

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2023.01.03

引用格式: 陈永凌, 蒋首进, 谢丹, 等. 阳山金矿带安坝矿段深部电性结构及地质意义[J]. 中国地质调查, 2023, 10(1): 28–36 (Chen Y L, Jiang S J, Xie D, et al. Deep conductive structure of Anba ore section in Yangshan gold deposit belt and its geological meaning[J] China Geological Survey, 2023, 10(1): 28–36.)

阳山金矿带安坝矿段深部电性结构及地质意义

陈永凌, 蒋首进, 谢丹, 胡俊峰

(中国地质调查局应用地质研究中心, 四川 成都 610059)

摘要: 为查明阳山金矿带重点成矿区安坝矿段深部地质构造格架, 更好地指导普查工作布设并寻找成矿远景区, 利用 V8 电法工作站, 在重点成矿区安坝矿段开展可控源音频大地电磁测量, 将测量成果与已有钻孔剖面进行对比分析, 初步厘定了安坝矿段的深部电性结构特征为 NEE 走向、略向东倾伏的背斜构造, 查明浅部构造破碎带为成矿的有利位置, 提出地球物理找矿方向为呈高低视电阻率异常过渡带特征的破碎带, 同时也证明了通过可控源音频大地电磁测量探测控矿构造特征的可实施性, 该方法是较好的找矿辅助途径。研究成果对复杂地形下多金属矿床勘查具有一定的借鉴意义。

关键词: 阳山金矿; 视电阻率; 可控源音频大地电磁; 背斜构造; 断裂

中图分类号: P631; P618.51

文献标志码: A

文章编号: 2095–8706(2023)01–0028–09

0 引言

阳山金矿带位于文县弧形逆冲推覆构造带弧顶中段及东侧, 受文县弧形构造带的分支断裂, 即安昌河—观音坝断裂带及其次级断裂控制, 主要分布于该断裂带北侧上盘的泥盆系三河口群桥头岩组内, 是我国目前发现的最大的卡林型—类卡林型金矿床, 查明的金资源量达到 350 t, 呈近 NW 向展布, 长约 60 km, 从西至东可分为泥山、葛条湾、安坝、高楼山、观音坝以及张家山 6 个矿床。自 1997 年被原武警黄金部队发现并勘查以来, 先后在矿区葛条湾、安坝、高楼山、张家山等矿段开展了大比例尺激电、高密度电阻率剖面测量, 利用 EH-4 仪器进行音频大地电磁测量, 厘定出许多视电阻率异常, 但受到当时技术和认识的限制, 没有达到期望目标。随着矿区勘查工作的开展, 部分学者^[1–2]认为矿区的主要控矿因素是断裂构造, 但矿床构造研究缺乏必要的证据, 控矿机制不明确, 安昌河—观音坝各分支断裂 (F_1 、 F_2 、 F_3) 的空间展布没有相应的数据支

撑, 导致部分矿体圈连存在争议, 限制了下一步矿区勘查工作的开展、深部勘探及控矿规律总结。基于“甘肃省文县阳山金矿带深部矿产远景调查”项目, 针对阳山矿区深部勘查的需要, 本文利用 V8 电法工作站在安坝矿段开展可控源音频大地电磁工作, 充分利用研究区的地质构造背景资料、物性统计分析结果及 CSAMT 反演资料开展地质地球物理解释, 对地质体电性结构、深部构造特征进行研究, 查明了安坝矿段各分支断裂、背斜构造的空间展布, 为矿区的系统勘探和深部找矿预测提供了依据。

1 矿区地质背景

阳山金矿带大地构造处于碧口地块北缘, 属西秦岭南亚热带, 夹持于扬子板块、华北板块及松潘—甘孜造山带三大构造单元之间, 安坝矿段位于阳山金矿带的中部, 为金矿带的主要矿化集中区, 共发现 4 个脉群、30 余条矿脉^[3]。

矿区(图 1)主要出露泥盆系三河口群下统桥头岩组 (Dq) 和少部分屯寨岩组 (Dt), 两者呈断裂构造

收稿日期: 2022–08–08; 修订日期: 2022–12–08。

基金项目: 中国地质调查局地质矿产调查评价项目“甘肃省文县阳山金矿带深部矿产远景调查(编号: 12120114038301)”资助。

第一作者简介: 陈永凌(1988—), 男, 工程师, 主要从事矿产地球物理勘探工作。Email: 476811938@qq.com。

通信作者简介: 蒋首进(1987—), 男, 工程师, 主要从事综合地球物理勘查工作。Email: 271031041@qq.com。

接触,桥头岩组为矿区最主要的赋矿层位,主要岩性为千枚岩(钙泥质粉砂质千枚岩、碳质千枚岩等,可见千枚岩夹薄层透镜状砂岩、石英砂岩,千枚岩夹薄

层灰岩、硅质岩等)、大理岩化灰岩(白云质灰岩)和变质石英砂岩,其中钙泥质、粉砂质千枚岩为主要的赋矿岩性^[4]。

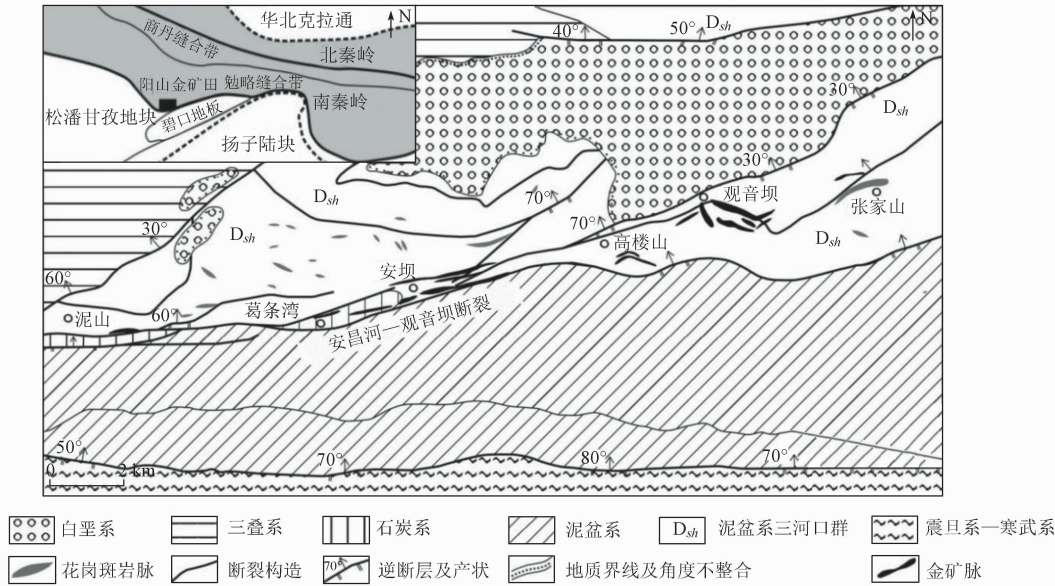


Fig. 1 Geological sketch in Yangshan gold deposit belt

在阳山金矿带,安昌河—观音坝断裂带主要由 3 条 NEE 向断裂分支复合而成,在堡子坝至观音坝一带表现明显,自北向南依次分布 F_3 — F_1 断裂破碎带。这 3 条断裂带均产出于葛条湾—草坪梁复背斜与金子山复向斜的两翼,且多顺层发育,但是

在转折端处变为切层。野外观测表明,带内挤压剪切韧性变形十分强烈(图 2),是区域多期复合挤压应力作用下形成,其两侧岩石组合及构造变形均存在明显差异,3 条分支断裂依次控制着安坝矿段 311、360 和 305 号矿(化)带^[5-6]。

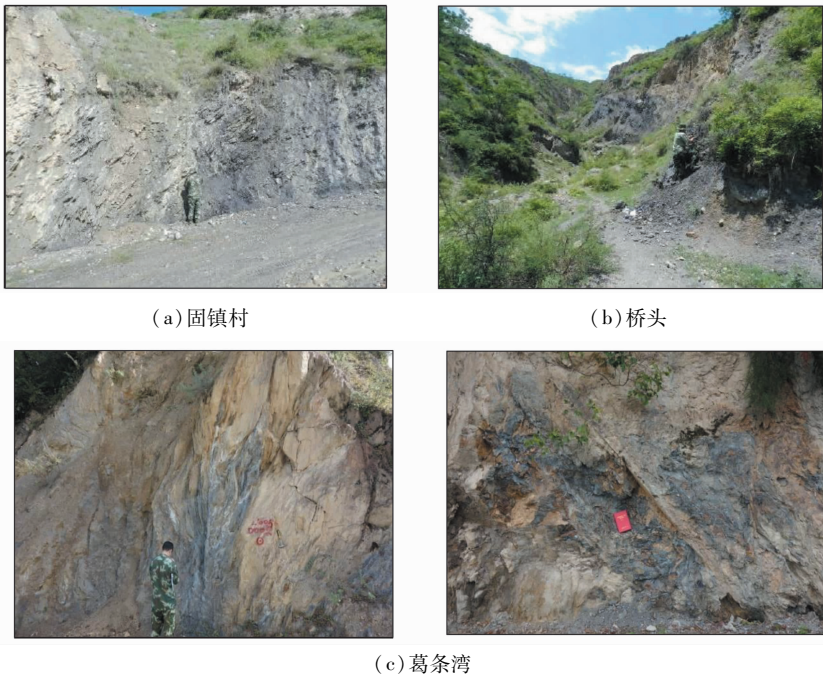


图 2 安昌河—观音坝断裂带地表不同区段特征

Fig. 2 Characteristics of different surface sections in AnChang River - Guanyinba fracture zones

研究表明：阳山金矿区金矿化具有东西成带分布、带内分段集中、垂向上多层定位的矿化富集规律，矿区垂向上至少存在 3~4 个矿脉；在现有勘查矿段主要矿体集中出现的区间内，其深部是重要找矿方向，以往施工钻孔普遍较浅，总体上只揭露了 500 m 以浅的矿化情况，而深部的导矿构造、成矿通道网络在推覆构造活动过程中，伴随着中深或中浅层次的韧性剪切作用，使矿带内的控矿构造体系进一步复杂化，需要查明其深部隐伏构造的行迹、样式和特征，解决制约本区深部找矿的地质问题^[7-9]。

2 研究区地球物理特征

2.1 岩(矿)物性特征

为全面了解矿区地层岩(矿)石的电性参数，共采集标本 521 块，使用加拿大产 SCIP 型检测仪开展了标本测定工作，所有标本测试结果如图 3 所示，通过物性参数测量发现，矿区岩石视电阻率差别较大，显示出明显规律性：灰岩、硅化千枚岩、钙质千枚岩及斜长花岗斑岩属高电阻率岩石，赋矿岩石—破碎蚀变千枚岩及破碎带中灰岩、千枚岩均呈低电阻率特征。

岩(矿)石物性参数研究成果表明：破碎蚀变带中岩石表现为相对低阻的物性特征。虽然此特征不能直接应用于判断矿体，但电阻率的强弱主要与岩石矿物成分及其形成结构关系密切，矿化后的岩石电阻率降低，通过寻找构造破碎带中的相对低电阻率体间接达到寻找隐伏矿体以及发现断层、

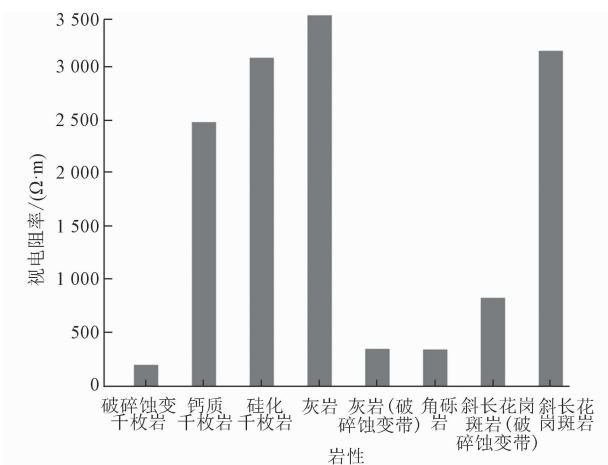
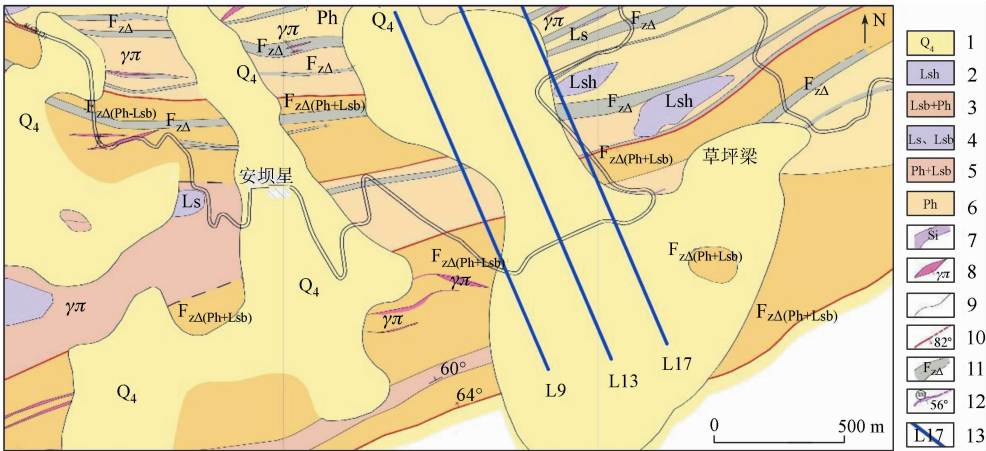


图 3 矿区岩(矿)石电性参数
Fig. 3 Rocks and ore resistivity

破碎带的目的是可行的，所以该区基本具备地球物理勘探工作的条件。

2.2 可控源音频大地电磁测量工作方法

为查明阳山金矿带地质体深部电性结构，在矿区开展可控源音频大地电磁测深工作，其分辨能力强、观测效率高，能克服阳山矿区电磁干扰严重的困难，是研究深部地质构造和寻找隐伏矿体的有效手段。本文以安坝矿段东段为重点，布设了 3 条 CSAMT 剖面(图 4)，剖面方位 156°，CSAMT 数据采集工作使用凤凰公司 V8 大地电磁采集系统，CSAMT 采用电偶源测量，AB 极距 2 km，收发距 10 km，发射最大电流 16 A，工作频率为 0.625~7 680 Hz，共 51 个频点^[10]。采集的原始资料使用



1. 第四系；2. 深灰色、厚层灰岩；3. 深灰色薄层灰岩夹绢云母砂质千枚岩及其互层；4. 深灰色中厚层、薄层灰岩；5. 千枚岩夹薄层状灰岩；6. 浅紫色、灰色、青灰色、灰白色千枚岩；7. 硅质岩；8. 斜长花岗斑岩岩脉；9. 不整合接触线；10. 实测、推测断层及产状；11. 实测、推测破碎带；12. 矿脉位置、编号及产状；13. CSAMT 测线位置

图 4 安坝矿段工作部署图

Fig. 4 Work deployment map of Anba ore block

凤凰公司自带软件编辑处理后,在成都理工大学开发的“MTsoft 2.3”大地电磁数据处理系统下进行“空间滤波”和“静态校正”等编辑处理,最后利用 NLG 二维反演算法开展 TM 的电阻率反演。

2.3 剖面电性结构特征

(1) L9 线。L9 线 CSAMT 反演断面图如图 5 所示,整个测线中高、低阻体及视电阻率异常的界线清晰,纵向上清晰显示高低阻相间的 5 层电性结构特征。通过钻孔验证高阻异常体大多对应于灰岩、斜长花岗斑岩脉及硅化千枚岩;低阻异常体则与多数与碎裂岩化千枚岩、破碎蚀变的千枚岩、灰岩紧密联系。

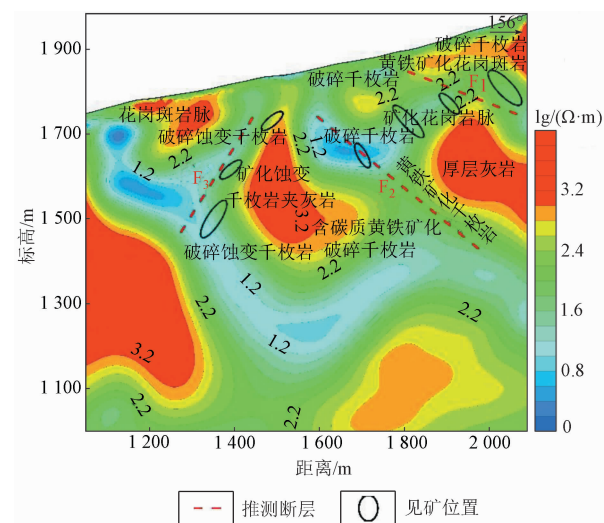


图 5 L9 线 CSAMT 反演结果及地质对比

Fig.5 Line 9 inversion results of CSAMT and geological contrast map

测线从南至北分布 3 条倾向不同、深度不一的低阻异常梯级带沿推测断层,根据地表地质情况及钻孔验证,低阻异常梯级带均为深部断裂引起破碎带造成,推测 F_1 — F_3 断裂与矿区安昌河—观音坝断裂带 3 条分支断裂对应(图 4),结合矿区地质认识及反演断面图的结果,就 F_1 — F_3 低阻异常梯级带的空间展布情况推测如下。

F_1 断裂位于测线 2 000 点以南,标高约 1 800 m,宽约 50 m,断面南倾,倾角约 30° ,由于受测线长度的限制异常等值线未圈闭,推测该断裂向南继续延伸。据其出现位置判断为汤卜沟—观音坝分支断裂,该断层上盘为黄铁矿化斜长花岗斑岩夹硅化千枚岩,分布有 305 和 314 号矿脉,矿体厚度大、品位高,花岗斑岩脉与矿脉相伴生;下盘为

厚层灰岩夹黄铁矿化斜长花岗斑岩脉,花岗斑岩脉与 364、364-1 和 364-4 号矿脉伴生。

F_2 断裂位于测线 1 600 ~ 1 900 点范围,标高约 1 500 ~ 1 800 m,宽约 100 m,推测其断面总体南倾,倾角大于 40° ,向下延伸超过 150 m,通过低阻异常梯级带的变化,认为该断层为浅源断层,沿该断裂带分布有多个矿化体,岩性主要为破碎黄铁矿化千枚岩,其北侧上盘分布有 360 和 366 号矿脉,矿体与斜长花岗斑岩脉伴生。

F_3 断裂位于测线 1 300 ~ 1 500 点范围,标高约 1 800 ~ 1 900 m,宽约 50 m,推测其断面总体北倾,倾角约 40° ,向下延伸约 200 m,其产状在距离地面 370 m 处变陡且有向南之势,其上盘分布有斜长花岗斑岩脉,下盘高阻区对应灰岩夹斜长花岗斑岩脉体,沿该断裂带分布有多个矿化体,岩性为黄铁矿化千枚岩,伴生有斜长花岗斑岩脉。

此外,断面图上深部标高约 1 600 m 处存在弧形低阻异常区,岩性为黄铁矿化千枚岩、含碳质千枚岩,夹持于呈高阻具有刚性性质的灰岩层之间,同时上下的高、低阻岩性层皆呈相同的弧形起伏变化趋势。推测深部反映出背斜构造特征,背斜轴面总体北倾,大致呈北翼缓南翼陡的特征,背斜枢纽大致位于测线 1 600 m 处,其南北两翼均受断裂带破坏,推测 F_2 断裂破碎带向下延伸并切穿背斜。该区处于逆冲推覆构造前锋,深部异常带分布呈起伏形态,高值异常区分布显示出等轴状、透镜体状,反映出地层的强烈形变,断裂破碎带发育。

(2) L13 线。L13 线在 L9 线的东侧,间距 200 m,反演断面图如图 6 所示,与 L9 线相比,测线具有相同的视电阻率分布特征,总体与 L9 号线测深情况相似,断面图同样显示出纵向上清晰的高低阻相间的 5 层电性层结构特征,细节上该线在地表呈现串珠状的高阻地质体。通过与施工钻孔的对比分析后认为:高阻异常区大多对应灰岩、硅化千枚岩夹斜长花岗斑岩脉,低阻异常区与黄铁矿化千枚岩、破碎蚀变千枚岩以及(含碳质)千枚岩等相关。就 F_1 — F_3 低阻异常梯级带空间展布情况推测如下。

F_1 断裂位于测线 1 900 ~ 2 000 点范围,标高约 1 800 m,宽约 50 m,断面北倾,倾角约 $20^\circ \sim 30^\circ$,低阻区对应岩性主要为黄铁矿化破碎千枚岩,断层下盘呈高阻异常,岩性为硅化、黄铁矿化千枚岩夹斜长花岗斑岩脉。沿该断裂带由南向北,由浅至深依

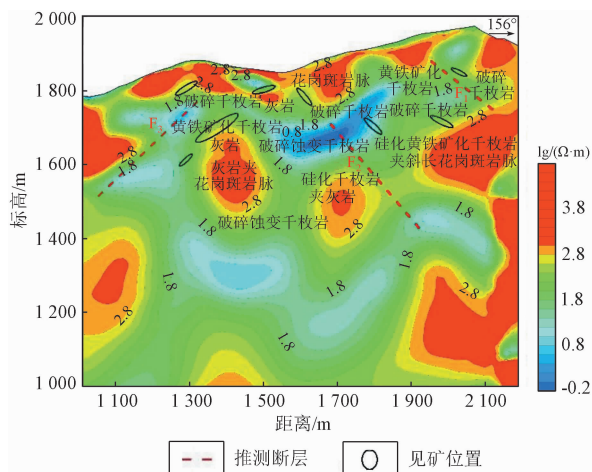


图6 L13线CSAMT反演结果及地质对比

Fig.6 Line 13 inversion results of CSAMT and geological contrast map

次分布有316、308、315、305、305-1、307、307-3、364-2、364和360号矿脉,且矿体大多品位高、厚度大,与斜长花岗斑岩脉存在一定伴生现象,其中315、305、305-1、307、307-3及360号矿脉较为明显。

F_2 断裂位于测线1600~1900点范围,标高约1400~1700 m,宽约100 m,断面北倾,倾角大于 30° ,向下延伸超过150 m,该断裂带深部低阻异常区对应破碎千枚岩及黄铁矿化含碳质千枚岩,其上盘为硅化、黄铁矿化千枚岩夹斜长花岗斑岩脉,下盘高阻异常区出现硅化千枚岩夹灰岩且分布有338-2号矿体。

F_3 断裂位于测线1100~1300点范围,标高约1400~1600 m,宽约50 m,推测其断面总体北倾,倾角大于 40° ,向下延伸大于300 m,该断层南北高阻异常区分别对应于硅化千枚岩夹灰岩和灰岩夹斜长花岗斑岩脉,深部低阻异常区出现破碎蚀变含碳质千枚岩夹砂岩。沿该断裂带由南向北,由浅至深依次分布有330、328、326、324、311、321和325号矿脉,此外326号脉群位于该断裂带上盘,厚度大品位高。其中,330、328、324和311号矿脉与斜长花岗斑岩脉相伴生。

此外,断面图上测线深部具有高阻异常性质的灰岩夹斑岩层与具有低阻异常性质的黄铁矿化千枚岩、含碳质千枚岩地层呈相同的弧形起伏变化趋势。推测深部存在背斜构造,呈闭合褶皱形态,其中背斜枢纽位于1100~1900点范围,标高约1700 m;背斜核部位于1400~1700点范围, F_1 、 F_2 、 F_3 断裂分布于该褶皱两翼,推测倾向相反于浅

层交汇。该区处于逆冲推覆构造前锋,推测褶皱的形成受到压扁作用影响,当褶皱由脆性和韧性岩层相间组成时,岩层在顺层挤压作用下,强硬岩层因压扁形成“无根钩状褶皱”,断面图中高阻深部异常局部呈等轴体串珠状、断续分布而总体又呈连续弧形展布的形态清晰的反映出区内存在的SN向顺层挤压。

(3)L17线。L17线在L9、L13线的东侧、距离L13线200 m,根据测线反演断面图(图7)能够判断出与L9、L13线相同的视电阻率特征,显示出3条与 F_1 、 F_2 、 F_3 对应的低阻异常梯级带以及深部的背斜构造,弧顶枢纽位于测线1980点位置。

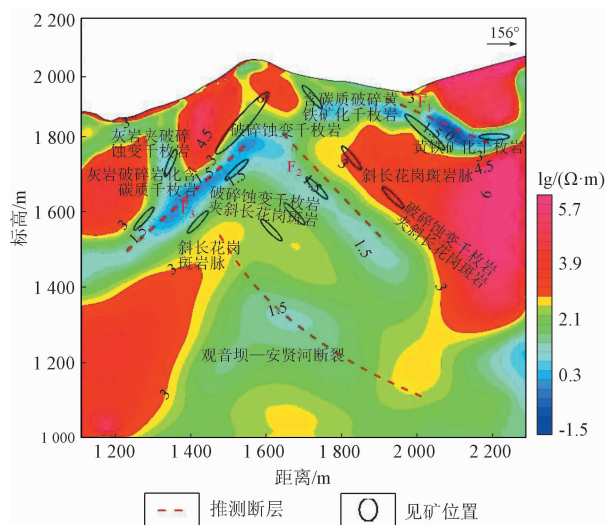


图7 L17线CSAMT反演结果及地质对比

Fig.7 Line 17 inversion results of CSAMT and geological contrast map

(4)3条测线横向对比研究。通过切面图(图8)分析测线的横向变化,发现3条测线深部电性结构特征高度相似,整体一致性比较好。测区地表由灰白色、青灰色千枚岩和第四系黄土覆盖,以北见有近NW走向的斜长花岗斑岩脉和多条破碎蚀变带,岩性为破碎蚀变千枚岩夹薄层状灰岩,以南分布有多条近NE走向的破碎蚀变带,零星分布有少量斜长花岗斑岩脉。钻孔揭示高阻异常区大多对应于具刚性性质的灰岩夹斜长花岗斑岩地层而低阻区与破碎带、(矿化蚀变)千枚岩、含碳质千枚岩等对应。断裂带发生在1200~1900点之间的区域,地层展布较弱出易发生断裂,通常发生在硬质岩石和软岩石之间。断裂带内岩石被压碎并且变形严重,断裂带内热液蚀变强烈,研究区内形成几个脉群,在断裂带得到控制,转而控制矿化带的迁移^[11-13]。

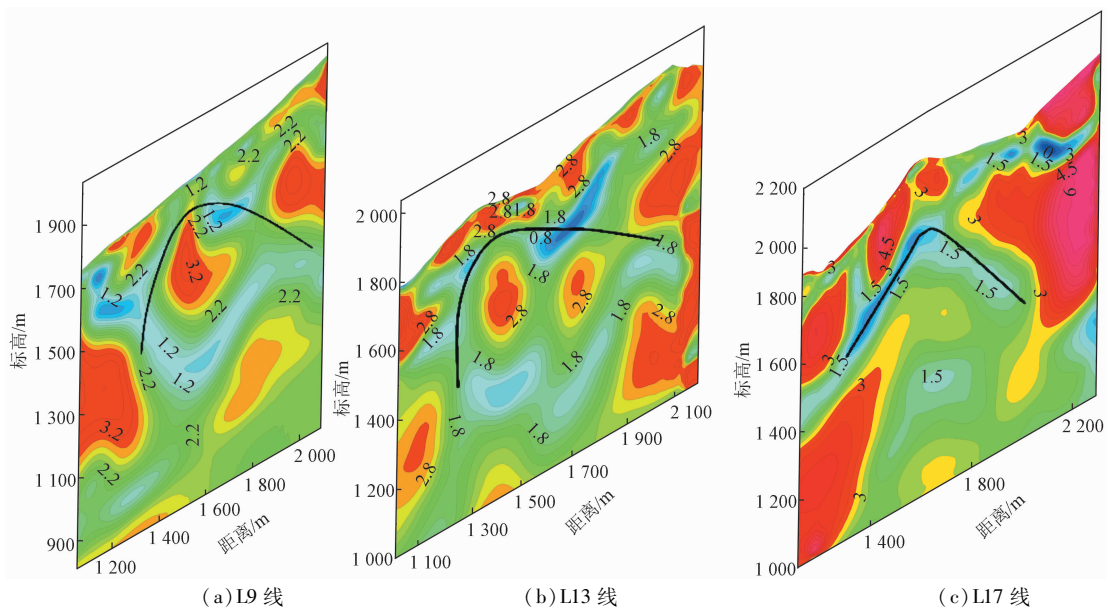


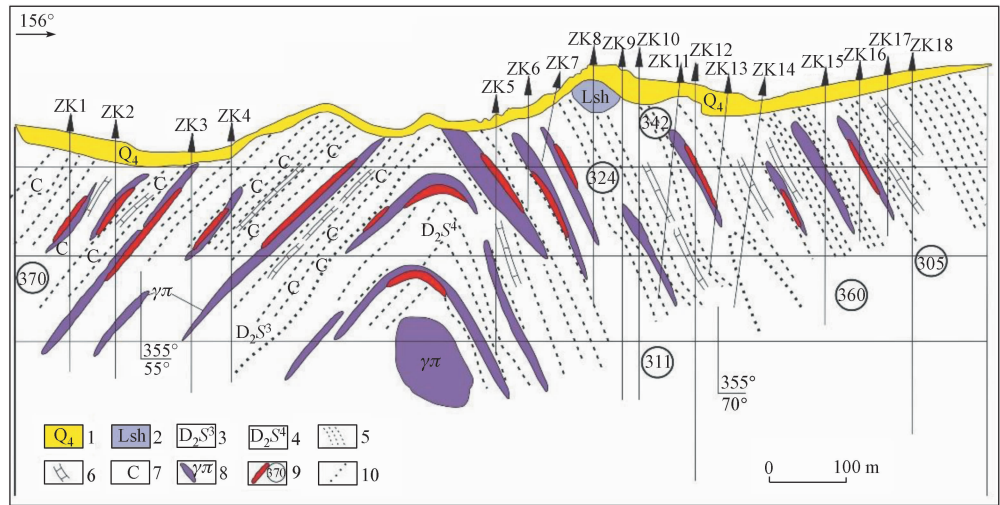
图 8 L9 - L17 CSAMT 反演结果断面切片

Fig.8 CSAMT inversion slice graph of Line 9 to Line 17

3 主要研究成果及意义

(1)初步厘定了安坝矿段构造的空间展布。阳山金矿带正是变质成矿热液沿着安昌河—观音坝断裂、葛条湾—草坪梁复背斜及其次级构造向上运移,与渗透性较高的围岩发生反应,导致物理化学条件变化以及元素迁移,最终沉淀出载金硫化物。结合 L17 线地质剖面分析(图 9),认为矿区深部存在一复背斜,近EW展布,产出于安昌河—观音坝

断裂北侧,并与之平行,背斜枢纽总体 NEE 走向、近水平,略向东倾伏,轴面北倾,北翼产状较南翼陡。两翼部位受断层破坏导致地层保留不完整,其中 F₁、F₂ 断裂带位于背斜南翼、F₃ 断裂带位于背斜的北翼,背斜枢纽相对地层保留完整,复背斜地层为泥盆系三河口群浅变质地层,地层整体向北缓倾,是研究区中由北向南的逆冲推覆作用的结果。安昌河—观音坝断裂在深部向南倾斜,推测其受到向南的剪切作用,复背斜的南翼是一个重要的向南倾剪切带。



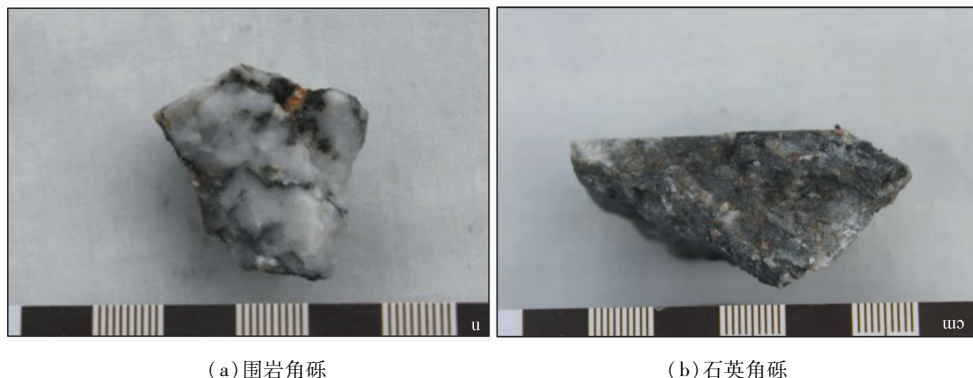
1. 第四系; 2. 厚层灰岩; 3. 三河口群第三岩性段; 4. 三河口群第四岩性段; 5. 千枚岩地层; 6. 薄层灰岩; 7. 碳质页岩; 8. 花岗斑岩; 9. 矿体及编号; 10. 岩性分界线

图 9 L17 线地质剖面

Fig.9 Geological profile of Line 17

(2)呈低阻异常的构造破碎带是该区地球物理找矿标志(图10)。结合钻孔资料,3条电阻率反演断面图中1 200~2 000点、标高约为1 600~1 900 m显示的浅部低阻区域是多层构造破碎带的表现,主要分布于千枚岩内部以及岩性发生变化的部位,例如钙质千枚岩与碳质千枚岩的接触带、千枚岩与酸性岩脉的接触带等,部分矿体的上下板都为破碎带。结合钻孔资料:ZK1328中在千枚岩角砾中顺层面的黄铁矿化,似脉状展布,在石英角砾中团块状的微细粒黄铁矿,且石英中有

千枚岩残留(矿化);ZK1710上部的大破碎带,岩性主要为破碎的钙质千枚岩和斜长花岗斑岩的岩脉角砾,以及破碎的石英角砾,在角砾以及断层泥中均见到了零星至稀疏浸染状的黄铁矿和毒砂矿化,认为该破碎带为成矿期破碎带,故此在阳山金矿带浅部区域,安昌河—观音坝分支断裂呈低阻显示的成矿破碎带中的构造破碎蚀变岩型矿体是找矿勘查的主攻对象,发育在构造破碎带内并发生不同程度变形的早期脉岩有利于指导发现新的矿体^[14-15]。



(a) 围岩角砾

(b) 石英角砾

图10 成矿期破碎带中的围岩角砾及石英角砾

Fig. 10 Wall rock breccia and quartz breccia in fractured zone during metallogenic period

(3)构造地质演化中的意义。前人资料显示阳山矿区构造演化历史复杂,总体归纳为4期:第一期构造变形表现为由北向南的逆冲,为韧性变形,构造置换明显、完全,形成多种指示性构造;期间伴随大规模岩浆活动,形成于三叠纪末—早侏罗世;第二期构造变形为由南向北的伸展构造,主要表现为对第一期构造的改造和再利用,同样表现为韧性变形,可见剪切褶皱等构造,同时伴随较大规模岩浆活动,该期构造形成于侏罗纪末—早白垩世早期;第三期构造为脆韧性变形,为由南向北的逆冲推覆构造;该期构造主要表现为对先期构造的改造,具体表现为阳山金矿区南部面理产状发生倒转(面理倾向由北变为南),形成膝折构造,该期构造形成于早白垩世晚期;第四期构造为表层次、脆性的旋转平行剪切构造,形成构造角砾岩等脆性构造岩,同时有石英脉和方解石脉顺断层侵入,本文调查研究可探明其由北向南逆冲推覆的存在性,对矿区内地质构造演化模型提供新的证据,为探明成矿前景靶区寻找到新的依据。

(4)深部剪切带的发现以及意义。地质、钻孔资料显示矿脉主要分布在分支断裂带上,认为是矿

区主要的控矿断裂。通过反演图发现断裂带在深部有反转之势,产状北倾转为南倾,推断深背斜深部存在一个重要的向南剪切带,结合前人资料成果,基本确定矿区构造具有一定复杂性,浅地层、中层、深层均有不同的地层表达,矿床先期定性为简单、矿体厚的I类型矿床有一定偏颇,该处剪切带为成矿或破矿构造有待进一步考证研究。

4 结论

(1)通过在矿区开展的3条CSAMT剖面测量,查明了阳山金矿带安坝矿段深部电性结构及安昌河—观音坝断裂分支 $F_1 \sim F_3$ 的空间展布情况,为矿区由北向南逆冲推覆的提供了依据。总体上看,安昌河—观音坝断裂及其分支是阳山金矿带的主体控构造,已探明的主要矿体呈带成串沿断裂破碎蚀变带分布,各分支断裂在成矿过程中起到通道作用,并具有多期活动性,在成矿过程中起到通道作用限制了矿体的空间展布,是阳山金矿的主要控矿因素。

(2)通过分析测线的视电阻率分布及变化趋

势,显示该区深部有一背斜构造,其枢纽部位相对完整但两翼受到构造破坏,该背斜自西向东由宽缓褶皱向紧闭褶皱过渡,可能反映出区内沿 NEE 向构造线自西向东的挤压应力逐渐增强的趋势。分支断裂多沿复背斜层间岩体薄弱面或不同岩性接触面发育,产状基本与褶皱岩面平行或小角度斜交,其局部膨大或产状变化交汇部位是相对有利的成矿区域。

(3)根据矿区岩(矿)石电性的特征的研究,认为该区主要赋矿围岩泥盆系桥头岩组的破碎蚀变岩呈现低阻、中低阻的视电阻率特征。可以通过视电阻率圈定低阻异常及视电阻率梯度带来识别有利的成矿位置,将低阻异常作为该矿区找矿的地球物理特征,通过寻找呈低阻异常破碎带来达到间接找矿的目的。CSAMT 法对于电性差异明显的地质体是有效的且可以达到很好的分辨率,通过在阳山金矿区的实际应用,能够有效指导矿区地质勘探工作,该方法对受断裂控制的构造蚀变型金矿床的勘查工作具有较好的实践效果。

参考文献 (References):

- [1] 郭俊华,齐金忠,孙彬,等. 甘肃阳山特大型金矿床地质特征及成因[J]. 黄金地质,2002,8(2):15-19.
Guo J H, Qi J Z, Sun B, et al. Geological features and origin of Yangshan super large gold deposit, Gansu[J]. Gold Geol, 2002, 8(2):15-19.
- [2] 毛世东,杨荣生,秦艳,等. 甘肃阳山金矿田载金矿物特征及金赋存状态研究[J]. 岩石学报,2009,25(11):2776-2790.
Mao S D, Yang R S, Qin Y, et al. Characteristics of gold-bearing mineral and occurrence of gold in the Yangshan gold field, Gansu Province[J]. Acta Petrol Sin, 2009, 25(11):2776-2790.
- [3] 齐金忠,袁士松,李莉,等. 甘肃省文县阳山特大型金矿床地质特征及控矿因素分析[J]. 地质论评,2003,49(1):85-92.
Qi J Z, Yuan S S, Li L, et al. Geological features and ore-controlling factors of the Yangshan superlarge gold deposit, Gansu Province, China[J]. Geol Rev, 2003, 49(1):85-92.
- [4] 雷时斌,齐金忠. 甘肃阳山金矿带地球动力学体制与多因耦合成矿作用[J]. 地质与勘探,2007,43(2):33-39.
Lei S B, Qi J Z. Geodynamics system and multi-factor coupling mineralization in the Yangshan gold belt, Gansu[J]. Geol Prospect, 2007, 43(2):33-39.
- [5] 雷时斌. 甘肃阳山金矿带构造-岩浆成矿作用及勘查找矿方向[D]. 北京:中国地质大学(北京),2011.
Lei S B. Tectonic and Magmatic Constraints on Mineralization and Gold Prospecting of Yangshan Gold Belt, Gansu Province[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2011.
- [6] 齐金忠,杨贵才,李莉,等. 甘肃省阳山金矿床稳定同位素地球化学和成矿年代学及矿床成因[J]. 中国地质,2006,33(6):1345-1353.
Qi J Z, Yang G C, Li L, et al. Isotope geochemistry, chronology and genesis of the Yangshan gold deposit, Gansu[J]. Geol China, 2006, 33(6):1345-1353.
- [7] 张作伦,曾庆栋,于昌明,等. 利用 EH4、GDP-32 II 预测内蒙古新民煤田煤系地层空间特征[J]. 地球物理学进展,2009,24(1):303-308.
Zhang Z L, Zeng Q D, Yu C M, et al. Application of EH4 and GDP-32 II to forecast of underground coal formation stratum space distribution characteristics in Xinmin, Inner Mongolia[J]. Prog Geophys, 2009, 24(1):303-308.
- [8] 李宏伟. 甘肃阳山金矿带安坝矿段深部电性特征及控矿断裂系统的识别[J]. 地球物理学进展,2018,33(5):1919-1926.
Li H W. Deep electrical characteristics and identification of ore controlling faults system of Anba ore section in the Yangshan gold-ore belt of Gansu Province[J]. Prog Geophys, 2018, 33(5):1919-1926.
- [9] 林方丽,王光杰,杨晓勇. 综合电磁法在矿区深部成矿机制中的应用研究——以皖南乌溪多金属矿区为例[J]. 地球物理学报,2016,59(11):4323-4337.
Lin F L, Wang G J, Yang X Y, et al. Application of comprehensive electromagnetic study in deep mineralization mechanism: A case study of the Wuxi polymetallic ore deposit, south Anhui[J]. Chin J Geophys, 2016, 59(11):4323-4337.
- [10] 汤井田,何继善. 可控音频大地电磁法及其应用[M]. 长沙:中南大学出版社,2005.
Tang J T, He J S. Theory and Application of Controlled Source Audio Frequency Magnetotelluric Method[M]. Changsha: Central South University Press, 2005.
- [11] 张伟,李国松,廖国忠,等. 黔西南“断控型”金矿床的找矿模式与勘探评价方法——以丫他金矿床为例[J]. 地质学报,2021,95(12):3961-3978.
Zhang W, Ji G S, Liao G Z, et al. Prospecting model and exploration evaluation method of “fault controlled” gold deposits in southwest Guizhou: A case study of Yata gold deposit[J]. Acta Geol Sin, 2021, 95(12):3961-3978.
- [12] 岳大斌,王章翔,陈加中,等. 综合技术方法在寻找含矿岩浆通道中的应用——以四川杨柳坪岩浆铜镍硫化物矿床为例[J]. 物探与化探,2021,45(3):601-608.
Yue D B, Wang Z X, Chen J Z, et al. The application of integrated measures to the search of magma conduit: A case study of the Yangliuping Cu-Ni sulfide deposit, Sichuan Province[J]. Geophysics Geochem Explor, 2021, 45(3):601-608.
- [13] 陈小龙,高坡,程顺达,等. 西藏帮浦东段一笛给铅锌矿区 CSAMT 异常特征与深部找矿预测[J]. 物探与化探,2021,45(2):361-368.
Chen X L, Gao P, Cheng S D, et al. A study of anomaly characteristics of CSAMT and deep prospecting prediction of the lead-zinc deposits in eastern Bangpu-Digei mining area of Tibet[J]. Geophysics Geochem Explor, 2021, 45(2):361-368.
- [14] 赵维俊,赵院冬,王正茂,等. 黑龙江省白石砬子地区音频大

地电磁圈定金矿(化)[J]. 地球物理学进展,2017,32(4): 1742–1751.

Zhao W J,Zhao Y D,Wang Z M,et al. Delineation of gold mineralization through AMT approach in the Baishilazi region, Heilongjiang, China[J]. Prog Geophys,2017,32(4):1742–1751.

[15] 李英宾. 可控源音频大地电磁测量对腾格尔坳陷东北缘下白

垩统赛汉组砂体的识别及地质意义[J]. 物探与化探, 2021,45(3):616–623.

Li Y B. The identification of the sand body of Lower Cretaceous Saihan Formation on the northeastern margin of Tengger depression by controlled source audio frequency magnetotelluric survey[J]. Geophys Geochem Explor,2021,45(3):616–623.

Deep conductive structure of Anba ore section in Yangshan gold deposit belt and its geological meaning

CHEN Yongling, JIANG Shoujin, XIE Dan, HU Junfeng

(Research Center of Applied Geology, China Geological Survey, Sichuan Chengdu 610059, China)

Abstract: In order to ascertain the deep geological tectonic frame in key mineralization areas of Anba ore section in Yangshan gold deposit belt, and guide the layout of census work and metallogenic zone, the authors in this paper used V8 electrical law workstation to detect Controlled Source Audio – frequency Magneto – telluric (CSAMT) in key mineralization areas of Anba ore section. Comparing the results with existing drilling profiles, the deep conductive structure in Anba ore section is preliminarily defined as anticlinal structure of NEE direction with a plunge of east direction. The shallow tectonic fractured belt is identified as an advantage point, and transition belt with characteristics of abnormal high and low apparent resistivity is supposed to be geophysical prospecting direction. And the CSAMT is proven to be enforceable in detecting ore – controlling structures characteristics, which is the auxiliary approach in prospecting and has guidance effect on polymetallic mineral exploration in complex landform.

Keywords: Yangshan gold deposit; apparent resistivity; CSAMT; anticline structure; fault

(责任编辑: 常艳)