

北祁连塞浦路斯型铜矿床地质地球化学特征对比研究

郭周平, 李文渊, 贾群子, 宋忠宝, 高永宝

(中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

[摘要] 北祁连奥陶纪典型的塞浦路斯型铜矿床均产出于北祁连山弧后盆地的蛇绿岩中, 西段石居里矿床赋存的蛇绿岩带生成环境为近弧的弧后盆地扩张脊环境, 东段猪嘴哑吧矿床赋存的蛇绿岩生成环境为近陆的弧后盆地扩张脊环境。东西段构造环境差异导致北祁连山东西段塞浦路斯型铜矿在矿体形态和成矿元素富集程度上存在差异。西段以柱状、似透镜状为主, 东段以透镜状为主; 成矿元素上东段相比西段更富锌和硫。硫同位素分析, 两段均为海水中硫酸盐和玄武岩中硫酸盐混合沉淀结果, 东段比西段海水混入程度低。Pb同位素研究显示, Pb主要来自幔源。流体包裹体成分显示西段石居里以海水成因为主, 而东段猪嘴哑吧则为火山热液流体成因, 成矿温度均为中低温。

[关键词] 塞浦路斯型铜矿床 弧后盆地 矿床地质 地球化学 北祁连

[中图分类号] P618.41 [文献标识码] A [文章编号] 0459-5331(2010)01-0076-09

Guo Zhou-ping, Li Wen-yuan, Jia Qun-zi, Song Zhong-bao, Gao Yong-bao. A contrastive study on the geological and geochemical characteristics of Cyprus-type copper deposits in North Qilian mountain, China[J]. *Geology and Exploration*, 2010, 46(1): 0076-0084.

1 引言

塞浦路斯型铜矿床作为一种独特的块状硫化物矿床类型, 以铜品位高、伴生有益组分多、经济价值高及成群出现的特点, 而成为矿床学研究的热点之一, 自上世纪七十年代至今, Hutchinson (1980, 1984)、Sawkins (1990)、向鼎璞 (1985) 等在矿床分类方面进行了研究; Ohmton (1983)、Hutchinson (1983)、Lydon (1984)、Becker (1996) 对该类矿床地质特征进行了研究; Sawkins (1968)、Franklin (1981)、Sangster (1976)、Rye (1984)、Spooner (1977)、顾连兴 (1989, 1999)、Yang K. H. (2002) 对矿床成因认识进行研究, 各方面研究均取得了显著进展。

北祁连山奥陶纪塞浦路斯型铜矿床的研究是随着祁连山矿产勘查研究工作逐步深入而展开的。上世纪50年代初, 白银厂大型铜多金属矿床的发现, 使得北祁连块状硫化物矿床研究有了长足发展, 而北祁连塞浦路斯型铜矿床研究则起步较晚。北祁连山塞浦路斯型铜矿产出于弧后盆地洋壳环境中, 矿

体多产在蛇绿岩套的上部枕状玄武岩内或上覆的凝灰质砂岩和硅质岩中 (夏林圻等, 1998; 杨合群等, 2000, 2002; 李文渊等, 2006), 形成时代为中-晚奥陶世 ($453.56 \pm 4.44 \sim 468.87 \pm 4.63$ Ma) (夏林圻等, 1998)。但北祁连东西段弧后盆地的地质特征存在明显差异, 本文通过对东西两段典型矿床的地质和地球化学特征对比分析, 探讨东西段矿床的成矿构造环境、矿石富集规律、成矿物质来源, 对比北祁连山东西段成矿特征异同, 从而指导北祁连山塞浦路斯型铜矿床的找矿工作。

2 成矿地质背景

祁连山构造上一般划分为三个构造单元: 北祁连构造带 (河西走廊、走廊南山)、中祁连陆块 (托莱山) 和南祁连构造带 (黄汲青, 1984)。

北祁连造山带是祁连山蛇绿岩集中分布地区, 产出时代主要为奥陶纪, 由南向北主要划分为4个条带 (冯益民等, 1996): ①玉石沟蛇绿岩带; ②大岔大坂蛇绿岩带; ③塔墩沟蛇绿岩带; ④老虎山蛇

[收稿日期] 2009-09-20; [修订日期] 2009-11-10; [责任编辑] 陈喜峰。

[基金项目] “十一五”国家科技支撑计划“中西部大型矿产基地综合勘查技术与示范”项目专题“秦祁昆成矿域成矿规律及矿产预测示范” (2006BAB01-01-07) 资助; 中国地质调查局《祁连成矿带重大找矿疑难问题研究》项目 (200420190002) 资助。

[第一作者简介] 郭周平 (1980年—), 男, 2006年毕业于长安大学, 获硕士学位, 从事地质矿产勘查与研究。

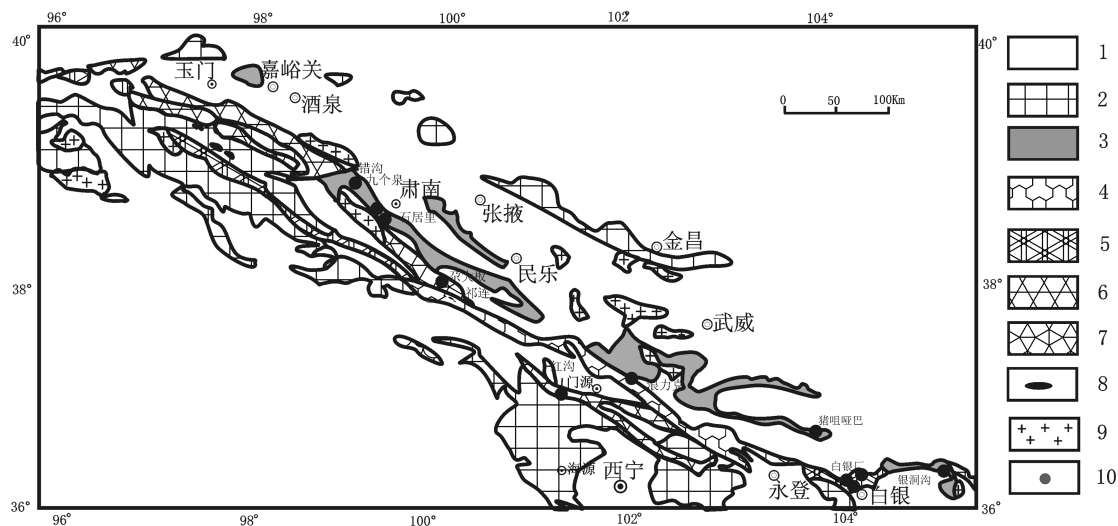


图 1 北祁连山中晚奥陶世弧后盆地火山岩系分布图

Fig. 1 The middle-late Ordovician volcanic distribution map of back-arc basin in North Qilian Mountain
1-显生宇;2-前寒武系;3-中晚奥陶世弧后盆地火山岩系;4-奥陶纪岛弧火山岩系;5-中寒武世-早奥陶世洋脊-洋岛火山岩系;6-奥陶纪类大陆岩浆弧火山岩系;7-残留早寒武纪大陆裂谷火山岩系;8-早古生代基性-超基性岩体;9-中酸性岩侵入体;10-本文蛇绿岩剖面所在位置
1-Phanerozoic; 2-Precambrian; 3-the back-arc basin volcanic of middle-late Ordovician; 4-island arc volcanic of Ordovician; 5-middle cambrian early Ordovician mid-ocean ridge-ocean island volcanic; 6-Ordovician continent magna arc volcanic; 7-residual early cambrian continental rift volcanic; 8-early Paleozoic base-ultra rock body; 9-intermediate-acid intrusive body; 10-ophiolite section position

绿岩带(图 1)。赋存塞浦路斯型铜矿床的蛇绿岩主要为西段的塔墩沟蛇绿岩带和东段的老虎山蛇绿岩带(图 1)。

北祁连山中西段蛇绿岩主要出露于塔墩沟-九个泉-石居里一带。岩石组合为蛇纹岩(纯橄岩、斜辉橄榄岩)、镁铁质堆晶岩、均质辉长岩、细碧质枕状熔岩、团块状硅质岩、层状硅质岩等岩石。白泉门一带辉石玄武岩 Sm-Nd 法等时线年龄 $468.87 \pm 4.63\text{Ma}$, 时代为中-晚奥陶世。

东段以老虎山蛇绿岩为代表,出露于景泰县老虎山一带,延长约 60km,岩石组合为蛇纹混杂岩(纯橄岩、斜辉橄榄岩)、镁铁质堆晶岩、均质辉长岩、席状岩墙杂岩、细碧质枕状熔岩、块状熔岩、辉绿岩墙、中基性火山碎屑岩、浊积岩等。辉石细碧玢岩 Sm-Nd 法等时线定年 $453.56 \pm 4.44\text{Ma}$, 时代为中-晚奥陶世。

北祁连山中-晚奥陶世弧盆地型蛇绿岩以出现较多的火山碎屑岩和陆源碎屑岩为典型特征,反映了特定的次生洋壳环境和靠近大陆有较多陆源物质供给的特点(图 2)。而东、西段相比,具一定差异。东段老虎山蛇绿岩顶部陆源碎屑物质明显多于中西段的塔洞沟和石居里沟,表明东段弧后盆地靠近大陆一侧拉张成盆的特点;中西段塔洞沟和石居里沟

蛇绿岩顶部则发育较多的火山角砾岩和火山集块岩等火山碎屑沉积的特点,展示了中西段弧后盆地扩张脊火山作用,后期可能转化为多中心式火山喷发的特点。

3 矿床地质特征

3.1 西段石居里铜矿床

北祁连山西段塞浦路斯型铜矿床以石居里为典型代表,该矿床行政隶属于甘肃省肃南县裕固族自治县,地理坐标为: $E99^{\circ}21'04'' \sim 99^{\circ}23'29''$; $N38^{\circ}49'21'' \sim 38^{\circ}51'23''$ 。

构造位置为北祁连山西段奥陶纪弧后盆地内,地层主要由中晚奥陶世海相火山熔岩和火山沉积岩系组成,也是铜矿床的成矿母岩和赋矿围岩。矿区出露火山岩系属蛇绿岩套层序的中-上层位,沿 VI 号和 VIII 号沟通过区域性剪切带为界可将矿区划分为早、晚两个喷发旋回。早期喷发旋回主要分布在剪切带以南矿区,主要岩性以灰黑色-墨绿色基性熔岩、枕状基性熔岩为主,为矿区的主要熔岩层,产状为 $30^{\circ} \sim 50^{\circ} \angle 25^{\circ} \sim 60^{\circ}$, 厚度较大,出露宽度约 1.5km,在其中-上部夹有较多呈枝叉状出露的凝灰熔岩,构成一单斜板状构造, VIII 号沟铜矿床即产于其中。晚期旋回在韧性剪切带以北,为基性熔岩夹火

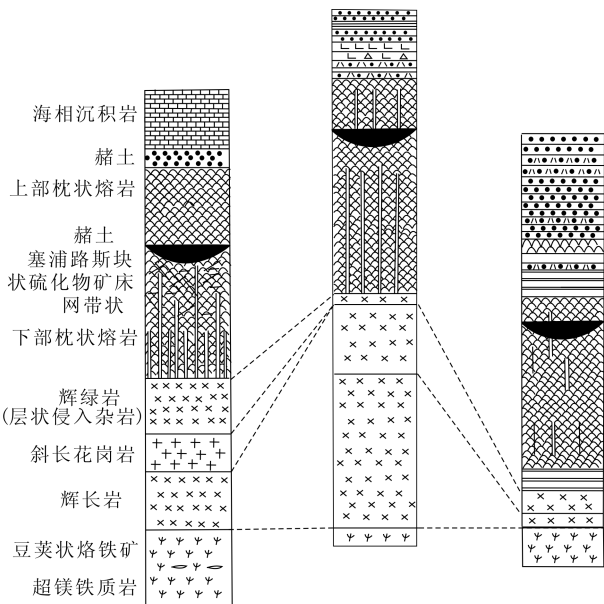


图2 北祁连东西段奥陶纪弧后盆地蛇绿岩柱状对比图
(根据李文渊,2006 改编)

Fig. 2 The contrast of the west-east Ordovician back arc basin ophiolite columnar sequence graph in north Qilian mountain (According to reference (modified from Li, et al. , 2006)

1-海相沉积岩;2-赭土;3-硅质岩;4-枕状熔岩;5-块状玄武岩;6-角斑岩;7-石英角斑岩;8-基性凝灰岩;9-凝灰质板岩;10-凝灰质砂岩;11-火山碎屑岩;12-辉绿岩墙(脉);13-辉绿岩床;14-辉长-辉绿岩;15-辉长岩;16-斜长花岗岩或钠长闪长花岗岩;17-超镁铁岩;18-块状硫化物矿体;19-网脉状硫化物矿体;20-豆荚状铬铁矿体

1-marine deposit rock;2-reddle;3-siliceous;4-pillow lava;5-massive basalt;6-ceratophyre;7-ceratophyre quartzose;8-base tuff;9-tuff slate;10-tuff sandstone;11-pyroclastic rock;12-diabase dyke (vein);13-diabase sills;14-diabase-gabbro;15-gabbro;16-plagioclase granite or albite-diorite granite;17-ultramafic rock;18-massive sulfide deposit;19-net vein massive sulfide deposit;20-bean-pod chromite orebody

山碎屑岩。岩性以细碧岩、火山熔岩、火山角砾岩、集块岩、凝灰岩、凝灰质砂岩、硅质岩和炭质板岩等为主,构成一不完整的穹隆状构造,穹隆南北两翼均被后期断裂破坏,地层出露不全。穹隆构造后期被压扁拉长,轴向与矿区构造方向一致,约 320°~340°,倾向 NE、倾角 50°~60°,蚀变基性熔岩作为标志层主要分布于穹隆构造的南西及南东转折端和北

西东翼,南西翼因断裂破坏出露相对较少,基性火山岩大致围绕火山角砾岩、集块岩分布,火山角砾岩、集块岩集中出现在 I、II、III 号沟交汇处(图 1)。

矿体分布上下存在差异,上部通常为层状、似层状、透镜状,与围岩接触界面清晰,并且产状与围岩基本一致;下部通常为网脉状、浸染状,与围岩分界渐变。矿体顶板具有一层紫红色碧玉岩层。

矿石矿物主要为黄铁矿,次为黄铜矿、闪锌矿、磁铁矿、赤铁矿;脉石矿物主要为石英,次为绿泥石、方解石、黝帘石、绿帘石等。黄铁矿多呈半自形-它形粒状,磁铁矿呈自形-半自形粒状;在矿区的各类矿石中,以半自形-它形粒状结构、莓状结构分布最广,其次为填隙结构、乳油状结构、包含结构。乳油状结构:见有少量黄铜矿呈浮浊状分布于闪锌矿中;填隙结构:黄铜矿、闪锌矿多呈它形填隙于黄铁矿粒间;并见乳状结构:少量黄铜矿呈浮浊状分布于闪锌矿中。

矿区内矿石构造以块状构造为主,其次为角砾状构造、浸染状构造、网脉状构造、浸染状。块状构造:主要由硫化物与少量石英的集合体构成;角砾状构造:由硫化物与少量石英的集合体胶结蚀变基性火山岩角砾构成;网脉状构造:由硫化物充填碧玉岩的网状裂隙构成;网脉浸染状构造:硫化物不仅呈网脉状,而且呈浸染状分布于次生石英岩中。

围岩蚀变以硅化为主,次为绿泥石化和碳酸盐化。矿体顶板存在一定规模的硅化带,硅化与矿物形成关系密切,硅化与绿泥石化较早,而碳酸盐化则较晚。

3.2 东段猪嘴哑吧铜矿床

北祁连山东段塞浦路斯型铜矿床以猪嘴哑吧为典型代表,该矿床行政隶属于甘肃省景泰县,地理坐标为:E103°53'46"~103°54'23";N37°02'30"~37°03'20"。

构造位置为北祁连山东段奥陶纪弧后盆地内,矿区出露地层属老虎山中奥陶统海底火山喷发-碎屑岩沉积建造,构成一连续由熔岩-凝灰岩-正常沉积岩组成的喷发沉积建造系列,分异不明显,岩石均遭受区域浅变质作用,以细碧岩为主,见少量角斑岩、夹板岩、硅质岩及砂、砾岩等。矿区出露的中基性熔岩长夹有浅海相沉积薄层,透镜体。局部地段交错互层,并且平行整合连续;基性熔岩具有明显的枕状构造,枕状长轴为 50~70cm,短轴 30~50cm,底面平整,顶面为遍圆形,内部致密,边部具有杏仁构造(充填为石英、碳酸盐类或绿泥石)。局部地段夹有碧玉岩条带或不规则体;并且矿区两侧出露煌

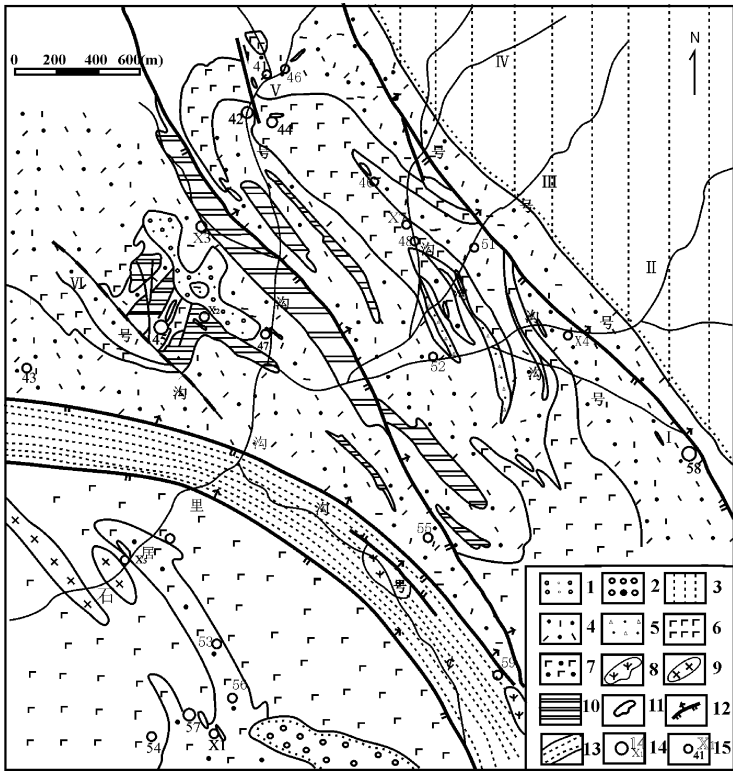


图3 石居里沟矿区构造-岩相及矿化示意图

Fig.3 The sketch of tectonic-lithofacies and mineralization of Shijulin deposit

1-第四纪残坡积;2-泥盆纪砾岩;3-志留纪砂砾岩;4-凝灰质砂岩;5-火山集块、角砾岩;6-基性熔岩;7-凝灰熔岩;8-蛇纹岩;9-辉长岩;10-硅质岩;11-碧玉岩及原生裂隙;12-逆冲断层;13-韧性剪切带;14-铜矿点及编号;15-铜矿化点及编号
1-Quaternary eluvium;2-Devonian conglomerate;3-Silurian conglomerate;4-tuff sandstone;5-volcanic agglomeration breccia rock;6-basic;7-tuff lava;8-serpentinite;9-gabbro;10-chert;11-jasperite and primary opening;12-thrust fault;13-ductile shear zone;14-copper deposit and number;15-copper occurrences sites and number

斑岩脉,中基性熔岩具有钠长石及绿岩化现象,矿区岩石均属细碧角斑岩系。

矿区发现的13个工业矿体,除1、2号矿体地表出露外,其余均隐伏于地下300~500m。矿体均分布于矿区的上部细碧岩层下部似角砾岩状细碧岩中,且多集中于Ⅲ-Ⅷ行内,呈尖灭再现的斜列雁行状排列^①(图4)。

矿体形态为囊状及透镜状,规模不大,长度最大达96m,最小为19m,厚度一般为十几厘米到十几米不等,沿走向及倾向变化较大。矿体与地层产状基本一致,呈10°~20°W走向,倾向SW,倾角较陡,矿体成群出现,向北倾伏,倾伏角为42°。

矿石构造以块状构造为主,其次为浸染状、原生角砾状、条带状及脉状构造等。矿石结构有自形-半自形粒状结构,他形粒状结构,交代参与结构,交代残余结构及压碎结构。一般在矿体上部为含铜锌黄铁矿矿石,下部为含锌黄铁矿矿石,而呈现出一定的矿化分带性。并且在含铜锌黄铁矿矿石的顶部常

有厚度不大的一层磁铁矿矿石。并且矿石上盘浸染范围较小,范围窄,而下盘则浸染范围较大,可达百米范围。

主要矿石矿物为黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿,此外还有赤铁矿、褐铁矿、孔雀石、磁黄铁矿、黝铜矿等。脉石矿物为石英、绿泥石和碳酸盐等。矿石中尚含碧玉岩团块和条带。黄铁矿分布广泛,呈致密状、浸染状和似条带状,在矿石中含量为40%~70%,早期形成的黄铁矿常被黄铜矿、闪锌矿、磁铁矿溶蚀交代。闪锌矿在矿石中含量0.5%~10%,呈他形粒状集合体,充填于黄铁矿裂隙中并交代黄铁矿或熔蚀。黄铜矿在矿石中含量5%~12%,呈他形粒状或脉状嵌入黄铁矿裂隙中并交代黄铁矿或熔蚀结构,与闪锌矿紧密伴生,呈固熔体分离结构。

矿体围岩蚀变不发育,仅局部地方表现为绿泥石化强烈,通常蚀变在矿体下盘出现几十公分厚的绿泥石片岩,呈黑绿色,带油脂光泽。且碳酸盐化发育,交织呈网状脉。

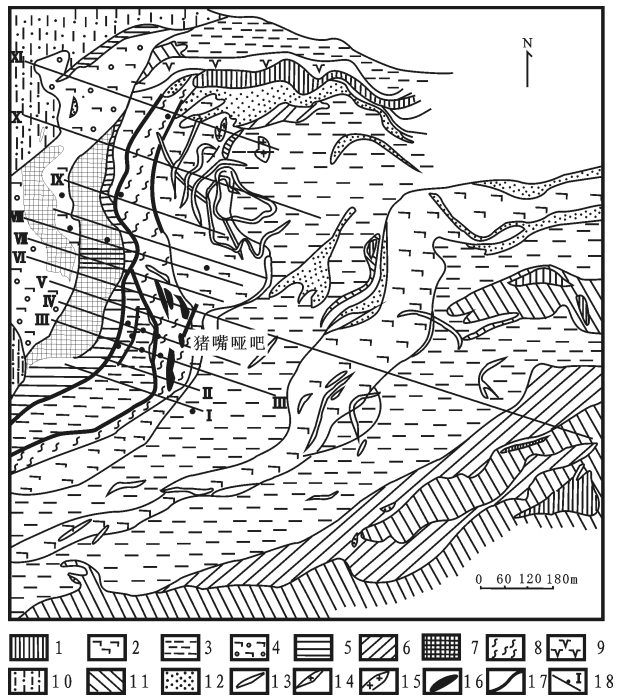


图 4 甘肃省景泰县猪嘴哑吧铜矿区地质略图

Fig. 4 The geological sketch of Zhuzuiyaba copper deposit of Jingtai county, Gansu province

1-细碧岩;2-枕状细碧岩;3-块状细碧岩;4-杏仁状细碧岩;5-紫色细碧岩;6-含角砾细碧岩;7-细碧玢岩;8-似角砾岩化、绿泥石化、铁染细碧岩;9-角斑岩;10-斜长绿泥(阳起)片岩;11-板岩;12-板岩夹硅质岩、砾岩;13-煌斑岩;14-花岗岩脉;15-花岗闪长岩脉;16-铁帽;17-断层;18-勘探线及钻孔

1-spilite;2-pillow spilite;3-massive spilite;4-amygdaloidal spilite;5-purple spilite;6-breccia-containing spilite;7-spilite-porphyrityte;8-brec-cia, chlorite, iron stained spilite;9-ceratophyte;10-plagioclase-chlorite (actinolite) schist; 11-slate; 12-slte-silicon-conglomerate; 13-lampro-phyre;14-granite vein;15-granodiorite vein;16-gossan;17-fault; 18-exploration line and drilling hole

3.3 矿床地质特征对比

通过对比发现(表 1),北祁连东西段塞浦路斯型铜矿床的容矿围岩、矿体形态、成矿元素含量及围岩蚀变都存在许多异同点。

石居里、猪嘴哑吧矿床均产于弧后盆地扩张脊环境蛇绿岩套的枕状玄武岩中。矿床成带、成群产出,并呈带状延伸展布。矿体规模不大,成群出

现;盲矿体较多;矿体分布上下差异:上部通常为层状、似层状、透镜状,与围岩接触界面清晰,并且产状与围岩基本一致;下部通常为网脉状、浸染状,与围岩分界不明显。金属矿物呈分层现象,Zn 含量与矿体延伸深度成正相关,矿石多为黄铁矿-黄铜矿矿石组合,富铜、钴,而缺少铅;以块状矿石为主,品位较高,浸染状矿体品位低于块状矿石。并且各矿点均富含金、银,微量元素富集。两段矿区围岩蚀变普遍发育,主要为绿泥石化、碳酸盐化。

石居里、猪嘴哑吧矿床均产于弧后盆地扩张脊环境蛇绿岩套的枕状玄武岩中,西段石居里成矿环境受火山机构作用影响明显大于东段的猪嘴哑吧;矿体上部通常为层状、似层状、透镜状,下部通常为网脉状、浸染状,但东段猪嘴哑吧矿体上层为薄磁铁矿层,再为块状矿体,其次为浸染状矿体。Zn 含量与矿体延伸深度成正相关,相比之下东部猪嘴哑吧较西部石居里矿床更为明显。东西两段矿点均富含金、银,微量元素富集。相比之下,东段矿床比西段更富 Zn,并且 As、S 含量高于西段。

4 矿床地球化学特征

通过对北祁连弧后盆地塞浦路斯型铜矿床矿石进行的 S、Pb 同位素进行了测试,其中硫同位素 6 件、铅同位素 5 件,测试工作由中南矿产资源监察监督检测中心测试完成。同时,本文还对区内奥陶纪弧后盆地塞浦路斯床矿石中流体包裹体进行了成分测定工作,测定工作是在中国地质调查局西安地质调查中心测试中心完成的。据此,对北祁连山弧后盆地塞浦路斯型铜矿地球化学特征讨论如下。

4.1 Pb、S 稳定同位素特征

4.1.1 Pb 同位素特征

西段石居里铅同位组成(表 2)显示:黄铜矿和黄铁矿单矿物铅均属正常铅,同位素组成变化范围小,206Pb/204Pb: 17.355 ~ 18.068 之间,207Pb/204Pb: 15.383 ~ 15.573,208Pb/204Pb: 36.993 ~ 38.092。

表 1 东西段矿床特征对比表					
Table 1 The character contrast for the west and east deposits					
位置	名称	围岩	矿体形态和产状	矿石类型	主要金属硫化物
中西段	石居里沟 VI 号沟	玄武岩	柱状、似透镜状	致密块状矿石、浸染状矿石、角砾状矿石	黄铜矿、闪锌矿、磁铁矿、赤铁矿
东段	猪嘴哑吧	细碧熔岩	似层状、透镜状	块状矿石、浸染状矿石、条带状矿石	黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、赤铁矿、褐铁矿、孔雀石、磁铁矿、黝铜矿

表 2 各矿区 Pb 同位素数据

Table 2 The composition of lead isotopes in these deposits

产地	样号	名称	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	模式年龄 (Ma)	φ	ω	Th/U
石居里 VI号沟	S ₆ PD1B05	黄铁矿	17.54	15.428	37.167	589	0.623	9.23	3.6
	S ₆ PD1B05	黄铜矿	17.585	15.417	37.094	546	0.619	9.2	3.54
	S ₆ PD1B08	黄铁矿	17.499	15.405	37.11	595	0.624	9.19	3.59
	S ₆ PD1B08	黄铜矿	17.706	15.44	37.358	485	0.613	9.23	3.6
	S ₈ PD1B04	黄铁矿	17.814	15.498	37.602	476	0.612	9.33	3.67
石居里 VIII号沟	S ₈ PD1B04	黄铜矿	17.502	15.41	37.081	599	0.624	9.2	3.58
	S ₈ PD1B02	黄铁矿	18.068	15.573	38.092	382	0.603	9.45	3.76
	S ₈ PD1B02	黄铜矿	17.355	15.383	36.993	674	0.632	9.17	3.61
	ZZD-02/1TW	黄铁矿	17.412	15.386	37.155	636	0.628	9.16	3.66
	ZZD-02/5TW	黄铁矿	17.586	15.463	37.478	599	0.624	9.29	3.73
猪嘴 哑巴	ZZD-02/7TW	黄铁矿	17.467	15.411	37.214	625	0.627	9.21	3.66
	ZZD-04/1TW	黄铁矿	17.467	15.498	37.752	455	0.61	9.39	3.93
	ZZD-06/1TW	黄铁矿	17.782	15.467	37.671	462	0.61	9.27	3.71

石居里样品由宜昌地质矿产研究所测试, 邬介人送样 2000; 猪嘴哑吧数据由中南矿产资源监察监督检测中心测试, 2006。

对比研究表明铅来源单一, 在铅构造模式图上样品投点主要集中于造山带与地幔区, 认为黄铁矿、黄铜矿中铅主要来自于深部, 从而认为成矿金属可能来自深部幔源 (图 5)。

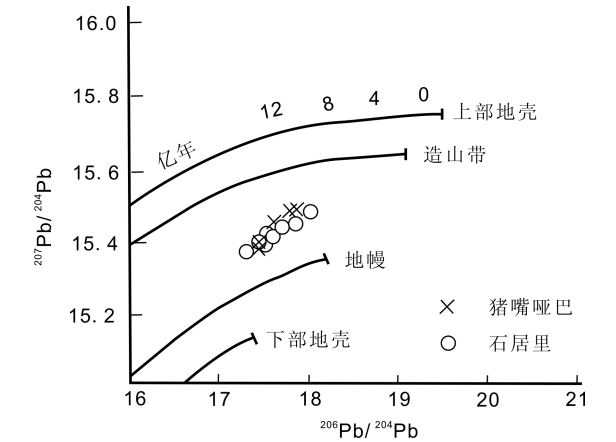


图 5 北祁连塞浦路斯型铜矿床铅同位素构造环境图

Fig. 5 Lead isotope tectonic setting diagram of Cyprus type deposit in north Qilian mountain

4.1.2 S 同位素特征

西段石居里铜矿区黄铜矿、黄铁矿硫同位素测定数据 (图 6、表 3), $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围为 +4.95‰ ~ +8.88‰, 平均为 6.69‰, 而奥陶纪海水硫酸盐 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 +27.5‰, 地幔硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 为 +1.3‰ 左右, 陨石硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 为 -0.4‰ ~ +1.7‰ (Sangster, 1976), 从而认为该区流体表现出有海水硫酸盐还原的趋势, 因此可能为海水中硫酸盐还原硫和玄武岩中幔源硫两端元不同比例混合特点。

而对于东段猪嘴哑巴矿区及银洞沟矿区 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围为 -1.55‰ ~ +5.22‰ (表 3、图 6), 猪嘴哑

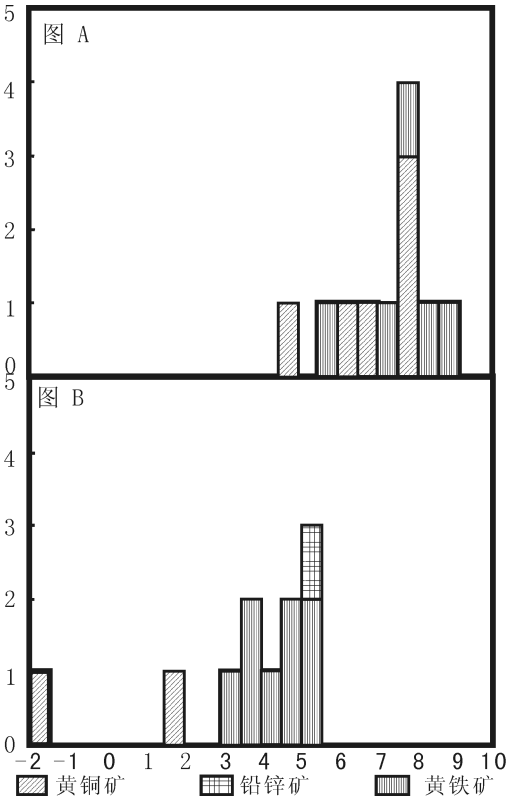


图 6 北祁连塞浦路斯型铜矿床硫同位素直方图

Fig. 6 Sulfur isotope histogram of Cyprus type deposit in north Qilian mountain

A-石居里矿区; B-猪嘴哑吧矿区

A-Shijuli deposit; B-Zhuzuiyaba deposit

吧 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值为 3.63‰, 银洞沟 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值为 2.45‰。比起西段稍有偏小, 可能表现为海水中硫酸盐和玄武岩中硫酸盐混合沉淀结果, 但是猪嘴哑巴矿区比西段石居里矿区相比, 海水硫酸盐混和程

度略低,主要为幔源物质,可能显示其成矿物质来源深度深于西段。

表 3 矿区硫同位素数据

Table 3 The composition of sulfur isotope in these deposits

产地	样品编号	样号	矿物	$\delta^{34}S‰$
石居里 Ⅵ号沟	1	73116	黄铜矿	6.30
	2	73116	黄铁矿	5.60
	3	S6PD1B05	黄铁矿	8.09
	4	S6PD1B05	黄铜矿	7.93
	5	S6PD1B08	黄铁矿	7.90
	6	S6PD1B08	黄铜矿	7.94
	7	S6PD1B08	黄铜矿	7.61
	8	S8PD1B04	黄铁矿	7.47
石居里 Ⅷ号沟	9	S8PD1B04	黄铜矿	6.92
	10	S8PD1B02	黄铁矿	8.88
	11	S8PD1B02	黄铜矿	4.95
	12	90Z01	块状黄铜矿矿石	-1.55
猪嘴 哑吧	13	90Z02	块状黄铜矿矿石	1.56
	14	90Z03	含黄铁矿石英脉	5.39
	15	90Z04	条带状黄铁矿矿石	3.18
	16	90Z05	角砾状铅锌矿石	5.22
	17	ZZD02/1TW	黄铁矿	5.00
	18	ZZD02/1TW		4.79
	19	ZZD02/5TW		4.91
	20	ZZD02/7TW		4.14
	21	ZZD04/1TW		3.61
	22	ZZD06/1TW		3.66
银硐沟	23	90Y01	块状黄铁矿矿石	2.98
	24	90Y02	块状黄铜矿	1.13
	25		黄铁矿矿石	
	26	90Y03	块状黄铜矿	3.24
	27		黄铁矿矿石	

3-16,23-27 据①,1992;17-22 由中南矿产资源监察监督检测中心测试,2006。

4.2 流体包裹体特征对比

西段石居里矿床流体包裹体成分分析结果, 气相中 H₂O 的含量较大(表 4), 最高可达 1885 × 10⁻⁶; CO₂ 含量为: 9.6% ~ 17.21%; 液相成分以 H₂O 为主, 阴离子以 SO₄²⁻ 和 Cl⁻ 为主, 并且 SO₄²⁻ > Cl⁻, 反映了海水特征。

东段猪嘴哑吧矿区流体包裹体成分分析显示气相成分多于液相(表 5), 气相成分中以 CO 为主, 36% ~ 65.7%, 次之为 CO₂, 22% ~ 57.7%, 并含有

H₂S 气体及 H₂、N₂, 都为还原性气体。液体成分主要为 H₂O, 91.2% ~ 69%, 并含有 CO₂、H₂S、CH₄ 及少量 SO₂ 气体, 液相成分中阴离子以 HS⁻、Cl⁻ 和 HCO³⁻ 为主。F⁻/Cl⁻ 值远小于 1, 显示为火山热液流体。

由于 CO₂ 含量在低温阶段含量较高, 变换较大, 而在高温阶段含量较低, 变化范围较小, 并且矿物包裹体中 CO₂ 含量随着深度加大而降低。东段猪嘴哑吧与西段石居里相比, 东段包裹体中气相成分之中 CO₂ 含量高于西段(表 3)。该区流体包裹体研究, 显示该区成矿流体为火山热液流体与海水混合特征, 并且成矿具有层状矿体的一些流体特征(Na⁺/K⁺ 大于 1)。

石居里矿区流体包裹体温度为 240℃ ~ 320℃; 猪嘴哑吧及其临近的银硐沟和卫昌沟流体包裹体温度为 230℃ ~ 389℃。矿床成矿温度均为中低温。

综上, 通过该区流体包裹体成分和温度分析, 认为石居里矿床和猪嘴哑吧矿床均为中低温成因的热液型矿床, 两者段相比, 西段石居里流体受海水影响作用大于东段猪嘴哑吧, 并且成矿深度可能浅于猪嘴哑吧。

5 讨论与结论

石居里矿床和猪嘴哑吧矿床均产出于北祁连山弧后盆地的蛇绿岩中。对于石居里矿床赋矿的蛇绿岩, 出现较多的火山碎屑岩和陆源碎屑岩, 反映了特定的次生洋壳环境和靠近大陆有较多陆源物质供给的特点。而对于东段老虎山蛇绿岩顶部陆源碎屑物质明显多于中西段的石居里沟, 其弧后盆地靠近大陆一侧拉张成盆; 并且中西段弧后盆地具扩张脊火山作用, 后期可能转化为多中心式火山喷发的特点。

东西两段矿体形态存在共同点, 但两段差异明显, 西段石居里成矿环境受火山机构作用影响明显大于东段的猪嘴哑吧; 矿体上部为碧玉岩, 然后为层状、似层状、透镜状、网脉状、浸染状矿体, 东段猪嘴哑吧矿体上层为薄磁铁矿层, 再为块状矿体、浸染状矿体; 东部猪嘴哑吧较西部石居里矿床 Zn 含量与

表 4 石居里包裹体成分表

Table 4 The composition of fluid inclusion in Shijuli

样号	产地	包裹体成分分析												
		气相成分(ωB/10 ⁻⁶)					液相成分(mg/g 包裹体水)							
		H ₂ O	CO ₂	H ₂	N ₂	CH ₄	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
73111	Ⅷ号沟	997.38	9.6	0.04	1.42	0	0	2.57	0	8.57	0.97	2.1	0.66	0.34
73118	Ⅵ号沟	1144.5	17.21	0.04	3.06	0	0.03	1.66	0.23	0.53	0.09	0.44	0	0

注: 据夏林圻, 1998。

表 5 猪嘴哑吧包裹体成分表

Table 5 The composition of fluid inclusion in Zhuzuiyaba

样号	包裹体成分分析													
	气相成分% *					液相成分% *					液相成分盐水溶液(mol/L)			
	CO ₂	H ₂ S	H ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ S	CH ₄	SO ₂	H ₂ O	HS ⁻	Cl ⁻	CO ³⁺	HCO ³⁻
ZZD-02/4B	34. 1	5. 9	—	7. 8	52	13. 5	3	—	—	83. 5	—	—	0. 2	—
ZZD-02/6B	57. 7	—	—	6. 3	36	22. 9	—	8. 1	—	69	1. 2	—	—	0. 9
ZZD-02/4B	46. 9	—	—	—	53. 1	19. 6	—	5. 4	2. 3	72. 7	—	—	—	0. 3
ZZD-02/4B	22	5. 9	6. 4	—	65. 7	7. 6	1. 2	—	—	91. 2	1. 4	3. 4	—	1. 8

注: * 摩尔数的相对百分含量;—为未检测到值;由西安地质矿产研究所测试,2006。

矿体延伸深度正相关更为明显。东段矿床比西段更富 Zn,并且 As、S 含量高于西段。

通过对北祁连塞浦路斯型铜矿矿床稳定同位素研究表明,西段石居里铜矿区黄铜矿、黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围为 +4.95‰ ~ +8.88‰,平均值为 6.69‰,东段猪嘴哑吧矿区 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围为 -1.55‰ ~ +5.22‰,东段比起西段稍有偏小,表现为海水中硫酸盐和玄武岩中硫酸盐混合沉淀结果,东段比西段混合程度低,海水混入程度比西段低,S 主要为幔源物质。黄铜矿和黄铁矿单矿物铅均属正常铅,东西段 Pb 同位素组成变化范围小, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$: 17.355 ~ 18.068 之间, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$: 15.383 ~ 15.573, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$: 36.993 ~ 38.092。都落入造山带与地幔区,说明成矿金属可能来自深部幔源。

根据对研究区流体包裹体的研究,西段石居里流体包裹体气相中 H₂O 的含量较大,最高可达 1885×10⁻⁶;CO₂ 含量为:9.6% ~ 17.21%;并且液相成分以 H₂O 为主,阴离子以 SO₄²⁻ 和 Cl⁻ 为主,并且 SO₄²⁻ > Cl⁻;东段猪嘴哑吧矿区流体包裹体气相成分中以 CO 为主,36% ~ 65.7%,次之为 CO₂,22% ~ 57.7%,并含有 H₂S 气体及 H₂、N₂,都为还原性气体。液体成分主要为 H₂O,91.2% ~ 69%,并含有 CO₂、H₂S、CH₄ 及少量 SO₂ 气体,液相成分中阴离子以 HS⁻、Cl⁻ 和 HCO³⁻ 为主。F⁻/Cl⁻ 值远 < 1,两段流体包裹体成分显示西段石居里以海水成因为主,而东段猪嘴哑吧则为火山热液流体成因。并且两段成矿温度均为中低温。

北祁连奥陶纪塞浦路斯型铜矿床均产出弧后盆地的蛇绿岩中,石居里矿床赋存的带蛇绿岩生成环境为近弧的弧后盆地扩张脊环境,猪嘴哑吧矿床赋存的蛇绿岩生成环境为近陆的弧后盆地扩张脊环境。成矿特征均为典型的塞浦路斯型矿床,但矿体特征和元素富集各有差异。成矿流体为岩浆热液与

海水混合,海水混入程度东段比西段低。硫为海水中硫酸盐和玄武岩中硫酸盐混合沉淀结果,但是东段比西段混合程度低,海水混入程度低,主要为幔源物质,可能说明成矿物质来源深度深于西段。矿石中金属物质多来自深部幔源,成矿温度为中低温。

[注释]

① 西安地质矿产研究所,白银有色地质队. 1992. 祁连山东段块状硫化物矿床区域成矿规律与找矿预测

[References]

Becker K, Von Herzen R P. 1996. Pre-drilling observations of conductive flow heat flow at the TAG active mound using Alvin. In: Proceeding of ODP[J]. Initial Reports, 158;College Station, TX;23-29

Franklin,J. M. , Lydon,J. W. ,Sangster D. F. 1981. Volcanogenic massive sulphide deposits[J]. Econ. Geol. 75thAnniv. Vol,pp:485-627

Feng yi-min, He shi-ping. 1996. Tectonics and orogenics of Qilian mountain[M]. Beijing. Geology Publishing House;37-109

Gu lian-xing, Zheng su-juan. 1989. A review on the study of massive sulfide deposits[J]. Geology Science and Geology Information. 1989. (2) :67-73

Gu lian-xing. 1999. Advances in Research on Massive Sulfide Deposits; A Review[J]. Geology Review;(3)265-271

Hhuang ji-qing. 1984. The study of tectonic character of china[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences,(9) :5-18

Hutchinson. R. W. 1980 . The contrast of Cyprus strata-bound pyrite ore and other sulfide ore[A]. Foreign pyrite type copper deposit[C]. geology information institute;13-28

Hutchinson R. W. 1984. Massive sulphide deposits and their significance to other ores[A]. Paper for fifth regional congress on geology, mineral and energy resources of southeast Asia[C]. Information Institute of Geological Ministry;22-27

Li wen-yuan,Zhao dong-hong, Song zhon-gbao, Li jin-shan, Zhang jiang-hua, Wang wei, Guo zhou-ping. 2006. The exploration methode and the character of cyprus type deposit in north Qilian mountain [M]. Xi 'an, Shaanxi tectonic Publishing House;5-64

Lydon J w. 1984. Some observations on the mineralogical and chemical zonation patterns of volcanogenic sulphide deposits of Cyprus[J].

Paper Geological Survey of Canada;84-1A: 611-616

Ohmton H. 1983. Stable isotope geochemistry of ore deposits[J]. Review of Mineralogy,16:491-560

Rye R O, Roberts R J, Snyder W S. 1984. Textural and stable isotope studies of the Big Mike cuperiferous volcanogenic massive sulfide deposits Pershing County, Nevada. [J]. Economic Geology,79:124-140

Sangster D F ,Scott S D. 1976. Precambrian statabound, massive Cu-Zn -Pb sulfide deposits of North America [M]. In: Wolf K A eds. Handbook of Strata - Bound and Stratiform Ore Deposits. Amsterdam;Elsevier;129-222

Sawkins F J. 1990. Integrated tectonic-genetic model for volcanic-hosted massive sulfide deposits[J]. Geology,18: 1061-1064

Sawkins F J. 1968. Intergrated tectonic-genetic model for volcanic hosted massive sulfide deposits[J]. Geological Association of Canada Proceedings,17:79-91

Spooner E T C. 1977. hydrokinetics model of pyrite deposite including copper in cyprus ophiolite. Volcanic mineralization [M]. Geological Publishing House;3-27

Xiang ding-pu, Dai tian-fu. 1985. Regional metallogenic characteristics of the volcanogenics of the volcanogenic sulfied deposite in northern Qilian mountain[J]. Mineral Deposite,4(1):64-72

Xia lin-qi, Xia zu-chun, Ren you-xiang, Zuo guo-chao, Qiu jia-xiang. 1998. Qilian mountain and the adjacent area volcanic and mineralization [M]. Geology Publishing House;1-240

Yang K H and Scott S D. 2002. Magmatic degassing of volatiles and ore metals into a hydrothermal system on the modern sea floor of the eastern Manus back - arc basin, western Pacific[J]: Economic Geology,97: 1079-1100

Yang he - qun, Song zhong - bao, Wang xing - an. 2002. The characteristics, mineralization and prospecting indi-cations of Cyprus-type copper deposits in mid-west section of the North Qilian mountains [J]. China . Northwestern Geology,5(4): 65-85

Yang he - qun, Li wen - yuan, Zhao dong - hong. 2000. Metallogenic feature of shijuligou copper deposits in northern Qilian mountain [J]. Geology and Exploration,36(6):20-31

[附中文参考文献]

哈钦森 . R. W. , D. L. 塞尔 . 1980. 塞浦路斯层控黄铁矿矿石以及与其它硫化物矿床对比 [A]. 国外黄铁矿型铜矿 [C]. 地质部情报研究所;13-28

黄汲清 . 1984. 中国大地构造特征的新研究 [J]. 中国地质科学院院报, (9):5-18

李文渊, 赵东宏, 宋忠宝, 李金善, 张江华, 王伟, 郭周平 . 2006. 北祁连山塞浦路斯型铜矿床特征及勘查方法 [M]. 西安, 陕西科技出版社;5-64

顾连兴, 1999. 块状硫化物研究进展评述 [J]. 地质论评, (3) 265-271

顾连兴, 郑素娟 . 1989. 块状硫化物矿床的研究现状 [J]. 地质科技情报, (2):67-73

冯益民, 何世平 . 1996. 祁连大地构造与造山作用 [M]. 北京: 地质出版社;37-109

Spooner E T C. 1977. 塞浦路斯蛇绿岩含铜黄铁矿矿床的流体动力学模式 . 火山成矿作用 [M]. 地质出版社;3-27

杨合群, 李文渊, 赵东宏 . 2000. 北祁连山石居里沟富铜矿床成矿特征 [J]. 地质与勘探, 36(6):20-31

杨合群, 宋忠宝, 王兴安 . 2002. 北祁连山中西段塞浦路斯型铜矿特征, 成矿作用及找标志 [J]. 西北地质, 5(4): 65-85

夏林圻, 夏祖春, 任有祥, 左国朝, 邱家骧 . 1998. 祁连山及邻区火山作用与成矿 [M]. 北京: 地质出版社;1-240

向鼎璞, 戴天富 . 1985. 北祁连山火山成因块状硫化物矿床区域成矿特征 [J]. 矿床地质, 4(1):64-72

A Contrastive Study on the Geological and Geochemical Characteristics of Cyprus-type Copper Deposits in North Qilian Mountain, China

GUO Zhou-ping, LI Wen-yuan, JIA Qun-zi, GAO Yong-bao
(Xi'an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an, Shanxi, China 710054)

Abstract: Shijuli its and Zhuzuiyaba copper deposits, as the key Cyprus type deposits, lie in the ophiolite of north Qilian Mountain. Shijuli copper deposits lie in the ophiolite, near to the arc of the back-arc basin expand system while the Zhuzuiyaba deposit lies in the ophiolite, near to the land of the back-arc basin expand system. The difference of ore body and metal element concentration between east and west Cyprus type deposits in North Qilian mountain is caused by the tectonic discrepancy. The ore bodies of west deposits take a column and lens look, but the most of east ore bodies look like lens. After contrasting isotopes, east deposits have more zinc and sulfur. $\delta^{34}\text{S}$ of chalcopyrite and pyrite in Shijuli copper deposits is 6.69‰ in average, and in Zhuzuiyaba is 3.63‰, which indicates that sulfur are from seawater and basalt, although the east deposits sulfur blended degree lower than the west deposits. The ratio values of $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ to 36.993% - 38.092%, of $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ equal to 15.383% - 15.573% and $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ to 17.355% - 18.068% indicate that Pb comes from earth's mantle. The temperature of mineralization varies from 230℃ to 389℃, a low-middle temperature. The composition analysis of fluid inclusion indicate that the fluid of Shijuli copper deposits comes from seawater and that of Zhuzuiyaba copper deposits come from volcanic.

Key words: Cyprus type copper deposits, backarc basin, geological, geochemical, North Qilian mountain