

文章编号:0258-7106(2004)01-0082-12

新疆昆仑式火山岩型块状硫化物铜矿床及 成矿地质环境*

孙海田¹ 李纯杰¹ 李锦平¹ 吴海²

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 国土资源部实物地质资料中心, 河北 燕郊 065201)

摘 要 新疆西昆仑奥依塔克-恰尔隆拗陷带内阿克塔什-萨落依成矿带发现多处火山岩型块状硫化物铜矿床。这些矿床产在石炭系双峰式火山岩系之内,沿着下石炭统基性火山岩和上石炭统酸性火山岩两个层位产出,分别以玄武岩和流纹岩为容矿主岩,可以明显地分成基性火山岩型和酸性火山岩型两种类型。矿石主成矿元素均以铜为主,含少量的锌,几乎不含铅,矿床类型属于铜型。这些基性火山岩型和酸性火山岩型矿床被统称为昆仑式火山岩型块状硫化物铜矿床。根据矿床产出地质环境、双峰式火山岩系、沉积建造以及火山岩地球化学特征,推断昆仑式火山岩型块状硫化物铜矿床最可能形成于泥盆纪-石炭纪弧后拉张构造环境。

关键词 地质学 昆仑式 火山岩型 块状硫化物铜矿床 成矿环境

中图分类号: P618.41

文献标识码: A

1 区域地质背景

西昆仑造山带位于青藏高原西北缘,塔里木盆地西南侧,总体呈现为北西-南东走向的“S”型,由性质明显不同的两大地质构造单元组成,康西瓦大断裂北侧为塔里木板块,属于华北地块的组成部分,南侧为羌塘板块,属于华南地块的组成部分。康西瓦大断裂构成了两大板块的缝合线(图1)。

在西昆仑地区,塔里木板块可以进一步分出3个次级构造单元:喀什-叶城新生代陆内拗陷带和铁克里克陆缘隆起带;恰尔隆-库尔浪石炭纪拉张拗陷带;中昆仑隆起、岩浆弧和岛弧带(图1)。

喀什-叶城新生代陆内拗陷带属于西昆仑山前沉降带,其中沉积着厚层的侏罗系至第四系浅海-滨海相、泻湖相以及河流相沉积岩系。铁克里克陆缘隆起带北界为赛拉加孜北侧断裂,南界为柯岗断裂,前震旦系构成了隆起带的主体,震旦系及古生界零星分布于断隆的边缘,为稳定型盖层沉积。

恰尔隆-库尔浪裂谷带分布在西昆仑造山带北缘,呈窄长条带状沿NW方向展布,是在前寒武纪

陆壳基底上发育起来的泥盆纪-石炭纪陆缘弧后拉张拗陷带。其内堆积了厚层的晚古生界地层,厚度愈18 000 m。普遍缺失早古生界,两侧被大断裂夹持。晚古生界以泥盆系和石炭系为主,由海相双峰式火山岩系和浅海-滨海相正常沉积的细碎屑岩和碳酸盐岩建造组成。拗陷带由3个次级拗陷带组成,由西向东分别为:奥依塔克-恰尔隆拗陷带、塔木-卡兰古拗陷带和库尔浪拗陷带。3个次级拗陷带在地层层序和岩性特征上可以相互对比,但不同地段火山岩的发育程度差别较大。西部奥依塔克-恰尔隆拗陷带为泥盆系-石炭系火山-沉积建造,以石炭纪双峰式火山岩系为主,少量浅海-滨海相细碎屑岩和碳酸盐岩建造;东部库尔浪拗陷带以石炭系浅海-滨海相厚层细碎屑岩和碳酸盐岩建造为主,夹有少量的双峰式火山岩;塔木-卡兰古拗陷带主要为泥盆系-石炭系正常沉积的厚层细碎屑岩和碳酸盐岩建造,基本上没有火山岩产出,被认为属于具有拗拉槽特征的天折裂谷带(孙海田等,2003)。

中昆仑隆起、岩浆弧和岛弧带主体由前寒武纪结晶基底和以华力西期为主的花岗岩类组成,北界为柯岗和卡拉克大断裂,南界为康西瓦大断裂。结

* 本文为国家自然科学基金资助项目(编号:40273023)的部分成果
第一作者简介 孙海田,男,1956年生,研究员,从事矿床地质研究。
收稿日期 2003-05-06;改回日期 2003-08-11。张绮玲编辑。

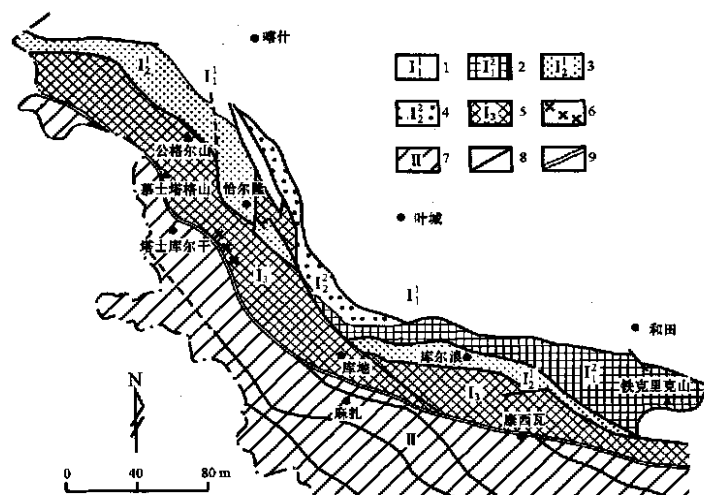


图1 新疆西昆仑西部地质构造示意图

- 1—喀什-叶城新生代陆内拗陷带;2—铁克里克陆缘隆起带;3—恰尔隆-库尔浪石炭纪拉张拗陷带;4—塔木-卡兰古拗陷带;
5—中昆仑隆起、岩浆弧和岛弧带;6—瓦恰岛弧火山岩带;7—羌塘地块;8—断裂;9—康西瓦大断裂

Fig.1 Geological and tectonic map of the western part of West Kunlun Mountains, Xinjiang

- 1—Kashi-Yecheng Cenozoic depression within the continental craton; 2—Tielike uplift zone along the continental margin;
3—Qialong-Kuerlang Carboniferous rifted depression; 4—Tamu-Kalangu depression; 5—Middle Kunlun uplift, magmatic
arc and island arc zone; 6—Waqia island zone; 7—Qiangtan block; 8—Fault; 9—Kangxiwa fault

晶基底由前震旦系高绿片岩相-角闪岩相变质岩系组成,青白口纪末的塔里木运动使其与塔里木广大地区一同形成稳定的地台。一直至晚古生代,随着恰尔隆-库尔浪弧后拉张盆地的扩张,从塔里木地台分裂出来,形成“微陆块”。

隆起带内花岗岩类十分发育,主要有前寒武纪、加里东期和华力西期花岗岩。前寒武纪花岗岩多沿西昆仑主山脊分布,主要为片麻状花岗闪长岩和钾长花岗岩。加里东期花岗岩类岩体分布零星,规模相对较小,主要有闪长岩、英云闪长岩、花岗闪长岩和二长花岗岩,同位素年龄为540~400 Ma(张玉泉等,2000)。华里西期花岗岩类沿着中昆仑隆起带广泛分布,多呈岩基或岩株状产出,以花岗闪长岩、二长花岗岩、钾长花岗岩和斜长花岗岩为主,同位素年龄主要在260~200 Ma,相当于早二叠世到早侏罗世(张玉泉等,2000),构成隆起带花岗岩岩浆弧的主体。花岗岩类为钙碱性,具有同碰撞期或火山弧花岗岩的特性,形成于大陆板块边缘活动带(丁道桂等,1996)。

岛弧带这里主要指隆起带内毗邻康西瓦大断裂带北侧在瓦恰地区产出的石炭纪陆缘火山岛弧带。据1:5万区调^①和研究工作(孙海田等,2003),表明

瓦恰地区出露的石炭纪火山岩系和沉积岩建造组合具有明显的岛弧特征。火山岩系由角闪玄武岩、玄武安山岩、安山岩、流纹岩和晶屑凝灰岩组成,以角闪玄武岩为主。角闪玄武岩常伴生有角闪辉长岩和角闪辉绿岩,构成中基性火山岩和侵入岩组合。火山岩系显示出钙碱性特征,中-基性火山岩及侵入岩主要造岩矿物均由普通角闪石和中-拉长石组成,具有中性火成岩成分的特征,这与岛弧环境火山岩的特征一致。与火山岩系伴生的沉积地层主要是石炭系库尔良群一套泥质片岩、板岩夹少量硅质岩和泥灰岩建造。

康西瓦大断裂以南属于喀喇昆仑山系,地质上为羌塘地块,主要由前寒武纪结晶基底及寒武纪、奥陶纪地台型沉积,以及志留纪及晚古生代活动大陆边缘沉积盖层组成。中生代该区处于强烈拉张环境,三叠系、侏罗系、白垩系总厚度达15 474 m,为碎屑岩建造和碳酸盐岩建造,其中包括典型的浊流相沉积,并于晚白垩世褶皱最终闭合。

2 昆仑式块状硫化物矿床的特征

在昆盖山北坡奥依塔克-恰尔隆拗陷带内阿克塔什-萨落依成矿带中已经发现20多处火山岩型块

① 新疆地质调查院第二地质调查所. 1998. 区域地质矿产调查报告. 1:5万下拉夫选幅、班迪尔幅.

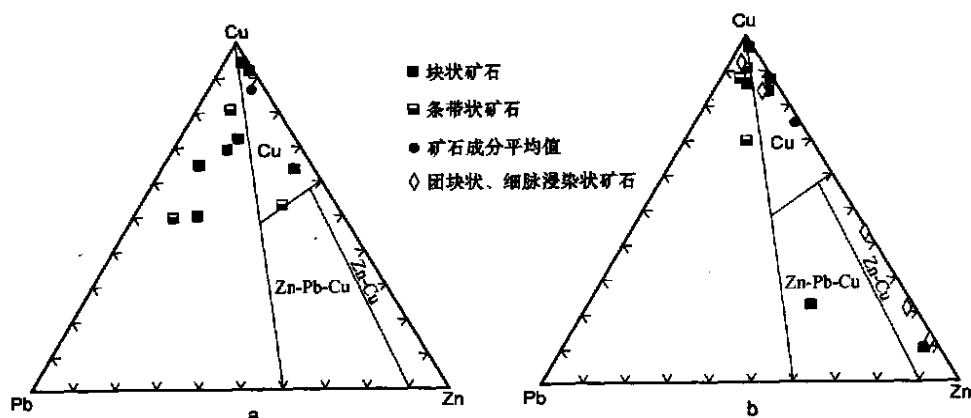


图3 矿石成分在Cu-Pb-Zn三角图上的投影(原分类范围据Large, 1992)

a—阿克塔什式铜矿床;b—萨洛依式铜矿床;Cu—Cu型矿床;Cu-Zn—Cu-Zn-Cu型矿床;Zn-Pb-Cu—Zn-Pb-Cu型矿床

Fig.3 Cu-Pb-Zn triangular diagram showing composition of the ores (Classification after Large, 1992)

a—Aketashi type Cu deposit; b—Saluoyi type Cu deposit; Cu—Cu type deposit; Zn-Cu—Zn-Cu type deposit; Zn-Pb-Cu—Zn-Pb-Cu type deposit

3 基性火山岩型块状硫化物铜矿床

3.1 矿区地质及矿化产出层位

萨落依矿床是迄今研究程度相对较高的基性火山岩型块状硫化物铜矿床,矿床规模为小型。矿区出露地层主要为下石炭统乌鲁阿特组海相基性火山岩系、热液沉积岩及少量海相结晶灰岩。岩石经受了低绿片岩相区域变质作用。火山岩主要由枕状、块状和杏仁状石英拉斑玄武岩、基性火山凝灰岩及少量火山集块岩和角砾岩组成。基性火山岩厚度大,延伸稳定,连续性好,枕状构造十分发育。矿区内块状、细脉浸染状硫化物矿化和热液沉积岩主要在石英拉斑玄武岩与基性火山凝灰岩间的过渡层位产出(图4)。矿区内有小规模的晚石炭世浅成、超浅成酸性花岗斑岩和石英斑岩等岩墙或岩脉侵入到基性火山岩中。

3.2 热液沉积岩

萨落依矿床的一个重要特征是硫化物矿化经常与热液沉积岩伴生。热液沉积岩主要由燧石岩、条带状硅质岩、碧玉岩和角砾状碳酸盐岩等组成,分布在硫化物矿体的边缘或其附近,呈层状、透镜状顺层产出,与围岩产状一致。地表出露规模一般在几十公分到几米宽,断续延伸可达几米至几十米长(图4)。从热液沉积岩的产出层位和空间分布来看,具有从硫化物相、氧化物相到碳酸盐相分带的趋势。

碧玉岩作为矿区出现的最主要热液沉积岩,可以分成纹层状碧玉岩和含硫化物碧玉岩两种类型,前者呈褐红色,致密块状,显微晶质结构,纹层宽0.5~2 mm,主要由石英、锰绿帘石、绿帘石、绿泥石、粉尘状褐铁矿及少量的钠长石、钾长石等组成;后者硫化物含量变化较大,一般在10%~40%,以黄铁矿为主,偶见黄铜矿和闪锌矿。

角砾状碳酸盐岩是矿区产出的另一种特征性热液沉积岩,暗褐色-褐灰色,致密块状,角砾状构造,呈层状和透镜状产出,有时与硅质岩共生,但没见到直接与硫化物矿体共生。角砾呈浅褐色,不规则棱角状、长条状,粒度变化较大,大者达12×5 mm,小者仅0.5×1 mm,含量占20%左右。角砾主要由钠长石、绿泥石和少量褐铁矿或磁铁矿组成,钠长石呈长条状,聚片双晶发育,常与绿泥石形成间隐结构。基质主要由微晶方解石组成,他形粒状,全晶质细粒结构,有时在基质中也可见到钠长石单晶体分布。这种碳酸盐岩中的角砾和钠长石晶体很可能来自基性火山岩围岩的岩屑和晶屑。

3.3 矿体的形态、产状

矿区出现的矿化主要为块状、条带状、网脉状和浸染状硫化物矿化。经表生氧化作用,地表常形成铁帽。根据硫化物矿化的空间分布及矿化强度,在西矿段圈出3个矿体、5个褐铁矿化体,在东矿段圈出1个矿体、2个褐铁矿化体^①。这些硫化物矿化体直接产在枕状石英拉斑玄武岩和基性凝灰岩中,产

① 新疆地勘局第二区调队, 1998. 西昆仑萨洛依块状硫化物矿床地质评价报告.

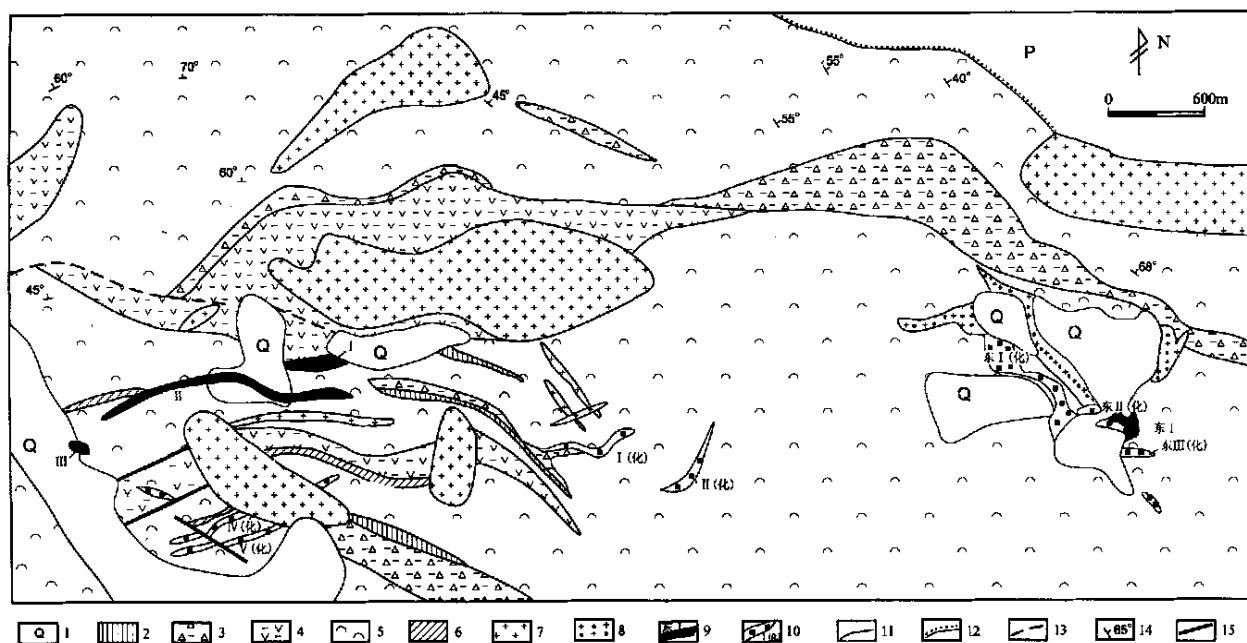


图 4 萨落依矿区地质简图(据新疆地勘局第二区调队修编^①)

1—第四系;2~10—石炭纪:2—碳酸岩;3—火山角砾岩、凝灰角砾岩;4—凝灰岩;5—枕状玄武岩;6—硅质岩;7—花岗岩斑岩;8—石英斑岩;
9—矿体及编号;10—铁帽及编号;11—地质界线;12—不整合地质界线;13—推测地质界线;14—产状;15—断层

Fig.4 Geological map of the Saluoyi ore district(Modified from the map compiled by No.2 Regional Geological Survey of Xinjiang, 1998) ^①

1—Quaternary; 2~10—Carboniferous: 2—Carbonatite; 3—Volcanic breccia and tuffaceous breccia; 4—Tuff; 5—Pillow basalt;
6—Siliceous rocks; 7—Granite porphyry; 8—Quartz porphyry; 9—Orebody and its serial number; 10—Gossan and its serial number; 11—Geological boundary; 12—Unconformity; 13—Inferred geological boundary; 14—Attitude; 15—Fault

状与地层产状一致,倾向近北,倾角 $50^{\circ} \sim 75^{\circ}$ (图4)。主要矿体特征如下:

I号含铜黄铁矿矿体:位于矿区的西段。矿体的下盘为枕状、块状石英拉斑玄武岩,上盘为弱绿泥石化的基性凝灰岩。矿体在地表形成黄褐色、褐红色氧化带,长260 m、宽35~45 m,两侧被第四系覆盖(图4)。坑道和槽探揭露的硫化物矿化主要为细脉浸染状,矿化分布很不均匀,长120 m,厚24 m。矿体呈似层状,倾向 $332^{\circ} \sim 355^{\circ}$,倾角 65° 左右,硫平均品位15.22%,局部铜品位可达1.5%左右,锌平均品位0.63%。

II号含铜黄铁矿矿体:位于I号矿体南100 m处,地表形成长1100 m、宽45 m的氧化带,大致沿东西方向延伸(图4)。坑道和槽探揭露的硫化物矿体长120 m,厚25 m,呈似层状,倾向北,倾角 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 左右。矿化呈细脉浸染状,矿石类型主要为含铜黄铁矿,矿化和蚀变特征同I号矿体。铜矿体厚约

15 m,铜平均品位0.51%;锌矿体厚约2 m,锌平均品位0.92%^①。

III号含铜黄铁矿矿体:位于I、II号矿体西侧大沟内,是迄今在萨落依矿区发现的唯一块状、条带状硫化物矿体(图4)。矿床底板围岩为蚀变的枕状石英拉斑玄武岩,顶板为拉斑玄武质凝灰岩。矿体呈层状,长120 m、宽约7 m,倾向北,倾角约 60° 。矿体由两部分组成,上部为含黄铁矿碧玉岩,呈红色,厚度约3 m;下部为块状、条带状硫化物矿体,呈黄-灰色,主要由黄铁矿和少量黄铜矿、闪锌矿、磁铁矿及燧石岩组成,厚度约2 m。两者接触界线明显。

矿体显示出明显的分带性,最上部几乎为纯净的块状碧玉岩,愈靠近下部黄铁矿的含量愈高。条带状矿石主要在矿体上部产出,由黄铁矿和硅质组成,基本不含黄铜矿和闪锌矿,而黄铜矿和闪锌矿趋向于在矿体的下部产出。因此,从矿体下部到上部的矿化特征表现为:块状含铜黄铁矿矿石→块状、

① 新疆地勘局第二区调队,1998. 西昆仑萨落依块状硫化物矿床地质评价报告。

条带状燧石黄铁矿矿石-块状含黄铁矿碧玉岩→块状碧玉岩。这种分带性显示出明显的海底块状硫化物矿化的沉积特点。

东 I 号含铜黄铁矿矿体：位于矿区的东段。矿体在地表形成约 360 m 长、30 ~ 50 m 宽的铁帽(图 4)。地表下硫化物矿体长 120 m, 宽约 10 m。矿体呈似层状, 倾向北东, 倾角 65° 左右。矿化主要为团块状、细网脉状和浸染状。矿化类型主要为含铜黄铁矿, 铜平均品位 2.08 %, 局部出现闪锌矿^①。

3.4 矿石类型及结构特征

矿石类型以硫化物矿石为主, 地表氧化矿石所占比例很小。根据金属矿物组合, 硫化物矿石组合可以分为 3 种主要类型: 黄铁矿矿石、黄铁矿-黄铜矿矿石和黄铁矿-黄铜矿-闪锌矿矿石。根据矿石构造, 亦可分成 3 种主要矿石类型: 块状、条带状矿石, 团块状矿石和细脉浸染状矿石。

矿石结构主要有他形粒状结构、半自形粒状结构、充填交代结构、共生结构、熔蚀结构、固溶体分离结构、残余结构及碎裂结构等。黄铁矿、黄铜矿和闪锌矿等矿物呈它形粒状、半自形粒状或他形粒状集合体产出, 粒度一般在 0.4 ~ 4 mm。黄铁矿绝大多数已经重结晶。重结晶的黄铁矿受到应力作用的影响, 强烈破碎, 形成碎斑或碎裂结构, 或形成位错凹槽结构。黄铁矿常与黄铜矿、闪锌矿伴生, 常见黄铜矿沿着黄铁矿晶体的裂隙充填交代, 形成充填交代结构和残余结构, 表明黄铜矿形成晚于黄铁矿。有时, 也可见到黄铁矿被闪锌矿充填交代, 然后两者又

同时被黄铜矿交代。黄铜矿和闪锌矿常形成固溶体分离结构和共生结构。矿石结构特征表明主要金属矿物形成时间上略有先后, 由早到晚的顺序是: 黄铁矿—闪锌矿(黄铜矿)—黄铜矿, 闪锌矿和黄铜矿可以同时形成。

3.5 矿石成分

矿石矿物主要为黄铁矿、黄铜矿, 少量闪锌矿、斑铜矿、磁铁矿和镜铁矿; 脉石矿物为石英、斜长石、方解石、绿泥石和绿帘石; 次生矿物为褐铁矿、蓝铜矿、孔雀石、铜蓝、黄钾铁矾、自然硫等。主要矿石矿物化学成分如表 1 所示。

黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿中 Co 含量普遍较高, w_{Co} 0.01 % ~ 0.79 %; 而 Ni 含量相对较低, w_{Ni} 一般在 0.00 ~ 0.05 %, Co/Ni 比值远大于 1, 显示出海底热液沉积特点。矿物微量元素特征也显示, As、Sb 在闪锌矿和黄铜矿中有明显的富集, 也显示出海底热液沉积的特征。Au 和 Ag 在黄铁矿、黄铜矿和闪锌矿中都有富集, w_{Au} 最高可达 300×10^{-6} , w_{Ag} 可达 500×10^{-6} , 但分布不均匀。

成矿元素主要为铜和硫, 伴生锌和少量金, 几乎不含铅。系统的刻槽采样分析结果表明^①, 矿石中铜和锌含量变化较大, 分布不均匀, 铜含量 0.01 % ~ 4.62 %。浸染状矿石的铜平均含量 0.99 %, 锌平均含量 0.006 % ~ 0.64 %; 块状、条带状矿石的铜平均含量 1.58 %, 锌平均含量 0.20 %。块状、条带状矿石中硫含量变化较大, 但分布较均匀, 硫平均含量为 22.18 %。笔者于 1997 年系统的检块采样分析, 结

表 1 主要金属矿物化学成分

Table 1 Chemical composition of major metallic minerals

样品编号	矿石类型	矿物	$w_B / \%$											Co/ Ni
			S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sb	Ag	Au	总量	
97SL034-1	块状	黄铁矿	53.11	45.04	0.65	0	0.01	0.55	0	0	0.02	0	99.37	>1
97SL034-2	块状	闪锌矿	33.63	1.63	0.01	0	0.12	62.7	0.02	0	0	0	98.11	>1
97SL020-1	条带状	黄铁矿	53.09	46.4	0.51	0.05	0	0.01	0	0	0.01	0.02	100.1	10.2
97SL020-2	条带状	闪锌矿	33.27	0.51	0	0	0.94	66.01	0	0	0	0	99.83	-
97SL026-1	细脉浸染状	黄铁矿	52.46	46.46	0.22	0.02	0.01	0.05	0	0	0	0	99.21	11
97SL026-2	细脉浸染状	闪锌矿	33.46	3.46	0.07	0	0.69	61.59	0	0.01	0	0.01	99.3	>1
97SL001-1-1	细脉浸染状	黄铁矿	53.11	46.16	0.79	0.01	0.01	0	0	0	0.01	0	100.1	79
97SL001-1-2	细脉浸染状	闪锌矿	33.33	0.4	0	0	0.35	65.29	0	0	0	0	99.37	>1
97SL001-1-3	细脉浸染状	黄铜矿	34.27	30.89	0.01	0	34.3	0	0.02	0	0	0.03	99.52	>1
97SL001-1-4	细脉浸染状	黄铜矿	34.22	30.28	0.23	0	34.45	0	0	0.01	0.05	0	99.23	>1
97SL005-1	细脉浸染状	黄铜矿	34.49	30.19	0.21	0.04	34.3	0	0	0	0.01	0	99.23	5.25

分析者: 中国地质科学院矿产资源研究所电子探针组, 2000 年。

① 新疆地勘局第二区调队, 1998. 西昆仑萨洛依块状硫化物矿床地质评价报告。

果显示块状矿石的硫含量一般为 30 % ~ 36 % ,平均 34.17 % ,但条带状、团块状、细脉浸染状矿石的硫含量变化较大,一般在 12 % ~ 35 % 之间。微量元素 Ni、Cr 含量较高, w_{Ni} 在 $96 \times 10^{-6} \sim 194 \times 10^{-6}$, w_{Cr} 在 $252 \times 10^{-6} \sim 386 \times 10^{-6}$ (表 2)。

3.6 矿床热液蚀变

矿床围岩热液蚀变明显,主要有硅化、碳酸盐化、绿泥石化和绿帘石化。这些热液蚀变主要与团块状矿化和细脉浸染状矿化伴生,由晚期火山热液活动形成,构成明显的热液补给带系统。

野外和显微镜下观察表明,最强的矿床热液蚀变出现在团块状矿石中,除了上述提到的热液蚀变以外,还伴生次透辉石、石榴石等夕卡岩化。其次,较强的热液蚀变经常出现在网脉状矿化带,硫化物矿化沿着基性火山岩微裂隙带充填交代并产生热液蚀变。与硫化物矿化关系最密切的热液蚀变是硅化和碳酸盐化,其次为绿泥石化和绿帘石化。前者往往构成明显的近矿围岩蚀变,而后者更趋向于在硫化物矿化的外围产出。

4 酸性火山岩型块状硫化物矿床

4.1 矿区地质

阿克塔什作为典型的酸性火山岩型块状硫化物

铜矿床,经勘查确定矿床规模达小型。矿区出露地层主要是蓟县系,上石炭统塔哈奇组和克孜里奇曼组以及第四系(图 5)。

蓟县系由灰色-白色块状大理岩组成,在矿区西南部呈构造推覆体逆冲于塔哈奇组和克孜里奇曼组地层之上。逆冲断层面倾向南西,倾角 $10 \sim 15^\circ$,断层泥发育。

上石炭统塔哈奇组在矿区出露规模小,为一套含海相化石的灰岩。上石炭统克孜里奇曼组在矿区广泛出露,为一套海相火山沉积岩系,岩性主要为流纹岩、流纹质凝灰岩,以及层状灰岩、泥灰岩和砂岩。地层倾向 $120 \sim 150^\circ$,倾角 $15 \sim 30^\circ$,厚度大于 400 m。经区域变质作用酸性火山岩变成了绢云母片岩、绢云母绿泥片岩和绿泥石英千枚岩。块状硫化物矿化分布在该组地层中,绢云母石英片岩为主要容矿主岩。

4.2 矿体特征

矿区被分成东、中、西 3 个矿段,东矿段 3 个矿体,中矿段 2 个矿体,西矿段 2 个矿体(图 5)。矿体呈层状、似层状,与围岩整合接触,倾向南或南东,倾角一般在 $10 \sim 20^\circ$,矿体长度变化于 165 ~ 1300 m 之间。矿化在地表常形成氧化带,主要由褐铁矿、孔雀石、自然硫和黄钾铁矾等组成,局部形成铁帽。氧化带深度一般在 8 ~ 15 m 之间。

表 2 萨落依矿床矿石成分

Table 2 Chemical composition of ores from the Saluoyi deposit

序号	样品编号	采样位置	矿石类型	$w_B / \%$				$w_B / 10^{-6}$		
				Cu	Pb	Zn	S	Au	Ni	Co
1	97036	III号矿体	块状矿石	2.92	0.02	0.07	36.38	<0.01	134	154
2	97SL033	III号矿体	块状矿石	4.62	0.02	0.64	34.92	<0.01	96	155
3	97SL034	III号矿体	块状矿石	0.03	0.01	0.23	30.33	<0.01	144	0.00
4	97041	III号矿体	块状矿石	0.01	0.01	0.23	36.94	<0.01	99	0.00
5	97042	III号矿体	块状矿石	0.32	0.01	0.05	32.36	<0.01	194	61
6	97038	III号矿体	块状条带状矿石	0.10	0.01	0.01	23.21	<0.01	115	0.00
7	97033	III号矿体	含硫化物碧玉岩	0.10	0.01	0.01	6.65	<0.01	38	0.00
8	97037	III号矿体	含硫化物碧玉岩	0.03	0.01	0.02	14.27	<0.01	66	0.00
9	97039	III号矿体	含硫化物碧玉岩	0.05	0.01	0.02	6.24	<0.01	33	7
10	96045	东萨落依	团块状矿石	0.00	0.06	0.13	24.42	0.03	153	1
11	96046	东萨落依	团块状矿石	0.15	0.01	0.01	35.29	<0.01	60	708
12	96047	东萨落依	团块状矿石	0.17	0.01	0.02	15.92	<0.01	46	0.00
13	97044	II号矿体 0 线坑道距硐口 1 m	细脉浸染状矿化	0.72	0.00	0.92	9.96	<0.01	106	0.00
14	97045	II号矿体 0 线坑道距硐口 3 m	细脉浸染状矿化	0.09	0.01	0.32	18.86	<0.01	116	0.00
15	97007	II号矿体 0 线坑道距硐口 6 m	细脉浸染状矿化	0.08	0.00	0.58	12.06	<0.01	57	0.00
16	97006	II号矿体 0 线坑道距硐口 7 m	细脉浸染状矿化	0.19	0.00	0.77	14.23	<0.01	56	0.00
17	97005	II号矿体 0 线坑道距硐口 8 m	细脉浸染状矿化	3.88	0.01	0.45	13.68	<0.01	87	0.00

分析者:中国科学院地质与地球物理研究所实验室;分析方法:等离子光谱,1997 年。

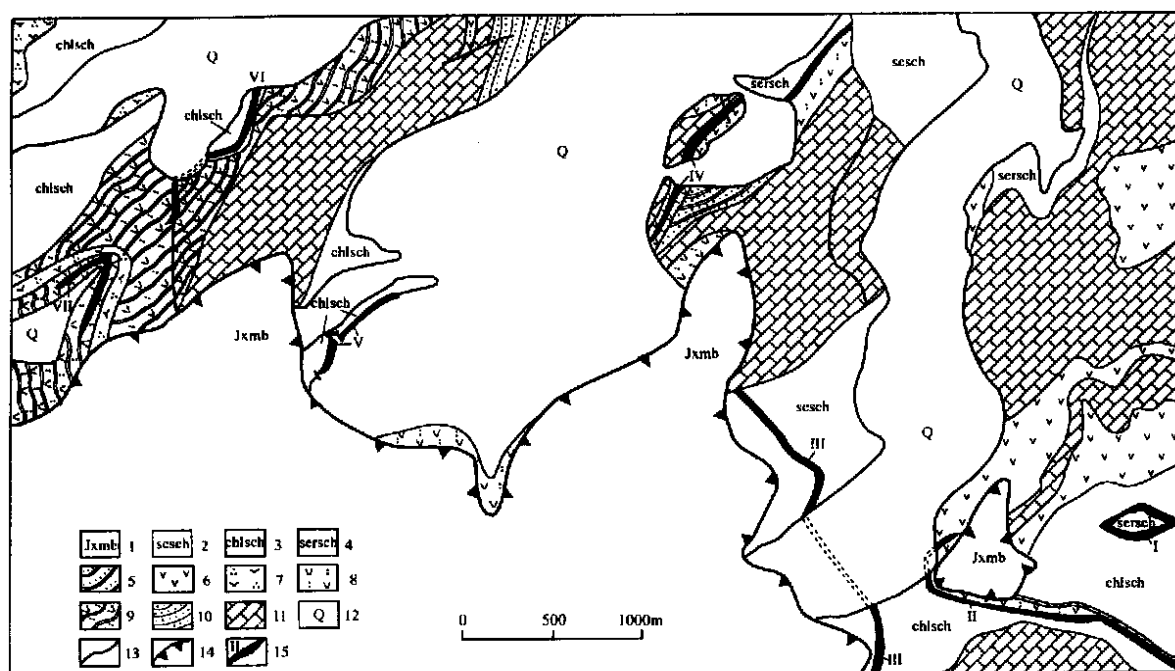


图5 阿克塔什矿区地质简图(据新疆地勘局第二区调队修编,1997)●

1—冀县系大理岩推覆体;2~11 石炭纪;2—绢云绿泥片岩;3—绿泥片岩;4—绢云母片岩;5—变质砂岩;6—安山岩;7—石英角斑岩;
8—凝灰岩;9—层凝灰岩;10—砂岩;11—灰岩、泥灰岩;12—第四系;13—断层;14—推覆体界线;15—铁帽、矿体及编号

Fig.5 Geological map of the Aketashi ore district (Modified from the map compiled by No.2 Regional Geological Survey of Xinjiang, 1997) ●

1—Late Proterozoic marble nappe; 2~11—Carboniferous: 2—Sericite-chlorite schist; 3—Chlorite schist; 4—Sericite schist; 5—Meta-sandstone; 6—Andesite; 7—Quartz keratophyre; 8—Tuff; 9—Tuffite; 10—Sandstone; 11—Carbonate; 12—Quaternary;
13—Fault; 14—Inferred geological boundary of nappe; 15—Gossan, ore body and its number

原生硫化物矿体具有明显的双层结构特征,上部为块状、条带状硫化物矿化,下部为细脉浸染状硫化物矿化。块状矿化一般与围岩接触界限明显,但细脉浸染状矿化与围岩呈渐变过渡接触关系,并伴生明显的热液蚀变。

各矿体彼此之间的特征略有差异。I号矿体主要以块状含铜黄铁矿矿石为主,细脉浸染状矿化次之,矿化最好,但矿体产状缓,倾角 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$,铜平均品位3.55%,硫含量平均32.97%;II、VI号矿体由上部块状硫化物矿石和下部细脉浸染状矿化组成,铜平均品位1.91%,硫平均含量13.47%~38.41%;III、IV、V号矿体主要由细脉浸染状矿化组成,基本没见到块状硫化物矿化,铜平均品位0.3%~2.49%,硫平均含量8.49%~22.22%●。

4.3 矿石类型及特征

矿石类型比较简单,以原生硫化物矿石为主,可

以分成块状、条带状和细脉浸染状等矿石类型。块状矿石硫化物含量一般大于60%,致密块状,主要由黄铁矿,少量黄铜矿,微量闪锌矿和砷黝铜矿等组成,脉石矿物主要为石英,少量绢云母、白云母和方解石等。由于黄铜矿在矿体中分布不均匀,块状硫化物矿石又可以进一步分成块状黄铁矿矿石和块状含铜黄铁矿矿石。条带状矿石很少,主要产出在块状矿体中的局部,由黄铁矿和硅质相对集中形成的互层条带构成。浸染状矿石主要由黄铁矿,少量黄铜矿及微量闪锌矿等组成,脉石矿物为石英、绢云母、钠长石及少量叶绿泥石、斜黝帘石、绿帘石和方解石等。硫化物含量变化较大,一般在5%~30%,有时可达50%,形成稀疏浸染状、稠密浸染状构造。

4.4 矿石成分

矿石矿物主要由黄铁矿,少量黄铜矿及微量闪锌矿组成,偶见含砷黝铜矿、斑铜矿、方铅矿、毒砂

● 新疆地勘局第二区调队,1997. 西昆仑阿克塔什块状硫化物矿床地质评价报告。

表 3 矿石主要金属矿物化学成分

Table 3 Chemical composition of major metallic minerals in ores

编号	样号	矿石类型	矿物	$w_B/\%$										Co/ Ni
				S	Fe	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	As	Sb		
1	96082	块状含铜黄铁矿矿石	黄铁矿	53.29	46.02	0	0	0	0	0	0	0	-	
2	96027	条带状黄铁矿矿石	黄铁矿	52.78	46.27	0.04	0	0	0.38	0.01	0	0	38	
3	95XB3	稠密浸染状含铜黄铁矿矿石	黄铁矿	53.14	46.32	0.06	0	0	0.04	0.01	0.04	-	4	
4	95XB78	浸染状黄铁矿矿石	黄铁矿	52.9	46.31	0.03	0.01	0	0	0	0.01	-	>1	
5	95XB76	块状含铜黄铁矿矿石	黄铜矿	34.73	29.84	33.91	0	0.25	0.05	0.02	0.08	-	2.5	
6	95XB78	浸染状黄铁矿矿石	黄铜矿	34.3	30.57	34.18	0	0.1	0.04	0.03	0	-	1.3	
7	95XB132	块状含铜黄铁矿矿石	毒砂	19.43	33.52	2.65	0	0.34	0.04	0	43.73	-	>1	
8	95XB3	稠密浸染状含铜黄铁矿矿石	含锌砷黝铜矿	28.25	2.52	42.31	0	5.67	-	-	-	2.09	-	
9	95XB131	块状含铜黄铁矿矿石	含锌砷黝铜矿	28.75	3	43.13	0	6.17	-	-	-	1.82	-	
10	95XB77	块状含铜黄铁矿矿石	闪锌矿	34.3	0.85	0.5	0	64.04	-	-	-	-	-	
11	95XB78	浸染状黄铁矿矿石	闪锌矿	32.15	0.52	0.28	0.27	64.64	-	-	-	-	-	

注:1~2 为本次测定的结果,由中国地质科学院矿产资源研究所电子探针室完成,2000;3~11 引自贾群子等,1999。

和磁铁矿;脉石矿物主要由石英、绢云母、钠长石、绿泥石及少量绿帘石、斜黝帘石、白云母和方解石等组成。矿石矿物成分如表 3 所示。

黄铁矿呈半自形-自形粒状和粒状集合体,粒度变化大,一般在 0.15~6 mm。较粗大晶体中常包裹许多小晶体形成多晶内部结构。黄铁矿小晶体是最常见的被包裹矿物,其与形成较早的显微雏晶黄铁矿均具有较明显的增生环带结构。环带增生晶具等向性结晶习性,说明形成于静水压力条件下,属于成岩作用的产物。黄铁矿经受后期变质重结晶作用粒度可变大,达 2~6 mm。强烈的后期变形-变质作用的影响导致黄铁矿碎裂构造发育,位错凹槽结构普遍。总的来看,黄铁矿成分稳定,但其中的某些微量元素分布不均匀,局部含量较高,如 Cu、Zn、Co、As 等,主要为类质同象(表 3)。黄铁矿的 Co/Ni 比值大于 1,显示出热液沉积成因特征(徐国风,1978)。

黄铜矿主要分布在块状矿石和部分细脉浸染状矿石中,趋向于在矿体的下部产出,主要呈他形粒状或他形粒状集合体,含量在 0~10%之间,以充填-交代方式沿着黄铁矿颗粒之间、黄铁矿微裂隙及黄铁矿边缘产出,形成明显晚于黄铁矿。黄铜矿中含有 Zn、As、Co、Ni 等微量元素,但基本不含 Pb(表 3)。

闪锌矿和含锌砷黝铜矿常与黄铜矿伴生,含量一般低于 3%,分布在块状矿体下部和部分细脉浸染状矿体中,主要在黄铁矿颗粒间、或黄铁矿裂隙中产出。闪锌矿的 Zn/Fe 比值在 75.34~154.98 范围内,表明其很可能是在中-低温条件之下形成的。含

锌砷铜矿颗粒中偶见包含有毒砂,并且砷、锑含量较高,属于高砷、高锑种属(表 3),表明矿石沉积环境具有高砷、高锑地球化学背景,显示出海底热液沉积块状硫化物矿床的成分特征。

矿石中的主要成矿元素为 S、Cu,伴生 Zn、Au、Ag 等有益组分(表 4)。Cu 主要分布在东矿段 3 个矿体中,平均品位 1.22%。S 主要分布在东、西矿段,平均品位 39.45%。Zn 含量一般小于 0.2%,个别可达 1%,但圈不出工业矿体。Pb 含量一般小于 0.1%。Au、Ag 主要与东段硫化物矿体伴生,品位 $0.14 \times 10^{-6} \sim 2.07 \times 10^{-6}$,平均 0.85×10^{-6} 。

4.5 矿床热液蚀变

矿床围岩热液蚀变明显,主要有硅化、绢云母化、碳酸盐化和绿泥石化。热液蚀变主要分布在块状矿体的下部,与细脉浸染状矿化伴生,分布范围大于块状矿体,构成十分明显的热液蚀变带。

硅化是最主要的矿床热液蚀变,由他形粒状石英及隐晶质石英组成,石英含量一般在 50%~90%,伴生不等量的绢云母、白云母、方解石、绿泥石等热液蚀变矿物。强烈的硅化可导致在围岩中形成次生石英岩和黄铁绢云石英岩。碳酸盐化与矿化关系非常紧密,常与硫化物矿化伴生。绿泥石化分布不均匀,一般分布在硅化蚀变带的外围。从矿体至围岩,可以看到热液蚀变显示出分带性:强硅化+绢云母化+黄铁矿化→硅化+绢云母化+黄铁矿化→绢云母化+绿泥石化。

表 4 阿克塔什矿床矿石成分

Table 4 Chemical composition of ores from the Aketashi deposit

序号	样品编号	采样位置	矿石类型	$w_B/\%$				$w_B/10^{-6}$			
				Cu	Pb	Zn	S	Au	Ag	Ni	Co
1	96028-1	I 号矿体坑道	块状矿石	2.51	0.02	0.19	47.13	0.49	-	76	0
2	96028-2	I 号矿体坑道	块状矿石	0.04	0.01	0.01	39.03	0.23	-	57	0
3	96028-3	I 号矿体坑道	块状矿石	0.04	0.01	0.01	50.89	1.16	-	81	0
4	96042	VI号矿体坑道	块状矿石	0.07	0.01	0.01	42.29	0.076	-	58	0
5	96027	I 号矿体坑道	条带状矿石	0.09	0.02	0.01	28.7	2.07	-	48	0
6	96023	矿体下盘绢英片岩	浸染状矿化	0.01	0.01	0.01	9.45	-	-	16	0
7	96024	矿体下盘绢英片岩	浸染状矿化	0.01	0.01	0.02	1.56	-	-	10	4
8	96026	矿体下盘绢英片岩	浸染状矿化	0.01	0.01	0.01	26.71	0.14	-	34	0
9	95 XBI 32	I 号矿体平硐	块状矿石	3.52	0.01	0.16	46.66	0.55	25	-	20
10	95 XBI 31	I 号矿体平硐	块状矿石	3.44	0.06	0.16	46.63	0.56	52	-	20
11	95 XBI 30	I 号矿体平硐	块状矿石	0.09	0.06	0.03	48.58	1.69	52	-	30
12	95 XBI 29	I 号矿体平硐	条带状矿石	0.08	0.07	0.02	12.77	1.47	20	-	20
13	95 XB75	II号矿体平硐	块状矿石	3.5	0.05	0.18	40.96	0.99	55	-	30
14	95 XB77	II号矿体平硐	块状矿石	2.11	0.15	1.08	43.91	0.47	32	-	200
15	95 XB78	II号矿体平硐	条带状矿石	0.24	0.03	0.03	22.99	0.16	8	-	20
16	95 XBI 31	VI号矿体平硐	块状矿石	0.07	0	0	42.34	0.67	5	-	0

1~8 样品由本次测定,由中国科学院地质与地球物理研究所实验室完成,等离子光谱(JARRELL-ASH ICP-AES 9000)方法分析;9~16 引自贾群子等,1999。

5 成矿地质环境

(1) 拗陷带分布与构造环境 昆仑式块状硫化物矿床产在奥依塔克-恰尔隆拗陷带,在中国境内沿近北西方向展布,长近 300 余公里,向西延伸到境外,而南北方向宽仅 20~40 km,呈窄长条带状分布,拗陷槽北以乌孜别里山口岩石圈断裂为界,南以布仑口岩石圈断裂为界,南北两侧均为前寒武纪克拉通地块,接触界线被区域规模的深大断裂厘定,形态上显示出裂谷特征。从区域地质背景上来看,其位于西昆仑造山带北缘恰尔隆-库尔浪晚古生代弧后拉张拗陷带之内。

拗陷带内的石炭系火山岩系和沉积地层,显示出南北两侧老、中间新的特征。下石炭统主要分布在拗陷槽的两侧,上石炭统分布在中间。这一特征表明了随着石炭纪拗陷槽的不断裂开,其内形成的火山岩系和沉积建造亦在不断地向南北两侧迁移。

(2) 火山岩组合、系列与构造环境 容矿火山岩系为一套明显的基性和中酸性岩石化学成分的双峰式火山岩组合。基性火山岩主要在下石炭统产出,以枕状石英拉斑玄武岩为主,少量火山碎屑岩, $w(\text{SiO}_2)$ 变化在 40.26%~59.46%,主要在 46%~53%之间,岩石中常有少量微晶石英产出,二氧化硅过饱和,属于拉斑玄武岩系列。中酸性火山岩在上石炭统产出,主要为英安岩和流纹岩,以火山凝灰岩

为主,少量熔岩, $w(\text{SiO}_2)$ 为 66.37%~79.55%,主要在 70%~75%之间。双峰式火山岩系经常伴生同时期形成的辉绿岩、石英斑岩和流纹斑岩等基性和中酸性浅成、超浅成岩脉。双峰式火山岩系被认为是典型的拉张环境或张性构造环境的产物(Martin et al., 1972; Pin et al., 1997)。

容矿火山岩的地球化学特征表明,基性与酸性端员火山岩的主元素、微量元素和稀土元素地球化学特征上存在着明显的差异,表明两者不属于同源岩浆连续演化作用形成的产物。双峰式火山岩系兼具拉斑玄武岩系和钙碱性火山岩系的双重特点,基性火山岩的微量元素或表现为大洋中脊玄武岩的特征,或显示出大洋中脊和岛弧玄武岩的过渡性特征。结合火山岩产出的其他地质特征,进一步推断容矿双峰式火山岩系最可能形成于大陆边缘弧后拉张盆地构造环境。

(3) 成矿构造环境之演化 奥依塔克-恰尔隆拗陷带双峰式火山岩系形成于早石炭世维宽期开始的弧后拉张构造环境。该时期由于羌塘板块向塔里木板块俯冲,沿康西瓦深大断裂形成俯冲缝合带,导致毗邻俯冲带边缘形成岛弧火山活动。如瓦恰岛弧火山岩;向大陆地块内部主要在西昆仑中央隆起带发生广泛的钙碱性岩浆侵入活动,形成较大规模的花岗岩类,构成大陆边缘岩浆弧带;再向大陆地块内部在奥依塔克-恰尔隆一带则形成窄长条带状弧后拉

张盆地拗陷带,其中产生强烈的双峰式火山岩浆活动,形成一套厚层的优地槽型火山沉积岩建造。正是在这样的成矿地质背景之下,在石炭纪双峰式火山岩系基性和酸性火山堆积环境,分别产生了特征明显的海底热液成矿系统,并形成昆仑式火山岩型块状硫化物铜矿床,其构成了西昆仑地区最主要的矿床类型之一。

Reference

- Ding D G, Wang D X, Liu W X, et al. 1996. Western Kunlun orogen and basin[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English Summary).
- Fouquet Y, Von Stackelberg U, Charlou J L, et al. 1993. Metallogenesis in back-arc environment: The Lau Basin example[J]. Econ. Geol., 88(8): 2154 ~ 2181.
- Franklin J M, Lydon J W and Sangster D F. 1981. Volcanic associated massive sulfide deposits[J]. Reprinted from Economic Geology Seventy Fifth Anniversary Volume.
- Jia Q Z, Li W M, Yu P S, et al. 1999. Ore forming conditions and prospecting for massive sulphide deposits in western Kunlun Mountain[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Martin R F and Piwinski A J. 1972. Magmatism and tectonic setting[J]. Journal of Geophysical Research, 77(26): 4966 ~ 4975.
- Pin C and Paquette J L. 1997. A mantle-derived bimodal suite in the Hercynian Belt: Nd isotope and trace element evidence for a subduction-related rift origin of the Late Devonian Brevenne metavolcanics, Massif Central[J]. Contrib. Mineral Petrol., (129): 222 ~ 238.
- Sun H T and Ge C H. 1986. Evolution of mineral deposits in geological history[M]. Foreign Mineral Deposits, Monography 4 (in Chinese).
- Sun H T, Li C J, Wu H, et al. 2003. Introduction for metallogenic province in Western Kunlun Mountain[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Xu G F. 1980. Features and significance for typical pyrite shape[J]. Geological Review, 26(6): 541 ~ 546 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y Q, Xie Y W, Xu R H, et al. 2000. Geochemical features of granite, geological evolution in Kala Kunlun Mountain[M]. Beijing: Science Press. 209 ~ 258 (in Chinese with English Summary).

附中文参考文献

- 丁道桂,王道轩,刘伟新,等. 1996. 西昆仑造山带与盆地[M]. 北京:地质出版社.
- 贾群子,李文明,于蒲生,等. 1999. 西昆仑块状硫化物矿床成矿条件和成矿预测[M]. 北京:地质出版社.
- 孙海田,葛朝华. 1986. 矿床在地质历史中的演化[M]. 国外矿床地质,第四期,专集.
- 孙海田,李纯杰,吴海,等. 2003. 西昆仑金属成矿省概论[M]. 北京:地质出版社.
- 徐国风. 1980. 黄铁矿的标型特征及其实际意义[J]. 地质论评, 26(6): 541 ~ 546.
- 张玉泉,谢应雯,许荣华,等. 2000. 花岗岩类地球化学. 喀喇昆仑山-昆仑山地区地质演化[M]; 北京:科学出版社. 209 ~ 258.

Kunlun Type Volcanic-hosted Massive Copper Sulfide Deposits in Xinjiang and Their Ore-forming Tectonic Environments

Sun Haitian¹, Li Chunjie¹, Li Jinping¹ and Wu Hai²

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Sample Center of Geological Data, MLR, Yanjiao 065201, Hebei, China)

Abstract

Lots of volcanic-hosted massive sulfide deposits were found along the Aketashi-Saluoyi metallogenic belt in the Aoyitake-Qiaerlong rifted depression within the West Kunlun Mountains of Xinjiang. These deposits, which can be obviously divided into basic and acid volcanic types, are present in the Carboniferous bi-model volcanic series and occur along two horizons, i.e., the Lower Carboniferous mafic volcanic rock and the Upper Carboniferous felsic volcanic rock. The ores are all dominated by Cu with minor Zn, and the deposits are classified as the Cu type. All the mafic and felsic volcanic-hosted massive sulfide deposits are therefore defined as the Kunlun type volcanic-hosted massive copper sulfide deposit. Based on geological environment, bi-model volcanic series, sedimentary formation and geochemical features of volcanic rocks, it is held that the deposits were most probably formed in the Carboniferous back arc rifted environment.

Key words: geology, Kunlun type, volcanic type, massive sulfide deposits, ore-forming environment