

云南省小水井铜金多金属矿床土壤地球化学特征及找矿意义

付怀林^{1,2}, 马东升¹, 汪传胜², 张少云²

(1. 南京大学地球科学与工程学院, 南京 210093;

2. 江苏省有色金属华东地质勘查局资源调查与评价研究院, 南京 210007)

摘要: 云南省小水井铜金多金属矿床产于东川铜多金属矿集区。矿区土壤地球化学特征表明, 在小水井铜金多金属矿床所处的因民组和黑山组中, $w(\text{Cu})$ 平均值分别为 133×10^{-6} 和 168×10^{-6} , 变异系数分别为 0.63 和 0.59; $w(\text{Au})$ 平均值分别为 8.7×10^{-9} 和 4.0×10^{-9} , 变异系数分别为 0.71 和 0.61; Cu 的富集系数分别为 2.20 和 3.68, Au 的富集系数分别为 1.31 和 1.01; Cu 和 Au 的矿化叠加强度分别 5.9 和 8.7, Cu 和 Au 元素的峰值分别为 2.017×10^{-6} 和 570×10^{-9} 。在元素异常等值线图, Cu, Au 呈多个富集中心, 且二者的富集中心基本吻合; 地球化学特征与矿床实际情况也非常吻合。研究表明, 区内构造不仅控制地层和岩体的分布, 同时控制铜金多金属矿床的展布, 岩浆活动和区域脆-韧性剪切作用直接为成矿元素的活化和运移成矿提供了便利。

关键词: 小水井铜金多金属矿床; 土壤地球化学; 云南省

中图分类号: P632.1; P618.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2013)01-0134-08

0 引言

云南省东川地区以产出东川铜矿而闻名中外。东川铜矿早在公元前 206 年(西汉)即有开采铜矿的记录, 是我国最早开发矿业的地区之一。系统开展地质工作则始于 20 世纪 60 年代中后期, 四川省地质局第一区测队编制出版了 1:200 000 会理幅区域地质图, 并在报告中将东川矿区地层划归下元古界会理群; 70 年代早期, 东川矿务局勘探队在开展东川铜矿普查勘探的同时, 进行了东川矿区 1:50 000 区域地质填图, 将矿区地层定为中元古界昆阳群; 80 年代初, 东川矿务局地质勘查 314 队根据该队 30 年来的地质找矿和测量资料, 结合野外调研, 修编了 1:50 000 东川矿区地质图, 撰写了“东

川矿区昆阳群标准层型剖面研究报告”, 通过实测剖面对东川地区昆阳群的组、段进行了系统地划分与对比; 90 年代中期, 在蒋家湾发现金矿体, 并先后在七角地、小水井、新山—马家沟以及凉水棚等地发现有金矿化。

云南省小水井铜金矿产于东川铜金多金属矿集区, 位于云南省东川区拖布卡镇及因民镇, 距东川 64 km, 昆明 260 km, 仅有山路通行, 交通不便。2003—2004 年, 进行了 1:25 000 土壤地球化学测量(面积共 162 km²)^①。近几年来, 通过对土壤地球化学异常查证及进一步开展地质普查、详查工作, 相继发现一大批金、金铜、铜及铁等矿体。2010 年, 进行了小水井铜金矿 1:10 000 土壤地球化学剖面异常查证工作^②。本文在前人工作的基础上, 就小水井铜金矿床土壤地球化学特征和成矿机理进行深入探讨。

收稿日期: 2012-05-07; **改回日期:** 2012-05-14; **责任编辑:** 赵庆

基金项目: “国土资源部百名优秀青年科技人才计划”资助项目研究成果。

作者简介: 付怀林(1965-), 男, 高级工程师, 硕士研究生, 地球化学专业, 长期从事地球化学勘查工作。通信地址: 江苏省南京市白下区石门坎 102 号 18 栋; 邮政编码: 210007; E-mail: 750811290@qq.com

通信作者: 汪传胜(1971-), 男, 工程师, 博士, 矿物学岩石学矿床学专业。通信地址: 江苏省南京市白下区石门坎 102 号 18 栋; 邮政编码: 210007; E-mail: wangcsah@126.com

1 矿区地质概况

1.1 地层

矿区出露的地层以中元古界昆阳群为主,为陆内/陆间裂谷盆地环境下的沉积地层,亦称“昆阳裂陷槽”。出露地层自下而上主要为因民组、落雪组和黑山组(图 1)。

因民组:区内大面积分布,岩性主要为紫灰-紫红色泥质白云岩夹板岩,下部为火山-沉积杂岩,中部铁质板岩;岩性表现为条带状含砾白云质板岩、绢云母板岩、灰色砾岩、粉砂质泥质板岩、灰质泥岩、泥砂质白云岩、泥质细砂岩、变泥质粉砂岩及火山角砾岩、晶屑凝灰岩、凝灰质板岩、角砾凝灰岩等,厚度 100~380 m。与上覆地层落雪组整合接触。

落雪组:区内出露较少,岩性为青灰色,局部肉红色中厚层状含藻白云岩,底部为砂泥质白云岩夹

硅化白云岩,厚度约 89 m,可见孔雀石和星点浸染状的黄铜矿。与上覆地层黑山组整合接触。

黑山组:区内出露广泛,岩性以黑色碳质板岩为主,次为泥灰岩,中上部夹基性凝灰岩、熔岩、火山质角砾岩、辉绿岩,厚度>130 m。

1.2 构造

小水井铜金矿位于扬子准地台西缘、滇东台褶皱带的中部、“康滇地轴”云南段的北端东缘次一级隆起即东川块状隆起、“昆阳裂陷槽”北部东缘^[1],其东、南、西三面均为被深大断裂所围限的断块,在震旦纪后处于上升隆起状态。区内次一级褶皱、断裂构造十分发育,为含矿热液的迁移、沉淀、富集提供了理想场所。小水井铜金矿床位于拖布卡复式背斜北端东翼,其中次级背斜——小水井背斜核部位于小水井村附近(图 1)。小水井背斜轴向近 SN 向,轴面近于直立,核部地层为因民组,两翼发育落雪组、黑山组。

本区早期发育的近 NW 向的小水井—红岩断裂(F₇)、小水井剪切断裂破碎带(F₆)以及小水井—新沟脆韧性剪切断裂(F₈),均为金、铜等矿产重要的导矿、容矿构造,同时使小水井附近地表缺失落雪组;晚期发育近 EW 向的平推断裂(F₉, F₁₀, F₁₁),切断 F₇, F₈ 断裂,呈网格状分布(图 1)。各断裂构造特征如下:

F₆:NW 向小水井剪切破碎带,宽 30~120 m,长 1 100 m,倾向 WS, 倾角 18°,中部倾角变大,内有碳质板岩、砂质白云岩、构造角砾岩、辉绿岩等。破碎带内蚀变强烈,有硅化、碳酸盐化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化等;矿化蚀变主要有褐铁矿化、孔雀石化、蓝铜矿化、黄铜矿化、黄铁矿化等。该剪切破碎带主要控制金铜矿化带的分布。

F₇: NW 向中部折往 SN 向的小水井—红岩断裂,长近 2 000 m,倾向

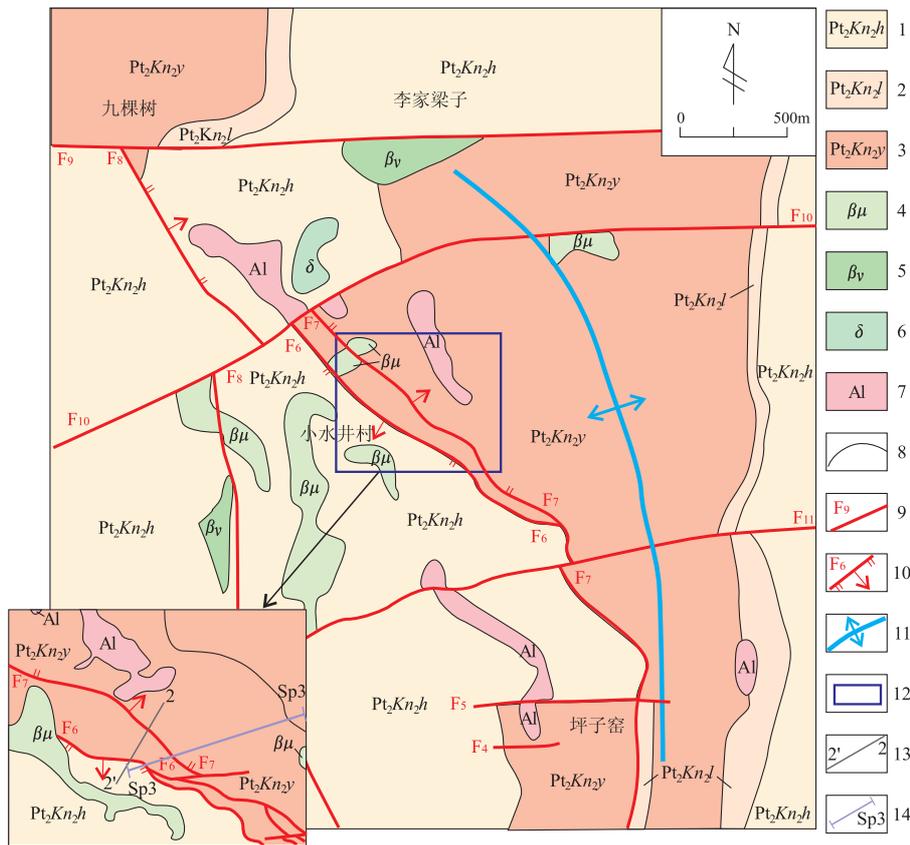


图 1 小水井铜金矿区地质构造略图(据③修编)

Fig. 1 Geological structure map in the Xiaoshuijing ore district

- 1. 黑山组; 2. 落雪组; 3. 因民组; 4. 辉绿岩; 5. 辉绿辉绿岩; 6. 闪长岩; 7. 钠长岩; 8. 地质界线;
- 9. 断裂及编号; 10. 正断层; 11. 背斜; 12. 小水井矿段; 13. 勘探线及编号; 14. 化探剖面线及编号

EN, 倾角 42°, 为正断层, 对金、铜矿化起破坏作用并形成滑坡体。

F₈: 断裂形成的脆韧性剪切破碎带, 宽 10~20 m, 长 2 500 m, 走向 SN, 倾向 SW, 倾角 49°, 发育构造角砾岩、构造片岩, 有强压扁角砾岩带, 沿断裂带有基性岩体侵入, 具硅化、褐铁矿化、金铜矿化等矿化特征。

F₁₁, F₁₀, F₉: 晚期平推断裂, 走向近 EW, 横穿整个勘查区, 切断早期 F₇, F₈ 断裂。

1.3 岩浆岩和变质作用

区内岩浆活动强烈, 火山活动和侵入活动兼有。活动的高峰期为因民期和晋宁晚期, 因民期以火山活动为主, 晋宁晚期以侵入活动为主。火山活动以中基性海相火山喷溢为主, 早期伴有爆发活动; 侵入活动表现为中基性岩浅成侵入, 主要岩性辉绿岩、辉长辉绿岩、辉长岩、闪长岩、钠长岩等均发生了蚀变作用, 产状为岩脉、岩枝、岩株, 走向主要呈 SN 向, 次为 NW 向, 受到区内构造带的控制。

区内各组岩石遭受了晋宁期低绿片岩相区域低温动力变质作用, 形成板岩、变质碎屑岩、结晶灰岩及大理岩等浅变质岩。区内脆韧性断裂带中岩石遭受了剪切动力变质作用, 形成绿片岩、绢云硅质板岩、基性岩、绢云千枚岩、碎裂岩及少量糜棱岩。野外观察认为区内赋矿岩石与动力变质岩有关。

2 矿体特征

小水井铜金多金属矿床位于小水井村附近, 处于拖布卡复式背斜东翼、次级背斜西翼呈 NW 向的剪切破碎带内, 背斜西翼发现新山—马家沟、七角地、蒋家湾、凉水逢金矿(点), 其中新山—马家沟金矿目前勘探的金属资源量(333+332+331)为 15.283 t^③, 达中型规模。矿区出露地层为因民组及黑山组。因民组岩性为泥砂质白云岩、凝灰质板岩、火山凝灰岩、火山凝灰角砾岩; 黑山组为黑色碳质板岩。破碎带内及附近出露有辉绿岩、辉长岩、辉绿辉长岩、闪长岩、黑云母闪长岩及钠长岩等中基性岩体、岩脉。

铜金矿体共有 5 层, 呈似层状、脉状(图 2), 倾向 202°~235°, 倾角 42°~

48°, 赋矿围岩为因民组构造角砾岩、砂质白云岩、凝灰角砾岩及中基性岩体。铜金矿体长 110~190 m, 宽 1~7 m, Cu 品位 $w(\text{Cu}) = 0.52\% \sim 3.74\%$, 平均 1.27%; Au 品位 $w(\text{Au}) = 0.42 \times 10^{-6} \sim 6.08 \times 10^{-6}$, 平均 2.03×10^{-6} ; 伴生有益组分 Ag, Co, Mo, 以及 La 等稀土元素, 其峰值 Ag 为 3.8×10^{-6} , Co 为 1.223×10^{-6} , Mo 为 293×10^{-6} , La 为 722×10^{-6} 。金与铜密切伴生。金属矿物有蓝铜矿、褐铁矿、孔雀石、自然金、闪锌矿、黄铁矿、方铅矿和极少量黄铜矿等。其中, 铜矿主要以两种氧化物形式产出: ①以孔雀石或蓝铜矿产在砂质白云岩的裂隙里, 呈晶簇状、薄膜状; ②呈粉末状褐铁矿型。脉石矿物有石英、长石、方解石、白云石、绢云母、绿泥石、高岭石等。蚀变作用以褐铁矿化、硅化、绢云母化、黄铁矿化为主, 次为高岭土化、绿泥石化、绿帘石化、钾长石化、碳酸盐化、大理岩化、孔雀石化等。矿石结构主要为粒状、碎裂状、隐品质结构; 构造主要为土状、块状、晶簇状、皮壳状构造。

3 矿区土壤地球化学特征

3.1 采样与分析方法

1: 25 000 土壤地球化学测量采用 200 m × 100 m 规则测网, 采样点用手持 GPS 根据理论坐标点定位。原始采样点与设计点的点位误差均低于 7 m(最大 6.7 m, 最小 1 m), 平均点位误差 3.08 m,

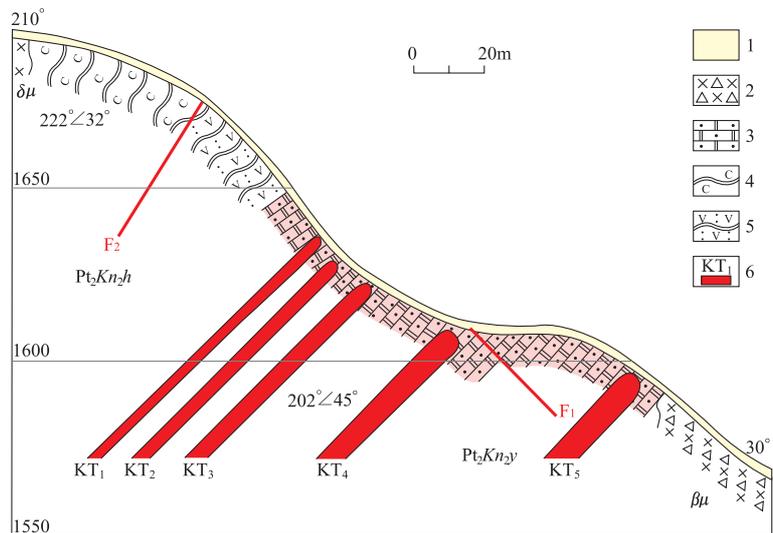


图 2 小水井矿区 2 号剖面图

Fig. 2 No. 2 profile in the Xiaoshuijing ore district

1. 表土; 2. 破碎辉绿岩; 3. 砂质白云岩; 4. 碳质板岩; 5. 凝灰质板岩; 6. 矿体及编号

且绝大部分点(83.88%)在 5 m 以内,表明野外定点准确,采样质量很高。

所采样品绝大部分为 B 或 C 层残积或坡积物质,除极少数采样深度小于 15 cm 外,绝大部分 > 20 cm。采样过程中先用 10 目不锈钢筛初选,剔除大的碎石和岩屑,原始样重超过 500 g;样品加工时用 40 目不锈钢筛筛分,用对角线折叠法将过筛后的样品混匀,天平称重,按样品编号装入纸样袋,过筛后样品重量 > 180 g,其中,正样 90 g,副样 90 g。为验证 1 : 25 000 土壤化探异常,在矿区安排了 4 条 1 : 10 000 土壤化探剖面;为确保样品的代表性,在采样点距 1/10 范围内采集 3~5 处以上的样品组成 1 个样。

样品的加工、测试和内检分析由上海天祥质量技术监督服务有限公司完成,外检样品由通标标准技术服务(天津)有限公司测试。为有效监控样品的加工及分析,土壤样品按一定的比例随机插入标样和重复样一同分析。分析结果显示,一级标样的合格率均为 100%,表明分析质量可靠;重复样的合格率均为 100%,表明采样和样品加工均按规范操作。

3.2 土壤地球化学特征

为准确了解测区土壤中各微量元素的分布规

律,尽量避开断层和蚀变矿化地段,选取测区出露的因民组和黑山组土壤分析数据进行参数统计,并选取全区大营盘组和平顶山组土壤分析数据作为参考,计算出各地层单元或全区样品的平均值(X)、变异系数(V)及矿化叠加强度(D)。从表 1 可见,在因民组和黑山组中,Cu 和 Au 元素含量的平均值和变异系数较高,Cu 的平均值分别为 133×10^{-6} 和 168×10^{-6} ,变异系数分别为 0.63 和 0.59;Au 的平均值分别为 8.7×10^{-9} 和 4.0×10^{-9} ,变异系数分别为 0.71 和 0.61,表明它们在两组地层中富集明显,对成矿十分有利,与发现的铜金矿体大都产于此类地层的实际情况相吻合。

从表 2 可见,Au 的富集系数在大营盘组为 0.75,在因民组和黑山组分别为 1.31 和 1.01,后两者明显较高;在平顶山组中,除 Pb,Co 元素富集外,其他元素都贫化;而在黑山组中恰好相反,除 Ag 外,其他元素都相对富集,且 Cu,Co 的富集幅度达到 1~2 倍以上。全区 Ag 属地表贫化型元素,其含量相对岩石降低约一个数量级;Pb,Co 为地表富集型元素,富集幅度为 27%~182%。

矿化叠加强度(D)越大,表明元素矿化叠加程度越高。从小水井测区内各元素的矿化叠加强度

表 1 小水井铜金矿区地层土壤微量元素组成

Table 1 Trace element analysis of soil samples from strata in Xiaoshuijing Cu-Au deposit

地质单元	样品数	参数	Au	Ag	As	Sb	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
上昆阳群 大营盘组	23	X	1.35	0.20	16.67	1.14	16.65	78.00	47.62	55.05	30.17	90.83	
		V	0.44	0.57	0.56	0.32	0.39	0.17	0.41	0.85	0.54	0.62	
中昆阳群	黑山组	61	X	4.03	0.30	29.22	2.14	33.65	94.73	167.75	57.74	29.25	123.02
			V	0.61	0.68	0.61	0.37	0.54	0.19	0.59	0.46	0.41	0.51
	因民组	22	X	8.67	0.26	39.33	2.95	22.32	145.50	132.58	69.77	40.50	119.52
			V	0.71	0.31	0.49	0.77	0.51	0.51	0.63	0.43	0.64	0.40
下昆阳群 平顶山组	28	X	7.22	0.21	42.67	2.57	24.11	79.96	146.64	44.87	41.80	107.01	
		V	0.66	0.57	0.66	0.72	0.54	0.30	0.60	0.42	0.50	0.65	
东川区平均值			X	5.06	0.21	25.7	1.80	26.4	96.00	126.00	63.00	29.40	111.00
大陆岩石圈元素丰度 ^[2]			X	1.76	0.044	1.20	0.11	51.3	1720	38.8	1240	6.15	72.4

数据来源:大营盘组和平顶山组数据为东川区的平均值;量的单位: $w(\text{Au})/10^{-9}$,其他元素 $w_B/10^{-6}$;X. 平均值;V. 变异系数。

表 2 小水井矿区各微量元素表生富集系数

Table 2 Supergene enrichment coefficient of each element

地质单元	Au	Ag	As	Sb	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
上昆阳群 大营盘组	0.75	0.1	2.25	1.04	1.73	0.87	1.03	1.7	2.1	1.21	
中昆阳群	黑山组	1.01	0.18	1.2	1.19	2.34	1.04	3.68	1.37	1.49	1.24
	因民组	1.31	0.12	0.86	2	2.82	2.38	2.2	1.43	1.93	3
下昆阳群 平顶山组		0.11	0.97	0.67	1.98	0.83	0.86	0.75	1.27	0.74	
全区	0.82	0.12	0.89	0.93	2.07	1.11	2.03	1.41	1.40	1.20	

注:表生富集系数:元素土壤中平均含量/同层位岩石中平均含量;大营盘组和平顶山组数据来自东川区数据平均值。

表3 小水井矿区土壤微量元素矿化叠加强度(D)

Table 3 Overprinting intensity of trace element mineralization

Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Bi	Co	Ni
8.7	7.5	5.9	20.3	7.8	6.5	7.1	2.4	1.7	2.0

注： $D=(\bar{X}_1/\bar{X}_n) \times (S_1/S_n)$ ，式中， \bar{X}_1 和 S_1 分别为未剔除高值点(大于平均值加上3倍的标准离差值)统计的平均值和标准离差； \bar{X}_n 和 S_n 分别为剔除高值后统计的平均值和标准离差。

(表3)可见,Pb,Au,Zn,Ag,Sb,As 和 Cu 等元素的 10^{-6} 。D 值分别为 20.3,8.7,7.8,7.5,7.1,6.5 和 5.9,均

超过 5,表明它们可能是测区内主要的成矿元素。目前已在测区内相继发现铜、金矿床(点)。值得注意的是,Pb 的 D 值高达 20.3,居全区各元素之首,大大高于 Au 和 Cu;Zn 的 D 值也达 7.8,明显高于 Cu。因此,根据元素矿化叠加强度,尽管测区内尚未发现铅锌矿床,但笔者推测区内具有寻找铅锌矿床的良好前景。

3.3 元素异常特征

根据采样点的实际坐标,按元素异常下限及 2 倍、4 倍等值线间隔勾绘各元素异常图,并标上每点元素的数据,编制了 Cu, Au, Zn, Cd, Pb, As, Ag, Co 等元素异常图(图 3)。异常元素以 Cu, Au, Zn, Cd, As, Co 等多元素组合为主,伴有零星 Ag, Pb 元素异常。Cu 和 Au 异常呈多个富集中心,且二者的富集中心基本吻合。各元素水平分带由内向外依次为:(Au, Cu, Cd, Co)-Zn-(Au, As, Co)。Au, Cu, Zn 和 Co 等元素异常均较显著,其峰值 Au 为 570×10^{-9} , Cu 为 $2\ 017 \times 10^{-6}$, Zn 为 $6\ 320 \times 10^{-6}$, Co 为 $278 \times$

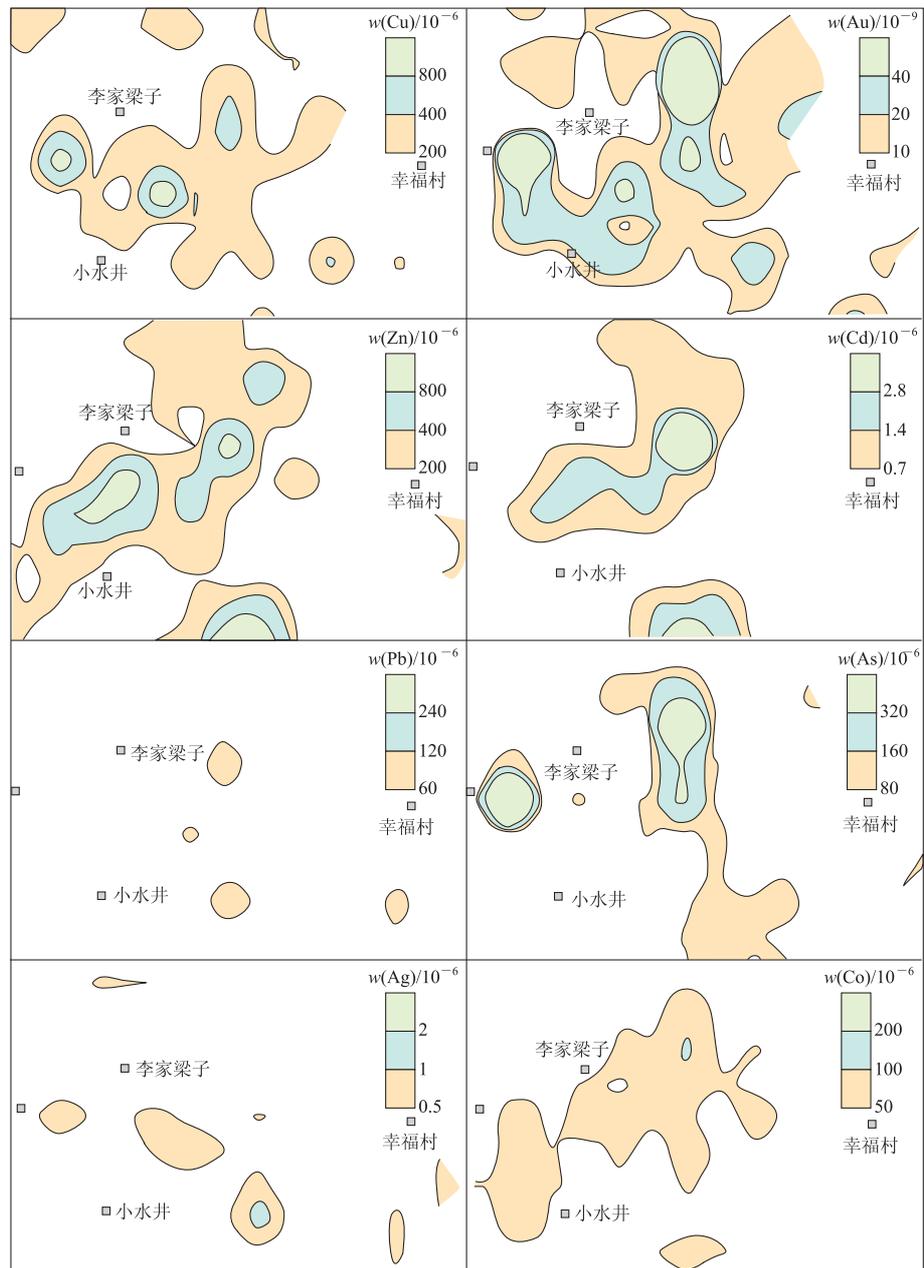


图3 小水井铜金多金属矿床单元元素异常等值线图

Fig. 3 Single-element anomaly contour map in the Xiaoshuijing poly-metallic Cu-Au deposits

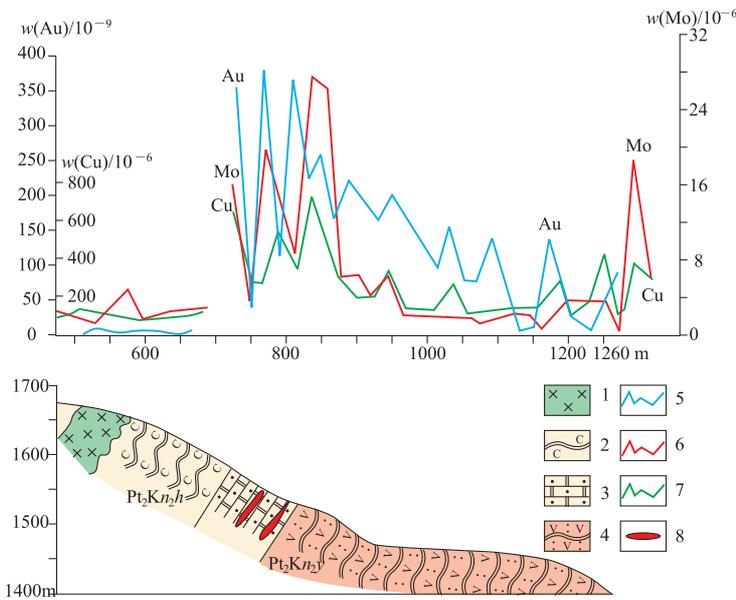


图 4 小水井矿区 SP3 剖面元素异常曲线图

Fig. 4 Geochemical anomalies of Au, Cu and Mo in the SP3 profile in the Xiaoshuijing ore district

- 1. 辉绿辉绿岩; 2. 碳质板岩; 3. 砂质白云岩; 4. 凝灰质板岩;
- 5. Au 异常曲线; 6. Cu 异常曲线; 7. Mo 异常曲线; 8. 矿体

3.4 异常查证

为验证测区内铜金 1 : 25 000 土壤地球化学异常,对本区进行了 1 : 10 000 土壤地球化学剖面测量,结果显示异常重现性很好,出现 Au, Cu, Mo, Ag, Zn, As, Sb 等元素组合异常,并相互吻合,其中, Au, Cu 和 Mo 峰值分别为 402.1×10^{-9} , 742×10^{-6} 和 27.3×10^{-6} , 其异常峰值反映铜金矿体地表的出露,异常范围与地表构造破碎带一致(图 4, 剖面位置见图 1)。

4 讨论

研究区位于拖布卡复式背斜东翼、次级背斜的西翼, SN 向剪切构造带与 EW 向及 NE 向 3 组断裂的交汇部位,出露昆阳群因民组火山沉积杂岩、灰白色白云岩、绢云母板岩,黑山组碳质板岩、砂质白云岩,并发育中基性脉岩。在含碳砂质板岩中有明显的褐铁矿化,砂质白云岩中局部有黄铁矿化-黄铜矿化-孔雀石矿化。该异常区南部边缘发现有小水井、李家梁子等铜金矿化点,矿化发育在因民组砂质白云岩中,或与黑山组含碳板岩接触剪切断裂蚀变带及蚀变辉绿岩中。

区内构造不仅控制地层及岩体的分布,同时也控制了元素地球化学场的空间分布,在 SN 向、EW 向、NW 向及 NE 向构造带上,均出现元素的高背景场及异常场。由于元素的地球化学性质不同,表现出不同的元素地球化学场起伏变化,存在一定的分带规律,在寻找铜(金)多金属矿产时,成效甚为显著^[3]。例如,本区 Cr, Co, Ni 元素高背景带与呈 SN 向展布的基性岩(辉绿岩、辉绿辉长岩)相对应; Co, Cr, Ni 等元素的低背景场同 As, Sb, Au, Zn, Cd 元素的高背景场及异常场相对应; Cu 的高背景场及异常场主要与因民组含铜矿化白云岩有关。

目前区内已发现的矿产主要为铜矿、铜金矿及少量的铁矿。土壤地球化学异常范围较好地反映了构造破碎带的位置,元素峰值指示的金铜矿体在地表有所出露,如拖布卡复背斜东翼小水井构造破碎带内均分布铜金矿点,地球化学特征与实际非常吻合,表明区内矿床的展布直接受构造控制,成矿元素的富集和矿床的形成可能受后期晋宁—澄江运动的影响^[4]。前人的研究表明,本区曾经历了晋宁期、澄江期、海西期、印支期、燕山期和喜马拉雅期等多期构造运动,形成多组断裂,石英脉充填其中,并再次破碎;含矿热液沿断裂运移富集和交代富集,最终在剪切带中成矿^[5]。

小水井铜金多金属矿床主要产于因民组和黑山组中,且赋矿岩体包含蚀变的中基性侵入岩,与西天山博罗科洛金浅成低温热液型金多金属成矿带类似^[6],从而暗示成矿作用可能有 2 个阶段,并可能有 2 种成矿物质来源,即早期由该区域昆阳群浅变质沉积-火山岩地层形成矿源层,晚期由于区内碱性(钠质)及基性岩浆的活动,为多金属矿的形成提供了重要的物质来源^[7-8]。成矿作用由火山-喷气(流)向沉积-喷流演化,形成喷流-沉积成矿系列^[9-10]。

5 结论

(1) 区内铜金多金属矿床的展布主要受构造控制,矿床主要赋存于黑山组和因民组中。矿床的形成受到该区岩浆活动和脆韧性剪切作用的双重影响,二者是导致成矿元素活化、富集和矿床形成的主要因素。成矿过程可能为早期昆阳群浅变质沉积-

火山岩地层形成矿源层,晚期叠加碱性(钠质)及基性岩浆多金属成矿的两阶段成矿作用。

(2)Cu和Au元素的土壤平均值和变异系数在因民组和黑山组中较高,对铜金矿体赋矿层位有明显的指示意义。其中,因民组和黑山组中Cu的平均值分别为 133×10^{-6} 和 168×10^{-6} ,Au的平均值分别为 8.7×10^{-9} 和 4.0×10^{-9} 。异常查证表明,Au,Cu和Mo的土壤异常峰值(Au为 402.1×10^{-9} ,Cu为 742×10^{-6} ,Mo为 27.3×10^{-6})指示铜金矿体,异常范围与地表构造破碎带一致。

(3)矿化叠加强度(D值)对小水井测区有良好的矿化指示意义。测区内Pb,Au,Zn,Ag,Sb,As和Cu等元素的D值分别为20.3,8.7,7.8,7.5,7.1,6.5和5.9,均超过5,并且已在测区发现铜、金矿床(点)。根据Pb,Zn具有较高矿化叠加强度指示,推测区内具有寻找铅锌矿床的良好前景。

(4)各元素土壤异常在矿体周围的水平分带由内向外依次为:(Au,Cu,Cd,Co)-Zn-(Au,As,Co)。Au,Cu,Zn和Co等元素异常均较显著,其峰值分别为 570×10^{-9} , 2.017×10^{-6} , 6.320×10^{-6} 和 278×10^{-6} 。

(5)本区土壤Cr,Co,Ni元素高背景带与呈SN向展布的基性岩(辉绿岩、辉绿辉长岩)相对应;Co,Cr,Ni等元素的低背景场同As,Sb,Au,Zn,Cd元素的高背景场及异常场相对应;Cu的高背景场及异常场主要与因民组含铜矿化白云岩有关。

注释:

① 江苏省有色金属华东地质勘查局. 云南省昆明东川市播卡矿区

1:25000土壤地球化学测量报告,2009.

- ② 江苏省有色金属华东地质勘查局. 云南省昆明市东川区播卡矿田小水井—上水坪铜金矿普查报告,2010.
- ③ 江苏省有色金属华东地质勘查局. 云南省昆明市东川区播卡矿田小水井—上水坪铜金矿普查报告,2010.
- ④ 云南金山矿业有限公司. 云南省昆明市东川区新山—马家沟矿段金矿勘探报告,2008.

参考文献:

- [1] 应汉龙,刘和林,李志伟. 云南东川播卡—拖布卡地区含金石英脉的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. 地质论评,2004,50(2):196-202.
- [2] 黎彤,倪守斌. 中国大陆岩石圈的化学元素丰度[J]. 地质与勘探,1997,33(1):31-37.
- [3] 何春林. 苏南地区铜金多金属矿床的地球化学找矿标志及找矿模式[J]. 江苏地质,1995,19(2):69-76.
- [4] 邱华宁,孙大中. 东川铜矿床同位素地球化学研究: II. Pb-Pb, ^{40}Ar - ^{39}Ar 法成矿年龄测定[J]. 地球化学,1997,26(2):39-45.
- [5] 陈天佑. 东川铜矿二轮找矿及预测[J]. 西南矿产地质,1992(1):71-79.
- [6] 王志良,毛景文,张作衡,等. 西天山古生代铜金多金属矿床类型、特征及其成矿地球动力学演化[J]. 地质学报,2004,78(6):836-847.
- [7] 张学诚. 康滇裂谷带火山活动及其碱性(钠质)火山岩系特征[J]. 云南地质,1995,14(2):81-98.
- [8] 郝珺,冯有利,丁生祥,等. 云南博卡金矿床的成因与成矿规律[J]. 采矿技术,2009,9(2):94-95.
- [9] 程裕淇,陈毓川,赵一鸣. 初论矿床的成矿系列问题[J]. 中国地质科学院院报,1979,第1号:32-58.
- [10] 黄永平,吴健民,王滋平. 东川铜矿田因民组热水沉积岩地质地球化学[J]. 地质与勘探,1999,35(4):15-18.

Xiaoshuijing poly-metallic Cu-Au deposit in Yunnan province and its soil geochemistry: implications of prospecting criteria

FU Huailin^{1,2}, MA Dongsheng¹, WANG Chuansheng², ZHANG Shaoyun²

(1. School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2. Institute of Resource Survey and Assessment, East China Geological Exploration Bureau of Nonferrous Metals (ECE), Jiangsu Province, Nanjing 210007, China)

Abstract: Xiaoshuijing poly-metallic Cu-Au deposit in of Yunnan province is located in the Dongchuan ore deposit-clustered district. Soil geochemical characteristics of Yinming group and Heishang group in which Xiaoshuijing poly-metallic Cu-Au deposit occurs show that the Cu average values are 133×10^{-6} and 168×10^{-6} , the coefficients of variation are 0.63 and 0.59, and Au average value 8.7×10^{-9} and 4.0×10^{-9} , the coefficients of variation are 0.71 and 0.61, the enrichment coefficient of Cu 2.20 and 3.68, re-

spectively, enrichment coefficient of Au 1.31 and 1.01, respectively. Cu and Au mineralization overprinting intensity, 5.9 and 8.7, and Cu and Au element peak-value 2.017×10^{-6} and 570×10^{-9} . Element anomaly drawing of Cu and Au shows several enrichment centers and enrichment centers of the two elements are coincided. Soil geochemical characteristics are coincided in detail with the situation of the ore deposit. Studies have shown that structure in the region not only controls the distribution of the strata and igneous rock, but also the distribution of poly-metallic Cu-Au deposits and magmatism and regional brittle-ductile shearing activity facilitate mobilization and transportation of the ore-forming elements.

Key Words: Xiaoshuijing poly-metallic Cu-Au deposits; soil geochemistry; Yunnan province