

文章编号: 0258-7106 (2003) 04-0408-07

甘肃白银折腰山型和石青铜型块状硫化物矿床 综合信息找矿模型研究*

张洪培^{1,2} 刘继顺¹ 方维萱² 马光¹

(1 中南大学地学与环境工程学院, 湖南长沙 410083; 2 有色金属矿产地质调查中心, 北京 100814)

摘 要 甘肃白银厂—石青铜火山岩带是北祁连地区块状硫化物矿床成矿带的主要地段, 在其中已发现 6 个工业矿床。典型矿床的综合信息找矿模型研究对于进一步开展矿体定位预测具有重要意义。文章将已发现的矿床划分为火山喷口 Cu(Zn) 型(折腰山型)、火山喷口斜坡 Zn-Pb-Cu 型(小铁山型)和火山沉积洼地 Pb-Zn-Cu 型(石青铜型)三(亚)类, 并通过对典型矿床的地质特征、地球物理特征、地球化学特征及找矿标志等进行对比分析和研究, 建立了折腰山型、石青铜型两类矿床的综合信息找矿模型。应用该模型在黑石山地区进行成矿预测, 取得了良好的效果。

关键词 地质学 矿床模型 综合信息找矿模型 白银厂 折腰山 石青铜

中图分类号: P618.4; P622

文献标识码: A

矿床模型及找矿模型是国内外矿床学、矿床勘查学研究的前沿和热点之一(翟裕生, 2001; 张均, 1997; 方维萱, 1994; 张贻侠, 1993; 邵孟林, 1996; Thomas et al., 1998; Garcia, 1990; Cooke et al., 1998; Zaw et al., 1999), 对找矿有重要的指导意义。目前, 在找矿目标以隐伏矿床为主, 找矿难度日趋加大的形势下, 单一找矿方法难以凑效, 因此综合信息找矿模型研究逐渐成为主流(方维萱, 1996; 肖克炎等, 1999; 吕庆田等, 2001; Gemmell et al., 1998)。

甘肃白银厂—石青铜火山岩带中已发现折腰山、石青铜等 6 个与火山作用有关的块状硫化物矿床。折腰山矿床产于古火山穹隆中, 是我国块状硫化物矿床的典型代表, 前人已对其特征作了大量系统的研究(宋叔和, 1955; 西北地质科学研究所等, 1974; 成岗, 1980; 郭介人等, 1994; 彭礼贵等, 1995)。而石青铜矿床产于古火山穹隆之间的洼地, 其含矿围岩、矿体特征等方面与折腰山明显不同, 但前人对其研究不够。白银厂成矿模型的研究也多围绕白银厂古火山穹隆中的折腰山等矿床进行(黄建清等, 1996; 李向民等, 2002)。以折腰山等火山穹隆中的矿床为代表而建立的成矿模型, 在指导区域找矿, 尤其是指导火山穹隆之间的广阔沉积洼地的找矿有一定的局限性。本文将对折腰山、石青铜两矿床进行对比研究, 建立针对两类矿床的综合信息找矿模型, 以指导整个白银厂及其外围相似条件下的隐伏矿床(体)的定位预测。

1 白银厂—石青铜火山岩带地质概况

北祁连早古生代火山岩带是我国重要的块状硫化物成矿带(宋叔和, 2001; 孙海田等, 1997)。白银厂—石青铜火山岩带位于其东段南缘, 是其中主要的成矿地段。该带火山岩为一套寒武纪富钠质的海相火山岩组合, 岩石建造为细碧(玢)岩(石英)角斑岩及成分相对应的火山碎屑岩。该带的酸性火山岩分布在白银厂、黑石山、二道湾和石青铜 4 个地区, 构成走向呈 NW-SE, 长约 60 km 的火山岩带, 东部出露最宽, 约 14 km(图 1)。在白银厂, 寒武纪火山作用形成以酸性火山岩为核的古火山穹隆构造, 面积约 25 km², 细碧角斑岩系发育最完整, 其中酸性火山活动剧烈, 火山口规模大, 数量多, 粗火山碎屑岩分布广泛。黑石山古火山穹隆及沉积洼地面积约 35 km², 细碧角斑岩发育, 酸性火山活动较强, 但粗火山碎屑岩占的比重相对较少, 以溢流熔岩为主。在二道湾, 寒武纪火山岩出露面积约 20 km², 呈长约 13 km、宽 1.5~1.8 km 的长条状分布, 细碧角斑岩发育不完整, 火山爆发强度较弱, 由酸性火山熔岩层(夹少量凝灰岩层)和中基性熔岩层组成。而在石青铜, 寒武纪火山岩出露面积为 18 km², 有黄沟山及洞沟山两个古火山穹隆(奚小双等, 2002), 也见细碧角斑岩, 但与前述的古火山穹隆相比, 沉积岩比例较大, 大理岩、硅质岩等

* 本文得到国家重点基础研究发展规划项目(编号: 2001CB409805)、国家自然科学基金资助项目(编号: 40072032)和国家“九五”科技攻关项目(编号: 96-914-03-03-3-2)资助

第一作者简介 张洪培, 男, 1963 年生, 博士生, 高级工程师, 主要从事矿产勘查和区域成矿学研究。

收稿日期 2002-11-13; 改回日期 2003-04-15。张绮玲编辑。

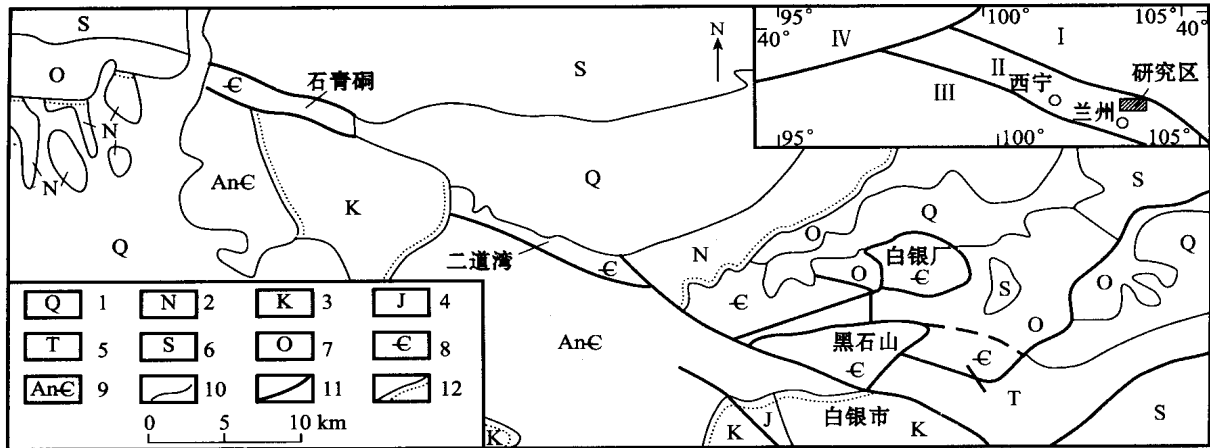


图 1 白银厂-石青洞火山岩带地质简图

1—第四系;2—第三系;3—白垩系砂砾岩;4—侏罗系砂页岩;5—三叠系砂岩;6—志留系砂质板岩;7—奥陶纪火山岩;8—寒武纪细碧角斑岩系;9—前寒武纪阜南群变质岩;10—地质界限;11—断层;12—不整合;I—华北陆块;II—祁连造山带;III—柴达木板块;IV—塔里木板块

Fig.1 Geological map of the Baiyinchang-Shiqingdong volcanic rock belt

1—Quaternary; 2—Tertiary; 3—Cretaceous sandy conglomerate; 4—Jurassic sandy shale; 5—Triassic sandstone; 6—Silurian sandy slate; 7—Ordovician volcanic rocks; 8—Cambrian spilite keratophyre sequence; 9—Precambrian metamorphic rocks; 10—Geological boundary; 11—Fault; 12—Unconformity; I—North China craton; II—Qilian orogenic belt; III—Qaidam plate; IV—Tarim plate

沉积岩分布较广,含矿酸性火山岩呈厚层状的夹层产于大理岩中。大量碳酸盐岩的存在表明,其形成环境属浅海相,沉积水体相对较深。

目前,在白银厂矿田已发现折腰山、火焰山、小铁山、铜厂沟和四个圈等 5 个大、中、小型铜多金属块状硫化物矿床,在石青洞发现一小型多金属硫化物矿床。它们都与北祁连寒武纪海相火山作用有关,成矿发生在酸性火山活动的晚期,矿体产于细碧角斑岩系的酸性端员——石英角斑质岩石内。

2 典型矿床地质模型

白银厂—石青洞火山岩带的块状硫化物矿床的差异性

与所处的火山(机构)构造部位有明显的联系。恢复典型矿床在本区古火山穹隆中的构造古地理位置具有指导今后找矿方向的作用。折腰山、小铁山和石青洞 3 个典型矿床与火山穹隆有密切的关系,但它们可能产于古火山穹隆的不同构造、古地理位置上(图 2)。折腰山矿床位于白银厂古火山穹隆西段,火山喷口相的石英角斑质集块岩、角砾岩以及次火山相的石英钠长斑岩在此处大量产出,表明矿床位于火山喷口部位。火焰山矿床产于另一火山喷口。小铁山及四个圈矿床位于白银厂古火山穹隆东段,产于火山喷口的斜坡位置(彭礼贵等,1995)。石青洞矿床位于黄沟山与洞沟山火山穹隆之间(奚小双等,2002),细火山碎屑岩、碳酸盐岩(大理岩)、硅质岩等沉积岩广泛分布,表明容矿构造位置是古火山沉积洼地(郭介人

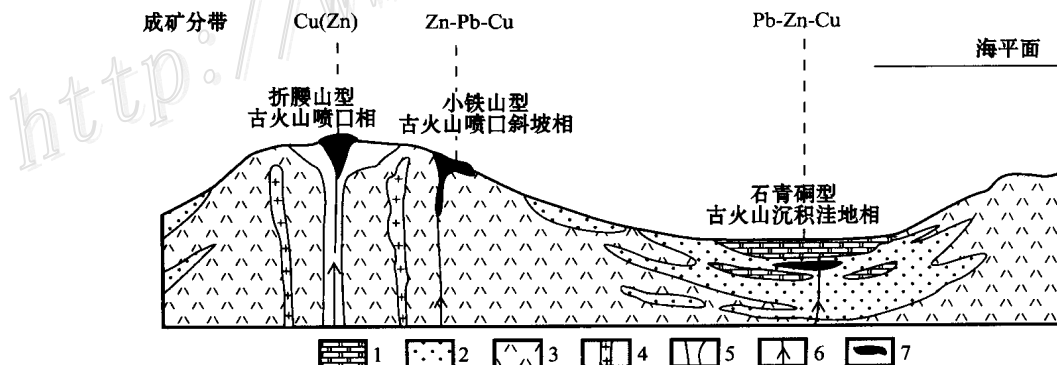


图 2 白银厂-石青洞成矿分带性与构造古地理位置概念模型图

1—大理岩;2—酸性细火山碎屑岩;3—酸性火山熔岩和粗火山碎屑岩;4—次火山岩;5—火山管道-火山喷口相岩石;6—热液流动通道;7—矿体

Fig.2 Conceptual model for metallogenic zoning and palaeogeography of Baiyinchang-Shiqingdong

1—Marble; 2—Acid fine-grained volcanic clastic rock; 3—Acid lava and coarse-grained volcanic clastic rock; 4—Subvolcanic rock; 5—Volcanic conduit-crater facies rocks; 6—Hydrothermal channel; 7—Orebody

等,1994)。

随着距离古火山机构中心部位的位置不同,主成矿元素的分布呈现不同的分带性。如折腰山及火焰山矿床以 Cu 为主,含少量 Zn;小铁山和四个圈矿床以 Zn-Pb 为主,Zn 多于 Pb;石青洞矿床,以 Pb-Zn 为主,Pb 多于 Zn。总体上看,随着与火山喷口距离的加大,成矿元素呈 Cu → Zn → Pb 的分带现象。据此,将白银厂—石青洞火山岩带的块状硫化物矿床划

分为 3 个(亚)类型:火山喷口 Cu(Zn) 矿床(称之为折腰山型);火山喷口斜坡 Zn-Pb-Cu 矿床(称之为小铁山型);火山沉积洼地 Pb-Zn-Cu 矿床(称之为石青洞型)。本文选择折腰山矿床、石青洞矿床分别作为折腰山型矿床、石青洞型矿床的代表,对它们的岩石组合、矿体特征、围岩蚀变、与成矿有关的热液沉积岩、成矿物理化学条件等方面进行对比研究,建立了两类矿床的地质模型(表 1)。

表 1 折腰山型、石青洞型两类矿床模型综合表

Table 1 Comprehensive table of deposit models for Zheyaoshan and Shiqingdong

	折腰山型矿床	石青洞型矿床
古火山构造部位	火山喷口	火山穹隆之间的洼地
矿床围岩	以石英角斑岩为主的石英角斑岩、细碧岩、硅质千枚岩组合。矿体产于石英角斑岩碎斑熔岩中。石英角斑岩的石英斑晶或晶屑直径大(0.5~3 mm)、数量多	石英角斑岩、细碧玢岩、角斑岩及大理岩组合。矿体产于大理岩下部细粒石英角斑凝灰岩中。石英角斑凝灰岩的石英晶屑直径小(一般<1 mm)、数量少
矿体特征		
形态、产状和规模	由块状矿体、浸染状矿体、网脉状矿体组成。主块状矿体 1 个,呈透境状,陡倾产出,长 420 m,最大延深 315 m,最厚 75 m;浸染状矿体围绕主块状矿体,最大者 900×350×50 m ³ 。网脉状矿体出现在主块状矿体上盘及下部尖灭处	似层状、扁豆状,顺层产出,矿体规模一般为(100~200)×100~200×(2~10) m ² ,矿体群成叠瓦状、平行层状产出
矿石结构、构造	主要为块状、浸染状、细脉状、网脉状构造。变胶状结构、粒球状结构、粒状结构、交代结构。	主要为浸染状构造。细脉状结构、粒状结构、交代结构
矿石矿物组合	主要为黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿,次要为方铅矿、磁黄铁矿、砷黝铜矿	主要为黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿
成矿元素组合及分带特征	主成矿元素 Cu、Zn。浅部水平方向,由上盘至下盘:Cu—Cu、Zn;由上而下:Cu、Zn—Cu	主成矿元素 Pb、Zn、Cu,富含 Au、Ag。由东向西:Cu—Cu、Pb、Zn—Pb、Zn
围岩蚀变	蚀变体呈扁筒状。矿物组合为绿泥石(主要为绿泥石)、绢云母、碳酸盐(菱铁矿-菱铁矿-富镁菱铁矿)。分带:由内至外为绿泥石化—绢云母化、硅化、碳酸盐化在蚀变体内广泛发育	蚀变体似层状,矿物组合为绿泥石(主要为绿泥石)、绢云母、碳酸盐(主要为铁白云石)。分带:内带为绿泥石化,外带为绢云母化。碳酸盐化较广泛
热水沉积岩	含 Fe 硅质岩、含 Fe-Mn 硅质岩	含 Mn 硅质岩
成矿物化条件	成矿温度:主要为中偏高温(200~350℃),pH 值:5~6,偏酸性,fO ₂ : -42~-38,还原环境	成矿温度为中低温,偏酸性,还原环境

3 综合找矿信息模型

上述折腰山型、石青洞型两类矿床模型是将两个矿床的复杂特征概括描述的结果。将其用于找矿则有必要以矿床模型为基础转化为找矿模型。

综合信息找矿模型是从早期(20 世纪 60 年代末)的地质-磁法模型、地质-电法模型、地质-地球物理模型、地质-地球化学模型发展起来的(邵孟林,1996),它最为全面、系统,又具最强的客观性和实用性,可有效地用于寻找隐伏矿床。

综合信息找矿模型的基本内容应包括地质模型、地球化学模型、地球物理模型和综合标志集合以及综合数据集合的观测和分析系统的优化组合(张贻侠,1993;方维萱,1996)。

3.1 折腰山型矿床综合信息找矿模型

(1) 地质模型 折腰山型矿床的综合地质模型见表 1 和图 2。

(2) 地球化学模型 矿石的主成矿元素组合为 Cu、Zn,伴生 Pb、Au、Ag、As、Hg、Bi、Mo、Co、Se、Sb 等多种微量元素,它们可作为矿床的指示元素。相关分析、因子分析确定 Cu、Co 为矿床的特征指示元素。

矿床地表发育 Cu、Zn、Mo、Co、Pb、Au、Ag、Hg 原生异常(刘崇民,1999),其中 Cu、Zn、Mo、Co 异常相对较强,形成 Cu [w_{Cu}(60~180)×10⁻⁶],Zn [w_{Zn}(70~140)×10⁻⁶],Mo [w_{Mo}(1.5~3)×10⁻⁶],Co [w_{Co}(20~40)×10⁻⁶]低浓度带→Cu [w_{Cu}(180~540)×10⁻⁶],Zn [w_{Zn}(140~280)×10⁻⁶],Mo [w_{Mo}(3~6)×10⁻⁶],Co [w_{Co}(40~80)×10⁻⁶]中浓度带→Cu (w_{Cu}>540×10⁻⁶),Zn (w_{Zn}>280×10⁻⁶),Mo (w_{Mo}>3×10⁻⁶),Co (w_{Co}>80×10⁻⁶)高浓度带的浓度梯度变化明显的原生异常带;剖面上 Cu 的原生异常与矿体形态大体相似,且同样有浓度分带,由矿体向外侧,Cu 的原生异常呈高浓度带(w_{Cu}>540×10⁻⁶),中浓度带[w_{Cu}(180~540)×10⁻⁶]和低浓度带[w_{Cu}(60~180)×10⁻⁶]。Cu 高浓度带与矿体(带)范

围基本吻合;中、低浓度带一般 10~40 m 宽,包围矿体。Zn、Pb、Au、Ag、Bi、As、Sb、Hg 原生异常外带与 Cu 外带大致重合,但其高浓度带集中在上部的块状铅锌黄铁矿矿体中。Mo、Co 高浓度带在 Zn 高浓度带的下部,其中心与 Cu 大体一致,反映它们之间的密切关系。围岩蚀变体的绿泥石化带内(相当于矿化带)出现 MgO 、 Fe_2O_3 异常,同时有 Na_2O 低值(负)异常,而两侧的绢云母化带出现 K_2O 异常。

综合分析上述结果,折腰山型矿床的地球化学异常模型是:指示元素为 Cu、Zn、Pb、Au、Ag、As、Hg、Bi、Mo、Co、Se、Sb 等,特征指示元素为 Cu、Co;有 Cu、Pb、Zn、Au、Ag、Mo、Hg、Co 原生异常,由矿体到外,呈 Cu、Zn、Mo、Co 的高浓度带→中浓度带→低浓度带的梯度变化,中浓度带可指示矿床范围,高浓度带指示矿带位置;由上而下呈 Zn、Pb、Au、Ag、Bi、As、Sb、Hg、Mo、Co 的垂向组分分带,可指示矿床的剥蚀程度;常量元素氧化物 K_2O 异常带指示矿床位置, MgO 异常、 Fe_2O_3 异常及 Na_2O 负异常带指示矿带位置。

(3) 地球物理模型 以酸性火山岩为主要围岩的白银矿区及小外围矿床,其矿体与围岩存在明显的密度、电性差异(表 2),能引起相应的地球物理异常。

折腰山型矿床以产出大规模的块状金属硫化物矿体为特征。物探资料^{①②③}显示,当矿体埋藏较浅时,在矿化部位激发极化法测量有 $\eta_b > 3\%$ 的视极化率异常;电测深视电阻率断面出现 $300 \Omega \cdot m$ 的低阻异常带。在块状矿体上方,产生的重力异常经荣克量板正演计算,其值最大可达 $\Delta g_{\max} = 4.5 \times 10^{-5} m \cdot s^{-2}$;激发极化法测量出现 $8\% \sim 15\%$ 的视极化率异常;联合剖面视电阻率曲线有低阻正交点和明显的歧离带;电测深视电阻率断面,出现 $\rho_s < 100 \Omega \cdot m$ 的低阻带。

当矿体埋藏较深(200 m)时,块状矿体上方仅产生 $\Delta g_{\max} = 1.83 \times 10^{-5} m \cdot s^{-2}$ 的重力异常; $3\% \sim 5\%$ 低缓极化率异常;

联合剖面视电阻率曲线有低阻正交点和歧离带。矿床及附近的炭质千枚岩、铁锰质硅质岩也可产生高极化异常;含水破碎带、含碳地层可产生低电阻异常。因此电法找矿有较多的干扰因素,需要多种方法配合。

折腰山型矿床的地球物理异常模型可以概括为高密度+高视极化率+低视电阻率异常体,将获得的异常体的不同物性异常强度大小、结构与上述物探资料对比即可为矿床(体)定位预测提供地球物理依据。电测深 $300 \Omega \cdot m$ 的低阻带和 3% 视极化率异常带可指示矿化带位置;出现 15% 视极化率异常、 $< 100 \Omega \cdot m$ 极低的低阻带指示块状矿体位置;重力测量异常是区分矿致异常和非矿异常的有效工具之一,同时也可根据异常强度的判断,进行矿体定位预测(如 Δg 越接近 $4.5 \times 10^{-5} m \cdot s^{-2}$,说明地下的矿体可能越接近地表)。

折腰山型矿床综合信息找矿模型概括图示见图 3。

3.2 石青洞型矿床综合信息找矿模型

(1) 地质模型 石青洞型矿床的地质模型如表 1、图 2 所示。

(2) 地球化学模型 石青洞矿床主成矿元素组合为 Pb、Zn、Cu,并伴随 Au、Ag、As、Hg、Se、Sb、Ba 等多种微量元素,Au、Ag 含量较高。矿化引起范围较大的 Cu、Pb、Zn、Au、Ag、As、Hg、Se、Sb、Ba 等元素异常,但异常的浓度及元素分带并不明显,这是由于矿体数量多、单个矿体小而分散所致。在有大理岩覆盖时,Cu、Pb、Zn、Au、Ag、As、Ba、Hg、Se、Sb、Ba 等多元素原生异常并不发育。多元素高浓度带即是找矿的重要线索。

(3) 地球物理模型 石青洞矿床主要由浸染状矿体组成,矿体上方可产生 $\Delta g_{\max} = 1.76 \times 10^{-5} m \cdot s^{-2}$ 低缓的重力异常 $5\% \sim 15\%$ 的高极化率异常, $200 \sim 300 \Omega \cdot m$ 的强度相对较低缓的低阻异常。该类型矿床地球物理异常模型就是低缓重力异常+高极化率异常+强度较低的低阻异常。

石青洞型矿床综合信息找矿模型概括图示见图 4。

表 2 白银矿区及小外围岩、矿石物性参数统计表

Table 2 Physical parameters of rocks and ores from Baiyin orefield and its outskirts

	平均密度 $\rho/(g/cm^3)$	极化率 $\eta/\%$	电阻率 $\rho_s/\Omega \cdot m$
酸性火山岩	2.64	1.45	1752 ^①
基性火山岩	2.78	1.01	2064 ^①
块状矿石	4.65	28.60	13 ^②
浸染状矿石	3.24	17.70	295 ^②
铁锰硅质岩	2.73	11.50	1250 ^③
铁锰矿石	3.45	11.30	
炭质千枚岩		8.50	732 ^③

① 中国有色金属总公司北京矿产地质研究所,甘肃有色地质勘查局. 1991. 甘肃白银矿田及外围块状硫化物矿床的地质特征、成矿模式及找矿前景(科研报告)。

② 杨承烈. 1982. 从白银地区岩石岩层的地球物理地球化学分异性评今后物化探找矿工作方向(未刊论文)。

③ 仇勇海,等. 1994. 白银矿区及小外围地质、物化探和遥感资料综合分析研究(科研报告)。

4 成矿预测应用

上述两类综合信息找矿模型可有效地应用于大比例尺的隐伏矿床的预测、预知矿床的工业类型;可以缩小预测靶区进而进行矿体定位预测。

白银厂矿田外围的黑石山地区有古火山喷口及火山沉积洼地,因此具备折腰山型和石青洞型两类矿床的基本成矿条件。笔者使用已建立的两类模型对该区进行了成矿预测研

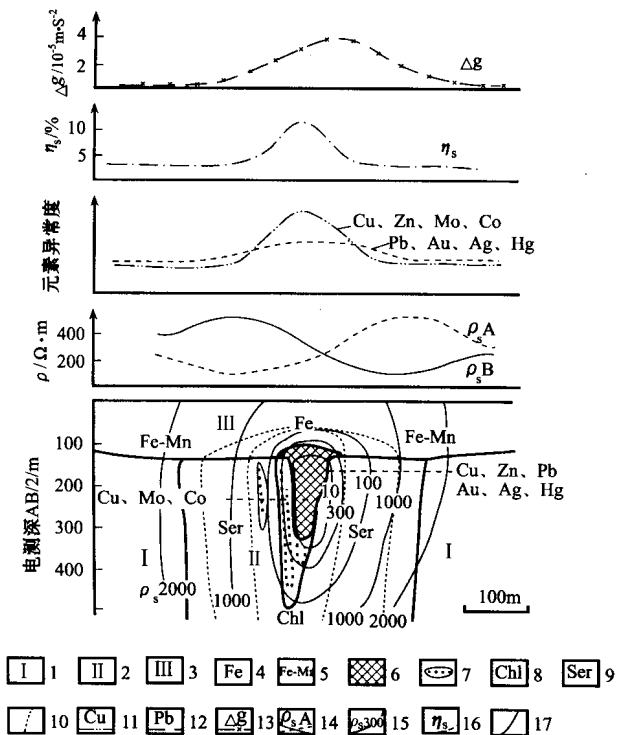


图3 折腰山型矿床综合信息找矿模型

1—石英角斑质角砾集块岩;2—石英角斑质碎斑熔岩;3—细粒石英角斑凝灰岩、沉积岩;4—含铁硅质岩;5—含铁锰硅质岩;6—块状矿体;7—浸染状矿体;8—绿泥石化;9—绢云母化;10—蚀变带界线;11—Cu、Zn、Mo、Co元素异常曲线;12—Pb、Ag、Ag、Hg元素异常曲线;13—重力异常曲线;14—联合剖面视电阻率异常曲线;15—电测深断面视电阻率等值线;16—视极化率异常曲线

Fig.3 Comprehensive information prospecting model for Zheyeshan

1—Quartz keratophytic breccia agglomerate rock; 2—Quartz keratophytic clastoporphyritic lava; 3—Fine-grained quartz keratophytic tuff, sedimentary rock; 4—Ferruginous silicalites; 5—Ferro-manganous silicalite; 6—Massive orebody; 7—Disseminated orebody; 8—Chlorite; 9—Sericitic; 10—Alteration boundary; 11—Cu, Zn, Mo and Co anomalies; 12—Pb, Ag, Ag and Hg anomalies; 13—Gravity anomaly; 14—Apparent resistivity anomaly of combined profile; 15—Resistivity contour of electric sounding profile; 16—Apparent polarizability anomaly

究,确定了横湾沟、白石台子两个矿床的预测区。

在横湾沟预测区,发现的折腰山型 Cu(Zn)矿床的找矿标志主要有:①黑石山古火山穹隆内横湾沟酸性火山喷口;②石英角斑质岩石组合,有石英角斑质碎斑熔岩;③黄铁矿化次火山岩:钠长斑岩体;④含 Fe 硅质岩;⑤绿泥石化绢云母化带;⑥铁染、黄钾铁矾化和孔雀石化;⑦ Cu、Pb、Zn、Mo、Ni、Co 高背景区,其中 Cu 元素趋势值 [$w_{Cu}(70 \sim 100) \times 10^{-6}$],相当于折腰山 Cu 元素异常外带;⑧对应蚀变带有局部的重力异常。

在白石台子预测区,发现的石青洞型 Zn-Pb-Cu 矿床的找

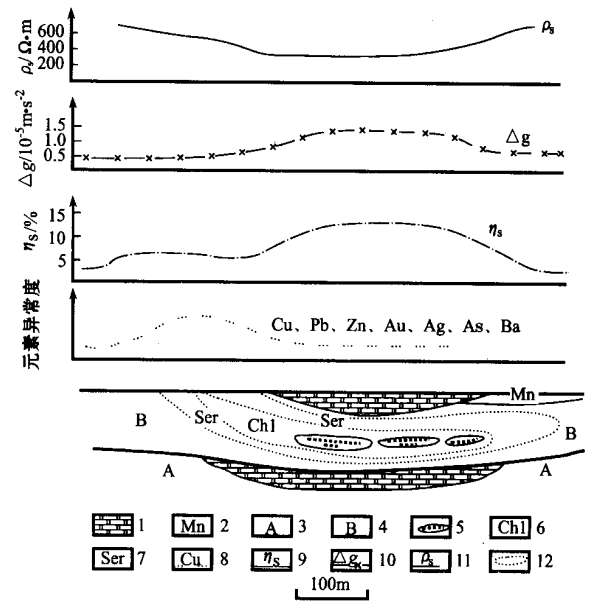


图4 石青洞型矿床综合信息找矿模型

1—大理岩;2—含锰硅质岩;3—石英角斑质熔岩;4—细粒石英角斑凝灰岩;5—矿体;6—绿泥石化;7—绢云母化;8—Cu 等多元素异常曲线;9—视极化率异常曲线;10—重力异常曲线;11—视电阻率异常曲线;12—蚀变体界线

Fig.4 Comprehensive Information Prospecting Model for Shiqingdong

1—Marble; 2—Manganous silicalites; 3—Quartz keratophytic lava; 4—Fine-grained quartz keratophytic tuff; 5—Orebody; 6—Chlorite; 7—Sericitic; 8—Poly metallic anomaly; 9—Apparent polarizability anomaly; 10—Gravity anomaly; 11—Apparent resistivity anomaly; 12—Alteration boundary

矿标志主要有:①石照子-白石台子火山沉积洼地;②细碧岩-细碧玢岩-角斑岩-石英角斑凝灰岩-大理岩组合;③含 Mn 硅质岩(局部构成 Mn 矿体);④绿泥石化、绢云母化较发育;⑤黄钾铁矾化、孔雀石化;⑥岩石测量及水系沉积物测量有 Cu、Pb 异常;⑦有长 700 m、宽 200 m 的激电异常带, $\eta_{s(max)}$ 为 9.22%。

对横湾沟预测区内的进一步找矿工作,取得了新进展。岩石地球化学测量,获得了 Cu、Pb、Zn、Ag 综合异常,Cu 为中浓度异常带(w_{Cu} 为 $100 \times 10^{-6} \sim 400 \times 10^{-6}$)、Zn 为中高浓度异常带(w_{Zn} 为 $98 \times 10^{-6} \sim 400 \times 10^{-6}$);少量高密度电法测量,获得高极化率、低电阻异常;地表槽探揭露出一定规模的 Cu 矿化体,如继续工作,有望在黑石山地区找到第一个有工业意义的块状硫化物矿床。在白石台子仅投入的少量槽探工作,也发现规模较大的黄钾铁矾化带及 Cu 矿化(孔雀石化)带,显示有良好的找矿前景。

5 结论

白银厂—石青洞火山岩带的块状硫化物矿床,可分为折

腰山型、小铁山型、石青洞型 3 种类型, 分别产于古火山喷口、古火山喷口斜坡和火山沉积洼地位置, 既有共性又有明显的差异性。通过对典型矿床折腰山矿床和石青洞矿床的地质特征对比研究而建立的两类矿床模型, 以及以矿床模型为基础, 结合矿床地球物理特征、地球化学特征进一步建立的综合信息找矿模型, 不仅对白银地区块状硫化物矿床的模型有一定的完善作用, 而且有助于指导整个火山岩带的隐伏矿床预测。建立的模型已在黑石山地区矿床定位预测工作中, 为横湾沟折腰山型 Cu(Zn) 矿床预测区和白石台子石青洞型 Pb-Zn-Cu 矿床预测区的发现并确定, 起了重要的指导作用。

References

- Cheng G. 1980. Some geological characteristics of pyrite type polymetallic deposits in Baiyinchang[J]. *Geology and Prospecting*, 9: 1 ~ 8 (in Chinese).
- Cooke D R and Large R R. 1998. Practical uses of chemical modeling: defining new exploration in sedimentary basins[J]. *AGSO J. Australian Geology and Geophysics*, 17(4): 259 ~ 275.
- Fang W X. 1994. Metallogenic halo-forming model and geological-geochemical predicting system of Xiaolinling gold deposits in Shaanxi[A]. In: Ruan T J, Wu C R, eds. *Collected papers of the 5th national conference on exploration geochemistry*[C]. Wuhan: Press of China Univ. Geosciences. 35 ~ 41 (in Chinese).
- Fang W X. 1996. Prospecting models of fractured altered wall rock and gold-bearing quartz vein gold deposits of Xiaolinling in Shaanxi[A]. In: Zou Guang G H, Ouyang Z X, Zhou Q L, eds. *Collected papers of models for the main gold deposit types of China*[C]. Beijing: Geol. Pub. House. 57 ~ 148 (in Chinese).
- Garcia P F. 1990. Rio Tinto deposits[M]. London: Institution of Mining and Metallurgy. 17 ~ 35.
- Gemmell J B, Large R R, Zaw K. 1998. Palaeozoic volcanic-hosted massive sulfide deposits[J]. *AGSO J. Australian Geology and Geophysics*, 17(4): 129 ~ 137.
- Huang J Q and Ren F S. 1996. A depictive model of Baiyinchang deposits, Gansu[J]. *Acta Geologica Gansu*, 5(1): 65 ~ 72 (in Chinese).
- Li X M and Peng L G. 2002. Metallogenic models of baiyin ore field, Gansu Baiyin[J]. *Mineral Deposits*, 21 (supp.): 418 ~ 420 (in Chinese).
- Liu C M. 1999. Geochemical anomaly of Zheyaoshan marine volcanic copper deposit[J]. *Geology and Prospecting*, 35(5): 28 ~ 35 (in Chinese with English abstract).
- Lu Q T, Hou Z Q, Zhao J H, et al. 2001. Integrated prospecting model for Gacun volcanic-hosted massive sulfide deposit, Sichuan province[J]. *Mineral Deposits*, 20(4): 314 ~ 322 (in Chinese with English abstract).
- Northwest Geology Institute, Baiyin Non-Ferrous Metals Co., Metallurgy Geological Exploration Co. of Gansu Province, et al. 1974. Geological characteristics of Gansu Baiyin pyrite type deposits[A]. The special volume of iron and copper mineral(2)[C]. Beijing: Geol. Pub. House. 60 ~ 83 (in Chinese).
- Peng L G, Ren Y X, Li Z P, et al. 1995. A metallogenic model for copper polymetallic deposits of Baiyinchang Gansu province[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 57 ~ 148 (in Chinese).
- Shao M L. 1996. Technology for Comprehensive geological models[A]. In: Wang Z, Shao M L, Xiao S J, eds. *Comprehensive prospecting models for predicting hidden nonferrous deposits*[C]. Beijing: Geol. Pub. House. 39 ~ 49 (in Chinese).
- Song S H. 1955. Characteristics and ore-forming regularity of pyrite type polymetallic deposits in Qilian area[J]. *Acta Geologica Sinica*, 35(1): 1 ~ 21 (in Chinese).
- Song S H. 2001. A discussion on the geological evolution and regional metallogeny of the geosynclinal folded belts of qilian mountain system, west China[A]. In: Song S H, ed. *The selected works of Song Shuhe*[C]. Beijing: Geol. Pub. House. 364 ~ 375 (in Chinese).
- Sun H T, Wu J R and Li J P. 1997. Spacious-temporal frame, evolution and mineralization of the northern Qilian metallogenetic province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 71(2): 170 ~ 179 (in Chinese with English abstract).
- Thomas M D and Parkhill M. 1996. Gravity and magnetic prospecting for massive sulfide deposits[J]. *Atlantic Geology*, 32(1): 87 ~ 88.
- Wu J R, Ren B C, Huang Y C, et al. 1994. Massive sulfide deposits in marine volcanic rocks in north west China[M]. Wuhan: Press of China Univ. Geosciences. 199 ~ 220 (in Chinese).
- Xiao K Y, Zhu Y S, Zhang X H, et al. 1999. The extraction and integration technology of minerogenic information in mineral resources assessment[J]. *Mineral Deposits*, 18(4): 379 ~ 384 (in Chinese with English abstract).
- Xi X S and Zhang D B. Characteristics and metallogenism of the faults of the east of north Qilian rift[A]. In: Dai T G, ed. *Collected papers of Hunan Mineral, Rock and Geochemistry*[C]. Changsha: Press of Central South Univ. 142 ~ 145 (in Chinese).
- Zaw K, Huston D L and Large R R. 1999. A chemical model of the Devonian remobilization process in the Cambrian volcanic-hosted massive sulfide Rosebery Deposit, western Tasmania[J]. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 94(4): 529 ~ 546.
- Zhang Y X. 1993. Introduction of deposit models[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 162 ~ 170 (in Chinese).
- Zhang J. 1997. Present studying situation and trends of the location prediction of orebody[J]. *Advance In Earth Sciences*, 12(3): 242 ~ 246 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S. 2001. Mineral deposit geology towards the 21th century[J]. *Mineral Deposits*, 20(1): 10 ~ 14 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 成岗. 1990. 白银厂黄铁矿型矿床的若干地质特征[J]. *地质与勘探*, 9: 1 ~ 8.
- 方维萱. 1994. 陕西小秦岭地区金矿成矿成晕模式及地质地球化学

- 预测系统[A]. 见: 阮天键, 吴昌荣. 第五届全国勘查地球化学学术讨论会论文集[C]. 武汉: 中国地质大学出版社. 35 ~ 41.
- 方维萱. 1996. 陕西小秦岭构造破碎蚀变岩型及含金石英脉型金矿床找矿模型[A]. 见: 邹光华, 欧阳宗圻, 周庆来. 中国主要类型金矿找矿模型论文集[C]. 北京: 地质出版社. 48 ~ 62.
- 黄建清, 任丰寿. 1996. 甘肃白银厂矿田的描述性地质模型[J]. 甘肃地质学报, 5(1): 65 ~ 72.
- 李向民, 彭礼贵. 2002. 甘肃白银矿田矿床成矿模式[J]. 矿床地质, 21(增刊): 418 ~ 420.
- 刘崇民. 1999. 白银厂矿田折腰山海相火山岩型铜矿床地球化学异常特征[J]. 地质与勘探, 35(5): 28 ~ 35.
- 吕庆田, 侯增谦, 赵金花. 2001. 四川呷村火山成因块状硫化物矿床的综合找矿模式[J]. 矿床地质, 20(4): 314 ~ 322.
- 彭礼贵, 任有祥, 李智佩, 等. 1995. 甘肃白银厂铜多金属矿床成矿模式[M]. 北京: 地质出版社. 57 ~ 148.
- 邵孟林. 1996. 综合地学的建模技术[A]. 见: 王忠, 邵孟林, 等. 隐伏有色金属综合找矿模型[C]. 北京: 地质出版社. 39 ~ 49.
- 宋叔和. 1955. 祁连山一带黄铁矿型多金属矿的特征与成矿规律[J]. 地质学报, 35(1): 1 ~ 21.
- 宋叔和. 2001. 祁连山系地槽褶皱系的地质构造演化与区域成矿的探讨[A]. 见: 宋叔和. 宋叔和地质文集[C]. 北京: 地质出版社. 364 ~ 375.
- 孙海田, 郭介人, 李锦平. 1997. 北祁连金属成矿省时空格局、演化及成矿作用[J]. 地质学报, 71(2): 170 ~ 179.
- 郭介人, 任秉琛, 黄玉春, 等. 1994. 西北海相火山岩地区块状硫化物矿床[M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 199 ~ 201.
- 西北地质科学研究所, 白银有色金属公司, 甘肃省冶金地质勘探公司第六地质队, 等. 1974. 甘肃白银厂黄铁矿型矿床地质特征[A]. 见: 铁铜矿产专辑(第二集)[C]. 北京: 地质出版社. 60 ~ 83.
- 肖克炎, 朱裕生, 张晓华, 等. 1999. 矿产资源评价中的成矿信息提取与综合技术[J]. 矿床地质, 18(4): 379 ~ 384.
- 奚小双, 张代斌. 2002. 北祁连东部裂谷带断裂特征及控矿作用[A]. 见: 戴塔根. 湖南矿物岩石地球化学论丛[C]. 长沙: 中南大学出版社. 142 ~ 145.
- 张均. 1997. 矿床定位预测的研究现状与趋向[J]. 地球科学进展, 12(3): 242 ~ 246.
- 张贻侠. 1993. 矿床模型导论[M]. 北京: 地质出版社. 162 ~ 170.
- 翟裕生. 2001. 走向 21 世纪的矿床学[J]. 矿床地质, 20(1): 10 ~ 14.

Comprehensive Information Prospecting Models for Zheyaoshan and Shiqingdong Massive Sulfide Deposits in Baiyin, Gansu Province

Zhang Hongpei^{1,2}, Liu Jishun¹, Fang Weixuan² and Ma Guang¹

(1 College of Geology and Environment, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China;

2 China Non-Ferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing 100814, China)

Abstract

The Baiyinchang-Shiqingdong volcanic belt in Gansu Province is one of the most important areas in the northern Qianlian metallogenic belt. The known massive sulfide deposits in the area, such as Zheyaoshan, Huoyanshan, Xiatieshan, Sigequan, Tongchanggou and Shiqingdong, are all hosted in acidic volcanic rocks of the Cambrian marine volcanic rock assemblage. These deposits, in spite of their general similarities, show differences in such aspects as volcanic structural positions, country rocks, mineralogy, hydrothermal alteration and hydrothermal-sedimentary rock types. They can be divided into three types, namely the paleovolcanic crater Cu (Zn) type (Zheyaoshan), the paleovolcanic crater-slope Zn-Pb-Cu type (Xiatieshan) and the paleovolcanic sedimentary depression Pb-Zn-Cu type (Shiqingdong). Based on a comparison in geological, geochemical and geophysical characteristics between Zheyaoshan and Shiqingdong, the authors have established two deposit models and their comprehensive information prospecting models, which can be used as prospecting guides in this area. The models were used to delineate new exploration targets in Heishishan with favorable results obtained.

Key words: geology, deposit models, comprehensive information prospecting models, Baiyinchang, Zheyaoshan, Shiqingdong