

问题讨论

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

隗 合 明

(西安地质学院)



本文主要对秦岭凤太矿田泥盆系铅-锌矿床的海底喷气成矿特征进行了较深入的研究,剖析了不同类型矿化的形成机制及其空间分布规律,并揭示了研究海底喷气成矿类型及其空间分布规律的理论与实践意义。

一、海底喷气成矿的基本特征

对秦岭凤太矿田泥盆系层控铅-锌(铜)矿床的研究表明,它们具有海底喷气-沉积成矿的基本特征。

1. 矿床受古构造控制

凤太矿田位于华北地块与扬子地块之间的秦岭古生代陆间裂谷系之中⁽¹⁾,它们与西部的西成矿田、东部的棒山和镇旬矿田分别处于彼此分割的次级断陷盆地中。裂谷系中的同沉积断裂发育,如凤太矿田北侧的凤县-山阳断裂,控制着其南北两侧泥盆纪的沉积作用。北侧强烈下降,成为海槽内的深陷沉降带,接受了厚达万米以陆源碎屑为主的沉积,而南侧(凤太矿田)沉降幅度小,为浅海台地型碳酸盐沉积。值得注意的是,东秦岭的一系列层控铅-锌矿床,主要沿着这条同沉积断裂的两侧分布。此外,凤太矿田内大致沿西河、杜家河-国安寺、八方山、谭家沟等地亦有同沉积断裂存在,它们呈北东向展布,矿田中的层控铅-锌矿床多位于其一侧或两侧。因此,矿床成群分布于同沉积断裂附近,是该区矿床产出的一个主要特征。

2. 成矿物质来源于基底地层和岩石

从铅同位素特征来看,各矿床矿石铅的同位素组成非常稳定,属单阶段演化正常铅,在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 坐标图上样品点集中分布在430Ma等时线附近(图1),表明矿石铅有一均匀的来源,而且在矿液运移过程中没有其它成因的铅混入。铅同位素模式年龄(Doe法年龄)绝大多数为380—450Ma(23个样品中只有1个小于360Ma),可能提供了老于中泥盆统含矿地层年龄(360—370Ma)的重要信息。上述特征反映铅主要来自上地壳古老的地层和岩石,而且来自深部基底的可能性较大,这与本区中、上泥盆统中铅、锌的背景含量很低(仅是克拉克值的2—3倍)而不能提供足够矿源的资料相吻合。

矿石与上下围岩的某些微量元素比值不同(表1)。如矿石的Co/Ni大于1,而围岩的Co/Ni小

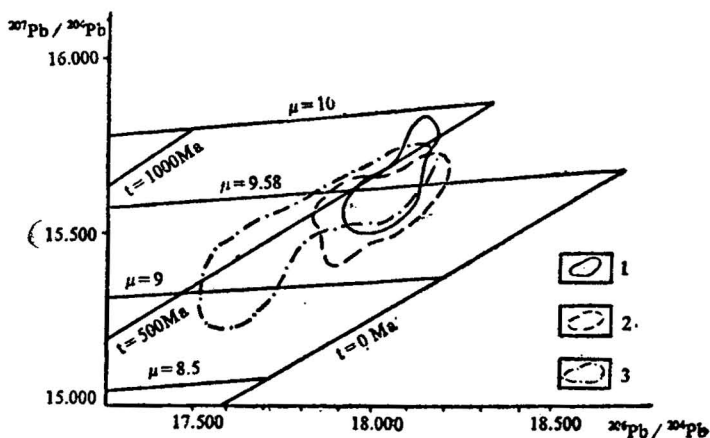


图 1 秦岭凤太矿田、西成和镇旬矿田的铅同位素组成对比

Fig. 1 Comparison of lead isotopes of the Fengtai (Feng-Xian county-Taibai county), Xicheng and Zhenxun ore field in the Qinling

1—凤太矿田 (Fengtai); 2—西成矿田 (Xicheng); 3—镇旬矿田 (Zhenxun)

表 1 凤太矿田铅洞山铅-锌矿床矿石与围岩化学成分对比

Table 1 Comparison of chemical compositions of ore and hosts, the Qiandongshan Pb-Zn deposit, Fengtai ore field

	化学成分 (%)				比 值		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	Hg	Co/Ni	Sr/Ba	SiO ₂ /Al ₂ O ₃
矿 石	29.50	0.85	0.48	0.008 6	1.25	≪1	38.4
含碳生物灰岩	3.88	1.13	0.06	0.000 041	0.60	10.1	5.1
含碳微晶灰岩	4.74	1.41	0.01	0.000 045	0.50	5.4	3.5
铁白云质千枚岩	50.38	16.34	0.10	0.000 049	0.50	0.3	3.1

于 1, 矿石的 Sr/Ba 值比围岩、尤其比底板灰岩低得多, 大致反映了矿石与围岩有不同的来源。

金属硫化物的微量元素特征亦提供了成矿物质来源的重要信息。徐国风等认为, 沉积型黄铁矿大多数含硒为 0.5—2ppm, S/Se 为 250 000—500 000 之间; 热液型黄铁矿含硒多在 20—50ppm 之间, S/Se 多在 10 000—26 700 之间^[2]。曾永超等也提出了类似的判别标志^①。凤太矿田内的所有矿床中黄铁矿的硒含量均较低, S/Se 多在 300 000 以上, 与沉积或层控矿床的特征相似。黄铁矿的 Co/Ni 多大于 1 或接近 1, 但不少也小于 1 (表 2)。从上述黄铁矿的 S/Se 与 Co/Ni 来看, 它们既具有沉积特征, 又具有热液特征, 因此不能单纯用正常海相沉积或岩浆热液成因解释。

据上述矿石铅的同位素组成、矿石与围岩某些典型微量元素比值对比、金属硫化物的某些微量元素组成及矿田内无侵入体分布等特征综合分析, 凤太矿田层控铅-锌矿床的金属物质既非来自岩浆热液, 亦非来自海槽两侧古陆岩石的风化, 应主要来自地下水所流经的地层和岩石。

凤太矿田各铅-锌矿床的硫同位素组成均以正值偏低且变化不大为特征, 铅洞山的 $\delta^{34}\text{S}$ 为 -0.62—9.0‰, 八方山为 6.03—11.86‰, 银母寺为 1.2—9.6‰, 手搬崖为 2.3—8.0‰, 据对硫同位素计算的总硫为 +3—+6‰ (图 2)。上述特征表明本区硫化物的硫不是单一的岩浆、生物或

① 曾永超等, 1985, 岩浆热液型和层控铅锌矿床中某些金属硫化物的特征元素及其地质意义。矿产地质, 第 3 期, 第 84—89 页。

表 2 不同类型的铅-锌矿床黄铁矿的判别标志

Table 2 Pyritic discriminative criteria for types Pb-Zn deposits of various genetic

矿床成因类型		黄铁矿的某些微量元素含量(ppm)及其比值			
		Se	Te	S/Se	Co/Ni
岩浆热液型		>10	>10	<40 000	多>1.0
层控型		<10	<5	>150 000	多<1.0
凤太矿田	铅洞山	1—2.6	0.1—5	360 000—410 000	0.24—1.92
	八方山	1—2.2	<5	240 000—540 000	0.02—0.28
	手搬岸	1.2	0.1	430 000	1.3

海水硫酸盐的来源,而极可能是海水硫酸盐的还原硫与深部地层循环热液中的硫(据麦克阿瑟河喷气矿床方铅矿与闪锌矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 为 -1.2 — $+5.7\%$ ①)的混合源。

3. 主要容矿岩石的热液沉积成因

凤太矿田各铅-锌矿床的主要容矿岩石是一种特殊的硅质岩,以往的资料多认为它是后期岩浆热液蚀变的产物,最近有人提出属海底火山喷流沉积成因^[3]。笔者近年来对它们的产状、组构成分及其与硅化灰岩的关系等亦进行了较深入的研究,取得了与后者一致的资料,但认为不是火山喷流,而是深部地层循环热液在海底喷气沉积形成,因为其中的火山物质是极少的,氧同位素资料进一步证实了这一点。

铅洞山与八方山矿床的硅质岩及其中的石英脉的 $\delta^{18}\text{O}$ 相近,均在 $+20\%$ 左右,它们与本区中酸性岩脉中石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值($+12.43\%$)有明显差异,说明与岩浆活动无成因联系。与各种成因类型的硅质岩或燧石的 $\delta^{18}\text{O}$ 进行对比(表3)可知,本区硅质岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值比火山-喷气成因矿床矿化硅质岩的高4—8倍,比泥盆纪海相沉积燧石的 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值($+26\%$)^[7]要低6%,比美国德克萨斯泥盆纪燧石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值要低10%,而与阿拉斯加De long山海底喷气型铅-锌银矿床含矿硅质岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值相似,表明本区硅质岩也不是正常海水中的

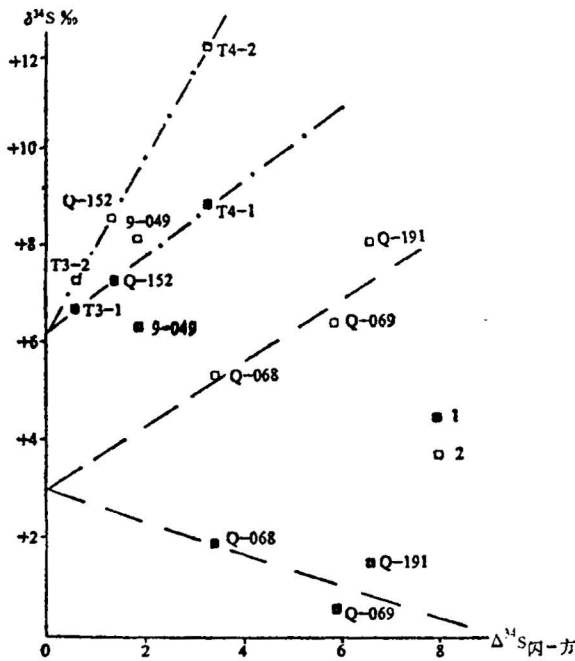


图 2 铅洞山与八方山矿床矿石 $\Delta^{34}\text{S}_{\text{Sp-Ga}}$ 对 $\delta^{34}\text{S}_{\text{矿}}$ 和 $\delta^{34}\text{S}_{\text{岩}}$ 的关系

Fig. 2 Relationship between $\Delta^{34}\text{S}_{\text{Sp-Ga}}$ and $\delta^{34}\text{S}$ of ore Sulfides in the Qiandongshan and Bafangshan deposits

1—闪锌矿 (sphalerite); 2—方铅矿 (galena)

的 SiO_2 直接沉积,而是深部地层循环热液喷至海底沉积形成的,推算其形成温度约为 150 — 180°C 。

4. 成矿元素的水平与垂向分带

① 戴自希译(拉奇,D.F.), 1982, 与产于沉积岩中的海底喷气型铅-锌矿床有关的地质参数——矿产勘查的一个经验模式。国外地质科技, 第6期, 第9—46页。

表 3 不同成因类型氧化硅的氧同位素组成对比

Table 3 Comparison of the oxygen-isotopes data from various genetic types of silica

矿床	成因类型	样品类型	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}(\text{SMOW})$	
			变化范围	平均值
铅洞山与八方山铅-锌矿床	海底喷气沉积	矿化硅质岩	18.74—22.05	+20.40
		矿层中石英脉	19.34—20.94	+20.15
银洞沟铅-锌-银矿床 ⁽⁴⁾	火山喷气	矿化硅质岩	1.9—5.2	+4.1
美国德克萨斯州 ⁽⁵⁾	泥盆纪沉积	燧石、石英岩	28.6—32.0	+30.5
阿拉斯加De long 山铅-锌-银矿床 ⁽⁶⁾	海底喷气	含矿硅质岩	20.7—23.7	+21.8
		矿层下燧石角砾		+23.7

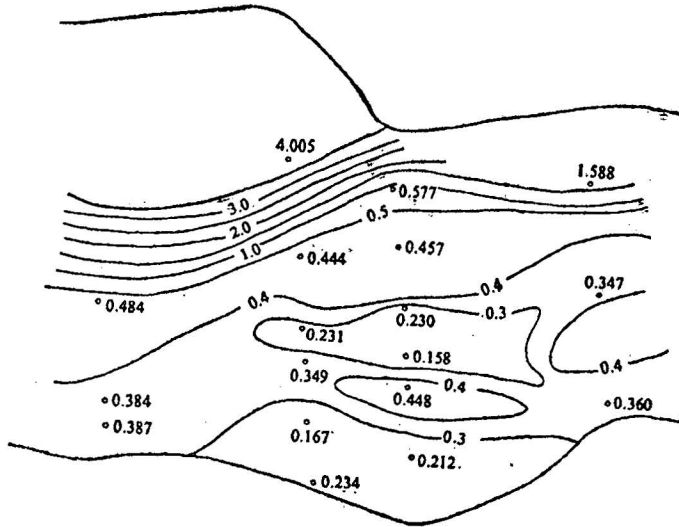


图 3 铅洞山铅-锌矿床 I 号矿体 Pb/Zn 值平面等值线图

Fig. 3 Isopleth map of Pb/Zn value of the orebody No. 1, Qianlongshan Pb-Zn deposit

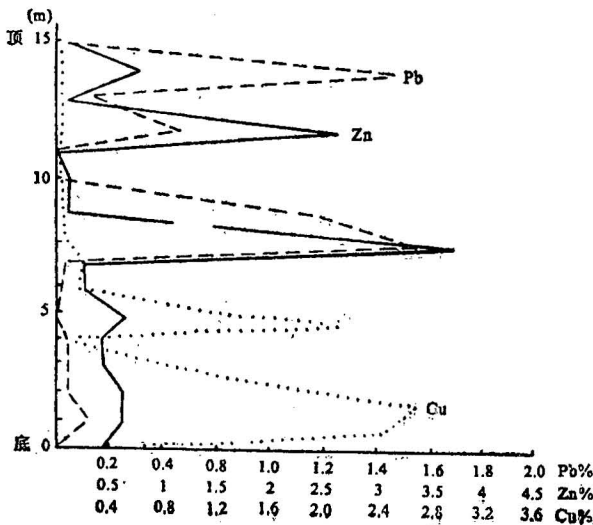


图 4 八方山矿床CK109-1矿体自底板至顶板铜、铅、锌品位变化

Fig. 4 Cu, Pb and Zn content variation from bottom to top of the orebody in Bafangshan deposit, sampled from the borehole CK109-1

凤太矿田的主要铅-锌矿床的成矿元素在水平方向上一般是自北而南铜含量和 Pb/Zn 逐渐降低 (图3), 垂向上一般是下部富铜、中部富锌、上部富铅 (图4), 总体上表现为自北而南的铜-铅-锌的水平分带以及自下而上的铜-锌-铅的垂向分带, 这种分带与正常海相沉积矿床和典型的热液矿床均不大相同, 而与海底喷气沉积矿床的特征一致, 反映出含矿热液沿一定方向流动与沉淀的趋势。

从上述矿床的产出地质构造背景、成矿物质的深部来源、主要容矿岩石的热液沉积成因、成矿元素的水平与垂向分带等特征综合分析, 可以确定凤太矿田铅-锌矿床具有海底喷气沉积成矿的基本特征。

二、海底喷气成矿类型及空间分布

凤太矿田海底喷气铅-锌矿床具有不同的矿化类型, 它们在剖面上有不同的层位, 在空间上有明显的分布规律。

1. 矿化层位和类型

凤太矿田主要矿床的矿体产于四个不同的层位 (图5), 而不同层位的矿化特征明显不同, 反映出完全不同的形成方式 (表4)。

地层	成矿层位	岩性	矿床 (南西→北东)				主要矿体	
			银洞梁	峰 麓	铅洞山	八方山	银母寺	岩 湾
$D_2g_1^{4-1}$	IV		6, 11, 12	有				
$D_2g_2^{4-2}$	III		2, 3, 4, 7, 13, 16, 26, 27,	1, 2	1, 2-1	8, 9	I-1 I-2 I-4 II-1 II-2	别 蚀
$D_2g_2^{4-1}$	II		5, 16, 25	有	2-2 3, 4, 5			
$D_2g_2^3$	I					16, 22, 24,	6, 10, 14, 15, 16, 17	1, 2, 3, 4, 5

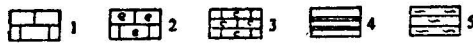


图 5 凤太矿田主要铅-锌矿床矿体产出层位

Fig. 5 Ore-bearing stratigraphical horizons of the major Pb-Zn deposits in the Fengtai ore field

1—厚层结晶灰岩 (thick-bedded recrystallized limestone); 2—生物碎屑灰岩 (bioclastic limestone); 3—含碳微晶灰岩 (carbonaceous micrite); 4—硅质岩 (silicalite); 5—千枚岩 (phyllite)

(1) 产于中泥盆统古道岭组与上泥盆统星红铺组之间硅质岩层 ($D_2g_2^{4-2}$) 中的矿体规模最大, 呈层状、似层状或透镜状与围岩整合接触。矿石的原生金属矿物以闪锌矿为主, 其次为方铅矿和黄铁矿, Pb/Zn为0.21—0.69。非金属矿物主要是石英和铁白云石, 与围岩的成分差异较大。矿石组构主要为沉积、成岩形成的。这类矿体是由喷出的含矿热液在海底盆地经沉积形成的, 为喷气-沉积型矿化。

(2) 产于古道岭组薄层含碳微晶灰岩 ($D_2g_2^{4-1}$) 中的矿体规模较小, 呈透镜状、扁豆体状与围岩基本整合接触。矿石的原生金属矿物亦主要为闪锌矿, 但方铅矿和黄铁矿的含量相对降

低。非金属矿物则以方解石为主。矿石组构为成岩作用形成的浸染状、层纹浸染状、结核状及少量细脉状构造, 莓球状结构非常发育。这类矿体是含矿热液向下渗透在底层沉积物中经充填交代作用形成的, 为渗透-充填交代型矿化。

(3) 产于古道岭组厚层生物灰岩 ($D_2g_2^3$, 已硅化) 中的矿体呈不规则状、囊状与围岩交切, 矿石的原生金属矿物多以方铅矿为主, Pb/Zn 平均 1.2—2.46, 有的矿床 (如八方山) 黄铜矿含量高 (铜平均品位为 1.17%)。非金属矿物以石英和方解石为主。矿石组构为后生形成的网脉状、团块状和角砾状构造, 交代结构发育。这类矿体是深部地层中的含矿热液向上运移时在途经的围岩中充填交代形成, 为喷气-交代型矿化。

2. 热液蚀变类型

凤太矿田各矿床的围岩蚀变类型均较简单, 主要为硅化, 而据其特征尚可分为两种不同的类型。

第一类是层状矿化之下底板灰岩的硅化, 基本沿一定的层分布。硅化一般不太强烈 (硅化灰岩中二氧化硅含量一般小于 10%)。这类蚀变反映了从深部地层喷到海底的富硅含矿热液对底层灰质、泥质沉积物程度不同的交代作用。

第二类是产有交切矿体的古道岭组上部厚层生物灰岩的硅化, 与前者不同的是石英不仅呈洁净粗大的晶粒状交代方解石, 而且多呈粗的团块和网脉沿灰岩的裂隙充填交代, 并有较多的硫化物伴生, 形成含矿石英网脉。这类硅化比较强烈 (硅化灰岩中 SiO_2 含量在 40% 以上), 并形成了蚀变带。这类蚀变是含矿热液从深部上升时沿途经的岩石裂隙交代形成。

3. 不同矿化类型的空间分布

凤太铅-锌矿田的不同矿化类型在空间上有一定的分布规律。在剖面上, 喷气-沉积型矿化位于中泥盆统古道岭组灰岩向上泥盆统星红铺组泥质岩过渡的层位, 岩相则属于由浅水台地相向浅海盆地相转变的过渡相, 这是由于同生断裂的活动引起沉积环境的变化和含矿热液喷出作用所致。从这类矿化的规模较大及分布稳定来看, 喷气-沉积作用是本区成矿的主导作用。渗透-充填交代型矿化和喷气-交代型矿化均位于喷气-沉积型矿化之下, 它们形成的时间相对于沉积矿化作用时间而言, 一类晚, 另一类则早, 但据成矿时含矿岩石性质分析, 前者是在沉积物未完全固结时形成, 为准同生-成岩期的矿化, 后者则是在已固结的岩石中, 却属于后生的矿化。总之, 无论是成岩的还是后生的矿化, 均位于同生沉积的矿化之下, 这种关系在整个矿田是非常稳定的。

在水平方向上, 喷气-交代型矿化主要见于区域同生断裂附近, 即在矿田的最北部 (如长沟、洞沟等), 向南 (八方山、银母寺等地) 开始出现喷气-沉积型矿化, 但渗透-充填交代型矿化不太发育。在矿田南部 (铅洞山等), 则以喷气-沉积型矿化为主, 并有一定规模的渗透-充填交代型矿化 (可形成工业矿体), 这是由于这里虽远离区域同生断裂, 但却有含矿热液汇聚的最有利场所 (沉积盆地较大、较封闭) 的原因。

三、海底喷气成矿类型研究的理论与实践意义

研究某一区域海底喷气成矿类型及其空间分布规律, 其理论意义在于将成群分布的矿床和矿体置于一个统一的成矿系统之中进行分析, 因此有助于解释:

- 1) 区域的总体成矿背景;
- 2) 同时具有同生和后生矿化特征的层控矿床的成因;
- 3) 区域内同类矿床的成矿特征有明显差异的内在机制;
- 4) 区域内同类矿床的控矿条件不完全相同的根本原因。

表 4 凤太矿田铅-锌(铜)
Table 4 Comparison of Pd-Zn(Cu) orebody

矿体特征		矿床	手搬崖-银洞梁	峰 崖	铅 洞 山
矿体数目			>30	31	10
矿体形态	层位	IV	脉状、透镜状 似层状 似层状、扁豆体状 —	脉状、透镜状 似层状 —	层状、似层状 似层状、扁豆体状 —
		III			
		II			
		I			
矿体规模	层位	IV	小—中型 中型 小—中型 —	小型 中—大型 —	— 大型 小型 —
		III			
		II			
		I			
矿体类型	层位	IV	Zn-Pb, Pb-Zn Zn-Pb Zn-Pb —	Zn-Pb, Pb-Zn Zn-Pb —	— Zn-Pb-Fe Zn-Pb —
		III			
		II			
		I			
与围岩关系	层位	IV	整 合 整 合 整合或不整合 —	整 合 整 合 —	— 整 合 整 合 —
		III			
		II			
		I			
典型矿体	层位	IV	11, 12 2, 7, 16 5, 25 —	I, II —	— I, II-1 II-2, III, IV, V —
		III			
		II			
		I			
矿石的主要矿物成分	层位	IV	方铅矿、闪锌矿、方解石、石英 闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、石英、 铁白云石 闪锌矿、方铅矿、方解石、绢云母 —	同 左 同左, 有菱铁矿 同 左 —	同 左 同 左 同 左 —
		III			
		II			
		I			
矿石的主要构造	层位	IV	团块状、细脉浸染状 浸染状、层纹一条带状、块状 星点浸染状、结核状、浸染层纹状 网脉状、角砾状、团块状	—	—
		III			
		II			
		I			

矿床矿体特征对比

characteristics in the Fengtai ore field

八 方 山	银 母 寺	岩 湾
32	13	5
— 似层状 透镜状 脉状、透镜状	— 似层状 — 脉状、透镜状	— — — 脉状、不规则状
— 中—大型 小—中型 小型	— 中—大型 — 小型	— — — 小—中型
— Zn-Pb-Cu Zn-Pb Zn-Pb, Cu	— Zn-Pb — Zn-Pb(U)	— — — Pb-Zn
— 整 合 整合或不整合 不 整合	— 整 合 — 不整合	— — — 不整合
— 8, 9	— I—4 6, 10	— — — 1, 2, 3
闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黄铁矿、 石英	闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、石英、铁白 云石	
黄铜矿、石英、方解石	闪锌矿、方铅矿、方解石、石英	方铅矿、闪锌矿、方解石、石英

此外, 根据喷气矿床不同类型矿化的空间分布规律可以指导找矿工作。如根据某一层位、某一类型的矿化或蚀变可以寻找另一层位、另一类型的矿化, 根据该区的矿化类型空间分布规律可以在一定范围内预测新的矿床和矿体。本矿田手搬崖矿床的16号矿体, 就是根据主要成矿层位之下的灰岩有硅化蚀变发现的, 这是一个找矿典型实例。

参 考 文 献

- [1] 杨森楠, 1985, 秦岭古生代陆间裂谷系的演化。地球科学, 第4期, 第53—62页。
 [2] 徐国风、邵洁涟, 1980, 黄铁矿的标型特征及其实际意义。地质论评, 第26卷, 第6期, 第541—546页。
 [3] 张复新、王俊发, 1988, 陕西凤太铅锌矿田海底火山喷流沉积成因探讨。地质论评, 第2期, 第155—167页。
 [4] 张理刚, 1985, 稳定同位素在地质科学中的应用——金属活化热液成矿作用及找矿。陕西科学技术出版社。
 [5] Knauth, I. P., Epstein, S., 1979, 结核状和层状燧石中的氢氧同位素比值。《氧同位素地球化学译文集》, 科学技术文献出版社。
 [6] Harrover, R. D. 等, 1982, 阿拉斯加 De long 山燧石的稳定氧同位素及微晶粒径分析——海底喷气矿床的一种勘查方法, 《同位素·包裹体·矿产专辑(七)》, 地质出版社。
 [7] 丁梯平, 1980, 氢氧同位素地球化学。第108—111页, 地质出版社。

THE SUBMARINE EXHALATIVE MINERALIZATION TYPES AND THEIR SPATIAL DISTRIBUTION IN THE FENGTAI* Pb-Zn ORE FIELD IN THE QINLING MOUNTAINS

Wei Heming

(Xi'an College of Geology, Xi'an)

Abstract

The Fengtai Pb-Zn ore field is located in the middle sector of the Devonian Qinling lead-zinc (copper) polymetallic metallogenic zone, and tectonically lies within the Palaeozoic Qinling intercontinental rift system between the Yangtze plate and the North China plate. The Pb-Zn deposits in the field mainly occur near syndepositional faults, and are obviously controlled by palaeostructure. There are two types of orebody, stratiform and network, implying two different origins, syngenetic and epigenetic. The main host rocks are represented by a special kind of siliceous rock, showing hydrothermal-sedimentary features. The ore substances were derived from the basement, and the ore-forming elements exhibit both lateral and vertical zoning. The above-mentioned features suggest that the lead-zinc deposits of the Fengtai ore field belong to stratabound deposits of submarine exhalative-sedimentary type. Furthermore, the spatial distribution of the two types of mineralization shows notable regularities. Vertically, the stratiform mineralization of exhalative-sedimentary type occurs in the transitional horizon from limestone of the Gudaoling Formation (D₂) to pelite of the Xinghongpu Formation (D₃), while the network mineralization of metasomatic type lies below the stratiform miner-

* Here Feng-xiao county-Taibai county are called Fengtai for short.

alization. Laterally, the exhalative-sedimentary mineralization is developed in a relatively confined Devonian sedimentary basin in the south of the field, while the exhalative-metasomatic mineralization occurs near a regional syndepositional fault in the north of the field.

A study of the submarine exhalative mineralization types and their spatial distribution patterns is of great importance. The oritically it helps ascertain the origin of stratabound deposits with different mineralization characteristics, and in the prospecting practice it may guide the search for new ore deposits and ore-bodies.

作者简介

隗合明, 生于1946年12月, 北京市人, 1969年毕业于北京地质学院矿产勘探专业, 1982年于武汉地质学院北京研究生部获理学硕士学位。现任西安地质学院讲师、科研处副处长。从事矿床学、沉积学的教学与科研工作。通讯处: 西安市雁塔路西安地质学院科研处, 邮政编码: 710054。