

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.03.011

陕西省铅锌矿资源特征及时空分布规律概论

周小康¹, 李维成¹, 董王仓¹, 周彬²

(1. 陕西省矿产地质调查中心, 陕西 西安 710068; 2. 陕西矿业开发工贸有限公司, 陕西 西安 710068)

摘要:陕西省铅锌矿产资源丰富, 为省内优势矿种。笔者在《中国矿产地质志·陕西卷》研编成果的基础上, 对陕西省铅锌矿的矿床类型、资源特点及其时空分布规律等进行了较全面的总结。依据主要成矿作用, 将铅锌矿床(成因/工业)类型划分为 4 个类型(三级分类)、7 个亚类型(四级分类), 并对各矿床类型作了简要阐述。铅锌矿的资源特点是: 矿产地数量多, 但地理分布不均衡; 矿床类型多样, 但以层控热液型为主; 大中型矿床数量少, 但资源量占比大; 共、伴生铅锌矿床数较多, 但资源量占比小。铅锌矿成矿时代跨度大, 从新元古代到中生代均有产出, 但以晚古生代(华力西期)最为重要。在空间分布上, 大、中型规模的铅锌矿床主要集中分布于南秦岭成矿带(Ⅲ-66B)的凤县-太白成矿亚带(Ⅳ-66B-1)和镇安-旬阳成矿亚带(Ⅳ-66B-3), 并分别形成凤县-太白铅锌矿集区和旬阳泗人沟-南沙沟矿铅锌集区 2 个重要矿集区。

关键词: 铅锌矿; 矿床类型; 资源特征; 分布规律; 陕西省

中图分类号: P618.42

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2020)03-0127-13

A Preliminary Study of the Characteristics of Lead-Zinc Deposits in Shaanxi Province and Their Distribution Laws

ZHOU Xiaokang¹, LI Weicheng¹, DONG Wangcang¹, ZHOU Bin²

(1. Shaanxi Mineral Resources and Geological Survey, Xi'an 710068, Shaanxi, China; 2. Shaanxi Mining Development Industry and Trade Co., Ltd., Xi'an 710068, Shaanxi, China)

Abstract: Shaanxi Province is rich in lead-zinc resources and lead-zinc is the dominant mineral of the province. This paper summarizes the types, characteristics, and time-and-space distribution of lead-zinc deposits in Shaanxi Province based on "China Mineral Geology, Shaanxi Volume" and divides the lead-zinc deposits (genesis/industrial) into 4 types and 7 subtypes according to mineralization. The characteristics of lead-zinc deposits are: a large number of orefields but with uneven distribution; multiple types of deposits but dominated by layered hydrothermal type; small number of medium or large scale deposits, but a big proportion in total resources; much more paragenetic-and-associated lead-zinc deposits but a small proportion in total resources. Metallogenic epoch of the lead-zinc deposits spanned from Neoproterozoic to Mesozoic, among which the late Paleozoic (Hualixi period) being the most important. In space, medium and large scale

收稿日期: 2020-01-23; 修回日期: 2020-06-12

基金项目: 中国地质调查局“中国矿产地质志项目”(DD20160346、DD20190379), 陕西省公益性地质调查项目(20170302)

作者简介: 周小康(1969-), 男, 高级工程师, 从事地质矿产勘查和研究工作。E-mail: 475221962@qq.com

lead-zinc deposits are mainly distributed in the Fengxian-Taibai (IV-66B-1) and Zhen'an-Xunyang (IV-66B-3) metallogenic sub-belts of the South Qinling metallogenic belt (III-66B), hence formed two important lead-zinc concentrated areas of Fengxian-Taibai and Sirengou-Nanshagou.

Keywords: lead-zinc deposit; deposit type; resource characteristics; distribution law; Shaanxi Province

陕西省铅锌矿资源丰富,为省内优势矿种。铅锌矿开发利用历史悠久,有记载的在唐代即已开始,或更早至商代,许多铅锌矿区可见古采硐及冶炼遗迹。大规模正规的铅锌矿产地地质勘查工作始于20世纪50年代后期。截至目前,已发现铅锌矿产地百余处,查明及保有资源储量在全国各省(区)排名均处于中上地位。

笔者在《中国矿产地质志·陕西卷》研编成果基础上,对全省铅锌矿产的矿床类型、资源特征、时空分布规律等进行较全面的总结,旨在为陕西省铅锌矿成矿规律研究起到抛砖引玉的作用,亦为今后铅锌矿找矿工作提供参考资料。

1 矿床类型

国内有关铅锌矿床类型划分存在诸多争议,其划分方案较多。张长青等(2014)对前人的划分方案进行了全面的总结,并以成矿地质作用为主要分类依据,成矿亚类则以容矿围岩为分类标准,充分考虑

矿床工业类型,提出了5大类13亚类的划分方案。王集磊等(1996)将产于中泥盆世碳酸盐岩及碎屑岩系中,由热水沉积或热水沉积改造作用形成的铅锌矿床称其为秦岭型铅锌矿床,进一步划分为热水沉积矿床、热水沉积改造矿床和热水沉积再造矿床等3类;齐文等(2005)以成矿作用为分类依据,适当考虑成矿地质环境,尽可能反映成矿物质来源因素,将陕西铅锌矿床成因类型进行了四级分类,第四级分类主要以容矿岩性为依据。其在分类方案中,把层控矿床(二级)划为叠生矿床(一级),三级分类为热水沉积矿床、热水沉积-改造型矿床和热水沉积-再造型矿床。

笔者以《中国矿产地质志矿床(成因/工业)类型划分方案》(中国地质科学院矿产资源研究所,2016年7月)中矿床(成因/工业)类型划分方案为基础,结合陕西省铅锌矿床成矿作用的具体情况,将陕西省铅锌矿床(成因/工业)类型划分为4个类型(三级分类),然后进一步划分7个亚类型(四级分类),其划分方案见表1。

表1 陕西省铅锌矿床(成因/工业)类型划分表

Tab.1 Type division of lead-zinc deposits (genesis/industrial) in Shaanxi

二级分类	三级分类	四级分类	矿床实例
岩浆作用矿床	岩浆热液型矿床	岩浆热液脉型矿床	华阴市华阳川铀钼铅矿床 潼关县桐峪金矿(伴生铅)
		蚀变岩型矿床	蓝田县湘子岔金矿(伴生铅锌)
	海相火山岩型矿床	火山热液型矿床	宁强县刘家坪铜锌矿
含矿流体 (非岩浆、 非变质热液) 作用矿床	浅成中-低温热液型矿床	构造热液型矿床	商州市龙庙南沟铅锌矿 勉县白云寺铅锌矿
		层控热液型矿床	凤县铅硐山铅锌矿 山阳县桐木沟锌矿 南郑县楠木树锌矿
变质作用矿床	受变质作用矿床	沉积-受变质型矿床	旬阳县泗人沟铅锌矿
		火山-沉积受变质型矿床	略阳县东沟坝金银矿(伴生铅锌) 周至县西骆峪铜矿(伴生Zn)

1.1 岩浆热液型矿床

1.1.1 岩浆热液脉型矿床

矿产地数量:陕西已发现该类型铅锌矿产地 23 个。其中,大型矿床 1 个、中型矿床 2 个、小型矿床 13 个和矿点 7 处。该类铅锌矿主要属金、铜等矿床的共、伴生矿。成矿单元:华北陆块南缘(小秦岭)成矿带(Ⅲ-63)之太华断隆成矿亚带(Ⅳ-63-1)、金堆城-洛南冲褶带成矿亚带(Ⅳ-63-2)。建造构造:容矿岩石为新太古代太华岩群混合岩化角闪斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩,中元古界熊耳群细碧角斑岩及高山河群浅变质碎屑岩。控矿构造为韧-脆性断裂构造,矿体常产于主干断裂旁侧次级断裂、断裂交汇部位,以及断层产状由陡变缓处。成矿时代:燕山期,印支期。成矿组分:金、铜、铅、锌、铀、钼。矿床实例:潼关县桐峪金矿(伴生铅)矿床、华阴市华阳川铀钼铅矿床。其简要特征:矿体主要受控于中酸性岩体附近的断裂构造,由含石英脉、石英碳酸盐脉组成,多呈脉状、透镜状产出。有大脉、细脉和网脉,矿脉规模大小悬殊,其产状与断裂产状一致,与围岩界线清楚。矿石为半自形-他形粒状结构,浸染状、细脉状、块状、条带状构造。矿石的金属矿物主要为方铅矿、闪锌矿、黄铁矿等,非金属矿物一般有石英、方解石、绢云母、绿泥石、黑云母等。矿石中 Pb 品位变化大,Pb 含量一般为 1%~3%,最高达 16.45%;含 Zn 一般为 1%~3%,最高达 49.13%。

成因认识:除华阴市华阳川铀钼铅矿床与碱基性-碱性岩浆热液有关外,大多数矿产地与印支期-燕山期中酸性岩浆期后热液有关。岩浆期后热液与间隙溶液混合后形成含矿热液,充填于规模不等、产状各异的断裂、裂隙中富集成矿。成矿一般分 3 个阶段:黄铁矿-石英阶段、石英-多金属硫化物阶段和碳酸盐-石英阶段。

1.1.2 蚀变岩型矿床

矿产地数量:陕西有蚀变岩型铅锌矿床 3 个,其均为小型共、伴生铅锌矿床。成矿单元:华北陆块南缘(小秦岭)成矿带(Ⅲ-63)之太华断隆成矿亚带(Ⅳ-63-1)。建造构造:容矿岩石为新太古代太华岩群黑云斜长片麻岩、中元古界长城系熊耳群细碧岩、中元古界钾长花岗岩;矿体受控于主干断裂及其旁侧次级断裂,以及断裂交汇部位。成矿时代:燕山期。

成矿组分:金,银,铅,锌,铜,硫。矿床实例:蓝

田县湘子盆金矿床(伴生铅锌)。其简要特征:矿体呈脉状、透镜状产于构造蚀变带中,矿石中铅、锌矿物为方铅矿、闪锌矿和纤闪锌矿。矿化强弱与发育于断裂破碎带中的硅化、黄铁矿化、绢云母化、碳酸盐化等热液蚀变程度成正相关关系。

成因认识:燕山期强烈的岩浆活动形成大量含矿热液,运移过程中亦淬取地层中的成矿物质,并沿断裂构造带发生热液交代及成矿作用,形成以交代作用为主的蚀变岩型矿床。

1.2 火山热液型矿床

矿产地数量:陕西已发现该类型铅锌矿产地 3 处。其中,小型矿床 2 处、矿点 1 处,分布于勉(县)-略(阳)-宁(强)三角地区及平利县。成矿单元:龙门山-大巴山成矿带(Ⅲ-73)汉南-碑坝成矿亚带(Ⅳ-73-3)、南秦岭成矿带(Ⅲ-66B)北大巴山成矿亚带(Ⅳ-66B-5)。建造构造:宁强县刘家坪铜锌矿床产于新元古界碧口岩群坝坝岩组变质中酸性火山岩中,原岩为石英角斑质凝灰岩、石英角斑岩及中酸性凝灰岩(杨运军,2017);平利县大磨沟锌矿则产于早古生代碱性侵入岩——粗面岩中。该类矿床的矿体明显受构造控制,宁强县刘家坪铜矿床受火山火山管道及其旁侧断裂裂隙控制;平利县大磨沟锌矿则受粗面岩与围岩接触带断裂蚀变带控制。成矿时代:晋宁期(刘家坪铜锌矿)和加里东期(大磨沟锌矿)。

成矿组分:铜、锌、萤石。矿床实例:宁强县刘家坪铜锌矿床。简要特征:矿体呈似层状、层状及透镜状产出;矿石中金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿等;非金属矿物有斜长石、白云石、绿泥石、重晶石、石英、绢云母、方解石、(萤石)等。矿石为半自形粒状结构、压碎结构、熔蚀交代结构等,具平行条带状、角砾状、细脉状、浸染状等构造。矿石 Zn 品位为 0.78%~10.15%,Pb 品位为 0.5%~9%,Cu 品位为 0.40%~2.70%。

成因认识:该类矿床受火山构造控制,与火山气液-充填交代成矿作用关系密切。据丁坤等(2018)研究表明,赋存于新元古界碧口岩群中的铜铅锌多金属矿床属于 VMS 型矿床。

1.3 浅成中-低温热液型矿床

1.3.1 层控热液型矿床

矿产地数量:该类矿床是陕西铅锌矿最重要的矿床类型,已发现 28 个矿床,其中大型矿床 2 个、中

型矿床 10 个、小型矿床 16 处,另有矿点 20 余处。此类矿产地成群成带主要分布于凤县—太白地区、山阳—柞水地区、镇安—旬阳地区及南郑县马元地区。成矿单元:南秦岭成矿带(Ⅲ-66B)凤县—太白成矿亚带(Ⅳ-66B-1)、柞水—山阳成矿亚带(Ⅳ-66B-2)、镇安—旬阳成矿亚带(Ⅳ-66B-3),龙门山—大巴山成矿带(Ⅲ-73)汉南—碑坝成矿亚带(Ⅳ-73-3)。建造构造:不同地区含矿建造构造有所不同。凤县—太白地区,矿体主要赋存于中泥盆统古道岭组含矿地层顶部碳酸盐岩中,矿化层由硅质岩、硅化大理岩、硅化千枚岩、石英方解石脉组成;山阳—柞水地区,矿体赋存于中泥盆统青石砭组千枚岩为主夹碳酸盐岩或碳酸盐岩相对发育的部位;镇安—旬阳地区,矿体赋存于中泥盆统石家沟组白云质灰岩、灰岩、生物灰岩及寒武—奥陶系石瓮子组白云岩中;南郑马元地区,矿体赋存于上震旦统灯影组中上部角砾状白云岩中,矿体严格受厚层块状白云岩层间破碎蚀变带控制。成矿时代:主成矿期为奥陶纪、中泥盆世。改造期为中生代。成矿组分:锌、铅(伴生铜、银、镓、镉)。矿床实例:凤县铅硐山铅锌矿、山阳县桐木沟锌矿和南郑县楠木树锌矿。简要特征:矿体呈层状、似层状、透镜状及扁豆状顺层产出,其产状与地层一致。矿石金属矿物主要有闪锌矿、方铅矿及黄铁矿,非金属矿物有方解石、铁白云石、白云石及石英。在马元地区铅锌矿床中有重晶石及沥青。矿石结构多为他形粒状、交代结构及乳浊结构,铅硐山铅锌矿床尚见有草莓结构;矿石构造多为浸染状、脉状、块状和条带状构造,马元地区铅锌矿常见角砾状构造。凤太矿集区矿床平均品位:Pb 为 0.48%~1.98%,Zn 为 1.15%~11.58%;马元地区:Pb 为 0.81%~1.91%,Zn 为 1.29%~4.06%;山柞地区:Pb 为 1.10%~2.29%,Zn 为 1.66%~8.1%;镇旬地区:Pb 为 0.15%~4.90%,Zn 为 2.25%~8.01%。

成因认识:陕西层控热液型铅锌矿床的成因大都具有多期多阶段成矿特点(赵东宏等,2019;杨合群等,2017;胡乔青等,2012;王集磊等,1996)。先期(热水)沉积成矿作用形成层状铅锌矿体或矿源层,后期构造或岩浆热液改造作用使先成矿体变富,或使矿源层发生元素活化、迁移及富集成矿。王集磊等(1996)将其称之为热水沉积-改造型矿床和热水沉积-再造型矿床。

凤县—太白地区:锌矿床多具沉积-改造型特征。矿床受凤县—太白沉积盆地控制,中泥盆世的断陷滞流盆地相及碳酸盐台地相是主要控矿岩相,控矿岩相生成于礼县—白云—山阳深大断裂南侧的深水裂陷槽地向浅水碳酸盐台地及陆棚相转变的南侧边缘斜坡上,沿深大断裂喷溢的成矿热水中矿质得以聚集和沉淀形成矿床(王集磊等,1996)。后经历了印支期—燕山期的构造-岩浆热液改造作用,矿体变形或进一步富集。杨合群等(2017)认为在中泥盆世晚期,裂陷槽热异常驱动含矿热液沿同生断裂进入洼地沉积形成铁白云石硅质岩、硅质铁白云石岩及层状、似层状铅锌矿体,而在中生代改造作用中褶皱核部加厚加富形成鞍状矿体,局部形成脉状矿体。王瑞廷等(2011)认为矿床成因属基底热水喷流沉积-构造岩浆改造型。胡乔青等(2013)认为二里河铅锌(铜)矿床是印支期构造-岩浆-热液活动的产物,是一个后生流体充填交代矿床,强调后生成矿作用为主导。

马元地区:铅锌矿床具沉积-再造特征。晚震旦世灯影期,在陆缘浅海碳酸盐岩台地通过基底断裂及裂隙通道产生的海水循环系统不断地萃取吸收了基底杂岩中的 Pb、Zn 等有用组分,迁移到台地碳酸盐岩沉积为矿源层(杨合群等,2017)。加里东期的构造运动在基底及盖层形成断裂和层间破碎带,沉积盆地中含矿热卤水运移至灯影组层间构造(白云岩角砾岩)带时发生沉淀富集而形成白云岩角砾岩型铅锌矿体。

1.3.2 构造热液型矿床

矿产地数量:陕西有构造热液型铅锌矿产地 18 个。其中,中型矿床 1 个、小型矿床 9 个及矿点 8 处,其主要分布于商洛地区和汉中市勉(县)—略(阳)地区。成矿单元:北秦岭成矿带(Ⅲ-66A)黄牛铺—西骆峪—北宽坪成矿亚带(Ⅳ-66A-1)。建造构造:主要赋存于北秦岭商丹结合带宽坪群变质岩及勉(县)—略(阳)结合带之古生代地层中。矿体产于深大断裂带旁侧次级断裂裂隙,常呈大脉、细脉和网脉赋存于构造破碎带,其产状受断裂带及裂隙构造控制。成矿时代:燕山期、印支期、加里东期。成矿组分:锌、铅(共/伴生铜、银、金)。矿床实例:商州市龙庙南沟铅锌矿、勉县白云寺铅锌矿。简要特征:矿体严格受断裂控制。矿体一般呈脉状、透镜状及似层状产出。矿石矿物以方铅矿和闪锌矿为主,

含少量黄铁矿、黄铜矿及磁黄铁矿。矿石有用组分以 Pb、Zn 为主,伴生 Cu、Ag、Au 等元素。

成因认识:携带大量成矿物质的含矿热水溶液从高压、高温地区向低温、低压地带的断裂带运移并在有利部位沉淀富集成矿。成矿热液多具复合成因,控矿构造为各期初-脆性断裂及次级裂隙,驱动力则来自于燕山期、印支期或加里东期构造变形变质、岩浆侵入事件。

1.4 受变质作用矿床

1.4.1 沉积-受变质型矿床

矿产地数量:陕西已发现受变质型铅锌矿产地 16 个。其中,大型矿床 1 个、中型矿床 3 个、小型矿床 6 个和矿点 6 个。该类矿床主要集中分布于安康市旬阳地区。成矿单元:南秦岭成矿带(Ⅲ-66B)镇安-山阳-旬阳成矿亚带(Ⅳ-66B-3)。建造构造:矿体时空分布主要受志留系梅子垭组浅变质细碎屑岩建造及“顺层”韧性剪切带控制。成矿时代:早一中志留世沉积成矿,华力西期变形变质改造作用进一步富集成矿。成矿组分:锌、铅。矿床实例:旬阳县泗人沟铅锌矿、旬阳县白家坡铅锌矿。简要特征:中志留统梅子垭组为含(容)矿地层,矿体主要受“顺层”韧性剪切构造带控制。矿体多呈透镜状、扁豆状及条带状产出,矿体及矿石具有韧性剪切变形特征。矿石金属矿物主要为闪锌矿、方铅矿和黄铁矿,非金属矿物主要为绢云母、石英、长石和绿泥石。矿石结构为他形粒状、他形-半自形粒状、鳞片变晶结构。矿石以块状、条带状构造为主,次为浸染状、细脉状构造。发育以硅化为主的热液蚀变。

成因认识:该类型矿床有称之为热水沉积改造型矿床(齐文等,2006)或划归为层控热液型矿床(杨合群等,2017)。笔者认为变质热液成矿是造就该类型矿床的主导因素。志留纪早-中期海底热水喷流沉积作用形成了纹层状铅锌矿(化)体或铅锌矿源岩。华力期,在盆地伸张扩张构造体制影响下,发生强烈的横向构造置换及变形变质作用,形成以顺层韧性剪切带为特征的构造带。在变形变质作用主峰期之后,变质水以及下渗的地表水从含矿地层中汲取成矿组分形成含矿流体,在构造带降压作用驱使下沿“顺层”构造带充填、交代成矿,形成似层状及条带状矿体(董王仓,2005)。

1.4.2 火山沉积受变质型矿床

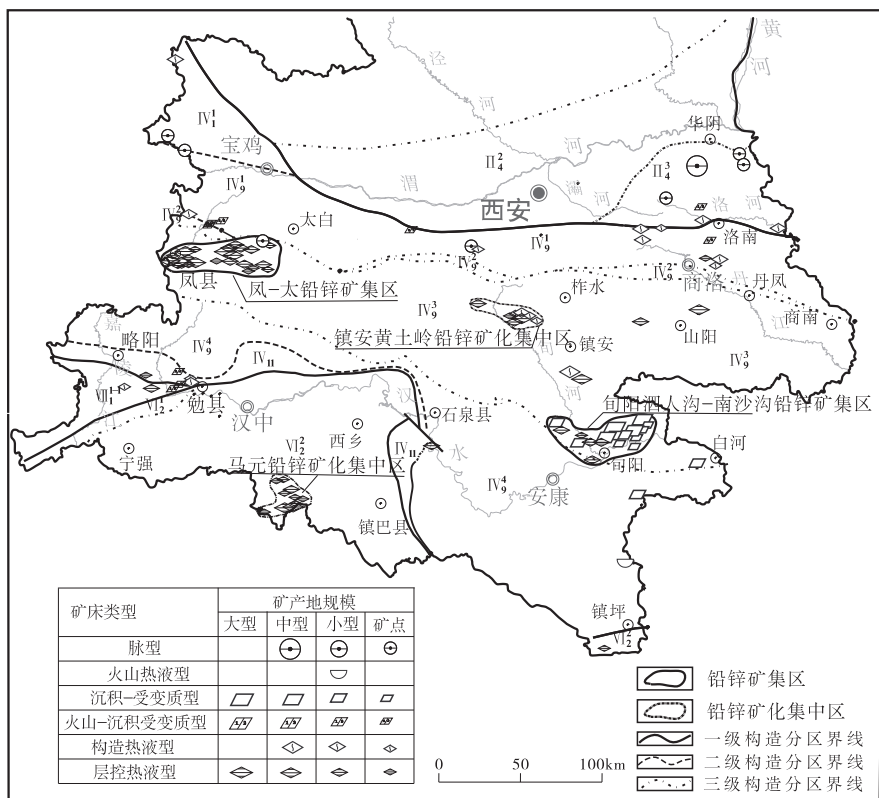
矿产地数量:陕西已发现该类铅锌矿产地 11

个。其中,小型矿床 3 个、矿点 8 个。其主要分布于汉中市略阳地区,凤县一周至一带有零星分布,且以伴生矿为主。成矿单元:龙门山-大巴山成矿带(Ⅲ-73)摩天岭隆起成矿亚带(Ⅳ-73-2),北秦岭成矿带(Ⅲ-66A)太白-商县成矿亚带(Ⅳ-66A-2)。建造构造:含矿建造为中元古界何家岩岩群变质基性火山岩建造(略阳地区)、早古生代草滩沟群和二郎坪群变质中基性-中酸性火山岩建造(凤县一周至一带)。矿体主要受“顺层”韧性剪切构造带控制。矿体多呈透镜状、扁豆状及条带状产出。成矿时代:晋宁期(略阳地区)、加里东期(凤县一周至一带)。成矿组分:铜、银、金、锌、铅(伴生硫,重晶石)。矿床实例:略阳县东沟坝金银矿(伴生铅、锌)、周至县西骆峪铜矿(伴生锌)。简要特征:主要产于中新元古代何家岩岩群及早古生代二郎坪岩群。矿体一般呈似层状、透镜状、条带状赋存于含矿地层中,矿体与围岩整合接触,矿体的形成与分布受先期基性火山岩-火山沉积岩及后期区域变质作用控制。略阳县东沟坝金银多金属矿化作用主要是在火山岩、石英钠长斑岩形成之后的热动力作用下发生的。铜矿伴生的铅锌矿多发育在岩石片理化相对较弱,主要以赤铁石英岩发生碎裂为特征,矿体部位绿泥石化、硅化及石英方解石化较强。

成因认识:中元古代或早古生代海底火山喷发活动从深源带出成矿物质,形成矿源层,晋宁期或加里东期区域变质作用使矿质多次活化转移,在层间片理化带、挤压破碎带中富集成矿。如略阳县东沟坝金银矿(伴生铅锌)床在中新元古代岛弧初始裂谷环境海底火山喷发活动的作用下形成了何家岩岩群角斑岩、凝灰含英角斑岩夹白云岩构成的矿源层,晋宁期变质成矿作用使其富集成矿。

2 铅锌矿床资源特征

截至 2017 年底,陕西省已发现铅锌矿产地 125 处(图 1)。其中,列入陕西省矿产资源储量统计表的矿床 73 处,其中大中型矿床 20 处(表 2),另有矿点 52 处。累计查明铅资源/储量 339 万 t,保有资源/储量 253 万 t;累计查明锌资源/储量 686 万 t,保有资源/储量 397 万 t。锌查明资源/储量约是铅的 2 倍。铅、锌矿保有资源/储量在全国排名均为第 13 位,在西部地区铅矿排名第 9、锌矿第 10。铅锌矿总



II. 华北陆块; II₁. 鄂尔多斯古陆块; II₂. 鄂尔多斯凹陷盆地(中生代); II₃. 汾渭裂谷; II₄. 太华古陆块; IV. 秦祁昆造山系; IV₁. 北祁连弧盆系; IV₂. 走廊弧后盆地(∈-O); IV₃. 秦岭弧盆系; IV₄. 北秦岭岩浆弧; IV₅. 商丹蛇绿混杂带(Pz1); IV₆. 南秦岭被动陆缘; IV₇. 南秦岭裂谷带(Pz1); IV₈. 勉略结合带; VI. 华南陆块; VI₁. 上扬子古陆块; VI₂. 龙门山基底逆冲带; VI₃. 米仓山-大巴山基底逆冲带; VII. 西藏-三江造山系; VII₁. 巴颜喀拉地块; VII₂. 摩天岭古陆块

图1 陕西省铅锌矿产地分布图(不含伴生铅锌矿产地)

Fig.1 Distribution of lead-zinc mines in Shaanxi

体上具有以下主要特征。

(1)矿产地数量多,但地理分布不均衡。陕西省铅锌矿广泛分布于南部的秦(岭)—巴(山)地区,在陕西中部及北部地区则无铅锌矿。就陕南而言,铅锌矿产地主要分布在宝鸡南部、安康市、汉中市和商洛市所辖地区,其矿产地数量占全省铅锌矿产地总数的71.42%,铅锌资源/储量占全省铅锌总资源/储量的86.93%。其中,宝鸡市铅、锌资源/储量分别占全省铅、锌总资源/储量的26.31%和51.58%,商洛市铅资源/储量占全省铅总资源/储量的47.5%,安康市锌资源/储量占全省锌总资源/储量的23.58%。宝鸡市凤县—太白庙一带、商洛市山阳—柞水和镇安一带、安康市旬阳北部地区、汉中市南郑马元一带是陕西省铅锌矿产地分布相对集中的地区。

(2)矿床类型多样,但以层控热液型为主。陕西省铅锌矿床类型较多,不同铅锌矿床类型资源储量见表3。由表3可见,铅锌矿查明资源/储量主要集中在层控热液型、沉积受变质型和岩浆热液型3种矿床类型,其累计查明资源/储量占全省铅锌总资源/储量的92.79%,其中以层控热液型铅锌矿床为主,其占比达61.08%,占全省铅锌总资源/储量的一半以上。其他矿床类型的铅锌查明资源/储量仅占0.07%~5.19%。

在矿床数量及矿床规模上,铅锌矿床总计为73个。其中层控热液型铅锌矿29个,占比达39%(图2);大型铅锌矿床4个,其中层控热液型铅锌矿为2个,占比达50%;中型铅锌矿床16个,其中层控热液型铅锌矿为10个,占比达62%。

表2 陕西省大中型铅锌矿床一览表

Tab. 2 List of large and medium-sized lead-zinc deposits in Shaanxi Province

铅锌矿集区/矿化区	矿产地名称	矿床类型	成矿时代	矿床规模
凤县-太白铅锌矿集区	凤县铅硐山-东塘子铅锌矿	层控热液型	中泥盆世	大型
	凤县八方山铅锌矿	层控热液型	中一晚泥盆世	大型
	凤县东塘子铅锌矿	层控热液型	中泥盆世	中型
	凤县峰崖铅锌矿	层控热液型	中泥盆世	中型
	凤县银洞梁铅锌矿	层控热液型	中泥盆世	中型
	凤县银母寺多金属矿	层控热液型	中泥盆世	中型
旬阳泗人沟-南沙沟铅锌矿集区	旬阳县大磨沟-泗人沟-刘家河铅锌矿	沉积受变质型	华力西期	大型
	旬阳县中沟铅锌矿	沉积受变质型	华力西期	中型
	旬阳县南沙沟铅锌矿	沉积受变质型	华力西期	中型
	旬阳县白家坡铅锌矿	沉积受变质型	华力西期	中型
南郑马元铅锌矿化集中区	南郑县九岭子铅锌矿	层控热液型	加里东期	中型
	南郑县楠木树锌矿	层控热液型	加里东期	中型
镇安黄土岭铅锌矿化集中区	镇安县黄土岭铅锌矿	层控热液型	奥陶纪	中型
其他地区	镇安县月西铅锌矿	层控热液型	中泥盆世	中型
	镇安县锡铜沟铅锌矿	构造热液型	印支期	中型
	华阴市华阳川铀钼铅矿床铅矿	岩浆热液(脉)型	燕山期	中型
	洛南县宋家沟钼矿(伴生铅)	岩浆热液(脉)型	印支期	大型
	洛南县黄龙铺钼矿(伴生铅)	岩浆热液(脉)型	燕山期	中型
	山阳县桐木沟锌矿	层控热液型	中泥盆世	中型
	柞水县银洞子银铅多金属矿	层控热液型	中泥盆世	中型

表3 陕西省不同铅锌矿床类型资源/储量统计表

Tab. 3 Statistics of resources / reserves of different types of lead-zinc deposits in Shaanxi Province

矿床类型	(铅+锌)资源/储量(t)	占比(%)	
岩浆热液型矿床	脉型矿床	1 598 163.37	15.56
	蚀变岩型	36 575.00	0.36
海相火山岩型矿床	火山热液型矿床	30 922.79	0.30
浅成中-低温热液型矿床	构造热液型矿床	532 519.37	5.19
	层控热液型矿床	6 271 874.30	61.08
受变质作用矿床	沉积受变质型矿床	1 658 017.98	16.15
	火山-沉积受变质型	140 190.70	1.37
总计	10 268 163.50		

注:资源/储量数据来源:陕西省国土资源厅,2018,《陕西省非油气矿产资源储量表(2017年)》。

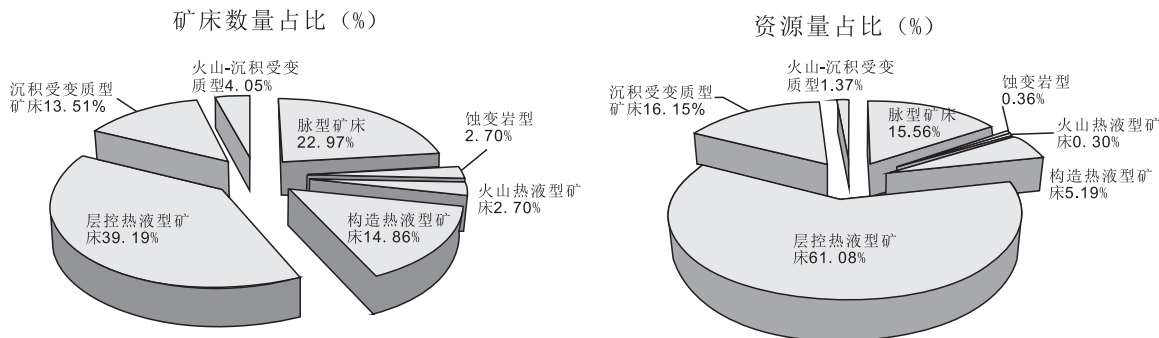


图2 陕西省不同矿床类型铅锌矿床数及查明资源储量占比图(据陕西省国土资源厅,2018)

Fig. 2 Number of lead-zinc deposits of different types in Shaanxi Province and the proportion of the proven reserves

因此,无论从资源储量占比,还是矿床数量及矿床规模上均以层控热液型铅锌矿床为主。

(3)大中型矿床数量少,但资源量占比大。按矿产资源储量规模划分标准(矿产资源工业手册,2014年修订本),铅(锌)划分为3类,大型大于或等于50万t;中型10~50万t;小型小于10万t。陕西省共有已查明资源储量的铅锌矿床73处,其中大中型矿床20处,占矿床总数的27%。统计表明,4处大型矿床总资源储量为429.12万t,占全省总量的41.8%;15处中型矿床总资源储量为423.48万t,占全省总量的41.24%;55处小型矿床总资源储量为174.16t,仅占全省总量的16.96%。总体上,大中型矿床数量不多,但其资源储量占比较大(83%)。

(4)共、伴生铅锌矿床数较多,但资源量占比小。在陕西省已查明资源储量的73处铅锌矿床中,共计有伴生铅锌矿28处,矿床数占比达38.36%,但总资源储量仅为143.5万t,占全省总量的13.97%。

3 陕西省铅锌矿床时空分布规律

3.1 时间分布规律

陕西铅锌矿成矿时代跨度大,从新元古代到中生代均有铅锌矿产出,可划分出晋宁期、加里东期、华力西期、印支期、燕山期等5个成矿期。不同成矿期铅锌矿产地及其资源/储量占比情况见图3。其中,华力西期属铅锌矿的主要成矿期,其查明铅锌资源/储量占全省累计查明资源/储量的67.73%。

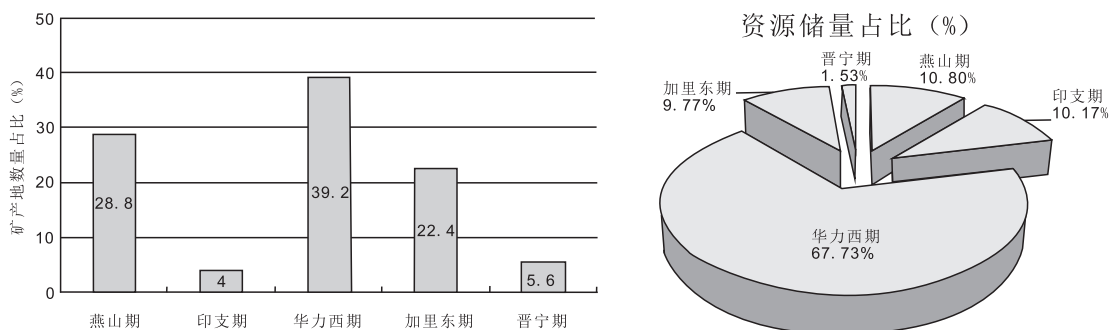


图3 不同成矿时代铅锌矿床数量及查明资源/储量占比图(据陕西省国土资源厅,2018)

Fig. 3 Number of lead-zinc deposits and the proportion of identified resources / reserves in different mineralization times

铅锌矿在不同成矿时代具有不同的地质构造环境,因而形成了不同矿床类型和不同规模的矿产地。晋宁期:在摩天岭地块略阳地区发生了火山-沉

积成矿作用及区域变质作用,形成火山热液型矿床及火山-沉积变质型矿床。该阶段仅有2个小型矿床(略阳县东沟坝金银矿床、宁强县刘家坪铜矿床)。

其查明铅锌矿资源/储量占全省累计查明铅锌矿资源/储量的 1.53%。

加里东期:在南秦岭边缘海盆镇安西部早古生代石瓮子组白云岩中形成以镇安黄土岭铅锌矿为代表的中、小型层控热液型铅锌矿床;在北秦岭草滩沟-二郎坪弧后盆地形成以周至西骆峪铜矿(伴生锌)为代表的小型火山-沉积受变质矿床;在扬子陆块北缘南郑碑坝(杂岩)穹窿的周边新元古代震旦纪灯影组分布以南郑县楠木树锌矿为代表的 4 个层控热液型铅锌矿床。其中,中型铅锌矿床 3 个,小型 7 个。其查明铅锌资源储量占全省累计查明铅锌资源储量的 9.77%。

华力西期:在南秦岭边缘海盆的凤县-太白地区、山阳-柞水地区、镇安-旬阳-白河等地区,晚古生代发生了区域性海底热水喷流-沉积有关的成矿作用,分别形成了以凤县铅硐山-东塘子铅锌矿、镇安县月西铅锌矿、山阳县桐木沟锌矿为代表的 20 多个层控热液型铅锌矿床。在旬阳-白河地区,受盆地伸张扩张构造体制影响,处于较深构造层次的志留系含矿地层(下一中志留统梅子垭组)发生强烈地横向构造置换、变形变质及热液成矿作用,形成了以旬阳县大磨沟-泗人沟-刘家河铅锌矿床和白河县三宝寨铅锌矿床等为代表的 30 余个沉积-受变质型铅锌矿床。其中,大型铅锌矿床 3 个,中型 10 个、小型 19 个,以及一系列铅锌矿点。其查明铅锌资源/储量占全省累计查明铅锌资源/储量的 67.73%。

印支期:南秦岭转入碰撞造山阶段,伴随强烈地断裂活动和浅成中-低温热液成矿作用,形成了以镇

安县锡铜沟铅锌矿、勉县白云寺铅锌矿为代表的 3 个构造热液型铅锌矿床。其中,大型铅锌矿床 1 个、中型 1 个、小型 1 个。其查明铅锌资源/储量占全省累计查明铅锌资源/储量的 10.17%。

燕山期:秦岭处于陆内造山阶段,在小秦岭地区发生强烈的中酸性岩浆侵入事件,其成矿作用以中酸性岩浆热液成矿为特色,形成了以华阴市华阳川铀钼铅矿床、潼关县桐峪金矿(伴生铅)为代表的伴生铅锌矿床。其中,中型铅锌矿床 2 个,小型 24 个。其查明铅锌矿资源/储量占全省累计查明铅锌矿资源/储量的 10.80%。

3.2 空间分布规律

根据《中国矿产地质志·陕西卷》最新研编成果,陕西境内共划分出 I 级成矿单元 3 个、II 级 4 个、III 级 8 个,重新厘定出 IV 级成矿单元 20 个和 V 级成矿单元 39 个。铅锌矿床在陕西省南部地区分布广泛,由北向南分布于 5 个 III 级成矿区和 14 个 IV 级成矿区带。但大、中型规模矿床主要集中在凤(县)-太(白县)、镇(安)-旬(阳)地区,形成了凤-太铅锌矿集区、旬阳泗人沟-南沙沟铅锌矿集区等 2 个矿集区。

(1)铅锌矿产地主要分布于 2 个成矿亚带上。矿产地数量及查明的铅锌资源/储量主要分布在南秦岭成矿带(III-66B)的凤县-太白成矿亚带(IV-66B-1)和镇安-旬阳成矿亚带(IV-66B-3),其铅锌查明资源/储量占全省铅锌查明资源储量的 73.44%(图 4)。其他成矿单元则分布较少。

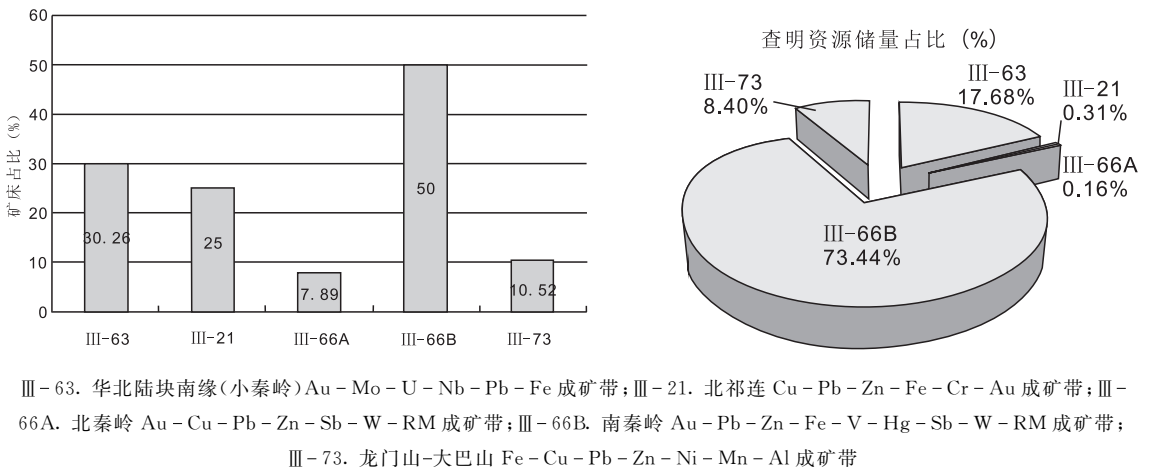


图 4 不同成矿单元铅锌矿床数量及查明资源/储量占比图(据陕西省国土资源厅,2018)

Fig. 4 Number of lead-zinc deposits of different metallogenic units and the proportion of identified resources/reserves

(2)矿产地集中分布,形成多个矿集区和矿化集中区。陕西省主要铅锌矿床多位于秦岭-大别造山带南秦岭边缘海盆,构成了南秦岭重要的层控热液型铅锌成矿带。南秦岭边缘海盆是在扬子板块北缘古被动大陆边缘过渡基底基础上发展起来的,早古生代和晚古生代裂陷作用形成大规模的海底喷流活动,以及碰撞造山阶段多期构造变形、岩浆活动,为凤太、山柞、镇旬盆地铅锌多金属矿的形成提供了物质来源和富集成矿条件。华力西期是陕西省铅锌矿重要的成矿期。泥盆纪是商丹对接带俯冲-碰撞的重要转换时期,也是古生代构造格局的延续和发展。此时,南北两侧已经形成扬子、华北两大稳定地块,大范围隆升遭受侵蚀,已全部隆升成陆,而沉积盆地主要在中秦岭和南秦岭。前者属刘岭弧前海槽或山阳-柞水盆地,后者为晚古生代边缘海伸展盆地,含南秦岭东部的镇安-旬阳盆地、西部凤县-太白盆地。大规模的海底喷流沉积活动在凤县-太白盆地、山阳-柞水盆地、镇安-旬阳盆地形成了热水沉积(祁思敬,1993;薛春纪等,1995;唐永忠等,2007;任鹏等,2014)为铅锌多金属矿的形成提供了物质条件,沉积建造的沉积学和沉积地球化学记录明显反映了南秦岭泥盆纪海盆是一个被动大陆边缘裂谷盆地,伴随地壳快速下沉,海盆出现明显的同生古地热异常和局部显著的古热水沉积环境(薛春纪等,1995)。由此在秦岭-大别造山带南秦岭边缘海盆中形成了南秦岭重要的层控热液型铅锌成矿带,包含了3个主要成矿区:凤-太成矿区、山-柞成矿区和镇旬成矿区,形成了包括诸如凤县铅硐山-东塘子铅锌矿、凤县八方山铅锌矿、镇安县月西铅锌矿、山阳县桐木沟锌矿等十余个大中型矿床及众多的小型铅锌矿床(图1),构成了凤县-太白矿集区和旬阳泗人沟-南沙沟矿集区及多个矿化集中区。

笔者关于铅锌矿集区的划分依据是:分布大、中型矿床为主的一系列矿产地一般应有一处以上大型矿床,以及若干中、小型矿床及矿(化)点,划分原则是较紧密地聚集分布在同一区域范围内的矿产地划归一个矿集区。而对于在有限范围内较紧密地聚集分布若干中、小型矿床及矿(化)点的区域,则划归矿化集中区,其在单个矿床规模上和总资源量上是与矿集区要差一个级别。但为了如实反映铅锌矿产地集中分布的这一特征,划分了若干铅锌矿化集中区。

凤县-太白铅锌矿集区,西起凤县东至太白河

镇,北以唐藏-王家楞一线为界,南以留坝江口断裂为界,面积约1260 km²,构造位置位于扬子板块(Ⅲ)秦岭-大别造山带(Ⅲ₁)南秦岭边缘海盆(Ⅲ₁¹),所属成矿单元为南秦岭成矿带(Ⅲ-66B)凤县-太白金成矿亚带(Ⅳ-66B-1)。矿集区主要出露泥盆系大枫沟组、古道岭组、星红铺组浅海陆棚-碳酸盐岩台地相碎屑岩-碳酸盐岩建造。其中,古道岭组和星红铺组是区域晚古生代海底喷流沉积成矿地质事件的产物,其直接控制区内铅、锌、铜等矿产的形成与分布。本区铅锌矿床类型主要为层控热液型。区内已查明凤县铅硐山、八方山、银母寺铅锌矿等一批大、中型矿床及一系列小型矿床和矿点。在该铅锌矿集区目前发现大型铅锌矿床2处、中型矿床4处、小型矿床6处、矿点9处。截止2017年底,累计查明(铅+锌)资源/储量438.1万t,占全省铅锌总资源/储量的42.7%。

旬阳泗人沟-南沙沟铅锌矿集区,西起旬阳县庙岭乡中沟东至旬阳县双河镇南沙沟,面积约770 km²,构造位置处于秦岭-大别造山带(Ⅲ₁)南秦岭边缘海盆(Ⅲ₁¹)东南部,所属成矿单元为南秦岭成矿带(Ⅲ-66B)镇安-山阳-旬阳成矿亚带(Ⅳ-66B-3)。矿集区出露志留纪陆缘裂陷盆地相-泥盆纪浅海相碎屑岩-碳酸盐岩。其中,早一中志留世梅子垭组是铅、锌、金的主要含(容)矿地层。该矿集区受控于镇安-旬阳沉积盆地,据唐永忠等(2007)、侯满堂等(2004)、宋小文等(2003)研究,该盆地在古生代沉积盆地演化中,志留纪早期沉积环境为次深海相沉积,中晚期为浅海陆棚相沉积,热水沉积岩叠加于正常的次稳定型细碎屑岩中,构成重晶石岩-钠长石岩系列,形成细碎屑岩热水沉积型铅锌矿。在盆地边缘,随着侧向加积,自西向东中志留统双河镇组矿化层位逐渐升高。在空间上,区内大致以公馆-白河断裂为界,南部为铅锌重晶石矿带。垂向上,上部以方铅矿化为主,下部以闪锌矿化为主,成矿流体旋回性造成区内多个不同的成矿层位,形成了旬北地区2种类型4个含矿层位3个矿带的铅锌矿。泥盆纪岩相组合以开阔台地碳酸盐岩相为主(杨志华,1991;唐永忠等,2007),区内有2条生物礁带控制了沉积相带的展布及变化。镇安-旬阳一带为诸多大小不一的断陷盆地,其中公馆白河区域性断裂将镇安-旬阳一级盆地切分为镇安、旬阳2个二级盆地。铅锌矿床多分布于镇安、旬阳次级盆地的

边缘位置,远离盆地边缘矿化消失。盆地与盆地的边缘、盆地与古陆(佛坪、武当古陆)的接合部是大型构造发育集中区域,各种热事件最多,成矿地质条件最理想(唐永忠等,2007)。区内已查明旬阳县大磨沟-泗人沟-刘家河、旬阳县白家坡等一批大、中型矿床及一系列小型矿床和矿点。在该铅锌矿集区目前发现大型铅锌矿床1处、中型矿床3处、小型矿床6处、矿点5处。截止2017年底,累计查明(铅+锌)资源/储量165.8万t,占全省铅锌总资源/储量的16.1%。

南郑县马元铅锌矿化集中区,大地构造位置处于扬子陆块北缘(Ⅲ₃¹)汉南碑坝穹窿(Ⅲ₃¹⁻¹,Ar₃-Pt₃),北侧以勉县-洋县-镇巴弧形断裂带与秦岭造山带相邻。地质构造总体上为一大型穹窿构造,其核部由中元古代结晶基底及中酸性侵入岩组成,其上覆盖新元古代震旦纪-寒武纪碳酸盐岩-碎屑岩沉积盖层。在结晶基底与沉积盖层之间,以及沉积盖层内部普遍发育滑脱构造、顺层断层、层间破碎带等韧性-脆性断裂构造。铅锌矿床严格受灯影组中上部厚层块状白云岩层间破碎蚀变带控制,容矿地层层位稳定,矿化带走向延伸数百千米,且具有明显的热液矿床的成矿特征。矿床类型为层控热液型铅锌矿床。在区内已发现以南郑县楠木树锌矿为代表的一系列铅锌矿产地。在该铅锌矿集区目前发现中型矿床2处、小型矿床1处、矿点6处。截止2017年底,累计查明(铅+锌)资源/储量61.2万t,占全省铅锌总资源/储量的6.0%。

镇安东川黄土岭铅锌矿化集中区,大地构造位置处于南秦岭边缘海盆(Ⅲ₁¹),属南秦岭成矿带(Ⅲ-66B)柞水-山阳成矿亚带(Ⅳ-66B-2)。出露寒武-奥陶系石瓮子组(ЄOs)、泥盆系大枫沟组(D₂d)、古道岭组(D₂g)及星红铺组(D₃x)。在矿化集中区北部为印支期东江口复式岩体,主要岩性为二长花岗岩。与陕西省内其他铅锌含矿地层不同的是,寒武-奥陶系石瓮子组浅灰色中厚层状微晶白云岩是本区的主要含矿层位。在本区有2种矿床类型:一是层控热液型铅锌矿床,矿体呈层状、似层状,为主要本区主要类型;其二是后期构造叠加改造形成的构造热液型铅锌矿,矿体受断裂构造控制,矿体呈脉状、透镜状。其主成时代为加里东期。在区内已发现以镇安黄土岭铅锌矿床为代表的一系列铅锌矿产地,目前,发现中型矿床1处、小型矿床2处、矿

点3处。截止2017年底,累计查明(铅+锌)资源/储量34.2万t,占全省铅锌总资源/储量的3.0%。

值得注意的是山(阳)-柞(水)一带是秦岭泥盆系主要热水沉积盆地之一,是Fe-Ag-Pb-Cu多金属矿集区。目前已经发现柞水县银洞子银铅多金属矿床、山阳县桐木沟锌矿床、黑沟等多处铅锌矿产地,中上泥盆统青石垭组属区内重要含矿地层,主要为一套浅变质的浅海相粉砂岩、板岩、泥质灰岩组成类复理石建造,矿床类型为层控热液型。仅就铅锌矿床而论,其分布并不集中,较为分散,不能构成一个铅锌矿集区。但其铅锌矿成矿条件较好,应该成为一个重要的铅锌矿找矿区。

4 结语

(1)陕西省铅锌矿资源较丰富,集中分布于陕南地区,为省内优势矿种。依据主要成矿作用,将铅锌矿床类型划分为岩浆热液型矿床、海相火山岩型矿床、浅成中-低温热液型矿床和受变质作用矿床等4个类型(三级分类),进一步划分7个亚类型(四级分类)。

(2)铅锌矿产具有以下主要特点:矿产地数量多,但地理分布不均衡;矿床类型多样,但以层控热液型为主;大中型矿床数量少,但资源量占比大;共、伴生铅锌矿床数较多,但资源量占比小。

(3)铅锌矿成矿时代跨度大,从新元古代到中生代均有铅锌矿形成,可划分出晋宁期、加里东期、华力西期、印支期和燕山期等5个成矿期。其中,华力西期是陕西铅锌矿的主要成矿期。

(4)铅锌矿空间上分布于陕西南部地区,由北向南主要分布于5个Ⅲ级成矿区带和14个Ⅳ级成矿区带。但大、中型铅锌矿床主要分布于南秦岭成矿带(Ⅲ-66B)的凤县-太白成矿亚带(Ⅳ-66B-1)和镇安-旬阳成矿亚带(Ⅳ-66B-3)2个成矿亚带上,并分别形成2个重要的铅锌矿集区——凤县-太白铅锌矿集区和旬阳泗人沟-南沙沟铅锌矿集区。

参考文献(References):

- 陕西省地质调查院. 中国区域地质志·陕西志[M]. 北京:地质出版社,2017.
- Shananci Institute of Geological Survey. Editorial Board of the Regional Geology of China, Shaanxi Province[M].

- Beijing: Geological Publishing House, 2017.
- 王集磊, 何伯墀, 李健中, 等. 中国秦岭型铅锌矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- WANG Jilei, HE Bochi, LI Jianzhong, et al. Qinling—Type Lead—Zinc Deposits in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.
- 林志华. 边缘转换盆地的构造岩相与成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- YANG Zhihua. Lithofacies and Metallogenesis in Marginal conversion basins[M]. Beijing: Science Press, 1991.
- 赵东宏, 杨忠堂, 李宗会, 等. 秦岭成矿带地质背景及优势矿产成矿规律[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- ZHAO Donghong, YANG Zhongtang, LI Zonghui, et al. Geological background of Qinling metallogenic belt and metallogenic regularity of dominant minerals[M]. Beijing: Science Press, 2019.
- 杨合群, 姜寒冰, 谭文娟, 等. 西北地区重要矿产概论[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2017.
- YANG Hequn, JIANG Hanbing, TAN Wenjuan, et al. Introduction to important mineral resources in Northwest [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2017.
- 胡乔青, 王义天, 王瑞廷, 等. 陕西凤太矿集区二里河铅锌矿床的成矿时代: 来自闪锌矿 RB—SR 同位素年龄的证据[J]. 岩石学报, 2012, 28(1): 258-266.
- HU Qiaoqing, WANG Yiantian, WANG Ruiting, et al. Ore-forming time of the Erlihe Pb—Zn deposit in the Fengxian-Taibai ore concentration area, Shaanxi Province: Evidence from the Rb—Sr isotopic dating of sphalerites[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(1): 258-266.
- 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 Ruiting, LI Fanglin, CHEN Erhu, et al. Geochemical characteristics and prediction of the Bafangshan-Erlihe large lead-zinc ore deposit, Feng County, Shaanxi Province, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(3): 779-793.
- 张长青, 吴越, 王登红, 等. 中国铅锌矿床成矿规律概要[J]. 地质学报, 2014, 88(12): 2252-2264.
- ZHANG Changqing, WU Yue, WANG Denghong, et al. 2014. Brief Introduction on Metallogeny of Pb—Zn Deposits in China [J]. Acta Geologica Sinica, 2014, 88(12): 2252-2264.
- 唐永忠, 齐文, 刘淑文, 等. 南秦岭古生代热水沉积盆地与热水沉积成矿[J]. 中国地质, 2007, 34(6): 1091-1099.
- TANG Yongzhong, QI Wen, LIU Shuwen, et al. Paleozoic hydrothermal sedimentary basin and hydrothermal sedimentary mineralization in the Southern Qinling [J]. Geology in China, 2007, 34(6): 1091-1099.
- 祁思敬, 李英. 南秦岭泥盆系成矿带热水沉积成矿系列[J]. 地质前缘, 1999, 6(1): 171-178.
- QI Sijing, LI Ying. The metallogenic series related to exhalative sedimentation in Devonian metallogenic belt, southqinling [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(1): 171-178.
- 祁思敬. 秦岭泥盆系中铅锌矿床的热水沉积成因[J]. 西安地质学院学报, 1993, 15(1): 27-33.
- QI Sijing. The sedimentary origin of The thermal water in the Pb-Zn ore deposits of the Qinling Devonian [J]. Journal of Xi'an College of Geology, 1993, 15(1): 27-33.
- 薛春纪, 祁思敬. 南秦岭泥盆纪同生热水沉积环境的沉积学及地球化学信息[J]. 西北地质, 1995, 16(4): 37-42.
- XUE Chunji, QI Sijing. Sedimentary and geochemical information of the Devonian syngeneic hot water depositional environment in the South Qinling Mountains [J]. Northwestern Geology, 1995, 16(4): 37-42.
- 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 Mantang. Types and prospecting direction of lead-zinc ores in Shaanxi [J]. Geology of Shaanxi, 2005, 23(2): 1-20.
- 齐文, 侯满堂. 镇旬矿田泥盆系和志留系铅锌矿的成矿地质条件分析[J]. 中国地质, 2005, 32(3): 452-461.
- QI Wen, HOU Mantang. Study of metallogenic condition of Devonian and Silurian lead—zinc deposits in Zhenxun ore field [J]. Geology in China, 2005, 24(3): 452-461.
- 侯满堂, 臧世权, 李新林, 等. 镇旬铅锌矿田热水沉积硅岩研究[J]. 陕西地质, 2004, 22(1): 45-54.
- HOU Mantang, ZANG Shiquan, LI Xinlin, et al. Researches on thermal water sedimentary silicate in the ZhenXun Lead-zinc ore field [J]. Geology of Shaanxi, 2004, 22(1): 45-54.
- 宋小文, 侯满堂, 朱经祥, 等. 陕西旬阳地区志留系铅锌矿

- 矿集区特征及其成因初探[J]. 陕西地质, 2003, 16(4): 37-50.
- SONG Xiaowen, HOU Mantang, ZHU Jingxiang, et al. Preliminary Study on the Characteristics and Genesis of Silurian Lead-Zinc Ore Concentration Area in Xunyang Area, Shaanxi[J]. Geology of Shaanxi, 2003, 16(4): 37-50.
- 任鹏, 梁婷, 刘阔龙, 等. 秦岭凤太矿集区喷流沉积型铅锌矿床 S、Pb 同位素地球化学特征[J]. 西北地质, 2014, 47(1): 137-147.
- REN Peng, LIANG Ting, LIU Kuolong, et al. Geochemistry of Sulfur and Lead Isotopic Compositions of Sedex Lead-zinc Deposits in Fengtai Mineral Cluster Region of Qinling Mounta[J]. Northwestern Geology, 2014, 47(1): 137-147.
- 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): 171-179.
- LI Yanhe, JIANG Shaoyong, XIE Chunji. A comparative study of ore-forming environments and conditions in Feng-tai and Zha-shan orefields, Qinling Mountains[J]. Mineral Deposits, 1997, 16(2): 170-179.
- 杨运军, 杜少喜, 张小明, 等. 陕西勉略宁三角区碧口群火山岩系特征及其地质填图方法探讨[J]. 西北地质, 2017, 50(3): 105-112.
- YANG Yunjun, DU Shaoxi, ZHANG Xiaoming, et al. Characteristics of Volcanic Rock Series from the Bikou Group and New Idea of Geological Mapping in the Mian-Lue-Ning Triangle Area, Shaanxi[J]. Northwestern Geology, 2017, 50(3): 105-112.
- 丁坤, 梁婷, 王瑞廷, 等. 陕南勉略阳地区陈家坝铜铅锌多金属矿床稀土元素地球化学特征[J]. 西北地质, 2018, 51(3): 93-104.
- DING Kun, LIANG Ting, WANG Ruiting, et al. REE Characteristics of the Chenjiaba Cu - Pb - Zn Polymetallic Deposit in Mian-Lue-Yang Area, Southern Shaanxi Province [J]. Northwestern Geology, 2018, 51(3): 93-104.
- 董王仓. 陕南旬阳志留系铅锌矿成矿特征控矿条件及找矿远景研究[R]. 中国地质大学(武汉)工程硕士学位论文, 2005.
- 陕西省国土资源厅. 陕西省非油气矿产资源储量表(2017) [R]. 2018.
- 张革利, 田涛, 王瑞廷, 等. 凤太矿集区东塘子铅锌矿床 S、Pb 同位素组成对成矿物质来源的示踪[J]. 中国地质, 2020, 47(2): 472-484.
- ZHANG Geli, TIAN Tao, WANG Ruiting, et al. S, Pb isotopic composition of the Dongtangzi Pb - Zn deposit in the Fengtai ore concentration area of Shaanxi Province for tracing sources of ore-forming materials[J]. Geology in China, 2020, 47(2): 472-484 (in Chinese with English abstract).