

水系沉积物地球化学勘查在西藏松多幅的找矿应用

吕梦鸿^{1,2}, 刘洪^{1*}, 黄瀚霄¹, 李光明¹, 解惠², 曾攀²

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 成都 610081; 2. 四川省冶金地质勘查院, 成都 610051)

摘要: 西藏松多地区位于冈底斯-念青唐古拉中生代、新生代铜铅金铁成矿带中的昂仁-南木林铁铜钼多金属成矿带。1/5 万水系沉积物扫面成果显示, 该区是铜、铅、锌、银、钨、钼等矿产的有利成矿区。依据元素相关性、空间分布特征和主要指示元素种类, 划分出 Cu-Pb-Zn-Ag-Sn 元素组合、Cu-Au-W-Pb-Zn-Ag-Cd 元素组合及 Cu-Zn-Sn 为主的元素组合等 3 个组合类型, 并指出了元素组合异常内寻找的矿种和矿床类型, 即铜多金属斑岩型、构造热液型。通过异常查证, 发现了果夏弄铜铅锌多金属矿点及果夏弄南铜矿点等多处矿点, 找矿成果明显, 为该区找矿指明了方向。

关键词: 水系沉积物测量; 元素组合; 果夏弄; 找矿方向

中图分类号: P632

文献标志码: A

文章编号: 1672-4135(2019)02-0143-11

西藏松多地区行政区划隶属于西藏自治区昂仁县、措勤县管辖。位于冈底斯山脉西段, 打加错北侧, 北距措勤县城 120 km, 东距昂仁县城 180 km, 处于冈底斯-念青唐古拉中生代、新生代铜铅金铁成矿带中的昂仁-南木林铁铜钼多金属成矿亚带, 区域上分布有朱诺斑岩型铜矿、查个勒铅锌矿及桑布加拉辉钼矿等大中型矿床, 矿产资源丰富, 找矿前景良好^[1-2]。

近十余年来, 在矿产地质调查项目背景的支持下, 在藏北高寒地区广泛开展 1/5 万水系沉积物测量工作, 在地质找矿突破方面的作用愈加明显。1/50 万水系沉积物地球化学异常显示, 松多地区异常元素组合以 Pb、Zn、Ag、Cu 为主, 并伴生有 Cd、As、Sb 等, 具有寻找铅、锌、银、铜的找矿前景。2016 年以来, 中国地质调查局成都地质调查中心组织四川冶金地质勘查院, 在该区开展 1/5 万水系沉积物地球化学测量, 圈定出一批化探异常, 并对主要异常开展异常查证工作, 并圈定出多处矿点, 找矿成果理想。笔者以果夏弄铜铅锌多金属矿点为例, 阐述 1/5 万水系沉积物地球化学特征, 并运用相关性分析、聚类分析、因子分析等多元统计方法, 研究矿区的地球化学元素组合、地球化学分区、异常筛选与查证及找矿效果, 探讨找矿潜力和方向^[3]。

1 地质概况

研究区所在大地构造位置位于冈瓦纳大陆北缘, 根据青藏高原及邻区大地构造图, 研究区属拉达克-冈底斯-察隅弧盆系之拉达克-冈底斯-下察隅火山岩浆弧带^[4-8], 是青藏高原地质研究的热点地区(图 1a), 具有形成热液型铜金矿床的优越地质条件^[9-11]。区内出露的地层主要为二叠系的一套浅海相碎屑岩组合, 其上多被大面积的古近系林子宗群的陆相火山岩建造覆盖(图 1)。二叠系昂杰组(P_1a)主要由粉砂岩、泥质粉砂岩、石英砂岩及灰岩组成; 其中昂杰组(P_1a)下段为深灰-灰白色中细粒石英砂岩、长石石英砂岩与薄层粉砂岩互层, 底部为薄层状灰岩; 上段为浅灰-深灰色中厚-厚层粗-细粒长石石英砂岩、薄层状粉砂岩、泥质粉砂岩、砂质黏土板岩。另有少量上三叠统江让组(T_3j)砂岩、粉砂岩夹砾岩、灰岩分布于矿区的西南角。林子宗群年波组(E_2n)主要由流纹质(含角砾)晶屑凝灰熔岩、深灰色流纹质(玻屑)晶屑熔结凝灰岩、紫灰色流纹质(含角砾)晶屑凝灰岩组成, 主要分布于研究区的中北部。

研究区内断裂构造较为发育, 主要为脆性断裂及脆韧性剪切断层; 而脆性断层则主要发育在古近纪火

收稿日期: 2018-03-18

资助项目: 国家重点研发计划“青藏高原碰撞造山成矿系统深部结构与成矿过程(2016YFC0600300)”; 中国地质调查局项目“冈底斯-喜马拉雅铜矿资源基地调查(DD20160015)”; 中国地质调查局成都地质调查中心青藏高原国际大学科计划项目“冈底斯成矿带西段措勤县鲁尔玛斑岩型铜矿床的成因”

作者简介: 吕梦鸿(1985-), 男, 本科, 工程师, 毕业于成都理工大学地质学专业, 从事区域矿产地质调查工作, E-mail: lvmenghong@163.com。*通讯作者: 刘洪(1987-), 男, 硕士, 工程师, 毕业于中国地质大学矿物学、岩石学、矿床学专业, 从事矿床学、矿产勘查研究, E-mail: cugliu@foxmail.com。

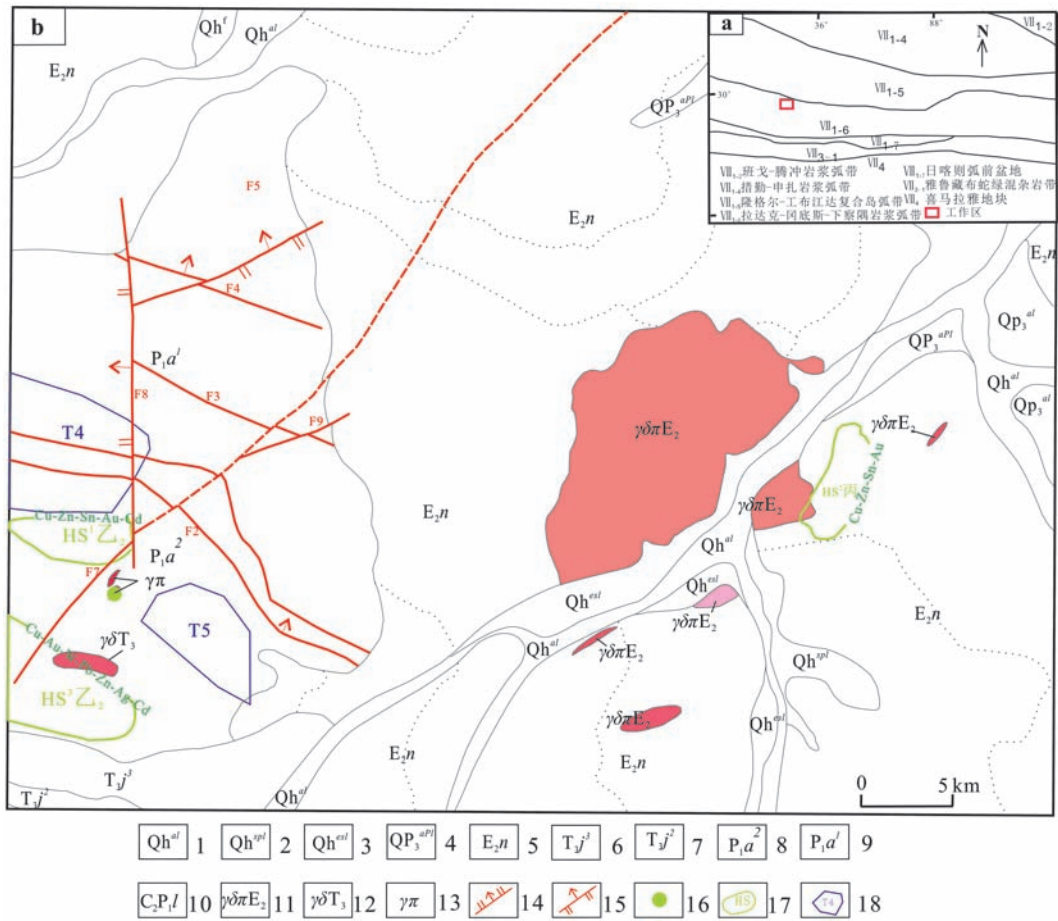


图1 松多地区大地构造位置(a)(据参考文献[4]修改)及地质矿产简图(b)

Fig.1 Geotectonic location of Songduo area (A) and geological mineral map (B)

- 1. 冲积物; 2. 坡洪积; 3. 坡洪积; 4. 冲洪积; 5. 古近系年波组; 6. 上三叠统江让组三段; 7. 上三叠统江让组二段; 8. 下二叠统昂杰组二段; 9. 下二叠统昂杰组一段; 10. 石炭系拉嘎组; 11. 喜山期花岗闪长岩; 12. 印支期花岗闪长岩; 13. 花岗岩斑岩; 14. 正断层; 15. 逆断层; 16. 铜矿; 17. 水系沉积物综合异常; 18. 磁法综合异常

山岩中,脆韧性剪切断层集中于中生代地层中。断层按展布方向可分为北西(西)向、北东向、近东西向及近南北向4组,其中北西(西)向断层发育最早,次为北东向断裂及近东西向断裂,近南北向断裂发育最晚,它们相互交织,构成本区复杂的网络状格局。断层以北西向、北东向及近南北向为主,以近南北向断层规模最大,多穿过整个研究区;北西向断裂规模较小,多被北东向和南北向断层切割。区内始新世中酸性侵入岩不甚发育,约占研究区域面积的6%,侵入岩类型以石英二长斑岩为主,其次为少量的印支期侵入岩,侵入岩类型花岗闪长岩及花岗岩斑岩。

2 样品采集与分析

本次水系沉积物测量执行《1/5万地球化学普查规范》(DZ-0011-2015),平均采样密度为3.7个/km²,采样介质主要为淤泥和粉砂,野外调查面积445 km²,

采集水系沉积物样品1 660件,其中重复样47件,异常查证阶段采集基本化学分析等各类样品350余件。

样品由西南冶金测试中心承担测试,将样品磨碎加工至200目后,采用等离子质谱仪(NexLON 300 ICP-MS),无火焰原子吸收仪(ICE3500),X荧光光谱法(XRF),原子荧光仪(AFS2202E)等多元素分析方法,各元素分析方法及检出限见表1。共分析Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Hg、W、Sn、Mo、Cd、Co、Cr、Ni、Mn、Ti等18种元素,插入178件标准控制样品,各类样品加工过程符合《地质矿产实验室测试质量管理规范》(DZ/T0130-2006)。

3 地球化学特征

3.1 元素富集变异特征

由表2可知,区内富集系数K1值>2的元素有:Pb、W、Sb、Bi、Sn、Ag等6个元素,其中As高达6.64

表1 分析方法参数

Tab.1 Analytic technique and parameter

项目	方法	检出限/($\mu\text{g/g}$)
Au	王水+氟化物溶解,泡沫塑料吸附,硫脲解脱,ICE3500 石墨炉原子吸收测定	0.000 3
As	王水分解样品,以硫脲-抗坏血酸为还原剂,AFS2202EE 原子荧光测定	1
Sb	王水分解样品,以硫脲-抗坏血酸为还原剂,AFS2202EE 原子荧光测定	0.2
Ag	将样品和缓冲剂混匀装入电极,802 W 发射光谱测定	0.03
Bi	盐酸+硝酸+氢氟酸+高氯酸溶解,NexLON 300 ICP-MS 测定	0.1
Mo	盐酸+硝酸+氢氟酸+高氯酸溶解,NexLON 300 ICP-MS 测定	0.5
Pb	盐酸+硝酸+氢氟酸+高氯酸溶解,NexLON 300 ICP-MS 测定	5
W	盐酸+硝酸+氢氟酸+高氯酸溶解,NexLON 300 ICP-MS 测定	0.5
Cu	盐酸+硝酸+氢氟酸+高氯酸溶解,NexLON 300 ICP-MS 测定	1.5
Zn	盐酸+硝酸+氢氟酸+高氯酸溶解,NexLON 300 ICP-MS 测定	15
Ni	盐酸+硝酸+氢氟酸+高氯酸溶解,NexLON 300 ICP-MS 测定	3
Co	盐酸+硝酸+氢氟酸+高氯酸溶解,NexLON 300 ICP-MS 测定	1
Cd	盐酸+硝酸+氢氟酸+高氯酸溶解,NexLON 300 ICP-MS 测定	0.1
Sn	将样品和缓冲剂混匀装入电极,802 W 发射光谱测定	1
Hg	王水分解样品,以硫脲-抗坏血酸为还原剂,AFS2202EE 原子荧光测定	5
Cr	将样品和缓冲剂混匀,X 荧光发射光谱测定	15
Ti	将样品和缓冲剂混匀,X 荧光发射光谱测定	100
Mn	将样品和缓冲剂混匀,X 荧光发射光谱测定	30

表2 松多地区水系沉积物地球化学特征参数

Tab.2 Geochemical parameters based on stream sediment survey in Songduo area

元素	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	W	Mo	As	Sb	Bi	Hg	Sn	Ag	Au	Ti	Mn	Cd	Cr
最小值	0.1	0	0	0	0.1	0.05	0.01	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0
平均值	10.4	34.2	71	10.8	6.3	2.06	0.76	16.6	0.95	0.43	28	3.5	0.084	0.7	2256	533	0.148	25
最大值	541	1 420	1 300	219	56.5	39.4	55	364	21.2	37.8	1550	226	2.63	91.2	18 300	5 040	3.93	497.2
标准离差	17	38.9	63.5	9.8	4.2	1.14	0.99	19	1.01	1.02	38	6.5	0.108	2.5	1383	245	0.224	21.9
变化系数	1.64	1.14	0.89	0.91	0.67	0.55	1.32	1.15	1.06	2.39	1.38	1.84	1.28	3.36	0.61	0.46	1.51	0.87
地壳丰度值	27	11	72	59	27	1	0.8	2.5	0.2	0.18	30	1.7	0.056	1.3	4200	774	0.08	135
中国水系沉积物平均含量	19	20	60	23	10	1.9	0.66	11.8	0.74	0.32	16	2.6	0.067	1.21	3155	790	0.13	52
富集系数 / K1	0.39	3.11	0.99	0.18	0.23	2.06	0.95	6.64	4.75	2.39	0.93	2.06	1.50	0.54	0.54	0.69	1.85	0.19
富集系数 / K2	0.55	1.71	1.18	0.47	0.63	1.08	1.15	1.41	1.28	1.34	1.75	1.35	1.25	0.58	0.72	0.67	2.12	0.48
成矿有力度 / Ma	0.9	1.9	1.1	0.4	0.4	0.6	1.5	1.6	1.4	3.2	2.4	2.5	1.6	1.9	0.4	0.3	3.2	0.4

注:富集系数 K1=平均值/地壳丰度值;富集系数 K2=平均值/中国水系沉积物平均含量;变化系数=标准离差/平均值;成矿有力度系数=变异系数×富集系数 K1;Au 含量单位为 10^{-9} ,其余元素为 10^{-6} ;地壳丰度值、中国水系沉积物平均含量引自参考文献[12]。

倍,其次是Sb达4.75倍,为明显区域高背景异常;K1值在1~2的元素有:Ag、Cd,属正常背景分布,区域异常背景不明显。K1值<1的元素有:Cu、Ni、Co、Au、Ti、Mn,其中Cu仅为地壳丰度的0.39倍,说明Cu的贫化非常强烈。Cr、Ni、Co等元素不均匀分布,主要由区内的基性岩引起,为区域内贫乏分布。另外,与中国水系沉积物平均值相比,K2值>2的元素有Cd,呈富集分布;K2值在1~2的元素有Pb、Zn、W、Mo、As、Sb、Bi、Hg、Sn、Ag共10个元素,呈正常分布;K2值<1的元素有:Cu、Ni、Co、Au、Ti、Mn、Cr 7个元素,呈贫化分布。变化系数>2的元素有Bi和Au,其中Au>3,呈极强分异型,变化系数值在1~2的元素有Cu、Pb、Mo、As、Sb、Hg、Sn、Ag、Cd,呈强分异型;变化系数<1的元素有Zn、Ni、Co、W、Ti、Mn、Cr,呈弱分异型。以上特征反映出各元素在不同地段的分配呈不均衡到极不均衡,在局部区域存在富集甚至强烈富集,具有形成区域性或局部性的异常乃至形成

矿床的潜力^[13]。

由于成矿过程具有长期性、多期性和复杂性,有些地质体元素虽含量较高,但分异程度差而不易成矿;有些地质体元素含量并不太高,但分异程度高,反而易成矿;有些元素常作为指示元素,仅指示相关的主成矿元素富集与成矿。结合元素的“成矿有利度系数和富集系数K2来评价研究区元素的富集程度与成矿潜力。元素的成矿有利度系数(Ma)为元素富集系数(K1)与变化系数(Cv)的乘积,数学表达式为: $Ma = K1 \times Cv$,该数值与K2越大,元素的成矿可能性越大^[2]。在表2中,其中元素的Ma和K2值较大的元素有Pb、Zn、Mo、As、Sb、Bi、Hg、Sn、Ag、Cd,反映出本区的Pb、Zn、Mo、As、Sb、Hg、成矿潜力较大^[14]。

3.2 地层中元素的分布特征

通过描述各地层单位水系沉积物平均值与中国水系沉积物平均值之比的富集系数,来分析研究18种元素在各时代地层中的背景分布特征。

根据本区内各元素的分散、富集等分布分配特征和元素间的亲疏关系,下面将利用各地质单元汇水域中水系沉积物测量成果来讨论元素在各地质单元的分布,分析不同地质体地球化学特征和下一步找矿方向。区内Cu元素的分布主要集中二叠系的昂杰组(P_1a)及新近系林子宗群的年波组(E_2n)中,其中Cu在昂杰组(P_1a)的富集系数29.5,变异系数1.53;在(E_2n)年波组中富集系数7.31,变异系1.13,在岩体中的富集系数7.56,变异系数0.61。Cu富集系数和变异系数明显,其中昂杰组属于Cu较强的富集。地层中Ag、Pb、Zn较为富集,变异系数变化较大,绝大多数大于1,属于中等富集元素;Au在各地层主要接近于或低于全国水系沉积物平均水平,富集规律不明显,其中在江让组(T_3j)中有一定的富集,变异系数较大;W、Co、Ni、As、Hg、Sn体现出不同程度的富集,但

变异系数一般小于1,在昂杰组和江让组表现尤为显著;其余元素,特别是Ag、Mo、Bi等表现出一定的贫化,其中Ag变异系数变化较大,表现出局部富集贫化明显。从图2中可以看出,除第四系外,地层由新到老,各元素富集或贫化规律不一。整体上看,各元素的富集状态与地层及构造有密切的关系,其中昂杰组以及新近系林子宗群的年波组地层中成矿的可能性最大,通过这个规律,我们也将区内地球化学进行了高背景和低背景的初步地球化学分区,以便更加客观在讨论各地质体中找矿的可能性^[15]。

3.3 区域元素组合分布特征

依据研究区水系沉积物样品分析成果,进行聚类分析、R型(对变量)相关分析、及R型因子分析^[16-17],其结果见图3、表3、表4。结合矿区的实际情况,在R型因子分析相关系数0.5水平上,将区内元素

大致可分为四组:第一组是F1代表的Pb、Zn、Ag、Mn、Cd组合,为一套中低温元素组合,一般与中酸性岩浆活动或构造有关;第二组是F2代表的Ni、Cr、Co、Ti组合,为一套高温热液元素组合,一般与岩浆活动相关;第三组是F3代表的Bi、Cu、Sn元素组合,为一套中高温元素组合,一般与断裂活动或岩浆活动密切相关;第四组是F4代表的Mo、Ag、Au、As低温元素组合,一般与地层背景值及断裂构造等有关^[18]。

3.4 异常元素组合特征

依据区内水系测量成果,结合区内元素的空间组合分布特征、聚类分析及成矿地质背景,将研究区异常组合划分为3类: Cu-Pb-Zn-Ag-Sn组合异常,Cu、Pb、Zn三元素异常浓集中心套合较好;Cu-Au-W-Pb-Zn-Ag-Cd组合异常,Au异常常伴有Pb、Zn、Cd中的一个三元素异常套合,且套合好,Au异常规模越大,套合的元素越多,另外,单元素Au异常出现的也较多;在以Cu-Zn-Sn为主的组合异常,Sn异常区常伴有W、Mo、Bi中的一个三元素异常套合,同时单元素Sn异常出现的也

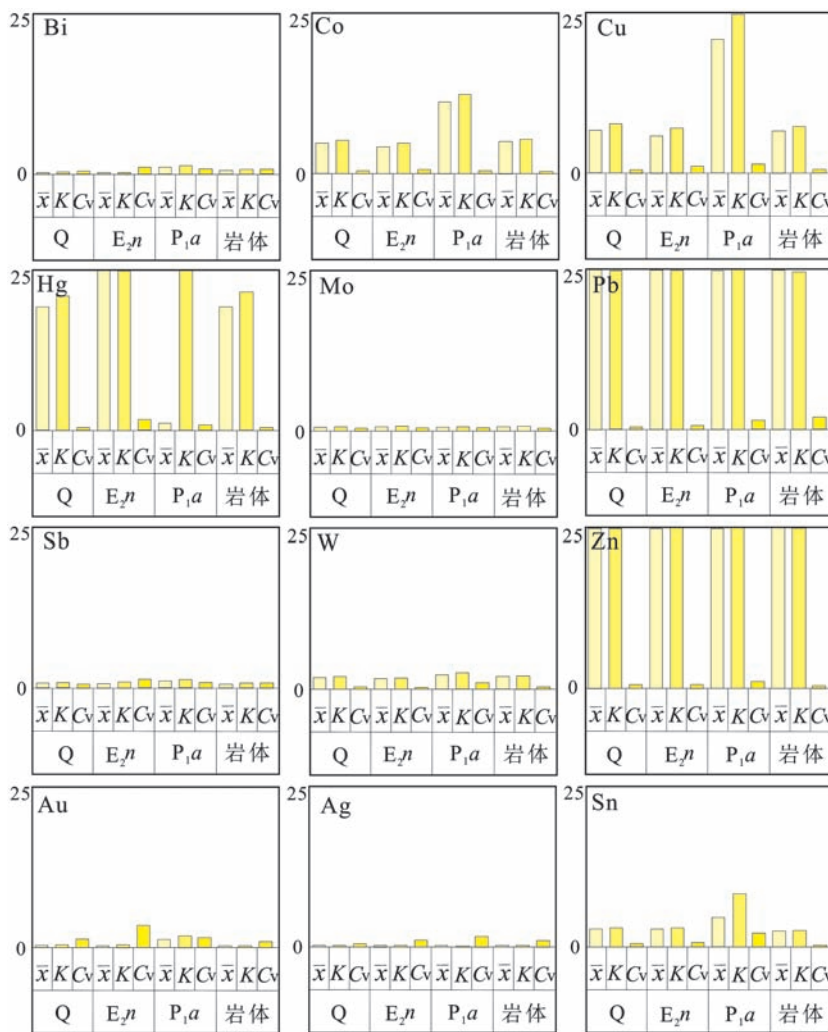


图2 松多地区主要地层化学元素参数统计图(Au单位为 $\times 10^{-9}$,其它元素为 $\times 10^{-6}$)
Fig.2 Statistical map of chemical element parameters of major strata in Songduo Area

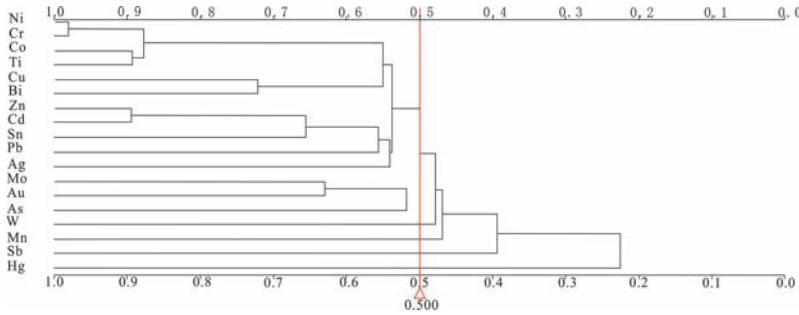


图3 松多地区元素(变量)聚类分析图解

Fig.3 Cluster analysis diagram of Songduo area

表3 松多地区元素(变量)相关系数矩阵

Tab.3 Correlation matrix of Songduo area

	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	W	Mo	As	Sb	Bi	Hg	Sn	Ag	Au	Ti	Mn	Cd	Cr
Cu	1.00																	
Pb	0.27	1.00																
Zn	0.53	0.51	1.00															
Ni	0.45	0.09	0.36	1.00														
Co	0.55	0.12	0.38	0.88	1.00													
W	0.34	0.24	0.31	0.26	0.28	1.00												
Mo	0.16	0.36	0.16	0.00	0.02	0.14	1.00											
As	0.50	0.30	0.50	0.23	0.33	0.48	0.30	1.00										
Sb	0.14	0.11	0.17	0.11	0.18	0.22	0.13	0.39	1.00									
Bi	0.72	0.29	0.33	0.15	0.18	0.30	0.15	0.36	0.05	1.00								
Hg	0.12	0.03	0.12	0.20	0.21	0.22	0.02	0.15	0.14	0.03	1.00							
Sn	0.54	0.25	0.66	0.21	0.20	0.33	0.10	0.45	0.10	0.42	0.08	1.00						
Ag	0.31	0.54	0.49	0.10	0.19	0.29	0.32	0.42	0.22	0.21	0.16	0.27	1.00					
Au	0.50	0.28	0.32	0.16	0.26	0.24	0.63	0.52	0.21	0.43	0.12	0.33	0.43	1.00				
Ti	0.41	0.08	0.31	0.81	0.89	0.28	0.02	0.22	0.16	0.09	0.20	0.13	0.15	0.18	1.00			
Mn	0.25	0.42	0.41	0.24	0.43	0.20	0.13	0.30	0.25	0.08	0.13	0.10	0.35	0.19	0.33	1.00		
Cd	0.38	0.56	0.89	0.20	0.24	0.24	0.11	0.45	0.15	0.25	0.08	0.48	0.51	0.22	0.18	0.47	1.00	
Cr	0.46	0.09	0.35	0.98	0.86	0.26	0.00	0.25	0.11	0.15	0.23	0.23	0.10	0.17	0.78	0.23	0.21	1.00

表4 松多地区R型因子分析正交旋转因子载荷矩阵

Tab.4 Orthometric rotating factor loading matrix of R-factor analysis in Shangxu-Laga area

元素	F1	F2	F3	F4	F5
Cu	0.164 2	-0.369 7	0.744 4	0.217 1	0.109 8
Pb	0.696 5	0.066 1	0.138 9	0.217 4	0.101 1
Zn	0.743 9	-0.241 4	0.464 3	-0.041 8	0.121 4
Ni	0.083 3	-0.934 3	0.089 7	0.020 6	0.094 5
Co	0.140 3	-0.961 4	0.140 5	0.050 6	0.122 3
W	0.157 5	-0.176 5	0.382 2	0.073 3	0.484 8
Mo	0.224 5	0.067 9	-0.021 5	0.909 8	0.021 6
As	0.309 3	-0.193 8	0.401 3	0.415 3	0.417 7
Sb	0.141 8	-0.016 7	-0.046 5	0.05	0.793 7
Bi	0.057 2	-0.000 4	0.781 8	0.194 3	0.045 1
Hg	-0.000 5	-0.124 1	0.070 4	-0.001 6	0.614 3
Sn	0.299 9	-0.054 7	0.797 2	-0.093 8	0.064 6
Ag	0.652 8	-0.064 8	0.106 1	0.351 6	0.124 8
Au	0.152 4	-0.170 8	0.366 5	0.782	0.057 2
Ti	0.096 9	-0.898 2	0.101 1	0.028 9	0.098 6
Mn	0.711 1	-0.257 3	-0.099 3	0.084 5	0.106 2
Cd	0.814 5	-0.105 7	0.299 7	-0.027 8	0.106 4
Cr	0.083 3	-0.934 3	0.089 7	0.020 6	0.094 5
主因子方差贡献	3.011 3	3.879	2.641 8	1.898	1.544 5

较多。

Cu、Pb、Zn、Ag、Sn异常组合,这类元素异常主要分布在区内的中西部(图1),多分布在二叠系昂杰组

(P_{1a})、NW-EW向的断裂内,多伴生有W、Mo异常,推测改组元素异常组合可能发育的矿床类型为斑岩型、构造热液脉型,其中果夏弄斑岩型即具有此特征—花岗斑岩中见孔雀石化。

以Cu、Au、W、Pb、Zn、Ag、Cd组合异常,这类元素异常主要展布在区内的西部(图1),主要分布在在印支期侵入岩体内、断裂构造中或与二叠系昂杰组(P_{1a})地层接触部位。推断这类元素组合异常可能发育斑岩型、构造热液脉型、中低温热液型。果夏弄南铜矿点具有构造热液脉型铜矿床特征。

以Cu、Zn、Sn为主的组合异常,这类元素异常主要展布在区内东部,主要分布在于喜山期中酸性侵入岩体内或与古近系林子宗群年波组(E_{2n})地层接触周围,据此推测该类元素组合异常可能与陆相火山岩型矿床有关。

4 异常查证与找矿效果

研究区内共圈定综合异常3处。通过地质测量等方法开展异常查证,在其中的果夏弄、果夏弄南2个异常区取得了较好找矿效果。

4.1 异常查证方法概述

在1/5万水系沉积物异常区开展的异常查证工作方法有:岩石地球化学剖面测量、地表槽探及1/1万地质草测。岩石化学化剖面测量一般布置异常中心地段,目的是解剖化探异常;1/1万地质草测目的查明异常区地质条件、矿化体地质特征及地表延伸展布特征;槽探工程目的是揭露控制矿化体。

4.2 果夏弄铜多金属矿

果夏弄异常区位于研究区的西部,水系沉积物测量发现以Cu、Zn、Ag、Pb、Bi、Au、W、As、Sn、Cd等10个元素56个单元元素异常点数组成的综合异常HS'乙₂(图4),其中Cu由2个浓集中心、6个单异常组成,其中Cu-1异常最大值为116×10⁻⁶、平均值93.7×10⁻⁶、衬度2.53、具有明显的浓度三级分带特征;Cu-2异常最大值为47.1×10⁻⁶、平均值43.6×10⁻⁶、衬度1.18、具有三级浓度分带;Zn由10个单元元素异常组成,异常最大值123×10⁻⁶、平均值419×10⁻⁶、衬度3.15,具有

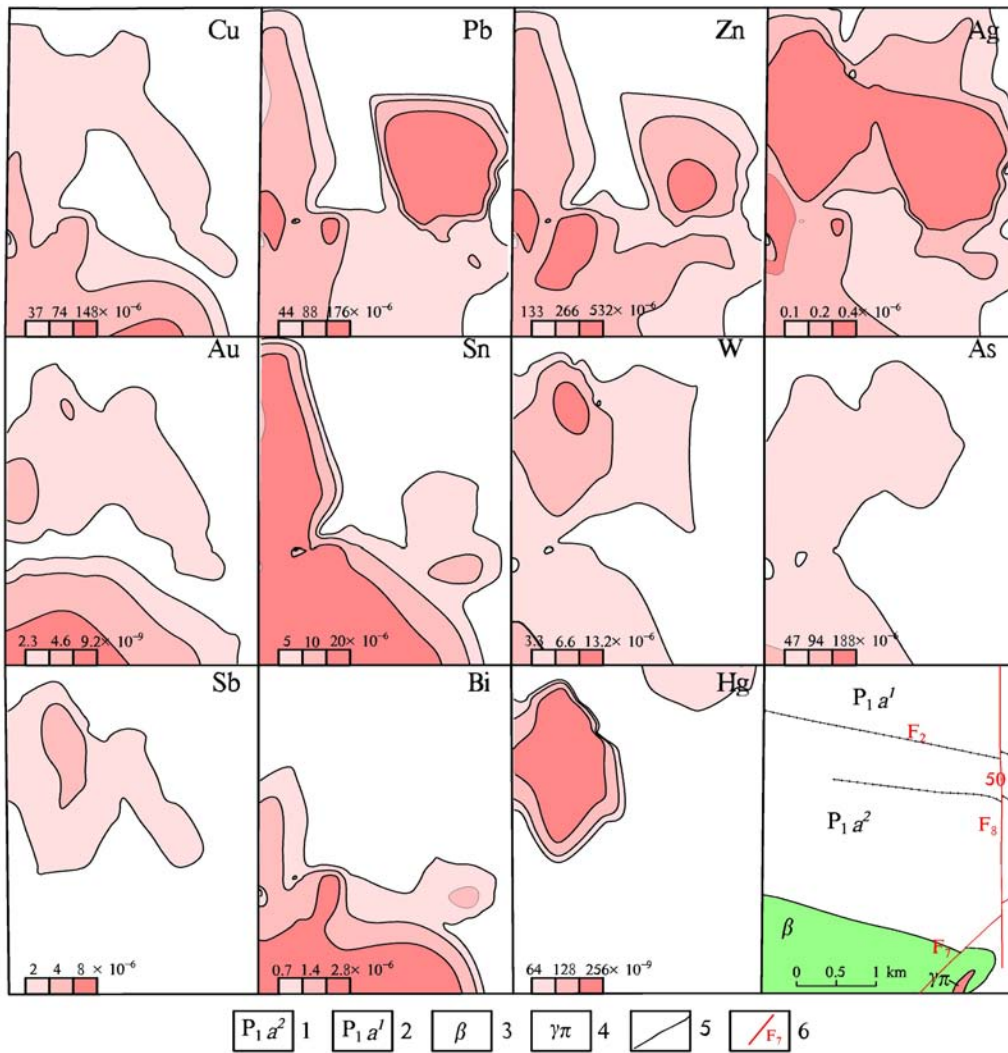


图4 果夏弄异常区水系沉积物异常剖析图

Fig.4 Anomaly analysis of stream sediment survey in Guoxianong area

1. 上二叠统昂杰组二段; 2. 上二叠统昂杰组一段; 3. 玄武岩; 4. 花岗斑岩; 5. 地质界线; 6. 断层

三级浓度分带; Ag由10个单元异常组成, 异常最大值 0.77×10^{-6} 、平均值 0.314×10^{-9} 、衬度3.14, 具有三级浓度分带; Pb由9个单元异常组成, 异常最大值为 286×10^{-6} 、平均值 125×10^{-6} 、衬度2.84, 具有三级浓度分带; Sn由9个单元异常组成, 异常最大值为 92.6×10^{-9} 、平均值 22.9×10^{-9} 、衬度4.57, 具有三级浓度分带; Au由2个单元异常组成, 异常最大值为 3×10^{-9} 、平均值 3×10^{-9} 、衬度1.31, 具有一级浓度分带; 由此可见Cu、Pb、Zn、Ag、Sn异常强度高、规模大、三级浓度分带清晰, 其余元素为伴生元素(表5)。

在检查区内开展1/1万岩石地球化

学剖面测量, 从图5中可以看出: 区内成矿元素主要为Cu、Pb、Zn, 伴生Au、Ag等, 其中Cu最高含量达 666×10^{-6} , Pb最高含量达 1600×10^{-6} , Zn元素最高含量

表5 果夏弄异常区主要元素特征参数统计表
Tab.5 Anomaly statistics of abnormal main elements in Guoxianong area

元素	单元异常面积 / km ²	平均值	最高值	异常下限	异常衬值	面金属数量 / NAP值	浓度分带	异常点数
Sn	1.639 7	22.9	92.6	5.0	4.57	5.8561	3	9
Ag	1.741 5	0.314	0.770	0.100	3.14	3.7268	3	10
Zn	1.717 9	419.0	1230.0	133.0	3.15	3.6942	3	10
Pb	1.715 9	125.0	286.0	44.0	2.84	3.1576	3	9
Bi	1.335 5	1.71	4.08	0.70	2.45	1.9351	3	7
Cu-1	0.539 8	93.7	116.0	37.0	2.53	0.8272	2	3
W	0.450 5	3.90	3.90	3.30	1.18	0.0819	1	1
Cu-2	0.442 1	43.6	47.1	37.0	1.18	0.0793	1	3
As	0.354 5	66.8	67.2	47.0	1.42	0.1494	1	2
Au	0.380 5	3.0	3.0	2.3	1.31	0.1191	1	2

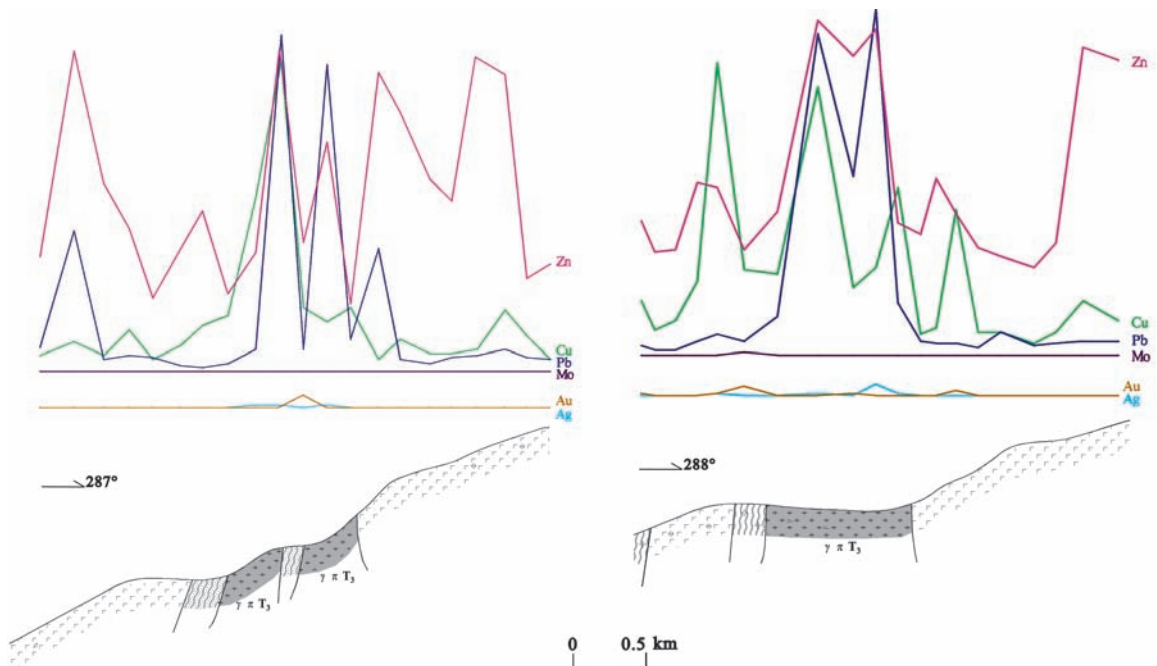


图5 果夏弄异常区岩石化学剖面折线图

Fig.5 Fracture line diagram of petrochemistry section in Guoxianong area

达 $1\ 960 \times 10^{-6}$, 具有明显的矿致异常特征。异常高值点多位于岩体内与围岩的接触带附近, 具有寻找斑岩型矿床的潜力。通过对这些异常分布范围开展矿产检查, 发现斑岩体、孔雀石化, 在此基础上开展 1/1 万地质草测和槽探工程, 在斑岩体带内确定了果夏弄铜多金属矿。

矿区出露地层主要为二叠系昂杰组 (P_{1a}) (图 6)。昂杰组在检查区内广泛分布, 主要岩性为黑灰色、青灰色粉砂质板灰绿色玄武岩透镜体, 偶含砾, 板劈理发育; 地表断裂构造不甚发育。区内侵入岩分布较少, 主要出露在检查区中南部, 印支期的花岗岩斑岩与区内铜多金属矿的形成关系最为密切, 其与昂杰组板岩的接触带内接触交代作用明显, 沿斑岩体周围形成明显的黄铁矿化带及弱黏土化带^[19-20]。

矿区主要有一条含矿带 3 条矿体, 均产于花岗岩斑岩体中, 由多条含矿黄铁矿化硅化蚀变带以及含矿花岗岩斑岩组成 (图 6, 图 7a), 由 2 条探槽控制。矿体倾向 $190 \sim 220^\circ$, 倾角 $50 \sim 70^\circ$, I 号矿带长约 180 m, 宽 4 ~ 22 m, 已圈定了 3 个矿化体, 北部 I-3 号矿体, 西部边界为 I-1 号矿体, 东部边界为 I-2 号矿体^[20-21]。

I-1 号矿体: 产于 I 号铜矿带西边界上, 矿化体由取样点探槽 GTC01 (H15 ~ H20) 控制, 出露标高

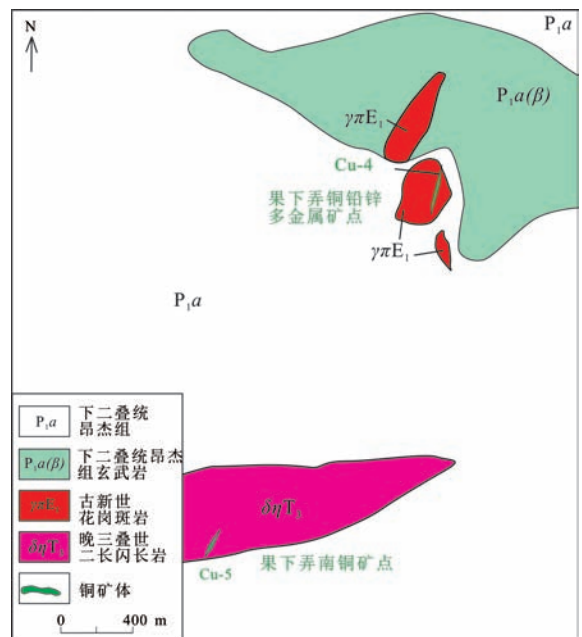


图6 果夏弄铜多金属矿区地质简图

Fig.6 Simplified geological map of the guoxianong copper -wolframite polymetallic deposit

5 535 m, 控制长 80 m (未控边), 真厚度 7.37 m, 倾向 208° , 倾角 58° 。矿化体由含矿黄铁矿化石英脉蚀变带和铜矿化花岗岩斑岩构成, 西部围岩为弱矿化的花岗岩斑岩, 围岩品位为 $\text{Cu } 0.02\% \sim 0.03\%$ 。矿化体品位 $\text{Cu } 0.1\% \sim 0.45\%$, 平均品位 $\text{Cu } 0.15\%$ 。I-2 号矿体: 产于 I 号铜矿带东边界上, 矿体由取样点有探槽

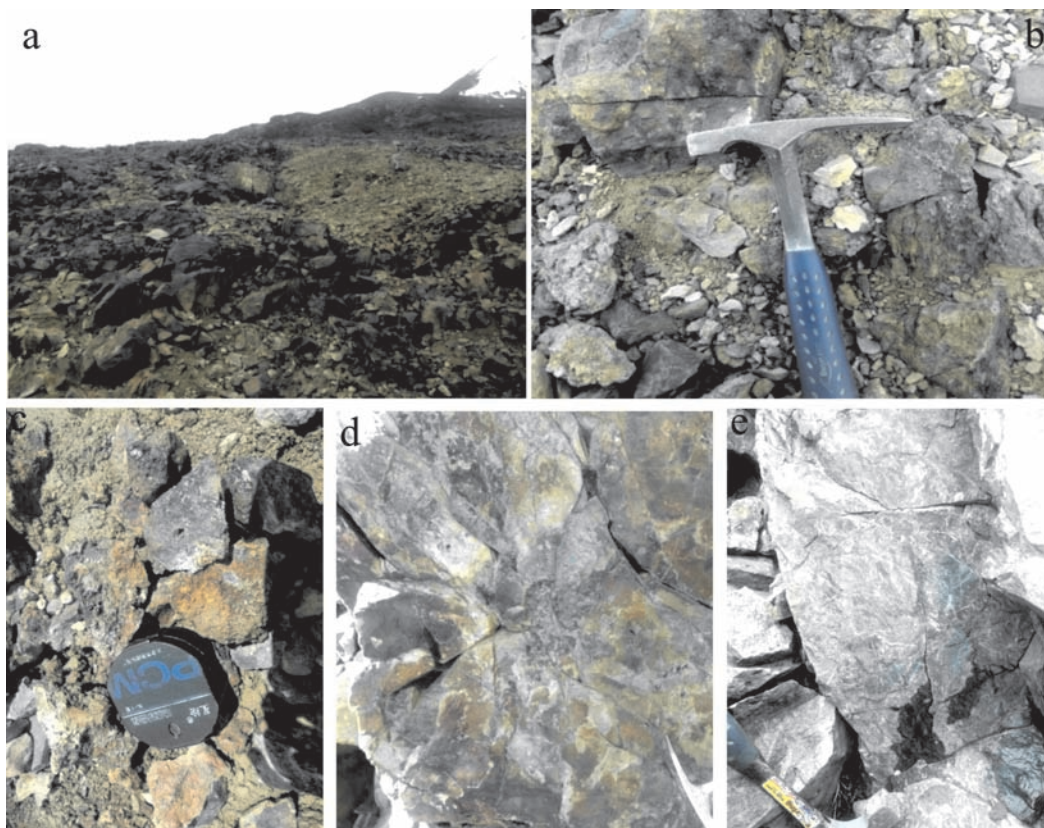


图7 野外典型矿化现象

Fig.7 Typical mineralizing photograph of Guoxianong area

a.果夏弄矿区地表黄铁矿化、褐铁矿化蚀变特征;b.果夏弄矿区铜矿体中的致密块状矿石;c.果夏弄矿区探槽揭露的铜矿体;d.果夏弄矿区铜矿体中的铜矿石露头及产出特征;e.果夏弄铜矿化体矿化露头

GTC01 (H54~H55)控制,控制长 60~80 m(未控边),真厚 3.53 m,平均厚 1.7 m,倾向 15~35°,倾角 45~70°。矿体由孔雀石化花岗斑岩构成,东部围岩为弱矿化的玄武岩及变质砂岩。矿化体品位 Cu 0.14%~0.37%,平均品位 Cu 0.26%。I-3号矿体:产于 I 号铜矿带北部靠东边界上,矿体由取样点有探槽 GTC02(H1~H5)控制,控制长 80 m(未控边),真厚 8.48 m,平均厚 1.4 m,倾向 290~340°,倾角 50~75°。矿体由黄铁矿化石英脉蚀变破碎带构成,东部围岩为弱矿化的玄武岩。矿化体品位 Cu 0.15%~0.46%,平均品位 Cu 0.27%。围岩蚀变蚀变特征区出露在检查区的中北部,花岗斑岩岩体附近,总体呈不规则椭圆状,与花岗斑岩出露位置基本一致,出露面积约 0.5 km²。蚀变组合有黄铁矿化、角岩化、硅化带;该带中金属硫化物较强,主要为黄铁矿、弱黄铜矿(图 8a,图 8b,图 8c),主要出露在花岗斑岩中,表现为浸染状、星点状黄铁矿在岩石及岩石裂隙中分布。角岩化带:出露于花岗斑岩体外侧,出露面积 0.3~0.5 km²,大致呈环带状沿岩体外侧分布。硅化

主要发育在花岗斑岩岩体、变质石英砂岩的次级裂隙中,呈不规则的面状。并伴有不同程度的黄铜矿化以及和黄铁绢英岩化共生。泥化范围较小,在花岗斑岩中可见但较弱,仅仅在花岗斑岩中的长石中见到,为轻微的褪色。以及在花岗斑岩顶部岩见到,因为泥化和淋滤的原因,岩石褪色成灰白色产出^[21-23]。

通过工作初步探求的 I-1、I-2、I-3 矿体 334 铜矿石量总计 20.5 万 t,Cu 金属量 800 t,并伴生铅锌,达小型规模。尽管目前勘查程度低,通过进一步追索和控制,有望达到中大型矿床规模。

4.3 果夏弄南铜多金属矿

果夏弄南异常区位于研究区的西南部,水系沉积物测量发现以 Cu、Pb、Zn 为主伴生有 Au、Ag、Mo 等元素的综合异常综合异常 HS'乙₂(图 8)。其中 Cu、Au、Ag、Mo 异常相关性好,浓积中心明显、含量高;Cu、Au 异常呈高背景,位于闪长体的中心部位,Mo 异常浓积中心位于岩体上,与 Cu 异常套和很好。Ag 异常位于晚二叠世昂杰组变质石英砂岩及晚三叠

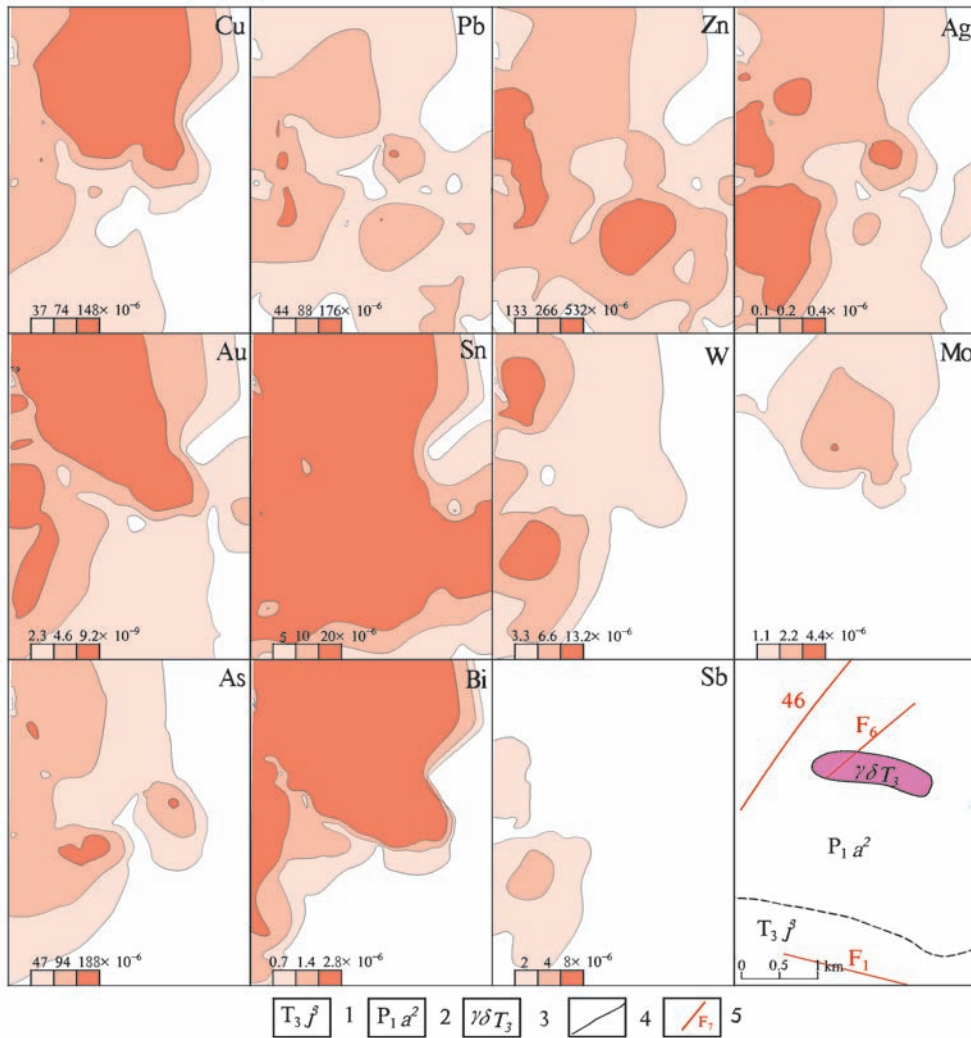


图8 果夏弄异常区水系沉积物异常剖析图

Fig.8 Anomaly analysis of stream sediment survey in Guoxianong area

1. 下三叠统江让组三段; 2. 上二叠统昂杰组二段; 3. 印支期闪长岩; 4. 地质界线; 5. 断层

世闪长岩中; Pb、Zn异常则以晚三叠世闪长岩为中心,大致围绕该中心向北、西方向出现局部高背景变化。总体该矿区是以Cu、Au、Mo异常为主,伴有Pb、Zn、Ag异常的一套元素组合,Cu、Au、Mo异常与闪长岩体位置基本重叠;横向变化则是以岩体为中心,以一套中高温元素组合(Cu、Mo)向外分散,过渡至以一套中低温元素组合(Pb、Zn、Ag),形成中高温-中低温的分布规律。其中Cu异常面积6.1 km²,最高值799×10⁶,异常下限62×10⁶; Au异常面积11.5 km²,最高值370×10⁶,异常下限4.3×10⁹, Mo异常面积4.7 km²,最高值55×10⁶,异常下限1.8×10⁶; Ag异常面积5.2 km²,最高值7.22×10⁶,异常下限0.2×10⁶,异常具有较为明显的矿致异常特征。异常高值点多位于闪长岩岩体内及与昂杰组接触带处。通过对这些异常开展矿产检查,在闪长岩体内的SN向断裂破碎带内

发现了较强的孔雀石化,再通过1/1万地质测量和槽探工程,在闪长岩岩体内断裂破碎带中发现了果夏弄南铜多金属矿。

矿区出露主要地层为二叠系昂杰组(P_{1a})、三叠系江让组(T_{3j})和第四系冲洪积物(Q) (图8)。昂杰组(P_{1a})分布于矿区中北部,岩性主要为粉砂质板岩;江让组(P_{1a})分布于矿区的北侧,岩性主要为灰岩、变质石英砂岩;坡积物(Q_{4al})主要分布于较平缓的斜坡中,由次棱角状岩石碎块和腐植质土层组成。矿区中部发育NE向断裂构造,其中NE向主断裂长约700 m,北部延出矿区;区内晚三叠世岩浆活动强烈,在中部发育晚三叠世中细粒花岗闪长岩。

矿区以发现一条铜多金属矿化体Ⅱ-1。Ⅱ-1铜矿化体位于矿区中北部,呈NE向展布,主要赋存于花岗闪长岩岩体内的次级断裂构造中(图8,图9d)。

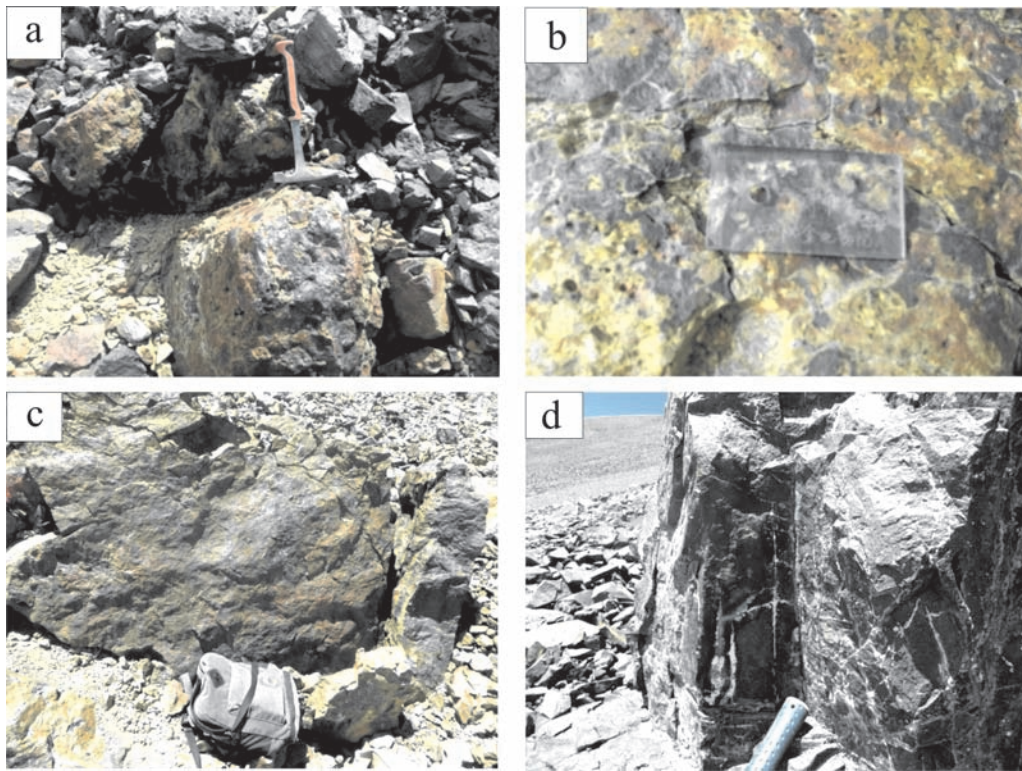


图9 野外典型矿化现象

Fig.9 Typical mineralizing photograph of Guoxianong area

a. 果夏弄南矿区地表黄铁矿化、褐铁矿化蚀变特征; b. 果夏弄南矿区铜矿体中的致密块状矿石; c. 果夏弄南矿区探槽揭露的铜矿体; d. 果夏弄南铜矿化体矿化露头及产出特征

矿体呈扁透镜状、脉状,沿走向有膨胀狭缩等现象,长约 150 m,真厚 2.5 m。Cu 品位介于 0.56% ~ 0.92%,平均品位 0.8%,破碎带两侧花岗闪长岩普遍具弱矿化,局部达到边界品位。自然类型主要为孔雀石,呈薄膜、细脉状,可见硅化,普遍发育较强褐铁矿化(图 9a,图 9b,图 9c)。

通过工作初步探求的 II-1 矿体 334 铁矿石量为 3.5 万 t,伴生金、银,结合 II-1 矿(化)体特征,虽然目前工作程度低,但已显示了具有较好的找矿潜力。其矿床成因类型初步认为属构造热液脉型^[24]。

5 结论

(1) 将研究区内的水系沉积物地球化学异常元素组合划分为 Cu、Pb、Zn、Ag、Cd 元素组合、以 Cu、Au 为主的 W、Pb、Zn、Ag、Cd 元素组合和 Cu、Zn、Sn 为主的元素组合等 3 个组合类型,结合成矿地质条件分析,为区内综合异常圈定、寻找矿种或矿床类型指明了方向。

(2) 果夏弄南铜矿点的发现表明,在该区域上,

铜多金属矿的找矿工作上区域化探具有重要的指示作用,结合 1/1 万岩石化学剖面测量及 1/1 万地质填图草测,是松多地区寻找“果夏弄”铜矿点有效方法组合。

(3) 在 1/20 万区域扫面基础上开展的 1/5 万水系沉积物测量,可有效缩小异常范围,突出异常元素组合,明确找矿靶区,可为下一步找矿提供方向。

致谢: 本文撰写过程得到中国地质调查局黄勇高级工程师、曹华文高级工程师、梁维高级工程师,四川冶金地质勘查院袁剑飞高级工程师、周维德高级工程师、魏宇高级工程师、邓学国高级工程师、兰双双工程师和王治颖工程师的帮助!

参考文献:

- [1] 李光明,刘波,丁俊,等. 西藏冈底斯成矿带及邻区铜铁多金属矿成矿规律与成矿预测[M]. 北京:地质出版社,2011, 1-270.
- [2] 曹圣华,王卓,楼法生,等. 西藏冈底斯中部铁铜矿成矿规律及找矿远景分析[J]. 地质学报, 2014, 88(11): 2108-

- 2118.
- [3] 杜保峰,杨长青,柴建玉,等.水系沉积物测量在西藏春哲地区找矿效果[J].中国地质,2018,45(3):604-616.
- [4] 潘桂棠,李兴振,王立全,等.青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J].地质通报,2002,21(11):701-707.
- [5] 潘桂棠,肖庆辉,陆松年,等.中国大地构造单元划分[J].中国地质,2009,36(1):1-28.
- [6] 耿全如,潘桂棠,王立全,等.班公湖-怒江带-羌塘地块特提斯演化与成矿地质背景[J].地质通报,2011,30(8):1261-1274.
- [7] Shi R, Yang J, Xu Z, Qi X. The Bangong Lake ophiolite (NW Tibet) and its bearing on the tectonic evolution of the Bangong-Nujiang suture zone[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2008, 32(5): 438-457.
- [8] 李光明,段志明,刘波,等.西藏班公湖-怒江结合带北缘多龙地区侏罗纪增生杂岩的特征及意义[J].地质通报,2011,30(8):1256-1260.
- [9] 李胜荣,肖润,周肃,等.西藏改则地区金成矿作用[J].矿床地质,2005,24(1):1-14.
- [10] 曲晓明,范淑芳,马旭东,等.西藏班公湖-怒江成矿带上的碰撞后铜矿床[J].矿床地质,2015,34(3):431-448.
- [11] 唐菊兴,张志,李志军,等.西藏尕尔穷-嘎拉勒铜金矿集区成矿规律、矿床模型与找矿方向[J].地球学报,2013,34(4):385-394.
- [12] 韩吟文,马振东.地球化学[M].北京:北京地质出版社,2003:46-47.
- [12] 刘洪,黄瀚霄,李光明,等.因子分析在藏北商旭金矿床地球化学勘查中的应用[J].中国地质,2015,42(4):1126-1136.
- [13] 刘洪,李光明,张智林,等.西藏改则县木如地区岩屑地球化学分析[J].金属矿山,2014,43(11):105-108.
- [14] 赵元艺,崔玉斌,吕立娜,等.西藏舍索砂卡岩型铜多金属矿床年代学与地球化学特征及意义[J].岩石学报,2011,(7):2132-2142.
- [15] 时艳香,纪宏金,陆继龙,等.水系沉积物地球化学分区的因子分析方法与应用[J].地质与勘探,2004,40(5):73-76.
- [16] 赵鹏大.定量地质学理论与方法[M].北京:地质出版社,2004,178-180.
- [17] 赵少卿,魏俊浩,高翔,等.因子分析在地球化学分区中的应用:以内蒙古石板井地区1/5万岩屑地球化学测量数据为例[J].地质科技情报,2012,31(2):27-34.
- [18] 刘洪.河南罗山金城金矿床成因与深部外围预测[D].武汉:中国地质大学,2012:1-100.
- [19] 刘洪,吕新彪,李春诚,等.河南罗山金城金矿床成矿条件与深部找矿前景分析[J].地质与勘探,2013,(2):265-273.
- [20] 刘洪,李光明,黄瀚霄,等.西藏冈底斯成矿带首次发现晚三叠世斑岩型铜矿[J].地球科学,2019,(51):11-21.
- [21] 黄瀚霄,张林奎,刘洪,等.西藏冈底斯成矿带西段矿床类型、成矿作用和找矿方向[J/OL].地球科学,2019,doi:10.3799/dqkx.2018.364.
- [22] 李奋其,刘伟,张士贞,等.冈底斯南部打加错地区鸭洼基性杂岩的年代学及地球化学特征.地质学报,2012,86(10):1592-1603.
- [23] 刘洪,张林奎,黄瀚霄,等.冈底斯西段鲁尔玛斑岩型铜矿成矿流体性质及演化[J/OL].地球科学,2019,doi:10.3799/dqkx.2018.370.

Application of stream sediments to prospecting in the Songduo area, Tibet

LYU Meng-Hong^{1,2}, LIU Hong^{1*}, HUANG Han-xiao¹, LI Guang-ming¹, XIE Hui², ZENG Pan²

(1.Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081,China;

2.Sichuan Institute of Metallurgical Geology & Exploration Survey, Chengdu 610051, China)

Abstract: Songduo area located in Angren-Nanmulin Fe-Cu-Mo metallogenic belt belongs to the Gangdise-Tanggula Mesozoic and Cenozoic Cu-Mo-Au-Fe metallogenic belt exhibiting good prospect for exploration. It is indicated that the area is a favorable metallogenic area for copper, lead, zinc, silver, tungsten, molybdenum and other minerals according to 1/50000 steam sediment survey. Three types of elements combinations including Cu-Pb-Zn-Ag-Sn, Cu-Au-W-Pb-Zn-Ag-Cd and Cu-Zn-Sn are divided based on the correlation and spatial distribution characteristics of elements, and the main indicator elements types. Meanwhile, types of ore and deposits in each combination are also been pointed out, which is characterized by Copper polymetallic porphyry type and tectonic hydrothermal type. Several ore spot such as Guoxianong copper spot and South Guoxianong copper spot were found according to anomalous verification. It is not only a good indicator for the prospecting in this area, but also shows that the study area has a good prospecting potential.

Key words: stream sediments survey; elements combination; Guoxianong; prospecting direction