文章编号:1001-8166(2008)08-0848-08

专家证据权重法在矿产评价中的应用*
——以黑龙江省西北部金矿为例

刘世翔[1,2],薛林福[1*],孙丰月[1],丁清峰[1],孙 晶[1]
(1. 吉林大学地球科学学院,吉林 长春 130061;2. 中海石油研究中心,北京 100027)

摘 要:由于黑龙江省西北部地区地质勘探程度低,而且研究区已知矿床(点)数目少,利用统计方法的证据权重法不能应用于该地区。为此,将黑龙江省西北部地区的基础地质、区域成矿规律、金矿床成矿特征等方面取得的认识建立了一个“专家知识库”,并与“证据权重法”结合起来,建立一个基于专家证据权重法的矿产资源定量评价系统。利用该系统对黑龙江省西北部金矿进行预测并取得了很好的效果,为在黑龙江省西北部进一步找矿奠定了基础。

关 键 词:黑龙江省西北部;专家证据权重法;金矿成矿远景预测
中图分类号:P624.6 **文献标志码**:A

1 引 言

证据权重法[1,2]是一种立足于数据的空间位置关系,结合 GIS 技术[3,4]对各种有利成矿因素进行有效综合的预测评价,证据权重法根据权重值的计算方法又分为“数据驱动[5]”和“知识驱动[6]”。数据驱动的证据权重法一般用于勘探程度较高,数据比较丰富的地区。该方法主要是通过研究区域典型矿床的地质找矿特征,利用定量分析方法,统计成矿资源潜力与多因素地质信息的分布规律,根据统计结果进行区域评价。知识驱动的证据权重法用于勘探程度较低,数据比较稀少的地区。该方法是在分析和研究矿床模型的基础上,通过综合区域地质勘查资料,研究区域矿床成矿规律,建立区域找矿模型,在该模型的指导下利用数据统计模型完成区域矿产资源评价。在黑龙江省西北部笔者曾采用数据驱动的证据权重法进行过该区域矿产资源评价工作[7],但在长期的实际工作中发现其计算的后验概率结果和该区的总体成矿潜力实际情况不太相符,经研究后认为主要原因是该区地质研究程度低,已知矿床(点)数少,并且研究程度也不均一等因素。由此可见,在研究程度比较低的地区,应用数据驱动的证据权重法进行成矿远景区的评价时,仅靠为数不多的矿床(点)不能完全体现出该区矿床的成矿规律,而必须综合研究该区的基础地质和区域成矿规律,建立完备的区域成矿模型和找矿模型,最终才能取得较好的效果。

因此,笔者采用知识驱动的证据权重法,将黑龙江省西北部的基础地质、区域成矿和典型矿床的综合研究结果作为一个专家知识库,并与证据权重法结合起来,建立了一个基于专家证据权重法的矿产资源定量预测评价系统,以此进行研究区矿产资源预测和评价。本文应用该系统对黑龙江省西北部地区金矿进行了矿产资源的预测和评价工作,并获得了很好的效果。

2 区域地质概况

研究区位于黑龙江省北部地区,北以黑龙江为

* 收稿日期:2008-03-10;修回日期:2008-06-05.
作者简介:刘世翔(1978-),男,河北冀县人,博士研究生,主要从事地理信息系统与矿产评价方面的研究.
E-mail: lsx@email.jlu.edu.cn
* 通讯作者:薛林福(1962-),男,河北滦南人,教授,博士生导师,主要从事地理信息系统及地学软件研究.
E-mail:xuelinfu2001@yahoo.com.cn

界,与俄罗斯相邻,南至翠岗镇,东至塔丰,西至大桥头。研究区范围为 123° ~125°E,52°00′ ~53°20′N,面积约为 21 560 km^2。

研究区处于西伯利亚板块南缘,额尔古纳地块、兴蒙造山带和上黑龙江坳陷的接合部位。该区主要发育了古元古代兴华渡口群和中生界。其中古元古代兴华渡口群由片岩、片麻岩、斜长角闪岩、变粒岩、混合岩组成。下中侏罗统绣峰组、中侏罗统二十二站组和漠河组为一套陆相砾岩、砂岩、粉砂岩及泥岩等组成的陆源湖、沼相碎屑岩沉积建造。中生代火山岩上侏罗统下白垩世统从下至上可分为塔木兰沟组、白音高老组、光华组和甘河组,为一套基性、中酸性为主的火山熔岩、火山碎屑岩。

区内发育断裂和环形构造。断裂有东西向、北东向、北北东向、北西向四大组[8];环形构造包括火山机构和侵入穹隆构造。区内北东向和东西向断裂的规模较大,演化时间长,对火山活动、构造变形和成矿作用等起着重要控制作用,是黑龙江北部地区金矿成矿带得以形成的重要因素。

由于中生代陆相碎屑岩的覆盖,区内出露的侵入岩较少,多数呈小岩株状产出,主要为燕山期花岗岩类。主要岩石类型为正长花岗岩和花岗闪长岩,以及少量花岗闪长斑岩和花岗斑岩。

区内矿产资源丰富,以金、铜、铅、锌等矿床为主。其中金矿主要赋存于中侏罗统二十二站组和下白垩统甘河组砂岩、粉砂岩中,在辉绿岩脉和英安岩脉中也有一定量矿体产出。围岩蚀变主要为硅化、黄铁矿化。矿体主要赋存于北西向、北东向和东西向张性和张扭性断裂中。

3　专家证据权重法的研究

3.1　建立专家证据权重法的必要性

由于黑龙江省西北部地区矿产地质研究程度很低,已知矿床(点)数少,且研究程度也不均一,故应用以往的数据驱动的证据权重模型进行矿产资源评价很难获得预期的效果。因此我们将黑龙江省西北部的基础地质、区域成矿和典型矿床的综合研究结果作为一个专家知识库、并与证据权重法结合起来,建立了一个基于专家证据权重法的矿产资源定量预测评价系统,以此进行研究区矿产资源预测和评价。其特点在于对研究区基础地质、区域成矿规律和典型矿床等方面进行详细的研究,以及依据这些研究成果和认识对各证据因子赋权重值,该系统充分体现了地质专家的思想。其优点在于避免了统计证据权重法完全依据数学统计不考虑研究区地质矿产方面的特殊性来进行矿产资源评价的缺点,又可充分利用现有的证据权重的数学统计模型,最终实现对研究程度较低地区快速而有效地进行矿产资源定量预测评价工作。

3.2　专家证据权重法工作流程

(1) 根据研究区的矿床(点)成矿规律结合该区的基础地质资料,进行金矿成矿规律研究,并建立研究区金矿床的成矿模型找出控矿地质因素。把重力、航次和遥感的解译资料以及地球化学资料也作为控矿的证据因子。根据研究区矿床的成矿地质规律,结合地质专家的实地研究从金矿床成矿的控制因素中提取出证据因子。

(2) 专家知识系统根据每个因子对矿床形成所做贡献的大小,分别对每个因子赋予相应的权重值。然后对研究区、单元格面积、虚拟矿床(点)等参数进行设置,据此计算出先验概率。

(3) 根据所设定的各证据因子的权重值和先验概率来计算研究区的后验概率,最终生成矿产远景评价图(图 1)。

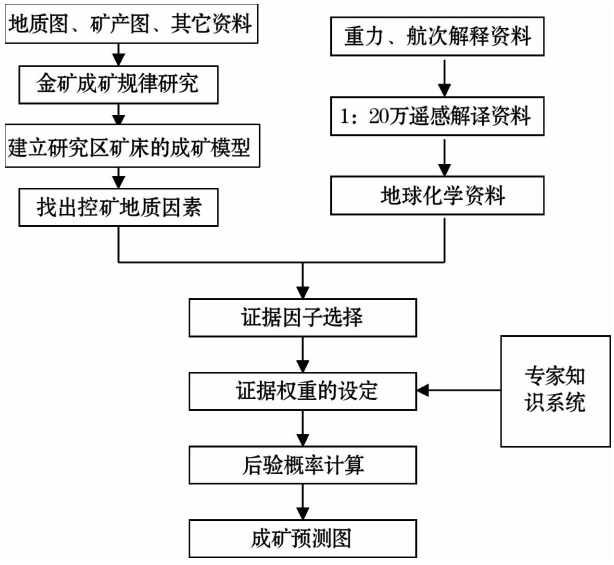


图 1　专家证据权重法的流程图

Fig. 1 Flow chart of expert weights of evidence

3.3　证据因子权重值的设定方法

证据权重法中证据因子正权重与负权重之差 C 值的大小表示该证据因子找矿指示性的好坏,是一个总体检验证据因子与矿床(点)之间空间相关性好坏的数值。当证据因子正负权重的绝对值在 0 ~ 0.5 之间时,具有一般指示性;当其绝对值在 0.5 ~ 1.0 间时,具有中等指示性;当其绝对值在 1 ~2 之

间时,具有强指示性;当其绝对值 >2 时,具有极强指示性[9]。根据这个原则,在应用专家证据权重法时,为证据因子赋正权重值时做如下约定[10]:找矿指示性最好的证据因子设定其正权重值为 2.5 左右;找矿指示性较好的设定其正权重值为 1.5 左右;指示性一般的设定其正权重值为 0.75 左右;指示性较差的设定其正权重值为 0.25 左右。不过,由于正权重只是近似为标准化密度 DN 的自然对数,故实际上最终计算出的各证据因子正权重值只是接近上述约定值。DN 为证据因子中矿床(点)数占总矿床(点)数的百分比与证据因子存在区面积占研究区总面积的百分比之比。

专家证据权重法和数据驱动证据权重法对证据因子权重的计算方法完全不一样,专家证据权重法中的证据因子的权重必须由地质专家根据知识系统来确定。应用专家证据权重法虽然不需要根据已知矿床(点)数作为训练点来统计各证据因子的权重,但同样需要定义虚拟矿床(点)作为训练点来控制各证据因子的权重值,因为各证据因子的权重值不能直接设定,需靠人为控制各证据因子存在区的虚拟矿床(点)数的百分比来定义,其中虚拟矿床(点)或称虚拟训练点并不是实际存在的矿床(点),也没有具体的地理位置,仅供设定证据因子权重用。其设定办法是通过调节各证据因子存在区内虚拟训练点所占百分比来控制该证据因子的正权重,这样,该证据因子不存在区内虚拟训练点所占百分比也就确定了,即其负权重也随即确定。

4 专家证据权重法在黑龙江省西北部金矿床中的应用

4.1 研究区成矿带空间数据库建设

研究区空间数据库的建设是预测评价的基础,它是依照中国地质调查局《全国重要成矿带综合研究项目空间数据库建设工作方法指南》建立的。数据库的内容包括基础地理底图数据库、地质图空间数据库、矿产地数据库、遥感影像数据库、化探数据库和重力数据库等几方面内容,这些数据利用 Mapgis 6.5 集中管理。

4.2 金矿区域找矿模型

笔者将黑龙江省西北部地区的基础地质、区域成矿规律和典型矿床等方面所取得的研究成果归为专家知识库。在此基础上,总结出区域金矿找矿模型(表 1),从中提取出证据因子。

表 1 黑龙江省西北部地区金矿区域找矿模型

Table 1 Gold prospecting model in the northwest of Heilongjiang province

典型矿床	地层标志	岩浆岩标志	构造方向	重力异常	航磁异常	化探异常
马达尔岩金矿床	塔木兰沟组	燕山期花岗岩	NE	高密度体内	正异常	Au
二十二站岩金矿	光华组	燕山期花岗岩	NW	高密度体东侧	正异常	Au
奥拉奇河岩金矿	甘河组	燕山期花岗岩	NE	高密度体内的低密度区	正异常	Au
青松林场岩金矿	兴华渡口片麻岩组	燕山期花岗岩	NE	高密度体内的低密度区	正异常	Au
呼中区西吉诺山金、铜矿	绣峰组	燕山期花岗岩	NW	高密度体内的低密度区	正异常	Au

(1) 控矿地层:研究区内 9 处已知矿床赋矿层位为侏罗系的开库康组和塔木兰沟组,白垩系光华组和甘河组,表明区域成矿作用具有显著的层控性。由于研究区自晚侏罗世到早白垩世为大规模区域伸展断陷成盆时期,伴随大规模基性—酸性火山活动,是热液型矿床的主要成矿时期。研究区的金矿主要就形成于这个时期。

(2) 控矿构造:区内金矿空间分布明显受区域构造格架控制,其中北东向、东西向为贯通盖层与基地的深大断裂,可成为深源含矿热液上升运移的良好导矿通道,当其与北西向构造交汇或当断层构造与褶皱构造轴部交切时,可成为良好的容矿构造。

(3) 研究区内广泛分布的燕山期中—酸性花岗岩体和岩脉与成矿有密切的关系。

(4) 成矿与岩体接触带关系密切,是找矿的重要标志,矿化异常多沿不同时代岩体接触带分布,以中酸性岩体接触带最为突出。当岩体边缘出现沿接触带发育的断裂破碎带和有利含矿层位时,找矿前景良好。

(5) 化探异常:Au 元素地球化学异常对寻找金矿是一种最直接的信息,其异常本身的特征可直接反映异常源(矿体)本身的特征,是成矿预测中的一个重要变量。

(6) 重磁异常:重磁异常本身与矿的关系不是很明确,但金矿的形成、赋存部位却无不受到断裂和岩浆岩的控制,而这些断裂和低密度的岩体都能引

起重磁异常;因此重磁异常也是金矿找矿的一个信息。

4.3　参数设置

研究区面积为 21 560 km^2,本次研究选用 1 km ×1 km 的网格进行计算,虚拟矿床(点)数设置为 100 个,计算出先验概率为 0.0046。

4.4　证据因子的选择、定量化及权重设定

根据上述金矿区域找矿模型,从建立的数据库中提取如下成矿有利证据层:

(1) *已知矿床(点)证据层*。已知矿床(点)的存在是有矿的最直接的指示标志,由于矿床与矿点对矿的指示有一定的影响范围而且范围大小还有所区别,在这里笔者对已知矿床做了 5 km 的缓冲区分析,对矿点做了 3 km 的缓冲区分析,并将该层的正权重值设定为 2.5 左右。

(2) *控矿地层证据层*。研究区共出露 17 类地层,根据已知矿床(点)的统计,矿床(点)与中生界的侏罗系和白垩系的关系非常密切,其中绣峰组、二十二站组、兴华渡口片麻岩组、塔木兰沟组、光华组、甘河组是金矿最重要的控矿地层,故将其正权重值设定为 1.5 左右。漠河组、开库康组、白音高老组、龙江组对金矿也有一定的控制作用,故将其正权重值设定为 0.75 左右。

(3) *控矿构造证据层*。断裂构造对金矿床(点)的形成起着很重要的作用,断裂密集带和交切带是形成矿床必不可少的条件。按照断裂带不同走向,分为近 NE 和 NW 向两组主要断裂带。建立相应的 ArcGIS 数据层作为证据层,研究不同走向的构造带对矿床形成的影响。利用 ArcGIS 的缓冲分析功能,对断裂进行缓冲分析,缓冲半径间隔 1 km,计算各缓冲半径的 C 值,取 C 值最大时的半径为最佳半径[11],缓冲半径为 2 km 时 C 值最大为 1.591,故选择缓冲半径为 2 km 的断裂影响带作为有利证据层,其正权重值设定为 0.75 左右。

(4) *控矿岩浆岩证据层*。由于该区控矿岩浆岩主要是燕山期中酸性侵入岩,考虑到中酸性侵入岩的热液活动有一定影响范围,故需对它进行缓冲分析,最大的 C(1.0014)缓冲半径为 1 km,因此选缓冲半径 1 km 作为控矿岩浆岩的影响区域,其正权重值设定为 1.5 左右。

(5) *遥感信息提取*。遥感数据库中的数据资料来自 Landsat 7 卫星的 ETM + 影像,图像波段组合采用 TM752(RGB)进行假彩色合成,在 ERDAS 上,合成研究区及邻近地区 ETM + 假彩色合成影像,对图像进行了几何校正、数据融合和镶嵌等处理。矿床遥感影像模式是矿床的主要控矿因素特征在遥感影像信息方面的综合反映[12]。在遥感图像的地质解译中,笔者对隐伏的线、环构造进行了解译,识别出一些地面工作中不易发现或遗漏的断裂构造,有效地弥补了地面地质工作的不足,提高了地面地质工作的精度。从遥感影像解译的线、环构造与原有构造合为一个证据层,如图 2 所示。

(6) *化探异常信息提取*。化探异常作为地表元素富集的表象,对成矿远景区的圈定具有直接指示意义。对化探异常下限的设定,同样采用 C 值最大来进行优选。通过计算当异常值为 0.8 时 C 值最大为 0.9313,故选择此下限的异常作为有利证据层,其正权重值设定为 1.5 左右。

(7) *物探信息提取*。金矿的赋存部位受断裂构造和岩浆岩的控制,而这些断裂构造和中低磁性与低密度的岩体都能引起重磁异常[13],因此重磁异常是金矿找矿的间接信息。

区内热液型金矿床大部分落在线性重力异常带内或其附近,如图 3 所示。根据重力异常等值线图,按 $10\times10^{-5}m/s^2$ 为间隔计算各重力等值线为阈值的异常区与矿相关程度 C 值,结果显示当等值线为 $-40\times10^{-5}m/s^2$ 时,C 值获得最大值,故用提取等值线作为有利的证据图层,其正权重值设定为 0.25 左右。

由于航磁正异常与矿关系密切(图 4)。故从研究区的航磁数据库中将航磁异常上延 1 km 得到航磁异常等值线图,并从中提取出异常区作为一个证据因子。另外,根据航磁异常等值线图,按 100 nT 为间隔计算各航磁等值线为阈值的异常区与矿相关程度 C 值,结果显示当等值线为 500 nT 时,C 值具有最大值,故用此等值线为阈值,生成重力异常二值图像并转换成网格(grid)格式,其正权重值设定为 0.25 左右。

最终得到各证据因子权重计算结果如表 2 所示。

4.5　后验概率计算

根据表 2 中各证据因子的权重值,计算研究区金矿的后验概率,其结果如图 5 所示。进过研究后验概率结果表明,专家证据权重法所得到的后验概率分布情况更符合研究区的总体成矿模型。金矿成矿概率高的区域主要集中在长缨站—凤水山成矿带和笔架山—二十一站成矿带。

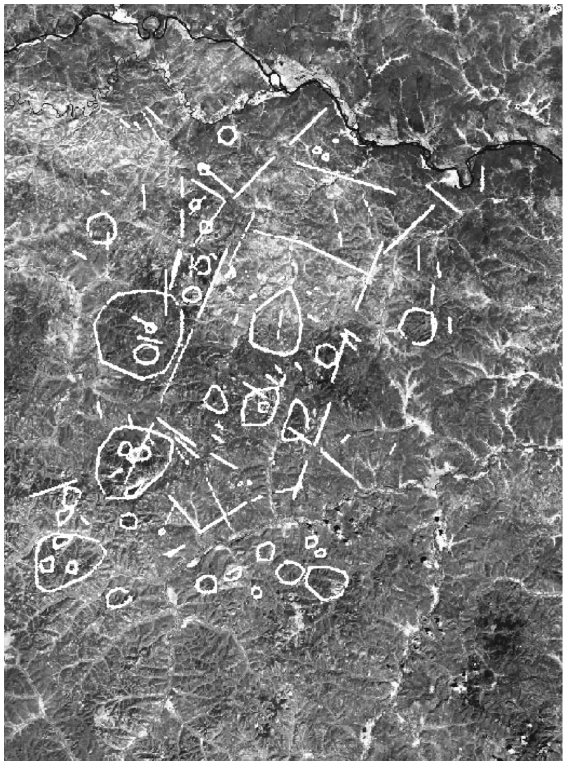


图 2 黑龙江省西北部地区遥感解译图

Fig. 2 Remote sensing in the northwest of Heilongjiang province

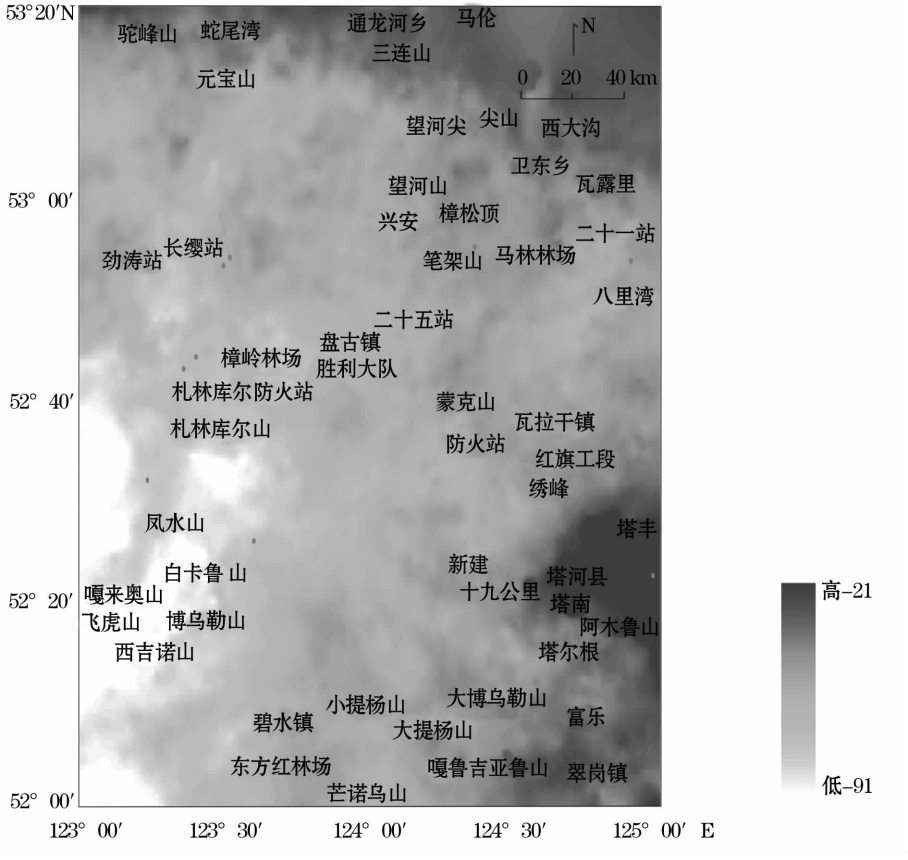


图 3 黑龙江省西北部地区重力异常图

Fig. 3 Gravity anomaly in the northwest of Heilongjiang province

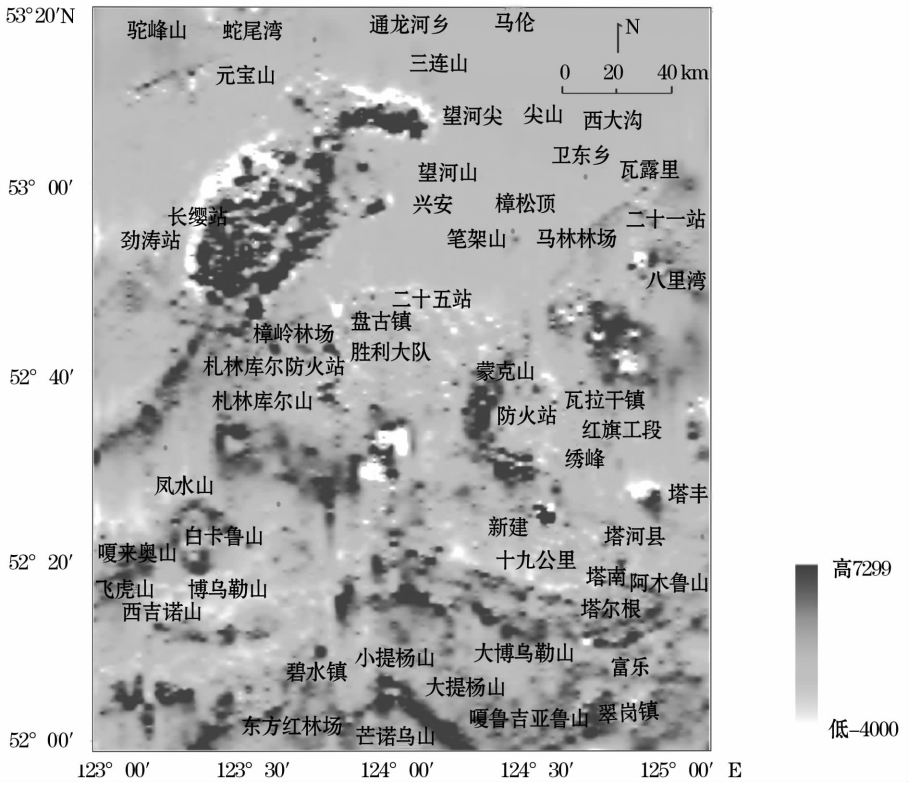


图 4　黑龙江省西北部地区航磁异常图

Fig. 4　Aeromagnetic anomaly in the northwest of Heilongjiang province

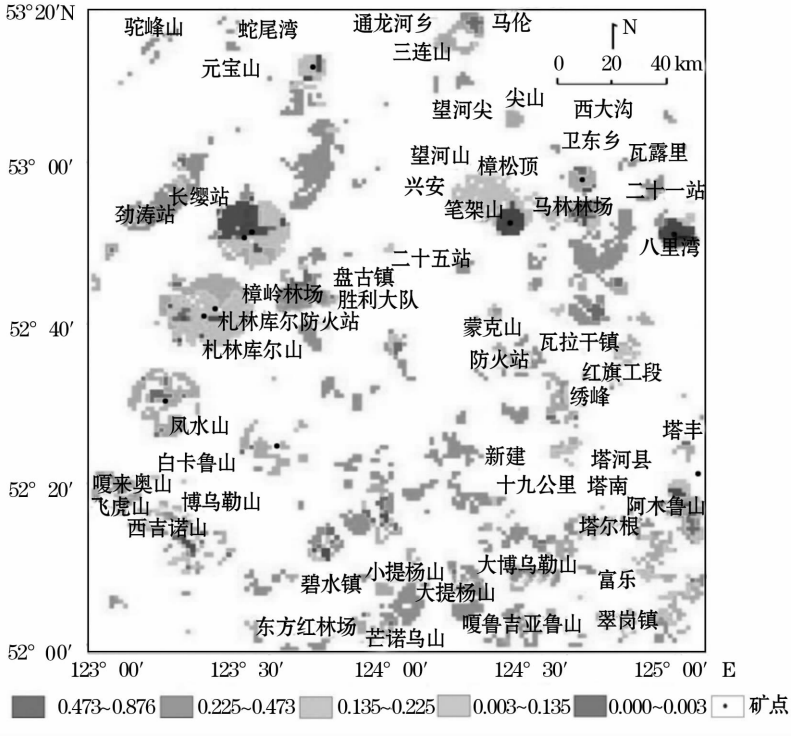


图 5　黑龙江省西北部地区金矿后验概率图

Fig. 5　Posterior probability of gold deposits in the northwest of Heilongjiang province

表 2 黑龙江省西北部地区证据因子权重表

Table 2 Weights of evidential factor in the northwest of Heilongjiang province

证据因子	正权重 W^+	负权重 W^-	相关系数 C	可信度
已知矿床(点)	2.5085	-0.8662	3.3747	12.2863
绣峰组	1.5179	-0.3007	1.8186	4.5628
二十二站组	1.5755	-0.0845	1.6600	4.8333
兴华渡口片麻岩组	1.5374	-0.0660	1.6034	4.6926
塔木兰沟组	1.5090	-0.6304	2.1394	4.5224
光华组	1.4994	-1.0039	2.5033	4.4789
甘河组	1.5080	-0.2880	1.796	4.5179
漠河组	0.7699	-0.0456	0.8155	2.1595
开库康组	0.8031	-0.0469	0.8500	2.2325
白音高老组	0.7713	-0.0773	0.8486	2.1626
龙江组	0.6548	-0.0098	0.6646	1.9247
控矿构造	0.7474	-0.8851	1.6325	2.1116
燕山期中酸性侵入岩	1.5068	-0.7089	2.2175	4.5121
金地球化探异常	1.5161	-0.1483	1.6644	4.5546
布格重力异常	0.2894	-0.0077	0.2971	1.3356
航磁异常	0.3015	-0.0194	0.3209	1.3519

4.6 专家证据权重法应用结果及评价

根据专家证据权重法计算得到的后验概率结果分析表明:①已知矿点基本落入后验概率出现的高值区域,说明预测结果对已知条件没有出现漏判;②预测成矿远景区分布走向基本与区域内的控矿构造、岩浆岩分布一致,成矿作用明显受 NE 和 NW 向的断裂控制,预测好的区域基本都在 NE 和 NW 向断裂的交汇处,出露地层均为研究区内有利含矿地层,表现出成矿受岩浆活动和层位以及断裂的控制,这与区域内已知金矿床特征相吻合;③除了覆盖已知矿床(点)的区域外还有几个高概率预测区尚未发现金矿床(点),这几个高概率区域是三连山东北部、马林林场、阿木鲁山一带、西吉诺山东南部以及碧水镇东北部。研究分析表明,这些地区都位于较大断裂带的交汇带上和大型出露岩体附近,并与已知矿床(点)具有相似的成矿条件,所以这一带尚未发现矿床(点)的预测区应该在下一步找矿勘探工作中引起足够的重视。

5 结 论

(1) 由于研究区的地质研究程度低,已知矿床(点)数目少,数据驱动的证据权重法不适宜用于该地区。而基于专家知识的证据权重法,它不需要实际矿点,只需要专家知识系统根据每个因子对矿床形成所做贡献的大小,分别对每个因子赋予相应的权重值,依此来预测成矿远景区。

(2) 通过研究该区金矿找矿标志,建立了金矿区域找矿模型。本区成矿主要在中生代,其中晚侏罗系和早白垩系是主要的含矿地层;北东向、东西向断裂是本区的主要导矿构造,而与其相交北西向断裂则可能是本区的主要成矿场所;燕山期中—酸性花岗岩体是本区的主要成矿岩体,而成矿往往在岩体的接触带上;通过遥感图像对隐伏的线、环构造进行解译,认为区内金矿(点)主要分布在线、环构造密集区和交叉部位;重磁异常对断裂和低密度的岩体的识别,对找矿也起到一定的指示意义。

(3) 已知金矿床(点)大都落入了后验概率的高概率预测远景区,说明该方法对金矿床(点)的预测没有漏判。在三连山东北部、马林林场、阿木鲁山一带、西吉诺山东南部以及碧水镇东北部,目前还未发现金矿床(点)。分析表明,高概率区域与该区的成矿地质条件所反映出的找矿前景大小基本一致,证实了该方法的合理性和可靠性,对于该区的进一步找矿具有一定的指导意义。

参考文献(References):

[1] Agterberg F P. Computer programs for mineral exploration[J]. *Science*, 1989, 245:76-81.

[2] Bonham-Carter G F, Agterberg F P, Wright D F. Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia[J]. *Photogrammetry and Remote Sensing*, 1988, 54:1 585-1 592.

[3] Xiang Yunchuan, Ren Tianxiang, Yang Zhuxi. The development and utilization of Geophysical Information System(GIS) and the integrated analysis of geosciences information for the prognosis of ore resources[J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 1996, 20(1): 1-13.[向运川,任天祥,杨竹溪. 开发利用地理信息系统(GIS)综合分析地学信息进行矿产预测[J]. 物探与化探,

1996,20(1): 1-13.]

[4] Gong Xiaoping, Wang Shicheng, Yang Xingke, *et al.* Discussion on problems about the geological mineral forecasting information[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2005, 20(1): 66-69. [弓小平,王世称,杨兴科,等. 地质矿产预测信息化相关问题的探讨[J]. 地质找矿论丛,2005,20(1): 66-69.]

[5] Agterberg F P, Bonham-Carter G F, Wright D F. Statistical pattern integration for mineral exploration[C]// Computer Application for mineral Exploration in Resource Exploration and Assessment for Minerals and Petroleum. Oxford: Pergamon, 1990: 1-21.

[6] Ding Qingfeng, Sun Fengyue. Expert evidence method of weighting and its application in the eastern Kunlun mountain[J]. *Geology and Prospecting*, 2005, 41(1): 88-95. [丁清峰,孙丰月. 专家证据权重法及其在东昆仑地区的应用[J]. 地质与勘探,2005, 41(1): 88-95.]

[7] Liu Shixiang, Xue Linfu, Sun Fengyue, *et al.* Application of GIS for gold mineral prediction in the northwest of Heilongjiang region [J]. *Gold*, 2007, 7(28): 7-12. [刘世翔,薛林福,孙丰月,等. 地理信息系统在黑龙江西北部金矿成矿预测中的应用[J]. 黄金,2007,7(28): 7-12.]

[8] Zhang Shun, Lin Chunming, Wu Chaodong, *et al.* Tectonic characteristics and basin evolution of the Mohe basin, Heilongjiang province[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2003, 9(3): 411-419. [张顺,林春明,吴朝东,等. 黑龙江漠河盆地构造特征与成盆演化[J]. 高校地质学报,2003,9(3): 411-419.]

[9] Kemp L D, Bonham-Carter G F, Raines G L. Arc-WofE: Arc View Extension for Weights of Evidence Mapping[EB/OL]. http://gis.nrcan.gc.ca/software/arcview/wofe, 1999.

[10] Ding Qingfeng, Sun Fengyue. Delineation and assessment of deposit prospect based on expert weights of evidence: An example from gold deposits in eastern Kunlun mountain area[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2006, 25(1): 41-46. [丁清峰,孙丰月. 基于专家证据权重法的成矿远景区划与评价——以东昆仑地区金矿为例[J]. 地质科技情报,2006,25(1): 41-46.]

[11] Carranza E G M, Hale M. Where are porphyry copper deposits spatially localized? A case study in Benguet province, Philippines [J]. *Natural Resources Research*, 2002, 11(1): 45-59.

[12] Luo Fusheng, Cui Zhenkui, Xu Shuang, *et al.* Application of remote sensing imagery model for gold deposit and "evidence-right-weight" method in gold deposit prediction[J]. *Remote Sensing for Land & Resource*, 1994, (4): 23-29. [罗富生,崔振奎,徐双,等. 金矿床遥感影像模式及证据权重法在找矿预测中的应用[J]. 国土资源遥感,1994,(4): 23-29.]

[13] Yang Maosen, Li Qinghua, Zhang Shuzhen. The application of GIS in gold mine forecast of eastern Shandong[J]. *Journal of Shandong Normal University* (*Natural Science*), 2005, 20(3): 52-55. [杨茂森,黎清华,张淑珍. GIS 技术在山东胶东地区金矿预测中的应用[J]. 山东师范大学学报:自然科学版,2005, 20(3): 52-55.]

The Application of Expert Weight of Evidence to Mineral Recourses Evaluation: Taking Gold Deposits in the Northwest of Heilongjiang Province for Example

LIU Shixiang[1,2], XUE Linfu[1], SUN Fengyue[1], DING Qingfeng[1], SUN Jing[1]

(1. *College of Earth Sciences*, *Jilin University*, *Changchun* 130061, *China*;
2. *CNOOC Research Center*, *Beijing* 100027, *China*)

Abstract: As a result of the low level of geological prospecting and the few sites of known mineral deposits in the northwest of Heilongjiang province, weight evidence method which is based on statistics is not suitable for this area. Therefore, Whith combined weight evidence method with an "expert knowledge system" which is built on the basis of knowledge achieved in basic geology, regular of regional mineralization and characteristics of gold mineralization, we establish a mineral resources quantitative evaluation system of mineral resouces based on expert weight evidence method. Applying this system to evaluate gold mineral in the northwest of Heilongjiang achieves good results and lays a foundation to further look for minerals in this area.

Key words: Northwest of Heilongjiang; Expert weights of evidence; Gold prospecting.