

DOI: 10.12401/j.nwg.2023011

鄂尔多斯地区成矿谱系及成矿演化史

杨合群, 赵国斌, 陈高潮, 李玉宏, 姜寒冰*, 李宗会

(中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安, 710054)

摘要: 鄂尔多斯地区包含鄂尔多斯西缘和鄂尔多斯盆地 2 个三级成矿单元。笔者对鄂尔多斯西缘成矿带厘定矿床成矿系列 12 个, 解析亚系列 19 个; 鄂尔多斯盆地成矿区厘定矿床成矿系列 8 个, 解析亚系列 14 个。以矿床成矿系列为基础建立了整个鄂尔多斯地区成矿谱系; 以矿床成矿亚系列为基础分别细化了鄂尔多斯西缘成矿谱系和鄂尔多斯盆地成矿谱系; 按前寒武纪—早古生代—晚古生代—中新生代地质进程, 概述了区域成矿演化史, 并例举了大量沉积作用、岩浆作用、变质作用、流体作用和表生作用相关矿床实例, 使读者既可了解区域成矿总体格架, 也可查询所关注的具体矿床。

关键词: 成矿系列; 成矿谱系; 成矿演化史; 鄂尔多斯地区

中图分类号: P612

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)02-0175-12

Metallogenic Pedigree and Metallogenic Evolution History in Ordos Area, China

YANG Hequn, ZHAO Guobin, CHEN Gaochao, LI Yuhong, JIANG Hanbing*, LI Zonghui

(Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Ordos area consist of two metallogenic belts: Ordos basin and its western margin. There are 12 metallogenic series and 19 metallogenic subseries of mineral deposits in the metallogenic belt of western margin of Ordos basin, and 8 metallogenic series and 14 metallogenic subseries of mineral deposits in the metallogenic zone of Ordos basin. Based on these metallogenic series of mineral deposits, the metallogenic pedigree of Ordos area was established. According to these metallogenic subseries of mineral deposits, the refined gional metallogenic pedigrees of Ordos basin and its western margin were established. The rule of regional Metallogenic evolution was summarized in sequence from Precambrium, Early Paleozoic, Neopaleozoic, Mesozoic to Cenozoic. In order to help readers not only understand the regional metallogenic evolution history, but also can query concrete deposits which they are interested in, a lot of deposit examples which related to sedimentation, magmatism, metamorphism and supergenesis are enumerated in this article.

Keywords: metallogenic serie; metallogenic pedigree; metallogenic evolution history; Ordos Area

鄂尔多斯地区大地构造归属华北陆块之鄂尔多斯陆块, 曾经历漫长地质演化过程, 成矿类型多样, 优

势矿种为煤炭、石油、天然气(含煤层气)、油页岩、铀、地热、铝土矿、磷、石盐、石膏、芒硝、天然碱、石

收稿日期: 2022-01-11; 修回日期: 2022-09-23; 责任编辑: 姜寒冰

基金项目: 中国地质调查局“中国矿产地质志”项目(DD20160346、DD20190379、DD20221695)下属子项目“西北地区区域成矿规律研究与总结”资助。

作者简介: 杨合群(1953-), 男, 研究员, 从事成矿规律及矿产预测研究。E-mail: xayhqun@126.com。

* 通讯作者: 姜寒冰(1979-), 女, 高级工程师, 从事成矿规律及矿产预测研究。E-mail: jianghanbing1980@126.com。

灰岩、白云岩、硅石类、黏土岩类、地下水和矿泉水等,是中国最重要的矿产资源基地之一。根据全国成矿区带划分方案(徐志刚等,2008),本区划分西部的鄂尔多斯西缘成矿带(Ⅲ-59)与中东部的鄂尔多斯成矿区(Ⅲ-60)2个Ⅲ级成矿单元。鄂尔多斯西缘成矿带(Ⅲ-59)面积为5.1万km²,西界为贺兰山西缘断裂和青铜峡-固原断裂,东界为阿色浪-车道断裂和岐山-哑柏断裂。鄂尔多斯成矿区(Ⅲ-60)面积为20.6万km²,北界为狼山-色尔腾山山前断裂和乌拉山山前断裂-大青山山前断裂,南界为岐山-哑柏断裂、渭北山前断裂和韩城-朝邑断裂;东界为呼和浩特-河曲断裂和紫荆山-离石断裂。近年来,该区已重视运用成矿系列理论开展相关研究(谭文娟等,2015),但尚未建立区域成矿谱系。笔者按矿种和矿床类型全覆盖原则,对这2个三级成矿单元分别重新厘定矿床成矿系列,解析矿床成矿亚系列,在此基础上建立区域成矿谱系,概略论述区域成矿演化史。

1 区域成矿谱系

中国地质学家经过长期研究,建立了矿床的成矿系列理论(程裕淇等,1979,1983;陈毓川等,2006,2015,2016;王登红等,2020)。其中,矿床成矿系列是基础,将矿床成矿系列放在区域地质构造时空背景中即可构建区域成矿谱系。

厘定矿床成矿系列,需考虑4个要素:成矿空间、成矿时间、成矿作用和矿种组合。这4种要素缺一不可。本文将这种认识概括为如下公式:

矿床成矿系列=(成矿空间)·(成矿时间)·(成矿作用)·(A矿种+B矿种+...)

成矿空间采用三级成矿单元范围;成矿时间一般以大地构造旋回为限,也可以“代”为基本单位;成矿作用划分为岩浆作用(I)、沉积作用(S)、变质作用(M)、流体作用(F)和表生作用(H)等5种类型。需要指出的是,通常所说的岩浆热液作用归属岩浆作用(I),变质热液作用归属变质作用(M),而非岩浆-非变质流体作用划归流体作用(F)。

根据上述方法,笔者分别厘定了鄂尔多斯西缘成矿带(Ⅲ-59)和鄂尔多斯盆地成矿区(Ⅲ-60)矿床成矿系列,然后按成矿时代-成矿单元格架构建了鄂尔多斯地区成矿谱系(表1)。

2 各单元成矿谱系

上面厘定的矿床成矿系列,仅是一种粗线条的归纳。笔者通过细化成矿时段或细化成矿作用将矿床成矿系列解析为矿床成矿亚系列(图1、图2),以便更清晰地反映区域成矿规律。例如,中生代细分三叠纪、侏罗纪和白垩纪;岩浆作用细分火山岩浆作用(或海相火山作用、陆相火山作用)、侵入岩浆作用(超基性岩浆侵入作用、基性岩浆侵入作用、中酸性岩浆侵入作用和碱性岩浆侵入作用)。一般一个矿床成矿系列可解析出多个矿床成矿亚系列。

笔者分别编制了鄂尔多斯西缘成矿带(Ⅲ-59)和鄂尔多斯盆地成矿区(Ⅲ-60)矿床成矿亚系列的成矿时代-成矿作用-地质构造环境图解,更细化地展现2个Ⅲ级成矿单元成矿环境和成矿作用随着时代进程的变化规律(图1、图2)。

3 区域成矿演化史

对鄂尔多斯西缘成矿带(图1)和鄂尔多斯盆地成矿区(图2),按前寒武纪、早古生代、晚古生代、中生代4大时段,来概略论述区域成矿演化史。

3.1 前寒武纪成矿演化史

3.1.1 新太古代—古元古代成矿

太古代—古元古代是盆地基底形成的主要时期。由于经历了多次构造运动,盆地基底岩系发生变质、混合岩化及褶皱作用,由此形成复杂变质岩系,并最终在吕梁运动后形成了稳定的结晶基底。这一时期的成矿作用大多与强烈变质作用、超变质作用(混合岩化)有关,个别与岩浆作用有关。

(1) 鄂尔多斯西缘成矿带(Ⅲ-59)

鄂尔多斯西缘成矿带北段,古元古代沉积变质作用形成有铁矿床、石墨矿床(例如,内蒙乌海市千里山、察干郭勒铁矿床,鄂托克旗哈龙拐、采台山、洪哲、千里沟铁矿床,马斯亥沟、毛贲音沟超贫磁铁矿床,恰布嘎图石墨及超贫磁铁矿床);古元古代中晚期混合花岗岩化作用有关伟晶岩形成白云母矿床(例如,宁夏石嘴山市程子山、榆树沟伟晶白云母矿床),有关热液形成脉石英矿床(例如,宁夏石嘴山市道路沟脉石英矿床);古元古代晚期基性岩浆侵入作用形成辉绿岩

表1 鄂尔多斯地区成矿谱系

Tab. 1 Metallogenic pedigree in Ordos Area

成矿时代	成矿单元	
	鄂尔多斯西缘成矿带(Ⅲ-59)	鄂尔多斯盆地成矿区(Ⅲ-60)
新生代(Cz)		鄂尔多斯盆地新生代表生作用有关风化煤(腐殖酸肥料煤)矿床成矿系列
	鄂尔多斯西缘新生代沉积作用有关砂金、石英砂、黄土、黏土、膨润土、膏硝酸盐矿床成矿系列	鄂尔多斯盆地新生代沉积作用有关砂金、石英砂、黄土、黏土、泥炭、膏硝碱盐矿床成矿系列
中生代(Mz)	鄂尔多斯西缘中生代流体作用有关金、铜、铅、锌、铁、铀、地下水、矿泉水、地热水矿床成矿系列	鄂尔多斯盆地中生代流体作用有关铀、地下水、矿泉水、地热水矿床成矿系列
		鄂尔多斯盆地中生代岩浆作用有关含钾岩石、磷灰石矿床成矿系列
晚古生代(Pz ₂)	鄂尔多斯西缘中生代沉积作用有关紫砂陶土、油气源岩、黏土、高岭土、煤矿床成矿系列	鄂尔多斯盆地中生代沉积作用有关石英砂岩、煤、油页岩、油气源岩、紫砂陶土、黏土、方沸石、膨润土、石膏矿床成矿系列
	鄂尔多斯西缘晚古生代沉积作用有关铁、铝、黏土、高岭土、煤(气源岩)、紫砂陶土矿床成矿系列	鄂尔多斯盆地晚古生代沉积作用有关铁、铝、硫铁矿、黏土、高岭土、煤(气源岩)矿床成矿系列
早古生代(Pz ₁)	鄂尔多斯西缘早古生代岩浆作用有关辉绿岩矿床成矿系列	
	鄂尔多斯西缘早古生代沉积作用有关磷、白云岩、灰岩、页岩矿床成矿系列	鄂尔多斯盆地早古生代沉积作用有关白云岩、灰岩、石膏、石盐矿床成矿系列
新元古代(Pt ₃)	鄂尔多斯西缘新元古代岩浆作用有关铬、镍、铜、钛、铁矿床成矿系列	
	鄂尔多斯西缘新元古代沉积作用有关铁、石英砂岩矿床成矿系列	
中元古代(Pt ₂)	鄂尔多斯西缘中元古代沉积作用有关白云岩矿床成矿系列	
	鄂尔多斯西缘中元古代变质作用有关铁、硅石、砚石矿床成矿系列	
古元古代(Pt ₁)	鄂尔多斯西缘古元古代岩浆作用有关辉绿岩矿床成矿系列	
	鄂尔多斯西缘古元古代变质作用有关铁、伟晶白云母、脉石英矿床成矿系列	
新太古代(Ar ₃)	鄂尔多斯盆地新太古代变质作用有关铁矿床成矿系列	

矿床(例如,宁夏石嘴山市正谊关沟辉绿岩矿床)。

(2) 鄂尔多斯盆地成矿区(Ⅲ-60)

鄂尔多斯盆地成矿区东南缘韩城禹门口一带,零星出露的涑水岩群中发现有新太古代混合岩化作用形成的铁矿床(例如,陕西韩城市阳山庄、西北庄铁矿床),赋存于涑水岩群混合片麻岩-混合岩化黑云更长片麻岩-角闪更长片麻岩-磁石英岩中。矿体由磁铁矿脉群组成。

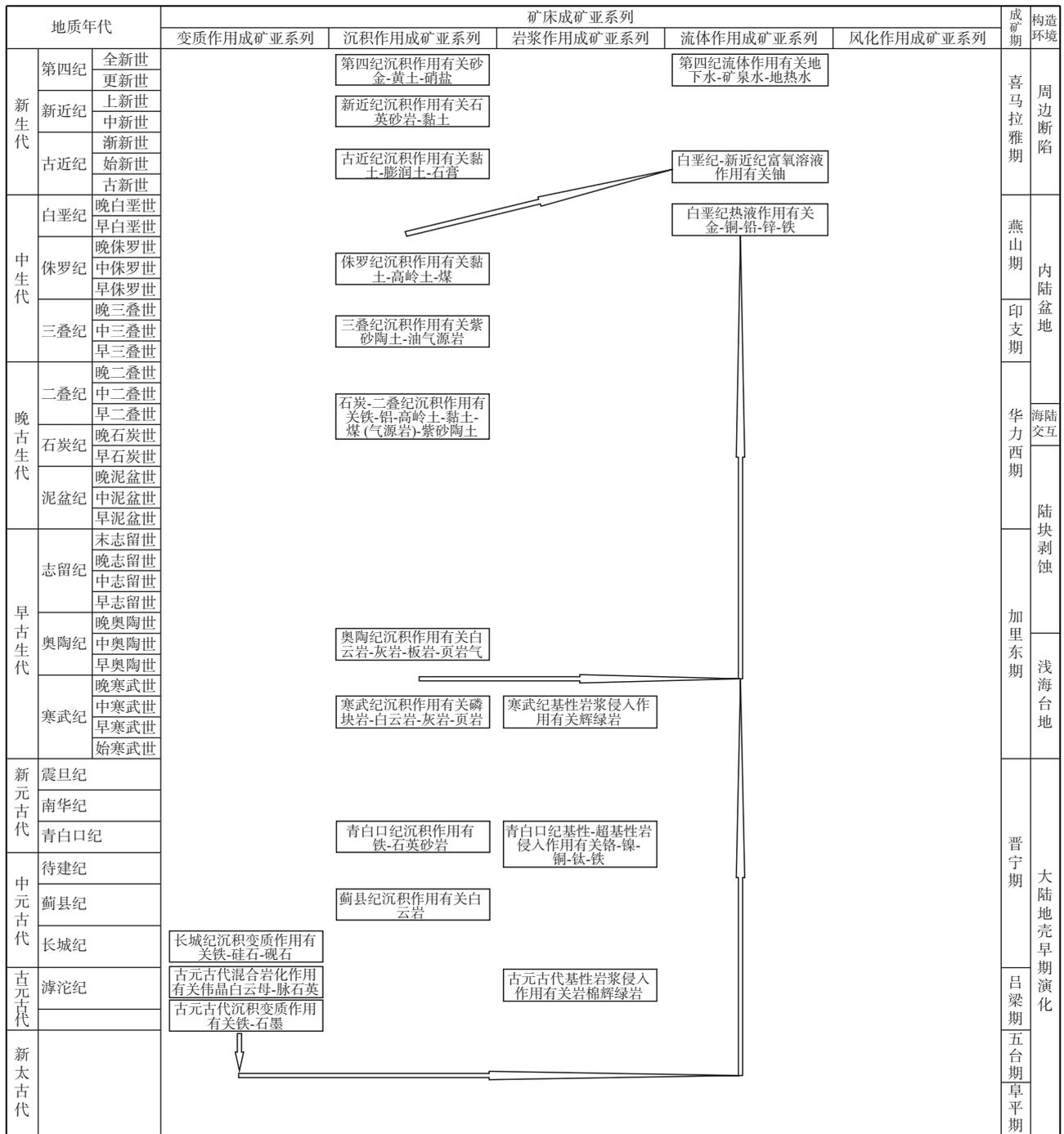
3.1.2 中元古代成矿

中元古代早中期,本区主要沿袭了华北板块的演化特征,发育大陆边缘裂谷和陆内拗拉槽,沉积了长

城系滨海相碎屑岩和蓟县系含燧石条带藻纹层白云岩。中元古代晚期,大约在1100~1000 Ma,盆地周缘洋盆与裂谷相继关闭,使华北陆块(包括鄂尔多斯陆块)成为Rodinia超大陆的一部分(赵振宇等,2012)。这一时期成矿,多与沉积作用有关,后期仅局部地段遭受浅变质。

(1) 鄂尔多斯西缘成矿带(Ⅲ-59)

鄂尔多斯西缘成矿带,长城纪沉积浅变质作用形成砚石矿床(例如,宁夏银川市笔架山、小口子沟贺兰石砚石矿床)、硅石矿床(例如,宁夏石嘴山市柳条沟东段、正义关鄂博梁、白虎洞、偷牛沟、北岔沟、红果



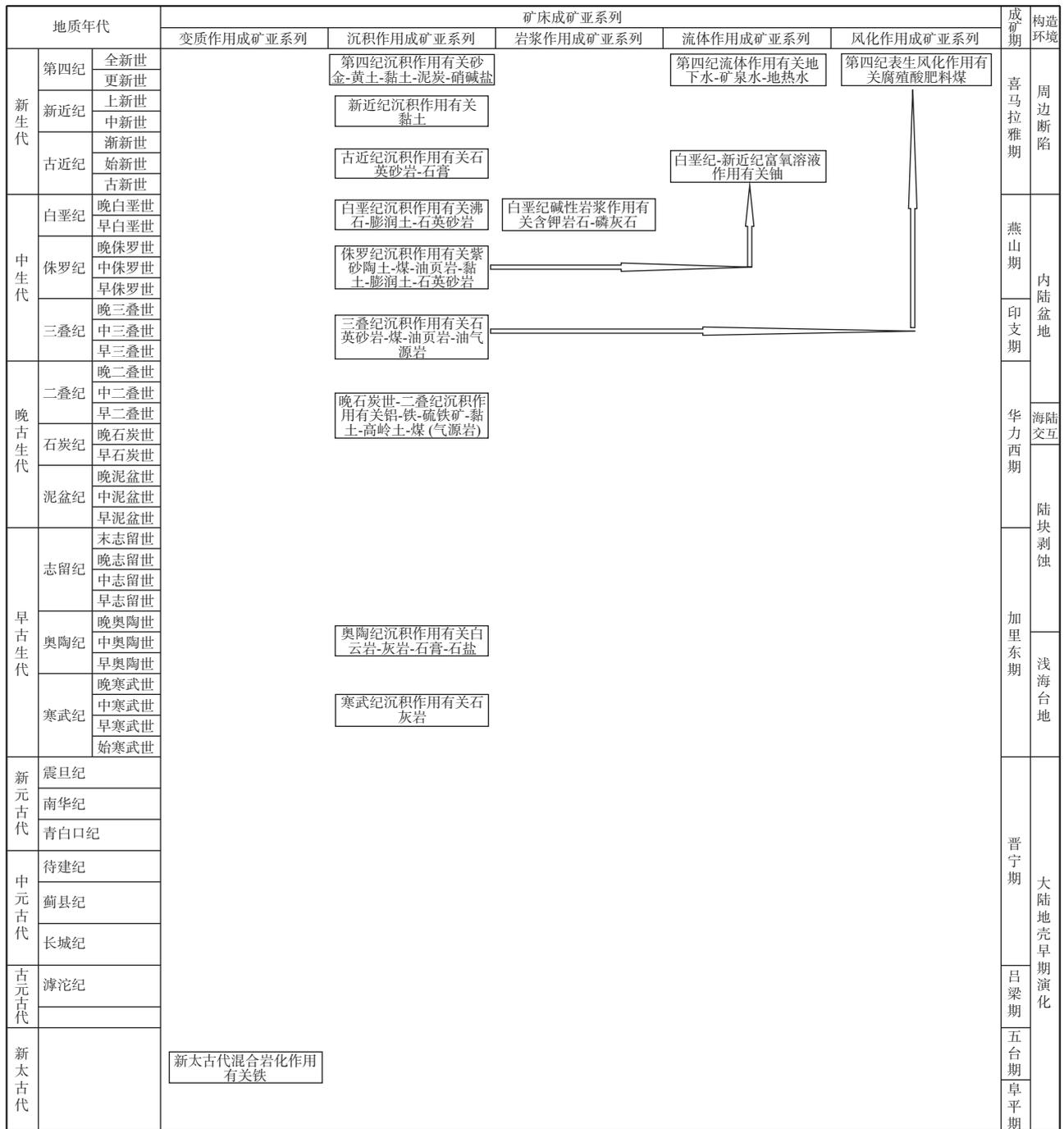
图内矿床成矿亚系列省略“鄂尔多斯西缘”(图名默认)、“成矿时代”(图左标明)及“矿床成矿亚系列”字样(图头标明);带箭头的引线表示成矿物质方面具有一定的继承关系

图1 鄂尔多斯西缘成矿谱系

Fig. 1 Regional metallogenic pedigree in west margin of Ordos basin

子酸枣岭、王全口、大武口沟口东、老鼠湾、枣窝,银川市大口子、小口子、拜寺口硅石矿床,分别有石英岩、石英岩状石英砂岩)及铁矿床(例如,石嘴山市王全口铁矿床,矿石矿物为赤铁矿和菱铁矿)。蓟县纪沉积作用形成白云岩矿床(例如,宁夏石嘴山市王全

口白云岩矿床,银川市干沟、大挺沟、羊粪沟白云岩矿床,同心县青龙山东部、青龙山西道梁、青龙山东道梁北段、青龙山中段、李家新庄-童家慢坡白云岩矿床,盐池县青龙山东道梁南段石湾沟白云岩矿床)。



图内矿床成矿亚系列省略“鄂尔多斯盆地”(图名默认)、“成矿时代”(图左标明)及“矿床成矿亚系列”字样(图头标明);带箭头的引线表示成矿物质方面具有一定的继承关系

图 2 鄂尔多斯盆地成矿谱系

Fig. 2 Regional metallogenic pedigree in Ordos basin

(2) 鄂尔多斯盆地成矿区(Ⅲ-60)

鄂尔多斯盆地成矿区, 中元古代地质建造大多起伏较深, 勘查程度很低, 成矿情况尚不清楚。

3.1.3 新元古代成矿

青白口纪早期陆壳转入稳定区沉积环境, 主要表

现为稳定陆缘的拗陷盆地沉积。青白口纪晚期, 各陆块联合形成的超级大陆, 又开始遭受新的地幔热柱作用(赵振宇等, 2012)。这一时期形成少量沉积矿床和岩浆矿床。

(1) 鄂尔多斯西缘成矿带(Ⅲ-59)

鄂尔多斯西缘成矿带,青白口纪早期沉积作用形成铁矿床(例如,内蒙鄂托克旗其日格矿区铁矿床,矿石矿物为赤铁矿及褐铁矿)和石英砂岩矿床(例如,内蒙鄂托克旗乌兰山石英砂岩矿床,乌海市凤凰岭、代兰塔拉石英砂岩矿床)。在青白口纪晚期,基性-超基性岩浆侵入作用形成铜镍矿床、铬铁矿点和钛铁矿床(例如,内蒙阿拉善左旗小松山铜镍矿床及铬铁矿点,伊克田钛铁矿床)。已测得小松山辉长岩锆石 U-Pb 年龄为 $(835.5 \pm 5.3) \text{Ma}$ (朱强等, 2018)。

(2) 鄂尔多斯盆地成矿区(Ⅲ-60)

鄂尔多斯盆地成矿区,新元古代地质建造大多深埋很大,成矿情况尚不清楚。

3.2 早古生代成矿演化史

早古生代主要发育沉积成矿作用,局部偶有岩浆成矿作用。具体成矿情况如下:

3.2.1 寒武纪成矿

华北陆块周边主要为被动大陆边缘构造环境,处于洋盆扩张阶段。在周边洋盆的影响下鄂尔多斯陆块乃至整个华北板块处于陆表海环境。早寒武世海水从西、南 2 个方向侵入本区西缘和南缘,并沉积了含磷碎屑岩,此后逐渐过渡到碳酸盐岩为主,鄂尔多斯陆块中央主体地带仍为陆地。随着海侵范围扩大,到中寒武世,存在有北西侧阿拉善古陆、东侧吕梁古陆,鄂尔多斯陆块仅保留北部伊盟古陆,定边-庆阳一带南北向古隆起也被淹没接受沉积。晚寒武世转为海退,露出庆阳古陆。该时期主要发育沉积成矿作用,局部偶有岩浆成矿作用。

(1) 鄂尔多斯西缘成矿带(Ⅲ-59)

鄂尔多斯盆地西缘,在震旦系之上平行不整合沉积寒武系下统苏峪口组(曾称辛集组),形成磷矿床(例如,内蒙阿拉善左旗正目观磷矿床;宁夏银川市苏峪口、苏峪口南、紫花沟磷矿床;陕西陇县景福山、周家渠磷矿床);其上连续整合沉积下统五道淌组\中统陶思沟组\中统胡鲁斯台组\中上统阿不切亥组,形成白云岩、灰岩及页岩矿床(例如,宁夏银川市紫花沟、苏峪口五道淌、同心县青龙山西道梁白云岩矿床,石嘴山市惠农区沙巴台、八号泉灰岩矿床及柳条沟页岩矿床)。仅局部地段偶有基性岩浆浅成侵入,形成辉绿岩矿床(例如,宁夏银川市黄旗口辉绿岩矿床)。

(2) 鄂尔多斯盆地成矿区(Ⅲ-60)

鄂尔多斯盆地南缘,下中寒武统馒头组\中寒武统

张夏组\上寒武统三山子组沉积过程中形成灰岩矿床(例如,陕西韩城市西原、华子山灰岩矿床,永寿县苏家垣灰岩矿床,宝鸡市阴湾灰岩矿床,岐山县南湾、西凤岭灰岩矿床,扶风县草山灰岩矿床东矿段)。

3.2.2 奥陶纪成矿

进入奥陶纪初期,地貌已发生明显变化,庆阳古陆与伊盟古陆联合为大片陆地。早奥陶世早期(冶里-亮甲山期)海侵从东部及东南缘起始,早中奥陶世(马家沟期)海侵范围扩大,仅保留北部伊盟古陆、北西侧阿拉善古陆。此时期均以海相沉积为主。中奥陶世末期,随着华北板块北侧兴蒙洋壳向南俯冲,南侧的秦岭洋壳向北俯冲,弧后盆地封闭和弧陆碰撞时,挤压力使鄂尔多斯地块乃至整个华北陆块普遍抬升,开始遭受剥蚀;到晚奥陶世,仅在鄂尔多斯地块西缘、南缘仍有少量陆缘碎屑为主的沉积。该时期主要发育沉积成矿作用,具体成矿情况如下:

(1) 鄂尔多斯西缘成矿带(Ⅲ-59)

该成矿带中下奥陶统(桌子山一带自下而上的三道坎组\桌子山组\克里摩里组、贺兰山-青龙山一带的天景山组、平凉一带自下而上的水泉岭组\三道沟组)沉积过程中形成灰岩矿床(例如,内蒙阿拉善左旗依克田、塔儿岭灰岩矿床;乌海市千里山、平台山、桌子山、双人山、哈图克沟、哈图克乌素、格德尔根沟、阿塔嘎福喜、卡布奇、呼珠不沁希勒、黄河村灰岩矿床,鄂托克旗棋盘井、阿尔查布嘎、敖包特、黑龙贵沟程天雾、胡杨、骆驼山、沙尔毛德沟、伊和布拉格西灰岩矿床;宁夏银川市驴驴沟、干沟-牛珂拉沟、套门沟、窑舌子沟,灵武市黑山,同心县石儿山北段,青龙山西道梁二道山,盐池县石梁,红寺堡开发区青山灰岩矿床;甘肃环县石梁,平凉市太统山、峡门乡-道沟水、石层子灰岩矿床;陕西陇县闫家山,千阳县王家山、任家山、雪山灰岩矿床)和白云岩矿床(例如,内蒙乌海市哈尔浑迪沟白云岩矿床;宁夏银川市苏峪口石灰窑、井泉子、到水沟白云岩矿床)。

中上奥陶统米钵山组沉积陆源碎屑岩为主,后来浅变质为板岩,局部可达水泥配料要求(宁夏银川市山嘴沟、头关板岩矿床)。

(2) 鄂尔多斯盆地成矿区(Ⅲ-60)

鄂尔多斯盆地成矿区在早中奥陶世马家沟组沉积期形成灰岩矿床(例如,内蒙准格尔旗榆树湾灰岩矿床;山西保德县孙家峁灰岩矿床,中阳县桃花岭灰岩矿床,韩家山灰岩矿床,交口县大麦郊灰岩矿床;

陕西府谷县东山、上天桥、海则庙灰岩矿床,凤翔县川口河灰岩矿床,礼泉县庄河、任池、任叱干镇灰岩矿床,淳化县铁瓦殿灰岩矿床,泾阳县阳坡、九倾垣、蔡家沟、黑云沟灰岩矿床,铜川市李家沟、将军山矿床,赵家山、黄堡石坡、崖窑沟、刘寨、银洞沟、杨泉山、蝎子岭、锦屏山、宝鉴山、桃曲坡灰岩矿床,铜川市立地坡-富平县刘家沟灰岩矿床,富平县频山、庄里、薛镇、底店、宝峰寺灰岩矿床,蒲城县药王山、尧山、石头山灰岩矿床,白水县白龙潭灰岩矿床)、白云岩矿床(例如,内蒙准格尔旗柳青梁白云岩矿床;山西吕梁市离石区龙房里白云岩矿床,兴县恶虎滩白云岩矿床;陕西蒲城县尧山白云岩矿床)、石膏和石盐矿床(例如,内蒙伊金霍洛旗-乌审旗台格庙石膏石盐矿床;陕西榆林市镇川堡-绥德、安崖、鱼河、瑶渠、镇川堡地区石盐矿床,阎庄则、锦界石盐矿勘查区,延安市延川县永坪地区石盐矿床)。

3.3 晚古生代成矿演化史

鄂尔多斯陆块乃至整个华北陆块晚奥陶世到晚石炭世长期遭受风化,为后来海侵期间铁、铝土矿、高岭土、黏土成矿准备了物源。晚石炭世本区在以拉张为主的构造背景下整体缓慢下沉接收沉积。晚石炭世早期,存在南北向的中央古陆隔离,东、西2侧逐渐向中央古隆超覆,西侧的祁连海沉积羊虎沟组,东侧的华北海沉积本溪组;晚石炭世晚期—早二叠世早期,祁连海-华北海连通,沉积太原组海陆交互相煤系地层;再后来于早二叠世晚期转为内陆盆地,沉积山西组陆相煤系地层(这些煤系地层同时也是气源岩,在晚侏罗世—早白垩世热解析出天然气)。寒武系—奥陶系风化侵蚀面之上,超覆的石炭系—二叠系下部,常常沉积形成有铁、铝土矿等矿产。晚二叠世陆相沉积形成有紫砂陶土矿产。

(1) 鄂尔多斯西缘成矿带(Ⅲ-59)

该成矿带在晚石炭世—二叠纪沉积形成铁、铝土矿、高岭土、黏土、煤、紫砂陶土矿床(例如,内蒙乌海市骆驼山、二贵沟铁矿床,雀儿沟铁矿床及铝土矿点,鄂托克旗黑龙贵铁矿床;阿拉善左旗呼鲁斯台、喇嘛敖包煤矿区,乌海市乌达、桌子山、公乌素、老石旦、卡布其、木耳沟、千里山煤矿区,鄂托克旗棋盘井煤矿区,鄂托克前旗上海庙煤矿区;乌海市四眼井紫砂陶土矿床。宁夏石嘴山市沙巴台、石嘴山、石炭井、正义关、马莲滩、炭梁坡、三眼井,银川市苏峪口煤矿区,红墩子煤矿区,灵武市横城堡、同心县韦州煤矿区,

盐池县四股泉煤矿区,彭阳县王洼西部煤矿段;石嘴山市红渣子、小王全沟、武当庙紫砂陶土矿床。甘肃环县石板沟铁、铝土矿点;平凉市大台子、王店、红庄子铝土矿床,二三道沟、峡门、安国-峡门、小湾子煤矿区)。其中,煤在后续煤化过程析出可燃气体,聚集气形成天然气藏(例如,宁夏灵武市刘家庄气田;内蒙鄂托克前旗胜利井气田)。

(2) 鄂尔多斯盆地成矿区(Ⅲ-60)

该成矿区在晚石炭世—二叠纪沉积形成铁、铝土矿、硫铁矿、黏土、高岭土、煤矿床(例如,内蒙准格尔旗房塔沟、戚家沟、榆树湾浪上硫铁矿;达拉特旗乌兰格勒煤矿区,准格尔旗准格尔煤矿田东孔兑、窑沟、牛连沟、唐公塔、龙王沟、黑岱沟、哈尔乌素矿区、南部勘探区;准格尔旗大库伦高岭土矿床,脑包湾沟、龙王沟高岭土-耐火黏土矿床,永城、柳树渠、窑沟、黑岱沟高岭土矿床,准格尔旗城坡、焦稍沟、喇嘛洞耐火黏土矿床。山西河曲县新窑、铺沟铝土矿床,保德县石且河、天桥、塬则、郭偏梁、桥头-孙家沟铝土矿床,兴县贺家圪台、黄辉头、赵家焉、杨家沟、魏家滩、车家庄、范家疃、安顺沟、奥家湾、后发达、苏家吉、高家岭、后沟、郝家沟、王家焉铝土矿床,临县湍水头、刘家庄、孙家塔、立新村铝土矿床,吕梁市离石区西属巴、瓷窑沟、北圪垛、寺沟铝土矿床,方山县郭家沟铝土矿床,柳林县兰家山、成家庄、屈家沟铝土矿床,中阳县苏村、水泉沟、下枣林、雷家沟、开府铝土矿床,乡宁县井窑沟铝土矿床;河曲煤矿区,河保偏煤矿区,柳林煤矿区,离石煤矿区,石隰煤矿区,乡宁煤矿区;河曲县范家梁高岭岩矿床,保德县陈家梁-赵家坡高岭岩矿床,偏关县磁窑沟耐火黏土矿床。陕西府谷县天桥则铝土矿床,韩城市溢家峪铝土矿床,合阳县西城村铝土矿床,澄城县曹村铝土矿床,蒲城县三眼桥、东党、蔡邓铝土矿床,铜川市育寨、陈炉铝土矿床;府谷县府谷煤矿区,吴堡县吴堡煤矿区,韩城市韩城煤矿区,澄城县-合阳县澄合煤矿区,蒲城县-白水县蒲白煤矿区,铜川市铜川煤矿区;府谷县海则庙-段寨、沙川沟高岭土矿床,韩城市象山高岭土矿床,铜川市立地坡、上店耐火黏土,狼沟、黄沟、土黄沟、陈炉镇陶瓷黏土矿床)。其中,煤在后续煤化过程析出可燃气体,聚集气形成天然气藏(例如,内蒙古鄂尔多斯市苏里格、乌审旗气田;陕西延安市延安、靖边气田,榆林市榆林、大牛地、神木、子洲、米脂气田;宁夏盐池县青山、定北气田;山西临兴县临兴气田)。

3.4 中生代成矿演化史

早中三叠世,鄂尔多斯盆地仍是华北大型凹陷盆地的组成部分,继承了二叠纪的古构造格局,北高中部低,西部隆起为主,东部凹陷为主,中心在延长以东地区。盆内沉积了一套以河流相、沼泽相为主的红色-杂色砂岩和暗色泥岩层系。晚三叠世盆地沉积不断向西退缩,沉积中心不断向西迁移,沉积环境以湖泊-三角洲相为主,中下部形成湖泊相生油岩(延长组烃源岩)。三叠纪末盆地整体抬升,湖盆逐渐萎缩,上部沉积煤系地层(瓦窑堡煤系),顶部遭受风化,为后续高岭土等成矿准备了物源。此后,古太平洋板块开始向亚洲大陆斜向俯冲,华北地台东部隆起,西部拗陷,鄂尔多斯盆地被限制于此拗陷内。

早侏罗世,盆地在三叠纪末高低不平的古地貌上填平补齐,主要发育河流-湖泊相沉积;中侏罗世,主要发育河流-沼泽相沉积,形成煤系地层(延安组煤系);晚侏罗世,强烈逆冲隆升,盆地西缘发生强烈逆冲变形、东部抬升剥蚀。

早白垩世沉积与下伏地层呈广泛不整合;晚白垩世,全区仍继续隆起,使鄂尔多斯盆地消亡。白垩纪期间,西缘有热液再造成矿作用;东缘有碱性岩浆侵入成矿作用;早白垩世末期-晚白垩世中期,三叠系烃源岩进入油气大量生成期,在西部深埋热解转化油气,而在东部埋藏浅保留为油页岩。

新生代因受周边板块碰撞,鄂尔多斯盆地主体发生过多次构造抬升事件,包含 55 Ma、25 Ma、5 Ma 3 个主要幕次,周缘发育一系列新生代断陷盆地。盆地主体部分古近系和新近系断续分布(赵振宇等, 2012)。隆起盆地周缘向盆地中心过渡部位,半固结的中生代地层缓倾,使得浅部受富氧水作用淋滤铀,下渗还原再沉淀成矿。第四纪本区冬季风由北西向南东吹,盆地北西部沙漠发育,南东部黄土发育;同时这一时期也是湖盆膏硝盐碱类矿产、砂金、地下水、矿泉水、地热水形成的主要时期。具体成矿情况如下:

3.4.1 三叠纪成矿

(1)鄂尔多斯西缘成矿带(Ⅲ-59)

鄂尔多斯西缘成矿带,中三叠统二马营组沉积形成紫砂陶土矿床(例如,宁夏石嘴山市天子庙紫砂陶土矿床),上三叠统延长组沉积形成的烃源岩(长 7 和长 9 层),后续演化深埋增温增压演化为油气藏(例如,宁夏灵武市马家滩,盐池县李庄子、大水坑、摆宴井、惠安油田)。

(2)鄂尔多斯盆地成矿区(Ⅲ-60)

鄂尔多斯盆地成矿区,上三叠统延长组下中部沉积形成烃源岩(长 7 和长 9 层),后续演化在盆地西部深埋增温增压演化为油气藏(例如,宁夏盐池县红井子油田,彭阳县彭阳油田;宁夏盐池县-陕西定边县马坊、姬源油田;陕西榆林市横山区横山油田,子洲县子洲油田、定边县定边、油房庄、东红庄油田,靖边县靖边、绥靖油田,延安市宝塔区姚店、青化砭、甘谷驿、南泥湾、川口、丰富川、蟠龙、河庄坪油田,延长县七里村、王家川油田,子长县子长、子北、瓦窑堡、涧峪岔油田,延川县青平川、永坪油田,吴旗县吴旗、王洼子油田,甘泉县下寺湾、劳山油田,安塞县安塞、坪北油田,宜川县英旺油田,靖边县-志丹县靖安油田,志丹县永宁、西区油田,富县直罗油气田,铜川市宜君县渭北油田,咸阳市长武县-旬邑县泾河油田;陕西吴旗县-甘肃华池县华庆油田;甘肃庆阳市和平凉市红河油田,庆阳市西峰、合水、南梁油田,庆阳市-环县马岭油田,环县樊家川、环江油田,华池县元城、华池、城壕油田,庆城县-镇原县镇北油田),而在盆地东部埋藏浅保存为油页岩矿床(例如,陕西铜川市烈桥塔尼河、何家坊、瑶曲摩天沟、宜君县马泉、马庄油页岩矿床,咸阳市彬县水北村、张洪,淳化县炭科油页岩矿床)。随着湖盆逐渐萎缩,上部沉积煤系地层(瓦窑堡煤系),形成煤矿床(例如,陕西延安市宝塔区蟠龙-高家屯煤勘查区,子长县子长煤矿区,安塞县沿河湾煤井田,富县邓家沟-党家庄煤井田,榆林市横山区王家峁、沈石畔、韩岔煤勘查区)、石英砂岩矿床(例如,陕西神木县三塘石英砂岩矿床)。

3.4.2 侏罗纪-白垩纪成矿

(1)鄂尔多斯西缘成矿带(Ⅲ-59)

鄂尔多斯西缘成矿带,侏罗纪沉积作用形成煤及黏土矿床(例如,内蒙阿拉善左旗新井、炭井沟、二道岭煤矿区;鄂托克旗千里沟煤矿区;鄂托克前旗上海庙煤矿区。宁夏彭阳县银洞沟黏土矿床;石嘴山市汝箕沟煤矿区,灵武市碎石井、鸳鸯湖、石沟驿、积家井、马家滩、灵武煤矿区,盐池县萌城、冯记沟、老庄子、金家渠、洪涝池煤矿区,彭阳县王洼、草庙、陆家杨庄煤矿区。甘肃华亭县安口高岭土、黏土矿床;平凉市土谷堆煤矿区,华亭县华亭煤矿区,安口-新窑煤矿区,崇信县新安、黄庄煤矿区,赤城煤矿区,环县甜水堡煤矿区、砂井子煤矿区,陇县威家坡井田,郭家河、李家河煤勘查区);白垩纪热液再造作用形成断裂破碎带

控制的金、铜、铅、锌、铁矿床(例如,宁夏石嘴山市牛头沟、树龙沟金矿床。内蒙伊盟海勃湾市代兰塔拉铅锌矿床;鄂托克旗其日格铅锌矿床,棋盘井、矿山机械厂铁矿床)。

(2)鄂尔多斯盆地成矿区(Ⅲ-60)

鄂尔多斯盆地成矿区,早侏罗世沉积作用形成紫砂陶土(例如,陕西富县花家庄、新寺沟、眉毛寺紫砂陶土矿床),中侏罗世沉积作用形成煤、油页岩、高岭土、黏土、膨润土、石英砂岩矿床(例如,内蒙乌审旗呼吉尔特、纳林河煤矿区,伊金霍洛旗四道柳、乌兰希里、新街、神东煤矿区,杭锦旗纳林希里煤矿区,鄂尔多斯市东胜区东胜、罕台川、铜匠川煤矿区,准格尔旗勃牛川煤矿区;鄂尔多斯市罕台川、碾盘梁、纳林塔乡、补连乡油页岩;达拉特旗虎石里梁、小木花沟、五里坡石英砂岩矿床;东胜市竹鸡塔及碾盘梁、白泥梁、水塔河耐火黏土矿床;鄂尔多斯市东胜高岭土矿床,准格尔旗黄天棉图高岭土矿床。甘肃灵台县灵台南、独店煤矿区和邵寨南煤井田,泾川县高平煤矿区,合水县合水东、合水西煤矿区,正宁县罗川、罗川东、桃峪煤井田,宁县新庄煤井田、中部、付家山、和盛煤矿区。陕西府谷县庙哈孤煤矿区,安山、沙梁、沙沟岔、南梁、青龙寺、郭家湾袁家梁煤井田,田家寨煤勘查区;神木县红柳林、前石畔、大柳塔、活鸡兔、大海则、朱盖塔、柠条塔、孙家岔、何家塔、燕伙盘-赵家梁、海湾、张家沟、张家崩、杨伙盘、石窑店、石圪台、香水河、凉水井、梁家村、大砭窑、锦界、千树塔、双山、西湾、东湾、河兴梁、大保当、朱家塔、马王庙煤井田,新民煤矿区榆家梁井田,神府煤矿区三道沟井田,李家沟、活鸡兔西、尔林兔、尔林兔东、中鸡、中鸡南、阿包兔煤勘查区,榆神煤矿区;榆阳区麻黄梁、薛庙滩、榆树湾、杭来湾、上河、神树畔、柳巷、郝家梁、大梁湾、曹家滩、金鸡滩、常兴、高家界、郭家滩、三台界、常乐堡、半坡山、金刚寺、大海则、红石峡煤井田,金鸡滩-麻黄梁煤详查区,归德堡-古城滩勘探区,孟家湾西、小壕兔、郑家梁、巴拉素煤勘查区,榆神煤矿区尔林滩和野日盖滩煤勘查区,榆横煤矿区海则滩井田和王家梁勘查区;横山区大波罗、小波罗、波罗-韩岔、袁大滩、塔湾、芦殿煤井田,雷龙湾-赵石畔煤矿区,樊家河、榆林-横山煤勘探区,红石桥-魏家崩、赵石畔-胡家沟、可可盖西、曹阳湾煤勘查区,榆横矿区小纪汗、魏墙、芦河、朱家崩煤井田;靖边县海测滩煤详查区,宁条梁-乔沟湾煤勘查区;黄

陵县黄陵煤矿区,店头煤矿区,建庄煤矿区,党家河煤勘查区;富县四家岔煤井田,芦村煤勘查区;宜君县前河-西背塔、东背塔、龙王、玉华、龙门沟井田;耀州区上石节、崔家沟、冶坪、照金、秀房沟、白石崖煤井田;旬邑县留石村、黑沟、青岗坪、乔儿沟、小寺子、职田、燕家河煤井田,旬东煤普查区,石底川、老庄子、转角、彬东煤井田西煤勘查区;彬县官牌、百子沟、下沟、亭南煤井田,大佛寺、蒋家河煤矿区,彬东煤井田东、文家坡、胡家河、小庄、高家堡、雅店勘查区;长武县杨家坪、孟村煤勘查区;淳化县姜家河煤井田,炭科煤矿区;麟游县丈八、北马坊煤井田,北湾-太阳寺、招贤、园子沟、河西煤勘查区;府谷县庙沟门油页岩矿床;神木县三塘石英砂岩矿床;延安市温家沟陶粒用页岩矿床,甘泉县道镇陶瓷黏土矿床;榆林市古城滩高岭土矿床,佳县王家砭高岭土矿床;神木县前石畔膨润土矿床);白垩纪沉积作用形成方沸石、膨润土、石膏、石英砂岩矿床(例如,内蒙乌审旗板户梁方沸石、膨润土矿床,杭锦旗速台庙、霍鸡得肯石膏矿床;宁夏彭阳县西庄石英砂岩矿床);白垩纪在东缘有碱性岩浆侵入作用形成含钾岩石、磷灰石矿床(例如,山西临县紫金山含钾岩石矿床及低品位磷灰石矿床)。紫金山杂岩体中霓霞正长岩的锆石 U-Pb 年龄为(138.3±1.1)Ma(肖媛媛等,2007);二长岩的锆石 U-Pb 年龄为(134.7±1.5)Ma(王亚莹等,2014)。

3.4.3 古近纪—新近纪成矿

(1)鄂尔多斯西缘成矿带(Ⅲ-59)

鄂尔多斯西缘成矿带,古近纪沉积作用形成黏土、膨润土、石膏矿床(例如,内蒙鄂托克旗浩尧尔乌苏黏土矿床;甘肃环县新庄沟黏土矿床;宁夏石嘴山市平罗县陶乐北石膏矿床,灵武市周家沟膨润土矿床);新近纪沉积作用形成石英砂岩、黏土矿床(例如,内蒙乌海市西桌子山、水泥厂南山、红崖山黏土矿床,老石旦黏土矿床和石英砂岩矿床,鄂托克旗四道泉石英砂岩矿床。甘肃环县七里墩石英砂岩矿床。宁夏永宁县黄羊滩、花布山石英砂岩矿床,青铜峡市双井子、红崖子石英砂岩矿床,同心县新庄石英砂岩矿床,盐池县苦水河、红土沟石英砂岩矿床;青铜峡市黄羊滩、黄羊滩南、马常滩、胶泥沟黏土矿床)。

(2)鄂尔多斯盆地成矿区(Ⅲ-60)

鄂尔多斯盆地成矿区,古近纪沉积作用形成石英砂岩、石膏矿床(例如,宁夏盐池县青马圈石英砂岩矿床,陈家圈、石记场、于家圈、小青山、窖子山石膏矿

床。内蒙鄂托克旗苏级、拿个、古尔恰克、科贝、什尼乌苏石膏矿床,杭锦旗代庆召、罗拜召石膏矿床);新近纪沉积作用形成黏土矿床(例如,内蒙伊金霍洛旗松定霍洛黏土矿床)。

3.4.4 白垩纪—新近纪成矿

(1)鄂尔多斯西缘成矿带(Ⅲ-59)

鄂尔多斯西缘成矿带,白垩纪—新近纪期间富氧溶液作用,对中侏罗统砂岩淋滤下渗再沉淀形成宁夏盐池县惠安堡铀矿床,灵武市磁窑堡铀矿床;对下白垩统砂岩淋滤下渗再沉淀形成陕西陇县国家湾铀矿床。

(2)鄂尔多斯盆地成矿区(Ⅲ-60)

鄂尔多斯盆地成矿区,白垩纪—新近纪期间富氧溶液作用,对中侏罗统砂岩淋滤下渗再沉淀形成内蒙鄂尔多斯市东胜铀矿田(例如,杭锦旗大营、乌定布拉格、纳岭沟铀矿床,东胜区罕台庙铀矿床,伊金霍洛旗皂火壕铀矿床)和陕西黄陵县双龙、店头铀矿床;对下白垩统砂岩淋滤下渗再沉淀形成内蒙鄂托克旗红井铀矿床。

3.4.5 第四纪成矿

(1)鄂尔多斯西缘成矿带(Ⅲ-59)

鄂尔多斯西缘成矿带,第四纪机械沉积形成砂金矿(例如,宁夏石嘴山市跑马崖砂金矿点),风力沉积形成黄土矿床(例如,宁夏泾源县上蒿店黄土矿床;甘肃平凉市鸭儿沟、下甲积裕黄土矿床;陕西千阳县安沟黄土矿床),蒸发沉积形成硝盐矿床(例如,宁夏灵武市海子井硝盐矿床,盐池县惠安堡硝盐矿床)。第四纪流体作用形成地下水、矿泉水、地热水(例如,内蒙乌海市老石旦东山、岗德尔山、凤凰岭、乌达城区、城北水源地,海渤湾城区、城北水源地,海南区南、西水源地,鄂托克旗棋盘井水源地;阿拉善左旗贺兰山塔尔岭矿泉水,鄂托克旗棋盘井矿泉水,乌海市海渤湾区制酒厂矿泉水。宁夏石嘴山市大武口二区水源地和工业园区水源地、大武口沟水源地,汝箕沟水源地、鬼头沟水源地,银川市南梁水源地、北郊水源地、南郊水源地、南部水源地、化工厂Ⅰ水源地和Ⅱ水源地、征沙水源地、东郊水源地,吴忠市黄河滩积水源地和早元水源地,彭阳县红河、茹河排泄区水源地;银川市小口子泉,石嘴山市石炭井甘泉,平罗县龙泉寺泉、暖泉,青铜峡市庙山湖泉、鸽子山泉,灵武市大泉,吴忠市红寺堡双井泉,泾源县楼房沟泉、园子泉、十里滩泉,彭阳县供水井矿泉水;银川市御泉湾地热

水井,火车站地热水井,镇北堡地热水井,掌政、永宁水井热,滨河新区地热水井;贺兰县红柳山庄地热水井;石嘴山市大武口、沙湖景区热水井、奇石山文化园地热水井。甘肃平凉市养子寨、景家庄、鸭儿沟、甘沟、纸坊沟、大岔河、太统山、颀河河谷水源地;平凉市近郊安口电场福利区矿泉水,南坡饮用天然矿泉水,崇信县龙泉寺矿泉水;平凉南坡和柳湖关温泉,城西三天门地热水井,广成山庄地热水井。陕西千阳县水沟引泉;宝鸡市陇县固关断凹北部地热田,陇县—千阳—凤翔断凹地热田,宝鸡断凸北部地热田和南部地热田)。银川平原潜水氟模型计算年龄多为5~60 a,个别大于60 a(程中双等,2019);承压水¹⁴C年龄为670~22 290 a(贾秀梅等,2009)。

(2)鄂尔多斯盆地成矿区(Ⅲ-60)

鄂尔多斯盆地成矿区,第四纪机械沉积形成砂金、黏土矿床(例如,内蒙达拉特旗乌兰斯太砂金矿床;准格尔旗韩家梁黏土矿床,呼和浩特市乃莫板黏土矿床),风力沉积形成黄土矿床(例如,陕西府谷县黑山黄土矿床,铜川市裤裆沟、药王山、五台山、桃曲坡、文昌阁、宝鉴山黄土矿床,神木县上寨岭黄土矿床),生物化学沉积形成泥炭矿床(例如,陕西榆林市孟家湾大营盘泥炭矿床),蒸发沉积形成硝碱盐矿床(例如,内蒙杭锦旗盐海子芒硝、天然碱、盐矿床,鄂托克旗塔希脑亥淖、达拉图鲁、阿拉善庙芒硝矿床,察汗淖、白音淖、乌都淖、哈马太天然碱矿床,乌审旗合同察汗淖碱矿床,达拉特旗树林召、达拉特芒硝矿床;宁夏盐池县海牛滩芒硝矿床;陕西定边县定边、苟池盐—镁盐—芒硝矿床);第四纪流体作用形成地下水、矿泉水、地热水(例如,内蒙鄂托克旗乌兰镇水源地,杭锦旗锡尼镇水源地,达拉特旗展旦召水源地,准格尔旗黑岱沟陈家沟门、喇嘛地水源地,乌审旗浩勒宝吉、哈头才当、嘎鲁图镇水源地,伊金霍洛旗查干淖尔水厂水源地,准格尔旗苏计沟水、陈家沟门水源地;乌审旗浩乐报吉、苏里格矿泉水,杭锦旗顺成公司矿泉水,达拉特旗恩格贝矿泉水,鄂托克旗德日素矿泉水,准格尔旗公益盖沟、巴隆梁伊克赛矿泉水;杭锦旗伊克乌苏地热田,达拉特旗恩格贝N热3地热井,吉隆生态园N热4地热井和N热5地热井,树林召地热田。山西偏关县仰羊头寺引黄工程加压站水源地,河曲县梁家碛、旧县水源地,永和县水源地,吉县水源地,保德县刘家畔、铁匠铺水源地,兴县乔家沟水源地,吕梁市离石区上安、七里滩水源地,柳林县龙门会水源地,中阳

县供水公司、朱家店煤矿水源地,隰县上均庄水源地,河津市禹门口水源地;保德县天桥泉矿泉水,乡宁县韩村矿泉水,大宁县翠云山矿泉水;临县林家坪热水井,柳林县沙曲、康家沟热水井。陕西府谷县清水川口、天桥、阴塔、碛墁、浪湾、横沟水源地,铜川市王益区柳湾水源地,耀州区北部水源地,韩城电厂象山、桑树坪卫家庄水源地,蒲城县温汤水源地、三眼桥水源地,大荔县常乐-育红水源地,富平县富平西村、华侏乡、庄里水源地,泾阳县白王乡、张家山水源地,乾县北沿断裂水源地,扶风县法门寺、黄堆山前水源地,岐山微波站周公庙山前水源地,靖边县东坑、海则滩水源地,皇陵县上畛子水源地,榆林市榆阳区补浪河-红石桥、巴拉素水源地,神木市沙母河沟、高家堡、大保当水源地,米脂县姬家崓水源地,横山县、大柳塔市、绥德县、佳县、子洲县、清涧县、子长县、延川县、延长县、安塞县,甘泉县、永寿县、淳化县、麟游县、富县、洛川县水源地;靖边县远特矿泉水,榆林市榆林矿泉水,甘泉县甘泉矿泉水,韩城市龙饮矿泉水,铜川市印台区乔山矿泉水,蒲城县袁家坡、温汤村、常乐村矿泉水,合阳县东王溪矿泉水,大荔县育红村矿泉水,淳化县御泉矿泉水;渭北西部龙岩寺温泉,韩城市韩城断阶地热田,富平县-蒲城县富平-蒲城断阶地热田,合阳县合阳-东王凸起地热田;五堡县横沟热水井。甘肃庆阳市韩家湾、巴家嘴水源地,西峰区肖金高家车矿泉水,泾川县西王母泉矿泉水;庆阳市周家湾、庆阳化工厂地热,环县-庆阳市 B4 热水井, B10 热水井,环县本钵、曲子地热,镇原县平泉刘坪地热,泾川县何家坪地热、罗汉洞乡南河村地热,宁县长庆桥鱼种场地热,长庆桥食品厂,灵台县东沟地热。宁夏盐池县骆驼井水源地,彭阳县红河-茹河排泄区水源地;盐池县-陕西定边县 B3 热水井)。

根据 ^3H 、 ^{36}Cl 、CFCs、 ^{14}C 等方法测试结果,已获鄂尔多斯盆地地下水年龄系列数据为4~50~100~440~594~1450~1510~1570~1640~1670~1730~1750~1830~1910~2240~4160~4789~5578~6906~7450~7890~8638~9269~10207~10826~13129~13480~13900~14550~15879~18772~19110~19450~20365~21400~26060~26876~30685a(侯光才等,2008)。鄂尔多斯盆地东部的柳林泉域西部陕西吴堡县横沟岩溶热水的 ^{14}C 年龄为9090~12908a(臧红飞等,2017);西南部环县-庆阳一带,地热水 ^{14}C 年龄为26700~29700a(张凌鹏等,2020)。

4 结论

(1)鄂尔多斯西缘成矿带和鄂尔多斯盆地成矿区分别厘定矿床成矿系列12个和8个,在此基础上按成矿时代-成矿单元建立了鄂尔多斯地区总体的成矿谱系。

(2)鄂尔多斯西缘成矿带和鄂尔多斯盆地成矿区分别进一步解析矿床成矿亚系列19个和14个,据此又按成矿时代-成矿作用-地质构造环境分别细化了鄂尔多斯西缘成矿谱系和鄂尔多斯盆地成矿谱系。

(3)依前寒武纪-早古生代-晚古生代-中新生代地质进程,概略论述了本区成矿演化史,并具体例举沉积作用、岩浆作用、变质作用、流体作用、表生作用有关各类矿床实例近900处。

参考文献(References):

- 陈毓川,裴荣富,王登红,等.矿床成矿系列——五论矿床的成矿系列问题[J].*地球学报*,2016,37(5):519-527.
- CHEN Yuchuan, PEI Rongfu, WANG Denghong, et al. Minerogenetic series for mineral deposits: discussion on minerogenetic series (V)[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2016, 37(5): 519-527.
- 陈毓川,裴荣富,王登红,等.论矿床的自然分类——四论矿床的成矿系列问题[J].*矿床地质*,2015,34(6):1092-1106.
- CHEN Yuchuan, PEI Rongfu, WANG Denghong, et al. Natural classification of mineral deposits: Discussion on minerogenetic series of mineral deposits (IV)[J]. *Mineral Deposits*, 2015, 34(6): 1092-1106.
- 陈毓川,裴荣富,王登红.三论矿床的成矿系列问题[J].*地质学报*,2006,80(10):1501-1508.
- CHEN Yuchuan, PEI Rongfu, WANG Denghong. On minerogenetic(metallogenetic) series: third discussion[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2006, 80(10): 1501-1508.
- 程裕淇,陈毓川,赵一鸣,等.再论矿床的成矿系列问题[J].*中国地质科学院院报*,1983,(6):1-52.
- CHENG Yuqi, CHEN Yuchuan, ZHAO Yiming, et al. Further discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1983, (6): 1-52.
- 程裕淇,陈毓川,赵一鸣.初论矿床的成矿系列问题[J].*中国地质科学院院报*,1979,1(1):32-58.
- CHENG Yuqi, CHEN Yuchuan, ZHAO Yiming. Preliminary discus-

- sion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1979, 1(1): 32–58.
- 程中双, 李英, 陈宗宇, 等. 银川平原潜水氟分布特征与年龄[J]. *干旱区资源与环境*, 2019, 33(2): 139–145.
- CHENG Zhongshuang, LI Ying, CHEN Zhongyu, et al. Distribution characteristics and age of Tritium in phreatic aquifers in Yinchuan plain[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2019, 33(2): 139–145.
- 侯光才, 张茂省, 刘方, 等. 鄂尔多斯盆地地下水勘查研究[M]. 北京: 地质出版社, 2008.
- HOU Guangcai, ZHANG Maosheng, LIU Fang, et al. Exploration and study of groundwater in the Ordos Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008.
- 贾秀梅, 孙继朝, 陈玺, 等. 银川平原承压水氢氧同位素组成与¹⁴C年龄分布特征[J]. *现代地质*, 2009, 23(1): 15–22.
- JIA Xiumei, SUN Jichao, CHEN Xi, et al. Distribution characteristics of hydrogen and oxygen isotopic compositions and ¹⁴C ages in confined water of Yinchuan Plain[J]. *Geoscience*, 2009, 23(1): 15–22.
- 谭文娟, 杨合群, 姜寒冰, 等. 鄂尔多斯地区成矿系列与地质建造的关系探讨[J]. *西北地质*, 2015, 48(2): 1–9.
- TAN Wenjuan, YANG Hequn, JIANG Hanbing, et al. Relationship of metallogenic series and geological formation in Ordos area[J]. *Northwestern Geology*, 2015, 48(2): 1–9.
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 等. 矿床成矿系列组——六论矿床的成矿系列问题[J]. *地质学报*, 2020, 94(1): 18–35.
- WANG Donghong, CHEN Yuchuan, XU Zhigang, et al. Minerogenetic series group: discussion on minerogenetic series(VI)[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2020, 94(1): 18–35.
- 王亚莹, 蔡剑辉, 阎国翰, 等. 山西临县紫金山碱性杂岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄、地球化学和 Sr-Nd-Hf 同位素研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 2014, 33(6): 1052–1072.
- WANG Yaying, CAI Jianhui, YAN Guohan, et al. SHRIMP zircon U-Pb age, geochemistry and Sr-Nd-Hf isotopic characteristics of the Zijinshan alkaline complex in Linxian County, Shanxi Province[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2014, 33(6): 1052–1072.
- 肖媛媛, 任战利, 秦江锋, 等. 山西临县紫金山碱性杂岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. *地质论评*, 2007, 53(5): 656–663.
- XIAO Yuanyuan, REN Zhanli, QIN Jiangfeng, et al. Geochemistry and Zircon LA-ICPMSU-Pb dating of the Zijinshan Alkaline complex in the Linxian County, Shanxi Province: Geological implication[J]. *Geological Review*, 2007, 53(5): 656–663.
- 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 等. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社, 2008.
- XU Zhigang, CHEN Yuchuan, WANG Denghong, et al. The scheme of the classification of the minerogenetic units in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008.
- 臧红飞, 郑秀清, 赵洁, 等. 柳林泉域滞流区低温岩溶热水的年龄分析[J]. *中国岩溶*, 2017, 36(4): 550–556.
- ZANG Hongfei, ZHENG Xiuqing, ZHAO Jie, et al. Dating of Low-temperature geothermal Karst Groutwater in the Stagnant Area of the Liulin Spring Drainage[J]. *Carsologica Sinica*, 2017, 36(4): 550–556.
- 张凌鹏, 丁宏伟, 张家峰, 等. 甘肃省地热流体化学及环境同位素特征和形成年龄分析[J]. *干旱区地理*, 2020, 43(6): 1496–1504.
- ZHANG Lingpeng, DING Hongwei, ZHANG Jiafeng, et al. Hydrochemistry and environmental isotopic characteristics and formation ages analysis of geothermal fluids in Gansu Province[J]. *Arid Land Geography*, 2020, 43(6): 1496–1504.
- 赵振宇, 郭彦如, 王艳, 等. 鄂尔多斯盆地构造演化及古地理特征研究进展[J]. *特种油气藏*, 2012, 19(5): 15–20.
- ZHAO Zhenyu, GUO Yanru, WANG Yan, et al. Study progress in tectonic evolution and paleogeography of Ordos Basin[J]. *Special Oil and Gas Resources*, 2012, 19(5): 15–20.
- 朱强, 曾佐勋, 李天斌, 等. 华北克拉通对 Rodinia 超大陆裂解的响应——来自贺兰山北段小松山地区辉长岩地球化学、年代学及 Hf 同位素的新证据[J]. *地质通报*, 2018, 37(6): 1075–1086.
- ZHU Qiang, ZENG Zuoxun, LI Tianbin, et al. Response of the North China Craton to the Rodinia supercontinent breakup: New evidence from petrochemistry, chronology and Hf isotope of the gabbro in Xiaosongshan area of northern Helan mountain[J]. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(6): 1075–1086.