

云南羊拉铜矿成因新认识及勘查技术模型^①

尹 静¹, 徐伯恩², 罗 诚², 尹光候³

(1. 昆明理工大学, 昆明 650093; 2. 云南迪庆矿业开发有限责任公司, 云南 香格里拉 674400; 3. 云南省地质调查局, 昆明 650051)

摘 要:羊拉铜矿主要由里农、路农、江边 3 个矿段组成。含矿岩系为下泥盆统江边组中段一中上泥盆统里农组上段, 产有层状和似层状火山—喷流沉积矿体; 印支—燕山早期具岛弧性质的中酸性岩浆侵入, 形成砂卡岩型和改造叠加矿体; 构造—岩浆演化至燕山早期未形成斑岩和断裂构造中脉状矿体, 是一个具有巨大找矿潜力的既受层控, 又绕岩体, 从岩体穿插至围岩之中的沉积—斑岩—砂卡岩—脉状复合型铜矿床。通过找矿勘查实践, 结合矿区地球物理和地球化学特征、遥感信息建立了勘查技术模型, 进行缺位预测, 在里农与路农矿段之间找到了层控矿体。

关键词:铜矿床; 勘查技术模型; 矿床成因; 成矿要素; 缺位预测; 羊拉; 云南

中图分类号: P618.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-5663(2011)06-0461-09

0 引言

羊拉铜矿位于金沙江构造结合带中段, 与兰坪陆块东缘维西—绿春晚古生代—早中生代火山弧北段^[1~2]交接部位里农岩体北倾覆端(图 1)。矿区由里农、路农、江边、贝吾、通吉格 5 个矿段组成, 目前已探明铜资源量 124 万吨, 平均品位 1.04%, 伴生金、钼等。其中里农、路农矿段占储量 80% 以上, 矿床远景储量可达 200 万吨, 是一个具有巨大找矿潜力的沉积—斑岩—砂卡岩复合型铜矿床。羊拉铜矿主要由里农、路农、江边 3 个矿段组成。

羊拉铜矿床构造环境、地质特征及成矿时代等前人已作了较多研究^[3~11]。近年来, 随着矿山进一步勘查与开发, 以及科技支撑等项目的研究, 对矿床的成矿作用有了新认识, 结合矿山需要, 建立了勘查技术评价模型, 并进行缺位预测, 在里农与路农矿段之间找到了层控型矿体。

1 区域地质背景

区内出露地层主要有泥盆系(D)、石炭—二叠系

(C—P)、三叠系(T), 总体属一套由中、基性火山岩、火山碎屑岩、碳酸盐岩及泥砂质岩石组合而成的细碧角斑岩—一类复理石建造^[12]。其中泥盆系是区内铜矿主要赋存层位, 岩性为大理岩、变质石英砂岩、砂质绢云板岩、绿泥石板岩、绢云石英片岩夹角闪安山岩, 与中酸性侵入岩体接触附近碎屑岩角岩化、砂卡岩化, 有强度不一的铜、铅、锌多金属矿化。

区内侵入岩、喷出岩岩类齐全, 从超基性—中酸性岩均有出露。岩浆活动有华力西期、印支—燕山期到喜马拉雅期, 以印支—燕山期活动为主。华力西期形成角闪安山岩、玄武岩等火山岩, 属岛弧拉斑玄武岩区或形成于大洋岛弧环境^[2,7]。印支—燕山期形成的中酸性侵入岩, 岩石类型有花岗闪长岩、斜长花岗岩、石英闪长岩、二长花岗岩、花岗斑岩。具有从中性—酸性分异演化趋势, 受区域性断裂带控制沿其旁侧分布, 构成加仁花岗岩带^[4]。与矿化关系密切, 已知矿床、(点)、异常区大部分围绕其分布。

区内构造发育, SN 向金沙江和羊拉断裂是控制沉积建造、变质作用、岩浆活动及其有关矿产的主要构造, 而 NE 次级向断裂及派生之“入”字型断层则为控矿构造, 晚期发育规模较小的 NW、NE 向断层, 切错了早期断裂及褶皱, 构成了本区总体呈 SN 向展布的褶皱构造格局(图 1)。

① 收稿日期: 2011-08-20 作者简介: 尹静(1984—), 女, 云南大理人, 在读硕士生, 研究方向: 矿床地球化学。

2 矿床地质

2.1 含矿岩系特征

矿床赋存于一套火山—沉积岩系,由细碎屑岩、变火山岩、碳酸盐岩等组成的不等厚互层沉积—火山建造。含矿岩系为下泥盆统江边组中段—中上泥盆统里农组上段。里农矿段的层状矿体产于印支期花岗闪长岩与江边组、里农组地层之间(图 1)。赋矿 5 个岩性段特征如下^[12]:

里农组上段($D_{2+3}l^3$):灰色薄—中层状砂质板

岩、绿泥板岩为主,局部夹大理岩透镜体,上部大理岩增多。厚 790m。

里农组中段($D_{2+3}l^2$):灰色、浅灰白色厚层—块状中细晶大理岩、条带状大理岩为主,少量砂质板岩、变石英砂岩。厚 201m。

里农组下段($D_{2+3}l^1$):由浅灰色砂质板岩、深灰色绿泥板岩、灰白色条纹条带状硅质岩,薄层状大理岩组成,少量砂卡岩化变石英砂岩、蚀变火山岩,砂质板岩中含大理岩透镜体。厚 239m。

江边组上段(D_{1j}^3):主要为灰色中—厚层状、块

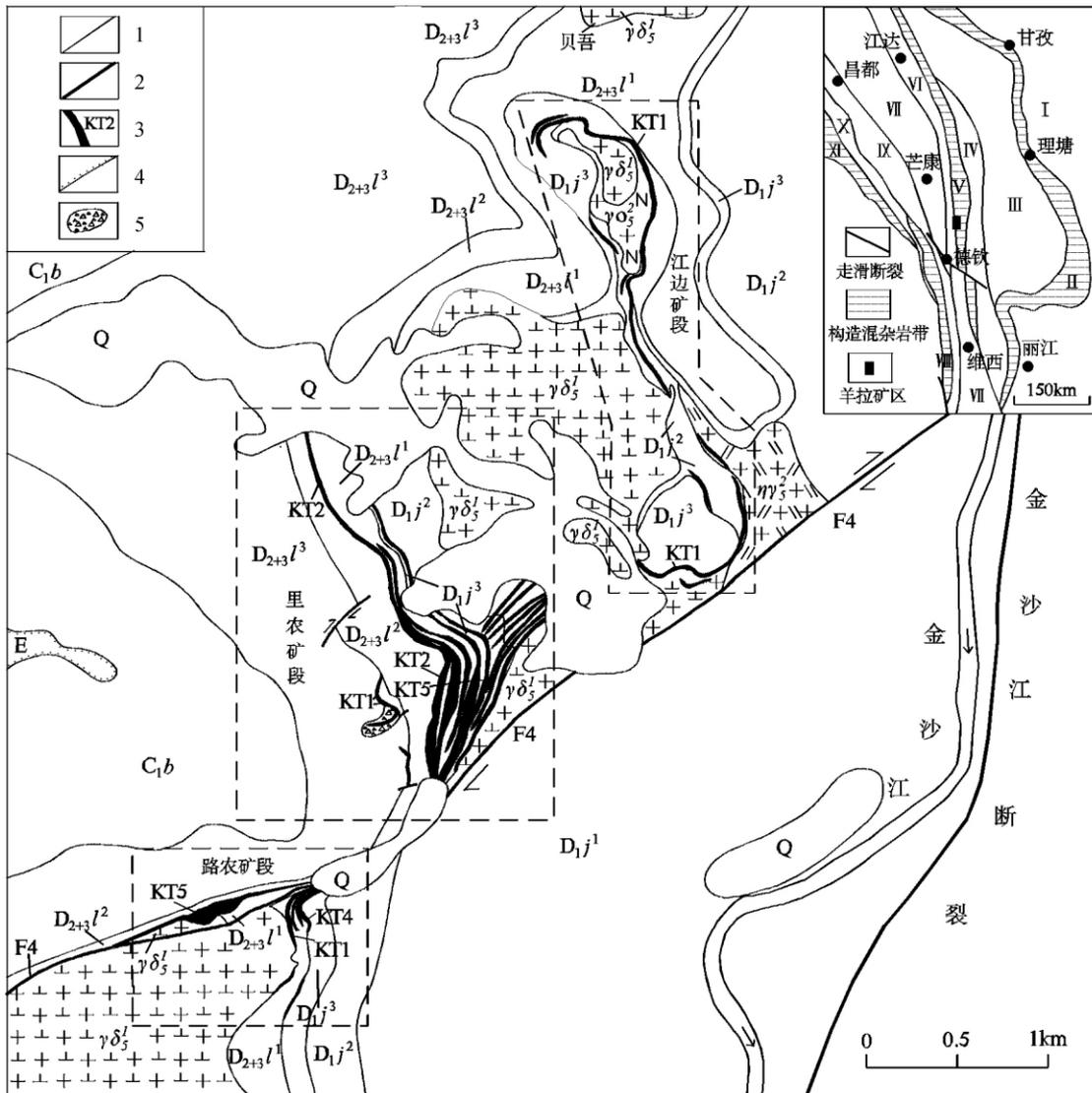


图 1 羊拉铜矿区地质略图(据朱俊 2010,修改)

Fig. 1 Geological map of the Yangla copper deposit

Q—第四系 E—第三系 C_{1b} —下石炭统贝吾组 $D_{2+3}l^3$ —中上泥盆统里农组三段 $D_{2+3}l^2$ —中上泥盆统里农组二段 $D_{2+3}l^1$ —中上泥盆统里农组一段 D_{1j}^3 —下泥盆统江边组三段 D_{1j}^2 —下泥盆统江边组二段 D_{1j}^1 —下泥盆统江边组一段 $\eta\gamma_2^3$ —燕山期二长花岗岩 $\gamma\sigma_3^3$ —燕山期斜长花岗岩 $\gamma\delta_5^{15}$ —印支期花岗闪长岩 1—地质界线 2—断裂 3—矿体及编号 4—不整合界线 5—角砾岩筒 I—扬子陆块 II—甘孜—理塘构造混杂岩带 III—义敦岛弧带 IV—中咱微陆块 V—金沙江构造混杂岩带 VI—江达—维西岛弧带 VII—昌都陆块 VIII—澜沧江构造混杂岩带 IX—察隅陆块 X—受坝—盐井岛弧带 XI—怒江构造混杂岩带

状细晶大理岩。厚 72m。

江边组中段(D_{1j}²):灰色中层状绢云板岩、砂质板岩为主,次为浅灰绿色绿泥板岩、灰色中至厚层状细一中晶大理岩。厚 348m。

2.2 含矿岩系中火山岩特征

含火山岩层位有贝吾组(C_{1b})和里农组(D_{2+3l}),后者与成矿关系密切。

贝吾组火山岩为块状产出,与成矿无关;里农组火山岩以层状产出,有拉斑玄武岩,石英拉斑玄武岩、玄武安山岩和角闪安山岩,表现为玄武岩、安山岩岩石组合,并与陆源碎屑岩及浅水碳酸盐岩构成火山岩—碎屑岩—碳酸盐岩建造,岩浆来源深度(19km)与次大陆壳厚度(20km)一致,具大陆裂谷型火山岩特征,为发育于大陆边缘裂谷斜坡—浅水洋盆构造环境^[7]。岩石普遍遭受钠化和碳酸盐化,大理岩中夹层状玄武岩,透辉石及绿泥石化十分强烈,变质(蚀变)为黄铁矿化绿泥板岩。

2.3 矿区侵入岩

2.3.1 岩石学特征

矿区主要出露加仁花岗岩带北段的路农、里农、贝吾 3 个岩体(图 1),多呈岩株形式产出。单一岩体主体岩性为花岗闪长岩,其他岩石类型有斜长花岗岩—闪长岩—二长花岗岩—花岗斑岩,岩体侵入于泥盆—石炭纪浅变质岩中。岩体与围岩多呈港湾状接触,围岩具角岩化、矽卡岩化,局部铜多金属矿化。

花岗闪长岩:构成贝吾、里农、江边岩体的中心相。灰白色,半自形中粗粒结构,块状构造。由斜长石(40%)、钾长石(15%)、石英(25%)、角闪石(15%)、黑云母(5%)等组成。斜长石以中长石为主,An=32~48,具连续正环带构造,绢云母化普遍;角闪石、黑云母局部绿泥石化、葡萄石化;副矿物见锆

石、磷灰石。

二长花岗岩:构成贝吾、里农岩体边缘相。为灰白—浅灰黄色,半自形中细粒结构,局部为含斑结构,块状构造。由钾长石(25%)、斜长石(30%、An=23~32)、石英(30%)、黑云母(10%)、角闪石(5%)等组成。钾长石为条纹长石,普遍泥化、碳酸盐化,黑云母部分绿泥石化。

斜长花岗岩:构成里农岩体边缘相。呈浅灰黄色,具半自形中细粒结构,块状构造。矿物成分为斜长石(主)、石英(25%)、铁镁暗色矿物(5%);副矿物有磷灰石(2%)、锆石(2%)。斜长石绢云母化,铁镁暗色矿物绿泥石化。

二长花岗斑岩:构成里农岩体西(侧)缘主体。灰白色,斑状结构,基质隐晶—粒状结构,块状构造。斑晶由熔蚀粒状石英(5%)、板状斜长石(15%)、钾长石(7%)及柱状、片状角闪石、黑云母(6%)组成;基质成分同斑晶。见少量黄铁矿、方铅矿、磁铁矿、钛铁矿呈星点状分布。

闪长玢岩:呈脉状分布于中酸性岩体边部及其外接触带中。暗绿色,斑状结构,基质微细粒结构,块状构造。斑晶由中性斜长石(45%)、角闪石(15%)组成,基质为中长石(25%)、角闪石(10%)、石英(<5%)等;副矿物有磁铁矿。斜长石强钠黝帘石化,角闪石绿泥石化。

围绕里农西缘斑岩体发育一隐爆角砾岩筒,似不规则的筒状分布。在斑岩北、东外缘发育。角砾岩筒宽 10~80m,弯曲长 250m。角砾主要为石英黑云母二长花岗斑岩,其次为围岩,角砾大小掺杂。一般为 1~50cm,细者至岩屑、岩粉,其展布微显定向排列。夹杂于其中的围岩角砾主要是大理岩、板岩。

表 1 羊拉矿区花岗岩及隐爆角砾岩岩石化学成分

Table 1 Chemical composition of rock in the form of breccia and granite in Yangla orefield $w_B/10^{-2}$

位置	岩石类型	Si ₂ O	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	总量
贝吾	闪长岩	52.10	1.02	12.52	7.94	2.83	0.17	2.91	14.86	2.74	1.37	0.21	0.86	99.24
	斜长花岗岩	63.26	0.55	16.26	0.18	1.55	0.03	1.85	7.25	4.24	0.45	0.11	3.51	99.53
路农岩体	闪长玢岩	60.05	0.80	16.02	1.00	6.48	0.12	2.88	5.00	3.07	2.16	0.13	—	99.71
	二长花岗岩	69.94	0.26	14.57	0.44	0.84	0.06	0.85	2.68	3.21	3.71	0.06	—	96.62
里农	花岗闪长岩	66.46	0.42	15.13	0.97	4.20	0.07	1.84	3.98	2.12	3.36	0.08	—	98.63
	闪长岩	69.92	0.33	14.86	0.52	3.00	0.06	1.09	3.12	3.18	3.72	0.08	0.10	99.68
	二长花岗岩	71.78	0.30	14.05	0.31	2.53	0.05	0.91	1.99	2.65	4.59	0.06	0.44	99.66
	二长花岗斑岩	67.52	0.22	12.98	0.26	1.75		0.71	1.65	3.06	6.33	0.05		94.53
	二长花岗斑岩 隐爆角砾岩筒	67.95	0.27	13.08	0.36	1.31		0.55	4.29	0.67	5.69	0.02		94.19

续表 1

位置	岩石类型	Ab	Q	Or	K	Na	Ca	A	C	F	δ	Na ₂ O/K ₂ O	A/NKC	FeO*/FeO* +MgO
贝吾	闪长岩	60.4	18.5	21.1	8.2	14.7	77.1	13.2	54.6	32.2	1.86	2.00	0.38	0.79
	斜长花岗岩	60.8	34.7	4.5	4.3	36.1	59.6	30.4	45.5	24.1	1.09	9.42	0.79	0.48
路农岩体	闪长玢岩	48.5	27.7	23.8	23.4	29.8	46.8	24.8	26.2	49	1.60	1.42	0.97	0.72
	二长花岗岩	34.4	37.8	27.8	41.7	32.3	26	24.7	19.1	56.2	1.78	0.87	1.03	0.60
里农	花岗闪长岩	27.5	42	30.5	38.7	21.8	39.5	30.3	27.4	42.3	1.28	0.63	1.05	0.74
	闪长岩	35.6	35.3	29.1	40.3	30.7	29	30.2	30.5	39.3	1.79	0.85	1.00	0.76
	二长花岗岩	27.7	38.9	33.4	52.9	27.3	19.8	32.8	25.1	42.1	1.82	0.58	1.09	0.76
	二长花岗斑岩	22.89	34.69	35.72							3.60	0.48	0.87	0.74
	二长花岗斑岩 隐爆角砾岩筒	30.55	22.10	39.57							1.62	0.12	0.87	0.75

2.3.2 岩石地球化学特征

岩石化学特征见表 1,从斜长花岗岩→闪长岩→花岗闪长岩→二长花岗岩→花岗斑岩里特曼指数 δ 为 1.09→1.60~1.86→1.28→1.78~1.82→1.62~3.60,在 Wright(1969)的碱度率图解中集中投影于钙碱性区,属钙碱性系列。由 Q—Ab—Or 图解判别,多为岩浆成因。包裹体测温表明花岗岩成岩温度为 700℃~750℃,压力为 1~3×10⁸ Pa^[8,3]。铝指数 A/KNC=0.38~1.09,均小于 1.1,属铝不饱和系列或 I 型花岗岩。里农岩体 Na/K=0.12~0.85;贝吾和路农岩体 Na₂O>K₂O,Na/K=0.87~9.42,平均值为 3.42。分异指数 DI=38~81,平均值为 67,与花岗闪长岩类分异指数的全球平均值 67 相同^[8]。

路农和里农岩体的花岗闪长岩和花岗斑岩微量元素含量(表 2)与“维氏花岗岩类平均值”相比^[14],亲石元素 Sr 偏高,Ba 偏低,成矿元素 Cu、Pb、As、Sb、Bi 偏高,Zn、Mn、W、Mo、Au、Ag 偏低。里农和路

农花岗岩的 Rb/Sr=0.38~0.76,均高于陆壳平均值 0.24^[14],说明成岩物质主要来自上陆壳;里农和加仁岩体花岗岩类的 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 初始比值均为 0.710,介于地壳物质选择性熔融岩浆(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr≥0.719)和地幔玄武岩浆(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr≤0.703)之间,具有壳幔源型特征,属于壳幔同熔型(I 型)花岗岩。

稀土元素 Σ REE 84.49×10⁻⁶~237.94×10⁻⁶,平均值为 161.56×10⁻⁶,低于 Herrman(1970)世界花岗岩稀土总量 250×10⁻⁶,与藏南花岗岩(190×10⁻⁶)、华南花岗岩(229×10⁻⁶)^[13~14],显示出金沙江构造带花岗岩类稀土元素含量低的特点。稀土元素分布模式均呈向右倾斜的平滑曲线,富集轻稀土(Σ Ce/ Σ Y=4.16~10.25)。钕异常不明显, δ Eu=0.63~1.39,平均 0.90,与壳幔同熔(I)型花岗岩的特征相同。从 Sm/Nd 0.17~0.25,均小于 0.3,Rb/Sr 0.38~0.76,平均值 0.24(Taylor,1986)。说明大陆壳为花岗岩类成岩的主要物质来源。

表 2 羊拉铜矿中酸性岩体微量元素含量表

Table 2 Trace elements in the form of acid rock in Yangla orefield

 $w_B/10^{-6}$

岩体及岩石名称	Cu	Pb	Zn	Mn	Au	Ag	Sr	Ba	As	Sb	Bi	W	Mo	Sn	B
里农花岗闪长岩	27	29	35	580	0.70	0.04	282	748	5.03	0.36	0.47	0.54	1.39	4.44	19
加仁花岗闪长岩	21	40	40	628	0.80	0.11	334	693	9.39	1.04	0.92	1.5	1.57	9.58	24
里农花岗斑岩	83	77	275	—	0.80	0.38	—	—	124	—	0.25	27	2.1	4.4	—
里农花岗斑岩	184	71	276	—	0.80	0.79	—	—	127	—	0.14	4	2.2	3.8	—
里农未矿化隐爆角砾岩	72	425	262	—	0.90	0.95	—	—	91.8	—	4.0	4.5	1.5	17.5	—
里农矿化隐爆角砾岩	1.16%	417	300	—	43	33	—	—	29.69%	—	21.4	1.3	6.0	9.5	—

从上述岩石和岩石地球化学研究表明,岩石从中性→中酸性→酸性岩的演化趋势。岩体总体 Rb—Sr

等时线年龄多为 208Ma~227.08±1.38Ma(魏君奇等,1997)^[8],时代属于印支—燕山早期。

2.4 矿体

矿区里农、路农、江边 3 个矿段共圈定大小矿体 39 个(图 1)。矿体除铜外,尚伴生金、银、锡、钨、铅、镉、铋、锗、钴等有益组分^②

矿体产出类型有三种:①沿(斑)岩体外接触带变质碎屑岩中产出的层状、似层状矿体。②沿岩体内接触带:两种不同岩相分界线,或环绕岩体呈环形、脉状产出。③沿 NE 向裂隙带产出的脉状矿体,矿体从酸性岩穿插至角岩化围岩中,呈密集大脉状产出。

里农矿段规模最大,矿体分布于里农复式岩体西侧岩体边部及里农组、江边组围岩之中,矿(段)由密集层状及大脉状矿体(层)群组成。该矿段共有矿体 15 个,其中 KT2、KT5 为主矿体,矿体一般长 170~1980m,厚 1.17~127.70m, $w(\text{Cu})$ 平均为 0.30%~7.82%。矿体倾向 NW 或 SW,倾角较缓,产状在 0 线以北 $208^\circ\sim 268^\circ\angle 17^\circ\sim 38^\circ$,平均走向 330° ,大脉状矿体倾角中等—陡倾。

路农矿段矿体分布于加仁岩体北东侧外接触带,有 5 个矿体,KT4、KT5 为主矿体,呈层状,似层状产出。矿体顶板为大理岩,与围岩为渐变关系,含矿岩石主要为砂卡岩,次为板岩、变砂岩。矿体长 460~760m,厚 8~66.11m。矿体走向近 EW 向,倾向 N,倾角 $58^\circ\sim 81^\circ$, $w(\text{Cu})$ 为 0.33%~8.04%,平均为 1.40%,品位变化系数 84.19,伴生 Au、Ag、Sn、 WO_3 、Bi、Cd、Co 等。

江边矿段分布于里农、江边复式岩体东、北侧内外接触带,共有 7 个矿体,矿体长 250~1040m,厚 0.95~26.55m, $w(\text{Cu})$ 为 0.52%~0.93%。矿体产状与接触面或控矿裂隙带大致平行。KT1 为主矿体。矿体顶板为大理岩、变质石英砂岩,矿体与围岩

呈渐变关系。含矿岩石主要有砂卡岩、斜长花岗岩,次有变质石英砂岩,矿体长 1040m,厚 4.51~92.17m,平均厚度 20.77m,有分枝复合现象,矿体厚度很不稳定,变化系数 133.05%,矿体总体围绕岩体展布,倾角 $40^\circ\sim 87^\circ$, $w(\text{Cu})$ 为 0.10%~8.90%,平均为 0.98%,品位变化系数 150.49,伴生 Au、Ag、 WO_3 、Cd、Co 等。

3 成矿主要控制因素分析

3.1 沉积与成矿

矿区泥盆—石炭系含矿岩系总体上为由碎屑岩、碳酸盐岩、变质中基性火山岩组成的火山—沉积变质深海相复理石建造,属一套巨厚的洋盆沉积物^[10]。泥盆纪的火山活动形成富含 Cu、Pb、Zn、Ag 等矿质的火山岩、火山碎屑岩,同时有含矿流体的活动,从而形成原始矿化层位。

泥盆系里农组金属元素含量明显高于其它地层^[2],表明沉积中多种金属初始富集—喷流沉积。岩性中碎屑岩类通过重结晶形成角岩、角岩化变质砂岩、斑点板岩,含钙质岩石砂卡岩化较强,铜矿化明显增强,具备形成砂卡岩矿体的条件。大理岩、白云质灰岩、白云岩等钙质岩石化学性质活泼,易与含矿热液发生交代作用成矿;砂岩性脆,多孔隙,各种裂隙利于含矿热液活动与充填成矿。

羊拉铜矿里农矿段的主矿体 KT2、KT5 宏观形态在空间上受层位控制,矿化呈渐变过渡关系,表现为“上层下脉式”的喷流—沉积模式,形成完整的热液环流—沉积系统,矿体结构与矿石构造也显示了喷流—沉积作用活动环境中形成的特征。

表 3 羊拉矿区里农矿段矿体主要围岩稀土元素分析结果

Table 3 REE element analysis of the wall rock from Linong ore block in Yangla orefield $w_B/10^{-6}$

岩性	样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho
硅质岩	PD3225	17.5	28.4	3.52	12.2	2.32	0.33	2.4	0.393	2.54	0.488
	PD3200	10.9	18.5	2.26	8.54	1.68	0.319	1.87	0.326	1.97	0.39
	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	LHEE/ HREE	δEu	δCe	$(\text{La}/\text{Sm})_N$	$(\text{Gd}/\text{Yb})_N$	$(\text{La}/\text{Yb})_N$
	1.25	0.192	1.08	0.204	72.82	7.52	0.39	0.87	4.01	1.79	10.92
	1.3	0.182	1.05	0.168	49.46	5.82	0.51	0.9	3.45	1.44	7

里农矿段 5 号矿体下盘纹层状岩石中见石英聚晶条带与泥质、细小基性火山碎屑互层,条带状硅质

岩,显示喷流—热水组构特征。对矿体围岩不纯硅质岩进行稀土元素分析(表 3)。从表中可以看出,

② 云南省地质调查院. 德钦县羊拉铜矿中间性勘探报告, 2004。

LREE/HREE 为 5.82~7.52,与砂质板岩一致,硅质岩 δEu 平均 0.45 和 δCe 平均 0.89,具明显的 Eu 负异常和微弱 Ce 负异常,选用 Haskin(1968)北美页岩组合标准样数据作为分析基础,其标准化配分模式为平坦型,两个硅质岩样品 δCe 分别为 0.87 和 0.9,低于大陆边缘沉积之硅质岩(平均 1.09),高于深海平原硅质岩(平均值 0.6);远高于洋脊附近的硅质岩(平均值为 0.3),因此,该硅质岩指示相当于大陆边缘—半深海过渡的环境;硅质岩 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 分别为 1 和 1.57,轻稀土的弱富集同样表明其分异特征为大陆边缘—半深海。

3.2 构造与岩浆侵入活动对成矿的控制

金沙江、羊拉两条近 SN 向断裂与 NE 向断裂构成的“多”字型构造对加仁岩带及其成矿具有主导的控制作用。羊拉铜矿位于近 SN 向的由花岗闪长岩占据中心,泥盆—石炭系构成的里农热穹窿构造。受二叠—三叠纪初东侧金沙江洋向西俯冲消减,引起具有岛弧型性质大规模的中酸性岩体的侵入,形成印支—燕山期加仁花岗岩带(图 1)。矿区主要出露其北段的路农、里农、江边和贝吾 4 个岩体,侵入于泥盆—石炭纪浅变质岩中,并多呈岩株形式产出。岩体与围岩多呈港湾状接触,围岩具角岩化、矽卡岩化,局部铜多金属矿化。在岩石从中性→中酸性→酸性岩的演化趋势中钙质、钠质于花岗岩浆中不断增加,显示上地壳重熔交代作用增强,铜矿化趋弱;到燕山早期斑岩(隐爆角砾岩筒)演化阶段,钾质在岩浆中增加,铜矿化趋强。沿贝吾、里农和江边岩体的外接触带的大理岩、钙质胶结的变质砂岩形成块状矽卡岩和层状矽卡岩型铜矿体。里农岩体西边缘的隐爆角砾岩筒铜矿化强烈^[8]。此外,路农斑岩体全岩铜金矿化。形成了羊拉铜矿区的印支—燕山早期矽卡岩—斑岩型成矿作用。

由于金沙江洋的封闭,持续的挤压—推覆构造活动延续至印支期末—燕山早期,里农、江边等岩体内部节理、裂隙极为发育,沿节理裂隙密集地段发育细脉状、浸染状铜矿化;而地层中沿层间滑覆构造发育,尤其里农组大理岩的顶底板间的滑覆带,并与矿化密切相关。

伴随印支期末—燕山早期构造—岩浆侵入活动,燕山晚期断裂活动强烈,形成以路农、通吉格、虽须及宗亚隆玛为代表的一组 NE 向断层,发育于泥盆—石炭系和里农—加仁岩体之中。断层侧旁常有次一级断裂发育,组成复杂破碎带,在不同地段常有岩浆贯入,并构成含矿热液的重要通道,沿断裂形成高岭土化、碳酸盐化、青盘岩化、硅化和黄铜、黄铁矿化等。控制并形成了晚期交代—充填脉型矿体。

总之,金沙江断裂带制约带内区域构造—岩浆格局和分布。羊拉—曲隆铜铅锌银矿带与加仁花岗岩带相对应,且北部以 Cu 为主(羊拉),中部以 Pb、Zn、Ag 为主(格亚顶—曲隆),南部以 Au、Hg、As 为主,矿化元素水平分带清晰。次级同向断裂及复式褶皱中次级褶皱的转折端和轴部,特别是构造交汇、转换部位,控制了矿床(点)的空间定位。低级别低序次构造,是容矿、储矿的有利地段,低序次的节理裂隙、层间滑脱带、破碎带、不同岩性接触带是矿质富集的场所。

3.3 矿床成因

(1)羊拉铜矿里农矿段层状矿体,总体为一套金沙江洋扩张阶段形成的火山—沉积建造,含矿岩系岩石组合与沉积特征,硅质岩地球化学特征表明其形成于大陆边缘—半深海环境。海西期金沙江洋盆扩张阶段,多旋回的中基性岩浆活动,首先形成富含 Cu、Pb、Zn、Ag 等矿质的火山岩、火山碎屑岩,同时有含矿流体的活动,从而构成矿质的初步堆积,形成原始矿化层位与层状矿体(里农 KT2、5 矿体等),晚古生代拉张背景下海底喷流热水活动形成了里农原生硫化物层状矿体。

(2)受二叠—三叠纪初金沙江洋向西俯冲消减、封闭影响,引起具有岛弧型性质大规模的中酸性岩体的侵入,带来新的成矿物质和提供驱动力,在大理岩、钙质胶结的变质砂岩外接触带中形成块(层)状矽卡岩型铜矿体,以及对早期原生层状矿体、矿源层成矿物质活化迁移等进行了不同程度叠加改造,形成了矽卡岩富厚矿体(路农 KT5 号矿体)。岩浆演化到后期发生浅成—超浅成侵入体,形成斑岩型多金属矿化。

(3)印支期末—燕山期金沙江带闭合—碰撞造山,发生大规模的冲断、推覆、走滑等构造作用,沿 NE 向断层及次一级控矿断裂发生后期中酸性斑岩(脉)侵入,以及晚期交代—充填脉型成矿作用,产出热液脉型矿床(里农主矿体 KT7~15 等)。

总之,矿床属层控特征的复合成因矿床,沿泥盆—石炭系变质碎屑岩中产出的层状、似层状矿体;沿印支期—燕山期(斑)岩体内外接触带,产出环绕岩体呈环形、弧形脉状矽卡岩或改造矿体;沿 NE 向裂隙带从中酸性岩穿插至围岩之中,产出密集的大脉状矿体。

4 找矿勘查技术模型

4.1 地质成矿要素

(1)岩浆岩标志 矿区铜矿体一般分布在印支—

燕山期中酸性岩体内、外接触带,也可产于岩体内部破碎或裂隙带以及围岩中的矽卡岩带内。尤其应注意岩体变窄、拐弯地段。在面积比较大的岩基(株)中找矿应注意其边缘及有残余顶盖的地段。

(2)地层及岩性标志 矿体产于泥盆系江边组与里农组之中,是一套含有火山岩的碎屑—碳酸盐岩类。找到类似矿床必须找到相应层位的围岩,特别注意与中酸性岩体接触产生矽卡岩化的地段。

(3)构造标志 大断裂控制了岩浆岩带和矿带的分布,次级断裂构造是岩浆、热液、矿质的运移通道。次级同向、派生断裂、次级褶皱轴部、转折端,裂隙带、层间挤压带和破碎带等,特别是构造交汇和转换部位,是容矿和储矿场所。多数矿床(点)均产于构造破碎带或层间裂隙带中。

(4)围岩蚀变标志 矿区岩体与围岩热接触蚀变强烈,并具有明显分带性。其中,岩体蚀变分带中,(钾化)硅化带与岩体内或边部细脉浸染状铜(钼)矿对应;绢云母—碳酸盐化带铜矿化弱,偶见铜矿物细脉分布;绢云母—绿泥石化带基本无矿化。围岩的蚀变分带,角岩化带有大脉状铜矿体;矽卡岩化带形成稠密浸染状至块状矿石,主矿体多产于此带中;石

英—绢云母化带含矿性不如角岩化带和矽卡岩化带;青盘岩化带没有明显的矿化。

(5)矿化标志 矿区氧化带发育,有铜矿体分布地段,地表往往有强褐铁矿化,局部地段形成铁帽,以及蓝铜矿、孔雀石等,是矿区最直接的找矿标志。

4.2 勘查地球物理

据矿区地面磁测,岩矿石磁性特征为强磁性,矽卡岩 $\kappa=47784 \times 10^{-6} 4\pi\text{SI}$,矽卡岩型铜矿体 $\kappa=1669 \times 10^{-6} 4\pi\text{SI}$,江边组中板岩 $\kappa=4419 \times 10^{-6} 4\pi\text{SI}$,岩体及其围岩砂板岩、大理岩均为无磁性至弱磁性^③

磁异常特征:里农矽卡岩型铜矿体磁异常条带状,正负伴生,强度 300~500nT 与 KT2~KT5 基本对应。由于矽卡岩磁性较强,致使异常向矿体倾斜方向偏移。路农 KT1~KT3 矿体同样是矽卡岩型,但磁异常零星,仅矿体中部分布有强度 100nT 的小异常。矿区南东侧江边组中分布一些大小不一,强度 300~500nT 磁异常,由该层磁性较强的绿色板岩和基性火山岩引起。而围岩含炭质层,或有含磁铁矿地质体形成的磁异常等,则出现强度较高的激电异常,是区分铜矿化磁异常的干扰因素(图 2)。

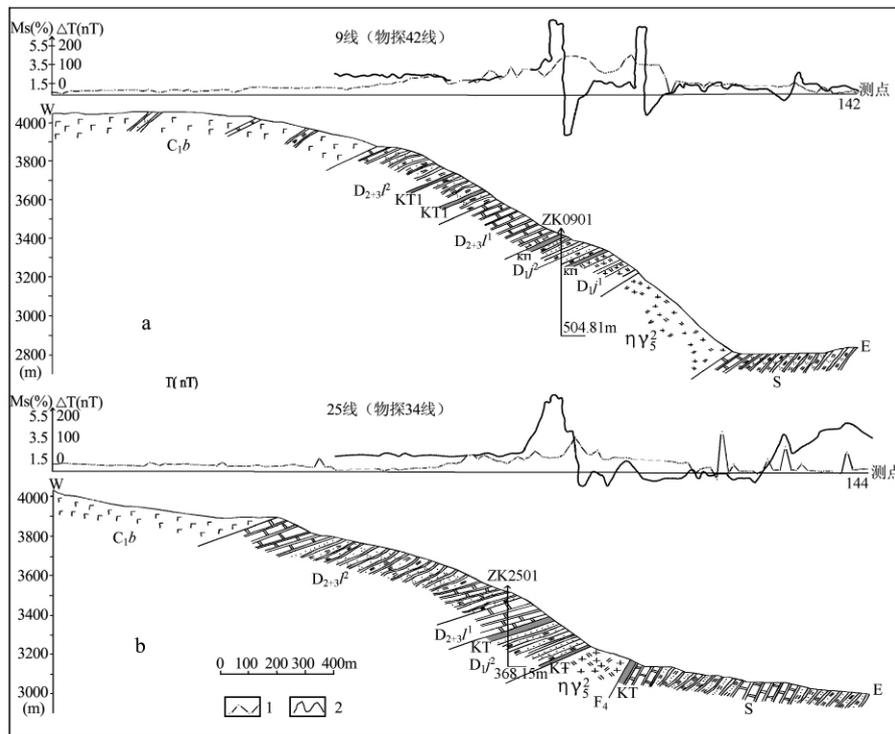


图 2 羊拉铜矿视充电率(Ms)和磁异常(ΔT)剖面图

Fig. 2 Apparent charge rate (Ms) and magnetic anomaly (ΔT) map of the Yangla copper deposit
 Q—第四系 C_{1b} —下石炭统贝吾组 $D_{2+3}l^2$ —中上泥盆统里农组二段 $D_{2+2}l^1$ —中上泥盆统里农组一段 D_{2j}^2 —下泥盆统江边组二段 D_{1j}^1 —下泥盆统江边组一段 S—志留系 $\eta\gamma_5^2$ —燕山期二长花岗岩 1—充电率(Ms)曲线(1cm=2%) 2—磁测(ΔT)曲线(1cm=10nT)

③ 云南省地质调查院. 云南德钦县羊拉—鲁春铜多金属矿化集中区评价地质报告, 2003.

岩矿石电性特征:矿区铜矿体属低阻高极化体($\rho_s=169\Omega m$ 、 $\eta_s=5.3\%$),含硫化物矽卡岩也属此类($\rho_s=402\Omega m$ 、 $\eta_s=3.0\%$);中酸性岩体及围岩为高阻低极化体($\rho_s=1000\Omega m$ 左右、 $\eta_s=1\%$ 左右)^①。

激电异常特征:里农矽卡岩型矿体、大脉型矿体均有激电异常集中分布,相互对应性强,充电率 M_s 强度为 $3\% \sim 5\%$,由于含磁铁矿、磁黄铁矿等硫化物,矽卡岩的极化率也较高, M_s 异常范围比矿体的大,且向矿体倾斜上方扩大。路农和江边矿段矿体激电异常零星分布,无法起指示作用。里农组中异常强度高而宽缓,为地层中的炭质层引起(图 2)。

4.3 勘查地球化学

区域化探异常以 Cu 为主, Pb、Zn、Ag、Au 等为次。Cu、Pb、Zn、Ag、Au、Sb 等元素组合异常于德钦羊拉一带形成明显异常带,近 SN 向展布。由北而南有绒得贡多元素异常、甲功 Au、Sb、Hg 异常、羊拉多元素异常、格亚顶 Cu、Pb、Zn 异常和曲隆多元素异常。羊拉铜矿、格亚顶铅锌矿位于相应异常内,绒得贡、曲隆异常也新发现铜多金属矿。贝吾—里农一线异常规模大、浓度高,Cu、Pb、Zn、Ag、Au 相互重叠较好,里农浓集区 $w(\text{Cu})$ 大于 80×10^{-6} ,最高达 398×10^{-6} ,面积 15km^2 ,Cu 异常围绕里农复式岩体呈环状产出,与其重叠的有 Pb、Zn、Ag、Au 等, $w(\text{Pb})$ 高达 1000×10^{-6} , $w(\text{Zn})$ 为 480×10^{-6} , $w(\text{Ag})$ 为 17.2×10^{-9} ,具明显矿致异常特征。

矿区 1:5 万水系沉积物含矿地层相对富集的元素有 As、W、Sb、Hg、Cu、Ag、Pb、Zn,与成矿有关花岗岩类相对富集的元素有 As、W、Ag、Mo、Pb、Sb、Cu、Sn、Hg 等。1:5 万土壤测量为 Cu、Pb、Zn、Ag、Au、As、Sb、Hg、Sn、W、Mo 等多元素综合异常, $w(\text{Cu})$ 平均为 884×10^{-6} 、 $w(\text{Pb})$ 平均为 810×10^{-6} 、 $w(\text{Zn})$ 平均为 515×10^{-6} 、 $w(\text{Ag})$ 平均为 2.7×10^{-6} 、 $w(\text{Sn})$ 平均为 462×10^{-6} 、 $w(\text{W})$ 平均为 100×10^{-6} 、 $w(\text{Au})$ 平均为 28×10^{-9} 。圈定的里农异常分布于花岗岩体与里农组砂板岩、大理岩接触带,与里农矿段铜矿体吻合,矿体东部、北部花岗闪长岩体中仍有异常。各元素异常彼此套合,是典型的高大全矿致异常^[11]。含矿地段出现 Cu、Pb、Zn、Au、Ag、Sn、AS、Sb 等综合异常特征,是区域找矿中地球化学标志。

4.4 遥感地质

据 1:10 万和 1:5 万遥感解译,矿区遥感影像以线性构造及环状构造比较明显。线性构造多为束带状,带内多透镜状块体,延伸长而规模大,常纵贯全

区,是区内的主要构造影像。环状构造与分布的岩基、岩株状中酸性岩体相符合,里农、通吉格、曲隆等环状构造,一般呈同心多层环、“卫星”式套叠环,线环状构造交汇部位,往往控制了矿床(点)的产出。环形构造发育形式多样,以岩浆—热液活动环为主,规模较大者有羊拉—里农环带,沿 SN 向羊拉断裂带成串珠状分布,羊拉主环呈环结态,铜矿床正处于羊拉断裂与羊拉岩浆—热液环叠合部位,区域内还有多个类似的线环叠合部位,指示具较好的找矿潜力^①。

区内围岩蚀变发育,褐铁矿化与矿化关系密切,使用 ETM+ 影像数据, TM 主成分分析方法,有明显羟基及铁染异常稀疏分布。蚀变遥感异常表现为以金沙江断裂为界,西区为羟基+铁染蚀变异常组合;东区则以铁染蚀变遥感异常为主。

对矿区铜矿床中已知矽卡岩型、构造蚀变岩型矿床进行遥感异常剖析,初建了两个遥感区域预测模式:①矽卡岩型矿床遥感异常模式:多组断裂交叉(菱块体角端部位)、岩体周边地段、有碳酸盐岩等围岩存在,并伴有羟基蚀变异常与铁染异常组合分布等特征,可作为矽卡岩型矿化的近矿指示标志。②构造蚀变岩型矿床遥感异常模式:线环构造组合部位、岩体存在,羟基异常浓集分布。

4.5 勘查技术模型建立

羊拉铜矿受多阶段、多因素控制,并经历不同构造演化阶段,是综合成矿作用的最终表现,结合矿区地质、物探、化探和遥感等多元信息标志(要素)^[16],归纳其找矿模型具有以下几个主要特征:

- (1)泥盆—石炭系含碳酸盐火山—沉积建造;
- (2)印支—燕山早期花岗闪长(斑)岩类;
- (3)NE 向背斜和断裂构造;
- (4)围岩蚀变分带:钾硅化蚀变带→绢英岩带→青盘岩带→中—深度泥化带的蚀变分带;
- (5)斑岩矿体具有典型的 Cu、Mo、W→Cu、Au→Cu、Pb、Zn、Co 地球化学晕等。

针对羊拉块状硫化物、矽卡岩、热液脉状复合型铜矿特征,以及多年找矿勘查经验,提出了“成矿系统+重+磁+多种电法等”集成。找矿勘查技术模型(表 4)。

5 结语

羊拉铜矿为多期、多阶段、多成因复合型矿床,采用地、物、化、遥研究总结出了矿床的勘查技术评价模

① 云南省地质调查院.滇西北典型成矿带 1:10 万遥感地质调查与遥感异常提取报告,2006.

型,对矿区和区域找矿勘查具有重要指导意义。根据矿床成因、矿化组合、矿体类型及围岩性质等判断矿床保存情况及进行缺位预测——里农与路农之间预

测有层状矿体,在2010年矿山生产勘探中,于6个钻孔,见矿钻孔5个,控制2~3层矿体,矿体厚1.5~6m, $w(\text{Cu})$ 为0.38%~1.4%,取得良好找矿效果。

表4 羊拉铜矿找矿勘查技术模型

Table 4 Exploration technique model of the Yangla copper deposit

找矿勘查途径	标志内容与参数
成矿关键控制要素	泥盆—石炭系含碳酸盐岩火山沉积建造;变质钙质胶结砂岩、中—基性火山岩、碳酸盐岩 印支—燕山早期花岗岩(斑)岩体及其倾伏端或相当部位、NS与NE向断裂构造
找矿地质标志	岩浆岩标志:印支—燕山早期酸性岩,尤其是岩体边缘二长、斜长花岗岩 地层及岩性标志:泥盆系江边组、里农组;碳酸盐岩及含火山岩的变质石英砂岩、杂砂岩 构造标志:近NS、NE向断裂构造是岩浆上侵和热液、矿质的运移通道,派生同向断裂、褶皱轴部、转折端、裂隙带、层间破碎带、构造交汇和转换部位等,是容矿和储矿场所 蚀变标志:砂卡岩带及角岩带对成矿和找矿最有利
遥感信息	数据性质: ETM+影像数据。陆地卫星 Landsat-5、7(TM、ETM+)两个短红外波段数据基础,提取热液蚀变岩石信息 数据处理方法: 采用TM主成分分析方法,分别用ETM1、4、5、7与ETM1、3、4、5特征谱段参与计算,提取相应羟基、铁染蚀变遥感异常信息 异常类型和参数: 蚀变异常掩模主分量输出动态范围 $\pm 4\sigma$ (标准离差),一、二两级分级阈值(门限值)羟基: $\pm 2\sigma$ 、 $\pm 3\sigma$;铁染: $\pm 2.5\sigma$ 、 $\pm 3.5\sigma$
化探信息	化探方法: 1:5~1:1万土壤地球化学测量 元素组合: Cu、Pb、Zn、Ag、Sn、W、Au;Cu、Pb、Zn、Ag;Pb、Zn、Ag;Au、As、Sb、H组合 异常特点和参数: 内、中带Cu、Pb、Zn、Ag组合,中、外带Pb、Zn、Ag或Au、As、Sb、Hg组合;平均含量Cu= 884×10^{-6} 、Pb= 810×10^{-6} 、Zn= 515×10^{-6} 、Ag= 2.7×10^{-6} ;Cu/Mo=21.23、Zn/Mo=70、Cu/W=3.09
物探信息	磁法仪器和参数: 地面高精度磁测CZM-2磁力仪、MSM-3磁化率仪;砂卡岩 $\kappa=47784$ 、砂卡岩型铜矿体 $\kappa=1669$ 、板岩 $\kappa=4419(10^{-6}4\pi\text{SI})$,岩体及砂板岩、大理岩无一弱磁性,300~500nT强度与主矿体基本对应 电法仪器和参数: 激发激化法DJF-6大功率激电发送机,DWJ-1A、DWJ-2微机激电仪;铜矿体 $\rho_s=169\Omega\text{m}$ 、 $\eta_s=5.3\%$ 、砂卡岩 $\rho_s=402\Omega\text{m}$ 、 $\eta_s=3.0\%$ 、岩体及围岩 $\rho_s=1000\Omega\text{m}$ 左右、 $\eta_s=1\%$ 上下、Ms强度3~5% 重力特征: 正负重力异常转换带之正异常一侧
有效找矿勘查技术组合	从砂卡岩型→喷流沉积型→砂卡岩+斑岩型→喷流沉积+砂卡岩叠加改造→复合成矿认识过程,明确既“顺层位”、又“绕岩体”成矿模式,以及“岩体+层位(岩性)+接触带+磁+多种电法”集成技术

参考文献:

[1] 王立全,潘桂棠,李定谋,等.金沙江弧—盆系时空结构及地史演化[J].地质学报,1999,73(3):206-218.
[2] 李定谋,等.金沙江构造带铜金矿与找矿[M].北京:地质出版社,2002.
[3] 何龙清.金沙江造山带的大地构造环境及演化模式[J].现代地质,1998,12(2):185-190.
[4] 刘增乾,李兴振,叶庆同,等.三江地区构造岩浆带的划分与成矿分布规律[M].北京:地质出版社,1993.
[5] 魏君奇,陈开旭,魏福玉.滇西羊拉地区构造—岩浆—成矿作用分析[J].华南地质与矿产,2000,(1):59-62.
[6] 路远发,战明国,陈开旭.金沙江构造带嘎金雪山岩群玄武岩铀—铅同位素年龄[J].中国区域地质,2000,19(2):155-158.
[7] 魏君奇,陈开旭,何龙清.滇西羊拉矿区火山岩构造—岩浆类型[J].地球学报,1999,20(3):246-252.
[8] 魏君奇,战明国,路远发,等.滇西德钦羊拉矿区花岗岩类地球化学[J].华南地质与矿产,1997,(4):50-56.

[9] 何龙清,战明国,路远发.滇西羊拉铜矿区层序地层划分及赋矿层位研究[J].华南地质与矿产,1998,(3):37-41.
[10] 路远发,陈开旭,战明国.滇西里农层砂卡岩铜矿喷流—沉积成因的地球化学证据[J].矿床地质,1998,17(增刊):705-708.
[11] 李光军.德钦羊拉铜矿床成矿作用及矿区地球化学异常特征[J].云南地质,1997,16(1):91-104.
[12] 朱俊,曾普胜,曾礼传,等.滇西北羊拉铜矿区地层划分[J].地质学报,2009,83(10):1415-1420.
[13] 潘家永,张乾,李朝阳.滇西羊拉铜矿稀土元素地球化学[J].矿物学报,2000,20(1):44-49.
[14] 黎彤,倪守斌.地球和地壳的化学元素丰度[M].北京:地质出版社,1990.
[15] 潘家永,张乾,马东升.滇西羊拉铜矿区硅质岩特征及与成矿的关系[J].中国科学(D辑),2001,31(1):10-16.
[16] 许东,尹光候.滇西惠民式铁矿找矿模型及预测[J].地质与勘探,2010,46(5):765-778.

(下转第485页)

Geological characteristics and mineral prospect analysis of the Tuokesai lead-zinc ore deposit in Wenquan county, Xinjiang autonomous region

CHENG Yong, YAN Cun-xing, YU Yan-long, ZHU Shen-shan

(Xinjiang Institute of Geological Exploration for Nonferrous Metal Resources, Urumqi, Xinjiang 830000, China)

Abstract: The Tuokesai lead-zinc ore deposit in Wenquan county locates in Jiekeli-Sailimu metallogenic belt of copper, lead-zinc, niobium, tantalum, tungsten, phosphorus, ore-bearing stratum of which is sub-formation of lower Proterozoic Wenquan formation (Pt_1wq^b), the petrology is mainly marble. The ore body steadily extends along with the stratum strike, occurring in bed. The ore rocks are mainly striped and laminated structure with simple ore mineral association assemblage. The ore deposit belongs to sedimental-metamorphic type. By comparison and analysis with regional ore deposits, it is considered that the region is prospective for large-super lead-zinc ore deposit.

Key Words: lead-zinc ore deposit, geological characteristics, Tuokesai, mineral prospect

(上接第 469 页)

Prospecting technique model and new understanding of the genesis of the Yangla copper deposit in Yunnan

YIN Jing¹, XU Bai-en², LUO Cheng², YIN Guang-hou³

(1. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093;

2. Yunnan Diqing Mining Co., Ltd. Shangrila 674400;

3. Yunnan Geological Survey Bureau, Kunming 650051)

Abstract: The Yangla copper deposit consists of Linong, Lunong and Jiangbian ore section. The ore-bearing rocks are composed of middle section of Jiangbian formation in lower Devonian -upper part of Linong formation in middle-upper Devonian, bearing stratiform and stratiform-like volcanic-sedimentary exhalative orebodies; Skarn type and superposed transformation orebodies were formed by the intrusion of the Indo -early Yanshanian intermediate-acid intrusive with the nature of the arc magmatic; Formed the porphyry ore bodies and the ore veins in faulted structure at the end of early Yanshanian tectonic -magmatic evolution which is a complex sedimentary-skarn-vein type copper deposit inserting into country rocks from intrusives controlled by both stratiform rock and surrounded intrusives, having a great potential for exploration. Stratabound type orebodies were found between Linong and Lunong ore section through exploration and prospecting, combined with the exploration models built on the geophysical and geochemical characteristics of the mine, and remote sensing information and vacancy forecasting.

Key Words: copper deposit, exploration technique model, deposit genesis, ore-forming factor, vacancy forecasting, Yangla, Yunnan