

doi: 10.12029/gc20180313

杜保峰, 杨长青, 柴建玉, 白国典, 李雯雯, 宁福正. 2018. 水系沉积物测量在西藏春哲地区找矿效果[J]. 中国地质, 45(3): 604–616.

Du Baofeng, Yang Changqing, Chai Jianyu, Bai Guodian, Li Wenwen, Ning Fuzheng. 2018. The effect of stream sediment survey for prospecting in Chunzhe area, Tibet[J]. Geology in China, 45(3): 604–616(in Chinese with English abstract).

水系沉积物测量在西藏春哲地区找矿效果

杜保峰^{1,2} 杨长青¹ 柴建玉¹ 白国典¹ 李雯雯³ 宁福正¹

(1. 河南省地质调查院, 河南 郑州 450001; 2. 河南省金属矿产成矿地质过程与资源利用重点实验室, 河南 郑州 450001; 3. 河南省地质矿产勘查开发局第一地质勘查院, 河南 郑州 450001)

摘要: 西藏春哲地区位于冈底斯—念青唐古拉成矿带中的青都—则学铁铜多金属次级成矿带南部, 具有较好的找矿前景。1:5 万水系沉积物测量结果显示, 该区是铅、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, 划分出以 Pb、Zn、Cd、Ag 元素为主、以 W、Mo、Bi 元素为主和以 As、Sb 元素为主的 3 类元素组合异常, 并指出了各类组合异常内寻找的矿种和矿床类型, 即矽卡岩型铁铜多金属矿和构造热液型铅锌矿。通过异常查证, 发现了恰我铁钨多金属矿、勒翁铁多金属矿等 2 个中型矿床和多处矿点, 找矿成果显著。其中, 恰我铁钨共生矿为区域内首次发现的新类型矿产, 对该区找矿具有较好的指导意义, 亦显示研究区具有较好的找矿潜力。

关键词: 水系沉积物测量; 找矿效果; 异常元素组合; 春哲地区; 西藏

中图分类号: P622^{+.3} 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2018)03-0604-13

The effect of stream sediment survey for prospecting in Chunzhe area, Tibet

DU Baofeng^{1,2}, YANG Changqing¹, CHAI Jianyu¹, BAI Guodian¹, LI Wenwen³, NING Fuzheng¹

(1. Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou 450001 Henan, China; 2. Henan Key Laboratory of Metal Mineral Mineralization Geological Processes and Resource Utilization, Zhengzhou 450001 Henan China; 3. No.1 Institute of Geo-Exploration of Henan Geology and Mineral Bureau, Zhengzhou 450001 Henan, China)

Abstract: The Chunzhe area is located in the south of the Qingdu–Zexue iron–copper polymetallic secondary metallogenic belt in the Gangdise–Nyainqentanggula metallogenic belt, and has a good ore–searching prospect. 1:50000 stream sediment survey results show that Chunzhe area should be conducive to enrichment and mineralization of lead, zinc, silver, tungsten, molybdenum. On the basis of the correlation of elements, spatial distribution characteristics of various element anomalies and main indicator elements of inferred deposit types, the authors hold that there exist three types of element anomaly associations i.e., Pb, Zn, Cd, Ag association, W, Mo, Bi association and As Sb association. The authors also pointed out the minerals or deposit types reflected by these associations of anomalies, i.e., skarn type iron–copper polymetallic deposits and tectonic hydrothermal type lead–zinc deposits. Based on follow–up anomaly investigation, the authors obtained remarkable achievements as shown be the discovery of two

收稿日期: 2016–07–16; 改回日期: 2016–09–30

基金项目: 中国地质调查局项目(1212011086055、12120114082101)联合资助。

作者简介: 杜保峰, 男, 1985 年生, 硕士, 工程师, 主要从事地质矿产勘查、化探工作; E-mail: dubaofeng517@163.com。

medium-sized deposits (Qiawo iron-tungsten polymetallic deposit and Leweng iron polymetallic deposit) and many ore spots. In addition, the Qiawo deposit with iron-tungsten association is a new mineralization type in this area, so it has good guiding significance for prospecting and also shows that this area has good prospecting potential.

Key words: stream sediment survey; prospecting effect; anomaly association; Chunzhe area; Tibet

About the first author: DU Baofeng, male, born in 1985, master, engineer, mainly engages in the study of geology and mineral resources; E-mail: dubaofeng517@163.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey Program (No. 12011086055 and No. 12120114082101).

1 引言

西藏春哲地区行政区划隶属于西藏谢通门县,南距县城约80 km,处于冈底斯—念青唐古拉中生代—新生代铜铅锌钨铬铁金银成矿带中的青都—则学铁铜多金属次级成矿带(李光明等,2011),区域上已分布有纳如松多铅锌矿、斯弄多铅锌矿、恰功铁矿、加多捕勒铁铜矿等大中型矿床(谢玉玲等,2009; Xie et al., 2009; 李应栩等,2011; 于玉帅等,2011; 纪现华等,2012, 2014; 王银川等,2012; 钱建平等,2013; 刘英超等,2015),矿产资源较丰富,找矿前景良好(唐菊兴等,2009, 2014; 曹圣华等,2014)。

近10余年来,在地质大调查项目的支持下,在高原、半干旱山区等特殊景观区广泛开展的1:5万水系沉积物测量工作,其在实现地质找矿突破方面的作用愈加凸显(崔晓亮等,2011; 李玉芹等,2011; 杨少平等,2011; 2015; 戴慧敏等,2012; 奚小环等,2012; 王学求,2013; 席明杰等,2013; 景宝盛等,2014; 宋贺民等,2014; 赵武强等,2014; 周斌等,2014; 胡西冲等,2015; 柯贤忠等,2015; 张运强等,2015)。1:50万水系沉积物异常显示,春哲地区异常元素组合以Pb、Zn、W、Ag、Cu为主,伴生Cd、As、Sb、Sn、Bi、Mo等,具有寻找铅、锌、银、钨和铜的找矿前景。2010年以来,河南省地质调查院在该区开展1:5万水系沉积物地球化学测量,圈定出一批化探异常,并对主要异常开展查证和工程揭露,新发现2个中型矿床和多处矿点,找矿成果显著。笔者以恰我铁钨多金属矿、勒翁铁多金属矿和嘎弄来铅锌银矿点为例,阐述1:5万水系沉积物地球化学特征分析、异常筛选与查证及其找矿效果,以资业内同行参考交流。

2 地质概况

研究区在大地构造位置上处于冈底斯—喜马拉雅

造山系拉达克—冈底斯—伯舒拉岭弧盆系的隆格尔—工布江达复合岛弧带南部(潘桂棠等,2013)。区内出露地层主要为石炭—二叠系的一套海相碎屑岩建造和碳酸盐岩建造,其上多被大面积的古近系林子宗群陆相火山岩建造所覆盖(图1)。石炭系永珠组(C_y)主要由石英砂岩和钙质粉砂岩组成;二叠系昂杰组(P_a)为粉砂岩和泥质粉砂岩,下拉组(P_x)为微晶灰岩,均已发生轻微变质;另有很少量白垩系设兴组(K_s)泥质粉砂岩和泥晶灰岩分布于区内南部;林子宗群年波组(E_n)和帕那组(E_p)主要由中酸性火山碎屑岩夹少量熔岩和砂岩组成”^①。

研究区褶皱不甚发育,主要出现在古生代地层中,轴线走向近EW。区内断裂较发育,主要为脆性断裂构造,按走向可以分为近EW向、NW向、NE向及近SN向等4组断裂,其中近EW向断裂形成时间最早;NW向断裂在区内最为发育,而且规模较大,横贯全区,具有多期活动特点,构成区内的主控矿构造;而NE向断裂规模虽然较小,其与NW向断裂交汇处往往是区内铁铅锌矿化体产出的有利位置;近SN向断层多表现为正断作用特点,一般切割河流阶地,为本区最晚一期断层作用。区内喜山期中酸性侵入岩较发育,约占研究区面积的12%,侵入岩类型以二长花岗岩为主,另有一些石英二长岩和花岗闪长岩类,以及少量具斑状或似斑状结构的浅成小岩株(脉)产出,其中与矿化有关的侵入岩主要为(斑状)黑云二长花岗岩。

3 样品采集与分析

本次水系沉积物测量执行1:5万水系沉积物测量规范,平均采样密度为4.32个/km²,采样介质主要为淤泥和粉砂。结合区内地球化学景观,采样点基本布置在一级水系的末端和分支水系口上,采样粒

级为-40目,采样质量过筛后不小于200 g。本次野外调查面积1764 km²,采集水系沉积物样品7031件,其中重复样164件,异常查证阶段采集土壤/岩石等各类样品12730件。

样品由国土资源部成都矿产资源监督检测中心测试,将样品磨碎加工至200目后,采用电感耦合等离子体质谱法、原子荧光光谱法、发射光谱法等多元素分析方法,分析Cu、Pb、Zn、Cd、W、Mo、Bi、Ba、As、Sb、Hg、Ag、Sn、Au等14种元素,共插入288件国家一

级水系沉积物标准物质与样品同步分析,各分析元素的标准样合格率为100%,密码抽查平均合格率为97.5%,报出率均不低于97%,异常样品抽查合格率均高于95%,符合相关测试质量管理规范要求。

4 地球化学特征

4.1 元素富集与变异特征

由表1可知,研究区Pb、Cd、Bi、Ag、Zn、W、Sb、As等浓集克拉克值均大于1.2,为明显区域高背景

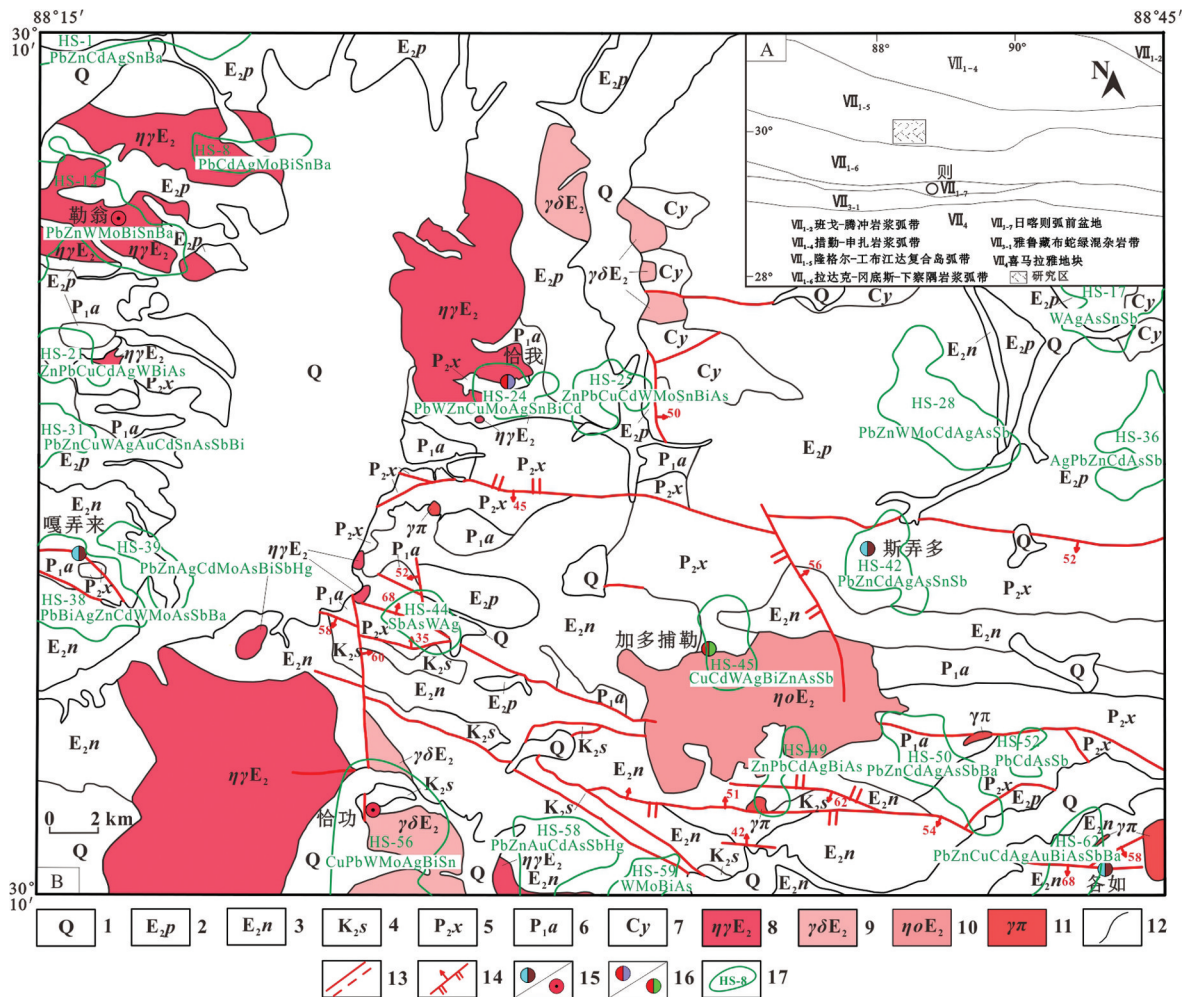


图1 春哲地区大地构造位置(A)(据潘桂堂等,2013修改)及地质矿产简图(B)(据河南省地质调查院,2014[●]修改)
 1—第四系;2—古近系帕那组;3—古近系年波组;4—上白垩统设兴组;5—中二叠统下拉组;6—下二叠统昂杰组;7—石炭系永珠组;
 8—喜山期二长花岗岩;9—喜山期花岗岩闪长岩;10—喜山期石英二长岩;11—花岗斑岩;12—地质界线;13—断层及推测断层;14—逆断层;
 15—铅锌矿/铁矿;16—铁钨矿/铁铜矿;17—水系沉积物异常

Fig. 1 Tectonic location(A)(modified from Pan Guitang et al.,2013) and Sketch map showing geology and mineral resources of Chunzhe area(B)

(modified from Henan Institute of Geological Survey, 2014[●])

1—Quaternary; 2—Pana Formation of Paleocene Eocene; 3—Nianpo Formation of Paleocene Eocene; 4—Shexing Formation of Upper Cretaceous; 5—Xiala Formation of Middle Permian; 6—Xiala Formation of Lower Permian; 7—Yongzhu Formation of Carboniferous; 8—Monzonitic granite of Eocene; 9—Granodiorite of Eocene; 10—Quartz monzonite of Eocene; 11—Granite porphyry; 12—Geological boundary; 13—Fault; 14—Reverse fault; 15—Lead-zinc deposit or iron deposit; 16—Iron-tungsten deposit or iron-copper deposit; 17—Stream sediment geochemical anomaly

表1 春哲地区水系沉积物地球化学特征参数
Table 1 Geochemical parameters based on stream sediment survey in Chunzhe area

元素	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	W	Sn	Hg	Mo	Bi	Ba	Cd	As	Sb
最大值	33.2	13.6	1089	7919	5574	684	814	0.374	166	408	1961	19.9	716	9.59
最小值	0.47	0.033	1.01	3.65	9.81	0.3	0.93	0.003	0.2	0.05	35.4	0.026	0.94	0.191
平均值	1.56	0.116	13.84	61.24	89.82	4.37	4.76	0.024	1.46	0.89	448	0.22	18.99	1.22
标准偏差	0.87	0.27	18.39	170.7	120.3	10.22	10.99	0.02	2.63	5.42	121.7	0.51	17.91	0.764
变异系数 C_v	0.56	2.32	1.33	2.79	1.34	2.34	2.31	0.82	1.8	6.09	0.27	2.29	0.94	0.76
冈底斯地区背景值	4.5	0.098	27.3	31.8	77.8	3.54	3.23	0.021	1.43	0.38	470	0.11	20.6	1.0
富集系数 K	0.35	1.18	0.51	1.93	1.15	1.23	1.47	1.14	1.02	2.34	0.95	2.00	0.92	1.22
上陆壳克拉克值	1.8	0.05	25	20	71	2	5.5	0.056	1.5	0.127	550	0.098	1.5	0.2
浓集克拉克值	0.87	2.32	0.55	3.06	1.27	2.19	0.87	0.43	0.97	7.01	0.81	2.24	12.66	6.10
成矿有利度 M_a	0.19	2.75	0.67	5.37	1.55	2.89	3.40	0.94	1.84	14.26	0.26	4.58	0.87	0.93

注:变异系数=标准偏差/平均值;富集系数=平均值/冈底斯地区背景值;成矿有利度系数=变异系数×富集系数;Au含量单位为 10^{-9} ,其余元素为 10^{-6} ;冈底斯地区背景值引自李光明等(2011),上陆壳克拉克值引自Taylor(1995)。

分布,区域异常分布特征显著;Mo、Au、Sn、Ba浓集克拉克值在0.8~1,属正常背景分布,区域异常特征不明显;Cu、Hg浓集克拉克值小于0.6,为区域贫乏分布。另相对于冈底斯地区,本区Mo、As、Hg、Ba呈正常分布,Ag、Zn、W、Sn、Sb呈富集分布,Pb、Cd、Bi呈强富集分布,Au、Cu呈贫化分布。由各元素变异系数值来判断元素在地质体内的分异程度:Pb、Bi呈极强分异型,Cd、Ag、Sn、W、Cu、Zn、Mo呈强分异型,Hg、As、Sb、Au呈弱分异型,Ba呈均匀型。以上特征反映除Ba元素外,其他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。

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(蒋敬业等,2006)。从地球化学异常的成矿性评价及其可操作性出发,笔者引用元素的“成矿有利度系数”概念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(M_a)为元素富集系数(K)与变异系数(C_v)的乘积,数学表达式为: $M_a = K \times C_v$,该数值越大,元素的成矿可能性越大(周斌等,2014)。表1为各元素的 M_a 值,可以看出Pb、Ag、W、Zn、Mo等元素成矿有利度系数高,表明本区是铅、锌、银、钨、钼等富集

成矿的有利地区。

4.2 区域元素组合特征

依据水系沉积物元素含量数据进行了R型聚类分析,得到聚类分析谱系图(图2)。结合研究区实际情况,在相关系数0.38水平上,将各元素大致分为三组(Ba、Au与其他元素关系不密切):第一组为Pb-Zn-Cd-Ag组合,其中Pb、Zn、Cd关系更为密切,为一套典型的中低温热液元素组合,一般与构造或岩浆活动有关;第二组为W-Mo-Bi-Sn-Cu组合,其中W与Mo关系较为密切,Cu与Bi、Sn等元素较为密切,为一组中高温热液元素组合,一般与岩浆活动有关;第三组为As-Sb-Hg组合,主要为一

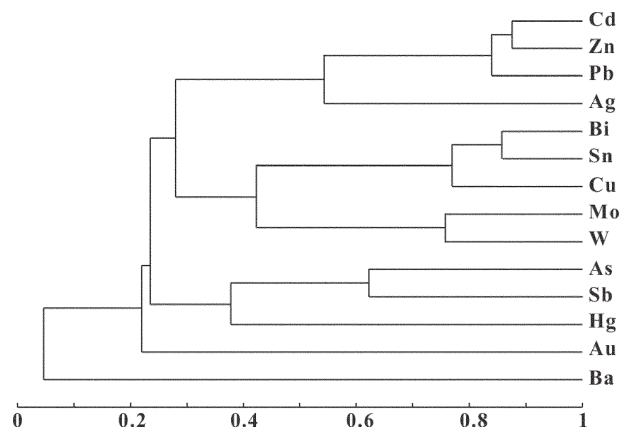


图2 春哲地区14种元素R型聚类分析谱系图
Fig.2 Pedigree chart of R-type clustering analysis of fourteen elements in Chunzhe area

套亲硫元素组合,反映与低温热液活动相关的地球化学特征,多与断裂构造活动有关。

4.3 异常元素组合特征

依据区域元素组合特征、元素异常空间分布和推断矿床类型的主要指示元素,将研究区异常组合划分为3类:以Pb、Zn、Cd、Ag元素为主的异常组合,以W、Mo、Bi元素为主的异常组合和以As、Sb元素为主的异常组合,这3类组合异常的分布具有一定的规律性。

以Pb、Zn、Cd、Ag元素为主的异常组合:这类元素异常广泛展布在研究区内(图1),主要分布在古近系林子宗群火山岩、石炭系或NW-NWW向断裂内,多伴生有W、Mo、Cu、As、Bi、Sb等元素异常,尤其是与喜山期侵入岩体相邻处,异常元素种类复杂。据此推测该组元素异常可能发育的矿床类型为陆相火山岩型、构造热液型和矽卡岩型铅锌(银)多金属矿,其中区内斯弄多构造热液型铅锌矿床即具有此特征。

以W、Mo、Bi元素为主的异常组合:这类元素异常主要展布在研究区内中部和南部(图1),主要分布于喜山期中酸性侵入岩体内或与石炭纪地层接触处周围,多伴生有Pb、Zn、Bi、Cu、As、Sn等元素异常。据此推测该组元素异常可能发育的矿床类型为矽卡岩型和斑岩型钨钼多金属矿,区内的恰功矽卡岩型铁矿床和加多捕勒矽卡岩型铁铜多金属矿床即具有此特征。

以As、Sb元素为主的异常组合:这类元素异常零星展布在研究区内北部和南部(图1),主要沿NW-NWW向断裂构造和近SN向断裂构造分布,多与铅锌银元素分布基本一致,其主要指示构造热液型多金属矿的存在。

5 异常查证与找矿效果

研究区内共圈定各类水系沉积物综合异常62处。本次结合成矿地质条件、遥感异常、已有矿床类型等特征,筛选出具有较好找矿前景的异常15处部署开展异常查证,在其中的恰我、勒翁和嘎弄来3个异常区取得了显著找矿效果。

5.1 异常查证方法概述

在1:5万水系沉积物异常区部署的异常查证工作以矿产检查路线调查、土壤地球化学剖面测量和

地表槽探为主,部分矿化较好地段开展1:1万地质草测。矿产检查路线主要选择在异常浓集中心地段进行,以追溯异常源头为主要目的,在追溯的过程中辅以信手剖面 and 地表捡块取样;地化剖面测量布设大致垂直异常长轴方向,一般选择穿过主成矿元素的异常中心地段,剖面条数以能较完整地控制异常中心为原则,布设3条以上,线距200~400 m,采样点距40 m;1:1万地质草测主要选择在已发现矿化处及其周围、水系沉积物异常范围内,用以了解异常区地质条件及矿化体地表延伸展布特征;在发现一定的地表矿化信息后,进行稀疏槽探工程揭露控制。

5.2 主要异常查证及找矿效果

5.2.1 恰我铁钨多金属矿

恰我异常区位于研究区中部,水系沉积物测量发现以Pb、W、Zn、Cu、Mo、Ag、Sn、Cd等元素为主的组合异常,异常浓集中心显著,均具内、中、外带,各元素异常套合好,且规模大、强度高、组分复杂(图3);其中Pb最高含量达 6018×10^{-6} ,W最高含量达 684×10^{-6} ,Zn元素最高含量达 4444×10^{-6} ,Cu最高含量达 1089×10^{-6} 。在异常中心开展的1:1万土壤地球化学剖面测量显示,区内成矿元素主要为Pb、W,伴生Zn、Cu、Ag等,其中Pb最高含量达 5600×10^{-6} ,W最高含量达 1310×10^{-6} ,Zn元素最高含量达 3940×10^{-6} ,Cu最高含量达 2550×10^{-6} ,Ag最高含量达 27.3×10^{-6} ,具有明显的矿致异常特征。异常高值点多位于岩体与围岩的接触带内,具有寻找恰功式矽卡岩型矿床的潜力。通过对这些异常高值点及周围开展矿产检查,首先发现矽卡岩和磁铁矿化,后经1:1万地质草测、矿化追索和槽探工程,在矽卡岩带内确定了恰我铁钨多金属矿。

矿区出露地层主要为二叠系昂杰组(P_{1a})和下拉组(P_{3x})(图4)。昂杰组分布于矿区东部和南部,主要岩性为黑灰色、青灰色粉砂质板岩,偶含砾,板劈理发育;下拉组主要分布于矿区中西部,主要为厚层-巨厚层状细晶灰岩及白云质灰岩。矿区构造不发育,地表未见断裂构造出露。区内侵入岩分布较广,主要出露喜山期的中粗粒(黑云)二长花岗岩,与区内铁钨多金属矿的形成关系最为密切,其与下拉组灰岩的接触带内接触交代作用明显,并形成矽卡岩带,带长约1500 m,宽20~250 m不等,岩

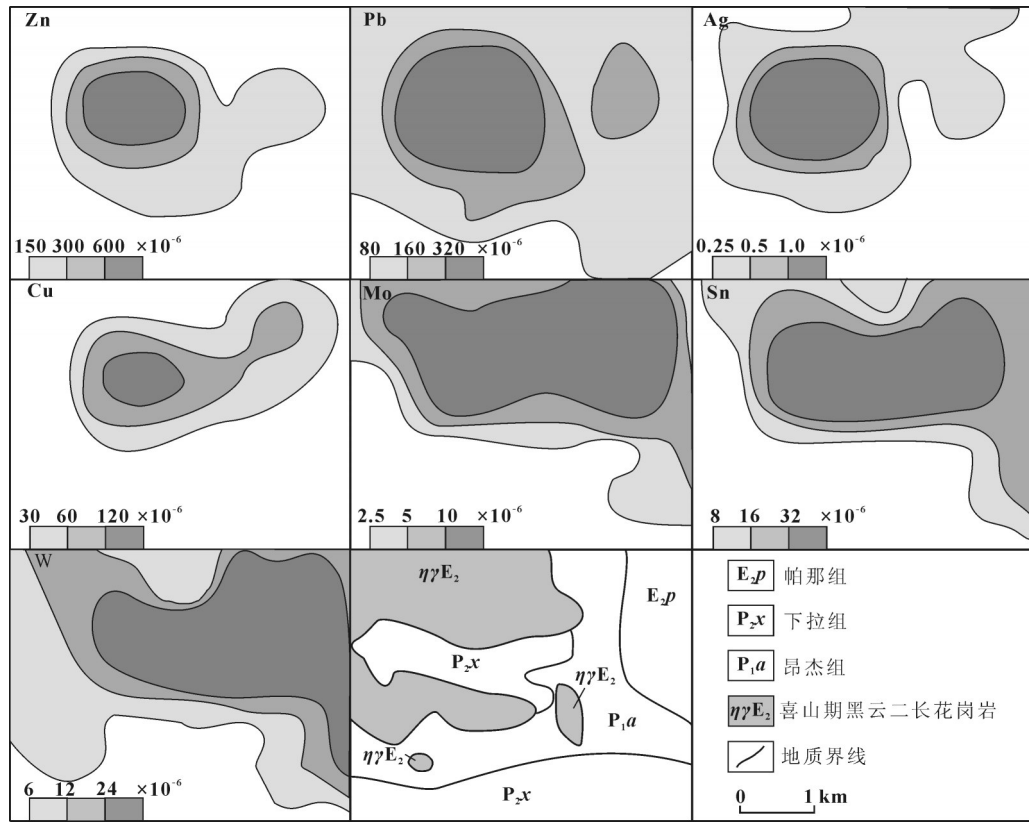


图3 恰我异常区水系沉积物异常剖析图
Fig.3 Anomaly analysis of stream sediment survey in Qiawo area

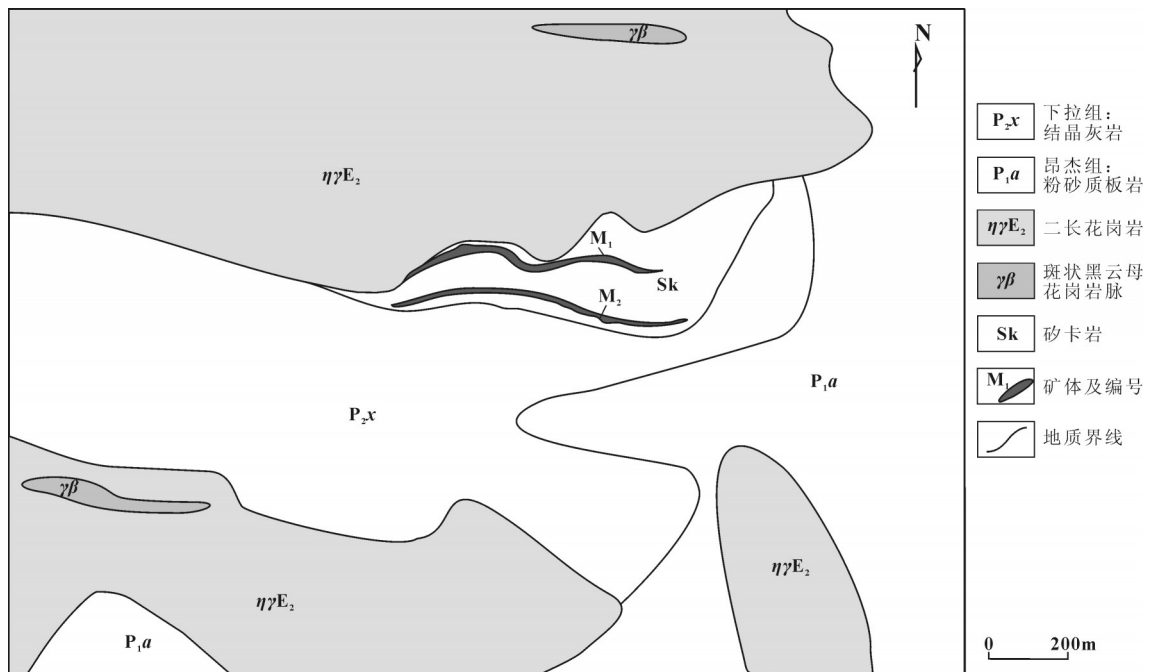


图4 恰我铁钨多金属矿区地质简图
Fig.4 Simplified geological map of the Qiawo iron-wolframite polymetallic deposit

石类型主要为透闪石矽卡岩、阳起石矽卡岩、透辉石绿帘石矽卡岩和少量石榴石矽卡岩。

矿区主要有2条铁钨多金属矿体。其中M₁矿体位于矿区中北部,呈近EW向展布,主要沿喜山期白云母二长花岗岩与下拉组灰岩接触带及矽卡岩内产出。矿体呈不规则扁透镜状,长约800 m,厚2.61~21.07 m,平均厚度9.25 m。TFe品位变化于26.32%~57.79%,平均品位47.05%;WO₃品位0.08%~1.16%,平均品位0.77%;Pb品位0.15%~0.32%,Zn品位0.19%~0.60%。矿石类型主要为致密块状矿石和浸染状矿石。矿体发育较强的磁铁矿化、少量白钨矿化以及较弱的铅锌矿化,并伴随有褐铁矿化和赤铁矿化;围岩蚀变中透闪石化、阳起石化、透辉石化、硅化、绿帘石化、绿泥石化强烈,石榴石化、方解石化较弱。

M₂矿体分布于矿区中部,与M₁矿体近平行展布,亦产于矽卡岩带内(图4,图5a)。矿体呈扁透镜状,长约900 m,厚3.40~12.58 m,平均厚度6.52 m。TFe品位变化于35.81%~51.66%,平均品位

44.86%;WO₃品位0.12%~0.16%,平均品位0.14%;Pb品位0.20%~1.36%,Zn品位0.14%~2.33%。矿石类型主要为致密块状矿石(图5b)和浸染状矿石。矿体内主要发育磁铁矿化、褐铁矿化、白钨矿化以及少量方铅矿化和锌华,围岩蚀变中透闪石化、阳起石化、硅化、绿帘石化、方解石化强烈,透辉石化和绿泥石化较弱。

通过工作初步探求的M₁和M₂矿体总计334,铁矿石量719.48万t,WO₃金属量2758.94 t,矿石较富,并伴生铅锌,达中型规模。虽然目前勘查程度低,具有良好找矿潜力,希冀通过进一步追索和深部控制,达到大型矿床规模。本次研究认为该矿床成因属典型的矽卡岩型。

5.2.2 勒翁铁多金属矿

水系沉积物测量圈出的勒翁异常区位于研究区西北部,是以Pb、Zn为主,伴生W、Mo、Sn、Bi、Ba等元素的组合异常,异常浓度分带明显,多具中、外带,各元素异常套合较好,且规模大、强度中等(图6);其中Pb最高含量达 681.0×10^{-6} ,Zn元素最高含

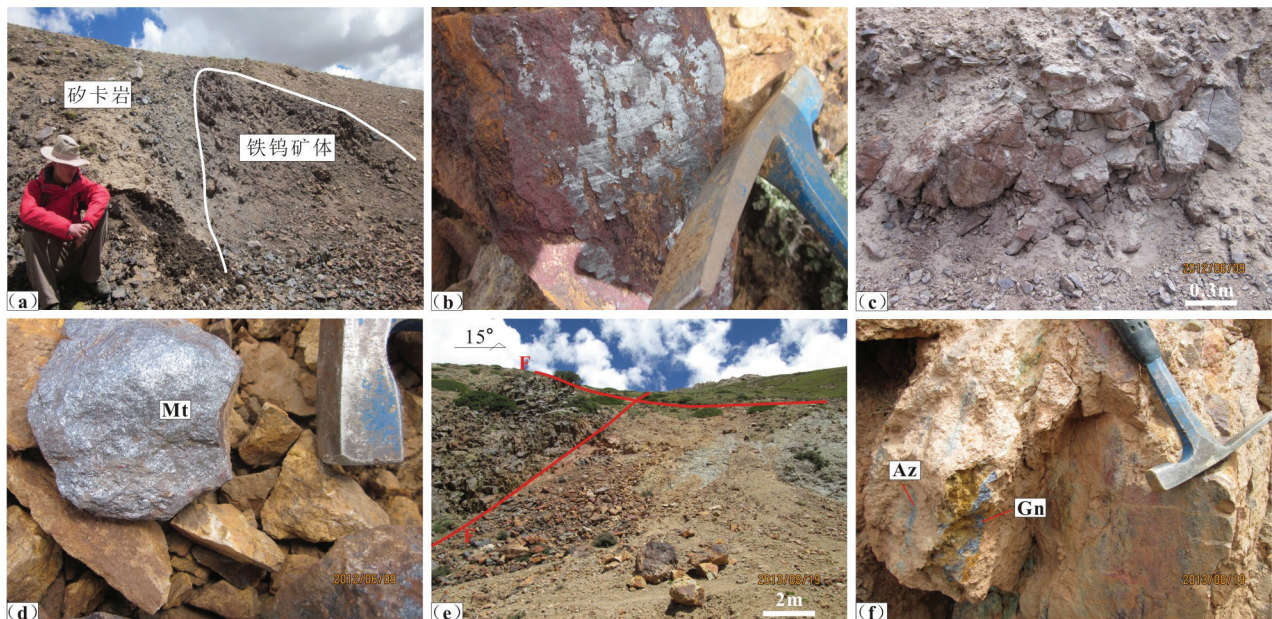


图5 野外典型矿化现象

a—恰我矿区M₂铁钨矿体赋存于矽卡岩带内;b—恰我矿区M₂铁钨矿体中的致密块状矿石;c—勒翁矿区探槽揭露的M₁铁矿体;d—勒翁矿区M₁矿体中的块状铁矿石;e—嘎弄来M₁铅锌矿化体产出特征;f—嘎弄来M₁铅锌矿化体的方铅矿化和蓝铜矿化;Mt—磁铁矿;Gn—方铅矿;Az—蓝铜矿

Fig.5 Typical mineralizing photograph of Chunzhe area

a—M₂ Fe—W orebody in the skarn zone of the Qiawo deposit; b—Compact massive iron ore of M₂ Fe—W orebody in the Qiawo deposit; c—M₁ Fe orebody revealed by trenching in the Leweng deposit; d—Massive iron ore of M₁ iron orebody; e—Output characteristics of M₁ Pb—Zn orebody in Ganolai ore spot; f—Galena and azurite of M₁ Pb—Zn orebody in the Ganolai ore spot; Mt—Magnetite; Gn—Galena; Az—Azurite

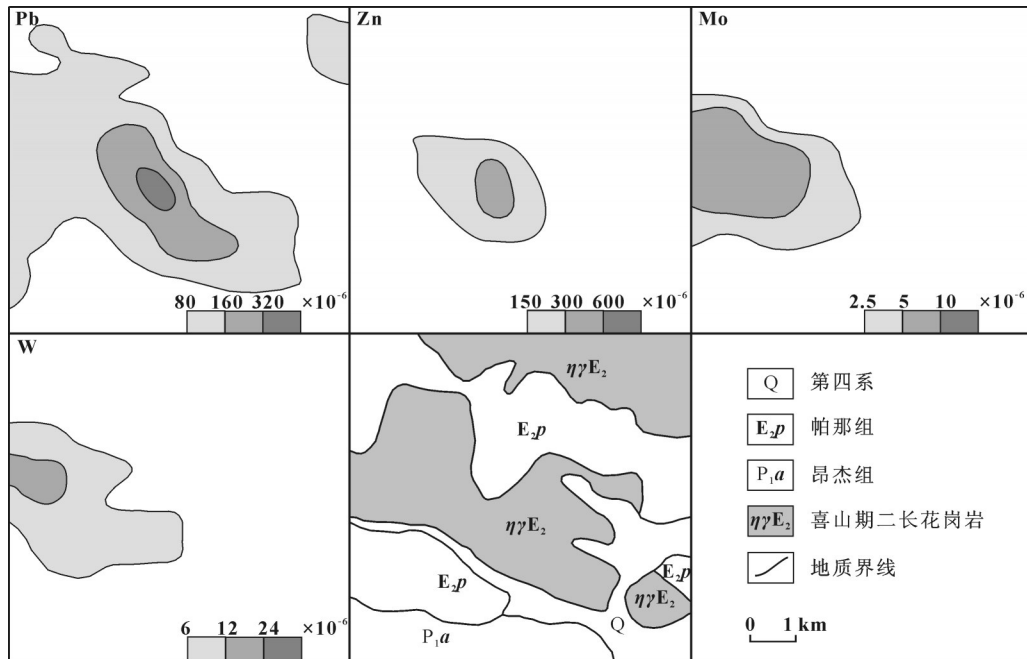


图6 勒翁异常区水系沉积物异常剖析图

Fig.6 Anomaly analysis of stream sediment survey in Leweng area

量达 382.3×10^{-6} , W 最高含量达 13.9×10^{-6} , Mo 最高含量达 9.6×10^{-6} 。在异常中心开展的 1:1 万土壤地球化学剖面测量显示,区内成矿元素主要为 Pb、Zn, 伴生 Cd、Ag、W、Mo、As、Bi 等元素,其中 Pb 最高含量达 2230×10^{-6} , Zn 元素最高含量达 888×10^{-6} , 具有较为明显的矿致异常特征。异常高值点多位于二长花岗岩体内及与帕那组接触带处。通过对这些异常高值点及周围开展矿产检查,首先在花岗岩体内的 NWW 向断裂破碎带内发现了较强的磁铁矿化和褐铁矿化,后经 1:1 万地质草测、矿化追索和槽探工程,在二长花岗岩体内及与帕那组接触带处寻找到了勒翁铁多金属矿。

矿区出露主要地层为二叠系昂杰组(P_{1a})、古近系帕那组(E_{2p})和第四系冲洪积物(Q)(图7)。昂杰组分布于矿区西南侧,岩性主要为粉砂质板岩;帕那组分布于矿区的南北两侧,岩性主要为英安质、流纹质晶屑凝灰岩;第四系冲洪积物分布于较平缓的斜坡及陡崖下和沟谷中,由棱角状碎石、碎石土和腐质土层组成。矿区中部发育 NWW 向及 NE 向断裂构造,其中 NWW 向主断裂长约 2500 m, 东部延出矿区,是矿区铁多金属矿体的主要控矿构造;区内喜山期岩浆活动强烈,在中部发育中细粒二长花岗岩体和多条花岗岩脉。

矿区现已发现 3 条铁多金属矿(化)体。其中 M_1 铁铅锌矿体位于矿区中东部,呈 NWW 向展布,主要赋存于黑云母二长花岗岩体内的次级断裂构造中(图 5c, 图 7)。矿体呈扁透镜状、脉状,沿走向有膨胀狭缩等现象,长约 1600 m, 厚 7.40~11.89 m, 平均厚 9.39 m。TFe 品位变化于 21.14%~45.87%, 平均品位 36.81%; Pb 品位最高为 0.36%, Zn 品位为 0.16%。矿石类型主要为磁铁矿石,呈致密块状、细脉状,可见硅化、高岭土化,普遍发育较强褐铁矿化和少量赤铁矿化(图 5d)。

M_2 铁铅锌矿体位于矿区西部,呈 NWW 向展布,赋存于黑云母二长花岗岩体内的次级小断裂构造中(图 7)。矿体呈脉状,沿走向有膨胀狭缩现象,长约 400 m, 厚 1.68~4.55 m。TFe 品位为 27.25%~58.24%, 平均品位 43.23%; Pb 品位最高为 0.29%, Zn 品位为 0.14%。矿石类型主要为磁铁矿石和赤铁矿石,呈块状构造,硅化强烈,局部见有绿帘石化、褐铁矿化。

M_3 铁铅锌矿化体位于矿区北部,呈 NW 向展布,赋存于中细粒二长花岗岩与帕那组晶屑玻屑凝灰岩的接触带附近(图 7)。矿体呈脉状,长约 300 m, 厚 1.56~3.78 m。TFe 品位变化于 14.86%~18.15%; 铅品位为 0.26%~1.35%, 平均品位 0.84%。矿石类型主要为磁铁矿石,呈浸染状、细脉状,并可见少量细粒

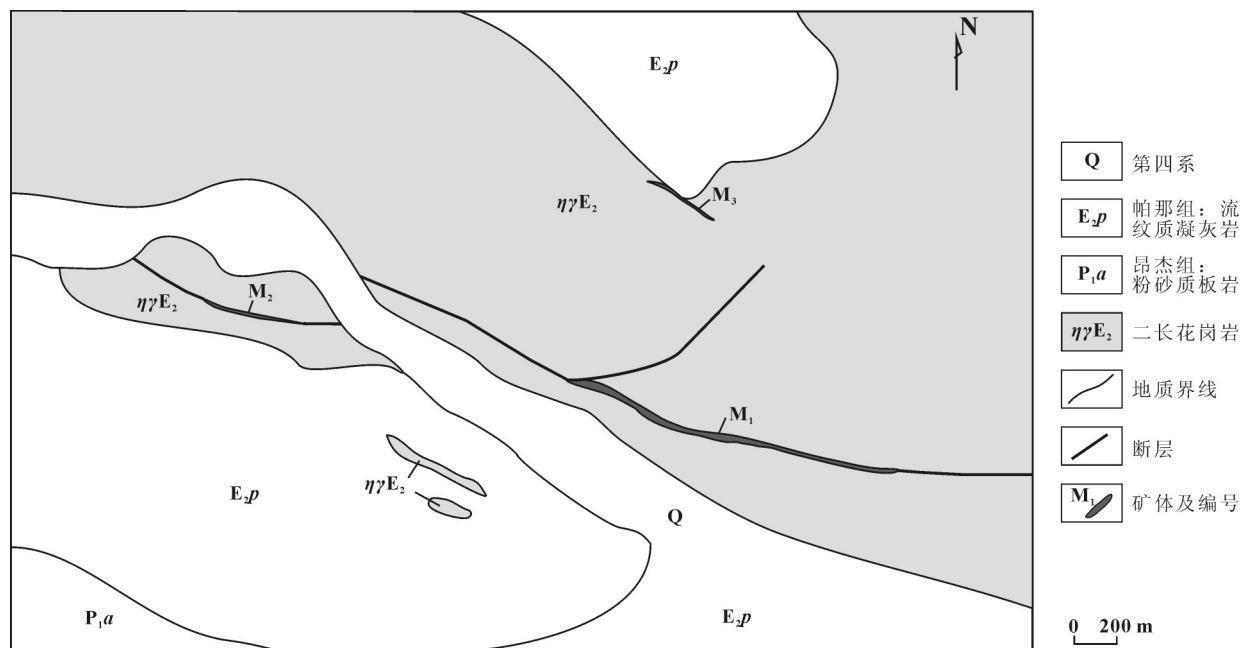


图7 勒翁铁多金属矿区地质简图

Fig.7 Simplified geological map of the Leweng iron polymetallic deposit

方铅矿和锌华,硅化强烈,局部见有绿帘石化及褐铁矿化。

通过工作初步探求的M₁矿体334,铁矿石量为2294.97万t,伴生铅锌,达中型规模。结合M₂、M₃矿(化)体特征,尽管目前勘查程度低,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岩浆热液型。

5.2.3 嘎弄来铅锌银矿点

水系沉积物测量发现的嘎弄来异常区位于研究区西部,是以Pb、Bi、Ag为主,伴生有Zn、W、Mo、Sn、As、Sb、Ba、Hg等元素的组合异常(图8),异常规模大、强度高、组分复杂,浓度分带明显,主元素均具内、中、外分带。Pb最高含量达 2430×10^{-6} ,Zn最高含量达 487×10^{-6} ,Ag最高含量达 3.80×10^{-6} ,Bi最高含量达 36.8×10^{-6} ,Cd最高含量达 6.0×10^{-6} ,W最高含量达 11.5×10^{-6} ,Mo最高含量达 6.8×10^{-6} 。在异常中心开展的1:1万土壤地球化学剖面测量反映,区内成矿元素主要为Pb、Ag、Zn,伴生Cd、Mo、Au等元素,其中Pb最高含量达 3380×10^{-6} ,Zn元素最高含量达 3140×10^{-6} ,Ag最高含量达 9.2×10^{-6} ,具有较为明显的矿致异常特征。异常高值点多位于年波组和下拉组灰岩地层内,具有寻找斯弄多式构造热液型铅锌矿的潜力。通过对这些异常高值点及周围

开展矿产检查,在NW向断裂带可见褐铁矿化和铅锌矿化,后虽经矿化追索和槽探工程揭露,但因两侧碎石覆盖严重,槽探未能揭露到基岩,暂不能确定其展布特征和规模。

区内出露地层主要为二叠系昂杰组(P_{1a})、下拉组(P_{2x})、古近系年波组(E_{2n})和第四系冲洪积物(Q)(图9)。昂杰组分布于区内中部及南部,岩性主要为含砾粉砂质板岩;下拉组分布于区内中西部,主要岩性为灰白色结晶灰岩;年波组分布较广泛,主要岩性为灰白色英安质凝灰岩及流纹斑岩;第四系冲洪积物以砂砾石为主夹少量粉砂。区内发育2条NW-NWW向断层和1条NE向断层,带内碎裂岩中褐铁矿化和硅化发育。地表未见侵入岩出露。

新发现的M₁矿化体赋存于NW向断层与NE向断层交汇处(图5e,图9),走向NW,长约300m,厚3~6m。Pb品位为0.21%~3.15%,Zn品位为0.15%~0.46%,Ag品位为26.2g/t~112g/t。矿化体内可见有褐铁矿化、少量黄铁矿化和方铅矿化、蓝铜矿化、孔雀石化、锌华(图5f),围岩蚀变发育硅化、绢云母化、高岭石化等。初步认为其成因属构造热液充填交代型。该矿点异常套合较好,规模较大,找矿前景较佳,以后若通过浅井或钻探等工程加以追索控制,有望成为中型以上矿床规模。

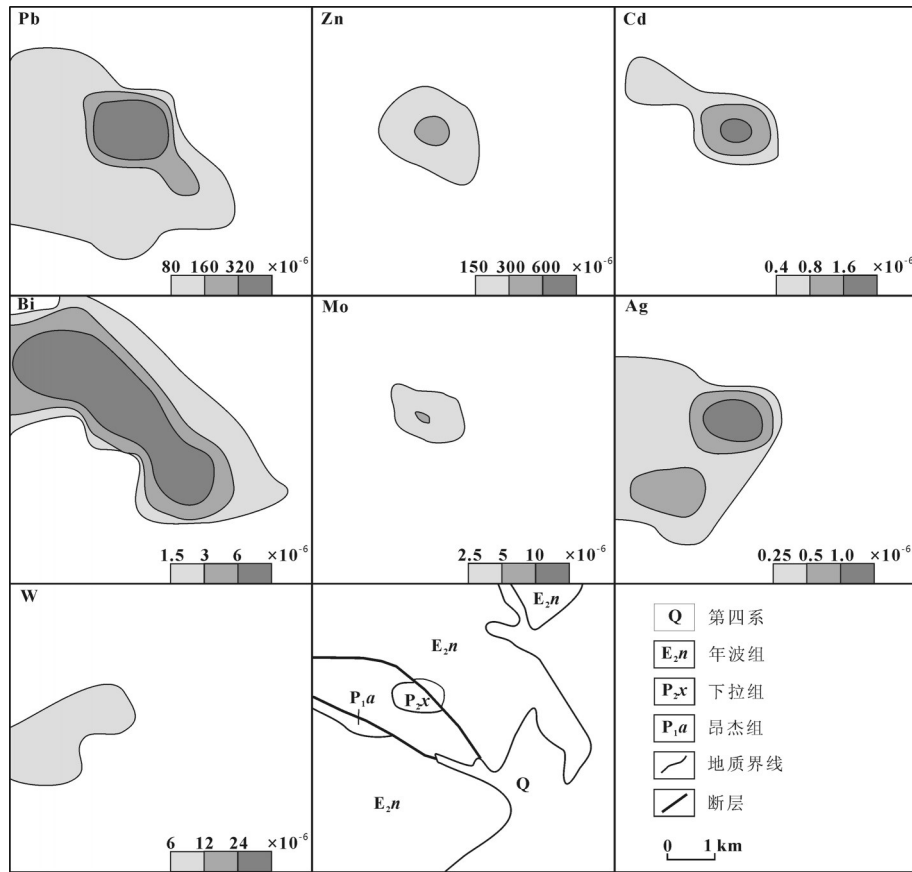


图8 嘎弄来异常区水系沉积物异常剖析图
Fig.8 Anomaly analysis of stream sediment survey in Ganonglai area

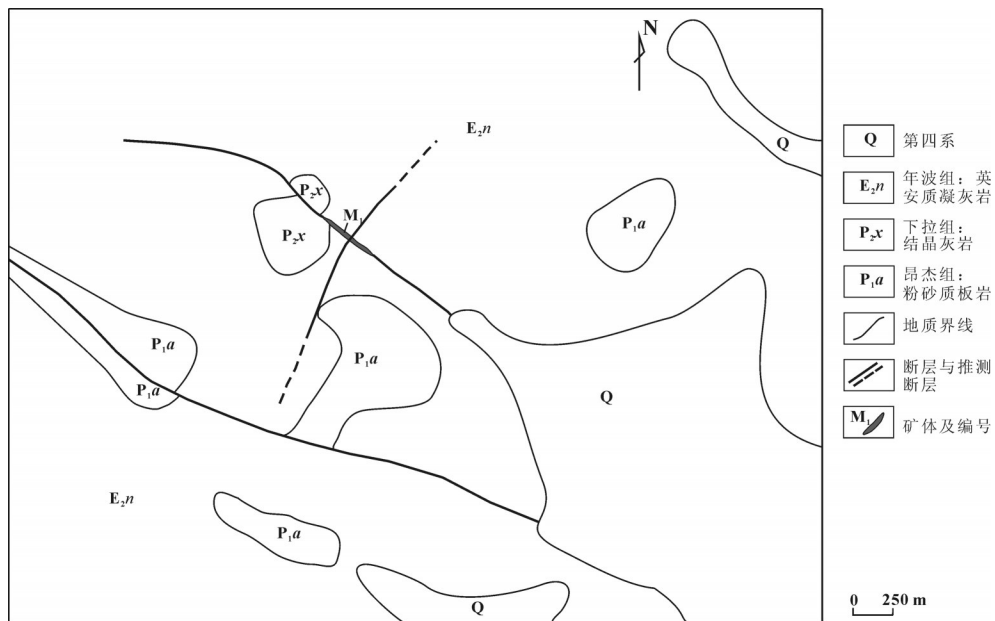


图9 嘎弄来铅锌银矿点地质略图
Fig.9 Geological sketch map of Ganonglai lead-zinc-silver ore spot

6 结 论

(1) 西藏冈底斯山脉中段地形切割强烈,在水系较发育地段开展1:5万水系沉积物测量,快速缩小找矿范围,进而采用合理有效的异常查证手段,加以工程验证,可实现找矿新突破。

(2) 将研究区水系沉积物地球化学异常元素组合划分为以Pb、Zn、Cd、Ag元素为主、以W、Mo、Bi元素为主和以As、Sb元素为主的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。

(3) 通过异常查证,发现恰我、勒翁、嘎弄来等多处矿床(点),找矿成果显著,其中恰我铁钨共生矿为区域上首次发现的新类型矿产,这对该区找矿具有较好的指导意义,也显示了研究区具有较好的找矿潜力。

致谢: 野外地质调查及成文过程中得到河南省地质调查院的刘伟和张燕平教授级高级工程师、蔡志超工程师等的大力支持,在此一并表示感谢!

注释:

① 杨长青,刘伟,杜保峰. 2014. 西藏春哲地区矿产远景调查成果报告[R]. 郑州:河南省地质调查院.

References

- Cao Shenghua, Wang Zhuo, Lou Fasheng, Huang Jiancun, Xiong Wei. 2014. Prospecting analysis and metallogenic regularities of iron and copper in the Middle Gangdese, Tibet[J]. *Acta Geologica Sinica*, 88(11): 2108–2118 (in Chinese with English abstract).
- Cui Xiaoliang, Liu Tingting, Wang Wenheng, Jing Ming and Bai Yun. 2011. Geochemical characteristics and ore search prospects of Buqingshan area in Qinghai Province based on stream sediment survey[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 35(5): 573–578 (in Chinese with English abstract).
- Dai Huimin, Dai Yajian, Ma Zhendong, Yang Zhongfang, Gong Chuandong and Sun Zhongren. 2012. Geochemical characteristics of stream sediments and prospecting direction in the Chabaqi area of Da Hinggan Mts[J]. *Geoscience*, 26(5): 1043–1050 (in Chinese with English abstract).
- Hu Xichong, Xia Bin, Huang Qiangtai, Xia Lianze, Xia Zhongyu, Zhenghao, Shi Xiaolong and Wang Zhilong. 2015. Geochemical anomaly and metallogenic prospect analysis of Buzicun area in Gerze county, Tibet[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 54(6): 137–143 (in Chinese with English abstract).
- Ji Xianhua, Yang Zhusen, Yu Yushuai, Shen Junfeng, Tian Shihong,

- Meng Xiangjin, Li Zhenqing and Liu Yingchao. 2012. Formation mechanism of magmatic rocks in Narusongduo Pb–Zn deposit of Tibet: Evidence from magmatic zircon[J]. *Mineral Deposit*, 31(4): 758–774 (in Chinese with English abstract).
- Ji Xianhua, Meng Xiangjin, Yang Zhusen, Zhang Qian, Tian Shihong, Li Zhenqing, Liu Yingchao and Yu Yushuai. 2014. The Ar–Ar geochronology of sericite from the cryptoexplosive breccia type Pb–Zn deposit in Narusongduo, Tibet and its geological significance[J]. *Geology and Exploration*, 50(2): 281–290 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Jingye, Cheng Jianping, Qi Shihua, Xiang Wu. 2006. *Applied Geochemistry* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1–340 (in Chinese).
- Jing Baosheng, Pan Weiliang, Shan Jinzhong, Li Meiyong. 2014. Regional geochemical exploration and ore–prospecting effect in eastern Qimantag, Xinjiang[J]. *Geology in China*, 41(1): 264–284 (in Chinese with English).
- Ke Xianzhong, Xie Shuyun, Gao Shunbao and Tian Liming. 2015. Multifractal distribution patterns of geochemical data and its metallogenic significance: a case study in Bange region, Tibet[J]. *Geological Science and Technology Information*, 34(1): 148–153 (in Chinese with English abstract).
- Li Guangming, Liu Bo, Ding Jun, Pan Guitang, She Hongquan, Zhu Dicheng, Wang Gaoming and Rui Zongyao. 2011. Metallogenic Regularities and Prospecting Prediction of Iron Copper Polymetallic Deposits in Gangdese Metallogenic Belt and Its Neighboring Area, Tibet[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–270 (in Chinese).
- Li Yingxu, Xie Yuling, Chen Wei, Tang Yanwen, Li Guangming, Zhang Li, Liu Yunfei and Liu Xiaoming. 2011. U–Pb age and geochemical characteristics of zircon in monzogranite porphyry from Qiaogong deposit, Tibet, and geological implication[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(7): 2023–2033 (in Chinese with English abstract).
- Li Huaqin, Shen Hengli and Wang Xuezheng. 2011. Geochemical characteristic of stream sediment survey and metallogenic prognosis of Dulan area, Qinghai Province, China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 31(3): 615–620 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yingchao, Ji Xianhua, Hou Zengqian, Tian Shihong, Li Zhenqing, Zhao Xiaoyan, Zhou Jinsheng, Ma Wang and Yang Zhusen. 2015. The establishment of an independent Pb–Zn mineralization system related to magmatism: a case study of the Narusongduo Pb–Zn deposit in Tibet[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 34(4): 539–556 (in Chinese with English abstract).
- Pan Guitang, Wang Liquan, Zhang Wanping, Wang Baodi. 2013. *Tectonics Map and Its Explanatory Notes of the Tibetan Plateau and Adjacent Regions*[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).

- Qian Jianping, Huang Deyang, Xie Biaowu, Chen Hongyi, Zhao Xiaoxing. 2013. Study on geology and tectono-geochemistry of the Sinongduo lead-Zinc Deposit in Xietongmen County, Tibet[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 37(1): 29-41 (in Chinese with English abstract).
- Song Hemin, Zhang Hui, Gu Songsong, Wang Zhanbin, Li Hongjie, Xu Luning. 2014. Stream sediment geochemical characteristics and prospecting direction in Karaqi area of Xinjiang[J]. *Geological Bulletin of China*, 33(1): 71-78 (in Chinese with English abstract).
- Tang Juxing, Chen Yuchuan, Duo Ji. 2009. The main ore deposit type, metallogenic regularities and prospecting evaluation in the eastern section of Gangdese metallogenic belt[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, (Supp.): 476-478 (in Chinese).
- Tang Juxing, Wang Liqiang, Zheng Wenbao, Zhong Kanghui. 2014. Ore deposits metallogenic regularities and prospecting in the eastern section of Gangdese metallogenic belt[J]. *Acta Geologica Sinica*, 88(12): 2545-2555 (in Chinese with English abstract).
- Taylor S R and McLennan S M. 1995. The chemical composition evolution of the continental crust[J]. *Review Geophysics*, 33: 241-265.
- Wang Xueqiu. 2013. Landmark events of exploration geochemistry in the past 80 years[J]. *Geology in China*, 40(1): 322-330 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yinchuan, Zhou Yong, Liu Yuhong, Li Ruibao, Wei Fanghui, Gao Jingmin, Liu Chengjun, Wu Shukuan. 2012. Characteristics of Sinongduo large-size overprinted and reworked Pb-Zn deposit in Xietongmen county of Tibet and the ore-searching directions[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 27(4): 440-449 (in Chinese with English abstract).
- Xi Mingjie, Ma Shengming, Zhu Lixin, Li Bing. 2013. Geochemical characteristics of dispersed elements in stream sediments of Yangbajain - Ningzhong area, Tibet and their significance in ore prospecting[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 34(6): 702-712 (in Chinese with English abstract).
- Xi Xiaohuan and Li Min. 2012. Regional geochemical exploration in China: from 1999 to 2009[J]. *Geology of China*, 39(2): 267-282 (in Chinese with English abstract).
- Xie Yuling, Li Yingxu, Zhaoshan Chang, David R. Cooke, Chris G. Ryan, Jamie Laird, Bai Jinsong, Liu Yunfei, Li Guangming, Zhang Li. 2009. Magmatic evolution and characteristics of magmatic fluid in the Qiangong porphyry system[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83 (12): 1869-1886 (in Chinese with English abstract).
- Xi Y L, Li Y X, Chang Z S, Cooke D R, Dominy S C, Li G M, Zhang L. 2009. LA- ICP- MS zircon U-Pb dating of porphyries in the Qiangong iron skarn deposit, Tibet, China[C]//Smart Science for Exploration and Mining, Proceedings of 10th Biennial SGA Meeting, Townsville, Australia: 303-305.
- Yang Shaoping, Gong Qiuli, Wen Zhigang, Zhang Hua, Sun Zhongjun, Zhu Lixin, Zhou Guohua, Cheng Hangxin, Wang Xueqiu. 2011. Application research of the new technologies for geochemical survey[J]. *Acta Geologica Sinica*, 85(11): 1844-1877 (in Chinese with English abstract).
- Yang Shaoping, Liu Huazhong, Kong Mu, Zhang Hua, Liu Yinghan, Zhang Xuejun, Gao Shunbao and Zheng Youye. 2015. Geochemical characteristics of stream sediments and regional geochemical survey methods in the Qiangtang plateau[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 36(3): 367-376 (in Chinese with English abstract).
- Yu YuShuai, Yang ZhuSen, Duo Ji, Hou Zengqian, Tian Shihong, Meng Xiangjin, Liuhongfei, Zhang Jinshu, Wang Haiping, Liu Yingchao. 2011. Age and petrogenesis of magmatic rocks from Jiaduobule skarn Fe-Cu deposit in Tibet: Evidence from zircon SHRIMP U-Pb dating, Hf isotope and REE[J]. *Mineral Deposits*, 30(3): 420-434 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yunqiang, Chen Haiyan, Zhang Liguang, Chen Chao, Liu Yinglong, He Jiaoyue, Kang Xuan, Zhang Jinlong, Peng Qianfan. 2015. Geochemical characteristics of stream sediments and metallogenic prognosis of Xinzhangzi area, northern Hebei Province[J]. *Geology in China*, 42(6): 1980-1988 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Wuqiang, Cui Sen, Zou Xianwu, Tang Chaoyang, Xia Jie, Jin Shichao. 2014. Geochemical characteristics of stream sediments and metallogenic prognosis of Heku area, Hunan Province[J]. *Geology in China*, 41(2): 638-647 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Bin, Wang Feng, Wang Mingzhi, Li Xiaocong, Bai Xiaoniao, Pan Liang and Han Xu. 2014. The application of stream sediment survey to ore-prospecting work in Huoshibulake area of Xinjiang[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 38(5): 872-878 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 曹圣华, 王卓, 楼法生, 黄建村, 熊伟. 2014. 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*, 88(11): 2108-2118.
- 崔晓亮, 刘婷婷, 王文恒, 景明, 白云. 2011. 东昆仑布青山地区水系沉积物测量地球化学特征及找矿方向[J]. *物探与化探*, 35(5): 573-578.
- 戴慧敏, 代雅键, 马振东, 杨忠芳, 宫传东, 孙中任. 2012. 大兴安岭查巴奇地区水系沉积物地球化学特征及找矿方向[J]. *现代地质*, 26(5): 1043-1050.
- 胡西冲, 夏斌, 黄强大, 夏连泽, 夏中宇, 郑浩, 石晓龙, 王志龙. 2015. 西藏改则布孜村地区地球化学异常特征及成矿远景分析[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 54(6): 137-143.
- 纪现华, 杨竹森, 于玉帅, 申俊峰, 田世洪, 孟祥金, 李振清, 刘英超. 2012. 西藏纳如松多铅锌矿床成矿岩体形成机制: 岩浆锆石证据[J]. *矿床地质*, 31(4): 758-774.
- 纪现华, 孟祥金, 杨竹森, 张乾, 田世洪, 李振清, 刘英超, 于玉帅. 2014. 西藏纳如松多隐爆角砾岩型铅锌矿床绢云母 Ar-Ar 定年

- 及其地质意义[J]. 地质与勘探, 50(2): 281-290.
- 蒋敬业, 程建萍, 祈士华, 向武. 2006. 应用地球化学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1-340.
- 景宝盛, 潘维良, 单金忠, 李美英. 2014. 新疆祁漫塔格东段区域化探及其找矿效果[J]. 中国地质, 41(1): 264-284.
- 柯贤忠, 谢淑云, 高顺宝, 田立明. 2015. 西藏班戈地区化探数据的多重分形特征及其成矿意义[J]. 地质科技情报, 34(1): 148-153.
- 李光明, 刘波, 丁俊, 潘桂堂, 余宏全, 朱弟成, 王高明, 芮宗瑶. 2011. 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, 1-270.
- 李应翔, 谢玉玲, 陈伟, 唐燕文, 李光明, 张丽, 刘云飞, 柳小明. 2011. 西藏恰功铁矿二长花岗斑岩锆石的U-Pb年代学与地球化学特征及意义[J]. 岩石学报, 27(7): 2023-2033.
- 李玉芹, 沈恒丽, 王学贞. 2011. 都兰地区水系沉积物测量地球化学特征及找矿预测[J]. 矿物学报, 31(3): 615-620.
- 刘英超, 纪现华, 侯增谦, 田世洪, 李振清, 赵晓燕, 周金胜, 马旺, 杨竹森. 2015. 一个与岩浆作用有关的独立铅锌成矿系统的建立以西藏纳如松多铅锌矿床为例[J]. 岩石矿物学杂志, 34(4): 539-556.
- 潘桂棠, 王立全, 张万平, 王保弟. 2013. 青藏高原及邻区大地构造图及说明书[M]. 北京: 地质出版社.
- 钱建平, 黄德阳, 谢彪武, 陈宏毅, 赵小星. 2013. 西藏谢通门县斯弄多铅锌矿区矿床地质特征和构造地球化学找矿研究[J]. 大地构造与成矿学, 37(1): 29-41.
- 宋贺民, 张辉, 顾松松, 王占彬, 李洪杰, 许鲁宁. 2014. 新疆哈拉奇地区水系沉积物地球化学特征及找矿方向[J]. 地质通报, 33(1): 71-78.
- 唐菊兴, 陈毓川, 多吉. 2009. 西藏冈底斯成矿带东段主要矿床类型、成矿规律和找矿评价[J]. 矿物学报, (增刊): 476-478.
- 唐菊兴, 王立强, 郑文宝, 钟康惠. 2014. 冈底斯成矿带东段矿床成矿规律及找矿预测[J]. 地质学报, 88(12): 2545-2555.
- 王学求. 2013. 勘查地球化学80年来重大事件回顾[J]. 中国地质, 40(1): 322-330.
- 王银川, 周勇, 刘玉红, 李瑞保, 魏方辉, 高景民, 刘成军, 吴树宽. 2012. 西藏谢通门县斯弄多大型叠加改造型铅锌矿床特征及找矿方向[J]. 地质找矿论丛, 27(4): 440-449.
- 席明杰, 马生明, 朱立新, 李冰. 2013. 西藏羊八井—宁中地区水系沉积物中分散元素地球化学特征及其对找矿的指示意义[J]. 地球学报, 34(6): 702-712.
- 奚小环, 李敏. 2012. 中国区域化探若干基本问题研究: 1999-2009[J]. 中国地质, 39(2): 267-282.
- 谢玉玲, 李应翔, Zhaoshan Chang, David R. Cooke, Chris G. Ryan, Jamie Laird, 白劲松, 刘云飞, 李光明, 张丽. 2009. 西藏恰功铁矿岩浆演化序列及斑岩出溶流体特征[J]. 地质学报, 83(12): 1869-1886.
- 杨少平, 弓秋丽, 文志刚, 张华, 孙忠军, 朱立新, 周国华, 成杭新, 王学求. 2011. 地球化学勘查新技术应用研究[J]. 地质学报, 85(11): 1844-1877.
- 杨少平, 刘华忠, 孔牧, 张华, 刘应汉, 张学君, 高顺宝, 郑有业. 2015. 羌塘高原典型矿区水系沉积物地球化学特征与区域化探扫面方法[J]. 地球学报, 36(3): 367-376.
- 于玉帅, 杨竹森, 多吉, 侯增谦, 田世洪, 孟祥金, 刘鸿飞, 张金树, 王海平, 刘英超. 2011. 西藏加多捕勒铁铜矿成矿岩体时代与成因: 锆石U-Pb年龄、Hf同位素与稀土元素证据[J]. 矿床地质, 30(3): 420-434.
- 张运强, 陈海燕, 张立国, 陈超, 刘应龙, 何娇月, 康璇, 张金龙, 彭芊芑. 2015. 冀北新杖子地区水系沉积物地球化学特征及找矿预测[J]. 中国地质, 42(6): 1980-1988.
- 赵武强, 崔森, 邹先武, 汤朝阳, 夏杰, 金世超. 2014. 湖南禾库地区水系沉积物地球化学特征及找矿预测[J]. 中国地质, 41(2): 638-647.
- 周斌, 王峰, 王明志, 李晓聪, 白小鸟, 潘亮, 韩旭. 2014. 水系沉积物测量在新疆霍什布拉克地区找矿应用[J]. 物探与化探, 38(5): 872-878.