

文章编号:0258-7106(2005)06-0575-09

柴北缘地区的两类块状硫化物矿床*

——II. 青龙滩式 VHMS 型 Cu-S 矿床

张德全¹, 党兴彦², 李大新¹, 丰成友¹, 余宏全¹, 李进文¹

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 青海省地质调查院, 青海 西宁 810012)

摘要 文章综述了柴北缘地区的 VHMS 型 Cu-S 矿床——青龙滩式矿床, 指出其容矿岩石为加里东造山带中被改造过的岛弧火山岩, 该矿床中含铜硫化物矿层形成后不但遭受过构造的强烈改造, 而且也受后期矽卡岩化的改造和叠加。放射性同位素测年结果表明, 青龙滩矿床的主岩——安山岩形成于晚寒武世(514.2 ± 8.5) Ma, 后期的矽卡岩矿化大约发生在 290 Ma。柴北缘加里东造山带中既产有 VHMS 型 Cu-S 矿床(如青龙滩矿床), 也产有 SEDEX 型 Pb-Zn 矿床(如锡铁山矿床), 两者的成矿地质构造背景和形成年龄不相同。柴北缘地区的早古生代洋(海)盆于晚寒武世俯冲消减, 出现岛弧, 并形成青龙滩等 VHMS 型 Cu-S 矿床, 之后(早奥陶世), 发生弧后拉张, 形成弧后盆地及锡铁山等 SEDEX 型铅锌矿床。

关键词 地质学; VHMS 型 Cu-S 矿床; 青龙滩式; 柴北缘

中图分类号: P618.41

文献标识码: A

柴北缘是中国西部重要的铅锌铜成矿带之一, 块状硫化物矿床是该成矿带中铅-锌-铜矿的主要矿床类型, 而早古生代滩间山群火山-沉积岩系则是柴北缘地区这类同生矿床最主要的含矿岩系。根据含矿岩系的岩石学, 产于滩间山群中的块状硫化物矿床可以分为 2 个不同的类型: 以沉积岩为容矿岩石的喷流沉积矿床(SEDEX)和以火山岩为容矿岩石的块状硫化物矿床(VHMS)。其中, 前者以锡铁山 Pb-Zn 矿床为代表, 后者以青龙滩 Cu-S 矿床为典型。笔者已经总结并报道了锡铁山式铅锌矿床的地质特征(张德全等, 2005), 本文则以青龙滩 Cu-S 矿床为例, 综述该区的 VHMS 型矿床。对比认为, 本区的 VHMS 型矿床形成于岛弧环境, 而 SEDEX 型矿床是弧后盆地环境下的产物。

1 青龙滩式 VHMS 型 Cu-S 矿床简介

柴北缘地区已发现多处 VHMS 型铜矿, 它们均产于滩间山群火山岩中, 由于勘查程度低, 因此已控制的资源量都不大, 青龙滩含铜黄铁矿矿床就是其

中之一。该矿床位于海西州大柴旦西北约 80 km 的戈壁滩上, 产于柴北缘加里东造山带西段早古生代火山-沉积盆地的火山岩穹内, 是原青海省地质矿产局于 20 世纪 70 年代末检查航磁异常过程中发现的隐伏矿床, 初步探明的资源量为: 硫铁矿石约 400 万吨, Cu 1.3 万吨, 矿石伴生 Au 品位 0.1 ~ 0.3 g/t。

2 含矿岩系及主岩

青龙滩含铜黄铁矿矿床的含矿岩系为早古生代“滩间山群”火山-沉积岩系, 其已变质为绿片岩相的岩石。之所以在滩间山群上加引号, 是因为该矿区的“滩间山群”与锡铁山矿区的滩间山群差别较大(详见后述)。

青龙滩矿区的“滩间山群”自下而上分为 2 个岩组:

(1) 下部变沉积岩组。该岩组出露于矿区的东部。是一套低变质的泥质粉砂岩、沉凝灰岩及碳酸盐岩等。自下而上依次为含碳质石英绿泥绢云千枚岩(120 m); 主要由沉凝灰岩变质而成的钙质绿泥片

* 本文得到国家科技攻关计划(2003BA612A-07)和国家自然科学基金(40372051)的联合资助

第一作者简介 张德全, 男, 1946 年生, 研究员, 博士生导师, 从事矿床地质-地球化学研究。通讯地址: 北京市百万庄路 26 号中国地质科学院矿产资源研究所。

收稿日期 2005-03-22; 改回日期 2005-04-29。李岩编辑。

岩及阳起石片岩、阳起绿泥片岩及薄层结晶灰岩等(250 m);硅质白云岩(37 m);钙质绿泥片岩(45 m);薄层结晶灰岩(5 m);石英砂岩夹长石杂砂岩及千枚岩(5 m)和薄层结晶灰岩(110 m)。加里东期超镁铁质(变辉橄岩)-镁铁质(变辉长岩)岩呈层状岩体顺层侵入,是引起该矿区磁异常的主要原因(青海省地质矿产局,1991)。绿梁山一带与此类似的辉长岩中锆石的 U-Pb 年龄为(496.3 ± 6.2) Ma(王惠初等,2003)。该岩组以缺失火山岩与锡铁山矿区滩间山群下部火山-沉积岩组相区别,以泥质粉砂岩、沉凝灰岩、碳酸盐岩组合以及不含铅锌的硫化物矿层与锡铁山矿区滩间山群下部火山-沉积岩组上岩段(变沉积岩段)的灰黑色碳硅泥质岩石及碳酸盐岩互层沉积相区别,更以泥质粉砂岩、沉凝灰岩及碳酸盐岩组合与锡铁山矿区滩间山群中部紫红色砂(砾)岩组完全不同。

(2) 上部火山岩组。广布于矿区西侧,地层走向 NNW,向 SW 陡倾(倾角 70 ~ 80°)。为一套浅变质的安山质火山岩夹硅质岩、砂岩、大理岩及少量玄武岩,其中安山质火山岩是矿区的容矿围岩。该组地层在矿区的北西部发生局部倒转。岩石片理产状与地层产状近于一致。史仁灯等(2004)在矿区旁侧的结绿素测得同样的安山岩中锆石 U-Pb 年龄(LA-ICP-MS 法)为(514.2 ± 8.5) Ma。在矿区及其附近,该火山岩构成一沿 NW 向拉长的火山岩穹。在安山岩和安山质凝灰岩界面附近,有多个含铜黄铁矿矿层大致顺层产出:①蚀变火山岩包括蚀变安山岩及安山质凝灰岩、英安质凝灰岩及英安岩。岩石均已发生程度不同的绿帘石化、绿泥石化、硅化、绢云母化等。是含铜黄铁矿矿体的主岩。根据钻孔控制结果,蚀变安山岩及其夹层的总厚度大于 200 m。②化学沉积岩包括特征的含铁硅质岩(铁碧玉岩)以及硅质岩和硬石膏层,它们作为夹层产在安山质岩层内,是火山喷气沉积作用的标志。③玄武岩主要分布于矿区北西部地表基岩出露地段,与火山角砾岩共生,是火山岩穹的核心部位。

该岩组以中性火山岩为主并含较多凝灰岩,以此区别于锡铁山矿区滩间山群下部的中-基性火山岩组或上部中-基性火山-沉积岩组。矿床主岩——安山岩中锆石 U-Pb 年龄为(514.2 ± 8.5) Ma,大于侵入于其中的辉长岩的 U-Pb 年龄(496.3 ± 6.2)

Ma。测年结果显示,青龙滩矿区“滩间山群”比锡铁山矿区滩间山群[(486 ± 13) Ma]约早 28 Ma,前者形成于晚寒武世岛弧环境,后者形成于早奥陶世弧后盆地环境[●]。

3 矿区构造及变形作用

与锡铁山矿床一样,青龙滩矿区发育 NNW 向冲断裂及韧性-脆性变形构造,但由于该矿床大部分被第四纪冲积物覆盖,因而有关构造的几何学和运动学特点尚无法详细剖析。

规模较大的 NNW 向断裂主要有 2 条,其中一条位于矿区中西部“滩间山群”下部变沉积岩组中,大致沿地层层面分布,加里东期超镁铁质(变辉橄岩)-镁铁质(变辉长岩)岩体沿其产出,多处显示层状岩体与地层之间的断裂接触关系。该断裂通常被短小的 NEE 向断裂切割,这些 NEE 向断裂虽然断距不大,但大多显示出右旋滑动特征,仅局部具有左旋滑动的特征,从而间接指示矿区“滩间山群”在后期造山过程中经历了非常复杂的构造过程。另一条 NNW 向断裂构造带产于上部火山岩组内,隐伏于矿区中部,其中发育韧性和脆性变形构造,构造透镜体和构造角砾岩等,与矿体及其蚀变带的位置大体一致,其主体即为本矿区的含矿蚀变带和斑岩岩墙群。该断裂构造带具缓的反“S”型波状特点,大多顺层或局部穿切地层,倾向 SW,倾角 70 ~ 80°左右,北侧发生倒转,倾向 NE,倾角 60 ~ 80°左右,显示了左旋斜冲的运动学特点。断裂转弯部位是矿化富集地段,表明它与成矿作用关系密切。

4 侵入岩

矿区发育 2 类侵入岩,即加里东期超镁铁质(变辉橄岩)-镁铁质(变辉长岩)岩和晚华力西期中酸性侵入岩。加里东期侵入体呈层状岩体顺层产于下部变沉积岩中,包括变橄辉岩或变辉橄岩、变角闪辉长岩等,岩体长达 1 500 m,厚度变化于 10 ~ 60 m 之间,与围岩产状基本一致,其与围岩之间大多呈断层接触,局部显示为侵入接触关系。岩石蛇纹石化、碳酸盐化、绿泥石化、钠长石化、绿帘石化强烈,含少量磁铁矿、偶见铬尖晶石及赤铁矿,是引起矿区磁异常

● 张德全,等. 柴北缘地区滩间山群的构造属性及其对块状硫化物矿床的控制. 待刊.

的主要原因。此外,还有少量加里东期石英闪长玢岩岩墙顺层侵入于上部火山岩组的中酸性火山岩中,这些岩墙局部与“滩间山群”中酸性火山岩之间具渐变关系。

晚华力西期中酸性侵入岩主要是斜长花岗斑岩,它呈不规则脉状大致顺层侵入于上部火山岩组内,广泛分布于矿化带周围及矿区西南部。地表见到的最大岩脉长 380 m,最大厚度 40 m。大多数岩脉长 20~100 m,宽 3~10 m。岩石具显微斑状结构,斑晶为斜长石(大多钠长石化和绢云母化)、石英和少量钾长石。矿体附近的斜长花岗斑岩斑晶含量低,斑晶矿物粒径小,远离矿体的斜长花岗斑岩石英斑晶粗大(粒径一般 3 mm,最大者达 8 mm)。矿体附近的斜长花岗斑岩一般劈理较发育,褪色呈灰绿色或灰白色,大多数斜长花岗斑岩蚀变强烈,尤以绢云母化、硅化最为突出,其次为钠长石化、碳酸盐化和绿泥石化。在矿体群范围内的斜长花岗斑岩两侧发育矽卡岩,并形成了矽卡岩型含铜黄铁矿矿体。已获得蚀变较弱的斜长花岗斑岩的全岩 K-Ar 年龄为 290 Ma^①。

5 矿床地质

在矿区中部的“滩间山群”上部火山岩组中,普遍发育顺层分布的浸染状、纹层状、条带状或块状黄铁矿化,钻孔控制的矿化较强部分(地表覆盖范围广、厚度大)位于矿区中部约 1 km 长、100 m 宽的 NNW 向带中,该带内已圈定的 20 多个矿体,均呈似层状、透镜状或分枝脉状体,它们在空间上平行斜列和分枝复合,构成了 4 个大致平行的矿体群,由北东向南西依次编号为 III、II、I 和 IV 号(图 1)。单个矿体或矿体群之间的水平间隔在 5~30 m,最小者仅 2.5 m,最大者 50 m。矿体群产状与地层片理(与面理一致)产状基本一致,走向上呈 NNW 向舒缓的反 S 型展布,南东段走向 300~305°,北西段转为 330~335°;倾向 SW,北西端倒转为倾向 NE,倾角 79~83°。矿带内岩石普遍蚀变,且有斜长花岗斑岩及石英闪长玢岩产出(图 2)。在斜长花岗斑岩与安山岩、凝灰岩或大理岩接触带,发生了强烈的矽卡岩化,形成了矽卡岩型含铜黄铁矿矿体;石英闪长玢岩则发生强烈蚀变,有时被矿体交代。

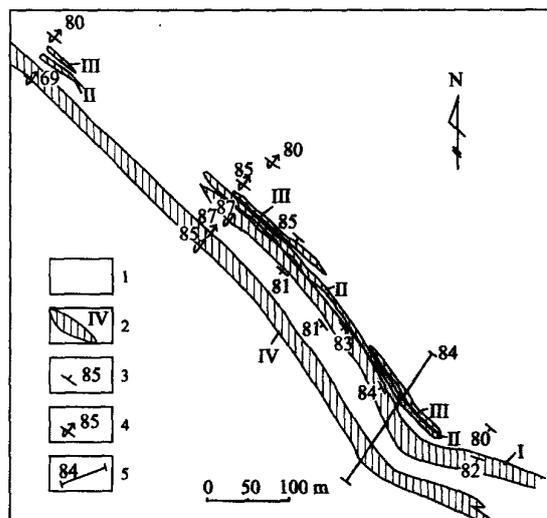


图 1 青龙滩含铜黄铁矿床 3300 m 标高地质平面图
(根据青海省第一地质大队资料修编)

1—变安山质-英安质熔岩、凝灰岩夹硅质岩及薄层大理岩;2—矿体群及编号;3—地层产状;4—倒转地层产状;5—勘探线
Fig.1 Geological plan of 3300 m level of the Qinglongtan deposit, showing distribution of ore bodies(modified from No. 1 Geological Party, Qinghai Province)

1—Metamorphosed andesite and dacite, tuff, intercalated with silicite and marble; 2—Ore body group and its serial number; 3—Attitude of normal strata; 4—Attitude of reversed strata; 5—Exploration line

5.1 围岩蚀变

矿区“滩间山群”上部火山岩组广泛发育绿泥石化、绿帘石化、硅化、绢云母化、碳酸盐化和钠长石化等,并伴有广泛的黄铁矿化。矽卡岩化仅局限于接触带。

“滩间山群”上部火山岩组的火山岩中,暗色矿物大多已被绿泥石或绿帘石交代,斜长石钠长石化、绢云母化和硅化强烈。在韧-脆性变形带内,由石英或碳酸盐矿物构成的拉伸细脉与由绢云母或绿泥石定向排列构成的片理化带相间分布,原岩结构构造已经无法辨认,有时甚至可以见到与片理产状一致的黄铁矿细纹层被拉断呈拔丝状。矿体近侧显示为绢云母化、硅化和碳酸盐化,而且矿体上盘尤为强烈。因此绢云母化、硅化和碳酸盐化蚀变是主要的找矿标志之一。由于存在多次构造热事件,上述变化很可能是早古生代火山喷流热液成矿活动和加里东期区域变质作用的综合结果,其中甚至可能包括晚华力西期岩浆期后热液蚀变产物,因为晚华力西

① 张德全,等. 2001. 柴达木盆地南北缘成矿地质环境及找矿远景研究. 国土资源部“九五”资源与环境科技攻关项目研究报告.

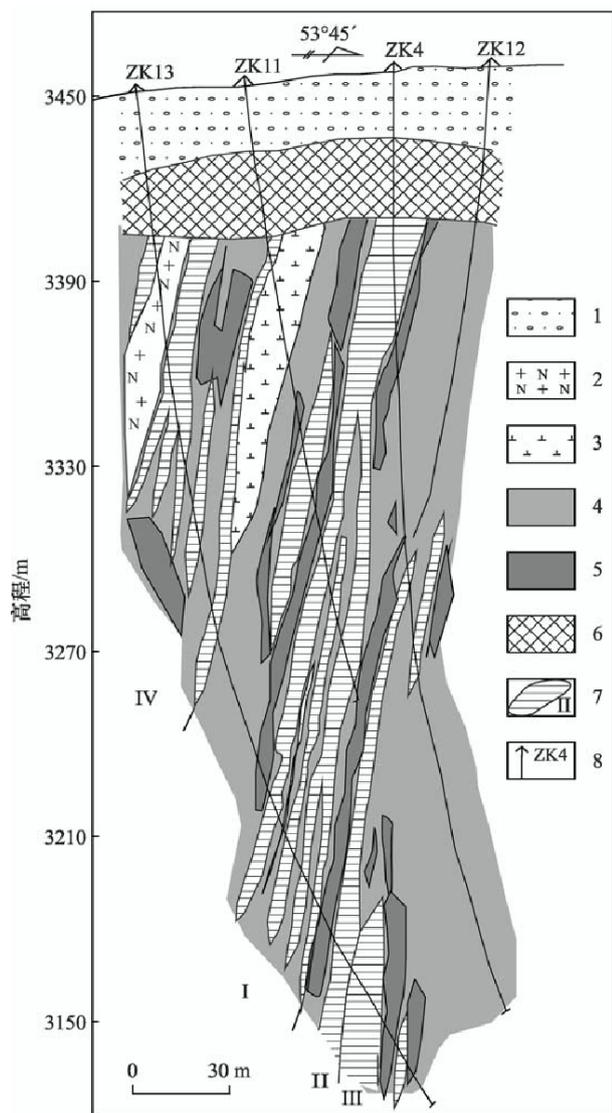


图2 青龙滩矿床84勘探线剖面图(根据青海省第一地质大队资料修编)

1—第四系冲积物;2—蚀变斜长花岗斑岩;3—蚀变石英闪长玢岩;
4—蚀变(黄铁矿化、绢英岩化等)安山岩、凝灰岩;5—矽卡
岩化带;6—氧化带;7—矿体群及编号;8—钻孔及编号

Fig.2 Geological section along No. 84 exploration line of the Qinglongtan deposit (modified from No. 1 Geological Party, Qinghai Province)

1—Quaternary alluvium; 2—Altered plagioclase granite porphyry;
3—Altered quartz diorite porphyrite; 4—Altered (pyritized and sericitized) andesite and tuff; 5—Skarn; 6—Oxidation zone; 7—Ore body and its serial number; 8—Drill hole and its serial number

期斜长花岗斑岩也具这些蚀变。但是拔丝状黄铁矿纹层的存在,显然反映了变形-变质之前存在强烈的热液成矿作用(早古生代火山喷流热液成矿活动)。

矽卡岩化一般发育于斜长花岗斑岩脉的两侧,以及地层中不同岩性层之间(富钙质的岩石与富硅质的岩石之间,如大理岩与硅质岩之间、安山岩与硅

质岩之间等),形成由透辉石、符山石、石榴子石、绿帘石、透闪石及阳起石等组成的矽卡岩(图2)。矽卡岩体走向和倾向上连续性较差,大多呈透镜状和交叉状,斜切片理,单个矽卡岩体走向长度及倾斜延深通常在100m上下,厚数米至十数米。矿区中部NNW向矿化带中的大多数矿体内都或多或少地伴有矽卡岩化,其中IV号矿体群中的黄铁矿矿体大多产于矽卡岩内,其他矿体群的含铜黄铁矿矿体大多仅呈现弱的矽卡岩化。在矿化带外侧(如IV号矿体群的南西侧)也有类似的矽卡岩体产出,但它们之中都不赋存工业矿体。

5.2 矿体

在4个矿体群中,IV号矿体群为黄铁矿矿体,其铜含量不够工业品位,其余3个矿体群均由含铜黄铁矿矿体组成。IV号和I号矿体群规模较大。其中I号为本矿区最大的工业矿体群,占矿区总储量的一半以上,由5个工业矿体组成,多呈似层状、分枝脉状,具有膨大收缩及分枝复合现象。矿化连续性较好。I号矿体群已控制长600m,宽一般为20m。单个矿体长75~400m,厚0.76~2.88m,斜深控制到70~261m尚未尖灭。矿体围岩主要为蚀变的安山岩、英安岩、凝灰岩、矽卡岩,铜平均品位为0.71%,有效硫平均品位为13.69%,安山岩、英安岩、凝灰岩中矿化均匀,矿石品位变化不大,矿体与围岩之间多呈渐变过渡关系,无明显界线,矽卡岩中出现富硫化物矿包。

IV号矿体群钻孔控制程度低,其位于I号矿体群的上盘,两者相距4~37m。由7个黄铁矿矿体组成,单个矿体形态多呈脉状、透镜状、分枝脉状(图2),产状与I号矿体群相近,局部穿层现象明显。单个矿体长100~500m,厚0.46~8.27m,斜深56~143m。工业矿体有效硫平均品位14.54%。围岩为次生石英岩、绢云次生石英岩、斜长花岗斑岩、蚀变安山岩及矽卡岩等,矿体主要产于矽卡岩中。该矿体群中常见斜长花岗岩脉,其两侧与安山岩或大理岩(甚至包括石英闪长玢岩)的接触带发育矽卡岩及硫化物矿化,显示该矿体群受后期矽卡岩化改造强烈。

从以上4个矿体群的宏观特点看,主矿体形成于加里东期,由火山-热液作用形成。华力西期的构造岩浆活动使斜长花岗斑岩沿顺层断裂(北北西向压扭性断裂)侵入,一方面对原有含铜黄铁矿床进行改造,同时矽卡岩化及后期热液作用又为原矿床带

来了新的造矿成分。

5.3 矿石

依矿物组合的差异,本矿床的矿石可分为:黄铁矿矿石、黄铜矿-黄铁矿矿石和黄铜矿矿石 3 种类型,其中以前 2 种矿石类型为主。矿石矿物主要有黄铁矿、磁铁矿、赤铁矿、黄铜矿、斑铜矿、磁黄铁矿、胶黄铁矿等;脉石矿物主要为绢云母、绿泥石、方解石、白云石、石英、石榴子石、阳起石、透闪石、透辉石、钠长石、符山石、硬石膏等。

矿石结构以半自形-他形粒状结构为主,次为自形粒状结构、交代结构、碎裂结构,偶见网状结构、包含结构、穿孔结构、固液分离结构等。矿石构造以层纹状、浸染状、条带状、稠密浸染状为主,次为块状、角砾状、细脉状及脉状构造。

矿石中有机碳平均含量(w_B ,下同)为 0.21%,主要有用组分为 S 和 Cu,伴生 Au 0.1~0.3 g/t(最高 0.9 g/t)、Ag 0.4 g/t、Zn 0.02%。矿石中 W、Mo、Bi、Sn 等与本区晚华力西期—印支期中酸性侵入岩浆活动有关的成矿元素含量极低,从一个侧面说明与斜长花岗斑岩有关的矽卡岩型矿化不是最主要的矿床类型。

6 矿床成矿作用浅析

本矿床成矿作用主要包括火山喷流沉积和岩浆期后矽卡岩 2 个类型。

(1) 火山-热液成矿(VHMS)期:早古生代火山-热液作用形成了矿床中的主要金属矿物黄铁矿、磁铁矿、赤铁矿和黄铜矿(如 I 号矿体群)以及组成热液沉积岩、硅质岩和硬石膏层的隐晶石英和硬石膏。矿体呈似层状、透镜状大致顺层展布。矿石具特征的纹层状、条带状和块状组构,胶黄铁矿纹层特别发育。矿体上盘发育绢英岩化、硅化和碳酸盐化蚀变。黄铁矿中除有极细的磁铁矿和石英包裹体外,还发育特征的碎裂组构,偶见拔丝状黄铁矿纹层,均说明这些黄铁矿形成于韧-脆性变形之前的早古生代火山喷流沉积作用期。矿体直接围岩安山岩中锆石 U-Pb 年龄(514.2 ± 8.5) Ma(史仁灯等,2004),代表了矿区早古生代火山喷流沉积作用的年龄。早古生代火山喷流沉积是形成青龙滩矿床的主要成矿作用。当然,VHMS 型矿体在后来的造山过程中受到

过强烈的构造改造,黄铁矿发育特征的碎裂结构,大多数矿体处于韧-脆性变形带内,特别是矿体群在空间上的平行斜列式展布,都是构造对矿体改造的结果,查明构造对矿体改造的规律,是对矿体准确预测定位的重要前提之一。

(2) 矽卡岩期:是伴随晚华力西期斜长花岗斑岩(全岩 K-Ar 年龄 290 Ma^①)侵入而产生的岩浆期后成矿作用。脉动的流体沿接触带分阶段交代围岩,形成由石榴子石、透辉石、符山石、绿帘石、透闪石及阳起石等组成的矽卡岩以及以黄铁矿为主的含磁黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿等的硫化物矿化,叠加于早先形成的 VHMS 型矿化体之上,形成叠加型矿体,如 VI 号矿体群。黄铁矿沿先形成的黄铁矿和磁铁矿的裂隙、晶体边缘缝隙交代充填,形成特征的网格状组构,是这种叠加矿化最直接的微观证据。

前已述及,仅在矿区中部 VHMS 矿化明显地段的矽卡岩中才有工业矿体,而 IV 号矿体群南西侧类似的矽卡岩体中没有一个工业矿体,说明矽卡岩型硫化物矿化不是青龙滩矿床最主要的成矿作用,因为它只有叠加在早期的 VHMS 型硫化物矿化之上才能形成工业矿体;而且矽卡岩型矿化很可能是对早期 VHMS 型矿化的就地改造,因为远离 VHMS 型硫化物矿体的矽卡岩中无矿。此外,柴北缘—东昆仑地区与晚华力西—印支期中酸性侵入岩浆活动有关的矽卡岩型矿床伴生的 W、Mo、Bi、Sn 含量较高,而青龙滩矿区矿石中伴生的 W、Mo、Bi、Sn 含量极低,也说明青龙滩矿床不是典型的矽卡岩型矿床。

综上所述,青龙滩含铜黄铁矿矿床是形成于晚寒武世[(514.2 ± 8.5) Ma]岛弧环境中的 VHMS 型块状硫化物矿床,矿床形成后,在晚加里东期的碰撞造山过程中,矿体和含矿层一起受到强烈的构造改造,而在晚华力西时期,又被斜长花岗斑岩岩浆期后与热液有关的矽卡岩矿化改造和叠加。为区别于经典的 VHMS 型块状硫化物矿床,笔者建议称该矿床为“青龙滩式 VHMS 型 Cu-S 矿床”。

7 柴北缘地区两类块状硫化物矿床的对比和讨论

7.1 含矿岩系及其构造背景

含矿岩系的层序、岩石学及其所处的大地构造

① 张德全,等. 2001. 柴达木盆地南北缘成矿地质环境及找矿远景研究. 国土资源部“九五”资源与环境科技攻关项目研究报告.

背景,是块状硫化物矿床研究中首先要解决的问题(Franklin et al., 1981; Krvtsov, 1987)。尽管前人将柴北缘地区的两类块状硫化物矿床的含矿岩系都称为“滩间山群”,但锡铁山矿区的滩间山群和青龙滩矿区的滩间山群存在较大的差别。

锡铁山矿区的滩间山群产于早古生代大型沉积盆地的次级盆地内,由4个岩组构成,其由下而上分别为:下部火山-沉积岩组,由下部的双峰火山岩(下岩段)和上部的变沉积岩(上岩段)组成,其中下岩段变质英安岩中锆石的U-Pb年龄为(486±13) Ma(赵风清等, 2003);下部中-基性火山岩组,由变质的中-基性火山岩及沉积岩夹层组成,其中的基性火山岩具有钙碱性玄武岩、岛弧拉斑玄武岩和洋岛玄武岩等多重地球化学极性;中部紫红色砂(砾)岩组,由紫红色变砂岩夹含砾杂砂岩构成,含少量砾岩,系一套保留鲍马序列TABC段的浊积岩(赵风清等, 2003);上部中-基性火山-沉积岩组,由一套厚大的中-基性火山岩夹沉积岩组成,基性火山岩中见枕状熔岩,岩石大多具洋脊火山岩的岩石化学极性。尽管目前对矿区滩间山群这4个岩组的层序或上下关系存有争议,因为矿区可能存在褶皱(冯佐海等, 1996; 邓吉牛, 1999),但对这4个岩组的划分和岩石学认识是一致的。已有的资料和数据表明,锡铁山矿区的滩间山群形成于早奥陶世弧后盆地环境。

青龙滩矿区的“滩间山群”由2个岩组组成。下部变沉积岩组是一套低变质的泥质粉砂岩、沉凝灰岩及碳酸盐岩等,属于类复理石建造。上部火山岩组,为一套浅变质的安山质火山岩夹硅质岩、砂岩、大理岩及少量玄武岩,安山岩中锆石U-Pb年龄为(514.2±8.5) Ma(史仁灯等, 2004),该火山岩组构成一大型火山岩穹。矿区“滩间山群”下部变沉积岩组以缺失火山岩与锡铁山矿区滩间山群下部火山-沉积岩组相区别,以泥质粉砂岩、沉凝灰岩、碳酸盐岩组合以及不含铅-锌硫化物矿层与锡铁山矿区滩间山群下部火山-沉积岩组上岩段(变沉积岩段)灰黑色碳硅泥质岩石(碳质页岩)和碳酸盐岩互层沉积相区别,其亦以类复理石建造与锡铁山矿区滩间山群中部紫红色砂(砾)岩组的浊流沉积完全不同。青龙滩矿区的“滩间山群”上部火山岩组以中性火山岩为主和含较多凝灰岩区别于锡铁山矿区滩间山群的下部中-基性火山岩组或上部中-基性火山-沉积岩组,而且前者多具岛弧或大陆边缘构造属性,后者不是兼具钙碱性玄武岩、岛弧拉斑玄武岩和洋岛玄

武岩等多重构造属性,就是以洋脊火山岩为主。已有的数据和资料显示,青龙滩矿区的“滩间山群”形成于晚寒武世的岛弧环境。

据此看来,青龙滩矿区的“滩间山群”和锡铁山矿区的滩间山群完全不同,前者代表了晚寒武世岛弧内的火山沉积岩系,后者则是早奥陶世弧后盆地内的火山沉积组合。锆石U-Pb年龄数据表明,柴北缘地区的早古生代洋(海)盆于晚寒武世俯冲消减,出现岛弧,随后(早奥陶世),发生弧后拉张,形成弧后盆地,两者之间相隔了大约28 Ma。

7.2 主岩及热液沉积岩

主岩及热液(喷流)沉积岩是区别和划分块状硫化物矿床的重要标志之一。滩间山矿区Pb-Zn矿体的主岩为灰黑色碳硅泥质沉积岩(碳质页岩)及碳酸盐岩,该矿区滩间山群中含丰富的化学沉积岩,由上部旋回的重晶石层、硅质岩层,往下部旋回的硅质岩层、铁锰碳酸盐岩层及铅锌黄铁矿矿层,依次构成了一个含矿的化学沉积岩序列。因此,锡铁山矿床的主岩和热液沉积岩类型与经典的SEDEX型铅-锌矿床(Large, 1983; Goodfellow et al., 1991)是一致的。青龙滩矿区则不同,它的主岩是中酸性火山岩,包括安山岩及安山质凝灰岩、英安质凝灰岩及英安岩,而铁碧玉岩层则是其特征的热液沉积岩,这与VHMS矿床完全相符。

7.3 围岩蚀变

除了后期叠加的矽卡岩化之外,青龙滩含铜黄铁矿矿床中矿体近侧围岩发育绢云母化、硅化和碳酸盐化蚀变,而且矿体上盘尤为强烈,远侧围岩显示出由绿泥石、绿帘石、碳酸盐、黄铁矿和钠长石等组成的青磐岩化蚀变。滩间山矿区与其相关的热液蚀变主要见于矿层上盘的岩石中,有绢云母化、硅化和碳酸盐化,其中绢云母化发育于近矿围岩中,硅化及碳酸盐化蚀变主要见于矿体内。由此可知,在柴北缘地区,不论是VHMS型含铜黄铁矿矿床,还是SEDEX型铅锌矿床,它们的近矿围岩蚀变是大体一致的。

7.4 矿石组构及成矿元素

作为块状硫化物矿床,无论是锡铁山铅锌矿床,还是青龙滩含铜黄铁矿矿床,它们都具有相同的矿石组构:层纹状、条带状、块状、角砾状组构。锡铁山矿床的矿石还具有特征的胶状结构,而青龙滩矿床矿石中常发育的交代组构大多与后期的矽卡岩期矿化有关。

锡铁山矿床矿石主元素为 Pb、Zn、S, 伴生元素 Ag、Au、Sn、Cd、In、Cu、As 等, 但前已述及, 该矿床中 Au 的富集成矿可能与后期热液成矿活动有关, 因此, 作为本区 SEDEX 型铅-锌矿床的代表, 锡铁山矿床与喷流沉积成矿有关的成矿元素应该为 Pb、Zn、S、Ag、Sn、Cd 等。青龙滩含铜黄铁矿矿床则以硫铁矿和铜为主, 伴生金, 不含铅锌, 其成矿元素组合为 S、Cu、Au。

7.5 成矿后的构造和热液改造

7.5.1 成矿后的构造改造

锡铁山矿床和青龙滩矿床中的喷流沉积型硫化物矿体, 均经历了强烈而复杂的成矿后构造改造, 因为柴北缘地处多旋回造山带, 经历过包括加里东期和晚华力西期—印支期的复合造山作用, 以及与印度-亚洲大陆碰撞有关的陆内断块造山作用。这两个矿床中的矿体与其主岩一起, 经受了同样的变形-变质作用。例如: 矿体与地层一起卷入褶皱, 矿体产于片理化带, 在强应变带被挤压变薄、拉断或被断裂错失, 在构造扩容带膨大, 矿石中先成的黄铁矿通常发育特征的碎裂组构等等。特别是矿体在空间上成群, 成带平行斜列式展布, 并向同一方向侧伏, 而且锡铁山矿区矿体群之侧伏方向与矿区滩间山群的韧-脆性变形运动学方向一致, 显示喷流沉积型矿体曾经受过强烈的构造改造, 改造的结果是不但使矿体变形, 而且发生了变位。

尽管目前对锡铁山和青龙滩矿区含矿岩系的变形构造研究程度还很低, 变形的期次、几何学和运动学还不是很清楚, 特别是对锡铁山矿区是否存在大型褶皱及褶皱的形态学和几何学还存在争议(冯佐海等, 1996; 邓吉牛, 1999), 但是柴北缘地区的块状硫化物矿床经受过强烈的构造改造是无可争辩的。造山带中的块状硫化物矿床, 通常都会受到后期的改造, 尤其是变形、变质改造。关于这一问题, 1997 年在挪威举行的“块状硫化物矿床形成与变质”国际学术讨论会上, 曾经作过专门讨论, 并且提出俄罗斯乌拉尔地区古生代造山带中的块状硫化物矿体在成矿后的强烈构造变位, 以及其后长英质岩浆侵入过程中的热液活化, 矿体内金属发生重新排布(战明国, 1997) 的观点, 但迄今为止有关论著甚少, 这不能不说是一种缺陷。因为, 这种改造会导致对矿床成因上的误解, 使一部分人误认为其属于受构造控制的后生矿床; 而忽略这种改造, 不重视块状硫化物矿体形成后的构造变位, 则会导致勘查过程中的失误,

因为后期构造确实在一定程度上控制了矿体。这就需要把矿床形成后的变化和保存作为成矿控制要素的一个重要组成部分加以研究(翟裕生, 1999; 2000)。

7.5.2 后期热液成矿作用的叠加改造

青龙滩矿床中, 晚华力西期斜长花岗斑岩(全岩 K-Ar 年龄 290 Ma) 沿层间侵入而产生的矽卡岩化及硫化物矿化, 叠加于早先形成的 VHMS 型矿化体之上, 形成叠加型矿体, 如 IV 号矿体群。矽卡岩矿化期的黄铁矿通常沿先形成的黄铁矿和磁铁矿的裂隙、晶体边缘缝隙交代充填, 形成特征的网格状组构。锡铁山矿床中的穿层铅-锌矿脉、似层状铅-锌矿体边部的边刺边瘤状铅-锌矿体, 也是后期热液矿化改造的结果, 而且其中高温的含石盐子晶多相包裹体的发现, 显示这种热液成矿作用很可能与酸性岩浆侵入作用有关。

总之, 柴北缘造山带的早古生代地层中产有 2 类不同的块状硫化物矿床, 这就是沉积岩容矿的 SEDEX 型 Pb-Zn 矿床(如锡铁山矿床) 和火山岩容矿的 VHMS 型 Cu-S 矿床(如青龙滩矿床)。在形成以后的碰撞造山过程中, 它们均受到后期构造的强烈改造, 并不同程度地被后期热液成矿作用改造和叠加, 使之兼有后生矿床的特征。为避免在矿床成因上的争论, 以及提醒人们在勘查过程中全面地研究同生和后生的控矿要素, 笔者建议将这 2 类被改造过的块状硫化物矿床分别称为锡铁山式和青龙滩式。锡铁山式矿床指被改造过的 SEDEX 型 Pb-Zn 矿床, 它的含矿岩系形成于早奥陶世 [(486 ± 13) Ma] 弧后盆地环境中, 并在加里东期碰撞造山过程中发生了强烈的 NE-SW 向斜向挤压缩短, 导致喷流沉积成矿作用形成的原始铅锌黄铁矿层, 后期遭受了强烈的构造改造, 从而在一定程度上使矿体的空间分布受到后期构造的控制。此外, 该矿床也受到过轻微的后期热液改造。青龙滩式矿床是被改造过的以岛弧火山岩为容矿岩石的 VHMS 型 Cu-S 矿床, 其在形成后不但遭受过构造的强烈改造, 而且也受后期矽卡岩矿化的改造和叠加。放射性同位素测年结果表明, 青龙滩矿床的主岩——安山岩形成于晚寒武世 [(514.2 ± 8.5) Ma], 后期的矽卡岩矿化大约在 290 Ma。据此看来, 柴北缘地区的早古生代洋(海) 盆于晚寒武世俯冲消减, 出现岛弧, 并形成青龙滩等 VHMS 型 Cu-S 矿床。随后(早奥陶世), 发生弧后拉张, 形成弧后盆地及锡铁山等 SEDEX 型铅锌

矿床。

References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Qinghai Province. 1991. Regional geology of Qinghai Province, China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 662p(in Chinese).
- Deng J N. 1999. Fold structure and prediction for prospecting in the Xitieshan orefield, Qinghai[J]. Geol. Explor. Non-ferrous Metals, 8(5): 283 ~ 288(in Chinese with English abstract).
- Feng Z H, Chen R Q, Li S Y, et al. 1996. Preliminary recognition of the main-phase fold within ore-bearing lithological series in the Xitieshan lead-zinc deposit, Qinghai Province[J]. Mineral Resour. & Geol., 10(5): 306 ~ 312(in Chinese with English abstract).
- Franklin J M, Sangster D F and Lydon J W. 1981. Volcanic associated massive sulfide deposits[J]. Econ. Geol., (75th Anniv.): 485 ~ 627.
- Goodfellow W D, Lydon J and Turner R. 1991. Sedimentary-hydrothermal Zn-Pb sulphide deposits: Attributes and origin[J]. The Gangue, 36: 10 ~ 11.
- Krvtsov A I. 1987. Ore-forming environment and condition of massive sulfide deposit on ancient and modern[J]. International Geol. Rev., 29(11-12): 1425 ~ 1437.
- Large D E. 1983. Sediment-hosted massive sulphide lead-zinc deposits: an empirical model[A]. In: Sediment-hosted stratiform lead zinc deposits[M]. Mineralogical Association of Canada Short Course Handbook, vol 9: 1 ~ 27.
- Shi R D, Yang J S, Wu C L, et al. 2004. Island volcanic rocks in the North Qaidam UHP metamorphic belt[J]. Acta Geologica Sinica, 78(1): 52 ~ 64 (in Chinese with English abstract).
- Wang H C, Lu S N, Yuan G B, et al. 2003. Tectonic setting and age of the "Tanjianshan Group" on the northern margin of the Qaidam basin[J]. Geol. Bull. China, 22(7): 487 ~ 493(in Chinese with English abstract).
- Wang J C, Huang Y P and Fu R. 2000. The recognition on a few key geological problems of Xitieshan mine area, in Qinhai Province[J]. Mineral Resour. & Geol., 14(1): 11 ~ 15(in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S. 1999. On the metallogenic system[J]. Earth Science Frontiers, 6(1): 13 ~ 27(in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S. 2000. Metallogenic system and its evolution: from preliminary practice to theoretical consideration[J]. Earth Science, 25(4): 333 ~ 339(in Chinese with English abstract).
- Zhan M G. 1997. The overseas tendency and advancement on ore-forming and transformation of massive sulphide deposits[J]. Geol. & Mineral Resour. South China, 2: 62 ~ 67(in Chinese with English abstract).
- Zhao F Q, Guo J J and Li H K. 2003. Geological characteristics and isotopic age of Tanjianshan Group along northern margin of Qaidam basin[J]. Geol. Bull. China, 22(1): 28 ~ 31(in Chinese with English abstract).
- Zhang D Q, Wang F C, Li D X, et al. 2005. Two-types of massive sulfide deposits in northern margin of Qaidam basin, Qinghai Province: I. Xitieshan style SEDEX lead-zinc deposits[J]. Mineral Deposits, 24(5): 471 ~ 480(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 邓吉牛. 1999. 青海锡铁山矿区褶皱构造及其找矿预测[J]. 有色金属矿产与勘查, 8(5): 283 ~ 288.
- 冯佐海, 陈儒庆, 李少游, 等. 1996. 锡铁山铅锌矿床含矿岩系主褶皱的初步厘定[J]. 矿产与地质, 10(5): 306 ~ 312.
- 青海省地质矿产局. 1991. 青海省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社. 662页.
- 史仁灯, 杨经绥, 吴才来, 等. 2004. 柴达木北缘超高压变质带中的岛弧火山岩[J]. 地质学报, 78(1): 52 ~ 64.
- 王惠初, 陆松年, 袁桂邦, 等. 2003. 柴达木盆地北缘滩间山群的构造属性及形成时代[J]. 地质通报, 22(7): 487 ~ 493.
- 汪劲草, 黄永平, 傅锐. 2000. 对青海锡铁山矿区几个关键地质问题的认识[J]. 矿产与地质, 14(1): 11 ~ 15.
- 翟裕生. 1999. 论成矿系统[J]. 地学前缘, 6(1): 13 ~ 27.
- 翟裕生. 2000. 成矿系统及其演化——初步实践到理论思考[J]. 地球科学, 25(4): 333 ~ 339.
- 战明国. 1997. 国外“块状硫化物矿床形成与变质”领域的研究动态和进展——挪威国际专题学术讨论会情况简介[J]. 华南地质与矿产, (2): 62 ~ 67.
- 赵风清, 郭进京, 李怀坤. 2003. 青海锡铁山地区滩间山群的地质特征及同位素年代学[J]. 地质通报, 22(1): 28 ~ 31.
- 张德全, 王富春, 李大新, 等. 2005. 柴北缘地区的两类块状硫化物矿床——I. 锡铁山式 SEDEX 型铅锌矿床[J]. 矿床地质, 24(5): 471 ~ 480.

Two types of massive sulfide deposits along northern margin of Qaidam basin, Qinghai Province: II. Qinglongtan-style VHMS Cu-S deposits

ZHANG De-quan¹, DANG Xing-yan², LI Da-xin¹, FENG Cheng-you¹, SHE Hong-quan¹ and LI Jin-wen¹

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Qinghai Institute of Geological Survey, Xining 810012, Qinghai, China)

Abstract

The Qinglongtan-style deposits refer to the VHMS-type Cu-S deposits in island arc volcanic rocks of the Caledonian orogenic belt along the northern margin of Qaidam basin. The copper-bearing sulfide horizon of the Qinglongtan deposit underwent not only intense structural reformation but also superimposition of skarn-type mineralization after the formation of massive sulfide ores. Dating data show that andesite, the host rock of the Qinglongtan deposit, was formed during Late Cambrian [(514.2 ± 8.5) Ma], and skarn mineralization took place at about 290 Ma. SEDEX Pb-Zn deposits such as the Xitieshan Pb-Zn deposit and VHMS Cu-S deposits such as the Qinglongtan Cu-S deposit occur in this Caledonian orogenic belt, but their geological settings and formation ages are different. The subduction of the Early Paleozoic ocean/sea occurred in Late Cambrian and the island arc was formed in the northern margin of Qaidam basin where the Qinglongtan and other VHMS-type Cu-S deposits occurred. After that, this region was subjected to extension and transformed into a backarc basin, where the Xitieshan and other SEDEX-type Pb-Zn deposits were formed during Early Ordovician.

Key words: geology, VHMS-type Cu-S deposits, Qinglongtan-style, northern margin of Qaidam basin

<http://www.kcdz.ac.cn/>