

河北蔡家营铅锌（金银）矿床地质特征

张 长 江

（河北省地矿局第三地质大队，张家口）

内容提要：该矿区位于华北地台北缘，是一个产于变质岩中的火山热液型多金属矿床。锌和伴生金、银、砷、镉均达大型规模，铅、硫等矿也达中型规模以上。矿体呈不规则的脉状产出，多成群出现，彼此平行，矿体较为集中。矿石主要有绿泥石-闪锌矿型及绢云母-多金属型两类。前者富锌，易选，局部含金较高；后者富铅和银，较难选，含砷较高。矿床的主要控矿条件是：①矿体产于多次活动的断裂构造带之中；②矿化作用主要与燕山期中酸性次火山岩（石英斑岩）有关，次火山岩密集分布区矿化甚佳；③太古界红旗营子群的角闪斜长变粒岩中锌、铅、金、银的丰度很高，为潜在矿源层；④以黄铁绢英岩为主的围岩蚀变甚为发育。

主题词：铅锌矿床 控矿条件 导矿构造 次火山岩 河北蔡家营

一、成矿地质背景

矿区位于华北地台北缘，内蒙台背斜中部。区域和矿区地层以太古界红旗营子群变质岩为主，矿区出露的地层为该群第二岩性段，自下而上为矽线石斜长变粒岩、石榴斜长变粒岩，黑云斜长变粒岩和角闪斜长变粒岩。侏罗系上统白旗组和张口组的中酸性火山-沉积岩为次（图1）。

岩浆岩以燕山期酸性浅成侵入岩为主，在矿区只见呈小岩株的花岗斑岩及不规则脉状的石英斑岩（次火山岩）。石英斑岩密集分布于Ⅲ级断裂构造的两侧，分早、晚两期：早期石英斑岩被热液交代可形成工业矿体；晚期石英斑岩则切穿矿体（图2）。

矿区构造以断裂为主（图1），其中Ⅲ级断裂构造在区内最为发育，主要为NEE和NNW向两组。根据其成矿作用的影响分为导矿、容矿和破矿三种断裂：①导矿断裂有NEE向的F45、F17分别从矿区南部和北部通过，向SSE方向陡倾斜，并呈现出先张、后压、再扭的多次活动的特征，它们在深部切穿了其南侧的几个火山颈沟通了岩浆房，使成矿热液沿其上升；②容矿断裂属导矿断裂的次一级构造，它们不但是热液活动的主要场所，也是形成矿体的有利空间。这些容矿断裂主要有NNE向和NWW向两组，呈羽状密集分布于F45与F17两个导矿断裂之间，从而构成了I—V号矿带的控矿构造格架；③破矿断裂主要为NNW向，以F47为最大，错断和破坏了矿体。

矿区位于区域断裂构造带上，岩石均有程度不同的压碎现象，许多岩石已经变成构造岩。后期火山活动产生的热液沿断裂带交代其两侧的构造岩，并导致强烈的围岩蚀变和矿化作用。围岩蚀变最主要的有绢云母化和绿泥石化两种，矿化作用主要是铅、锌和黄铁矿化，伴随着不均匀的金银矿化。根据围岩蚀变类型和矿石主要组分，将矿石划分为绢云母-多金属型矿石和绿泥石-闪锌矿型矿石两类。

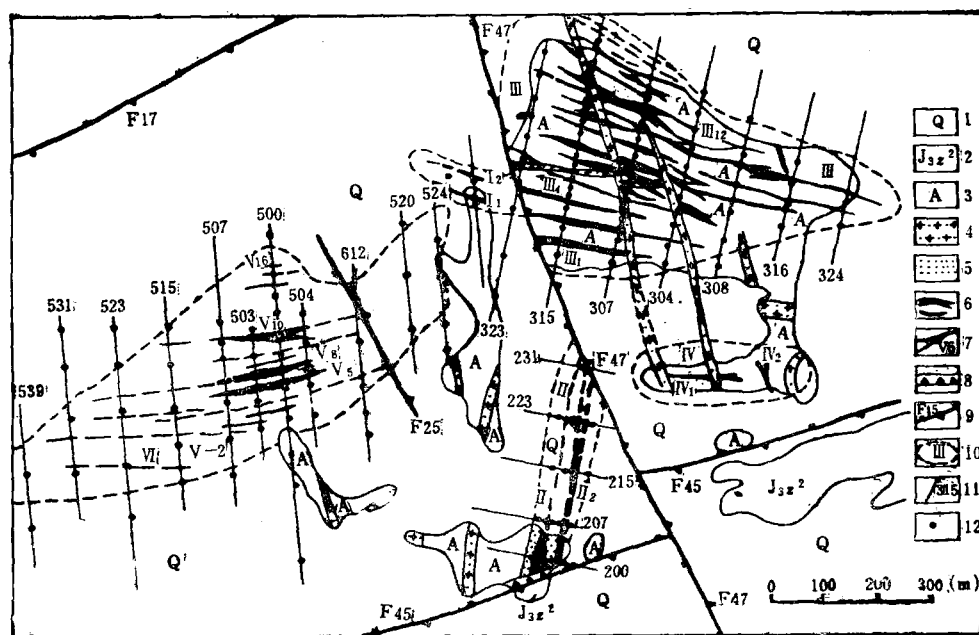


图 1 蔡家营铅锌银矿区地质图

1—第四系；2—侏罗系张家口组二段；3—太古界红旗营子群二段变粒岩；4—石英斑岩岩脉；5—蚀变岩带；氧化矿脉露头；7—矿脉及编号；8—破碎带；9—断层及编号；10—矿带及编号；11—勘探线及编号；12—钻孔

Fig. 1. Geological map of the Caijiaying lead-zinc-silver ore district.

1—Quaternary; 2—2nd Member of Jurassic Zhangjiakou Formation; 3—Leptynite of 2nd Member Archeozoic Hongqiyingsi Group; 4—Quartz porphyry dyke; 5—Alteration zones; 6—Outcrop of oxidized ore veins; 7—Ore vein and its serial number; 8—Cataclastic zone; 9—Fault and its serial number; 10—Ore zone and its serial number; 11—Exploratory line and its serial number; 12—Drill hole

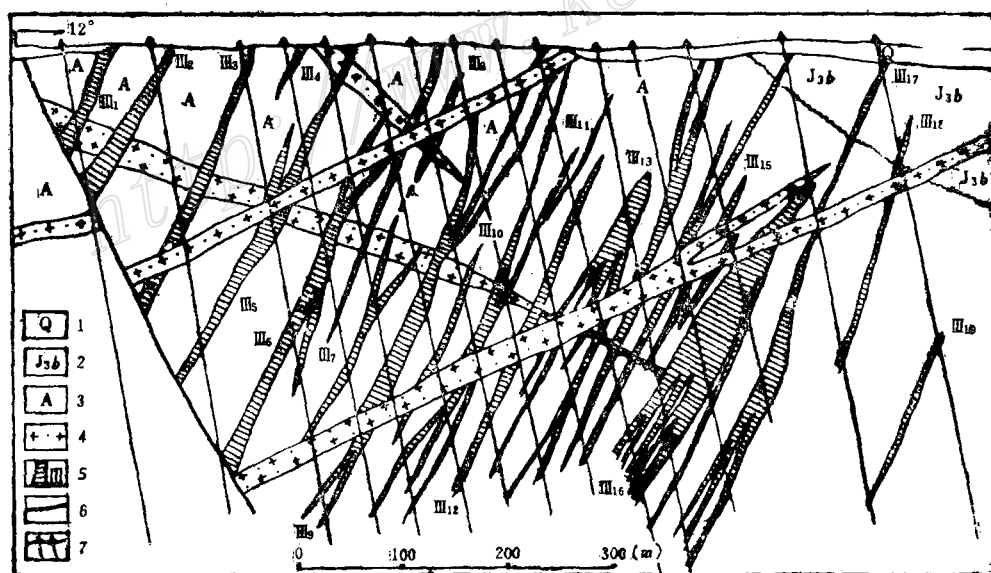


图 2 III 矿带剖面图

1—第四系浮土层；2—侏罗系白旗组杂色页岩；3—角闪斜长变粒岩；4—石英斑岩脉；5—矿脉及编号；6—断层；7—钻孔

Fig. 2. Geological section of No. III ore zone.

1—Quaternary regolith; 2—Mottled shale of Jurassic Baiqi Formation; 3—Hornblende-plagioclase leptynite; 4—Quartz porphyry dyke; 5—Ore vein and its serial number; 6—Fault; 7—Drill hole

二、矿床地质特征

1. 矿带的划分及其特征: 根据矿脉群(亦是容矿羽状断裂群)的空间分布及矿脉的产状, 将全区划分为五个矿带(图1): I号矿带在矿区北部; II号矿带在矿区南部; III号矿带在东北部; IV号在东南部; V号在西部。以III号矿带为最大, V号及II号次之, 其他矿带较小, 矿体分散, 金属含量较低。

II号矿带为一半隐伏的矿带, 主要由3条矿体组成, 矿带长1000m, 宽200m, 深400m, 单矿体厚2—30m, 走向北北东直立产出。矿体形态复杂, 以脉状为主。矿石是以绿泥石-闪锌矿型为主。该矿带储量已达中型规模, 将很可能发展成独立的大型锌矿。

III号矿带由一群向南南东陡倾斜的矿体组成(图2)。矿带长1400m, 宽1000m, 有大小矿体30余个, 最大矿体长达1200m, 厚3—30m, 延深已控制到500m(未尖灭)。一般矿体长200—500, 厚1—30m, 延深在300—400m间。矿体形态为不规则的脉状。矿石均为绿泥石-闪锌矿型, 较富。矿体集中, 该矿带仅西部600m一段, 富矿中锌金属储量就达大型规模。

V号矿带是由一群盲矿体组成, 矿带长达1800m, 宽400—800m, 由20余个向南南东陡倾斜的矿体组成。矿体长200—800m, 厚1—20m, 延深200—500m不等。矿体形态也是不规则的脉状。矿石为绢云母-多金属型, 金属含量不均匀, Pb、Zn、Au、Ag均较富, 经济价值高。目前富矿达中型规模, 贫矿达大型。

表1 主要矿石类型的化学成分表

Table 1. Chemical composition of major types of ore

元素	绿泥石-闪锌矿型矿石(%)			绢云母-多金属型矿石(%)		
	最低	最高	众数区间	最低	最高	众数区间
Pb	0.01	12.2	0.01—0.02	0.02	70.27	0.30—4.00
Zn	0.50	41.25	1.00—15.00	0.03	35.36	0.50—6.60
Au(g/t)	0.00	20.16	0.02—1.00	0.00	15.25	0.05—1.00
Ag(g/t)	5.00	342.4	10.00—40.00	1.00	2039.25	10.00—100
S	3.60	35.00	5.00—10.00	3.00	32.10	5.00—10.0
As	0.20	5.10	0.20—0.50	0.30	15.72	0.30—5.00
Cu	0.00	0.10	0.00—0.10	0.00	0.32	0.00—0.20
Mo	0.000	0.006	0.001—0.004	0.00	0.01	0.001—0.004
Sb	0.00	0.00	0.00—0.00	0.00	0.40	0.00—0.10
Ga	0.0001	0.0035	0.0001—0.0035	0.0001	0.0035	0.0001—0.0035
Cd	0.01	0.70	0.01—0.05	0.001	0.50	0.01—0.02

其他矿带规模较小, 矿体分散, 金属含量相对较低。

2. 矿石类型: 绿泥石-闪锌矿型, 矿石矿物主要有闪锌矿、铁闪锌矿、黄铁矿及少量的毒砂、方铅矿, 赤铁矿, 微量矿物有自然金、金银矿等。绢云母-多金属型矿石, 除绿泥石-闪锌矿型的矿物均有之外, 尚有磁铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿、硫锑铅矿及微量的自然银、辉银矿、

硫锑银矿、硫锑铜银矿等。后者方铅矿及毒砂含量比前者增多。前者是早期形成的矿石, 后者是在前者形成的基础上又叠加了多金属矿化。矿石的化学成分及变化见表1。

矿石有块状、团斑状、脉状、网脉状、角砾状和细脉浸染状。富矿以块状矿石和角砾状矿石为主, 贫矿以细脉浸染状为主。

三、控矿条件分析

1. 岩浆控矿：次火山岩（石英斑岩脉）的密集程度不同则矿化强弱也不同。石英斑岩密集分布区内的各种围岩中Pb、Zn、Au和Ag的含量比起石英斑岩稀疏分布区内的同类岩石

表 2 石英斑岩的密集区与稀疏区岩石含造矿元素的对比

Table 2. Comparison of ore-forming elements in rocks from dense quartz-porphyry area and from sparse quartz-porphyry area

矿 区	石 英 斑 岩 密 集 区				石英斑岩稀疏区	
岩 石 名 称	造 矿 元 素 含 量 (ppm)					
	Pb	Zn	Au	Ag	Pb	Zn
砂线石斜长变粒岩	47.56	169.50	0.00245	0.245	18.88	87.20
石榴斜长变粒岩	55.88	439.41	0.00259	0.318	12.14	61.14
黑云斜长变粒岩	36.06	316.93	0.00661	0.245	34.10	141.24
角闪斜长变粒岩	426.44	523.51	0.00439	0.851	59.12	345.21
混合岩化角闪斜长变粒岩	90	380			20	50
混合岩	180	400			40	60
石英斑岩	160	570	0.00781	0.592	30	120
花岗斑岩	70	200	0.00384	0.417	40	80

中含量要高数倍之多（表2）。在F45、F17等断裂两侧由于石英斑岩的密集分布，其两侧的

表 3 围岩蚀变顺序表

Table 3. Sequence of wall rock alterations

阶段	蚀变类型	生成顺序			伴随矿化作用
		早期	中期	晚期	
早期 酸性 阶段	面型绿泥石化				黄铁矿化
	叶腊石化		---		
	面型硅化		---		
中期 硫化物 阶段	面型绢云母化				弱黄铁、铅、锌矿化
	线型绢云母化		×	×	强黄铁、铅、锌矿化
	线型硅化				黄铁矿化
晚期 碱性 阶段	线型绿泥石化			---	黄铁矿化
	石墨化			---	
	重晶石化			---	黄铁矿化
	萤石化			---	黄铁矿化
	碳酸盐化			---	黄铁矿化

注：×××示蚀变强烈，—示蚀变较强，----示蚀变较弱

Pb、Zn、Au和Ag的含量比其它处要高。因此认为石英斑岩（酸性次火山岩）为成矿母岩。

石英斑岩的岩石化学特点主要是超酸偏碱贫钙、镁。其平均含量：SiO₂ 74.04%，Na₂O 2.20%，K₂O 5.48%，CaO 0.78%，MgO 0.14%。

2. 构造控矿条件：区内矿床（点）甚多，绝大多数受构造控制，且在F45断层两侧较明显。其中以Pb、Zn、Au和Ag为主的多金属矿床产于羽状断裂中，严格受断裂控制。而铀、钼矿则产于火山机构周围，严格受火山机构控制。沿F45号断裂自西向东金属矿化分带：西段以Pb、Zn、Au、Ag和S为主；东段以U、Mo为主。

3. 围岩蚀变条件：矿区围岩蚀变种类繁多（表3），与矿化作用最为密切的是绢云母化，岩石经交代初期的绢云母化（面型）均

有铅、锌矿化产生,当岩石进一步交代变成黄铁绢英岩(线型绢云母化)时便构成了矿体。在矿区线型绢云母化的边界往往就是矿体的边界。可以从绢云母化的强度,判断矿体的贫富程度。

4. 地层控矿条件:红旗营子群第二岩组上部的角闪斜长变粒岩为蔡家营铅锌矿的潜在矿源层。各层位(岩石)成矿元素丰度见表4。从表4中可以看出角闪斜长变粒岩 Pb 的丰

表4 矿区成矿元素丰度表

Table 4 Abundance of metallogenic elements in the ore district

层 位 (或 岩 石)	平 均 含 量 (ppm)							
	Pb	Zn	Au	Ag	U	As	Cu	Mo
区域上的红旗营子群	33.6	116.2						
砂线石斜长变粒岩	28.88	120.20	0.0053	0.13	5.1		71.0	1.30
石榴斜长变粒岩	25.15	103.20	0.0009	0.22	6.0		64.0	0.90
黑云斜长变粒岩	35.05	200.35	0.0040	0.31	4.8		70.0	1.00
角闪斜长变粒岩	80.80	485.21	0.0051	0.58	5.2		79.2	1.10
白旗组一段下部	11.20	124.99	0.0077	0.18	3.1	1.3	11.0	0.70
白旗组一段上部	16.20	200.00	0.0020	0.29	3.7	0.39	120	0.40
白旗组二段(安山岩)	14.00	164.00	0.0004	0.09	6.9	0.27	136	1.10
张家口组三段(流纹岩)	18.60	51.00	0.0012	0.11	12.6	0.57	8.2	9.20
张家口组二段(粗面岩)	21.20	49.65	0.0020	0.125	8.4	7.55	5.5	2.3
火山口处流纹岩(管道相)	17.43	43.60	0.0143	0.29	29.0	12.57	11.0	14.8
混合岩	47.60	45.50	0.0010	0.09	32.0	0.10	29.5	0.50

度是克拉克值的5.06倍,Zn是5.85倍,Ag是5.83倍;火山口的流纹岩Au的丰度是克拉克值4.09倍;其余岩石均不突出。

红旗营子群的时代问题,目前尚有争论,有太古宙和早元古宙两种观点。据测其 U-Pb 年龄为20—23亿年。该区变质岩属铁铝角闪岩相。

四、矿床成因探讨

矿区中硫同位素^①比较均一, $\delta^{34}\text{S}$ 的变化范围较小, $-0.5\sim+10.15\%$,平均值为 $+5.09\%$,离差仅为10%左右。 $\delta^{34}\text{S}$ 的分布特点与国内罗河、五部等火山热液铅锌矿床相似,它具有“塔式”分布特点,“塔基”比较宽广,“塔峰”也不甚突出(图3)。闪锌矿明显分为两期,一期 $\delta^{34}\text{S}$ 为0—2%,另一期为5—7%。图3中还反映出黄铁矿>方铅矿,或黄铁矿>闪锌矿>方铅矿。其硫源的另一特点就是矿石硫介于围岩(角闪斜长变粒岩)硫与火山岩浆硫之间,它比陨石硫复杂,变化大,但仍具深源硫的特点,只是在火山活动和热液上升过程中受到较强的混染。

矿石中的铅同位素^②变化很小, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 16.70—16.826, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 15.049—15.644之间, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 36.223—37.841。岩浆岩中的长石铅 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 17.057—17.418,

① 硫同位素样品由核工业部北京第三研究所、河北省地质矿产局综合队以及地矿部天津地质研究所进行测试

② Pb同位素由长春地质学院及核工业部北京第三研究所和地矿部矿床地质研究所、天津地质研究所进行测试

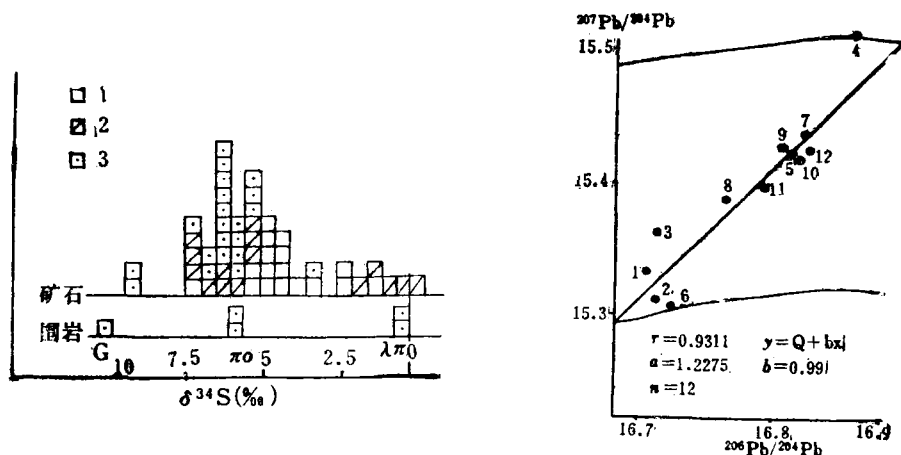


图 3 硫同位素组成图 (左图)

G—角闪斜长变粒岩; $\pi\alpha$ —蚀变岩; $\lambda\pi$ —石英斑岩; 1—方铅矿; 2—闪锌矿; 3—黄铁矿

Fig. 3. Histogram showing sulfur isotope composition (left).

G—Hornblende-plagioclase leptynite; $\pi\alpha$ —Altered rock; $\lambda\pi$ —Quartz porphyry; 1—Galena; 2—Sphalerite; 3—Pyrite.图 4 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 关系图 (右图)Fig. 4. $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ versus $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ diagram (right).

$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 15.38—15.64, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 38.19—38.34。地层中长石铅 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 16.13—16.95; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 15.298—15.475 之间, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 36.223—37.033 (图 4)。

矿石中石英 $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 为 99—100‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 10.89—10.97‰。从氢同位素①组成来看属正常岩浆水范畴。从氧同位素①组成 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 4.1‰) 来看, 属正常岩浆水略低, 这可能是岩浆水与地层水、雨水混入有关。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 -3.39‰, 碳同位素②基本上也属热液矿床的范畴。

矿区中主要岩浆岩的稀土模式③均为向右缓倾斜的“V”字型曲线, 负 Eu 异常极为明显, 属平坦型。Sm/Nd 比值小于 0.3, 是典型的壳源重熔岩浆 (图 5)。矿体的稀土曲线与岩浆岩近似, 倾斜较大, Eu 没有异常显示。矿体的稀土曲线与变质岩的曲线更为接近。

矿区中作矿物流体包裹体测温④和闪锌矿含铁量测温, 硫同位素平衡矿物对测温等方法共作 65 件, 并作成矿温度频率分布图 (图 6), 可见成矿温度属中温热液范畴。

从地质观察的宏观认识, 到微观测试以及各种稳定同位素、矿物流体包裹体的研究等方面的测试结果表明, 蔡家营矿区是一个有潜在矿源层存在的与燕山期酸性次火山岩有关的火山热液多金属矿床。

蔡家营铅锌 (金银) 矿的发现是近来在华北地台北缘有色金属找矿中的一个突破性进展, 经过 8 年来的地质勘探工作, 尚未将矿区中矿体分布范围完全控制。在其外围尚具相同地质条件, 有找矿前景。

① 由核工业部北京第三研究所及地矿部矿床地质研究所和宜昌地质研究所测试

② 由核工业部北京第三研究所和地矿部矿床地质研究所测试

③ 由核工业部北京第三研究所测试

④ 包体测温样由河北地质学院测试

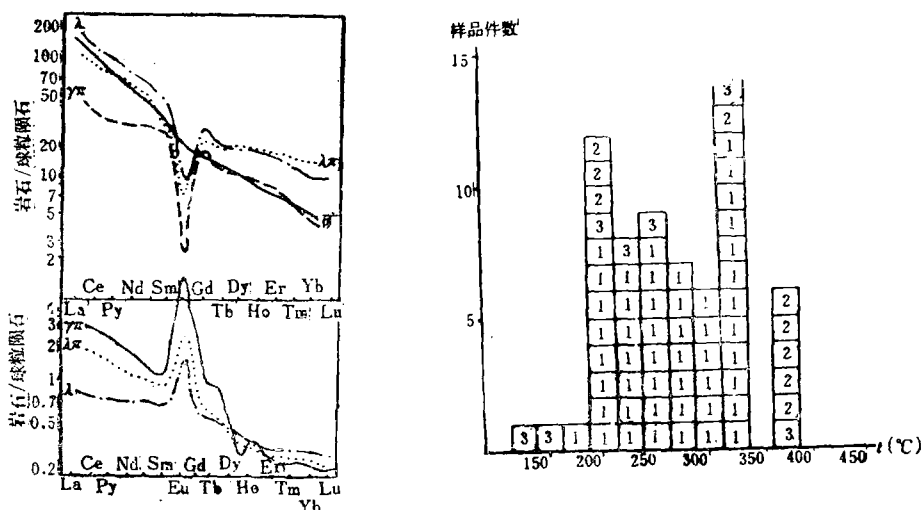


图5 岩浆岩与矿石的稀土模式(左图)

 $\gamma\pi$ —花岗岩斑岩; $\lambda\pi$ —石英斑岩; λ —流纹岩; π —矿石(图中Py应为Pr)

Fig. 5. Chondrite-normalized REE patterns of magmatic rocks and ore (left).

 $\gamma\pi$ —Granite porphyry; $\lambda\pi$ —Quartz porphyry; λ —Rhyolite; π —ore.

图6 成矿温度频率分布直方图(右图)

1—矿物包裹体测温(爆裂+均一法); 2—闪锌矿含铁量测温; 3—硫同位素测温

Fig. 6. Histogram showing frequency distribution of ore-forming temperatures (right).

1—Temperature measurements of mineral inclusions (decrepitation+homogenization methods); 2—Temperature measurements of iron content of sphalerite; 3—Temperature measurements of sulfur isotopes.

蔡家营矿床的主要找矿标志是: ①铁帽及氧化带; ②断裂构造带及火山口; ③燕山期中酸性次火山岩的分布; ④绢云母化蚀变带或黄铁绢英岩; ⑤红旗营子群第二岩组的角闪斜长变粒岩的分布; ⑥物化探及重砂异常。

参 考 文 献

〔1〕 河北地矿局第三地质大队 1988 河北省蔡家营铅锌金银多金属矿床发现经过及找矿体会 中国地质 第4期

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE CAIJIAYING LEAD-ZINC (GOLD-SILVER) DEPOSIT IN HEBEI PROVINCE

Zhang Changjiang

(No. 3 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Resources of Hebei Province, Zhangjiakou, Hebei)

Abstract

Located on the northern margin of the North China platform, the ore deposit is a volcanogene hydrothermal polymetallic one occurring in metamor-

phic rocks. Zinc ore and associated gold, silver, arsenic and cadmium ores are all large in size, and lead and sulfur ores also reach medium size.

Assuming irregular veinlike form, orebodies are concentrated in groups and parallel to each other. Ores include mainly chlorite-sphalerite type and sericite-polymetallic type, with the former being rich in zinc, easy to dress and locally higher in gold, and the latter rich in silver, rather difficult to dress and fairly high in arsenic.

Only insufficient geological work has been done in this area, and there are ore prospects in the ore district and its outskirts. The major ore-controlling conditions for the ore deposit are as follows: ①orebodies are present in and strictly controlled by the structural zone which has experienced repeated activities; ②mineralization is related mainly to Yanshanian intermediate-acid subvolcanic rocks (quartz porphyry), and the densely-concentrated areas of subvolcanic rocks are in company with excellent mineralization; ③Pb, Zn, Au and Ag are of great abundance in hornblende-plagioclase leptynite of Archeozoic Hongqiyingzi Group which seems to be a potential source bed; and ④alterations, mainly beresitization, are well developed.

(上接300页 continued from p.300)

tone, and cataclastic zone between the clastic rock of Wutong Formation and the carbonate rock of Huanglong Formation outside the rock body control the production of porphyry type orebodies, skarn type orebodies and stratiform sulfide type orebodies respectively.

The stratiform sulfide type copper deposit bears close resemblance to its associated porphyry type and skarn type copper deposits in a series of characteristics such as zoning of ore-forming elements, Co/Ni and S/Se ratios of pyrite, stable isotopes ($\delta^{34}\text{S}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) and ore-forming temperatures; nevertheless, these deposits are obviously different from typical sedimentary type, volcanogene sedimentary type and sedimento-metamorphic or hydrothermal superimposed stratabound deposits.

The above characteristics further prove that the three types of copper orebodies are a set of internally-related ore deposits formed when ore fluids entered different structural-wall rock spaces under the action of the same magmatic-hydrothermal action. It is thus suggested that they should be named skarn "three types in one system" metallogenic model in a broad sense.