

文章编号:1672-6561(2013)01-0034-14

陕西秦岭铅锌矿床的地质特征及成矿动力学过程

任 鹏^{1,2}, 梁 婷^{1,2}, 牛 亮², 鲁 麟², 张文璟², 杨 钊³, 王 焯³, 程玉龙³

(1. 长安大学 西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710054; 2. 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 3. 汉中市天鸿基矿业有限公司, 陕西 汉中 723000)

摘 要:依据区域成矿背景、控矿构造和铅锌矿床的分布规律,将陕西秦岭铅锌矿床由北到南依次划分为凤太铅锌矿集区、山柞铅锌矿集区、镇旬铅锌矿集区以及马元铅锌矿集区。铅锌矿主要赋存在泥盆系、志留系和震旦系地层中,以热水喷流-沉积型和密西西比河谷型为主。通过对同位素地球化学、矿石矿物中微量元素地球化学特征等的总结,分析了陕西秦岭铅锌矿的成矿物质来源、成矿盆地的形成环境,进而探讨了成矿动力学过程。结果表明:陕西秦岭铅锌矿床矿石硫主要来源于海水硫酸盐,矿石铅主要来源于上地壳,成矿热液主要为大气降水;凤太铅锌矿集区、山柞铅锌矿集区、镇旬铅锌矿集区大规模的成矿作用受控于晚古生代扬子板块和秦岭微板块分别沿勉略带和商丹带俯冲形成的陆壳伸展扩张环境,马元铅锌矿集区受控于晋宁运动后扬子板块北缘所处的伸展岩石圈动力学背景。

关键词:铅锌矿;地质特征;物质来源;成矿条件;微量元素;成矿动力背景;秦岭;陕西

中图分类号:P618.42;P618.43 **文献标志码:**A

Geological Characteristic and Geodynamic Process from Pb-Zn Deposit in Qinling of Shaanxi

REN Peng^{1,2}, LIANG Ting^{1,2}, NIU Liang², LU Lin², ZHANG Wen-jing²,
YANG Zhao³, WANG Chan³, CHENG Yu-long³

(1. Key Laboratory of Western Mineral Resources and Geological Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. Hanzhong Tianhongji Mining Co., Ltd., Hanzhong 723000, Shaanxi, China)

Abstract: Based on the regional metallogenic setting, ore-controlling structure and distribution of Pb-Zn deposits, Pb-Zn deposits in Qinling of Shaanxi were divided into Fengtai, Shanzha, Zhenxun and Mayuan Pb-Zn ore concentration areas from north to south. Pb-Zn deposits mainly occurred in Devonian, Silurian and Sinian strata, and the types were SEDEX and MVT. Isotope geochemistry and trace elements geochemistry in ore mineral were summarized, and material source of mineralization and forming environment of mineralization basin of Pb-Zn deposit in Qinling of Shaanxi were discussed, and the geodynamic process was studied. The results showed that ore sulfur of Pb-Zn deposit in Qinling of Shaanxi mainly came from seawater sulfate, ore lead mainly came from the upper crust, and ore-forming hydrothermal fluid mainly came from precipitation; large-scale mineralizations in Fengtai, Shanzha and Zhenxun Pb-Zn ore concentration areas were controlled by the continental extensional environment, which was caused by the subduction of Yangtze Plate and Qinling microplate

收稿日期:2012-04-12

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(1212011120354)

作者简介:任 鹏(1988-),男,山西文水人,理学硕士研究生,E-mail:shanxirenpeng@163.com。

separately along Mianlue band and Shangdan band in Late Palaeozoic; the mineralization in Mayuan Pb-Zn ore concentration area was controlled by the extensional lithosphere geodynamic setting in the northern edge of Yangtze Plate after Jinning movement.

Key words: Pb-Zn deposit; geological characteristic; material source; metallogenic condition; trace element; geodynamic setting; Qinling; Shaanxi

0 引言

秦岭地处中国扬子板块与华北板块的缝合部位,其西端位于甘肃省境内,东段延伸至河南省西部,主体位于陕西省南部与四川省的交界处,长约1 500 km。本区蕴藏着丰富的矿产资源,具有成矿规模大、矿种多、矿床成因复杂、成矿时代跨度大等特征,是中国重要的铅、锌、钼、金、汞、锑、钴、镍等金属的矿产地。

陕西秦岭的铅锌资源十分丰富,矿床规模多以中小型为主,个别达到大型。据不完全统计,目前在陕西省秦岭共发现矿点以上矿产地(含矿点)80余处^[1],主要分布于南秦岭泥盆系地层中,代表性矿床有凤太矿集区中的铅硐山铅锌矿和八方山铅锌矿、山柞矿集区的桐木沟铅锌矿和银洞子银铅锌矿、镇旬矿集区的锡铜沟铅锌矿,其次分布于旬北盆地志留系地层中,以泗人沟铅锌矿为代表。近年来,在扬子地台北缘震旦系地层中发现了马元铅锌矿床^[2],在奥陶系、侏罗系、白垩系地层中也发现了铅锌矿点。

20世纪50年代后,陕西省地质矿产开发局对该区进行了1:200 000区域地质调查和矿产普查。进入80年代以来,中国地质调查局、西北有色地质勘查局、陕西省地质矿产开发局以及“十一五”国家科技支撑计划项目等在陕西秦岭进行了不同程度的研究工作,取得了一系列的研究成果^[3-4]。薛杉等对陕西铅锌矿进行了矿床成因研究^[5-6];贾润幸等对陕西典型铅锌矿床进行了地球化学研究^[7-14];赵国斌等对陕西铅锌矿床进行了分布特征和成矿规律等研究^[15-19]。在全面分析前人研究成果的基础上,笔者对不同矿集区内铅锌矿床的成因类型、时空分布规律、地质特征、成矿物质来源进行了系统总结,对成矿动力学过程进行了探讨。

1 矿集区的成矿背景

陕西铅锌矿集区位于南秦岭海西—印支褶皱带。根据大地构造单元和铅锌矿产的空间分布,将其划分为4个矿集区,分别为凤太矿集区、山柞矿集区、镇旬矿集区以及马元矿集区(图1^[19])。这些矿

集区集中了陕西主要的大中型铅锌矿床,如马元铅锌矿床、铅硐山铅锌矿床、桐木沟铅锌矿床等。矿床类型以热水喷流—沉积型(SEDEX型)和密西西比河谷型(MVT型)为主。

1.1 凤太矿集区

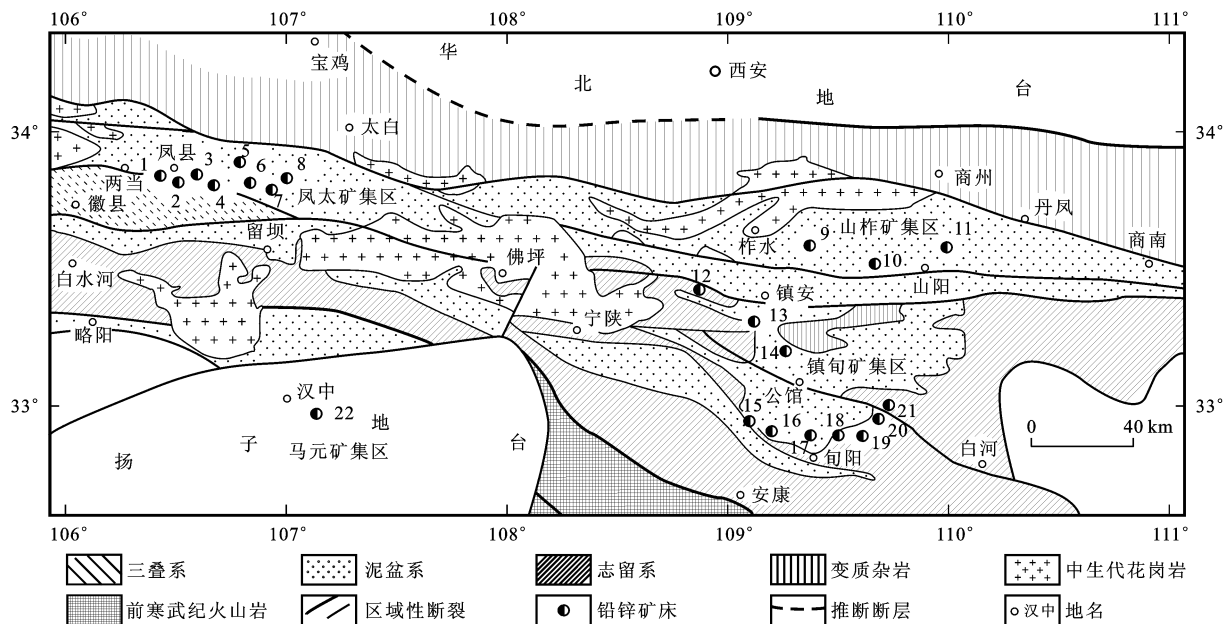
凤太矿集区南北两侧均被区域性大断裂所限制,北侧限于走向近东西的凤县—山阳断裂,南侧限于走向近东西的酒奠梁—王家院断裂,向东延伸并入江口—镇安—板岩镇断裂中,北东向、南东向分别被太白花岗岩基、华阳岩体切割^[19-21]。该区控制了铅硐山、二里河—八方山、银母寺、峰崖等一批大中型铅锌矿床。该矿集区矿体产于3个不同的层位,大部分矿体赋存在与星红铺组接触处的古道岭组顶部硅岩中,在古道岭组上部的结晶灰岩中也有矿体呈层状、似层状与围岩整合产出,还有少量矿体赋存在星红铺组千枚岩与灰岩透镜体的接触处。

1.2 山柞矿集区

山柞矿集区位于柞水断陷盆地内,北侧限于商丹大断裂,南侧限于山阳大断裂。断裂两侧有一系列基性—超基性岩体和中酸性岩体侵入。盆地内褶皱构造以北西向的线形褶皱为主,主要为营盘—二峪河—过风楼复向斜及其两侧的2个大背斜^[18]。矿体主要赋存于泥盆系青石垭组下段的深灰色绢云千枚岩及其上段的绢云结晶灰岩中。本区已经发现银洞子铅锌银矿床、桐木沟铅锌矿床以及小河口和黑沟等铅锌矿床,均为典型的热液喷流—沉积型矿床。

1.3 镇旬矿集区

镇旬矿集区内褶皱和主干断裂均呈东西向或者近东西向延伸,北侧限于镇安—板岩镇断裂,南以旬阳志留系与泥盆系不整合面为界限,总体为一大复式向斜带,主要包括2个构造单元,即金鸡岭复向斜和南羊山向斜。区内铅锌矿床分别赋存于泥盆系和志留系地层中。矿体在泥盆系地层中主要位于大枫沟组上段的泥质灰岩和生物灰岩中,代表性矿床有锡铜沟铅锌矿床;在志留系地层中,含矿层位集中于双河镇组和下志留统梅子垭组中,代表性矿床有泗人沟、关子沟、南沙沟等中型铅锌矿床,近几年还发



矿床产地: 1—银洞梁; 2—手搬崖; 3—峰崖; 4—铅洞山; 5—长沟; 6—八方山; 7—银母寺; 8—王家楞; 9—银洞子; 10—黑沟; 11—桐木沟; 12—银洞沟; 13—锡铜沟; 14—月西; 15—大黑山; 16—大岭; 17—赵家庄; 18—泗人沟; 19—关子沟; 20—南沙沟; 21—山西沟; 22—马元

图 1 陕西秦岭铅锌矿集区及矿床分布

Fig. 1 Distribution of Pb-Zn Ore Concentration Areas and Deposits in Qinling of Shaanxi

现了黄石板、周家沟、大磨沟等矿床(点)。

1.4 马元矿集区

马元铅锌矿集区位于扬子陆块北缘汉南地块, 北侧限于勉县—洋县—镇巴弧形断裂带。区内构造总体上为一大型穹窿构造, 由前震旦纪形成的结晶基底和震旦纪以来的沉积盖层组成双层结构。基底由新元古代火地垭群及澄江期中酸性侵入岩等组成。盖层由上震旦统一寒武统碳酸盐岩—碎屑岩系组成。矿体主要赋存在上震旦统灯影组角砾状白云岩中。

2 矿床主要成因类型及特征

秦岭铅锌矿床的成因类型主要以 SEDEX 型和 MVT 型为主, 大部分矿床受到后期不同程度的改造^[22-23]。其中, SEDEX 型矿床储量占全省储量的 80% 以上, 主要赋矿地层为泥盆系, 部分产出于旬北盆地南缘志留系地层中; MVT 型铅锌矿床目前只在扬子板块北部陕西省南郑县马元地区碑坝隆起翼部震旦系灯影组白云岩中发现, 以马元铅锌矿为代表。不同矿集区不同时代的典型矿床特征见表 1。

2.1 热水喷流—沉积型矿床

陕西秦岭 SEDEX 型矿床分布较为广泛, 在各个矿集区均有一批大中型铅锌矿床产出。笔者以各个矿集区内的典型矿床为例进行说明。

(1) 凤太矿集区铅洞山铅锌矿床: 铅洞山铅锌矿

床(图 2^[18])的大地构造位置处于水柏沟—铅洞山复式背斜西部倾伏端的南分支——铅洞山倒转背斜中^[18], 受背斜控制明显。背斜的鞍部、倒转翼及其倾伏端是矿化最富集、矿体厚度最大的部位。

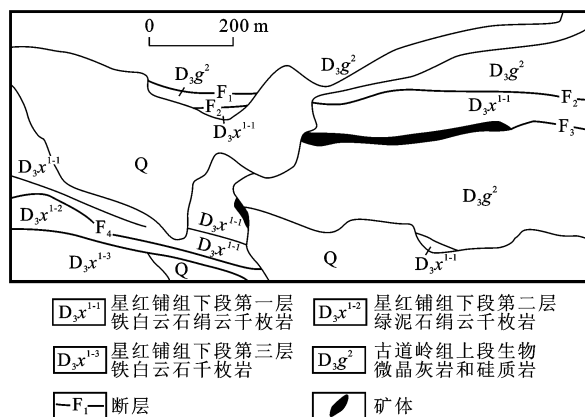


图 2 铅洞山铅锌矿床地质简图

Fig. 2 Geological Sketch of Qindongshan Pb-Zn Deposit

该矿层位于中泥盆统古道岭组生物微晶灰岩和星红铺组千枚岩之间。矿体以整合的鞍状、似层状、透镜状产出。其中, 主矿体已控制延长 1 067 m, 平均厚 3.6 m, 延深 454 m^[18]。矿石矿物为闪锌矿、方铅矿和黄铁矿, 含少量黄铜矿和毒砂; 脉石矿物主要为石英和铁白云石, 含少量方解石和重晶石。矿石结构包括它形—半自形粒状结构、交代溶蚀结构以及

表 1 陕西秦岭典型铅锌矿床特征

Tab. 1 Characteristics of Typical Pb-Zn Deposits in Qinling of Shaanxi

矿集区带	马元矿集区	凤太矿集区	山柞矿集区	镇旬矿集区	
主要矿床	马元(大型)	银洞梁(大型)、铅洞山(大型)、八方山(中型)、峰崖(中型)、手搬崖(中型)、银母寺(小型)	银洞子(中型)、桐木沟(中型)、黑沟(小型)	南沙沟(大型)、黄石板(中型)、锡铜沟(中型)、泗人沟(中型)、关子沟(中型)、红土坡(中型)、韩氏沟(中型)	
典型矿床	马元	铅洞山	桐木沟	泗人沟	锡铜沟
大地构造位置	扬子板块北部碑坝古陆核活化杂岩区	铅洞山—水柏沟复式背斜西部倾伏端	南秦岭礼县—柞水华力西褶皱带东段	南秦岭印支褶皱带与北大巴山褶皱造山带衔接部北缘	岷县—两当—镇安大断裂南侧,羊山复向斜西部
赋矿地层	震旦系	泥盆系	泥盆系	志留系	泥盆系
矿床类型	MVT 型	SEDEX 型	SEDEX 型	SEDEX 型	SEDEX 型
容矿岩石	主要赋存于角砾状白云岩中	生物微晶灰岩、生物礁灰岩、绢云千枚岩、铁白云石千枚岩	绢云千枚岩,黑云角岩和黑云方柱角岩	粉砂质千枚岩,灰色生物碎屑灰岩、粉砂岩	生物碎屑灰岩、生物礁灰岩、白云质灰岩
矿体产出方式	呈层状、似层状产出	呈鞍状、似层状、透镜状产出	呈层状、纹层状产出	呈层状、似层状、透镜状产出	呈板状、透镜状、脉状切层产出
主要矿物组合	闪锌矿-方铅矿-黄铁矿-辉银矿-白云石-方解石-重晶石	方铅矿-闪锌矿-黄铁矿-黄铜矿-石英-方解石-铁白云石-重晶石	闪锌矿-黄铁矿-方铅矿-磁黄铁矿-方解石-石英-钠长石-绢云母	闪锌矿-方铅矿-黄铜矿-石英-绢云母-绿泥石-白云石-方解石	闪锌矿-方铅矿-黄铜矿-黝铜矿-石英-方解石-绢云母-白云母
特征矿石构造	以角砾状构造为主,局部为块状构造、脉状构造、网脉状构造	角砾状构造、条带状构造、团块状构造	条带状构造、角砾状构造、块状构造	浸染状构造、条带状构造、千枚状构造、脉状构造	浸染状构造、斑杂状构造、条带状构造、块状构造
围岩蚀变	白云岩化、弱硅化、重晶石化、碳化	硅化、重晶石化、铁白云石化	钠长石化、硅化、黄铁矿化、毒砂化	硅化、绿泥石化、绢云母化	硅化、黄铁矿化、碳酸盐化、重晶石化
铅锌含量	Zn 为 1.05%~10.82%,平均 4.03%;Pb 为 0.55%~7.54%,平均 2.23%	Pb 为 1.07%;Zn 为 7.68%	Zn 为 0.5%~10.0%,平均 13.41%;Pb 为 1.00%~4.00%	Zn 为 1.37%~36.0%,平均 5.36%;Pb 为 0.67%~5.68%,平均 0.37%	Zn 为 0.46%~6.18%,平均 3.34%;Pb 为 0.29%~1.00%,平均 0.89%
资料来源	文献[24]	文献[19]	文献[19]	文献[25]	文献[18]

假象、包含、共边结构等;构造主要有角砾状、条带状及团块状。其围岩发生硅化、重晶石化、铁白云石化。矿石的有用组分为 Pb、Zn;Pb 的平均含量(质量分数,下同)为 1.73%,Zn 为 7.68%,Pb 与 Zn 的平均含量比值为 0.23。

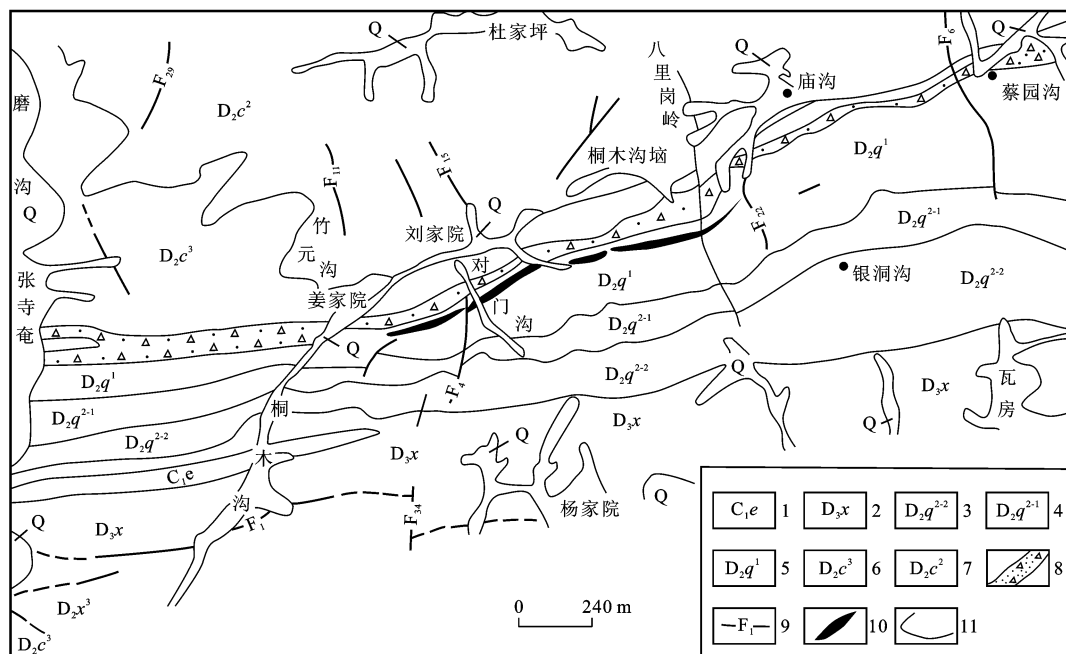
(2)山柞矿集区桐木沟铅锌矿床:桐木沟铅锌矿床位于南秦岭礼县—柞水华力西褶皱带东段的葛条坪—马鹿坪向斜北翼(图 3)。区域构造线呈近东西向,岩石区域变质程度低,岩浆活动不显著。

该矿体主要位于中泥盆统青石垭组下段的绢云千枚岩、黑云角岩和黑云方柱角岩中。目前,已圈出锌矿体 8 个,铅矿体 1 个。其中 1 号主矿体锌储量占矿床总储量的 96%,与围岩整合产出,已控制延长 1 380 m,斜深 499 m。矿石矿物较为简单,金属矿物主要为闪锌矿和黄铁矿,方铅矿、磁黄铁矿次之;脉石矿物主要为方解石、石英、绢云母等。矿物常呈细粒它形结构、交代结构、碎斑状结构等;构造

主要有条带状、层纹状、角砾状构造。与成矿有关的蚀变主要为钠长石化、黄铁矿化、毒砂化^[19,26]。矿石的有用组分为 Pb、Zn;Pb 含量为 1.0%~4.0%,Zn 为 0.5%~10.0%,最大值达 16.44%,平均为 2.84%。

(3)镇旬矿集区泗人沟铅锌矿床:泗人沟铅锌矿床位于北大巴山造山带与南秦岭印支造山带的缝合部北缘^[8],即扬子板块北部活动大陆边缘裂陷沉积盆地东段,镇旬古生代沉积盆地的南缘。该区地层经受过浅变质作用^[27],变质程度一般仅达低绿片岩相。

该矿体主要赋存于中志留统双河镇组地层中,容矿岩石主要为灰绿—灰色粉砂质千枚岩、生物碎屑灰岩,局部夹砂质条带。经勘探,圈出 3 个矿体,其中 I 号矿体为其主矿体,长 1 800 m,控制延深 460 m^[28],呈层状、似层状产出,受层间破碎带控制。矿石矿物以闪锌矿和方铅矿为主,含黄铜矿;脉石矿物以石英



1—下石炭统二峪河组千枚岩;2—上泥盆统下东沟组千枚岩夹大理岩;3—中泥盆统青石垭组上段二层绢云板岩;4—中泥盆统青石垭组上段一层钙质板岩;5—中泥盆统青石垭组下段绢云千枚岩、黑云角岩和黑云方柱角岩;6—中泥盆统池沟组上段长英角岩、大理岩;7—中泥盆统池沟组中段黑云角岩、粉砂岩;8—角砾岩;9—断层;10—矿体;11—地质界线

图3 陕西山阳桐木沟铅锌矿区地质简图

Fig. 3 Geological Sketch of Tongmugou Pb-Zn Deposit in Shanyang of Shaanxi

为主,绢云母、绿泥石、白云石、方解石次之。矿石结构主要有不等粒晶粒结构、胶状结构等;矿石构造为浸染状构造、条带状构造,其次有千枚状构造、脉状构造。围岩蚀变主要为硅化、绿泥石化、绢云母化。Pb含量为0.67%~5.68%,Zn为1.37%~36.0%^[25,29]。

2.2 密西西比河谷型矿床

该类矿床以马元铅锌矿为代表(图4^[11])。矿床位于扬子地台北缘碑坝隆起东南缘一带。矿化带长大于60 km,宽10~200 m,可分为南、东、北3个铅锌矿化带,已圈出40余条铅锌矿体,赋矿地层为震旦系灯影组角砾状白云岩中。矿体长100~2 560 m,厚0.8~32.53 m。锌含量为1.05%~10.82%,铅为0.55%~7.54%。该矿床矿石矿物主要为闪锌矿、方铅矿,含少量黄铁矿、辉银矿,脉石矿物主要为白云石、方解石、重晶石次之。矿石构造以角砾状结构为主,角砾多为白云岩,局部为块状、脉状。矿石结构以中—细粒结构为主。该成矿带受地层层位控制,具有形成超大型矿床的前景^[12,24]。

3 讨论

3.1 成矿物质来源探讨

在对前人研究成果进行大量统计的基础上,笔者

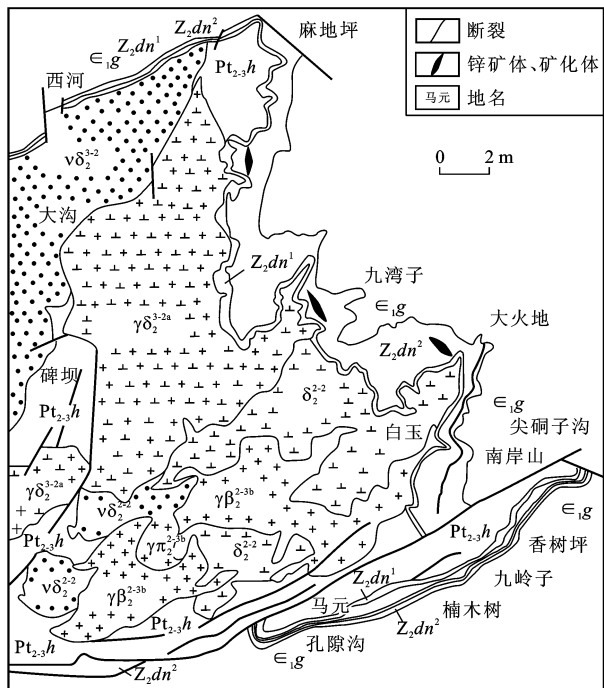
总结了四大矿集区典型铅锌矿床铅锌元素背景值和矿床同位素地球化学特征(表2~5、图5~7)。

表2 陕西秦岭典型铅锌矿床铅锌元素背景值

Tab. 2 Background Values of Pb and Zn Elements of Typical Pb-Zn Deposits in Qinling of Shaanxi

矿集区带	区域地层	样品数量	Pb 含量/ 10 ⁻⁶	Zn 含量/ 10 ⁻⁶	资料来源
凤太矿集区	星红铺组	36	32.60	162.40	文献[18]
	古道岭组	28	52.60	71.50	
山柞矿集区	青石垭组	55	7.30	60.00	文献[19]
	池沟组	42	20.80	86.00	
镇旬矿集区	双河镇组	131	13.82	139.24	文献[25]
	梅子垭组	455	24.10	117.40	
马元矿集区	灯影组	105	12.00	71.00	文献[24]
	火地垭群	2	50.00	300.00	
	澄江期花岗岩		35.00	325.00	
地壳克拉克值			15.00	86.00	文献[30]

从表2可以看出,在凤太矿集区,泥盆系星红铺组和古道岭组地层中Pb、Zn平均含量均比地壳克拉克值高,可能为该区铅锌矿床提供了部分金属来源。在山柞矿集区,泥盆系青石垭组地层中Pb、Zn含量背景值分别为 7.3×10^{-6} 、 60×10^{-6} ,池沟组地



∈_{1g}—下寒武统郭家坝组碳质页岩、泥岩;Z₂dn²—上震旦统灯影组上段砾屑白云岩;Z₂dn¹—上震旦统灯影组下段砂砾岩、角砾状白云岩;Pt₂₋₃h—中、新元古代火地垭群;γπ₂^{2-3b}—花岗岩;γβ₂^{2-2b}—黑云母花岗岩;γδ₂^{3-2a}—黑云母斜长花岗岩、斜长花岗岩;δ₂²⁻²—闪长岩;γδ₂²⁻²—辉长岩

图 4 马元铅锌矿床地质简图

Fig. 4 Geological Sketch of Mayuan Pb-Zn Deposit

层中 Pb、Zn 背景值分别为 20.8×10^{-6} 、 86×10^{-6} ，基本都低于地壳克拉克值，显然泥盆系不是矿源层。在镇旬矿集区志留系双河镇组地层中，Pb、Zn 平均含量分别为 13.82×10^{-6} 、 139.24×10^{-6} ；在梅子垭组地层中，Pb、Zn 平均含量分别为 24.1×10^{-6} 、 117.4×10^{-6} ，均高于地壳 Pb、Zn 的克拉克值，暗示志留系地层可能为成矿元素 Pb、Zn 的来源之一。在马元矿集区，赋矿地层灯影组中 Pb、Zn 平均含量分别为 12×10^{-6} 、 71×10^{-6} ，均低于地壳 Pb、Zn 克拉克值，但是在灯影组下部基底岩系火地垭群和澄江期花岗岩中，Pb、Zn 平均含量为地壳 Pb、Zn 克拉克值的 5 倍左右，说明火地垭群和澄江期花岗岩可能为成矿元素的主要来源之一^[24]。

从表 3 和图 5 可以看出，凤太矿集区银母寺、铅洞山、八方山矿床的硫同位素组成 $\delta(^{34}\text{S})$ 为 $(0.6 \sim 12.2) \times 10^{-3}$ ，平均值为 1.92×10^{-3} ，硫同位素变化范围相对较大，暗示本区硫化物中硫的来源不是单一的，而很可能是来自当时海水硫酸盐的还原硫与深部硫的混合源。山柞矿集区桐木沟、银洞子矿床的 $\delta(^{34}\text{S})$ 变化范围很大，为 $(-1.9 \sim 25.1) \times 10^{-3}$ ，

表 3 陕西秦岭典型铅锌矿床硫同位素组成
Tab. 3 Sulfur Isotopic Composition of Typical Pb-Zn Deposits in Qinling of Shaanxi

矿集区 名称	矿床 名称	赋矿 地层	测定 矿物	矿物 数量	$\delta(^{34}\text{S})/10^{-3}$	$\delta(^{34}\text{S})$ 平均 值/ 10^{-3}	资料 来源
凤太矿 集区	铅洞山	泥盆系	闪锌矿	21	5.3~10.3	8.60	文献[31]
			方铅矿	21	0.6~8.6	4.90	
	八方山	泥盆系	闪锌矿	7	10.2~12.1	11.30	
			方铅矿	7	7.5~9.3	8.50	
	银母寺	泥盆系	闪锌矿	4	9.7~12.2	11.30	
			方铅矿	14	5.9~11.2	8.50	
山柞矿 集区	桐木沟	泥盆系	闪锌矿	18	10.8~20.5	16.24	文献[32]
			方铅矿	15	10.8~19.6	16.03	
			黄铁矿	8	13.3~20.9	17.67	
	银洞子	泥盆系	闪锌矿	2	13.9~16.9	15.40	文献[33]
			方铅矿	19	-1.9~19.6	8.20	
			黄铁矿	10	12.0~25.1	16.51	
重晶石			4	26.0~32.7	28.70		
镇旬矿 集区	锡铜沟	泥盆系			11.4~19.7	16.65	文献[18]
	泗人沟	志留系	闪锌矿	4	-8.51~0.45	-4.99	文献[28]
			黄铁矿	3	-9.81~-1.0	-4.78	
			方铅矿	3	3.83~14.31	8.69	
	黄石板	志留系	闪锌矿	3	4.9~6.8	5.63	文献[25]
	南沙沟	志留系	闪锌矿	5	7.04~11.4	9.75	
方铅矿			5	2.68~9.2	4.91		
马元矿 集区	马元	震旦系	闪锌矿	6	16~18.22	17.49	文献[16]
			方铅矿	8	8.0~16.8	13.24	
			黄铁矿	2	18.6~18.8	18.70	
			重晶石	3	32.2~33.48	33.00	

注： $\delta(\cdot)$ 为元素同位素组成。

说明硫化物中的硫可能为混合源。 $\delta(^{34}\text{S})$ 大部分位于 $(11.0 \sim 21.0) \times 10^{-3}$ 之间，平均为 15.50×10^{-3} ，与泥盆纪古海水硫酸盐的 $\delta(^{34}\text{S})$ ($\delta(^{34}\text{S}) = 17 \times 10^{-3}$ ，据文献[34]) 接近，说明硫化物主要由海水硫酸盐还原形成。镇旬矿集区志留纪形成的泗人沟、南沙沟、黄石板矿床的 $\delta(^{34}\text{S})$ 为 $(-9.81 \sim 14.31) \times 10^{-3}$ ，平均为 3.56×10^{-3} ，接近陨石的 $\delta(^{34}\text{S})$ ，可能为深部硫和海水硫酸盐的混合。泥盆纪形成的锡铜沟矿床的 $\delta(^{34}\text{S})$ 为 $(11.4 \sim 19.7) \times 10^{-3}$ ，平均为 16.65×10^{-3} ，硫同位素组成为海水硫酸盐型。马元铅锌矿集区中，矿石硫同位素组成基本与桐木沟、锡铜沟相似， $\delta(^{34}\text{S})$ 为 $(8.0 \sim 18.8) \times 10^{-3}$ ，平均为 15.63×10^{-3} ，重晶石的 $\delta(^{34}\text{S})$ 高达 33.48×10^{-3} ，说明硫可能由海水硫酸盐还原形成后，在后期又萃取

表 4 陕西秦岭典型铅锌矿床铅同位素组成
Tab. 4 Pb Isotopic Composition of Typical Pb-Zn
Deposits in Qinling of Shaanxi

矿床 名称	测定 对象	$N(^{206}\text{Pb})/$ $N(^{204}\text{Pb})$	$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{204}\text{Pb})$	$N(^{208}\text{Pb})/$ $N(^{204}\text{Pb})$	资料 来源
铅硐山	方铅矿	18.083	15.568	38.000	文献[19]
	方铅矿	18.025	15.567	38.099	
	方铅矿	18.548	15.677	38.010	
	方铅矿	18.123	15.652	38.272	
八方山	方铅矿	18.107	15.628	38.296	
	方铅矿	18.051	15.603	38.036	
	方铅矿	18.018	15.557	37.994	
桐木沟	方铅矿	18.020	15.540	38.259	
	方铅矿	18.040	15.553	37.946	
	方铅矿	18.014	15.555	38.013	
	黄铁矿	18.137	15.612	38.699	
银硐子	方铅矿	18.001	15.550	37.965	文献[29]
	方铅矿	18.167	15.706	38.455	
	方铅矿	18.236	15.581	38.935	
	方铅矿	18.110	15.678	38.376	
泗人沟	闪锌矿	17.975	15.570	38.150	
	黄铁矿	18.213	15.620	38.471	
	黄铁矿	18.060	15.613	38.390	
	方铅矿	17.198	15.564	37.982	
南沙沟	闪锌矿	17.790	15.551	37.952	文献[25]
	方铅矿	17.798	15.558	37.941	
锡铜沟	方铅矿	17.955	15.532	37.916	文献[19]
	方铅矿	17.975	15.574	38.009	
	方铅矿	17.313	15.535	37.873	
	方铅矿	17.953	15.531	37.876	
马元		17.790	15.620	38.040	文献[24]
		17.880	15.490	37.570	
		17.620	15.540	38.070	
		18.020	15.630	38.350	

注： $N(\cdot)/N(\cdot)$ 为同一元素同位素比值， $N(\cdot)$ 为该元素的原子数。

了容矿地层中的硫。

上述 4 个矿集区的硫同位素研究表明,陕西铅锌矿床硫的主要来源为海水硫酸盐。

(3)在地质历史演化过程中,铅储库可分为 4 种:地幔、造山带、下地壳和上地壳。其中,造山带铅可视为地幔和地壳混合的结果。从图 6(a)可以看出,四大矿集区典型铅锌矿床的铅同位素投点大部分都落在造山带演化线左侧附近。从图 6(b)可

表 5 陕西秦岭典型铅锌矿床氢氧同位素组成
Tab. 5 Hydrogen and Oxygen Isotopic Compositions
of Typical Pb-Zn Deposits in Qinling of Shaanxi

矿集区	矿床	分析对象	$\delta(^{18}\text{O})/10^{-3}$	$\delta(\text{D})/10^{-3}$	数据来源
凤太矿 集区	八方山	石英	-0.95	-79.01	文献[35]
		石英	-9.92	-72.27	
		石英	-3.50	-77.00	文献[18]
		石英	2.50	-77.00	
		石英	4.80	-77.00	
	铅硐山	闪锌矿	1.90	-50.00	文献[18]
		闪锌矿	2.90	-47.00	
		闪锌矿	1.00	-50.00	
		闪锌矿	2.40	-39.00	
		闪锌矿	-0.80	-57.00	
山柞矿 集区	银硐子	石英	15.03	-72.90	文献[19]
	桐木沟	石英	7.70	-92.00	文献[36]
		燧石	8.70	-107.00	
		燧石	3.90	-111.00	
		石英	4.70	-86.00	文献[28]
		石英	8.60	-81.00	
		石英	8.30	-80.00	
	镇旬矿 集区	南沙沟	闪锌矿	7.10	-59.00
方铅矿			12.40	-77.00	
石英			9.40	-71.00	
泗人沟		石英	13.00	-52.00	文献[28]
		石英	8.90	-63.00	
		石英	7.80	-68.00	
锡铜沟		石英	8.29	-75.50	文献[19]
		石英	14.09	-83.40	
马元矿 集区	马元	石英		-92.00	文献[11]
		石英		-113.00	

以看出,投点大部分都落在上地壳和造山带演化线附近,表明该区铅锌矿床具有壳幔混合的特征,但以壳源为主。

(4)利用 Sheppard 的氢氧同位素图解,对各铅锌矿集区典型铅锌矿床的氢氧同位素值(表 5)进行投点(图 7)。结果表明:凤太矿集区八方山铅锌矿的 1 个投点落在雨水线上,其余投点均与其呈水平方向排列,铅硐山的投点也均落在雨水线和变质水之间,成矿热液可能主要来自大气降水,并混入了变质水;山柞矿集区桐木沟锌矿床只有 2 个样品点落入岩浆水的下方,可能代表封存的海水或建造水,其他点均落在岩浆水附近,可能为封存海水与岩浆水

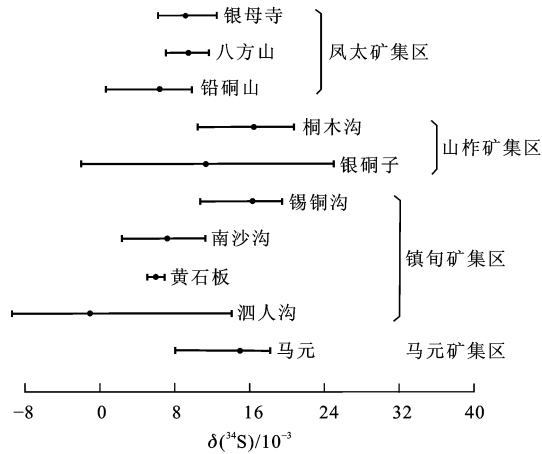
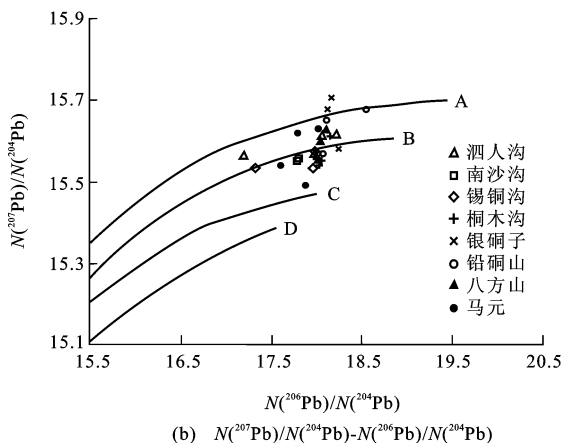
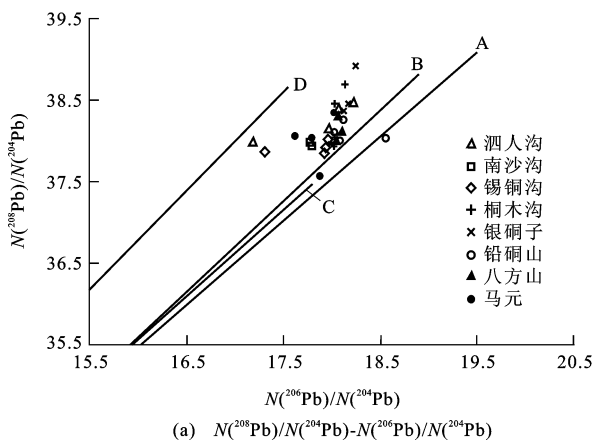


图 5 陕西秦岭典型铅锌矿床 $\delta(^{34}\text{S})$ 分布
Fig. 5 Distribution of $\delta(^{34}\text{S})$ of Typical Pb-Zn Deposits in Qinling of Shaanxi



A—上地壳; B—造山带; C—地幔; D—下地壳

图 6 陕西秦岭典型铅锌矿床铅同位素投影图解
Fig. 6 Pb Isotopic Project Diagram of Typical Pb-Zn Deposits in Qinling of Shaanxi

的混合水^[29]。银洞子矿床的投影点落入变质水附近,成矿热液可能主要来自于变质水。在镇旬矿集区中,投点基本上都落入原生岩浆水区域内或其附近,而在本区基本没有岩浆活动,因此其合理解释是

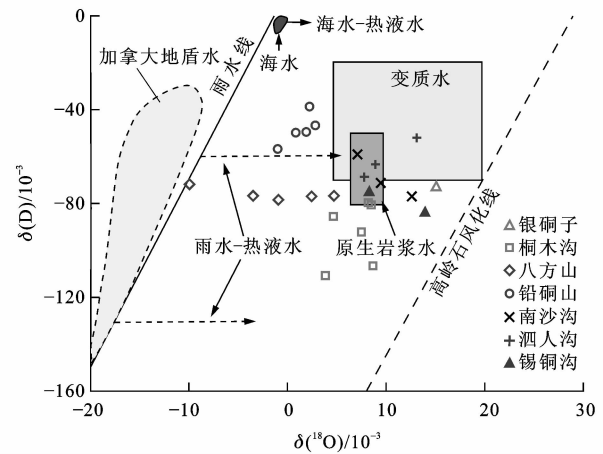


图 7 陕西秦岭典型铅锌矿床 $\delta(\text{D})$ - $\delta(^{18}\text{O})$ 变化
Fig. 7 Changes of $\delta(\text{D})$ and $\delta(^{18}\text{O})$ of Typical Pb-Zn Deposits in Qinling of Shaanxi

成矿热液可能来自于深部封存的变质流体^[28]。李厚民等测得马元铅锌矿石英包裹体中水的氢同位素组成 $\delta(\text{D})$ 为 $(-113 \sim -92) \times 10^{-3}$, 落入大气降水 $\delta(\text{D})$ $(-200 \sim 20) \times 10^{-3}$ 变化范围内, 而与变质水和岩浆水相差较大。因此, 马元铅锌矿的成矿热液来源主要为大气降水^[11]。

3.2 成矿盆地和成矿条件研究

硫同位素研究表明, 陕西铅锌矿集区铅锌矿床中的硫主要来源于海水硫酸盐。矿床中硫化物的 $\delta(^{34}\text{S})$ 特征与成矿盆地类型密切相关。在封闭盆地中, 海水硫酸盐被还原后得不到充分补充, 使得还原形成的硫化物中具有偏富重硫的特征。而在开放盆地中, 硫酸盐被还原后有充分的外来物质加入, 使得还原形成的硫化物中 $\delta(^{34}\text{S})$ 接近于 0。在封闭和开放交替变化的盆地中, 经过海水硫酸盐还原形成的硫化物中 $\delta(^{34}\text{S})$ 变化范围较大, 一般可以从负值变化到较高的正值^[17]。

在凤太矿集区, 硫化物 $\delta(^{34}\text{S})$ 为 $(0.6 \sim 12.2) \times 10^{-3}$, 反映了当时凤太成矿盆地的封闭程度相对较低, 可能属于半封闭一半开放盆地。在山柞矿集区, 硫化物中 $\delta(^{34}\text{S})$ 大部分为 $(11.0 \sim 21.0) \times 10^{-3}$, 明显富集重硫, 反映了成矿期矿集区处于一个相对封闭的环境。镇旬矿集区志留纪形成的泗人沟、南沙沟和黄石板矿床中, $\delta(^{34}\text{S})$ 为 $(-9.81 \sim 14.31) \times 10^{-3}$, 变化范围较大, 而泥盆纪形成的锡铜沟矿床的 $\delta(^{34}\text{S})$ 明显偏高, 且分布集中, 说明镇旬矿集区在志留纪时是一个开放和封闭交替变化的海盆, 而在泥盆纪时变为一个封闭的海盆。在马元铅锌矿集区, $\delta(^{34}\text{S})$ 变化范围较小, 且均值达到 15.63×10^{-3} , 说

明马元铅锌矿集区在成矿时为一个封闭的海盆。

3.3 微量元素指示意义

Cd、Ge、Ga、In 元素的晶体化学性质与 Zn 相似,因此在成矿过程中经常以类质同象的形式替换闪锌矿中的 Zn 而进入晶格。高温条件下,类质同象替代容易进行,因此在高温时 In 在闪锌矿中富集。而 Cd、Ga 在高温条件下具有亲石性,在中—低温条件下具有亲硫性。Ge 在高温、中—低温时分别以 Ge^{4+} 和 Ge^{2+} 状态存在。在低温条件下,Cd、Ge、Ga 在闪锌矿中相对富集^[18]。因此,在高温条件下

形成的与岩浆热液作用和火山热液作用有关的铅锌矿床闪锌矿富 In,而 Cd、Ge、Ga 含量较低;在低温条件下形成的层控型铅锌矿床闪锌矿富 Cd、Ge、Ga,而 In 含量较低。在黄铁矿中,Co、Ni 的含量对矿床成因也具有指示意义。在高温条件下,Co 的晶胞系数比 Ni 小,因此 Co 比 Ni 优先进入黄铁矿晶格,使黄铁矿相对富集 Co;相反,在低温条件下,黄铁矿中则相对富集 Ni。韩照信等统计了这 2 类矿床闪锌矿、黄铁矿中微量元素含量(表 6),通过其给出的值可以大致判别矿床的成因类型。

表 6 陕西秦岭典型铅锌矿床闪锌矿和黄铁矿中微量元素和分散元素组成

Tab. 6 Compositions of Trace and Dispersed Elements in Sphalerite and Pyrite from Typical Pb-Zn Deposits of Qinling, Shaanxi

矿床	锡铜沟		八方山		铅硐山		桐木沟		马元	层控型	热液型
矿物	闪锌矿	黄铁矿	闪锌矿	黄铁矿	闪锌矿	黄铁矿	闪锌矿	黄铁矿	闪锌矿		
样品数量	18	1	15	5	10	4	15	8	5		
$w(\text{Co})/10^{-6}$	5.0		248.0				124.2				
$w(\text{Ni})/10^{-6}$	46.0		5 300.0				223.1				
$w(\text{Zn})/10^{-2}$	62.57		59.25		60.94		59.59		63.84		
$w(\text{Cd})/10^{-2}$	0.290 0		0.120 0		0.230 0		0.190 0		0.399 8		
$w(\text{Ge})/10^{-6}$	72.4		7.0		32.0		1.9		472.5	>10.0	<5.0
$w(\text{Ga})/10^{-6}$	253.8		28.0		28.4		4.9			>30.0	<40.0
$w(\text{In})/10^{-6}$	9.30		1.30		4.30		13.30		18.00	<20.00	>30.00
$w(\text{Ga})/w(\text{In})$	27.30		21.50		6.60		0.37			>1.00	<1.00
$w(\text{Ge})/w(\text{In})$	7.78		5.38		7.44		0.14		26.25	>1.00	<0.10
$w(\text{Zn})/w(\text{Cd})$	218		519		305		311		160	>300	<300
$w(\text{Co})/w(\text{Ni})$		0.11		0.47		1.18		0.55	1.01	<1.50	>1.50
资料来源	文献[18]						文献[19]		本文	文献[37]	文献[38]

注: $w(\cdot)$ 为元素的质量分数。

从表 6 可以看出,在凤太矿集区中,铅硐山和二里河矿床闪锌矿中微量元素的各项值基本在层型铅锌矿床范围之内,说明该区铅锌矿床主要为层控型铅锌矿床,几乎不受后期岩浆热液或者火山热液活动的影响。山柞矿集区的桐木沟矿床 $w(\text{In})$ 、 $w(\text{Zn})/w(\text{Cd})$ 落入层控铅锌矿床范围内,但是 $w(\text{Ge})$ 、 $w(\text{Ga})/w(\text{In})$ 在热液型铅锌矿床范围内,笔者认为该矿床为层控型,但是可能受到火山热液的改造。在该区矿体的围岩中发现了凝灰质物质,与上述结论吻合^[38]。在镇旬矿集区中,锡铜沟矿床各项值均与层控型矿床的值接近。根据闪锌矿中微量元素反映的信息,暗示锡铜沟矿床成因类型为层控型。马元矿集区中,除 $w(\text{Zn})/w(\text{Cd})$ 属于热液型矿床外,其他各项指标均在层控型矿床指标范围之内,因此,笔者认为马元铅锌矿床为层控型,侯满堂等将本区矿床归为 MVT 型^[24],佐证了笔

者的结论。

在各矿集区内,典型铅锌矿床中黄铁矿的 $w(\text{Co})/w(\text{Ni})$ 均小于 1.5,落入层控型矿床范围之内,与闪锌矿中通过微量元素含量得出的结论一致,表明本区铅锌矿床主要为层控型,几乎不受后期热液的影响。

3.4 铅锌矿成矿动力学背景

陕西秦岭铅锌矿床成矿时代主要集中于泥盆纪、志留纪和震旦纪。区域动力学背景的不同,造成了铅锌矿床成矿时代的差异^[39-41]。秦岭地区大规模的碰撞造山活动主要集中在晋宁期、加里东晚期—海西早期、印支期,每次的碰撞过程都伴随着壳幔物质的相互作用。在 2 次碰撞造山过程之间的相对稳定时期,开始了新的陆内沉积演化,此时陆壳进入松弛阶段,形成新的开裂,并伴随着大规模的滑脱、推覆和断陷。

晋宁运动(800 Ma)之后,南秦岭与扬子板块北缘连为一体,属于扬子板块北部的被动大陆边缘部分,但是南秦岭和北秦岭仍处于扩张分离阶段^[42]。寒武纪中晚期,扬子板块北缘汉南地块基底隆升使震旦系灯影组地层和下寒武统郭家坝组地层抬升,在灯影组白云岩中发生层间滑脱形成角砾岩带。加里东运动早期,成矿流体在构造运动的驱动下上升至浅部角砾岩带中充填交代成矿。典型矿床有位于震旦系灯影组地层中的马元铅锌矿床。李厚民等测定其闪锌矿 Rb-Sr 等时线年龄为 (482 ± 12) Ma,处于早奥陶世^[11,43-46]。

加里东运动晚期—海西运动早期(约 405 Ma),扬子陆块和华北板块背向移动^[47],勉略洋盆打开,属于扬子板块北缘的南秦岭被动分离出来,变为秦岭微板块,形成了扬子板块沿着勉略带、秦岭微板块沿着商丹带依次俯冲的大地构造格局。秦岭微板块由于受俯冲作用的影响,其内部扩张裂隙,形成构造裂隙带。这些裂隙控制了 3 个成矿海盆,即凤太、山柞、镇旬海盆的形成。镇旬海盆在志留纪底部沉积柱中的地层水受地热异常影响变热,盐度和酸度增高,在对流循环过程中溶解了地层和围岩中的成矿元素形成含矿热卤水,同时海盆边缘同生断裂活动为含矿热卤水运移提供了上升和喷溢的通道,卤水随断裂通道进入海底,形成海底卤水层。当地质环境发生改变时,与海水混合形成了热水喷流沉积的铅锌矿胚^[32,48]。志留纪末期,华北板块、扬子板块初步拼接,并发生碰撞造山,秦岭海盆消失,旬阳地区发生抬升,并伴随着扩张裂隙活动。志留纪末到泥盆纪初,两板块背向移动,造成其拉张变薄,再次发生海侵^[47],这时镇旬海盆是广阔的浅海。在镇旬海盆南部,同生断裂活动导致热卤水再次发生喷流沉积作用,形成具有工业意义的矿床^[27];典型矿床有泗人沟矿床、南沙沟矿床。而凤太、山柞海盆直到中泥盆世末期(约 370 Ma),盆地边缘同生断裂的开启程度变高,含矿热卤水才开始了大规模喷溢^[19,32],如银铜子矿床中热水沉积作用形成的钠长石岩 Rb-Sr 等时线年龄为 (364.9 ± 10.9) Ma。热液在向上运移过程中,从深部萃取的成矿物质部分沿着围岩裂隙进行充填交代形成交代矿体,大部分成矿物质随着热液沿断裂溢出海底后又发生运移,在有利的环境中沉积形成铅锌矿床或矿胚。典型矿床有山柞盆地的银铜子矿床,铅铜山、八方山、银母寺等矿床在此时形成矿胚,只有在局部地段富集成矿。从晚泥盆世(约 378 Ma)开始,扬子板块与华北板块

发生初步的拼接。

印支期(230 Ma)开始,在南北向挤压应力的持续作用下,两大板块发生大规模的碰撞造山运动。秦岭地区海相沉积历史彻底结束,开始了陆内俯冲构造活动,发育大量的走滑、断陷、推覆和逆冲等构造形式^[49],导致板块深部熔融体上升、侵入。如二里河铅锌矿床中闪长玢岩的锆石 U-Pb 年龄为 (214 ± 2) Ma^[10],柞水二长-闪长花岗岩岩体锆石 U-Pb 同位素年龄为 (213.6 ± 1.8) Ma^[50],但是这些岩体并未对铅锌矿床的形成产生直接影响。而推覆构造对印支期前形成的铅锌矿床或矿胚进行了改造,引起成矿物质的活化转移,导致矿层重复叠置、加厚和变富等,形成具有工业意义的矿床。典型矿床有凤太矿集区的铅铜山、八方山、银母寺矿床,镇旬矿集区的锡铜沟、泗人沟矿床以及山柞矿集区的桐木沟矿床等。

燕山期(195 Ma)开始,秦岭发生全面的陆-陆碰撞造山活动,形成板块的俯冲碰撞造山带,并伴随着中酸性岩浆上侵。由于该时期热流值极小,各铅锌矿床基本没有成矿组分的带入带出变化^[18]。铅锌矿床受到构造挤压作用,发生了部分位移,使得各矿床最终就位。

4 结 语

(1)陕西秦岭铅锌矿成矿时代主要集中于泥盆纪、志留纪和震旦纪。按大地构造位置和铅锌矿产的分布,将陕西分为 4 个矿集区:凤太矿集区、山柞矿集区、镇旬矿集区、马元矿集区。

(2)陕西秦岭铅锌矿床的成因类型主要为热水喷流-沉积型和密西西比河谷型。闪锌矿和黄铁矿中微量元素研究也表明,本区铅锌矿床类型主要为层控型,而非热液型。

(3)陕西秦岭铅锌矿床硫、铅同位素特征表明:成矿流体中硫主要来自于海水硫酸盐;矿石铅主要来自于上地壳。氢氧同位素特征表明,成矿热液主要来自于大气降水。

(4)凤太矿集区在成矿时为一半封闭一半开放的盆地,山柞矿集区和马元矿集区在成矿时为封闭的海盆,镇旬矿集区在志留纪时是一个开放和封闭交替变化的海盆,而在泥盆纪时已变为一个封闭的海盆。

(5)区域构造背景研究表明,马元铅锌矿集区形成于晋宁运动后扬子板块北缘所处的伸展环境。凤太铅锌矿集区、山柞铅锌矿集区、镇旬铅锌矿集区大

规模的成矿作用形成于晚古生代扬子板块和秦岭微板块分别沿勉略带和商丹带俯冲形成的陆壳伸展扩张环境。

参考文献:

References:

- [1] 齐文,侯满堂. 陕西铅锌矿类型及其找矿方向[J]. 陕西地质, 2005, 23(2): 1-20.
QI Wen, HOU Man-tang. Types and Prospecting Trend of Lead and Zinc Ores in Shaanxi Province[J]. Geology of Shaanxi, 2005, 23(2): 1-20.
- [2] 李厚民,王登红,张长青,等. 陕西几类重要铅锌矿床的矿物微量元素和稀土元素特征[J]. 矿床地质, 2009, 28(4): 434-448.
LI Hou-min, WANG Deng-hong, ZHANG Chang-qing, et al. Characteristics of Trace and Rare Earth Elements in Minerals from Some Typical Lead-zinc Deposits of Shaanxi Province[J]. Mineral Deposits, 2009, 28(4): 434-448.
- [3] 许寻会,胡希有,王海岗. 陕西镇安柃库沟铅锌矿地质特征及找矿方向[J]. 西北地质, 2012, 45(3): 109-115.
XU Xun-hui, HU Xi-you, WANG Hai-gang. Geological Feature and Prospecting Direction of Pikugou Lead-zinc Ore in Zhen'an County, Shaanxi[J]. Northwestern Geology, 2012, 45(3): 109-115.
- [4] 骆必继,张宏飞,肖尊奇. 西秦岭印支早期美武岩体的岩石成因及其构造意义[J]. 地学前缘, 2012, 19(3): 199-213.
LUO Bi-ji, ZHANG Hong-fei, XIAO Zun-qi. Petrogenesis and Tectonic Implications of the Early Indosinian Meiwu Pluton in West Qinling, Central China[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(3): 199-213.
- [5] 薛杉. 旬北盆地中部铅锌矿床地质特征及其成因初探[D]. 西安: 长安大学, 2008.
XUE Shan. A Study of Geological Characteristics and Ore-formation Type of Pb-Zn Deposit in the Central Part of Xunbei Basin[D]. Xi'an: Chang'an University, 2008.
- [6] 杨兴科. 秦岭凤太地区铅铜山铅锌矿床成因评述[J]. 西北地质, 1991, 12(4): 52-55.
YANG Xing-ke. Discussion on Lead-zinc Deposit Genesis of Qiantongshan in Fengtai Area of Qinling Mountains[J]. Northwestern Geology, 1991, 12(4): 52-55.
- [7] 贾润辛,郭键,赫英,等. 秦岭凤太成矿区金多金属矿床成矿流体地球化学研究[J]. 中国地质, 2004, 31(2): 192-198.
JIA Run-xing, GUO Jian, HE Ying, et al. Ore Fluid Geochemistry of Gold Polymetallic Deposits in the Fengtai Ore District, Qinling Mountains[J]. Geology in China, 2004, 31(2): 192-198.
- [8] 方维萱. 柃水银铜子特大型银多金属矿床矿物地球化学研究[J]. 矿物学报, 1999, 19(3): 349-357.
FANG Wei-xuan. Mineral Geochemistry of a Super-large Silver-polymetallic Deposit in Yindongzi, Zhashui County, Shaanxi Province[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1999, 19(3): 349-357.
- [9] 杨耀民,方维萱. 大西沟—银铜子超大型矿床成矿物质来源、成矿堆积环境及成矿作用多阶段性[J]. 西北地质科学, 2000, 21(1): 53-61.
YANG Yao-min, FANG Wei-xuan. Sources of Mineralization Constituents and Accumulation Environment of Ore-forming in Daxigou-Yindongzi Siderite-silver Polymetallic Superlarge Ore Deposit[J]. Northwest Geoscience, 2000, 21(1): 53-61.
- [10] 王瑞廷,李芳林,陈二虎,等. 陕西凤县八方山—二里河大型铅锌矿床地球化学特征及找矿预测[J]. 岩石学报, 2011, 27(3): 779-793.
WANG Rui-ting, LI Fang-lin, CHEN Er-hu, et al. Geochemical Characteristics and Prospecting Prediction of the Bafangshan-Erlihe Large Lead-zinc Ore Deposit, Feng County, Shaanxi Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(3): 779-793.
- [11] 李厚民,陈毓川,王登红,等. 陕西南郑地区马元锌矿的地球化学特征及成矿时代[J]. 地质通报, 2007, 26(5): 546-552.
LI Hou-min, CHEN Yu-chuan, WANG Deng-hong, et al. Geochemistry and Mineralization age of the Mayuan Zinc Deposit, Nanzheng, Southern Shaanxi[J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(5): 546-552.
- [12] 王晓虎,薛春纪,李智明,等. 扬子陆块北缘马元铅锌矿床地质和地球化学特征[J]. 矿床地质, 2008, 27(1): 37-48.
WANG Xiao-hu, XUE Chun-ji, LI Zhi-ming, et al. Geological and Geochemical Characteristics of Mayuan Pb-Zn Ore Deposit on Northern Margin of Yangtze Landmass[J]. Mineral Deposits, 2008, 27(1): 37-48.
- [13] 张海,何明友,李方林,等. 陕西凤县二里河喷流沉积型铅锌矿床的地质地球化学证据[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(1): 64-69.
ZHANG Hai, HE Ming-you, LI Fang-lin, et al. Geological and Geochemical Evidence of the Erlihe SEDEX Pb-Zn Deposit in Fengxian, Shaanxi[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2011, 33(1): 64-69.
- [14] 韩金生,姚军明,邓小华. 东秦岭沙沟银铅锌矿床成矿流体来源的锶同位素约束[J]. 岩石学报, 2013, 29(1): 18-26.

- HAN Jin-sheng, YAO Jun-ming, DENG Xiao-hua. Sr-isotope Constraint on the Source of the Fluids Forming the Shagou Ag-Pb-Zn Deposit, Eastern Qinling Orogen [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(1): 18-26.
- [15] 赵国斌. 旬北地区志留系铅锌矿成矿规律及找矿方向[D]. 西安: 长安大学, 2005.
- ZHAO Guo-bin. Metallogenic Law and Exploration Direction of Silurian Lead-zinc Deposits in the Northern of Xunyang County[D]. Xi'an: Chang'an University, 2005.
- [16] 李智明. 扬子北缘及周边地区铅锌成矿作用与找矿方向研究[D]. 西安: 长安大学, 2007.
- LI Zhi-ming. The Study on Mineralization of Lead-zinc Deposits and Prospecting Direction in Northern Margin and Surrounding Area of the Yangtze Platform, China [D]. Xi'an: Chang'an University, 2007.
- [17] 隗合明. 秦岭凤太铅-锌矿田的海底喷气成矿类型及其空间分布规律[J]. *地质论评*, 1990, 36(5): 394-403.
- WEI He-ming. The Submarine Exhalative Mineralization Types and Their Spatial Distribution in the Fengtai Pb-Zn Ore Field in the Qinling Mountains [J]. *Geological Review*, 1990, 36(5): 394-403.
- [18] 王集磊, 何伯塿, 李健中, 等. 中国秦岭型铅锌矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- WANG Ji-lei, HE Bo-chi, LI Jian-zhong, et al. Qinling-type Lead-zinc Deposits in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.
- [19] 祁思敬, 李 英. 秦岭泥盆系铅锌成矿带[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- QI Si-jing, LI Ying. Lead-zinc Metallogenic Belt of Devonian System in Qinling Mountains[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993.
- [20] 李红中, 周永章, 杨志军, 等. 秦岭造山带西段八方山—二里河地区硅质岩的地球化学特征及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2009, 25(11): 3094-3102.
- LI Hong-zhong, ZHOU Yong-zhang, YANG Zhi-jun, et al. Geochemical Characteristics and Their Geological Implications of Cherts from Bafangshan-Erlihe Area in Western Qinling Orogen[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(11): 3094-3102.
- [21] 李红中, 周永章, 杨志军, 等. 西秦岭八方山—二里河 Pb-Zn 矿区硅质岩的微量元素成分特征及演化[J]. *地学前缘*, 2010, 17(4): 290-298.
- LI Hong-zhong, ZHOU Yong-zhang, YANG Zhi-jun, et al. A Study of Micro-area Compositional Characteristics and the Evolution of Cherts from Bafangshan-Erlihe Pb-Zn Ore Deposit in Western Qinling Orogen [J]. *Earth Science Frontiers*, 2010, 17(4): 290-298.
- [22] 曹纪虎, 向世红, 薛春纪, 等. 豫西南周庄铅锌银矿床地质和成矿流体地球化学[J]. *地学前缘*, 2011, 18(5): 159-171.
- CAO Ji-hu, XIANG Shi-hong, XUE Chun-ji, et al. Ore Geology and Ore-forming Fluid Geochemistry of Zhouzhuang Ag-Pb-Zn Deposit, Southwestern Henan Province[J]. *Earth Science Frontiers*, 2011, 18(5): 159-171.
- [23] 王国芝, 刘树根, 陈翠华, 等. 四川盆地东南缘河坝 MVT 铅锌矿与古油气藏的成生关系[J]. *地学前缘*, 2013, 20(1): 107-116.
- WANG Guo-zhi, LIU Shu-gen, CHEN Cui-hua, et al. The Genetic Relationship Between MVT Pb-Zn Deposits and Paleo-oil/Gas Reservoirs at Heba, South-eastern Sichuan Basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 2013, 20(1): 107-116.
- [24] 侯满堂, 王党国, 邓胜波, 等. 陕西马元地区铅锌矿地质特征及矿床类型[J]. *西北地质*, 2007, 40(1): 42-60.
- HOU Man-tang, WANG Dang-guo, DENG Sheng-bo, et al. Geology and Genesis of the Mayuan Lead-zinc Mineralization Belt in Shaanxi Province[J]. *North-western Geology*, 2007, 40(1): 42-60.
- [25] 侯满堂, 唐永忠, 王党国. 旬阳地区志留系铅锌矿成矿时代探讨[J]. *陕西地质*, 2006, 24(2): 1-7.
- HOU Man-tang, TANG Yong-zhong, WANG Dang-guo. The Metallogenic Epoch of Silurian Lead-zinc Mineralization in Xunyang District [J]. *Geology of Shaanxi*, 2006, 24(2): 1-7.
- [26] 马国良. 桐木沟热水沉积铅锌矿床同位素地球化学特征[J]. *西安地质学院学报*, 1993, 15(4): 103-107.
- MA Guo-liang. Isotopic Geochemical Characteristics of Tongmugou Hot Water Sedimentary Pb-Zn Deposit in East Qinling[J]. *Journal of Xi'an College of Geology*, 1993, 15(4): 103-107.
- [27] 朱华平, 张德全. 从南沙沟铅锌矿床地质特征讨论秦岭志留系铅锌矿的找矿前景[J]. *矿床地质*, 2002, 21(增): 557-560.
- ZHU Hua-ping, ZHANG De-quan. Discussion About Exploration Direction of Silurian Lead-zinc Mineralization in Qinling According to Some Geological Features of Nanshagou Lead-zinc Deposit [J]. *Mineral Deposits*, 2002, 21(S): 557-560.
- [28] 朱华平, 张德全. 陕西南秦岭志留系中铅锌矿床地质地球化学特征研究[J]. *地质找矿论丛*, 2004, 19(2): 76-82.
- ZHU Hua-ping, ZHANG De-quan. Research on Geology and Geochemistry of Silurian Clastic Rock-bearing

- Lead-zinc Deposit in Southern Qinling[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2004, 19(2): 76-82.
- [29] 朱华平. 柞山地区铜锌多金属矿床地质-地球化学[D]. 北京: 中国地质科学院, 2004.
ZHU Hua-ping. Geology and Geochemistry for Copper and Zinc Deposits of Zhashui-Shanyang Area[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2004.
- [30] 韩吟文, 马振东, 张宏飞, 等. 地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 2003.
HAN Yin-wen, MA Zhen-dong, ZHANG Hong-fei, et al. Geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003.
- [31] 李延河, 蒋少涌, 薛春纪. 秦岭凤-太矿田与柞-山矿田成矿条件及环境的对比研究[J]. 矿床地质, 1997, 16(2): 171-180.
LI Yan-he, JIANG Shao-yong, XUE Chun-ji. A Comparative Study of Ore-forming Environments and Conditions in Feng-Tai and Zha-Shan Orefields, Qinling Mountains [J]. Mineral Deposits, 1997, 16(2): 171-180.
- [32] 马国良. 陕西桐木沟锌矿床中沉积喷气成矿作用的早期产物——钠长角砾岩[J]. 西北地质, 1993, 14(2): 12-17.
MA Guo-liang. Early Product of Exhalative Sedimentary Metallogenesis in Tongmugou Zn Deposit of Shaanxi Province—Albite Breccia[J]. Northwestern Geology, 1993, 14(2): 12-17.
- [33] 陈在劳. 陕西柞水银铜子银多金属矿床基本地质特征[J]. 矿产与地质, 2009, 23(6): 519-523.
CHEN Zai-lao. General Geological Feature of Yindongzi Polymetallic Ag Deposit in Zhashui[J]. Mineral Resources and Geology, 2009, 23(6): 519-523.
- [34] ROSLER H J, LANGE H. Geochemical Table[M]. Amsterdam: Elsevier, 1972.
- [35] 吕仁生, 隗合明. 八方山层控多金属矿床地质特征及成因探讨[J]. 西安地质学院学报, 1990, 12(4): 10-17.
LU Ren-sheng, WEI He-ming. The Geological Characteristics and Genetic Investigation of Bafangshan Stratabound Polymetallic Ores in Shaanxi Province [J]. Journal of Xi'an College of Geology, 1990, 12(4): 10-17.
- [36] 杨志华. 边缘转换盆地的构造岩相与成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
YANG Zhi-hua. Construction Lithofacies and Mineralization of Edge Conversion Basin [M]. Beijing: Science Press, 1991.
- [37] 曾永超, 黄书俊, 贾国相, 等. 岩浆热液型和层控型铅锌矿床某些金属矿物的特征元素及其地质意义[J]. 矿产地质研究院学报, 1985(3): 84-89.
ZENG Yong-chao, HUANG Shu-jun, JIA Guo-xiang, et al. Eigenelements of Some Metallic Minerals in the Magmatic Hydrothermal and Stratabound Pb-Zn Deposits and Their Geological Significance[J]. Journal of Mineral Resources Research Institute, 1985(3): 84-89.
- [38] 韩照信. 秦岭泥盆系铅锌成矿带中闪锌矿的标型特征[J]. 西安地质学院学报, 1994, 16(1): 12-17.
HAN Zhao-xin. The Typomorphic Characteristic of the Sphalerite in the Qinling Devonian System Lead-zinc Metallogenic Belt[J]. Journal of Xi'an College of Geology, 1994, 16(1): 12-17.
- [39] 宋忠宝, 张雨莲, 张照伟, 等. 青海锡铁山铅锌矿的成因讨论[J]. 西北地质, 2012, 45(1): 134-139.
SONG Zhong-bao, ZHANG Yu-lian, ZHANG Zhao-wei, et al. Genetic Discussion of Xitianshan Lead-zinc Deposit in Qinghai Province[J]. Northwestern Geology, 2012, 45(1): 134-139.
- [40] 江思宏, 聂凤军, 白大明, 等. 内蒙古白音诺尔铅锌矿铅同位素研究[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(3): 230-236.
JIANG Si-hong, NIE Feng-jun, BAI Da-ming, et al. Study on the Lead Isotopic Features of the Baiyinnuoer Pb-Zn Deposit in Inner Mongolia[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2011, 33(3): 230-236.
- [41] 池国祥, 薛春纪, 卿海若, 等. 中国云南金顶铅锌矿碎屑灌入体和水力压裂构造的观察及流体动力学分析[J]. 地学前缘, 2011, 18(5): 29-42.
CHI Guo-xiang, XUE Chun-ji, QING Hai-ruo, et al. Observations of Clastic Injection and Hydraulic Fracturing Structures in the Jinding Zn-Pb Deposit, Yunnan, China and Hydrodynamic Analysis [J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(5): 29-42.
- [42] 张国伟, 孟庆任, 于在平, 等. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征[J]. 中国科学: D 辑, 1996, 26(3): 193-200.
ZHANG Guo-wei, MENG Qing-ren, YU Zai-ping, et al. Orogenic Processes and Their Kinetic Characteristics of Qinling Orogen [J]. Science in China: Series D, 1996, 26(3): 193-200.
- [43] 周灵洁, 张正伟, 张中山, 等. MVT 铅-锌矿床的地球化学研究方法及其成矿系统探讨[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2011, 30(2): 223-233.
ZHOU Ling-jie, ZHANG Zheng-wei, ZHANG Zhong-shan, et al. Study on Metallogenic Systems and Geo-

- chemistry Methodology of MVT Lead-zinc Deposits [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2011, 30(2): 223-233.
- [44] HALL W E, HEYL A V. Distribution of Minor Elements in Ore and Host Rock, Illinois-Kentucky Fluorite District and Upper Mississippi Valley Zinc-lead District[J]. Economic Geology, 1968, 63(6): 655-670.
- [45] ANDERSON G M. Precipitation of Mississippi Valley-type Ores[J]. Economic Geology, 1975, 70(5): 937-942.
- [46] KESLER S E, MARTINI A M, APPOLD M S, et al. Na-Cl-Br Systematics of Fluid Inclusions from Mississippi Valley-type Deposits, Appalachian Basin: Constraints on Solute Origin and Migration Paths [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1996, 60(2): 225-233.
- [47] 张瑞林. 秦岭海盆演化及“中国型盆地”[J]. 岩相古地理, 1992(2): 13-20.
- ZHANG Rui-lin. Evolution of the Qinling Marine Basin and the “Chinese-type Basin”[J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1992(2): 13-20.
- [48] 王晓虎, 宋玉财. 大陆碰撞环境沉积岩或变质岩容矿 Pb-Zn 矿床的发育特点和成矿机制[J]. 地质论评, 2012, 58(1): 67-80.
- WANG Xiao-hu, SONG Yu-cai. Continental Collision-related Pb-Zn Deposits and Their Metallogenic Mechanism[J]. Geological Review, 2012, 58(1): 67-80.
- [49] 王平安, 陈毓川. 秦岭造山带构造-成矿旋回与演化[J]. 地质力学学报, 1997, 3(1): 10-20.
- WANG Ping-an, CHEN Yu-chuan. Tectono-minerogenic Cycles and Minerogenetic Evolution Through Geological History in the Qinling Orogenic Belt[J]. Journal of Geomechanics, 1997, 3(1): 10-20.
- [50] 胡健民, 崔建堂, 孟庆任, 等. 秦岭柞水岩体锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质论评, 2004, 50(3): 323-329.
- HU Jian-min, CUI Jian-tang, MENG Qing-ren, et al. The U-Pb Age of Zircons Separated from the Zhazhui Granite in Qinling Orogen and Its Significance[J]. Geological Review, 2004, 50(3): 323-329.

长安大学教育部科技查新工作站(G01)简介

科技查新是为避免科研课题重复立项和客观正确地判别科研成果的新颖性、实用性和可推广性而设立的一项信息服务业务,由具有科技查新资质的查新机构承担完成。

长安大学“教育部科技查新工作站(G01)”于2004年7月,经教育部科技发展中心批准成立(教技发函[2004]8号),具有在全国范围内开展科技查新工作的专业资质。

本工作站严格按照国家科技部《科技查新规范》开展以下业务工作:

1、为科研立项、成果鉴定、新产品开发、博硕士生开题等提供真实可靠的客观依据,保证每个查新项目的新颖性、科学性、可靠性。

2、开展课题检索,技术咨询,课题跟踪服务,为教师及专业技术人员、本科生、研究生提供原文及题录等,认真准确地为校内外用户提供全面的文献信息线索。

3、开展文献查收查引工作,为校内外用户提供论文被国内外著名检索刊物收录情况的报告。

长安大学图书馆具有丰富的文献资源,并且开通了 Dialog 国际联机检索系统,为科技查新工作奠定了良好的资源保障体系。同时,本查新站制定了严格的内部管理规章制度,查新人员在开展查新工作的过程中,能以质量为第一要务,热情认真地为用户服务。

欢迎广大科技工作者、教师、研究生和新老用户前来联系业务,我站将认真热情提供科技查新与文献信息服务。

联系人:刘壮生,徐 芳,程海涛,张永梅

地 址:陕西西安南二环路中段 长安大学校本部图书馆(北院)一楼信息部

电话/传真:029-82334377

网 址: <http://lib.chd.edu.cn>

E-mail: liuxin@chd.edu.cn