

北祁连山火山成因硫化物矿床区域成矿特征

向鼎璞 戴天富

(甘肃省地质矿产局)

北祁连山位于河西走廊边缘海西褶皱带及中祁连山隆起带之间^[3,6],为一海沟-岛弧褶皱系。区内有多期次海相火山岩,其中之寒武-奥陶系的富钠火山岩系(细碧角斑岩建造)为火山成因硫化物矿床的主要赋矿层位。目前已知火山成因硫化物矿床(点)达数十处(图1)。本文主要据有关区调、普查勘探及科研资料等综合整理而成。

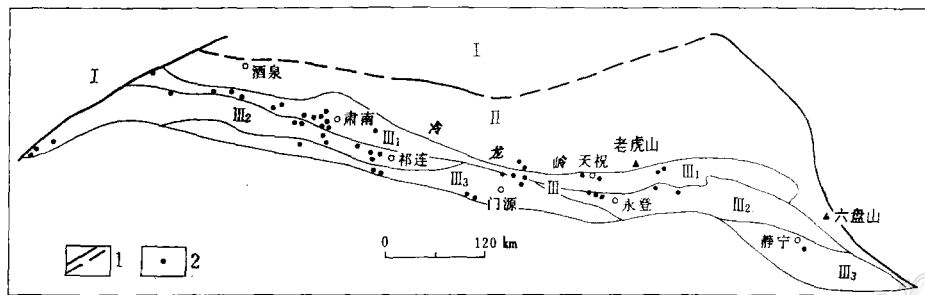


图1 北祁连山构造分区及火山成因硫化物矿床(点)分布示意图

(据陶炳昆等的编图改编^[6])

I—塔里木-华北地台; II—河西走廊边缘海褶皱带; III₁—走廊南山北坡-毛毛山复向斜带(北火山岩带); III₂—走廊南山南坡复背斜带(中火山岩带); III₃—托来山-门源-静宁复向斜带(南火山岩带); IV—中祁连山隆起带; 1—深断裂及构造分区界线; 2—硫化物矿床(点)

Fig. 1. Schematic map showing tectonic divisions and distribution of volcanogenic sulfide deposits and occurrences in northern Qilian Mountain.

I—Tarim—North China Platform; II—folded belt of the marginal sea of Hexi Corridor; III₁—north slope of Nanshan of the Corridor—Maomaoshan synclinorium (north volcanic belt); III₂—south slope of Nanshan anticlinorium belt (middle volcanic belt); III₃—Tuolaishan—Menyuan—Jingning synclinorium (south volcanic belt); IV—middle Qilian Mountain upwarped belt; 1—deep-seated fracture and boundary of divisions, 2—sulfide deposit and occurrence.

一、火山岩特征

区内火山岩主要特征列于表1。从表1可知,北祁连山在不同时期及不同构造部位的火山岩特征及构造类型是不同的。在前寒武纪(中、晚元古代)时,由于当时地壳还较薄(以中条型褶皱为基底),熔化作用(?)产生的岩浆^[7]主要在古洋壳的裂陷处喷发,形成中基性岩火山穹丘,在祁连山西部镜铁山一带还有蛇纹石化超基性岩分布。在早古生代,北祁连山

表1 北祁连山火山岩主要特征表

构造单元	时代	主要分布地带	火山岩建造类型	火山构造类型	含矿情况
北火山岩带	S ₁₋₂	肃南水关河、山丹后草沟、古浪南泥沟等	弱分异的玄武岩-安山岩组合	古岛弧型, 岩石类型为TH+CA, 以裂隙式喷溢为主, 部分为中心式喷发	差
	O ₂₋₃	毛毛山、老虎山及银洞沟等地	弱分异的细碧岩-细碧玢岩建造, 有的为中基性火山岩	大洋盆地型 ^① : 岩石类型为L'TH+VTH+CA ^② , 有基性、超基性岩小侵入体, 形成似蛇纹岩套; 以裂隙式喷溢为主, 也有中心式喷发	一般 (以铜、锌为主)
	O ₁₋₂	肃南错沟至照壁山及涂龙岭至天祝一带	弱分异的玄武岩-安山岩或细碧岩-细碧玢岩建造	大洋盆地型: 岩石类型为L'TH+VTH+CA, 有基性、超基性岩侵入体, 形成似蛇纹岩套; 为裂隙及中心式喷发	一般 (以铜、锌为主)
	O ₂	天祝-永登一带	弱分异细碧角斑岩建造	古岛弧型: 岩石类型为TH+CA+A, 为陆缘岛弧特征; 以中心式喷发为主, 间喷溢	差
中火山岩带	E-O (以O ₁ 为主)	祁连县玉石沟一带	弱分异的玄武岩-安山岩组合	大洋中脊型: 岩石类型为L'TH+VTH, 构成玉石沟完整的蛇纹岩套剖面(最下部为超基性岩, 其上为基性岩(辉长岩)岩脉、似岩墙等, 再上为基性枕状熔岩, 最上部为夹含放射虫硅质岩的复理石沉积)	含铬铁矿等
	E-O (以E ₂ 为主)	祁连-肃南一带	连续分异的玄武岩-安山岩-流纹岩或弱分异的细碧角斑岩建造	古岛弧型: 岩石类型为TH+CA; 为中心-裂隙式喷发	好 (以铅、锌、铜为主)
	E-O (以E ₂ 为主)	石青洞-白银一带	连续分异的细碧角斑岩建造	古岛弧型: 岩石类型为TH+CA+A, 为陆缘岛弧特征; 以中心式喷发为主	好 (铜、锌及含铜多金属)
	An E	镜铁山-格尔莫沟一带的长城系	玄武岩-安山岩组合	古洋火山穹丘型: 岩石类型为L'TH+VTH+CA; 以裂隙喷溢为主	差 (以铁为主)
南火山岩带	O ₃	青海红沟一带	连续分异细碧角斑岩建造, 以细碧岩为主	大洋盆地型: 岩石类型为L'TH+VTH+CA, 出现较多的是L'TH, 有基性、超基性岩小侵入体, 构成似蛇纹岩套; 为中心式-裂隙式喷发	中等 (以铜、黄铁矿为主)
	O ₁₋₂	庄浪蛟龙掌一带	连续分异的细碧角斑岩建造	古岛弧型: 岩石类型为TH+CA; 为裂隙-中心式喷发	中等 (以铅、铜、黄铁矿、磁铁矿)
	An E (?)	柳沟峡一带	弱分异的中基性火山岩(有细碧岩及细碧玢岩)	大洋盆地型: 岩石类型为L'TH+VTH+CA, 有基性、超基性岩侵入体, 构成似蛇纹岩套; 为裂隙-中心式喷发	一般 (以铜、锌为主)
		陈家唐一带(全岩样为8.81亿年)	变质中基性火山岩(属古老地层的残块)	古洋火山穹丘型: 岩石类型为L'TH+VTH+CA; 为裂隙-中心式喷发	中等 (以铁、铜、硫为主)

(据铜硫区划组、区调队、冶金地质队等的资料综合编制)

① 大洋盆地型相当于 K. C. Condie 划分的大洋岛弧(火山岛), 它的岩套组合介于大洋中脊型和岛弧型之间。

② 表中代号: L'TH——低钾拉斑玄武岩; VTH——岛弧拉斑玄武岩; TH——拉斑玄武岩; CA——钙碱性玄武岩; A——碱性玄武岩; A——碱性火山岩

表 2 两种成矿火山岩系主要岩石化学特征表

类型	地区	岩性	SiO ₂	TiO ₂	K ₂ O	$\frac{N_2O}{K_2O}$	$\frac{MgO}{CaO}$	$\frac{\langle FeO \rangle}{MgO}$	n'	MgO	DI'
岛弧型	白银地区	细碧岩	48.31	0.91	3.35	1.1	1.7	1.67	61.7	4.63	52.5
		钾细碧岩	53.04	0.75	7.69	0.6	2.5	2.41	158.2	2.93	75.6
	蛟龙掌	细碧岩	47.03		0.75	5.1	1.2	1.78	13.1	5.94	49.5
大洋盆地型	猪咀哑巴	细碧岩	49.51	1.58	0.42	8.0	0.8	1.42	7.4	7.13	33.8
	银碛沟	细碧岩	46.08	1.35	0.44	11.0	1.5	1.51	10.8	6.19	36.0
	红沟	细碧岩	49.12	1.63	0.21	17.4	1.4	1.27	3.4	7.88	36.9
	卫昌河	细碧岩	48.27	1.77	0.24	16.5	0.7	1.45	4.1	7.07	36.5

(据冶金地质队及甘肃地质一队等参考文献 [1, 2, 5] 的资料综合编制)

n'——钾质系数; DI'——分异指数

表 3 北祁连山火山成因矿

分类	贱金属类型	共生的贵金属	火山岩特征	构造特征	时代
岛弧型	Cu-Zn- (黄铁矿)	Ag (4—16g/t)、 Au (0.3—0.6g/t)	连续分异的细碧角斑岩建造, 包含有浅成侵入岩 (次火山岩)。基性—中性—酸性火山岩的厚度比为 2:1:3。以中心式喷发为主	古岛弧。矿床产于火山隆起 (火山管道) 的近火山口相的酸性火山岩 (石英角斑岩、石英角斑凝灰岩) 中	E ₂
	Cu- (黄铁矿)	Ag (6.6g/t)	同上	同上	E ₂
	Pb-Cu-Zn- (黄铁矿)	Ag (113.5g/t)、 Au (2.12g/t)	同上。仅香子沟为中酸性火山岩 (以黄铁矿为主)	古岛弧。矿床产于火山隆起的近火山口相与远火山相的酸性火山岩中 (香子沟主要产于火山洼地的中酸性火山岩中)	E ₂
	Pb-Zn-Cu- (黄铁矿)	Ag (10—40g/t)、 Au (0.5—2g/t)	连续分异的玄武岩—安山岩—流纹岩或细碧角斑岩建造, 以中心式喷发为主	古岛弧。矿床产于火山洼地的酸性火山岩中 (蛟龙掌例外)	E ₂ 及O ₃
	Pb-Zn	Ag	弱分异的细碧角斑岩建造; 为规模小的中心式及裂隙式喷发	古岛弧。矿床产于火山洼地的酸性火山岩中	E ₂
大洋盆地型	Cu-Zn- (黄铁矿)	Ag (2—72g/t)、 Au (0.2—0.3g/t)	弱分异的细碧岩—细碧玢岩建造, 形成似蛇绿岩套, 以裂隙式喷溢为主	大洋盆地。矿床产于火山隆起的基性熔岩 (细碧岩) 中	O ₂₋₃ 及 O ₁₋₂
	Cu- (黄铁矿)	Au, Ag	连续分异的细碧角斑岩建造, 以细碧岩为主, 为裂隙及中心式喷发	大洋盆地。矿床产于火山隆起的基性熔岩 (细碧岩) 中	O ₃ 及 O ₂₋₃

(据冶金地质队、甘肃地质一队、区调队等的资料综合编制)

除部分(如祁连县玉石沟)以低钾拉斑玄武岩(SiO_2 为49.42%, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 为4.04%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值为32.67, $\langle \text{FeO} \rangle$ ^①/ MgO 比值为2.09)为主,属洋壳性的过渡地壳(厚3—15公里,毕鸟夫带深度为2.67—50公里^②)外,其余的火山岩系主要属次大陆性的过渡地壳(厚15—30公里,毕鸟夫带深度50—130公里)及大陆性地壳(厚度大于30公里,毕鸟夫带深度大于130公里)。这些火山岩系的岩石化学通过计算,除前寒武纪(长城纪)及早奥陶世(玉石沟一带)有的火山岩属久野(Kuno, 1963)的易变辉石质系列,成分上相当大洋拉斑玄武岩外,其余均属紫苏辉石质系列,即与造山带或岛弧区的玄武岩-安山岩-流纹岩共生组合相当^[4,9]。岩石的化学类型为TH+CA,但也有TH+CA+A(永登及白银一带),显示陆缘岛弧特征。其中碱性火山岩(A),如永登一带的粗安山岩(含 K_2O 6.46%)、碱玄岩(含 K_2O 4.02%)及白银一带的钾细碧岩(含 K_2O 3.34—7.69%)、钾石英角斑岩(含 K_2O 3.35%)

化物矿床分类简表

其它伴生元素	矿石类型	围岩蚀变	矿床实例
Se, Te, In, Ga, Ge, Cd, Tl, Co, As, Bi, Hg, Sb, Nb, Ta 等, Co/Ni比为10.9—92.7	以块状矿为主, 次为浸染状。矿物以黄铁矿、黄铜矿为主, 次为闪锌矿、方铅矿	强烈, 主要为绿泥石化、硅化、黄铁矿化等	折腰山等
含 Se, Cd, Te, In 及少量的 Pb, Zn, Co/Ni比为2.8	以浸染状矿石为主。矿物以黄铜矿、黄铁矿为主, 次为闪锌矿、方铅矿	强烈, 主要为绿泥石化、硅化、黄铁矿化等	铜厂沟等
含 Ga, Ge, In, Se, Cd, Tl, Sb, As, Co/Ni 比为2.9—4.6	块状及浸染状矿石均有。矿物以黄铁矿、闪锌矿、方铅矿为主, 次为黄铜矿、毒砂、磁铁矿	下部强烈硅化、黄铁矿化, 上部则较弱	小铁山等
含 Ge, Cd, Se, Sb 等	块状及浸染状矿石均有。矿物有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿及黄铜矿等	下部以强硅化为主, 上部为绢云母化。蛟龙掌(O_3)有矽卡岩化、绿泥石化、绢云母化、硅化等	石膏碛等
	半块状及浸染状矿石。矿物有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿等	较强烈, 以绿泥石化、绢云母化、黄铁矿化为主, 但规模小	黄崖口
含 Co, Cd, Se 及 Ga, In 等, Co/Ni比为22.8	以块状矿石为主, 次为浸染状矿石。矿物有黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿及磁铁矿	不发育, 为绿泥石化、黄铁矿化等	银碛沟等
含 Te, Se, Co 等	以块状矿石为主, 少数为浸染状、脉状矿石。矿物有黄铁矿、黄铜矿及磁铁矿	同上	红沟等

① $\langle \text{FeO} \rangle = \text{Fe}_2\text{O}_3 \times 0.899 + \text{FeO}$ 。

② 据 K. C. Condie 的公式计算^[10], 下同。

等都是富含钾长石的火山岩系，它们出现在连续分异的细碧角斑岩建造的中（白银）或上部（永登），是岩浆从弱碱性—强碱性方向演化分异的产物。两种成矿火山岩系的主要岩石化学特征见表2。

二、硫化物矿床的分类

北祁连山火山成因硫化物矿床的分类见表3。

三、对北祁连山硫化物矿床的成因探讨

（一）岛弧型硫化物矿床

通过对白银地区及外围含矿岩系造矿元素平均含量的统计(表4)可以看出，Cu在基性火山岩中含量最高，达466ppm，而在酸性火山岩中仅为212ppm，低于区域围岩含量(232ppm)。这充分说明含矿热液中的Cu主要来自基性火山岩（细碧岩类）。表4还反映成矿物质是多来源的。如Pb、Sb、Hg等明显来自区域围岩，特别是Hg；而Co、V、Ni等则主要来自基性火山岩；Zn既来自基性火山岩（含Zn 466ppm），也来自区域围岩（含Zn 506ppm），。

表4 白银地区及外围含矿岩系造矿元素平均含量统计表

含量 (ppm) 元素	岩层	区域围岩	酸性火山岩	中基性火山岩	基性火山岩	含矿岩系	近矿围岩
Cu		232	212	152	466	269	381
Pb		192	160	94	31	179	617
Zn		506	185	70	466	864	2102
Co		6.7	2.7	0	33	11	5.5
V		45	39	35	60	53	48
Ni		7.4	6.6	1.3	73	12.8	23.2
Sb		11	6	6.6	8.3	19	11
Hg		57	5.9	1.2	0	5.8	6.4

(据杨承烈1982年“系统的地球化学采样统计的平均含量”一文)

从北祁连山硫化物矿床的成矿特点及贱金属的类型等分析，这些矿床都是在水下火山作用的漫长时期中，由于周期性复杂的海底喷出活动而形成(Horikoshi, 1969; Schermerhorn, 1970)^[7]。在海底火山岩系中，层状黄铁矿质的块状硫化物是由海底之上的沉积作用或海底之下的交代作用而形成的(R. H. Sillitoe, 1973)^[7]。我们认为，以同生、后生或火山热液、火山喷发沉积等来解释岛弧型（白银厂式）矿床的成因都有局限性。鉴于这些矿床的成因很复杂(C. A. Anderson, 1969)，故想用比较简略的成矿方式来说明火山硫化物矿床的成因是困难的^[7]。实际资料均反映火山硫化物矿床具有复合的成因特点，其成矿因素主要包括：①火山在喷发、喷气时，从喷发岩浆中分离出很高的含矿硫化物质，如Cu在近代的万烟山谷升华物质中含量为2300ppm，在维苏威火山升华物中为1000ppm，在日本火山升

华物中为50—1000ppm, 在阿拉斯加火山升华物中为2400ppm^①; ②海底的热热水溶液(由海水萃取而形成的富含氯化物、氟化物、硫化物等的热液)以及热水溶液吸取火山喷出的成矿物质; ③海底海水对流(高热与低热海水对流循环)以及充填交代和沉积作用因素等等。总之, 成矿过程是很复杂的。众所周知, 当岩浆在上侵喷发过程中, 从海底喷口或喷泉以及火山喷发物中能携带大量的硫化物及成矿元素, 并被在火山口附近已经形成的海底热水溶液所萃取, 而形成含贱金属的硫化物热液^②。由于海水的承压水柱作用, 这些含贱金属的硫化物热液(高浓度热卤水)不易散失。海底海水和含水围岩(因热差)所引起的对流作用, 使含矿热液驱动而进行循环, 并不断地萃取周围岩石中的Cu、Pb、Zn等元素, 成为富矿的复合热液, 以致在细碧岩上覆的石英角斑岩或石英角斑凝灰岩中沿沉积层或层间接触带和构造裂隙充填、交代而形成含贱金属硫化物矿床。早期(相对而言)形成的矿床以铜(锌)型为主(成矿物质主要来自火山源), 主要位于火山管道或火山口附近(如折腰山等矿床), 一般以似层状矿体为主, 主矿体外围还有网脉状或浸染状矿体群。这类矿床一般富含Co、V、Ni、Pt、Pa等元素。晚期形成的矿床以Pb、Zn、Cu型为主(如小铁山等矿床)。这是由于含矿热液经过较长期的对流, 混入了大量Pb、Zn等络合离子, 故形成黄铁矿型多金属矿床。实际资料也表明, 早期形成的黄铁矿常被方铅矿、闪锌矿等交代。因此, 岛弧型硫化物矿床也具有明显的成矿演化系列(表5)。

表5 北祁连山火山成因硫化物矿床成矿演化系列表

主要金属元素	Cu(Zn)→Cu→Zn、Pb、Cu→Pb、Zn、Cu→Pb、Zn→Mn Fe→Fe						
代表矿床	折腰山	铜厂沟	小铁山	石膏碛	黄崖口	西湾	细沟
成矿时期	早期	—————→					晚期
火山构造	近火山口(喷发中心)			—————→			远火山口
火山喷发沉积相	近火山口相			—————→			远火山相

值得指出的是, 蛟龙掌矿床还具有明显的改造特征: 矿体产于绿帘石矽卡岩夹矽卡岩化灰岩中; 磁铁矿-铅锌矿矿体(含铜)产状与围岩基本一致, 倾角40°—65°; 矿石类型可分为磁铁矿多金属型、黄铁矿型及多金属石英脉型; 矿物生成顺序由磁铁矿→黄铁矿→磁铁矿→赤铁矿→方铅矿→闪锌矿→黄铁矿、黄铜矿→方铅矿等^③。

从硫同位素组成看^④: 折腰山的 δS^{34} 值为+4.1—+6.8‰, 塔式分布明显; 小铁山 δS^{34} 值为+3—+8.5‰, 塔式分布不明显。但两者区别不大, 都是以重硫为主。它们明显不同于以生物成因为主的沉积成因层状铜矿床(如六苴铜矿的 δS^{34} 值为-12.5—-28.7‰; 金鸡岭铜矿

① 据北京第三研究所1976年《火山岩资料选编》。

② 据陈文森1982资料, 白银地区成矿温度一般较高, >300℃, 包裹体气液比最高达70%, 一般为5—40%, 折腰山各包裹体成分皆为富Cl型卤水, 含盐度高达18.66—25.64%。

③ 据甘肃地矿局地质一队1980年资料。

④ 据冶金地质队、桂林冶金地质研究所1980—1982年资料, 测定矿物为黄铁矿, 少量为黄铜矿、磁黄铁矿。

δS^{34} 值为 -6.3 — -36%),也不同于火山喷发沉积变质矿床(如东川铜矿的 δS^{34} 值为 -10.0 — $+16.7\%$;易门铜矿为 -5.2 — $+19.5\%$)。本区硫同位素组成的离散度为 2.7 (折腰山)— 5.5 (小铁山) $\%$ 。另外蛟龙掌的 δS^{34} 值为 -4.1 — $+12.8\%$,式塔中心为 $+0.4\%$,离散度一般为 6.9% ,亦接近陨石硫。上述数值均说明硫源来自深部地壳或上地幔。据矿物包裹体研究^①,折腰山与小铁山的成矿温度基本一致:折腰山为 337°C (黄铁矿)、 344°C (磁铁矿)、 339°C (闪锌矿)、 305°C (黄铜矿);小铁山为 341°C (块状黄铁矿)、 347°C (脉状黄铁矿等)。均显示不出前者是“同生”,后者是“后生”,或前者是“火山热液”,而后者是“火山沉积”的差别。另外从微量元素比值特征看^②:折腰山矿床黄铁矿中 $\text{Co/Ni}=20.7$, $\text{S/Te}=3875$, $\text{Se/Te}=134$;小铁山矿床黄铁矿中 $\text{Co/Ni}=3.9$, $\text{S/Te}=8272$, $\text{Se/Te}=11.6$ 。均显示热液矿床特征。小铁山等铅同位素比值 $\text{Pb}^{206}/\text{Pb}^{204}=17.60$ — 18.35 , $\text{Pb}^{207}/\text{Pb}^{204}=15.30$ — 15.60 , $\text{Pb}^{208}/\text{Pb}^{204}=37.85$ — 38.80 ,属正常的单阶段演化铅,与世界大多数火山成因的块状硫化物矿床铅同位素特征相一致^③。

(二) 大洋盆地型(指大洋火山岛屿带^[10])矿床

许多学者认为,与蛇绿岩套共生的硫化物矿床形成于海底扩张位置——洋隆上的大洋盆地中^④。这种硫化物矿床在时间上、空间上与构成洋壳的拉斑玄武岩有关。其含矿热液及玄武岩浆同样来自深部岩浆源,通过扩张作用而作为洋壳的残片侵位于陆壳或造山带。矿床主要由黄铁矿或磁黄铁矿组成,含有黄铜矿、闪锌矿和方铅矿(少)。北祁连山相当大洋盆地型的硫化物矿床,与上述不同之点是除石玉沟一带有中脊型蛇绿岩套外,其它地区只存在相当大洋火山岛屿带的似蛇绿岩套。所见矿床均产于基性熔岩(细碧岩)中,矿体完全受细碧岩中的裂隙控制,形成脉状、扁豆状、复脉状、凸镜状等矿体。围岩蚀变具气化高温热液特点。近矿围岩一般含 Cu 500ppm ,大于基性岩中铜的克拉克值(110ppm)^⑤数倍。说明成矿并非岩浆成因。同时,矿体及矿化围岩均含有 Cu 、 Zn 、 Ag 及 Fe 、 Co 、 Cr 、 Ni 等元素,并出现矿化分带现象(红沟)。如磁铁矿常出现于矿床上部,黄铁矿在矿床中上部富集,黄铜矿相对富集于矿床下部。根据硫同位素及矿物组合,成矿主要可分为三个阶段:即黄铁矿-毒砂阶段;黄铁矿-磁铁矿阶段;黄铜矿化阶段。晚阶段一般重叠于早阶段。一般讲细碧岩的规模(厚度与延伸)与矿体的数量及规模有一定依存关系。这些特征均说明矿液是由形成细碧岩原始岩浆自身分异富集而成。由于岩浆在大洋盆地(大洋火山岛屿带)是以溢流或宁静喷发方式喷出,并不像岛弧带以爆发为主,这就有利于含矿热液分离并在母岩内的有利构造部位沉淀富集成矿。

硫同位素组成^⑥:红沟的 δS^{34} 值为 0 — $+10.2\%$,多数集中在 $+1$ — $+9\%$,其细碧岩中分散的黄铁矿的 δS^{34} 值为 $+1.1$ — $+2.1\%$;银洞沟等矿床的 δS^{34} 值为 $+2.9$ — $+5.1\%$ 。均显示陨石硫特征。

① 据陈兰桂1982年资料。

② 据宋志高1982年资料。

③ 据R. H. Sillitoe 1972年资料。

④ 据青海冶金地质七队1980年资料。

⑤ 据青海冶金地质七队资料,测定矿物为黄铁矿等。

四、成矿地质条件

(一) 构造条件

岛弧型矿床是以聚敛板块边缘的古岛弧的火山隆起(以铜-锌型为主)或火山洼地(以铅-锌型为主)为重要成矿地区;而大洋盆地型矿床则为大洋中脊边缘的大洋裂陷区(火山岛屿带),形成蛇绿岩套。

(二) 成矿时代^①

北祁连山火山成因硫化物矿床成矿时代以加里东早期为主,占全区矿床(点)总数的45%,拥有的铜、铅、锌金属储量为全区同类型的85%;其次为加里东中期,占全区矿床(点)总数的27.3%,拥有的铜、铅、锌金属储量为全区同类型的11.6%;加里东晚期仅为矿化。

(三) 火山岩条件

①成矿主要与中心式喷发有关,特别是有早期断裂的喷发中心区,常形成一些重要的矿床。以裂隙喷溢为主的地区,多为小型矿床(点)。

②成矿主要与结构复杂的连续分异的细碧岩-角斑岩建造有关。其它一般弱分异的中基性火山岩则很少形成大、中型矿床。另外火山岩系厚度大,多旋回喷出活动延续时间长,从基性-中性-酸性火山岩分异演化明显,以及火山爆发强度高的地区则常为富矿地区。矿体的形成常在喷发旋回末期或喷发旋回间歇期,即形成于火山喷发活动强烈的时期向较稳定环境的转折时期。

③岛弧型硫化物矿床主要产于酸性火山岩或火山碎屑岩中,这类矿床约占全区总储量的90%以上。其成矿元素较复杂,从Cu(Zn)→多金属均有,并具有明显的由Cu(Zn)→Cu→Zn、Pb、Cu→Pb、Zn→Mn、Fe→Fe的演化系列。大洋盆地型硫化物矿床一般产于基性岩(细碧岩)中,矿床以铜(锌)为主,不含铅矿体。其含矿围岩即是成矿母岩,矿液主要由基性喷出岩浆分异富集而成。

④硫同位素组成接近陨硫,说明成矿物质主要来自下地壳或上地幔。成矿温度一般较高,>300℃,部分<300℃。

⑤成矿作用主要形成于弱碱性的封闭或半封闭环境。如白银地区含盐度高^②,平均22.17%,变化区间为18.66—25.64;pH值平均为7.79,变化区间为6.45—8.7;Eh值平均达+367.3mV,变化区间为+301.2—412.6mV^③。

⑥围岩蚀变:产于酸性火山岩中的矿床常形成广阔的面型或带状蚀变带(无长石),而产于基性火山岩中的矿床则一般蚀变较弱(蚀变带宽度很少超过10—20米)。蚀变类型有硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化、黄铁矿化等,其中绿泥石化、黄铁矿化与铜矿化关系密切。多金属(Pb、Zn等)矿化与硅化、绢云母化、重晶石化等有关。在近矿围岩中Pb、

① 据北祁连—北秦岭铜硫成矿带区划组1982年统计资料。

② 指介质中所有可溶盐的重量百分含量,现在正常海的含盐度为3.5%。

③ 据陈兰桂1982年资料。

Zn含量明显增加, Cu、Ni、Co、V、Ga等相伴出现。在已知矿体的含矿岩系中In含量高, Cu、Pb元素含量低, As、V、Mo、Ni、Cd、Ti、Ga、Sb等略有增高^①。

参 考 文 献

- [1] 宋叔和 1955 祁连山一带黄铁矿型铜矿的特征与成矿规律 地质学报 第35卷 第1期
- [2] 胡惠民 1959 祁连山东部火山岩系中的金属矿床 地质论评 第19卷 第1期
- [3] 肖序常等 1978 祁连山古蛇绿岩带的地质构造意义 地质学报 第52卷 第4期
- [4] 久野(Kuno) 1978 火山及火山岩 地质出版社
- [5] 冯景兰、刘宝珺 1957 关于白银厂铜矿的几个地质问题 北京地质学院院报 第2期
- [6] 向鼎璞 1982 祁连山主要地质构造特征 地质科学 第4期
- [7] J. B. Wright 主编 1977 矿床、大陆漂移和板块构造 地质出版社
- [8] 甘肃省地质局研究所 1983 北祁连山地区黄铁矿型矿床的基本地质特征简介 中国地质 第2期
- [9] 都城秋穗 1977 岩石学II(岩石的成因) 共立出版社
- [10] Condie, K. C., 1976, Plate tectonics and crustal evolution. New York: Pergamon press, I, N. C.

REGIONAL METALLOGENIC CHARACTERISTICS OF THE VOLCANOGENIC SULFIDE DEPOSITS IN NORTHERN QILIAN MOUNTAIN

Xiang Dingpu and Dai Tianfu

(Bureau of Geology and Mineral Resources of Gansu Province)

Abstract

The northern Qilian Mountain is tectonically a trench-island arc folded system where Middle Cambrian—Ordovician sodium-rich volcanic series—spilite-keratophyre formation is the main ore-localizing stratigraphic horizon for volcanogenic sulfide deposits. Tens of ore deposits and occurrences of this type have already been observed.

Petrochemical calculations indicate that these volcanic rocks are of hypersthene series equivalent to basalt-andesite-rhyolite association of the orogenic belt except for some pre-Cambrian rocks (Changcheng Period) and some Cambrian-Ordovician rocks at Yusigou which belong to Kuno's pigeonite series, equivalent to oceanic tholeiite in composition.

The ore deposits can be grouped into two major types, i. e., island arc

① 据杨承烈1982年资料。

type and oceanic basin type. The former type occurs at uplifts or volcanic depressions of the ancient island arc belt and might be further divided into five subtypes on the basis of base metals: (1) Copper-zinc-pyrite deposits such as Zheyaoshan; (2) copper-pyrite deposits, such as Tongchanggou; (3) lead-copper-zinc-pyrite deposits, such as Xiaotieshan; (4) lead-zinc-copper-pyrite deposits, such as Shiqingdong and Jiaolongzhang; (5) lead-zinc deposits, such as Huangyakou. The latter type, equivalent to Condie's ancient oceanic island belt, can also be further divided into two subtypes: (1) Copper-zinc-pyrite deposits, such as Yindonggou; (2) copper (zinc) -pyrite deposits, such as Honggou.

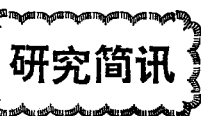
The ore deposits of island arc type are of volcanic composite origin. Copper in ore-forming fluids must have been derived mainly from basic volcanic rocks (spilite) which contain 466 ppm Cu as compared with 232 ppm for regional country rocks. Lead, antimony and mercury came chiefly from country rocks. The Convection caused by thermal difference between water on sea floor and water-bearing country rocks enabled the ore-bearing fluids to extract uninterruptedly such elements as copper, lead and zinc from the country rocks during the circulation to form ore-rich composite fluids which filled in or replaced quartz-keratophyre overlying spilite, thus producing base metal-bearing sulfide deposits. Of these deposits, the early stage ones are dominated by copper (zinc) ore occurring near volcanic conduit or vent while the late stage ones by copper, zinc and copper ores. This type of deposits, therefore, are frequently characterized by obvious metallogenic evolutionary series.

Ore deposits of oceanic basin type are of volcanic hydrothermal fractionation origin. They unexceptionally occur in spilite and are controlled by fissures inside this rock, exhibiting the characters of pneumato-high-temperature hydrothermal ores. The near-ore spilite generally has copper content of 500 ppm, and the orebodies and mineralized country rocks all contain such elements as copper, zinc, silver, iron, cobalt, chromium and nickel, assuming mineralization zoning. Ore-forming process might be divided into three stages, i. e., pyrite-arsenopyrite stage, pyrite-magnetite stage, and chalcopyrite stage with the late stage superimposed on the early stage. Ore fluids were formed as a result of differentiation and enrichment of the initial spilite magma.

Both of these two types of deposits are related to central eruption. Especially at the central eruption terrain characterized by early stage fractures, such as Baiyin area, some important ore deposits have been found. On the contrary, geological terrain dominated by fissure eruption and overflow often has small ore deposits and occurrences. The Honggou ore deposit is a composite

volcanic eruption and overflow deposit distributed along the fracture. The spilite-quartz keratophyre characterized by continuous differentiation or polar fractionation serves as an important indicator for ore prospecting.

Sulfur and lead isotopic compositions suggest that the ore-forming materials were mainly derived from lower crust or upper mantle and the ore-forming temperatures were generally higher than 300 °C.



大厂长坡锡石硫化物矿床硫酸盐矿物系列研究获重要进展

Marked Advances Gained in the Study of Sulfate Mineral Series from the Changpo Cassiterite-Sulfides Deposit at Dachang, Guangxi Zhuang Autonomous Region

广西大厂是以Sn为主,综合利用Zn、Pb、Sb、Ag、Iu、Cd等多种有用元素的锡石-硫化物多金属矿田。长坡矿床是其中最大、也最有代表性的矿床。该矿床矿石成分复杂,以富含硫酸盐矿物著称,作者等对此进行了较为系统的研究工作,并取得如下成果:

1. 初步鉴定了22种硫酸盐矿物和9种稀少硫化物——铅铋硫酸盐矿物系列的神硫铋铅矿 (geocronite)、块硫铋铅矿 (boulangerite)、异硫铋铅矿* (heteromorphite)、脆硫铋铅矿 (iamesonite)、斜硫铋铅矿* (plagionite)、辉铋铅矿* (Zinkenite)、柱硫铋铅矿* (füllöppite); 铅铜铋硫酸盐矿物系列的斜辉铋铅矿* (meneghinite)、车轮矿 (bournonite); 铅银铋硫酸盐矿物系列的硫银铋铅矿* (dadsonite)、硫铋铅银矿* (andcrite)、辉铋银铅矿* (ramdohrite); 铜铋铋硫酸盐矿物系列的辉铋银矿* (miargyrite)、黝铋银矿* (freibergite)、银铋黝铜矿* (ag-tetrahedrite); 铅铋硫酸盐矿物系列的硫铋铋铅矿* (kobellite)、丁硫铋铋铅矿* (tintinaite); 铅铋硫酸盐矿物系列的硫铋铅矿* (lillianite)、辉铅铋矿* (galenobismutite); 银铋硫酸盐矿物系列的硫铋铋矿* (matildite)、块硫铋银矿* (pavonite); 铅铋硫酸盐矿物及少见的锡硫化物辉铋锡铅矿 (franckeite)、黄锡矿 (stannite)、蔷薇黄锡矿* (rhodostannite)、硫锡矿* (herzenbergite)、叶硫锡铅矿* (teallite)。还鉴定出自然元素及金属互化物自然铋* (bismuth)、含铅自然铋* (pb-bismuth)、自然铋** (antimony) 和少见的硫铋铁矿* (gudmundite)。带*号者均系大厂矿田内首次发现,**号者为长坡矿床首次发现。

2. 初步确定了硫酸盐矿物主要共生组合类型——闪锌矿-黄铜矿-黄锡矿-蔷薇黄锡矿组合、辉铋锡铅矿-硫锡铅矿-硫锡矿组合、脆硫铋铅矿-硫铋铅矿-辉铋铅矿组合、硫铋铅银矿-硫铋铅矿组合、辉铋银矿-黝铋银矿-银铋黝铜矿组合、自然铋-硫铋铅矿-硫铋铋铅矿-脆硫铋铅矿组合、方铅矿-硫铋铋矿-块硫铋铋矿组合、方铅矿-含铅自然铋-自然铋-辉铅铋矿组合、方铅矿-硫铋铅矿-脆硫铋铅矿组合、方铅矿-车轮矿-硫铋铅矿-脆硫铋铅矿组合、方铅矿-神硫铋铅矿-硫铋铅矿-脆硫铋铅矿组合、柱硫铋铅矿-辉铋矿组合、辉铋矿-方解石组合。

3. 初步确定硫酸盐矿物是在深度小于3km、压力小于0.9kbar、温度为220—120°C的碱性溶液、还原条件形成的,成矿溶液的变化总趋势是由富铅向着富铋的方向演化。

4. 矿床中的矿物共生组合在垂向上的演化关系表明,该矿床具有由早期的顺向分带转为晚期的逆向分带的特征。

5. 进一步肯定了该矿床硫酸盐矿物的工业利用价值。

该研究成果将在矿床地质研究所所刊总第15号上详细予以报导。

(矿床地质研究所 黄民智)