

doi: 10.11720/wtyht.2016.6.02
缪宇,郭光华,王建平,等.云南绿春县杨家寨黄竹林地区金及多金属地球化学异常评价及找矿模型[J].物探与化探,2016,40(6):1063-1069.
http://doi.org/10.11720/wtyht.2016.6.02
Miao Y,Guo G H,Wang J P,et al.Evaluation of gold and polymetallic geochemical anomalies and ore-prospecting model in Huangzhulin area of Yangji-
azhai in Luchun County, Yunnan Province[J].Geophysical and Geochemical Exploration, 2016, 40(6): 1063-1069.http://doi.org/10.11720/wtyht.
2016.6.02

云南绿春县杨家寨黄竹林地区金及多金属 地球化学异常评价及找矿模型

缪宇^{1,2},郭光华¹,王建平²,张七道¹,张锡昌¹,杨飞^{1,2},韩铜³

(1. 武警黄金部队第十支队,云南 昆明 650001; 2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083; 3. 国家行政学院,北京 100089)

摘 要:黄竹林地区位于云南哀牢山成矿带南部,杨家寨西南部,出露地层主要为下二叠统高井朝组砂板岩及石英砂岩。通过土壤地球化学剖面测量在黄竹林地区圈定了一个金异常区,异常区浓集中心明显,高值点连续分布,三级分带特征明显,元素相互套合较好,并确定黄竹林地区元素组合为 Au-As-Sb-Ag-Mo-Hg 和 Cu-Pb-Zn。通过高井朝组地层岩石样原生晕分析,显示该区为韧性剪切带型金矿的地球化学前缘晕和近矿晕特征,具有中深部找矿潜力。通过地质矿产信息和地球化学信息提出了适合本地区的韧性剪切带型金及多金属找矿模型。

关键词:杨家寨黄竹林地区;韧性剪切带;地球化学异常;元素组合;原生晕;找矿模型

中图分类号: P632 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2016)06-1063-07

哀牢山地区位于云南省中南部,北西起自大理州弥渡县金宝山,向南东方向延伸至红河州河口县及金平县出中越边境。截止 2005 年哀牢山成矿带累计探明金资源量超过 250 t,占云南省探明金资源量的 40%,是云南省最重要的金成矿带之一。杨家寨远景区位于哀牢山成矿带南部,毗邻越南边境。自 2008 年以来,武警黄金部队第十支队在该区开展了 1:10 000 土壤地球化学剖面测量工作,圈定出 4 个异常,其中黄竹林地区异常为 2014 年查证遥感找矿靶区所圈定的异常。异常查证结果显示黄竹林地区具有较好的金及多金属资源潜力,因此对该区金及多金属地球化学异常进行评价具有重要意义。

1 地质背景

杨家寨金及多金属远景区位于西藏—三江造山系之扬子西缘多岛弧—盆系之兰坪—普洱双向弧后陆内盆地与绿春陆缘弧结合部^[1](图 1a),出露地层为下二叠统高井朝组(P_{1g})、上三叠统歪古村组(T_3w)、上三叠统挖鲁八组(T_3wl)(图 1b)。赋矿地

层为高井朝组(P_{1g}),是一套火山—碎屑岩建造。岩性下部以火山岩与碎屑岩互层为特征,上部为细碎屑岩沉积^[2],其中高井朝组下部安山岩及安山质凝灰岩为该区主要赋矿层位。上三叠统歪古村组(T_3w)底部为灰紫色厚层状复成分砾岩;顶部为灰紫色粉砂状泥岩、泥岩及灰黄、灰绿色粉砂质泥岩、钙质泥岩^[3]。上三叠统挖鲁八组(T_3wl)岩性为灰—深灰色薄层状泥岩,粉砂状泥岩夹粉砂岩。

区内构造主要呈北西向,以哈俄浦池向斜和莫马洛断裂为主(图 1b),且地层普遍破碎,糜棱岩化较强,产状也较为零乱^[4]。

区内岩浆活动较强烈,以中性岩浆活动为主,基性、酸性岩浆活动次之(图 1b)。中性岩主要以二叠系喷出岩为主,岩性为安山岩,岩石呈深灰色,具斑状结构,块状构造。岩石次生蚀变作用强烈,斜长石已普遍被绢云母及钠黝帘石所交代,暗色矿物被绿泥石交代。酸性岩和基性岩主要呈“小岩株”的形态分布,基性岩岩性主要为辉绿岩,酸性岩主要为石英斑岩,其中石英斑岩侵入时期为印支期,蚀变较为

表 1 杨家寨地区黄竹林元素异常数据处理结果

元素	异常面积/km ²	样品均值	背景值	标准差	异常峰值	异常下限	变异系数	浓集克拉克值
Au	0.32	5.97	4.37	10.86	160.0	25	2.49	1.09
Ag	0.41	0.13	0.11	0.14	2.64	0.4	1.29	1.48
Cu	0.28	38.32	36.70	11.62	100	60	0.32	0.61
Pb	0.30	29.47	27.70	12.78	147	50	0.46	1.98
Zn	0.22	94.70	89.12	44.70	377	180	0.50	1.27
As	0.48	13.42	11.25	16.54	221.0	45	1.47	6.25
Sb	0.48	1.14	1.01	1.07	9.59	3	1.07	5.05
Bi	0.12	0.52	0.50	0.14	1.34	0.8	0.28	19.88
Hg	0.31	0.11	0.11	0.06	0.880	0.2	0.54	1.25
Mo	0.23	1.01	0.81	1.50	22.30	4	1.86	0.67

注:Au 含量单位为 10⁻⁹,其他元素含量单位为 10⁻⁶

提供了充足的热源,也为 Au 的成晕、成矿作用提供了具有部分物源的热液。此外,异常区地处韧性剪切带内,微细断裂发育,为成矿物质赋存提供了有利条件,且研究区以北西向为主的断裂构造系统也是控制区内 Au 地球化学异常分布的主要因素。

2.3.1 地球化学异常平面分析

黄竹林异常区位于杨家寨远景区西部(图 1b),异常呈条带状北西向展布,南东端未封闭,面积 0.32 km²。异常区内各元素三级分带特征明显,其中 Au 最大值为 160×10⁻⁹,平均值为 28.18×10⁻⁹,衬度为 2.8,浓集中心明显,高值点连续分布,三级分带特征明显,具有南西侧陡窄、北东侧宽缓的分布趋势。Au 与 As、Sb、Ag 等套合较好,且形成 Au、As、

Sb、Hg、Ag 为内带,Bi、Mo 为中带,Cu、Pb、Zn 为外带的分带特征(图 2),具有韧性剪切带型金矿异常组合特征^[8-9]。经异常查证,异常区出露的地层为下二叠统高井朝组上部板岩夹砂岩、石英砂岩,地层产状较为零乱,石英砂岩内沿裂隙面黄铁矿化硅化较为发育。Au 异常显示异常区东南方向具有延伸潜力,具有进一步工作的价值。

2.3.2 地球化学异常剖面分析

以 P8 线地球化学异常剖面(图 1b)为例进行分析,综合剖面各元素变化趋势特征,判断各元素与金的关系及其相互间的关系。

P8 线位于异常区东南侧,呈北东南西走向,出露岩性主要为粉砂岩和板岩,倾向 220°,倾角 45°。

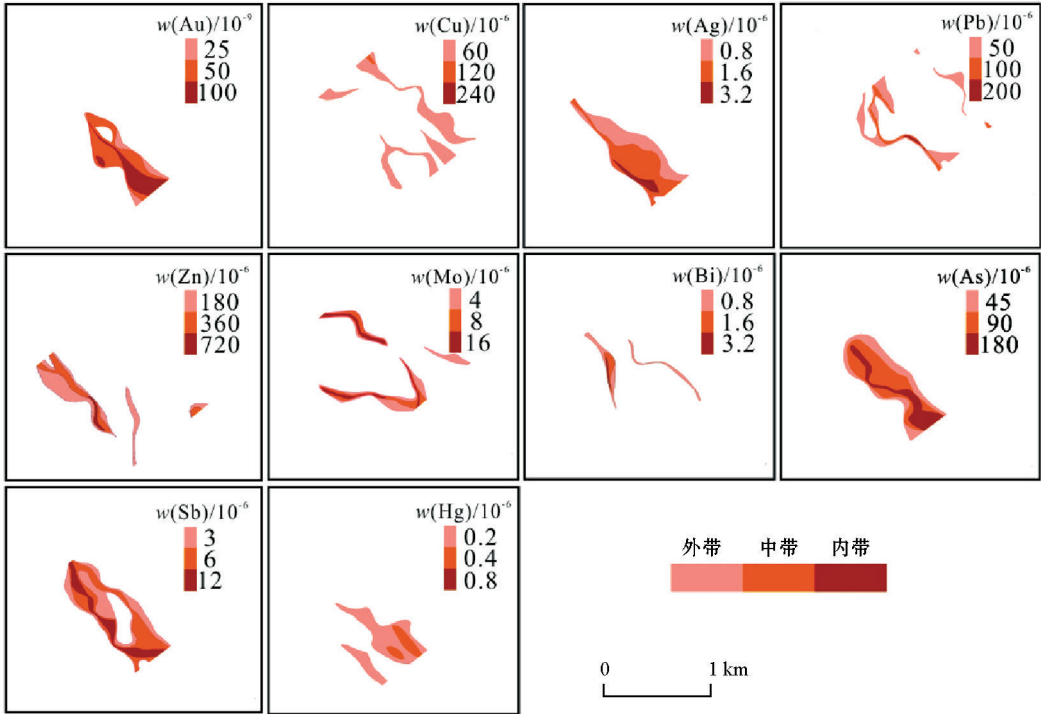


图 2 杨家寨黄竹林地区土壤元素异常分布

对 P8 线地质剖面各元素变化趋势进行对比(图 3): Au、Mo 峰值均在 24 号和 61 号点,并且在 36~46 号点均出现了局部连续异常,说明局部 Mo 与 Au 有一定的伴生关系;Zn、Pb 峰值均出现在 24 号点和 66 号点,且元素变化趋势基本一致,说明二者基本共生,同时与 Au 异常基本一致但局部略有偏移,说明 Zn、Pb 与 Au 有一定的伴生关系;Cu、Ag 峰值出现在 24 号点与 46 号点,与 Au 基本一致,说明 Cu、Ag

与 Au 有一定的伴生关系;As、Sb 与 Hg 峰值均出现在 24 号点 73 号点,并且在 34~46 号点均出现了局部连续异常,且在 30 号点和 46 号点均表现为负异常,说明 As、Sb 与 Hg 之间呈正相关线性关系,同时与 Au 异常基本一致,说明 As、Sb、Hg 与 Au 成矿关系密切;Bi 峰值与 Au 负异常出现位置基本一致,说明 Bi 与 Au 呈负相关关系,与成矿关系不利。

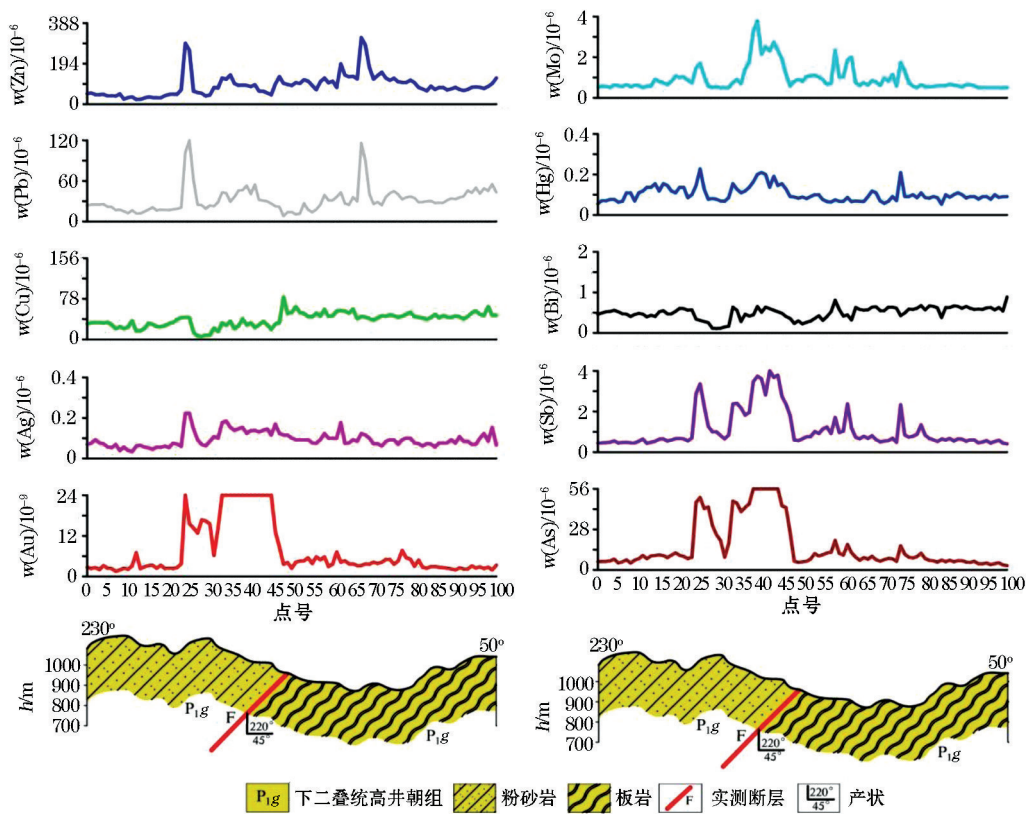


图 3 杨家寨地区黄竹林土壤地球化学 P8 剖面元素变化

2.4 元素组合特征

2.4.1 相关性分析

对黄竹林地区土壤地球化学异常数据进行处理(表 2),并将其中 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Mo、Hg、Bi、Sb、As 等 10 种元素利用 SPSS 软件进行处理^[10],分析

其相关性。从相关系数可以看出 Ag、Mo、Hg、Au、As 和 Sb 之间具有明显的相关性,Cu、Pb、Zn 之间具有明显的相关性,而 Bi 与其他元素之间相关系数均不高,因此将元素分为 Ag、Mo、Hg、Au、As、Sb、Cu、Pb、Zn 和 Bi 三类(表 2)。

表 2 杨家寨地区黄竹林元素相关系数

元素	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Bi	Hg	Mo
Au	1.000									
Ag	0.200	1.000								
Cu	0.000	0.108	1.000							
Pb	0.085	0.118	0.210	1.000						
Zn	0.088	0.018	0.252	0.624	1.000					
As	0.640	0.205	0.000	0.088	0.196	1.000				
Sb	0.507	0.535	0.093	0.105	0.209	0.751	1.000			
Bi	-0.119	-0.109	0.180	0.146	-0.051	-0.178	-0.164	1.000		
Hg	0.288	0.413	-0.027	0.063	-0.080	0.388	0.498	0.000	1.000	
Mo	0.288	0.797	0.125	0.020	-0.105	0.156	0.506	-0.038	0.531	1.000

对各元素数据进行 R 型聚类,采用平方 Euclidean 距离绘制分析结果^[11-12](图 4)。当距离系数取 15 时元素大致可分为 3 类:Ag、Mo、Hg、Au、As、Sb 归为第一类,反映与 Au 成矿有关的元素组合;Pb、Zn、Cu 归为第二类,反映与铜等多金属成矿作用有直接联系的元素组合;Bi 为第三类,反映单独矿化的特征,但与铜等多金属成矿作用有间接联系的成矿特征。

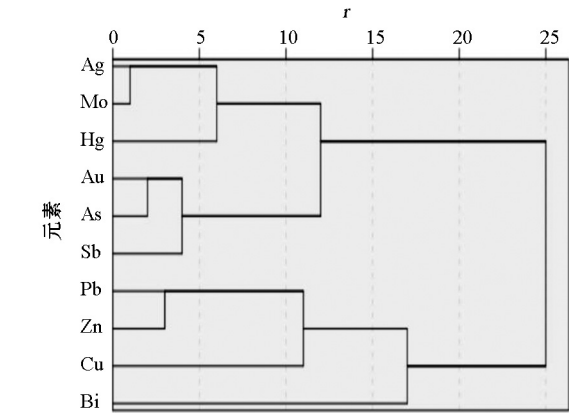


图 4 杨家寨地区黄竹林元素 R 型聚类分析

2.4.2 因子分析

对元素进行因子分析,当提取 3 个因子时,方差累计可达 65.837%(表 3),已经包含了原始变量的大部分信息,其中 F1 因子代表 Ag、Mo、Hg、Au、As、Sb 元素组合,反映了与金成矿作用有关的元素组合关系;F2 因子代表了 Cu、Pb、Zn 元素组合,反映了与多金属成矿作用有关的元素组合关系;F3 因子代表 Bi 单一元素特质。由以上主成分的组成可以看

表 3 杨家寨地区黄竹林元素因子分析结果			
因子	F1	F2	F3
Au	0.613	0.086	-0.495
Ag	0.718	-0.194	0.463
Cu	0.126	0.451	0.435
Pb	0.205	0.786	0.210
Zn	0.191	0.852	-0.035
As	0.729	0.127	-0.525
Sb	0.890	0.034	-0.144
Bi	-0.180	0.184	0.436
Hg	0.683	-0.237	0.135
Mo	0.692	-0.321	0.543
累积贡献率/%	32.879	50.904	65.837

出,因子组成分类和 R 型聚类分析结果相互映证。

3 赋矿地层原生晕分析

对杨家寨黄竹林地区探槽底部高井朝组地层岩石样进行采集,采样以沿探槽走向、10 m 为间距进行布样,对布样点 2 m 范围内探槽底部基岩进行采集,样品质量一般大于 2 kg。共采集原生晕分析样 80 件,对 Au、Cu、Pb、Zn、Sb、Hg、Bi、As 8 种元素进行原生晕分析,对各岩性样品均值进行统计(表 4)。结果显示,金矿化以及 As、Sb、Hg 的富集主要与黄铁矿化石英砂岩有关,并且 As、Sb、Hg 等低温元素呈显著的正相关关系,显示出韧性剪切带型金矿的地球化学前缘晕特征;Au 含量较高时 Pb、Zn 等表现为弱异常,显示出韧性剪切带型金矿的地球化学近矿晕特征;说明在中深部具有寻找盲矿体的潜力^[13]。

表 4 杨家寨黄竹林地区原生晕分析结果

岩性	样品数量	Au	Cu	Pb	Zn	Sb	Hg	Bi	As
砂质板岩	21	2.81	47.83	17.97	108.82	3.06	0.07	0.37	15.75
砂岩	27	2.73	49.39	12.99	99.84	2.30	0.06	0.20	16.71
石英砂岩	18	7.51	38.60	57.78	157.07	4.71	0.12	0.43	31.34
黄铁矿化石英砂岩	14	77	92.1	41.82	37.63	22.81	0.29	4.46	84.23

注: Au 含量单位为 10⁻⁹;其他元素含量单位为 10⁻⁶

4 矿床特征及找矿模型构建

韧性剪切带型金矿通常产于浅变质岩地层中^[14],金矿的控矿构造是韧性剪切带,矿体主要产于剪切带内,金矿体的形态、产状、规模受剪切带控制,常伴生有 Cu、Pb、Zn 等多金属,近矿部位糜棱岩化发育,矿物共生组合为自然金、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、石英、方解石等;蚀变以碳酸盐化、绢云母化、硅化为特征,元素组合常呈现以 Au、As、Sb 为内带,Bi、Mo 为中带,Cu、Pb、Zn 为外带的分带特征,Au 与 As、Sb、Hg、Ag 等低温元素关系密切,其中

As、Sb 是重要的找金地球化学标志^[15]。

以云南大坪金矿为例,元阳大坪金矿床位于哀牢山构造变质带南段南西侧,主要赋存于受到强烈韧性剪切和水—岩反应的加里东期闪长岩中,是典型的韧性剪切带控矿型金矿^[16]。矿区东西两侧分布有元古界哀牢山群变质岩系和下奥陶统浅变质板岩及中泥盆统海相碎屑沉积岩、碳酸盐岩,其中主要的含金多金属硫化物石英脉呈北西向展布,横贯全区导矿构造——小新街断裂的东西两侧,近矿两侧糜棱岩化发育。矿石矿物以黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、自然金为主;脉石矿物主要有石英、方解

石、白云石、云母类等。围岩蚀变主要为硅化、绢云母化、钠长石化、绿泥石化及碳酸盐化等。Au 与 As、Sb、Ag 等关系密切,与 Bi 呈明显的负相关关系^[17]。

地质—地球化学找矿模型的构建是指在地质勘查过程中,通过对地质矿产及地球化学资料的信息

提取,获得与找矿有关的地层、构造、岩浆岩等控矿因素及地球化学异常,研究其与成矿的关系及规律,并总结出综合找矿模型,以指导进一步的找矿工作。综合研究区地质因素、地球化学异常特征,构建了杨家寨黄竹林地区韧性剪切带型金及多金属地质—地球化学找矿模型,综合找矿信息列于表 5。

表 5 杨家寨黄竹林地区地质—地球化学找矿模型

信息类别		找矿标志和信息
地质	地层条件	以二叠系火山—沉积岩系地层为主,主要岩性为安山岩、安山质凝灰岩及板岩、片岩等浅变质岩,糜棱岩化发育
	构造条件	地处韧性剪切带上,以北西向断裂为主,微细断裂发育
	岩浆岩条件	二叠系中酸性岩浆岩侵入地层裂隙系统,发育大量脉岩
	围岩蚀变	绢云母化、绿泥石化、硅化、高岭土化
	矿化种类	金及铜铅锌等多金属
	主要金属矿物	主矿物:黄铜矿、黄铁矿;次级矿物:自然金、方铅矿、闪锌矿、磁铁矿
主要非金属矿物		长石、石英、方解石、火山灰
地球化学	1:10 000 土壤地球化学测量	异常组合 Au-Ag-Cu-Pb-Zn-As-Sb-Mo-Hg-Bi 浓度分带及套合情况 浓集分带明显,三级分带特征明显,具有 Au、As、Sb、Hg、Ag 为内带,Bi、Mo 为中带,Cu、Pb、Zn 为外带的韧性剪切带型金矿异常组合分带特征 主要元素极大值/10 ⁻⁶ Au 0.16,Ag 2.64,Cu 100,Pb 147,Zn 377
	原生晕分析	赋矿岩体 黄铁矿化石英砂岩 元素特征 As、Sb、Hg 等呈正相关,具有韧性剪切带型金矿的地球化学前缘晕特征;Au 与 Pb、Zn 元素呈一定的负相关关系,具韧性剪切带型金矿的地球化学近矿晕特征
	元素组合	金成矿元素组合 Au-As-Sb-Ag-Hg-Mo 其他多金属元素组合 Cu-Pb-Zn 金成矿呈负相关元素 Bi

5 结论

- 1) 杨家寨黄竹林地区 Au 地球化学异常与二叠纪中酸性岩浆活动关系密切,并且受区内以北西向为主的断裂构造系统控制。区内与金成矿关系密切的 Au、As、Sb、Ag、Hg、Mo 等分异系数较大,分布较集中,有利于成矿。
- 2) 异常区浓集中心明显,高值点连续分布,三级分带特征明显,元素相互间套合较好,Au 与 As、Sb、Ag 等套合较好,且形成 Au、As、Sb、Hg、Ag 为内带,Bi、Mo 为中带,Cu、Pb、Zn 为外带的分带特征,具有韧性剪切带型金矿异常组合特征,成矿潜力大。
- 3) 区内元素组合可以确定为 Au-As-Sb-Ag-Hg-Mo、Cu-Pb-Zn,可以以元素组合为依据,快速圈定有利的找矿靶区,指导下一步的勘查找矿工作。
- 4) 区内岩石样原生晕分析显示,Au 与 As、Sb、Hg 等低温元素呈显著的正相关关系,与 Pb、Zn 呈一定的负相关关系,表现为韧性剪切带型金矿的地球化学前缘晕和近矿晕特征,说明中深部具有寻找盲矿体的潜力。
- 5) 综合区内地质矿产信息和地球化学信息,构建了杨家寨黄竹林地区韧性剪切带型找矿模型。

参考文献:

[1] 肖长源,缪宇.云南省绿春县杨家寨地区矿化蚀变与金成矿的关系[J]. 四川地质学报,2014,33(A01):44-47.

[2] 郭建刚.云南绿春杨家寨金多金属矿床特征及成矿规律[J]. 云南地质,2014,33(3):320-328.

[3] 李娜.云南绿春歪古村组沉积相分析及物源示踪[D]. 成都:成都理工大学,2012.

[4] 沈少雄.1:5万骑马坝幅地质图说明书[M]. 云南地质矿产勘查开发局,2000:1-41.

[5] 刘述敏,王帅,纪仁忠,等.内蒙古东乌旗霍布仁布敦银矿区土壤地球化学特征及异常评价[J]. 物探与化探,2015,39(2):222-227.

[6] 万丽,王庆飞.次生晕多元素含量分布的多重分形特征[J]. 广州大学学报:自然科学版,2010,9(2):15-19.

[7] 王冬兵,唐渊,廖世勇.滇西哀牢山变质岩系锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 岩石学报,2013,29(4):1261-1278.

[8] 张瑞彦.金矿化探异常评价浅议[J]. 新疆有色金属,2002,25(2):11-15.

[9] 丁式江.韧性剪切带与金矿化[J]. 华东地质学院学报,1993,16(1):32-37.

[10] 陈治.使用 SPSS 软件进行因子分析和聚类分析的方法[J]. 市场研究,2006,54(6):45-48.

[11] 董庆吉,陈建平,唐宇.R 型因子分析在矿床成矿预测中的应用——以山东黄埠岭金矿为例[J]. 地质与勘探,2008,44(4):64-68.

[12] 苟建德,朱从龙,谢洪春,等.甘肃两河口地区水系沉积物异常

评价[J]. 物探与化探,2008,32(2):135-138.

[13] 李惠,王支农,张文华.大型金矿盲矿的原生叠加晕和预测准则[J]. 黄金科学技术,2001,9(3-4):1-4.

[14] 刘晶晶,张雪亮,刘庚寅.剪切带型金矿[J]. 国土资源导刊:湖南,2013,11(2):93-94.

[15] 吴美德.含金剪切带型金矿床[J]. 黑龙江地质情报,1991,7(1):1-7.

[16] 孙晓明,熊德信,石贵勇,等.云南哀牢山金矿带大坪韧性剪切带型金矿⁴⁰Ar—³⁹Ar 定年[J]. 地质学报,2008,87(1):8-12.

[17] 韩润生,雷丽.云南元阳大坪改造型金矿床的成矿热液系统地球化学[J]. 矿物学报,1997,17(3):337-344.

Evaluation of gold and polymetallic geochemical anomalies and ore-prospecting model in Huangzhulin area of Yangjiazhai in Luchun County, Yunnan Province

MIAO Yu^{1,2}, GUO Guang-Hua¹, WANG Jian-Ping²,
ZHANG Qi-Dao¹, ZHANG Xi-Chang¹, YANG Fei^{1,2}, HAN Yao³

(1. Tenth Detachment of Armed Police Gold Forces, Kunming 650001, China; 2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Chinese Academy of Governance, Beijing 100089, China)

Abstract: Huangzhulin area is located in the southern Ailaoshan metallogenic belt of Yunnan Province, and lies in southwest Yangjiazhai. The lower Permian sandstone, slate and quartz sandstone are main exposed strata. Through soil geochemical profile measurement, a gold anomaly was delineated in Huangzhulin area. The abnormal area has obvious concentration, continuous distribution of high value points, and obvious three-stage zoning. The anomaly is a good composite anomaly with the association of Au-As-Sb-Ag-Mo-Hg and Cu-Pb-Zn. Through the analysis of primary halos of rock samples from Gaojingchao Group, the authors detected the geochemical characteristics of the front halo and near-ore halo of the ductile shear zone type of gold deposit, which has the middle and deep prospecting potential. Based on the geological, mineral resources and geochemical information, the authors present an ore-prospecting model for ductile shear zone type gold and polymetallic deposits in this area.

Key words: Huangzhulin area in Yangjiazhai; ductile shear zone; geochemical anomaly; elements combination; primary halo; ore-prospecting model

作者简介: 缪宇(1988-),男,助理工程师,在读硕士,矿床学及矿床地球化学专业。E-mail:361583884@qq.com