青海兴海赛什塘铜矿区条带状构造成因研究

张忠义^{1,2)},辛天贵³⁾,何鹏^{1,2)},祝新友^{1,2)}

1)北京矿产地质研究院,北京,100012;2)有色金属矿产地质调查中心,北京,100012;
3)西部矿业股份有限责任公司,西宁,810003

内容提要:在新的宏微观资料的分析研究基础上,依内部组构与发育特征的不同,将青海省兴海县赛什塘铜矿 床的条带状构造分为两类。研究表明它们形成于同构造的区域变质变形与接触(交代)变质间的复合叠加作用,属 先成或同生面状构造影响控制下的等化学变质与选择性(交代)蚀变生成的一种变余或新生优选定向组构(//S₁或 S₀)。从构造早期的脆韧性变形到晚期脆性变形过程中,成生发育两个世代的同构造新生矿物组合,分别组成反映 其形成阶段和发育特点的两类条带状构造。这为矿床的成因演化研究提供了新的依据。

关键词:条带状构造;赛什塘铜矿;同构造变质变形;接触交代变质作用;青海兴海

矿石组构包含了大量矿床成因等方面的信息, 是矿床地质研究的重要内容和确定矿床成因的关键 科学问题之一。作为一种常见矿石组构,条带状构 造在青海省兴海县赛什塘铜多金属矿床普遍发育, 围绕其有"砂卡岩"、"喷流沉积"、"热水沉积—变

质变形改造"等多种成因解释(李富东等, 1993;宋治杰等,1995;张汉文,2000),并成为说明赛 什塘铜多金属矿床成因及其演化历史的重要标志, 本文在新的宏微

观资料基础上,分析研究赛什塘铜多金属矿床 中的条带状构造的分布发育和类型组构特征,探讨 其成因机制,为矿床的成因演化研究提供新的依据; 也为当前的矿山勘查提供基础地质支撑,提高工作 的综合效果和效率。

1 矿区地质概述

青海赛什塘铜多金属矿床位于东昆仑、西秦岭 造山带的衔接转换区,鄂拉山构造—岩浆—多金属 成矿带的东南部。在早期裂谷盆地闭合基础上,区 域上又经历了中三叠世开始的陆内构造演化,发育 多期次不同类型的成矿作用,形成赛什塘铜矿床、铜 峪沟铜矿床、索拉沟铜矿床、日龙沟锡矿床等,沿北 西—北北西向的鄂拉山带展布(李富东等,1993;宋 治杰等,1995;张汉文,2000)。三叠纪鄂拉山碰撞造 山还使元古宙变质杂岩向东推覆于原地一半原地的 赛什塘中一下三叠统之上,并伴生同构造的变质变 形及岩浆活动,在矿区内发育韧性一脆韧性、脆性等 层次不同、类型多样的构造,而同构造(造山)递进 变形晚期阶段形成的北西—北北西向褶皱将早期或 先成的构造及岩石单位普遍卷入变形(图1)。矿区 中部,以石英闪长岩、石英斑岩为主的一套印支期岩 浆杂岩顺北西向的赛什塘背斜核部发育出露,其围 岩是中下三叠统变沉积岩系(李富东等,1993;青海 省地质矿产局●),岩性包括变沉积碎屑岩、变碳酸 盐岩和少量的变硅质岩、变火山(碎屑)岩等(图 1)。岩浆杂岩多数成顺"层" $(//S_1 \stackrel{-}{\to} S_0)$ 的岩席、岩 床状,少数成岩枝、岩脉状侵入围岩,并发生强烈的 接触(交代)变质作用,赛什塘铜多金属矿床的矿体 则一般以"似层状"、透镜状、少数脉状沿接触带发 育;矿石类型以原生的磁黄铁黄铜矿石为主,次为磁 铁黄铜矿石和黄铁黄铜矿石:主要围岩蚀变包括绢 云母化、硅化、绿泥石化、碳酸盐化等。矿床成因类 型尚存争议:部分学者(李富东等,1993;宋治杰等, 1995)注意到矿体多呈"层状、似层状"、透镜状、并 受一定层位控制的发育特点,在系统的地质地球化 学研究基础上,提出(喷流)沉积--变质--弱岩浆热 液叠加改造成因观点,并认为矿石中的条带状构造 即为岩石的微层理;由于已查明的矿体多位于三叠

收稿日期:2012-10-26;改回日期:2013-06-14;责任编辑:章雨旭。

注:本文为西部矿业"赛什塘铜多金属矿床成矿规律与成矿模型"项目资助的成果。

作者简介:张忠义,男,1969年生。博士,教授级高级工程师。主要从事构造变形分析与构造控岩控矿研究。通讯地址:100012,北京市朝 阳区安外北苑5号院4区。Email:zhangzhongyi2010@gmail.com。





Fig. 1 (a) Geological sketch map of the Saishitang copper oredistrict, Xinghai county, Qinghai Province; (b) geologic section of the 23rd exploration line in the Saishitang copper deposit (After this study)

Pt—元古宇; T_{1-2} —中一下三叠统; δo —石英闪长岩; $\lambda \pi$ —石英斑岩 Pt—Proterozoic; T_{1-2} —Middle—Lower Triassic; δo —quartz diorite; $\lambda \pi$ —quartz porphyry

纪岩体与岩层接触带附近,另外一些学者因此强调 矿化与岩体的紧密相关与彼此依存关系(路远发, 1990;田生玉,1999;潘彤等,2006;李东生等,2009; 吴健辉等,2010),结合地球化学分析研究,认为矿 床属砂卡岩、斑岩或斑岩 - 砂卡岩成因;还有学者 (吴庭祥,2010)认为矿床经历了以上多种成矿作 用,属于典型的复成因铜矿床。

2 条带状构造分布发育特征

矿区中一下三叠统变沉积岩系普遍卷入了低绿 片岩相区域动力变质作用(李富东等,1993;青海省 地质矿产局[●]),以弱变质、强变形为特征,强烈的韧 性一脆韧性分层剪切产生了透入性剪切面理 S1 (S1//S0),并在不同岩性界面及泥灰质岩层中形成 强应变带,集中发育由新生的变晶和重结晶矿物组 成的千枚理、千靡理、条纹条带等定向组构,以钙质、 硅质条带及云母类矿物条纹条带等最为常见,在弱 变形域则仍有部分变余的长英质、钙泥质层纹残存 保留。靠近印支期杂岩体,开始出现大量的石榴子 石、透辉石、阳起石等、以及黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜 矿等金属矿物,常以"似层状"、条带状与围岩条纹 条带整合协调产出,形成具条带状构造的"层矽卡 岩"和"层状、似层状"矿石(李富东等,1993),一般 发育于变碳酸盐岩与变钙质(粉)砂岩的内部或边 部,并多有岩床、岩舌相伴协调发育。这些"层矽卡 岩"和"层状、似层状"矿石中的条带状构造是本文 关注和研究的重点,虽然"热水沉积-变质改造" (李富东等,1993)成因观点能较好地解释其与围岩 相同或相似的变形特征,但未对其沉积"前身"在低 绿片岩相区域动力变质作用下,如何形成石榴子石、 透辉石、斜长石等变晶代表的中高级变质变形矿物 组合作进一步说明;而如果这些条带状构造与接触 (交代)变质作用有关,则需对其具强烈变形的内部 组构特征作合理解释。本文工作将有助于相关问题 的理解和解释。

3 条带状构造的类型和组构特征

矿区条带状构造表现为宽 0.5~10mm 的单矿 物或 2~3种矿物组成的复矿物集合体成条带状相 间发育的特点。岩貌上(图 2a、b),按条带组分和颜 色可分为:① 浅色条带,长石、石英、方解石等组成; ② 暗(深)色条带,石榴子石类、辉石类、闪石类、云 母类、帘石类、泥石类等组成;③ 金属条带,黄铁矿、 磁黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿等组成。其中"层砂卡 岩"以暗(深)色条带为主,夹少量浅色和金属条带; "层状、似层状"矿石则以金属条带为主,含少量浅 色和暗(深)色条带。三种条带及其相关岩石、矿石 都存在中间类型和过渡关系。

依据条带状构造的生长发育及其内部组构特征 (表1),将矿区的条带状构造分为两类。

3.1 第一类条带状构造

主要由第一世代新生的变晶和重结晶矿物组成,多平行 S1(S1//S0)定向分布,具明显的韧性一 脆韧性变形与同构造动态生长发育特征(表1;图 2a、c、d、f、g)。条带的界限清晰,并卷入后期或晚期 褶皱变形,被晚期劈理(S₂)切过。组成浅色条带的 长石、石英、方解石以同构造重结晶产生的新晶为 主,部分石英和方解石属同构造变质反应及交代作 用产生的新晶,长石以中长石、倍长石和拉长石(表 2)为主,少见钠长石;暗(深)色条带都由同构造变

表1青海兴海赛什塘铜矿条带状构造主要组构特征

Table 1 The major fabric characteristics of the ribbon structure in the Saishitang copper deposit, Xinghai, Qinghai

类型 组构特征		第一类条带状构造	第二类条带状构造			
浅色条带	石英	三种存在状态:①以石英为主的单矿物集合体条带、或与长石及少量的 透辉石,石榴子石等组成复矿物条带;长轴定向的长粒状、长条状、近等 轴粒状,细粒一显微变晶结构,粒径一般 Smm;②部分以残碎斑存在, 构成核幔结构;③呈细小的多晶集合体充填于长石、透辉石,石榴子石等 的脆性裂隙中。 具波状消光、变形条带、亚晶粒等晶内变形组构。	单矿物集合体条带、或与方解石等组成复矿 物条带;半自形一不规则粒状变晶结构,一 般矿物生长缺乏优选定向,有时石英以与条 带大角度相交的长条状、马牙状产出;条带 延伸不稳定,常有少量的透辉石、阳起石、绿 泥石、云母及金属矿物共生发育。			
	长石	三种存在状态:①以斜长石为主的单矿物集合体条带、或与石英及少量 的少量透辉石等组成复矿物条带;长轴定向的长粒状、椭球状、近等轴粒 状,细粒一显微变晶结构,粒径一般≤0.6mm;②部分以残碎斑存在,形成 核幔结构;③发生同构造变质作用,成为细粒的石英和绢云母集合体。 具波状消光、亚晶粒等晶内变形组构。	极少见长石与石英共生产出。			
	方解石	以方解石为主的单矿物集合体条带、或与少量透辉石、长石、石英等组成 复矿物条带;长轴定向排列的等轴—长轴粒状、团斑状,细粒一显微变晶 结构。具波状消光、亚晶粒、双晶扭折等晶内变形组构。	方解石条带的发育及其内部组构特征同石 英条带。			
暗(深)色条带	石榴子石	以钙铝榴石为主,形成颗粒边界不清晰的单矿物集合体条带,或以残碎 斑的形式存在于具显微变晶结构的透辉石中。长轴定向的粒状、长椭球状,弱的波状消光,少见 SC 碎斑系。	以钙铁榴石为主,形成单矿物或同透辉石共 生的矿物集合体条带,半自形一自形粒状变 晶结构,发育环带构造。			
	透辉石	四种存在状态:① 主要以单矿物为主的集合体条带状产出,一般同时存 在粗、细粒两种集合体条带,粗粒条带由粒径 0.5~4mm 的透辉石组成, 共生少量石榴子石等,单颗粒或集合体常成长轴定向的长粒状、椭球状 和拉伸长条状,长轴方向与矿物条带一致或小角度相交,部分长条的长: 宽可达 5:1—40:1,有时在大颗粒中产有透辉石、石英、石榴子石等小 晶体,并见小颗粒透辉石沿边部交代大颗粒透辉石;细粒条带由粒径 0. 03~0.06mm 的透辉石组成,含少量细粒石榴子石和长英质矿物,呈长轴 定向的不规则粒状或近等轴粒状变晶结构;② 部分以长轴定向的长粒 状、椭球状、不规则粒状发育于长英质条带中,见 S—C 碎斑系;③ 呈细 小的多晶集合体沿 S—C 面理发育;④ 以细小的多晶集合体充填于石榴 子石等的脆性裂隙中。见出溶页理、亚晶粒、边缘碎粒化和书斜式构造 等现象。	单矿物集合体条带、或与其它矿物组成复矿 物条带;半自形一自形粒柱状变晶结构,矿 物生长定向性差,自身颗粒及与其它共生矿 物颗粒间杂乱交错共生;有时也见长柱粒 状、马牙状的透辉石与条带大角度相交发育 产出。			
	阳起石、 绿泥石	阳起石浅绿一绿黄色,绿泥石绿一蓝绿色,它们分别相对集中或共生成 纹带状集合体产出,长轴定向一半定向的长柱状、片状、粒状变晶结构, 粒径一般≤0.4mm;阳起石、绿泥石常交代残留石榴子石与透辉石,也常 与石英和金属矿物共生,见绿泥石交代阳起石现象。	阳起石绿色,绿泥石蓝绿色,它们分别相对 集中或共生成条带状集合体产出,半自形— 自形粒柱状、纤维状、片状变晶结构,粒径一 般≤1mm,多呈交叉、放射状生长的集合体 状,也见矿物与条带大角度相交发育产出; 交代石榴子石与透辉石,并常与石英和金属 矿物共生,见绿色阳起石交代早世代浅绿— 绿黄色阳起石。			
	云母	黑云母呈褐黄色,以单矿物为主的条带或与石英及少量透辉石组成复矿 物条带,长轴定向的片状、长椭球状集合体状分布,粒径≤0.1mm,显微片 粒状变晶结构。	黑云母呈黄一绿黄色,以单矿物为主的条带 或与石英及少量透辉石组成复矿物条带,片 状变晶结构,多方向,放射状生长,片径≤0. 2mm,交代早世代褐黄色黑云母。			
金属条带	磁 武 黄 银 矿 、黄 银 矿 、 磁 び 矿	以单金属矿物条带、或一种金属与1~2种少量的其它金属矿物组成复 矿物条带产出,多与阳起石、绿泥石、石英等共生分布发育。金属矿物单 颗粒或集合体一般呈长轴定向一半定向的不规则长粒状、透镜状,常见 细颈化和布丁构造。	以单金属矿物条带、或一种金属与1~2种 少量的其它金属矿物组成复矿物条带产出, 多与阳起石、绿泥石、石英等共生分布发育。 一般矿物生长无优选方向,成它形不规则粒 状结构,见自形一半自形的黄铁矿,也见与 条带大角度相交发育产出的金属矿物。			



图 2 青海兴海赛什塘矿区条带状构造类型与组构特征 Fig. 2 Types and fabric characteristics of the ribbon structures in the Saishitang oredistrict, Xinghai, Qinghai

(a)第一类条带构造(Typelr);(b)第二类条带构造(Type2r);(c)第一类粗中粒透辉石变晶条带;(d)第一类细粒透辉石变晶条带与第 二类透辉石变晶条带;(e)第二类金属矿物条带;(f)第一类金属矿物条带;(g)第一类细粒透辉石变晶条带中产出的阳起石和磁黄铁 矿;(h)一共生的阳起石、磁黄铁矿交代透辉石。Gt—石榴子石;Di—透辉石;Act—阳起石;Po—磁黄铁矿;Py—黄铁矿;Cep—黄铜矿;S₀— 层理;S₁—第一期劈理

(a) field photo of the Type1 ribbon structure(Type1r); (b) field photo of the Type2 ribbon structure(Type2r); (c) photomicrograph showing Type1 coarse—medium diopside ribbon characterized by crystalloblastic texture; (d) photomicrograph showing the composite diopside ribbon formed by Type2r with Type1r; (e) photomicrograph showing Type2 metal ribbon; (f) photomicrograph showing Type1 metal ribbon; (g) photomicrograph showing actinolite and pyrrhotite association developing along the diopside ribbon; (h) photomicrograph showing replacement of diopside by actinolite—pyrrhotite; Py—pyrite; Ccp—chalcopyrite; S₀— bedding; S₁—first order foliation

质反应及交代作用产生的新晶组成,包括石榴子石、 透辉石、阳起石、透闪石、绿帘石、黑云母、绢云母、绿 泥石等,其中石榴子石为钙铝榴石(表3),而透闪 石、阳起石、绿泥石等则常以交代石榴子石和透辉石 的方式产出,定向性差(定向一半定向),但自形程 度相对高,且更趋向韧脆性变形(图2H);金属条带 由磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿等金属矿物组成,其单 颗粒或集合体或多或少的具一定塑性变形行为,呈 不规则状的拉长粒状、透镜状,常见细颈化和布丁构 造(图2f)。一般情况下,金属矿物和金属矿物条带 总是与阳起石、绿泥石等深色矿物及深色条带共生 或相伴发育(图2g,h),并有新生的变晶石英共生。 少见金属矿物和金属矿物条带与长英质浅色矿物及 浅色条带共生或相伴产出。

依据矿物的相互穿切交代关系,第一类条带的 组成矿物大致经历了两个生长阶段,早阶段矿物共 生组合:透辉石+斜长石+石英+黑云母±钙铝榴 石±方解石±金属矿物;晚阶段矿物共生组合:阳起 石+绿泥石±透闪石±石英+金属矿物。金属矿物 主要在晚阶段形成,其最常见共生组合:磁黄铁矿+ 黄铜矿+黄铁矿。

3.2 第二类条带状构造

主要由第二世代新生的变晶和少量重结晶矿物 沿早期的构造面(S₁或S₀,S₁//S₀)成条带状分布发 育而成,具明显的地壳较浅层次的韧脆性一脆性构 造环境下的生长发育特征(表1;图2b、d、e)。与第 一类条带相比,其浅色条带中的长石非常少见;暗 (深)色条带中的石榴子石为钙铁榴石(表3),并偶 见符山石和硅灰石,而其中的阳起石、透闪石、绿帘 石、绿泥石等则有增多之势;金属条带中开始出现较 多磁铁矿。除见少量重结晶作用形成的石英、方解 石和透辉石外,组成第二类条带的矿物几乎都为新 生的变晶,多具自形一半自形的粒柱状片状变晶结

构,发育两种生长状态:① 一般情况下,这些构成成

分条带的矿物缺乏优选定向,成多方向、放射状杂乱 交错共生,并沿钙质的成分"层"(变余 S₀)或早期条 带(S₁)发育,常见石榴子石和透辉石交代方解石现 象,使方解石和变钙质碎屑、岩块成残留状、甚至完 全被石榴子石、透辉石等交代变质矿物集合体替代, 形成界限模糊、不规则状的成分条带,条带中常见早 期变余组构;② 有时矿物以定向一半定向的长条 状、马牙状与条带大角度相交产出,显示这些条带矿 物的成生发育受控于韧脆性条件下剪张破裂活动, 成分条带是平行早期的面状构造(S₁或 S₀,S₁//S₀) 的剪张破裂的同构造产物。

第二类条带内部发育更广泛和特征明显的交代 结构,阳起石、绿泥石、以及金属矿物等强烈交代早 期和先成的石榴子石和透辉石等,并常使后者成残 留状,而金属矿物和金属矿物条带也总是与阳起石、 绿泥石、石英等矿物及条带共生或相伴产出,且金属 矿物组分含量与阳起石、绿泥石等的发育程度呈正 相关。从早到晚,条带矿物明显具两个生长阶段,早 阶段矿物共生组合:透辉石+钙铁榴石±符山石± 硅灰石;晚阶段矿物共生组合:阳起石+绿泥石±透 闪石+石英+方解石+金属矿物。最常见金属矿物 共生组合:磁黄铁矿+黄铜矿+黄铁矿±磁铁矿,常 见黄铜、磁黄铁矿等发育于自形—半自形的石榴子 石、透辉石阳起石、绿泥石之间,形成典型的填隙状 结构,穿插交代关系表明金属矿物生成顺序:磁铁 矿—磁黄铁矿—黄铁矿—黄铜矿。

4 条带状构造的成因机制和演化探讨

4.1 条带状构造的成因

矿区第一类条带具明显的韧性一脆韧性同构造 变质变形组构特征(表1),其早阶段矿物共生组合 为透辉石+斜长石+石英+黑云母±钙铝榴石±方 解石,而区域变质变形环境最高为绿片岩相,不能满 足该矿物组合构成的条带的形成条件。卷入绿片岩 变质变形相的矿区围岩中,普遍发育与矿区条带产 状协调、变形特征相同或类似的条带状构造,但未见 透辉石、钙铝榴石等矿物和矿物组合、以及相关组构 特征。综合分析表明,第一类条带状构造的形成时, 应伴随有同构造的接触(交代)变质作用,后者为相 关组构岩石的形成提供了必不可少的物理化学条 件,导致了具同构造成生发育组构特征的透辉石、钙 铝榴石等矿物和矿物组合的产生。早阶段的条带矿 物透辉石,长石等具明显的韧性一脆韧性变形特征, 并常发育 S—C 组构,表明它们生成于深层次简单 剪切控制下的早期变形变质阶段,并卷入同构造的 晚期变形;而晚阶段的条带矿物阳起石、绿泥石等更 趋向韧脆性变形,可能是在递进变形过程中,伴随地 壳抬升,构造环境发生变化所致。

矿区第二类条带具明显的地壳较浅层次的韧脆 性一脆性构造环境下的生长发育组构特征(表1), 其内部普遍发育特征明显的各类交代结构,明显与 气液交代作用有关,纹带矿物主要沿钙质的成分 "层"(变余 S₀)或早期条带(S₁)发育,并交代置换 原岩矿物形成新生条带,表明其是在早期的面状构 造(S₁或 S₀,S₁//S₀)控制下,热液进行选择性交代形 成的成分差异条带,条带矿物一般无优选定向,当在 平行早期的面状构造的剪张破裂、滑动控制下发生 交代充填作用,则形成组成矿物以定向一半定向的 长条状、马牙状与条带大角度相交的条带。

以上表明,在一定的物质成分、热液流体等条件 下,原岩的构造变形方式与机械变形行为是控制条 带及其内部组构的重要因素,特别是在第一类条带 中,深层次剪切成为控制定向的它形变晶条带矿物 发育分布的关键构造因素;而原岩组构控制下的选 择性交代是导致第二类条带形成的另一重要原因; 除此之外,气液运移中的化学成分和物化条件的不 断变化,也促使序次产出的交代蚀变矿物(组合)呈 条带状发育,反映了矿物生成的阶段、世代差异。以 上各因素都是时间和空间上的动态参数,它们共同 但不同程度的控制了矿区条带状构造的形成和地质 发育特征。

4.1 两类条带状构造的关系及其演化特征

两类条带的发育分布、组构特征、控制因素与形成方式等具显著差异,常见矿物组成和内部结构与 第二类条带相同的细脉或网脉切过已发生褶曲变形 的第一类条带,有时这些细脉或网脉与第二类条带 贯通相连、相互延入生长,显示较浅层次脆性变形条 件下的共生特点(图2d);这表明第一类和第二类条

表 2 青海兴海赛什塘铜矿第一类条带状构造中斜长石电子探针分析结果(%) Table 2 The chemical compositions of plagioclase developing along the type1 ribbon structure by EPMA (%) in the Saishitang copper deposit, Xinghai, Qinghai

样号	矿物	Na ₂ O	SiO ₂	CaO	K ₂ O	$\mathrm{Al}_2\mathrm{O}_3$	总量	Ab	An	Or
SSB-88	中长石	6.88	60.87	6.95	1.05	24.08	100.08	56.66	36.73	6.61
SSB-88	中长石	6.38	58.88	8.12	0.80	25.04	99.66	52.29	42.70	5.01
SSB-170	中长石	7.65	54	9.92	1.46	23.27	96.39	50.56	42.07	7.37
90Ess60-1 *	倍长石	3.05	49.44	15.09	0.11	32.08	100.09	15.51	84.07	0.42
91Ess146 *	拉长石	3.67	55.44	10.89	0.18	28.37	98.78	37.45	61.34	1.21

注:样品在核工业北京分析测试中心测定。

表 3 青海兴海赛什塘铜矿条带状构造中石榴子石电子探针分析结果(%)

Table 3 The chemical compositions of garnet developing along the ribbon structure by EPMA (%) in the

Saishitang copper deposit, Xinghai, Qinghai

样号	矿物	条带	Na ₂ O	SiO ₂	CaO	K ₂ O	Al_2O_3	MgO	TiO ₂	FeO	MnO	总量	分子式
SSB-40	铁铝榴石	第	0.00	38.08	35.12	0.00	12.06	0.11	0.53	13.44	0.32	99.65	$Ca_{3.06}Mg_{0.01}Fe_{0.91}Mn_{0.02}Al_{1.16}Cr_{0.00}Ti_{0.03}Si_{3.10}O_{12}$
SSB-40	钙铝榴石	-	0.00	39.35	35.63	0.00	17.74	0.30	0.23	6.21	0.46	99.92	$\mathrm{Ca}_{2.96}\mathrm{Mg}_{0.03}\mathrm{Fe}_{0.40}\mathrm{Mn}_{0.03}\mathrm{Al}_{1.62}\mathrm{Cr}_{0.00}\mathrm{Ti}_{0.01}\mathrm{Si}_{3.05}\mathrm{O}_{12}$
SSB-40	铁铝榴石	类	0.05	38.37	35.61	0.00	12.22	0.07	0.39	13.26	0.26	100.22	$\mathrm{Ca}_{3.08}\mathrm{Mg}_{0.01}\mathrm{Fe}_{0.90}\mathrm{Mn}_{0.02}\mathrm{Al}_{1.16}\mathrm{Cr}_{0.00}\mathrm{Ti}_{0.02}\mathrm{Si}_{3.10}\mathrm{O}_{12}$
SSB-19	钙铁榴石	第	0.00	36.03	34.01	0.00	0.82	0.21	0.00	28.75	0.03	99.91	$\mathrm{Ca}_{3.26}\mathrm{Mg}_{0.03}\mathrm{Fe}_{2.15}\mathrm{Mn}_{0.00}\mathrm{Al}_{0.09}\mathrm{Cr}_{0.00}\mathrm{Ti}_{0.00}\mathrm{Si}_{3.22}\mathrm{O}_{12}$
SSB-19	钙铁榴石		0.04	35.88	34.49	0.00	1.51	0.05	0.00	27.21	0.05	99.27	$Ca_{3.\ 30}Mg_{0.\ 01}Fe_{2.\ 03}Mn_{0.\ 00}Al_{0.\ 16}Cr_{0.\ 00}Ti_{0.\ 00}Si_{3.\ 21}O_{12}$
SSB-19	钙铁榴石	类	0.04	36.81	34.63	0.00	3.42	0.16	0.00	25.31	0.11	100.47	$Ca_{3.22}Mg_{0.02}Fe_{1.84}Mn_{0.01}Al_{0.35}Cr_{0.00}Ti_{0.00}Si_{3.19}O_{12}$

注:样品由核工业北京分析测试中心测定。加"*"者引自李福东(1993)。

带之间存在时间一构造间断。

综合分析表明,矿区条带状构造经历了两个阶 段的成生发育,分别形成了两类条带构造,早期在地 壳较深层次的分层剪切作用下,伴随同构造岩浆活 动引起的接触(交代)变质作用的复合叠加,形成具 带,可能此时系统还相对封闭,缺少外来流体的加 入,以同构造的接触变质作用为主,或由于岩石孔隙 和渗透性在韧塑性变形中不能长时间存在 (Balashov et al., 1998),不利于气液流体活动,形成 的第一类条带矿物以石榴子石、透辉石等不含水矿 物为主,交代结构不发育。之后,伴随着构造一抬升 及岩床、岩席、岩舌的侵位,在接触带附近形成具较 浅层次构造环境下的组构特征的第二类条带,因围 岩脆性应变增强,岩浆侵位水压破裂及区域构造断 裂、破裂发育,从而提高了围岩对交代气液流体的渗 透性,大量气液流体的加入,使第二类条带中的交代 作用广泛而强烈,生成大量阳起石、绿泥石、透闪石 等含水矿物,并伴生金属矿物的产出沉淀。见第二 类条带矿物交代第一类条带矿物,当前者沿第一类 条带集中发育时,则形成一种复杂的复合条带(表 1)。可能与构造一岩浆活动的脉动性有关,两类条 带的形成演化具非连续性,其间存在短时间的间断。

矿区岩浆杂岩的锆石 U-Pb 和黑云母 K-Ar 同位 素年代学资料(李福东等,1993;李东生等,2009)集 中于 205~234Ma,相当于印支中晚期,与区域上北 北西向的鄂拉山构造岩浆岩带的形成时间相一致, 揭示了条带状构造形成的区域地球动力学背景。

5 结论和讨论

依内部组构及发育特征的不同,可将青海兴海 赛什塘铜矿床的条带状构造分为两类,第一类条带 发育定向构造和它形变晶结构,由同构造的重结晶 和新生变晶组成,内部不甚发育交代结构;第二类条 带具典型的岩浆热液交代成因组构特征。综合分析 表明,条带状构造属先成或同生面状构造影响控制 下的选择性(交代)蚀变生成的一种变余或新生优 选定向组构(//S1 或 S0)。相较前人的"热水沉 积一变质改造"(李富东等,1993)或接触(交代)变 质成因观点,本文对赛什塘铜矿床的条带状构造给 出了更为合理的解释,这为矿床的成因演化研究提 供了新的依据;另外,两类条带状构造的识别和厘定 表明,两类条带状构造相关矿体的构造控矿因素存 在差异,并因此导致矿体形态与空间展布的差异,第 一类条带与矿体主要受韧性一脆韧性层间拆离带控 制,而第二类条带与矿体则多受脆性破裂控制,而两 类条带的复合叠加处也是矿化较好部位,以上规律 认识无疑会提高勘查找矿工作的综合效果和效率。 本文重点关注了赛什塘铜矿床的矿石条带状构造内 部组构及发育特征,对同构造变质变形与岩体上侵 就位和矿化的相互反馈作用及其过程尚需进一步深 入研究。

致谢:中国地质科学院董树文研究员百忙之中 审阅初稿,给予指导和宝贵建议;野外作业中,得到 了西部矿业赛什塘铜矿刘海红、刘恒、王洪庆等大力 帮助。致以诚挚和深切谢意。

注释 / Note

 青海省地质矿产局.1993.中华人民共和国区域地质调查说明书 (1:5万赛什塘牧场幅).西宁:青海省地质矿产局,5~37.

参考文献 / References

- 李福东,张汉文,宋治杰等.1993.鄂拉山地区热水成矿模式.西安:西 安交通大学出版社,172~222.
- 李东生,奎明娟,古凤宝,王建军,柏红喜,詹发余,王发明,马彦青. 2009.青海赛什塘铜矿床的地质特征及成因探讨.地质学报,83 (5):719~730.
- 路远发. 1990. 赛什塘一日龙沟矿带成矿地球化学特征及矿床成因. 西北地质, 23(3):32~34.
- 潘彤,罗才让,伊有昌,钱明.2006.青海省金属矿产成矿规律及成矿 预测.北京:地质出版社,74~77.
- 宋治杰,张汉文,李文明,张心广,王维. 1995. 青海鄂拉山地区铜多 金属矿床的成矿条件及成矿模式.西北地质科学,16(1):134 ~144.
- 田生玉. 1999. 青海赛什塘一日龙沟矿田岩浆岩与成矿的关系探 讨. 有色金属矿产与勘查, 8(6):383~387.
- 吴健辉,丰成友,张德全,李进文,佘宏全.2010.柴达木盆地南缘祁漫 塔格—鄂拉山地区斑岩—砂卡岩矿床地质.矿床地质,29(5): 760~774.
- 吴庭祥. 2010. 青海赛什塘铜矿床地质特征及成矿模式. 矿产勘查,1 (2):140~144.
- 张汉文. 2000. 青海铜峪沟铜矿床的热水沉积规律及形成环境—— 兼论热水作用与火山活动的关系.西北地质科学,2:46~56.
- Balashov V N, Yardley B W D. 1998. Modeling metamorphic fluid flow with reaction – permeability feedbacks and at a range of effective stresses. American Journal of Science, 298: 441 ~470.

Genesis of Ribbon Structure in Saishitang Copper Oredistrict, Xinghai County, Qinghai Province

ZHANG Zhongyi^{1,2)}, XIN Tiangui³⁾, HE Peng^{1,2)}, ZHU Xinyou^{1,2)}

1) Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing, 100012;

2) China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing, 100012;

3) Western Mining Co., Ltd., Xining, 810003

Abstract: Based on the new macro—microscopic data, two ribbon types have been differentiated according to the internal fabric and developmental characteristics of the ribbon structure in the Saishitang copper deposit, Xinghai County, Qinghai Province. Detailed studies revealed that ribbon structure is a palimpsest or neomorphic directional texture ($//S_1$ or S_0) as a result of isochemical metamorphism and selection replacement of protolith, typically controlled by early-formed and syntectonic planer structures, and reflects the superposition of the syntectonic contact metasomatism and regional metamorphism and deformation. Two styles of ribbon structures, respectively defined by two generations of syntectonic mineral assemblage representing the structural development and formation stage, are developed during the transition from early-stage brittle ductile deformation to late-stage brittle fracture for deformation manner of the host rocks. It is significant to carry out study of ribbon structures in Saishitang and to gain further knowledge about genesis and evolution of deposit.

Key words: ribbon structure; Saishitang copper deposit, Xinghai, Qinghai; syntectonic metamorphism; contact metasomatism

GEOLOGICAL REVIEW

Vol. 59 No. 5 2013

CONTENTS

Discussion

Methods for Least Squares Fitting of a Straight Line and Their Application in Geochronology
FAN Wenbo, WANG Wenlong, CHEN Yuelong, LI Dapeng(815)
Discovery of Siderite Concretes in Mesoproterozoic Xiamaling Formation, Jixian Section
ZHU Xiangkun, ZHANG Kan, ZHANG Feifei, GAO Zhaofu, DONG Aiguo, BAO Chuang, GUO Yueling, YAN Bin, LIU Hui ⁽⁸²²⁾
Sapphirine and Al-rich Spinel in Rodingitized Amphibolite and the Geological Implications in the Dongdegou, Zhaosu
County, Southwestern Tianshan Mountains
Discussion on Uplifting Mechanism of the Linglong Batholith in Eastern Shandong
LIN Shaoze, ZHU Guang, Yan Lejia, JIANG Qinqin, ZHAO Tian(844)
Sedimentary Characteristics and Fluid Mechanism in the Middle Segment of the Taiwan Canyon
······ XU Shang, WANG Yingmin, PENG Xuechao, YANG Caihong, LI Hua, CAO Jianzhi, ZHENG Guichun, ZHAO Yanan (851)
Ages and Provenance of the Neoproterozoic Dajiangbian Formation and Aiqiling Formation in Southeast Hunan Province:
U-Pb Geochronological Evedence of Detrital Zircons ·····
WU Hao, JIANG Xinsheng, WANG Jian, WANG Zhengjiang, DU Qiuding, DENG Qi, CUI Xiaozhuang, YANG Fei (868)
Geochronological and Geochemical Study on Datan Granite in Liujiaping Area, Northwest Yangtze Block and Its Tectonic Sitting
LI Zuochen, PEI Xianzhi, LI Ruibao, PEI Lei, LIU Chengjun, (884) CHEN Guochao, CHEN Youxin, XU Tong, YANG Jie, WEI Bo