

doi: 10.11720/wtyht.2021.1168

郑丽超,李玉堂,赵博,等.综合物化探在河北某斑岩型铅锌矿床中的应用及找矿效果[J].物探与化探,2021,45(2):281-291.<http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.1168>

Zheng L C, Li Y T, Zhao B, et al. Application of comprehensive geophysical and geochemical exploration in a porphyry lead-zinc deposit in Hebei and its prospecting effect[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(2): 281-291. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.1168>

综合物化探在河北某斑岩型铅锌矿床中的应用及找矿效果

郑丽超,李玉堂,赵博,降雨薇,翟大兴
(河北省地球物理勘察院,河北廊坊 065000)

摘要:河北某铅锌矿床作为燕山地区唯一具有中等规模的斑岩型铅锌矿床,被发现后多年的地质勘查工作无大的找矿突破。经综合整理研究历年物化探及地质资料,结合开展大功率的激电中梯扫面等系列工作,认为本区化探异常元素分带明显,激电异常发育,成矿系列完整,找矿潜力大。经钻探验证,于斑岩体外围及接触带发现了厚大的铅锌富矿体,于深部发现了铜铅矿体,形成了斑岩型矿床完整的成矿系列,实现了本区新的找矿突破,使其具有了成为大型铅锌矿床的潜力,进一步扩大了本区资源前景。

关键词:地球化学异常;元素分带;激电异常;斑岩型铅锌矿床;成矿系列

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2021)02-0281-11

0 引言

河北某斑岩型铅锌矿床于1979~1986年由河北省地质八队发现并普查,是我国北方地区罕见的具有中等规模的斑岩型铅锌矿床。普查认为矿体严格受到陡倾的漏斗状火山颈控制,所发现矿体尽管十分厚大,但品位却很低,矿化元素以铅、锌为主,较为单一。后续工作一直局限于含矿石英斑岩体内部及花岗岩体东北接触带,未系统整理研究本区的物化探资料,未从斑岩型矿床成矿系列^[1-4]的理论出发探究其外围及深部矿化情况。2012年以来,通过对物、化探异常特征与构造发育特征及可能的成矿事件的最佳耦合^[5-6]关系的分析,认为石英斑岩外围是寻找热液充填型铅锌银矿床的最佳部位,深部及花岗斑岩体的中浅部具有形成斑岩型、矽卡岩型铜铅矿的条件。钻探验证表明本区矿种多样,成因类型丰富,新增铅锌银多金属资源量达到中型以上。该矿区的找矿成果是河北省近年来利用综合物化探

手段实现找矿突破的典型代表,对斑岩型矿床“就矿找矿^[7-12]”的后续勘查颇有启发借鉴意义。

1 地质背景

本区大地构造位置属柴达木板块,华北陆块,燕山—辽西裂陷带的北部,跨承德北盆地和蓟县—唐山裂谷盆地两个Ⅳ级构造单元,地处寿王坟—小寺沟多金属成矿带上。

1.1 区域地质特征

区域上元古宇到新生界地层均有分布,总体呈NE向带状产出,岩性以石英砂岩、碳酸盐岩及中生代中酸性火山岩、砂砾岩为主;NE向的平坊—桑园断裂为本区的导岩控矿构造,使本区形成了轴向长35 km、宽13 km的不完整背斜构造,被广泛发育的NW、近SN向次级断裂所破坏,但这些次级构造对区域成矿具有积极作用;岩浆岩以中酸性岩株为主,寿王坟(二长花岗岩)—轿顶山(花岗斑岩)—小寺沟(二长花岗斑岩)岩浆岩带与下营房(正长花岗斑

收稿日期: 2020-04-08; 修回日期: 2020-10-30

基金项目: 2016年河北省地勘基金支持项目(454-0502-YBN-4YP5)

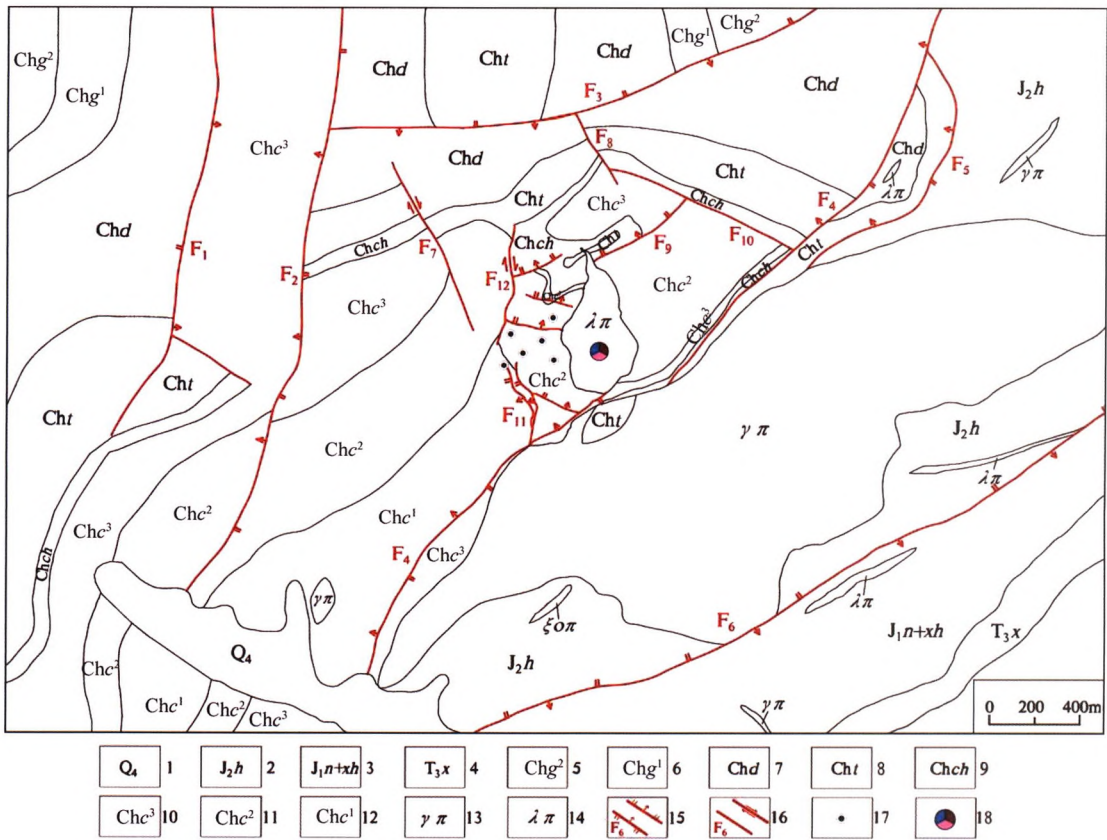
作者简介: 郑丽超(1985-),男,工程师,2010年本科毕业于河北地质大学,2019年硕士毕业于中国地质大学(北京),长期从事固体矿产勘查及区域地球化学调查等工作。Email: dabaiwanfuweng@163.com

岩)—刘巴店(二长岩)—烟囱山(潜流纹岩)岩浆岩带构成了 NE 向铜钼多金属和 NW 向金多金属的成矿带,二者在本区交汇,成矿条件十分有利。

1.2 矿区地质特征

矿区地层以 NE 向 F_4 为界,北西部为元古宇长城系地层,为一不完整背斜褶皱,岩性为石英砂岩、白云岩等,东南部为侏罗—三叠系地层,为单斜构造,以中酸性火山碎屑岩、砂砾岩为主,少量含煤系

泥页岩。NE 向区域构造穿区而过,表现为逆冲推覆性质,使其上盘部分地层发生倒转。NW 向、近 SN 向次级断裂发育,为区内多金属矿液提供了有利的淀积场所。花岗斑岩和石英斑岩为区内主要岩浆岩,沿断裂发育各种中酸性脉岩(图 1)。石英斑岩为目前区内的主要含矿岩体,以往勘查认为属特殊的斑岩型矿床,工业类型属浸染状铅锌矿床^[13]。



1—第四系;2—侏罗系后城组砾岩、流纹质凝灰岩;3—侏罗系南大岭组和下花园组砾岩、砂岩及薄层煤;4—三叠系杏石口组巨厚层砾岩夹砂岩;5—长城系高于庄组二段巨厚层(含锰)白云岩;6—长城系高于庄组一段灰黑色厚层燧石条带白云岩;7—长城系大红峪组厚层石英砂岩、燧石条带白云岩;8—长城系团山子组紫红与灰白色泥质白云岩、含燧石白云岩;9—长城系串岭沟组含铁石英粗砂岩、绿色页岩;10—长城系常州沟组三段灰白色巨厚层石英岩状砂岩;11—长城系常州沟组二段肉红色灰白色石英砂岩、含砾粗砂岩;12—长城系常州沟组一段紫红色小砾岩、含砾粗砂岩;13—花岗斑岩;14—石英斑岩;15—正断层、逆断层及编号;16—平移断层、性质不明断层及编号;17—2012~2016 年钻孔;18—原斑岩型铅锌银矿

1—Quaternary sestem;2—Jurassic Houcheng formation conglomerate, rhyolite tuff; 3—Jurassic Nandaling, Xiahuayuan formation conglomerate, sandstone and thin coal;4—thick conglomerate intercalated with sandstone in the Xingshikou formation of Triassic;5—giant thick layer (containing manganese) dolomite in the second member of the Gaoyuzhuang formation of the Great Wall system;6—gray-black thick flint zone dolomite in the first member of the Gaoyuzhuang formation of the Great Wall system;7—thick layered quartz sandstone and flint dolomite of Dahongyu formation of Great Wall system;8—purple-red and off-white argillaceous dolomite and flint-bearing dolomite of Tuanshanzi formation of Great Wall system;9— iron-bearing quartz coarse sandstone and green shale of Chuanlinggou formation of Great Wall system;10—gray-white giant thick layered quartzite sandstone of the third member of Changzhougou formation of Great Wall system;11—purple-red small conglomerate and gravel-bearing coarse sandstone of Changzhougou formation of Great Wall system;12—purple-red small conglomerate and gravel-bearing coarse sandstone of Changzhougou formation of Great Wall system;13—granite porphyry;14—quartz porphyry;15—normal fault, reverse fault and number;16—translational faults, faults of unknown nature and number;17—2012~2016 drilling;18—protoporphyry lead-zinc-silver deposit

图 1 河北某斑岩型铅锌矿床矿区地质图

Fig.1 Geologicalmap of a porphyry lead-zinc deposit in Hebei

2 矿床物化探异常特征

2.1 物探异常特征

2.1.1 物性特征

本区自 2011~2016 年间共采集物性标本 1 291 件,电性测定采用面团法,测量其视极化率和视电阻率;磁性测定使用质子磁力仪第二位置测量标本的磁化率 κ 和剩余磁化强 J_r ,密度测定使用电子天平。沉积岩如石英砂岩、粉砂岩、白云岩、泥页岩等为无磁、低极化中高阻、中高密度岩石;浅成侵入岩如花

岗斑岩具有不均匀的磁性,部分标本可达中等磁性,极化率 1.13%~1.62%,电阻率 418~3 900 $\Omega \cdot \text{m}$,为低极化中高阻、中低密度;变质岩如大理岩为无磁、低极化高阻、高密度,角砾岩为低阻低极化、部分含磁、中等密度。由表 1 可知,就同一岩性而言,钻孔内的岩石较地表岩石的极化率更高,密度更大,磁性更不均匀;矿化者较未矿化者极化率高出几倍到十几倍不等,电阻率仅有其 1/2 至 1/30。蚀变岩和矿石也表现出低阻、高极化,尤其脉状矿石更为突出。因此,本区不同岩性之间存在明显物性差异,具有开展相关物探工作及解译的地球物理前提。

表 1 河北某斑岩型铅锌矿床岩石物性参数统计
Table 1 Statistics of petrophysical parameters of a porphyry lead-zinc deposit in Hebei

岩石名称	电性		磁性				密度/ ($10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	标本 采集 地点
	极化率/ %	电阻率/ ($\Omega \cdot \text{m}$)	标本 数量	有磁标 本数量	$\kappa/(10^{-6} \times 4\pi \text{ SI})$	$J_r/(10^{-3} \text{ A} \cdot \text{m}^{-1})$		
花岗斑岩	1.51	1229	75	12	9030	404	2.52	地表
	1.52	2332	13	1	58806	1518	2.56	钻孔
矿化花岗斑岩	16.35	69	0	0				
石英正长斑岩	1.28	1298	57	0			2.51	地表
	1.34	881	7	0			2.57	钻孔
矿化石英正长斑岩	13.05	168	0	0				
石英斑岩	1.62	418	29	0			2.44	地表
	1.76	2424	0	0				钻孔
矿化石英斑岩	2.16	1293	0	0				
次流纹岩	1.13	2198	0	0			2.6	地表
流纹质凝灰熔岩	1.32	3900	12	0				钻孔
矿化次流纹岩	16.68	202	0	0				
石英砂岩	1.01	3578	35	0			2.62	地表
	1.22	1538	16	0			2.8	钻孔
矿化石英砂岩	5.44	1078	0	0				
粉砂岩	0.86	3337	0	0				地表
含碳质泥页岩	2.12	920	0	0				钻孔
白云岩	0.78	3116	13	0			2.67	地表
角砾岩	1.29	417	17	4	4530	855	2.58	地表
	0.97	284	0	0				钻孔
矿化角砾岩	15.61	41	0	0				
大理岩	0.6	3801	15	0			2.77	地表
	1.3	29874	0	0				钻孔
蚀变岩	5.49	159	0	0				
铅锌矿石(脉状)	5.71	234	0	0			2.83	
铜矿石(脉状)	5.49	258	0	0			2.71	
钼矿石(细脉浸染脉状)	1.23	367	0	0			2.6	
浸染状铅锌矿石	2.03	512	0	0			2.63	

2.1.2 航磁异常特征

据 1979 年地质部航空物探大队承德地区 1: 50 000 航空磁测成果^[14],本区存在一个规模较大的低缓航磁异常,由 50 nT 等值线封闭而成,不规则椭圆状,长轴 NNE 向,极大值 250 nT。异常东南部向东规律性地突出形成鼻状异常,与出露的花岗斑岩

吻合。异常中心处在石英斑岩的西部外围,出露长城系石英砂岩、白云岩等无磁性岩石,推测深部可能存在规模较大的中酸性隐伏岩体。经钻探验证,于孔深 200~400 m 之下见花岗斑岩、次流纹岩,且为含矿岩体。

2.1.3 1:1万地磁异常特征

2007年河北省地球物理勘查院完成了4.5 km²高精度地磁测量(总场 T),网度100 m×20 m,使用PM-1a型质子磁力仪。 ΔT 等值线图(图2a)清晰地展示出了本区主体构造格架及地质体的分布特征。沿 F_4 断裂形成了小于100 nT的NE向低磁异常带,最低值仅有-438.9 nT,说明深断裂的发育破坏了原有磁性地质体内的剩磁。以该低磁异常带为界,南东部为中低正磁异常区,局部为负异常,异常梯度大, ΔT 在790.7~-10 nT间变化,地表出露花岗斑岩和少量中生代砾岩及中酸性火山岩,在花岗斑岩体内局部可见较高的正异常,说明花岗斑岩体物质组成差异大,侵入是多期次的,热液活动较为频繁。北西部为较连续的NE向带状中等强度异常,异常值均大于200 nT,异常梯度较小,地表为长城系的石英砂岩及碳酸盐岩等无磁岩石,而局部见3处规模不等、形态不规则的较高强度异常,这些异常NNW向以500 m等距分布,南西部强度最高者极大值达到888.2 nT,异常中心可见花岗斑岩小岩株出露。因此,长城系地层内出现的磁异常应为隐伏的中酸性岩体所致,而局部的更高异常则是岩浆岩沿次级构造侵入到近地表形成。值得注意的是,在 F_4 断裂错开处可见一条NW向、较窄的低磁带,其穿过含矿石英斑岩体,几乎正切进了花岗斑岩和长城系地层内,反映出了隐伏NW向次级断裂的存在,且形成时间早于石英斑岩。综上认为,本区磁异常很好地反映出了隐伏岩体、(隐伏)构造的存在,对岩体多期次性及其与构造形成时间的先后可作定性的推论,对本区寻找构造裂隙控制的热液脉状多金属矿床及与隐伏岩体有关的斑岩型矿床具有很好的指导意义。

2.1.4 1:1万激电异常特征

2007年河北省地球物理勘查院完成了4.5 km²激电中梯面积测量,网度100 m×20 m,使用DWJ-3型微机激电仪。视极化率异常以2.4%等值线可圈定两个相对独立的高极化异常带(图2b),分别位于 F_4 断裂南北两侧。

北部异常长约1400 m,宽约450 m,呈NE约40°带状分布。地表主要为长城系常州沟组石英砂岩、粉砂岩及页岩,是含矿石英斑岩的一部分。该异常由含矿石英斑岩体的西南侧起,至岩体西侧迅速膨大,强度、梯度变大,极值达到4.61%。随后异常宽度收窄至300 m左右向NE延伸,受到 F_2 断裂影响至此强度显著降低,但并未中断,向NE异常强度及宽度都有所增强,至边界未封闭。该高极化异常对应的视电阻率除去地形影响总体低于600 $\Omega \cdot m$,

属低阻,最小值仅有127 $\Omega \cdot m$ 。因此,北部异常为低阻高极化异常。该异常发育在以砂岩为主的盖层区域,张性断裂构造发育,围绕岩体呈环状或放射状产出,尤其石英斑岩西部断裂最为集中,异常规模、强度随之增强,显然是受构造控制热液矿床的表现。在该膨大区域内施工的6个钻探验证孔(见图1)均见到了铅锌银多金属矿体,矿体最大单层厚度超过30 m,Pb+Zn含量达到3.0%以上。该异常也较好地反映出了原斑岩型矿体的存在,岩体中西部为见矿较好的地段,激电亦有异常反应,但强度及规模均不及外围,究其原因斑岩型矿体以浸染状构造为主,其金属矿物的连通性差,高度依赖矿体内微裂隙的发育程度。

南部异常为高阻高极化异常,长约1900 m,均宽约300 m,与北部异常几乎平行产出,但强度、规模及变化梯度均较其为高。异常发育在花岗斑岩体的北接触带,较为严格受到花岗斑岩体内带及 F_4 断裂的控制,北界陡倾,变化梯度大。以2.4%的等值线可圈定一个较为完整的带状异常,东南边界两处未封闭,视极化率极大值达到5.74%。地表观察异常区内为大面积的花岗斑岩,仅局部可见铁锰染,与团山子组白云岩的接触带上可见带状或透镜状的大理岩化,以往硃探发现有孔雀石等矿化线索。由视电阻率(图2c)来看,该异常除南西端为低阻外,总体对应高阻,尤其异常北界视电阻率值高,变化梯度大,多数高值点分布于此,最大值为4809 $\Omega \cdot m$,与物性参数基本一致。综上,该异常处于花岗斑岩体的北接触带,为大面积岩体内的局部高极化反映,说明岩体在分异程度、成分等诸多方面存在差异,并且与 F_4 深大断裂契合,有碳酸盐岩热接触交代和铜矿化现象,故该异常内寻找矽卡岩型和斑岩型铜铅矿床十分有利。

2.2 化探异常特征

2.2.1 1:20万水系沉积物异常特征

1982年河北省地球物理勘查院完成了1:20万平泉幅水系沉积物测量,分析了39种元素。在寿王坟—小寺沟成矿带上发现16处综合异常,3处已知矿异常,7处异常具有较好的成矿地质条件,均以Ag、Pb、Zn、Au、Cu为主,反映出该成矿带上以金多金属矿为主的成矿特点。在本区圈定出了紧密相邻的两个多元素组合异常(图3),西部异常(As31-4)以W、Li为主,伴有B、Mn、F等指示元素,W异常规模大、衬度高,与B均具强内带浓度,有明显的浓度分带,W位于B、Mn异常的中心,其余元素为外带浓度。东部异常(As31-5)有南北两个中心,分别处在

研究区中部分水岭的南北两侧,北中心由 Au、P 等元素组成,均为外带浓度,处在几条断裂交汇部位;南中心由其他 8 个元素组成,以 Pb、Zn、Ag 为主,Pb 为中带浓度,其余为外带,为典型的热液型金多金属矿床异常特征,推测此异常与本区含矿岩体有关。

2.2.2 1:5万水系沉积物异常特征

1990 年河北省地球物理勘查院完成了党坝、六沟等六幅 1:5 万水系沉积物测量,分析了 Au、Ag、Pb、Zn 等 27 种元素。圈定的综合异常 AS20(图 4)分布在花岗斑岩、石英斑岩及其与长城系常州沟组、串岭沟组、团山子组和侏罗系地层接触带上,岩性为石英砂岩、页岩、白云岩和凝灰岩、砾岩等。异常形态不规则,NE 向展布,面积达 5.1 km²,元素组合为 Au、Ag、Pb、Zn、Mo、As、Sb、Bi、Hg、W、Sn 等 11 种元素,各元素异常套合较好,元素强度分别为 Ag 2.06×10⁻⁶、Pb 220.0×10⁻⁶、Sn 8.18×10⁻⁶、As 93.4×10⁻⁶、Zn 320.0×10⁻⁶、Sb 3.12×10⁻⁶、Bi 1.84×10⁻⁶、Mo 2.08×10⁻⁶、W 3.44×10⁻⁶、Au 4.00×10⁻⁹、Hg 67.0×10⁻⁹,其中 Ag 强度最高、规模最大,达强内带,次为 Pb、As,为内带浓度,其余元素为外—中带浓度。由

各元素的分布来看,Au、Ag、Pb、Zn、As、Sb 等低温元素总体以石英斑岩为中心兼顾花岗斑岩北接触带,长轴 NE 向展布,明显受到含矿石英斑岩体及 F₄ 主断裂的控制,且沿断裂延伸较远,分布范围远大于已知矿体范围。W、Mo、Bi、Sn 等高温元素异常分布则以花岗斑岩为主,尤以南北接触带为甚,如花岗斑岩的西南接触带局部出现了一个 W、Mo、Pb、Zn、Ag 的组合异常,地表可见磁铁矿、孔雀石等矽卡岩型矿床的典型矿物组合。值得注意的是 Mo、Hg、Bi 等元素异常的长轴展布方向及部分元素异常的局部形态方向为 NW 向,较为清晰地指示出了 NW 向次级断裂的存在以及此组断裂与矿化的密切关系。

总之,该异常具典型的热液矿床异常特征,异常由低温—高温组分齐全,各元素异常浓度以已知矿体或可能存在的隐伏矿体为中心,向外依次降低。组分分带明显,西北部 Ag、Pb、Zn 等中低温元素异常印证了热液脉状铅锌矿床、斑岩型铅锌矿床的存在,南东部 W、Mo 等高温元素异常指示出了矽卡岩型钼(铜)矿床的隐伏可能,由此构成了本区较为完整的地球化学异常找矿指示系统。

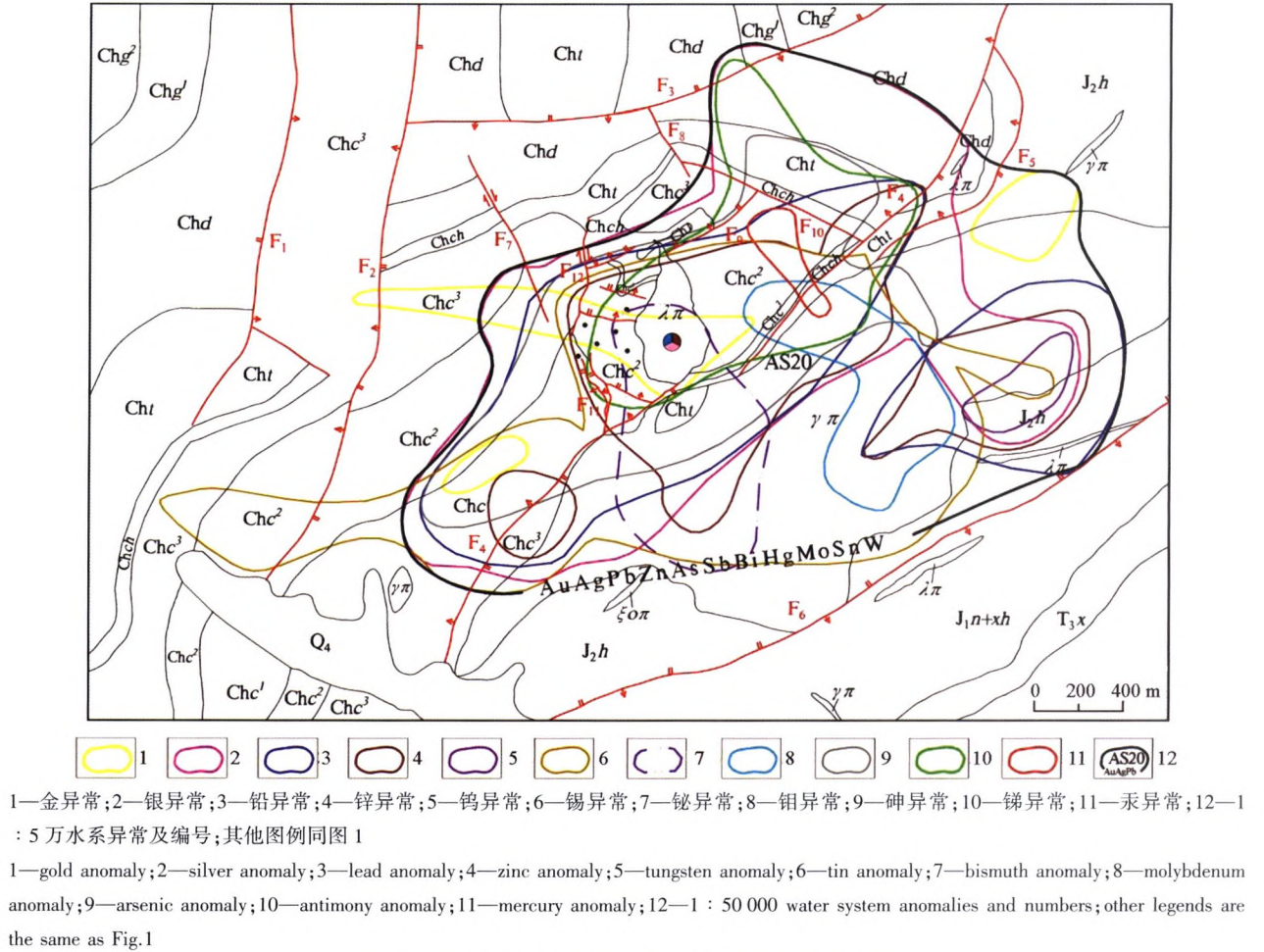


图 4 河北某斑岩型铅锌矿床 1:5万水系沉积物异常

Fig.4 A 1:50 000 water system sediment anomaly in a porphyry lead-zinc deposit in Hebei

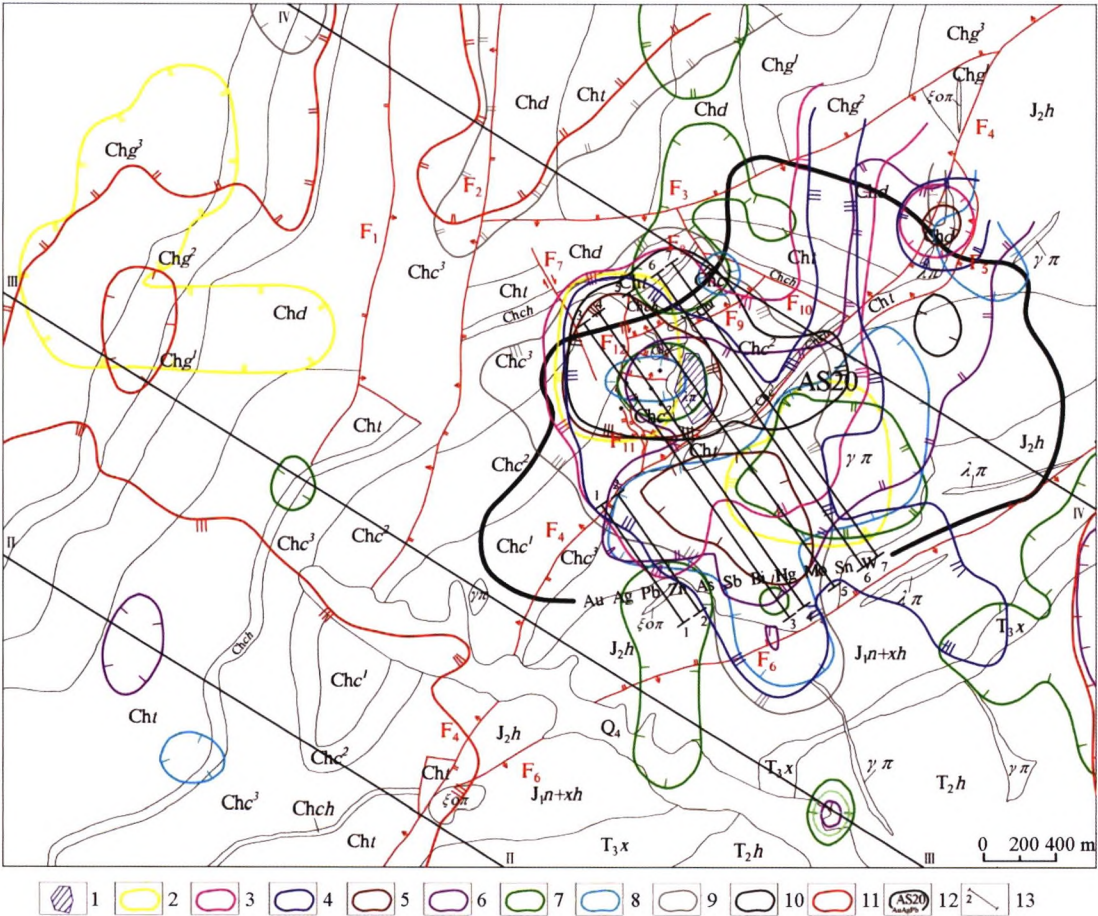
2.2.3 1:1万岩石异常

2012 年河北省地球物理勘查院在本区完成了 11 条岩石剖面测量,点距 20 m,共计 33.6 km,分析了 Au、Ag、Pb、Zn、Mo、As、Sb、Cu、Hg、W 等 10 种元素,利用这些数据计算成图,圈定了多元素地球化学异常(图 5),各元素的浓集范围与 AS20 异常基本一致,但又有自己的特点。首先,Hg、As 和 Au 等前缘指示元素更多地出现在了已知含矿岩体的外围,且范围较广,具有一定强度(中、内带),说明热液沿断裂裂隙系统渗滤作用较强;其次为更多的元素异常显示出了 NW 向,且多数正切了花岗斑岩体,表明 NWE 向的次级断裂可能对矿体具有很强的控制作用,且这些次级断裂晚于花岗斑岩侵位形成;最后,岩石异常更加清晰地显示出 Pb、Zn、Ag、Au 等中低温元素集中于石英斑岩及其外围,W、Mo、Cu、Au 等高温

元素集中于花岗斑岩中,水平分带^[16]明显,说明本区存在 Pb、Zn、Ag 低温热液矿床—Cu、Mo 高温热液矿床的成矿系列抑或是铅锌多金属矿体北西倾伏。

2.2.4 矿体原生晕特征

对区内孔深 1 600 m 的钻孔每 5 m 连续拣块进行原生晕测量(图 6)表明,由地表至孔深 340 m,异常以 Pb、Ag 为主,同时 Zn、Sb、As 也随之呈跳跃高含量,Zn 随深度增加含量逐渐变高,为典型低温元素前缘元素组合;340~830 m 左右,高含量异常以 Zn、Pb、Ag 为主,Sb、As、Hg 同步变化,该段异常实现了由以 Pb 为主到以 Zn 为主的转换,并与 Ag 一起达到了各自的极致,迅速下降到较低水平,而 Cu 则从 665 m 开始随着 Zn、Pb 含量的增加,其含量也上升到了 100×10^{-6} 以上;830~1 070 m 为 Cu、W 的高异常段,Ag 亦维持在相对较高含量水平;1 070~



1—原斑岩型铅锌矿平面范围;2—金异常;3—银异常;4—铅异常;5—锌异常;6—钨异常;7—铜异常;8—钼异常;9—砷异常;10—锑异常;11—汞异常;12—1:5 万水系异常及编号;13—剖面位置及编号;其他图例同图 1
1—plane range of original porphyry lead-zinc deposit;2—gold anomaly;3—silver anomaly;4—lead anomaly;5—zinc anomaly;6—tungsten anomaly;7—copper anomaly;8—molybdenum anomaly;9—arsenic anomaly;10—antimony anomaly;11—mercury anomaly;12—1:50 000 water system anomalies and numbers;13—section location and number;other legends are the same as Fig.1

图 5 河北某斑岩型铅锌矿床 1:1 万岩石异常

Fig.5 1:10 000 rock anomaly in a porphyry lead-zinc deposit in Hebei

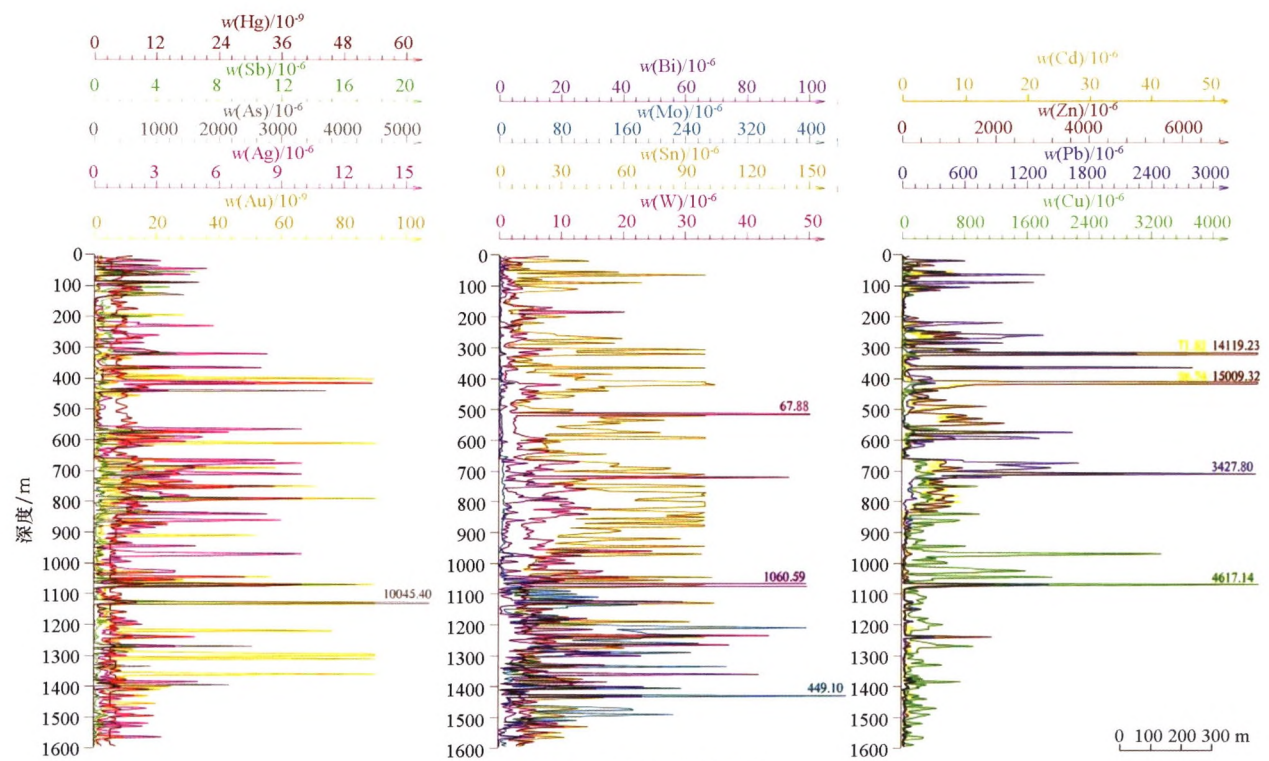


图 6 钻孔原生晕曲线

Fig.6 Borehole halo curve diagram

1 600 m 以 Mo、Bi 异常为主,W、Cu、Au 局部呈高含量跳跃变化。总体由上到下,矿体垂向分带为 Pb、Ag、As、Sb→Zn、Pb(Ag)、Hg→Zn(Cu)→Cu、W→Mo(Cu)、Bi,热液矿床的元素异常分带较为典型。值得注意的是:0~1 070 m,Sn 与 Ag 变化趋势一致,随 Pb、Zn、Cu 异常显示为高含量,而 Sn 作为高温元素在分带序列中应处于中下部,Ag 作为低温元素应处于中上部,说明该孔内存在 2 个以上的成矿期次(过程),Sn 具较强的亲 S 性,使其低温条件下与 Ag 形成了硫银锡矿^[17];Au 在孔深 400 m、600~800 m、1 200~1 400 m 均出现了高异常段,由规模和强度来看,愈向下愈强,具有寻找 Au 的有利地化条件;As、Sb、Hg 在 1 000 m 以下,W 在浅部均有局部异常显示,也说明了成矿的复杂性和多期次叠加的特点。

根据格里戈良分带指数法^[18]计算(表 2)可知,由上到下原生晕分带顺序为 Sb、As→Zn、Pb→Cd、

Hg→Ag→Sn、Cu→Au、W→Mo、Bi,与曲线图呈现的由低温元素到高温元素组合的基本顺序一致。但 Hg、Ag 等低温指示元素出现在 Zn、Pb 等主成矿元素之后,为倒序分布,显示了含矿热液在浅部的多次活动叠加。Sn、Cu 在 800~1 000 m 相伴出现,是否指示着矽卡岩型矿床的存在,值得后期研究和验证。

由各元素的相关系数(表 3)可知,Au 与 Bi 相关性最强,说明本区 Au 在高温条件下更易富集,应关注深部岩体内的 Au 含量变化;Cd 与 Zn 的相关性达到了 0.99,与 Pb、Ag 相关性也都在 0.40 以上,说明 Cd 是赋存于闪锌矿或方铅矿中的,对本区综合利用“稀散元素”是重要的参考;Mo 与大多数元素呈现出负相关,与其相关性最大的 Au 也只有 0.13,说明 Mo 的成矿过程及矿液来源相对单一、独立,严格受到了花岗斑岩体的控制,寻找 Mo 矿应着眼于此。

表 2 元素的分带指数值

Table 2 Zonal index values of elements

孔深/m	Au	Ag	Sn	Cu	Zn	Mo	Cd	Sb	W	Pb	Bi	As	Hg
0~200	0.03	0.06	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.19	0.07	0.21	0.00	0.30	0.07
200~400	0.04	0.05	0.05	0.00	0.07	0.00	0.03	0.03	0.00	0.35	0.00	0.00	0.10
400~600	0.01	0.05	0.07	0.01	0.06	0.00	0.04	0.01	0.11	0.08	0.00	0.08	0.17
600~800	0.05	0.11	0.06	0.02	0.02	0.00	0.02	0.01	0.08	0.19	0.01	0.13	0.10
800~1000	0.03	0.11	0.22	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.10	0.02
1000~1200	0.06	0.05	0.04	0.20	0.00	0.02	0.00	0.04	0.08	0.03	0.21	0.23	0.01
1200~1400	0.16	0.03	0.02	0.07	0.00	0.10	0.00	0.01	0.27	0.01	0.12	0.18	0.00
1400~1600	0.12	0.00	0.00	0.07	0.00	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.08	0.14

表 3 元素相关系数矩阵
Table 3 Matrix table of element correlation coefficients

元素	Au	Ag	Sb	As	Hg	Cd	Bi	Sn	W	Pb	Cu	Zn	Mo
Au	1												
Ag	0.25	1											
Sb	0.29	0.41	1										
As	0.29	0.21	0.20	1									
Hg	0.04	0.40	0.21	0.08	1.00								
Cd	0.04	0.44	0.25	0.05	0.74	1							
Bi	0.33	0.24	0.67	0.02	0.05	0.11	1						
Sn	0.17	0.63	0.27	0.24	0.42	0.42	0.14	1					
W	0.03	0.15	-0.04	0.09	0.02	0.04	0.00	0.24	1				
Pb	0.08	0.57	0.40	0.13	0.41	0.49	0.17	0.40	0.00	1			
Cu	0.26	0.55	0.44	0.08	0.03	0.10	0.66	0.35	0.19	0.10	1		
Zn	0.02	0.41	0.24	0.04	0.72	0.99	0.06	0.39	0.02	0.49	0.06	1	
Mo	0.13	-0.08	-0.09	0.01	-0.13	-0.05	0.04	-0.10	0.10	-0.11	0.06	-0.07	1

3 找矿效果及预测

3.1 找矿效果

根据物化探异常分布规律,结合本区(隐伏)斑岩体及构造控矿的特点,认为以往勘查只局限于石英斑岩内部寻找斑岩型矿床的思路是不正确的,航磁、地磁及激电异常均指示出石英斑岩体外围存在隐伏岩体,且与 NE、NW 向构造的耦合较好,化探异常进一步显示岩体外围构造及接触带控矿的特征,且元素分带较好,矿种不应只局限于铅锌。由此确立了石英斑岩体的接触带以及西部、西北部石英砂岩的围岩中是寻找热液脉型铅锌的有利地段,花岗斑岩北、南西接触带是寻找斑岩型钼矿、矽卡岩型铜钼矿首要地段的找矿思路。经对石英斑岩体西部外围钻探验证发现,首先,施工的 6 个钻孔全部位于石英砂岩盖层内,均见到了铅锌银多金属矿体;其次,钻孔浅部为中低温热液脉型铅锌银矿体,中下部为热液型黄铜矿体,1 000 m 以下为斑岩型辉钼矿体,由浅至深,由低温到高温的矿体垂向分带强清晰,由中低温热液型到斑岩型的成矿系列类型齐全;再次,外围矿体厚度大,最大单层厚度达到了 183.18 m,品位高,锌的品位最高达到了 23.3%,Pb+Zn 平均品位大于 2.1%,为原矿床品位的近 2 倍。最后,本区新增铅锌金属量 19 万 t,银金属量 142 t,铜 1 400 t,钼 40 t,大大增加了本矿床的规模和经济价值。

3.2 找矿预测

由目前矿体分布特征与物化探异常的对应关系,与地质构造及可能的成矿事件的耦合关系推断:

1) 石英斑岩的内接触带是斑岩型铅锌矿体赋存的最有利部位,且品位较岩体中心更高,更具工业

价值;

2) 石英斑岩西、西北部为热液脉型铅锌银矿的最佳成矿部位,尤其激电低阻高极化异常与 Pb、Zn 多元素异常、半环状张性断裂复合区域;

3) 花岗斑岩体南北接触带,尤其 W、Mo 元素异常发育的南西接触带为寻找斑岩型、矽卡岩型铜钼矿床的优先靶区;

4) NE 向低阻高极化带沿次级构造延伸出区外未封闭,与化探异常分布较为一致,推测为构造裂隙内赋存的铅锌多金属矿体所致。

4 结论

本区新的找矿突破是在充分分析成矿地质背景^[19]的基础上,认为斑岩型矿床不应是独立且单一的存在,以斑岩体为中心应存在各种成因类型的矿床,矿种也不应仅限于铅锌银等中低温矿床,铜钼矿床赋存的可能性较大,应按照成矿系列的思路统筹考虑成矿前景。

通过系统整理、分析以往化探资料发现,各元素的水平分带明显,元素组合齐全,异常浓集中心指向性强,对比磁、电异常发现,断裂发育地段、岩体接触带激电异常规律性带状分布,磁异常指示出了岩体的不均匀分异及隐伏岩体存在的可能。选择地质条件与物化探异常耦合关系好的地段进行钻探验证,于石英斑岩围岩中发现了高品位的热液脉型铅锌银矿体,下部发现了隐伏岩体,并赋存有铜钼矿体,岩体内接触带发现了厚铅锌银矿体,形成了铅锌银矿为主,铜钼矿联合产出,斑岩型—热液脉型—(矽卡岩型)成因类型丰富的局面,新控制金属资源量达到了中型规模以上,使本区具备了成为大型铅锌多

金属矿产地的潜力。

本区找矿的突破为燕山地区同类型矿床,甚至不同类型矿床利用综合物化探异常实现外围增储、深部寻找新矿种、提高矿床价值提供了有益的现实参考。

参考文献 (References):

- [1] 翟裕生.按成矿系列思路找寻铜—金矿床[J].有色金属矿产与勘查,1994,3(3):158.
Zhai Y S.Copper and gold deposits are searched according to the thought of metallogenic series[J].Geological Exploration for Non-ferrous Metals,1994,3(3):158.
- [2] 金利勇,钟长林.中国斑岩矿床成矿系列的几点认识[J].吉林地质,2001,20(3):23-29.
Jin L Y, Zhong C L.The views on the metallogenic series of China porphyry deposits[J].Jilin Geology,2001,20(3):23-29.
- [3] 陈毓川,裴荣富,王登红.三论矿床的成矿系列问题[J].地质学报,2006,80(10):1501-1508.
Chen Y C, Pei R F, Wang D H.On minerogenetic series:Third discussion[J].Acta Geologica Sinica,2006,80(10):1501-1508.
- [4] 陈毓川,裴荣富,王登红,等.矿床成矿系列——五论矿床的成矿系列问题[J].地球学报,2016,37(5):519-527.
Chen Y C, Pei R F, Wang D H, et al.Minorogenetic series for mineral deposits: Discussion on minerogenetic series (V) [J]. Acta Geoscientica Sinica,2016,37(5):519-527.
- [5] 裴荣富,李进文,梅燕雄.大陆边缘成矿[J].大地构造与成矿学,2005,29(1):24-34.
Pei R F, Li J W, Mei Y X.Metallogeny of continental margin[J]. Geotectonica et Metallogenia,2005,29(1):24-34.
- [6] 郑翻身,蔡红军,张振法.内蒙古拜仁达坝维拉斯托超大型银铅锌矿的发现及找矿意义[J].物探与化探,2006,30(1):13-25.
Zheng F S, Cai H J, Zhang Z F.The discovery of superlarge silver-lead-zinc deposits in Bairendaba and Weilasitulo, Inner Mongolia, and its ore-prospecting significance[J].Geophysical and Geochemical Exploration,2006,30(1):13-25.
- [7] 曹晓明,周贤旭,钟浩.“就矿找矿”的认识与实践[J].东华理工大学学报:自然科学版,2011,34(1):51-56.
Cao X M, Zhou X X, Zhong H.The cognition and the practice of ore-prospecting nearby the existing deposits [J]. Journal of East China Institute of Tecnology,2011,34(1):51-56.
- [8] 朱训.关于就矿找矿的几个问题[J].中国工程科学,2015,17(2):35-39.
Zhu X.The problems about the theory of“known for unknown”[J]. Chinese Engineering Sciences,2015,17(2):35-39.
- [9] 姚磊,吕志成,陈辉,等.再谈燕山深部及外围找矿新发现及意义[J].南京大学学报:自然科学,2018,54(2):296-307.
Yao L, Lyu Z C, Chen H, et al.A reappraisal on the new discovery of deep ore exploration of mines and adjacent areas and its significances[J].Journal of Nanjing University: Natural Science,2018,54(2):296-307.
- [10] 李强.危机矿山接替资源勘查的理论与方法研究进展与发展趋势[J].西部探矿工程,2011,(11):96-98.
Li Q.Research progress and development trend on the exploration of replaceable resources of crisis mine[J].West-China Exploration Engineering,2011,(11):96-98.
- [11] 王金亮,李俊平,李永峰,等.危机矿山深部找矿研究现状与建议[J].矿产保护与利用,2010,(4):45-49.
Wang J L, Li J P, Li Y F, et al.The current research situation and suggestions of deep exploration for crisis mines [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources,2010,(4):45-49.
- [12] 张原庆,宋炳忠,王玉福,等.矿山外围找矿方法探讨[J].地质找矿论丛,2009,24(2):106-110.
Zhang Y Q, Song B Z, Wang Y F, et al.Discussion on ore-searching methods in surroundings of the known mines [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources,2009,24(2):106-110.
- [13] 河北省地矿局第八地质大队.河北省承德县轿顶山铅锌矿普查地质报告[R].1988.
The Eighth Geology Brigade of Bureau of Geology and Mining of Hebei Province. Geological survey report of lead-zinc deposit in Jiaodingshan, Chengde county of Hebei province [R].1988.
- [14] 地质部航空物探大队 904 大队.河北承德地区航空物探成果报告[R].1980.
904 Brigade, Aviation Geophysical Prospecting Brigade, Ministry of Geology. Achievements report of aerial geophysical exploration in Chengde, Hebei [R].1980.
- [15] 河北省地球物理勘查院.河北省平泉县下营房-小寺沟一带 1:5 万战略性矿产远景调查报告[R].2008.
Hebei Institute of Geophysical Exploration. Surver report of 1:50 000 strategic mineral prospects in Xiayingfang-Xiaosigou area, Pingquan County, Hebei Province [R].2008.
- [16] 朴寿成,连长云,王丽华.确定地球化学异常水平分带序列方法的研究[J].物探与化探,1997,21(3):168-171.
Piao S C, Lian C Y, Wang L H.A study of the method for determining geological horizontal zonality sequence [J]. Geophysical and Geochemical Exploration,1997,21(3):168-171.
- [17] 刘恒福,徐云甫,李善平.三十九种元素的分组及元素地球化学[M].北京:地质出版社,2017.
Liu H F, Xu Y F, Li S P.Grouping of thirty-nine elements and element geochemistry [M]. Beijing: Geological Press,2017.
- [18] 蒋敬业.应用地球化学[M].武汉:中国地质大学出版社,2006.
Jiang J Y. Applied geochemistry [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press,2006.
- [19] 叶天竺,张智勇.成矿地质背景研究技术要求[M].北京:地质出版社,2010.
Ye T Z, Zhang Z Y. Geological background research and technical requirements [M]. Beijing: Geological Press,2010.

Application of comprehensive geophysical and geochemical exploration in a porphyry lead-zinc deposit in Hebei and its prospecting effect

ZHEN Li-Chao, LI Yu-Tang, ZHAO Bo, JIANG Yu-Wei, ZHAI Da-Xing

(*Hebei Institute of Geophysical Exploration, Langfang 065000, China*)

Abstract: A lead-zinc deposit in Hebei Province is the only medium-sized porphyry lead-zinc deposit in Yanshan area. Many years' geological exploration work after its discovery has not made major prospecting breakthrough. After comprehensive research on geophysical and geochemical exploration and geological data obtained over the years in combination with a series of work such as high-power IP area measurement, it is believed that the anomalous elements of geochemical exploration in this area are obviously in zoning form, the anomaly of the electrical shock is obvious, the metallogenic series is complete, and the prospecting potential is large. Through drilling verification, thick high-grade lead-zinc deposits were found in the periphery of the porphyry and in the contact zone, copper and molybdenum deposits were found in the depth, which form a complete metallogenic series of porphyry deposits. Therefore, a new breakthrough in prospecting in this area has been realized. This area has a potential to become a large lead-zinc deposit, thus further expanding the resource prospect of the region.

Key words: geochemical anomalies; elemental zoning; excited polarization anomaly; porphyry lead-zinc deposit; metallogenic series

(本文编辑:蒋实)