

“有利因素相关”法在哀牢山成矿带南段金矿成矿预测中的应用

徐涛¹, 张桂林¹, 张峰²

(1. 桂林工学院资源与环境工程系, 桂林 541004; 2. 武警黄金地质研究所, 廊坊 065000)

[摘要]“有利因素相关”法多应用于矿产资源量定量预测中,在成矿远景区定位预测中尚未见及。文章在研究云南哀牢山成矿带南段地质特征、总结该区金矿成矿规律和综合信息找矿模型的基础上,首次尝试以“有利因素相关”法有利度作为预测远景区圈定指标,对本区金矿进行了成矿预测,共圈定有利找矿远景区4处:A类找矿远景区2处。全区已知20个金矿床(点),其中85%落于A类远景区内,10%落于B类远景区,5%落于A、B类远景区附近,与实际吻合较好。预测结果表明,以“有利因素相关”法有利度作为预测全景区圈定指标进行矿产资源成矿预测是可行、有效的。

[关键词]“有利因素相关法” 成矿预测 金矿 云南哀牢山成矿带南段

[中图分类号]P618.51 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2007)06-0086-06

“有利因素相关”法是通过已知对象的研究,阐明控矿因素(或地质变量)与矿产资源量之间的内在联系,建立一定矿床类型矿产资源量与地质条件之间的定量关系(定量预测模型)^[1]。目前,该方法多应用于矿产资源潜在资源量定量预测,而在成矿远景区预测中尚未见及。以“有利因素相关”法有利度作为参数指标进行成矿远景区预测是否可行?笔者带着这个疑问,尝试运用“有利因素相关”法对哀牢山成矿带南段金矿进行了成矿预测,并圈定了成矿远景区。

1 区域地质概况

研究区位于云南哀牢山成矿带南段,构造上处于扬子地台西南缘,夹持于红河深大断裂与九甲-安定深大断裂之间的哀牢山浅变质带内(图1)。主要出露地层有震旦系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系,岩性多为浅变质砂页岩、砂板岩、碳酸盐岩建造和火山岩-火山沉积岩建造。区内断裂构造和岩浆岩极为发育,并具有明显的多期性特点^[2-4]。NW-SE向展布的红河断裂、哀牢山断裂、九甲-安定断裂最为明显,控制了全区的构造格局;岩浆从印支期至喜马拉雅山期均有侵入,岩石类型齐全,正常系列

的超基性岩至酸性岩均有出露,岩体大多呈小型岩体及脉岩产出,并沿NW向哀牢山深大断裂带断续分布,受断裂控制十分明显^[5-9]。据统计,区内已知金矿床(点)多达20处,其中包括大坪、老金山、银厂湾等金矿床(点),矿床类型较为单一,以岩浆热液成因的脉状硫化物石英脉型+蚀变岩型为主。

2 金矿资源预测模型^[10]

1) 含(赋)矿地层:据研究表明,本区金矿在各时代地层均可能成矿,且产出金矿个数与各时代地层出露面积呈正比,但与地层的关系较差;

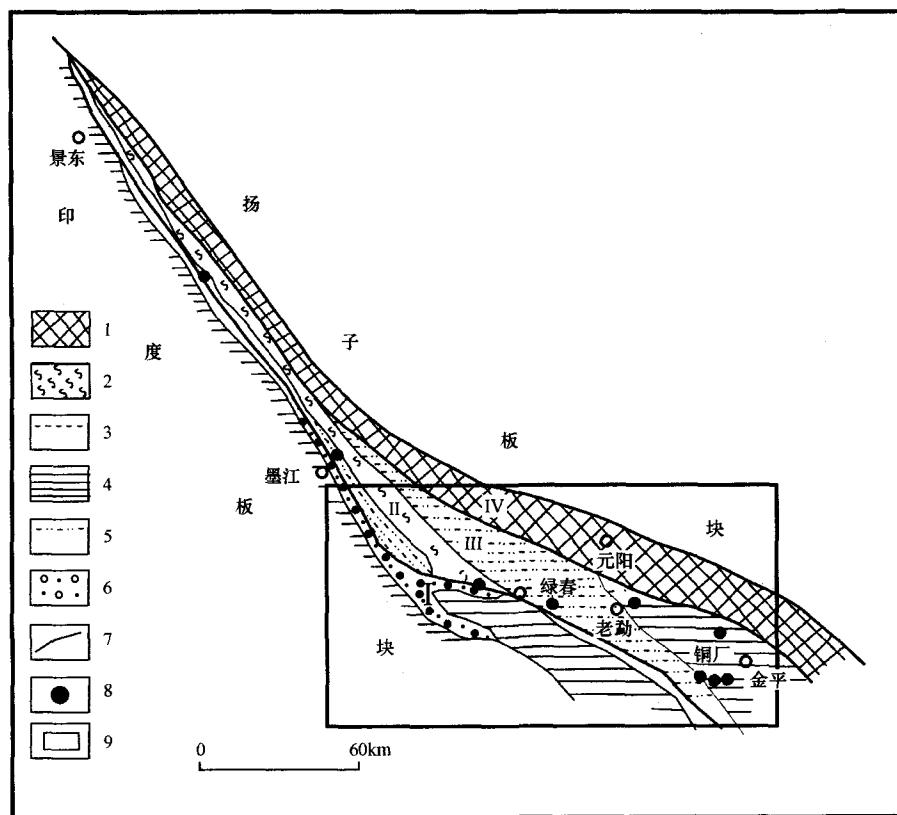
2) 控矿构造: NW-SE向展布的九甲-安定断裂、哀牢山断裂、红河断裂及其次级断裂构造控矿作用显著,其周边3km范围是本区有利的找矿远景区,其中NW与NE向断裂构造交汇部位则更有利于找矿;

3) 岩浆岩:本区岩浆岩多沿NW向断裂构造展布,华力西期、印支期、燕山期、喜马拉雅期均有岩浆活动,超基性岩、基性岩和酸性侵入岩广泛出露。全区已知的20个金矿床(点)中有18个分布于其周边2km范围内,岩体在很大程度上控制了金矿床(点)的产出,岩体内部及其外围是成矿的有利部位;

[收稿日期]2006-10-30; **[修订日期]**2007-03-14。

[基金项目]国土资源部国土资源大调查项目(编号:200410200036)和广西教育厅资助项目(编号:桂教科研[2001]401)资助。

[第一作者简介]徐涛(1978年—),女,2003年毕业于桂林工学院,获硕士学位,现主要从事构造地质学工作。

图1 哀牢山地区大地构造纲要图^[10]

1—元古代哀牢山群;2—古生代浅变质岩;3—泥盆—石炭系构造混杂岩;4—古生代浅变质岩系;5—古生界—上三叠统;6—上三叠统一碗水组;7—冲断带;8—金矿床(点);9—研究区。I—前陆磨拉石建造带;II—前缘冲断带;III—中央冲断带;IV—后缘韧性变形带。A—哀牢山前缘推覆体;B—金山丫口推覆体;C—三猛推覆体;D—金平推覆体;E—绿春推覆体;F—哀牢山基底推覆体。①红河断裂带;②哀牢山断裂带;③九甲—安定断裂带。

4) 地球化学:本区与金矿关系密切的元素化探异常有 Au、Ag、Cu、Pb、Bi、Zn、Mo, 尤以 Au、Ag、Cu、Pb、Bi 元素最为密切;

5) 遥感解译:全区 75% 的已知金矿床(点)分布于 NW 向线性构造 3km 范围内,且全部分布于其 5 km 范围内,表明 NW 向线性构造控矿作用明显,其次为 NE 和 EW 向;环形构造与金矿的关系较差,仅有 42.9% 的已知金矿床(点)分布于其 2 km 范围内,且主要集中于哈博、哈更一带,其余则产于距环形构造较远的地区。

3 “有利因素相关”法简介

有利因素相关法^[1]通过研究已知成矿单元样品,阐明找矿标志与矿产资源量之间的关系,建立某种矿床类型的矿产资源量与找矿预测标志的定量关系,即定量预测模型,然后将模型外推到预测区,估算预测区内的矿产资源量;其方法和步骤是:在研究

成矿规律、总结控矿因素和成矿模式的基础上,按控矿因素和找矿标志选定地质变量,应用矿床形成规律的基本原理,按三元逻辑变量进行取值,即某变量存在取“1”,不存在取“-1”,存在与否不确定取“0”;在此前提下,建立原始数据矩阵,计算各变量的有利因素的单项参数,进行有利因素的计算,建立单元有利度与探明资源量之间的回归方程。

本文相关系数计算是采用“相关系数检验法”来验证回归结果的显著性:

设各网格单元的成矿有利度为 w_i , 已知储量为 q_i , 含有已知储量矿床(点)的网格数为 m , 则

$$\bar{w} = (\sum_{i=1}^m w_i) / m \quad \bar{q} = (\sum_{i=1}^m q_i) / m$$

分别为 w_i 和 q_i 的平均值。于是

$$L_{wq} = \sum_{i=1}^m (w_i - \bar{w})(q_i - \bar{q})$$

$$= \sum_{i=1}^m w_i q_i - \left(\sum_{i=1}^m w_i \right) \left(\sum_{i=1}^m q_i \right) / m$$

$$L_{qq} = \sum_{i=1}^m (q_i - \bar{q})^2 = \sum_{i=1}^m q_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m q_i \right)^2 / m$$

$$L_{ww} = \sum_{i=1}^m (w_i - \bar{w})^2 = \sum_{i=1}^m w_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m w_i \right)^2 / m$$

由上得相关系数

$$\gamma = L_{wq} / \sqrt{L_{qq} L_{ww}}$$

当相关系数在 0.9 以上时,通常便可进行资源量预测。

4 区域成矿预测

4.1 基本单元划分

本次预测工作单元的划分是以赵鹏大院士等^[11]提出的一种概率统计划分方法,即以落入单元内的期望矿点数等于或小于实际落入单元矿点数标准差的 3 倍为准则,以单元面积计算公式

$$S_1 = S \times 9 / (9 + n) / 100$$

$$\left(\begin{array}{l} S \text{ 为预测区总面积} \\ S_1 \text{ 为预划分单元面积} \\ n \text{ 为预测区预测矿床(点)总数} \end{array} \right)$$

为依据,并结合预测区地质特征、预测 1:20 万的精度要求(4~16 km² 为基本单元大小^[11])等实际情况而定的。

依据上式,结合本区金矿区域地质特征及实际情况,最终确定单元面积为 5km × 5km(即 2.5cm × 2.5cm 的图幅大小)的方格,将全区划分为 684 个基本网格单元,其中已知有矿单元 12 个。

4.2 “有利因素相关”法成矿预测

参照对研究区地质、化探、遥感与金矿成矿关系的分析,将参加预测的所有地质变量划分为主相关、次相关、不相关三类,分别赋 2、1 和 0 值。本文共选取 7 个研究程度较高、具有代表性的单元(表 1)作为预测模型单元,分布全区;其中,预测模型矿床(点)全部是从“全国地质工作程度数据库(MAPGIS)(2005)”中检索出来及野外收集的矿(床)点,其探明资源量是依据该数据库中矿床(点)分类标准,即“超大型”、“大型”、“中型”、“小型”、“矿点”五类,分别取其相应级别中下限而得到的。

依据建立的金矿资源预测模型,共选取 12 个找矿标志作为提取的有利地质变量,并进行赋值(表 2),建立原始数据矩阵(表 3)和有利因素参数表(表 4)。表中各代号及参数的地质意义如下:

表 1 金矿模型单元记录表

金矿床(点)	规模	探明资源量/t
大坪金矿	大型	50.0
老金山金矿	大型	50.0
金竹林金矿	中型	12.5
铜厂金矿	中型	12.5
大鱼塘金矿点	小型	5.0
马鹿塘金矿点	小型	3.0
岩脚峰金矿点	矿点	0.5

K_i :相应有利地质变量出现 >0 的个数;

P_i :相应有利地质变量 >0 时对应已知单元探明储量之和;

W_i : P_i/K_i 之值;

l_i :相应有利地质变量出现 0 的个数;

h_i :相应有利地质变量出现 0 时对应已知单元探明储量之和;

v_i : h_i/l_i 之值;

a_i :相应有利地质变量的关系度(a);

F_i :相应有利地质变量的权系数(使 a 能判断其在相应有利地质变量中的相对重要性)。

通过计算可得相关系数 $\gamma = 0.9011$,符合“有利因素相关”法进行成矿预测的前提条件。按类比法确定有利度临界值为 0.8。结果表明:全区 684 个单元中,有 173 个单元有利度大于或等于 0.8,其中有 12 个单元为已知有矿单元,占全区已知矿床(点)的 100%,说明在单元有利度大于或等于 0.8 的单元中找到含矿单元的概率为 100%,因此,以 0.8 作为有利度临界值是可信的。根据“有利度”计算结果绘制等值线图,如图 2 所示。

表 2 金矿资源预测评价“有利因素相关”法地质变量赋值表

序号	有利地质变量	赋值系列
1	金矿床(点)	两个以上矿点或一个矿床为 2,一个矿点为 1,没有为 0
2	岩浆岩(2km)	发育为 2,否则为 0
3	NW 向断裂(3km)	有为 2,否则为 0
4	NE 向断裂(3km)	有为 1,否则为 0
5	NW 三大断层(5KM)	有为 2,否则为 0
6	NW 向线性构造	≥ 大于等于两条为 2,一条为 1,无则为 0
7	近 EW 向线性构造	有为 1,否则为 0
8	水系沉积物 Au	大于 2.0×10^{-9} 为 2,否则为 0
9	水系沉积物 Cu	大于 15.0×10^{-6} 为 1,否则为 0
10	水系沉积物 Ag	大于 0.07×10^{-6} 为 1,否则为 0
11	水系沉积物 Pb	大于 0.45×10^{-6} 为 1,否则为 0
12	水系沉积物 Bi	大于 0.27×10^{-6} 为 1,否则为 0

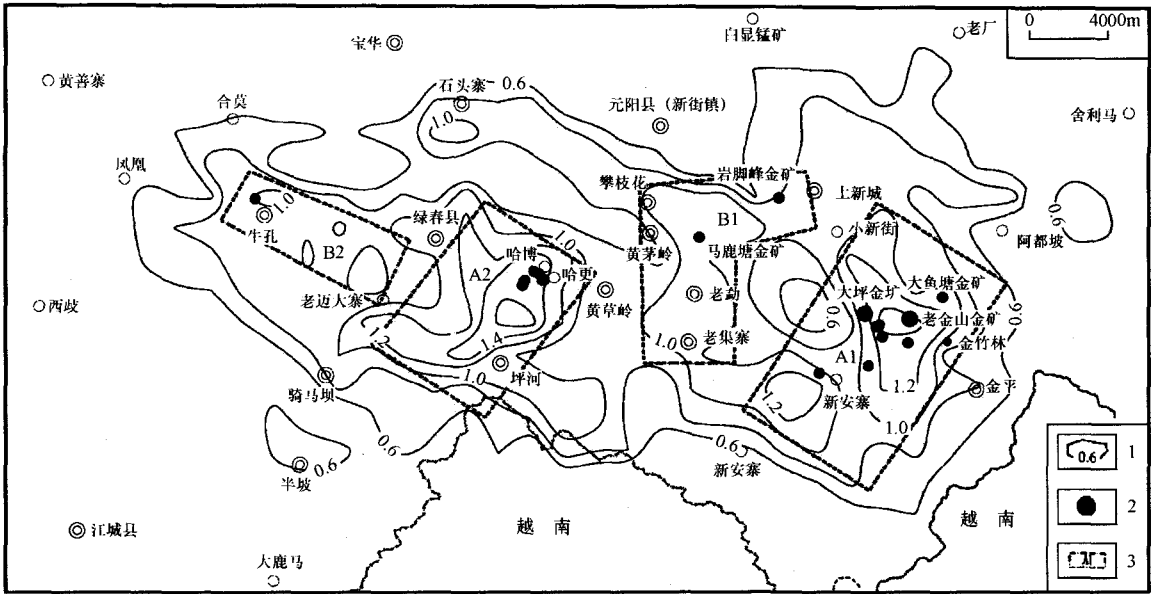


图2 哀牢山成矿带南段金矿资源有利度等值线图

1—有利度等值线及有利度值;2—金矿床(点);3—预测远景区及编号

表3 金矿模型单元原始数据矩阵表

序号	有利地质变量	大坪金矿	老金山金矿	金竹林金矿	铜厂金矿	大鱼塘金矿	马鹿塘金矿	岩脚峰金矿点
1	金矿床(点)	2	2	2	2	2	1	1
2	岩浆岩(2km)	2	2	2	2	2	2	2
3	NW 断裂(3km)	2	2	2	2	2	2	2
4	NE 断裂(3km)	1	1	1	1	0	0	0
5	NW 三大断层 5km	2	2	2	2	2	1	1
6	NW 线性构造	2	2	2	2	2	2	2
7	EW 线性构造	1	1	1	0	0	0	0
8	水系沉积物 Au	2	2	2	2	2	2	2
9	水系沉积物 Cu	1	1	1	1	0	1	1
10	水系沉积物 Ag	1	1	1	1	0	1	0
11	水系沉积物 Pb	1	1	1	1	1	1	0
12	水系沉积物 Bi	1	1	1	0	0	1	0

表4 哀牢山成矿带南段金矿有利因素参数表

有利地质变量	K	P	W	l	h	v	K _i	P _i	W _i	l _i	h _i	v _i	a _i	F _i
金矿床(点)	19	137.0	7.2105	671	0.0	0.0000	0.0040	0.0895	0.5887	0.1359	0.0000	0.0000	0.7501	0.1667
岩浆岩(2km)	418	134.0	0.3206	266	3.0	0.0113	0.0884	0.0875	0.0262	0.0539	0.0267	0.0423	0.2635	0.0585
NW 断裂(3km)	1124	137.0	0.1219	122	0.0	0.0000	0.2377	0.0895	0.0100	0.0247	0.0000	0.0000	0.3495	0.0777
NE 断裂(3km)	320	128.5	0.4016	364	8.5	0.0234	0.0677	0.0839	0.0328	0.0737	0.0756	0.0875	0.3028	0.0673
NW 三大断层 5km	684	137.0	0.2003	342	0.0	0.0000	0.1447	0.0895	0.0164	0.0692	0.0000	0.0000	0.2851	0.0634
NW 线性构造	609	87.0	0.1429	386	50.0	0.1295	0.1288	0.0568	0.0117	0.0782	0.4444	0.4854	0.7013	0.1558
EW 线性构造	75	115.0	1.5333	624	22.0	0.0353	0.0159	0.0751	0.1252	0.1263	0.1956	0.1321	0.4432	0.0985
水系沉积物 Au	446	137.0	0.3072	461	0.0	0.0000	0.0943	0.0895	0.0251	0.0933	0.0000	0.0000	0.2555	0.0568
水系沉积物 Cu	263	132.0	0.5019	421	5.0	0.0119	0.0556	0.0862	0.0410	0.0852	0.0444	0.0445	0.2699	0.0600
水系沉积物 Ag	250	131.5	0.5260	434	5.5	0.0127	0.0529	0.0859	0.0429	0.0879	0.0489	0.0475	0.2738	0.0608
水系沉积物 Pb	268	136.5	0.5093	416	0.5	0.0012	0.0567	0.0891	0.0416	0.0842	0.0044	0.0045	0.2340	0.0520
水系沉积物 Bi	252	119.0	0.4722	432	18.0	0.0417	0.0533	0.0777	0.0386	0.0875	0.1600	0.1561	0.3714	0.0825

4.3 成矿远景区圈定

为了进一步划分成矿预测单元,在上述工作的基础上,以“有利相关因素”法有利度值为 1.0 作为划分一级远景区和二级远景区的临界值,将成矿预测单元划分为:一级远景区,即有利度值 ≥ 1.0 的单元;二级远景区,即 $0.8 \leq$ 有利度值 < 1.0 的单元,最终圈定成矿远景区 4 个,其中 A 类远景区 2 个, B 类远景区 2 个(图 2)。现分述如下:

A1 远景区:位于新安寨、大坪一带。出露地层主要有奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系和二叠系,岩性多属砂页岩建造、碳酸盐岩建造和火山岩—火山沉积岩建造。构造上处于哀牢山深大断裂和九甲—安定深大断裂所夹持区带的南端,为哀牢山断裂南段“帚状”撒开部位。区内断裂构造和岩浆岩较为发育,断裂构造以 NW 向为主,为区内有利的导矿和容矿构造;岩浆岩岩石类型齐全,正常系列的超基性岩至酸性岩均有出露,岩体大多呈小型岩体及脉岩产出,并沿 NW 向哀牢山深大断裂带断续分布。区内已知 10 个金矿床(点),其中包括大坪、老金山、芭蕉坪、采山坪等金矿床(点),且多产于华力西期岩体内及附近。其间 Au、Cu、Pb、Ag、Bi 异常值峰值较高。从图 2 分析,在大坪、芭蕉坪一带信息量值较高,已知金矿床(点)其外围及周边,尤其是有岩浆岩发育的地区是有利的找矿区段,同时还要注意 NW 向断裂构造的控矿作用。

A2 远景区:位于哈博、哈更一带。主要出露地层为志留系下统和上三叠统一碗水组,属一套浅海—滨海相砂页岩沉积建造。其间被 NW 向展布的九甲—安定深大断裂及 NE 向的后期断裂从中穿过,为本区矿液的运移和沉淀提供了必要的通道和场所。遥感上显示该区 NW 和 NE 线性构造与环形构造极为发育,是线性构造与环形构造的交汇区,即所谓的岩浆—构造亚型环形构造发育区。出露岩体主要为喜山期和燕山期酸性岩及脉岩。区内已知 7 个金矿床(点)均分布于喜山期岩体与三叠系一碗水组的接触部位及岩浆—构造亚型环形构造发育区。Au、Cu、Pb、Ag、Bi、Mo、Zn 在该区具有较好的异常值。从图 2 来看,在哈博、哈更一带信息量值较高,本区找矿方向应注意已知金矿床(点)外围及周边,尤其要重视岩浆岩发育地区及其与围岩的接触部位,同时也要兼顾 NW 及近 NE 向断裂构造的控矿作用。

B1 远景区:位于马鹿塘、老勐一带。出露地层主要为泥盆系、石炭系和二叠系,岩性多属砂页岩建

造和碳酸盐岩建造。构造上处于哀牢山断裂向南“撒开”的转折处,区内断裂构造发育,多为哀牢山断裂的次级小断裂,以 NW 向为主。根据野外调查,区内岩浆岩有一定的发育,主要集中于马鹿塘地区,以基性辉绿岩为主。Au、Cu、Pb、Zn、Ag、As、Hg、Mo 在该区都有较好的化探异常,尤以 Au、Cu、Pb、Zn 组合最好。区内已知 2 个金矿床(点)。从图 2 展布来看,该区具有较好的找矿远景,找矿方向应与 NW 向展布的断裂构造一致。

B2 远景区:位于牛孔一带。出露地层有志留系下统、三叠系上统高山寨组、三叠系上统一碗水组、白垩系下统。岩性主要为砂岩、板岩、页岩。九甲—安定深大断裂横贯该区,并处于由 NW 向转为 NWW 向的过渡部位。本区仅有少量脉岩发育。区内线性构造以 NW 向为主,环形构造较为发育。其间 Au、Pb、Sb、Ag、As 异常较为发育。区内已知矿点 1 处,为石英脉+蚀变岩型金矿。从图 2 来看, NW 向展布的九甲—安定深大断裂周边应是有利的找矿远景区。

5 结论

本文通过尝试以“有利因素相关”法有利度作为预测远景区圈定指标,对云南哀牢山成矿带南段金矿进行成矿预测,共圈定有利找矿远景区 4 处: A 类找矿远景区 2 处,即新安寨—大坪远景区、哈博—哈更远景区; B 类找矿远景区 2 处,即马鹿塘—老勐远景区、牛孔远景区。全区已知 20 个金矿床(点),其中 85% 落于 A 类远景区内, 10% 落于 B 类远景区, 5% 落于 A、B 类远景区附近,与实际吻合较好。预测结果表明,以“有利因素相关”法有利度作为预测远景区圈定指标进行矿产资源成矿预测是可行、有效的。

[参考文献]

- [1] 何虹,金川. 有利因素相关法在松潘地区“东北寨式”金矿资源评估中的应用[J]. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(3): 35-44.
- [2] 宋龙官. 地理信息系统(GIS)与矿产资源信息系统[J]. 地矿测绘, 1995, 6(3): 27-29.
- [3] 云南地矿局. 云南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- [4] 云南地矿局. 区域地质调查报告(元阳幅, 墨江幅, 建水幅, 大鹿马幅)[M]. 北京: 地质出版社, 1965.
- [5] 胡瑞忠, 毕献武, 何朋友, 等. 哀牢山金矿带矿化剂对金矿的制约[J]. 中国科学, 1998, 28(增刊): 24-30.
- [6] 宋焕斌, 祁斌, 韩润生. 云南大坪金矿床控矿断裂受力机制分析[J]. 矿产与地质, 1990, 4(4): 21-26.

- [7] 胡云中,唐尚醇,王海平,等.哀牢山金矿地质[M].北京:地质出版社,1995.
- [8] 沈上越,魏启荣,程惠兰,等.云南哀牢山金矿带成因类型探讨[J].特提斯地质,1997,(21):73-83.
- [9] 从柏林,吴根耀,张旗,等.中国滇西腾冲新生代火山岩的成因[J].中国科学(B辑),1993,23(11):1201-1207.
- [10] 张峰.基于GIS的云南哀牢山成矿带南段金矿资源预测研究[D].硕士学位论文.2006.6.
- [11] 赵鹏大,胡旺亮,李紫金,等.矿床统计预测[M].北京:地质出版社,1994,113-118.

APPLICATION OF FAVORABLE FACTOR CORRELATION METHOD FOR TARGETING GOLD DEPOSITS IN THE SOUTHERN AILAOSHAN MINERALIZING BELT

XU Tao¹, ZHANG Gui-lin¹, ZHANG Feng²

(1. Guilin University of Technology, Guilin 541004; 2. Gold Geology Institute, CAPG, Langfang 065000)

Abstract: "Favorable factor correlation method" is almost applied for mineral resource reserve forecasting, and never found in mineral resource perspective districts targeting. Based on geological features, mineralization pattern and model of gold deposits, comprehensive information of relevant gold deposits, using favorable value as parameter of "favorable factor correlation method" by first attempt for targeting perspective districts is analyzed. Six gold perspective districts are targeted, among which two are type A and four are type B. Of all twenty gold deposits discovered, 85% is in A type perspective districts, 10% is in B type perspective districts, and 5% is close to A or B type perspective districts. Predicted targets are coincident with existing gold deposits, which demonstrate that the "favorable factor correlation method" is reliable and effective for mineral resource targeting.

Key words: "favorable factor correlation method", mineralization target, gold deposit, southern Ailaoshan mineralizing belt

《神眼之光——商业性矿产勘查》一书简介

商业性矿产勘查是矿业最重要的组成部分,是矿业赢利的基础。这不是一本商业性矿产勘查理论研究的书。作者刘益康曾任西南冶金地质勘查局、中国冶金地质勘查工程总局总工程师,他根据自己在商业性矿产勘查中的实践,特别是退休以后的实战演练心得,用一些生动和大众化的语言,引用国内外的一些矿产勘查商业运作实例,夹叙夹议,把市场经济条件下,特别是西方主要矿业国家的商业性矿产勘查的基本理念、体制机制、运作方式、重要信息介绍给读者,勾勒出一幅商业性矿产勘查的全景图,可以起到一些商业性矿产勘查的运作指南的作用。

本书共分十章。第一章概述;第二章商业性矿产勘查的市场主体;第三章商业性矿产勘查的投资决策;第四章商业性矿产勘查的筹融资;第五章商业性矿产勘查的运作;第六章商业性矿产勘查的技术标准;第七章政府对商业性矿产勘查的服务与管理;第八章商业性矿产勘查的行业协会;第九章我国矿产勘查引进来的回顾和展望;第十章商业性矿产勘查的典型案列。全书共20万字。由地质出版社在2007年9月出版。

地质出版社地址:北京海淀区学院路31号,100083

邮购部电话 (010)82324508