

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2020.03.001

滇西北香格里拉市红牛—红山铜矿 勘查系统模型

周云满¹, 张长青², 付文超¹, 刘欢², 解通¹,
彭惠娟³, 董文伟¹, 陶兴雄¹

(1. 云南黄金矿业集团股份有限公司, 昆明 650299;

2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

3. 成都理工大学, 成都 610081)

摘要: 滇西北红牛—红山铜矿床是义敦—沙鲁里岛弧上与晚白垩纪中酸性侵入体有关的典型的斑岩—矽卡岩—热液型铜矿床。本文通过对其成矿地质背景、矿床地质特征、矿化富集规律及成矿模式、矿床地球物理和地球化学特征的综合研究,建立了红牛—红山铜矿床的“大比例尺地质填图和综合研究+重力+激电和高精度磁测+土壤化探测+工程验证”组合勘查技术方法、“燕山晚期石英二长斑岩+接触带矽卡岩和层间破碎带矽卡岩+重力低异常+高磁异常+高视极化率和低视电阻率异常+Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au等元素综合异常”组合勘查模型。地质调查研究确定矿床成矿地质体和找矿地质体、矿化类型及其空间分布规律,建立矿床“四位一体”的成矿模式和区域—矿区地质找矿模型。区域中小比例尺的土壤化探测量确定区域找矿靶区,大比例尺土壤化探测量进一步缩小找矿靶区,逼近矿体赋存部位。矿区处于1:5万土壤测量圈定的Cu-Pb-Zn-Mo-Au-Ag元素综合高异常区,1:2.5万土壤测量圈出Cu-Pb-Zn-Ag-W元素综合异常面积较大、强度高、浓集中心明显、元素套合好,与矿区铜(铁)矿体赋存区域异常相对应。区域重力低异常区和正磁异常强度高区域是重要的找矿靶区,矿区大比例尺磁异常和激电异常区确定了矿体的空间位置和产状;矿区铜(铁)矿体赋存区为低视电阻率、高视极化率异常区,高精度磁测表现为正负磁异常相伴。矿区地质—地球化学—地球物理综合勘查模型对矿区深边部找矿起到重要的指导作用。

关键词: 红牛—红山铜矿床;斑岩—矽卡岩型;综合研究;勘查系统模型;滇西北地区

中图分类号: P618.41;P612 **文献标识码:** A

0 引言

滇西北红牛—红山铜矿床是义敦岛弧上与晚白垩纪中酸性侵入体有关的典型的斑岩—矽卡岩型铜矿床,经过云南黄金集团近几年勘查力度的加大,红山和红牛两个矿段探明铜资源储量超过 100×10^6 t,成为三江地区又一重要的铜资源基地。前人已经

对红牛—红山铜矿床斑岩的岩石类型与成因^[1-4]、矿床成因和矿床类型^[5-13]、成岩成矿时代^[14-17]等进行了研究与讨论,并取得了丰富的研究成果。本文在近年勘查和科研工作成果的基础上,系统总结红牛—红山铜矿的成矿地质背景、矿床地质特征、矿化富集规律及成矿模式、矿床地球物理和地球化学特征,着重对矿区矿床勘查技术方法进行研究,力图建立该区的矿床勘查系统模型,为进一步开展找矿预测和勘查工作部署提供参考。

收稿日期: 2020-03-04; **责任编辑:** 王传泰

基金项目: 云南省“云岭学者”科研项目和云南黄金矿业集团股份有限公司科研项目“滇西地区金多金属矿成矿规律及成矿系列研究”(编号:E1107)联合资助。

作者简介: 周云满(1965—),男,正高级工程师,博士,2008年毕业于中国地质大学(北京),长期从事地质矿产勘查、矿床地质及找矿预测研究工作。通信地址:云南省昆明市官渡区福德路1899号,别样幸福城云南黄金大厦1205室;邮政编码:650299;E-mail:1965yunman@sina.com

1 成矿地质背景

滇西北红牛—红山铜矿床地处扬子板块西侧(图 1a),云南三江造山系北部甘孜—理塘弧盆系义敦—沙鲁里岛弧南端的普郎火山弧(T_3)中(图 1b),其东南方向为甘孜—理塘结合带南缘,西侧为近 SN 向展布的乡城—格咱深大断裂。

该区在晚古生代为碳酸盐岩台地环境。二叠纪—早三叠世随着其东侧甘孜—理塘小洋盆的发育转变为被动大陆边缘环境;中三叠世末—晚三叠世初甘孜—理塘小洋盆向西俯冲形成主动大陆边缘,发育了曲嘎寺组以安山玄武岩为主的中基性火山—沉积岩系;晚三叠世为岩浆弧发育阶段,形成了一套巨厚的碎屑岩—碳酸盐岩—中—中酸性火山岩建造,伴随有斑岩—矽卡岩复合型及矽卡岩型等重要的铜金多金属矿化。侏罗—白垩纪为陆内汇聚阶段,晚期发育碰撞型酸性岩浆侵入,伴有铜、钼、钨矿化。喜马拉雅早期,主要表现为陆内伸展裂陷,发育正长(斑)岩—二长(斑)岩类。

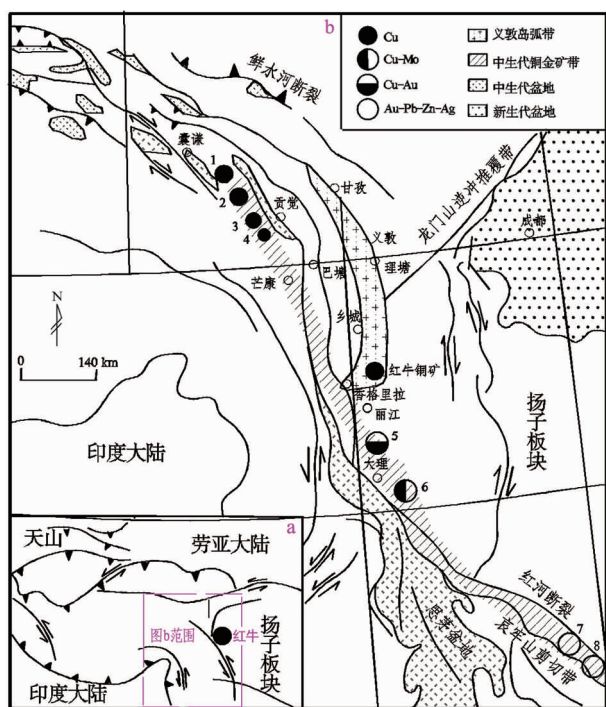


图 1 中甸岛弧带大地构造位置^[18]

Fig. 1 Geotectonic location of Zhongdian island arc zone

1. 玉龙铜矿; 2. 马拉松多铜矿; 3. 多霞松多铜矿;
4. 马牧普铜矿; 5. 北衙金矿; 6. 马厂箐铜钼金矿;
7. 哈播金矿; 8. 长安金矿

红牛—红山地区地质构造总体为一断裂破坏的 NNW 向红山复式背斜,由一系列 NNW 向紧密线性褶皱和同向断裂组成。区内发育印支期—燕山期岩浆岩,分为西带(烂泥塘—雪鸡坪岩浆岩带)、中带(红山岩浆岩带)、东带(普朗岩浆岩带)三个岩浆岩带,分别对应形成了三个铜多金属成矿带(图 2)。其中,红山岩浆岩带位于中部的红山—伊隆迈一带,呈北西向带状,分布在红山断裂两侧,长约 6.5 km,宽 0.5~2 km;其岩性为石英闪长玢岩、闪长玢岩及少量石英二长斑岩,产出形态为岩珠、岩脉等,与铜、钼矿化关系密切,红山、红牛矽卡岩型铜矿即分布在该岩浆岩带内。

红牛—红山地区成矿专属松潘—甘孜铅锌银金铜成矿区的德格—中甸沟—弧—盆系铜铅锌金银成矿带之昌台—乡城岛弧成矿带南段格咱岛弧铜钼铅锌金银成矿亚带区,可划分为三个铜多金属矿带(图 2):烂泥塘—雪鸡坪铜多金属矿带(西矿带),为印支期石英闪长玢岩、闪长玢岩有关的斑岩型铜矿化,代表矿床有高赤坪铜矿(小型)、烂泥塘斑岩型铜矿(中型)、雪鸡坪斑岩铜矿(中型)及南部春都铜矿(小型);红山铜多金属矿带(中矿带),主要与燕山期黑云母二长花岗斑岩和石英二长斑岩关系密切,典型矿床代表有红牛—红山斑岩—矽卡岩型铜多金属矿(大型)、休瓦促钨钼矿(小型)、热林钼铜矿(小型)、铜厂沟斑岩型钼(铜)矿(大型)等;普朗铜多金属矿带(东矿带),为印支期石英闪长玢岩、闪长玢岩有关的斑岩型铜矿化,典型矿床代表为普朗特大型斑岩铜矿(大型)、欠虽铁矿(中型)、浪都铜铁矿(小型)等。

本次研究的红牛—红山铜矿床就位于红山铜多金属矿带(中矿带)上,为与晚白垩世中酸性侵入体有关的典型的斑岩—矽卡岩型铜矿床。

2 矿床地质特征

红牛—红山矿区出露地层为第四系(Q),三叠系上统图姆沟组(T_3t)变质碎屑岩、火山岩夹火山熔岩,曲嘎寺组三段(T_3q^3)大理岩、灰岩,曲嘎寺组二段(T_3q^{2-2})大理岩、角岩。曲嘎寺组二段(T_3q^{2-2})是矿区主要控矿(含矿)层位,红牛矿段铜矿体赋存于二段二亚段中,红山矿段的矿体主要产于二段一亚段中。红牛—红山矿区位于北西—南东向展布的红山复背斜西翼,矿区构造较简单,矿区范围内总体呈单斜层,地层总体走向呈 NNW 向,倾向总体为 SSE

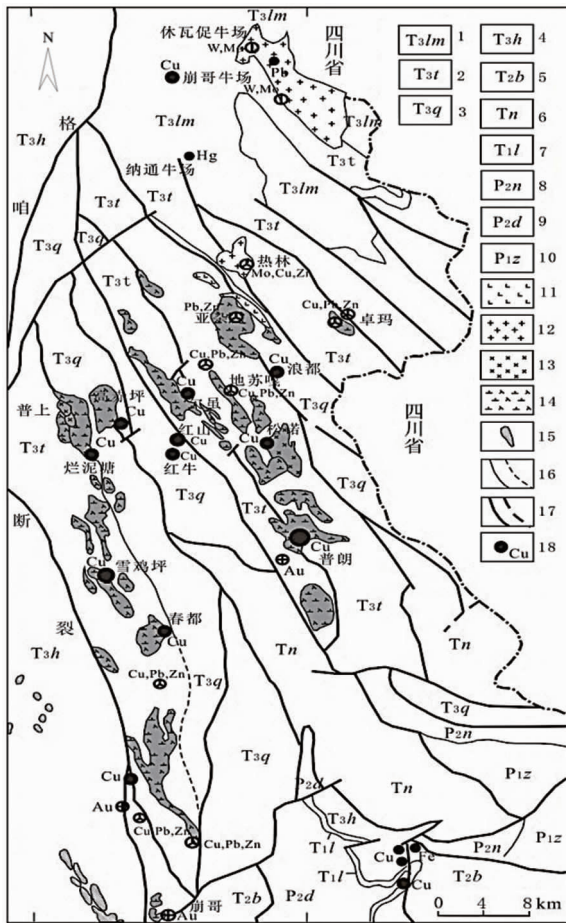
图 2 中甸地区地质矿产简图^[8]

Fig. 2 Simplified geological and mineral resources map in Zhongdian area

1. 上三叠统喇嘛垭组粉砂岩、板岩;
2. 上三叠统图姆沟组安山岩、英安岩、流纹岩夹碎屑岩;
3. 上三叠统曲嘎寺组砂岩夹玄武岩、火山碎屑岩;
4. 上三叠统哈工组砂岩、泥质粉砂岩;
5. 中三叠统北衙组灰岩、白质灰岩夹粉砂岩;
6. 中下三叠统尼汝组灰岩、粉砂岩夹玄武岩;
7. 下三叠统腊美组泥岩、灰岩;
8. 上二叠统聂耳堂刀组砂岩夹灰岩、玄武岩;
9. 上二叠统东坝组玄武岩、火山碎屑岩、灰岩;
10. 下二叠统中村组玄武岩夹泥灰岩、板岩;
11. 喜山期闪长玢岩;12. 喜山期二长花岗斑岩;
13. 印支期石英二长斑岩;14. 印支期(石英)闪长玢岩;
15. 沉积混杂岩;16. 实测或推测地质界线;
17. 实测或推测断层;18. 矿床(点)及矿种

向,局部向东倾,倾角陡,主要为 $64^{\circ} \sim 87^{\circ}$, 由于断层影响,局部倾角小于 50° 。地层由南向北由新变老,受断层影响,局部出现地层重复。矿区内断裂构造可划分为四组:NNW 向组断层为 F_{11} 、 F_{16} 、 F_{15} 三条, NW 向组断层为 F_5 , NE 向组断层为 F_{12} , EW 向组断层为 F_9 、 F_{18} (图 3)。 F_5 、 F_{15} 、 F_{18} 距矿区较远。矿

区内出露的侵入岩相对较少,主要有闪长玢岩($\delta\mu$)和石英二长斑岩($\eta\sigma\pi$),深部发育花岗斑岩;主要为印支期挤压型钙碱性系列钾质中-酸性火山岩、燕山期滞后型花岗闪长岩系列。其中,燕山期隐伏的石英二长斑岩为红牛—红山铜矿床的主要成矿地质体^[3,9,15,16]。目前发现深部石英二长斑岩具铜、钼矿化,并且已在矿区深部石英二长斑岩中找到斑岩型铜钼矿体。

红牛矿段内矿化带总体呈 NNW 向展布,赋矿层位为上三叠统曲嘎寺组(T_3q^{2-2})角岩夹大理岩,铜矿体主要分布在大理岩夹层顶、底接触部位之砂卡岩化带内,其次分布在靠近大理岩的角岩化变砂岩中(图 3、图 4)。铜矿化集中分布在 11—24 勘探线间,走向 NNW 向,长约 2 km,陡倾斜延深约 0.5~1.0 km,矿化带内共圈出大小 40 个矿体,其中工业矿体有 33 个,低品位矿体 7 个,相对较大的有 15 个。

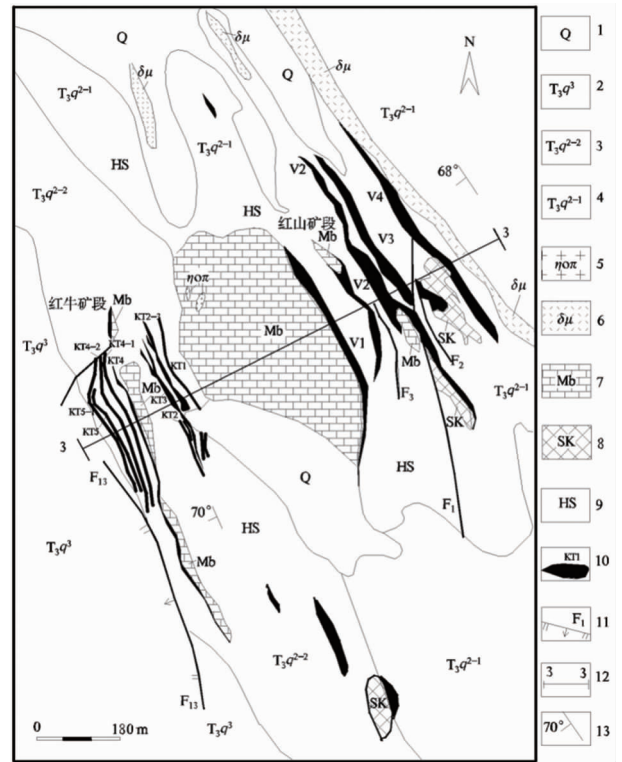
图 3 红牛—红山铜矿地质简图(据文献^[19],改编)

Fig. 3 Simplified geological map of the

Hongniu-Hongshan copper deposit

1. 第四系;2. 中三叠统曲嘎寺组第三段大理岩和灰岩;
3. 中三叠统曲嘎寺组第二段第二亚段角岩夹大理岩;
4. 中三叠统曲嘎寺组第二段第一亚段角岩化变质砂岩夹大理岩;
5. 石英二长斑岩;6. 闪长玢岩;7. 大理岩;
8. 砂卡岩;9. 角岩;10. 矿体及编号;
11. 断层及编号;12. 勘探线及编号;13. 地层产状

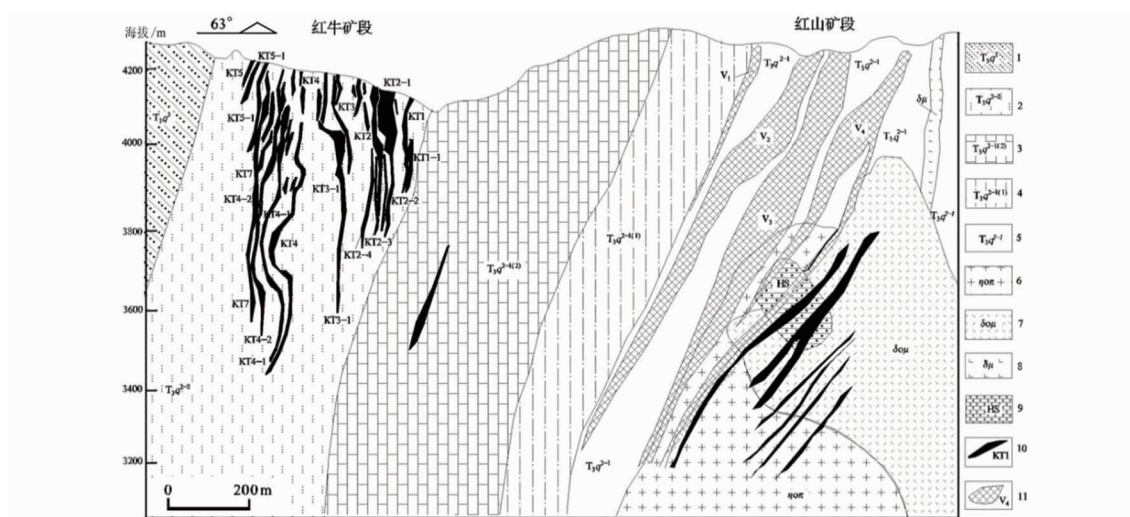


图4 红牛—红山铜矿3勘探线剖面图(据文献[19], 改编)

Fig. 4 Cross-section along No. 3 exploration line in the Hongniu-Hongshan copper deposit

1. 曲嘎寺组第三段大理岩和灰岩; 2. 曲嘎寺组第二段第二亚段角岩夹大理岩;
3. 曲嘎寺组第二段第一亚段二层大理岩夹角岩; 4. 曲嘎寺组第二段第一亚段一层角岩夹大理岩;
5. 曲嘎寺组第二段第一亚段角岩化变质砂岩夹大理岩; 6. 石英二长斑岩;
7. 石英闪长玢岩; 8. 闪长玢岩; 9. 角岩; 10. 铜矿体及编号; 11. 铁矿体及编号

矿体形态呈不规则的似层状、脉状、透镜状等,地表浅部向南西陡倾,深部转为向北东陡倾。矿化类型主要有赋存于角岩和大理岩围岩层间的矽卡岩型脉状铜矿化、花岗斑岩接触带附近的矽卡岩型块状铜铁矿化以及花岗斑岩型块状铜钼矿化三种,其次为产于 NE 向断层破碎带中的热液脉状铜矿化。矽卡岩和角岩型矿体走向长 108~840 m, 倾斜延深 40~694 m, 平均厚度 1.03~6.24 m, 平均品位 $w(\text{Cu})=0.54\%\sim7.36\%$; 斑岩型矿体规模目前不清楚, 目前控制厚度 1.00~5.00 m, 平均品位 $w(\text{Cu})=0.10\%\sim0.36\%$, $w(\text{Mo})=0.01\%\sim0.03\%$; 断层破碎带型矿体走向长 400 m, 倾斜延深 206~437 m, 厚度 1.03~16.53 m, 平均 7.87 m, 品位 $w(\text{Cu})=0.80\%\sim9.50\%$, 平均 1.08%。

红山矿段内矿化带总体呈 NNW 向展布, 主要赋矿层位为上三叠统曲嘎寺组二段(T_3q^{2-1})角岩化变质砂岩夹大理岩, 属隐伏斑岩体外接触带中的矽卡岩型矿体, 顺层状产出, 并与角岩相间排列, 矽卡岩与大理岩直接接触, 界线明显。目前区内已圈定 V_1 、 V_2 、 V_3 和 V_4 共 4 个矽卡岩型矿体群 15 个矿体, 呈北西向展布, 其走向长一般为 30~1223 m, 斜深 20~420 m, 平均厚 3.92~19.56 m, 品位一般为 $w(\text{Cu})=0.86\%\sim1.76\%$, 矿体形态均呈层状、似层状、透镜状(图 3、图 4)。在红山矿区深部矽卡岩型矿体下部发现了隐伏的花岗斑岩体, 斑岩体的蚀变

带中出现较好的铜钼矿化, 显示出具有较好的斑岩型铜钼矿资源潜力。

红牛—红山矿区矿石金属矿物主要为共生的细粒黄铜矿, 斑点状、斑块状的黄铁矿、磁黄铁矿, 以及少量的方铅矿和闪锌矿等, 部分钻孔深部矽卡岩型矿石中含中细粒辉钼矿; 脉石矿物为石榴石、透辉石、透闪石、方解石等。矿石具脉状、细网脉状、致密块状、浸染状构造, 粗-细粒粒状结构。矿石中虽然未发现独立银矿物, 但矿石中普遍含银, 且含量达 $w(\text{Ag})=3.69\times10^{-6}\sim66.1\times10^{-6}$, 伴生银主要赋存在黝铜矿中。

3 矿化富集规律及成矿模式

3.1 矿化富集规律

(1) 矿化类型及其分带规律

红牛—红山矿区矿化类型及其分带规律: 以石英二长斑岩的分布位置为中心, 从岩体内部向外带依次为: 石英二长斑岩中的网脉状铜(钼)矿化→斑岩接触带附近的矽卡岩型块状铜铁矿化→赋存于角岩和大理岩层间的矽卡岩型脉状铜矿化→赋存于灰岩和大理岩节理裂隙中的细脉状铅锌银矿化。

(2) 矿化分带

矿区矿化分带较明显, 以石英二长斑岩的出露

位置为中心,向两侧依次为:辉钼矿-黄铁矿-磁黄铁矿-黄铜矿→黄铜矿-黄铁矿-磁黄铁矿-斑铜矿→磁黄铁矿-黄铁矿±斑铜矿→黄铜矿±斑铜矿→铁闪锌矿-黄铁矿→方铅矿-闪锌矿-黄铁矿。总的矿化趋势为:斑岩体内带以斑岩型铜(钼)矿化为主,接触带以矽卡岩型铜铁矿化为主,外带以层间矽卡岩热液型大脉状铜矿化为主,远程带出现热液细脉型稀疏状铅锌银矿化。

(3) 蚀变分带

蚀变带的划分仅以钻孔及坑道资料为依据。

红牛—红山矿区垂向蚀变明显受原沉积岩岩性控制,形成一个或多个由角岩-矽卡岩-大理岩组成的蚀变带^[3]。单个角岩-矽卡岩-大理岩组合具有明显的蚀变分带特征,自上到下依次为:块状黑云母角岩→条带状黑云母角岩(含斑点角岩)→透辉石长英角岩→石榴石-透辉石矽卡岩→硅灰石-透辉石-石榴石矽卡岩→石榴石-硅灰石矽卡岩→大理岩,其中透辉石长英角岩和矽卡岩为主要的含矿层。此外,部分钻孔(如 ZK010, ZK701)深部退化蚀变作用逐渐加强,出现了以透闪石、阳起石、绿帘石为主的蚀变岩和绿泥石条带。

平面上由西向东的水平分带特点不是很明显。以石英二长斑岩岩枝的出露位置为中心,向东西两侧可大致划分如下蚀变带:北东方向依次发育深褐色、粗晶(>50 mm)、具有明显的环带结构的钙铁榴石矽卡岩→棕红色、中细粒(30~50 mm)钙铁榴石透辉石矽卡岩→淡绿色辉石与肉红色、细粒(<20 mm)石榴石相间产生的层纹状石榴石-透辉石矽卡岩→钙硅酸盐角岩(透辉石角岩);向南西方向依次为:肉红色、褐黄色中细粒(30~50 mm)钙铁-钙铝榴石矽卡岩→透辉石-石榴石矽卡岩→硅灰石矽卡岩→透辉石角岩。

(4) 矿体富集规律

红牛—红山矿区主要矿体赋存于中三叠统曲嘎寺组第二段第二亚段(红牛矿段)和第二段第一亚段一层(红山矿段)角岩夹大理岩层位中,具体产于角岩及其与大理岩接触带的层间破碎带中,受控于层间破碎带和岩性控制,与碳酸盐岩和碎屑岩之间岩性过渡带的不纯碳酸盐岩吻合。大理岩内部夹角岩石时,NE 向断层破碎带中也有零星小矿体产出(图 4、图 5)。

平面上主矿体群分布于 2—9 勘探线间,走向长在红牛矿段最大达到 700 m,红山矿段达到 1223 m;KT21 矿体群分布于 4—12 线间,南部 18 线附近

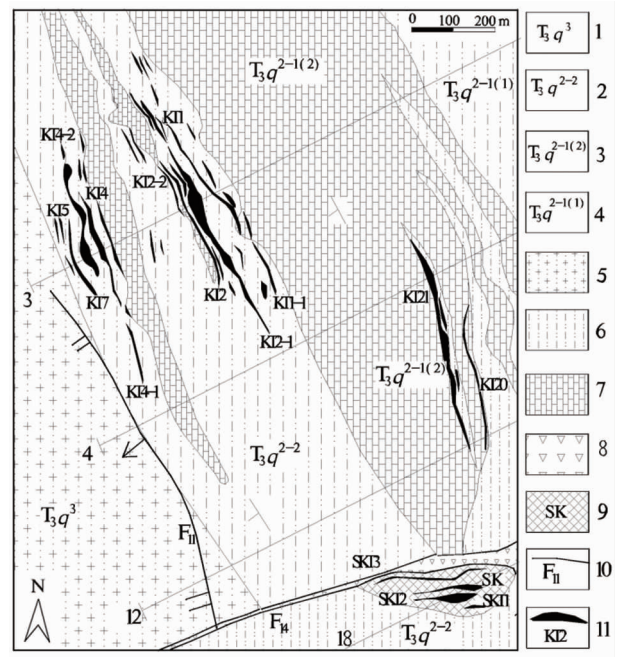


图 5 红牛矿段 4047 中段平面地质图

(据文献[19],改编)

Fig. 5 Geological plane of level 4047 of Hongniu mine section

1. 中三叠统曲嘎寺组第三段大理岩和灰岩;
2. 中三叠统曲嘎寺组第二段第二亚段角岩夹大理岩;
3. 中三叠统曲嘎寺组第二段第一亚段二层大理岩夹角岩;
4. 中三叠统曲嘎寺组第二段第一亚段一层角岩夹大理岩;
5. 断层及编号;6. 铜矿体及编号;7. 角岩;8. 大理岩和灰岩;
9. 大理岩;10. 断层角砾岩;11. 矽卡岩

NE 向 F_{11} 断层带中产出零星小规模矿体(图 5)。垂向上从地表 4200 m 附近向下延至 3500 m(红牛矿段)、3200 m(红山矿段受岩体接触带和围岩控制还有下延空间)处(图 4)。

矿体厚度变化较大。一般为层间破碎带宽度大或者是有不同方向次级断层交汇地段,矿体厚度较大,如在 3 线附近的 KT4-1、KT4-2 矿体,在 1—5 线间的 KT2-1 矿体;而在破碎带较窄或尖灭地段,矿体厚度变薄或者尖灭,如 KT4 矿体群和 KT2 矿体群在 7 线附近变薄尖灭。

红牛—红山矿区的矿化富集规律受控于区域燕山期石英二长斑岩、矿区各类构造系统(包括岩体内部裂隙系统、接触带构造、层间断层、次级断层)、地层层位及岩相岩性变化。1)斑岩体控制了斑岩-矽卡岩成矿系统的空间分布,矿化样式以“脉-块体-脉-细脉”的内外多元结构模式产出,即岩体内部铜(钼)斑岩型矿体呈脉状,接触带附近的矽卡岩型铜铁矿体呈块状,外带赋存于角岩和大理岩层间的矽

卡岩型铜矿体成平行透镜状、脉状,远程带赋存于灰岩和大理岩节理裂隙中的铅锌银矿化体呈细脉状。2)岩体内部网状裂隙构造系统控制斑岩型网脉状矿化,接触带构造控制了矽卡岩型块状矿体呈带状分布,外带陡倾层间破碎带和配套断层系统控制矽卡岩型矿体呈透镜状、平行脉状分布,尤其两组或多组构造交汇部位形成透镜状矿体,远程带断层、节理裂隙系统控制了铅锌银矿化体呈细脉状。3)层间破碎带、接触带矽卡岩型矿体明显受大理岩与角岩之间过渡的不纯碳酸盐岩层的控制,如曲嘎寺组第二段第二亚段(T_3q^{2-2})和第二段第一亚段一层($T_3q^{2-1(1)}$)中赋存的矿体,即赋存于不纯碳酸盐岩蚀变的矽卡岩中,矿体顶、底板为大理岩或角岩。

3.2 成矿模式

据周云满等^[20]对红牛—红山铜矿床成因类型的研究,矿床成矿过程为:石英二长斑岩岩浆上侵过程中大量岩浆出溶流体随之快速上侵,形成的高盐度流体使花岗斑岩和部分硅质围岩发生钾化蚀变;岩浆流体沿岩性界面和裂隙与大理岩和钙硅酸盐角岩发生交代作用,形成大量块状矽卡岩和角岩;岩浆房出溶的流体使已形成的矽卡岩发生退化变质作用,退化蚀变使围岩破裂,成矿流体沸腾,形成大量黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿、辉钼矿化;岩浆流体与大气水相混合,使成矿流体中剩余金属最终沉淀,在围岩和斑岩体内中形成了细脉浸染状的斑岩型矿体(图6)。

矿床成矿模式归纳为燕山晚期形成的石英二长斑岩侵入体+三叠系上统曲嘎寺组钙质板岩和灰岩+各类构造系统(岩体内部裂隙构造、接触带构造、碳酸盐岩与碎屑岩层间破碎带、北东向断层破碎带)+多种矿化类型组成的“四位一体”的成矿模式,属燕山晚期与俯冲板片有关的幔源岩浆型斑岩-矽卡岩-热液型成矿系统^[20-22]。

4 矿床勘查系统模型

4.1 地质找矿模型

(1)区域地质找矿模型

矿区地处云南三江造山系北部甘孜—理塘弧盆系义敦—沙鲁里岛弧南端的普郎火山弧(T_3)中,其东南方向为甘孜—理塘结合带南缘,西侧为近SN向展布的乡城—格咱深大断裂。区域成矿带属于松潘—甘孜铅锌银金铜成矿区的德格—中甸沟—弧—盆

系铜铅锌金银成矿带之昌台—乡城岛弧成矿带南段格咱岛弧铜钼铅锌金银成矿亚带区。矿区位于其中的红山铜多金属矿带,主要属与燕山期黑云母二长花岗斑岩和石英二长斑岩有关的斑岩—矽卡岩铜多金属矿床^[20]。

(2)构造—岩浆岩带对成矿的多级系统控矿模型

区域NNW向金沙江—红河断裂和近SN向木里—丽江断裂控制了甘孜—理塘弧盆系义敦—沙鲁里岛弧的分布,从而控制了昌台—乡城岛弧沟—弧—盆系铜铅锌金银成矿带的展布。

二级构造(NNW向乡城—格咱深大断裂、甘孜—理塘结合带)及其间的义敦—沙鲁里岛弧南端的普郎火山弧控制了南段格咱岛弧铜钼铅锌金银成矿亚带和红山铜多金属矿带的分布。

三级构造控制了矿床的空间分布范围。NNW—SN向的红山复式背斜和红山断裂,控制红山岩浆岩带沿中部红山—伊隆迈一带呈NNW向带状分布在红山断裂两侧,从而控制了红山—红牛铜矿床及周边金、铅、银矿化点的分布。

更次级的各类构造裂隙(一系列NNW向紧密线性褶皱和层间断裂、近EW向隐伏构造、岩体接触带构造),控制了矿体的空间定位。

(3)斑岩体控矿模型

燕山期石英二长斑岩控制着矿化类型并呈带状分布。从岩体内部向外分别出现斑岩型脉状铜(钼)矿体、接触带矽卡岩型铜铁矿体、外带层间破碎带和断层破碎带矽卡岩型铜矿体、节理与裂隙带中的脉状铅锌(银)矿化体。斑岩体控制了矿床成矿元素从高温→低温的分带^[23-24]。

(4)地层—岩性控矿模型

矿区主矿体主要受控于斑岩和上三叠统曲嘎寺组第二段角岩化变质砂岩、角岩和大理岩。红山矿段赋矿层位为上三叠统曲嘎寺组第二段一亚段(T_3q^{2-1})角岩化变质砂岩夹大理岩,红牛矿段赋矿层位为上三叠统曲嘎寺组第二段二亚段(T_3q^{2-2})角岩夹大理岩,铜矿体主要分布在大理岩与角岩之间过渡的不纯碳酸盐岩层蚀变的矽卡岩中,其次分布在大理岩夹层顶、底接触部位之矽卡岩化带内,或靠近大理岩的角岩化变砂岩中。

(5)蚀变分布模型

斑岩体内部及边部为钾硅化带,接触带附近形成钙铁—钙铝榴石矽卡岩化带,外带围岩层间(断层破碎带)形成角岩—矽卡岩—大理岩组合,其中从矽卡岩→角岩的蚀变分布规律为透辉石—石榴石矽卡岩

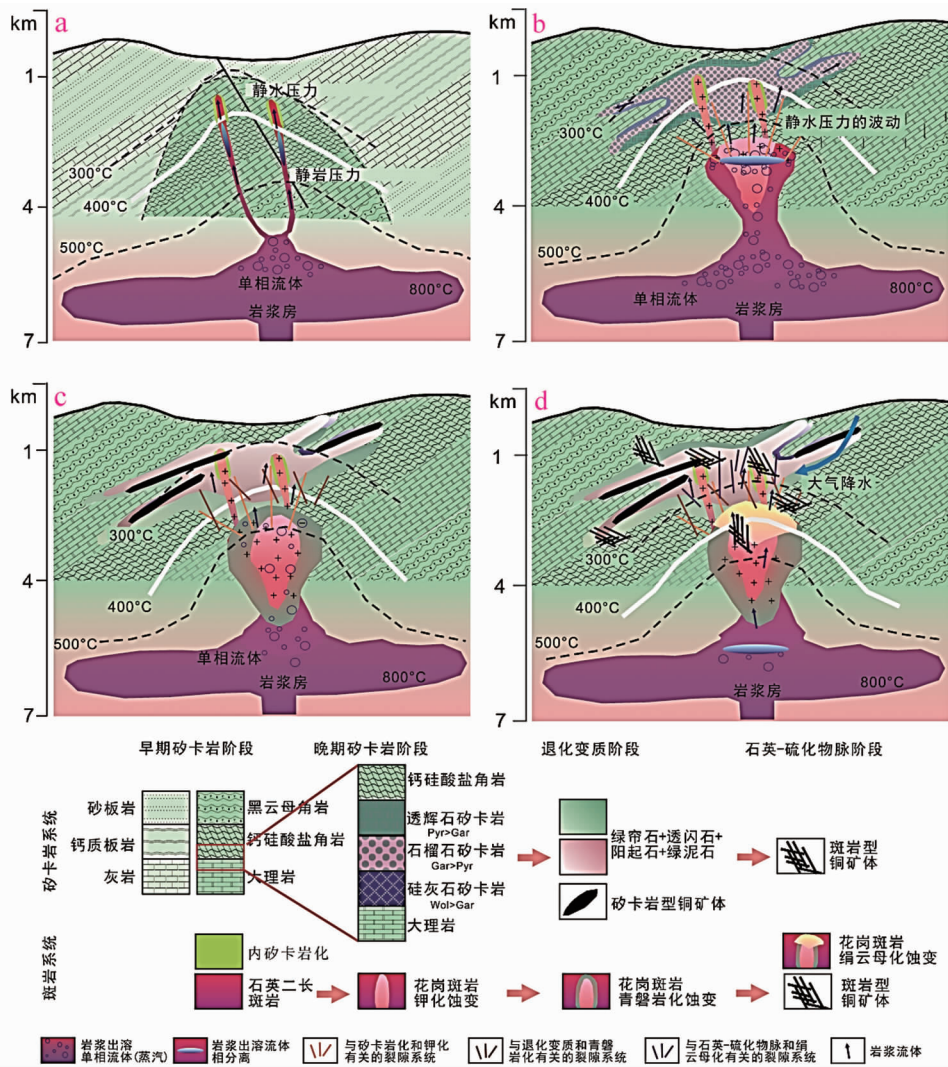
图 6 红牛—红山斑岩-砂卡岩成矿系统蚀变及矿化过程模式图^[20]

Fig. 6 Model of alteration and metallogenic process of Hongniu-Hongshan copper deposit

- 石英-二长斑岩岩浆上侵使三叠纪曲嘎寺组钙质板岩和灰岩变为钙硅酸盐角岩和大理岩,少量岩浆流体沿围岩岩性界面和断裂进行交代,形成部分辉石角岩,并在地壳浅部发生内砂卡岩化;
- 大量岩浆出溶流体随花岗岩斑岩岩浆快速上侵,并在上侵过程中发生相分离,形成的高盐度流体使花岗岩斑岩发生钾化蚀变;岩浆流体减压沸腾,围岩破裂,超临界流体出溶,围岩发生大面积热变质作用的同时,岩浆流体沿岩性界面和裂隙与大理岩和钙硅酸盐角岩发生交代作用,形成大量块状砂卡岩和透辉石角岩;
- 退化蚀变阶段,岩浆房出溶的单相流体使岩体发生青磐岩化蚀变;岩体顶部和围岩裂隙系统进一步发育,岩浆流体使已形成的砂卡岩发生退化蚀变作用,并在砂卡岩和角岩的岩性界面形成层状铜矿体;
- 随着岩体的冷凝,岩浆房出溶少量岩浆流体,岩体顶部发生绢云母化;由于围岩裂隙系统的逐渐联通,静水-静岩压力平衡线下移;岩浆流体与系统中水/岩反应的残余溶液以及大气水相混合,加之流体增压-泄压机制的反复发生和耦合,在围岩和斑岩体内形成了细脉浸染状的斑岩型矿体

→硅灰石砂卡岩→透辉石角岩。

(6) 矿化类型分带模型

斑岩体内部及边部钾硅化带中形成斑岩型铜(钼)矿化,接触带石榴石砂卡岩化带中形成块状磁铁矿-硫化物砂卡岩型铜铁矿体,外带大理岩和角岩化围岩层间(断层破碎带)形成脉状砂卡岩(角岩)型

铜矿体,远程带中形成热液脉型铅锌(银)矿化(体);总体上呈现出从岩体向外,矿化元素从 Cu-(Mo)→Cu、Fe→Cu→Pb-Zn-(Ag)的变化规律。

(7) 成矿地质体和找矿地质体

据周云满等^[20]对红牛—红山铜矿床研究成果,矿床成矿地质体为属燕山晚期与俯冲板片有关的幔

源岩浆型斑岩,岩性主要为石英二长斑岩,成岩年龄为 $77.27 \text{ Ma} \pm 0.27 \text{ Ma}$,矿床辉钼矿成矿年龄 $78.9 \text{ Ma} \pm 1.9 \text{ Ma} - 80.0 \text{ Ma} \pm 1.8 \text{ Ma}$,石英二长斑岩与矿床成矿年龄在误差范围内一致,表明矿床形成于晚白垩世;红牛—红山地区铜钼矿床的形成与燕山晚期的岩浆作用具有密切的时空关系,石英二长斑岩为矿床主要成矿地质体。结合矿床地质特征,找矿地质体有三种类型:石英二长斑岩、接触带矽卡岩、层间破碎带矽卡岩,其分别为寻找斑岩型铜(钼)矿体、矽卡岩(角岩)型铁铜矿体和层间矽卡岩(角岩)型铜矿体的找矿地质体。

4.2 地球物理找矿模型

区域重力低异常区和磁异常面积大、强度高区域是重要的找矿靶区,矿区大比例尺磁异常和激电异常区基本确定了矿体的空间位置和产状。矿区铜铁矿体赋存区为低视电阻率、高视极化率异常区,高精度磁测表现为正负磁异常相伴^[25-28]。

(1) 区域地球物理找矿模型

据云南省 1:100 万布格重力异常图及说明书^[29],雪鸡坪铜矿、红山—红牛铜矿处于区域中甸休瓦促—阿热地区重力低值异常带内,该异常带总体呈近 SN 向展布,北部延伸至四川境内,南端止于玉龙雪山,长 400 余公里,重力低异常强度 $-5 \times 10^{-5} \sim -25 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。重力低值异常带与区内岩浆岩带及铜矿床(点)分布相吻合。

据云南省 1:200 万航空磁测异常图及说明书^[29],中甸休瓦促—阿热一带存在强度较大、范围较广的航磁异常,大致分为近 SN 向分布的三个磁异常带:欠虽—红山—冈措异常带(中带),普朗—松诺—卓玛异常带(东带),普上一崩虐磁异常带(西带)。红山—红牛铜矿位于欠虽—红山—冈措异常带中部的红山正磁异常中(图 7),该磁异常面积大,强度高达 $+220 \text{ nT}$;周边磁异常呈椭圆形,范围小、强度中等,一般 $+50 \text{ nT}$ 上下,呈群出现。红牛—红山矿区位于正磁异常值大于 100 nT 的异常中心,航磁异常在重力低内表现为 SN 向低缓正磁异常^[30]。

(2) 矿床地球物理找矿模型

磁测 ΔT 异常模型:根据红牛—红山铜矿及外围 1:1 万地面高精度磁测成果^[31],磁测 ΔT 异常总体由南向北减弱,异常整体走向北西,正负相交,异常最大值 3120.2 nT ,最小值 -2519.7 nT ,均在测区中部。初步划分了 6 个异常,异常编号 C1—C6,推断了 5 条断层,异常特征及解译见表 1 和图 8。C1 异常对应红牛矿段 NNW 向陡立层间矽卡岩

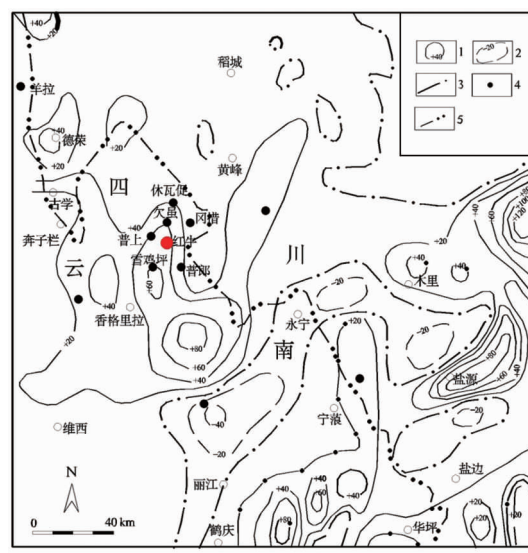


图 7 香格里拉及邻区航磁化极上延异常平面图^[30]

(上延高度为 20 km)

Fig. 7 Plane diagram of up continuation of aeromagnetic poles in Shangri-la and its adjacent areas

1. 正磁异常等值线及注记(nT);
2. 负磁异常等值线及注记(nT);
3. 零磁异常等值线;4. 矿床(点)位置;5. 省界

型脉状铜矿体。C3 异常对应红山矿段 NNW 向陡立层间矽卡岩型铁铜矿体和深部隐伏的酸性石英正长斑岩型铜(钼)矿体及其接触带矽卡岩型铁铜矿体。C2 异常对应南部层间与 NE 向断层接触带交界附近角岩化蚀变及矽卡岩化蚀变引起的异常。规模较小的 C4、C5、C6 异常可能是浅成(层)—超浅成(层)隐伏中酸性侵入斑(玢)岩、角岩化蚀变及矽卡岩化蚀变引起的异常。从图 8 还可以看出,C1、C2 和 C3 三个主要异常可以连为一体,构成一个向 NW 向开口的“U”型异常,说明在南部 52 号测线附近深部可能存在局部隐伏的 NE 向断裂、成矿岩体和磁性体(矽卡岩型铁铜矿体);矿区东、西两个矿带主要矿体分别与主要的 C1、C3 磁测 ΔT 异常完全对应吻合,矿体及其高磁性岩体均出现在磁法异常正极值及其正负异常交界处,表明地面高精度磁异常是重要的物探找矿标志。

激电中梯度 M_s 异常模型:矿区 1:2.5 万激电中梯扫面圈定了主要异常 4 个,分别是 D5、D7、D8、D9 激电异常,其异常特征见表 2。异常表现为高视极化率、低视电阻率的特性,平面上呈 NNW 向条带状,剖面上成陡立条带状,与矿区已知矿带产状和空

表 1 红牛—红山铜矿地面高精度磁测异常特征

Table 1 Characteristics of the high-precision ground magnetic anomalies in the Hongniu-Hongshan copper deposit		
异常名称	异常特征	异常地质解释
C1	异常北西走向,条带状,区内范围长 1.7 km,宽 0.63 km。异常以正负相交,正极值为 1800 nT,负极值为-1700 nT	推断有可能为隐伏斑(玢)岩及其断层接触带上角岩化蚀变及矽卡岩化蚀变引起异常。与红牛矿段 NNW 向层间矽卡岩型脉状铜矿体套合
C2	异常条带状,走向为北东,区内范围长 1.9 km,宽 0.8 km,异常以正负相交,正极值为 2200 nT,负极值为-1700 nT	推断可能与近 EW 向断层破碎蚀变矿化带引起异常。经勘查发现隐伏的 SKT 矿体群
C3	异常条带状,走向为北西,区内范围长 1.8 km,宽 0.76 km,异常以正负相交,正极值为 2600 nT,负极值为-2100 nT	推断有可能为斑(玢)岩及其断层接触带上角岩化蚀变及矽卡岩化蚀变引起异常。与红山矿段 NNW 向陡立层间矽卡岩型铁铜矿体和深部隐伏的酸性石英二长斑岩型铜(钼)矿体及其接触带矽卡岩型铁铜矿体套合
C4	异常呈椭圆状,北西走向。区内范围长 0.77 km,宽 0.45 km,异常以正负相交,正极值为 1400 nT,负极值为-1300 nT	推断为浅成(层)-超浅成(层)中酸性侵入斑(玢)岩、角岩化蚀变及矽卡岩化蚀变引起异常
C5	异常呈椭圆状,北西走向。区内范围长 0.6 km,宽 0.45 km。异常以正负相交,正极值为 400 nT,负极值为-320 nT	推断为浅成(层)-超浅成(层)中酸性侵入斑(玢)岩、角岩化蚀变及矽卡岩化蚀变引起异常
C6	异常呈椭圆状,北东走向。区内范围长 0.53 km,宽 0.38 km。异常以正负相交,正极值为 1000 nT,负极值为-320 nT	推断为浅成(层)-超浅成(层)中酸性侵入斑(玢)岩、角岩化蚀变及矽卡岩化蚀变引起异常

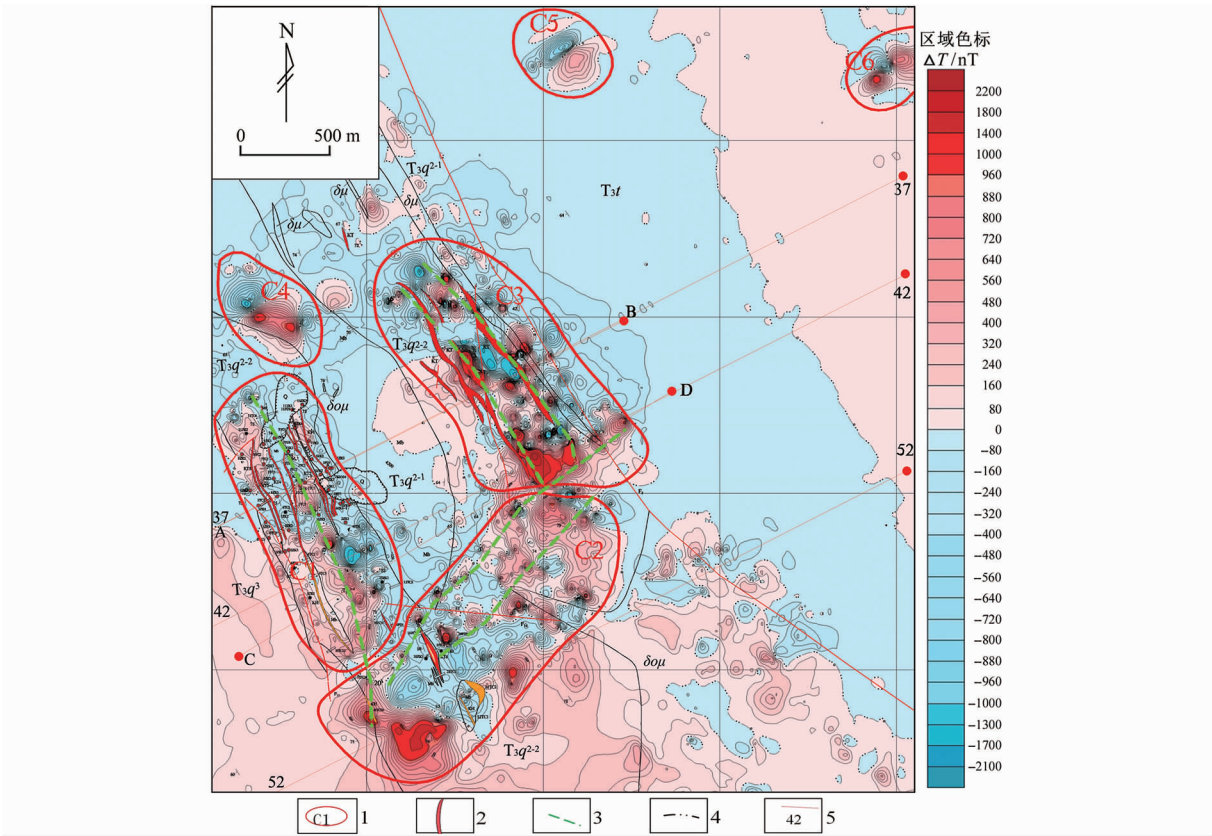


图 8 红牛—红山铜矿 1 : 1 万地面高精度磁测综合成果图^[31]

Fig. 8 Comprehensive results map of the 1 : 10000 ground high-precision magnetic exploration in the Hongniu-Hongshan copper mine

底图为 ΔT 平面等值线图,图中红色粗曲线为磁法推断异常区,绿色粗虚线为推测断层
1. 磁测 ΔT 异常及编号;2. 矿体露头;3. 磁测推测断层;4. 磁测 ΔT 值 0 等值线;5. 磁测剖面线及编号

表 2 红牛—红山铜矿 1:2.5 万激电异常特征

Table 2 Characteristics of IP at scale 1:25000 in the Hongniu-Hongshan copper deposit

异常名称	异常特征	异常地质解释
D5	异常位于测区中北部,北端异常未圈闭,有多个异常浓集中心,呈不规则形状,整个异常呈 NW 向展布,长度约 1050 m,最宽处约 520 m。视极化率 4.54%~13.70%,平均值为 7.38%,视电阻率 42.43~776.29 $\Omega \cdot m$,平均值为 274.41 $\Omega \cdot m$ 。异常宽约 43~709 m,上顶埋深约 53~158 m	与磁异常 C1 范围基本一致(北部在红牛矿段已知矿体范围)。推断有可能为隐伏斑(玢)岩及其断层接触带上角岩化蚀变及矽卡岩化蚀变引起异常。与红牛矿段 NNW 向层间矽卡岩型脉状铜矿体套合
D7	位于测区中南部,异常南端未圈闭,有三个异常浓集中心,整个异常呈 NW 向展布,长度约 320 m,最宽处约 1360 m。视极化率 5.21%~16.16%,平均值为 8.40%,视电阻率 22.77~226.12 $\Omega \cdot m$,平均值为 104.43 $\Omega \cdot m$ 。异常宽约 82~590 m,上顶埋深约 30~250 m	位于磁异常 C2 西部,推断可能与近 EW 向断层破碎蚀变矿化带引起异常。经勘查发现隐伏的 SKT 矿体群
D8	异常位于测区东北部,异常东端未圈闭,有两个异常浓集中心,呈不规则形状。视极化率 7.15%~13.27%,平均值为 9.92%,视电阻率 148.26~296.81 $\Omega \cdot m$,平均值为 224.50 $\Omega \cdot m$ 。异常宽约 40~245 m,上顶埋深约 60m	位于磁异常 C2 中部,推断可能与近 EW 向断层破碎蚀变矿化带上角岩化蚀变及矽卡岩化蚀变引起异常
D9	异常位于测区东北部,异常北端未圈闭,有一个异常浓集中心,呈不规则形状。视极化率 3.71%~12.09%,平均值为 7.66%,视电阻率 77.64~438.23 $\Omega \cdot m$,平均值为 234.14 $\Omega \cdot m$	位于磁异常 C2 东北部,推断可能与近 EW 向断层破碎蚀变矿化带上角岩化蚀变及矽卡岩化蚀变引起异常

间位置套合好^[31]。表明中等强度长条状激电异常可作为矿区又一物探找矿标志。

4.3 地球化学找矿模型

区域中小比例尺土壤化探测量确定区域找矿靶区,矿区大比例尺土壤化探测量进一步缩小找矿靶区,逼近矿体赋存部位。红牛—红山矿区处于 1:5 万土壤测量圈定的 Cu、Pb、Zn、Mo、Au、Ag 元素综合高异常区。1:2.5 万土壤测量圈出 Cu、Pb、Zn、Ag、W 元素异常面积较大,元素套合好,而 Au、As、Sb、Sn、Mo 元素异常面积较小;矿区铜铁矿体赋存区与强度高、浓集中心明显的 Cu、Pb、Zn、Ag、W 元素综合异常和相对小的 Au、As、Sb、Sn、Mo 元素的综合异常相对应。

(1) 区域地球化学找矿模型

据 1:5 万土壤化探成果资料,红牛—红山矿区存在 Cu、Pb、Zn、Mo、Au、Ag 异常,异常值较高,空间上各元素异常区叠加分布,形成综合异常区。区内及外围大致可划分出三个重要的化探综合异常区:雪鸡坪综合异常区、红山—烂泥塘综合异常区、普朗综合异常区。红牛—红山矿区处于红山—烂泥塘综合异常区东部(图 9),说明中小比例尺的土壤化探测量对找矿靶区的确定具有重要意义。

(2) 矿区地球化学找矿模型

红牛铜矿及外围开展了 1:2.5 万土壤化探测量,针对矿区处于高海拔寒冷区,地表岩石风化作用以物理风化作用为主,化学风化作用较弱,多数山坡—山脊地段土壤不发育,而以大量岩石碎屑分布,

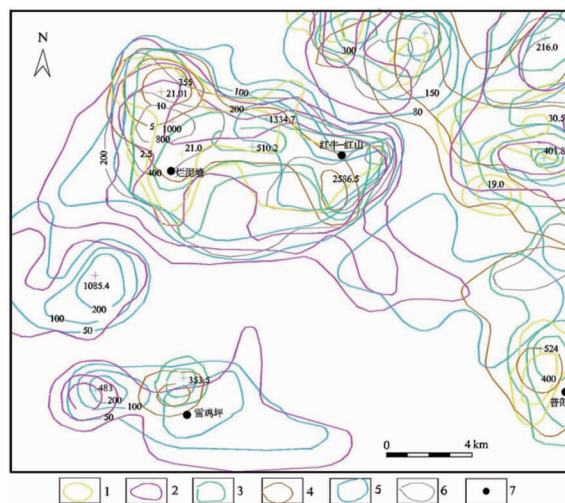
图 9 红牛—红山铜矿区域化探综合异常图^[32]

Fig. 9 Comprehensive anomaly map of regional geochemical exploration in the Hongniu-Hongshan copper deposit

1. 金异常;2. 银异常;3. 铜异常;4. 铅异常;5. 锌异常;
6. 锌异常;7. 铜多金属矿床位置

样品采集过程中,对没有土壤发育的地段,采集岩石碎屑样品。通过该项工作圈定了 5 个综合异常。其中最重要的异常为 03、06、09 号综合异常,以 Cu、Sn、Au 三个元素异常面积较大、强度高、浓度分带明显、具多个异常浓集中心,元素异常套合好;Pb、Zn、Ag、W、As 五个元素异常分布较零散、面积较小;Mo、Sb 两个元素仅为局部小异常,呈 EW 向零星分布。异常范围涵盖了矿区矿体分布范围,异常

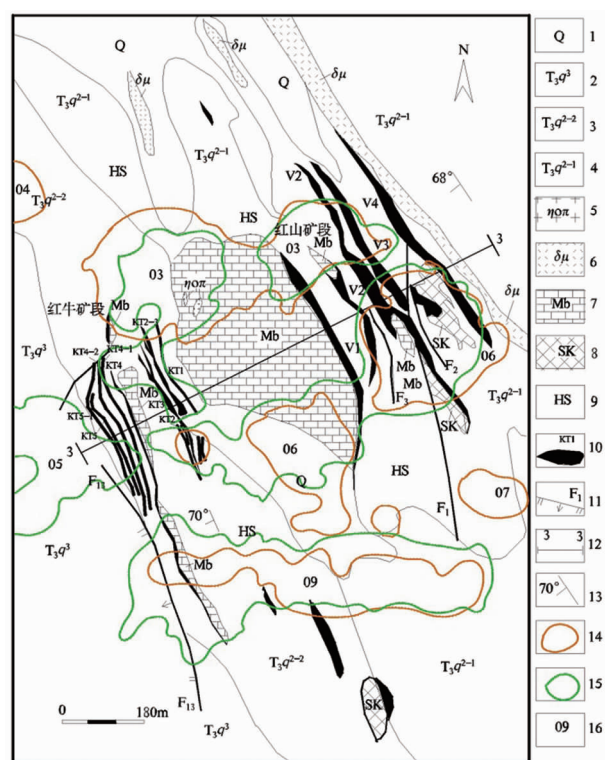


图 10 红牛—红山铜矿地质及 1 : 2.5 万土壤测量综合异常图^[31]

Fig. 10 Simplified geological map and 1 : 25000 comprehensive anomaly of soil survey

in the Hongniu—Hongshan copper deposit

1. 第四系; 2. 中三叠统曲嘎寺组第三段大理岩和灰岩;
3. 中三叠统曲嘎寺组第二段第二亚段角岩夹大理岩;
4. 中三叠统曲嘎寺组第二段第一亚段角岩夹变质砂岩夹大理岩;
5. 石英正长斑岩; 6. 闪长玢岩; 7. 大理岩; 8. 矽卡岩; 9. 角岩;
10. 矿体及编号; 11. 断层及编号; 12. 勘探线及编号;
13. 地层产状; 14. 金、砷、锑、锡、钼异常范围;
15. 铜、铅、锌、银、钨异常范围; 16. 综合异常编号

表 3 红牛—红山铜矿 1 : 2.5 万土壤化探测量主要综合异常特征

Table 3 Characteristics of 1 : 25000 comprehensive anomalies of soil survey in the Hongniu—Hongshan copper deposit

异常名称	异常特征	异常地质解释
03	异常位于矿区北部,呈 EW 向分布。Au、Mo、As、Ag、Pb、Sn 六个元素面积相对较小;而 Cu、Sb、W 异常面积大、强度高、套合好,分为东、西两个异常,西部异常呈近 SN 向展布。其中 Cu 元素以 500×10^{-9} 、 1000×10^{-9} 和 2000×10^{-9} 值划分的外带、中带和内带明显,西部 SN 向异常具 2 个浓集中心,极值为 4771×10^{-9} 和 20029×10^{-9} ,东部异常具 1 个浓集中心,极值 17573×10^{-9}	异常区东部异常与红山矿段北部 NNW 向陡立层间矽卡岩型铁铜矿体和深部隐伏的酸性石英二长斑岩型铜(钼)矿体及其接触带矽卡岩型铁铜矿体套合,为隐伏斑(玢)岩及其断层接触带上角岩型及矽卡岩型矿体引起异常。西部异常与红牛矿段北部 NNW 向层间矽卡岩型脉状铜矿体套合
06	异常位于测区中部,呈 NE 向带状分布。以 Ag、As、Au、Cu、Pb、Sb、Zn 七个元素组合异常套合好,其中的 Cu、Pb、Zn、Ag、W 异常面状展布,面积大,强度高,元素变异系数和平均衬度大,Au、As 异常分为东部(强)和西部(弱)两个异常,W、Sn、Mo 异常主要分布于东北部,Sb 分布于西南部。东北部 Cu 元素以 500×10^{-9} 、 1000×10^{-9} 和 2000×10^{-9} 值划分的外带、中带和内带明显,具 1 个浓集中心,极值 5445×10^{-9}	异常东北部与红山矿段南部 NNW 向陡立层间矽卡岩型铁铜矿体和深部隐伏的酸性石英二长斑岩型铜(钼)矿体及其接触带矽卡岩型铁铜矿体套合,为斑(玢)岩及其断层接触带上角岩型及矽卡岩型矿体引起异常。西南部异常和 05 异常与红牛矿段南部东、西两个矿带的 NNW 向层间矽卡岩型脉状铜矿体套合
09	异常位于矿区中南部,Ag、Cu、Pb、Sb、W 五种元素异常,呈 EW 向带状展布,面积较大,强度较高,各元素异常套合较好。Zn 异常分布于西部,Au 异常分别于东部。Cu 元素以 500×10^{-9} 、 1000×10^{-9} 和 2000×10^{-9} 值划分为外带、中带和内带,异常具 4 个浓集中心,极值 $4822 \times 10^{-9} \sim 9819 \times 10^{-9}$	异常区内出现大理岩、变质岩,异常西部覆盖部分已知矿体。推断可能与近 EW 向断层破碎蚀变矿化带引起异常。经勘查发现隐伏的 SKT 矿体群

浓集中心与矿体赋存部位基本一致(图 10),主要异常特征详见表 3。矿区含矿地段在化探上出现 Cu、Mo、Pb、Zn、Ag、Au 等元素组成的综合异常特征,这是重要的化探找矿标志。

4.4 地质-地球化学-地球物理综合勘查模型

通过对红牛—红山铜矿床成矿地质背景、控矿因素、矿化富集规律、矿化类型、蚀变分带、矿床成因类型及成矿模式、地球物理和地球化学特征等方面研究成果以及地质勘查工作的总结,红牛—红山铜矿床地质-地球化学-地球物理综合勘查模型:大比例尺地质填图和综合研究+重力+激电和高精度磁测+土壤化探测+工程验证的组合勘查技术方法,燕山晚期石英二长斑岩+接触带矽卡岩和层间破碎带矽卡岩+重力低异常+高磁异常+高视极化率和低视电阻率异常+Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au 等元素综合异常的组合勘查模型(见表 4、图 11),即地质调查和综合研究构建“四位一体”的成矿模式和地质找矿模型;区域中-小比例尺的土壤化探测量确定区域找矿靶区,矿区大比例尺土壤化探测量进一步缩小找矿靶区,逼近矿体赋存部位;区域重力低和正高磁异常圈定区域找矿靶区,矿区大比例尺磁异常和激电异常定位矿体的空间位置和产状。

5 找矿预测及找矿进展

(1)找矿预测

首先在矿区范围内开展探边摸底的进一步找矿勘探工作,同时依据主要成矿地质体(石英二长斑岩体)及斑岩-矽卡岩-热液型铜(钼铁)成矿特征,围绕

表 4 红牛—红山铜矿床综合勘查模型

Table 4 A comprehensive exploration model in the Hongniu-Hongshan copper deposit

模型要素	矿床模型要素特征
矿床类型	与燕山晚期石英二长斑岩体有关的斑岩-矽卡岩-热液型铜-铁矿床
赋矿地层及赋矿部位	1. 燕山晚期石英二长斑岩体与三叠系上统曲嘎寺组二段一层一亚层 $T_3q^{2-1(1)}$ 的不纯碳酸盐岩接触带附近的矽卡岩、矽卡岩化角岩带 2. 外接触带三叠系上统曲嘎寺组二段一层二亚层 $T_3q^{2-1(2)}$ 大理岩与一亚层 $T_3q^{2-1(1)}$ 角岩接触面附近的矽卡岩化带中 3. 外接触带三叠系上统曲嘎寺组二段一层二亚层 $T_3q^{2-1(2)}$ 的角岩(钙质板岩)与大理岩(灰岩)夹层间的不纯碳酸盐岩形成的层间矽卡岩带 4. NNW 向和 NNE 向断层破碎带矽卡岩化带 5. 远程带 T_3q^3 以大理岩化灰岩为主的地层内 Pb-Zn-Ag 矿化
成矿期	燕山晚期(78.9±1.9)Ma—(80.0±1.8)Ma 是红牛—红山矽卡岩-斑岩型铜钼矿床的主要成矿期
控矿构造	多级构造体系控制矿带、矿田、矿区、矿体及矿化类型的分布;主要控矿构造为岩体接触带构造和陡立的层间破碎带(岩性差异、过渡界面),其次为断层破碎(裂隙)蚀变矽卡岩带、大理岩带
成矿地质体	燕山晚期石英二长斑岩
地球物理特征	矿区处于 1:200 万航空磁测体瓦促—阿热 NNW 向正磁异常带中部的红山强磁异常中,异常面积大,强度高达+220 nT;周边磁异常呈椭圆状,范围小,强度中等,一般+50 nT 上下,呈群出现 矿区 1:1 万地面高精度磁测,反映主要有 NNW 向和 NE 向强度高的正负相伴的规则磁异常,1:1 万激电中梯扫面具有高极化率和底电阻率异常,磁异常和激电异常均与矿带及矿体套合
地球化学特征	矿区处于 1:5 万土壤化探圈出的红山—烂泥塘 Cu、Pb、Zn、Mo、Au、Ag 综合异常区中东部,区内异常值较高,空间上各元素异常区叠加分布。矿区 1:2.5 万土壤测量圈出 Cu、Sn、Au 三个元素异常面积较大、强度高、浓度分带明显、具多个异常浓集中心,元素异常套合好;Pb、Zn、Ag、W、As 五个元素异常分布较零散、面积较小;Mo、Sb 两个元素仅为局部小异常,呈 EW 向零星分布
矿化特征	斑岩体内部及边部钾硅化带中形成斑岩型铜(钼)矿化,接触带石榴石矽卡岩化带中形成块状磁铁矿-硫化物矽卡岩型铜(铁)矿体,外带大理岩和角岩化围岩层间(断层破碎带)形成脉状矽卡岩(角岩)型铜矿体,远程带中形成热液脉型铅锌(银)矿化(体)
围岩蚀变	围岩蚀变主要有矽卡岩化、角岩化、硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、磁铁矿化、碳酸盐化等。矽卡岩矿物有透闪石、透辉石、阳起石、钙榴石等。垂向蚀变形成一个或多个由角岩-矽卡岩-大理岩组合形成的蚀变带 斑岩至围岩(北东侧)依次发育深褐色粗晶具有明显的环带结构的钙铁榴石矽卡岩→棕红色中细粒钙铁榴石透辉石矽卡岩→淡绿色辉石与肉红色细粒石榴石相间产出的层纹状石榴石-透辉石矽卡岩→钙硅酸盐角岩(透辉石角岩);向西南方向依次为肉红-褐黄色中细粒钙铁-钙铝榴石矽卡岩→透辉石-石榴石矽卡岩→硅灰石矽卡岩→透辉石角岩
成矿元素组合	岩体内部向外,内带 Cu-Mo-Fe 组合,中带 Cu-Ag 组合,外带 Pb-Zn-Ag 或 Au-As-Sb-Hg 组合
找矿标志	强褐铁矿化、铁帽、矽卡岩化及大理岩化,岩体与碳酸盐岩接触带矽卡岩带、层间和断层破碎带矽卡岩化带;正负相伴的强磁异常中的正磁异常区;Au、Cu、Mo、Sb、W 元素中高温元素组合异常等
找矿勘查技术组合及综合勘查系统模型	红牛—红山铜矿床属斑岩-矽卡岩-热液型铜铁(钼)矿床,岩体、地层、构造和矿化类型构成矿床“四位一体”的成矿模式 勘查技术方法:大比例尺地质填图+重力+激电和高精度磁法剖面测量+土壤化探+工程验证 勘查系统模型:燕山晚期石英二长斑岩+接触带矽卡岩和层间破碎带矽卡岩+重力低异常+高磁异常+高视极化率和低视电阻率异常+Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au 等元素综合异常

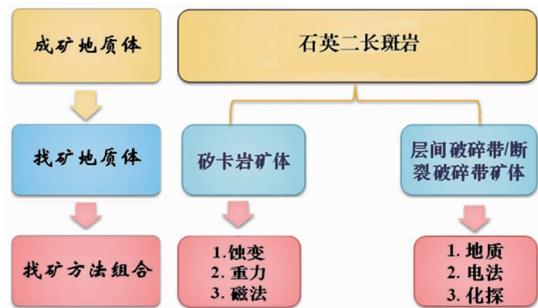


图 11 红牛—红山铜矿找矿模型^[20]

Fig. 11 Simplified model map of comprehensive exploration in the Hongniu-Hongshan copper deposit

斑岩体开展找矿预测和勘查,同时关注受断裂、褶皱构造控制的破碎带型矿体,提出找矿方向,预测找矿靶区 5 处:

①在矿区深部具有寻找斑岩-矽卡岩型铜钼矿床的巨大潜力,深度在 3000 m 标高以下的岩体接触带附近,同时 3000 m 标高以上仍然有寻找层间矽卡岩型热液脉型铜矿体的潜力。

②矿区南部 20 线附近,沿北东向隐伏构造带可寻找断层破碎带矽卡岩型热液脉型铜矿体。

③矿区东部 0—12 线之间、红山矿区北部和南部仍有寻找层间矽卡岩型热液脉型铜矿体的潜力,深部具有寻找斑岩-矽卡岩型铜钼矿床的巨大潜力。

④矿区北部具有寻找层间矽卡岩型热液脉型铜矿体的潜力。

⑤矿区西部具有寻找断层或裂隙破碎带型、层间矽卡岩型热液脉型铅锌银矿体的潜力。

(2)找矿进展

地质-地球化学-地球物理综合勘查模型指导勘查工作部署取得新的重要进展。勘查工作部署开展

了三方面的重点工作:首先是基础地质工作,开展了1:1万全区高精度磁测、1:2.5万地球化学测量、1:1万地质简测和1:2000地质简测等;其次是对找矿预测区域开展工程验证,对原发现并评价的KT1、KT2、KT3、KT4、KT5、KT7矿群进行扩边增储控制;第三是深部探索,新发现石英二长斑岩接触带附近的矽卡岩型铜(钼)矿体。在对物探圈定的C2磁异常与地球化学测量异常(06、09号)重叠的部分开展工程验证,发现了SKT1矿体群,综合分析后对深部进行探索,发现了EKT3矿体;东部新发现层间ETK4、ETK5、ETK6矿体群;东南部在新发现层间破碎带中发现了KT20、KT21、KT22矿体群;北部发现V2、V3、V4矿体。矿区西部圈定一个铅锌银异常区。

在红牛—红山矽卡岩型铜矿综合勘查模型的指导下,从2015年到2017年,勘查新增(332)+(333)类铜金属量大于 36.26×10^4 t,红牛铜矿实现了找矿突破,并为今后的找矿工作提供了方向。

6 结语

通过对滇西北红牛—红山铜矿床成矿地质背景、矿床地质特征、矿化富集规律及成矿模式、矿床地球物理和地球化学特征的综合研究,建立了红牛—红山铜矿床的“大比例尺地质填图和综合研究+重力+激电和高精度磁测+土壤化探测+工程验证”组合勘查技术方法、“燕山晚期石英二长斑岩+接触带矽卡岩和层间破碎带矽卡岩+重力低异常+高磁异常+高视极化率和低视电阻率异常+Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au等元素组成的综合异常”组合勘查模型,并指导矿区深边部找矿取得突破。

致谢:衷心感谢匿名审稿专家对本文的精心审稿并提出建设性修改意见,感谢编辑部编辑的精心编排!

参考文献:

- [1] 边晓龙,张静,王佳琳,等.滇西北红山矽卡岩型铜矿床石榴子石原位成分及其地质意义[J].岩石学报,2019,35(5):1463-1477.
- [2] 高雪,邓军,孟健寅,等.滇西红牛矽卡岩型铜矿床石榴子石特征[J].岩石学报,2014,30(9):2695-2708.
- [3] 彭惠娟,李洪英,裴荣富,等.云南中甸红牛—红山矽卡岩型铜矿床矿物学特征与成矿作用[J].岩石学报,2014,30(1):

237-256.

- [4] 俎波,薛春纪,亚夏尔,等.云南香格里拉红山铜矿石硫化物环带及地质意义[J].岩石学报,2013,29(4):1203-1213.
- [5] 曹晓民,范玉华,张世权,等.云南香格里拉红山地区多金属矿床特征及成矿模式[J].云南地质,2014,33(2):163-171.
- [6] 常开永.香格里拉县红牛矽卡岩型铜矿[J].云南地质,2006,25(1):12-18.
- [7] 冷成彪.滇西北红山铜多金属矿床的成因类型:黄铁矿和磁黄铁矿 LA-ICP-MS 微量元素制约[J].地学前缘,2017,24(6):162-175.
- [8] 李文昌,王可勇,尹光侯,等.滇西北红山铜矿床成矿流体地球化学特征及矿床成因[J].岩石学报,2013,29(1):270-282.
- [9] 彭惠娟,张长青,周云满,等.云南省中甸红牛铜矿床地质地球化学特征[J].中国地质,2012,39(6):1743-1758.
- [10] 宋保昌,蔡新平,徐兴旺,等.云南中甸红山铜—多金属矿床新生代热泉喷流沉积型矿床[J].地质科学,2006,41(4):700-710.
- [11] 王鹏,董国臣,李雪峰,等.滇西北红山—红牛铜矿成矿物质源:矿物学和稳定同位素约束[J].地学前缘,2017,24(6):176-193.
- [12] 王守旭,张兴春,冷成彪,等.中甸红山矽卡岩铜矿稳定同位素特征及其对成矿过程的指示[J].岩石学报,2008,24(3):481-493.
- [13] 徐兴旺,蔡新平,屈文俊,等.滇西北红山晚白垩世花岗斑岩型 Cu-Mo 成矿系统及其大地构造学意义[J].地质学报,2006,80(9):1423-1433.
- [14] 孟健寅,杨立强,吕亮,等.滇西北红山铜钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测年及其成矿意义[J].岩石学报,2013,29(4):1214-1222.
- [15] 彭惠娟,张长青,罗跃中,等.云南省中甸红牛铜多金属矿床成矿时限及流体包裹体研究[J].矿床地质,2012,31(增刊):593-594.
- [16] 王新松,毕献武,冷成彪,等.滇西北中甸红山 Cu 多金属矿床花岗斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义[J].矿物学报,2011,31(3):315-321.
- [17] 王鹏.滇西北红山—红牛铜矿成岩成矿作用[D].北京:中国地质大学(北京),2016.
- [18] 侯增谦,杨岳清,王海平,等.三江义敦岛弧碰撞造山过程与成矿系统[M].北京:地质出版社,2003:1-145.
- [19] 云南黄金矿业集团股份有限公司.云南省香格里拉市红牛铜矿外围普查报告[R].昆明:云南黄金矿业集团股份有限公司,2018:1-223.
- [20] 周云满,毛景文,符德贵,等.滇西地区金铜铅锌矿典型矿床及成矿规律研究[M].北京:地质出版社,2017:238-288.
- [21] 葛良胜,邓军,杨立强,等.中国金矿床:基于成矿时空的分类探讨[J].地质找矿论丛,2009,24(2):91-100.
- [22] 葛良胜,郭晓东,邹依林,等.云南北衙金矿床地质特征及成因研究[J].地质找矿论丛,2002,17(1):32-46.
- [23] 周云满,张长青,和中华,等.滇西北衙金多金属矿床成矿作用特征标志[J].地质找矿论丛,2018,33(1):1-14.
- [24] Zhou Y M, Zhang C Q, He Z H, et al. Geological character-

- istics and ore-controlling factors of the Beiya gold-polymetallic ore deposit, northwestern Yunnan province [J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2018, 92(5):1841–1861.
- [25] 周云满. 物探方法在滇东北地区寻找隐伏矿床的应用效果[J]. *地质与勘探*, 2006, 42(3):81–85.
- [26] 周云满, 张家良, 董文伟, 等. 哀牢山南段长安金矿深部找矿新进展[J]. *地质找矿论丛*, 2014, 29(2):185–191.
- [27] 周云满, 王利东, 梅文周, 等. 实现整装勘查找矿突破的问题与举措[J]. *西南地质经济*, 2015, 189(2):1–12.
- [28] 周云满, 符德贵, 和中华, 等. 滇西鹤庆北衙金多金属矿整装勘查实现重大突破[J]. *云南地质*, 2014, 33(增刊):40–47.
- [29] 云南省地质矿产勘查开发局物化探队. 云南省重力、航磁异常综合研究报告[R]. 昆明: 云南省地质矿产勘查开发局物化探队, 1990: 1–120.
- [30] 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所. 中国重要金属矿勘查物探化探方法技术应用[M]. 北京: 地质出版社, 2011:106–116.
- [31] 四川省地质矿产勘查开发局物探队. 云南省香格里拉县红牛铜矿物化探勘查工作报告[R]. 昆明: 云南黄金矿业集团股份有限公司, 2013:1–113.
- [32] 云南省地质矿产勘查开发局物化探队. 1:5万红山幅(H47EO24016)土壤地球化学测量报告[R]. 昆明: 云南省地质矿产勘查开发局物化探队, 1990:1–124.

The exploration system model of the Hongniu-Hongshan copper deposit in northwestern Yunnan province

ZHOU Yunman¹, ZHANG Changqing², FU Wenchao¹, LIU Huan², XIE Tong¹,
PENG Huijuan³, DONG Wenwei¹, TAO Xingxiong¹

(1. Yunnan Gold & Mining Group Co. Ltd., Kunming 650299, China;

2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

3. Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610081, China)

Abstract: The Hongniu-Hongshan copper deposit in northwest Yunnan is a typical porphyry-skarn hydrothermal copper deposit related to the late Cretaceous intermediate-acid intrusions in the Yidun-Shaluli island arc. It is studied on metallogenic and geological background, geological characteristics, enrichment pattern and the metallogenic model. Geophysical and geochemical characteristics and geological mapping at large scale + gravity + IP and high-precision magnetic survey + soil geochemical exploration + engineering validation technical method, and late Yanshan quartz monzonite porphyry + contact zone skarn and interlayer fracture zone skarn + low gravity anomaly + high magnetic anomaly + low apparent resistivity and high apparent polarizability + Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au composite anomaly prospecting model were established. The ore-hosted and prospecting geological bodies are located by geological survey and study, combination of four factors into one metallogenic model and mining district and regional prospecting model established by mineralization types and their spatial distribution, regional prospecting targets located by regional soil geochemical survey at medium-small scale, shrinking target to approach ore body by soil geochemical survey at large scale. High Cu-Pb-Zn-Mo-Au-Ag anomaly area in the property and large areal Cu-Pb-Zn-Ag-W anomaly with high intensity, clear concentration centers and well-fit element anomalies by soil geochemical survey at scale 1:25000 are compoundant to Cu(Fe) ore bodies in the property. The areas with low gravity anomaly and high positive magnetic anomaly intensity are important target areas, the spatial location and occurrence of ore body are determined by magnetic anomaly and the IP anomaly at large scale. The areas where Cu(Fe) orebody occur are characterized by low apparent resistivity and high apparent polarizability and accompanied positive and negative magnetic anomalies of high precision magnetic measurement. The geological-geochemical-geophysical comprehensive exploration model plays an important guiding role in the ore prospecting in surrounds and to depth of Hongniu-Hongshan copper deposit.

Key Words: Hongniu-Hongshan copper deposit; porphyry-skarn type; comprehensive research; exploration system model; northwest Yunnan province