

易门式铜矿床的多因复成成因

韩润生¹, 刘丛强², 孙克祥³, 马德云⁴, 李元⁴

(1. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放室, 贵州 贵阳 550002;
昆明理工大学, 云南 昆明 650093)

(2. 中国科学院地球化学研究所国家环境地球化学重点开放室, 贵州 贵阳 550002)

(3. 云南地质矿产局地质科学研究所, 云南 昆明 650031)

(4. 昆明理工大学, 云南 昆明 650093)

摘要: 本文在概括易门铜矿区成矿地质背景及矿床地质特征的基础上, 讨论了火山热水沉积作用、构造改造作用、岩浆叠加作用及地下热水再造作用与成矿的关系, 认为易门式铜矿床为“裂谷成矿背景—火山热水沉积—构造改造富集—深源岩浆叠加—地下热水再造”型多因复成矿床, 最终建立其成矿模式, 为今后的找矿预测指明了找矿方向。

关键词: 多因复成矿床; 成矿模式; 矿床地球化学; 易门式铜矿床

中图分类号: P618.41; P611 文献标识码: A 文章编号: 1001-1552(2000)02-09

0 前言

易门铜矿床因与东川式铜矿床既有成矿的相似性, 又有其特殊性, 孙家骢等(1995)^①称为易门式铜矿床。关于它的成因众说纷云, 其主要观点有热液说(中温热液说)及层控矿床之观点即沉积—变质说、火山沉积说、喷气—沉积说[1989, 张云生]、火山沉积—变质说、沉积成岩—改造说[1994, 冉崇英]。截止目前, 层控矿床之观点仍占主要地位。云南易门地质队(1977)阐述了昆阳群铜矿凤山型矿床的富集规律; 孙家骢等(1995)建立了易门式裂谷铜矿床的成矿序列。这些理论和观点在一定程度上丰富了对易门式铜矿床成矿作用的认识, 为矿区指出了找矿方向。但是, 这些观点还有待于深入研究。关于“多因复成”成矿观, 最早由陈国达院士提出, 并给予完整的论述。王伏泉(1994)论述了中国前中生代海相火山岩铜矿床多因复成性。这一成矿观点为理论与找矿实践开阔了思路。笔者通过深入地研究认为, 易门式铜矿床为一多因复成矿床。故本文着重对此加以探讨, 为成矿动力学研究奠定基础[1999, 韩润生等]。

收稿日期: 2000-02-17; 改回日期: 2000-03-20

基金项目: 云南省中青年学术和技术带头人培养经费、由科学技术部攀登计划预选资助项目(编号: 95-预-39)及云南省青年自然科学基金项目联合资助。

作者简介: 韩润生(1964-), 男, 博士后, 副教授, 主要从事流体地球化学、成矿动力学研究方向的科研和教学工作。

① 1995. 孙家骢等, 易门式铜矿床构造地球化学特征及盲矿预测(科研报告)。

1 裂谷成矿背景及矿床地质特征

1.1 成矿背景概述

易门铜矿位于扬子大陆边缘的元古宙昆阳裂谷内武定—易门—元江裂陷带中段的易门裂陷盆地中。西部以绿汁江断裂为界, 东界以罗茨—易门断裂与中元古代相对隆起分开, 形成近 SN 走向的狭长沉积盆地。矿区主要出露中、古元古界昆阳群黑山头组 (PtKnh_s)、大龙口组 (PtKnd)、美党组 (PtKnm)、因民组 (PtKny)、落雪组 (PtKnl) 和鹅头厂组 (PtKne) 及绿汁江组 (PtKnlz), 为一套低绿片岩相浅变质岩系, 局部出露古元古界—太古界大红山群底巴都组核杂岩及老厂河组残粒岩和片岩等变质岩系。其中因民组、落雪组及鹅头厂组黑色层是易门式铜矿床的含矿层位。

裂谷是由地幔上涌导致地壳横向扩张而产生的裂陷槽地, 地幔上涌形成的热异常带是火山活动和喷流热水沉积作用的地球物理条件。因此, 火山喷流热水沉积作用的发生及其沉积物的形成, 这不仅是同生断裂活动的重要标志, 而且是裂谷沉积作用的特征标志。本区西矿带(图 1)从因民组到鹅头厂组底部有火山岩及喷流热水沉积岩存在, 特别是在因民组—落雪组及落雪组—鹅头厂组的过渡层特别发育, 与铜的成矿作用关系密切。在裂谷的不同演化阶段, 形成了不同类型的沉积建造和不同类型的矿床: 火山热水沉积改造型(狮山型)与火山热水沉积—强改造—岩浆叠加型(凤山型)。概括来说, 从东川运动开始的中元古宙裂谷发展主要经历了四个阶段: (1) 因民期裂谷断陷阶段; (2) 落雪—鹅头厂期裂谷断陷向拗陷转化阶段; (3) 绿汁江期裂谷拗陷阶段; (4) 新元古代裂谷回返封闭阶段。最终形成易门式铜矿床。可见, 裂谷成矿背景与易门铜矿床的形成密切相关。

1.2 矿床地质特征简述

综合两种类型矿床的特点, 可以看出同一成矿背景下不同矿床具有不同的成矿地质特征(表 1)。

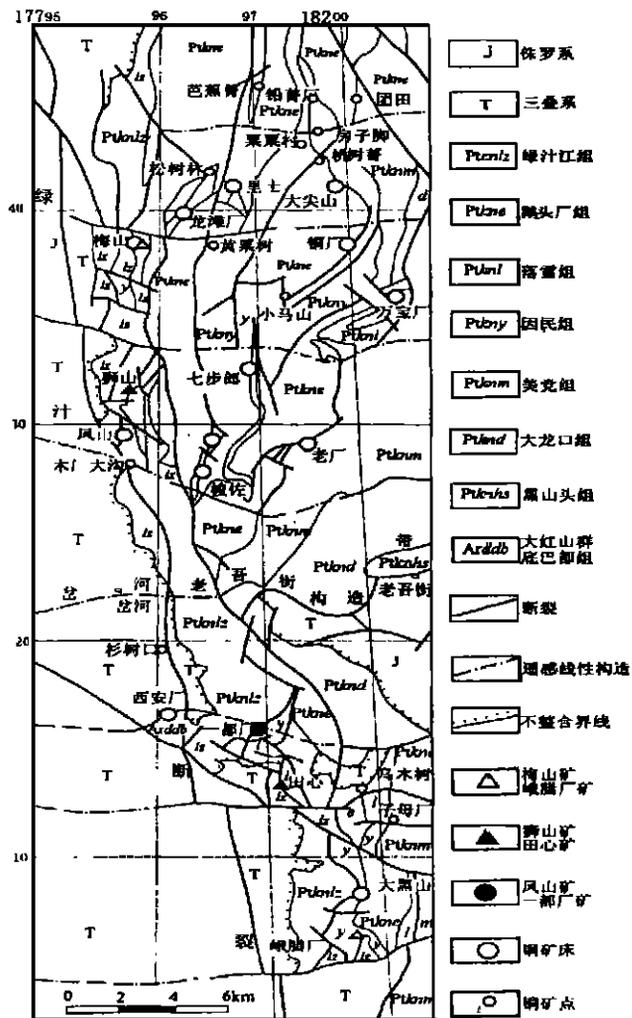


图 1 易门铜矿区西矿带地质简图

Fig. 1 Geological map of the western metallogenic belt of the Yimen Copper Orefield

图内的 y, l, m, lz, e, d 分别指因民组、落雪组、美党组、绿汁江组、鹅头厂组、大龙口组

表 1 易门矿区主要矿床类型的特征

Table 1 Characteristics of major deposit types in the Yimen mine area

矿床类型 特征描述	狮山型矿床	凤山型矿床
大地构造环境	昆阳裂谷的武定—易门—元江裂陷槽中的易门裂陷盆地	
成矿作用方式	因民—鹅头厂早期,绿汁江断裂东侧形成深水及非补偿型沉积环境,有基性火山活动和喷流热水沉积作用的发生,形成初始含矿层。在晋宁—澄江期,在构造应力作用下,使成矿物质发生活化迁移重新分配,在含矿层位的北东向层间构造带形成层状工业矿床。	因民—鹅头厂早期,形成初始含矿层。在晋宁—澄江期,由于构造应力的强烈作用,伴随着刺穿构造的形成,使含矿层发生塑性流动,穿至绿汁江组(赋矿地层)白云岩中,同时还有热力作用和深源岩浆热液的叠加作用,发生充填交代作用,形成与刺穿构造和岩浆叠加作用有关的富铜矿床。
主要控矿因素	因民组、落雪组和鹅头厂组底部含矿层位;地堑型断陷沉积盆地地岩相;绿汁江生长断裂和北东向(层间)构造带。	除受含矿层控制外,受构造控制明显区域上受控于绿汁江断裂,改造富集期主要受北东构造带和改造后的南北构造带及刺穿构造的控制;还受深部岩浆活动控制
矿体形态产状	层状、似层状、透镜状、呈整合产出。	脉状、囊状、巢状、柱状及不规则状,常切穿地层产出,产状陡倾,延深大于延长。
矿物组合	黄铜矿—斑铜矿—胶黄铁矿—辉砷钴矿,变胶黄铁矿—石英—钠长石,还有重晶石和电气石等矿物。	黄铜矿—斑铜矿—石英—钠长石—白云石—辉砷钴矿—黝铜矿,有时有辉砷钴矿、毒砂、闪锌矿等矿物
矿石结构构造	细纹层—韵律条带状、微粒浸染、结核状、角砾状等构造和胶状、变胶状、鲕状、显微莓球粒状等同生沉积结构。	碎斑状、角砾状、脉状、网脉状等构造;交代残余、固溶体分离、充填交代等结构。
热液蚀变	有硅化褪色外,热液蚀变不明显。	硅化为主,绢云母化、绿泥石化、蛇纹石和长英岩化
地球化学标志	1) (Ni、Co、As、Cu)元素组合; 2) 黄铁矿 $Co/Ni > 1$ (1.35 ~ 92.88), 且 Ba 较高 ($0.09 \sim 0.85$) $\times 10^{-2}$, 还含 As、Se; 3) 黄铜矿 $Co/Ni = 4.66 \sim 9.06$	1) (Cu、Bi、Zr)元素组合; 2) 黄铁矿 $Co/Ni > 1$ (2.26 ~ 75.71), 含 Ba、Se 等; 3) 黄铜矿 $Co/Ni = 4.66$
矿物包裹体成分均一温度及盐度	1) 含矿热液 pH = 7.83 ~ 8.8; 2) $Na^+/K^+ = 3.19 \sim 4.46$; $SO_4^{2-}/Cl^- = 0.05 \sim 1.30$, 主要属 $Na^+ - Mg^{2+} - (SO_4^{2-})$ 型溶液; 3) 均一温度 110 ~ 200°C 平均 125°C; 4) 盐度 20.5×10^{-2}	1) 含矿溶液 pH = 7 ~ 7.1 和 8.93 ~ 8.96 2) $Na^+/K^+ = 1.09 \sim 24.38$; $SO_4^{2-}/Cl^- = 0.05 \sim 0.56$ 主要属 $Na^+ - Ca^{2+} - Mg^{2+} - F^- - SO_4^{2-} - Cl^-$ 型溶液; 3) 均一温度分两个区间: 110 ~ 200°C 和 220 ~ 320°C, 局部 406°C; 4) 盐度 $(4 \sim 10) \times 10^{-2}$ 和 $(12 \sim 18) \times 10^{-2}$
矿床(点实例)	狮山、田心、里士、峨腊厂东、梅山东、狮子山等	凤山、一都厂、梅山西、峨腊厂西、阿百里等

2 火山喷流热水沉积作用与成矿

综合矿区三家厂(包括狮山、凤山)、一都厂、梅山及阿百里地区地层沉积序列与古构造沉积相特征、地层地球化学及矿床等方面的主要特征,认为易门裂陷盆地存在火山喷流热水沉积作用,热水活动的中心可能呈 SN 向串珠状分布,以狮山、凤山及一都厂等地区最为强烈,它们应是铜的原始富集区。究其证据主要有:

(1) 喷流岩与成矿:在因民组—鹅头厂组中,特别是含矿层中的紫色层和黑色层中发育硅质岩、含纯净钠长石硅质条带白云岩及含钠长石硅质条带炭泥质岩。这些岩石是典型的热热水沉积岩,岩石中产出条带状、浸染状黄铜矿和顺层纹状黄铁矿。在峨腊厂,硅质岩中赋存钴矿体,其下有铜矿体,这种矿物分带现象是火山沉积矿床的典型特征。

(2)火山作用与成矿: 在因民组、落雪组中陆续发现火山角砾岩和火山熔岩、凝灰岩及细碧岩及 0 火山沉积岩等, 其中的铜丰度值高于区域背景值数倍。而且, 矿体产于火山岩或火山沉积岩中或附近。可见, 火山作用与成矿有关, 更重要的是喷流热水沉积作用伴随着火山作用的发生。

(3)矿床具明显的同生特征: 1) 矿床受含矿地层控制, 层状矿体明显受岩相、岩性控制; 2) 矿体产状及矿石具同生沉积成因的典型组构(表 1); 3) 有机质在成矿过程中起了重要作用。黑色层中有机质含量高达 $(0.12 \sim 0.23) \times 10^{-2}$, 狮山型矿床矿石可高达 $(0.14 \sim 0.56) \times 10^{-2}$, 狮山矿床可达 $(0.11 \sim 2.06) \times 10^{-2}$, 一般高于地层 $(0.01 \times 10^{-2} \sim 0.07 \times 10^{-2})$ 一个数量级[1993, 冉崇英等]。

(4)成矿温度: 矿物包裹体的均一温度和盐度主要分布于两个区间(表 1), 矿物包裹体主要为液相、子矿物相包裹体及气相包裹体。因此, 成矿流体主要是两种不同性质流体混合而成的。研究认为, 前者代表了火山喷流热水沉积期的温度, 后者代表了改造—叠加期的成矿温度。

(5)微量元素特征: 据冉崇英等(1995), 康滇地轴中, 因民组紫色层铜背景值 228×10^{-6} ; 落雪组杂色层铜背景值 294×10^{-6} ; 鹅头厂组黑色层为 279×10^{-6} , 比地壳中铜的克拉克值高得多。含铜地层岩石中, Ba、As、Bi、Ag、Cu、B 等元素含量高于区域背景值, 特别是 Ba 含量高 $(900 \sim 8500) \times 10^{-6}$, 平均值高达 2176×10^{-6} , 因而在含铜层和矿石中出现了重晶石。另外, 还出现短柱状电气石。而且, 矿区地层微量元素地球化学研究也表明了喷流热水沉积作用的典型特征(表 2)。其中, F₁ 因子主要代表了正常沉积的造岩元素组合; F₂ 因子代表了 Cu、Ag 矿化元素与沉积地层和岩浆活动有关的元素组合, 反映了 Cu、Ag 矿化元素在沉积地层中已有原始富集, 还有深源物质叠加的特征; F₃ 因子反映了中低温矿化元素的组合; F₄ 负因子代表了火山喷流沉积作用的元素组合, 正因子可能代表高温热液成矿元素的组合; F₅ 因子代表低温矿化元素的组合; F₆ 因子代表了基性岩浆活动的元素组合。这一特点反映了铜等矿化元素不但与喷流热水沉积作用有关, 还与岩浆叠加作用有关。

(6)稀土元素地球化学特征(表 3): 因民组—鹅头厂组岩石的稀土配分曲线均为向右缓倾的有 Eu 亏损的轻稀土富集型, 而绿汁江组的配分曲线主要为平坦型。而且, 因民组—鹅头厂组稀土总量 $\sum REE$ 比绿汁江组高得多, 而且 $(La/Sm)_N$ 也有一定差异, 反映了它们是不同的沉积环境的产物。前者与火山岩、火山沉积岩稀土特征相似, 反映了火山喷流热水沉积的地质环境, 后者反映了正常沉积环境。

表 2 易门矿区不同地区地层微量元素因子分析结果(121 件样品; 25 个元素)

Table 2 Factor analysis of trace elements in strata from different areas of the Yimen mine area

地区 因子	易门矿区	阿百里	梅山	三家厂
F ₁	Sc, Co, Ga, Zr, B, Mo, Ti, V	-Sc, -Co, -Ga, -Y, -La, -Yb, -Ti, -V, -B, -Zr, -Nb, -Mo	-Mn, -Ba, -Nb; B, Zr, Mo, Be, (Ga)	Ni, Se, Cr, Co, Cu, Zn, Ga, Y, La, Bi, Zr, Nb, Ag
F ₂	-Ni, -Cu, -Y, -La, -Ag	Cu, Sr, Ba, Bi, As, Sb, Ag	Sc, Co, Ga, La, Ti, V, Zr, Nb, (Yb)	-Ca, -Be, -Mn, -Sr, -Ba, -Ti, -V
F ₃	-As, -Bi, -Sb, -Sr	Be, Cr, -Mn, -Zn, -Y, -Yb, -Pb	-Cu, -Sb, -As	As, Mo
F ₄	-Mn, -Ba, -Nb; Be, Mo	Be, Ni, Zn	Ni, (Co)	-Be, -As, -Sb; Pb(Cu)
F ₅	Pb, Zn, As, B		Sr	
F ₆	-Ti, -V; Cr		Zn, Pb, Bi	

表 3 易门矿区不同地区地层岩石稀土元素特征参数表

Table 3 Characteristics of rare - earth elements in rocks from different areas of the Yimen mine area

序号	地区	地层	样品数	Σ REE	$\frac{\text{LREE}}{\text{HREE}}$	$(\text{La}/\text{Yb})_N$	$(\text{La}/\text{Sm})_N$
1	阿百里	Pt Knl	2	76.73	2.54	8.29	6.07
		Pt Kny	2	115.83	3.92	16.48	6.20
2	西安厂	Pt Knlz	1	20.20	2.80	16.00	6.66
		Pt Kny	2	191.12	5.97	26.43	8.61
3	杉树口	Pt Knl	1	50.01	4.72	21.87	6.93
		Pt Kny	1	227.31	6.30	29.22	7.40
4	阿百里	Pt Knlz	1	38.62	4.64	14.87	0.62
		Pt Kne	1	166.59	5.36	21.35	4.65
		Pt Knl	6	86.84	2.83	5.89	4.52
		Pt Kny	1	409.99	9.28	38.82	3.65
5	梅山	Pt Knl	2	124.99	5.78	22.64	3.42
		Pt Kny	3	239.62	6.98	24.08	3.14
6	三家厂	Pt Knlz	2	13.57	9.40	44.86	3.69
		Pt Knl	1	219.25	5.49	26.30	3.28
7	矿区北部	Pt Kn(流纹岩)		259.46	2.51	11.68	5.53
		Pt Kn (凝灰质板岩)		121.43	4.92	21.59	

1~6 由国土资源部宜昌地质矿产研究所测试,7~8 据中南工业大学(1995).

3 构造改造作用与成矿

3.1 成矿构造体系

孙家骢(1979)将矿区构造划分为五期。通过我们对易门矿田各方向断裂结构面力学性质的复杂转变过程,运用构造形迹筛分及配套方法,矿区的构造主要划分为三种构造体系,其成生发展的顺序为:早期 EW 构造带—早期 SN 构造带—NE 构造带—晚期 EW 构造带—晚期 SN 构造带—更晚期 EW 构造带。

从滇中铜成矿带来看,北部的禄武矿田、中部的易门矿田及南部的元江矿田的展布特征反映出这些矿田受 NE 构造带的控制,构成滇中多字型构造[1979,孙家骢];从西矿带矿床分布来看,矿床和含矿刺穿构造受到 NE 构造带的控制。例如,在三家厂地区,从北到南形成了三个较高级的 NE 构造—成矿带:狮山和菜园河及凤山构造—成矿带,组成了左列式多字型次级构造—成矿带。而且,改造作用依次增强,形成了狮山型—凤山型(主)、兼狮山型—凤山型矿体;从矿体分布来看,矿体受 NE 向压扭性断裂控制,形成“多字型”、“丁字型”、“入字型”、棋盘格式及“镜面对称”(1999,韩润生等)的控矿构造型式。一都厂地区的 NE 向矿体呈雁列排布,明显受 NE 构造带的压扭性断裂控制,这些多字型构造的串连面大致为 SN 向,与绿汁江断裂带和罗茨—易门断裂带走向一致,表明多字型构造是它们派生的构造应力场作用的产物。因此,NE 构造带是易门矿区改造富集期的成矿构造体系。

3.2 构造控矿作用及构造控矿模式

为了证明构造改造成矿作用,我们委托中国科学院贵阳地球化学研究所做了三轴高温高压岩石变形模拟实验,采用狮山矿床落雪组硅质白云岩和鹅头厂组含钠长石炭硅质泥质岩各 1 件样品进行实验。实验表明,矿源层在动力作用下,即使没有热液作用,铜质也能活化迁移富集在有利的构造中形成矿体。从而证明了动力改造作用在形成易门式铜矿床中可能发挥了重

要作用。矿源层中铜等成矿物质的赋存状态(细粒粘土矿物、凝灰质吸附和有机质吸附形式)[1993, 冉崇英等]为动力改造作用下铜活化迁移富集成矿提供了有利条件。而且,围岩蚀变就是构造流体作用的反映。发育的主要围岩蚀变有硅化、碳酸盐化、绢云母化、绿泥石化及石墨化,而且前三者常与矿体相伴,分布于矿体外围或矿体中,反映了构造流体活动的范围及其强弱程度,其次,镜铁矿化等蚀变是典型的构造流体产物。故构造控矿模式可概括为:裂谷环境为成矿提供了有利的成矿地质背景和矿源,刺穿构造[1981, 吴懋德等]和背斜核部的纵向断裂为含矿热液的转移提供了通道,刺穿构造实现了矿质的大规模迁移,有利的断裂构造为矿质提供了储存空间,而北东构造带直接控制了矿体的形成和分布,受构造控制的岩浆叠加作用为成矿提供了热动力,并补充了矿源。可见,易门铜矿的形成和分布严格受构造控制。

4 岩浆叠加作用与成矿

结合区域和矿区成矿作用特点推断,易门矿区存在岩浆叠加改造成矿作用,主要表现在以下事实:

(1)在凤山矿床十二中段坑道发现透闪石—阳起石矽卡岩铜矿体和闪长岩^①,矽卡岩矿体叠加于29号矿体上,使矿体变富。而且,29号矿体的品位统计曲线呈现多峰分布之特点,证明了岩浆叠加成矿作用的存在。

(2)刺穿构造内铜矿体矿物包裹体中出现气体包裹体,均一温度处于中高温,局部可达406℃[1988, 施林道],如此之高的温度必然与岩浆活动有关。而且,矿物包裹体成分也表明了这一特点。

(3)狮山型矿床和凤山型矿床黄铁矿Se平均含量分别为 $(110\sim 1790)\times 10^{-6}$ [1989, 张立生]、 218.55×10^{-6} ,黄铁矿和黄铜矿 $Co/Ni \gg 1$ (表1),明显表现出内生来源的特点。

(4)出现Cu—Pb—Zn—Bi—Co—Ni等金属矿化元素组合。而且,在凤山矿床深部(十三中段)出现两个铜矿化因子:(Cu、Zr、Bi)和(Ni、Co、As、Cu),前者代表了岩浆叠加的元素组合,后者代表了狮山型矿化元素组合。

(5)矿石中除存在黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿外,还发现有辉铜矿、黝铜矿、铁硫砷钴矿、辉砷钴矿、辉钼矿、毒砂及闪锌矿等矿物。矿物成分的复杂性和多样性反映了岩浆叠加改造的信息。

(6)一都厂地区的因民角砾岩中发现长英岩脉和长英岩化、蛇纹岩化岩石;梅山和峨眉厂地区的辉长辉绿岩与白云岩接触带见磁铁矿化大理岩带和辉砷钴矿等钴矿化;凤山地区因民组中发现变黑云钠长岩脉。这些发现表明矿区有岩浆侵位,可能与成矿有关。

(7)晋宁运动晚期,凤山地区有火山喷发,伴有基—中酸性次火山岩体(钠长斑岩和钠长辉绿岩)侵位,它们与成矿有关[1989, 张立生]。

5 地下热水活动与成矿

据孙克祥(1998)的研究,在易门矿区,凤山、七步郎、狮山、梅山、一都厂、西安厂、杉树口、芭蕉箐等矿床(点)中常见富铜矿脉,其长度数十至数百米,厚度数厘米至1.2m。主要有辉铜矿脉和斑铜矿、黄铜矿、黄铁矿脉及含铜石英脉或碳酸盐脉或团块,矿石构造主要为块状、角砾状。这些矿石大多较新鲜,氧化作用不强。例如,彭家石硐马尾丝铜矿已全部氧化成孔雀石,而

^①1995, 孙家骢等, 易门式铜矿床构造地球化学特征及盲矿预测(科研报告)。

脉状斑铜矿脉斜切马尾丝铜矿,但未氧化,说明其成矿在氧化作用之后。这些矿石无法测出其成矿年龄。这是伴随喜山期构造作用的地下热水作用的产物,凤山矿床深部钻孔中有热水存在就是证明,表明喜山期还有改造成矿作用的发生。

6 成矿模式

6.1 矿床成因

6.1.1 矿物同位素地球化学特征

(1) 硫源:硫同位素组成特征反映了两类矿床成矿的硫源具一致性和同源性。同位素组成变化范围为 $(-7.2 \sim 19.99) \times 10^{-3}$ (29个样品),众数在 $(2 \sim 8) \times 10^{-3}$ 间。因此,易门式铜矿床的硫源主要为深源,并有海水硫的参与。

(2) 铅源:矿石矿物铅同位素组成特征反映出明显的异常铅特征,含有放射性成因铅。同位素组成数据很分散, φ 、 μ 、 ω 值变化较大,样品点落于几个不同的铅源区内,表明矿区铅源是复杂的,既具有地壳铅,又有幔壳混合铅的特点,说明铅和铜既可以通过火山喷流热液从下伏含矿地层中活化迁移出来,又可通过深部岩浆活动带来。

(3) 热液来源:与金属矿物共生的石英、白云石及方解石的氢、氧、碳同位素组成特征(表4)反映了两种类型矿床的氢氧同位素组成存在差异。其原因可能与凤山型矿床后期强烈的改造和叠加作用有关。而且,大部分样品分布于岩浆水区和变质水区中及其附近,还有些样品靠

表 4 易门矿区矿物氢氧同位素组成表

Table 4 Hydrogen-oxygen isotope composition of minerals in the Yimen mine area

序号	样号	测试矿物	$\delta^{13}\text{C}(\times 10^{-3})(\text{PDB})$	$\delta^{18}\text{O}(\times 10^{-3})$ (SMOW)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}(\times 10^{-3})$ (SMOW)(计算)	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}(\times 10^{-3})$ (SMOW)(包裹体水)	产地
1	Mso-453-1	石英*		16.3	5.79	-93	芭蕉箐
2	Mso-453-2	石英*				-91	
3	Msr-447	石英*				-91	
4	Ymr-23-4-1	石英*		10.8	-3.11	-87	西安厂
5	Ymr-23-4-2	石英*				-86	
6	B12	石英*		19.20	5.84	-59	
7	28	白云石	-2.79	17.61	5.31		凤山
8	S30	白云石	-2.39	13.98	1.09		
9	S16	白云石	-1.08	15.58	0.51		
10	1	白云石	-1.44	16.85	0.97	-46.3	
11	18-2	白云石	-1.57	19.64	8.99		凤山
12	19	白云石	-1.06	11.9	3.45		
13	F40	白云石	-1.30	20.07	12.32		
14	F22	白云石	1.14	19.5	8.91		
15	F38	白云石	0.85	18.34	7.17		
16	F3	方解石	0.32	19.62	12.85	-61.3	
17	H10	白云石	0.44	16.49	5.04	-95.9	
18	H21	白云石		18.90	8.62	-70.9	
19	H36	石英		21.30	11.02	-77.2	

* 1~6 为国土资源部宜昌地质矿产研究所同位素室测试;7~19 据冉崇英(1989)。

注: $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 计算据 $1000 \ln a_{\text{石英}-\text{水}} = 3.3810^\circ\text{T} - 3.40$ [1973, Clayton 等]。

近大气降水线。表明成矿流体主要来源于海水和岩浆水。另外, 还有循环的地下热水的参与。所以, 成矿的矿源体是多样的, 成矿物质来源是丰富的, 深部岩浆活动不但提供部分矿质, 而且还提供了热力和热液来源, 构造作用提供了热动力, 从而为成矿提供了有利条件。

6.2 成矿模式:

易门式铜矿床的形成主要经历了火山热水沉积成矿期和改造—叠加成矿期。

(1)火山热水沉积成矿期

东川运动时, 滇中地区受到南北向主压应力作用, 形成东西向基底构造, 伴随着绿汁江断裂和罗茨—易门断裂之间的地区发生裂隙, 形成武定—易门—元江裂隙带, 形成深水拗陷和强烈非补偿型沉积环境, 并发生基性火山活动和广泛的火山喷流热水沉积作用, 形成狮山型铜矿的矿源层和部分层状矿体。

(2)改造—叠加—再造成矿期

随着昆阳裂谷的演化和发展, 易门裂陷盆地经历了晋宁运动、澄江运动, 发生褶皱回返封闭。由于构造应力作用, 元古宙地层发生断裂和褶皱及变质作用, 绿汁江断裂和罗茨—易门断裂发生左行走滑作用, 派生出北东—南东向主压应力, 从而导致了滇中多字型构造带的形成, 并形成火山喷流沉积—改造型矿床。同时, 伴随着刺穿构造的形成和岩浆的侵位, 由于热动力和岩浆热液的叠加作用, 使含矿层受到了强烈的改造作用, 最终形成了火山热水沉积—改造叠加型矿床。喜山期, 地下热水活动使原矿床(体)发生再造作用, 形成富铜脉。最终形成易门式多因复成铜矿床。

可见, 易门式铜矿床的成矿模式可概括为: 裂谷成矿背景—火山热水沉积—构造改造富集—深源岩浆叠加—地下热水再造(图 2)。

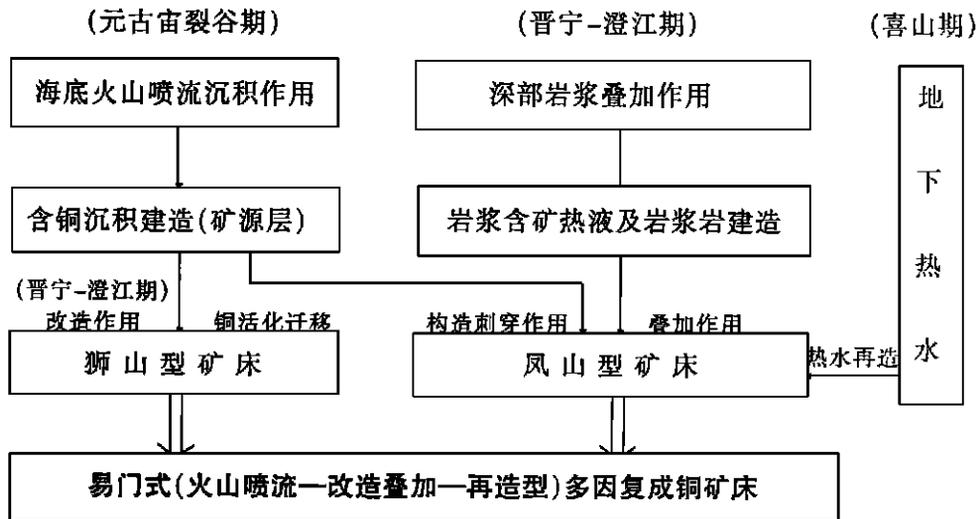


图 2 易门式铜矿床成矿模式简图

Fig. 2 Metallogenetic model for the Yimen-type copper deposits

致谢: 在实际工作中, 得到了孙家骢教授的亲切指导及易门矿务局、西南有色地质勘查局及西南有色地勘局 313 队及昆明理工大学有关技术人员的大力帮助; 在论文撰写过程中, 得到了中国地科院陈庆宣院士的亲切指导, 在此一并致谢!

参考文献:

- 1977 云南易门地质队, 昆阳群铜矿凤山型矿床富集规律[J]. 西南冶金地质, (1).
- 1979 孙家骢. 云南省主要构造体系的划分及其特征[J]. 地质力学文集. 北京: 地质出版社, (1).
- 1981 吴懋德, 李希责力. 云南昆阳群两种底辟构造[J]. 地质学报, 55(2), 105~117.
- 1988 施林道, 姜福芝, 卢海亚, 杨兵. 云南易门铜矿成因新见及其找矿意义[J]. 矿床地质, 7(2), 10~20.
- 1988 张立生. 云南狮山铜矿床喷气沉积成因[J]. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊, 10(4).
- 1993 冉崇英, 刘卫华. 康滇地轴铜矿床地球化学与矿床层楼结构机理. 北京: 科学出版社, 85~88; 137~148.
- 1994 王伏泉. 中国前中生代海相火山岩铜矿床多因复成性[J]. 大地构造与成矿学, 18(4), 339~343.
- 1994 冉崇英, 张智筠, 刘卫华, 等. 康滇裂谷旋迥与铜矿层楼结构及其地球化学演化[J]. 中国科学 B 辑, 24(3): 325~330.
- 1996 Sun Jiacong, Qin Dexian et al. Features of Tectonogeochemistry and Prognosis of Concealed Orebodies for Sanjiaochang Copper Deposit at Yimen, Yunnan[C]. Abstracts of 30th IGC, 2, 3:300.
- 1999 Han Runsheng, et al. Metallogenic Dynamics of the Yimen-type Copper Deposits and Prediction of Concealed Ores[J]. Chinese Science Bulletin (KEXUE Tongbao)[J]. 44, (Suppl 2): 250~252.
- 1999 韩润生, 孙家骢, 李俊, 等. 易门铜矿“镜面对称”成矿及其意义[J]. 地质力学学报, 5(2), 77~82.

COMPOSITE POLY-GENESIS OF YIMEN-TYPE COPPER DEPOSITS

HAN Run-sheng¹, LIU Cong-qiang², SUN Ke-xiang³, MA De-yun⁴, LI Yuan⁴

(1. Open Laboratory of Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guiyang 550002; Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

(2. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guiyang 550002, China)

(3. Institute of Geology Science, Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources, Kunming 650011, China)

(4. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: On the basis of study on metallogenic background and deposit characteristics, the relation of volcanic hydrothermal ore-forming process, tectonic reworking, deep source magmatic superimposition and hot underwater reworking with mineralization has been discussed in this paper. The genesis of the ore deposits can be explained by such a metallogenetic path as rift arc metallogenic background—volcanic hydrothermal mineralization—tectonic reworking—deep source magmatic superimposition—hot hydrothermal reworking. It is thought that the ore deposits are of composite poly-genesis type, and a metallogenetic model has been set up. The direction for metallogenetic prognosis in the future has been pointed out.

Key words: Composite polygenetic ore deposit; metallogenetic model; ore deposit geochemistry; Yimen-type copper deposit