

# 内蒙古镶黄旗道郎和都格矿区钨多金属 成矿地质背景与综合定位预测方法

张宝林<sup>1</sup>, 吴燕冈<sup>2</sup>, 苏捷<sup>3</sup>, 祁民<sup>4</sup>, 武广<sup>5</sup>,  
徐永生<sup>1</sup>, 崔敏利<sup>1</sup>, 沈晓丽<sup>1,6</sup>, 郭志华<sup>1,6</sup>, 黄雪飞<sup>1,6</sup>

1. 中国科学院地质与地球物理研究所矿产资源研究重点实验室, 北京 100029
2. 吉林大学地球探测科学与技术学院, 长春 130026
3. 云南省红河哈尼族彝族自治州国土资源局, 云南 蒙自 661100
4. 中国冶金地质总局矿产资源研究院, 北京 100025
5. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640
6. 中国科学院研究生院, 北京 100049

**摘要:**道郎和都格矿区地表沙土和草原覆盖严重,直接寻找钨多金属矿的信息较少。地质地球化学研究结果表明,与钨多金属矿关系密切的是早白垩世钾长花岗岩,赋矿围岩主要是二叠纪辉石闪长岩。根据围岩与矿体之间的物性差异,完成了矿区1:1万地质填图、磁法和重力测量,对数据进行重磁联合反演,识别出3条走向北东、长度800~3 000 m、宽度50~100 m的重要的构造蚀变带(分别对应于负磁异常带),均分布在矿区西北侧的辉石闪长岩中,且平行于辉石闪长岩和钾长花岗岩的接触带。预测了6个综合物探异常区,也位于矿区西北侧的辉石闪长岩分布区,单个异常面积为500 800 m<sup>2</sup>,异常深度不超过1 000 m。经钻探工程验证,在3个异常部位发现了隐伏的构造破碎带型钨多金属找矿靶区,钨多金属矿体埋藏深度为150~650 m,单个矿体厚度为2~4 m。表明成矿地质条件分析与重磁联合反演相结合的定位预测方法,在覆盖区寻找钨矿效果明显,值得进一步推广。

**关键词:**覆盖区;钨多金属矿;磁法;重力;综合定位预测

**中图分类号:**P618.67 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5888(2011)06-1959-09

## Metallogenic Geological Background and Integrated Positioning Forecasting Method of Daolangheduge Tungsten-Polymetallic Deposit in Xianghuangqi, Inner Mongolia, China

ZHANG Bao-lin<sup>1</sup>, WU Yan-gang<sup>2</sup>, SU Jie<sup>3</sup>, QI Min<sup>4</sup>, WU Guang<sup>5</sup>,

XU Yong-sheng<sup>1</sup>, CUI Min-li<sup>1</sup>, SHEN Xiao-li<sup>1,6</sup>, GUO Zhi-hua<sup>1,6</sup>, HUANG Xue-fei<sup>1,6</sup>

1. Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China
2. College of GeoExploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China
3. Bureau of Land and Resources, Honghe Hani and Yi National Minority Autonomous Prefecture of Yunnan Province, Mengzi 661100, Yunnan, China
4. Academy of Mineral Resources, General Bureau of MMI, Beijing 100025, China
5. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China
6. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

收稿日期:2011-06-08

基金项目:“十一·五”科技支撑计划重大项目(2006BAB01A02)

作者简介:张宝林(1963—),男,吉林省吉林市人,研究员,主要从事隐伏矿床定位预测理论和技术研究工作,E-mail: blzhang@mail.iggcas.ac.cn

通信作者:吴燕冈(1954—),女,北京市人,教授,长期从事重磁场分析与应用研究工作,E-mail: yangang\_wu341@yahoo.com.cn.

**Abstract:** Due to much covering by sand and grass, there is less mineralization information on the ground in Daolangheduge tungsten-polymetallic mine. Geological and geochemical studies show that the Early Cretaceous K-feldspar granite closely correlates to tungsten mineralization, while the ore-hosting rock is chiefly the Permian augite diorite. According to the difference of physical property between host rock and ore body, the geological mapping, magnetic and gravity survey at scale of 1 : 10 000 have been completed in the deposit. By integrated gravity-magnetic inversions of data, three NE-trending important structural alteration zones are identified in augite diorite occurring in the northwestern part of the deposit, which correspond to negative magnetic anomalies, respectively. Parallel to the boundary between augite diorite and K-feldspar granite, the three zones have the length of 800—3 000 m and the width of 50—100 m. As a result, six integrated geophysical anomalies are predicted in augite diorite. The depth of anomalies does not exceed 1 000 m and the area of a single anomaly is usually 500 800 m<sup>2</sup>. Through drilling, three blinded fractured-zone type tungsten-polymetallic exploration targets are discovered. Tungsten-polymetallic ore bodies are sited in the depth of 150—650 m. The thickness of the ore body is 2—4 m. The combination method of regional metallogenic condition analysis and integrated gravity-magnetic inversions is confirmed to be effective for forecasting tungsten deposit in covered area and worth to being applied in other region.

**Key words:** covered area; tungsten-polymetallic deposit; magnetism; gravitation; integrated positioning forecasting

## 0 引言

覆盖区找矿是国际矿产勘查领域面临的难题,相应的理论和技术方法都处于探索之中。兴蒙造山带是一条重要的多金属成矿带。中蒙边境中段地区已发现了多个大中型矿床,涉及的矿种包括金、银、铅、锌、铜、钼、钨、锡、铬、铁等<sup>[1-3]</sup>。粗略统计一下,这些矿床几乎都是靠基岩露头或化探技术发现的。而在大片的覆盖区如何取得找矿突破,仍然是一个很大的难题。

研究区位于兴蒙造山带西南部,地表多被风沙和低草覆盖,在 1 : 20 万区调报告中,该区曾被划为 W—Ta—Nb 稀有金属找矿远景区。矿区内出露的岩性主要是花岗岩和闪长岩,矿化蚀变现象极少,仅在矿区西侧发现一些断续延伸的石英—电气石脉。该区是否存在钨—稀有金属矿?如果有,应该采用何种方法勘查?这是笔者探讨的主要问题。

## 1 成矿地质条件

我国已发现的钨矿主要分布在南岭地区,其发现历史可追溯到唐代<sup>[4-5]</sup>。南岭地区钨矿的成矿规律研究程度高,在已知矿区深部和外围开展的“就矿找矿”工作主要依据“五层楼”+“地下室”地质模型

分析<sup>[6-8]</sup>,找矿效果比较显著。

相比之下,北方地区发现的钨矿较少,最为著名的是产于花岗岩内的东乌旗沙麦钨矿,属石英大脉型,规模中等。据胡朋<sup>[9]</sup>的资料,沙麦花岗岩 Sr 质量分数低于  $100 \times 10^{-6}$  ( $(5.3 \sim 69.2) \times 10^{-6}$ )、Yb 质量分数大于  $2 \times 10^{-6}$  ( $(2.29 \sim 26.1) \times 10^{-6}$ ),可归入南岭型花岗岩系列,为伸展构造环境下的产物。岩体形成时代为 115 Ma (K—Ar 法),属于晚侏罗世—早白垩世。Nd 模式年龄  $T_{DM2}$  反映了两阶段演化模式 (275.8~1 088.26 Ma)<sup>[10]</sup>。聂凤军等<sup>[11]</sup>研究了中蒙边境中段蒙古国境内的玉古兹尔钨(钼)多金属矿,获得含矿花岗岩体锆石 SHRIMP 铀—铅同位素年龄为  $(225.9 \pm 2.1)$  Ma,钨(钼)矿石中辉钨矿的铪—钨同位素年龄为  $(224 \pm 6.2)$  Ma,二者具有明显的成因联系;进而认为沙麦—玉古兹尔地区钨和钨(钼)矿床成矿作用与印支期构造—岩浆活动有关,属与深成侵入岩有关的中—高温热液脉型金属矿床。

近些年来,以化探为主要手段,在兴蒙造山带(吉林、内蒙古等地)陆续发现了一些钨多金属矿(矿床、矿点、露头或异常区)<sup>[12-13]</sup>,主要为石英大脉型黑钨矿和矽卡岩型白钨矿,且都是在发现露头的基础上进一步工作取得的找矿成果。

研究区东南 3 km 处有一个石英脉型黑钨矿点,产在花岗岩中,发育多条硅化带,地表可见孔雀石化、褐铁矿化和黑钨矿,露头处矿体已开采殆尽。相比之下,本区地表虽然没有直接的成矿信息,是否也有可能在地下发现高温热液型黑钨矿?是否也存在石英大脉?地表未发现重砂异常,是否矿体剥蚀程度较低?是否还存在其它多金属矿?带着以上问题,笔者首先研究了矿区的地质特征及其成矿地质条件。

### 1.1 矿区地质特征

根据大比例尺地质调查结果(图 1),矿区地表出露的岩性主要为海西晚期—燕山期侵入岩,第四系砂砾、粉砂、风成砂和黄土分布在工作区四周,第三系宝格达乌拉组零星分布于异常区西北角,岩性为泥岩、粉砂岩,局部为气孔状玄武岩。海西晚期—燕山期侵入岩可进一步划分为海西晚期中细粒角闪辉长岩、闪长岩、英云闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩,燕山期中粗粒 A 型花岗岩和花岗细晶岩。区内广泛发育石英—电气石脉,其产状主要有 3 组:北东东向,北东向,北北东向—近南北向。在石英—电气石脉中可见绿帘石化,辉石闪长岩中局部可见绿帘石化、电气石化。

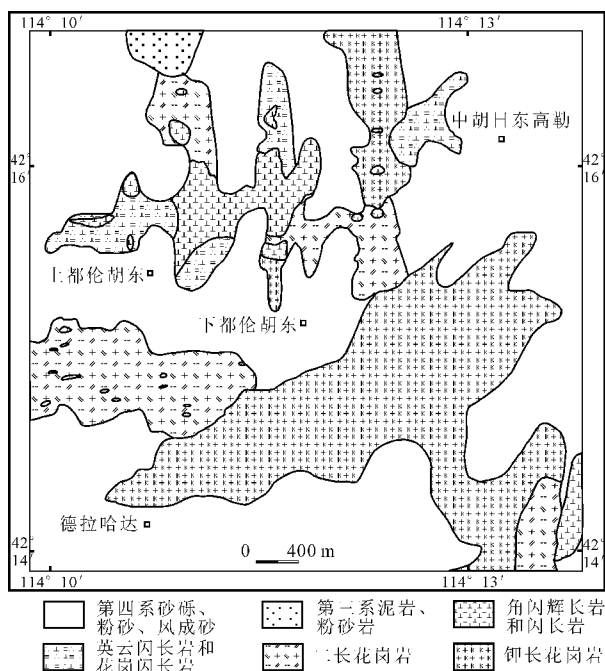


图 1 矿区地质图

Fig. 1 Geological map of the study area

### 1.2 成矿地质背景

矿区北部毫义哈达岩体由辉石闪长岩类(图 1 中的角闪辉长岩)构成,对其中 2 个样品中的锆石进行 LA-ICP-MS 法 U-Pb 定年,结果(加权平均年龄)均为 $(266 \pm 2)$  Ma,表明岩体的形成时代为晚二叠世。对 14 个样品进行主量元素和微量元素分析,结果表明:岩体属钙—碱性系列;Eu 有一定程度的负异常,富集大离子亲石元素 Rb、Sr 及轻稀土,亏损高场强元素 Nb、Ta,富 Cu、Cr 等过渡元素。岩体在地球化学上还具有岛弧火山岩的特征,推测其岩浆源区曾遭受过古亚洲洋板片流体交代。依据区域构造演化,推测毫义哈达岩体侵位于造山后伸展环境,成岩物质来源于上地幔并且发生了结晶分离作用<sup>[14]</sup>。

矿区东南部的钾长花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 定年获得 $(139.6 \pm 1.7)$  Ma 的年龄,表明该岩体形成于早白垩世。岩体富硅( $w(\text{SiO}_2) = 75.79\% \sim 78.07\%$ )、富碱( $w(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) = 7.39\% \sim 8.29\%$ )、贫钙( $w(\text{CaO}) = 0.22\% \sim 0.59\%$ );稀土配分曲线呈现“海鸥式”分布特征,显示强烈的 Eu 负异常( $\text{Eu} = 0.03 \sim 0.12$ );微量元素特征显示具有较高的 Ga( $(21.2 \sim 26.6) \times 10^{-6}$ )、Zr( $(173 \sim 417) \times 10^{-6}$ )、Nb( $(32.3 \sim 42.4) \times 10^{-6}$ )和 Y( $(24.6 \sim 53.9) \times 10^{-6}$ )质量分数,较低的 Sr( $(14 \sim 44) \times 10^{-6}$ )、Ba( $(18 \sim 211) \times 10^{-6}$ )质量分数,在微量元素蛛网图上显示明显的 Ba、Sr、P、Eu 和 Ti 负异常。这些特征与 A 型花岗岩一致,属于 A1 型花岗岩,指示其形成可能与板内伸展作用有关。地球化学特征表明,岩体主要源于成熟地壳的部分熔融及其后长石、楣石等的分离结晶作用。在晚中生代,华北板块北缘的构造体制经历了重要的转变,由挤压体制转变为岩石圈减薄和地壳伸展。在伸展体制下,软流圈地幔上涌,加热中下地壳,导致中下地壳的部分熔融,形成该区钾长花岗岩。该岩体与南岭钨锡成矿带内的 A 型花岗岩具有相似的地球化学特征,是该区钨锡矿床的成矿母岩。

据前人研究<sup>[11,15]</sup>,兴蒙造山带内既存在着印支期的钨、铜矿床,也存在着燕山期的钨矿床,本区辉石闪长岩和钾长花岗岩的形成时期分别与这两期成矿事件相对应;表明存在着形成钨多金属矿床的地质条件,找矿前景良好。如何将理论预测成果转化为实际的找矿成果?怎么找?矿化异常区在哪里?是否存在两期成矿?基于区域成矿规律和岩矿物

性差异,采用新的找矿思路和物探技术组合,快速发现了一个大型钨多金属矿勘查基地<sup>[16]</sup>。

## 2 覆盖区钨多金属矿勘查技术难题与物探工作前提条件

### 2.1 覆盖区找矿难题

覆盖区地表矿化信息少,很多情况下只见岩体、石英脉,不见矿化和铁帽。人们习惯于找已知的矿产,如铜、铅、锌、金、铁等,习惯于找硫化物,而对于肉眼不易识别的稀有金属矿,则缺少有效的方法。过去的露头矿和露头对比研究方法,一定程度上限制了人们的思路。因此,需要地质、地球物理、地球化学、遥感等手段相结合。

众所周知,钨矿一般的找矿方法是群众报矿、地表露头观察、重砂异常解剖等,物探技术应用较少。近些年来,在危机矿山深部找矿工作中,开始尝试使用物探技术,如遥感、磁法、电法等,取得了一些成效。在钨矿勘查的物探技术方面,可参考的实例较少,且主要应用在已知矿区的深部或外围<sup>[17-19]</sup>,在西藏、甘肃等地也做了一些尝试<sup>[20-22]</sup>。对于各类覆盖区,特别是针对钨多金属矿,尚无成熟的物探技术。

### 2.2 矿区物探工作前提条件

研究区内盖层厚,矿化异常不明显,露头少,地质填图精度差,分辨率低,依靠常规地质地球物理方法难以确定找矿目标和验证工程部位,首要的难题是如何在花岗岩体内确定矿化蚀变带。

覆盖区的特点是看不到原生的硫化物,铁帽也少见,难以确定主要矿种以及相伴的元素。钨多金属矿属于花岗岩浆期后高温热液矿床,与硅化、云英岩化关系最为密切。花岗岩含少量磁铁矿,具有弱磁性,高温热液蚀变(硅化、电气石化等)有可能产生一定的退磁效果,从而在花岗岩体内出现负磁异常区。而作为矿化带内主要矿石矿物集合体的黑钨矿、磁铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿等,均为比重大的金属矿物,且磁铁矿、磁黄铁矿均具有强弱不等的磁性,应出现在重力高、磁力高的区域。

据此,确定综合地球物理找矿的基本方法组合为高精度磁法+高精度重力。本区地表重砂异常很弱,表明剥蚀程度很弱,主矿体还在地下。因此,有利的成矿靶区物性特征应为负磁异常指示含矿带的头部(高温热液蚀变区),与负磁异常相伴的重磁高正异常区是寻找矿化带的最佳靶区。

## 3 综合物探成果与解释

### 3.1 区域重磁场特征

图 2A 是研究区(红色方框)及其周边 1:100 万精度的布格重力异常图,异常单位为  $10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。由图中可见,研究区及其周边大范围内布格重力异常起伏较小,呈 2 个平缓的重力低,局部呈重力高,多数不能圈闭,异常总体呈北东东向。研究区位于平缓异常突然改变方向的拐点处,鞍形异常的西侧。由布格重力异常的形态判断,研究区所在部位可能是地质体错断的拐点,有较大规模的断裂穿切,是有利的成矿区域。

图 2B 是研究区(棕色方框)及其周边 1:20 万精度的航磁  $\Delta T$  异常图,异常单位为 nT。由图中可见:研究区及其周边大范围内航磁异常起伏较大,总体呈北东东走向,与布格重力异常吻合,说明重力场和地磁场二者在大范围内是同源的。图中局部异常非常强烈,主要呈穹隆状,正异常居多且绝对值大于负异常。西部与东部异常形态明显不同:西部异常相对宽缓,东部异常相对凌乱。研究区位于东西不同异常交界处,且包含了最强烈正异常的东北部。由异常形态判断,这里可能是富含强磁性矿物岩石的聚集区域。

### 3.2 矿区重磁数据处理及异常特征

在大比例尺地质填图工作的基础上,进一步完成了比例尺 1:10 000 的地面高精度重力测量(图 3A)和高精度磁测(图 3B)。

由图 3A 可见,研究区重力异常呈平缓的北东向重力高圈闭,异常中轴位于测区的西北部,异常值由重力高圈闭的轴部向西北和东南两侧对称逐渐降低,研究区的东南部为最低值区。

图 3B 为研究区原始地磁异常图,测区内磁力异常范围大约是一 1 433.54~2 233.92 nT。由西北至东南可以将测区分为西北部异常平缓区、中部线性异常区和东南部异常平缓区 3 个异常区。这 3 个异常区和图 3A 的布格重力异常大体呈现一一对应关系,说明矿区重磁异常具有一定的同源性。这样的特征为成矿远景区的预测提供了理论保障。

采用数据融合技术对剩余磁异常进行了精细的成图,发现北西侧存在 3 条明显的北东向负异常带(图 4 内的蓝紫色条带),其中包含若干个分立的正异常区(深黄褐色)。将图 4 与图 1 对比可以发现,负异常及其相伴正异常的区域,正是辉石闪长岩类

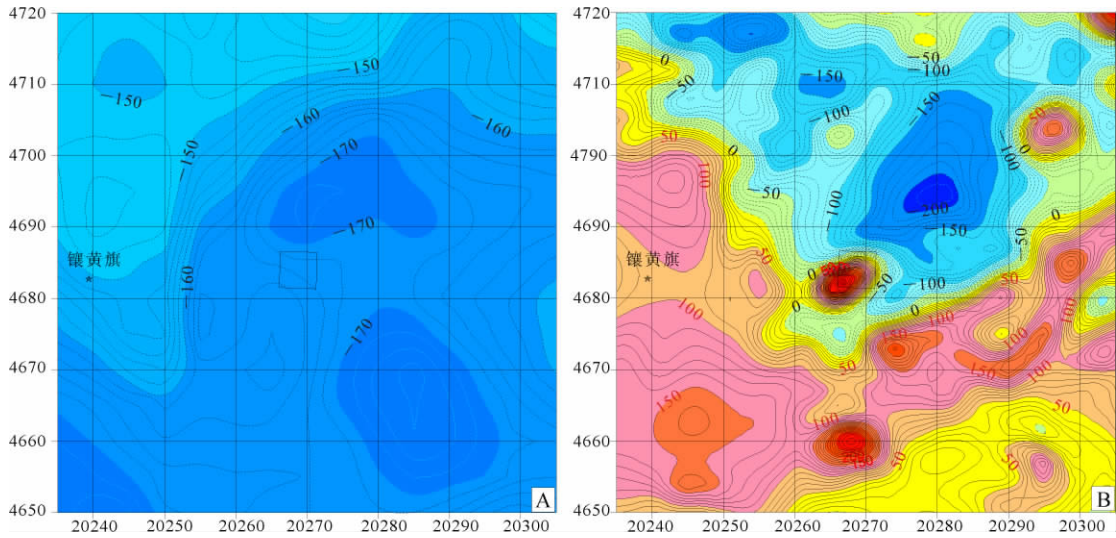


图 2 研究区及其周边 1 : 100 万精度布格重力异常 ( $10^{-5} \text{m/s}^2$ ) (A) 和 1 : 20 万精度航磁  $\Delta T$  异常 (nT) (B)

Fig. 2 Bouguer gravity anomalous map (A) of the study area and its adjacent region at scale of 1 : 1 000 000 and aeromagnetic anomaly ( $\Delta T$ ) map (B) of the study area and its adjacent region at scale of 1 : 200 000

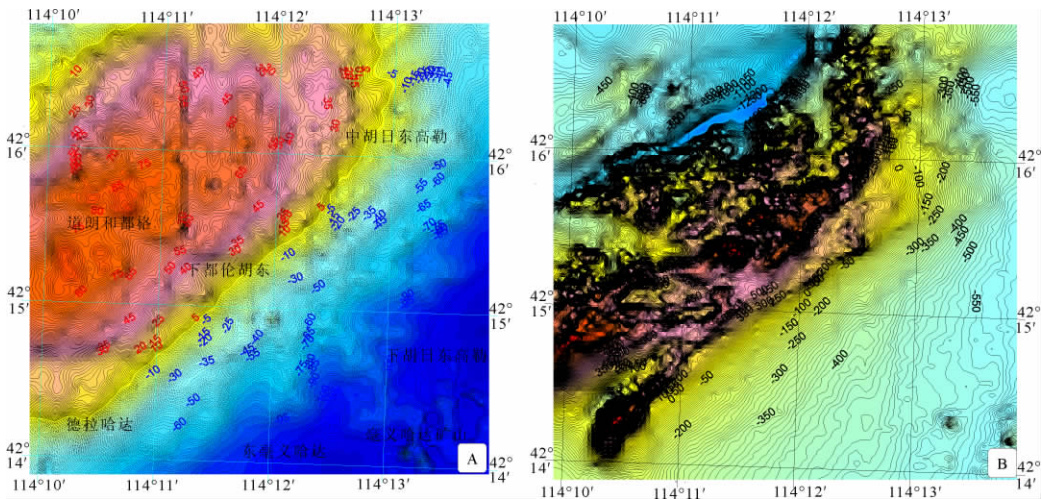


图 3 研究区 1 : 10 000 布格重力异常等值线 ( $10^{-5} \text{m/s}^2$ ) (A) 和原始地磁异常 (nT) (B)

Fig. 3 Bouguer gravity (A) and magnetic (B) anomaly maps of the study area at scale of 1 : 10 000

出露的区域。经地表检查,这些负异常条带大多对应硅化带、电气石-石英脉和花岗岩斑脉。

### 3.3 找矿靶区确定

重磁数据处理综合结果表明,本区重磁异常具有显著的同源性,引起异常的目标体埋深不超过 1 000 m。

与图 1 相比,图 4 的正异常区与辉石闪长岩类对应良好,而大片的负异常则对应着东南部的钾长花岗岩区,二者之间界限分明,表现出显著的侵入接触关系。

对测区的磁测数据进行地磁异常分离,通过对比各种方法(解析延拓、差值切割、五阶小波多分辨分析等)分离的区域场和局部场,并综合地质图分析,认为小波多分辨分析的结果比较符合地质情况。

对小波多分辨分析获得的局部异常求取垂向一阶导数,将其结果叠加在小波多分辨分析获得的重力局部异常图中。红色圈闭表示局部重力高,渐变蓝色表示磁异常垂向一阶导数的正值区域,如图 5 所示。预期的金属矿体对应着高磁高重,利用高磁异常进一步剔除重力解释的勘探有利区,最终结果

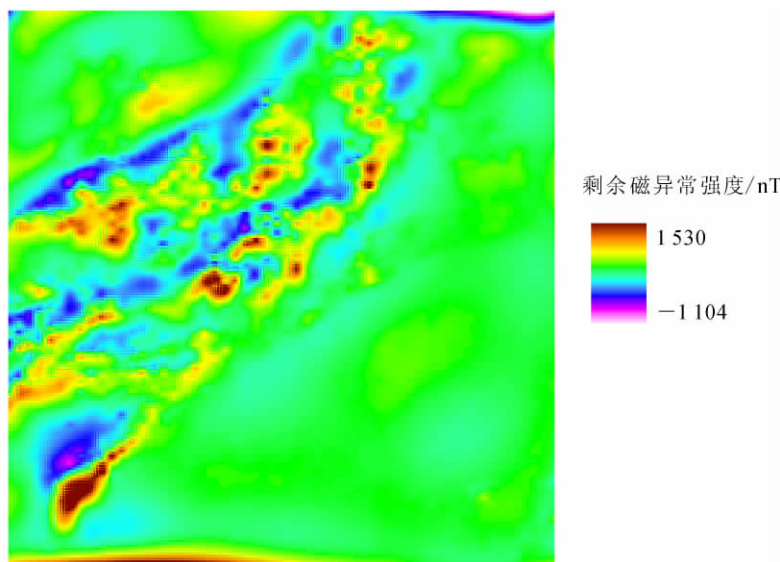
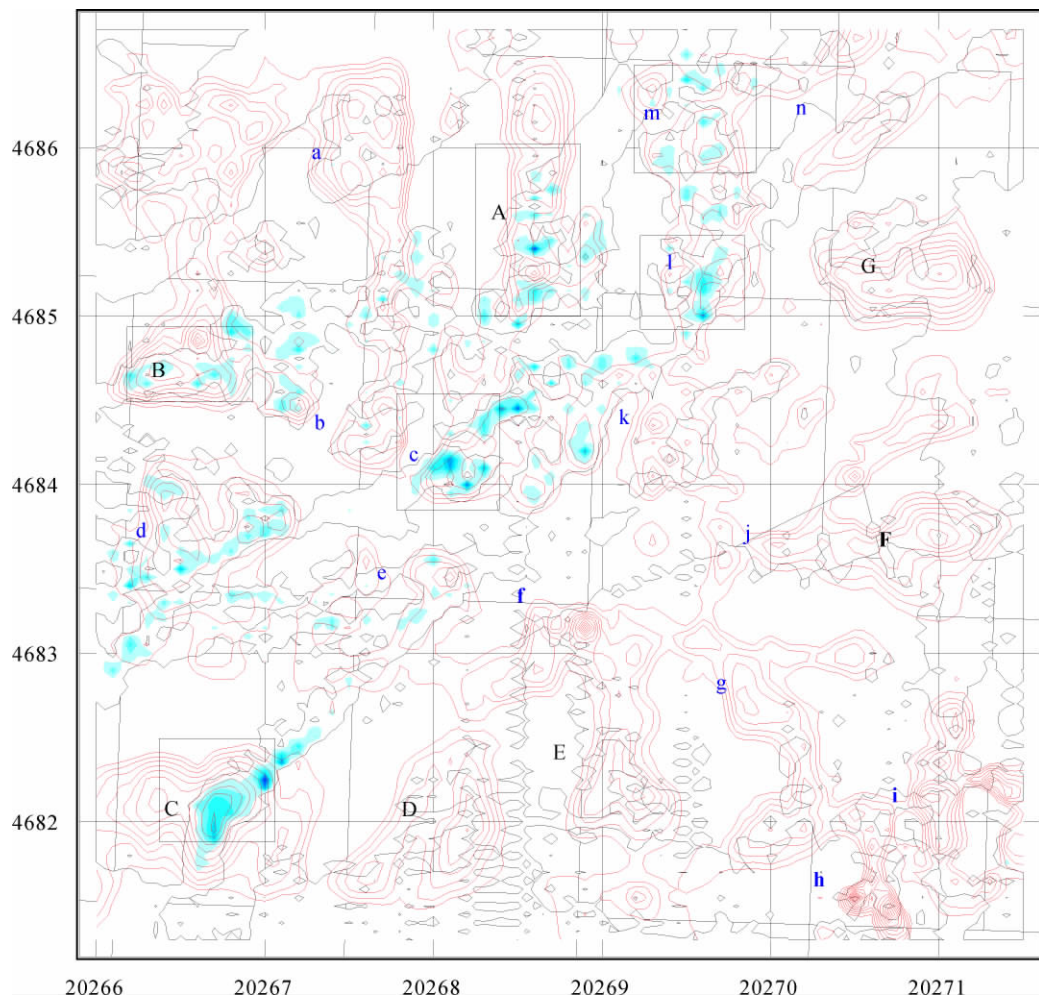


图 4 数据融合技术处理的矿区磁异常图

Fig. 4 Magnetic anomaly map processed by data fusion technique of the study area



红色圈闭表示局部重力高;渐变蓝色表示磁异常垂向一阶导数的正值区域;紫色方框为一级靶区;绿色方框为二级靶区。

图 5 利用重磁资料推定的成矿远景区

Fig. 5 Distribution map of the inferred prospecting targets based on the integrated gravity and magnetic data

只剩下6个有利区,分别是一级靶区A、B、C和二级靶区c、l、m。

#### 4 钻探工程验证结果

合作单位首先对3个异常区(A、C、c)进行了初步验证,见矿情况如下:

A区:施工8个钻孔,钻进深度300~686.5 m,在明显发育硅化、绿帘石化、电气石化部位施工的钻孔(ZKA-1),由浅到深连续发育细脉浸染状黄铜矿化,350 m深度附近的铜矿化最为发育。深度580 m以下开始逐渐出现磁铁矿细脉,在650 m深度磁铁矿脉厚度达到2 m。钻孔ZK5-1在深度为144.5~151.5 m的破碎带中发现了宽度5 m的钨矿化带,矿体厚度3 m,WO<sub>3</sub>质量分数0.33%~1.36%。

C区:施工1个钻孔(ZK20-1),进尺420 m,见到2条钨矿化带。

c区:施工1个钻孔(ZK60-1),进尺450 m。见到宽度4 m的钨矿化带,其中3 m为矿体,WO<sub>3</sub>质量分数0.066%~0.220%。

以上3个见矿钻孔揭露的钨矿体均为构造破碎带型。

从岩心详细编录的结果发现,各异常区验证钻孔中普遍发育浸染状黄铁矿化、黄铜矿化、硅化、电气石化,局部出现绿帘石化、绿泥石化、萤石化,几乎每个钻孔都可见到厚度和数量不等的钨矿化带。辉石闪长岩内普遍发育条带状钾长花岗岩侵入和混染现象,进一步证实了地质地球化学研究和重磁异常揭示的两期侵入岩体。褐铁矿化、硅化(包括石英脉)、绿帘石化、萤石矿化都是良好的找矿线索。地表所见石英脉、电气石脉均分布在闪长岩中,而钾长花岗岩中未见,表明早期的辉石闪长岩是主要围岩。

总体来讲,该区由浅入深存在硫化物向氧化物的过渡,钨矿体分布在二者过渡部位,磁铁矿体分布在更深部位。钨多金属矿的主矿体埋深为150~650 m,与重磁异常预测的深度基本吻合。

为了获取多方面的成矿信息,在矿区范围内还进行了激电扫面测量,但异常值很低、分散,与矿化蚀变带的关系不明显,表明本区浅部硫化物不富集。在露头较好的A异常区施工了土壤化探剖面,仅发现局部的铜矿化异常<sup>[16]</sup>,未发现显著的钨异常。据此推测,主矿体埋深较大,这与钻探结果是一致的。

下一步需要综合分析钻孔岩性、矿化蚀变现象

与物探异常之间的关系,为设计新的钻孔提供依据。

#### 5 结论与讨论

3个重磁异常区的钻探工程证实,地下的确存在着预期的钨多金属矿体或矿化带。地质与地球物理异常对应性很好,矿致异常虽然呈孤立点状存在,但均分布在北东东走向的硅化—电气石化蚀变带(负磁异常带)上,对应着钨多金属成矿富集部位。钻孔发现的矿化带厚度为3~5 m,矿体厚度为2~3 m;而且,向深部,磁铁矿的成分明显增加;这就为下一步的矿产勘查工作指明了方向。同时也证明本文提出的地质地球化学研究结合高精度重磁勘探的定位预测技术组合,适用于草原和沙地覆盖地区钨多金属矿勘查工作。

下一步需要根据钻孔和物探资料建立矿区蚀变分带模型,研究本区钨多金属矿是否存在与赣南地区类似的“五层楼”+“地下室”模式<sup>[23]</sup>。参考其它露头矿区的矿体分布规律,本区下一步需要打更多的斜孔、加密孔。

虽然目前取得了初步的找矿成果,但物探异常的地质意义还需要进一步认识。

还应指出的是,在草原和沙地覆盖的干旱区,孔雀石化不代表该区一定存在铜矿<sup>[24]</sup>,本区和邻区钨矿点出现的孔雀石化和细脉浸染状黄铜矿化现象,是寻找钨多金属矿的良好指示剂。

李庆谋博士用数据融合技术帮助精细处理了磁异常数据,张家口中科容辰矿业有限公司、内蒙古镶黄旗政府有关部门和当地牧民对野外工作给予了大力支持,在此深表谢意。

#### 参考文献(References):

- [1] 陈廷愚. 亚洲中部及邻区成矿元素的演化趋势[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 1162-1174.  
CHEN Ting-yu. The evolution trend of metallogenic elements in central Asia and its adjacent regions[J]. Geology in China, 2010, 37(4): 1162-1174.
- [2] Kovalenko V I, Yarmolyuk V V. Endogenous rare metal ore formations and rare metal metallogeny of Mongolia[J]. Economic Geology, 1995, 90(3): 520-529.
- [3] Zorin Y A. Geodynamics of the western part of the Mongolia-Okhotsk collisional belt, Trans-Baikal region (Russia) and Mongolia[J]. Tectonophysics, 1999, 306(1): 33-56.

- [4] 曾载淋,田幽军. 赣南地区钨矿找矿史回顾及新一轮钨矿找矿思考[J]. 资源调查与环境, 2006, 27(2): 94-102.  
ZENG Zai-lin, TIAN You-jun. Review of tungsten exploration history and thoughts for new run of tungsten prospecting in southern Jiangxi Province[J]. Resource Investigation and Environment, 2006, 27(2): 94-102.
- [5] 赖汝林,潘其云. 广西“平桂”钨锡矿田发现史[J]. 广西地质, 1994, 7(4): 75-83.  
LAI Ru-lin, PAN Qi-yun. The discovery history of the “Pinggui” tungsten-tin orefield in Guangxi[J]. Guangxi Geology, 1994, 7(4): 75-83.
- [6] 干正如,方金龙. 扩大钨矿远景的探矿方法研究[J]. 有色金属: 矿山部分, 2008, 60(6): 30-32.  
GAN Zheng-ru, FANG Jin-long. A study of prospecting methods for enlarging the scale of tungsten deposits[J]. Nonferrous Metals: Aspect of Mines, 2008, 60(6): 30-32.
- [7] 李社宏,李文铅,王核,等. 粤北梅子窝钨矿二长花岗岩的发现及意义[J]. 矿物学报, 2009(增刊): 57-59.  
LI She-hong, LI Wen-qian, WANG He, et al. The discovery of adamellite in the Meiziwo tungsten deposit of northern Guangdong and its significance[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2009(Sup.): 57-59.
- [8] 肖惠良,陈乐柱,吴涵宇,等. 广东始兴南山钨钼多金属矿床的发现及其意义[J]. 高校地质学报, 2008, 14(4): 558-564.  
XIAO Hui-liang, CHEN Le-zhu, WU Han-yu, et al. The discovery of the Xingnanshan W-Mo multiple metals deposit in Guangdong and its significance[J]. Geological Journal of China Universities, 2008, 14(4): 558-564.
- [9] 胡朋. 内蒙沙麦钨矿床地质与地球化学初步研究[D]. 西安: 西北大学, 2004: 1-70.  
HU Peng. A preliminary study on geology and geochemistry of the Shamai tungsten deposit, Inner Mongolia[D]. Xi'an: Northwest University of China, 2004: 1-70.
- [10] 胡朋,聂凤军,赫英,等. 内蒙古沙麦岩体: 正  $\epsilon_{Nd}(t)$  值的过铝质花岗岩[J]. 岩石学报, 2006, 22(11): 2781-2790.  
HU Peng, NIE Feng-jun, HE Ying, et al. The Shamai magmatite of Inner Mongolia: a peraluminous granite with positive  $\epsilon_{Nd}(t)$  values [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(11): 2781-2790.
- [11] 聂凤军,胡朋,江思宏,等. 中蒙边境沙麦—玉古兹尔地区钨和钨(钼)矿床地质特征、形成时代和成因机理[J]. 地球学报, 2010, 31(3): 383-394.  
NIE Feng-jun, HU Peng, JIANG Si-hong, et al. Geological features, formation epoch and genetic mechanism of tungsten and tungsten-molybdenum deposits in Shamai and Yuguzier areas along the Sino-Mongolian boundary [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2010, 31(3): 383-394.
- [12] 史致元,王玉增,刘金波. 地球化学方法在福安堡钨钼矿床的应用[J]. 物探与化探, 2004, 28(3): 237-241.  
SHI Zhi-yuan, WANG Yu-zeng, LIU Jin-bo. Application of geochemical methods in the Fuanbao W-Mo deposit [J]. Geophysical and Geochemical Prospection, 2004, 28(3): 237-241.
- [13] 席忠,张志刚,贾立炯,等. 内蒙古马尼图—查干花大型钼—铋—钨矿化区的发现及地质意义[J]. 地球学报, 2010, 31(3): 466-468.  
XI Zhong, ZHANG Zhi-gang, JIA Li-jiong, et al. The discovery of the large-scaled Manitu-Chaaganhua Mo-Bi-W mineralization district, inner Mongolia and its geological significance [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2010, 31(3): 466-468.
- [14] 苏捷,张宝林,徐永生,等. 内蒙古中部豪义哈达岩体的年代学和地球化学特征[J]. 地质科学, 2010, 45(2): 564-579.  
SU Jie, ZHANG Bao-lin, XU Yong-sheng, et al. Geochronology and geochemical features of the Haoyihada magmatite in central part of Inner Mongolia [J]. Scientia Geologica Sinica, 2010, 45(2): 564-579.
- [15] 鲁颖淮,李文博,赖勇. 内蒙古镶黄旗哈达庙金矿床含矿斑岩体形成时代和成矿构造背景[J]. 岩石学报, 2009, 25(10): 2615-2620.  
LU Ying-huai, LI Wen-bo, LAI Yong. Formation epoch and metallogenic tectonic background of ore-bearing porphyry in the Hadamiao gold deposit, Xianghuang Flag, Inner Mongolia [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(10): 2615-2620.
- [16] 祁民,张宝林,符超,等. 运用综合预测方法组合快速发现内蒙古中部隐伏大型铜钨多金属矿勘查基地[J]. 地质与勘探, 2009, 45(6): 676-682.  
QI Min, ZHANG Bao-lin, FU Chao, et al. Application of integrated predictive methods combination to quick discovery of a concealed large-scale Cu-W multiple metals exploration base in central part of Inner Mongolia [J]. Geology and



- Exploration, 2009, 45(6): 676—682.
- [17] 韩松,刘志峰,江桂,等. 综合地球物理方法在广东始兴南山坑钨矿试验区中的可行性试验分析[J]. 资源环境与工程, 2006, 22(6): 614—617.  
HAN Song, LIU Zhi-feng, JIANG Gui, et al. A feasibility test analysis of integrated geophysical methods in the Nanshankeng tungsten deposit in Shixing of Guangdong[J]. Resource Environment and Engineering, 2006, 22(6): 614—617.
- [18] 晏月平,戴前伟,甘先平. 瑶岗仙钨矿综合物探找矿效果[J]. 物探与化探, 2010, 34(1): 59—62.  
YAN Yue-ping, DAI Qian-wei, GAN Xian-ping. Prospecting effect of integrated geophysical exploration in the Yaogangxian tungsten deposit[J]. Geophysical and Geochemical Prospecting, 2010, 34(1): 59—62.
- [19] 黄理善,敬荣中,曾晖,等. 高精度磁测在某钨锡矿区的应用[J]. 矿产与地质, 2009, 23(3): 277—281.  
HUANG Li-shan, JING Rong-zhong, ZENG Hui, et al. Application of high-precision magnetic survey in a W—Sn deposit[J]. Minerals and Geology, 2009, 23(3): 277—281.
- [20] 葛良胜,邹依林,邢俊兵,等. 西藏冈底斯地块北部甲岗雪山钨钼铜金多金属矿产地的发现及意义[J]. 地质通报, 2004, 23(9/10): 1033—1039.  
GE Liang-sheng, ZOU Yi-lin, XING Jun-bing, et al. Discovery of the Jiagangxueshan W—Mo—Cu—Au multiple metals deposit in northern part of the Ganges block, Tibet and its significance [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(9/10): 1033—1039.
- [21] 徐庆生,郭健,刘阳,等. 近红外光谱矿物分析技术在帕南铜—钼—钨矿区蚀变矿物填图中的应用[J]. 地质与勘探, 2011, 47(1): 107—112.  
XU Qing-sheng, GUO Jian, LIU Yang, et al. Application of mineral analysis through near-infrared spectrum technique in the alteration mineral mapping of the Panan Cu—Mo—W deposit[J]. Geology and Exploration, 2011, 47(1): 107—112.
- [22] 万力,刘登,徐方. 甘肃小柳沟铜钨多金属矿田高精度磁测与成矿预测[J]. 吉林地质, 2009, 28(3): 77—82.  
WAN Li, LIU Deng, XU Fang. A high-precision magnetic survey and metallogenic prediction in the Xiaoliugou Cu—W multiple metals orefield, Gansu Province[J]. Journal of Jilin Geology, 2009, 28(3): 77—82.
- [23] 王登红,唐菊兴,应立娟,等. “五层楼+地下”找矿模型的适用性及其对深部找矿的意义[J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2010, 40(4): 733—738.  
WANG Deng-hong, TANG Ju-xing, YING Li-juan, et al. Application of “Five levels+Basement” model for prospecting deposits into depth[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2010, 40(4): 733—738.
- [24] 马润,杨鹏,张丽萍,等. 内蒙古阿拉善地区两类孔雀石化的形成机理初步分析[J]. 西北地质, 2008, 41(1): 90—96.  
MA Run, YANG Peng, ZHANG Li-ping, et al. A preliminary analysis of the formation mechanism on two types of malachitization in Alashan region, Inner Mongolia[J]. Journal of Northwest Geology, 2008, 41(1): 90—96.