西藏日喀则地区证据权重法金矿远景预测

刘小杨[1,2],方洪宾[2],薛林福[1]

1. 吉林大学地球科学学院,长春 130061
2. 中国国土资源航空物探遥感中心,北京 100083

摘要: 针对青藏高原所处的特殊地理位置及环境特点,利用证据权重法进行了西藏日喀则地区金矿成矿远景预测,进而体现证据权重法在环境条件恶劣地区进行矿产预测的特点。经过对研究区金矿床的区域成矿规律、成矿构造的空间关系进行分析,建立了区域金矿找矿模型,提取了与成矿有关的11个证据因子图层。采用GIS空间分析功能,生成研究区成矿后验概率图,根据后验概率值的范围将预测区成矿可能性分为2个等级,圈定了4个后验概率值0.506~0.933为Ⅰ级成矿远景区、6个后验概率值0.121~0.506为Ⅱ级的成矿远景区。

关键词: 西藏日喀则;证据权重模型;金矿;成矿远景

中图分类号: P618.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5888(2012)Sup.2-0198-07

Gold Prediction Using Method of Weights of Evidence in the Rigaze Area, Tibet

Liu Xiao-yang[1,2], Fang Hong-bin[2], Xue Lin-fu[1]

1. *College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun* 130061, *China*
2. *China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing* 100083, *China*

Abstract: Considering the special geographical position and environmental characteristics of the Qinghai-Tibet Plateau, the method of evidence weight was used to predict the gold metallogenic prospect in the Rigaze area, and it was tested to be effective and practical when used in harsh environmental conditions. Regional gold prospecting model was built through analyzing regional mineralization regularities and spatial relationship of metallogenic structures, and 11 mineralization related evidence factor layers were picked out. The metallogenic posterior probability graph was generated using the spatial analysis function of GIS, and based on metallogenic possibility, the forecasting area is divided into two levels including four level I metallogenic prospective areas with the posterior probability in the range of 0.506-0.933 and six level II metallogenic prospective areas with the posterior probability of 0.121-0.506. It is proved that the method of weight of evidence is easy to operate and fast in modeling with less manual intervention, and therefore lays the foundation for the further prospecting in the Qinghai-Tibet Plateau area.

Key words: Rigaze region of Tibet; weights of evidence; gold deposits; metallogenic prospect

随着西部开发战略的实施,青藏高原丰富的矿产资源将逐步得到开发利用。青藏高原地区的矿产资源十分丰富,其中以金、铜、铅、锌、锑为主的有色金属远景资源储量超过2 000万t[1]。三江成矿带、冈底斯—雅鲁藏布江成矿带、班公—怒江成矿带在全国已知成矿带中占有十分重要的地位,日喀则位

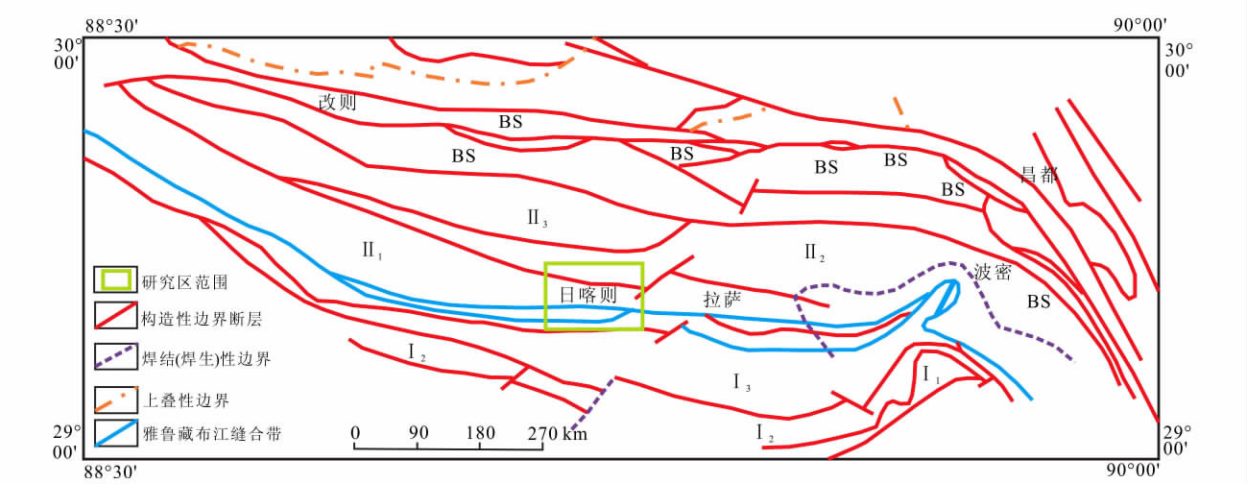
收稿日期: 2012-07-18
基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(1212010781043)
作者简介: 刘小杨(1984-),女,博士研究生,主要从事矿产资源定量研究,E-mail: lxyhoney_73@163.com
通信作者: 方洪宾(1963—),男,教授级高级工程师,博士生导师,主要从事矿产资源定量研究,E-mail: fhb.agrs.cn。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

于冈底斯—雅鲁藏布江成矿带。由于该地区受地理位置及环境所限，地质调查程度极低，除早期开展过 1∶100 万日喀则幅、亚东幅区域地质(矿产)调查，合理建立了测区区域地层系统及对区域成矿地质条件进行了初步探讨外[2]，大部分处在 20 世纪 90 年代的小比例尺地质调查程度，并在这一区域发现 2 条近平行的正磁异常带，具 2 次张裂、2 次缝合特征，及初步推测可能存在古老蛇绿岩地质体[2-4]。因此，该项目在总结前人所做的地质、地球物理和地球化学等工作成果的基础上[5-7]，采用证据权重法对西藏日喀则地区金矿资源进行分析、预测和评价。

1　区域地质背景

日喀则地区位于西藏自治区中南部，雅鲁藏布江中游，地理坐标为: 东经 88°30′—90°00′，北纬 29°00′—30°00′，总面积约为 16 100 km^2，大地构造位置处于东特提斯构造域中段，喜马拉雅板片和冈底斯—念青唐古拉板块衔接部位(图 1)。



Ⅰ. 喜马拉雅板片: Ⅰ$_1$. 小(低)喜马拉雅陆棚壳片，Ⅰ$_2$. 喜马拉雅陆壳片，Ⅰ$_3$. 拉轨刚日陆隆壳片; Ⅱ. 冈底斯—年轻唐古拉板岩: Ⅱ$_1$. 冈底斯陆缘火山－岩浆弧，Ⅱ$_2$. 年轻唐古拉弧背断隆，Ⅱ$_3$. 措勒—纳木错初弧间盆地，Ⅱ$_4$. 班戈—倾多拉退化弧; BS. 班公错—怒江缝合带。

图 1　研究区构造位置图[8]

Fig. 1　Location map of the study area[8]

日喀则地区广泛发育中、新生代地层，局部出露前震旦系和古生界。前震旦系呈孤岛状分布于研究区东北部及东南角，岩石变形强烈，构成研究区的结晶基底，主要包括念青唐古拉岩群和拉轨岗日岩群[2]。古生代地层分布于研究区北部，包括石炭系、二叠系，岩石变质变形较强。中生代地层为海相地层，主要包括三叠系、侏罗系、白垩系。新生代地层为陆相地层。

区内断裂和环形构造发育。断裂主要呈近东西向，其次是北东向、北北东、北西向; 环形构造包括火山岛弧、岩浆岛弧、弧背隆起。区内东西向、北东向断裂规模较大、层次深、活动时间长，对构造沉积、火山活动、岩浆作用和成矿作用等起着重要的控制作用，是日喀则地区金矿成矿带形成的重要控制因素。

区内岩浆岩极为发育，主要分布于区内南部和北部地段，总体呈近东西向、北西向展布，主要为燕山晚期至喜山期的中酸性侵入岩与火山岩。

燕山期侵入岩以中基性、中酸性为主，岩石类型有辉长岩、辉长闪长岩、花岗闪长岩等; 喜山期以中酸性侵入岩为主，后期出现偏碱性花岗岩，岩石类型主要为花岗闪长岩、花岗岩、石英二长岩及碱长花岗岩[3]。火山活动以喜山期为主，岩性为一套中酸性的安山质—流纹质火山熔岩及火山碎屑岩。岩石类型有英安岩、安山岩、流纹岩、流纹质晶屑岩屑凝灰岩、英安质安山质晶屑凝灰岩、英安质火山角砾岩等。区内火山岩具岛弧火山岩特征，为铜多金属矿床的形成提供了物质来源。燕山晚期中酸性岩浆岩与金矿关系密切。

岩石蚀变类型主要有钠长石化、硅化、黄铁矿化、绢云母化和绿泥石化等，其中硅化、黄铁矿化与金矿化关系密切。硅化范围与金矿化范围呈正相关关系。黄铁矿化具多期次特点，主要集中在断层破

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

碎带中或钠长斑岩脉与地层接触处及石英脉中,黄铁矿化地段往往是金矿化地段。

2 金矿控矿因素

区内贵金属矿产地9处,其中:岩金矿(化)点为形下岩金矿点和冲江金矿点2处,砂金矿点7处。成因类型:岩金为构造蚀变热液型、石英脉型。已知岩金矿床(点)特征如表1所示。

2.1 控矿地层

已知金矿点资料表明,金矿控矿地层有宋热岩组及仁布蛇绿岩岩片带。宋热岩组岩性主要为千枚状板岩夹砂质板岩、千枚岩、变砂岩及中基性火山岩组成的一套浅变质岩系。仁布蛇绿岩岩片带主要由蛇纹岩、蛇纹石化斜辉辉橄岩组成。

表1 西藏日喀则地区金矿找矿模型

Table 1 Gold deposit prospecting model in Rigaze region of Tibet

矿(床)点名称	地层	构造	岩浆岩	航磁异常	化探异常	成因类型
形下岩金矿点	宋热岩组	NW断裂	钠长斑岩	正异常	Au	热液型
冲江金矿点	设兴组	EW断裂	花岗闪长岩和石英脉	正异常	Au	石英脉型

2.2 控矿岩体与岩脉

控矿岩脉主要为钠长斑岩,多顺层侵入于地层中,一般宽0.5~8 m。钠长斑岩脉中有较多的地层捕虏体,多呈长条状,条带状,成矿与岩体接触带关系密切,是重要找矿标志。

石英脉分布广泛,普遍含金,质量分数为$(0.001\ 2 \sim 4.62) \times 10^{-6}$,与钠长斑岩密切相关,呈单脉状、网格状,主要分布于钠长斑岩中,其次产于断层破碎带中。石英脉的矿物组成以石英为主,质量分数95%以上,其次含少量方解石,黄铁矿。区内石英脉近40条,主要呈北西—南东向展布,倾向北东向,少数南北向、东西向、北北东—南南西向,属岩浆期后产物。与金矿化有关的石英脉多呈浅肉红色,他形细粒、微粒结构,块状构造。

2.3 控矿构造

区内构造变形强烈,主要控矿及赋矿构造为北东向断裂,其次为北西向及近东西向断裂。大级别断裂的伴生和派生次级断裂利于导矿,构造破碎带或不同方向断裂交汇或复叠部位利于容矿,密集的构造片理、裂隙也是储矿的有利部位。

区内小型张性断裂十分发育,一般长10~100余m不等,其中充填石英细脉,硅化、碳酸盐化和黄铁矿化蚀变强烈,是重要容矿构造。

菱形节理或格子状节理构造也十分发育,特别是在钠长斑岩脉与地层的接触带附近较为密集。北西向早期节理为良好的容矿构造。

3 区域地球物理及地球化学特征

3.1 区域地球物理特征

区内重力场南高北低,重力异常等值线总体呈东西向展布,由于叠加一些局部重力高和低异常,使等值线形态变复杂。谢通门—拉萨一线异常等值线密集分布,呈现蛇曲形重力异常梯度带,推测与断裂构造有关。而规模较大的局部重力异常则与地壳厚度和密度变化相关。

区内航磁异常总体上呈东西向展布,呈南高北低的特点。南部的条带状强磁异常带由东到西规模逐渐增大,推测由中酸性—基性火山岩所引起,北侧磁异常较弱且形态宽缓,反映该区基岩多为无磁性和弱磁性,与碳酸盐岩、碎屑岩等地层相对应,其上部叠加的一些强度不等的局部磁异常与断续分布的花岗岩、火山岩、斑岩及构造有关。

谢通门—南木林一带为中高磁异常和重力异常梯度带,反映出断裂构造极为发育,为铜多金属矿产提供了良好的成矿条件。

3.2 区域地球化学特征

谢通门—南木林地区形成了一近东西向Cu、Mo、Au、Pb、Zn、Ag元素组合异常带。通过资料整理,区内共圈出Au异常11处。异常具有面积大、强度高、浓集中心明显、各元素异常套合较好等特征,异常明显受构造控制,异常多分布在构造活动强烈、多期次岩浆侵入发育的地质环境中,成矿作用以斑岩型铜钼矿化和构造蚀变岩型多金属矿化为主,显示出较好的找矿潜力。

麦热地区为一Cu、Au、Pb、Zn、Ag组合异常,位于谢通门北东约30 km处,总面积约700 km^2。谢通门至查布乡简易公路在异常区西侧通过,交通困难。区内山势较缓,海拔4 500~5 200 m,水系发育。

异常集中区主要由3个北东向串珠状异常组

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

成，异常元素组合为 Cu、Au、Pb、Zn、Ag，各元素异常套合完好，异常分带及浓集中心明显。其中：Ag、Pb、Cd 异常分布范围最大，Cu、Zn、Bi、Au、As、Sb 位于前者浓集中心部位。异常组分复杂，含量高；最高质量分数分别为：Au 8.6×10^{-9}、Cd 1.77×10^{-6}、Ag 510×10^{-9} 和 Pb 144×10^{-6}、Zn 242×10^{-6}、Cu 134×10^{-6}、As 207×10^{-6}、Sb 4.1×10^{-6}、Bi 2.6×10^{-6}（表 2）。Cd 和 As 具有三级浓度分带，Ag、Pb、Zn、Cu、Au、Bi 等具中、外浓度分带（图 2）。

表 2　麦热地区异常特征参数

Table 2　Abnormal characteristic parameter in Maire regions

元素	异常下限	面积/km^2	浓度分带	最高值	平均值	衬度	规模/t	异常点数
Ag	150	248	2	510	335	2.2	546	11
Zn	120	90	2	242	190	1.6	144	6
Cu	60	12	2	134	134	2.2	26	1
Au	4	20	2	8.6	6.9	1.7	34	5
Pb	50	208	2	144	113	2.3	478	8

注：Au、Ag 质量分数单位为 10^{-9}；其余元素质量分数单位为 10^{-6}。

其中一处异常（MAS6）中心位于东经 88°32′40″，北纬 29°31′30″，由 Au、Cu、Pb、Zn、Ag 5 个单元素异常组成，组合面积为 1.45 km^2。各元素异常套合较好，其中，Au、Ag 元素异常具有中外分带明显、浓集中心显著的特点，异常峰值分别为 11.2×10^{-9}、4.29×10^{-6}，为综合异常的主元素异常。

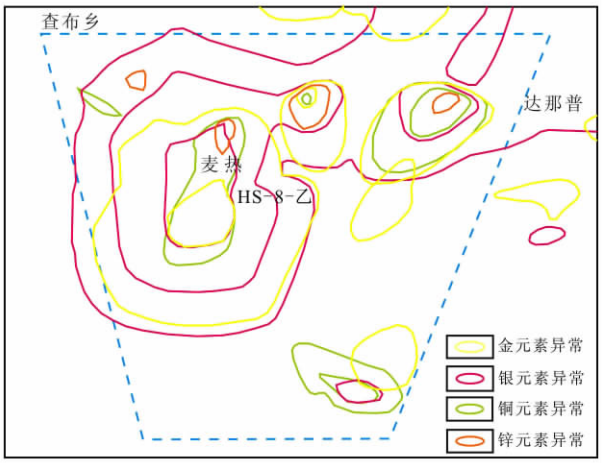


图 2　麦热地区金属矿产综合异常图

Fig. 2　Metal mineral products integrated anomaly map in Maire regions

该组合异常虽然面积较小，但各元素异常强度较大，各元素异常分带和峰值较明显。异常位于古新世黑云母二长花岗岩中，其东侧为第四纪河谷。在野外化探取样过程中发现，此处（MAS6）综合异常区以前武警黄金部队曾在此做过金矿调查工作，在黑云母二长花岗岩裂隙中发现金铜矿化，但未发现工业矿体。

4　证据权重法的应用

4.1　证据权重法

证据权重法早期提出源自医学诊断领域，后由加拿大地质学家 Agterberg 和 Bonham-Carter[9] 对此方法进行了改进及发展，并应用于矿产预测方面。证据权重法采用地学统计分析模式，将与成矿因素有关的地质信息图层进行加权叠加计算，实现成矿远景区的分析与预测。证据权重法基本原理是把每一种成矿信息都看作是成矿预测的一个证据因子，每个证据因子对成矿预测的贡献是由该因子的“权重”来确定的。证据权重法的目的就是要确定这些与已知类型的矿床（点）相关的证据因子的证据权，并计算出研究区内任意空间位置的成矿概率值，并以可视化图形的方式圈定出成矿远景区。

4.2　证据权重法成矿远景预测步骤

经过大量的研究、探索及实验，依据证据权重法基本原理，采用数据源为 MapGIS 格式，利用 Arc-SDM 软件构建权重模型。由于 Arcview 软件扩展功能存在一定的局限性，因此，在对数据处理过程中，所采用的数据格式一律使用 MapGIS 格式，具体操作步骤如下：①用 MapGIS 对矢量化后的地质图进行图层分离，提取与成矿关系密切的图层；②用 MapGIS 将分离出来的图层转换成适用于 Arcview 软件进行数据处理的 shape 文件格式；③以 500 m 为间隔，对断裂构造作 500 ~ 5 000 m 缓冲区分析；④将 shape 格式转换为 MapGIS 格式，赋值、赋属性；⑤提取矿点图层，划分网格单元，生成含矿网格图

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

层;⑥分别将各证据因子层与含矿网格图层相叠加,进行先验概率及权重值(W^+,W^-)计算;⑦根据结果选出合适的证据因子图层,即参与最终后验概率计算的证据因子图层;⑧按后验概率计算结果圈定不同级别的成矿远景预测区[9]。

4.3 证据权重模型的建立

此次开展矿产资源评价工作所使用的软件为基于 Arcview 3.x 软件开发的空间数据分析扩展模块,包括:ArcView Spacial Analyst_1.1、Arc-WofE、Grid Converter 等。将研究区范围转换成能在 Arcview 软件中运行的 grid 格式,研究区总面积约为 16 137 km^2。单元格面积设置为 1 km×1 km,以保证每个单元格内最多只有一个矿床(点)。计算各证据层的成矿相关度及证据权重值(表3)。

4.4 条件独立性检验

利用 Arc-WofE 条件独立性检验功能,对上述所有证据因子矿床(点)是否条件独立进行检验,最后选取 11 个证据因子建立金矿证据权重模型,它们之间关于已知 2 个矿床(点)都是条件独立的,也即通过了基于 χ^2 的条件独立性检验(表4)[10]。

表3 西藏日喀则地区金矿各证据因子权重表

Table 3 Gold evidence weighting factor in Tibet of Rigaze region

证据层	W^+	W^-	相关度	C
始新世花岗岩	2.251 0	-0.639 1	2.890 0	1.441 2
宋热组五岩段	2.922 0	-0.665 9	3.587 9	2.535 5
宋热组四岩段	3.353 1	-0.675 5	4.028 6	2.846 1
始新世闪长岩	2.251 0	-0.639 1	2.890 0	2.042 9
设兴组	2.519 6	-0.652 1	3.171 7	2.241 8
晚白垩世闪长岩	0.926 6	-0.472 6	1.399 2	0.989 3
早白垩世昂仁蛇绿岩	2.063 6	-0.627 5	2.691 1	1.902 4
早白垩世辉长闪长岩	2.609 8	-0.655 7	3.265 5	2.308 1
正断层(缓冲区半径 2.5 km)	2.337 0	-0.643 6	2.980 7	2.106 9
航磁异常(下限 300 nT)	5.411 5	-0.690 9	6.102 4	4.285 3
化探综合异常(下限 $0.971\,817\times10^{-9}$)	5.281 5	-0.690 6	5.972 1	1.197 3

注:W^+ 为证据层存在区权重值;W^- 为证据层不存在区权重值;C 为证据因子层与成矿的相关度。化探综合异常包括银、锌、铜、金、铅5种金属元素累加。

表4 金矿证据因子条件独立性检验结果

Table 4 Gold proof factor conditional independence test results

证据图层	始新世花岗岩	宋热组五岩段	宋热组四岩段	始新世闪长岩	设兴组	晚白垩世闪长岩	早白垩世昂仁蛇绿岩	早白垩世辉长闪长岩	正断层	航磁异常	化探综合异常
始新世花岗岩	1.000	0.403	0.706	0.602	0.857	0.486	0.485	0.576	0.458	0.452	0.466
宋热组五岩段		0.567	0.633	0.342	0.536	0.589	0.560	0.405	0.745	0.567	1.000
宋热组四岩段			0.765	0.765	0.655	0.339	0.689	0.623	0.358	0.505	0.710
始新世闪长岩				0.741	0.498	0.805	0.759	0.304	0.869	0.403	0.203
设兴组					0.598	0.776	0.462	0.524	0.221	0.565	0.285
晚白垩世闪长岩						0.363	0.788	0.856	0.446	0.270	0.564
早白垩世昂仁蛇绿岩							0.506	0.789	0.149	0.577	0.758
早白垩世辉长闪长岩								0.623	0.263	0.586	0.932
正断层(缓冲区半径 2.5 km)									0.500	0.474	0.256
航磁异常(下限 300 nT)										1.000	0.881
化探综合异常(下限 $0.971\,817\times10^{-9}$)											0.348

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

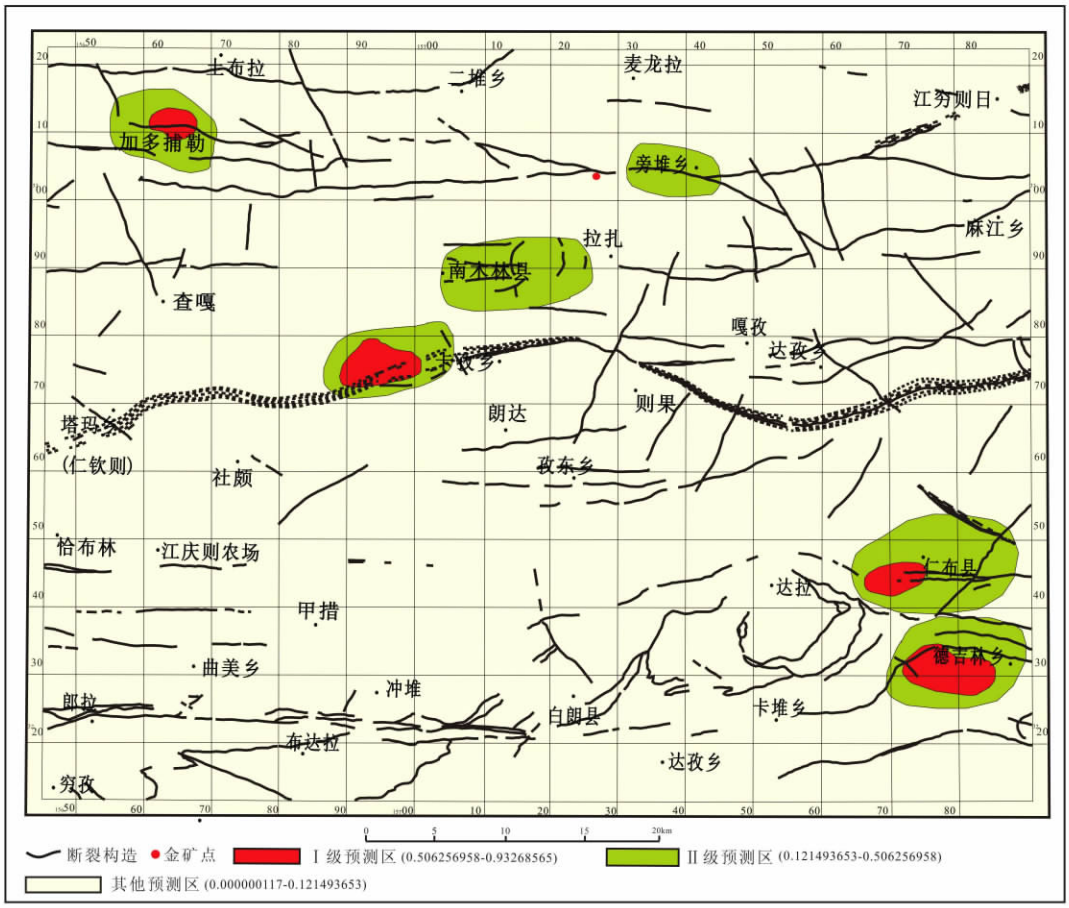


图 3　西藏日喀则地区金矿远景预测图

Fig. 3　Gold deposit prediction map in Rigaze region of Tibet

5　预测结果及评价

将通过条件独立性检验的 11 个证据因子层组建成铜矿预测模型，运用后验概率计算得到金矿远景预测图(图 3) 。把后验概率范围(均保留小数点后 3 位) 0. 506 ~ 0. 933 的预测单元定为 Ⅰ 级远景区; 后验概率范围 0. 121 ~ 0. 506 定为 Ⅱ 级远景区[11-13] 。

对上述预测结果分析可见: ①已知金矿床(点) 全部落入 Ⅰ、Ⅱ 两级远景预测区，说明预测结果对已知条件基本未出现漏判。②预测成矿远景区出露的地层均为研究区内有利含矿地层; Ⅰ、Ⅱ 两级远景预测区基本都在 NW 与 EW 向断裂的交汇处，这与控矿构造条件也是一致的; 航磁、化探等成矿预测特征均基本与远景预测区相吻合[14-15] 。③形下岩金矿点及其外围大面积出露的钠长斑岩为金的母岩，该区段具备大规模的成矿母岩和导矿、容矿构造条件，是金矿找矿远景区，建议进一步开展矿点评价工作。

6　结论

1) 研究区主要控矿、赋矿构造为北东向断裂，控矿地层主要为宋热岩组及仁布蛇绿岩岩片带。矿床成因类型为热液石英脉型。成矿作用主要集中在燕山晚期和喜山期，以喜山期为主。

2) 在对证据权重模型及区域地质综合分析的基础上，确定了 2 处金属多元素的组合异常带，并最终确定金矿远景区分别为仁布热液型 Ⅰ 级金矿远景区和则学—甲措石英脉型 Ⅱ 级金矿远景区，从而对青藏高原地区地质找矿提供指导和辅助决策。

参考文献(References) :

[1]　王旭，周爱国，甘义群，等. 青藏高原矿产资源开发与地质环境保护协调发展的对策探讨 [J] . 干旱区资源与环境，2010(2) : 69-73.
Wang Xu, Zhou Ai-guo, Gan Yi-qun, et al. Study on the

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Harmonize Development of Mineral Resources Exploration and the Geo-Environment Protection Countermeasures in Qinghai-Tibet [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010(2): 69-73.

[2] 夏代详,刘世坤. 西藏自治区岩石地层 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社,1997.
Xia Dai-xiang, Liu Shi-kun. The Tibet Autonomous Region of Rock Stratum [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997.

[3] 西藏自治区地质调查院一分院. 中国人民共和国区域地质调查报告(日喀则市幅 1∶250 000) [R]. 北京: [s. n.], 2002.
Tibet Autonomous Region Institute of Geological Survey Branch. The Regional Geological Survey of China(Rigaze City of Picture 1∶250 000) [R]. Beijing: [s. n.], 2002.

[4] 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社,1993.
Tibet Municipal Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional Geology of Tibet Autonomous Region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993.

[5] 西藏地矿局区域地质调查大队. 西藏板块构造-建造图及说明书 [M]. 北京: 地质出版社,1989.
The Regional Geological Survey of Tibet. Tibet Tectonics-Build Picture and Specifications [M]. Beijing: Geological Publishing House,1989.

[6] 西藏地矿局区域地质调查大队. 西藏自治区岩石地层 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社,1997.
The Regional Geological Survey of Tibet. The Tibet Autonomous Region of Rock Stratum [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press,1997.

[7] 中国地质调查局. 青藏高原区域地质调查理论与方法 [R]. 北京: 中国地质调查局,2000.
China Geological Survey Bureau. The Tibetan Plateau Regional Geological Survey Theory and Method [R]. Beijing: China Geological Survey Bureau, 2000.

[8] Liu Xiao-yang, Fang Hong-bin. Weights of Evidence Method for Copper Prospecting in Rigaze Region [C]// The 2nd International Conference on Information Science and Engineering. Hangzhou: Institute of Electrical and Electronic Engineers Press, 2010: 7114-7117.

[9] Agterberg F P, Bonham-Carter G F, Cheng Q, et al. Weights of Evidence Modeling and Weighted Logistic Regression for Mineral Potential Mapping [C]//Davis J C, Herzfeld U C. Computers in Geology: 25 Years of Progress. Oxford: Oxford University Press, 1993: 13-32.

[10] 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]. 地球科学: 中国地质大学学报,2006,42(2): 232-242.
Xu Shan-fa, Chen Jian-ping, Ye Ji-hua. Weight of Evidence Method in the Sanjiang Copper and Its Application in the Prediction of Earth Science Research [J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2006,42(2): 232-242.

[11] Raper J F, Maguire D J. Design Models and Functionality in GIS [J]. Computers & Geosciences, 1992, 18(4): 387-394.

[12] 刘世翔,薛林福,郝瑞卿,等. 基于 GIS 的证据权重法在黑龙江省西北部金矿成矿预测中的应用 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版,2007,37(5): 889-894.
Liu Shi-xiang, Xue Lin-fu, Qie Rui-qing et al. Based on the GIS Weights of Evidence Method in the Northwest of Heilongjiang Province Gold Metallogenic Prediction [J]. Journal of Jilin University: Earth Sciences, 2007, 37(5): 889-894.

[13] Raines G L. Evaluation of Weights of Evidence to Predict Epithermal-Gold Deposits in the Great Basin of the Western United States [J]. Natural Research, 1999, 8(4): 257-276.

[14] 马冠卿,姚宗贵. 西藏自治区地质 [M]. 北京: 地质出版社,2002.
Ma Guan-qing, Yao Zong-gui. Tibet Autonomous Region Geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002.

[15] Agterberg F P, Bonham Carter G F. Deriving Weights of Evidence from Geosciences Contour Maps for the Prediction of Discrete Events [C]// Proceedings 22nd APCOM Symposium. Berlin: [s. n.] 1990: 381-395.

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net