doi: 10.11720/wtyht.2021.1465

陈小龙,高坡,程顺达,等.西藏帮浦东段—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.http://doi. org/10.11720/wtyht.2021.1465

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].Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(2):361-368.http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.1465

西藏帮浦东段—笛给铅锌矿区 CSAMT 异常特征 与深部找矿预测

陈小龙,高坡,程顺达,王晓青,罗可 (西藏金和矿业有限公司,西藏 拉萨 851400)

摘要:西藏帮浦东段矿区浅部资源逐渐减少,深、边部开拓势在必行。采用 CSAMT 在帮浦东段—笛给矿区开展铅 锌矿深部勘探与找矿预测工作,利用磁场强度 H, 计算全区视电阻率共计 42 840 个,得到了勘探区 CSAMT 全区视 电阻率异常图,进一步分析获得导电特性异常区 4 个,即高阻异常区 R1、R2、R3 和低阻异常区 R4。通过结合以往 勘探资料成果,对本次 CSAMT 资料进行地质解释,建立了相应的找矿预测模型;钻孔验证结果证明了 CSAMT 预测 结果的可靠性。

0 引言

西藏帮浦东段—笛给铅锌多金属矿床位于冈底 斯成矿带东段,该成矿带是我国最重要的资源接续 基地之一,在区域上已发现了雄村铜金矿、驱龙铜钼 矿、甲玛铜多金属矿、帮浦斑岩钼矿、亚贵拉—沙 让—洞中拉铅锌钼矿等^[1],矿区成矿背景十分优 越。该矿区前期已开展了地质填图、化探、地面高精 度磁法测量、激电中梯测量、遥感、钻探等勘查工作, 在浅部取得了较好的勘查效果^[2],探获了可观资源 量。然而,随着矿业开采,浅部资源量较少,深部开 拓成为趋势,矿区深部的矿产情况亟待查明。因此, 采用了 CSAMT 开展深部勘探工作。

本文在研究矿区地质矿产特征的基础上,研究 了矿体及围岩的地球物理特征,依据 CSAMT 工作 成果对矿区深部开展找矿预测,对于区域上该类型 矿床深部找矿具有较好的借鉴意义。 1 地质概况及地球物理特征

1.1 自然地理概况

帮浦东段—笛给铅锌多金属矿位于西藏拉萨市 墨竹工卡县 EN 方向,矿区有简易公路 12 km 至墨 竹工卡—直孔公路,交通便利。

该矿区位于念青唐古拉山脉东端,属高山深切 割区,海拔4726~5341m,相对高差615m,具有坡 度大、海拔高、高差大的特点。矿区第四系松散堆积 物较发育,一半山坡上密灌丛生,一半山坡上为腐殖 土覆盖或为寒冻风化形成的碎石覆盖。区内气候恶 劣,属典型的高原山区荒漠型气候。矿区河流帮达 浦为常年地表径流,为矿山主要的供水水源地,帮达 浦向北西汇入拉萨河。

1.2 地质概况

矿区出露地层主要为二叠系下统洛巴堆组 (P_1l) 、二叠系中统旁那组 (P_2p) 、古近系古新统典 中组 (E_1d) 及第四系(Q)(图1)。

收稿日期: 2020-09-22; 修回日期: 2020-10-30

基金项目:湖南省教育厅科研项目(16K031)

作者简介:陈小龙(1982-),男,2010 年毕业于长安大学,获硕士学位,地质勘查高级工程师,现主要从事地质勘查及研究工作。Email: 371293317@qq.com



1—第四系残破积与冲洪积;2—第四系残坡积;3—第四系冲洪积;4—古新统典中组第一岩性段:凝灰岩、角砾岩、安山岩;5—古新统典中组 第二岩性段:安山岩、角砾岩;6—二叠系中统旁那组:片岩夹少量石英岩;7—二叠系下统洛巴堆组:大理岩、凝灰质板岩、炭质板岩;8—英安 岩;9—黑云母二长花岗岩;10—喜山早期中细粒闪长岩;11—石英斑岩;12—矿体位置及编号;13—地质界线;14—推断断层位置及编号; 15—采样位置及编号;16—笛给矿区范围;17—帮浦东段矿区范围;18—CSAMT 测线及编号;19—验证钻孔

1—Quaternary broken plot and alluvial product; 2—Quaternary residual slope product; 3—Quaternary alluvial products; 4—the first lithologic section of the Dianzhong group: tuffite,volcanic breccia, andesite; 5—the second lithologic section of the Dianzhong group: andesite,volcanic breccia; 6— Upper Permian Pangna group: a small amount of quartzite schist; 7—Lower Permian Luobadui group: marble,tuffaceous slate, carbonaceous slate; 8—dacite; 9—biotite monzonitic granite; 10—Early Himalayan medium-fine-grained diorite; 11—quartz porphyry; 12—ore body location and number; 13—geological boundaries; 14—infer fault location and number; 15—pick up the sample taken by location and number; 16—Digei mining area; 17—mining area in the east section of Bangpu; 18—the scope and measuring line of the work of CSAMT; 19—verification drilling

图 1 帮浦东段—笛给铅锌矿区地质简图

Fig.1 Geological diagram of the lead-zinc deposits in eastern Bangpu-Digei

下二叠统洛巴堆组分布于矿区中部,呈 EW 向 条带状分布,受后期火山喷发活动的影响,地层的连 续性较差,产状紊乱。洛巴堆组又划分为 4 个岩性 段:安山质火山角砾熔岩、流纹岩、大理岩和板岩夹 粉砂岩,该组地层为帮浦矿区的主要赋矿层位^[8]。

二叠系上统旁那组呈 EW 向展布,与古近系典 中组中的凝灰岩交替出现;岩性主要为片岩夹变质 砂岩、板岩,厚度约 150 m。 古近系古新统典中组分布于矿区北、东部的大 部分地段,覆盖于下二叠统洛巴堆组地层之上,与其 为角度不整合接触或断层接触;根据该套地层岩性, 又可分为第一段安山质火山角砾熔岩、第二段安山 岩。该组地层是笛给矿区的主要赋矿层位,帮浦矿 区的次要赋矿层位。

矿区内绝大部分地段均被第四系覆盖,其成因 类型众多,岩性特征各异。矿区内沿沟谷发育冲、洪 积物,在坡麓发育坡积物,在山坡地带发育残坡积

物,在矿区较低洼平缓地带有冰碛物,残坡积物中局 部可见铅锌矿转石。矿区位于麦隆岗—旁那断裂带 上,构造发育以断裂为主,褶皱次之,次级裂隙与矿 化关系密切。由于区域构造应力以 SN 向挤压为 主,因此形成以 EW 向构造线为主的构造格架,SN、 NE 向构造为次级构造。

火山岩在矿区二叠系地层和古近系地层中均较 发育。其中,二叠系火山岩主要出现在早期,为中酸 性火山碎屑岩及熔岩;古近系古新统典中组火山岩 在本区较发育,出露于矿区大部分地区,主要见有气 孔状安山岩、粗面岩、凝灰岩、火山角砾熔岩等。矿 区侵入岩相主要是在帮浦矿区的东部、南部错木拉 二长花岗岩体,岩性为中粗粒二长花岗岩岩体,沿 F₁断层侵位并与洛巴堆组大理岩接触形成构造破 碎带热液充填和砂卡岩型铅锌矿体。

矿区内中生代、古生代的绝大部分地层属低级 变质的浅绿片岩相,主要是绢云母—绿泥石带。围 岩蚀变以线型蚀变(沿断裂)为主,具有典型的热液 型矿床的蚀变特征。

1.3 电性特征

为全面了解矿区地层岩(矿)石的导电与激电特征,在收集以往电性测定成果的基础上,结合2016年实测的电性标本208块统计结果,2017年在矿区地表岩性出露部位、钻孔岩心中又采集标本307块,并采用加拿大产GDD-SCIP型电性参数测试仪开展了标本测定工作^[8]。所有标本的测试结果汇总见表1所示。

根据表 1 的标本统计结果可知:①含矿岩类 (铅锌矿化、黄铁矿化、铜矿化)的极化率较高(一般 >4%),具有中高极化率特征;氧化矿的极化率一般 较低,主要是因为其铁质成分被氧化为褐铁矿,硫质 成分减少;②围岩极化率一般在 4%以下,而凝灰 岩、英安斑岩、安山岩显示具有中等极化率;③各类 矿石电阻率一般在 660 Ω·m以下,围岩电阻率一 般在 1600 Ω·m以上;④炭质板岩具有中低阻、中 高视极化率特征,是区内典型的找矿干扰体;⑤根据 矿区激电测井资料可知,矿区铅锌矿(化)体的极化 率主要集中在 2%~5%,黄铁矿化体及纯大脉状铅 锌矿石主要集中在3.5%~6%;以方铅矿和闪锌矿

表 1	帮浦东段	-笛给矿	区岩矿	石物性参数特征

			• · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			- • • •	
数据来源	岩矿石名称	抽粉	η/%	$\eta/\%$		$\rho/(\Omega \cdot \mathbf{m})$	
		状叙	变化范围	常见值	变化范围	常见值	电性特性
收集	铅锌矿石	31	15.0~20.1	17.5			高极化
	含铜铅矿石	22	13.6~38.8	26.2	100~250		低阻、高极化
	砂板岩	12	1.30~6.61	3.95	1500~2500		高阻、低极化
	花岗岩	15	1.06~3.65	2.35	3500~7000		高阻、低极化
	灰岩	34	1.36~4.33	2.84			高阻、低极化
	大理岩	9	2.21~3.34	2.77	1500~3000		高阻、低极化
2016 年 实测	铅锌矿石	26	7.6~23.8	17	100~500	217	低阻、高极化
	炭质板岩	26	8.5~16.9	8.9	2500~3000	1667	中高极化
	安山岩(黄铁矿化)	25	1.6~9.9	3.8	3500~4500	4008	中低阻、中低极化
	凝灰岩	26	1.3~8.6	3.5	5500~6500	5821	中低阻、中低极化
	石英斑岩	26	1.9~5.2	2.3	13000~14000	13258	中高阻、中低极化
	花岗斑岩	26	1.8~5.6	1.8	20000~50000	44321	高阻、低极化
	英安岩	26	1.3~6.3	1.6	5000~6000	5431	中低阻、低极化
	大理岩	27	1.3~3.4	1.1	4000~5000	4578	中低阻、低极化
2017 年 实 测	铅锌矿石	32	0.34~27.96	15.5	58~11123	448	低阻、高极化
	强黄铁矿化矿石	25	0.87~18.03	21.06	0~10069	654	中阻、高极化
	氧化矿石	27	0.12~6.35	1.97	15~1850	172	低阻、低极化
	角砾岩	33	0.25~18.03	1.86	12~57366	3706	高阻、低极化
	花岗岩	28	1.06~3.65	1.78	450~7000	4800	高阻、低极化
	板岩	40	0.262~2.796	0.876	278~8936	2201	高阻、低极化
	变质砂岩	27	0.271~1.522	0.891	1073~5550	2100	高阻、低极化
	凝灰岩	33	1.3~8.6	3.5	3078~6700	5821	高阻、低极化
	石英斑岩	30	1.9~5.2	3.5	6237~14790	13239	高阻、低极化
	安山岩	29	1.8~9.9	3.8	3690~6027	5023	高阻、低极化

Table 1 Rock and ore physical parameters characteristic table of the lead-zinc deposits in eastern bangpu-digei

注:表中空白栏代表未收集到数据。

为主,伴生黄铁矿组成的块状硫化物矿石极化率在 7%左右,较高的极化率段(>10%)由黄铁矿引起, 多表现为纯块状黄铁矿或块状黄铁矿加稀疏浸染状 铅锌矿。可见,矿区的铅锌矿化视极化率要稍低于 黄铁矿(化)体,寻找铅锌矿(化)体应以中高极化率 为主。由以上分析可知,区内矿(化)体具有低阻、 高极化特征,与其他岩石物性差异明显,具备电法勘 探的地球物理前提。

2 方法技术

2.1 野外数据采集

CSAMT^[3-5]是兴起于 20 世纪 70 年代的一种频 率域电磁测深方法。它使用大功率的人工场源,可 大大提高观测信号强度,具有垂向与横向分辨率高、 穿透高阻能力强、对低阻反映敏感、受地形影响小、 抗干扰能力强、勘探深度大和施工效率高等优点,其 测量方式包括水平电偶源 CSAMT 有标量、矢量和 张量 3 种。本次工作采用标量测量方式,即利用单 一场源观测多个电场和共用一个磁场分量。

为保证数据采集的质量,在正式生产前,进行了 相应的现场实验工作。最终选择的工作频率为1~ 8192 Hz,收发距 9.2~10.0 km,供电极距 AB=1.21 km,供电电流 2~26 A,接收极距 MN=40 m。

为保证发射信号的稳定性与强度,现场选择土 壤潮湿处布设供电电极,A、B极处各挖10个坑埋设 铝板(约0.7m×lm),坑深一般为1.0~1.3m,相邻 坑距一般为0.5~3m;同时,在坑底浇泡和盐水,渗 滤约0.5h,铺上泥浆,然后铺上铝板,在铝板上涂上 泥浆,压实坑土,保证接地良好,最后用引线将所有 的极坑并接,见图2。

为保证接收信号的可靠性,提高信噪比,现场采 用不极化电极接收,并土壤接触良好,浇水压实;使 接地电阻一般小于2kΩ,基岩裸露区域的接地电阻 小于10kΩ。同时,磁棒的方位采用罗盘定位,误差 小于1°,并采用1m长水平尺确定水平。电极连线、 磁棒连线及其他电缆均尽量避开放置,应沿地压实, 防止晃动干扰。



图 2 场源电极埋设与接收极罐的现场照

Fig.2 Site photo of the buried electrode of the field source and the receiver tank

2.2 数据处理

CSAMT 卡尼亚电阻率仅可利用远区数据计算, 过渡区和近区数据无法利用,限制了其深部勘探效 果。为了能充分利用 CSAMT 采集数据中的过渡区 和近场数据,达到增加 CSAMT 探深的目的,本次采 用磁场强度 *H*, 计算全区视电阻率^[6-7],利用数值求 解法求取全区视电阻率的数值解,计算公式为:

$$\rho_{H_{y}} = \frac{16\pi^{2}r^{6}}{I^{2} \cdot AB^{2}} \mu \omega \left| \frac{H_{y}}{G(ik_{1}r)} \right|^{2} \circ$$

式中:H_y为磁场水平分量;r为接收点到偶极中心矢 径的模;I为发射电流强度;AB为发射偶极长度;ω 为角频率;μ和ρ分别为均匀半空间介质的导磁率 和电阻率; k_1 为波常数, $k_1 = \sqrt{\pm i\mu_0 \omega/\rho}$ 。

全区视电阻率的计算通常有两种方法:校正系数法和等效法。等效法的基本思想就是把复杂的地 电结构等效为一个均匀半空间模型,通过在均匀半 空间下场值与视电阻率之间的关系式,由场值计算 得到视电阻率值。根据计算方法的不同,等效法又 可以分为插值法和迭代法,插值法相对精度低,速度 较快,迭代法精度高,但是倘若数据质量差,收敛很 慢。

逐步搜索法是数值计算中经典的求取非线性方 程解的方法,其思想是先给定一个方程的近似解,然 后采用一定的步长逐步趋近与真值,直到满足给定 的精度为止。本文采用逐步搜索法求解全区视电阻 率,步骤如下:

1) 首先,任取一系列依次增大的电阻率初值 ρ_0 ,求得 $G(ik_1r)^{[7]}$,再将其和磁场值分别带入上式 中,得到一系列新的电阻率 ρ_1 。

2) 根据公式 $S = |\rho_1 - \rho_0|$ 求出相应的误差来,选 择最小误差所对应的电阻率初值 ρ_0^i ,来确定下一步 的搜索区间[a,b](其中 $a = \rho_0^{i-1}$ 、 $b = \rho_0^{i+1}$)。

3) 采用黄金分割线法在区间[a,b]上进行搜 素,将区间[a,b]上按照黄金分割的方式所取的值 不断赋给 ρ_0 ,按照步骤(1)求得 ρ_1 ,直到满足 $|(\rho_0 - \rho_1)/\rho_0| < \varepsilon(\varepsilon$ 为期望求取的视电阻率精度),则停止 搜索, ρ_1 作为该频点处的全区视电阻率。

3 物探成果及综合解释

3.1 H, 全区视电阻率特征及解释

本次 CSAMT 剖面按照 100 m×40 m 的测网敷 设,共完成物理点 373 个,计算全区视电阻率数据 42 840个。反演使用软件为商用 SCS2D,卡尼亚电 阻率反演有效数据标高 4 000 m,全区反演电阻率有 效数据标高 3 000 m,相比之下全区视电阻率增加了 1 000 m 的有效探深,完整地反映了深部大规模超级 低阻体的全貌(图 3)。

将探测区的导电特性划分为4个异常区,即高 阻区 R1、R2、R3 和低阻区 R4。结合矿区地质特征 及岩(矿)石的导电特征,R1高阻区电阻率峰值达 10000Ω・m,往南未封闭,地表对应错木拉二长花 岗岩体,推断 R1 异常是由二长花岗岩引起。

R2高阻区最小宽度 680 m,最大宽度 980 m,从 西往东有增大趋势,发育标高在 4 500 m 以上,电阻 率幅值达 10 000 Ω · m,存在局部线性低阻带或局部 高阻带。主要岩性为大理岩、安山岩、凝灰岩夹少量 火山角砾岩,其中大理岩两侧界面与找矿关系密切, 所以在该局部高阻体部位的两侧是找矿的重点部 位。

R3高阻区最小宽度 140 m,最大宽度 720 m,电 阻率幅值最高达 10 000 Ω · m,呈面状分布,往北、东 未封闭,局部夹小规模低阻带。地表出露典中组凝 灰岩、安山岩、角砾岩以及旁那组片岩夹少量石英 岩。推断该异常总体由典中组和旁那组地层引起, 局部夹小规模低阻带为次级断裂或裂隙引起。

R4 为大规模超级低阻区,其南北向长1000~ 1400m,东西向长800m,往西、南均为封闭,发育标 高最高为地表,最低为3000m,中心标高4000m,具 有三度体特征,规模较大,电阻率最低 200 Ω·m,异 常规模从东往西具有增大趋势,顶面埋深和底面标 高由东往西有减小趋势(图3),表明低阻区异常主 体在190线以西。在190~220线,该低阻异常近地 表部位对应角砾岩区,以往地表物探勘查资料显示 其具有低磁、低阻、中低视幅频率特征,异常西部化 探存在 Cu、Pb、Zn 综合异常, 地表发现多处矿化点, 钻孔在该异常顶部的角砾岩中多处见铅锌矿,主要 为断层控矿。通过测定矿区西部与矿区毗邻的帮浦 铜钼矿区斑岩体物性参数发现,该区含矿斑岩体亦 为低磁、低阻、中低视幅频率。依据两区物性参数和 R4 向西发展趋势,推断该大规模超级低阻体与帮浦 铜钼矿区斑岩体同源,亦为含矿斑岩体,为矿区铅锌 多金属成矿提供矿物质来源,含矿热液浸位过程中 在次级构造或两组构造交汇部位沉淀、析出、富集成 矿;含矿热液浸位过程中在构造作用下同时挤压地 层,形成角砾岩,角砾岩裂隙即为容矿空间。根据以 上分析,综合推断该低阻区的中浅部为含矿角砾岩, 深部为含矿斑岩体,二者之间电性差异小,无法区 分。





Fig.3 Resistivity inversion of H_y full-region apparent resistivity anomaly diagram

· 365 ·

3.2 成矿模型

根据以往研究成果^[8-12],结合本次 CSAMT 的勘 探结果,认为:①笛给矿区的地层古近系古新统典中 组(E₁d)比帮浦矿区东段的地层新,其矿体主要为 浸染状或细脉状,多与断裂带有关,具有明显的低 温、低压特征;②激电异常呈大型面状展布,表明典 中组(E₁d)属于高硫型的盖层,在高硫型盖层之下 或存在砂卡岩型铅锌矿床,具有较大的找矿空间;③ 磁异常显示在深部存在隐伏岩体,推断其期次和帮 浦矿区东段南部错木拉岩体同期,为喜山期;④在帮 浦矿区东段深部存在隐伏含矿斑岩体,与帮浦铜钼 矿区斑岩体同源,深部斑岩体为区内成矿提供矿物 质来源,斑岩体之上的次级构造提供了容矿空间,形 成热液充填、交代型铅锌矿,在"硅钙面"即岩体与 碳酸盐岩接触部位形成砂卡岩型铅锌矿。帮浦铜钼 质来源,这两个部位也是找矿的重点部位。

综上所述,帮浦东段—笛给矿区属于斑岩—砂 卡岩—热液脉型铅锌矿床(图4)。

3.3 深部找矿预测

依据 CSAMT 勘探成果和矿床成矿模型开展深 部成矿预测: R4 大规模超级低阻体与西部帮浦铜 钼矿区斑岩体为一体,形成区内主要的热源中心,为 铅锌多金属成矿提供矿物质来源,亦为区内寻找含 矿斑岩体的重要位置;R4 大规模超级低阻体在帮浦 东段与笛给矿区结合部位的第四系地层出露部位存 在大规模角砾岩,角砾岩裂隙中的铅锌多金属矿物 质由 R4 深部斑岩体提供,角砾岩裂隙即为容矿空 间;二叠系地层中 CSAMT 反演电阻率发现的线性 低阻带、高低阻过渡部位反映了次级断裂的存在 (图5),皆为寻找铅锌多金属矿的有利部位,倘若这 些异常位于大理岩两侧,则以寻找砂卡岩型铅锌多



图4 矿床模型示意

Fig.4 Schematic diagram of the deposit model



图 5 210 线、250 线的 H, 全区视电阻率反演电阻率断面

Fig.5 Profile inversion anomaly diagram of H_{y} full-region apparent resistivity of 210 line and 250 line

金属矿为主要目标。综上所述,认为矿区深部具有 较大的找矿潜力,布置了 ZK1601、SKN201 钻孔开展 异常验证工作(图 6)。

4 钻孔验证

ZK1601 钻孔验证结果显示,井深 136.2~143.1 m为铅锌矿化体,矿体之下为大理岩;反演电阻率断 面图显示铅锌矿化体部位存在线性低阻带,矿体倾 向与低阻带倾向一致,下部高阻体为大理岩。

SKN201 钻孔验证结果显示,井深 420 m 以上为 二叠系凝灰岩,局部存在蚀变凝灰岩;反演电阻率结 果在此处夹有局部低阻,该局部低阻反映的是蚀变 凝灰岩。钻孔验证在427.4~530m为凝灰岩和角砾 岩互相交叉产出,存在5层铅锌矿化体,矿体产于角 砾岩裂隙和破碎带中,且在终孔530m处矿体并未 封闭;反演电阻率结果均显示矿化体产于高低阻过 渡带部位。

钻孔验证结果证实了对于 R4 大规模超级低阻体推断的准确性,进一步佐证了找矿模型的可靠性, 充分表明了帮浦东段—笛给铅锌多金属矿床深部找 矿潜力巨大,极大提振了开拓矿区深部的信心。在 ZK1601 和 SKN201 验证成功后,为了节约资金, ZK2001 未再做验证。





Fig.6 Line 210 profile inversion anomaly diagram of H, full-region apparent resistivity and borehole verification diagram

5 结论

在利用水平磁场 H, 计算全区视电阻率过程中 存在着一个场值对应多个视电阻率的现象,这种情 况下通过迭代可能难以确定视电阻率值。文中采用 人机交互的方式,当求解视电阻率存在 2 个根时,采 用手动方式选择根的取值范围,求取出视电阻率。 该问题是利用水平磁场 H_y 计算全区视电阻率后期 研究的主要方向。

参考文献(References):

- [1] 唐菊兴,王立强,郑文宝,等.冈底斯成矿带东段矿床成矿规律及找矿预测 [J].地质学报,2014,88(12):2545-2555.
 Tang J X, Wang L Q, Zheng W B, et al. Ore deposits metallogenic regularity and prospecting in the eastern section of the Gangdese metallogenic belt[J]. Acta Geologica Sinica, 2014,88(12):2545-2555.
- [2] 陈小龙,高坡,黄文俊,等.西藏帮浦矿区东段铅锌矿地质特征 及控矿因素 [J].世界有色金属,2018(6):160-161.
 Chen X L, Gao P, Huang W J, et al. Geological characteristics and ore controlling factors of lead-zinc deposits in eastern part of Tibet pumped mining area [J]. World Nonferrous Metals, 2018 (6):160-161.
- [3] 黄理善,侯一俊,杨红,等.斑岩型铜矿床带条件约束的 CSAMT 数据精细处理和反演解释 [J].物探与化探,2015,(4):817-822.

Huang L S, Hou Y J, Yang H, et al. CSAMT data interpretation by

fine processing and constraint inversion in the porphyry copper deposit [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, (4): 817 - 822.

- [4] 刘志臣,吴发刚,骆红星,等.CSAMT法在贵州遵义锰矿整装勘 查中的运用 [J].物探与化探,2016,40(2):342-348.
 Liu Z C, Wu F G, Luo H X, et al. The application of CSAMT method to monoblock exploration in the Zunyi manganese deposit, Guizhou Province [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2016,40(2):342-348.
- [5] 王峰,吴志春,陈凯,等.CSAMT 法在深部地质结构探测中的应用——以相山铀矿田邹家山地区为例 [J].物探与化探,2016,40(1):17-20.

Wang F, Wu Z C, Chen K, et al. The application of CSAMT to detecting deep geological structures in the Zoujiashan area of the Xiangshan uranium orefield [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2016,40(1);17-20.

[6] 韩自强,冯兵,陈红,等.电性双极源频率域全区视电阻率的计
 算及应用效果研究 [J].地球物理学进展,2016,31(4):1575-1582.

Han Z Q, Feng B, Chen H, et al. Calculation and application effect of electrical bipolar source frequency domain full-zone apparent resistivity [J]. Progress in Geophysics, 2016, 31(4): 1575 - 1582.

[7] 张叶鹏,谢亮,李艳,等.基于全区视电阻率的 CSAMT 应用研究——以西藏帮浦—笛给铅锌矿区为例 [J].矿产与地质, 2020,34(3):517-524.

Zhang Y P, Xie L, Li Y, et al. Study of CSAMT application based on the full-region apparent resistivity: an example of the Bangpu-Digei lead-zinc mining area in Tibet [J]. Mineral Resources and Geology, 2020,34(3):517-524. [8] 张叶鹏,王红,黄文俊,等.西藏帮浦东段--笛给铅锌矿多金 属矿床激电异常特征及找矿方向 [J].矿产与地质,2018,32 (5):903-909.

Zhang Y P, Wang H, Huang W J, et al. Abnormal characteristics of induced polarization method (ip) and prospecting direction of middle and low temperature hydrothermal Pb-Zn polymetallic deposits of the lead-zinc deposits in eastern Bangpu—Digei in Tibet [J]. Mineral Resources and Geology, 2018, 32(5): 903 – 909.

- 唐菊兴,王登红,汪雄武,等.西藏甲玛铜多金属矿矿床地质特 征及其矿床模型 [J].地球学报,2010,31(4):495-506.
 Tang J X, Wang D H, Wang X W, et al. Geological features and metaliogenic model of the Jiama copper-polymetallic deposit in Tibet [J]. Acta Geoscientia Sinica,2010,31(4):495-506.
- [10] 郑文宝.西藏甲玛铜多金属矿床成矿模式与找矿模型[D].成都:成都理工大学,2012.
 Zheng W B. The Study on Metallogenic Model and Prospecting Pattern for Jiama Polymetallic Copper Deposit, Tibet [D]. Cheng-
- [11] 赵涵,肖渊甫,胡涛,等.西藏驱龙斑岩型铜矿床成矿模式研究
 [J].地质与资源,2011,20(3):210-216.
 Zhao H,Xiao Y F,Hu T, et al. Research on the metallogenic model for the Qulong porphyey copper deposit In Tibet [J]. Geology and Resources,2011,20(3):210-216.

du; Chengdu University of Technology, 2012.

[12] 曾忠诚,刘德民,王明志,等.西藏冈底斯东段驱龙—甲马地区 构造—岩浆演化与成矿 [J].地质论评,2016,62(3):663-678.

Zeng Z C, Liu D M, Wang M Z, et al. Tectonic---Magmatic evolution and mineralization of the qulong---jiama areas in eastern section of Gangdese Mountains, Xizang (Tibet) [J]. Geological Review, 2016, 62(3):663-678.

A study of anomaly characteristics of CSAMT and deep prospecting prediction of the lead-zinc deposits in eastern Bangpu-Digei mining area of Tibet

CHEN Xiao-Long, GAO Po, CHENG Shun-Da, WANG Xiao-Qing, LUO Ke (Tibet Jinhe Mining Co., Ltd., Lhasa 851400, China)

Abstract: The shallow resources of lead-zinc deposits are gradually decreasing in eastern Bangpu of Tibet, and hence deep and side exploration is imperative. The authors used CSAMT to carry out deep exploration and make prospecting prediction of lead-zinc deposits in the Bangpu-Digei mining area. The geophysical profiles were deployed in accordance with the 100 m×40 m survey network, and 373 physical points were determined. CSAMT data processing was conducted for the magnetic field intensity so as to calculate the full-region apparent resistivity and obtain the full-region apparent resistivity data at 42 840 sites. Then, the CSAMT anomaly map of full-region apparent resistivity in the exploration area were compiled, and four abnormal areas of electrical conductivity were delineated, i.e., high resistivity abnormal areas R1, R2, R3 and low resistivity abnormal areas R4. Combined with previous exploration data, the authors carried out geological interpretation of CSAMT data and established corresponding prospecting prediction model. The further drilling verification results prove the reliability of CSAMT prediction results.

Key words: lead-zinc deposits in eastern Bangpu-Digei area; CSAMT; full-region apparent resistivity; metallogenic models; deep prospecting prediction