

天津蓟县地区金、钨、钼矿自然重砂与地球化学区域找矿方法效果

王卫星¹, 程绪江¹, 张素荣², 董路阳¹, 李攻科¹

WANG Wei-xing¹, CHENG Xu-jiang¹, ZHANG Su-rong², DONG Lu-yang¹, LI Gong-ke¹

1. 天津市地质调查研究院, 天津 300191

2. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170

1. Tianjin Institute of Geological Survey, Tianjin 300191, China;

2. Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China

摘要:结合蓟县地区矿产分布特征,应用1:20万自然重砂和1:5万水系沉积物地球化学找矿方法,在蓟县地区金矿、钨矿、钼矿中进行区域找矿方法效果研究。研究其异常分布特征,发掘出了新的找矿信息。研究发现,所圈出的自然重砂和地球化学异常能直接指示相应地质体的含矿性,特定矿物组合的自然重砂异常和区域地球化学异常在某些区域分布上比较吻合,二者均具有找矿指示作用。

关键词:蓟县地区;自然重砂;地球化学;区域找矿方法

中图分类号:P618.51;P618.6;P622+.3

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2014)12-2011-08

Wang W X, Cheng X J, Zhang S R, Dong L Y, Li G K. A comparative study of the effects of natural heavy mineral prospecting and regional geochemical exploration for gold, tungsten and molybdenum deposits in Jixian County area, Tianjin. *Geological Bulletin of China*, 2014, 33(12):2011-2018

Abstract: Based on the natural heavy mineral and geochemical research for the project of "Mineral Resources Potential Evaluation of Tianjin" in combination with the distribution characteristics of mineral resources in Jixian County area, the authors made a comparative study of the regional prospecting effects for gold, tungsten and molybdenum deposits in Jixian County area by 1:200000 natural heavy mineral prospecting and 1:50000 stream sediment survey, investigated the anomaly distribution characteristics, and discovered new prospecting information. The results show that anomalies delineated by these two methods can directly indicate the ore potential of the corresponding geological bodies. The natural heavy mineral anomaly and the regional geochemical anomaly are fairly consistent with each other for specific mineral assemblage, suggesting that these two kinds of anomalies can both play the guiding role in mineral exploration.

Key words: Jixian County area; natural heavy minerals; geochemistry; regional prospecting method

矿源母体暴露出地表以后,经物理风化作用形成碎屑物质,进一步的机械分离促使其中的单矿物分离出来。在长期的地质作用过程中,各种单矿物按其稳定性,有些被淘汰,有些被保留下来。其中,有些部分如稳定的重砂矿物保留分散在矿源原地

或其附近,有些受地表水流及重力作用,以机械搬运方式沿地形坡度迁移到坡积层,形成高含量带,与原残积层一起组成重砂矿物的机械分散晕。自然重砂找矿方法是以各种疏松沉积物中的自然重砂矿物为主要研究对象,以重砂取样为主要手段,

收稿日期:2014-03-14;修订日期:2014-10-30

资助项目:中国地质调查局项目(编号:1212010881604)

作者简介:王卫星(1982-),男,硕士,工程师,从事应用地球化学研究。E-mail:66318420@qq.com

以追索寻找砂矿和原生矿为主要目的的一种地质找矿方法^[1]。重砂异常在空间上与原生矿体或含矿地质体密切相关,范围远较原生矿或含矿地质体范围大,利用重砂异常可以评定一个区域的含矿性和成矿特征,也可以指导寻找原生矿和砂矿^[2]。

水系沉积物地球化学找矿是应用水系沉积物地球化学测量,了解水系沉积物中元素的分布,总结其分散、集中的规律,研究其与附近基岩中地质体的联系,通过发现异常与解释评价异常进行找矿的一种方法。可根据所发现的局部异常,查明矿床分散流进行找矿。另外,利用水系沉积物地球化学测量中所发现的广大区域异常,确定地球化学省或圈定成矿区,找出可能有矿床存在的远景区^[3]。

水系沉积物地球化学找矿方法一直是区域找矿的重要手段,也是专家学者研究的热点。长期以来,自然重砂找矿方法一度被忽视。近几年来,由于全国矿产资源潜力评价项目的开展,使得自然重砂找矿方法重新受到关注,一些专家学者使用自然重砂找矿方法取得了良好的区域找矿效果^[4-8]。本文基于天津市矿产资源潜力评价项目,结合天津蓟县地区矿产分布特征,应用自然重砂和地球化学找矿方法对蓟县地区的金矿、钨矿和钼矿进行成矿规律和找矿效果研究,以期达到资源评价的目的。

1 区域地质背景

天津市总体地势北高南低,由北向南、自北西向南东逐渐降低,北部的蓟县山区为燕山山地,属于山地丘陵区地貌。蓟县山区主要有沟河和州河两大水系,均属于蓟运河水系。沟河发源于黄崖关附近,由北向南流至罗庄子,继而自东向西流入北京市平谷县;州河发源于河北省遵化市,在蓟县境内的流向为自东向西,上游有两大支流黎河和淋河。

蓟县南部绝大部分被第四系覆盖,古老岩系仅在蓟县北部出露,面积约640km²,以中、上元古界长城系、蓟县系和青白口系为主,太古宇遵化岩群及下古生界零星分布。长城系以白云岩类岩性为主,顶部高于庄组以含锰页岩为主;蓟县系以白云岩类岩性为主,含有灰岩、砂岩、页岩夹层;青白口系的主要岩性为灰岩、砂岩、泥岩、页岩互层。大地构造位置处于一级构造单元华北陆块、二级单元晋冀古陆块、三级构造单元燕辽裂陷带、四级单元燕山裂

谷。区内岩浆活动比较强烈,规模较大,分布较广,活动时代以印支期为主。其中,出露的侵入岩体主要有4个,分别为盘山花岗岩体、石臼花岗岩体、朱耳峪正长岩体和别山正长斑岩体,其中,以盘山花岗岩体的规模最大。已发现的隐伏岩体主要有2个,分别为大保安镇花岗岩体和马伸桥霞石正长岩体,侵入时代均为印支期^[9-10]。成矿区带属于三级成矿区带华北陆块北缘东段铁—铜—钼—铅—锌—银—锰—磷—煤—膨润土成矿带、四级成矿单元燕辽铜—钼—铅—锌—银—金—铁—锰—磷—煤成矿亚带和五级成矿区平谷—蓟县钨—钼—铜—金—锰—磷成矿区。

2 地质矿产特征

研究区内的金矿仅有黄花山小型矿床1处,以及东山和龙福寺2个矿点,分布于蓟县北东下营—朱耳峪一带(图1)。

黄花山金矿床位于蓟县朱耳峪西,出露地层为常州沟组石英砂岩和串岭沟组页岩。地层为走向北西、倾向南西的单斜层。矿区位于朱耳峪岩体外接触带,可见一条闪长岩脉,宽10~100m,延伸百余米。

东山金矿点位于蓟县下营镇东,出露地层为串岭沟组页岩,富钠辉绿岩和斜长玢岩岩脉发育,并见有火山隐爆角砾岩。主要含金地质体共计4条,其中以4号脉最佳。4号脉位于东山水库东100m处,地表长约500m,宽30~50m,含金矿脉为蚀变斜长玢岩。在地表可圈出3个矿体,单个矿体长40~60m,宽0.7~7.2m,品位1.21~11.75g/t,平均约5.88g/t。围岩蚀变强,主要为硅化、绢云母化、含铁碳酸盐化、黄铁矿化、堇青石化和碳化(?)。

龙福寺金矿点位于蓟县龙福寺村北东,距朱耳峪岩体2km,出露地层主要为常州沟组石英砂岩和串岭沟组页岩。主要矿脉共计5条,以构造蚀变岩—石英脉型为主^①。

钨矿仅沿河1处小型矿床,位于蓟县盘山岩体内(图2),为高中温热液石英脉型,累计探明资源储量WO₃2239.4t。矿区由南至北可划分出凤凰山、大蝎子山和黄花山矿段。围岩主要为中粒黑云母花岗岩、含斑石英二长岩和细粒花岗岩,围岩蚀变可分为面型轻微的绢英岩化和线型矿脉两侧的绢英岩化。矿区共发现含钨石英脉290多条,具有一定

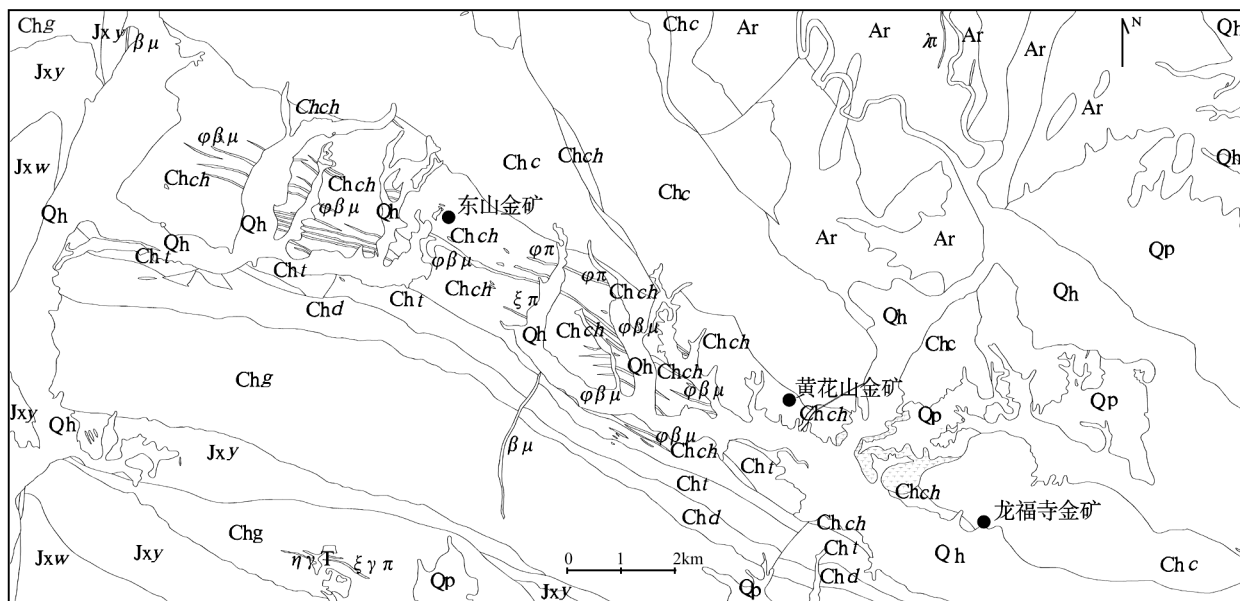


图1 蓟县地区金矿区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of gold deposits in Jixian County area

Qh—第四系全新统; Qp—第四系更新统; J_{xw}—蓟县系雾迷山组; J_{xy}—蓟县系杨庄组; Chg—长城系高于庄组; Chd—长城系大红峪组; Ch_t—长城系团山子组; Chch—长城系串岭沟组; Chc—长城系常州沟组; Ar—太古宙片麻岩; η γ T₃—二长花岗岩; ξ T₃—正长岩; Fe—变质铁矿透镜体; q II—含金石英脉及矿脉编号; ξ γ π—碱长花岗斑岩脉; φ π—钠长斑岩脉; ξ π—正长斑岩脉; χ—煌斑岩脉; φ β μ—钠质辉绿岩脉; β μ—辉绿岩脉; γ π—花岗斑岩脉; δ—闪长岩脉; ●—金矿点

规模的有75条,矿脉产状、形态和规模严格受断裂、节理裂隙控制。大蝎子山矿段矿脉集中分布,长100~600m,厚0.25~0.5m,大部分走向北北西—北北东,经钻探控制,在地表几百米的范围内矿脉没有明显的尖灭迹象^①。

钼矿仅沟河北1处小型矿床,在石臼有硫铁多金属矿,钼作为伴生矿种出现(图2)。沟河北钼矿位于蓟县盘山岩体北东的外接触带,为矽卡岩型矿床。累计探明,资源储量矿石量 $115.5\times 10^4\text{t}$,钼金属量266.2t。矿区由岩体接触带向外,依次为高于庄组、杨庄组和雾迷山组,单斜产出,倾向北东,倾向 35° 左右。矿区内岩石大理岩化显著,带宽1000m。矿区矽卡岩主要发育在外接触带碳酸盐岩中,矽卡岩成分单一,主要矿物为透辉石、方解石和硅镁石。常形成规模不等的矽卡岩带,并以透辉石矽卡岩为主。辉钼矿体主要赋存在透辉石矽卡岩中,似层状,常顺层分布。矿体厚度1m左右,最厚处达5.34m,沿走向延伸80~90m,沿倾斜延伸80~100m。矿区矿石平均品位Mo 0.179%,最高达0.957%^①。

3 数据来源与分析处理

3.1 数据来源

自然重砂数据来源于1964—1966年,河北省地质局区域地质测量大队进行兴隆幅(K-50-34)和宝坻幅(J-50-4)北部1:20万区调工作,期间进行了系统的重砂测量工作。采样范围为蓟县北部山区,样点主要布置在Ⅰ、Ⅱ级水系上,Ⅲ、Ⅳ级水系只取控制样。Ⅰ、Ⅱ级水系采样一般自表层采至基岩,沉积物厚的则在一定深度以下开始,大水系一般取至30cm以下,取有利于重矿物富集的部位。采样方法采用一点多坑法,即采样点5m范围内多处取样。样品原始重量为30~40kg,然后就近淘洗并进行编录,此次工作在天津市范围内共取样276个。原始资料现存放在河北省地勘局区域地质测量大队,本次研究中1:20万自然重砂数据库由中国地质调查局发展研究中心提供。

化探数据来源于1997—1998年,天津市地质调查研究所为寻找金、银等贵金属矿,进行蓟县黄崖

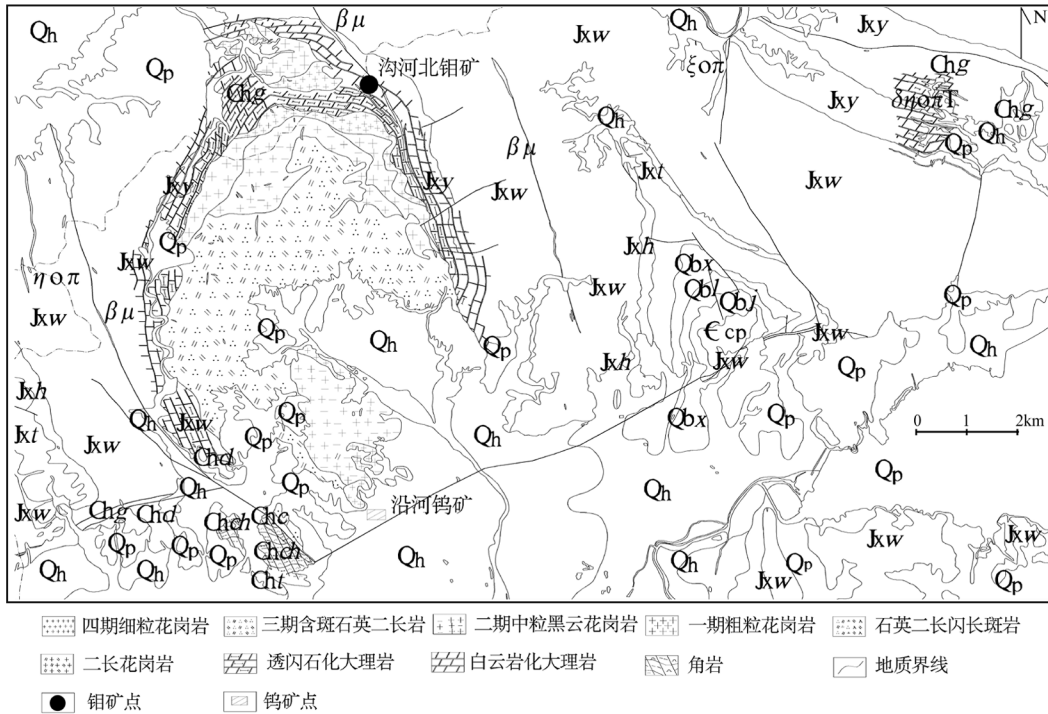


图2 蓟县地区钨矿、钼矿区地质简图

Fig. 2 Geological sketch map of tungsten and molybdenum deposits in Jixian County area

Qh—第四系全新统;Qp—第四系更新统;εcp—寒武系昌平组;Qbj—青白口系景儿峪组;Qbl—青白口系龙山组;
Qbx—青白口系下马岭组;Jxt—蓟县系铁岭组;Jxh—蓟县系洪水庄组;Jxw—蓟县系雾迷山组;Jxy—蓟县系杨庄组;
Chg—长城系高于庄组;Chd—长城系大红峪组;Chl—长城系团山子组;Chch—长城系串岭沟组;Chc—长城系常州沟组;
γT₃⁴—四期细粒花岗岩;ηοπT₃³—三期含斑石英二长岩;γβT₃²—二期中粒黑云花岗岩;γT₃¹—一期粗粒花岗岩;
δηοπT—石英二长闪长斑岩;ηγT—二长花岗岩;q—石英岩脉;γl—花岗细晶岩脉;ξγπ—碱长花岗斑岩脉;
ηοπ—石英二长斑岩脉;χ—煌斑岩脉;ξπ—正长斑岩脉;ξοπ—正长石英斑岩脉;βμ—辉绿岩脉

关、马兰峪、平谷县、蓟县、马伸桥、平安城、三河县、邦均镇、玉田县9个图幅的1:50000水系沉积物测量,面积约539km²。采样点主要布置在一级水系,少量在二级水系,采样粒级为-120目,采样密度为6.22个/km²,共采集水系沉积物样品3458件,含重复采样103件。野外检查样289个,占扫面样品总数的8.61%。单样定量分析Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Hg、As、Sb、Mn、W、Sn、Mo、Bi十三种元素。

3.2 分析处理

通过ZSAPS 2.0软件,从1:20万自然重砂数据库中查询得到天津市1:20万自然重砂测量数据,对矿物含量的表达方式(粒、克、百分比)作标准化处理,统一转化为粒,再应用标准化值进行自然重砂异常研究。根据预测矿种(矿产预测类型)的需要,结合已知矿床特征,确定每种矿产预测类型所对应的标型矿物组合(表1),金、钨、钼矿自然重砂矿物

表1 蓟县地区金、钨、钼矿预测类型的标型矿物组合及其矿物特征

Table 1 Typomorphic mineral assemblages and mineral characteristics of gold, tungsten and molybdenum deposits in Jixian County area

矿种	矿产预测类型	标型矿物组合	标型矿物特征
金矿	热液型	自然金、黄铁矿	自然金:金黄色,不规则粒状、板状,不透明,金属光泽,硬度低,条痕黄色,具展性,棱角状 黄铁矿:铜黄色,破碎块状、粒状,表面有褐铁矿膜,不透明,金属光泽,硬度中,条痕靛色,性脆,棱角状
钨矿/ 钼矿	热液型/ 矽卡岩型	白钨矿、磁铁矿	白钨矿:金黄色,不规则粒状、板状,不透明,金属光泽,硬度低,条痕黄色,具展性,棱角状 磁铁矿:黑色,不规则粒状、块状,不透明,金属、半金属光泽,硬度中,条痕黑色,性脆,棱角一次棱角状

表2 蓟县地区金、钨、钼矿自然重砂矿物检出结果

Table 2 The detection of natural heavy minerals of gold, tungsten and molybdenum deposits in Jixian County area

矿物名称	检出数量/粒	报出率/%
自然金	8	2.90
黄铁矿	114	41.30
白钨矿	130	47.10
磁铁矿	41	14.86

检出情况如表2所示。通过标型矿物的分布特征进行该矿种的自然重砂找矿预测。

按照统计累积频率的方法将矿物含量标准化值划分为5级,选择3级(累积频率:87.26%)对应的值作为自然重砂异常下限,最后结合汇水盆地勾绘异常范围,并根据成矿地质条件,确定异常级别(表3)。另外,检出率小于10%的出现即代表异常,如自然金自然重砂矿物。自然重砂3级异常由优到劣依次为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级。异常级别划分的原则是:①Ⅰ级异常:地表有相应的矿床或矿点响应,重砂高含量点密集,异常规模较大,异常强度高,矿物组合较好,其他找矿信息较好;②Ⅱ级异常:异常提供信息较好,地表无矿床响应,但有矿点或矿化存在,地质条件较有利于成矿,或重砂高含量点密集,成矿地质条件好,但成矿证据不足,进一步工作有希望发现新矿床或新的有价值的矿产;③Ⅲ级异常:重砂高含量点少或不太密集,地表无矿点或矿化微弱,异常信息较弱,矿物组合较简单,可作为今后的找矿线索。异常分布范围(面)采用不同的颜色加以区别,Ⅰ级异常用褐色表示;Ⅱ级异常用红色表示;Ⅲ级异常用橙色表示。异常边界(线)采用不同的线型加以区别,参照GB958—99,Ⅰ级异常用1402002表示;Ⅱ级异常用1402003表示;Ⅲ级异常用1402004表示^[11-12]。

地球化学原始数据在检查、核对、整理的基础上,以多元地学空间数据管理与分析系统(GeoExpl)为主要技术平台,辅以MapGIS进行图件编辑、整饰、输出等,采用1954北京坐标系,投影类型为高斯—克吕格6°带投影,中央经线为117°,采用指数加权法对原始数据进行网格化处理,网格距选定为0.5km×0.5km,搜索半径为1.25km。采用统计累积频率(85%)的方法确定异常下限,并根据浓集程度划分

表3 蓟县地区金、钨、钼矿自然重砂矿物含量分级及异常下限参数

Table 3 Content classification and threshold parameters of natural heavy minerals of gold, tungsten and molybdenum deposits in Jixian County area

矿物名称	单位:粒					异常下限
	1级	2级	3级	4级	5级	
自然金	-	-	-	-	-	1
黄铁矿	5	6	7	8	30	7
白钨矿	1	10	20	38	50	20
磁铁矿	1	450	2850	16000	93100	2850

为3级,即按累积频率85~95.5~98~100划分为外、中、内3带,分别用橙红色、红色、深红色表示^[13]。

4 区域异常分布特征

4.1 热液型金矿

在蓟县地区,自然金自然重砂矿物圈出异常4处(图3),黄铁矿自然重砂矿物圈出异常7处(图4)。自然金异常分布在东山、东水厂、黄花山和小岭区域,异常规模均比较小,自然金检出率低。黄铁矿异常分布在黄崖关、东山、洪水庄北、黄花山、娘娘顶、盘山和小岭区域,异常规模不大,黄铁矿检出率较自然金高很多。

通过蓟县山区1:5万水系沉积物测量数据,制作了Au元素地球化学异常图(图5)。从图5可以看出,异常比较零散,面积较小,仅有个别异常具有二级或三级浓度分带。总的来说,异常主要分布在大南山—孙各庄(Ⅰ)、黄崖关—洪水庄北(Ⅱ)、娘娘顶—穿芳峪(Ⅲ)和盘山—沿河(Ⅳ)区域。其中,大南山—孙各庄区域异常成矿条件较好,区域内9号异常具有三级浓集分带,黄花山金矿和龙福寺金矿点位于9号异常内,东山金矿点位于6号异常内。

4.2 热液型钨矿和矽卡岩型钼矿

在蓟县地区,白钨矿自然重砂矿物圈出异常7处(图6),磁铁矿自然重砂矿物圈出异常4处(图7)。白钨矿异常分布在大南山西、洪水庄北、下营镇南、沟河北、娘娘顶、盘山和小岭区域,异常规模大小不一,白钨矿的检出率为47.10%。磁铁矿异常分布在下营镇北、黄花山、盘山和小岭区域,异常规模相对较大。

通过蓟县山区1:5万水系沉积物测量数据,制作了W、Mo元素地球化学异常图(图8、图9)。从图

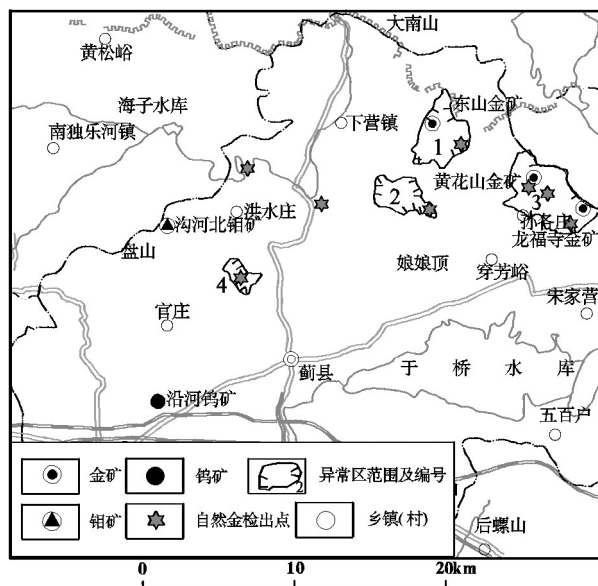


图3 自然金自然重砂异常(矿物分级)

Fig. 3 Natural heavy mineral anomaly (mineral grading)
diagram of native gold

8和图9可以看出,钨、钼异常主要分布在盘山、石臼(娘娘顶)和黄花山区域。其中,盘山区域异常成矿条件较好,具有三级浓集分带,异常面积较大。异常南部是热液型沿河钨矿床,北部是矽卡岩型沟河北钼矿。

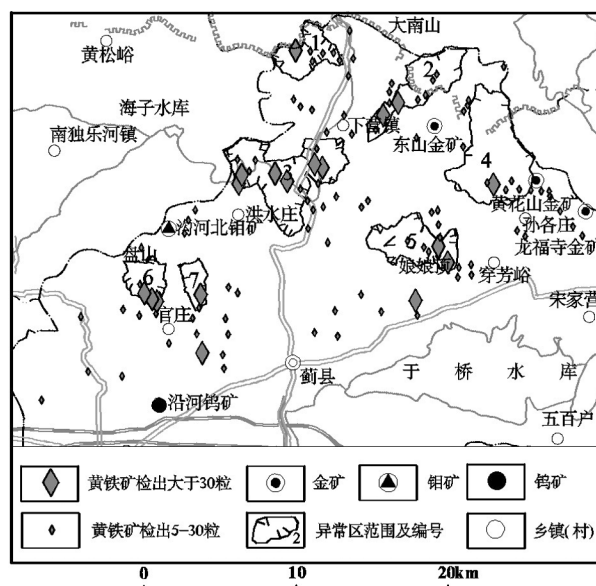


图4 黄铁矿自然重砂异常(矿物分级)

Fig. 4 Natural heavy mineral anomaly (mineral grading)
diagram of pyrite

5 找矿效果对比

自然重砂找矿方法是从矿物学的角度来寻找相应矿床的母源,地球化学找矿方法是通过研究对应或相关元素的富集程度来寻找矿床的,二者从不同侧面反映、揭示了地质体在区域上的含矿性。

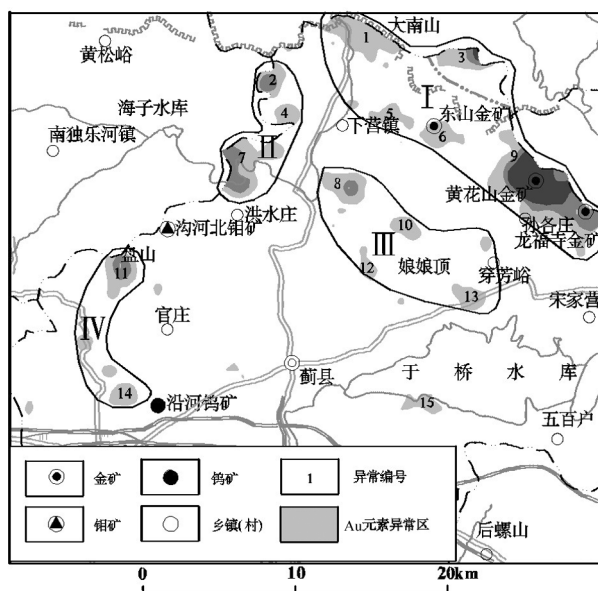


图5 蓟县地区Au元素地球化学异常

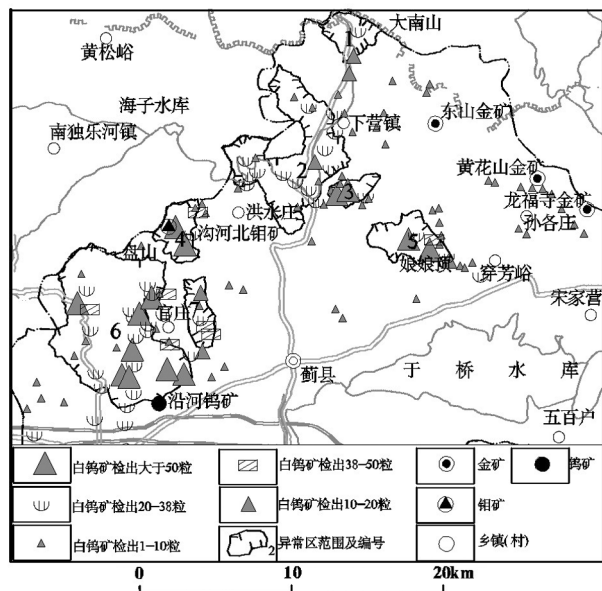
Fig. 5 Geochemical anomaly map of
Au in Jixian County area

图6 白钨矿自然重砂异常(矿物分级)

Fig. 6 Natural heavy mineral anomaly (mineral grading)
diagram of scheelite

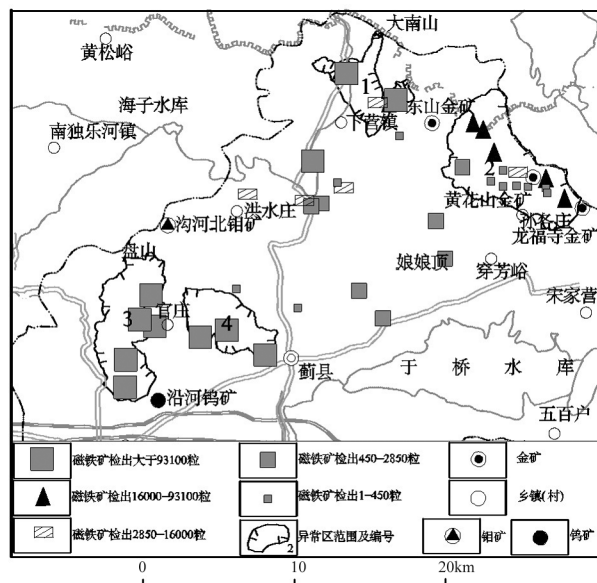


图7 磁铁矿自然重砂异常(矿物分级)

Fig. 7 Natural heavy mineral anomaly (mineral grading) diagram of magnetite

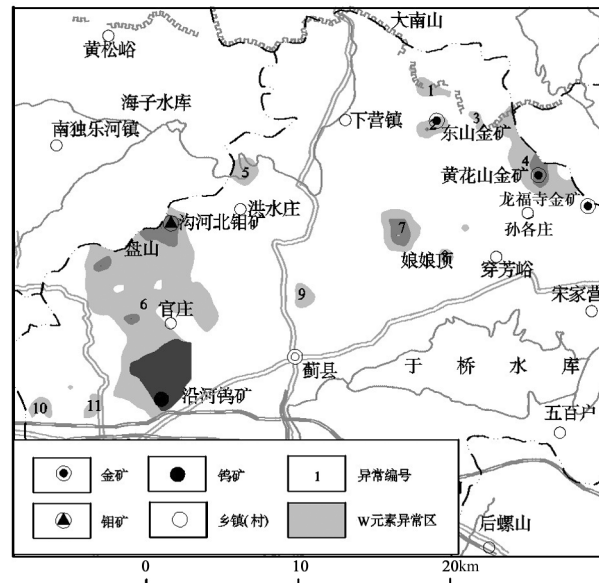


图8 蓟县地区 W 元素地球化学异常

Fig. 8 Geochemical anomaly map of W in Jixian County area

5.1 热液型金矿

自然金 1、3 号自然重砂异常和黄铁矿 2 号、4 号自然重砂异常,与 Au 元素大南山—孙各庄(Ⅰ)地球化学异常空间套合较好。自然重砂异常中的自然金 1 号异常和黄铁矿 2 号异常面积分别为

11.23km²和 9.93km²,出露地层主要为串岭沟组页岩,发育多条北西向展布的辉绿岩脉。自然金最大矿物检出含量为 1 粒,黄铁矿最大矿物检出含量为 30 粒,在异常区现已发现东山金矿点。自然重砂异常中的自然金 3 号异常和黄铁矿 4 号异常面积分别约为 18.25km²和 26.52 km²,出露地层主要为串岭沟组页岩和长城系底部常州组砾岩,自然金最大矿物检出含量为 3 粒,黄铁矿最大矿物检出含量为 30 粒,在异常区现已发现小型黄花山金矿和龙福寺金矿点。因此,该区域是寻找热液型金矿的有利地带。

黄铁矿 1、3 号自然重砂异常与 Au 元素黄崖关—洪水庄北(Ⅱ)地球化学异常区空间套合较好。另外,该区域内自然金自然重砂也检出了 2 粒,但是由于与北京交界,异常区域大部分在北京市界内。

自然金 2 号自然重砂异常和黄铁矿 5 号自然重砂异常,与 Au 元素娘娘顶—穿芳峪(Ⅲ)地球化学异常区空间套合较好,但该区目前是石白岩体硫铁多金属成矿区,不是寻找金矿的最佳区域。

5.2 热液型钨矿和矽卡岩型钼矿

白钨矿 4、6、7 号自然重砂异常和磁铁矿 3、4 号自然重砂异常,与 W 元素的 6 号、Mo 元素的 5 号地

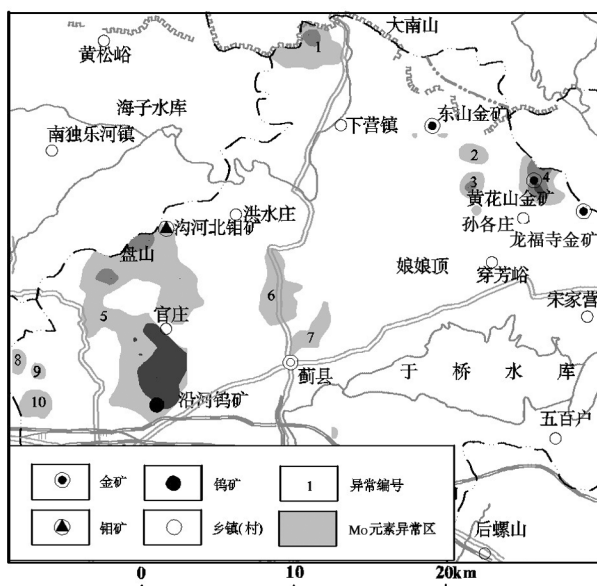


图9 蓟县地区 Mo 元素地球化学异常

Fig. 9 Geochemical anomaly map of Mo in Jixian County area

球化学异常区空间套合较好。自然重砂中的白钨矿 6、7 号异常和磁铁矿 3、4 号异常,位于盘山花岗岩体及其与碳酸盐岩的内外接触带,面积分别为 70.35km²和 49.30km²,异常面积较大,白钨矿和磁铁矿的最大矿物检出含量分别为 4640 粒和 64000 粒,异常南部已发现热液石英脉型沿河钨矿床。白钨矿 4 号异常位于盘山岩体东北部及其外接触带内,面积约 8.03km²,白钨矿最大矿物检出含量达 151 粒,区内现已发现矽卡岩型沟河北钼矿床。该区域是寻找热液型钨矿和矽卡岩型钼矿的有利地带。

白钨矿 5 号自然重砂异常与 W 元素 7 号地球化学异常区空间套和较好,自然重砂中白钨矿 5 号异常位于石臼岩体(娘娘顶)内,面积约 12.01km²,白钨矿最大矿物检出含量达 4640 粒,该区目前是石臼岩体硫铁多金属成矿区。

磁铁矿 2 号自然重砂异常与 W 元素的 1、2、3、4 号,Mo 元素的 2、3、4 号地球化学异常区空间套和较好,区内存在已发现的热液型东山金矿点、黄花山金矿、龙福寺金矿点,目前该区域是寻找热液型金矿的有利地带,不是寻找热液型钨矿和矽卡岩型钼矿的最佳区域。

6 结 论

通过对蓟县地区 20 世纪 60 年代 1:20 万自然重砂数据和 20 世纪 90 年代 1:5 万水系沉积物地球化学测量数据的分析,选取蓟县地区与金、钨、钼矿有关的自然重砂组合矿物数据及地球化学测量数据,研究其区域异常分布特征。研究发现,圈出的自然重砂和地球化学异常能直接指示相应地质体的含矿性。通过对比发现,特定矿物组合的自然重砂异常和区域地球化学异常在某些区域分布上比较吻合,二者均具有找矿指示作用。

目前,随着新的找矿方法和理论的出现,对自然重砂找矿法的重视程度逐渐降低,甚至将其边缘化。本文通过全国矿产资源潜力评价项目平台实践研究认为,传统的自然重砂找矿法在找矿预测及远景区划分方面仍然具有直接的指示作用。

致谢:成文过程中得到中国地质大学(北京)董国臣教授的悉心指导,在此表示感谢。

参考文献

- [1] 侯德义. 矿产勘查学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1997.
 - [2] 阳正熙. 成矿规律与成矿预测[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
 - [3] 罗先熔, 文美兰, 欧阳菲, 等. 勘查地球化学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003.
 - [4] 严向军, 刘勇, 曾明中, 等. 湖北省自然重砂异常圈定及找矿指示意义浅析[J]. 资源环境与工程, 2008, 22(特刊): 19-23.
 - [5] 张大可, 张德生, 陈英富, 等. 矿产资源调查中自然重砂测量成果的重新应用——以河北蔚县地区为例[J]. 中国地质, 2007, 34(4): 723-729.
 - [6] 关玉波. 辽宁省自然重砂矿物的主要特征及分布规律[J]. 地质与资源, 2011, 20(3): 188-193.
 - [7] 贺洋, 徐韬, 文辉, 等. 四川省铁矿物自然重砂异常圈定及其指示意义[J]. 四川地质学报, 2011, 31(4): 424-427.
 - [8] 吴礼彬, 陈芳, 杜建国, 等. 安徽庐枞地区铁矿成矿条件和综合信息标志[J]. 地质通报, 2010, 29(10): 1572-1578.
 - [9] 陈一笠. 试论天津蓟县盘山岩体的侵入时代[J]. 天津地质学会志, 1991, 9(1): 22-26.
 - [10] 陈一笠. 津北阴之气盘山岩体侵位时的大地构造环境[J]. 天津地质学会志, 1993, 11(2): 20-25.
 - [11] 李景朝. 自然重砂资料应用技术要求[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
 - [12] 中国地质调查局发展研究中心. 自然重砂数据库系统(ZSAPS2.0)用户使用手册[S]. 2006.
 - [13] 向运川, 任天祥, 牟绪赞, 等. 化探资料应用技术要求[M]. 北京: 地质出版社, 2010.
- ①天津市地质调查研究院. 天津市矿产资源潜力评价报告. 2011.