

doi: 10.11720/wtyht.2022.0079

冯军, 蒋文, 张征. 西北某石英脉型金矿综合物探特征及定量解释实例[J]. 物探与化探, 2022, 46(3): 661-667. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.0079>

Feng J, Jiang W, Zhang Z. An instance of comprehensive geophysical prospecting features and quantitative interpretation of a quartz-vein-type gold deposit in Northwest China[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2022, 46(3): 661-667. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.0079>

西北某石英脉型金矿综合物探特征及定量解释实例

冯军¹, 蒋文¹, 张征²

(1. 甘肃省地质调查院, 甘肃 兰州 730000; 2. 新疆地矿局第一地质大队, 新疆 昌吉 838200)

摘要: 石英脉型金矿床是岩浆期后热液及变质热液作用的产物, 受主断裂及次级断裂构造控制, 成矿物质主要来自围岩。该类型金矿在西北多有分布, 宽度一般较窄, 在走向和延伸方向断续分布。单一物探方法有局限性, 难以做出全面、合理的解释。本文以西北某石英脉型金矿为例, 对此类矿床进行了重、磁、电综合物探工作并进行了正反演计算和定量预测。结合地质成矿条件、物探相关理论及正反演计算, 推断了控矿断裂构造, 定量预测了的赋矿体。过程中, 各方法互相衔接, 互相验证, 定量解释预测, 是综合物探在石英脉型金隐伏矿体找矿方面进行的有效尝试。

关键词: 石英脉型金矿; 综合物探; 特征; 定量解释; 实例

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2022)03-0661-07

0 引言

石英脉型金矿是我国重要的金矿工业类型, 在西北地区多有分布。含金地质体的产出严格受断裂体系控制, 含金脉体成分简单, 主要为石英、以黄铁矿为主的硫化物和自然金等, 含金脉体通常为单脉或由一条主脉与若干副脉组成复脉带, 脉体在走向、倾向上延伸稳定, 蚀变围岩及矿围岩蚀变常见硅化、绢云母化、黄铁矿化等^[1-4]。利用地球物理方法技术勘探石英脉型金矿, 已在山东、河南、新疆等地有很多应用^[5-7]。在实际工作中, 由于地球物理勘查观测结果的多解性, 影响资料的正确推断解释, 因此, 如何正确选择和合理运用这些方法, 充分发挥方法技术各自的优势, 就显得尤为重要^[8]。

笔者在西北多年的找矿实践过程中接触过大量该类矿床, 其特点是: 受主断裂及次级断裂构造控制, 矿体与硫化物带密切相关, 含矿的热源(简称为母岩)可能是岩浆岩体、火山岩体等以硅酸盐岩为主的岩体, 在母岩与围岩进行热交换过程中, 接触带及矿(化)体多有硅化、绢英岩化、黄铁矿化等蚀变。

在物探特征上, 该类矿床母岩多表现有重、磁异常特征, 控矿构造表现为低阻带, 含硫矿体及接触蚀变带表现为高激电异常特征, 矿体及接触带多出现在重、磁、激电异常与背景过渡带上。本次研究采用综合物探方法技术, 通过正反演计算建立解释模型, 定量推断解释赋矿体, 以期在查找石英脉型金矿隐伏矿体的方面取得得合理有效方法组合, 为勘探提供依据。

1 地质与地球物理特征

研究区出露地层较单一(图 1), 主要有石炭系中上统太勒古拉组上亚组($C_{2,3}t^b$)凝灰质砂岩、凝灰质粉砂岩、硅质凝灰粉砂岩和东南角的石炭系下统希贝库拉斯组(C_{1x})含砾晶屑岩屑沉凝灰岩与泥质粉砂岩。岩浆活动不发育, 仅出露有少量石英钠长斑岩脉、玄武岩脉、石英脉等酸性脉岩。

区内断裂构造较发育, 早期为近 EW 向的断裂, 属成矿前断裂。中期有两组平推断层, 走向与区域构造线方向基本一致, 为成矿期断裂(容矿构造), 沿断裂面岩石发生蚀变和破碎, 出现碎裂岩和糜棱

收稿日期: 2022-03-01; 修回日期: 2022-03-31

基金项目: 甘肃省 2019 年省地勘基金项目“甘肃省阿克塞县余石山西金多金属矿普查”(甘资财发[2019]17 号)

第一作者: 冯军(1963-), 男, 西安地质学院物探系毕业, 高级工程师, 长期从事地质矿产物探勘查工作。Email: 429031720@qq.com

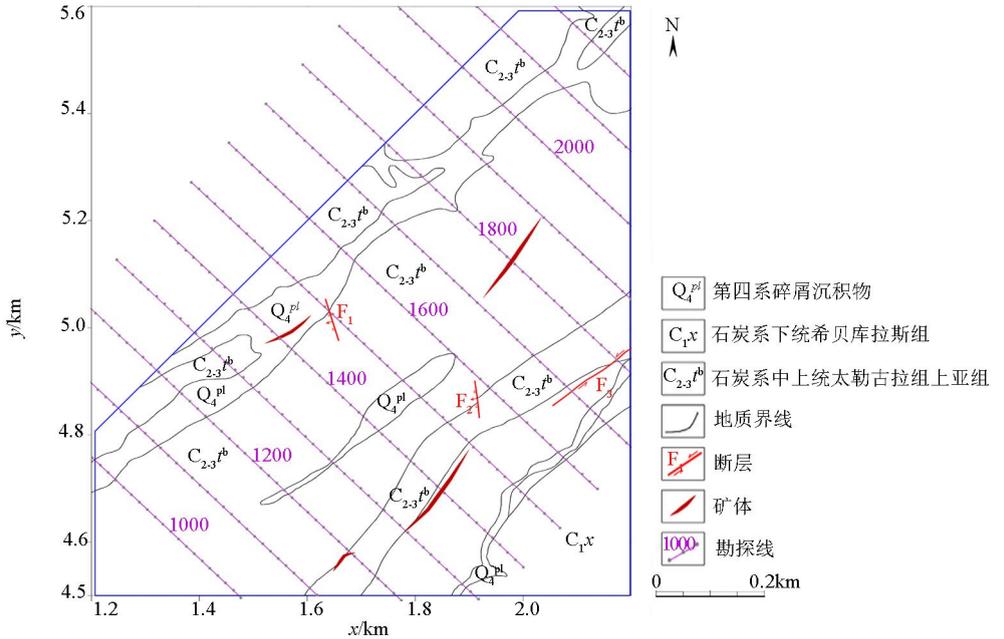


图 1 研究区地质及勘查工作分布

Fig.1 The map of geology and prospecting work arrangement in the area

岩,并有含金石英脉充填,形成金矿脉或含金矿化带。中晚期有两组断裂,近 EW 向,为成矿期后断裂,多被晚期乳白色无蚀变、无矿化石英脉所充填。

矿区以动力变质作用为主,叠加有热液变质作用。动力变质作用发育在断裂构造带及其旁侧。热液变质作用在构造开放部位,由于这两种变质作用的叠加及断裂构造的发育程度,使岩石具强烈的片理化和碎裂岩化。其中常见变质矿物有高岭土化和绿泥石化、硅化等。

区内共发现 4 条金矿带,均为蚀变破碎带—石英脉型金矿脉,含金石英脉在蚀变破碎带中,且蚀变破碎带一般都比石英脉宽数 10 cm~2 m。矿体以含金石英脉为主,蚀变破碎带为次,金品位与石英脉正相关,蚀变破碎带—石英脉金矿体长 260~1 600 m、宽一般 0.47~2.1 m,蚀变破碎带最宽处 7 m,矿体平均金品位 $(3.45\sim 17.5)\times 10^{-6}\text{g/t}$ 。

该金矿区地表及垂深 100~200 m 的石英脉矿体大多已开采完,下一步的开采具有盲目性。在此之前,未进行过物探工作。本次试图通过开展重力、磁法、激发极化法面积测量、偶极测深和可控源音频大地电磁(CSAMT)剖面测量等综合物探工作,为下一步验证提供靶区位置和布置钻探数据。

区内砂岩、粉砂岩、凝灰质砂岩、凝灰质粉砂岩、凝灰岩、硅质岩等具中等密度,花岗岩、花岗斑岩、超基性岩密度较低。

超基性岩在本区磁性最强,其感磁为 $(1\ 600\sim 3$

$200)\times 10^{-6}\ 4\pi\text{SI}$,剩磁为 $(1\ 300\sim 2\ 800)\times 10^{-6}\ 4\pi\text{SI}$ 。除凝灰岩、硅质岩有弱磁到中等磁性外,其余岩石基本无磁性。

区内第四系和断裂破碎带的电阻率较低,平均为 $182\ \Omega\cdot\text{m}$;玄武岩电阻率中等,约 $270\ \Omega\cdot\text{m}$;砂岩、含金石英脉具有明显的高阻特征。砂岩、凝灰岩、硅质岩和玄武岩的极化率值低且稳定,平均值约为 2.5%;含金蚀变破碎带极化率较高,为 5.56%;含金石英脉具有最高的极化率,可达 10.21%。故利用低阻异常可圈定断裂破碎带,高极化率可圈定含金蚀变破碎带。

2 研究区地球物理平面特征

从图 2a 可看出,剩余重力异常呈宽缓的带状展布,走向近 NE,其值自 SE 向 NW 逐渐降低,反映了从高密度火山碎屑岩向低密度火山沉积岩过渡的特征。

从图 2b 可看出,航磁异常(ΔT)也呈带状展布,走向近 NE。磁场值自西向东、由南到北逐渐递增,反映了火山岩顶面抬升的现象。

从图 2c 可看出,电阻率明显呈高低相间的带状分布,走向与航磁异常相同,出现“四高夹三低”的特征,反映了工作区构造及地层接触带的分布特征。

从图 2d 可看出,极化率与电阻率基本对应,亦呈带状分布,呈现出 3 个高极化带。自 SE 向 NW,

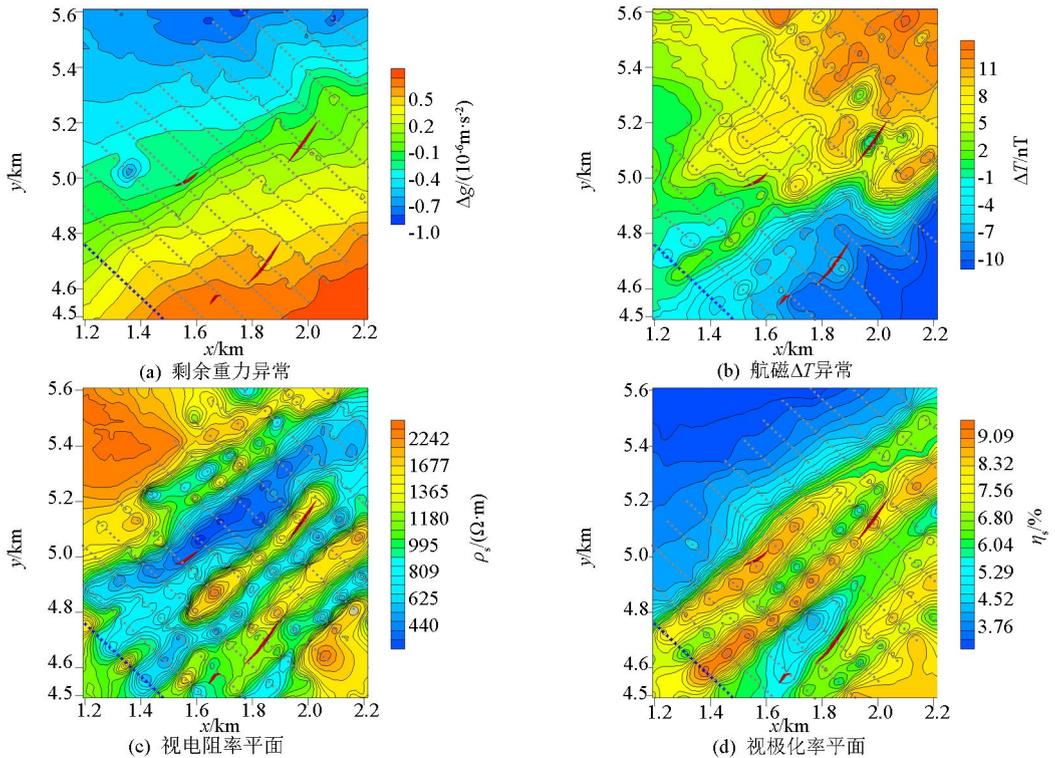


图 2 研究区综合物探平面异常

Fig.2 Dissecting map of integrated geophysical prospecting in the area

第 1 个高阶化带与东南部的低阻带基本吻合;第 2 个高阶化带与测区中部的高阻带错峰对应,大致叠合;第 3 个高阶化带与研究区中部最宽的低阻带对应。已知矿体分别分布在低阻高阶化带和与高低阻过渡带对应的高阶化带上,反映了工作区不同类型控矿构造蚀变带的分布特征。

3 综合地球物理剖面特征

由于矿区东段已开采完毕,本次重点研究工作选在矿区第二个高阶化带的西段 1000 号剖面,布设重力、磁法、激发极化法、偶极测深和可控源音频大地电磁(CSAMT)测量,采用 1:2 000 比例尺,异常区加密。

3.1 重磁剖面分析

如图 3a 所示,重、磁场均在 640~780 点间出现高值异常。其中,剩余重力异常较宽缓、形态规整;磁异常形态较陡,并伴随高频磁异常特征;两者总体上能够对应。在平面异常图(图 2)上,均处在重、磁异常过渡带和低阻高阶化异常带上,反映了断裂构造的特征。

根据重磁异常特征,可以推断在剖面中部存在一个高密度、高磁性的 I 号地质体(图 3b)。结合本区地质和已知矿体分布情况认为, I 号地质体是受

主断裂构造控制的以硅酸盐岩为主的岩体,是金矿床的成矿母岩。

3.2 激电剖面分析

从图 3c 可以看出,整条剖面的视极化率较高,在 580~820 点出现两个峰值,分别位于 I 号地质体的两侧。根据异常形态可以推断存在 II 号和 III 号两个高阶化地质体。本区控矿构造表现为低阻特征,接触蚀变带表现为高阶化特征,矿体及接触蚀变带出现在重、磁、激电异常及过渡带附近,以上物探特征与已知矿体特征相似,表明 II 号和 III 号体亦为本区矿床的赋矿体。

3.3 偶极激电测深断面分析

频率域偶极激电测深断面(图 3d~f)上,视电阻率低阻在 540~860 点呈“U 型”分布,视极化率(>6%)呈不对称“八字型”分布。这与倾斜板状体理论异常特征高度一致。“U 型”和“八字型”的下部,分别呈现出高梯度的波浪状高、低电阻率和高、低极化率曲线束,反映了第一层的下界深度,即第一层的底界线,也是倾斜板状体的底部界限位置。

若把 I 号、II 号、III 号体合成一体,成为巨厚倾斜板状体(深度坐标为收发距的对数),其曲线束反映的巨厚倾斜板状体的底部位置在 250 m。

3.4 CSAMT 一维测深剖面分析

如图 4a 所示,CSAMT 测深断面整体上表现为 3

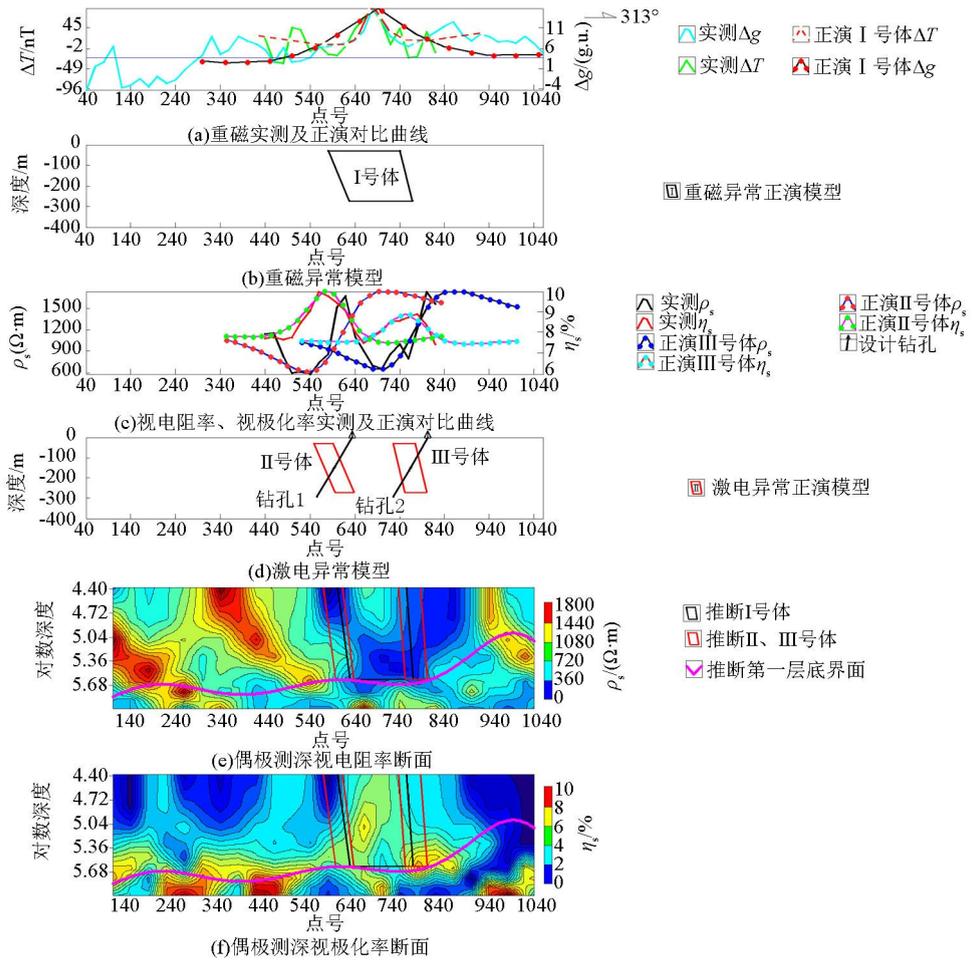


图 3 重、磁、激电综合物探解释成果

Fig.3 Interpreted results by gravi-mag-IP integrated geophysical prospecting model

层 H 型地电结构。第 1 层高程 1 100~850 m, 电阻率 0~500 $\Omega \cdot m$, 为电性不均匀层; 第 2 层高程 850~650 m, 电阻率 0~150 $\Omega \cdot m$, 为均匀低阻层; 第 3 层高程 450~750 m, 电阻率 150~900 $\Omega \cdot m$, 为高阻层。

根据 CSAMT 相关理论^[9-11], 在垂向电性分界面附近会形成显著的电阻率梯度带。当存在多个电性分界面时, 会将形成高阻“牛眼状异常”作为判断接触带的标志。如图 4 所示, 浅部赋存有 3 个不规则同心状等值线束, 其中, 左起第 2 与第 3 个高阻异常之间的低阻区对应高重、高磁和高极化率异常, 这也反映出该区间是本区成矿的重要构造蚀变带。I 号地质体附近第一的层底面约为 250 m, 与偶极测深结果一致。

4 定量解释与定位预测

影响地球物理观测幅值及形态的参数有 3

类^[12-15]: 一是装置参数, 包括了发射和接收参数, 这些参数在实际工作中已确定; 二是物性参数, 指异常体与围岩物性参数, 它决定剖面上的曲线幅值; 三是异常体空间分布参数, 它决定剖面上的曲线形态, 这也是我们在找矿预测中需要的信息。

由于多数情况下, 受覆盖层的限制, 物性参数难以取样实测。为了更好地推断 3 个地质体的空间参数, 采用了一种根据异常特征自动获取物性参数的方法, 使得正演曲线与实测曲线基本达到吻合。在重磁剖面正演计算时, 取其曲线上最大值为异常体物性值, 最小值为围岩物性值。II 号、III 号体属低阻高极化体, 取其视电阻率的最小值为异常体电阻率, 最大值为围岩的电阻率, 取其视极化率的最小值为围岩极化率, 最大值为异常体的极化率。其结果见表 1。

采用中国地质大学(武汉)的 MAGS4.0 软件对 I 号体进行了重、磁正演。即利用截面为多边形的二度半解析式, 计算出重、磁异常曲线, 当实测曲线

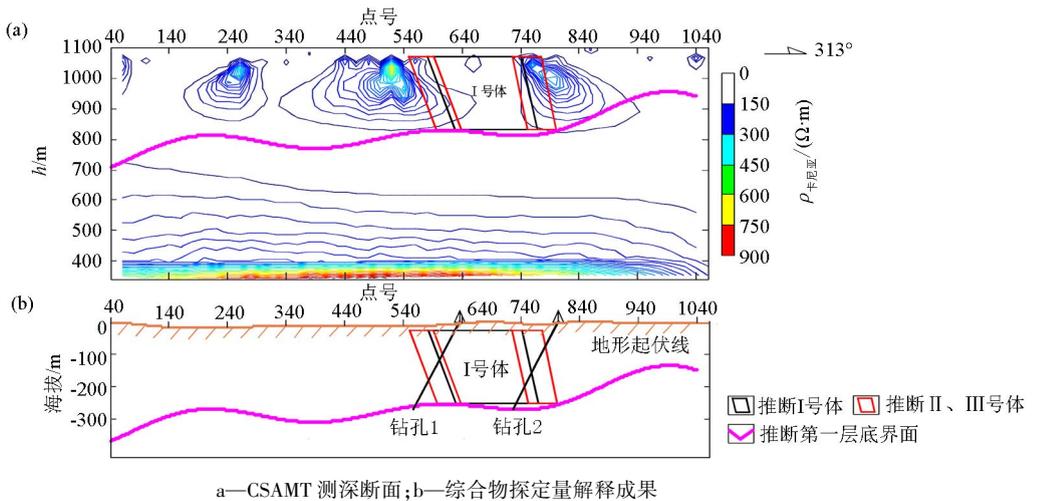


图4 CSAMT 测深断面及综合物探定量解释成果

Fig.4 Section of CSAMT sounding and interpreted results

表1 各异常体的物性参数

Table 1 Table of the physical properties of geological bodies by anomalies

异常号	I号体		II号体		III号体	
	密度/($10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	磁性/nT	电阻率/($\Omega \cdot \text{m}$)	极化率/%	电阻率/($\Omega \cdot \text{m}$)	极化率/%
围岩	4.343	5.841	1670	5.8	1741	5.7
异常体	11.09	90.34	584	9.9	647	8

与理论计算曲线基本吻合时,给定的空间参数就为预测的模型空间参数。

对II号、III号体进行了激电中梯正演计算拟合。激电中梯正演拟合计算的程序是基于MATLAB平台编制的,利用有限延伸倾斜椭球体的解析式,通过多次迭代正演,使正演曲线与实测曲线基本吻合,实现反演的目的。拟合过程中分段对每个极化率异常进行处理,对于叠加的极化率异常,手动分离每一异常,即外扩、补充测点,实现“分段、分异常体对比拟合,多次改变模型体形态、顶部埋深、“四参数”(即围岩电阻率和极化率,异常体的电阻率和极化率),达到理论与实测曲线吻合。理论计算结果为剩余极化率异常,把剩余极化率异常减去剩余极化率异常平均值,得到“归一化的剩余极化率异常”,再用实测极化率平均值加“归一化极化率异常”,就得到正演极化率曲线。经过多次这样的“正演”,使实测与理论曲线的拟合误差小于5%,即认为达到了反演的目的。电阻率拟合与上述方法一致。

通过归一化计算的视极化率与实测曲线吻合时,其空间参数就为预测的模型空间参数。

从CSAMT的两不规则等值线获得I号体的宽

度,根据不规则等值线的位置,来确定I号体的上顶、下底埋深。利用两个不规则等值线的主轴线,确定I号体边界倾角。利用重磁异常中心确定I号体中心。从激电中梯剖面上的视极化率曲线最大值确定了I号体两侧极化体(II号、III号体)中心位置。剖面两最高视极化率曲线的两侧最小值点,确定极化体的宽度,其倾角和上顶、下底的埋深与I号体相同。

由于线距为200 m,所以异常体半走向长确定为400 m。即异常体在走向上至少外延两条线是连续的。

以I号体的底界线为深度的判断标准,以偶极测深的视极化率底界线深度为标准,建立第一层底界面起伏情况。

通过定量解释建立了三个模型,其空间特征参数见表2。对矿区地质构造、成矿特征和综合物探异常特征分析,推断II、III模型体为高极化的蚀变破碎带—石英脉型金矿脉,预测I模型体为高磁性、低极化低阻侵入硅酸盐岩为主的构造带。根据定量解释模型设计了2个钻孔,为矿区下一步找矿工作部署提供依据。

表 2 1000 线推断 I、II、III 号体模型空间特征

Table 2 Inference of spatial characteristics of models I, II and III by line 1000

模型 编号	上顶埋深/ m	上顶宽度/ m	下底宽度/ m	垂深/ m	左边倾角/ (°)	右边倾角/ (°)	中心位置 (点号)	中心深度/ m	走向长/ m	设计钻 孔 1 位置	设计钻 孔 2 位置
I	30	161	140	241	79	84	680	151	400	点位 634	点位 804
II	30	42	42	241	79	84	594	151	400	方位 25°	方位 25°
III	30	50	50	241	79	84	763	151	400	倾角 75°	倾角 75°

5 总结

本次综合物探工作采用了 5 种方法,其中面积工作采用常规的重、磁、激电法 3 种方法,剖面工作采用了 CSAMT 和偶极测深 2 种方法。各方法互相衔接,互相验证,在综合物探解释和定量预测工作中均有重要的作用,结合地质成矿条件、物探异常特征和正反演计算模型,重磁异常推断了主断裂构造和控矿岩体;偶极激电测深推断了岩体的底部位置;CSAMT 推测了成矿的构造蚀变带,验证了岩体的底部位置;激电推测了高极化地质体和接触蚀变带。通过建立的解释模型,定量推测了本区的赋矿体。本次研究采用综合物探方法技术,通过正反演计算建立解释模型,定量推断解释赋矿体,以期在查找石英脉型金矿隐伏矿体的方面取得合理有效方法组合,为勘探提供依据。

参考文献 (References):

- [1] 张文钊,卿敏,牛翠祎,等.中国金矿床类型、时空分布规律及找矿方向概述[J].矿物岩石地球化学通报,2014,33(5):721-732.
Zhang W Z, Qing M, Niu C Y, et al. An overview on type, spatial-temporal distribution and prospecting of gold deposits in China [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2014, 33 (5): 721-732.
- [2] 邵军.中国石英脉型金矿床地质特征[J].贵金属地质,1998,7(3):172-179.
Shao J. Geological character of quartzvein type gold deposits in China [J]. Precious Metals Geology, 1998, 7(3): 172-179.
- [3] 陈耀宇,李永琴.甘肃北祁连山金矿类型划分及特征对比[J].甘肃地质,2005,14(2):53-57.
Chen Y Y, Li Y Q. The contrast of gold deposit characteristics and the division of gold deposit types in Gansu northern Qilian mountains [J]. Acta Geologica Gansu, 2005, 14(2): 53-57.
- [4] 张翔,戴霜,刘建宏,等.甘肃西秦岭金矿成矿与找矿研究[M].北京:地质出版社,2017.
Zhang X, Dai S, Liu J H, et al. Gold metallogeny and prospecting research in the western Qinling area of Gansu province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017.
- [5] 余小龙,矫润田,赵梦,等.甘肃祁连山西段金矿分布特征及控矿因素分析[J].甘肃地质,2018,27(2):43-52.

- She X L, Jiao R T, Zhao M, et al. Geological characteristics and ore-controlling factors of gold deposits in western Qilian, Gansu Province [J]. Gansu Geology, 2018, 27(2): 43-52.
- [6] 苏建平,张翔.甘肃金矿成矿规律和成矿区带的划分[J].黄金地质,2003,9(3):1-8.
Su J P, Zhang X. Metallogenic rules and division of metallogenic districts (belts) of gold deposits in Gansu province [J]. Gold Geology, 2003, 9(3): 1-8.
- [7] 袁桂琴,熊盛青,孟庆敏,等.地球物理勘查技术应用研究[J].地质学报,2011,85(11):1744-1805.
Yuan G Q, Xiong S Q, Meng Q M, et al. Application research of geophysical prospecting techniques. [J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(11): 1744-1805.
- [8] 王洪军,田红军,贺春艳,等.多种物探方法在胶西北金矿集中区深部勘探的效果分析[J].物探与化探,2020,44(5):1053-1058.
Wang H J, Tian H J, He C Y, et al. An analysis of the effect of multiple geophysical prospecting methods in the deep exploration of the Jiaoxibe (northwest Shandong) gold ore concentration area [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(5): 1053-1058.
- [9] 黄利军,陆桂福,刘瑞德.可控源音频大地电磁测深应用实例[J].物化探计算技术,2006,28(4):337-341.
Huang L J, Lu G F, Liu R D. The applied examples of the CSAMT method [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2006, 28(4): 337-341.
- [10] 刘岩波,周韬,施强,等.可控源音频大地电磁法在上官金矿的应用[J].矿产勘查,2015,6(4):438-442.
Liu Y B, Zhou T, Shi Q, et al. Application of controlled source audio-frequency electromagnetic method in Shangong gold deposit [J]. Mineral Exploration, 2015, 6(4): 438-444.
- [11] 牛洪斌,李绪善,徐家乐,等.物化探技术进步及其在甘肃地质勘查中的应用[J].甘肃地质,2016,25(3):20-26.
Niu H B, Li X S, Xu J L, et al. The technical progress of geophysical and geochemical exploration and their applications in Gansu Province [J]. Gansu Geology, 2016, 25(3): 20-26.
- [12] 刘士毅,颜延杰.物探找矿百例[M].北京:地质出版社,2013.
Liu S Y, Yan Y J. One hundred examples in geophysical exploration [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013.
- [13] 何继善.双频激电法[M].北京:高等教育出版社,2009.
He J S. Dual-frequency IP method [M]. Beijing: Higher Education Press, 2009.
- [14] 何继善.可控源音频大地电磁法[M].长沙:中南工业大学,1990.
He J S. Controlled source audio-frequency magnetotellurics method

[M]. Changsha: Central South University Press, 1990.

Fu L. K. Induced polarization method [M]. Beijing: Geological

[15] 傅良魁. 激发极化法[M]. 北京: 地质出版社, 1982.

Publishing House, 1982.

An instance of comprehensive geophysical prospecting features and quantitative interpretation of a quartz-vein-type gold deposit in Northwest China

FENG Jun¹, JIANG Wen¹, ZHANG Zheng²

(1. Geological Survey of Gansu Province, Lanzhou 730000, China; 2. No. 1 Prospecting Team of Bureau of Geological and Mineral Exploration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Changji 838200, China)

Abstract: Gold deposits of the quartz-vein-type are the product of post-magmatic hydrothermal and metamorphic hydrothermal processes and are generally controlled by major and secondary faults. Their metallogenic materials originate from the surrounding rocks. The assemblages and contents of metal sulfides in ores of various deposits differ with geological setting and ore-forming and controlling conditions. Moreover, sulfide-gold-quartz ores predominate. The gold deposits of this type have distinct comprehensive geophysical prospecting features, and various physical prospecting methods yield a high degree of regularity. Taking a gold deposit of the quartz-vein-type in northwest China as an example, this study carried out comprehensive physical prospecting of deposits of this type, performed a quantitative prediction based on forward modeling, and conducted interpretation and analysis by combining theories related to geophysical prospecting.

Key words: gold deposit of the quartz-vein type; comprehensive geophysical prospecting; features; quantitative interpreting; instance

(本文编辑:王萌)