



引文格式: 姜寒冰, 杨合群, 赵国斌, 等. 西秦岭成矿带古生界控矿特征及有关成矿作用[J]. 西北地质, 2024, 57(4): 218–228. DOI: 10.12401/j.nwg.2023192

Citation: JIANG Hanbing, YANG Hequn, ZHAO Guobin, et al. Ore-Controlling Features and Related Mineralization Functions of the Paleozoic in West Qinling[J]. Northwestern Geology, 2024, 57(4): 218–228. DOI: 10.12401/j.nwg.2023192

## 西秦岭成矿带古生界控矿特征及有关成矿作用

姜寒冰, 杨合群, 赵国斌\*, 王永和, 温志亮, 谭文娟, 李宗会,  
辜平阳, 李健强, 郭培虹, 董增产, 任华宁

(中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710119)

**摘要:** 西秦岭成矿带下古生界的赋矿地层分布于南带, 主要为志留系, 次为寒武系; 而上古生界的赋矿地层在南带和北带均有分布, 主要为泥盆系, 次为石炭系—二叠系。其中, 寒武系主要赋存后生浅成中-低温热液作用有关金矿(伴生铜、铀、钼、锑、碲等)。志留系赋存同生沉积作用有关钼钨(伴生镍、铀)、磷、石煤、锰和灰岩矿, 后生浅成中-低温热液作用有关金、银、锑、汞和铀矿(伴生铜、钼、镍、钒), 局部有表生风化淋滤作用有关褐铁矿、铀矿。南带泥盆系赋存同生沉积作用有关煤、白云岩、石膏、铁和磷矿, 后生浅成中-低温热液作用有关铁、金、汞和硫铁矿, 局部有表生风化淋滤作用有关褐铁矿; 北带泥盆系赋存喷流沉积-改造作用有关铅锌矿及铜矿, 后生浅成中-低温热液作用有关铁、铜、金、锑和汞矿, 局部有表生风化作用有关白铅矿-菱锌矿。南带石炭系—二叠系赋存沉积作用有关灰岩、白云岩, 后生浅成中-低温热液作用有关金和汞矿。北带石炭系—二叠系赋存火山沉积-改造作用有关铅锌矿, 后生浅成中-低温热液作用有关金和锑矿等。此外, 在西秦岭向东昆仑过渡地带, 石炭系—二叠系赋存有火山沉积-改造作用有关铜和锡矿。总之, 地层控矿基本分两类: ①含矿(同生及准同生关系), 矿体是地层的组成部分, 成矿时代同于含矿地层时代(志留纪、泥盆纪、石炭纪、二叠纪)。②容矿(后生及表生风化关系), 矿体不是地层的组成部分, 成矿时代明显晚于容矿地层的时代, 区内后生浅成中-低温热液作用主要发生在中生代, 风化作用主要发生在新生代。沉积-改造型矿床可视为两种控矿类型的叠加。容矿地层是否矿源层, 需具体情况具体分析。

**关键词:** 古生界; 含矿地层; 容矿地层; 矿源层; 西秦岭成矿带

中图分类号: P612

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2024)04-0218-11

### Ore-Controlling Features and Related Mineralization Functions of the Paleozoic in West Qinling

JIANG Hanbing, YANG Hequn, ZHAO Guobin\*, WANG Yonghe, WEN Zhiliang, TAN Wenjuan,  
LI Zonghui, GU Pingyang, LI Jianqiang, GUO Peihong, DONG Zengchan, REN Huaning

(Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710119, Shaanxi, China)

收稿日期: 2023-05-11; 修回日期: 2023-09-11; 责任编辑: 贾晓丹

基金项目: 中国地质调查局项目“中国矿产地质志”(DD20160346、DD20190379、DD20221695)子项目“西北地区区域成矿规律研究与总结”, “祁连-秦岭成矿带战略性矿产调查项目(DD20240115)”, 陕西省自然科学基金项目“阿尔泰山带青河穹窿韧性变形作用的 Ar-Ar 年代学制约”(2020JM-310)联合资助。

作者简介: 姜寒冰(1979-), 女, 高级工程师, 从事西北地区区域成矿规律研究。E-mail: jianghanbing1980@126.com。

\* 通讯作者: 赵国斌(1978-), 男, 正高级工程师, 从事成矿规律研究、矿产预测及评价。E-mail: 531522461@qq.com。

**Abstract:** The lower Paleozoic ore-bearing strata in the western Qinling metallogenic belt are mainly distributed in the southern belt, predominantly consisting of the Silurian system and followed by the Cambrian system; The upper Paleozoic ore-bearing strata are distributed in both the southern and northern belts, primarily composed of the Devonian system, followed by the Carboniferous-Permian system. Among them, the Cambrian system mainly occurs gold deposits (associated copper, uranium, molybdenum, antimony, selenium, etc.) related to epigenetic hypabyssal medium-low temperature hydrothermal function. The Silurian system occurs molybdenum, vanadium (associated with nickel and uranium), phosphorus, stone coal, manganese and limestone minerals related to syngenetic sedimentation function, epigenetic hypabyssal medium-low temperature hydrothermal function in the formation of gold, silver, antimony, mercury and uranium (associated copper, molybdenum, nickel, vanadium), the local has limonite and uranium deposits related to supergene weathering leaching function. The Devonian system in the southern belt occurs coal, dolomite, gypsum, iron, and phosphate deposits related to syngenetic sedimentation function, epigenetic hypabyssal medium-low temperature hydrothermal function in the formation of iron, gold, mercury, and pyrite, the local has limonite related to supergene weathering leaching function. The Devonian system in the northern belt occurs lead-zinc and copper deposits related to Jet sedimentation-transformation function, epigenetic hypabyssal medium-low temperature hydrothermal function in the formation of iron, copper, gold, antimony, and mercury deposits, the local has cerussite and smithsonite related to supergene weathering function. The Carboniferous-Permian system in the southern belt occurs limestone and dolomite deposits related to sedimentation function, epigenetic hypabyssal medium-low temperature hydrothermal function in the formation of gold and mercury deposits. The Carboniferous-Permian system in the northern belt occurs lead-zinc deposits related to volcanic sedimentary-transform function, epigenetic hypabyssal medium-low temperature hydrothermal function in the formation of gold and antimony deposits. Additionally, in the transitional belt from the west Qinling to the east Kunlun, the Carboniferous-Permian system occurs copper and tin deposits related to volcanic sedimentation-transform function. In summary, the ore control by strata in the area can be classified into two categories: ①ore-bearing deposits (syngenetic and quasi-syngenetic relationship), the ore body is an integral part of a stratum, where the mineralization occurred during the same period as the formation of the ore-bearing strata (Silurian, Devonian, Carboniferous, and Permian). ②ore-hosting deposits (epigenetic and supergene weathering relationship), the ore body is not part of the formation, where the mineralization occurred significantly later than the formation of the ore-hosting strata, epigenetic medium-low temperature hydrothermal function primarily occurred during the Mesozoic era, while weathering function mainly occurred during the Cenozoic era. Sedimentary-transformation type ore deposits can be considered as the overlapping of these two types of ore controls. The identification of whether the ore-hosting strata act as ore source layer depends on specific geological circumstances and requires further analysis.

**Keywords:** Paleozoic erathem; ore-bearing strata; ore-hosting strata; ore source layer; West Qinling metallogenic belt

西秦岭成矿带(Ⅲ-28)位于秦岭造山带西段,其北以多期复合的商丹结合带和后期青海湖南山复合断裂带与祁连-北秦岭早古生代构造带相隔,其南以阿尼玛卿-勉略结合带与巴颜喀拉-松潘-甘孜印支期构造带为邻,其西以哇洪山断裂与柴达木地块-东昆仑构造带相望,向东到佛坪隆起与东秦岭成矿带相接。虽然冯益民等(2000)著有《西秦岭造山带结构造山过程及动力学》,杨合群等(2022)概论西秦岭矿床成矿系列,姜寒冰等(2023)概论西秦岭区域成矿规律,但

尚未专门系统论述西秦岭地层对成矿的控制问题。笔者选择区内古生界的赋矿地层(指产出有矿体的地层),着重综合梳理控矿特征,并概略探讨控矿作用。

## 1 古生界有关矿产概述

对西秦岭成矿带综合研究初步统计,古生界控制的矿产地190处,其中超大型3处,大型18处,中型34处,小型95处,矿点40处(表1、图1)。

表1 西秦岭古生代地层控制的矿产统计表

Tab. 1 Mineral resources statistics controlled by Paleozoic strata in West Qinling

地层	矿产地规模及数量(个)					矿床类型	矿种
	超大型	大型	中型	小型	矿点		
寒武系		1				后生 浅成中-低温热液型	金
志留系			3	19	4	同生 化学沉积型、生物化学沉积型	钼、钒、锰、磷、石煤、灰岩
						后生 浅成中-低温热液型 表生 风化淋滤型	金、银、锑、汞、铀 褐铁矿、铀
泥盆系	3	12	15	60	15	同生 化学沉积型、生物化学沉积型、机械沉积型、蒸发沉积型、喷流沉积型	铁、铜、铅、锌、重晶石、磷、煤、石膏、白云岩
						后生 浅成中-低温热液型	喷流沉积改造 铁、铜、铅、锌、金、锑、汞、重晶石、硫铁矿
石炭系—二叠系	5	16	16	21	同生 化学沉积型、生物化学沉积型、海相火山岩型	喷流沉积改造 铅、锌、铜、锡、灰岩、白云岩、黏土	
					后生 浅成中-低温热液型	白铅矿、菱锌矿、褐铁矿 铅、锌、金、锑、汞	

下古生界中的赋矿地层主要为志留系, 次为寒武系, 而奥陶系尚未发现矿产。其中, 寒武系赋存的矿产地仅1处(大型1处), 主要矿种为金, 局部地段有铀, 矿床类型为浅成中-低温热液型。志留系赋存的矿产26处(中型3处, 小型19处, 矿点4处); 矿种主要为锰、金、铁、灰岩, 次为钼、钒、磷、铀; 矿床类型主要为化学沉积型、浅成中-低温热液型、风化淋滤型, 次为生物化学沉积型。

上古生界的赋矿地层主要为泥盆系, 次为石炭系—二叠系。其中, 泥盆系赋存有各类矿产地105处(超大型3处, 大型12处, 中型15处, 小型60处, 矿点15处); 矿种主要为铅、锌、灰岩, 次为金、汞、锑、铁、白云岩; 矿床类型主要为浅成中-低温热液型、化学沉积型、喷流沉积型、叠加(复合/改造)型, 次为风化淋滤型、机械沉积型、生物化学沉积型、蒸发沉积型。石炭系赋存有各类矿产地36处(大型2处, 中型9处, 小型11处, 矿点14处); 矿种主要为灰岩、金, 次要矿种为铅、锌、汞、锑、铁; 矿床类型主要为浅成中-低温热液型、化学沉积型, 次为风化型淋滤型、海相火山岩型。二叠系赋存有各类矿产地22处(大型3处, 中型7处, 小型5处, 矿点7处); 矿种主要为汞、灰岩, 次为锑、金、铜、铁、磷矿、白云岩; 矿床类型主要为浅成中-低温热液型、化学沉积型, 次为海相火山岩型、生物化学沉积型。

对上述地层赋矿情况, 具体可区分为“含矿”和“容矿”两大控矿类型。前者指矿体与地层为同生或准同生关系, 矿体属于地层的组成部分, 其成矿时代一般可用含矿地层时代来代表。例如, 同生沉积作用有关矿床; 后者指矿体与地层为后生或表生风化淋滤关系, 矿体不属于地层的组成部分, 其成矿时代常明显晚于容矿地层时代。例如, 浅成中-低温热液作用有关矿床、表生风化淋滤作用有关矿床。沉积-改造型矿床可视为两种控矿类型的叠加。

## 2 下古生界控矿特征及控矿作用

西秦岭北缘沿武山鸳鸯镇、天水关子镇、凤县唐藏一线断续存在早古生代洋壳的蛇绿混杂岩残片, 向东可接连东秦岭商丹带(梁文天等, 2008)。有关的古秦岭洋南侧陆缘, 属于统一的扬子基底基础上发展起来的被动大陆边缘, 广泛地沉积了早古生代海相地层。

在西秦岭南带若尔盖一带分布的巨厚浅变质岩系, 经四川、甘肃两省地质矿产局及西安地质矿产研究所地质人员反复研究, 先是将其自下而上划分为3部分: 下部为震旦系白依沟群, 主要出露于白龙江复背斜白依沟次级背斜核部, 为一套以火山碎屑岩为主夹陆源碎屑岩的浅变质岩系; 中部为寒武系—奥陶系太阳顶群, 围绕白依沟次级背斜的两翼产出, 为一套

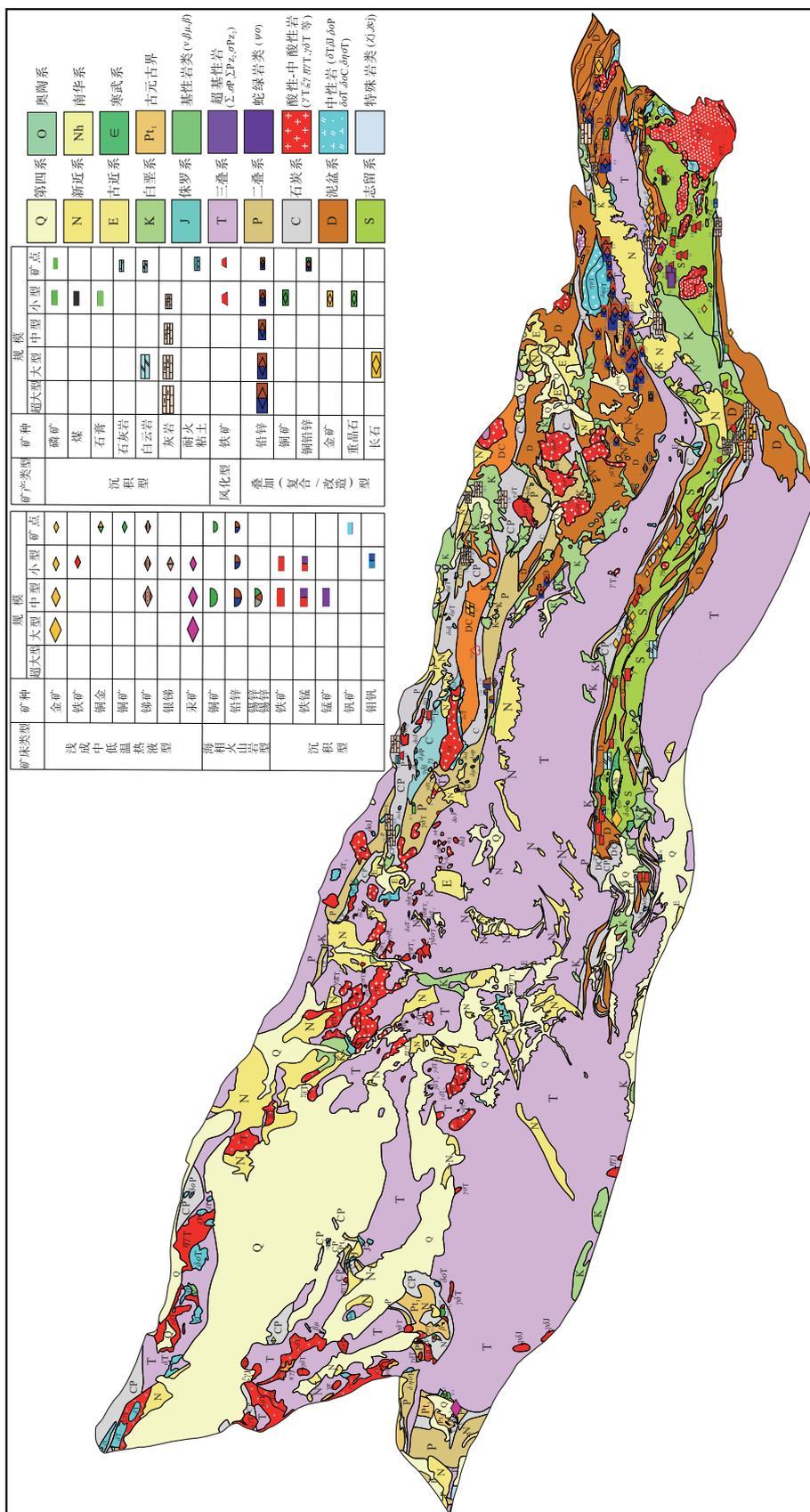


图1 西秦岭成矿带古生界有关矿床分布图

Fig. 1 Distribution of Paleozoic earththen related deposits in West Qinling metallogenic belt

含碳硅质岩夹碳质板岩和透镜状白云岩,并以黄褐色黏土和铁质古风化壳为标志的沉积间断组成底界,超覆不整合(假整合)于下伏白依沟群之上;上部为志留系,20世纪60年代称白龙江群。后来在此划分基础上,寒武系—奥陶系太阳顶群厘定为寒武系下统太阳顶组;而志留系下部又分出奥陶系中上奥陶统苏里木塘组(四川省地质矿产局,1991;张二朋等,1993;叶发荣等,1994;甘肃省地质矿产局,1997)。相应地,迭部—武都一带断续出露的奥陶系有下中奥陶统拉路组/上奥陶统大堡组。

根据西秦岭现有地质矿产资料,下古生界南带赋矿地层主要为志留系(白龙江群),次为寒武系(太阳顶组)。北带虽也发现出露有少量志留系顶上志留统,但尚未发现矿产。

### 2.1 寒武系控矿

寒武系太阳顶组,出露于西秦岭南带白龙江复背斜西段的川甘交界地带,呈近EW向分布,以黑色的含碳硅质岩与碳质板岩相间互层产出构成厚度巨大(最厚可达1000m)的沉积建造,形成于寒武纪被动大陆边缘裂谷盆地。依据沉积韵律,可将其划分为3个沉积旋回。每个旋回自下而上均以厚层块状硅质岩开始,然后逐渐递变为中—薄层球粒状硅质岩、条带状硅质岩、层纹状硅质岩,最后过渡为含泥质较多的硅质岩,直至泥质岩(已变为板岩)。其中,硅质岩单层厚度一般为30~200m,富含有机碳呈灰黑色,岩石致密坚硬,按构造特征可分为:块状硅质岩、同生角砾状硅质岩、多孔状硅质岩、条带状硅质岩、层纹状硅质岩、球粒状和软变形状硅质岩等。板岩以碳质板岩、硅质板岩为主,粉砂质板岩较少。

已知太阳顶组由含碳硅质岩和碳质板岩组成的硅质岩建造中,主要赋存有后生中—低温热液作用有关金矿(伴生铜、铀、钼、锑、硒等)。例如,甘肃碌曲县—四川若尔盖县交接地带的拉尔玛金矿床(分为拉尔玛、琼莫、牙相矿段),受地层、岩性、构造控制十分明显。

在上述硅质岩建造中,现已圈出金矿体上百个,且多数分布于拉尔玛。金矿体一般沿顺层破碎带分布,形态为似层状和透镜状,其产状与围岩一致。矿石矿物和元素组合十分复杂。现已鉴定出的矿物多达80余种,除黄铁矿、白铁矿、辉锑矿、自然金外,还有相当数量的铜、铀、硒等元素的独立矿物。通过对这套寒武系硅质岩建造以及金矿石中金的浸出率、微量元素及其特征元素比值、稀土配分型式以及硫、铅、碳、氧、氢、硅等同位素组成等方面的系统研究表明,

在后期成矿过程中,金及其他伴生元素主要来自寒武系硅质岩建造;成矿溶液主要来自大气降水,成矿时代为137~47Ma(刘家军等,1997,1998b,1999)。矿床成因属层控—后期热液再造型金矿床。

据30件硅质岩样品分析结果,以贫Al、Ti,富Si、Fe为特征,且 $(Fe+Mn)/Ti$ 值大于10, $Al/(Al+Fe+Mn)$ 值平均为0.153,比值小于0.35,反映出硅质岩主要是海底喷流沉积作用的产物。硅质岩的硅、氧同位素地球化学特征也表明本区硅质岩建造中硅质岩与喷溢的热液沉积作用有关,且其形成时的热水温度较高,约为70~118℃。海底喷流沉积作用不仅形成了特殊的硅质岩建造,而且在硅质岩建造中发生了矿质富集,甚至在局部地段达矿化。如部分具有典型沉积特征的、未受后期热液蚀变影响的同生角砾状硅质岩、多孔状硅质岩、层纹状硅质岩、条带状铁质硅质岩中金的含量在 $0.073 \times 10^{-6} \sim 1.248 \times 10^{-6}$ ,大多为 $0.19 \times 10^{-6} \sim 0.40 \times 10^{-6}$ 。两个沉积黄铁矿中金含量分别为 $0.119 \times 10^{-6}$ 和 $1.239 \times 10^{-6}$ ,矿化亦甚明显(刘家军等,1998a)。实验研究揭示:太阳顶组硅质岩中的活性金远远高于板岩,在成矿过程中易于迁移出来参与成矿;板岩中的金多为惰性金,难于活化和提供金源(林丽等,1997)。显然,本区寒武系太阳顶组不仅是后生的浅成中—低温热液作用有关金矿的容矿地层,而且同时也是给成矿溶液提供矿质的矿源层。

### 2.2 志留系控矿

志留系白龙江群(曾称白龙江系)主要出露于西秦岭南带白龙江复背斜,从川甘交界地带起一直向东延伸到甘陕交接的陇南—留坝一带,为一套深海—半深海—浅海陆棚环境的碎屑岩—碳酸盐岩建造,有5个从变质杂砂岩—绢云母粉砂岩—粉砂质绢云母千枚岩夹似层状、透镜状含碳硅质岩及灰岩构成的沉积旋回。该群从下到上划分为迭部组( $S_{1-2d}$ )、舟曲组( $S_{2z}$ )、卓乌阔组( $S_{3-4zw}$ ),各组均呈连续沉积,形成于陆缘浅海环境,整合于上奥陶统大堡组之上(甘肃省地质调查院,2018)。

迭部组(四川境内细分为羊肠沟组、塔尔组、拉垌组、下地组)主要分布在西秦岭迭部—舟曲—陇南—留坝一带,区域上主要为一套深色泥质—细碎屑岩沉积,下部多碳质、有机质泥岩;岩石富含黄铁矿颗粒、细脉及条带,且含铁白云石变斑晶。细碎屑岩中纹层、极薄层、薄层状层理构造发育。含碳板岩中产浮游型笔石和头足类化石。这些沉积特征表明,迭部组形成于封闭的深水停滞的海相盆地环境,属明显的深水还

原环境。该组赋存生物化学沉积作用有关钼钒矿(伴生镍、铀)及磷矿(如,陕西略阳县沙坝坪钼钒矿床,甘肃徽县虞关磷矿点)。

舟曲组分布范围与迭部组相同,可划分为上下两个岩段,下岩段为一套浅变质类复理石细碎屑岩建造,为水体快速变深的盆地斜坡-盆底相深水沉积;上岩段为一套深水盆地黑色岩系富碳泥质、硅质细碎屑泥质岩建造,以含碳板岩及砂质千枚岩夹硅质岩为主,显示其为盆地扩张、水体快速变深的深水海湾滞流还原环境沉积。该组赋存生物化学沉积作用有关石煤矿(如,甘肃陇南市武都区赵河坝、柯岔沟石煤矿点,舟曲县灶音崖、石门坪石煤矿点,成县杨沟石煤矿点)。

卓乌阔组分布区域与迭部组、舟曲组相同。岩性主要以碎屑岩夹硅质岩、碳酸盐岩为主,但东西方向相变较明显,武都以西的舟曲-迭部等地区灰岩夹层较多,武都以东地区则泥质千枚岩、板岩、粉砂岩增多,到留坝一带岩性则由下部的硅质条带灰岩、微粒灰岩,夹碳质灰岩千枚岩向上部的粉砂质板岩夹砂岩、千枚岩变化。该组赋存化学沉积作用有关锰矿和灰岩矿(甘肃成县南陈家庄、金家坪、石门沟、西沟里锰矿床,陇南市武都区柏崖上、灰崖子、杜家沟灰岩矿床),后期虽然遭受一定变质作用,但灰岩尚未变为大理岩。

白龙江群沿构造破碎带还赋存后生浅成中-低温热液作用有关金矿、银锑矿、汞矿(甘肃两当县东河金矿床,徽县明家山汞矿床;陕西留坝县八卦山银锑矿床)和铀矿(川甘若尔盖铀矿田510、512等矿床)(黄昌华等,2015),有工业意义的铀矿床主要产于舟曲组,其次产于迭部组(任四清,2008)。这些铀矿床的主要形成时代为117~55 Ma,个别地段地表浅部新生代由于风化淋滤作用,在地表个别地段形成有鸡窝状的铀矿体,故在铀矿床中还出现了22~10 Ma的同位素年龄值(刘家军等,1998b);还赋存风化淋滤作用有关褐铁矿床,由地层中的黄铁矿及菱铁矿表生风化淋滤形成(甘肃徽县包家沟、大河店铁矿床,舟曲县老红山、猫坪山后铁矿床,迭部县柯叉沟铁矿床,陇南市武都区子背沟铁矿床,陕西留坝县光华山铁矿床,略阳白水江大滩-长峰、罗家山-铁炉沟、林口-白马和马鞍山铁矿床)。

### 3 上古生界控矿特征及控矿作用

在志留纪末洋盆基本闭合,进入泥盆纪,西秦岭

出现板内伸展作用,白龙江隆起的南北分别发育裂陷盆地,分别发育特点不同的含矿沉积建造。至石炭纪时期,裂陷盆地呈线形主要局限在西秦岭的南北边缘地带,沉积形成灰岩、白云岩。二叠纪地层广泛分布,地层出露较齐全,以海相碳酸盐岩、碎屑岩夹火山岩组成,以潮下带碳酸盐岩为主,潮间带碎屑岩-碳酸盐岩次之,为稳定的浅海相沉积环境。根据西秦岭现有地质矿产资料,上古生界的赋矿地层主要为泥盆系,次为石炭系—二叠系。

#### 3.1 泥盆系控矿

西秦岭泥盆纪盆地的基底为志留系浅变质沉积地层,除迭部等地段呈整合接触之外,均为平行不整合接触或微角度不整合接触。南带北部有早泥盆世普通沟组、尕拉组\中泥盆世当多组、下吾那组、蒲莱组\中晚泥盆世擦阔台组\晚泥盆世陡石山组;南带南部有早泥盆世桥头组、屯寨组、羊汤寨组。北带南部有西汉水群(早泥盆世安家岔组\中泥盆世黄家沟组\中晚泥盆世红岭山组\晚泥盆世双狼沟组);其北侧有中泥盆世舒家坝群,其上平行不整合覆盖晚泥盆世大草滩群。

南带泥盆纪含矿地层赋存多种类型的沉积矿产,普通沟组有生物化学沉积作用有关煤(甘肃两当县广金无烟煤矿区),尕拉组有蒸发沉积作用有关白云岩和石膏矿(甘肃武都区下猴子石膏矿床,迭部县当多-下吾那白云岩矿点和碌曲县公主河白云岩矿点),当多组有化学沉积作用有关铁矿及生物化学沉积作用有关磷矿(甘肃碌曲县马尔则岔、扎根恰热、尕海沟、且热加玛、割孔隆、且加木括合、噶尔括合、花尔干山和帕热-西帕热铁矿床,迭部县当多、黑拉、尼洛沟、牙那和牙列巴铁矿床,当多磷矿点);还赋存后生浅成中低温热液作用有关铁矿、硫铁矿、金矿和汞矿(甘肃迭部县洛大铁矿床,查居铁矿床及硫铁矿床,舟曲县柴马山、黑水沟铁矿床,舟曲县坪定、羊里尾沟金矿床,徽县马家山汞矿床);还赋存表生风化淋滤作用有关褐铁矿(陕西略阳县白水江铁矿床,甘肃徽县芋子滩、闻家楼铁矿床)。

北带泥盆纪含矿地层,赋存有化学沉积和生物化学沉积作用有关灰岩矿床。岷礼-西成-凤太一带,中泥盆世红岭山组、晚泥盆世双狼沟组有甘肃礼县鲁班灰岩矿床,西和县小堡子、大草湾灰岩矿床,中泥盆世古道岭组、晚泥盆世星红铺组有陕西凤县河口黄牛沟、南旗山灰岩矿床。在甘肃境内赋存喷流沉积-改造作

用有关西成铅锌多金属矿田(仅铅锌矿床就达35处),例如,早泥盆世安家岔组有厂坝-李家沟、向阳山等大中型铅锌矿床,中泥盆世黄家沟组有毕家山、庙沟、邓家山等大中型铅锌矿床,中晚泥盆世红岭山组有洛坝、页水河等中型铅锌矿床;在陕西境内赋存喷流沉积-改造作用有关的凤太铅锌多金属矿田(仅铅锌矿床就达14处),铅锌矿主要赋存于中泥盆世古道岭组灰岩与晚泥盆世星红铺组细碎屑岩界面附近(陕西太白县王家楞崖房沟铅锌矿床,凤县八方山-二里河、铅洞山-东塘子、谭家沟、峰崖、银洞梁、手搬崖、苇子坪洞沟、安沟、尖端山、核桃坝、长沟、洞沟、银母寺和大黑沟铅锌矿床);局部有喷流沉积-改造作用有关铜矿,赋存于晚泥盆世星红铺组灰岩与细碎屑岩界面附近(例如陕西凤县九子沟铜矿床,苇子坪、安沟、太山庙、岩前山、铜牌沟铜矿点)。

甘肃省成县厂坝、李家沟、黄厂,徽县向阳山、油露洞铅锌矿床,主矿层赋存于强变质、弱变形的泥盆纪浅海碳酸盐岩(已变为大理岩、石英大理岩、碳质长石石英团块大理岩、黑云母条带状大理岩)与上覆细碎屑岩(已变为黑云石英片岩、石英二云母片岩、石英片岩)之间,铅锌矿同石英钠长石岩及重晶石岩等关系密切。矿体以层状、似层状、透镜状为主,与围岩整合产出,局部有脉状及囊状矿体;矿石构造主要为条纹-条带状、块状构造,次为浸染状。

甘肃的西和县邓家山、尖崖沟、磨沟、人土山、页水河,成县毕家山,徽县洛坝-郭家沟铅锌矿床,陕西的凤县谭家沟、峰崖、银洞梁、手搬崖、东塘子-铅洞山、苇子坪洞沟、安沟、尖端山、长沟、洞沟、银母寺、八方山-二里河、大黑沟、崖房湾铅锌矿床,主矿层赋存于浅变质、强变形泥盆纪滨浅海碳酸盐岩(含碳微晶灰岩、生物碎屑灰岩,夹少量绢云母千枚岩、铁白云质千枚岩)与上覆细碎屑岩(钙质千枚岩为主,夹铁白云质千枚岩、绿泥绢云千枚岩)之间,矿层同铁白云石硅质岩(铁白云石岩-硅质铁白云岩-铁白云石硅质岩-硅质岩)关系密切。矿层之下灰岩普遍硅化,局部石英网脉发育,并伴硫化物矿化。矿体以层状、似层状、鞍状、透镜状为主,局部有脉状。在轻微改造的铅洞山等矿床中,矿石以条带状构造为主;在强改造的毕家山等矿床中,最普遍发育的矿石构造为角砾状(甘肃省地质调查院,2013;陕西省地质调查院,2013)。

厂坝-李家沟铅锌矿的上部分布有重晶石层,厚

5~50 cm,其矿物组成有重晶石(30%~90%),还有钠长石、石英、阳起石和金属硫化物等,有时可见到硫化物聚集成层纹,表明为同生沉积成因(薛春纪,1997)。相同的成矿地质背景不同位置对比:厂坝-李家沟铅锌矿床具备喷流沉积矿床的典型特征,矿床自下而上依次为网脉状铅锌矿化,块状铅锌矿体、条带状铅锌矿体及顶部重晶石矿体;而位于厂坝之西7 km的庙沟矿区却只发现了条带状铅锌矿体和重晶石矿体,喷流沉积作用有关矿床的空间分带性表明矿区所处位置远离成矿热液通道喷口,位于喷流沉积体系的边缘相。也有的地段,重晶石矿体受构造裂隙控制,并且平行的同期裂隙有的被印支期中酸性岩岩脉侵入,为重晶石活化改造提供了热源,例如宕昌县金临重晶石矿点,矿体呈简单的脉状(甘肃省地质调查院,2012)。

西成矿田邓家山、李家沟矿床,矿田泥盆系、基底前泥盆系和矿田内出露花岗岩岩体的铅同位素组成稳定,全部落在 Carnon, R.S.(1967)三角图解正常铅范围。李家沟、邓家山铅锌矿床的铅中,不同矿物和不同地质产状的同种矿物铅同位素组成基本一致,单阶段模式年龄413~666.5 Ma,明显大于赋矿地层时代年龄值;西成矿田泥盆系的铅同位素数据来自泥盆系的沉积黄铁矿,其Pb同位素不稳定,变化大,与矿床Pb同位素组成相比差异显著,没有直接的成因联系;矿田出露的花岗岩体Pb同位素组成与矿床相比,均有明显差异,是在两个不同体系中演化的正常铅;基底地层Pb同位素组成是全岩样品测定值,经物相分析铅主要是硫化物相(达80%),铅同位素组成稳定,并与矿床铅同位素组成相似,显示出两者具有成因联系。通过以上讨论可以推断,西成矿田矿石铅并非来自赋矿泥盆系本身,也非来自岩浆活动,而是可能主要来自基底前泥盆系。在武都-文县一带全长41 km的基底地层剖面中采集36个岩石样品进行测定,基底地层Zn均值为 $84.30 \times 10^{-6}$ ,是矿田泥盆系的1.68倍;Pb均值为 $60.28 \times 10^{-6}$ ,是矿田泥盆系的3.76倍。其中,武都志留系Zn平均为 $73.3 \times 10^{-6}$ ,Pb平均为 $62.9 \times 10^{-6}$ ,在某些层位(如碳质页岩)中Pb、Zn含量可高达 $200 \times 10^{-6} \sim 300 \times 10^{-6}$ ,明显富集Pb、Zn。因此,基底地层具备Pb、Zn成矿的物质基础。在对代表性的样品物相分析显示,凝灰岩、千枚岩、粉砂岩中吸附相-有机相-碳酸盐相-硫化物相Pb含量占全岩Pb含量的88%~96%,硅酸盐相仅占4.3%~12.2%;吸附相-有机相-碳

酸盐相-硫化物相 Zn 含量占全岩 Zn 含量的 38.3%~60.6%, 硅酸盐相占 34.1%~57.2%。对基底岩石样品在莫雷式高压釜中进行了活化淋取 Pb、Zn 的模拟实验。实验溶液:  $\text{Na}^+$  1 mol/L,  $\text{K}^+$  0.4 mol/L,  $\text{Ca}^{2+}$  0.1 mol/L,  $\text{Cl}^-$  1.6 mol/L, pH=5; 实验样品为灰绿色粉砂岩, 粒度为 0.10~0.50 mm, 重量为 2 g; 实验时间为恒温持续 70 h。结果显示, 吸附相、有机相、碳酸盐相 Pb、Zn 在温度较低(200 °C)时就全部活化进入流体相中; 硫化物相 Pb、Zn 随温度升高活化率增大, 在温度高于 250 °C 时, 这种变化更为显著; 硅酸盐相 Pb、Zn 在 200~400 °C 范围内几乎不能活化淋取(周乐尧, 1991)。参考前人研究成果, 笔者认为, 泥盆纪海底热卤水对流循环活动, 对于将基底岩系的矿质萃取向上迁移进入泥盆系中的热水沉积岩系中起关键作用, 这对西成-凤太铅锌多金属矿集区的贡献不可忽视。

泥盆纪时期, 裂隙槽热异常驱动的海底喷流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-石英钠长石岩-重晶石岩及层状、似层状铅锌矿体(仅局部有铜矿显示); 后来在印支-燕山期构造-岩浆-流体作用下, 褶皱核部加厚加富形成鞍状矿体, 并常见叠加的不规则脉状矿体, 热液活化也使金等元素富集成矿, 最终展现为层控热液型铅锌多金属矿(铅锌为主, 还有铁、铜、金、锑、汞等矿产)。例如, 由于热液改造作用, 有些地段发生铅锌矿及重晶石被改造复杂化, 而另有些地段则有叠加脉状铜矿体的情况。例如, 陕西凤县八方山-二里河铅锌(铜)矿床, 甘肃省成县毕家山铅锌(铜)矿床, 礼县小峪河铅锌(铜)矿床, 西和县李家山铅锌(铜)矿床等。也就是说, 这些矿床中的脉状铜矿体不属于泥盆纪喷流沉积作用的直接产物。例如, 李家山小型铅锌(铜)矿床, 赋存于中泥盆世西汉水群, 共圈定 5 条矿体: 1 条硅化灰岩型铅锌矿体, 呈层状、似层状, 矿体平均品位 Pb 为 1.58%, Zn 为 6.59%; 4 条石英脉型铜矿体呈脉状、似层状, 矿体平均品位 Cu 为 0.76%~3.08%, 矿区平均品位 Cu 为 2.37%。金属矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、铜兰、方铅矿、闪锌矿; 脉石矿物为石英、碳酸盐矿物等(中国矿产地质志·甘肃卷编委会, 2021)。此外, 在西成矿田泥盆系西延地段, 铅锌硫化物剥蚀出露地表浅部, 受表生风化形成白铅矿、菱锌矿, 仅深部残留少量硫化物(如, 甘肃宕昌县代家庄铅锌矿床)。

可以看出, 泥盆系具有双重控矿特征, 对同生或

准同生矿产为“含矿”; 而对后生或表生风化矿产为“容矿”。

### 3.2 石炭系—二叠系控矿

西秦岭及周边板内伸展裂陷盆地, 从泥盆纪开始至石炭纪—二叠纪时期, 海相沉积地层的局部地段出现海相火山岩, 甚至有蛇绿岩组合出现, 发展到裂谷—小洋盆—甚至有限洋盆。

在西秦岭南带, 有早石炭世益哇沟组和晚石炭世岷河组, 二者整合产出。益哇沟组整合于陡石山组之上, 为一套碳酸盐岩建造, 以薄-中厚层致密块状灰岩为主, 尚有白云岩、泥质灰岩、燧石结核灰岩、白云质灰岩以及角砾状灰岩等; 其上的岷河组为一套以灰岩为主的碳酸盐岩夹泥岩和碎屑岩的岩石组合, 岩性为灰岩、泥灰岩、生物灰岩、微晶灰岩、燧石条带灰岩、燧石结核灰岩、白云质灰岩、白云岩等, 其中夹有页岩、板岩、碳质板岩、钙质泥岩、钙质板岩、豆粒或鲕粒板岩以及黏土质页岩、砂质砾岩、泥质砂岩、石英粗砂岩、石英细砂岩和含铁砂岩等。其中, 益哇沟组赋存化学沉积作用有关灰岩、白云岩矿(甘肃成县牛斜山灰岩矿床, 迭部县九龙峡白云岩矿床, 陇南市武都区桑家湾灰岩、白云岩矿床, 姚寨沟、角弓南灰岩矿床, 徽县谈家庄、磨坝峡灰岩矿床, 碌曲县郎木寺灰岩矿床, 舟曲县洋布梁灰岩矿床)。晚石炭世—早二叠世尕海组, 岩性单一, 由大套碳酸盐岩偶夹碎屑岩组成, 以灰岩为主, 局部见白云岩及砂质页岩; 早二叠世晚期—中二叠世大关山组, 主要为浅海—半深海相碳酸盐岩建造, 迭部县以东地区相变为浅海相碳酸盐岩偶夹碎屑岩; 晚石炭世迭山组, 岩性为黑色碳质页岩、含碳钙质粉砂质板岩、角砾灰岩、砂屑灰岩、生物碎屑灰岩等, 其底部的黑色碳质页岩、含碳粉砂质板岩延伸稳定。石炭系—二叠系还赋存后生中—低温热液作用有关金矿、汞矿(甘肃陇南市马家坝金矿床, 徽县通天坪、桃园金矿床, 临潭县西沟河汞矿床)。

在西秦岭北带, 有早石炭世巴都组和晚石炭世下加岭组\东扎口组。巴都组(曾称包含口组), 为一套以暗灰色为主的杂色碎屑岩组合, 主要岩性为砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩夹砂质灰岩、砾状灰岩、砾岩等。其间夹碳酸盐岩, 为泥质砂质灰岩和砾状灰岩等。局部地段偶夹火山岩, 有安山质、英安质熔岩, 凝灰岩, 火山角砾岩, 角砾熔岩等; 下加岭组以灰-深灰色为主的灰岩及含砂砾不纯灰岩, 夹有细碧岩化玄武岩、长

石英砂岩、钙质砂岩、砂质页岩、板岩等,其上的东扎口组为海陆交互相含煤岩系,岩性为细砂岩、粉砂岩、泥岩、泥灰岩及薄层状、透镜状灰岩,含薄煤层。其中,下加岭组赋存有海相火山沉积-改造作用有关铅锌矿(例如甘肃卓尼县下拉地、窑沟铅锌矿床)。早二叠世十里敦组(也称郭家堡碎屑岩),主要为含碳碎屑岩,夹泥碳质板岩、灰岩组成;中二叠世甘加组或毛毛隆组(曾称大关山组),在大套灰岩中出现薄层泥灰岩、砂质灰岩、砾状灰岩、碳质页岩、板岩、粉砂岩的夹层或条带;晚二叠世石关组,为一套砂岩、页岩夹砂质灰岩凸镜体与砖红色中厚层角砾状生物灰岩、泥质生物灰岩夹页岩互层组成,局部地段顶部含煤线。这套二叠纪地层赋存沉积作用有关灰岩矿及黏土矿(甘肃夏河县麻尾山灰岩,武山县马力、吉子坪、支锅峡、老虎嘴灰岩,临潭县大石山灰岩矿床,漳县樊家磨灰岩矿床,和政县亚子沟灰岩矿床、葱花岭耐火黏土矿床)。石炭系—二叠系中还赋存后生中—低温热液作用有关金矿、铋矿(甘肃和政县吊滩鹿沟铋矿床,临潭县大沟顶铋矿床,临潭—卓尼县大寺坡铋矿床;陕西凤县青龙寺—尖峰垭金矿床和尖峰垭铋矿床)。

值得特别一提的是,在西秦岭—东昆仑接合部详细地质调查发现苦海—赛什塘晚古生代小洋盆环境蛇绿岩,表明存在一条 NEE 向展布并与布青山—阿尼玛卿有限洋盆连通的分支小洋盆,称为苦海—赛什塘分支洋,形成时代与布青山—阿尼玛卿洋盆形成时期相吻合(王秉璋等, 2000; 张智勇等, 2004)。这就从客观上揭示了秦岭与昆仑衔接转换地带的三向连接构造(西支为布青山,东支为阿尼玛卿,北支为苦海—赛什塘)。东昆仑南部的布青山蛇绿混杂岩—西秦岭南缘的阿尼玛卿蛇绿混杂岩为有限洋盆环境蛇绿岩,而苦海—赛什塘蛇绿混杂岩却不同,形成于板内成熟裂谷—初始洋盆的过渡性构造环境。正是苦海—赛什塘小洋盆蛇绿岩东侧二叠系火山—沉积岩系中,赋存中二叠世海底喷流成矿作用形成的青海铜峪沟铜多金属矿田(青海兴海县铜峪沟、赛什塘铜矿床和日龙沟锡铜矿床)。该矿田主要含矿岩系是中二叠世切吉组,为一套浅海—滨海相以细碎屑岩为主夹碳酸盐岩、不纯硅质岩\层状砂卡岩及少量火山岩,其中地层上部变基性熔岩比较明显。部分变砂岩及层状砂卡岩,虽然其沉积特点比较明显,但化学成分及原岩恢复却显示有基性—中酸性火山岩的成分特点,并可划分出几个喷发旋回,成矿主要出现在各旋回喷发的间歇期,并表现为远火

山环境的火山—沉积成矿特点(王移生, 1985, 1990; 赵呈祥等, 2005)。利用铜峪沟矿区含矿岩系沉积物组成和变基性熔岩主要元素及微量元素进行判别,形成于板内拉张裂陷(裂谷)环境,岩浆系列为拉斑玄武岩系列。经电子探针分析,变基性熔岩的长石均为钠长石,说明经水岩作用发生细碧岩化(张汉文等, 2000)。矿层赋存于该组中上部。矿田范围从东到西依次分布着层位处于中部偏下的赛什塘中型铜矿床、层位处于中部偏上的铜峪沟大型铜矿床、层位处于上部的日龙沟中型锡铜矿床,成矿主元素具有 Cu(Pb、Zn)-Cu(Sn、Pb、Zn)-Sn、Cu(Pb、Zn)的变化规律,矿床间距 7~9 km(赵呈祥等, 2005)。

例如,铜峪沟铜矿床,以铜为主,次为铅锌,并伴生有锡金银等多种有益组分,矿体大多产于大理岩和变质粉砂岩的层间。铜矿体呈层状、似层状、透镜状,与含矿地层产状一致,与层状砂卡岩、不纯硅质岩及所含成矿物质的关系密切。可以看到大理岩、变砂岩与层状砂卡岩及不纯硅质岩互相过渡的现象,只是层状砂卡岩、不纯硅质岩及成矿物质以热水沉积为主,经区域变质而完成物相变化(刘海红, 2011; 罗凡等, 2016)。

曾小华等(2014)研究指出,华力西期海相火山的喷发和沿途萃取基底苦海群,给铜峪沟铜矿床带来大量成矿物质并初步形成矿胚层,火山喷流沉积形成条带状矿石,矿床受多次(最少两次)热液活动影响。印支期造山运动热液上升运动,形成层间变质热液水,其热液交代碳酸盐岩和充填在变质砂岩裂隙中形成热液期脉状、似层状矿体。

但应该指出,赛什塘矿区既有二叠系中统赋存的火山沉积-改造作用有关层状砂卡岩型铜矿,还有印支期中酸性侵入岩与二叠系中统接触交代作用有关的砂卡岩型铁铜及岩体中的斑岩型铜矿化(吴庭祥, 2010; 卫岗等, 2012)。已测得石英闪长玢岩和石英斑岩锆石 U-Pb 年龄分别为(219.0±2.3)Ma 和(220.0±2.0)Ma(付长奎等, 2016)。笔者推断,正是印支期的构造-岩浆热动力使上述二叠系中统的热水沉积岩系及矿层受到改造。

## 4 结论

(1)西秦岭成矿带下古生界的赋矿地层分布于南带,主要为志留系,次为寒武系;而上古生界的赋矿地

层在南带和北带均有分布,主要为泥盆系,次为石炭系—二叠系。

(2)地层控矿情况分两类:①含矿(同生及准同生关系),矿体是地层的组成部分,成矿时代同于含矿地层时代(志留纪、泥盆纪、石炭纪、二叠纪)。②容矿(后生及表生风化关系),矿体不是地层的组成部分,成矿时代明显晚于容矿地层的时代,区内后生浅成中—低温热液作用主要发生在中生代,风化作用主要发生在新生代。沉积—改造型矿床可视为两种控矿类型的叠加。容矿地层是否矿源层,还需具体情况具体分析。

(3)寒武系主要赋存后生浅成中—低温热液作用有关金矿(伴生铜、铀、钼、铍、硒等)。志留系赋存同生沉积作用有关钼钒矿(伴生镍、铀)、磷矿、石煤矿、锰矿和灰岩矿,后生浅成中—低温热液型金矿、银矿、铍矿、汞矿、铀矿(伴生铜、钼、镍、钒),局部有表生风化淋滤作用有关褐铁矿、铀矿。南带泥盆系赋存同生沉积作用有关煤矿、白云岩矿、石膏矿、铁矿、磷矿,后生浅成中—低温热液作用有关铁矿、硫铁矿、金矿、汞矿,局部有表生风化淋滤作用有关褐铁矿;北带泥盆系赋存喷流沉积—改造作用有关铅锌矿及铜矿,后生浅成中—低温热液作用有关铁矿、铜矿、金矿、铍矿、汞矿,局部有表生风化作用有关白铅矿—菱锌矿。南带石炭系—二叠系赋存沉积作用有关灰岩矿、白云岩矿,后生浅成中—低温热液作用有关金矿、汞矿等。北带石炭系—二叠系赋存火山沉积—改造作用有关铅锌矿,后生浅成中—低温热液作用有关金、铍矿等。另外,在西秦岭向东昆仑过渡地带,石炭系—二叠系赋存有火山沉积—改造作用有关铜矿、锡矿。

## 参考文献(References):

付长全, 闫臻, 郭现轻, 等. 西秦岭与赛什塘铜矿床有关的花岗质岩石岩浆源区特征及大地构造背景探讨[J]. 岩石学报, 2016, 32(7): 1997–2014.

FU Changlei, YAN Zhen, GUO Xianqing, et al. Magma source and tectonic setting of the granitoids associated with Saishitang Cu deposit in the West Qinling terrane[J]. Acta Petrologica Sinica, 2016, 32(7): 1997–2014.

冯益民, 曹宣铎, 张二朋, 等. 西秦岭造山带构造山过程及动力学[C]. “九五”全国地质科技重要成果论文集, 2000, 86–90.

甘肃省地质矿产局. 甘肃省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997.

黄昌华, 张成江. 四川若尔盖铀矿田成矿地质条件[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2015, 42(3): 303–311.

HUANG Changhua, ZHANG Chengjiang. Geological Setting of Mineralization in Ruergai Uranium ore field, Sichuan, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition), 2015, 42(3): 303–311.

甘肃省地质调查院. 中国区域地质志·甘肃志[R]. 甘肃省地质调查院, 2018.

甘肃省地质调查院. 甘肃省矿产资源潜力评价报告[R]. 甘肃省地质调查院, 2013.

甘肃省地质调查院. 甘肃省萤石矿、菱镁矿、重晶石矿资源潜力评价[R]. 甘肃省地质调查院, 2012.

姜寒冰, 杨合群, 赵国斌, 等. 西秦岭成矿带区域成矿规律概论[J]. 西北地质, 2023, 56(2): 187–202.

JIANG Hanbing, YANG Hequn, ZHAO Guobin, et al. Discussion on the Metallogenic Regularity in West Qinling Metallogenic Belt, China[J]. Northwestern Geology, 2023, 56(2): 187–202.

梁文天, 张国伟, 鲁如魁, 等. 西秦岭北缘武山—鸳鸯镇构造带磁组特征[J]. 地学前缘, 2008, 15(4): 298–306.

LIANG Wentian, ZHANG Guowei, LU Rukui, et al. Magnetic fabric study of Wushan-Yuanyangzhen tectonic zone in the northern margin of West Qinling, China[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(4): 298–306.

林丽, 朱利东, 文锦明. 太阳顶群预富集过程中的生物成矿作用[J]. 成都理工学院学报, 1997, 29(1): 64–72.

LIN Li, ZHU Lidong, WEN Jinming. Biomineralization in the Pre-enrichment of Taiyangding Group[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1997, 29(1): 64–72.

刘家军, 刘建明, 郑明华, 等. 利用岩石地球化学特征判断西秦岭寒武系含矿硅岩建造的沉积环境[J]. 沉积学报, 1998a, 16(4): 43–49.

LIU Jiajun, LIU Jianming, ZHENG Minghua, et al. Judging the Sedimentary Environment of the Silicalite Formation on the Chemical Characteristics of Rocks in Western Qinling[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998a, 16(4): 43–49.

刘家军, 刘建明, 周德安, 等. 西秦岭降扎地区金、铀矿床年代学对比研究[J]. 地质科学, 1998b, 33(3): 300–308.

LIU Jiajun, LIU Jianming, ZHOU De'an, et al. Comparative Chronological Study of the Gold and Uranium Deposits in Jiangzha, Western Qinling Mountains, China[J]. Scientia Geologica Sinica, 1998b, 33(3): 300–308.

刘家军, 郑明华, 刘建明, 等. 西秦岭寒武系层控金矿床中成矿元素富集规律[J]. 黄金地质, 1999, 5(4): 43–50.

LIU Jiajun, ZHENG Minghua, LIU Jianming, et al. Study on the Enriching Regularity of Ore-forming Elements in the Cambrian Stratabound Gold Deposits, Western Qinling[J]. Gold Geology, 1999, 5(4): 43–50.

刘家军, 郑明华, 刘建明, 等. 西秦岭寒武系硅岩建造中金矿床成矿物质来源研究[J]. 矿床地质, 1997, 16(4): 330–339.

LIU Jiajun, ZHENG Minghua, LIU Jianming, et al. Ore-forming Material Sources of Gold Deposits in the Cambrian Silicalite Form-

- ation, Western Qinling[J]. *Mineral Deposits*, 1997, 16(4): 330-339.
- 刘海红. 青海铜峪沟铜矿床地质特征及找矿方向[J]. *现代矿业*, 2011, 27(4): 49-51.
- 罗凡, 薛春纪, 赵晓波, 等. 青海铜峪沟铜矿区含黄铜矿硅质岩及其地质找矿意义[J]. *现代地质*, 2016, 30(4): 723-738.
- LUO Fan, XUE Chunji, ZHAO Xiaobo, et al. Genesis of the Chalcopyrite-bearing Silicalite in the Tongyugou Copper Ore District, Qinghai Province and its Geological Prospecting Significance[J]. *Geoscience*, 2016, 30(4): 723-738.
- 任四清. 南秦岭钼成矿带钼矿化特征与找矿前景[J]. *甘肃地质*, 2008, 17(4): 58-63.
- REN Siqing. Uranium Mineralization and Prospecting Potential of Uranium Mineralization Belt in South Qinling[J]. *Gansu Geology*, 2008, 17(4): 58-63.
- 陕西省地质调查院. 陕西省矿产资源潜力评价报告[R]. 陕西省地质调查院, 2013.
- 四川省地质矿产局. 四川省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- 王秉璋, 张智勇, 张森琦, 等. 东昆仑东端苦海-赛什塘地区晚古生代蛇绿岩的地质特征[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2000, 25(6): 592-598.
- WANG Bingzhang, ZHANG Zhiyong, ZHANG Senqi, et al. Geological Features of Lower Paleozoic Ophiolite in Kuhai-Saishitang Region Eastern Section, of Eastern Kunlun[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2000, 25(6): 592-598.
- 王移生. 青海省兴海县铜峪沟铜矿区早二叠世火山岩及其成矿意义[J]. *西北地质*, 1985, (1): 26-39.
- 王移生. 青海日龙沟锡—多金属矿床地质特征及成矿作用[J]. *西北地质*, 1990, (2): 43-48.
- 卫岗, 张普斌, 李宏录, 等. 青海省兴海县赛什塘铜矿的斑岩型矿化特征及其找矿前景[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2012, 31(5): 510-515.
- WEI Gang, ZHANG Pubin, LI Honglu, et al. Characteristics and Prospective of the Prophyry Cu Mineralization in the Saishitang Cu Deposit, Xinghai, Qinghai, China[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2012, 31(5): 510-515.
- 吴庭祥. 青海赛什塘铜矿床地质特征及成矿模式[J]. *矿产勘查*, 2010, 1(2): 140-144.
- WU Tingxiang. Geological characteristics and metallogenic model of Saishitang copper deposit in Qinghai Province[J]. *Mineral Exploration*, 2010, 1(2): 140-144.
- 薛春纪. 秦岭泥盆纪热水沉积[M]. 西安: 西安地图出版社, 1997.
- 杨合群, 赵国斌, 姜寒冰, 等. 西秦岭成矿带矿床成矿系列概论[J]. *西北地质*, 2022, 55(1): 114-128.
- YANG Hequn, ZHAO Guobin, JIANG Hanbing, et al. Discussion on the metallogenic series of mineral deposits in the metallogenic belt of West Qinling, China[J]. *Northwestern Geology*, 2022, 55(1): 114-128.
- 叶发荣, 李亚东, 崔志刚. 对西秦岭拉尔玛地区太阳顶群进一步划分的意见[J]. *甘肃地质学报*, 1994, 3(2): 27-30.
- YH Farong, LI Yadong, CUI Zhigang. Understanding of the Taiyangding Group in Laerma District of Gansu, China[J]. *Acta Geologica Gansu*, 1994, 3(2): 27-30.
- 张二朋, 牛道韞, 霍有光, 等. 秦巴及邻区地质构造特征概论[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- 张汉文. 青海铜峪沟铜矿床的热水沉积规律及形成环境——兼论热水作用与火山活动的关系[J]. *西北地质科学*, 2000, 21(2): 46-56.
- ZHANG Hanwen. On the hydrothermal sedimentary laws and tectonic environment of Tongyugou deposit and the relationship between hydrothermal and volcanic activity[J]. *Northwest Geoscience*, 2000, 21(2): 46-56.
- 张智勇, 殷鸿福, 王秉璋, 等. 昆秦接合部海西期苦海-赛什塘分支洋的存在及其证据[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2004, 29(6): 691-696.
- ZHANG Zhiyong, YIN Hongfu, WANG Bingzhang, et al. Presence and Evidence of Kuha-i Saishitang Branching Ocean in Copulae between Kunlun-Qinling Mountains[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2004, 29(6): 691-696.
- 中国矿产地质志·甘肃卷编委会. 中国矿产地质志·甘肃卷[R]. 2021.
- 曾小华, 周宗桂. 青海省兴海县铜峪沟铜矿床成矿物质和流体来源的地球化学探讨[J]. *现代地质*, 2014, 28(2): 348-351.
- ZENG Xiaohua, ZHOU Zonggui. Geochemistry Constraint on Ore-forming Material and Ore-forming Fluids of Tongyugou Copper Deposit in Xinghai County, Qinghai Province[J]. *Geoscience*, 2014, 28(2): 348-351.
- 赵呈祥, 张培青, 崔明. 对铜峪沟铜矿床成因再认识及其找矿意义[J]. *青海国土经略*, 2005, (1): 32-34.
- 周乐尧. 甘肃省西成铅锌矿田矿源层的确定及其Pb-Zn活化机理研究[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 1991, 16(2): 199-206.
- ZHOU Leyao. Source beds of Ore-forming Metals and Mechanism of Pb and Zn Mobilization of Xicheng orefield, Gansu Province[J]. *Earth Science-journal of China University of Geosciences*, 1991, 16(2): 199-206.