

阿舍勒铜锌块状硫化物矿床地质特征和成因^{*}

叶庆同 傅旭杰

张晓华

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京) (中国地质科学院区划室, 北京)

提 要: 阿舍勒矿床与早—中泥盆世双峰式火山活动有着成因联系, 产于火山洼地中, 它在喷气-沉积阶段形成, 后又经历了变质改造和岩浆热液叠加。矿床具有双层结构、很好的矿化分带和蚀变分带。成矿流体的温度、压力和酸碱度等物理化学条件变化引起了围岩蚀变和矿石堆积, 在海底界面上下形成了具有成因联系的两套矿化。成矿物质既来自深循环的海水, 也来自岩浆热液。据此提出了深循环海水和岩浆热液的混合流体成矿模式。

主题词: 块状硫化物矿床 矿化分带 蚀变分带 成矿模式 阿舍勒

阿舍勒铜锌矿床位于新疆哈巴河县城北, 阿舍勒泥盆纪火山-沉积盆地中部, 后者是哈萨克斯坦矿区阿尔泰成矿带向东延入我国的部分。它是在元古宙—早古生代陆壳基础上由裂谷演化形成的, 即是拉张型过渡壳演化的产物^[1], 其形成后又经历了大型左行斜向推覆构造的强烈改造。阿舍勒矿床就是在这样的区域地质背景下形成的大型富铜矿床。

1 矿床地质特征

在阿舍勒矿区内出露地层有下中泥盆统托克萨雷组和阿舍勒组、中上泥盆统齐也组和下石炭统红山嘴组(图 1)。其中, 阿舍勒组是主要的赋矿层位, 它自下而上分为三个岩性段, 代表了三个火山喷发亚旋回。每个亚旋回都是从酸性、中酸性火山碎屑岩夹基性熔岩演化到火山沉积岩^[2]。在地层柱状图上, 越往上火山沉积岩所占的比例越小, 而细碧岩夹层数量增多, 到第三岩性段几乎全由细碧岩类组成。因此, 阿舍勒组是以酸性、中酸性火山碎屑岩为主的双峰式岩套。火山岩的爆发指数大约为 70, 说明是一次猛烈爆发的火山事件^①。在每次火山活动衰竭期都有成矿作用发生, 但是第二岩性段顶部是最主要的赋矿层位。

矿区内构造线近南北, 其北部和南部构造线转为北西向, 与区域构造线基本一致, 因而在平面上呈一反“S”型。矿区内地层褶皱强度从阿舍勒组到红山嘴组逐渐变弱: 紧闭的线型褶皱→较开阔的线性褶皱→开阔的等斜褶皱, 反映了成矿后至少经历了三次构造变形。线型褶皱大多南部紧闭, 北部开阔, 轴面向东陡倾, 而且向斜东翼和背斜西翼常倒转。阿舍勒矿床就分布在矿区中部的倒转向斜中, 后者实际上是一个南北向延伸的火山洼地。

矿区内断裂构造发育, 特别是阿舍勒组中断裂密度更大。断裂有南北向、北西向和北东向三组, 前两组断裂交汇部位控制了古火山机构的产出和次火山岩体的空间分布。断裂密集

^{*} “八五”国家科技攻关项目 85-902-01-01-04 专题部分研究成果

叶庆同, 男, 1933 年生, 研究员, 长期从事金属矿床地质研究。邮政编码: 100037

1996-09-23 收稿, 1996-12-20 修改回

① 据黄光昭等, 1994 年资料

带、酸性次火山岩体分布和成矿活动中心是一致的。

2 矿体特征

阿舍勒矿床由 4 个矿体组成。其中，1 号矿体是主矿体，集中了已探明的铜金属储量的 98%，构成了阿舍勒矿床的一个重要特点。1 号矿体走向控制长 843 m，倾伏长 1250 m，厚 5~120 m，四周薄中间厚，在横剖面上呈鱼钩形（图 2）。其上部为似层状块状硫化物矿体，与

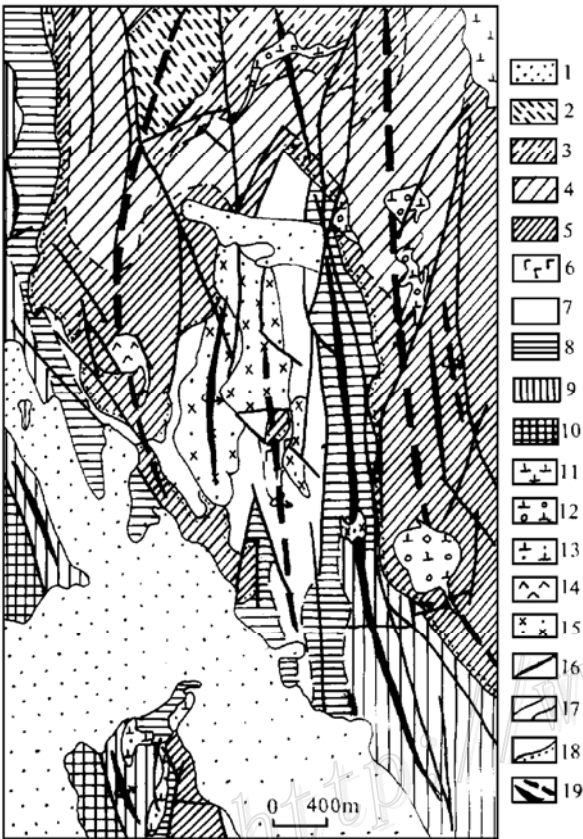


图 1 阿舍勒矿区地质略图
(据新疆地质勘查开发局第四地质大队资料修编)
1—新生界；2—下石炭统红山嘴组；3~5—中上泥盆统齐也组；3—第三岩性段；4—第二岩性段；5—第一岩性段；6~9—下中泥盆统阿舍勒组；6—第三岩性段；7—第二岩性段第二层；8—第二岩性段第一层；9—第一岩性段；10—下中泥盆统托克萨雷组；11—闪长岩；12—石英闪长岩；13—钠长闪长岩；14—细碧岩；15—石英钠长斑岩；16—断裂；17—地层和岩性段界线；18—不整合界线；19—背斜和向斜

Fig. 1. Schematic geological map of the Ashele ore district.
1—Cenozoic; 2—Lower Carboniferous Hongshangzui Formation; 3~5—Upper-Middle Devonian Qige Formation;

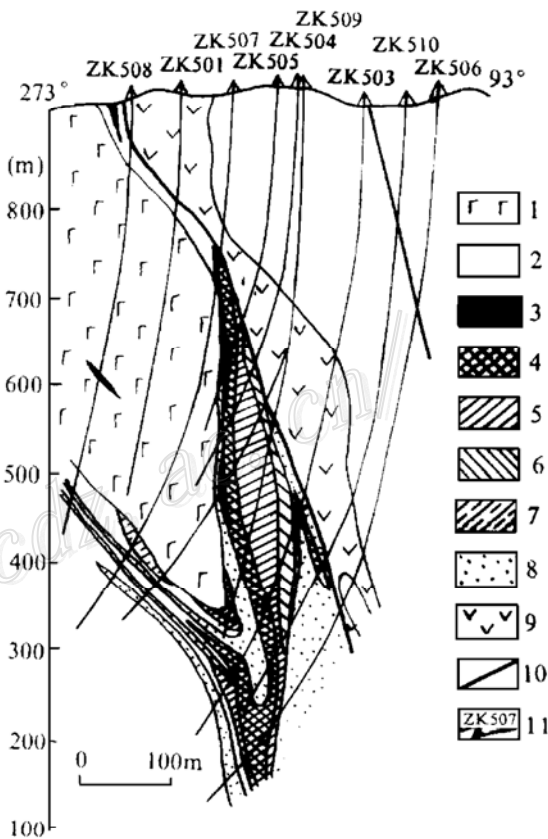


图 2 阿舍勒矿床 5 线地质剖面略图
(据新疆地质勘查开发局第四地质大队资料修编)
1—细碧岩类；2—蚀变酸性、中酸性火山碎屑岩；3—多金属矿石和多金属重晶石矿石；4—铜锌黄铁矿矿石；5—含铜黄铁矿矿石；6—块状黄铁矿矿石；7—浸染状含铜黄铁矿矿石；8—浸染状黄铁矿矿石；9—次角斑岩；10—断裂；11—钻孔及编号

Fig. 2. Schematic geological section along No. 5 line of the Ashele deposit.
1—Spilitite; 2—Altered acid and intermediate-acid pyro-

地层整合产出，同步褶皱；下部为细脉状、网脉状和浸染状硫化物矿体（以下简称浸染状矿体）与地层斜交产出^[3]。因此，矿床具有双层结构。块状硫化物矿体由厚薄不等、大致平行的硫化物矿层组成，其间有时夹石英角斑质晶屑凝灰岩、沉凝灰岩或细碧岩薄层，有时夹浸染状硫化物薄层，显示了复杂的韵律结构。浸染状硫化物矿体的容矿岩石为石英角斑质角砾凝灰岩，硫化物的粒度和浸染密度变化较大，有时显示了似粒序结构。因此，阿舍勒矿床具有火山喷气-沉积成因块状硫化物矿床的典型特征^[8,9]，是同期热流体在古海底上、下的不同环境中相继堆积形成的。

3 矿化分带

3.1 矿石类型分带

从块状硫化物矿体下部往上，矿石类型分带为：黄铁矿矿石→含铜黄铁矿矿石→铜锌黄铁矿矿石→多金属矿石→多金属重晶石矿石。与此相应的矿物共生组合分带为：黄铁矿-石英→黄铁矿-黄铜矿-（闪锌矿）-石英→黄铁矿-黄铜矿-闪锌矿-石英-黄铁矿-黄铜矿-闪锌矿-黝铜矿-方铅矿-石英→黄铁矿-闪锌矿-方铅矿-黝铜矿-（黄铜矿-石英）-重晶石。它们反映了矿石在海底堆积的顺序，代表了成矿流体溢出海底后的几个主要演化阶段。此外，在每个带中常常还有复杂的微观分带现象。

浸染状矿体内的矿石分带总的来说是不明显的，局部从下往上有由黄铁矿矿石变为含铜黄铁矿矿石的趋势。这反映了成矿流体在溢出海底前的演化特点。

从矿体走向上看，矿区中、北段（4~9 线）以块状矿石为主，向南（4 线以南）被浸染状矿石代替。这样的水平分带，除了成矿后的构造变动和剥蚀等因素外，也反映了热流体补给带偏向南部。

3.2 矿石化学组分分带

与矿石类型分带相应，块状硫化物矿体由主成矿元素从下往上分带为：S→Cu，S→Cu，Zn，S→Cu，Pb，Zn，S→Cu，Pb，Zn，BaSO₄；伴生的金、银含量由下往上增高。浸染状硫化物矿体内主成矿元素从下往上分带为：S→Cu，S（表 1）。从含铜黄铁矿矿石到多金属重晶石矿石，

表 1 阿舍勒矿床矿石主成矿元素含量（%）

Table 1. Contents of main ore-forming elements in ores from the Ashele deposit (in percentage)

矿石类型	Cu	Zn	Pb	S	Au	Ag	Cu/Zn	Cu/(Zn+Pb)
多金属重晶石矿石	0.94~8.51 (3.70)	1.53~19.95 (11.08)	1.27~4.82 (2.13)	22.21~34.77 (26.29)	0.90~2.99 (1.71)	108~503 (229.8)	0.33	0.28
多金属矿石	1.87~6.06 (3.55)	2.63~10.18 (4.92)	0.22~0.94 (0.51)	27.65~36.33 (31.38)	0.83~2.13 (1.38)	81.3~177.5 (120.2)	0.72	0.66
铜锌黄铁矿矿石	1.59~8.44 (3.91)	0.66~2.78 (1.29)	0.04~1.19 (0.27)	25.62~40.75 (37.66)	0.21~1.32 (0.57)	32.9~83.4 (58.9)	3.03	2.51
含铜黄铁矿矿石	1.02~17.1 (4.38)	0.05~1.50 (0.32)	0.01~0.06 (0.02)	32.29~45.19 (36.52)	0.03~1.67 (0.64)	13.3~80.8 (19.5)	13.69	12.88
黄铁矿矿石	0.01~0.90 (0.25)	0.02~0.84 (0.19)	0.00~0.11 (0.04)	35.5~48.15 (43.69)	0.00~0.83 (0.28)	0.0~33.7 (9.3)	1.31	1.19
浸染状含铜黄铁矿矿石	0.30~0.49 (0.39)	0.01~1.05 (0.26)	0.00~0.24 (0.08)	6.76~27.5 (16.04)	0.00~0.69 (0.20)	0.0~51.0 (13.6)	1.50	1.15
浸染状黄铁矿矿石	0.05~0.20 (0.06)	0.05~0.19 (0.10)	0.00~0.10 (0.03)	2.14~18.95 (10.76)	0.09~0.18 (0.13)	2.5~45.0 (5.5)	0.60	0.46

注：据新疆地质勘查开发局第四地质大队和文献 [3~5] 资料统计；括号内为数学平均值；Au 和 Ag 单位为 10⁻⁶

Cu/Zn 和 Cu/(Zn+Pb) 平均比值逐渐降低, 这与典型的块状硫化物矿床的矿化分带是一致的^[7]。

在微量元素方面, 多金属矿石富含 As、Au、Sb、Ag, 铜锌黄铁矿矿石富含 Mo、Co、Sn、Bi、As、Au、Sb, 而黄铁矿矿石富含 Mo、Co、Sn、Bi, 因而在矿体垂向上显示特征微量元素地球化学分带^[4,5]。

3.3 地球化学原生晕分带

阿舍勒矿床 7 条勘探剖面原生晕研究表明, 无论是成矿元素或是特征微量元素均显示了很好的原生晕分带。成矿主元素和 Au、Ag、Cd 等伴生元素在矿体内形成高浓集中心; 向两侧围岩原生晕浓度递变相对较慢, 外带宽度较大; 向上原生晕浓度递变相对较快, 外带较窄^[5]。这也反映了成矿流体由通道中心向两侧扩散演化, 而上伏的细碧岩层形成稍晚, 对已形成的块状硫化物矿层起了屏蔽和保护作用。

4 蚀变分带

围岩蚀变发育在块状硫化物矿层之下, 与浸染状硫化物矿体相伴, 形似蚀变岩筒。蚀变带南北长达 2450 m, 宽约 600 m, 延深大于 1000 m, 向深部变窄。

4.1 蚀变类型

蚀变类型与原岩岩性有关。酸性、中酸性火山岩发生硅化、绢云母化、绿泥石化和黄铁矿化, 基性火山岩发生绿泥石化、绿帘石化、钠黝帘石化、白云石化和黄铁矿化, 有时还有高岭土化、明矾石化、次闪石化、方解石化等。区域变质作用和晚期热液脉旁蚀变类型与早期蚀变类型相同, 使早期蚀变强化。

硅化有两种表现形式: 一是呈细粒石英集合体交代酸性火山岩, 与矿化紧密相伴, 在晚期热液强烈活动的部位, 常形成次生石英岩; 另一是呈石英细脉或方解石石英细脉充填在火山岩裂隙中。硅化与绢云母化、绿泥石化相伴, 常形成绢云母石英交代岩或绿泥石石英交代岩, 局部形成千枚状石英绢云母交代岩或绿泥石交代岩。

4.2 蚀变分期

与成矿作用相对应, 围岩蚀变可以分为 4 期: 早期蚀变与喷气-沉积成矿作用有关, 以黄铁绢云岩化和青磐岩化为特点; 中期蚀变与区域变质作用有关, 使早期蚀变岩片理化, 发生矿物重结晶, 形成石英压力影和变质热液细脉; 晚期蚀变发育在后期岩浆热液脉旁, 并叠加在早、中期蚀变岩中, 以次生石英岩化和似夕卡岩化为特点; 表生氧化期蚀变, 发育于近地表, 以褐铁矿化、孔雀石化、高岭土化、明矾石化等为特点。

4.3 蚀变分带

早期蚀变分带从浸染状矿体向外为: 硅化、绢云母化→绿泥石化、绢云母化或碳酸盐化、绿泥石化、绢云母化→弱水解的火山碎屑岩。从内带到外带蚀变矿物化学成分发生了规律变化: 绢云母的 SiO₂ 和 Na₂O 含量逐渐增高, Al₂O₃ 和 K₂O 含量逐渐降低; 绿泥石的 Fe/(Mg+Fe) 比值由 0.45 变为 0.1。这也反映了成矿流体由下往上流动和向四周扩散的特点。

中期蚀变只是使早期蚀变复杂化和强化, 未出现分带现象。晚期蚀变仅在局部形成次生石英岩→硅化、绢云母化分带。

4.4 蚀变岩岩石化学

蚀变岩石与阿舍勒组第二、三岩性段相应火山岩的平均化学成分,按 T Barth 法换算和比较(表 2 和图 3)可以看出,在早期蚀变过程中成矿流体从通道附近火山岩中带出 Al、Ca、Na 等组分,带入 Si、K、S、OH⁻等组分,形成绢云母石英交代岩;向外逐渐变为带出 Si、Na 等组分,带入 Fe、Mg、Ca、K、OH⁻、C 和 S 等组分,形成绿泥石绢云母交代岩或碳酸盐绿泥石绢云母交代岩;再往外,从岩石中带出和带入的组分量均很少,主要是带入 OH⁻,引起火山岩的组成矿物水解。因此,成矿流体的物理化学条件变化决定了矿床的蚀变分带。

表 2 阿舍勒矿区矿化蚀变岩石的平均化学成分(%)

Table 2. Average chemical composition of altered rocks from the Ashele ore district (in percentage)										
岩性	石英交代岩	绢云母 石英交代岩	绿泥石绢云母 石英交代岩	碳酸盐绿 泥石交代岩	绿泥石化 凝灰岩	青磐岩化 细碧岩	绢云母 交代岩	绿泥石 交代岩	石英角斑 质凝灰岩	细碧岩
样品数	2	11	3	5	3	6	5	6	6	8
SiO ₂	89.01	76.47	62.17	56.56	63.43	47.42	59.52	55.11	73.72	50.18
TiO ₂	0.17	0.13	0.17	0.31	0.22	0.73	0.36	0.11	0.21	0.69
Al ₂ O ₃	3.93	10.35	12.61	14.08	15.41	14.50	19.25	15.71	12.52	15.83
Fe ₂ O ₃	1.32	2.20	4.93	2.01	2.96	2.73	2.57	2.72	1.76	3.68
FeO	2.14	1.68	4.02	5.06	3.91	6.61	4.24	4.07	1.93	6.31
MnO	0.03	0.06	0.09	0.12	0.11	0.15	0.25	0.08	0.05	0.13
MgO	1.23	2.57	6.34	6.11	5.66	9.80	3.28	7.99	1.42	8.01
CaO	0.31	0.40	0.32	5.98	0.19	6.29	0.25	2.88	0.65	6.31
Na ₂ O	0.07	0.26	0.19	4.02	0.24	2.46	0.32	2.42	4.28	3.22
K ₂ O	0.72	2.21	1.73	0.61	2.57	0.01	4.65	0.87	1.08	0.25
P ₂ O ₅	0.05	0.06	0.06	0.12	0.06	0.08	0.12	0.07	0.14	0.10
H ₂ O ⁺	1.86	2.26	4.16	1.98	4.20	5.09	3.92	3.74	0.98	1.91
H ₂ O ⁻	0.06	0.05	0.08	0.21	0.06	0.21	0.06	0.15	0.37	1.53
CO ₂	0.05	0.30	0.21	2.64	0.09	3.68	0.23	1.85	0.60	0.64
S	0.10	1.67	3.88	1.03	2.24	0.03	1.86	2.87	0.31	0.62

注：除本文资料外，还引用了新疆地质勘查开发局第四地质大队、地矿部矿床地质研究所刘瑛等和西安地质矿产研究所周良仁等资料

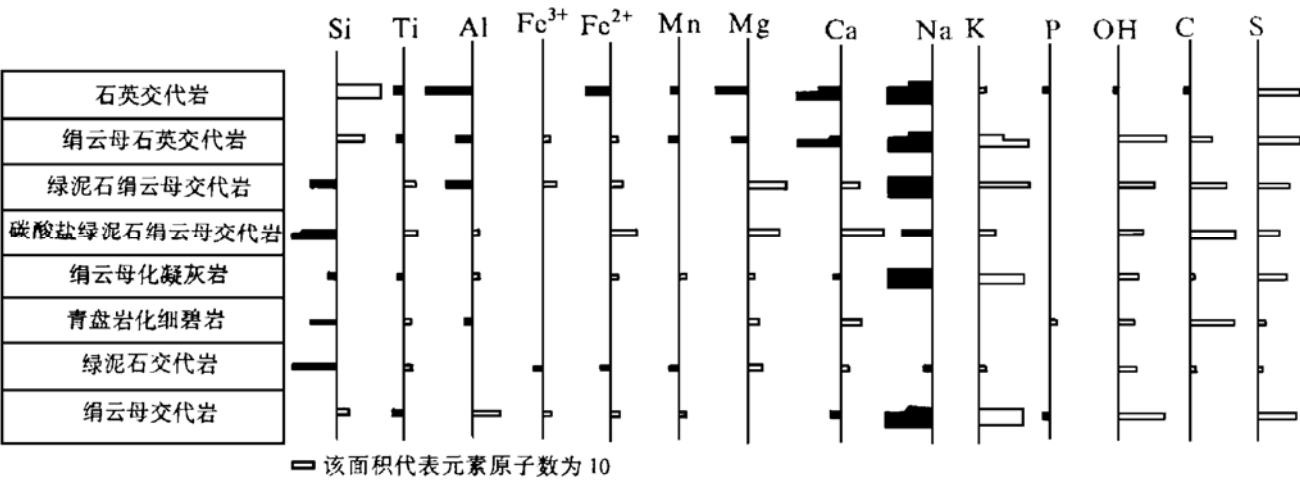


图 3 阿舍勒矿床喷气-沉积期蚀变带岩石单位体积中元素的原子数变化

每个单位体积含 1600 个阴离子; 纵坐标右侧表示元素带入, 左侧表示元素带出

Fig. 3. Variation in atomicities of elements in unit volume of rocks from the altered zones of the exhalation-sedimentation stage in the Ashele ore deposit.

Each unit volume contains 1600 anions; right side and left side of each ordinate indicate addition of elements and removal of elements respectively.

5 矿床形成机理

矿石和蚀变岩石的矿物共生组合和化学成分变化可以看出，成矿流体演化是从改造围岩开始，到沉积主要矿石矿物共生组合结束，其物理化学性质发生规律性变化。

5.1 成矿温度

J W Lydon^[8]强调了成矿温度对块状硫化物矿床矿化分带的重要性。从各类矿石和蚀变岩形成温度统计来看(表 3)，从矿体下部向上和从绢云母石英交代岩向弱水解火山碎屑岩带，成矿温度逐渐降低。因此，矿化蚀变分带是成矿温度梯度的反映。

表 3 阿舍勒矿床矿石和蚀变岩中矿物流体包裹体的均一温度和爆裂温度 (℃)

Table 3. Homogenization and decrepitation temperatures of fluid inclusions in minerals from ores and altered rocks of the Ashele deposit (in percentage)

	矿(岩)石类型	测试矿物	样品数	均一温度或爆裂温度	矿(岩)石形成温度	
					变化范围	峰值
块状矿体	多金属重晶石矿石	闪锌矿	26	180~230	110~230	200
		方铅矿	9	130~200		
		重晶石	15	110~224		
	多金属矿石	黄铁矿	5	230~280	180~280	220
		黄铜矿	4	190~260		
		闪锌矿	18	180~240		
		方铅矿	14	180~240		
		石英	8	220~261		
	铜锌黄铁矿矿石	黄铁矿	10	260~290	220~307	270
		黄铜矿	8	250~280		
		闪锌矿	7	220~280		
		石英	8	260~307		
	含铜黄铁矿矿石	黄铁矿	15	280~310	240~313	300
		黄铜矿	6	240~290		
		石英	12	260~313		
	黄铁矿矿石	黄铁矿	23	300~320	280~346	310
		石英	16	280~346		
浸染状矿体	含铜黄铁矿矿石	黄铁矿	10	300~360	280~362	310
		黄铜矿	4	280~300		
		石英	17	280~362		
	黄铁矿矿石	黄铁矿	21	320~410	280~410	340
		石英	10	280~385		
蚀变岩	绢云母石英交代岩	石英	21	295~426	295~426	350
	绿泥石绢云母石英交代岩	石英	12	259~362	259~362	300
	硫酸盐绿泥石绢云母交代岩	石英	15	211~298	211~298	230、280
	次生石英岩	石英	8	241~445	241~445	260、360
	绢云母交代岩	石英	6	264~315	264~315	290
	绿泥石交代岩	石英	5	238~272	238~372	250

注：重晶石和石英为均一法测温，其余为爆裂法测温，并经压力校正，由石桂华测定；部分引用矿床地质研究所刘瑛等和西安地质矿产研究所周良仁等资料；峰值是指直方图上最大频率的对应温度

5.2 成矿压力

在成矿早期，成矿流体由深部向上和向两侧运移，说明内压力较大；根据流体包裹体成分估计（方法据文献 [6]），浸染状矿体的成矿压力为 20~35 MPa。当流体溢出海底，由封闭-半封闭系统进入开放系统，成矿压力迅速减小，估算为 10~15 MPa。

在每个成矿阶段中，成矿压力变化突出表现在硫分压和氧分压变化上。根据热力学和闪锌矿中 FeS 分子百分比估算（表 4），黄铁矿矿石和含铜黄铁矿矿石稳定在相似的 f_{S_2} 和 f_{O_2} 条件下，铜锌黄铁矿矿石处于一个新的 f_{S_2} 和 f_{O_2} 区中，多金属矿石和多金属重晶石矿石形成于另一 f_{S_2} 和 f_{O_2} 范围内，总的演化趋势是 $\lg f_{S_2}$ 值降低，而 $\lg f_{O_2}$ 值增高。

表 4 阿舍勒矿床块状硫化物矿石形成的硫逸度和氧逸度

Table 4. Sulfur fugacity and oxygen fugacity during the formation of massive sulfide ores in the Ashele deposit

矿床类型	$\lg f_{S_2}$		$\lg f_{O_2}$	
	变化范围	主要值	变化范围	主要值
黄铁矿矿石	-16.46~-6.56	-9.61	-54~-42	-49
含铜黄铁矿矿石	-16.41~-6.27	-8.67	-50~-39	-44
铜锌黄铁矿矿石	-15.9~-11.1	-13.7	-40~-32	-38
多金属矿石	-17.1~-14.2	-15.0	-38~-36	-37
多金属重晶石矿石	-19.9~-15.1	-16.5	-36~-33	-34

注：据表 3 成矿温度变化范围求得， $\lg f_{S_2}$ 和 $\lg f_{O_2}$ 主要值与温度峰值相对应

5.3 流体酸碱度

从蚀变岩石矿物共生组合和岩石化学成分变化可以看出，成矿流体由酸性演化到中性、弱碱性。根据绢云母稳定实验资料^[10]，在 300℃ 时热液的 pH 值为 6 左右。

根据蚀变矿物流体包裹体成分、钠长石、绢云母和绿泥石等矿物化学成分，以及钠长石、绢云母等与热液反应，可估算出形成绢云母石英交代岩时流体的 pH 值为 2.04~3.37，形成绿泥石绢云母交代岩时流体的 pH 值为 5.84~6.79。因此，硅化绢云母化带是一个酸性淋滤带，而绿泥石化绢云母化带已变为一个中性—弱酸性淋滤带。当绿泥石与碳酸盐矿物共生时，流体的 pH 值在 7.5 左右^[10]，趋向于弱碱性。这也证实，从通道向外侧，流体由酸性变化为中性或弱碱性，引起了围岩蚀变分带，而硫化物是在中性或弱碱性条件下堆积的。

6 矿床成因讨论

6.1 成矿流体的来源和成分

成矿作用与火山活动密切有关，而且酸性、中酸性次火山岩围绕成矿中心带发育，说明深部岩浆房既是一个热源，也是成矿流体的一个可能的补给源。

矿物流体包裹体的 δD 值为 -142‰~-39‰， $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值为 -12.3‰~-0.3‰^①，介于岩

① 本文资料，由矿床地质研究所同位素实验室分析

浆水和大气水之间。由于成矿作用发生在 1000 m 深的海底下, 大气降水贡献不可能很大, 只能是一种深循环的海水与岩浆水的混合流体。

成矿流体的多源性在矿物流体包裹体成分上也有反映, 如表 5 所示。喷气-沉积期成矿流体成分以富 K^+ 、 Cl^- 、 CO_2 为特征, $K^+ > Na^+$, $Cl^- > F^-$, 而且从浸染状黄铁矿矿石到多金属矿石 K^+/Na^+ 比值减小, SO_4^{2-} 浓度增大。变质改造期和热液叠加期的流体成分比较复杂, 以 $Na^+ > K^+$ 、 $Cl^- > F^-$ 为特点, 明显不同于喷气-沉积期的流体成分。

表 5 阿舍勒矿床矿物流体包裹体平均成分

Table 5. Average composition of fluid inclusions in minerals from the Ashele deposit

矿石类型	样品数	液相成分 (mg/g)								气相成分 (mg/kg)					
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	CO ₂	CO	H ₂	N ₂	CH ₄	H ₂ O
浸染状黄铁矿矿石	2	0.57	1.67	0.06	0.76	0.27	0.41	2.65	—	23.57	—	0.04	4.69	0.72	361.3
黄铁矿矿石和含铜黄铁矿矿石	4	0.51	6.41	0.29	0.58	0.38	2.55	4.06	—	13.85	0.91	0.12	0.51	0.06	92.8
铜锌黄铁矿矿石	6	2.67	8.41	1.46	0.87	1.71	6.54	4.20	—	16.50	1.24	0.16	1.46	0.36	181.4
多金属矿石	3	6.10	13.77	0.43	1.07	0.78	5.76	5.41	—	21.91	1.20	0.12	1.92	0.56	317.3
变质热液脉和岩浆热液脉	9	2.35	0.91	0.18	0.89	0.19	3.63	4.11	0.62	16.81	10.73	0.13	4.31	1.09	442.2

注: 本文资料, 由矿床地质研究所分析, 测试矿物为黄铁矿; 部分引自汪玉珍等资料, 测试矿物为石英

6.2 成矿物质来源

矿石硫化物的 $\delta^{34}S$ 值为 $0.7\text{‰} \sim 8.17\text{‰}$, 集中在 $2\text{‰} \sim 6\text{‰}$ 之间; 重晶石的 $\delta^{34}S$ 值为 $16.4\text{‰} \sim 20.3\text{‰}$ 。成矿流体的 $\delta^{34}S_{SS}$ 值从矿体下部往上由 3‰ 变到 16‰ , 表明硫主要来自酸性火山喷发, 向矿体上部混入海水硫。

矿石铅同位素组成与阿舍勒组火山岩的分散铅同位素组成基本一致, 暗示它们有着共同的来源。

阿舍勒组火山岩的铜、铅、锌丰度很高, 是可能的矿源层^[2,4], 深循环的海水可能萃取了它们。一些研究者^[7~9]认为, 海底热水循环呈泵复式进行, 可以从岩石中萃取足够的贱金属, 而与成矿有关的岩浆热液可能也是多次提供补给的。

6.3 成矿过程的分析

成矿流体沿断裂在酸性火山碎屑岩层中运移, 后者作为“多孔坝”使流体呈弥散式喷射, 伴随酸性淋滤形成浸染状矿体和蚀变分带。排泄到海底的流体, 在喷口及其附近堆积了块状硫化物矿体, 形成了矿床的双层结构和矿化分带。块状硫化物矿石同位素年龄为 $(367 \pm 20) \times 10^6$ a (Rb-Sr 法)^①, 与阿舍勒组火山岩同位素年龄 $352.3 \times 10^6 \sim 386 \times 10^6$ a (Rb-Sr 法和 Sm-Nd 法) 相近, 证实了它们是同生的。在铜锌黄铁矿矿层底部常见角砾状矿石, 细粒黄铁矿矿石角砾被含铜黄铁矿矿石或铜锌黄铁矿矿石所胶结, 说明块状矿石堆积过程中构造不断活动, 成矿具有脉动性质。

喷气-沉积成矿后, 矿床经历了变质改造和岩浆热液叠加, 形成了大量热液脉。变质热液脉的 Rb-Sr 法等时线年龄为 $(304 \pm 12) \times 10^6$ a; 岩浆热液脉的 Rb-Sr 法等时线年龄为 $(242.8$

① 据李华芹等 1995 年资料

$\pm 38.9) \times 10^6 \sim (262 \pm 7) \times 10^6$ a, 与酸性次火山岩 Rb-Sr 法等时线年龄 $(275 \pm 12.1) \times 10^6$ a 相近。

综上所述,阿舍勒矿床具有海底热水循环和岩浆热液补给的成矿模式,并经历了后期改造。

本研究得到了陈毓川研究员的指导,新疆地质勘查开发局第四地质大队的支持和帮助,王登红和聂运勇积极参与,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 何国琦等. 中国阿尔泰造山带的构造分区和地壳演化. 新疆地质科学, 第2辑. 北京:地质出版社, 1990, 9~20
- 2 贾群子. 新疆阿舍勒块状硫化物矿床成矿特征及形成环境. 矿床地质, 1996, 15(3): 267~277
- 3 程忠富. 阿舍勒块状铜锌硫化物矿床基本特征. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊, 1号, 北京:地质出版社, 1990, 103~113
- 4 周良仁等. 阿舍勒铜锌矿床成矿地质条件及成矿模式. 西安:西安交通大学出版社, 1995, 81~99, 152~158
- 5 王全明, 方一平, 冯京. 新疆阿舍勒铜锌矿床矿石化学组分分带研究及意义. 矿床地质, 1995, 14(4): 314~321
- 6 李秉伦等. 矿物中包裹体气体成分的物理化学参数图解. 地球化学, 1986, 14(2): 126~137
- 7 Large R R. Chemical evolution and zonation of massive sulfide deposits in volcanic terrains. Econ. Geol., 1977, 72(4): 549~572
- 8 Lydon J W. Volcanogenic massive sulfide deposits. Part II: a descriptive model. Geosci. Can., 1984, 79(2): 195~202
- 9 Lydon J W. Ore deposit models 14, volcanogenic massive sulfide deposits. Part II: genetic model. Geosci. Can., 1988, 83(1): 43~66
- 10 Montoya J W et al. Activity relations and stabilities in alkali feldspar and mica alteration reactions. Econ. Geol., 1975, 70(3): 577~583

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND GENESIS OF THE ASHELE COPPER-ZINC MASSIVE SULFIDE DEPOSIT, XINJIANG

Ye Qingtong, Fu Xijie

(*Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037*)

Zhang Xiaohua

(*Section of Regionalization, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037*)

Key words: massive sulfide deposit, mineralization zoning, alteration zoning, metallogenic model, Ashele of Xinjiang

Abstract

The Ashele massive sulfide deposit occurs in the Ashele Devonian volcano-sedimentary basin lying on the southern margin of Altay orogenic belt. The basin was formed as a result of rift evolution on the basis of Proterozoic-Early Paleozoic continental crust, and experienced deformation of regional nappe structure. Mineralization took place at the interval between Early-Middle Devonian volcanic activities of the bimodal spilite-keratophyre volcanic suite. The deposit has two-layer structure: a massive sulfide orebody in the upper part and a disseminated sulfide orebody in the lower part. In the massive sulfide orebody there exists vertical zonation of $S \rightarrow Cu$, $S \rightarrow Cu, Zn$, $S \rightarrow Cu, Pb$, $Zn \rightarrow Cu, Zn, Pb$, $BaSO_4$ which is a reflection of ore accumulation sequence at the bottom of the sea. Around the disseminated sulfide orebody are well-developed wall rock alterations, which exhibit from the inside outward the zonation of sericite-quartz metasomatite $\rightarrow$ chlorite-sericite metasomatite $\rightarrow$ weakly hydrolytic pyroclastic rocks, suggesting characteristics of acid leaching. Studies of ore deposit geology, temperature-pressure geochemistry and stable isotope geochemistry indicate that the ore-forming fluids were composed of deeply-circulating sea water and magmatic water, and that the ore-forming materials were derived from the lower crust. In addition, the ore-forming process has been discussed and a metallogenic model of mixed fluids comprising deeply circulating sea water and magmatic water has been established.