

·综述与进展·

青海南部茶曲帕查 Pb-Zn 矿床的勘查历史、现状 与下一步找矿方向

王贵仁^{1,2}, 宋玉财³, 邹公明², 侯增谦³, 杨竹森⁴, 杨天南³, 张洪瑞³, 刘燕学³,
李政⁵, 汪元奎², 刘群², 然见多杰², 赵呈祥², 翟忠保⁶

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 青海省第五地质矿产勘查院, 青海 西宁 810028; 3. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037; 4. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037; 5. 国土资源部 信息中心, 北京 100812; 6. 中国水利水电第六工程局有限公司, 辽宁 丹东 118002)

摘要:从找矿勘查角度,对青海南部新发现的茶曲帕查 Pb-Zn 矿床的勘查历史和现状进行了介绍,并对下一步找矿方向提出了建议。该矿是 2002 年以来在 1:20 万化探扫面及 1:5 万水系沉积物化探发现异常后进一步通过 1:1 万地质、化探、激电等综合调查及钻孔工程确定的矿床,目前控制(332+333+334)铅锌资源量 99.6 万吨。矿区填图表明,北部中新世五道梁组不整合于南部的二叠系九十道班灰岩之上,后者以北倾的逆冲断层和南部那益雄组碎屑岩接触,钻孔资料显示该断层可能为深部由南向北逆冲断层的反冲断层。矿体在孔莫隆矿段主要就位于灰岩内,在茶曲帕查矿段出现在那益雄组和五道梁组中,前者矿体发育好,后者矿化主要见于地表。矿区内圈出 4 条激电-化探异常,均呈东西向带状分布,分别出现在北部五道梁组、中部九十道班组灰岩、南部那益雄组和五道梁组中。音频大地电磁测深显示灰岩呈相对高阻,碎屑岩、灰岩破碎带、地表水、矿化呈相对低阻。综合分析表明“三江”北段风火山-囊谦褶皱逆冲带内、与新生代盆地相伴的老于新生代的碳酸盐岩是该类矿床的主要赋矿部位,在矿区范围内,多才玛矿段激电-化探异常带内的灰岩中、地表见矿化、深部具音频大地电磁测深显示的高阻体中相对低阻部位是值得关注的勘查目标。

关键词:找矿勘查 现状 找矿方向 茶曲帕查

中图分类号: P618.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2012)01-0079-12

History, current status, and next targets of exploration in the Chaqupacha Pb-Zn deposit, southern Qinghai Province

WANG Gui-ren^{1,2}, SONG Yu-cai³, ZOU Gong-ming², HOU Zeng-qian³, YANG Zhu-sen⁴,
YANG Tian-nan³, ZHANG Hong-rui³, LIU Yan-xue³, LI Zheng⁵, WANG Yuan-kui², LIU Qun²,
RANJIAN Dorje², ZHAO Cheng-xiang² and ZHAI Zhong-bao⁶

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. The Fifth Exploration Faculty of Geology and Mineral Resources, Xining 810028, China; 3. Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China; 4. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 5. Information Center, Ministry of Land and Resources, Beijing 100812, China; 6. No. 6 Sinohydro Engineering Bureau Co., Ltd., Dandong 118002, China)

收稿日期: 2011-03-11; 修订日期: 2011-05-27

基金项目: 国家科技支撑计划重点资助项目(2006BAB01A08); 国家重点基础研究规划资助项目(2009CB421008); 国家自然科学基金(U0933605); 国土资源大调查资助项目(1212010818096)

作者简介: 王贵仁(1969-) 高级工程师, 矿产普查与勘探专业, E-mail: wangguiaren2008@163.com; 通讯作者: 宋玉财(1978-) 副研究员, 矿物学岩石学矿床学专业, E-mail: songyucai@gmail.com; 侯增谦(1961-) 研究员, 矿床学研究方向, E-mail: houzengqian@126.com

网络优先出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1966.P.20111020.0942.002.html>

Abstract : As one of the Himalayan sediments-hosted base metal deposits in Sanjiang region , the newly-found Chaqupacha Pb-Zn deposit is less known. This paper deals with its history , current status and next targets of exploration. Mineralization anomalies were found in the ore deposit on the basis of 1:200 000 and 1:50 000 geochemical investigations in the period of 2002~2004. Subsequently , the ore bodies were delineated through 1:10 000 investigations by means of geology , geochemistry and induced polarization (IP) sounding as well as trench excavation and drilling. It has been so far determined that the ore deposit has (332 + 333 + 334) Pb + Zn resources of 996 000 tons. Geological mapping shows that marl and mudstone in Miocene Wudaoliang Formation (Nw) unconformably overlies limestone in Permian Jiushidaoban Formation (Pj) that rides on clastics in Permian Nayixiong Formation (Pn) in terms of a N-dipping thrust fault in the ore zone. This fault was interpreted as a pop up structure of a S-dipping thrust fault found in a drilling hole. Ore bodies in Kongmolong ore block hosted by Pj limestone are apparently better than those in Chaqupacha ore block that is hosted by Nw and Pn strata. Four E-W-striking anomaly belts of IP sounding and geochemistry occur in the Nw -dominated northern segment , the Pj -dominated middle segment , and the Pn -dominated southern segment in the ore deposit , respectively. Audio magnetotelluric (AM) sounding shows that limestone has higher resistivity than clastics , fault zone , water , and ores. It is suggested that Pre-Cenozoic carbonates are prime prospect targets for exploration of this type of ore deposits in Fenghuoshan-Nangqian fold-thrust belt. Within the ore district , the next exploration targets should be relatively lower AM sounding resistivity parts in limestone of Duocaima ore block where mineralization and IP sounding-geochemical anomaly are present on the surface.

Key words : exploration ; current status ; targets ; Chaqupacha

位于青海南部的“三江”北段,经历了古特提斯阶段复杂的构造演化和喜马拉雅期碰撞造山的叠加,成矿条件得天独厚,但限于恶劣的气候地理条件,一直是找矿的“空白区”。近年来,随着勘查的投入和研究的深入,在该段东部的玉树地区陆续确立了以纳日贡玛矿床为中心的斑岩型 $Mo-Cu$ 矿床矿集区(陈建平等,2008;王召林等,2008;杨志明等,2008;郝金华等,2010)以东莫扎抓和莫海拉亨矿床为代表的碳酸盐岩容矿 $Pb-Zn$ 矿集区(刘英超等,2009,2010;田世洪等,2009;从源等,2010),找矿效果显著。在该段西部的沱沱河地区,近来也发现了众多矿床、矿点,同样显示具有巨大的成矿潜力。其中,以茶曲帕查 $Pb-Zn$ 矿床的规模最大,目前已控制 $Pb+Zn$ 资源量 99.6 万吨,成为“三江”北段找矿最为耀眼的明星。研究显示,茶曲帕查、东莫扎抓、莫海拉亨等矿床与“三江”南段兰坪盆地内若干沉积岩容矿贱金属矿床有相似的成矿背景和成矿作用,从而在青藏高原东、北缘的“三江”地区形成了大陆碰撞环境下的一条巨型 $Pb-Zn-Cu-Ag$ 贱金属矿化带(侯增谦等,2008)。

在这样一条巨型矿化带内,关于兰坪盆地内(He *et al.*, 2009, 及其中的文献)和玉树地区内的矿床报道较多(王召林等,2009;刘英超等,2009,2010;

田世洪等,2009;从源等,2010;郝金华等,2010),而关于茶曲帕查矿床的报道,除了张洪瑞等(2011)外,几乎还是空白。笔者等长期在沱沱河地区工作,从矿床的早期勘查到后来的找矿突破始终参与其中,积累了丰富的第一手信息和资料。这些信息资料,无论对目前的找矿,还是对将来深入研究矿床和这条巨型贱金属矿化带,都具有重要的价值。本文对近年来在研究区找矿勘查中所积累的资料进行了梳理,重点介绍茶曲帕查矿床的找矿历史,目前对矿床开展工作的现状,包括矿床地质、矿体矿化、矿区化探和激电特征、重点区段音频大地电磁测深获得的电阻率剖面特征,并结合上述资料,对下一步找矿方向提出了一些自己的思考和想法。

1 区域地质概况

沱沱河地区位于“三江”北段西部,泛指唐古拉山至沱沱河一带的中新生代盆地沉积区(图1)。该区出露最老地层为石炭系,但主要发育自二叠系以来的火山岩和沉积岩。二叠纪地层从下至上划分为4个组:诺日巴日堡组,为粉砂岩、玄武岩、碎屑岩和碳酸盐岩组合;九十道班组,主要为碳酸盐岩,局部岩性段发育碎屑岩;那益雄组,由灰岩、碎屑岩构成,

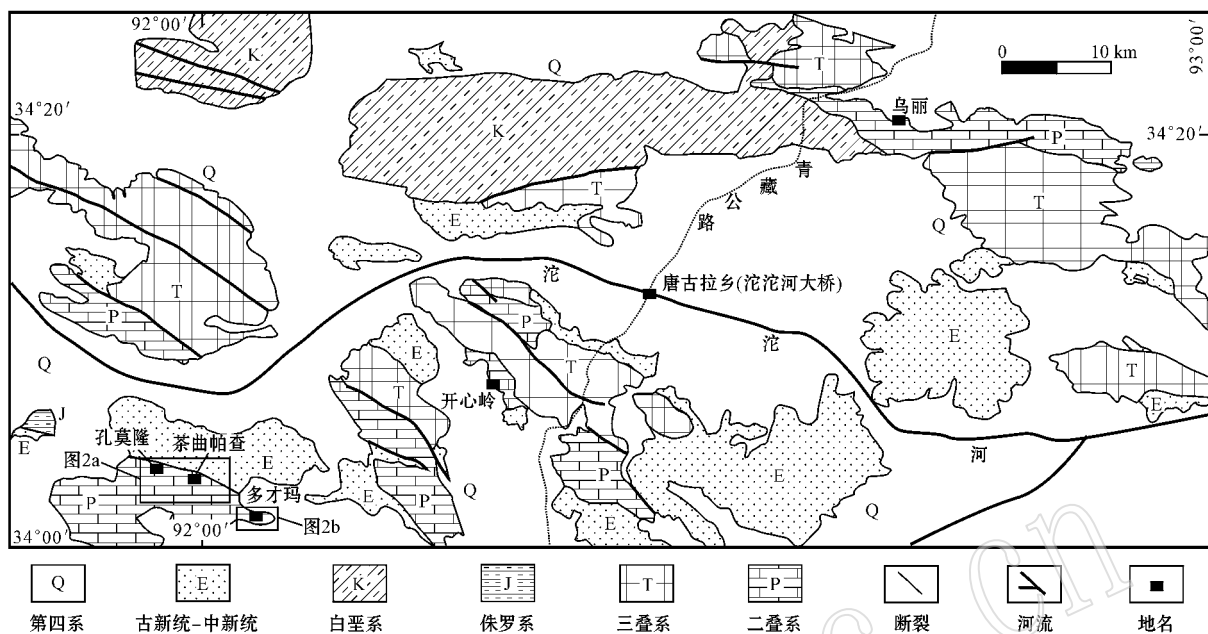


图 1 沱沱河地区地质简图 [据张洪瑞等(2010)修改]

Fig. 1 Simplified geological map of Tuotuohe area (modified after Zhang Hongrui et al., 2010)

局部夹可采煤层;拉卜查日组,为砂岩与生物灰岩组合。下、中三叠统在本区缺失,上三叠统下部为甲丕拉组中基性火山岩、火山碎屑岩、砾岩、粉砂岩、灰岩,向上为波里拉组碳酸盐岩,上部为巴贡组细砂岩、粉砂岩、页岩、碳质页岩。侏罗系总体为一套海相红色碎屑岩,夹有灰岩和石膏层。白垩系为陆相沉积,形成大套紫红色湖相碎屑岩,局部含铜的碎屑岩段呈灰白色、浅灰绿色、青灰色。新生代地层底部为沱沱河组,其下部由砖红色、紫红色陆相细砂岩、粉砂质泥岩互层构成,上部以紫红色、砖红色复成分砾岩为主;向上为雅西错组,其下部为紫红色细砂岩、粉砂质泥岩夹灰色砂屑灰岩、泥灰岩,中部为紫红色细碎屑岩和泥岩组成的韵律层,上部为紫红色砂岩和粉砂质泥岩互层,再向上为五道梁组,其底部为钙质细砂岩和泥灰岩互层,中部为粉砂质泥岩、泥岩,上部为粉砂岩、泥岩与中层石膏互层^{①②}。

新生代大型逆冲推覆构造是沱沱河地区最为醒目的构造样式。据李亚林等(2006)研究,逆冲推覆构造带呈 NWW 延伸,由北部乌兰乌拉湖-巴庆构造带(锋带)、雀莫错-改纳构造带(中带)和南部各拉丹

东-鄂碎玛构造带(根带)构成。锋带主要发育石炭纪-二叠纪、三叠纪、侏罗纪和新生代地层,其中,古生代-中生代地层褶皱紧闭,新生代地层褶皱宽缓,石炭纪-侏罗纪地层逆冲推覆于新生代之上;中带以发育规模较大的褶皱构造和逆冲断层为特点,卷入地层为中、上侏罗统,主要发育大型复式向斜;根带主要出露地层为中侏罗统雀莫错组,以逆冲断层密集发育为特征,断层走向 NWW 并南倾,显示强变形高角度叠瓦状冲断构造特点。大型逆冲推覆作用具有明显的阶段性,早期冲断发生于 52~42 Ma,晚期冲断发生于 40~24 Ma(李亚林等,2006)。

刘燕学等(2011a, 2011b)提出沱沱河盆地古近纪-新近纪沉积由下而上可分为沱沱河组、雅西措组、五道梁组和曲果组 4 个向上变浅系列,并构成两个完整的陆相造山磨拉石建造序列。古近纪-新近纪沱沱河盆地经历了前陆盆地演化阶段(56.5~45.0 Ma)→走滑拉分盆地阶段(45.0~30.0 Ma)→整体抬升、山间残留盆地阶段(23.5~16.0 Ma)→前陆盆地-局限盆地-山间残留盆地阶段(16.0~3.6 Ma)→前陆盆地(3.6~2.6? Ma)等阶段。

① 成都理工大学. 2004. 1:25 万温泉兵站幅区域地质调查报告(146C003002).

② 青海省地质调查院. 2005. 1:25 万沱沱河幅区域地质调查报告(146C002002).

2 找矿历史回顾

茶曲帕查矿床地理位置处于沱沱河南岸,距青藏公路沱沱河大桥 SWW 方向约 60 km(图 1)。在矿区,由西至东,矿床由 3 个矿段组成:孔莫隆矿段、茶曲帕查矿段、多才玛矿段(图 2)。青海省地质调查院最早于 2002~2004 年在沱沱河地区开展了沱沱河幅、章岗日松幅、玛章错软幅、温泉兵站幅 1:20 万区域化探扫面工作,圈定了多才玛、茶曲帕查、宗陇巴和仓龙错切玛等综合异常。随后对这 4 个区域综合异常开展 1:5 万水系沉积物测量加密工作,异常得以分解,发现异常重现性好,面积大,各异常的含量值显著提高。通过检查,在孔莫隆、茶曲帕查、多才玛矿段发现多条铅锌等多金属矿化带(体)和大量的矿化线索,证实化探异常为矿化所致。

2005 年主要是多才玛和茶曲帕查 3 个异常区地表评价,在此基础上对查曲帕查矿段选择成矿有利部位采用钻探工程开展了深部验证,在茶曲帕查共施工钻孔 2 个(CZK25701、CZK26701),其中,CZK26701 钻孔中见到了矿化体。同年,还对茶曲帕查、孔莫隆及其他异常采用 1:1 万地化综合剖面 and 槽探等手段进行了异常查证,发现了一些新的矿化线索。

2006 年主要针对多才玛、茶曲帕查异常及矿化带,采用 1:1 万地质草测、1:1 万综合物探剖面、槽井探等技术方法手段进行了系统地表揭露,同时采用钻探工程进行深部验证,在茶曲帕查成矿有利部位施工钻孔 4 个(CZK17501、CZK17502、CZK9501、CZK8701),其中,在 CZK9501、CZK8701 钻孔中见到厚度较大、品位较高的铅锌矿体,取得了普查区深部找矿的突破。

2007 年对多才玛、茶曲帕查地区继续进行地表查证工作,同时在区内灰岩的构造破碎带内圈出了孔莫隆铅锌矿段,并施工钻孔 KZK801 进行了验证,确定铅锌矿体具有向深部延伸的特点。

2008 年继续在孔莫隆、茶曲帕查异常区继续进行地表及深部控制工作。孔莫隆施工钻孔 3 个(KZK701、KZK802、KZK1601),反映矿体在倾向上和走向上均有较大的延伸;在茶曲帕查矿段施工钻孔 1 个(CZK26702),并在钻孔中见到了原生的团块状方铅矿。矿床找矿的前景进一步扩大。

2009 年矿业公司介入勘查,在茶曲帕查和孔莫

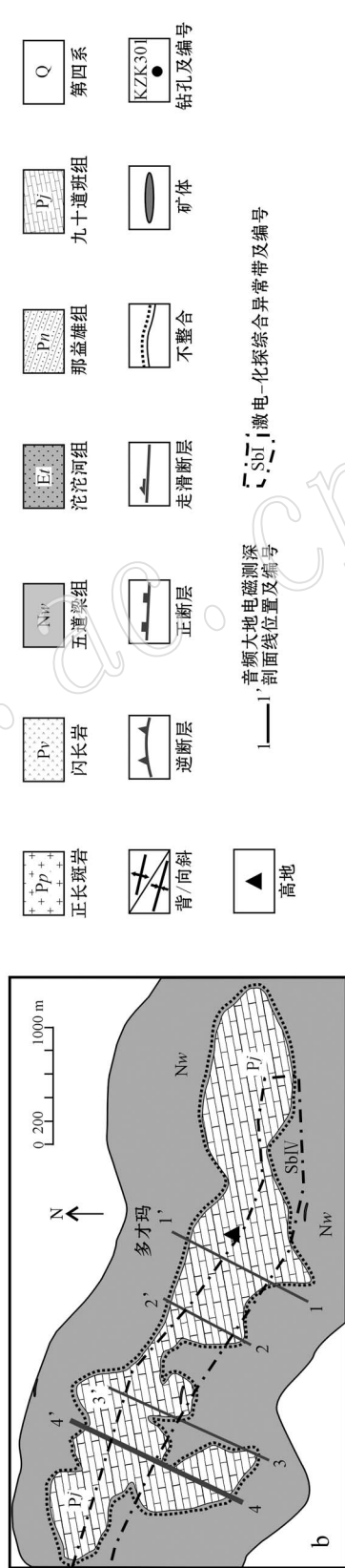
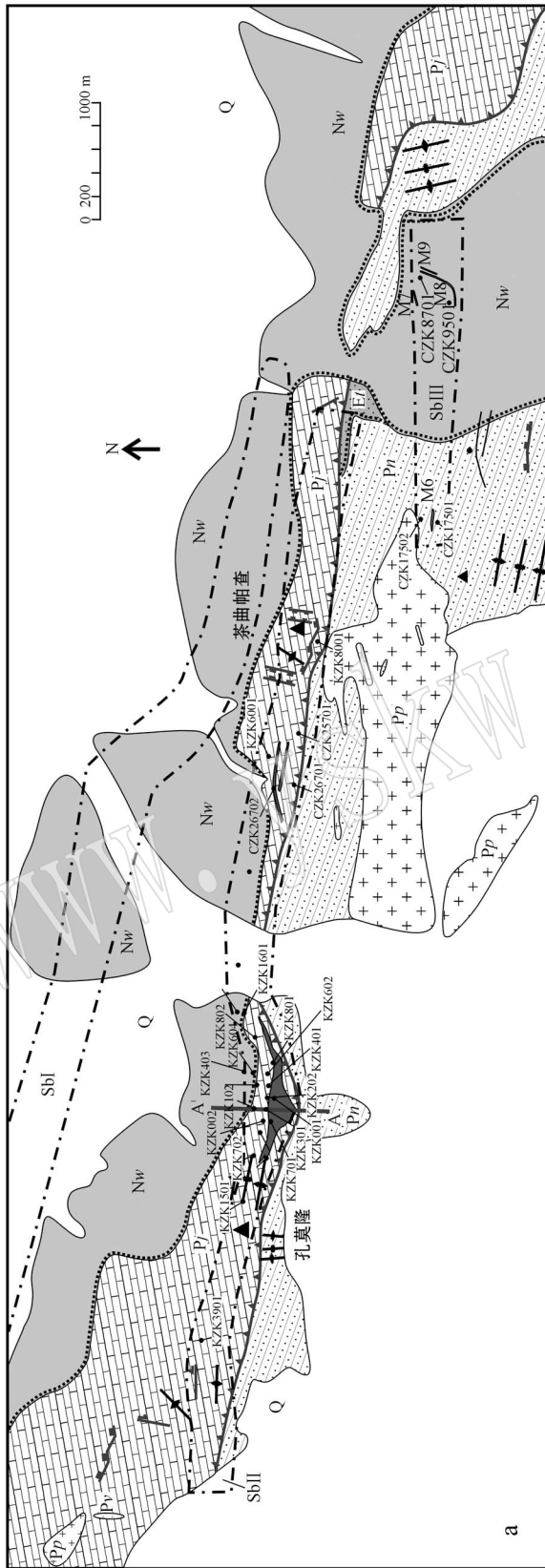
隆矿段施工钻孔 28 个,有效总进尺 9 661.78 m,其中,在孔莫隆矿段勘察突破较大,共圈出 24 条铅锌矿体,并在茶曲帕查矿段也圈出铅锌矿体 4 条。

目前,对圈出的铅、锌矿体用算术平均法进行了资源量概算,孔莫隆矿段估算(332+333+334)铅锌资源量 76.2 万吨,茶曲帕查矿段估算(334)铅锌资源量 23.38 万吨,多才玛矿段因铅锌矿体均为单工程控制,未做资源量估算。上述矿段累计求得(332+333+334)铅锌资源量 99.6 万吨。

3 矿床地质与矿体特征

如图 2 所示,矿区主要发育 4 个地层单元:晚二叠世九十道班组、晚二叠世那益雄组、始新世沱沱河组、中新世五道梁组。在矿区,九十道班组主要出露其上部岩性段,为浅灰色中厚层泥晶灰岩和生物碎屑灰岩,那益雄组出露较全,其下部为深灰色中层泥晶灰岩与碳质页岩、紫红色中薄层砂岩,上部为灰黑色碳质泥岩、深灰色钙质泥岩夹土黄色细、中砂岩;沱沱河组在矿区出露范围小,为一套复成分砾岩;五道梁组主要出露其下部和中部地层,下部为灰绿色、砖红色钙质细砂岩、泥岩与灰绿色泥灰岩互层,中部为灰绿色、土黄色、灰白色粉砂质泥岩、泥岩互层,水平层理发育并夹有薄层砂岩。此外,在那益雄组碎屑岩内侵位有正长斑岩,锆石 U-Pb 年龄为 253.9 ± 4.3 Ma(李政,2008),在九十道班灰岩内还侵位有闪长岩岩脉,锆石 U-Pb 年龄为 240.9 ± 3.5 Ma(李政,2008)。

矿区北部,五道梁组泥灰岩、泥岩不整合上覆于九十道班灰岩之上,向南,九十道班灰岩则以近东西走向北倾的逆冲断层叠置在那益雄组碎屑岩上,在茶曲帕查矿段,局部见逆冲断层前缘沉积有沱沱河组砾岩。尽管地表显示逆冲断层由北向南逆冲,但在孔莫隆矿段,钻孔资料显示深部可能存在着一个由南向北逆冲的断层。钻孔 KZK604 显示,五道梁组泥灰岩不整合于九十道班灰岩上(0~-112 m),向下九十道班灰岩厚约 60 余米(-112~-175 m),再向下为断层破碎带(-175~-195 m),其上段为砖红色泥质胶结呈压扁状的灰岩角砾(-175~-180 m),下段为断层泥,局部夹有完整的砖红色粉砂质泥岩(-180~-195 m),再向下一直到终孔均为一套砖红色粉砂质泥岩或泥质粉砂岩(-195~-602 m),未见底,从区域地层上看,大套颜色为红色的



- | | | | | | |
|--|-------|--|------|--|--------------------------------------|
| | 正长斑岩 | | 背/向斜 | | 高地 |
| | 闪长岩 | | 逆断层 | | 音频大地电磁测深剖面线位置及编号 |
| | 五道梁组 | | 正断层 | | SdI, SdII, SdIII, SdIV 激电-化探综合异常带及编号 |
| | 陀沱河组 | | 走滑断层 | | |
| | 那益堆组 | | 不整合 | | |
| | 九十道班组 | | 矿体 | | 钻孔及编号 |
| | 第四系 | | | | |

岩性段形成时代都在三叠纪之后,因此这套地层形成要晚于九十道班组灰岩。由此可知,矿区深部可能存在着一个向北逆冲的断层,系九十道班组灰岩等地层由南向北逆冲在这套砖红色地层上,地表向南逆冲的断层很可能是该逆冲断层的反冲断层。通常,五道梁组泥灰岩地层产状近水平,变形弱,而二叠纪地层变形强,形成近东西走向的褶皱或单斜构造。孔莫隆矿段九十道班灰岩内往往发育垮塌角砾构造,角砾以灰岩角砾为主,也见有燧石及少量方解石角砾,它们被泥灰质胶结,并常常见到呈水平层理的泥灰岩沉积物与垮塌角砾相伴发育,甚至有沉积的石膏,显示为五道梁组沉积。这些垮塌角砾大小不一,出现在灰岩内部,与五道梁组沉积伴生,显示为五道梁沉积期溶洞垮塌角砾或/和同沉积张性断裂角砾。另外,也常见钙质胶结灰岩角砾,角砾特点和上述角砾相似,它们往往与矿化伴生,故推测为成矿过程中,热液溶解垮塌角砾。

矿床矿体主要就位于逆冲断层上盘九十道班组灰岩内,五道梁组泥灰岩地层和那益雄组碎屑岩中局部也见少量矿化。其中孔莫隆矿段为最主要的矿段,目前整个矿床控制资源量的 75% 左右在该段。在孔莫隆矿段,目前共圈出铅锌矿体 24 条。矿体铅锌品位低,铅平均品位 0.61%~3.8%,锌平均品位 2.09%~2.89%,个别达到 9.65%。矿体在东西向近水平不连续分布,而在南北向,少量钻孔资料显示矿体可能北倾,单个矿体厚度通常不超过 10 m,空间上呈不连续的板状、透镜状、脉状分布,金属以铅为主,锌矿体主要出现在地表,往往与铅矿体相伴形成铅锌共生矿体(图 3)。原生矿石主要有 4 种类型:①方铅矿交代垮塌角砾岩间的泥灰质/钙质胶结物(图 4a);②皮壳-糖粒状方解石±生长在其边缘的方铅矿,常形成孔洞状(图 4b),有时也呈细脉出现;③脉状方铅矿矿化(图 4c);④脉状方解石+闪锌矿(图 4d)。其中,第 1 种和第 2 种是最重要的矿化样式,提供了绝大部分矿量,而后两种矿化提供的矿量有限。另外,地表发育有氧化矿矿石,通常由白铅矿和菱锌矿组成(图 4f),整个矿床的锌主要以该方式赋存。矿物组合与穿插关系显示热液矿化期次为:①脉状黄铁矿;②灰岩中脉状/浸染状方铅矿±黄铁矿、交代灰岩角砾间胶结物的方铅矿±方解石;③呈孔洞状或脉状出现的皮壳-糖粒状方解石±生长在其边缘的方铅矿。此外,仅在一个钻孔中发现脉状方解石+闪锌矿矿化,期次不详。围岩热液蚀变不

强,以方解石化为主,局部出现有泥化,通常出现在强矿化部位。孔莫隆矿段也发现有沥青,它们与热液方解石伴生,或出现在灰岩中,为热液成因。

茶曲帕查矿段目前共圈出铅锌矿体 4 条(M6~M9),含矿岩性为那益雄组浅灰白色-浅紫色泥晶灰岩,或沱沱河组复成分砾岩及五道梁组泥岩、泥灰岩,铅主要以方铅矿形式出现,出现在砖红色泥岩的裂隙面上(图 4e),有时也以浸染状矿化形式出现,锌矿体多为氧化矿,主要由菱锌矿构成(图 4f)。其中,M6 为铅锌矿体,铅的平均品位 10.4%,锌的平均品位 10.02%,矿体在深部见矿不理想;M7 锌矿体平均品位 1.90%,同样深部见矿不理想;M8 铅锌矿体由 M8 锌矿体和 M8-1~M8-4 铅矿体组成,锌平均品位 1.56%~5.49%,铅平均品位 0.56%~1.08%,个别段 9.5%,深部见矿较好。M9 为锌矿体,锌的平均品位 1.64%,深部见矿不好。

多才玛矿段目前仅有地表探槽揭露,矿化出现在五道梁组泥灰岩内及九十道班组灰岩中。五道梁组泥灰岩内为铅矿化矿,显示为方铅矿伴生方解石呈短脉状出现,九十道班组灰岩中为铅锌矿化,见星点状及细脉状方铅矿出现在灰岩及其裂隙中,平均品位为 0.53%~1.95%,锌以菱锌矿形式出现,平均品位为 0.82%~4.8%。

从总体上看,茶曲帕查矿床的矿体富矿段少,连续、厚大的矿体不多,矿石品位低,以铅为主,但矿化范围大,具有巨大找矿潜力。目前,孔莫隆矿段矿体矿化发育最好,而茶曲帕查矿段矿体矿化发育较差,多为氧化矿,常富集于地表,深部见矿不理想,多才玛矿段地表见矿较好,但深部矿化情况不明。

4 矿区化探与激电异常特征

通过历年物探工作测量,普查区内共圈出激电-化探异常带 4 条,编号 Sb I、Sb II、Sb III、Sb IV(图 2)。

Sb I 异常带分布在矿区北部,为一激电与土壤综合异常带,地表多被植被及风尘砂覆盖,呈北西-东南向展布,异常带目前推测长约 8 km,宽约 300~700 m。带内 Pb 元素含量一般 $400 \times 10^{-6} \sim 2\,500 \times 10^{-6}$, Zn 元素含量一般在 $800 \times 10^{-9} \sim 2\,500 \times 10^{-9}$, Ag 元素含量一般在 $300 \times 10^{-9} \sim 1\,500 \times 10^{-9}$ 。激电异常基本沿土壤异常带产出,宽度 100~400 m 不等,异常段视极化率值在 2%~4% 之间,表

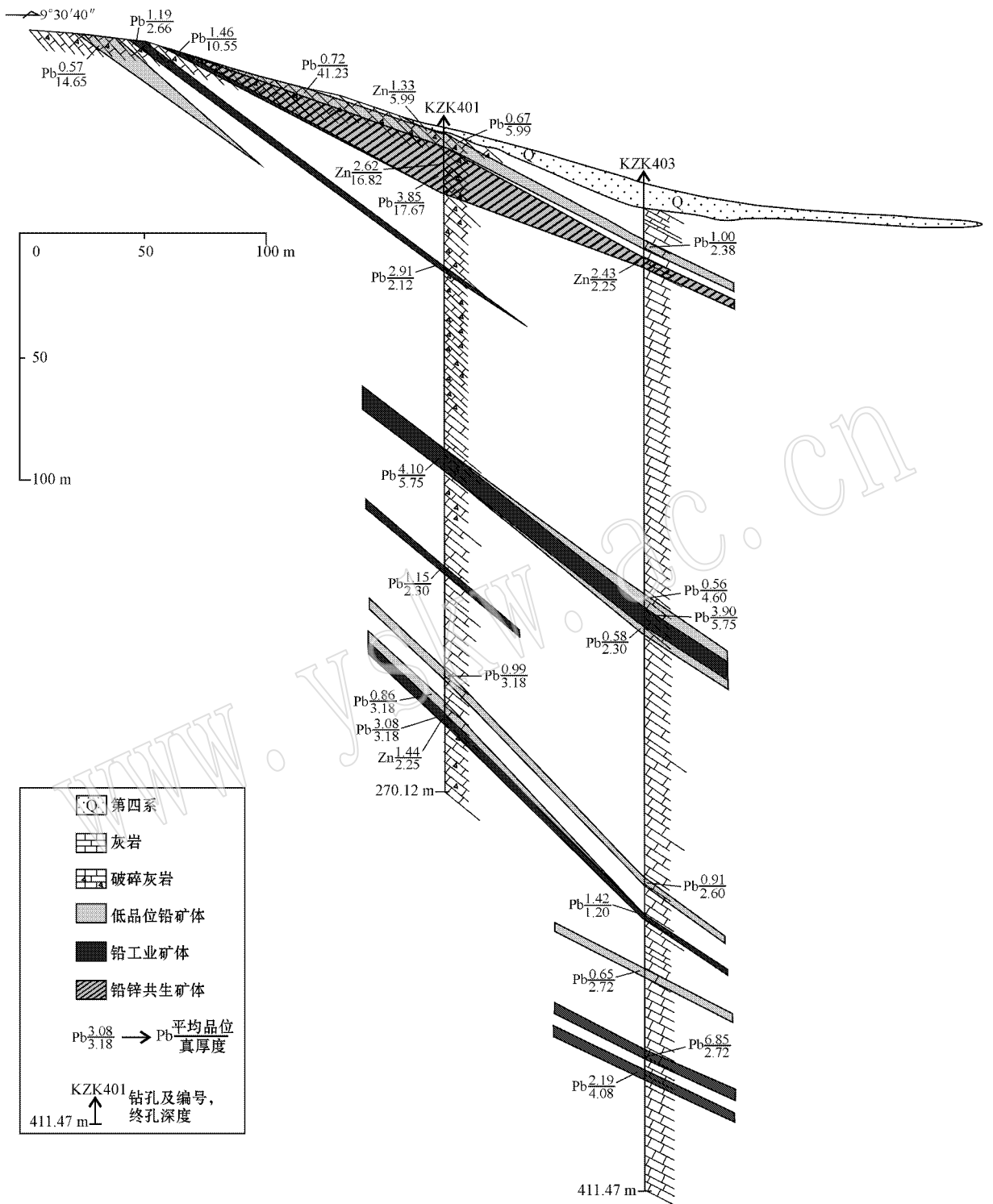


图 3 茶曲帕查 Pb-Zn 矿床孔莫隆矿段 4 号勘探线矿体特点

Fig. 3 Ore bodies along No. 4 exploration line in Kongmolong ore block, the Chaqupacha Pb-Zn ore deposit

现为低阻中等极化特征。该带局部槽探中见有铅、锌矿化,其余地段由于地表工作难以开展,目前认识不清。该带与南部的 Sb II 主异常带呈平行分布。

Sb II 异常带分布在普查区九十道班灰岩一带,

从孔莫隆矿带西部向东一直延至茶曲帕查以东 4851 高地一带。异常带呈近东西向延伸,长约 9.2 km,宽约 200~500 m。带内 Pb 元素含量一般在 $500 \times 10^{-6} \sim 2500 \times 10^{-6}$ Zn 元素含量一般在 1000×10^{-6}

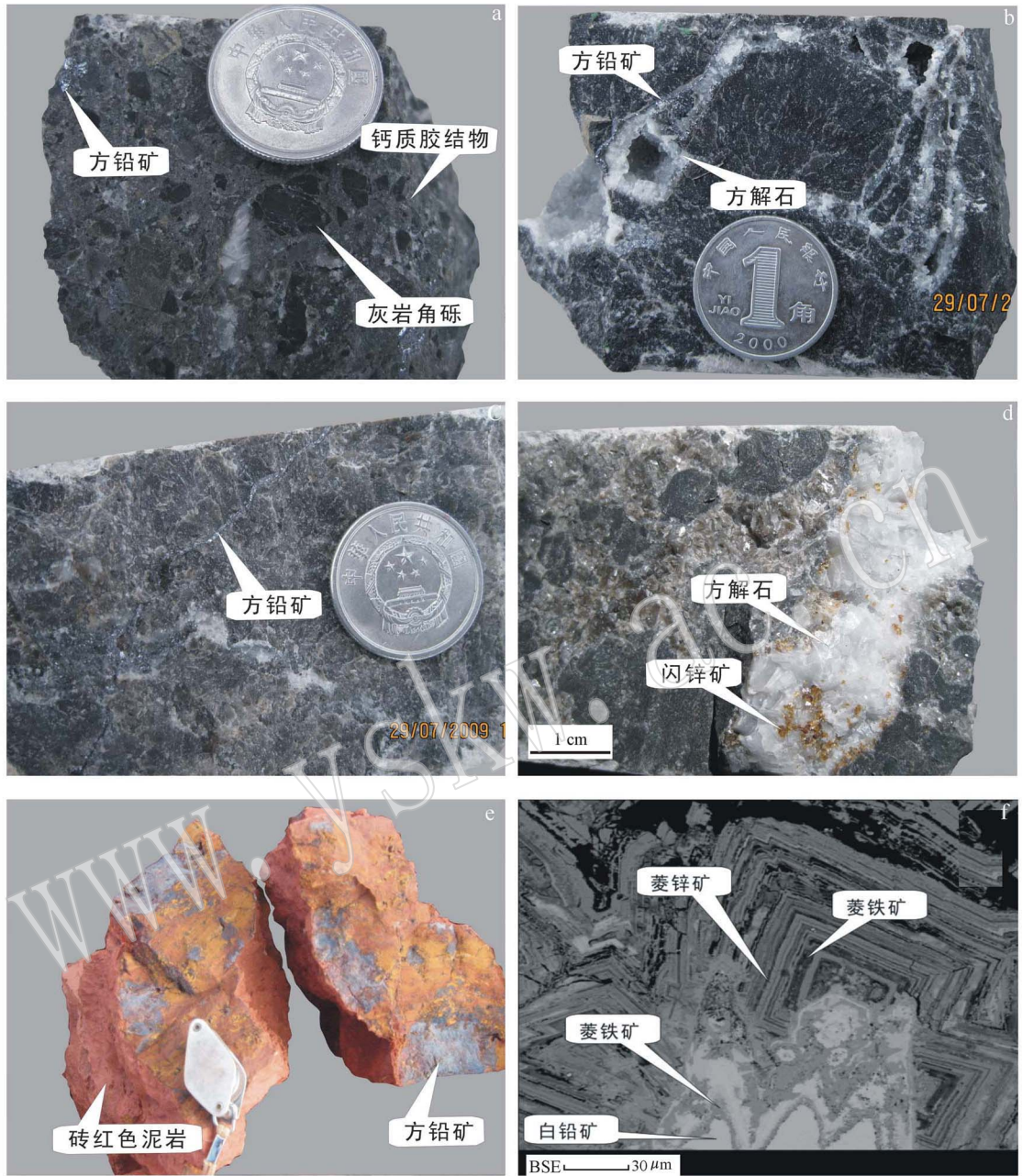


图 4 茶曲帕查 Pb-Zn 矿床典型矿石

Fig. 4 Typical ores in the Chaqupacha Pb-Zn ore deposit

a—方铅矿呈浸染状交代胶结灰岩角砾的钙质胶结物,孔莫隆矿段; b—呈孔洞状的皮壳状方解石+方铅矿,孔莫隆矿段; c—灰岩中脉状方铅矿,孔莫隆矿段; d—脉状方解石+闪锌矿,孔莫隆矿段; e—砖红色泥岩中裂隙面上见方铅矿矿化,茶曲帕查矿段; f—地表氧化矿的主要矿物组成,茶曲帕查矿段

a—replacement of disseminated galena for calcareous matrix between breccia clasts, Kongmolong ore block; b—vug-filling calcite and galena, Kongmolong ore block; c—galena veinlet, Kongmolong ore block; d—calcite-sphalerite vein, Kongmolong ore block; e—galena in fractures within light red mudstone, Chaqupacha ore block; f—major minerals in secondary oxidized ore, Chaqupacha ore block

$\sim 2\,500 \times 10^{-6}$, Ag 元素含量一般在 $300 \times 10^{-9} \sim 1\,500 \times 10^{-9}$,最高可达 $3\,200 \times 10^{-9}$ 。异常段视极化率值在 2%~3.5% 之间,激电异常基本沿土壤异常带展布,但出现稍偏北的分布趋势。目前发现的孔莫隆矿段就位于该异常带内。

SbIII 异常带位于主含矿带南侧茶曲帕查一带,呈东西向延伸,长约 2.6 km,宽约 200~450 m。其 Pb 元素含量一般在 $500 \times 10^{-6} \sim 2\,500 \times 10^{-6}$, Zn 元素含量一般在 $1\,000 \times 10^{-6} \sim 2\,500 \times 10^{-6}$, Ag 元素含量一般 $300 \times 10^{-9} \sim 1\,500 \times 10^{-9}$,最高可达 3 200

$\times 10^{-9}$ 。视幅频率(F_s)一般在 1.0%~2.3%之间,最高 2.9%。激电异常宽度较大,一般 200~600 m,视极化率值在 2%~4.5%之间。圈定的茶曲帕查铅锌矿段矿体在其范围内。

Sb^{IV}异常带位于多才玛矿段,呈东西向延伸,长约 4.5 km,异常带宽约 20~250 m。带内 Pb 元素含量一般在 $300 \times 10^{-6} \sim 1\,500 \times 10^{-6}$, Zn 元素含量一般在 $1\,000 \times 10^{-6} \sim 1\,500 \times 10^{-6}$, Ag 元素含量一般 $300 \times 10^{-9} \sim 1\,500 \times 10^{-9}$,最高可达 $3\,200 \times 10^{-9}$ 。视幅频率(F_s)曲线呈宽缓波状形态,激电异常明显,但异常强度不高,视幅频率(F_s)一般在 0.3%~1.3%,最高可达 1.6%。异常带内见有多条破碎蚀变带,破碎带内圈出铅锌矿体 3 条。

5 重点区段音频大地电磁测深结果

音频大地电磁方法(AMT)是利用天然电磁场在地下介质中传播时所产生的“趋肤效应”实现对地下不同深度介质的电学性质的探测。所谓“趋肤效应”即指不同频率的电磁波在地下介质中传播时的衰减快慢不同。简单的说,高频电磁波在地下介质中传播时衰减快,因而只能反映浅部的电性信息,而低频电磁波在地下介质中传播时衰减慢,从而可以实现对深部电性结构的探测。所以,根据地面测点上不同频率的观测值,即可提供该测点下随深度变化的电阻率估计值。在一个区域,根据大量测点的观测值可给出该区域地下介质的电阻率结构,从而推断地下的地质结构、构造。

本次工作野外数据采集使用由美国 GEO-MATRICES 公司生产的“EH-4 连续电导率剖面仪”,采集电磁场信号的频率范围为 10 Hz 到 100 kHz,在电阻率较高的地区($>100 \Omega \cdot m$)探测深度可以达到 1 000 m。在矿区共设计 5 条侧线,其中 A—A' 侧线布置在 0 号勘探线上,主要为查明获得的电阻率结果与已知的岩性、构造、矿化的对应关系。其他 4 条侧线(1—1', 2—2', 3—3', 4—4')布置在多才玛矿段,主要为下一步的找矿方向提供依据。野外数据采集时在每个测点上布置两组相互正交的高频磁探头和电极,采用“十”字形方式布极。根据地形、地物条件,各个测点的电极距为 50 m,个别测点由于地形条件限制极距有所增减。每个测点间距 100 m。室内资料处理中采用了 Bostick 反演法。结果如图 5

所示。

图中蓝色代表相对高阻部分,黄绿色、绿色代表的相对中阻部分,红色代表低阻部分。在图 5a 中,对应地表岩性看,左侧红色、黄色代表的低阻物质为受浅表水影响的二叠系那益雄组碎屑岩,向右蓝色代表高阻的二叠系九十道班组灰岩,再向右的红色和黄色代表受浅表水影响的五道梁组沉积岩。其中,地表填图显示,那益雄组碎屑岩和九十道班组灰岩以由北向南逆冲的逆断层接触,这条逆断层向下延伸和高阻灰岩中相对低阻部位(蓝灰色、蓝白色)对应。而 ZK002 钻孔资料显示,五道梁组地层是以不整合形式上覆于灰岩之上,与图面上显示的从上部黄、绿色代表的高阻部分过渡到下面蓝色代表的低阻部分相对应。和 ZK001 和 ZK002 钻孔资料相比对,高阻灰岩中出现相对低阻部分,对应灰岩角砾形成的破碎带,矿化也主要出现在这个部位。因此,已知勘探线测试结果显示,该方法对识别灰岩地层和碎屑岩地层非常有效,即相对高阻代表灰岩,相对低阻代表碎屑岩,灰岩中相对低阻体,可能为断裂或其他构造导致的灰岩破碎部位,也可能为矿化,考虑到该区矿化受灰岩内的构造破碎部位控制,故灰岩中相对低阻体是值得注意的勘查部位,特别低的低阻体(红色代表),在地表是水,但在深部,可能是水,也可能是矿化的反映,应该给予验证。

在多才玛矿段开展的测试同样显示相对电阻率与地表所显示的岩性对应良好。以剖面 3—3' 为例(图 5b),最左侧红色代表的相对低阻体为五道梁组泥灰岩,向右蓝色部分代表九十道班灰岩,再向右红色、黄色、黄绿色部分代表着五道梁组泥灰岩,再向右蓝色代表着九十道班组灰岩。其中泥灰岩以不整合形式盖在灰岩上。图右方灰岩中同样出现了相对低阻部位,其很可能是断裂或其他构造所导致的灰岩破碎部位,也可能直接为矿化所至。另外,高阻灰岩下方的红色代表的低阻体,推测是水或矿化所至。

6 下一步找矿方向

6.1 找矿标志

前文已述,孔莫隆矿段矿体发育规模大、向下延伸好,而茶曲帕查矿段多为氧化矿,常富集在地表,向下延伸差,因此,应以孔莫隆矿段控矿和示矿特点来凝练找矿标志。其找矿标志可概括为如下几点:

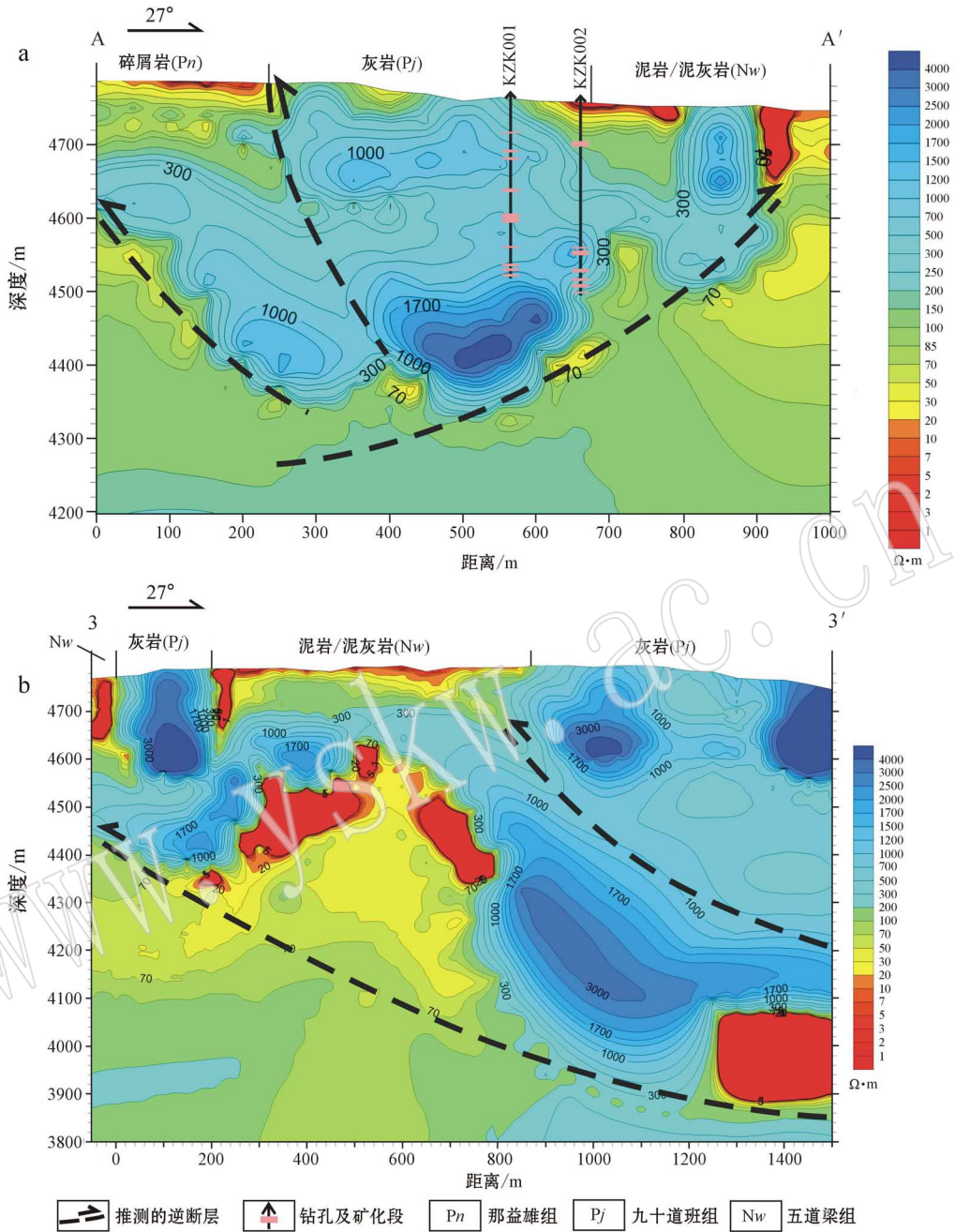


图 5 音频大地电磁测深获得的两条视电阻率断面

Fig. 5 Apparent resistivity profiles obtained from audio magnetotelluric sounding

a—孔莫隆矿段 0 号勘探线上的 A—A' 断面, 地表岩性和钻孔资料反映碎屑岩为相对低阻, 灰岩为相对高阻, 水、破碎带、矿化为相对低阻;
b—多才玛矿段的 3—3' 剖面

a—A—A' profile along No. 0 exploration line in Kongmolog ore block, lithology on the surface and drilling-hole data show that clastics have relatively lower resistivity, limestone has relatively higher resistivity, and water, mineralization, and fracture zone have relatively lower resistivity; b—3—3' profile in Duocaima ore block

(1) 地层标志: 二叠系九十道班组灰岩是主要容矿围岩, 一般灰岩存在重结晶现象。尽管五道梁组 and 那益雄组碎屑岩内也存在矿化, 但其受裂隙控制, 矿体延伸有限、规模小, 不是主要赋矿地层。

(2) 构造标志: 逆冲断裂上盘, 灰岩破碎部位,

或见有五道梁组泥岩/泥灰岩胶结灰岩角砾, 表明存在同沉积构造破碎或溶洞垮塌构造。

(3) 蚀变、矿化标志: 热液方解石脉发育, 糖粒状方解石 ± 方铅矿呈中心未被充填的孔洞状或裂隙状最为典型和具标志性特征, 或直接见有方铅矿矿

化。

(4) 地表氧化标志:菱锌矿和白铅矿等矿物出现,氧化后呈现红、褐、灰绿等多种氧化色,在地表形成杂色带。

(5) 地球化学异常标志:以铅锌(镉)为主的水系异常,具有一定的规模和强度,形态完整,浓度梯度变化明显。

(6) 地球物理异常标志:直流中梯测量异常出现“低阻高极化”异常带与土壤异常带相吻合,音频大地电磁测深测量显示的高阻灰岩内的相对低阻部位。

6.2 下一步找矿方向

从整个“三江”北段范围看,以茶曲帕查、东莫扎抓、莫海拉亨矿床为代表的沉积岩容矿 Pb-Zn 矿床出现在风火山-囊谦褶皱逆冲带内,与新生代盆地相伴,就位于碳酸盐岩中,是形成于新生代的一套与盆地流体活动有关的后生矿床(宋玉财等,2011)。因此“三江”北段的找矿远景区应处在金沙江缝合带以南的新生代盆地+碳酸盐岩发育区。找矿靶区应首先寻找碳酸盐岩地层,然后根据 1:5 万化探异常,结合铁染和菱锌矿遥感异常综合判定。

从沱沱河地区看,多才玛地区应是下一步重点找矿方向。理由如下:①该段九十道班组碳酸盐岩发育,上被五道梁组地层不整合覆盖,地表灰岩破碎,并见灰岩角砾被五道梁组泥灰岩胶结,与孔莫隆矿段地质特征极为相似;②地表灰岩内见热液方解石发育,其中不乏呈皮壳-孔洞状的方解石,同时,灰岩角砾间的五道梁组泥灰岩胶结物中见浸染状方铅矿矿化,探槽已揭露出灰岩和五道梁组泥灰岩内也有方铅矿矿化;③灰岩内出现好的激电和地化异常(SIV),同时也存在音频大地电磁测深获得的相对低阻体。要强调的是,尽管在矿区北部和茶曲帕查矿段也存在激电和化探异常,包括 S I 和 S III 异常,但该异常主体位于五道梁组地层和那益雄组地层上,尽管地表也发现有矿化,但从目前对区域和矿床成矿作用的认识来看,这些地层不是好的赋矿部位,表现为氧化矿或局部零星的矿化,难以形成大的矿体,故不是下一步重点找矿方向。

如布置钻孔,优先考虑布置在多才玛矿段 SIV 异常带内的灰岩地层中,对准地表存在矿化且深部存在音频大地电磁测深获得的相对低阻体开展工作。

究给予大力支持,地科院地质所管焯研究员、中国地质大学(北京)魏文博教授课题组在开展音频大地电磁测深工作中给予指导并参与到工作中,在此一并表示衷心感谢。

References

- Chen Jianping, Tang Juxing, Chen Yong, *et al.* 2008. Geological characteristics and metallogenic model of the Narigongma copper-molybdenum deposit in the north part of the Sanjiang region, southwest China[J]. *Geoscience*, 22(1): 9~17 (in Chinese with English abstract).
- Cong Yuan, Chen Jianping, Dong Qingji, *et al.* 2010. Characteristics of sulfide minerals in Dongmozhazhua Lead-zinc deposit, Qinghai province, and their genetic significance[J]. *Geoscience*, 24(1): 42~51 (in Chinese with English abstract).
- Hao Jinhua, Chen Jianping, Tian Yongge, *et al.* 2010. Mineralogical features of porphyries in the Narigongma Mo(-Cu) deposit, southern Qinghai and their implications for petrogenesis and mineralization[J]. *Geology and Prospecting*, 46(3): 367~376 (in Chinese with English abstract).
- He L., Song Y., Chen K., *et al.* 2009. Thrust-controlled, sediment-hosted, Himalayan Zn-Pb-Cu-Ag deposits in the Lanping foreland fold belt, eastern margin of Tibetan Plateau[J]. *Ore Geology Reviews*, 36(1~3): 106~132.
- Hou Zengqian, Song Yucai, Li Zheng, *et al.* 2008. Thrust-controlled, sediments-hosted Pb-Zn-Ag-Cu deposits in eastern and northern margins of Tibetan orogenic belt: Geological features and tectonic mode[J]. *Mineral Deposits*, 27(2): 123~144 (in Chinese with English abstract).
- Li Yalin, Wang Chengshan, Yi Haisheng, *et al.* 2006. Cenozoic thrust system and uplifting of the Tanggula Mountain, Northern Tibet [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80: 1118~1131 (in Chinese with English abstract).
- Li Zheng. 2008. The Ore Forming Genesis Research of Chaqupacha Lead-Zinc Deposits in Qinghai Province Tuotuohe Area (Dissertation for Master Degree) [D]. Beijing: Beijing University of Science and Technology, 1~77 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yanxue, Hou Zengqian, Wang Guanghui, *et al.* 2011a. Basin evolutions of the Tuotuohe River basin and sedimentary response to the uplift of the Qinghai-Tibet Plateau in the Palaeogene-Neogene [J]. *Earth Science Frontiers*, 18(4): 65~76 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yanxue, Wang Guanghui, Jiang Xiaojun, *et al.* 2011b. An analysis of Paleogene-Neogene sedimentary framework and basin evolution of Tuotuohe basin in the northern segment of the Sanjiang region [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 30(3): 381~390 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yingchao, Hou Zengqian, Yang Zhusen, *et al.* 2010. Fluid inclusions constraints on the origin of Dongmozhazhua Pb-Zn ore deposit,

致谢 青海省第五地质矿产勘查院领导对该研

- Yushu area, Qinghai province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(6): 1 805~1 819 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yingchao, Yang Zhusen, Hou Zengqian, et al. 2009. Geology and hydrogen, oxygen and carbon isotope geochemistry of Dongmohazhua Pb-Zn ore deposit, Yushu area, Qinghai province [J]. *Mineral Deposits*, 28(6): 770~784 (in Chinese with English abstract).
- Song Yucai, Hou Zengqian, Yang Tiannan, et al. 2011. Sediment-hosted Himalayan base metal deposits in Sanjiang region: characteristics and genetic types [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 30(3): 355~380 (in Chinese with English abstract).
- Tian Shihong, Yang Zhusen, Hou Zengqian, et al. 2009. Rb-Sr and Sm-Nd isochron ages of Dongmohazhua and Mohailaheng Pb-Zn ore deposits in Yushu area, southern Qinghai and their geological implications [J]. *Mineral Deposits*, 28(6): 747~758 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhaolin, Hou Zengqian, Yang Zhusen, et al. 2009. Structural characteristics of Cenozoic strata and relationship between two types of ore deposits in Zaiduo area, southern Qinghai [J]. *Mineral Deposits*, 28(2): 157~169 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhaolin, Yang Zhiming, Yang Zhusen, et al. 2008. Narigongma porphyry molybdenite copper deposit, northern extension of Yulong copper belt: evidence from the age of Re-Os isotope [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(3): 503~510 (in Chinese with English abstract).
- Yang Zhiming, Hou Zengqian, Yang Zhusen, et al. 2009. Genesis of porphyries and tectonic controls on the Narigongma porphyry (Cu-Cu) deposit, southern Qinghai [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(3): 489~502 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Hongrui, Hou Zengqian, Yang Tiannan, et al. 2010. Subduction-related quartz syenite porphyries in the eastern Qiangtang terrane, Qinghai-Xizang plateau: Constraints from geochemical analyses [J]. *Geological Review*, 56(3): 403~412 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Hongrui, Yang Tiannan, Hou Zengqian, et al. 2011. Structural control of lead-zinc mineralization in the Chaqupacha ore deposit, northern segment of the Sanjiang region [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 30(3): 463~474 (in Chinese with English abstract).
- 床地质特征与成矿模式 [J]. *现代地质*, 22(1): 9~17.
- 丛源, 陈建平, 董庆吉, 等. 2010. 青海东莫扎扎铅锌矿床硫化物特征及成因意义 [J]. *现代地质*, 24(1): 42~51.
- 郝金华, 陈建平, 田永革, 等. 2010. 青海纳日贡玛斑岩(铜)矿含斑岩矿物学特征及成岩成矿意义 [J]. *地质与勘探*, 46(3): 367~376.
- 侯增谦, 宋玉财, 李政, 等. 2008. 青藏高原碰撞造山带 Pb-Zn-Ag-Cu 矿床新类型: 成矿基本特征与构造控矿模型 [J]. *矿床地质*, 27(2): 123~144.
- 李亚林, 王成善, 伊海生, 等. 2006. 西藏北部新生代大型逆冲推覆构造与唐古拉山的隆起 [J]. *地质学报*, 80: 1 118~1 130.
- 李政. 2008. 青海省沱沱河地区茶曲帕查铅锌矿床的成因研究 [硕士学位论文] [D]. 北京: 北京科技大学, 1~77.
- 刘燕学, 侯增谦, 王光辉, 等. 2011a. 沱沱河盆地古近纪—新近纪盆地演化及青藏高原隆升的沉积响应 [J]. *地质前缘*, 18(4): 65~76.
- 刘燕学, 王光辉, 江小均, 等. 2011b. “三江”北段沱沱河盆地古近纪—新近纪沉积格架与盆地演化分析 [J]. *岩石矿物学杂志*, 30(3): 381~390.
- 刘英超, 侯增谦, 杨竹森, 等. 2010. 青海玉树东莫扎扎铅锌矿床流体包裹体研究 [J]. *岩石学报*, 26(6): 1 805~1 819.
- 刘英超, 杨竹森, 侯增谦, 等. 2009. 青海玉树东莫扎扎铅锌矿床地质特征及碳氢氧同位素地球化学研究 [J]. *矿床地质*, 28(6): 770~784.
- 宋玉财, 侯增谦, 杨天南, 等. 2011. “三江”喜山期沉积岩容矿贱金属矿床基本特征与成因类型 [J]. *岩石矿物学杂志*, 30(3): 355~380.
- 田世洪, 杨竹森, 侯增谦, 等. 2009. 玉树地区东莫扎扎和莫海拉亨铅锌矿床 Rb-Sr 和 Sm-Nd 等时线年龄及其地质意义 [J]. *矿床地质*, 28(6): 747~758.
- 王召林, 侯增谦, 杨竹森, 等. 2009. 青海杂多地区新生代构造特征与两种类型矿床的关系 [J]. *矿床地质*, 28(2): 157~169.
- 王召林, 杨志明, 杨竹森, 等. 2008. 纳日贡玛斑岩铜矿床: 玉龙铜矿带的北延——来自辉钼矿 Re-Os 同位素年龄的证据 [J]. *岩石学报*, 24(3): 503~510.
- 杨志明, 侯增谦, 杨竹森, 等. 2008. 青海纳日贡玛斑岩(铜)矿床: 岩石成因及构造控制 [J]. *岩石学报*, 24(3): 489~502.
- 张洪瑞, 侯增谦, 杨天南, 等. 2010. 青藏高原北羌塘南缘俯冲型石英正长斑岩的发现: 来自地球化学分析证据 [J]. *地质论评*, 56(3): 403~412.
- 张洪瑞, 杨天南, 侯增谦, 等. 2011. 三江北段茶曲帕查矿区构造变形与铅锌矿化 [J]. *岩石矿物学杂志*, 30(3): 463~474.

附中文参考文献

陈建平, 唐菊兴, 陈勇, 等. 2008. 西南三江北段纳日贡玛铜钼矿