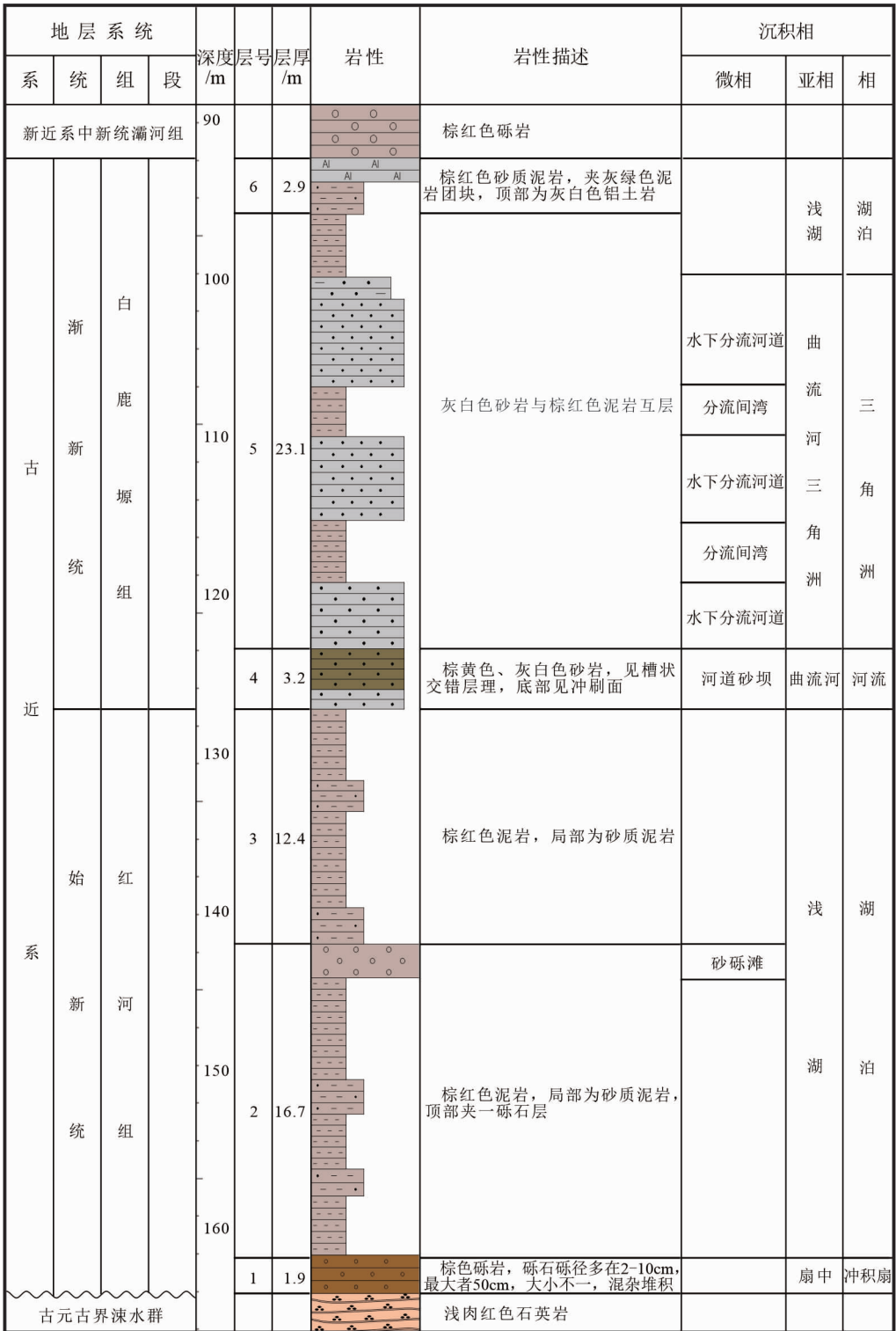


图 15 芮城西侯渡村剖面古近系沉积相综合柱状图

Fig. 15 Comprehensive column of sedimentary facies of Paleogene System in Xihoudu section of Ruicheng

5 结论

1) 中元古代鄂尔多斯盆地沉积了滨海相碎屑岩和燧石条带藻纹层白云岩, 新元古代南缘发

育滞留海盆, 随后在西南缘沉积了一套冰水沉积物组合及陆棚砂泥互层沉积物。

2) 早古生代早中寒武世发育海相沉积, 晚寒武世至早奥陶世盆地内部出现大面积古陆, 仅在周缘出现潮坪沉积, 中奥陶世盆地发育了三套蒸

发岩-碳酸盐岩旋回,晚奥陶世海水退出,盆地仅在西南缘发育沟-弧-盆体系。

3)晚奥陶世末盆地普遍抬升为陆地,自加里东运动抬升遭受长达近1.4亿年的风化剥蚀后,晚石炭世再次接受沉积。晚古生代沉积建造是在陆表海环境向大陆环境演化的大背景下形成的,其层序地层模式包括陆表海型、过渡型和河湖型等。

4)早中三叠世为河湖相和三角洲相红色碎屑岩沉积,中晚三叠世为河流-湖泊-三角洲沉积;侏罗纪是经早期沉积充填逐渐发育起来河湖相沉积;白垩纪盆地围绕着湖泊的周缘发育沙漠和河流沉积;盆地边缘古近纪、新近系出现河流、三角洲和湖泊沉积;第四纪发育大规模的风成黄土沉积。

参考文献

- [1] 李文厚,陈强,李克永,等.鄂尔多斯盆地野外剖面沉积相图集[M].北京:地质出版社,2023.
- [2] 李玉宏,李文厚,张倩,等.鄂尔多斯盆地及周缘沉积相图册[M].北京:地质出版社,2020.
- [3] 李蒙.鄂尔多斯西缘奥陶纪沉积与构造演化研究[D].西安:西北大学,2019.
- [4] 李文厚.华北地台南缘高山河群碎屑岩潮坪沉积[J].沉积学报,1991,9(3):98-104.
LI W H. Clastic tidal flat deposits of Ganshanhe Group in the Southern margin of the North China Platform[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1991, 9(3): 98-104.
- [5] 欧阳征健,冯娟萍,马海勇,等.鄂尔多斯地区中元古界长城系沉积特征研究[J].西北大学学报(自然科学版),2020,50(1):105-112.
OUYANG Z J, FENG J P, MA H Y et al. The sedimentary characteristics of the Middle Proterozoic Changchengian system in Ordos area[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2020, 50(1): 105-112.
- [6] 胡明毅,贺萍.潮坪风暴沉积特征及其研究意义[J].地球科学进展,2002,17(3):391-395.
HU M Y, HE P. The study of tidal storm deposits and its research significance[J]. Advances in Earth Science, 2002, 17(3): 391-395.
- [7] 李文厚.华北地台南缘(陕西部分)蓟县纪碳酸盐潮坪沉积[J].岩相古地理,1989,4(4):20-26.
LI W H. The Jixianian carbonate tidal flat sediments on the Southern margin of the North China Platform (Shaanxi) [J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1989, 4(4): 20-26.
- [8] 包洪平,邵东波,郝松立,等.鄂尔多斯盆地基底结构及早期沉积盖层演化[J].地学前缘,2019,26(1):33-43.
BAO H P, SHAO D B, HAO S L, et al. Basement structure and evolution of early sedimentary cover of the Ordos Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2019, 26(1): 33-43.
- [9] 王晓晨.鄂尔多斯西南缘寒武纪沉积体系及岩相古地理研究[D].西安:西北大学,2018.
- [10] 李文厚,陈强,李智超,等.鄂尔多斯地区早古生代岩相古地理[J].古地学报,2012,14(1):85-100.
LI W H, CHEN Q, LI Z C, et al. Lithofacies palaeogeography of the Early Paleozoic in Ordos area [J]. Journal of Palaeogeography, 2012, 14(1): 85-100.
- [11] 李文厚,张倩,陈强,等.鄂尔多斯盆地及周缘地区早古生代沉积演化[J].西北大学学报(自然科学版),2020,50(3):113-12.
LI W H, ZHANG Q, CHEN Q, et al. Sedimentary evolution of Early Paleozoic in Ordos Basin and its adjacent areas [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2020, 50(3): 113-12.
- [12] 张抗.鄂尔多斯断块构造和资源[M].西安:陕西科学技术出版社,1989.
- [13] 陈强.鄂尔多斯西南缘下古生界岩相古地理研究[D].西安:西北大学,2011.
- [14] 付锁堂,付金华,席胜利,等.鄂尔多斯盆地奥陶系海相页岩气地质特征及勘探前景[J].中国石油勘探,2021,26(2):33-44.
FU S T, FU J H, XI S L, et al. Geological characteristics of Ordovician marine shale gas in the Ordos Basin and its prospects [J]. China Petroleum Exploration, 2021, 26(2): 33-44.
- [15] 付金华,郭彦如,赵振宇,等.鄂尔多斯盆地奥陶纪层序岩相古地理[M].北京:石油工业出版社,2020.
- [16] 包洪平,任军峰,黄正良,等.鄂尔多斯盆地奥陶系沉积与天然气成藏[M].北京:石油工业出版社,2023.
- [17] 陈强,李文厚,李智超,等.鄂尔多斯西南缘奥陶系碳酸盐重力沉积及古地理意义[J].西北大学学报(自然科学版),2020,50(1):113-123.
CHEN Q, LI W H, LI Z C, et al. Ordovician carbonate gravity deposition in the southern margin of Ordos and its palaeogeographical significance [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2020, 50(1): 113-123.
- [18] SUN J P, DONG Y P. Cambrian tectonic evolution of the northwestern Ordos Terrane, North China [J]. International Journal of Earth Sciences, 2019, 108: 569-586.
- [19] SUN J P, DONG Y P. Ordovician tectonic shift in the

- western North China Craton constrained by stratigraphic and geochronological analyses[J]. *Basin Research*, 2020, 32(6):1413-1440.
- [20] SUN J P, DONG Y P. Stratigraphy and geochronology of the Permo-Carboniferous strata in the Western North China Craton: insights into the tectonic evolution of the southern Paleo-Asian ocean[J]. *Gondwana Research*, 2020, 88: 201-219.
- [21] 吴胜和, 冯增昭, 张吉森. 鄂尔多斯地区西缘及南缘中奥陶统平凉组重力流沉积[J]. *石油与天然气地质*, 1994, 15(3): 226-234.
- WU S H, FENG Z Z, ZHANG J S. Sedimentology of gravity flow deposits of Middle Ordovician Pingliang Formation in west and south margins of Ordos[J]. *Oil & Gas Geology*, 1994, 15(3): 226-234.
- [22] 梅志超, 李文厚. 陕西富平中-上奥陶统深水碳酸盐重力流沉积模式[J]. *沉积学报*, 1986, 4(1): 34-42.
- MEI Z C, LI W H. Depositional model of deep water carbonate gravity flows in the Middle-Upper Ordovician series in Fuping, Shaanxi Province[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1986, 4(1): 34-42.
- [23] 严卫宏. 鄂尔多斯盆地西北部上古生界沉积体系与层序地层学研究[D]. 西安:西北大学,2002.
- [24] 陈全红. 鄂尔多斯盆地上古生界沉积体系及油气富集规律研究[D]. 西安:西北大学,2007.
- [25] 马强. 鄂尔多斯盆地延长油区上古生界物源及沉积相研究[D]. 西安:西北大学,2009.
- [26] 冯娟萍, 欧阳征健, 陈全红, 等. 鄂尔多斯盆地及周缘地区上石炭统沉积特征[J]. *古地理学报*, 2021, 23(1): 53-64.
- FENG J P, OUYANG Z J, CHEN Q H, et al. Sedimentary characteristics of the Upper Carboniferous in Ordos Basin and its adjacent areas [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2021, 23(1): 53-64.
- [27] 陈全红, 李克永, 张道峰, 等. 鄂尔多斯盆地本溪组-太原组扇三角洲沉积与油气聚集的关系[J]. *中国地质*, 2010, 37(2): 421-429.
- CHEN Q H, LI K Y, ZHANG D F, et al. The relationship between fan delta and hydrocarbon accumulation in Benxi-Taiyuan Formation, Ordos Basin [J]. *Geology in China*, 2010, 37(2): 421-429.
- [28] 李洁. 晚古生代鄂尔多斯盆地沉积-层序充填特征与物质分布规律[D]. 成都:成都理工大学,2011.
- [29] 席胜利, 李文厚, 刘新社, 等. 鄂尔多斯盆地神木地区下二叠统太原组浅水三角洲沉积特征[J]. *古地理学报*, 2009, 11(2): 187-194.
- XI S L, LI W H, LIU X S, et al. Sedimentary characteristics of shallow water delta of the Lower Permian Taiyuan Formation in Shenmu area, Ordos Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2009, 11(2): 187-194.
- [30] 李文厚, 张倩, 李克永, 等. 鄂尔多斯盆地及周缘地区晚古生代沉积演化[J]. *古地理学报*, 2021, 23(1): 39-52.
- LI W H, ZHANG Q, LI K Y, et al. Sedimentary evolution of the Late Paleozoic in Ordos Basin and its adjacent areas [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2021, 23(1): 39-52.
- [31] 郭艳琴, 赵灵生, 郭彬程, 等. 鄂尔多斯盆地及周缘地区下二叠统沉积特征[J]. *古地理学报*, 2021, 23(1): 66-80.
- GUO Y Q, ZHAO L S, GUO B C, et al. Sedimentary characteristics of the Lower Permian in Ordos Basin and its adjacent areas [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2021, 23(1): 66-80.
- [32] 马瑶, 李文厚, 张倩, 等. 鄂尔多斯盆地及周缘地区中二叠统沉积特征[J]. *古地理学报*, 2021, 23(1): 81-92.
- MA Y, LI W H, ZHANG Q, et al. Sedimentary characteristics of the middle Permian in Ordos Basin and its adjacent area [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2021, 23(1): 81-92.
- [33] 李克永, 李文厚, 宇振昆, 等. 鄂尔多斯盆地二叠系盒8期源-汇系统时空耦合控砂机制[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2020, 50(2): 183-192.
- LI K Y, LI W H, YU Z K, et al. Spatial-temporal coupling sand control mechanism of Permian source-to-sink system in Ordos Basin [J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2020, 50(2): 183-192.
- [34] 张道峰, 李承善, 刘文香, 等. 鄂尔多斯盆地及周缘地区上二叠统沉积特征[J]. *古地理学报*, 2021, 23(1): 93-104.
- ZHANG D F, LI C S, LIU W X, et al. Sedimentary characteristics of the Upper Permian in Ordos Basin and its adjacent areas [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2021, 23(1): 93-104.
- [35] 林松松, 杨起, 李思田. 贺兰拗拉槽盆地充填演化分析[M]. 北京:地质出版社,1995.
- [36] 陈钟惠. 鄂尔多斯盆地东缘晚古生代含煤岩系的沉积环境和聚煤规律[M]. 湖北:中国地质大学出版社, 1989.
- [37] 林进, 李云, 何剑, 等. 鄂尔多斯延长探区本溪组物源及沉积体系分析[J]. *中国地质*, 2013, 40(5): 1542-1551.
- LIN J, LI Y, HE J, et al. An analysis of the source

and sedimentary system of the Carboniferous Benxi Formation in Yanchang area of Ordos Basin[J]. *Geology in China*, 2013, 40(5): 1542-1551.

[38] 陈世悦, 刘焕杰. 华北石炭-二叠纪层序地层格架及其特征[J]. *沉积学报*, 1999, 17(1): 63-70.
CHEN S Y, LIU H J. Sequence stratigraphic framework and its characteristics of the Carboniferous-Permian in North China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(1): 63-70.

[39] 郭英海, 刘焕杰, 权彪, 等. 鄂尔多斯地区晚古生代沉积体系及古地理演化[J]. *沉积学报*, 1998, 16(3): 44-51.
GUO Y H, LIU H J, QUAN B, et al. Late Paleozoic sedimentary system and paleogeographic evolution of Ordos Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 16(3): 44-51.

[40] 楚道亮, 缪雪, 吴玉祥, 等. 陕西渭北二叠纪—三叠纪之交叶肢介化石及其地层对比[J]. *地球科学*, 2018, 43(11): 3910-3921.
CHU D L, MIAO X, WU Y X. Conchostracans from the Permian-Triassic Transition in Weibei Area of Shaanxi Province and its Biostratigraphic [J]. *Earth Science*, 2018, 43(11): 3910-3921.

[41] 张利伟, 姚建新, 牛永斌. 豫西地区下三叠统刘家沟组砾岩成因探讨[J]. *地质通报*, 2017, 36(6): 1056-1063.
ZHANG L W, YAO J X, NIU Y B. The genesis of conglomerate in Lower Triassic Liujiagou Formation of western He'nan Province[J]. *Geological Bulletin of China*, 2017, 36(6): 1056-1063.

[42] 梅志超, 林晋炎. 湖泊三角洲的地层模式和骨架砂体的特征[J]. *沉积学报*, 1991, 9(4): 1-11.
MEI Z C, LIN J Y. Stratigraphic pattern and character of skeletal sand bodies in lacustrine deltas[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1991, 9(4): 1-11.

[43] 唐国龙. 鄂尔多斯盆地纸坊组发育特征及烃源岩评价[D]. 成都: 成都理工大学, 2016.

[44] 李文厚, 刘溪, 张倩, 等. 鄂尔多斯盆地中晚三叠世延长期沉积演化[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2019, 49(4): 605-621.
LI W J, LIU X, ZHANG Q, et al. Deposition evolution of Middle-Late Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2019, 49(4): 605-621.

[45] 陈全红. 鄂尔多斯盆地南部三叠系延长组沉积体系与层序地层学研究[D]. 西安: 西北大学, 2004.

[46] 武富礼, 李文厚, 李玉宏, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组三角洲沉积及演化[J]. *古地理学报*, 2004, 6(3): 307-315.
WU F L, LI W H, LI Y H, et al. Delta sediments and evolution of the Yanchang Formation of Upper Triassic in Ordos Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2004, 6(3): 307-315.

[47] 屈红军, 杨县超, 曹金舟, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组深层油气聚集规律[J]. *石油学报*, 2011, 32(2): 243-248.
QU H J, YANG X C, CAO J Z, et al. Oil accumulation rules in deep zones of Upper Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(2): 243-248.

[48] 刘溪. 鄂尔多斯盆地东、南部中晚三叠世延长期原型盆地分析[D]. 西安: 西北大学, 2019.

[49] 冯娟萍, 李文厚, 欧阳征健. 鄂尔多斯盆地黄陵地区上三叠统延长组长 7、长 6 油层组浊积岩沉积特征及地质意义[J]. *古地理学报*, 2012, 14(3): 295-302.
FENG J P, LI W H, OUYANG Z J. Sedimentary characters and geological implication of turbidite of the Chang 6 and Chang 7 intervals of Upper Triassic Yanchang Formation in Huangling area, Ordos Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2012, 14(3): 295-302.

[50] 石玉江, 李文厚, 王长胜, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组长 7 段浊积扇对油气聚集的控制[J]. *地质通报*, 2012, 35(2/3): 406-414.
SHI Y J, LI W H, WANG C S, et al. Turbidite fan and its controlling effects on hydrocarbon accumulation in the Chang 7 Member of Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. *Geological Bulletin of China*, 2012, 35(2/3): 406-414.

[51] 李玉宏, 武富礼, 姜亭, 等. 陕西省铜川-黄陵地区三叠系油页岩及伴生油气资源[M]. 北京: 地质出版社, 2014.

[52] 郭艳琴, 李文厚, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组致密储层特征及油藏富集规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2016.

[53] 马瑶, 李文厚, 等. 鄂尔多斯盆地陕北地区低渗透砂岩储层特征及油藏富集规律[M]. 北京: 中国石化出版社, 2018.

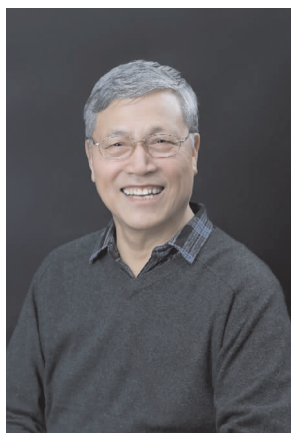
[54] 郭艳琴, 李文厚, 郭彬程, 等. 鄂尔多斯盆地沉积体系与古地理演化[J]. *古地理学报*, 2019, 21(2): 293-320.
GUO Y Q, LI W H, GUO B C, et al. Sedimentary systems and palaeogeography evolution of Ordos Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2019, 21(2): 293-320.

[55] 陈全红, 李文厚, 高永祥, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组深湖沉积与油气聚集意义[J]. *中国科*

- 学(D辑:地球科学), 2007, 37(A01): 39-48.
- CHEN Q H, LI W H, GAO Y X, et al. The deep-lake deposit in the Upper Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin, China and its significance for oil-gas accumulation[J]. Science in China Series D: Earth Science, 2007, 37(A01): 39-48.
- [56] 李文厚, 庞军刚, 曹红霞, 等. 鄂尔多斯盆地晚三叠世延长期沉积体系及岩相古地理演化[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2009, 39(3): 501-506.
- LI W H, PANG J G, CAO H X, et al. Depositional system and paleogeographic evolution of the Late Triassic Yanchang Stage in Ordos Basin[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2009, 39(3): 501-506.
- [57] 梁积伟. 鄂尔多斯盆地侏罗系沉积体系和层序地层学研究[D]. 西安: 西北大学, 2007.
- [58] 张倩, 李文厚, 刘文汇, 等. 鄂尔多斯盆地侏罗纪沉积体系及古地理演化[J]. 地质科学, 2021, 56(4): 1106-1119.
- ZHANG Q, LI W H, LIU W H, et al. Jurassic sedimentary system and paleogeographic evolution of Ordos Basin[J]. Chinese Journal of Geology, 2021, 56(4): 1106-1119.
- [59] 时志强, 韩永林, 赵俊兴, 等. 鄂尔多斯盆地中南部中侏罗世延安期沉积体系及岩相古地理演化[J]. 地球学报, 2003, 24(1): 49-54.
- SHI Z Q, HAN Y L, ZHAO J X, et al. Depositional system and paleogeographic evolution of the Middle Jurassic Yan'an Stage in the Central and Southern Ordos Basin[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2003, 24(1): 49-54.
- [60] 白卫卫. 鄂尔多斯盆地南部侏罗系延安组沉积体系研究[D]. 西安: 西北大学, 2007.
- [61] 张佳琪, 魏红红, 王宏波. 志丹探区侏罗系-上三叠统沉积环境和沉积相[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1998, 28(4): 52-56.
- ZHANG J Q, WEI H H, WANG H B. Sedimentary environment and facies of the Jurassic to Upper Triassic in the Zhidan exploration area[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 1998, 28(4): 52-56.
- [62] 庞军刚, 李文厚, 国吉安, 等. 鄂尔多斯盆地白垩纪沉积体系及古地理演化[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2021, 51(2): 314-324.
- PANG J G, LI W H, GUO J A, et al. Depositional system and paleogeographic evolution of the Cretaceous of Ordos Basin[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2021, 51(2): 314-324.
- [63] 李文厚, 李智超, 李克永, 等. 渭河盆地新生代沉积体系与岩相古地理演化[M]. 北京: 地质出版社, 2023.
- [64] 李兆雨, 李永项, 李文厚, 等. 汾渭盆地古近系-新近系沉积特征[J]. 地质科学, 2021, 56(4): 1120-1133.
- LI Z Y, LI Z C, LI W H, et al. Sedimentary characteristics of Paleogene-Neogene in Feiwei Basin[J]. Chinese Journal of Geology, 2021, 56(4): 1120-1133.
- [65] 李智超, 李文厚, 李永项, 等. 渭河盆地新生代沉积相研究[J]. 古地理论, 2015, 17(4): 529-540.
- LI Z C, LI W H, LI Y X, et al. Sedimentary facies of the Cenozoic in Weihe Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2015, 17(4): 529-540.

(编辑 亢小玉)

作者简介



李文厚, 西北大学地质学系教授、博士生导师。曾兼任中国科学院地质与地球物理所博士生导师、山东科技大学和西安石油大学兼职教授, 中国石油地质专业委员会沉积学组委员、中国矿物岩石地球化学学会岩相古地理专业委员会委员, 《古地理论》编委, 长期致力于沉积学、岩相古地理学及石油地质学科研与教学工作。先后主讲沉积岩石学、晶体光学、沉积环境与沉积相、碳酸盐岩岩石学等课程, 以及秦岭与鄂尔多斯盆地大剖面野外教学与科学研究工作。自任教以来, 指导博士 78 人, 硕士 88 人。承担国家重大专项、973 项目、国家基金项目、国土资源部项目及各大油田等科研项目 130 余项。以第一作者、通讯作者发表论文 100 余篇, 合撰专著 10 部、教材 3 部。先后合作获国家科技进步二等奖 1 项和省部级科技进步一等奖 3 项、二等奖 3 项、三等奖 5 项, 国家级教学成果二等奖 1 项, 陕西省教学成果特等奖 1 项。