

# 陕西秦巴地区金矿潜力区预测与评价

邢学文, 陈守余

(中国地质大学 研究生院, 湖北 武汉 430074)

**摘 要:** 在了解秦巴地区地层、构造和侵入岩体等地质背景的基础上, 深入分析了该区已知金矿床的控矿地质因素。以控矿地质因素作为致矿证据层, 应用证据权法对研究区进行成矿预测, 圈定了 7 个金矿远景区并进行了远景评价。

**关键词:** 金矿; 成矿预测; 证据权法; 证据层; 秦巴地区; 陕西省

**中图分类号:** P612; P618. 51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2003) 02-0103-05

## 1 前言

秦岭—巴山地区是陕西的矿产资源宝库, 陕西的矿产资源, 除了能源及部分非金属矿产分布在陕北、渭北以外, 绝大部分都分布在秦巴山区。秦巴山区金矿的成矿条件优越, 已发现 2 个大型矿床、4 个中型矿床、11 个小型矿床和 37 个矿点。

本文在深入了解该地区地质构造背景基础上, 对已知金矿床的控矿地质因素进行了分析和总结, 提取控矿有利证据层, 进行矿产潜力预测。虽然前人对该区开展过程度不同的矿床潜力预测研究, 但矿床的定量化预测方面有待进一步深入。近年来, 随着 GIS 技术在矿产勘查中的应用及相关空间数据库建设的逐步完善, 为区域矿床定量化预测创造了条件。本文将介绍该方面的一些研究成果。

## 2 成矿地质构造背景

秦巴地区地层从太古宇—新生界, 出露齐全, 海陆相兼俱, 太古宇—下元古界主要分布于小秦岭、北秦岭及勉略地区, 其中太华杂岩(Arth)属高级变质区, 由深变质的表壳岩及 TTG 岩系构成, 变质达麻粒岩相, 是秦岭大陆造山带的古陆核, 也是著名的小秦岭金矿的赋矿岩系; 中—上元古界主要由 3 部分

组成, 即中深变质陆源碎屑—碳酸盐岩建造、活动型火山—沉积建造和稳定型陆源碎屑—碳酸盐岩建造。其中活动型火山—沉积建造主体属大陆裂谷沉积, 其丹凤群、武当山群和碧口群中的火山岩系与金矿成矿关系十分密切; 下古生界的二郎坪群属北秦岭中带古生代弧后盆地裂隙带沉积, 自下而上, 由细碧角斑质岩系—陆源碎屑岩—碳酸盐岩沉积, 反映了裂隙盆地从活动型向稳定型的转化。其中火山岩系具类蛇绿岩套的特征, 是多金属矿赋矿岩系。商丹板块对接带和康—勉板内结合带是研究区重要的控矿构造带, 商丹构造带韧性—脆韧性剪切带发育, 且具碰撞期岩浆热源, 是金矿成矿的有利地段, 庞家河、马鞍桥、磨子沟、金洞沟、东流水等矿床点均处于此带; 康—勉板内结合带脆—韧性断裂控制金的成矿(如张家山)。该区岩浆活动规模较大, 侵入岩时空分布广泛, 自太古宙到第三纪均有, 且岩类繁多(图 1)。

## 3 控矿地质因素分析

根据已知矿床赋存空间位置和成矿特征, 可以认为秦巴地区金成矿与以下 5 种地质因素关系密切:

- (1) 与一定的含矿层位关系密切, 如太华杂岩、碧口岩群、中泥盆统(青石垭组、古道岭组、星红铺组)、下志留统梅子垭组等为金矿的主要含矿层位。
- (2) 与印支—燕山期中酸性小岩体群集及小岩

收稿日期: 2002-08-22; 修订日期: 2002-11-01

基金项目: 中国地质调查局综合研究项目(项目编号: 20010200015)资助。

作者简介: 邢学文(1976-), 男, 陕西户县人, 中国地质大学在读硕士研究生, 从事成矿预测及 GIS 应用的研究工作。

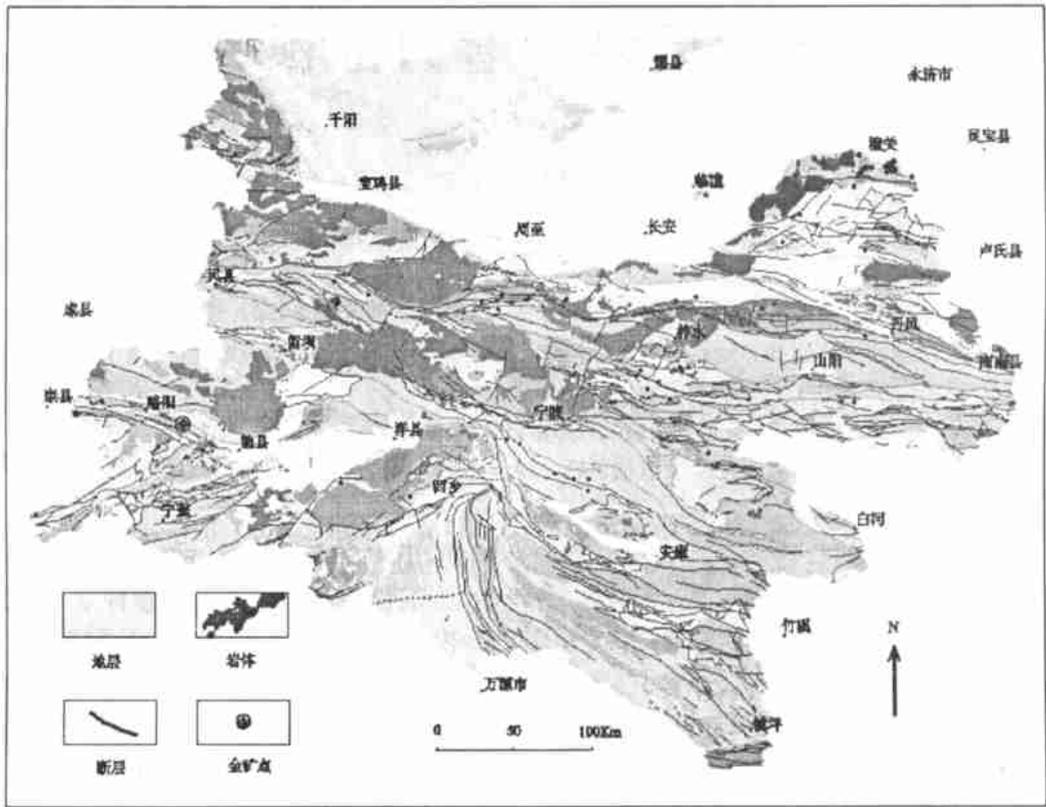


图1 陕西秦岭—巴山地质简图

Fig. 1 Geological map of Qinling-Bashan region

脉关系密切。如山阳西部小河口—池沟地区、小秦岭地区、蟒岭西南部等。

(3) 与岩体接触带关系密切, 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的含矿层位时, 其找矿前景最好。如文峪岩体外接触带、东河台子岩体外接触带、西坝岩体接触带、蟒岭岩体南侧断陷带、光头山岩体西侧接触带等。

(4) 与断裂带关系极为密切, 沿断裂破碎带、韧性剪切带重砂异常多呈串珠状分布, 并有分段集中的特点。重砂黄金异常较密集的断裂带如商丹对接带、山阳—凤镇断裂带、板岩镇—江口断裂带、八方山—王家塬断裂带、公馆—尖山断裂带、金堆城—灞源断裂带、略阳—勉县断裂带、青木川—八海韧性剪切带等。因此, 断裂破碎带多是寻找金矿床最有利的地段。

(5) 与不同方向、期次、性质的断裂交切、复合部位以及断裂构造与褶皱构造相复合、交切的部位, 特别是断裂构造密集、错综复杂的地区关系密切。如东川—云镇地区、小秦岭地区、太户地区以及勉略宁地区、凤太地区等。

#### 4 证据权法及其理论基础

证据权法是一种基于 BAYES 统计的信息综合方法, 它通过对一些与矿产形成相关的地质信息图层的加权叠加复合来进行矿产远景区的预测。该方法的实施主要有两步: 第一步, 将每一种地质标志图层转化为二值变量, 用 1 表示地质标志存在, 用 0 表示地质标志不存在; 第二步, 计算每一个地质标志的一对权系数, 一个表示该标志存在时的权系数, 另一个表示该标志不存在时的权系数。当局部地区资料缺失时, 令权系数为 0。

其数学原理如下:

(1) 前概估算: 前概估算是根据已知矿点分布, 计算各单位区域内的成矿概率。假设研究区被划分成总面积为  $T$  个像元单位, 其中有  $D$  个矿点, 则随机选取一个像元单位是矿点的概率是  $P(D) = D/T$ 。几率 ( $O$ ) 为:

$$O(D) = \frac{P(D)}{1 - P(D)} = \frac{D}{T - D}$$

对于任一个证据因子二值图像, 其存在区的像元数为  $B$ , 不存在区的像元数为  $\bar{B} = T - B$ , 则已知矿点图与证据因子图的重叠部分有  $B \cap D, \bar{B} \cap D, B \cap \bar{D}, \bar{B} \cap \bar{D}$ ,  $B$  其条件概率分别为:

$$P(D/B) = B \cap D / B$$

$$P(D/\bar{B}) = \bar{B} \cap D / \bar{B}$$

$$P(\bar{D}/B) = B \cap \bar{D} / B$$

$$P(\bar{D}/\bar{B}) = \bar{B} \cap \bar{D} / \bar{B}$$

也就是说, 证据因子的前概估算是计算证据因子存在区域中矿点像元、非矿点像元所占的百分比。

(2) 权重计算: 对任一个证据因子二值图像权重定义为:

$$W^+ = \ln \left\{ \frac{P(B/D)}{P(B/\bar{D})} \right\}$$

$$W^- = \ln \left\{ \frac{P(\bar{B}/D)}{P(\bar{B}/\bar{D})} \right\}$$

式中,  $W^+$ ,  $W^-$  分别为证据因子存在区和不存在区的权重值, 原始数据缺失权重值为 0。

(3) 后概计算: 证据权法要求各证据因子之间相对于矿点分布满足条件独立。对于  $n$  个证据因子, 若他们都关于矿点条件独立, 几率对数为:

$$\ln \{ O(D / B_1^k B_2^k \dots B_n^k) \} = \sum_{j=1}^n W_j^k + \ln O(D)$$

$$W_j^k = \begin{cases} W^+ & \text{—— 证据因子存在} \\ W^- & \text{—— 证据因子不存在} \\ 0 & \text{—— 数据缺失} \end{cases} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

则根据公式, 后验概率为:

$$P = O / (1 + O)$$

后验概率  $P$  代表了单元内的找矿有利度。

控矿地质因素与矿床产出状态之间的关联性强弱, 可以通过正负权的差值大小来度量, 即:

$$C_j = W_j^+ - W_j^-$$

若  $C_j$  值大表示该地质标志的找矿指示性好,  $C_j$  值小表示该找矿标志的找矿指示性差; 若  $C_j = 0$ , 表示该找矿标志对有矿与无矿无指示意义;  $C_j > 0$  表示该找矿标志的出现有利于成矿,  $C_j < 0$  表示该找矿标志的出现不利于成矿。

## 5 有利证据层选择

应用证据权法进行预测, 必须准备研究区详尽的地质、矿点、物化探和遥感等资料, 从中提取有利成矿证据层。

### 5.1 资料准备

秦巴地区矿产数据库是在收集全区矿产资料基础上, 应用 MAPGIS 的空间数据坐标生成点的功能, 建立了该区的 1:50 万金矿床(点)数据库; 地质图数据库从地调局 1:50 万数字地质图空间库中剪切得到; 化探数据是根据收集到的资料, 应用 MORPAS 软件制作全区 1:50 万化探异常文件。

### 5.2 提取有利证据层

根据研究区的金矿床矿化特征, 从建立的数据库中提取如下成矿有利证据层:

(1) 成矿有利地层。秦巴地区太华杂岩、碧口岩群、中泥盆统、下志留统梅子垭组等为找金矿产的主要层位。为了研究不同时代地层与金成矿的相关性, 提取了太古宇、下元古界、震旦—奥陶系、志留系、泥盆—石炭系、二叠—三叠系作为证据层。

(2) 出露岩体。燕山期中酸性小岩体群集及小岩脉关系密切。基性—超基性岩体钠化角砾岩也对成矿起作用。不同岩体与成矿相关性不同, 可以提取超基性岩、基性岩、酸性—中酸性岩体和中性岩作为证据层。

(3) 断裂带。断裂带对成矿的控制作用明显。根据断裂不同走向, 把区内断裂带按 EW, NW, NE, SN, NNE, NWW 和 NEE 不同方向作为证据层, 研究不同方向断裂对金成矿的控制作用大小。

(4) 不同方向、期次、性质的断裂交切。可以通过 MORPAS 处理断裂文件, 统计断裂交点, 最后制作出表示断裂交切的证据层;

表 1 秦巴地区有利证据权参数表

Table 1 The weight parameters of evidence layers in the Qinling-bashan area

证据层	$W^+$	$W^-$	$C$
太古—早元古界	1.409	-0.507	1.916
震旦—奥陶系	0.292	-0.061	0.353
泥盆—石炭系	1.107	-0.231	1.348
酸性—中酸性岩	0.768	-0.141	0.909
超基性岩	1.727	-0.034	1.761
地层组合熵	0.788	-0.769	1.557
地层种类数	0.523	-1.540	2.063
断裂条数	1.054	-1.754	2.808
断裂交点数	0.808	-0.023	0.831
EW 断裂条数	1.058	-0.207	1.265
NE 断裂条数	1.187	-0.179	1.366
NW 断裂条数	0.726	-0.183	0.909
NEE 断裂条数	0.590	-0.018	0.608
NWW 断裂条数	1.490	-0.416	1.906
Au 异常	2.011	-1.044	3.055

(5) 化探异常。根据收集到的化探资料可以制作 Au 元素异常图作为证据层。

### 5.3 证据层优选

在保证矿产形成于不同致矿因素的前提下, 应尽量选择相关性较小的证据层。通过剔除对成矿不利证据层和相关性大的证据层, 实现对证据层的优选, 表 1 是优选后的证据层。

## 6 预测结果及评价

证据权法的预测评价结果是一个成矿后验概率

图, 其值在 0~1 之间, 后验概率值的大小对应着成矿概率的大小。在确定整个预测评价范围内的临界值之后, 图中后验概率大于临界值的地区即为预测的找矿远景区。

根据区内不同成矿单元的有利成矿后验概率大小的不同及其分布, 结合对地质条件发育情况以及金成矿的控制因素分析, 在区内圈定了三级有利成矿远景区(图 2)。其中, 成矿后验概率大于 0.6 的区域为一级有利成矿远景区, 大于 0.4 的区域为二级有利成矿远景区, 大于 0.2 的区域为三级有利成矿远景区。

下面是根据预测图圈出的 7 个金矿远景区:

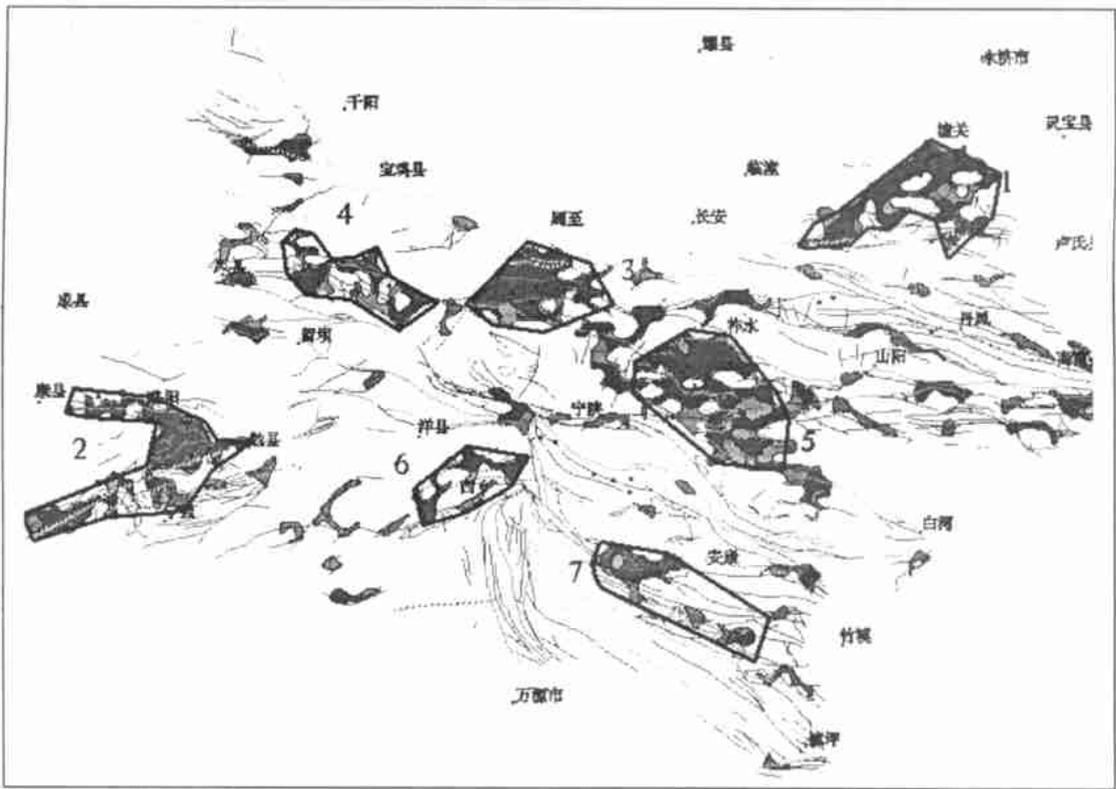


图 2 秦岭巴山地区金矿潜力预测图(后验概率大于 0.6)

Fig. 2 Au potential areas in Qinling-Bashan region (posterior probability > 0.6)

#### (1) 小秦岭 Au 成矿远景区:

该区是重要的贵金属、多金属矿产富集区, 区内共有绿岩型金矿 17 处。出露地层为太华岩群、熊耳群, 广泛发育有燕山期花岗斑岩、花岗闪长岩、二长花岗岩, 同时出露有华力西—印支期碱性岩。已知的 1.5 万 Au, Ag, Cu, Pb-Zn 及 Mo 的化探异常发育, 是寻找绿岩型金矿有利地段。

#### (2) 勉略宁 Au 成矿远景区:

该区位于略阳—勉县断裂和青川—阳平关断裂所夹持的三角地带, 区内地质演化历史复杂, 太古宙—早元古代绿岩建造、中新元古界碧口岩群海相火山岩、元古代和华力西期两次幔源超基性岩浆的侵位为金成矿提供了重要的矿源层。金矿与超基性岩关系密切, 主要找矿方向为: 沿勉略构造带的超基性—基性岩有关的岩浆熔离型金矿和热液型金矿, 青木川断裂北侧平行展布的与韧性剪切带有关的热液

型金矿。

(3) 北秦岭中段 Au 成矿远景区:

该区位于商丹板块拼合带。区内 EW 向断裂构造极为发育, 加里东期和印支期岩浆岩出露广泛, 具有极佳的成矿地质背景。已发现中型金矿 1 处, 小型 2 处。周至沙梁山—金牛坪浓集中心跨商丹板块缝合带, 是重要的构造蚀变岩型金银矿富集地段。主要找矿目标是沿商丹断裂带及其两侧密集发育的韧性剪切带中的热液型金矿。

(4) 凤太—双王 Au 成矿远景区:

该区已发现 3 处构造热液型金矿床。商丹板块缝合带从区内北侧通过, 与其平行的断裂带和韧性剪切带相当发育, 是构造热液型金矿成矿的极有利部位; 印支期碱性岩浆活动形成的钠长角砾岩是双王型金矿直接赋矿围岩。该区找矿目标为: 商丹断裂及其南侧次级断裂、韧性剪切带中的热液型金矿, 钠化角砾岩带中的金矿。

(5) 镇安东川—锡洞沟 Au 成矿远景区:

远景区横跨镇安—板岩镇断裂, 是主要的金、铅、锌矿富集区, 其中泥盆系是 SEDEX 型金矿的重要含矿层位。区内构造—岩浆活动强烈, 山阳—凤镇断裂、镇安—板岩镇断裂以及仁河日—公馆断裂分别从该区北部、中部和南部通过, 与其相关的次级断裂较为发育, 该区西部印支期中酸性岩浆活动强烈。区内 Au 异常极为发育, 且与矿(化)体套合较好, 具有较好的金多金属成矿前景。

(6) 汉南 Au 成矿远景区:

区内岩浆活动异常复杂, 除元古代汉南复式杂岩外, 尚有元古代基性杂岩。区内已发现 2 处热液型和 1 处气液型金矿点。区内 Au 异常发育, 有可能成为一个新的资源富集区。

(7) 北大巴山 Au, V, Ba, Cu 成矿远景区:

区内岩浆活动以加里东期基性、碱性岩脉及次火山岩为主, Au 元素异常极为发育。主要找矿方向为与断裂带有关的金矿。

## 7 总结

本文在分析已知金矿成矿地质特征前提下, 选择有利控矿证据层, 应用证据权法对研究区进行金矿潜力预测, 实现了预测范围的定量化圈定, 当后验概率大于 0.4 时, 有 80% 的矿点落在预测区内, 后验概率大于 0.6 时, 76% 的矿点落在预测区内, 这说明应用证据权法进行矿产潜力预测是可行的。

### 参考文献:

- [1] 陕西省地矿局区调队. 陕西省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [2] 肖克炎, 张晓华, 郑邦辉, 等. 成矿预测中证据权重法与信息量法及其比较[J]. 物探化探计算技术 1999, 21(3): 223-225.
- [3] Agterberg F P, Bonham-Carter G F, Cheng Q, *et al.* Weights of evidence modeling And Weighted Logistic regression for mineral potential mapping[A]. In: Davis J C, Herzfeld U C. Computers in Geology, 25 Years of Progress[C]. Oxford: Oxford University Press, 1993. 13-32.
- [4] Bonham-Carter G F, Agterberg F P, Wright D F. Integration of Geological Data sets for Gold exploration in Nova Scotia[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1998, 54(11): 1585-1592.
- [5] Asadi H H, Hale M. A predictive GIS model for mapping potential gold and base metal mineralization in Takab area, Iran [J]. Computers & Geosciences, 2001, 27: 901-912.

## PREDICTION AND ASSESSMENT OF GOLD POTENTIAL AREA IN QINLING-BASHAN REGION, SHAANXI PROVINCE

XING Xue-wen, CHEN Shou-yu

(China University of Geoscience, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Based on the comprehensive analysis of geology background and gold mineralization of Qinling-  
(下转第 112 页)

- 用研究[J]. 矿床地质, 1995, 14(2): 151-172.
- [2] 潘丽敏, 邹祖荣. 延边闹枝破碎蚀变岩型金矿床研究[J]. 长春地质学院学报, 1992, 22(2): 173-178.
- [3] 冯守忠. 吉林五凤—五星山低硫型浅成热液金矿床地质特征与成矿条件[J]. 火山地质与矿产, 1998, 19(2): 113-118.
- [4] 陈仁义, 芮宗瑶. 五凤浅成热液金矿床地质特征及成矿机理研究[J]. 矿床地质, 1993, 12(1): 20-27.
- [5] 梁俊红. 延边地区浅成低温热液-斑岩型金(铜)成矿系列[D]. 沈阳: 东北大学, 2002. 31-62.
- [6] 吉林省地质矿产局. 吉林省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1988. 587.
- [7] 芮宗瑶, 张洪涛, 王龙生, 等. 吉林延边地区斑岩型-浅成热液型金铜矿床[J]. 矿床地质, 1995, 14(2): 99-125.
- [8] 芮宗瑶, 张洪涛, 王龙生, 等. 吉林东部斑岩型-浅成热液型金铜矿床多重成矿模式[J]. 矿床地质, 1995, 14(2): 174-184.
- [9] 王先彬, 吴茂炳, 张铭杰. 地幔流体的稳定同位素地球化学综述[J]. 地质地球化学, 2000, 28(3): 69-94.
- [10] 郑永飞, 陈江峰. 稳定同位素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2000, 175-182.
- [11] Hugh R Rollison (杨学明, 杨晓勇, 陈双喜, 译). 岩石地球化学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2000. 219-225.
- [12] Taylor H P. Water/rock interactions and the origin of H<sub>2</sub>O in the granitic batholiths[J]. J. Geol. soc. Lond., 1997, 133: 509-558.
- [13] Taylor H P. Oxygen and hydrogen isotope studies of plutonic granitic rocks[J]. Earth planet. Sci. Lett., 1978, 38: 177-210.

## THE HYDROGEN AND OXYGEN ISOTOPE CHARACTERISTICS OF EPITHERMAL-PORPHYRY GOLD SERIES IN YANBIAN REGION

LIANG Jun-hong<sup>1</sup>, JIN Cheng-zhu<sup>1</sup>, WANG Jian-guo<sup>2</sup>

(1. The resource and civiling school of Northeastern university, Shenyang 110004, China;

2. China university of Geoscience, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The research of ore fluid of epithermal-porphyry gold series indicates that  $\delta^{18}\text{O} = -10\text{‰} \sim +5\text{‰}$  and  $\delta\text{D} = -120\text{‰} \sim -40\text{‰}$ . In Xiaoxinancha gold (copper) deposit, the early ore-forming is mainly magmatic water into which, only a little atmospheric water is incorporated in the later stage. It is a typical porphyry Au deposit. Much precipitated water participated ore formation in Ciweigou and Wufeng epithermal gold deposit with W/R of 0.2~2. The ore fluid of Naozhi deposit is the transitional type between the above two types.

**Key words:** epithermal-porphyry gold series; hydrogen and oxygen isotope; the ratio of W/R; Yanbian district; Jilin province

(上接第107页)

Bashan region, ore-controlling factors were selected from three created database, geology database, geochemistry database and ore deposits (occurrence) database. According to the analysis of the ore-controlling factors in the region, 15 ore-causing evidences layers were selected. Extracting the evidence data from the three databases, the author calculated its weight value and created an evidence weight prediction map. From the map, seven potential area were circled and some assessments done.

**Key words:** mineral prediction; weight of evidence; evidence layer; Qinling-Bashan region