

文章编号:1007-3701(2012)04-350-10

证据权法在成矿预测中的应用 ——以湖北通城地区铍矿的成矿预测为例

邓杰¹,李雄伟¹,黄建军¹,张旭¹,胡金旺²,周磊²,吴涛²

(1. 湖北省地质调查院, 武汉 430034; 2. 湖北省第四地质大队, 湖北 咸宁 437100)

摘要:应用证据权法和 MORPAS GIS 技术开展了通城地区铍矿的成矿预测研究。在总结通城地区区域地质背景和预测准则的基础上,通过建立通城地区地质、矿产、物探、化探、遥感等基础空间数据库,综合分析多源数据,运用 MORPAS 矿产资源评价系统提取与铍矿相关的信息,采用证据权法对铍矿有关的证据图层进行系统的分析和处理,编制成矿后验概率等时线图,最后根据高值区圈定了找矿远景区。此次预测工作共选出 15 个证据因子层,对该地区以铍矿为主的稀有金属矿床进行了定量预测,最终圈定了两个远景区。该两处远景区与已知铍矿点具有相似的成矿条件,应在今后的勘探工作中引到足够的重视。

关键词:证据权法;MORPAS;铍矿;成矿预测;幕阜山复式岩体;通城地区

中图分类号:P612,P618.72

文献标识码:A

成矿预测是在科学预测理论的指导下,通过剖析成矿地质条件、深入研究矿化信息、总结成矿规律,进而圈定不同级别预测区或找矿靶区的一项综合性的工作^[1-5]。只有根据已有的工作程度和技术经济发展条件,研究成矿规律,圈定成矿区带,才可能指出目前还没有发现而将来可能或应当发现的矿床,从而提出部署矿产调查工作的建议。成矿预测工作贯穿于地质矿产勘查工作的全过程^[6]。

从地质演化角度来看,矿床是地质历史时期多次地质事件耦合作用而形成的一种特殊产物。由于各种地质事件在时空上的差异性,也就决定了矿床形成的复杂性和特殊性。由于以往各种成矿信息的综合与地质人员的经验有着很大的关系,对于地质、物探、遥感和化探等综合信息的提取分析往往只有少部分从事成矿规律和成矿预测年限较长和经验较丰富的地质工作者才能做到,从而大大的制

约了各种综合信息的使用范围。而 MORPAS 系统可以对地质、物探、化探和遥感数据进行直接的调用和操作,可以提高矿产资源预测的效率和缩短资源评价的周期^[7-9]。由 Agterberg 等和 Bonham-Carter 等提出的证据权重法是基于 MORPAS 矿产资源评价系统的主要方法之一,其主要运用的是相似类比法,即在相似的地质条件下赋存有相似的矿床,将与已知矿床的地质背景相似的地区作为成矿远景区或圈定为找矿靶区^[10]。此法以地质、矿产、物探、化探、遥感等数据资料作为证据图层,以现代地质成矿理论为指导,应用 MORPAS 软件提取与矿产有关的信息,通过统计途径计算各类证据图层所提供的权重,定量地评价各证据图层指示找矿作用的大小,计算成矿后验概率的相对大小,从而确定有利的成矿部位^[11]。

由于研究对象的复杂性,成矿预测作为普查找矿的前期工作,其预测的准确性及可靠性是决定普查找矿效果的重要措施,它也是矿产勘查领域的前沿与热点^[12]。通城地区发育百余处铍矿点,前几年已开展过初步的多金属成矿规律及成矿远景的定

收稿日期:2012-5-25;修回日期:2012-8-03.

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(1212011120821)资助.

作者简介:邓杰(1986—),男,硕士,工程师,E-mail:501794406@qq.com.

晚侏罗世幕阜山复式岩体。此岩体受 NNW 或 NE 向断裂控制,与其西南部的望湘岩体均呈岩基状产出,整体呈 NE 向展布。在研究区范围内该期岩体主体以二云母二长花岗岩广泛分布为特征,表明其形成于表壳泥质沉积物的熔融作用,其可能为区域深部伸展动力学背景下的岩石学记录。此外,发育的黑云母二长花岗岩和花岗闪长岩反映岩浆活动过程中可能存在幔源物质的参与。围岩形成的穹隆构造表明岩体是以底辟式强力侵位的。区内东北角有少量寒武纪-志留纪地层,岩性主要为白云质灰岩、粉砂岩和页岩等,与岩体为侵入接触关系,存在少量矽卡岩化。区内矿产主要为铍矿、萤石矿、大理石矿和稀土矿,其中铍矿化点近百余处,且与锡、钨和其它稀有金属的矿化异常具有较好的伴生关系。

2 MORPAS 系统和证据权法的简介

2.1 MORPAS 系统简介

矿产资源评价的过程就是信息的搜集、整理、处理、成矿信息的提取、综合分析、成矿区带或找矿靶区的确定以及成果表示的过程。MORPAS 资源评价系统包含基础地质数据库与地物化遥综合分析系统两大部分,能够有效实现从数据管理、数据分析处理到资源评价预测等一系列过程。它包括 8 个子系统:地质异常与信息综合、物化探异常分析、遥感图象分析、数据驱动与挖掘、分形滤波与空间主成分、神经网络、数据融合、平剖面图取值、地质图切剖面和钻孔柱状对比图等。这几大模块几乎覆盖了地质类工作常用的处理功能,特别是地质异常与信息综合模块提高了地质资料的量化及各类信息综合处理的程度,促进了找矿预测工作的高效开展^[22]。

2.2 证据权法简介

证据权法是加拿大数学地质学家 Agterberg (1990)^[23]提出的基于二值图像的地学统计方法。其原理是通过一种统计分析模式将与矿产形成相关的各类地学信息作为一系列证据图层进行叠加复合分析从而圈定成矿远景区,其中每个证据因子的权重值表征了其对成矿预测的贡献。这种方法在矿产资源评价中有着广泛的应用。其步骤主要包括三个方面:矿床(点)出现的先验概率的计算;各证据图层权重值的计算及优选;各网格单元后验概率的

计算。通过对所有网格单元进行定量的信息综合并计算每一个单元内出现的后验概率,可以得出各单元后验概率。其代表的是该单元矿床产出的可能性,后验概率的值越大,则其成矿的可能性越大。因此,据后验概率等时线分布的高值区即可以圈定找矿远景区^[22]。

3 湖北通城地区铍矿的成矿预测

3.1 通城地区铍矿主要预测准则

由于本区雨水充沛,植被发育,风化作用强烈,严重的制约了铁染和羟基遥感异常在区内找矿中的应用,但其对于遥感构造的解译具有一定的辅助作用。因此,本次主要选择岩浆岩、构造和水系沉积物多元元素化探异常作为该区铍锡及相关稀有金属矿床预测的主要依据。根据世界上铍矿的一般性特点,结合本区中已发现的铍矿点的异常特征,确定出该区铍矿的预测准则。

3.1.1 岩浆岩

本区铍矿的成矿作用主要与晚侏罗世受太平洋板块向 NW 向俯冲所引起陆内伸展诱发的岩浆作用有关。与我国南方几省的钨、钼、铍共生矿床完全一致,在空间上和成因上有关的母岩是酸性花岗岩。含矿岩浆岩主要具有如下特征:

①时代:主要为晚侏罗世,同位素年代学数据集中于 151 ~ 154 Ma。本次成矿作用属于毛景文等(2011)^[13]和华仁民等(2005)^[24]所总结的与晚侏罗世陆壳重熔花岗岩有关的 W、Sn 和 Nb-Ta 等金属大规模成矿作用。

②规模、形态、产状:成矿岩体多为复式岩体,多期侵入,呈岩基和岩株产出,形态复杂,侵位较深。

③围岩:区内复式岩体的侵入层位主要为中元古代冷家溪群及早古生代地层,为一套类复理石建造及浅海相碳酸盐-碎屑岩建造,当围岩为碳酸盐岩时,可形成矽卡岩化,矿化不明显。热液交代型和伟晶岩型铍矿主要出露于二云母二长花岗岩中,次为白云母二长花岗岩,在花岗闪长岩和黑云母二长花岗岩中少有出露。

④岩石组合:区内花岗岩类具有从中性向酸性分异的演化特征,岩石类型有花岗闪长岩、黑云母二长花岗岩、二云母二长花岗岩和白云母二长花岗岩等。与稀有金属矿床有关的花岗质岩浆往往被认

为源于地壳本身,而且经历过多阶段分异演化作用,由不相容元素(稀有金属元素)和挥发组分在最终阶段的小岩体聚集并成矿^[25-26]。在本区内岩体演化和矿化也显示了相同的特征。从形成时代由早到晚,由花岗闪长岩到白云母二长花岗岩,黑云母的含量逐渐减少,白云母和石英的含量逐渐增加,斜长石的基性成分逐渐减少,含 U、Th、Zr、Hf、Ti 的矿物逐渐减少,而含 Be、Li 的矿物逐渐增加;同成分的花岗伟晶岩与相对应的花岗岩变化一致。铍矿化多发育于二云母二长花岗岩或白云母二长花岗岩及穿插于该岩体中的伟晶岩脉。

⑤蚀变和矿化特征。通城地区铍矿基本可分为两类:一类为分异期生成,产于伟晶岩脉中心部位,呈自形晶镶嵌于未经交代的微斜长石和石英中;另一类为交代期生成,此期生成的绿柱石或铈钽铁矿,晶体较小,呈自形晶产于交代带中。区内分异期伟晶岩型铍矿具有相似的分带特征,属白云母-微斜长石型。由中心向外依次为块状石英带、块状微斜长石带、中粗粒伟晶岩、准文象伟晶岩、文象伟晶岩和二云母二长花岗岩,其中稀有金属矿物主要产于块状石英

带和微斜长石带的接触带,靠近块状石英带区域含量往往较高,绿柱石直径可达 10 cm(图 2)。

在半封闭条件下,熔浆充填裂隙依次结晶形成带状伟晶岩,随着系统的开放,富含挥发分及稀有金属元素的热液由花岗岩或深部向裂隙或节理移动并汇集,在此过程中,随着矿液不断的交代花岗岩及早期形成的矿物,Al 和 K 元素的逐步增多,F 等酸性元素的逐步减少,使得像 Al、Be 等在中性溶液中不稳定的两性元素大量的以绿柱石、黄玉和云母等形式沉淀,其它稀有元素如钨、锡、钼等也以黑钨矿、锡石和辉钼矿等矿物形式沉淀,从而在中心部位或挤入裂隙形成矿脉^[27]。

本区伟晶岩中稀有元素以铍、铌和钽为主,也有锂、锆、钛等。稀有元素除在造岩矿物中有大量分散外(如铌、钽在云母类中含量较高),大多形成了单独矿物。本区主要铍矿物有绿柱石,锂矿物有锂辉石和锂云母,铌、钽矿物有铌钽铁矿类、锡钽铁矿和钽锡矿等。

根据上述含矿岩浆岩的特征,总结出该区铍锡矿的预测准则为:伟晶岩型铍矿的形成与其赋存的

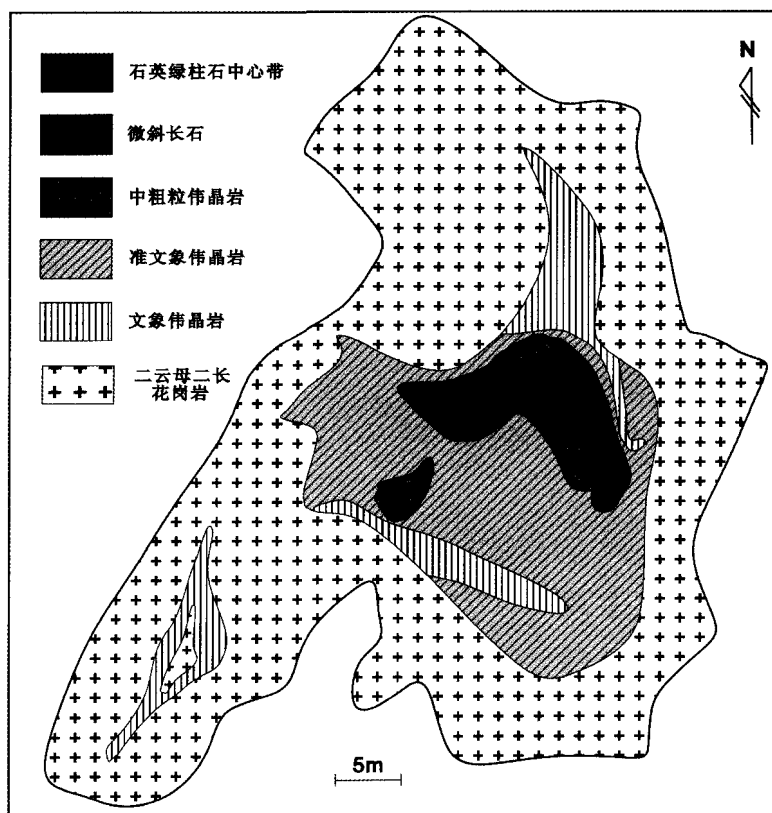


图2 通城黄龙绿柱石矿脉平面图

Fig. 2 Geological plan of Huanglong beryl-bearing vein in Tongcheng area

晚侏罗世晚期二云母二长花岗岩具有密切的成因关系。

3.1.2 构造

由于区域存在多期次构造的叠加,本区内构造形迹复杂,其中加里东运动和燕山运动最为强烈。在晚二叠世—早三叠世及白垩纪区内发育过较强烈的裂谷活动,形成十分醒目的北东向深大断裂,将区域切割成一系列的盆、隆相间的 NE 向构造块体。这些 NE 向深大断裂是导岩、导矿构造,控制着深部岩浆的上升与侵位。不同方向、不同尺度构造的交汇部位,容易成为岩浆及热液系统活动的中心,控制着岩体的最终就位和矿床的形成。此外,晚中生代—新生代的构造对早期构造和形成的矿床具有不同程度的改造作用。

矿脉的分布规律,受矿区局部构造控制。区内发育同源但不同期次侵入的花岗岩体,铍矿化一般与较晚期分异演化的侵入体有关。当此侵入体在岩浆晚期冷凝时会形成一系列原生破裂构造,如横节理、纵节理、层节理、斜节理和边缘逆断层等,为含矿伟晶岩提供了就位空间,也为富含挥发分和稀有元素的热液提供了运移通道,使稀有元素发生再次富集。此外,早期形成的 NNE 向主干断裂旁侧的次级断裂或其与次级断裂的交汇部位、不同方向断裂交汇部位以及不同岩性之间的接触部位均为矿体形成的有利部位。值得一提的是,裂隙空间过大,矿液容易分散;过小则不利于矿液的运输,对成矿均不利;与成矿有利的是规模不大但连通性较好的细脉,既利于运矿又利于储矿。

综上所述,通城地区铍锡矿的构造预测准则为:

①NE 向深大断裂及其附近,相对于浅构造具有更大的影响范围和找矿意义。

②不同方向和不同尺度构造的交汇部位及其周围是找矿的有利部位。

③花岗岩体内部的原生破裂构造。

3.1.3 水系沉积物地球化学

受植被、高差和埋深等条件的影响,不能简单地以水系沉积物中铍或锡的高值区作为找矿方向。本文收集了 1:20 万的水系沉积物化探数据,数据显示与稀有金属成矿有关的 24 种元素和地壳克拉克值比较,其中 Fe、Mg、Ca、Ti、Mn、Nb、La、Y、Mo、P 等元素偏低,而与酸性岩浆活动有关的 Li、Be、B、Si、K、Zr、Sn、W、Bi、Th、U、F 等元素则相对较高。前

者亏损,后者富集,表明通城地区陆壳属于富含酸性岩浆岩年轻陆壳,具有良好的稀有金属成矿专属性。且铍矿相关的元素组合(Be、Li、Sn、Be、U、F)与已知矿点具有较好的套合。因此,本文认为元素组合异常范围基本能够作为找矿信息。铍锡矿的预测准则如下:

①规模与强度:大面积、高强度的成矿元素异常是重要的找矿场所。

②元素组合:元素组合(Be、Li、Sn、Bi、U、F)套合越好,找矿意义就越大。铍、锡和铀作为主要的成矿元素,而锂、氟和铋作为高温热液矿床的伴生元素,两者均出现,则表明可能形成与壳源重熔型花岗岩有关的高温热液矿床。

3.2 基础资料收集和基础数据库的建立

项目在实施过程中收集了大量地质勘查中所积累的地质、矿产、物探、化探和遥感等资料,通过对上述资料进行数字化、数据处理和综合分析,编制了较齐全且内容丰富的图件,并提取了有关信息进行本次找矿预测工作^[1]。

3.3 预测单元的划分

在矿产资源定量预测中,地质单元是将模型与地质多源信息联系的桥梁,也是统计分析的基础^[1]。本次预测采用网格法划分单元。在网格单元划分过程中,主要考虑如下几个方面:①预测成果所要求的比例尺大小;②研究区地质条件复杂的程度及已知矿床(点)的个数;③应满足统计分析所必需的单元数目;④网格单元应覆盖研究区范围。

按经验,最优面积与研究区的总面积和矿点的总数有关。笔者利用通城地区内生铍矿点总数 110 作为预测单元的划分依据,结合实际需要,采用 0.5 km × 0.5 km 的网格单元,将研究区按网格划分为 4422 个基本网格单元。

3.4 成矿信息的提取和综合

建立在 GIS 上的基础地质数据库均是以点、线、面三种形式展现的,为了进行有效的预测和成果的解释,应对其分别赋予相应的属性并提取,如断层以走向不同进行属性赋值和提取,岩浆岩应以不同的岩性代号进行属性赋值和提取等。对分类提取的地质变量应分类命名并存放。

通过 MORPAS 矿产资源评价系统对地质变量的点、线或面实体存在与否,属性值,点实体分布密度,线分布密度,矿点与深大断裂缓冲区范围,地层

或岩浆岩的组合熵值和种类数等进行分析和提取。对已经提取的地质变量有的还需要进行变换或组合,定义新变量,如(1+ 断裂条数)× 岩体种类数。

3.5 成矿标志的优选

由于本次编图资料繁多,如何组织利用这些资料是证据权法圈定预测远景区的关键。因此,笔者首先根据预测需要,将通城地区地质图、地质矿产图、化探成果系列图件、水系重砂成果图、航磁异常解释图、布格重力异常解释图等 在 MAPGIS 系统上根据属性类型分离为成矿标志图层,对于线图层如断裂建立缓冲 区。对这 28 个地质变量进行权重计算(表 1)。

在矿产预测中,所选的地质变量并不是越多越好,通常要进行筛选。笔者的做法是,先计算各地质变量的权重,再将正权重由大到小排列,依次选取

表1 通城地区铍矿证据因子权重
Table 1 Evidence factor weight of Beryllium deposits in Tongcheng area

变量名称	存在权重 (W+)	不存在权重 (W-)	与矿点的相关程度 (C)
岩浆岩组合熵	W+=0.347	W=-0.849	C=1.196
岩浆岩种类数	W+=0.251	W=-34.892	C=35.143
地层组合熵	W+=-1.416	W=0.114	C=-1.53
地层种类数	W+=-0.765	W=-0.22	C=-0.984
岩脉组合熵	W+=1.557	W=-0.011	C=1.568
岩脉种类数	W+=0.337	W=-0.012	C=0.349
NNE 条数	W+=0.439	W=-0.078	C=0.518
NNE 等密度	W+=0.439	W=-0.078	C=0.518
NNE 平均方位	W+=0.443	W=-0.079	C=0.522
NNE 中心对称度	W+=0.225	W=-0.011	C=0.236
NNE 优益度	W+=0.439	W=-0.078	C=0.518
NNE 交点数	W+=-28.036	W=0	C=-28.037
$\eta \gamma \beta J_3^{2b}$	W+=0.254	W=-0.125	C=0.38
$\eta \gamma \beta mJ_3^{3b}$	W+=0.402	W=-0.328	C=0.73
$\eta \gamma \beta mJ_3^{3c}$	W+=0.671	W=-0.348	C=1.019
$\eta \gamma \beta mJ_3^4$	W+=1.088	W=-0.16	C=1.249
Be	W+=0.705	W=-0.298	C=1.003
Bi	W+=0.767	W=-0.291	C=1.058
F	W+=0.708	W=-0.159	C=0.867
Li	W+=0.489	W=-0.182	C=0.67
Sn	W+=0.728	W=-0.303	C=1.031
U	W+=1.013	W=-0.558	C=1.571
航磁	W+=0.437	W=-0.663	C=1.101
重力	W+=0.844	W=-0.7	C=1.543
NNE 缓冲区组合熵	W+=0.74	W=-0.344	C=1.084
NNE 缓冲区种类数	W+=0.415	W=-1.206	C=1.621
(1+断裂条数)*岩体种类数	W+=-0.084	W=-0.645	C=-0.729
(1+断裂条数)*岩体组合熵	W+=-0.035	W=-0.443	C=-0.478

注:项目在填图工作中根据岩体的形成时代早晚、相互穿插关系和岩性组构划分了17个侵入期次,其中 $\eta \gamma J_3^{2b}$ 、 $\eta \gamma J_3^{3b}$ 、 $\eta \gamma J_3^{3c}$ 和 $\eta \gamma J_3^4$ 分别代表中细粒黑云母二长花岗岩、中细粒二云母二长花岗岩、中粒斑状二云母二长花岗岩和细粒二云母二长花岗岩。

正权重值为较大正值且相互之间具有相对独立性的因子,再由专家组确认。通过计算证据权重值进行成矿地质变量的优选,经优选后确定采用岩浆岩组合熵、NNE 条数、 $\eta \gamma J_3^{2b}$ 、 $\eta \gamma J_3^{3b}$ 、 $\eta \gamma J_3^{3c}$ 、 $\eta \gamma J_3^4$ 、航磁、重力、NNE 缓冲区组合熵和 Be、Bi、F、Li、Sn、U 等化探异常等等 15 个地质变量参加计算和预测。

3.6 预测过程与成果

采用矿产资源评价系统 MORPAS 中的证据权法进行定位预测,具体步骤为:①首先打开地质异常与信息综合模块,依次将在 MAPGIS 中所提取的点、线、面等实体添加至预测工程中,并均设置为编辑状态;②根据研究区的范围、比例尺及矿点设置网格单元,由于测区范围不大,本次铍矿预测中采用所有内生铍矿点所设定的 $0.5 \text{ km} \times 0.5 \text{ km}$ 网格单元作为预测的网格单元;③将点、线、面文件均网格化处理,生成一系列地质变量并赋值于各网格单元,与铍矿点进行叠加分析,并将所有地质变量异常区作二值化处理;④选择所用二值化的地质变量,计算其先验概率、证据权重;⑤将正权重值按从大到小的顺序排列,挑选正权重为正值且较大者,重新计算先验和证据权重,当证据权重值均为正数时,转入下一步;⑥证据因子独立性检验;⑦计算后验概率;⑧显示成果:有两种方法,一种是色块图,二是等时线图。本次选择的是后者,目的在于圈出找矿远景区,为后续的找矿工作提供依据和方向。

在 MORPAS 系统中,按照上述流程的分析本次获得了如下认识:①虽然区内绝大部分为花岗岩体,但铍矿点绝大多数分布于 $\eta \gamma J_3^{2b}$ 、 $\eta \gamma J_3^{3b}$ 、 $\eta \gamma J_3^{3c}$ 和 $\eta \gamma J_3^4$ 等四种岩体之中,表示铍矿与其具有较密切的成因关系;②NNE 向断层对铍矿点的总体分布具有一定的控制作用,但矿体的具体就位还与其它构造有关,花岗岩原生破裂构造可能对铍矿的形成有重要影响;③Be、Bi、F、Li、Sn 和 U 等元素异常范围与铍矿具有较好套合,尤其是 U 和 Bi 异常。一般来讲,岩浆分异演化过程中,从早到晚依次形成黑云母二长花岗岩、二云母二长花岗岩和白云母二长花岗岩,其伴随着稀有元素地球化学的演化,依次发生 U、Th、TR、Zr、Hf、Ti、Nb、Ta、Be、Li、Rb、Cs 等元素的矿化,黑云母二长花岗岩中以 U、Th、TR、Zr、Hf、Ti、Nb 的矿化为主,白云母二长花岗

岩则以 Be、Li、Rb、Cs 的矿化为主,其中二云母二长花岗岩在稀有元素矿化方面介于二者之间,为一种过渡类型^[28]。这也就更说明了本区矿化主要与二云母二长花岗岩有关,在此岩体中除找寻绿柱石和锂辉石等矿物外,也应注意寻找富含 U、Th、TR、Nb、Ta 等元素矿物;④在本区铍矿化与 F、B 等挥发份具有密切的关系,暗示区内稀有元素可能与这些挥发分形成相应的络合物从而制约着熔体/流体体系的地球化学行为及成矿效应。已有的研究表明 F、H₂O、P、CO₂ 等挥发分,不仅是稀有元素的重要矿化剂,如 F 与稀有金属组成 $[\text{NbF}_6]^-$ 、 $[\text{TaF}_6]^-$ 、 $[\text{BeF}_4]^{2-}$ 、 SnF_4 、 $[\text{WO}_2\text{F}_4]^{2-}$ 、LiF 等络合物^[29],而且能够促进富挥发分熔体快速与母岩浆分离,并能迁移较长距离^[30],充分的萃取花岗岩浆中的成矿元素,从而在花岗结晶体上部富集成矿^[31];⑤通过航磁和重力数据生成的等值线图与矿点进行叠加分析所围定的异常区,对铍矿点的形成具有一定的控制作用,矿化可能与深部构造岩浆活动有关。

根据本次后验概率等值线图所圈定的找矿远景区可知(图 3 和图 4),已发现的铍矿点大部分均落在预测区内,在其内进行加密路线过程中,发现区内伟晶岩脉异常发育,南部预测区北部发现有少量的铌钽铁矿化现象,以及区内有相关单位在预测区进行铀矿的勘探工作,这充分表明证据权重法在本区铍矿及相关稀有金属矿产预测中具有一定的可信度。

4 结论

于 GIS 技术的证据权法对通城地区做了以铍为主的稀有金属成矿远景区预测工作,取得的主要认识如下:

(1) 通城地区铍矿证据权重法成矿银子预测的证据因子为:晚侏罗世晚期侵入的二云母二长花岗岩是本区主要成矿岩体,特别是 $\eta \gamma J_3^{2b}$ 、 $\eta \gamma J_3^{3b}$ 、 $\eta \gamma J_3^{3c}$ 和 $\eta \gamma J_3^4$ 等岩体;区内铍矿点多分布在 NE 向断裂旁侧或其次级断裂附近,岩体的原生构造对矿体的定位具有一定影响;Be、Li、Sn、Bi、U、F 等元素套合较好的地区是重要的找矿场所;铍矿点往往分布于特定范围的重力和航磁异常区;找矿有利部位一般位于单元格内 NNE 向断层条数小于 2 和岩浆岩种类数介于 1-5 的地区。

(2)本次在通城地区圈定了两处铍矿远景预测区。预测区Ⅱ中绝大多数已知铍矿点位于预测区内,表明这些矿点周围仍有较大资源潜力;预测区Ⅰ内目前已知矿点较少,但成矿后验概率较高,该区应在今后的勘探工作中引到足够重视。

(3)在MORPAS平台中采用证据权法对地质、物探、化探等信息综合处理,对岩体和断裂进行了多角度的分析统计,提高资料的利用程度,与常规方法相比,预测工作更为客观高效,并且预测精度更高,是今后矿产预测的重要方向。

参考文献:

- [1] 邓勇,邱瑞山,罗鑫,等.基于证据权重的成矿预测——以广东省钨锡矿的成矿预测为例[J].地质通报,2007,26(9): 1228-1234.
- [2] 沈远超,曾庆栋,刘铁兵,等.隐伏金矿定位预测[J].地质与勘探,2001,37(1): 1-6.
- [3] 朱裕生,李纯杰.成矿地质背景分析[M].北京:地质出版社,1997: 1-143.
- [4] 胡惠民.大比例尺成矿预测方法[M].北京:地质出版社,1995: 1-175.
- [5] 朱裕生,金丕兴,方一平,等.金银矿预测[M].北京:地质出版社,1997: 1-106.
- [6] 叶天竺,朱裕生,夏庆霖,等.固体矿产预测评价方法技术[M].北京:中国大地出版社,2004: 1-351.
- [7] 徐善法,陈建平,叶继华.证据权法在三江北段铜金矿床成矿预测中的应用研究[J].地质与勘探,2006,42(2): 54-59.
- [8] Baham-Carter G F, Agterberg F P, Wright D F. Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential [C] // Agterberg F P, Bonham-Carter G F (Eds.). Statistical Applications in the Earth Science. Geological Survey Canada Paper 89-9, 1989: 171-183.
- [9] Raper J F, D Maguire J. Design models and functionality in GIS [J]. Computers & Geosciences, 1992, 18(4): 387-394.
- [10] 胡旺亮,吕瑞英,高怀忠,等.矿床统计预测方法流程[J].地球科学,1995,20(2): 128-132.
- [11] 游远航,杨建中,胡明,等.找矿信息量法在成矿预测中的应用[J].地质找矿论丛,2006,21(3): 58-62.
- [12] 薛顺荣,肖克炎,丁建华,等.基于GIS技术下思茅-景洪地区铜多金属矿综合信息成矿预测[J].地质学报,2008,82(5): 648-654.
- [13] 毛景文,陈懋弘,袁顺达,郭春丽,等.华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律[J].地质学报,2011,85(5): 636-658.
- [14] 杨明桂,黄水保,楼法生,等.中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用[J].中国地质,2009,36(3): 528-543.
- [15] 毛景文,谢桂青,郭春丽,等.南岭地区大规模钨锡多金属成矿作用:成矿时限及地球动力学背景[J].岩石学报,23(10): 2329-2338.
- [16] 邹慧娟,马昌前,王连训.湘东北幕阜山含绿帘石花岗闪长岩岩浆的上升速率:岩相学和矿物化学证据[J].地质学报,2011,85(3): 366-378.
- [17] 许德如,王力,李鹏春,等.湘东北地区连云山花岗岩的成因及地球动力学暗示[J].岩石学报,2009,25(5): 1056-1078.
- [18] 舒良树,王德滋.北美西部与中国东南部盆岭构造对比研究[J].高校地质学报,2006,12(1): 1-13.
- [19] 柏道远,倪艳军,李送文,等.江南造山带北部早中生代岳阳-赤壁断褶带构造特征及变形机制研究[J].中国地质,2009,36(5): 996-1006.
- [20] 丘元禧,张渝昌,马文璞,等.雪峰山陆内造山带的构造特征与演化[J].高校地质学报,1998,4(4): 432-443.
- [21] 丘元禧,张渝昌,马文璞,等.雪峰山的构造性质与演化:一个陆内造山带的形成与演化模式[M].北京:地质出版社,1999: 1-155.
- [22] 胡鹏,张均,石凯,等.基于MORPAS证据权法的凤太Pb-Zn矿床远景区预测[J].地质找矿论丛,2009,24(3): 205-210.
- [23] Agterberg F P, Bonham-Carter G F, Wright D F. Statistical pattern integration for mineral exploration [C] // Gaal G, Merriam D F. Computer applications in resource estimation prediction and assessment for metals and petroleum. Oxford: Pergamon Press, 1990: 1-21.
- [24] 华仁民,陈培荣,张文兰,等.南岭与中生代花岗岩类有关的成矿作用及其大地构造背景[J].高校地质学报,2005,11(3): 291-304.
- [25] 毛景文,王登红.花岗岩有关稀有金属矿床研究新进展[J].矿床地质,1997,16(2): 189-192.
- [26] Groves D I, Cuney M. Structural, geochemical and ore distribution evidence for the genetic relationship between "ultimate" granitic intrusions and Sn-W mineralization [C] // Pagel M Leroy J. eds. Source, transport and deposition of metals. Balkema, Rotterdam, 1993: 751-754.
- [27] 袁忠信.花岗岩中某些铍、钨矿床形成时矿液运移的方向问题[J].地质论评,1965,23(2): 138-143.
- [28] 郭承基.与花岗岩有关的稀有元素地球元素化学演化的继承发展关系[J].地质科学,1963,3: 109-127.
- [29] Webster J, Thomas R, Fourster H J, et al. Geochemical evolution of halogen-enriched, granite magmas and mineralizing fluids of the Zinnwald tin-tungsten mining district,

- Erzgebirge, Germany [J]. Mineralium Deposita, 2004, 39: 452 – 472.
- [30] Thomas R, Webster J D, Rhede D, et al. The transition from peraluminous to peralkaline granite melts: Evidence from melt inclusions and accessory minerals. Lithos, 2006, 91: 137 – 149.
- [31] 李建康,张德会,王登红,等.富氟花岗岩浆液态不混溶作用及其成岩成矿效应[J].地质论评,2008,54(2): 175 – 184.

Application of the Weight-of-Evidence Method in Metallogenic Prediction——A Case Study of Prospecting of Beryllium Deposits in Tongcheng, Hubei Province

DENG jie¹, LI Xiong-Wei¹, HUANG Jian-Jun¹, ZHANG Xu¹, HU Jin-Wang², Zhou Lei², WU Tao²

(1. Hubei institute of Geological Survey, Wuhan 430034, China;

2. Fourth Geological Team of Hubei Province, Xianning 437100, Hubei, China)

Abstract: The weights-of-evidence method and MORPAS GIS were applied to delineate prospecting targets of beryllium deposits in Tongcheng, Hubei province. Based on summarizing regional geological background and basic forecasting criteria, basic spatial databases of geological, commodity, geophysical, geochemical, and remote sensing in Tongcheng area are established for metallogenic prognosis with GIS technology. Beryllium deposit-related information is extracted by MORPAS mineral resources evaluation system. Systemic analysis and Processing of evidential layers related to beryllium deposits were carried out by the weights-of-evidence method. The contour map of the posterior probability of Beryllium deposits prediction in Tongcheng area is employed to delineate the prospecting area. We select 15 important layers from all data as evidence factors to predict beryllium deposits, and two Metallogenic prospective areas in Tongcheng area are found. Because of the similar metallogenic condition with known mineral deposits, those two prospect targets deserving more and adequate attention in future exploration.

Key words: weight-of-evidence method; MORPAS; beryllium deposits; metallogenic prognosis; Mufushan complex batholith; Tongcheng area, Hubei province