

文章编号: 0258-7106 (2013) 01-0187-08

青海祁漫塔格地区有效找矿方法总结*

何书跃¹, 舒树兰², 刘永乐¹, 陈海福³, 刘智刚¹

(1 青海省第三地质矿产勘查院, 青海 西宁 810029; 2 青海省地质调查院, 青海 西宁 810012;

3 青海省地质矿产勘查开发局, 青海 西宁 810013)

摘 要 文章对祁漫塔格地区近年取得找矿突破的有效方法进行了归纳总结。在青海祁漫塔格地区的有效找矿方法主要有: ①地球化学找矿方法, 1:20 万化探扫面工作圈定的水系沉积物测量综合异常锁定了该区 60% 以上的已发现大中型矿床, 地电化学技术方法能准确定位分布在覆盖区和半覆盖区的多金属矿(化)体, 提高了找矿命中率; ②高精度磁法在找矿中发挥了举足轻重的作用, 1:1 万高精度磁法测量工作圈定了一系列具有一定规模(长大于 200 m)呈线型或面型正磁异常, 基本覆盖所有铁多金属矿区; ③剖面测量综合分析找矿方法, 通过 1:1 万地质测量、剖面测量工作为准确预测找矿有利部位和可视化信息提供可靠依据; ④成矿“缺位”预测的应用, 暗示祁漫塔格成矿带除砂卡岩型矿床以外, 其他类型找矿有望取得新突破。总之, 目前在祁漫塔格地区主要依靠地面高精度磁法、水系沉积物测量法、地电化学法、地质剖面法及遥感方法等综合方法的综合利用, 并与矿床成矿规律研究密切相结合, 有望实现找矿突破。

关键词 地质学 有效找矿方法 水系沉积物测量 高精度磁法测量 地电化学技术 地质剖面“缺位”预测 祁漫塔格

中图分类号: P618.31

文献标志码: A

Summary of effective prospecting methods in Qimantag area, Qinghai Province

HE ShuYue¹, SHU ShuLan², LIU YongLe¹, CHEN HaiFu³ and LIU ZhiGang¹

(1 Third Institute of Qinghai Geological Mineral Prospecting, Xining 810029, Qinghai, China; 2 Qinghai Institute of Geological Survey, Xining 810012, Qinghai, China; 3 Qinghai Bureau of Geology and Mineral Resources, Xining 810013, Qinghai, China)

Abstract

This paper has summarized the effective methods which resulted in prospecting breakthrough in Qimantag in recent years. There are four effective prospecting methods in Qimantag area. The first is the geochemical prospecting method: the stream sediment comprehensive anomalies delineated by 1:200 000 geochemical prospecting surface work have locked more than 60% of the large and medium-sized known deposits in the area, and the electrochemical method can accurately locate polymetallic ore bodies in the coverage and half-covered areas, increasing the prospecting hit rate. The second is the precision magnetic method, which has played a pivotal role in prospecting, the 1:10 000 high-precision magnetic survey delineated a series of linear or planar positive magnetic anomalies with certain sizes (more than 200 m in length), covering almost all of the iron polymetallic ore deposits. The third is the comprehensive analysis of prospecting methods by the cross-section measurement, which provides a reliable basis for accurate prediction of the favorable prospecting locations and visualized information through 1:10 000 geological survey and cross-section survey. The fourth is the application of

* 本文得到中国地质调查局地质调查项目(编号: 1212011140106)资助

第一作者简介 何书跃, 男, 1973 年生, 工程硕士, 矿产普查与勘查专业。Email: hsyss@126.com

收稿日期 2012-05-15; 改回日期 2012-12-20。张绮玲编辑。

mineralization “absence”, implying new prospecting breakthroughs for other types of deposits besides skarn-type in the Qimantag metallogenic belt. In a word, the prospecting mainly relies on the comprehensive utilization of ground precision magnetic method, stream sediment survey, geo-electrochemical method, geological section and remote sensing, in close association with metallogenic regularity, to achieve breakthrough in Qimantag region.

Key words: geology, effective prospecting methods, stream sediment survey, precision magnetic measurement, geo-electrochemical techniques, geological section, “absence” prospecting, Qimantag

青海祁漫塔格成矿带是中国新的十大资源接替基地之一,也是青海省重要的铁、铜多金属矿产基地之一。到目前为止,已发现大中型矿床 8 处,它们是尕斯库勒铁矿床、四角羊铅锌矿床、卡而却卡铜铅锌铁矿床、虎头崖铅锌矿床、野马泉铁多金属矿床、它温查汉铁多金属矿床、沙丘地区铁多金属矿床、肯得可克钴金铋矿床(图 1),并有多处小型矿床和矿点。该区的找矿工作取得了历史性突破,显示出巨大的找矿潜力。同时,该区还设有中国首批找矿突破战略行动整装勘查区,引起地学界的广泛关注和重视(丰成友等,2010)。

随着大量矿床的发现和祁漫塔格成矿带规模的扩大,引发了众多学者对祁漫塔格成矿带研究的新一轮高潮(丰成友等,2010;李世金等,2008;潘彤等,2003;李洪普等,2010;张爱奎等,2010;陈世顺等,2009;李光明等,2001)。已有研究表明(丰成友等,2010,2011;李世金等,2008;王松等,2009;余宏全等,2007),祁漫塔格地区目前所发现的一系列矿产主要与中-晚三叠世(210~239 Ma)大规模岩浆侵入活动密切相关,多金属成矿作用形成于后碰撞构造阶段,但是对在该区有效找矿方法和手段的评述几乎没有见到,很大程度上制约了该区取得新的重大找矿突破。因此,本文基于这些矿床的发现过程,运用多种技术方法,集成使用,总结出一些经验,以期进一步推动祁漫塔格的找矿工作。

1 区域地质背景及矿产分布特征

祁漫塔格地区位于青海祁漫塔格-都兰华力西期—印支期铁、钴、铜、铅、锌、锡、硅灰石(锑、铋)成矿带^①西段,构造上处在祁漫塔格-都兰新元古代—早古生代缝合带^②中。

区内出露地层有古元古界金水口岩群、中元古界狼牙山组、奥陶系—志留系(2)滩间山群、上泥盆统牦牛山组、石炭系大干沟组和四角羊组、上三叠统鄂拉山组等,其主要岩性为结晶灰岩、大理岩、泥灰岩、白云质灰岩、白云岩、变质粉砂岩、板岩、千枚岩和玄武—安山岩等,成为本区矽卡岩型矿床的良好围岩。

区内构造活动强烈,褶皱以轴向 NWW 向的复式背向斜构造为主。断裂构造十分发育,NWW 向、NW 向和近 EW 向断裂组成了主体构造骨架,不同级别和序次的断裂构造的交汇聚合部位,往往是成岩成矿的有利部位。岩体侵入接触面及外接触带围岩的岩性界面、破碎带为构造薄弱带,当岩体冷却时,常构成低压带,为矿液的运移、贯入、交代和沉淀提供了良好的场所。

区内岩浆活动较为强烈,包括加里东期、华力西期和印支期,以华力西期和印支期为主。已有资料表明,与铁、铜多金属成矿密切相关的侵入岩有花岗闪长岩、二长花岗岩、闪长岩和钾长花岗岩等(图 1),大多具斑状或似斑状结构,属于浅成的中酸性侵入岩类,而且大多为印支期产物。

区内矿产大致分为南带卡而却卡-乌兰拜兴铜铅铁成矿带,中带虎头崖-沙丘铁铅锌成矿带和北带小盆地-乌兰乌珠尔金铜锡成矿带。

矿床类型主要有矽卡岩型和热液型,其次为沉积变质型、风化淋滤型和 SEDEX 型。发现的矿种多样,以铁、铅、锌、铜为主,其次有钴、铋、钼、锡及金、银。

2 主要有效找矿方法

2.1 化探找矿方法

化探方法找矿是通过分析矿石、矿体围岩、土壤

① 李东生,詹发余,古凤宝,石天成. 2008. 青海省东昆仑成矿带斑岩及其成矿性探索研究. 青海省国土资源厅.

② 青海省国土资源厅. 2005. 青海省矿产资源第三轮成矿远景区划研究与找矿靶区预测.

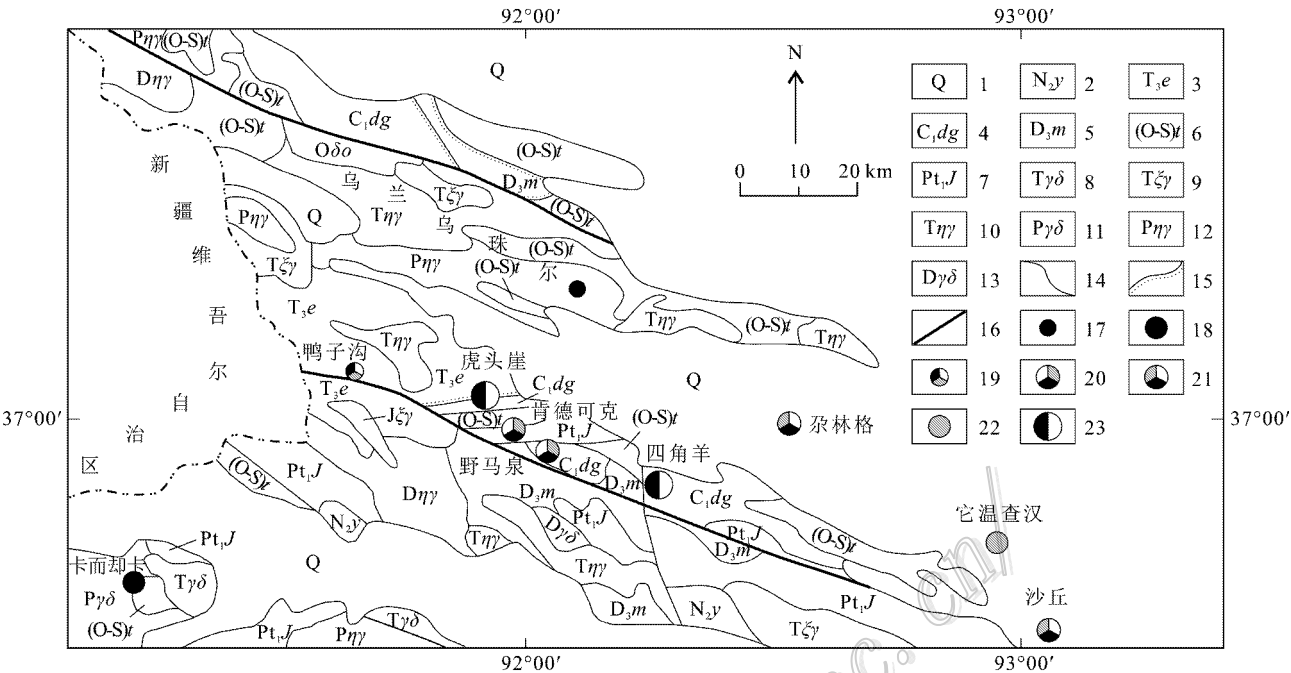


图 1 青海省祁漫塔格一带区域地质矿产图

1—第四系松散堆积物；2—新近系油砂山组碎屑岩、含油砂岩、泥灰岩；3—上三叠统鄂拉山组中基、中酸性火山岩夹砂岩；4—下石炭统大干沟组灰岩、砾岩、砂岩；5—上泥盆统耗牛山组中基、中酸性火山岩、碎屑岩；6—奥陶系—志留系滩间山群中基性火山岩、千枚岩、结晶灰岩；7—古元古界金水口岩群片麻岩、斜长角闪岩、大理岩、混合岩；8—三叠纪花岗闪长岩；9—三叠纪钾长花岗岩；10—三叠纪二长花岗岩；11—二叠纪花岗闪长岩；12—二叠纪二长花岗岩；13—泥盆纪花岗闪长岩；14—地质界线；15—不整合界线；16—断层；17—小型铜矿床；18—中型铜矿床；19—铜多金属矿点；20—中型铁多金属矿床；21—中型钴铋金矿床；22—中型铁矿床；23—大型铅锌矿床

Fig. 1 Geology and Mineral Resources of Qimantage area, Qinghai Province

1—Quaternary sedimentary ;2—Neogene Youshashan Formation clastic rock and sandstone ;3—Upper Triassic Elashan Formation intermediate-basic volcanic rocks ;4—Lower Carboniferous Dagangou Formation limestone, sandstone and conglomerate ;5—Upper Devonian Maoniushan Formation intermediate-basic to intermediate-acid volcanic rocks and clastic rocks ;6—Ordovician-Silurian Tanjianshan Group intermediate-basic volcanic rocks, phyllite and crystalline limestone ;7—Palaeoproterozoic Jinshuiou Group gneiss and amphibolite and marble and migmatite ;8—Triassic granodiorite ;9—Triassic moyite ;10—Triassic monzogranite ;11—Permian granodiorite ;12—Permian monzogranite ;13—Devonian granodiorite ;14—Geological boundary ;15—Unconformity ;16—Fault ;17—Small sized copper deposit ;18—Medium sized copper deposit ;19—Copper polymetallic ore spot ;20—Medium sized polymetallic iron deposit ;21—Medium sized Co-Bi-Au deposit ;22—Medium sized iron deposit ;23—Large sized lead-zinc ore deposit

及水系沉积物中成矿元素及伴生元素含量的微小变化来进行找矿的。目前在祁漫塔格地区较为有效的化探找矿方法主要有水系沉积物测量和地电化学方法。1:20 万化探扫面工作圈定的水系沉积物测量综合异常锁定了祁漫塔格地区 60% 以上的已知大中型矿床,地电化学技术方法能准确定位分布在覆盖区和半覆盖区的多金属矿(化)体,提高找矿命中率。

(1) 1:20 万水系沉积物异常

近年来在祁漫塔格地区,依靠 1:20 万水系沉积物测量综合异常发现了一大批矿床(点)。1997 年,青海省地球化学勘查技术研究院在柴西缘进行了 1:20 万地球化学扫面工作,圈定了一系列 1:20 万水系沉积物测量综合异常,异常是以 Cu、Pb、Zn、Sn、

Au、Sb、W 元素为主的多种元素组合的综合异常(图 2)。在空间分布上,大体可分北、中、南 3 个条带,北带(乌兰乌珠尔小盆地)以 Pb、Sn、Au、Cu 和 Co 元素异常为主,中带(冰沟-开木棋河)以 Pb、Zn、Sn、Bi、Cu、Sb、Co、Ti 和 V 元素异常为主,南带(喀雅克登)以 Bi、Sn、W、Pb、Zn 和 Cu 元素异常为主。元素异常分带和目前在祁漫塔格地区所发现的大中型矿床基本吻合(尕林格、它温查汉、它温查汉西矿床都位于柴达木盆地边缘,未进行 1:20 万水系沉积物测量)。目前,除在哈得儿甘南和乌兰乌珠尔地区已发现的矿点规模与异常不吻合外,其他所有异常中均发现了成型矿床(小型以上)。

通过对 1:20 万水系沉积物综合异常再进行 1:5 万

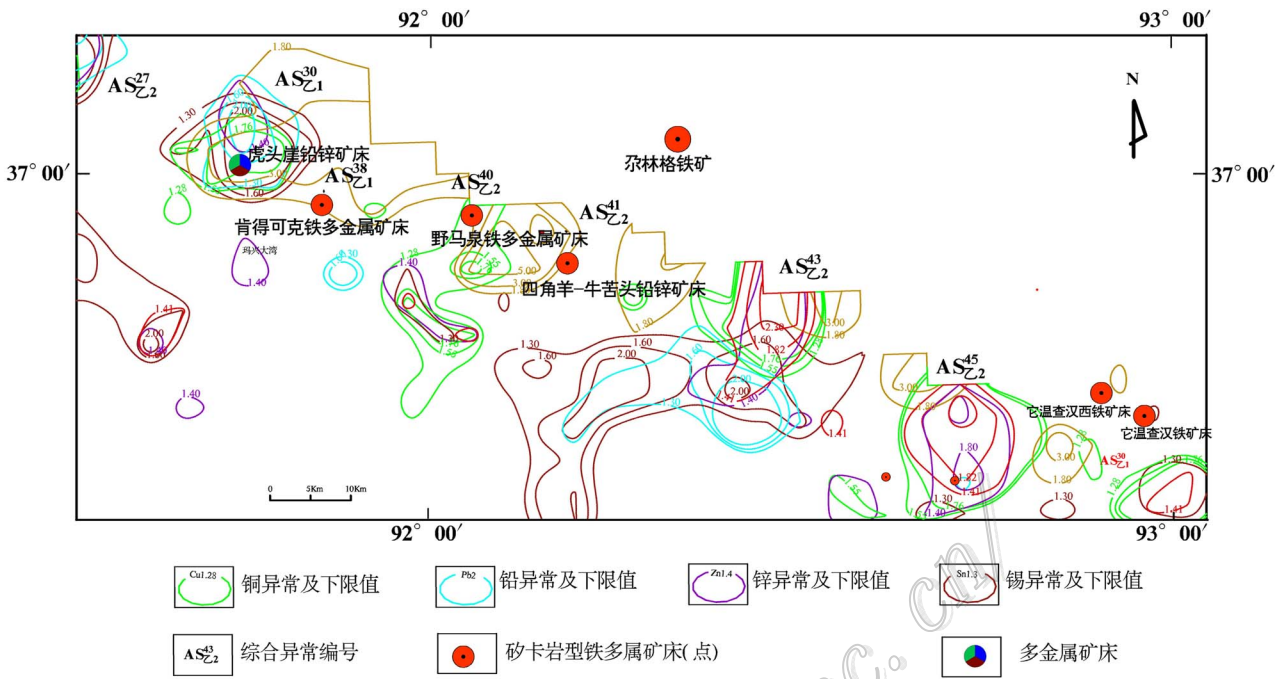


图 2 青海祁漫塔格地区 1:20 万水系沉积物测量综合异常图

Fig. 2 Integrated anomaly map of 1:200 000 stream sediment survey in Qinghai

水系沉积物测量分解后,对圈定的综合异常结合地物化综合剖面解剖,对重点靶区经过槽探揭露,新发现多处矿产。

(2) 地电化学

地电化学方法是借外加电场作用,将呈活动态的金属离子迁移到指定接收电极,收集并分析电极上吸附的电解物,可发现与矿有关的金属离子异常,从而达到找矿和评价目的的一种找矿方法(张向文等, 2009)。该方法是在前苏联的地电提取基础上发展起来的一种新的深穿透地球化学勘查方法,对于探测隐伏矿体有很大优势(谭克仁, 2000; 罗先熔等, 2007)。

利用地电化学集成技术在青海省干旱荒漠区及冻土覆盖区的找矿预测研究,创建出一套适用于青藏高原干旱荒漠区及冻土覆盖区寻找隐伏金属矿的地电化学集成技术组合及在青藏高原干旱荒漠区及冻土覆盖区寻找大型隐伏金属矿的地电化学集成技术勘查模型,供以后在青藏高原干旱荒漠区及冻土覆盖区找矿工作中应用。

2.2 物探找矿方法

地面高精度磁法在祁漫塔格地区寻找铁多金属矿中发挥了举足轻重的作用。1:5 万高精度磁法测量圈定了一系列具有一定规模(长大于 200 m)呈线型

或面型正磁异常,基本覆盖所有铁多金属矿区(图 3)。如杂林格、它温查汉、野马泉矿床基本位于区域上呈线型或面型正磁异常区。

1:10 万~1:1 万地面高精度磁法测量工作圈定的呈线型或面型分布的低缓磁异常为重要的多金属找矿依据。地面磁测工作充分利用了 ΔT 和 ΔZ 磁异常数据,采用离散小波多尺度分解和谱分析技术进行深部弱磁异常的提取,并进行了精细的二维和三维反演计算,获得了较好的地质找矿效果。

井中磁测充分发挥距离场源近的特点,通过井中磁测配合地面磁法通过二维或三维反演,在找矿中取得良好效果,在它温查汉和野马泉通过井中三分量磁法测量和磁化率测量成果发现多层厚大的隐伏铁多金属矿体,有效指导了钻探的施工。

2.3 地质方法

(1) 1:1 万地质草测

1:1 万(甚至更大比例尺)地质测量工作是一种基本方法。2009 年笔者在鸭子沟南部的冰沟南矿区所发现的致密块状铅锌矿点就位于鄂拉山组火山岩与狼牙山组片岩、大理岩接触部位,从外表看岩石经风化,颜色都为深灰色,细致观察及分析后发现了致密块状的铅锌矿石。

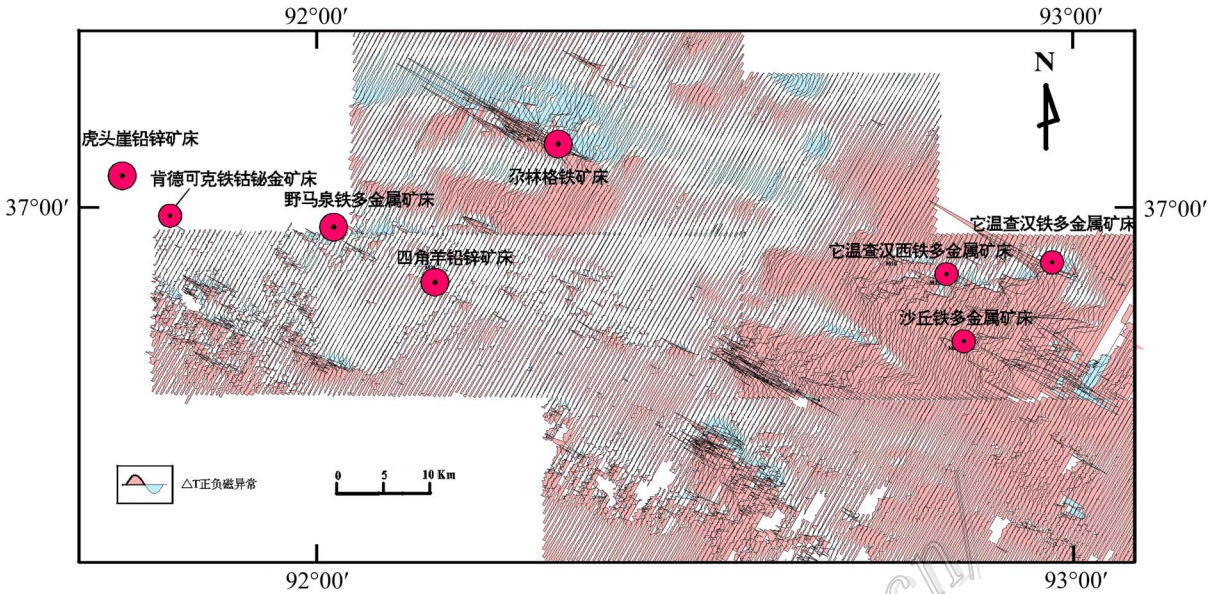


图 3 祁漫塔格地区 1:5 万高精度磁法测量 ΔT 异常剖面平面图

Fig. 3 ΔT abnormal profile plan of 1:50 000 high-precision magnetic survey in Qimantag

(2) 地质剖面法

地质剖面法是一种直观反映不同地层(矿体)沿剖面线展布情况,通过对典型地区典型剖面的解剖,可以清楚的展示矿带的分布和可能存在的部位,为最终钻探定位和提高命中率提供帮助。

2011 年在迎庆沟-景忍东矿区(虎头崖矿区)钻探揭露的一条剖面(图 4、5),从图上可以清楚地看出已控制的矿体和岩体以及揭露的成矿有利部位(在图 5 验证钻孔穿越过的虚线推测矿体位置),2011 年笔者通过在剖面北部施工的验证钻孔成功的发现两层隐伏矿体,与推断解释一致,但在中部,推断矿体位置由于深度太大,目前仍未验证。

(3) 构造

祁漫塔格地区内大小断裂构造系统为成矿作用提供了良好的导矿、储矿构造空间系统。主干断裂是区内的主要控矿构造,其附近的次级断裂则是明显的储矿和导矿构造。区内已知的铜多金属矿产、化探异常、矿化蚀变带等主要分布于断裂带中的次级小断裂附近。矿体一般赋存于构造的复合部位,产出位置多位于附近的向斜轴部及翼部断裂、层间断裂,背斜的两翼,弧型断裂的转弯处、断裂构造的转折、弯曲部位以及复合带位置等。

根据景忍地区上石炭统苏组中发育的次级断裂带地化剖面,次级断裂和矿化有着紧密的联系,破碎蚀变带内(断层角砾岩及破碎带)样品各金属元

素含量明显高于其他地段,成矿元素含量都有明显升高的趋势。次级断裂处岩石明显高于断裂两侧岩石中的元素含量,有利于成矿,为成矿提供了有利的条件,为成矿提供了较为直接的容矿构造,断裂构造也是热液活动和成矿物质运移的通道。

(4) 探矿工程

祁漫塔格地区由于位于柴达木盆地南缘,第四系覆盖广泛,砂土覆盖和残坡积层 1~3 m,局部厚度大于 6 m,且覆盖层中矿化岩石少,以往由于技术和设备相对落后,在祁漫塔格地区槽探施工主要利用简单工具如铁锹、洋镐,一般仅能揭露到氧化带,揭露深度不超过 3 m;近年来,依靠机械,加大施工深度,槽探揭露深度最深可达 10 m(一般超过 5 m),结果在许多矿区新发现多条厚大品位高的矿体,找矿效果非常好,加快了矿区地表找矿过程。

以往钻探最多只能施工到地下 500 m 以上。现在钻探深度已经超过 1000 m。2009~2011 年在野马泉、尕斯库勒、它温查汉矿区 500~950 m 的深度中,又发现了多层较厚大(20~50 m)的磁铁矿矿体和多金属矿体,为第二成矿空间找矿和重新评价已有砂卡岩矿床深部找矿前景提供了良好依据。

2.4 遥感(线环构造)

遥感图像资料是地表景观的缩影,它把地表地形、水系、植被、岩性、构造的差异性以不同的色调和图像影纹结构反映出来,可以获得丰富的地质信息。

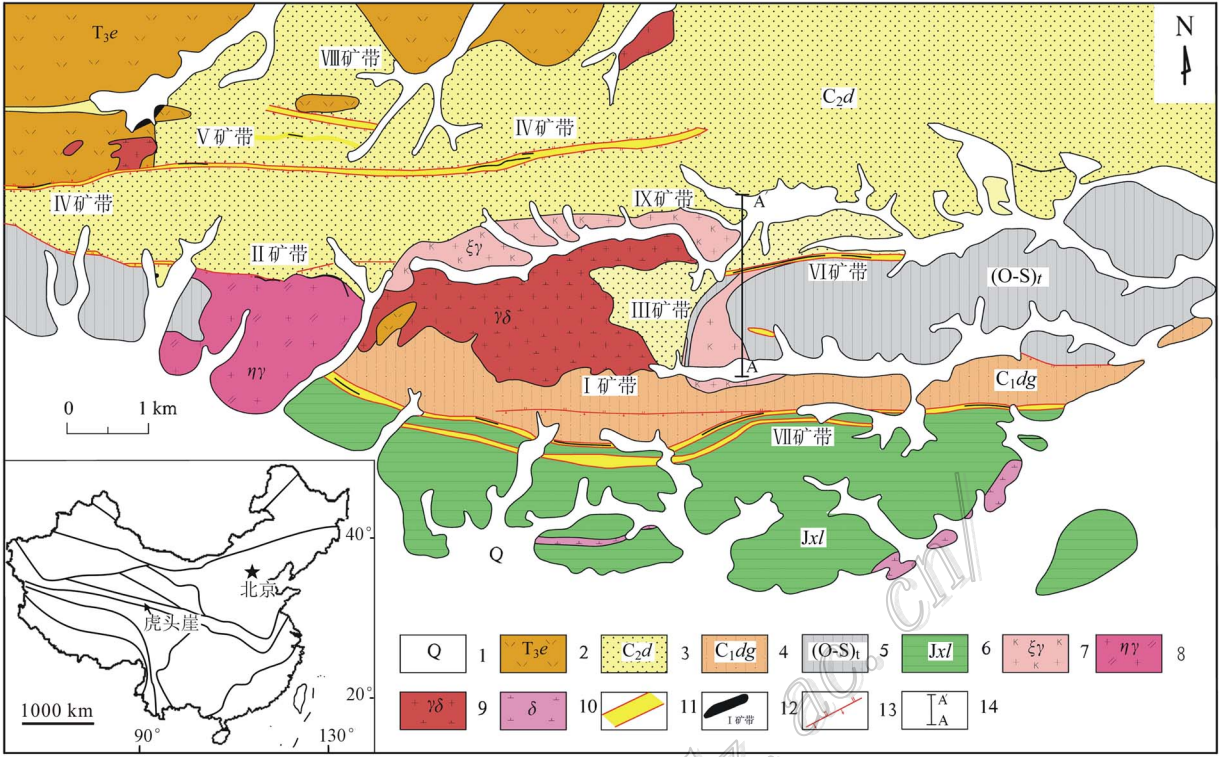


图 4 青海省祁漫塔格地区虎头崖铅锌多金属矿区地质略图(据丰成友等修编, 2010)

1—第四系; 2—上三叠统鄂拉山组; 3—上石炭统统放苏组; 4—下石炭统大干沟组; 5—奥陶系—志留系滩间山群; 6—蓟县系狼牙山组; 7—钾长花岗岩; 8—二长花岗岩; 9—花岗闪长岩; 10—闪长岩; 11—矽卡岩化带; 12—矿带及编号; 13—断裂; 14—剖面位置及编号

Fig. 4 Geological sketch map of the Hutouya Pb-Zn deposit in Qimantag area, Qinghai

1—Quaternary; 2—Upper Triassic Elashan Formation; 3—Upper Carboniferous Diaosu Formation; 4—Lower Carboniferous Dagangou Formation; 5—Ordovician—Silurian Tanjianshan Group; 6—Langyashan Formation of Jixian System; 7—Moyite; 8—Monzogranite; 9—Granodiorite; 10—Diorite; 11—Skarnization zone; 12—Ore body and its serial number; 13—Fault; 14—Profile line and its serial number

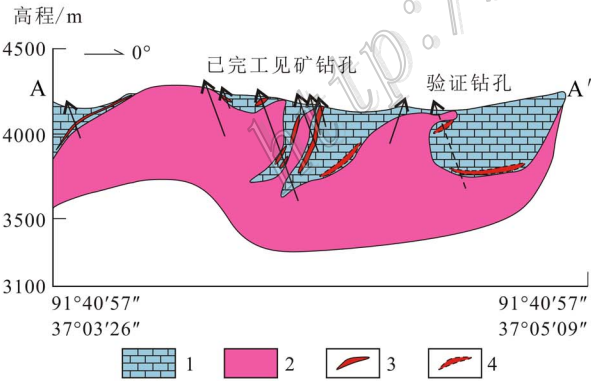


图 5 虎头崖矿区 A-A' 剖面示意图

1—大理岩; 2—二长花岗岩; 3—铜铅锌矿体; 4—推测矿体

Fig. 5 A-A' section diagram of the Hutouya deposit

1—Marble; 2—Monzogranite; 3—Copper-lead-zinc ore body; 4—Inferred ore body

祁漫塔格地区以与成矿有关的地质体为目标, 按照遥感异常的强度、密集度、叠合好坏为基准, 将遥感解译的线性构造、环形构造、含矿建造筛选后的遥感异常与已知的矿产信息相配合, 目前所发现的矿产主要位于缝合带两侧, 并受线环构造控制。通过对与成矿密切相关的线环构造认真分析, 并与地、物、化的各种成矿信息相互联系, 最终提取出与成矿紧密相关的遥感信息, 发现矿产分布与线环构造、破火山机构关系密切(图 6)。

2.5 成矿系统分析, “缺位”预测

一个成矿系统的发育完整需要多种有利因素的耦合。例如一个热液成矿系统需要发育完整并形成大型矿床, 前提是需要有超常规的热能和流体。因此, 多次反复侵入的复式岩体因能提供足够的热能以维持对流的热液系统, 成为成矿的关键要素和标志。不同的成矿系统形成于不同的构造环境和不同深度(赵建光等, 2009)。既要通过类比从已知到未

通过与路线调查紧密结合的实地解译, 并和地、物、化的各种成矿信息相互联系, 全面、正确地提取有用信息, 剔除无关的“干扰”。

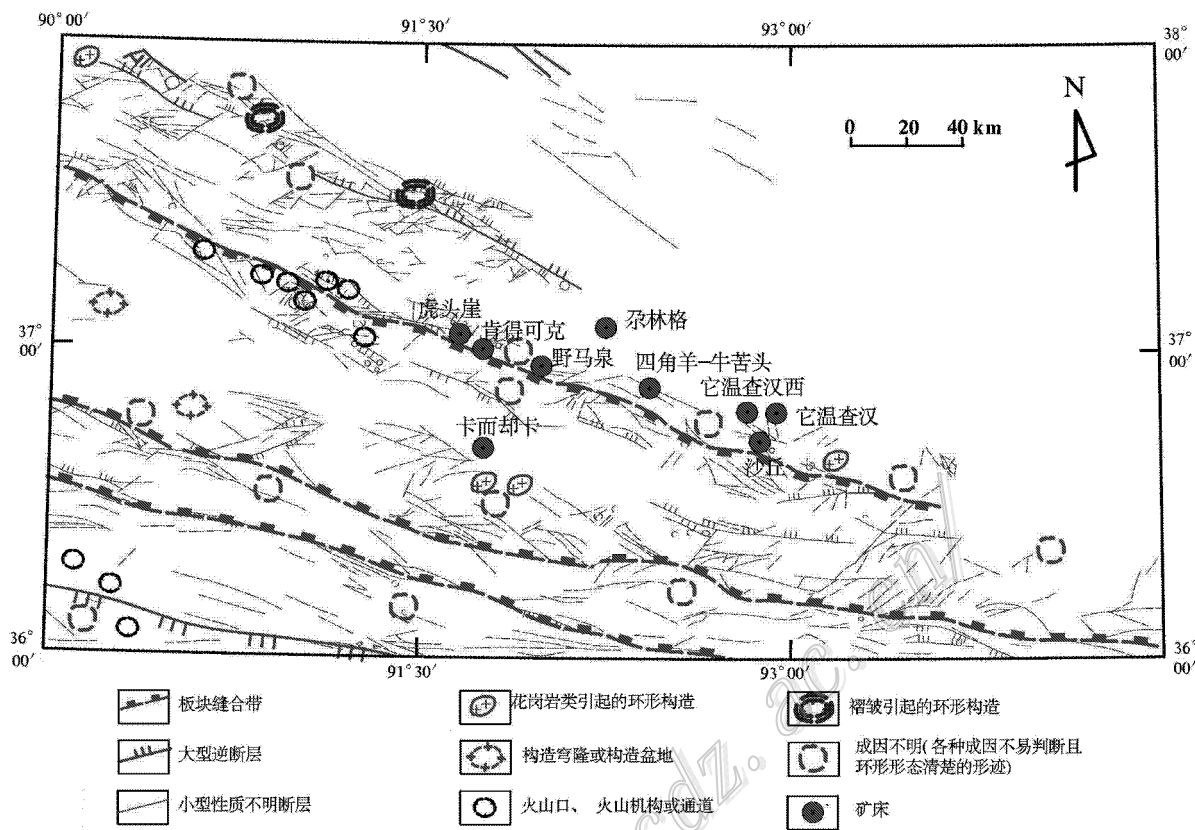


图 6 青海省祁漫塔格地区遥感矿产地质特征图

Fig. 6 Remote sensing image of geological features and mineral resources in Qimantag area, Qinghai

知,寻找与已知矿床类型类似和同类的矿床,又要善于求异创新,注意那些与已知矿床类型不同的新矿床类型和新矿种,以及相应的新的成矿环境(翟裕生,2004)。

目前在祁漫塔格地区发现的矿床主要为砂卡岩型,通过成矿系列分析,结合“缺位”预测,除砂卡岩型矿产外,有可能发现与岩浆作用有关的斑岩型、热液型矿床。在火山岩分布区有可能发现与火山作用。有关类型矿床,在滩间山群、狼牙山组地层有可能发现喷流沉积成因矿产。通过成矿系统分析,结合“缺位”预测,为在祁漫塔格地区展开新一轮找矿提供有利支撑,最终实现祁漫塔格找矿新突破。

3 结 论

通过全面掌握了解该区成矿规律和控矿因素,在祁漫塔格地区荒漠化或半荒漠化地区(覆盖或半覆盖的地区)的有效找矿方法主要为高精度磁法测量和地质测量工作,其次为化探方法和遥感技术。

当然,只有将地质、物探、化探及遥感等方法和技术进行高度综合研究、综合利用才能取得良好的找矿效果。

(1) 通过对 1:20 万或更大比例尺的化探扫面工作圈定的综合异常,利用地质剖面、槽探揭露、钻探追索控制就能有效寻找矿(化)体。在半覆盖或覆盖区利用地电化学技术,为钻探准确定位矿(化)体,是目前有效的找矿方法。

(2) 物探通过 1:1 万或更大比例尺的高精度磁法扫面工作,圈定的呈线型分布或面型分布的具有一定规模高精度磁法测量异常,依据异常所处地质背景,通过二维或三维反演配合井中磁测,对反演后的磁性体准确推断后进行钻探验证,是目前在祁漫塔格地区有效的物探找矿方法之一。

(3) 筛选异常从注重“高、大、全”异常(强度高、范围大、元素组合多)到对弱小异常的高度关注上来。

(4) 祁漫塔格地区目前所发现的一系列矿产主要与中-晚三叠世花岗闪长岩、斑状二长花岗岩、钾

长花岗岩、闪长岩等关系密切,常产于中酸性岩体与含碳酸盐岩地层的内、外接触带的矽卡岩带中,而且不同矽卡岩类型(钙矽卡岩、锰质矽卡岩和镁矽卡岩)对不同金属矿化具有一定指示作用(丰成友等,2010)。通过 1:1 万(或更大比例尺)的地质测量工作,重点在中-晚三叠世中酸性岩体与含碳酸盐岩地层的内、外接触带寻找发现很多矿化线索。

(5) 对于半覆盖地区,通过槽探和钻探施工深度的不断增加,找矿、勘探和开发空间加大。

(6) 找出能够直接或间接指示矿体存在及其产状特征的组合信息,是开展找矿预测的重点。这些组合信息其实质就是将地质、物探、化探及遥感等信息进行高度综合。

以上都是笔者结合近年来祁漫塔格地区找矿中比较实用和常用的一些方法,希望能对祁漫塔格地区找矿工作取得更大成果添砖加瓦。但由于祁漫塔格地区点多面广,实用找矿方法和手段丰富,文章限于篇幅和时间,所举例证和总结的方法有限。

志 谢 感谢审稿人对本文提出的宝贵意见和建议,感谢丰成友博士在本文成文过程中给予的大力帮助和支持,感谢赵一鸣研究员在研究中给予的指导和整体性建议,在此作者向他们表示衷心的感谢。

参考文献/References

陈世顺,付永侠,保广英,李 华,王凤林,文雪峰. 2009. 青海省东昆仑西段尕斯库勒铁多金属矿床特征及成因[J]. 矿产与地质,23(6):542-546.

丰成友,李东生,屈文俊,杜安道,王 松,苏生顺,江军华. 2009. 青海祁漫塔格索拉吉岩型铜钼矿床辉钼矿-钼同位素定年及其地质意义[J]. 岩矿测试,28(3):223-227.

丰成友,李东生,吴正寿,李军红,张占玉,张爱奎,舒晓峰,苏生顺. 2010. 东昆仑祁漫塔格成矿带矿床类型、时空分布及多金属成矿作用[J]. 西北地质,43(4):10-17.

丰成友,王雪萍,舒晓峰,张爱奎,肖 晔,刘建楠,马圣钊,李国臣,李大新. 2011. 青海祁漫塔格虎头崖铅锌多金属矿区年代学研究及地质意义[J]. 吉林大学学报,41(6):1806-1817.

丰成友,赵一鸣,李大新,刘建楠,肖 晔,李国臣,马圣钊. 2011. 青

海西部祁漫塔格地区矽卡岩型铁铜多金属矿床的矽卡岩类型和矿物学特征[J]. 地质学报,85(7):1108-1115.

李东生,张占玉,苏生顺,郭世珍,张海兰,奎明娟. 2010. 青海卡儿却卡铜钼矿床地质特征及成因探讨[J]. 西北地质,43(4):239-244.

李光明,沈远超,刘铁兵. 2001. 东昆仑祁漫塔格地区华力西期花岗岩地质地球化学特征[J]. 地质与勘探,37(1):73-78.

李洪普,宋忠宝,田向东,卢文全. 2010. 东昆仑四角羊铅锌多金属矿床成矿地质特征及找矿意义[J]. 西北地质,43(4):179-187.

李世金,孙丰月,丰成友,刘振宏,赵俊伟,李玉春,王 松. 2008. 青海东昆仑鸭子沟多金属矿的成矿年代学研究[J]. 地质学报,82(7):949-955.

刘云华,莫宣学,喻学惠,张雪亭,许国武. 2006. 东昆仑野马泉地区景忍花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. 岩石学报,22(10):2457-2463.

罗先熔,康 明,欧阳菲,文美兰,侯宝宏. 2007. 地电化学成矿机制、方法技术及找矿研究[M]. 北京:地质出版社.

潘 彤,孙丰月. 2003. 青海东昆仑肯德可克钴金矿床成矿特征及找矿方向[J]. 地质与勘探,39(1):18-22.

潘 彤. 2008. 青海东昆仑肯德可克钴金矿床硅质岩特征及成因[J]. 地质与勘探,39(1):18-22.

邱 炜,罗先熔,何书跃,任二峰. 2011. 地电化学法与其他地球化学勘查方法的对比研究[J]. 黄金科学技术,19(6):7-11.

余宏全,张德全,景向阳,关 军,朱华平,丰成友,李大新. 2007. 青海省乌兰乌珠岩斑岩铜矿床地质特征与成因[J]. 中国地质,34(2):306-314.

谭克仁. 2000. 金矿地电化学勘查新技术、新方法研究进展[J]. 黄金科学技术,8(1):23-31.

王 硕,严长华,彭明生. 2011. 干旱-半干旱草原覆盖区地球化学找矿方法研究[J]. 地质与资源,20(2):128-132.

王 松,丰成友,李世金,江军华,李东生,苏生顺. 2009. 青海祁漫塔格卡儿却卡铜多金属矿区花岗岩闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地质意义[J]. 中国地质,36(1):74-84.

翟裕生,姚书振,崔 彬. 1996. 成矿系列研究[M]. 武汉:中国地质大学出版社. 1-9.

翟裕生,邓 军,王建平,彭润民,刘家军,杨立强. 2004. 深部找矿研究问题[J]. 矿床地质,23(2):142-149.

张爱奎,莫宣学,李云平,吕 军,曹永亮,舒晓峰,李 华. 2010a. 青海西部祁漫塔格成矿带找矿新进展及其意义[J]. 地质通报,29(7):1062-1074.

张爱奎,莫宣学,刘光莲,尚小刚,王 维. 2010b. 野马泉矿床特征及找矿潜力分析[J]. 矿产与地质,24(2):97-106.

赵建光,陈强春,李 剑,谢文安. 2009. 第二深度空间的找矿、勘探和开发利用-深部找矿浅议[J]. 地质找矿论丛,24(1):11-14.