技术 ·方法

齐波夫分布律与阻尼曲线在夹皮沟金矿田成矿预测中的应用

綦远江 , 薄继荣 , 杨玉清
(吉林有色地质勘查院 604 分院 ,桦甸　132400)

[摘　要]用齐波夫分布律和阻尼曲线现象进行矿产资源预测 ,具有采用数据少、计算方法简单的特点 ,与元素丰度模型法、黎彤法等方法预测的结果基本相当。夹皮沟金矿田是一研究程度与开采程度都很高的地区 ,运用齐波夫分布律和阻尼曲线现象对其进行预测 ,夹皮沟金矿田仍有 500 t 左右的潜在资源量 ,找矿潜力达 74 % ,尤其是沿主剪切带附近 ,仍有大型、超大型矿床隐伏 ,只是勘探深度要大大增加。

[关键词]齐波夫分布律　阻尼曲线　夹皮沟金矿田　成矿预测
[中图分类号]P618. 51　[文献标识码]A　[文章编号]0495 - 5331(2002) 01 - 0035 - 05

1　夹皮沟金矿田地质概况

夹皮沟金矿田位于清源 —辉南 —夹皮沟 —和龙大陆边缘韧性剪切带及岩浆活动带的中段夹皮沟花岗岩 —绿岩带上[1] ,主要金矿床皆产于主剪切带上盘 1～2 km 范围内 ,少部分产于毗邻的高级变质区内。区内大面积出露灰色片麻岩 ,绿岩残留体(斜长角闪岩类) 呈岛状在灰色片麻岩中零星分布。岩浆活动频繁 ,规模较大的五台期花岗岩(γ_2) 、加里东早期花岗岩(γ_3) 呈带状展布 ,而燕山期花岗岩(γ_5^2) 则呈岩株产出 ,此外各期形成的超基性 —基性 —中酸性脉岩广泛分布。构造活动十分强烈 ,以断裂构造为主 ,主要有 NW 向、SN 向及 NE 向 3 组剪切带构造。

2　齐波夫分布律

“有一组随机数 ,将其从大到小排序后 ,如果最大数为次大数的 2 倍 ,是第三大数的 3 倍 ……依次类推 ,则该数组服从于齐波夫分布律。”①这是美国哈佛大学齐波夫教授 1949 年提出的一种概率分布模型 ,它实质上是一种离散型概率分布模型 ,即研究对象的取值与所处的序次乘积为一常数(K) :

$$F_1 \cdot R_1 = F_2 \cdot R_2 = \cdots\cdots = F_n \cdot R_n = K \qquad (1)$$

F_1、F_2、F_n —研究对象的取值 ;

R_1、R_2、R_n —等级值或序 ,一般用自然数 1、2、3、……n 表示。

3　齐波夫分布律的应用

在自然界中有许多客观事实符合齐波夫分布律。因此 ,人们常利用这一规律 ,根据分布的已知部分去预测分布的未知部分。夹皮沟金矿田是一工作程度较高的地区 ,我们利用这一规律对其进行资源量预测。

3. 1　北西向主剪切带附近资源预测

夹皮沟主剪切带长约 50 km ,其上盘 1～2 km 范围内有大、中、小型金矿床近 20 余处 ,以石英脉型金矿床为主 ,次有蚀变岩型、细脉浸染型及糜棱岩型。矿脉倾角较陡 70 °～80 °之间 ,个别具反倾现象。其形态以石英扁豆体为主 ,部分为脉状、似脉状 ,走向延长一般 60～150 m ,脉状矿体可达 300～500 m。单个矿体一般走向延长等于倾斜延深 ,矿体在深部具侧伏、侧现、尖灭再现等变化规律。现对该带已知的三道岔、板庙子、三道沟等矿床 ,根据其储量大小排列并相应编号(表 1) 。利用各已知矿床储量与最大的已知矿床储量的比值 F_n/F_1 ,且乘自然数的积 ,建立以下接近自然数的系列(表 2) 。

由表 2 中可看出 ,第二系列的平均值 X 最接近自然数 2 ,并且标准离差也较小。因此确定三道岔矿

[收稿日期]2001 - 04 - 26 ;[修订日期]2001 - 08 - 31 ;[责任编辑]余大良。
①任林子. 齐波夫定律在湖南大坊矿区金银预测中的应用 ,黄金地质科技 ,1992.
[第一作者简介]綦远江(1964 年 -) ,男 ,1988 年毕业于长春地质学院 ,主要从事金矿找矿和研究工作。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

床(F_1)的序次为 2,板庙子、小北沟、三道沟、大金牛、大线沟等矿床的序为第二系列括号内数字(R_n)分别为 9、12、14、20、21。由各矿床的序次可判断,夹皮沟金矿田主剪切带附近目前缺失序次为 1、4、5、6……等矿床,因此,夹皮沟金矿田主剪切带附近应还有一个规模更大的矿床及部分规模可观的矿床存在。利用公式(1)可求得最大矿床的金储量为:

表 1　夹皮沟金矿田部分矿床探明储量表

矿　床	三道岔	板庙子	小北沟	三道沟	大金牛	大线沟
编　号	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
储量(kg)	40781	9050 *	6693	5850	4160	3870

*板庙子矿床提交报告时储量为 14820 kg,生产中有一部分储量与实际差距较大。本文引用的储量部分为矿山统计所得到的储量。

表 2　夹皮沟金矿田各系列均值与标准离差表

序次	$Rn \cdot F_2/F_1$	$Rn \cdot F_3/F_1$	$Rn \cdot F_4/F_1$	$Rn \cdot F_5/F_1$	$Rn \cdot F_6/F_1$	X	S
1	1.1096(5)	0.9847(6)	1.0041(7)	1.0201(10)	1.0439(11)	1.0325	0.0432
2	1.9973(9)	1.9694(12)	2.0083(14)	2.0402(20)	1.9928(21)	2.0016	0.0231
3	3.1068(14)	2.9542(18)	3.0124(21)	2.9582(29)	3.0367(32)	3.0137	0.0562
4	3.9945(18)	3.9389(24)	4.0166(28)	3.9783(39)	3.9857(42)	3.9828	0.0254
5	5.1041(23)	4.9236(30)	5.0207(35)	4.9984(49)	5.0295(53)	5.0153	0.0580

$$K = (F_1 \times 2 + F_2 \times 9 + F_3 \times 12 + F_4 \times 14 + F_5 \times 20 + F_6 \times 21)/6 = 81616 \text{ kg}$$

据此计算方法,也可以计算出不同级别的矿床个数、资源量及其找矿潜力(表 3)。

表 3　夹皮沟主剪切带附近资源量预测表

矿床规模(t)	取　序	矿床数量(个)	预测资源量(kg)	探明储量(t)
> 50	1	1	81616	0
50～20	2～4	3	88417	60
20～10	5～8	4	51787	14
10～5	9～16	8	54101	46
5～1	17～81	65	130346	
1～0.5	82～163	82	56818	
总计			463085	120

夹皮沟主剪切带附近 2 km 范围内金矿资源量约为 463 t,减去该带上已探明的和历史开采的储量 120 t,其潜在资源量为 340 t。夹皮沟本区资源量为 49.187 ×3.15 = 155(t),即夹皮沟金矿田总资源量为 618 t,减去已探明的 170 t,则其潜在资源量为 448 t,找矿潜力约为 72 %。

3.2　齐波夫法与其他方法的对比

3.2.1　元素丰度模型法

在一个地区内的某种矿产的储量与该元素在该地区的丰度和后期活化富集有一定的关系,较高的丰度经活化富集往往伴随有较丰富的矿产资源。在夹皮沟金矿田选择八家子矿床这一工作程度高、储量经生产验证准确、勘探深度与勘探面积适中的矿床做为模型区,其资源量为:

$$T = f \cdot S \cdot C \cdot D \cdot H \cdot 10^3/(1 - f) \quad (2)$$

T —模型区资源总量,6 t;

f —成矿元素的富集系数;

S —模型区面积(km^2),4.0;

C —成矿元素(Au)正常场丰度值($\times 10^{-6}$);

D —模型区岩石体重(t/m^3),2.5;

H —勘探深度(km),0.6。

根据夹皮沟金矿田分布具体情况,将矿带划分为 5 个估算区,分别为 Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ区(图 1),每个区的预测深度暂定为 0.8 km。每个区的资源量可进行如下计算:

$$Tn = f \cdot Sn \cdot C \cdot Dn \cdot Hn \cdot 10^3/(1 - f) \quad (3)$$

Tn —预测区资源总量(t);

f —成矿元素的富集系数;

Sn —预测区面积(km^2);

C —成矿元素(Au)正常场丰度值($\times 10^{-6}$);

Dn —预测区岩石体重(t/m^3);

Hn —预测区勘探深度(km)。

将(2)与(3)式相比得

$$T = T \cdot (Sn \cdot Dn \cdot Hn)/(S \cdot D \cdot H) \quad (4)$$

利用(4)式把测区的参数代入,可得每个区的资源量(表 4)。

表 4　丰度模型法资源量估算表

	Ⅰ区	Ⅱ区	Ⅲ区	Ⅳ区	Ⅴ区
S/km^2	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
$D/t/m^3$	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
H/km	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Sn/km^2	62	60	85	76	45
$Dn/t/m^3$	2.5	2.6	2.6	2.5	2.5
Hn/km	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
资源量/t	124	125	177	140	83
总　计/t			652		

元素丰度模型法所预测的夹皮沟金矿田资源量为 652 t,减去已探明的及历史开采的 170 t,则潜在资源量为 482 t,与齐波夫法预测的结果相当。

3.2.2　黎彤法

利用公式(2)根据八家子矿床可求出夹皮沟金矿田成矿系数 $f = 0.156$,则矿田内地壳每公里厚度内资源量可用下列公式求出:

$$T = a \cdot \rho \cdot A \cdot f \quad (5)$$

T —预测区(Au)资源量(t);

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

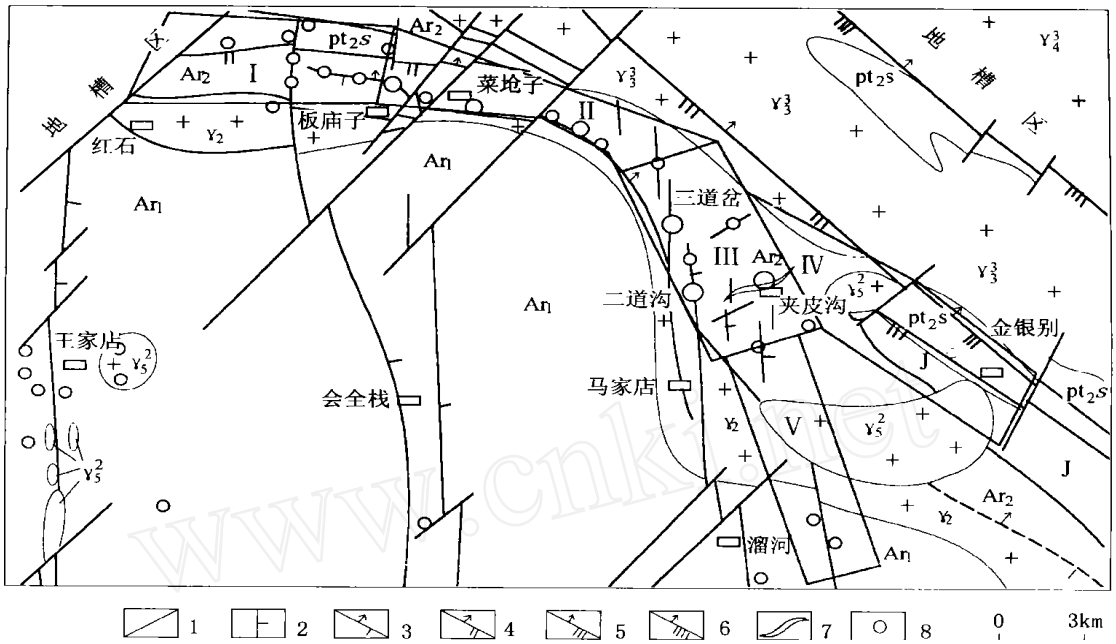

图 1　夹皮沟金矿集中区地质构造略图

J —中生代侏罗系;Pt_2s —中元古宙色洛河群;Ar_2 —晚太古宙花岗岩 - 绿岩带;Ar_1 —中太古宙高级变质区;γ_5^2 —印支 - 燕山朝花岗岩;γ_4^3 —华力西晚朝花岗岩;γ_3^3 —加里东晚朝花岗岩;γ^2 —晚太古宙钾质花岗岩;1 —中 - 新生代北东向断裂;2 —古生代南北向剪切带;3 —晚太古宙—元古宙北西向第一主剪切带;4 —晚元古宙 —古生代北西向第二主剪切带;5 —华力西朝北西向第三主剪切带;6 —华力西晚期北西向第四主剪切带;7 —晚太古宙绿岩残留体构造;8 —金矿床;V —资源量估算分区

f —成矿元素的富集系数;

a —预测区面积(km^2);

ρ —岩石平均密度(t/m^3);

A - 预测区成矿元素正常场丰度值($\times 10^{-9}$)

利用(5)式把测区的参数代入,可得每个区的资源量(表 5)。

表 5　黎彤法资源量估算表

	I区	II区	III区	IV区	V区
a/km^2	62	60	85		45
$\rho(t/m^3)$	2.5	2.6	2.6	2.5	2.5
f	0.156	0.156	0.156	0.156	0.156
$A/\times 10^{-9}$	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
资源量/t	130	131	186	148	88
总　计/t			683		

黎彤法所预测的夹皮沟金矿田资源总量为 683 t,减去已探明的及历史开采的 170 t,则潜在资源量为 513 t,与齐波夫法预测的结果基本相当。

3.2.3　探明储量法

黎彤(1995 年)对全国金矿的统计结果:我国金矿潜在储量约为历史消耗的储量和现有探明储量总和的 3.15 倍。以此方法估算夹皮沟金矿田潜在资源量为 170 ×3.15 = 535.5(t)。与齐波夫法预测的结果也基本相当。

4　阻尼曲线

阻尼运动是自然界中非常普遍的运动形式,如海啸产生的海浪、地震波的传播及弹簧振子的振动等。这些介质作阻尼运动时,其轨迹即为阻尼曲线。

4.1　阻尼曲线的发现

在研究板庙子矿床 303 含矿系统时,发现这样一些现象:①矿体规模普遍较小,成群集中出现;②矿体群走向延长与倾斜延深近相等;③最大矿体群走向延长与含矿剪切带的延长之比很小,约为 1:20;④地表矿走向近等距分布,间隔约为 300 m;延深几乎在同一标高尖灭,约为 220 m 标高;⑤深部矿产于地表矿无矿段 220 m 标高以下;⑥以最大的矿体为中心,两侧小矿体向中心侧伏等。

303 含矿系统的最大矿体是 303 - 7 号矿体,走向延长约 350 m,倾斜延深约为 300 m,从 303 - 7 号矿体到含矿系统尖灭处距离约 3500 m。以 350 m × 2 为波长,以 300 m ×2 为最大振幅,则阻尼曲线衰减率为每公里 0.286 m,曲线方程为:

$$Y = H_0\left(1 - \left|\frac{X}{L}\right|\right)\cos\frac{2\pi}{\gamma}X \qquad (6)$$

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

H_0 —曲线最大振幅;

L —曲线从最大振幅到尖灭处距离;

λ—曲线波长。

303 含矿系统的曲线方程为:

$$Y = 2 \times 300\left(1 - \left|\frac{X}{3500}\right|\right)\cos\frac{2\pi}{2 \times 350}X$$

将该方程放在垂直纵投影图上,以最大矿体垂向中线为 y 轴,矿体出露最高标高(220 m)为 x 轴(图 2)。从图上可看出,几乎所有的浅部矿体都分布于曲线相邻两波峰之间 220 m 标高以上,而几乎所有的深部矿体都分布于相邻两波谷之间 220 m 标高以下,并且由中心向两侧矿体规模逐渐变小。

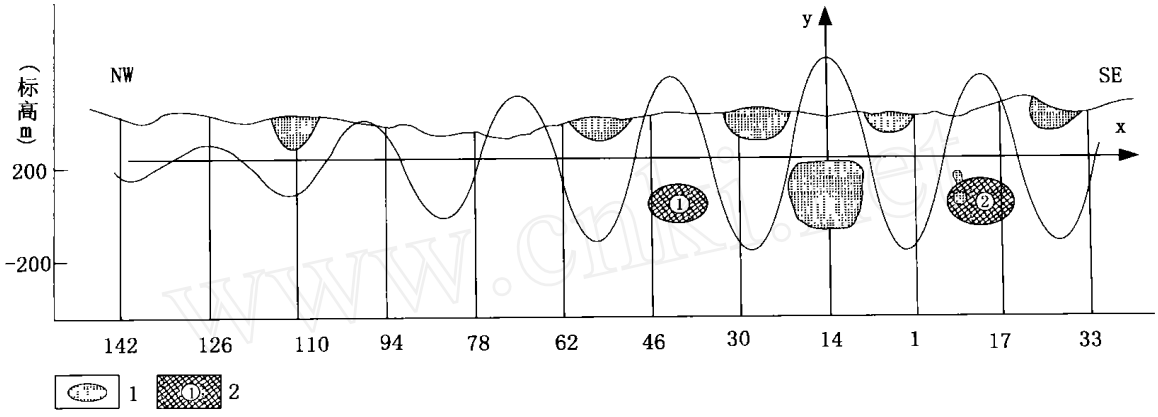

图 2 板庙子矿床 303 含矿系统矿体分布图

1 —矿体;2 —预测矿体位置(①工程还没到位,②已被矿山坑道验证有工业矿体存在)

4.2 阻尼曲线的验证

针对板庙子含矿系统的预测结果,通过矿山探矿坑道验证,在 180 m 标高以下、5～19 线间的相应位置发现规模较大的工业矿体②,在 40～46 线间相应位置①探矿工程还没到位,目前还无法证实矿体存在与否、规模大小。

4.3 阻尼曲线的适用条件

根据 303 含矿系统矿体沿阻尼曲线分布的现象,对板庙子矿床其它含矿系统及三道沟、小东沟、大金牛、小北沟等矿床的含矿系统做阻尼曲线,发现阻尼曲线只对部分矿床适用,象夹皮沟本区缓倾斜矿床不存在这一现象。

通过总结认为阻尼曲线的适用条件是:①产状较陡的与剪切作用有关的矿床;②矿体呈扁豆状或脉状;③石英脉型、细脉浸染型矿床;④最大矿体走向延长远小于含矿剪切带的走向延长,二者之比小于 1/10;⑤浅部(或地表)矿体近等距分布的常具有沿阻尼曲线分布的现象。

4.4 对夹皮沟主剪切带的预测

夹皮沟主剪切带走向延长约 50 km,其上盘 2 km 范围内已发现的矿床呈近等距分布。目前最大的两个矿床是三道岔与二道沟矿床,北侧的三道岔矿床矿体分布与矿化强度均向南侧伏,南侧的二道沟矿床矿体分布与矿化强度向北侧伏。因此,判断主剪切带成矿中心在这两个矿床之间。根据齐波夫分布律预测,主剪切带附近(三道岔、二道沟两矿床之间)有一储量约 80 t 的矿床存在,如果该矿床矿石品位与三道岔、二道沟矿床的矿石品位相当,那么其矿石量将是它们的 2～3 倍,矿床走向延长与倾斜延深将是它们的 1.5 倍左右。由此判断该超大型矿床走向延长约 2.8 km,倾斜延深约 1.0 km。

由中心向北西约 28 km 主剪切带被辉发河断陷带所截(可视为尖灭),曲线衰减率为每公里 0.0357 km。曲线方程为:

$$Y = 2 \times 1.0\left(1 - \left|\frac{X}{28}\right|\right)\cos\frac{2\pi}{2 \times 2.8}X$$

将曲线放在主带纵剖面上,以三道岔与二道沟两矿床之间中线与 - 500 m 标高交点为曲线原点(见图 3),从图中可看出,除老牛槽矿床(该矿床规模较小,储量为 2.15 t)之外,其余的已知矿床均分布在阻尼曲线两波峰之间 - 500 m 标高以上,与板庙子矿床 303 含矿系统很相似。由此可判断在图中①、②、③等地 - 500 m 标高以下均有规模较大的隐伏矿存在。

5 结 语

5.1 夹皮沟金矿田开采现状

夹皮沟金矿田已有 180 余年的探采历史,勘探深度最深处已达 - 200 m 标高,生产坑道垂深开拓最深达 840 m,其开采程度与研究程度均居国内前列。现该矿田内有 20 余座选矿厂,日处理矿石量达 300 t 以上,而矿山保有储量已不足 5 t,资源危机已

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

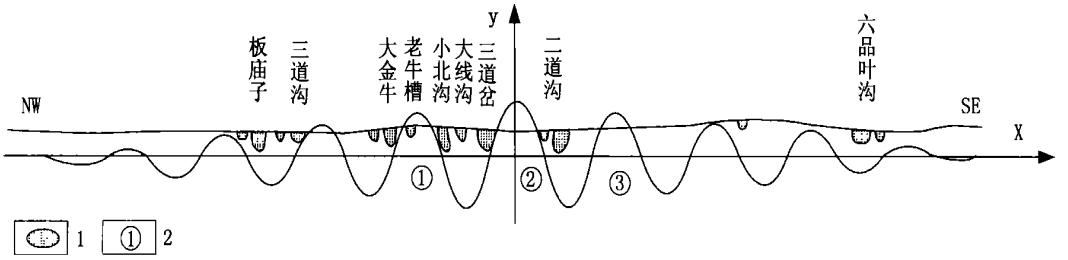

图 3　夹皮沟金矿田矿床分布及预测图

1 —矿床;2 —预测矿床位置(①、②、③位置矿床规模较大)

迫在眉睫,选厂均不能满负荷运作。

通过多种方法预测,夹皮沟金矿田资源总量约为 670 t,潜在资源量约为 500 t,找矿潜力为 74.63 %,这说明夹皮沟金矿田仍有较大的找矿潜力。通过阻尼曲线现象分析,夹皮沟金矿田主要矿床分布于剪切带附近 1～2 km 范围内 - 300 m 标高以下(距地表 1000 m 左右),这也说明找矿深度与找矿难度将大大增加(现平均勘探深度约 600 m)。

5.2　预测方法中存在的问题

自然界中产出的矿床因其形成过程中受诸多因素的影响,很难找出两个完全相同的矿床。因此无论用什么方法进行成矿预测,都不可能准确无误地判断预测区资源量,不能精确的指出矿体产出位置。用齐波夫分布律与阻尼曲线也只能大致判断潜在资源量及产出位置,它们还存在一些问题。

1)用齐波夫法对预测区进行资源量预测时,必须在有多个已知矿床或矿体基础上进行预测,并且它们之间是产于同一环境中的矿床(体)。

2)运用齐波夫法进行资源预测对区域性、战略性找矿有参考价值,因其不能指出矿床产出的位置,所以在具体找矿实践中参考价值不大。

3)矿体沿阻尼曲线分布的现象是在找矿实践中偶然发现的,其成因机制还有待进一步研究。

4)阻尼曲线现象在夹皮沟金矿田中部分矿床适用,在其它矿带、矿田能否适用还不得而知。如果阻尼曲线现象在其它矿带、矿田也存在的话,那么对成矿预测及找矿实践都是很重要的,它与齐波夫分布律、元素模型法、黎彤法等预测方法结合,既可寻找有利靶区,又可大致指出需重点投入找矿的位置,这无疑可以缩短找矿周期,提高工程有效利用率,对矿产开发具战略性意义。

[参考文献]

[1]　程玉明,李俊建,沈保丰,等.吉辽地区绿岩带金矿成矿找矿模式[M].北京:地震出版社,1996.

APPLICATION OF ZIPF'S LAW AND DAMPING CURVE IN METALLOGENIC PROGNOSIS IN JIAPIGOU GOLD MINE

QI Yuan - jiang, BO Ji - rong, YANG Yu - Qing

(No. 604 Party of Geological Prospecting of Non - ferrous Metals of Jilin Province, Huadian 132400)

Abstract: Using Zipf's law and damping curve to forecast metallogenic resources is of less adopted data and easy calculation. The results by this method are basically equivalent to that by elemental abundance model or Li Tong's method. Jiapipou gold mine is an area with higher research and mining levels, and is facing resource crisis. Metallogenic prognosis using Zipf's law and damping curve methods shows that there is about 500t more potential Au resource. Prospecting potential is 74 %. There are still existing hidden large and superlarge ore bodies especially along the main shear zone. Prospecting depth should be greatly increased.

Key words: Zipf's law, damping curve, Jiapigou gold mine, metallogenic prognosis

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net