

文章编号:1004-4116(2023)04-0031-11

甘肃白银厂及其外围磁异常特征及找矿预测

刘彦良^{1,2},唐胜军¹,高雅^{1,2},丁志军¹,季文中¹,郭东宝^{2,3}

(1.甘肃省有色地质调查院,甘肃 兰州 730000;

2. 自然资源部黄河上游战略性矿产资源重点实验室,甘肃 兰州 730000;

3. 甘肃省有色金属地质勘查局兰州矿产勘查院,甘肃 兰州 730000)

摘 要:在白银厂铜矿深部及外围地区开展地质找矿任务十分紧迫。磁法在辅助金属矿深部找矿方面效果好,研究该区磁异常特征可为深部找矿提供依据和参考。本文通过梳理白银厂及其外围1:50 000地面高精度磁法和航磁实测资料,阐明了该区的岩(矿)石磁性、磁场分布和局部磁异常等特征。利用多种位场转换处理法结合多点实测校正的方法,综合分析磁异常与地层、岩浆岩、构造、矿化蚀变等成矿条件之间的联系,圈定局部磁异常20个,解译断裂构造18条、隐伏—半隐伏岩体6个,并对圈定的局部磁异常进行了解释推断和分类评价。研究结果表明:白银厂铜矿深部及外围地区成矿潜力较好,综合区域成矿规律和地质成矿背景,归纳地球物理找矿信息,进一步优选出找矿远景区7处。研究找矿远景区的特征,指明找矿方向,分析成矿潜力,以期为后续资源勘查提供磁异常依据和参考。

关键词:甘肃白银厂及其外围;磁异常特征;找矿预测

中图分类号:P631;P618

文献标志码:A

白银厂铜矿位于祁连造山带东段的北祁连褶皱带(图1),属北祁连加里东金、铜、铅锌、铬、铁、钨成矿带(Ⅲ-5)的核心地段^[1-2]。面临老矿山的资源枯竭,围绕其外围及深部找矿已经迫在眉睫。研究区先后完成了1:20万区域地质调查、区域地球化学测量、布格重力测量、航磁测量,1:25万区域地质调查,1:50 000重力测量、航磁测量、水系沉积物测量等工作,但一直未获得满意的找矿效果。前人就该区主要典型矿床白银厂铜矿进行了系统的研究;殷先明、张国旭等从成矿系列方面,刘彦良、窦小雨等从地球化学特征方面预测了研究区的成矿潜力^[3-8]。但研究区有一定的覆盖范围,对深部的隐伏岩体以及大型构造的研究还不够系统深入,这些都让开展高精度磁测及其成果解译工作变的十分急需和必要。本文以1:50 000地面高精度磁法和航磁实测资料为基础,在充分参考和利用前人资料的基础上^[9-12],详尽地研究了区域地物化遥背景、航磁异常特征、地面磁异常特征等,总结了区内局部磁异常特征及其

成因,归纳地球物理找矿信息,优选找矿远景区,分析找矿潜力,以期为后续资源勘查提供磁异常依据和参考。

1 区域地质背景

研究区包括北祁连褶皱带和中祁连隆起带两个Ⅲ级大地构造单元,其中北祁连褶皱带可进一步划分出了高山断裂构造混杂岩带、白银火山岛弧、银洞沟弧后盆地、王家山前陆盆地等4个Ⅳ级构造单元,中祁连隆起带即皋兰隆起带。各单元间多发育北西走向的逆冲型或逆冲—走滑型逆冲推覆断褶带和韧性剪切带,各构造单元的地球物理特性存在显著差异,为地球物理找矿勘查提供了前提条件。

研究区出露地层包括新元古界皋兰岩群(PtG)、震旦系白银岩群(ZB)、寒武系黑茨沟组(ϵ_2h)、奥陶系阴沟群(O_1Y)、中堡群(O_2Z)、志留系肮脏沟组(S_1a)、泥盆系沙流水组(D_3s)、石炭系前黑山组

收稿日期:2023-07-28

基金项目:中国地质调查局公益性地质调查项目“甘肃省白银厂及其外围地区矿产远景调查(1212011120563)”和甘肃省自然资源厅自然资源青年人才(团队)项目“甘肃省徽县洛坝外围铅锌金找矿及成矿规律研究”联合资助。

作者简介:刘彦良(1983~),男,甘肃靖远人,地矿高级工程师,主要从事地质矿产勘查和研究工作。E-mail:317510246@qq.com

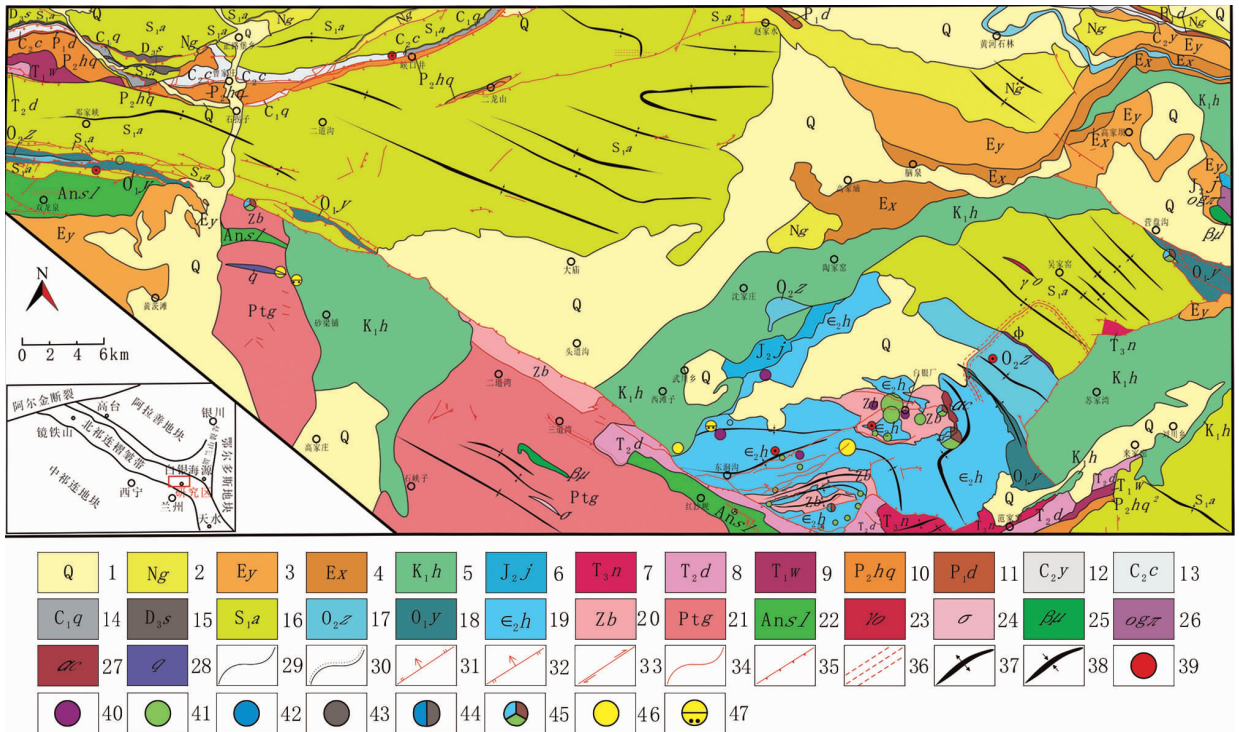


图 1 研究区矿产地质简图(据文献[1-3]修改)

Fig. 1 Geological sketch showing mineral occurrences in Baiyinchang region

- 1—第四系;2—新近系甘肃群;3—古近系野狐城组;4—古近系西柳沟组;5—下白垩统河口群;6—中侏罗统茆茆沟组;7—上三叠统南营儿组;
8—中三叠统丁家窑组;9—下三叠统五佛寺组;10—中二叠统红泉组;11—下二叠统大黄沟组;12—上石炭统羊虎沟组;
13—上石炭统臭牛沟组;14—下石炭统前黑山组;15—上泥盆统沙流水组;16—下志留统肮脏沟组;17—中奥陶统中堡群;
18—下奥陶统阴沟群;19—中寒武统黑茨沟组;20—下震旦统白银岩群;21—元古宇皋兰岩群;22—丁高山构造混杂岩;23—斜长花岗岩;
24—闪长岩;25—辉长辉绿岩;26—奥长斑岩;27—次安山岩;28—石英脉;29—实测地层整合界线及侵入接触界线;30—实测地层不整合界线;
31—实测正断层;32—实测逆断层;33—实测平移断层;34—实测性质不明断层;35—区域逆冲断裂;36—韧性剪切带;37—背斜;38—向斜;
39—铁矿;40—锰矿;41—铜矿;42—铅矿;43—锌矿;44—铅锌多金属矿;45—铅锌铜多金属矿;46—原生金矿;47—砂金矿

(C₁q)、臭牛沟组(C₂c)、羊虎沟组(C₂y)、二叠系大黄沟组(P₁d)、红泉组(P₂hq)、三叠系五佛寺组(T₁w)、丁家窑组(T₂d)、南营儿组(T₃n)、侏罗系茆茆沟组(J₂j)、白垩系河口群(K₁H)、古近系西柳沟组(Ex)、野狐城组(Ey)、新近系甘肃群(NG)和第四系(Q)洪冲积和沼泽沉积等(图 1)。区内构造活跃,总体以北西向为主;断裂主要有彭家峡—大安村断裂、大甘沟川断裂、岳家庄—曾家庄断裂、峡口井断裂、二龙山断裂、炉子湾断裂、苏家塘沟断裂、二龙山北强劈理化带、青岷子—红岷沟韧性剪切带、了高山韧性剪切带等;褶皱主要有常家窑向斜、炭窑子向斜、青羊淌向斜、二龙山背斜、三台井向斜、拉牌滩复向斜、芦家大庄复背斜、吊圈复向斜、甘露池—尾茆沟复向斜等。区内火山岩较发育,大部分属海相火山岩系列,岩石类型齐全,多受到不同程度的变质改造,常见岩性有变玄武岩、变安山玄武岩、变安山岩、变英安岩、变流纹岩、变流纹英安岩和粗面岩等。震旦

纪、寒武纪和奥陶纪是研究区火山活动高峰期,该期火山活动形成了包括白银厂铜矿在内的一系列铜、铅、锌等多金属矿产。区内侵入岩不甚发育,主要为东部出露的蛇绿杂岩及南部零星出露的花岗闪长岩及一些脉岩。

区内最主要的矿床为白银厂铜矿田,主要赋存于白银岩群一岩组二岩段中酸性火山岩系(主要为细碧岩—石英角斑岩系)中,与后期侵入的钠长斑岩关系密切,包括折腰山、小铁山、火焰山、铜厂沟、四个圈、拉牌沟和火焰山东等矿床组成。

根据 1:20 万布格重力异常资料,研究区重力场特征表现为以白银厂重力高值异常区为中心,周围被重力负异常围绕,重力场的变化主要反映了白银火山岛弧的分布和了高山韧性剪切深大断裂构造带的存在。研究区 1:20 万区域航磁异常特征为白银厂圆形磁异常处于一北西向弱正磁异常带中,基本上反映了区内的构造格架和北西向的地层展布趋

势。研究区 1 : 20 万区域地球化学和 1 : 5 万水系沉积物地球化学特征显示,Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Mn、Fe、Co、Ni 等元素具有一定的成矿潜力,与海相火山岩有关且强度较高、元素组合较好的地球化学综合异常区有利于成矿^[1]。

2 数据与方法

2.1 数据来源

本次研究区的磁异常数据由两部组成,一部分来自自然资源部的 1 : 50 000 高精度航磁测量数据,数据采集使用国际先进的 HC-2000 型高精度氦光泵磁力仪,灵敏度 0. 005 nT,采样率 10 次/s,测线间距 500 m,切割线间距 10 km,测线方向 0° ~ 180°,切割线方向 90° ~ 270°,离地飞行高度 120 ~ 350 m,面积约占 1 400 km²。对航磁测量数据未覆盖区本次工作补充实测了 1 : 50 000 地面高精度磁法测量数据,数据采集使用加拿大劳雷公司生产的 ENVIpro 型高精度质子磁力仪,该仪器分辨率为 0. 1 nT,测线间距 500 m,点距 100 m,测线方向 0° ~ 180°,测量参数为磁场总量,磁测总精度为均方误差 ± 2. 55 nT,面积约占 800 km²,具体分布情况见图 2。外业数据采集工作以《物化探工程测量规范》

(DZ/T0513-95)为执行标准。为保障工作质量,正式工作前,对所有设备进行了性能校验。测量前后均对仪器进行了噪声水平测定、一致性试验、观测误差测定、系统误差测定,日变站、总基点的设立,测点观测与检查,均符合规范要求。测量数据检查是按照“一同三不同”的方式进行互检和专人检查,质检点基本上均匀分布全区,其结果以均方误差来衡量,均符合规范要求。

2.2 数据处理

通过实地实验的方式,研究和计算多个航磁和地磁重合位置磁异常差值,测算出同一地点航磁与地磁的数据平均差值,将本次实测的地磁数据统一差值(-22 nT)后整合到航磁数据的同一观测水准。然后对整个研究区的磁数据进行处理,包括野外数据预处理、坐标转换、数据检查与编辑、合并数据库、正常场水平梯度校正、日变校正、磁场水平调整与测量质量统计评价,全区磁场水平统一调平后总精度 1. 63 nT。数据采用北京 54 坐标系统,1 956 黄海高程系,投影方式为高斯-克吕格,中央经线 105°,磁场倾角为 56. 06°、地磁场偏角为-2. 42°,正常地磁场强度为 25 368. 9 nT,以上述参数为基准在 75 m × 75 m ΔT 网格间距下进行了数据网格化、滤波处

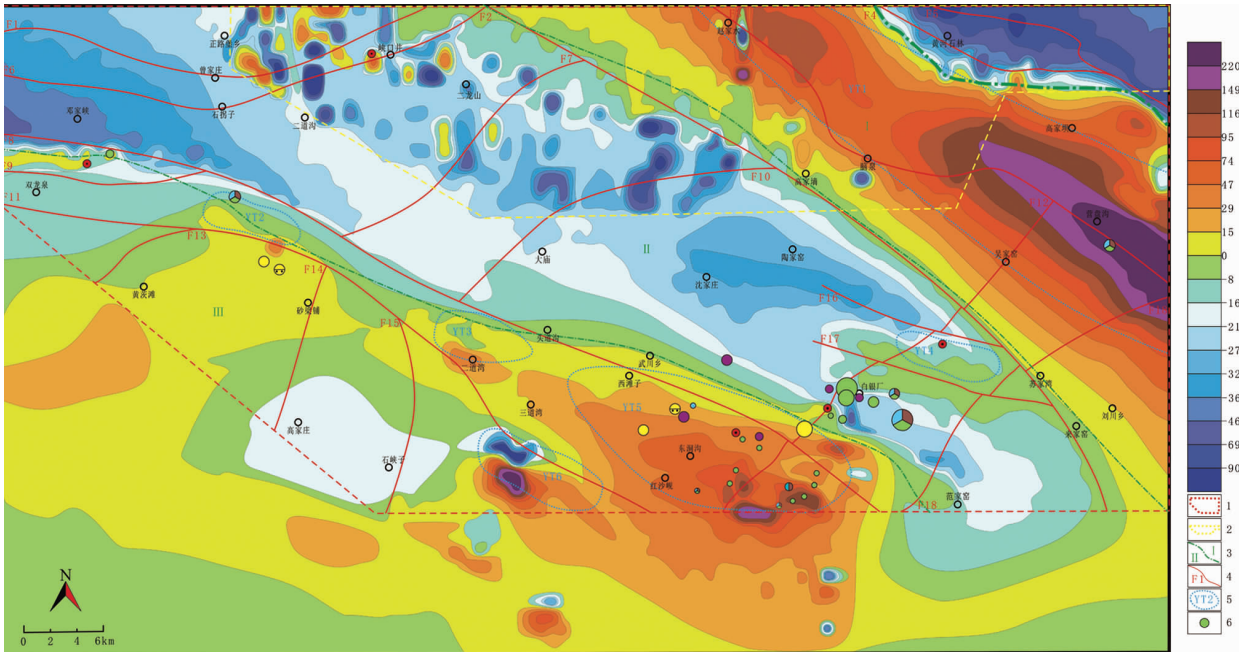


图 2 研究区磁ΔT化极与磁场分区平面图

Fig. 2 Comprehensive map of magnetic anomalies

1—航磁测量数据范围;2—高精度地磁测量数据范围;3—磁异常分区界限;4—磁异常推断解译的断裂构造;
5—磁异常推断解译的隐伏一半隐伏岩体;6—已知矿床(点)

理、化极处理、延拓处理(上延 0. 1 km、0. 2 km、0. 5 km、1.0 km、1. 5 km、2. 0 km); 及各向导数处理等。在利用多种位场转换处理方法详细分析异常特征的基础上,结合物性资料、场源特征及成矿地质条件探讨异常成因,讨论找矿预测远景区^[13-15]。

2.3 岩(矿)石磁性特征

为了进行准确的磁异常解释,本次开展了系统的岩(矿)石磁性测定,结果见表 1。岩石的磁性与地层时代无关,主要取决于岩石矿物组成的铁磁性矿物的含量多少。其规律为:

(1)沉积岩一般为弱磁性或极弱磁性,磁化率一般较小,平均值一般不超过 30×10^{-6} CGSM,若在正常情况下,它们在磁异常图上反映出的磁场特征,应是平静的或正或负的区域性磁场。

(2)部分变质岩有弱磁性,如角岩等的磁化率平均值为 792×10^{-6} CGSM,并具有较大的剩磁,结合其他变质岩的磁性特征,认为变质岩总体上磁性不强,在磁异常图上反映为区域性弱磁背景。

(3)侵入岩的磁性随其种类而变化,可以大致地

分为三种情况:酸性侵入岩总体上磁性较弱,如花岗岩的磁化率平均值为 180×10^{-6} CGSM;中酸性侵入岩总体上磁性中等,如花岗闪长岩的磁化率平均值为 $2\ 690 \times 10^{-6}$ CGSM,并具有较大的剩磁;基性侵入岩总体上磁性较强,如辉绿岩的磁化率平均值为 $11\ 781 \times 10^{-6}$ CGSM;这些侵入岩若侵入到磁性微弱的地层中,常引起一定幅值的正磁异常。

(4)火山岩主要包括玄武岩、安山玄武岩、钠质英安岩、玄武安山岩、安山岩、钠质流纹岩、玄武安山质凝灰岩、凝灰质熔岩等,从酸性岩—中性岩—基性岩—基性岩,磁化率呈逐渐增大的趋势。火山岩在磁异常图上的反映,则为跳跃式的、无规律的变化磁场,而且由于火山喷溢是受区域性断裂控制的,所以,这种变化磁场往往是呈条带状分布。

(5)磁铁矿、铁锰矿、含磁铁矿闪黑云片岩、含磁铁石英岩和块状含 Cu 黄铁矿石具有极强的磁性,磁化率平均值为 $36\ 300 \times 10^{-6} \sim 97\ 090 \times 10^{-6}$ CGSM,同时也具有较大的剩磁,与围岩存在较大的磁性差异,具有一定规模的磁铁矿类或含磁铁变质岩类矿石可引起明显的高强度磁异常。

表 1 研究区实测岩(矿)石磁性参数统计表
Table 1 Measured magnetic parameters of rock samples in the study area

岩性分类	岩石名称	采样数量	磁化率 K($\times 10^{-6}$ CGSM)		磁化强度 J($\times 10^{-6}$ CGSM)	
			变化范围	平均值	变化范围	平均值
侵入岩	辉绿岩	17	微 ~ 17 318	11 781	微 ~ 70	20
	花岗闪长岩	60	微 ~ 13 740	2 690	0 ~ 560	30
	斜长花岗岩	60	0 ~ 303	微	0 ~ 360	微
	石英钠长斑岩	12	396 ~ 1 583	微	0 ~ 120	微
火山岩	玄武岩	267	0 ~ 115 783	11 989	0 ~ 29 800	20
	安山玄武岩	30	9 896 ~ 19 792	16 938	0 ~ 2 950	40
	钠质英安岩	189	0 ~ 8 313	594	0 ~ 220	20
	玄武安山岩	236	0 ~ 211 478	8 906	0 ~ 2 890	20
	安山岩	20	13 854 ~ 42 553	36 596	0 ~ 29 300	40
	钠质流纹岩	48	0 ~ 11 875	693	0 ~ 90	20
	玄武安山质凝灰岩	163	693 ~ 68 283	3 463	0 ~ 280	30
	凝灰质熔岩	352	198 ~ 92 725	3 563	10 ~ 11 400	100
	灰岩	16	0 ~ 202	微	0 ~ 30	微
沉积岩	变粉砂岩	172	0 ~ 693	微	0 ~ 30	微
变质岩	各种片岩	648	0 ~ 13 162	微	0 ~ 150	微
	角岩	24	0 ~ 2 078	792	0 ~ 110	30
	大理石	19	0 ~ 456	微	0 ~ 150	微
矿石及顶底板围岩	含磁铁石英岩	2	396 ~ 3 067	50 890	60 ~ 1 700	1 500
	含磁铁矿闪黑云片岩	21	499 ~ 668 970	97 090	170 ~ 1 500	1 370
	磁铁矿	14	1 286 ~ 1 108 354	93 751	90 ~ 60 500	1 000
	铁锰矿	16	非 ~ 25 100	36 300	非 ~ 3 400	1 200
	块状含 Cu 黄铁矿石	53	19 896 ~ 39 792	38 367	196 ~ 1 700	1 604

总体而言,研究区新元古界和部分古生界一般磁性较强,部分新生界和中生界磁性较弱,强磁性体与火山岩、变质火山岩和含磁铁矿类的铁锰矿关系密切,了高山构造混杂岩磁性较强。

2.4 研究区金属矿床磁异常找矿标志特征

董凯等^[3]对白银厂铜矿的成岩成矿规律进行了系统的总结,刘彦良等^[1]对研究区的成矿时空分布规律、矿产共生组合规律及内在成因规律等方面进行了详细论述,综合前人研究成果,调查区磁异常找矿标志见表 2。

表 2 研究区金属矿床磁异常找矿标志特征一览表
Table 2 Magnetic characteristics of polymetallic deposits in the study area

编号	金属矿床	磁场找矿标志特征	备注
1	铁钴镍矿床	①磁 ΔT 异常正磁异常中心位置;②磁 ΔT 化极负异常背景下的正异常中心部位附近的等值线密集区或高正异常的中心附近;③磁 ΔT 化极向上延拓异常的正负梯级带附近的正磁异常一侧或者正异常中心位置。高正异常中心位置和正负异常梯级带附近正异常一侧是主要的磁异常找矿标志。	峡沟井铁矿、南页沟铁矿、双洞峡铁矿
2	锰矿床	①磁 ΔT 异常正负梯级带附近的正磁异常一侧,或者正异常中心附近;②磁 ΔT 化极异常正负梯级带附近两侧、梯度较缓;③磁 ΔT 化极向上延拓异常的正负梯级带附近的正磁异常一侧或者正异常中心位置。正负梯级带走向和区域主构造线及深大断裂带走向一致。正负异常梯级带附近和高正异常中心位置是主要的磁异常找矿标志。	中庄锰矿、牌楼沟锰矿、东洞沟锰矿、石照子锰矿
3	铜铅锌矿床	①磁 ΔT 异常正负梯级带附近两侧、梯度较陡;②磁 ΔT 化极靠负异常边部的等值线密集区或梯级带部位;③磁 ΔT 化极向上延拓异常的正负异常梯级带零值区附近位置。正负异常梯级带和正异常背景下的小规模负异常是主要的磁异常找矿标志。	白银厂铜矿田
4	金矿床	①磁 ΔT 异常局部正异常中心部位附近,正磁异常带和区域主构造线一致;②磁 ΔT 化极正负梯级带附近的正磁异常一侧、梯度较缓;③磁 ΔT 化极向上延拓异常的中心位置。正负异常梯级带附近正异常一侧和高正异常中心位置是主要的磁异常找矿标志。	郝泉沟金矿床、朵家滩岩金矿、西湾岩金矿

以东北。异常走向大体为北西向,异常整体形态为长条带状,异常强度整体在约 0 ~ 124.5 nT 之间,一些局部地区异常幅值可达 165 ~ 266 nT。磁力等值线较为平直,磁场梯度变化适中,磁场值以背斜形式自中心向北东和南西两侧呈现逐渐降低的趋势;化极以后,带内磁异常整体向南西位移,中心地带的磁场由化极前局部不均匀分布特征转换为均匀面积性分布特征,表明该正磁异常范围较大。带内局部还可见少量古生界下二叠统大黄沟组、下志留统肮脏沟组、下奥陶统阴沟群等老地层,主要岩性大黄沟组为碎屑沉积的粉砂质泥岩夹含砾砂岩和火山沉积的凝灰岩,肮脏沟组为变粉砂岩、绢云千枚岩、绢云石英岩,阴沟群为绢云石英片岩夹变砂岩和火山岩火山凝灰岩,局部夹有含磁铁石英岩、含磁铁角闪黑云片岩、含 Cu 黄铁矿层等,根据实测物性资料,这些岩性容易引起较强的磁异常。经 ΔT 化极后不同高度上延后,该异常带仍然呈现正磁场特征,表明该异常

3 研究区磁场特征

3.1 磁场分布特征

根据研究区磁 ΔT 化极等值线平面图(图 2)所反映的磁场分布的主体形态、幅值变化以及走向分布特征为主要依据,结合地质背景特征,可将主体磁场划分为 3 个带:各分带磁场特征详述如下:

(1)东北部赵家水—高家坝—马家川一带正磁异常带:分布在黄河石林—尾泉口—大浪山一线(黄河古断裂带)以西南,青羊淌—高家塙—苏家湾一线

带在空间上向下具有较大的延深,受磁性基底隆起影响及控制,正磁异常分布范围反映了磁性基底隆起范围及边界。所以该带内的新生界盖层下面覆盖着古老的磁性地层或者磁性岩浆体,是隐伏的岩浆热液和构造活跃地段。综合前人重磁联合大剖面及瞬变电磁测深成果研究表明,区内的正磁异常往往伴随重力高异常,重磁异常的部分重合,也证实了在白银厂地区深部有巨大铁镁质基性岩体(或岩浆房)的分布,是幔源底部上升和大规模基性岩浆活动和上侵的有力证据^[9-12]。

(2)中部邓家峡—白坡子—南台子一带负磁异常带:分布在青羊淌—高家塙—苏家湾一线以西南,墩底下—石青硐—老硐沟—武川—黑石山—范家窑一线(了高山韧性剪切深大构造带)以东北。异常走向大体为北西向,向西延伸逐渐转为近东西向,异常整体形态为不规则长条带状。异常强度整体在约-33 ~ 0 nT 之间,一些局部地区异常幅值可

达 $-65.352 \sim -71.55$ nT,磁力等值线较为平直,磁场梯度局部变化较大;化极以后,磁场值进一步降低,磁力等值线仍然呈北西向分布;经 ΔT 化极不同高度上延后,局部磁异常逐渐降低并趋于区域背景场,表明局部异常具有埋深浅、规模小的特点,随着上延高度的增加,负值异常场逐渐变弱且局部转正,说明通过上延高度的变化,由浅及深的相对突出了深部区域场的磁性特征(图3)。地表出露地质体主要为古生界,岩性主要为碎屑沉积的变粉砂岩、绢云千枚岩、绢云石英岩、绢云石英片岩和火山岩、火山凝灰岩等。在白银厂矿区及其东侧出露的震旦系白银岩群、中寒武统黑刺

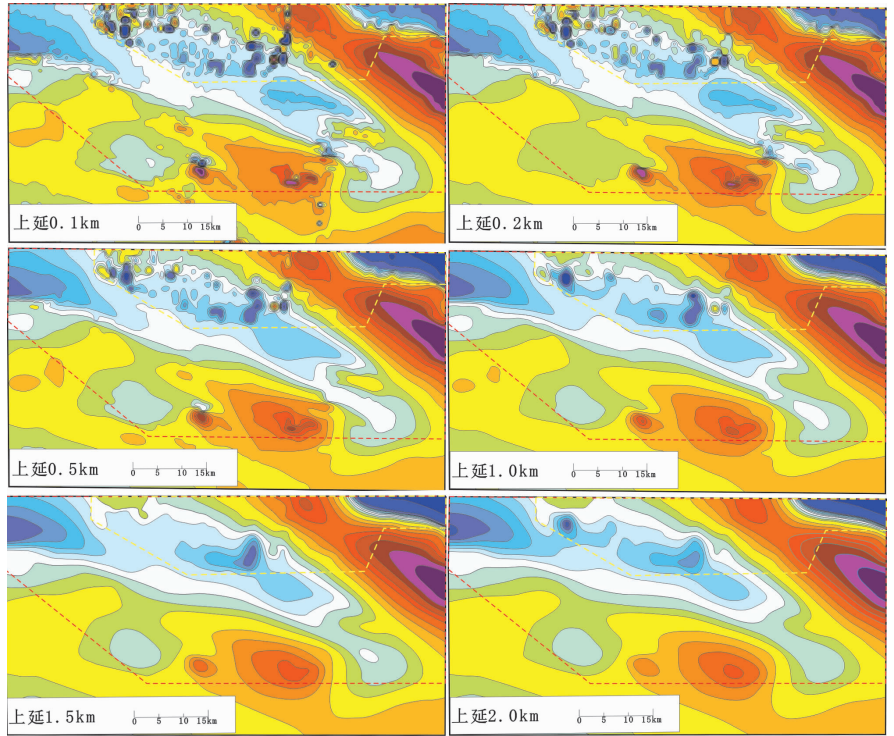


图3 研究区磁 ΔT 化极向上延拓等值线平面图

Fig. 3 Contour map of ΔT magnetic extension

沟组、下奥陶统阴沟群、中奥陶统中堡群等,正路堡到峡口井之间的峡沟井铁矿西侧地区,有若干个存在于负磁异常带中的小规模低缓正磁异常,异常中心高值 $43.06 \sim 93.189$ n之间,与已经发现的矿点距离较近;推测存在深部隐伏含磁性岩体,是进一步找矿有利地段。

(3)西南部黄茨滩—二道湾—红沙峁一带正磁异常带:分布在墩底下一石青砭—老硐沟—武川—黑石山—范家窑一线(了高山韧性剪切深大构造带)以西南。异常走向大体为北西向,黄刺滩到砂梁铺之间转为近东西向,黄刺滩往西逐渐转为北东向延伸出区外,大体上显示出北西向和北东向两组构造在此范围交汇叠加。异常整体形态为不规则椭圆状、长条带状。异常强度整体在约 $0 \sim 124.46$ nT之间,一些局部地区异常幅值可达 $179.59 \sim 546.32$ nT,磁力等值线稀疏平直,磁场梯度局部变化较大;化极以后,区内磁异常整体向北位移,磁场值略有上升;经 ΔT 化极不同高度上延后,磁场异常值变化范围不大,磁力等值线北西—近东西向分布特征明显,表明该带受深部磁性基底和断裂构造带的综合影响,反映了研究区了高山韧性剪切深大构造带的走向分布特征。地表出露地质体主要包括新元古界皋兰岩群、震旦系白银岩群、寒武系黑茨沟组、奥陶系阴沟群、

中堡群、志留系脏脏沟组等,其中白银岩群的变质火山岩系、黑茨沟组变质碎屑岩夹变质火山岩系和了高山构造混杂岩以及次角斑岩对应较高的正磁异常;白银岩群的钙质黑云片岩和绢云千枚岩变质岩系以及辉绿岩体对应的另一个正磁异常。总体来看,该带内为受北东向区域构造和北西向基底深大断裂带走向综合影响而形成的次级构造沉积单元,磁力等值线密集陡变带和断裂构造对应关系显著,存在深部大规模隐伏含磁性地质体的可能性,对进一步找矿有一定的指示意义。

3.2 局部磁异常圈定及分类评价

根据磁场分布特征,具有较明显异常显示的局部磁场区圈定为局部磁异常,全区共16处(图4)。按从西到东、由北往南的顺序依次进行编号为M1—M16。按全国矿产资源潜力评价磁测资料应用技术要求对磁异常进行分类,甲类异常为矿致异常;乙类异常为推断具有找矿意义的异常;丙类异常为性质不明异常;丁类异常为不具找矿意义异常^[8]。按照上述异常分类原则划分出甲类6个、乙类5个、丙类3个(表3)。

3.3 断裂构造和隐伏一半隐伏岩体推断解释

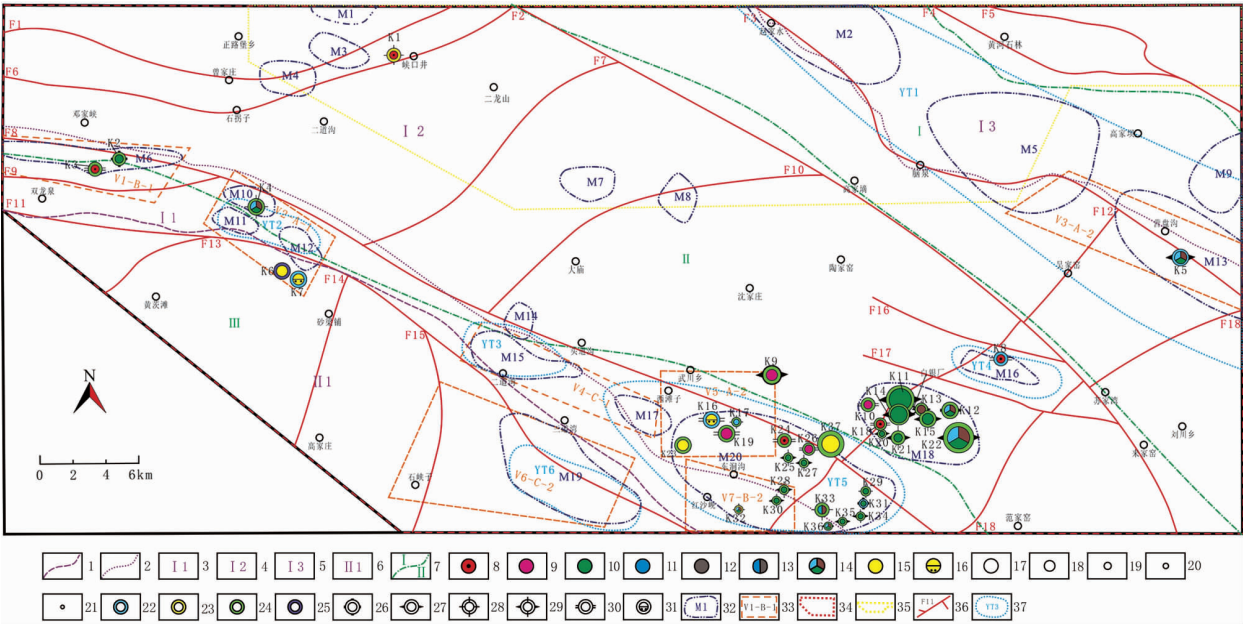


图 4 研究区磁测综合解释推断和成矿远景预测图

Fig. 4 Prospecting units determined by magnetic survey

- 1—I 级构造分区界线;2—II 级构造分区界线;3—了高山构造杂岩冲断褶皱带;4—白银火山岛弧褶皱带;5—银洞沟新生代弧后盆地;
6—皋兰隆起带;7—磁场分区界线及其编号;8—铁矿;9—锰矿;10—铜矿;11—铅矿;12—锌矿;13—铅锌矿;14—铜铅锌多金属矿;
15—原金矿;16—砂金矿;17—大型矿床;18—中型矿床;19—小型矿床;20—矿点;21—矿化点;22—印支及以后成矿期;23—华力西成矿期;
24—加里东成矿期;25—前加里东成矿期;26—岩浆熔离矿床;27—海底火山作用矿床;28—低温热液矿床;29—海底火山作用热液矿床;
30—沉积变质矿床;31—沉积砂矿床;32—1:5万磁异常范围及其编号;33—V 级成矿远景区范围及编号;34—研究区范围;
35—高精度磁测范围;36—磁法推测解释断裂构造;37—磁法推测解释隐伏—半隐伏岩体

根据研究区磁 ΔT 化极等值线平面图进行断裂分析,并结合异常特征和已知断裂分布,共推测断裂 18 条(图 2)。其中,F1、F6、F9 推测为近东西向断裂,F2、F3、F4、F5、F8、F11、F16、F17 推测为北西向断裂,F7、F10、F12、F13、F14、F15、F18 推测为北东向断裂;整体来看,推测断裂与区域构造特征和岩性分布界限较为吻合;北西向断裂磁异常解译的构造位置和地表的延伸位置略有错位,证明这些断裂沿一定的倾向向下延伸较深,作为研究区的三四级构造分区界线,基本控制了构造格架,如 F8、F11 断裂是了高山韧性剪切深大断裂带的边界,沿该断裂带发育楼子湾铜矿、疙达井铁矿、石青洞铜铅锌多金属矿、朵家滩金矿、西湾金矿、郝泉沟金矿、双洞峡铁矿、双洞峡铜矿、石照子锰矿、马鞍山铜矿、放符崖铜矿等多金属矿产;近东西向和北东向断裂构造作为五级构造分区界线,主要控制区内各个主要地质体的展布,如 F14、F15 断裂是下白垩统河口群、第四系与元古界老基底的分界断裂。F1、F6 断裂为志留系与石炭系、二叠系、三叠系等的分界断裂,沿断裂带发育峡沟井铁矿等矿产。F3 断裂为志留系与奥陶

系等的分界断裂,沿断裂带发育银洞沟铜铅锌矿等矿产;F12 断裂带与白银厂铜矿、郝泉沟金矿、南页沟铁矿等矿产关系密切。

根据研究区的磁性参数特征、局部磁异常特征和地表出露情况,共综合圈定隐伏—半隐伏含磁性岩体 6 处(见图 4)。其中 YT1 为 M2、M5、M9、M13 对应的北西向磁异常带,和区内主构造格架一致,推测为深部的巨大铁镁质基性岩体(或岩浆房)沿隐伏的深大断裂带上侵所致;YT2 和 YT4 地表出露一些次安山岩,为半隐伏岩体,推测深部存在较大规模的磁性岩体;YT3 和 YT5 是位于了高山韧性剪切深大构造带上的半隐伏岩体,高磁异常的规模远大于地表出露的火山岩规模,对深部找矿有很好的指示意义;YT6 岩体地表出露辉绿辉长岩脉,对应 M19 局部磁异常,推测深部存在较大规模的磁性岩体。

4 找矿远景区预测

在综合研究区域地质成矿规律和地球物理特征的基础上,本次主要依据 1:50 000 磁异常的分布

表 3 研究区主要局部磁异常特征及分类评价表

Table 3 Evaluation of magnetic anomalies

异常编号	地理位置	地质概况	异常特征	解释推断	异常分类
M1	峡口井一带	主要出露地层为下志留统肮脏沟组碎屑岩和绢云千枚岩、下石炭统前黑山组、上石炭统臭牛沟组、新近系甘肃岩群等,异常分布在断裂带上。峡沟井铁矿位于异常东南侧约 4 000 m 处。	异常形态为不规则椭圆形,总体为近东西—北西走向,局部多为串珠状正负交替出现的小异常,受北西向和北东向叠加构造的控制显著。长轴长约 20 km,短轴长约 5 km,梯度变化北陡南缓,异常峰值约为 93. 19 nT。	磁性基底,隐伏磁性体,隐伏深大断裂带	乙
M2	赵家水东	主体为新近系甘肃岩群和第四系所覆盖,局部偶尔出露下二叠统大黄沟组碎屑沉积岩和火山凝灰岩等,和地球化学综合异常局部吻合。	异常形态为不规则椭圆形,总体为走向北西的正异常,局部发育近南北走向的小串珠状负异常,长轴长约 12 km,短轴长约 6 km,梯度变化北东陡南西缓,异常峰值约为 193 nT。	磁性基底,隐伏磁性体,隐伏深大断裂带	乙
M3	峡口井西南	地质概况基本同 M1 异常,是其在南西方向上沿断裂带的延伸。峡沟井铁矿位于异常西南侧约 6 000 m 处。	异常形态为不规则椭圆形,近东西—北东走向,长轴长约 3 905 m,短轴长约 2 360 m,梯度变化南陡北缓,异常峰值约为-19. 08 nT。	磁性基底,隐伏深大断裂带	丙
M4	脑泉—高家坝	主要出露地层为下白垩统河口群、第三系碎屑岩等局部含贫锰矿。是 M2 异常带南东向的延伸,和地球化学综合异常局部吻合。	异常形态为长条带状,北西向,长轴长约 11 665 m,短轴长约 8 746 m,梯度变化南西陡北东缓,异常峰值约为 177. 38 nT。是 M2 异常带南东向的延伸,推测深部存在深大断裂带,具备同源性。	隐伏磁性体,隐伏深大断裂带	乙
M5	墩底下一带	主要出露地层为下奥陶统阴沟群、中奥陶统中堡群、下志留统肮脏沟组碎屑岩、绢云千枚岩和变质火山岩等。楼子湾铜矿、疙达井铁矿位于异常中心。	异常形态为串珠状,整体为长条状,近东西—北西走向,长轴长约 12 820 m,短轴长约 1 325 m,梯度变化北陡南缓,异常峰值约为-0. 55 ~ 15. 42 nT。	隐伏磁性体,隐伏深大断裂带	甲
M7	石家涝坝	主要出露地层为下志留统肮脏沟组碎屑岩和绢云千枚岩等,和地球化学综合异常局部吻合。	异常形态为椭圆形,近东西走向,长轴长约 3 318 m,短轴长约 2 155 m,梯度变化较缓,异常峰值约为-63. 394 nT。	覆盖厚	丙
M9	石青洞—朵家滩北	主要出露地层为新元古界皋兰岩群、震旦系白银岩群、了高山构造混杂岩、下志留统肮脏沟组、下白垩统河口群、第四系、次安山岩等,主要岩性为变质火山岩、碎屑岩和绢云千枚岩、黑云母片岩等。	异常形态为不规则椭圆形,北西—北西西走向,长轴长约 6 km,短轴长约 3 km,梯度变化较缓,异常峰值约为-32. 58 ~ 35. 86 nT。	隐伏磁性体,隐伏深大断裂带	甲
M10	银洞沟	主要出露地层为下奥陶统阴沟群、下志留统肮脏沟组碎屑岩、下白垩统河口群、第四系等。和地球化学综合异常基本吻合。异常区发现银洞沟铅锌矿。	异常形态为椭圆形,北西走向,向东南延伸出研究区,长轴长约 11 066 m,短轴长约 5 139 m,梯度变化较缓,异常峰值约为 265. 8 nT。	隐伏磁性体,隐伏深大断裂带	甲
M11	二道湾—三道弯	大部分为第四系覆盖区。局部出露地层为新元古界皋兰岩群、震旦系白银岩群、下白垩统河口群等,主要岩性为变质火山岩、碎屑岩和绢云千枚岩、黑云母片岩等。和地球化学综合异常基本吻合。	异常形态为不规则椭圆形,近东西—北西走向,长轴长约 10 km,短轴长约 2. 5 km,异常为南正北负的两个串珠状异常组合,中间的过渡带梯度变化较陡,和北西向隐伏深大断裂带吻合,两侧的梯度较缓,正磁异常峰值约为 75. 49 nT,负磁异常峰值约为-28. 63 nT。	隐伏磁性体,隐伏深大断裂带	丙
M12	中庄一带	大部分为第四系覆盖区。局部出露地层为寒武系黑刺沟组等,主要岩性为变质火山岩、碎屑岩,和地球化学综合异常局部吻合。异常区发现中庄锰矿。	异常形态为不规则椭圆形,近东西—北西走向,长轴长约 4 km,短轴长约 2 km,异常为北西向正负异常梯度带,局部可见正负相间的串珠状异常,梯度变化北缓南陡,和北西向隐伏深大断裂带吻合。	隐伏磁性体,隐伏深大断裂带	乙
M13	南页沟南	主要出露地层为震旦系白银岩群、中奥陶统中堡群变质火山岩、碎屑岩和绢云千枚岩、黑云母片岩等。异常北部发现南页沟铁矿,异常和地球化学综合异常局部吻合。	异常形态为不规则椭圆形,近东西—北东走向,长轴长约 3 581 m,短轴长约 1 520 m,梯度变化北陡南缓,异常峰值约为 43. 06 nT。	隐伏磁性体	甲
M14	白银厂—西滩子西南	主要出露地层为新元古界皋兰岩群、震旦系白银岩群、中寒武统黑刺沟组、中三叠统丁家窑组、下白垩统河口群,变质火山岩、碎屑岩和绢云千枚岩、黑云母片岩、次安山岩等。异常东南侧发现西湾岩金矿,和地球化学综合异常局部吻合。异常内发现白银厂系列矿床。	异常形态为不规则椭圆形,北西走向,长轴长约 14 km,短轴长约 6 km,异常为南正北负的两组串珠状异常组合,中间的过渡带梯度变化较陡,和北西向隐伏深大断裂带吻合,两侧的梯度较缓,正磁异常峰值约为 91. 61 nT,负磁异常峰值约为-71. 55 nT。白银厂矿田和这些串珠状正负相间的异常吻合较好。	隐伏磁性体,隐伏深大断裂带 磁性基底	甲

续表

异常编号	地理位置	地质概况	异常特征	解释推断	异常分类
M15	秀沙洞脑	主要出露地层为新元古界皋兰岩群,辉绿辉长岩脉、闪长岩脉,和地球化学综合异常基本吻合。	异常形态为不规则椭圆状,北西走向,长轴长约 11 086 m,短轴长约 4 918 m,异常为南正北负的两组串珠状异常组合,中间的过渡带梯度变化较陡,和北西向隐伏深大断裂带吻合,两侧的梯度较缓,正磁异常峰值约为 546. 32 nT,负磁异常峰值约为 -125. 74 nT。	隐伏磁性体,隐伏深大断裂带	乙
M16	红沙峁一带	主要出露地层为下志留统肮脏沟组碎屑岩和绢云千枚岩等。异常区发现西湾、郝泉沟金矿、东涧沟锰矿、双洞峡铁矿等。	异常形态为不规则椭圆状,北西走向,长轴长约 15 428 m,短轴长约 6 695 m,梯度变化北陡南缓,异常峰值约为 179. 59 nT。	隐伏磁性体,隐伏深大断裂带	甲

特征、规律及异常性质等,其次综合考虑已知或新发现的矿床或矿点的空间分布、岩体分布及构造条件^[1-12,17-18],在研究区优选出找矿远景区 7 处(图 4),其中 A 级(有已发现的矿床)3 处,B 级(有矿点)2 处,C 级(矿化点)2 处。现将每个成矿远景区特征简述如下:

(1)疙瘩井—楼子湾铁铜成矿远景区(V 1-B-1)

远景区呈近东西向展布,面积约 40 km²。区内发育磁异常 M6,可见楼子湾铜矿点(K2)和疙瘩井铁矿点(K3),位于了高山韧性剪切带上,寻找沉积变质型铁矿和岩浆后期热液型铜的潜力较大。

(2)石青洞地区铜铅锌金多金属成矿远景区(V 2-A-1)

远景区呈北西向展布,面积约 28 km²。区内发育 1:50 000 高磁异常 M10、M11、M12,可见石青洞铜铅锌多金属矿床(K4)、朵家滩原生金矿点(K6)、朵家滩砂金矿点(K7)等,在石青洞矿东南缘及矿床的深部进一步拓展石青洞矿的规模,同时对与磁异常中心吻合的石英脉发育的构造有利地段,兼顾热液脉型和韧性剪切带型金矿的找矿潜力巨大。

(3)银洞沟地区铜铅锌金银成矿远景区(V 3-A-2)

远景区呈北西向展布,面积约 96 km²。区内发育磁异常 M5、M13,可见银洞沟铜铅锌多金属矿(K5),在银洞沟矿的周缘特别是东西延部分以及矿床的深部进一步拓展银洞沟矿规模,兼顾找金银矿,验证深部隐伏深大断裂带和隐伏铁镁质基性岩体的存在及其对成矿的控制和贡献。

(4)二道湾地区金成矿远景区(V 4-C-1)

远景区呈北西向展布,面积约 42 km²。区内发育磁异常 M15、M17,位于了高山韧性剪切带上,在磁异常中心与断裂构造破碎蚀变带吻合地段开展热液脉型金矿勘查工作。

(5)西湾地区金成矿远景区(V 5-A-2)

远景区呈东西向展布,面积约 30 km²。区内发育磁异常 M7、M20,可见黑茨沟组中发现中庄锰矿(K9)、东涧沟锰矿(K19)、胜家梁铅矿(K17),西湾白石宫砂金矿(K16)和西湾岩金矿(K23)等等,位于了高山韧性剪切带上,在已发现矿的周缘和深部开展深入的工作,是寻找热液脉型金、沉积型砂金和海底火山喷流型锰矿的十分有利的靶区。

(6)白杨树沟地区铁钴镍成矿远景区(V 5-C-2)

远景区呈北西向展布,面积约 60 km²。区内发育磁异常 M17,位于了高山韧性剪切带上,在磁异常中心与断裂构造破碎蚀变带吻合地段开展热液脉型金矿、辉绿岩地区开展铁钴镍为主攻矿种的勘查工作。

(7)了高山地区铜铅锌金银成矿远景区(V 7-B-2)

远景区呈东西向展布,面积约 65 km²。区内发育磁异常 M20,可见骡耳朵山铜铅锌多金属矿(K32),位于了高山韧性剪切带上,在磁异常梯度带附近的石英网脉发育的构造有利地段,开展热液脉型金和沉积型砂金矿为主兼顾铜铅锌多金属矿的矿产勘查工作。

5 结论

(1)本文阐明了甘肃白银厂及其外围地区的 22 种岩(矿)石磁性参数、磁场分布特征、局部磁异常特征等。在研究区共圈定局部磁异常 16 处,其中甲类异常 6 处,乙类异常 5 处,丙类异常 3 处,基本反映了该区今后找矿的重点地段,具有找矿指导意义。

(2)在综合研究区域地质成矿规律和地球物理特征的基础上,依据 1:50 000 磁异常特征,综合考虑已知或新发现的矿床或矿点的空间分布,在研究

区优选出找矿远景区 7 处,其中 A 级 3 处,B 级 2 处,C 级 2 处。为本区地质矿产评价的区域地质背景及成矿地质背景分析提供了地球物理基础性参考资料。

(3)结合区域地质矿产特征和异常查证工作,在构造磁异常特征识别、岩体推断、局部磁异常解释推断的基础上,简述了各个找矿远景区的特征,指明了找矿方向,分析了成矿潜力,为下一步的找矿工作提供了磁异常依据和参考。

致谢:兰州资源环境职业技术大学罗维斌教授、甘肃有色地质勘查局周俊烈教授级高级工程师和韩要权高级工程师对本文提出了宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢!感谢审稿专家提出的修改意见和编辑部的大力支持!

参 考 文 献

[1] 刘彦良,高雅,季文中,等. 甘肃白银厂及其外围地区金属矿成矿规律及矿产预测[J]. 中国地质调查,2020,7(4):43-53

[2] 高兆奎,陈守宇,韩要权,等. 甘肃省白银矿田火山岩型铜多金属矿床找矿方向探讨[J]. 甘肃地质,2009,18(03):1-5

[3] 董凯. 甘肃白银厂铜矿成岩—成矿环境及其找矿意义[D]. 武汉:中国地质大学(武汉),2018:20-86

[4] 殷先明. 甘肃省铜矿山接替资源找矿问题研究[J]. 甘肃地质,2013,22(1):18-23

[5] 张国旭,赵磊,何彦彬,等. 白银厂折腰山—火焰山矿床控矿构

造条件及成矿规律[J]. 甘肃地质,2012,21(1):27-35

[6] 魏红军,李百祥. 磁测在甘肃磁性矿产找矿中的作用和效果[J]. 甘肃地质,2010,19(2):56

[7] 窦小雨,郭小刚,周宏,等. 甘肃白银厂铜多金属矿田地球化学场特征及信息提取[J]. 地质与勘探,2022,58(06):1139-1153

[8] 刘彦良,高雅,任育智,等. 甘肃白银厂及外围地区 1:5 万地球化学特征及找矿远景[J]. 新疆地质,2021,39(03):431-437

[9] 舒立霞,罗先熔. 白银矿田外围物化探找矿模型及找矿预测[J]. 广西科学,2010,17(02):151-155

[10] 郭小刚,陈守余,李志晨,等. 甘肃白银厂铜多金属矿田重磁异常及构造特征[J]. 地质与勘探,2022,58(05):1057-1069

[11] 廖时理. 甘肃省白银地区找矿靶区逐级圈定与定量预测[D]. 北京:中国地质大学(北京),2014:16-67

[12] 冯军. 高精度磁测划分弱磁地层界线的应用效果[J]. 甘肃地质,2010,19(2):80-82

[13] 范剑,邱小波,李毅,等. 西秦岭国安寺—白杨沟地区高精度磁测异常特征及找矿远景分析[J]. 地球物理学进展,2017,32(6):2436-2443

[14] 张利明,凌丹丹. 高精度磁测在多金属矿整装勘查区成矿规律研究中的应用[J]. 地球物理学进展,2019,34(03):1145-1152

[15] 刘燕戎,李文勇,杨冬红,等. 冀西北地区土城子航磁异常特征及找矿研究[J]. 地球物理学进展,2019,34(6):2301-2308

[16] 田光礼. 甘肃白银郝泉沟矿区成矿地质条件及找矿预测[D]. 北京:中国地质大学(北京),2018:18-50

[17] 殷勇. 初议甘肃省深部找矿[J]. 甘肃地质,2013,22(4):45-49

[18] 肖明尧,费新强. 内蒙古五岔沟地区物化探异常特征及找矿前景[J]. 地质与勘探,2011,47(05):876-884

MAGNETIC ANOMALIES AND PROSPECTING IN BAIYINCHANG MINE FIELDS AND VICINITY, GANSU PROVINCE

LIU Yan-liang^{1,2}, TANG Sheng-jun¹, GAO Ya^{1,2}, DING Zhi-jun¹, JI Wen-zhong¹, GUO Dong-bao^{2,3}

(1. Gansu institute of Geological Survey for Nonferrous Metals, Lanzhou 730000, China;

2. Key Laboratory of Strategic Mineral Resources in the Upper Yellow River Area, Lanzhou 730000, China;

3. Lanzhou Mineral Exploration Institute, Gansu Provincial Bureau of Nonferrous Metal

Geological Exploration, Lanzhou 730000, China)

Abstract: As the pressing task of proceeding ore prospecting at deep and vicinity area of Baiyinchang copper deposit, magnetic methodology has acquired outstanding effect in assisting ore prospecting at deep site. The magnetic anomaly at this area is able to provide evidence and reference for ore prospecting at deep area. This assay has manifested this area's magnetism of rock, magnetic field distribution and characteristics of magnetic anomaly at locality according to both 1:50000 survey of high-precision ground magnetic and aeromagnetic data. Meanwhile, by applying methodology of multiple potential field conversion processing and multipoint measurement correction, combining the relationship between magnetic anomaly and mineralization conditions including stratum, magmatite, structure, mineralized alteration, etc., 20 magnetic anomaly areas are delineated; 18 fault structures, 6 concealed, semi-concealed rock mass are explained, part of determined magnetic anomaly areas are inferred and evaluated. The result has revealed that the deep and vicinity area of Baiyinchang copper deposit owns excellent mineralization in potential, furthermore, 7 prospecting areas have been determined according to regional mineralization regulations, geological and geophysical background. Researching on the characteristics of prospecting areas and mineralization potential is able to define prospecting directions and provide magnetic anomaly references for subsequent prospecting work.

Key words: magnetic survey; magnetic anomaly; exploration geophysics; prospecting; Baiyinchang mine field; Gansu Province