

金属矿产

# 矿体统计分析预测在粤西河台金矿的应用

朱江建<sup>1,2</sup> 曾乔松<sup>1</sup> 龚贵伦<sup>1,2,3</sup> 易金<sup>1,2</sup> 林舸<sup>1</sup> 陈广浩<sup>4</sup>

(1. 中国科学院广州地球化学研究所中国科学院矿物学与成矿学重点实验室, 广东广州 510640;  
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 中国人民武装警察部队黄金第十一支队, 湖南宁乡 410600;  
4. 中国科学院南海海洋研究所, 广东广州 510301)

[摘要] 矿体统计分析预测以空间上有一定分布规律的找矿信息为研究对象, 通过对其进行结合地质实际的统计分析, 并将统计分析的结果合理地应用于已知矿体向未知矿体的找矿预测。预测的区域是地质上可靠、统计学上发生概率高的有利区域。其预测思路可分为: (1) 研究并发现有一定规律的找矿信息; (2) 结合地质成矿过程的统计分析; (3) 结合地质实际的高概率预测。本文以粤西河台金矿为例, 论述了矿体统计分析预测的思路与方法。由矿体统计分析预测获得的预测区域与钻孔的见矿位置一致, 说明其预测是有效的。该方法可能对矿体在空间分布上有一定规律的矿床都有一定的预测意义。最后, 总结了矿体统计分析预测的优点、不足、注意事项及应用前景。

[关键词] 矿体统计分析预测 河台金矿 找矿 思路 方法

[中图分类号] P618 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2012)02-0259-9

Zhu Jiang-jian, Zeng Qiao-song, Gong Gui-lun, Yi Jin, Lin Ge, Chen Guang-hao. Geostatistical analysis and prediction of orebodies: A case study from the Hetai gold orefield, western Guangdong Province [J]. *Geology and Exploration* 2012, 48(2): 0259-0267.

由地球物理、地球化学方法获取的数据按一定的相关性绘成各种等值线图, 并将等值线所反映的异常信息用于找矿预测已是常用的找矿方法, 且已取得了很好的成果。然而这种应用往往存在两个问题: (1) 同一张异常图中的不同异常点之间的相互关系很少被人关注; (2) 用异常等值线圈定预测区边界时, 难以甚至无法找到一种有地质依据且能量化确定有利找矿区边界的方法。矿体在形成过程中受到一定地质作用的制约, 而地质作用的规律性则决定了矿体分布的规律性。如果能充分提取地球物理、地球化学等值线图的地质信息, 并结合地质作用过程中的成矿信息, 进行综合研究分析, 对上述问题的解决也许就有可能。本文以广东省河台金矿为例, 在充分提取厚度-品位等值线图的异常信息, 并结合地质作用过程中的成矿信息, 进行综合研究分

析, 即按矿体统计分析方法, 进行矿体预测, 以求对上述问题的解决作一有益探讨。

## 1 矿体统计分析预测的地质与统计学依据

### 1.1 地质依据

矿化的空间分布往往有一定规律性, 如: 矿种与矿化类型的分带性、不同尺度水平的等距性、矿化强度的互补性、矿体产状的斜列与侧伏趋势、矿化垂向的分段富集趋势、总体构形的有序性等(魏民等, 1995)。

以金矿的近等距性为例, 大( $>5000\text{ m}$ )到矿田的近等距性, 例如, 招远-掖县金矿化集中区(魏民等, 1995)、湘西雪峰弧东段的金矿带(陈广浩, 1996)、戈枕金矿带上各金矿田的等距性(郭晓东等, 1997)。

[收稿日期] 2011-08-10; [修订日期] 2011-12-06; [责任编辑] 郝情情。

[基金项目] 国家自然科学基金项目: 广东河台金矿富矿包中金的超常富集机制研究(41172082)、国家基础研究计划(973): 华南大面积低温成矿系统形成的构造及流体作用(2007CB411402)及中国科学院广州地球化学研究所创新项目(A15-030513)联合资助。

[第一作者] 朱江建(1985年—), 男, 2007年毕业于桂林理工大学, 获学士学位, 在读博士生, 主要从事构造与找矿预测研究, Email: zjj3xsjl@163.com。

[通讯作者] 曾乔松(1970年—), 男, 2007年毕业于中国科学院研究生院, 获博士学位, 主要从事矿床学、成矿学及找矿预测研究。Email: zengqs@gig.ac.cn。

中(500~5000 m)到矿床的近等距性,如夹皮沟金矿带(魏民等,1995)、小秦岭地区金矿脉亚矿带(王可勇等,1995)、烧锅营子金矿区(郑超等,1995)、胶东地区金矿床(孙宗锋等,1999;郭涛等,2007)、陕西双王金矿8个含金长扁透镜状角砾岩体(汪劲草,2001)、湘东北的大洞地区I号含矿破碎蚀变带的金矿体(符巩固等,2002)、牟乳金矿南北向断裂带中的矿床(贺振等,2006)。

小到(小于500 m)矿体的近等距性,如:桃花金矿床各矿段(徐锦明,1997)、东坪金矿的雁列脉(李少众,1999)、胶东望儿山金矿床不同断层控制的矿体(方金云,1999)、马滑沟矿床I号矿体(韦昌山等,2000)、铍尖金矿区牛心山矿段(闫永福,2005)、内蒙古安家营子金矿田内富集地段(孟祥秋等,2008)、山东招远界河金矿界河矿区的矿体(陈静等,2009)、峪耳崖金矿床在垂直方向上矿化密集带的分布(肖振等,2010)等等。

矿体统计分析预测所研究的对象正是空间上有一定规律性的找矿信息。

## 1.2 统计学依据

对空间上有规律性的找矿信息进行统计分析,可得到实际矿体分布关系中的高概率分布区。如:对10个矿体间距进行统计分析,其中一个相邻间距为80 m,一个为30 m,其它为50~60 m,那么可认为50~60 m是本区相邻矿体间距的高概率分布区(可用80%近似代替)。这种高概率预测的有利找矿区被认为是未知矿体的高概率分布区。

## 2 矿体统计分析预测

矿体统计分析预测以空间上有一定分布规律的找矿信息为研究对象,通过对其进行结合地质实际的统计分析,并将统计分析的结果合理地应用于已知矿体向未知矿体的找矿预测。预测的区域是地质上可靠,统计学上发生概率高的有利区域。其预测思路可分为:(1)研究并发现有一定规律的找矿信息;(2)结合地质成矿过程的统计分析;(3)结合地质实际的高概率预测。

### 2.1 研究并发现有一定规律的找矿信息

地球物理、地球化学等值线图的异常信息中包含的找矿信息包括:不同元素异常点的间隔分布、同一元素异常点的近等距性、异常点中心连线的斜列与侧伏趋势、异常点强弱间隔分布等。

### 2.2 结合地质成矿过程的统计分析

需要强调的是统计分析必需结合地质实际。主

要考虑两点。一是统计结果的可靠性。这种可靠性的评价可通过统计结果本身来进行,也可通过统计对象以外的研究对象评价统计结果的可靠性。二是在统计结果可靠的情况下分析统计结果指示的地质成矿意义,如矿体厚度-品位等值线异常中心间距主要集中在100 m,那么可能指示了矿体富集中心具有约100 m近等距排列的规律。

### 2.3 结合地质实际的高概率预测

按统计分析结果进行找矿预测,也必须结合地质实际。主要考虑两点。一是要按统计分析结果结合地质实际来确定对预测区进行找矿预测的方法。下文在河台金矿结合地质的预测中,对结合地质实际且能定量化确定有利找矿区边界的方法进行了一次有益的探讨。二是要考虑预测区本身的可靠性。可靠的预测区应满足如下条件:已知区的矿体与其物、化探异常吻合;预测区与已知区的地质特征及物、化探异常特征基本一致。

## 3 矿体统计分析预测在河台金矿的应用

### 3.1 河台金矿矿床地质特征概述

河台金矿位于华南加里东褶皱系云开大山隆起带北翼、罗定-广宁断裂带和吴川-四会断裂带的交汇部位(图1A)。矿区由北往南依次出露震旦系、奥陶系、志留系。震旦系是本区主要的含矿地层,其岩性以片状云母石英岩为主;奥陶系与志留系以薄层浅变质砂岩、粉砂岩及薄层板岩为主。 $F_1$ 断裂是本区主要的导矿构造之一,其位于矿区南部,倾向北西,倾角 $55^\circ \sim 70^\circ$ ;容矿构造为糜棱岩带及发育于其中的脆性断裂,其中糜棱岩带长几十米至上千米,宽为数米到数十米,倾向北西,局部反转,倾角 $60 \sim 85^\circ$ (李新福等,2007)。导矿构造与容矿构造在剖面上为y字型(图1B)。按围岩与相对密集状况,糜棱岩化带可分为:北带(如:9、19、11、12、13号糜棱岩化带)、中带(如:15、5、10、40号糜棱岩化带)、南带(如:36、38、58号糜棱岩化带)(图1C)。其中云西矿床的9号糜棱岩带为本文研究对象,目前已开采至-140 m水平。矿区西部出露云楼岗序列黑云母斜长花岗岩,东部出露伍村序列巨斑状黑云母二长花岗岩。矿体与围岩的界线有突变(陈骏等,1993;王斯亮等,2000)也有渐变(胡世杰,2008)。根据成矿条件的不同可将河台金矿的成矿期划分为糜棱岩化成矿期与热液成矿期(朱江建,2011b)。其中热液成矿阶段可分为:金-石英阶段、金-多金属硫化物阶段、碳酸盐阶段,其中金-多金属硫化物

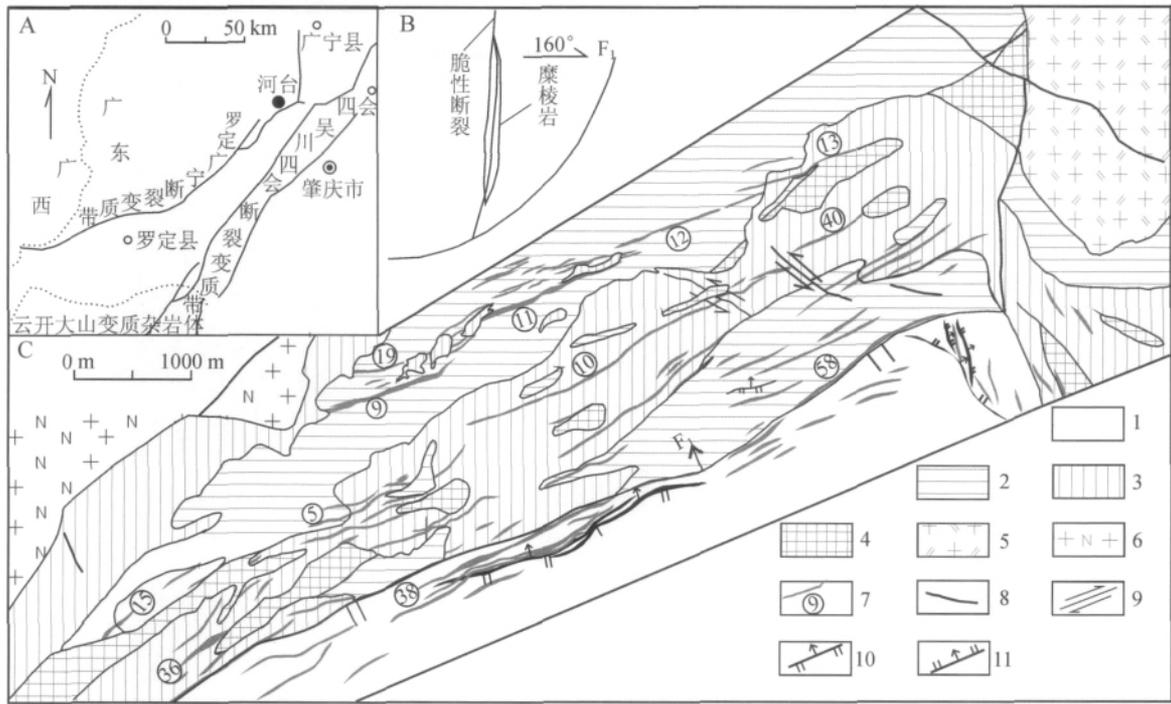


图 1 河台金矿区域构造位置及矿区地质图

Fig.1 Geological map and tectonic setting of the Hetai gold deposit in western Guangdong Province

A - 河台金矿区构造位置图(据夏永健等 2008 修改); B - 河台金矿区控矿构造示意图(据刘伟 2006 修改); C - 河台金矿区地质图(据朱江建等 2011a 修改)

A - Structural location of the Hetai gold deposit(modified after Xia ,2008); B - Sketch map of ore - control structure(modified after Liu , 2006); C - Geological map of the Hetai gold deposit(modified after the Hetai Gold Mine ,2006)

1 - 中-上奥陶统三尖群千枚状粉砂质页岩、变质石英粉砂岩; 2 - 震旦系云母片岩; 3 - 震旦系混合岩、混合片麻岩; 4 - 震旦系石英岩; 5 - 伍村序列巨斑状黑云母二长花岗岩; 6 - 云楼岗序列黑云母斜长花岗岩; 7 - 糜棱岩带及其编号; 8 - 性质不明断层; 9 - 走滑断层及其编号; 10 - 逆断层; 11 - 正断层

1 - phyllitic silty shale , metamorphic quartz siltstone of the Middle - Upper Ordovician Sanjian Group; 2 - Sinian mica schist; 3 - Sinian migmatite , migmatic gneiss; 4 - Sinian quartzite; 5 - macroporphyritic biotite monzonitic granite of Wucun Series; 6 - biotite plagiogranite of Yunlougang Series; 7 - mylonitized zones and number; 8 - unknown fault; 9 - strike - slip faults and number; 10 - reverse fault; 11 - normal fault

阶段是河台金矿主要的成矿阶段。该阶段富含硫络合物的热液主要沿硅化糜棱岩中的裂隙充填,且形成的富矿包具有向北东侧伏与近等间距分布的规律(王斯亮等 2000; 伍思洪 2005; 胡世杰 2006)。赋金矿脉走向  $N 60^{\circ} \sim 80^{\circ} E$ , 倾向 NNW, 倾角  $70^{\circ}$  左右。矿脉厚度从几厘米到几十米不等,平面上主要呈左阶斜列产出,呈右旋走滑特征,在剖面上产状比较稳定。矿石类型主要有浸染状硅化千糜岩金矿石和具网脉状金属硫化物叠加的硅化千糜岩金矿石(李新福等,2007)。伴生金属矿物主要包括黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、菱铁矿、毒砂; 非金属矿物主要有石英、绢云母; 副矿物有电气石、磷钇石、锆石、榍石、独居石等(刘伟等 2006)。

### 3.2 矿体统计分析预测在河台金矿的应用

#### (1) 研究并发现有一定规律的找矿信息

河台金矿厚度 - 品位富集中心(下文简称为富集中心)等距性明显,所以将其进行矿体统计分析预测研究。由厚度 - 品位等值线图(刘伟,2004)确定其富集中心为 A、B、C、D、E、F、G、H、I、J、K(图 2)

#### (2) 结合地质成矿过程的统计分析

河台金矿富矿包具有向北东侧伏的规律(王斯亮等 2000; 伍思洪 2005; 胡世杰 2006),所以本文沿  $70^{\circ}$  向下统计相邻富集中心连线在  $70^{\circ}$  方位所在剖面的纵投影的侧伏角与距离(图 3)。本次研究的富集中心都位于糜棱岩化带中,而糜棱岩化带的宽度一般小于富集中心间距的十分之一,所以沿  $70^{\circ}$  向下统计相邻富集中心连线在  $70^{\circ}$  方位所在剖面的纵投影的距离,近似为矿体富集中心的实际距离。

6 个统计量的统计结果是,相邻富集中心连线

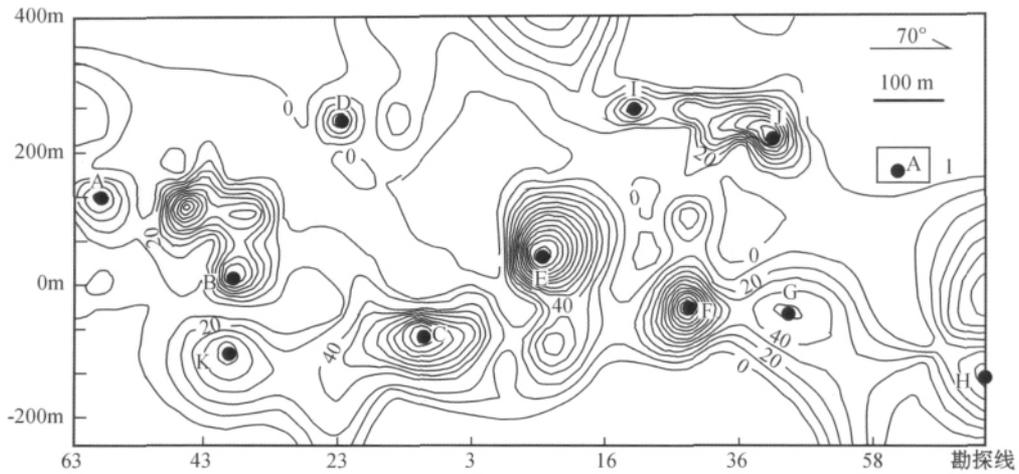


图2 云西矿床9号矿体厚度-品位等值线图(据刘伟等修改,2004)及富集中心  
 Fig. 2 Thickness-grade contours for orebody No. 9 in the Yunxi deposit  
 (modified after Liu et al., 2004) and enriched centers

1-富集中心位置及其编号

1-the positions of enriched centers and their numbers

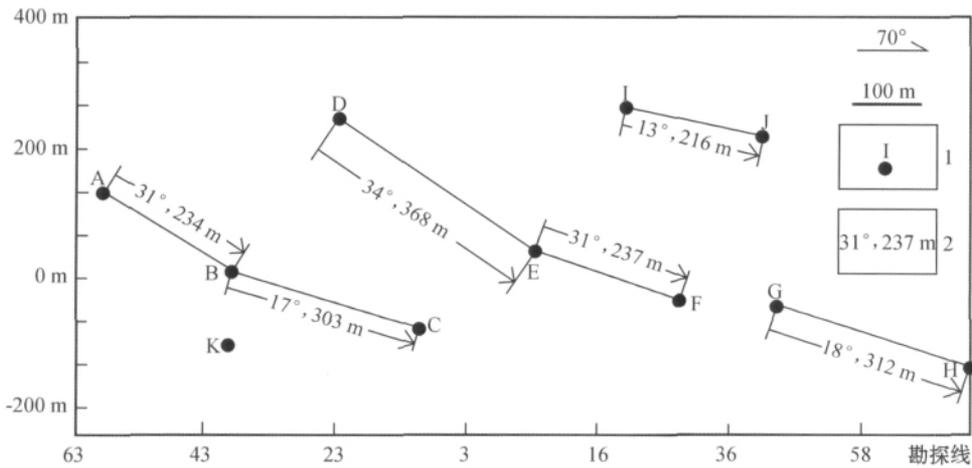


图3 相邻富集中心连线纵投影的侧伏角与距离分布图

Fig. 3 Plunge angle and distance between adjacent enriched centers

1-富集中心位置及其编号;2-两富集中心的连线纵投影的侧伏角及距离

1-positions of enriched centers and their numbers; 2- plunge angle and distance between adjacent enriched centers

在70°方位纵投影的侧伏角为13°~34°,且主要集中于13°~18°与31°~34°,距离为216~368m。

河台金矿中的矿体主要沿走向约为70°糜棱面理(Sc)展布,说明相邻富集中心连线在70°方位纵投影的侧伏角与距离,分别相当于糜棱岩带糜棱面理上线理的侧伏角与侧伏方向上的距离。河台滑痕线理主要发育在Sc面理上,其中一组侧伏角较小,为10~35°,侧伏方向为北东东(周崇智等,1988)。这组滑痕线理的侧伏角与侧伏方向分别与上述相邻富集中心指示的13~34°与70°吻合,说明河台金矿糜棱面理上侧伏方向为北东东向,侧伏角为13~

34°的线理以216~368m近等间距控制富矿体,进而说明了统计结果是有地质依据的。以上分析表明,孤立的富集中心K若沿本次统计分析结果进行找矿预测,图3中23线以东-140m水平以下可能有金矿体存在。恰好我们在23线的160、60、10、-40、-90、-140水平及39线的60、10、-40、-90、-140水平做了地球化学采样工作。以下将通过地球化学元素分析探讨23线以西-140m水平以下的含矿性。

王鹤年等(1989)指出河台金矿从混合岩→千糜棱岩→弱硅化、绿泥石化、方解石化千糜岩带,Au

含量升高、As 元素含量降低; 从弱硅化、绿泥石化、方解石化、千糜岩带到强硅化、黄铁矿化、黄铜矿化、千糜岩带(矿体) Au、As 元素含量明显升高, 其中绿泥石化与方解石化为成矿后的蚀变作用(夏永健 2008)。这些研究结果表明, 河台金矿与金矿化相关的糜棱岩化作用、硅化作用都使 As 元素含量降低, 而硫化物化形成的富矿则伴随 As 含量的增加。硫化物化主要发生于热液成矿期的金-石英-多金属硫化物阶段, 而据前人研究, As 可作为热液型金矿的前晕缘指示元素(魏俊浩, 1994; 李惠等, 1999、2004; 李强等, 2005; 马立成等, 2006; 王长明等, 2007)。综上所述, As 不但伴随硫化物阶段产生, 且可作为河台金矿硫化物成矿期的有效前缘晕指示元素。由于河台金矿目前所开采的富矿包都富含硫化物, 所以 As 可作为河台金矿富矿包的有效前缘晕指示元素。

39 线 As 元素含量最高值为 10 m 水平的 17.9 g/t; 金元素含量最高值为 -140 m 水平的 81.8 g/t(图 4), 验证了 As 可作为河台金矿富矿包的有效前缘晕指示元素。

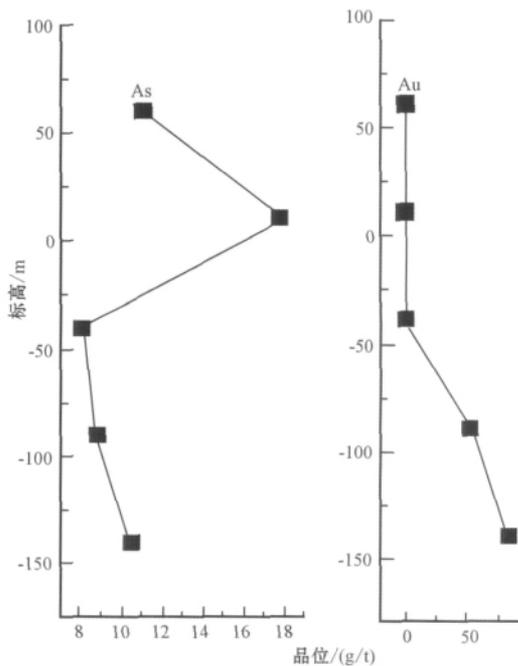


图 4 39 线各水平 As 与 Au 含量图  
Fig. 4 Contents of As and Au in different horizons for line 39

23 线从 0 m 水平到 -140 m 水平 As、Au 有上升的趋势, 且 As 的上升趋势明显强于 Au(图 5), 以上地球化学分析结合富矿包向北东侧伏的规律(王

斯亮等 2000; 伍思洪 2005; 胡世杰 2006), 表明河台金矿 9 号糜棱岩化带 23 线 -140 m 水平以下的北东方位可能有矿体存在。

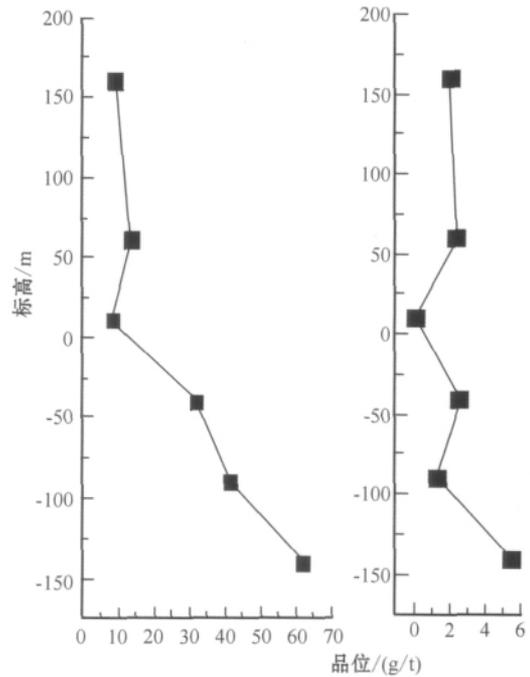


图 5 23 线各水平 As 与 Au 含量图  
Fig. 5 Contents of As and Au in different horizons of line 23

(3) 结合地质实际的高概率预测

为了充分利用统计分析结果, 本文采用如下预测方案。以已知的富集中心 K(图 2、图 3) 为起点, 向北东方向(河台金矿矿体的侧伏方向) 分别作倾伏角为 13°、17°、18°、31°、34°(由图 3 统计结果所得) 的射线。再以 K 为起点, 在以上射线上分别取 216 m(如上 6 个样品统计的最小距离) 得图上的 1、3、5、7、9 号控制点; 再以 K 为起点, 在如上射线上分别取 368 m(如上 6 个样品统计的最大距离) 得图上的 2、4、6、8、10 号控制点。依次连接图 6 中的 1、3、5、7、9、10、8、6、4、2 号富集中心的边界控制点, 得预测的富集中心可能的分布范围(图 6, 图中阴影部分所示)。

4 讨论

由于侧伏角主要集中于 13° ~ 18° 与 31° ~ 34°, 所以 13° ~ 18° 与 31° ~ 34° 所在的预测区可作为可靠性更高的预测区。钻孔 ZK1512 在 15 线 -155 m 处见矿厚度为 3.33 m, 金品位 2.60 g/t, 其位于 13° ~ 18° 的预测区内(图 6); 钻孔 ZK708 在 7 线 -290 m

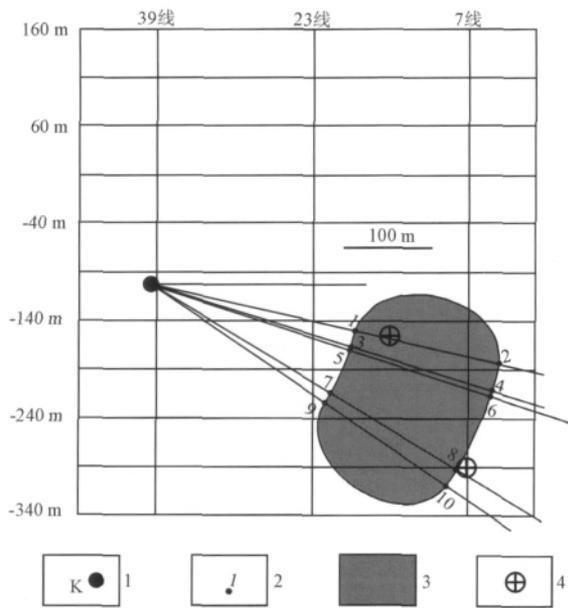


图6 用矿体富集中心预测法求解的富集中心边界控制点分布图

Fig. 6 Control points obtained by predicting orebody - enrichment centers for the Hetai - Yunxi deposit

1 - 富集中心位置及其编号; 2 - 边界控制点及其编号; 3 - 有利找矿区; 4 - 已知钻孔  
1 - position of enriched center and its number; 2 - positions of marginal enriched centers and their numbers; 3 - favorable prospecting area; 4 - known drillhole

处见矿厚度为 2.10 m, 金品位 2.44 g/t, 其位于 31~34°的预测区附近(图6); 7 线与 15 线在 -350 m 的钻孔处均未见矿体(远离预测区)。综上所述, 矿体统计分析预测所揭示的预测区, 尤其是预测区里预测线相对较密集的区域(统计学上是矿化发生概率更高的区域)是有效的。河台金矿的热液成矿阶段可分为: 金-石英阶段、金-多金属硫化物阶段、碳酸盐阶段, 其中金-多金属硫化物阶段是河台金矿主要的成矿阶段, 本文的研究对象富集中心很可能主要与金-多金属硫化物阶段有关, 河台金矿所做的数值模拟研究表明, 某一阶段的成矿作用(如: 金-多金属硫化物阶段)可表现为一定的近等间距性, 这可作为研究对象的理论依据(朱江建等 2011b)。

#### 4.1 方法优势

(1) 对量化地确定矿体富集中心的边界进行了有益探讨。矿体统计分析预测确定的边界基于大量地质测量的统计分析结果, 所以其量化确定的富集中心的边界也应有符合地质实际而合理的特点; (2) 综合利用已知地质信息, 充分发掘与升华各种信息价值。工作程度高的矿山, 其重要的找矿信

息往往不在于未被发现的地质信息, 而在于已经被发现的地质信息未得到充分发掘与升华。这就需要不同的地质信息放在一起综合研究, 只要有规律可寻, 就有利用价值。将已知的地质信息成图是一件有意义的事, 但如不对图中的地质信息进行有效的统计分析, 意味着更有意义的信息可能被忽略。矿体统计分析预测在已有的成果图上进行统计分析, 实现找矿信息的二次开发; (3) 实现低成本找矿, 广大矿山工作者掌握了大量地质信息, 如品位-品位信息、品位-矿体厚度等, 若将这些信息应用矿体统计分析预测的思路与方法进行升华与综合利用, 其费效比很低, 可有效地降低找矿风险。(4) 工程见矿概率大。由于矿体的富集中心旁边还是较富的矿体, 所以在相同误差的情况下(可能源于统计数据的不充分、施工时的误差等), 工程见矿的可能性就大。

#### 4.2 方法不足

(1) 已知的富集中心是假定的。矿体统计分析预测提到的富集中心其实是测量样品的极值点, 由于采样有限, 其往往不能代表矿体实际的富集中心; (2) 适用范围受限制。若矿体中不同富集中心规律性越明显, 则预测的富集中心的范围就越小, 从而有工程验证价值; 规律性越不明显, 则预测的矿体富集中心范围就太大, 从而失去钻孔验证意义。所以该方法的适用性取决于矿体分布规律的明显程度。

#### 4.3 注意事项

值得注意的是, 有些情况下, 可通过如下方法改进其适用性的不足: (1) 如果采样点密度合理且充足, 测量的极值点就能近似的代表矿体实际的富集中心, 而测量的极值点之间的空间关系也可近似的代表矿体实际富集中心的空间关系; (2) 从总体无一定的规律中寻找一定的规律(如做频率分布直方图)进行矿体统计分析预测的应用。这种应用是有地质依据的, 各期有一定规律的容构造叠加在一起往往表现为规律性不明显。所以若在多成矿期的矿床应用矿体统计分析预测进行找矿工作, 建议要先区分不同成矿期的矿体以采集同一期的矿体进行矿体统计分析预测研究。综上所述, 样品充足可以弥补矿体统计分析预测在理论上的不足; 采集不同成矿期中同一成矿期的矿体可以弥补矿体统计分析预测在应用对象上的不足。

#### 4.4 应用前景展望

本文提出矿体统计分析预测的一种思路与方法, 希望起到抛砖引玉之效, 使矿体统计分析预测在

应用中得到发展,若地质工作者能结合不同矿床实际地质情况,且合理地运用,则可以在矿床勘探中发挥其作用,降低矿床勘探风险,为找矿事业作出更大的贡献。

## 5 结论

(1) 矿体统计分析预测以空间上有一定规律的找矿信息为研究对象,通过对其进行结合地质实际的统计分析,并将统计分析的结果合理地应用于已知矿体向未知矿体的找矿预测。预测的区域是地质上可靠、统计学上发生概率高的有利区域。

(2) 9号糜棱岩化带糜棱面上侧伏方向为北东东向,侧伏角为 $13 \sim 34^\circ$ 的线理以216~368 m近等间距控制富矿体,矿体统计分析预测的预测区域与钻孔的见矿位置一致,说明其预测是有效的。

(3) 矿体统计分析预测可能对矿体在空间分布上有一定规律的矿床都有一定的预测意义。其具有如下优点:基于大量地质测量的统计分析结果,量化地确定矿体富集中心的边界;综合利用已知地质信息,充分发掘与升华各种信息价值;实现低成本找矿;工程见矿概率大。样品充足可以弥补矿体统计分析预测在理论上的不足;采集不同成矿期中同一成矿期的矿体可以弥补矿体统计分析预测在应用对象上的不足。

### [References]

- Chen Jing, Sun Feng-yue, Li Xu-ju. 2009. Study on the spatial localization mechanism and metallogenic prognosis of ore bodies in Jiehe gold deposit, Zhaoyuan city [J]. *Gold*, 30(7): 14-18 (in Chinese with English abstract)
- Chen Jun, Wang He-nian. 1993. Characteristics of REE and other trace elements, within a shear zone of the Hetai gold deposit, Guangdong province [J]. *Mineral Deposits*, 12(3): 202-211 (in Chinese with English abstract)
- Fang Jin-yun, Ding Zhen-ju. 1999. Location law of orebodies in Wangershan gold deposit, eastern Shandong [J]. *Gold geology*, 5(3): 28-31 (in Chinese with English abstract)
- Fu Gong-gu, Xu De-ru, Chen Guang-hao. 2002. New recognitions on geological characteristics of gold ore deposits in northeastern Hunan Province, China and new prospecting advances [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 26(4): 416-422 (in Chinese with English abstract)
- Guo Xiao-dong, Xing Jun-bing. 1997. Discussion on feature of structure control of Gezhen gold belt, Dongfang, Hainan province [J]. *Gold geology*, 3(2): 42-46 (in Chinese with English abstract)
- Guo Tao, Lu Gu-xian. 2007. System analysis of ore-controlling structure in the northwestern Jiaodong gold metallogenic belt [J]. *Journal of Geomechanics*, 13(2): 119-130 (in Chinese with English abstract)
- He Zhen, Yu Zai-ping, Zhang Xue-ren. 2006. Structural division characteristics and ore-prospecting [J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 36(6): 992-995 (in Chinese with English abstract)
- Li Shao-zhong. 1999. Control of echelon vein on mineralization and its indication to prospecting [J]. *Geology and Prospecting*, 35(6): 15-18 (in Chinese with English abstract)
- Li Hui, Zhang Guo-yi, Wang Zhi-nong, Zhang Wen-hua, Chen Sheng-jun, Gao Yanlong, He Yongli, Zhao Zongqin, Wang Zhiyuan. 2004. The structural superimposed halo model of quartz-type gold deposits in the Xiaoqinling area [J]. *Geology and Prospecting*, 40(4): 51-54 (in Chinese with English abstract)
- Li Hui, Zhang Wen-hua, Liu bao-lin, Wang Jing-chen, Guo Rui-dong. 1999. The study on axial zonality sequence of primary halo and some criteria for the application of this sequence for major types of gold deposits in China [J]. *Geology and Prospecting*, 35(1): 32-35 (in Chinese with English abstract)
- Hu Shi-jie. 2006. Geological characteristics and the occurrence regularity of rich pocket of Yunxi Ore area in Hetai gold filed [J]. *Gold Science and Technology*, 14(3): 19-22 (in Chinese with English abstract)
- Hu Shi-jie. 2008. Depth and periphery prospecting at Yunxi deposit of Hetai goldmine [J]. *Southern Metals*, (4): 40-42 (in Chinese with English abstract)
- Li Qiang, Sun Ji-dong, Yang Xing-ke, Wang Lei, Hao Jun-feng. 2005. Characteristic of primary halo and prediction of hidden orebody of Shiyingtang gold deposit in xinjiang [J]. *Geology and Prospecting*, 41(4): 66-72 (in Chinese with English abstract)
- Li Xin-fu, Zhan Pei-ren. 2007. Ore potentiality analysis of mylonite zone of Hetai gold mine field [J]. *China Mine Engineering*, 36(1): 13-16 (in Chinese with English abstract)
- Liu Jian-yu. 2004. Geological characteristics of lamprophyre and its prospecting significance of the Beiya gold deposit, Yunnan [J]. *Gold Geology*, 10(1): 20-23 (in Chinese with English abstract)
- Liu Wei. 2004. Genesis and metallogenic rule of Hetai gold deposit, Guangdong Province [D]. Changsha: Central South University: 1-152 (in Chinese with English abstract)
- Liu Wei, Dai Ta-gen, Huang Man-xiang, He Hui. 2006. Occurrence regularity of ore body and prospecting perspective of Hetai gold deposit, Guangdong [J]. *Gold*, 27(3): 9-13
- Ma Li-cheng, Yang Xing-ke, Wang Lei, Li Qiang, Li Guo-tian, Sun Ji-dong, Chen Wen-long, Wen Zhen-quan. 2006. Ore-controlling structure and deep-prediction of primary halos in the Shiyingtang gold field, Eastern Tianshan [J]. *Geology and Prospecting*, 42(2): 24-28 (in Chinese with English abstract)
- Meng Xiang-qiu, Ning Shi-gang, Zhu Yang-yang, Zhang Jun-qia. 2008. Ductile-brittle shear zone ore-controlling characteristics and mineralization distribution laws in Anjiayingzi gold field, Inner Mongolia [J]. *Gold*, 29(11): 16-19 (in Chinese with English abstract)
- Sun Zong-feng, Yu Hai-xin, Guo Tian-le. 1999. Discovery of Xinli-gold deposit in Laizhou and its characteristics [J]. *Shandong Geology*, 15(2): 32-37 (in Chinese with English abstract)
- Wang Chang-ming, Deng Jun, Zhang Shou-ting, Huang Shou-min,

- Li Ke-han. 2007. Characteristic of primary halo and prediction of orebody at depths in the Huanxiangwa gold deposit, Henan [J]. *Geology and Prospecting*, 43(1): 58-63 (in Chinese with English abstract)
- Wang Jin-cao, Tang Jing-ru, Wang Guo-fu, Shi Jing-hai. 2001. Formation of gold-bearing hydrofracturing breccia body and prognosis of gold ore body in the Shuangwang gold deposit, Shaanxi Province [J]. *Geology Review*, 17(5): 508-513 (in Chinese with English abstract)
- Wang Ke-yong, Fan Yong-xiang, Lu Zuo-xiang. 1995. The Study on mineralization features and mineralization enrichment rules of Xiaolinling Gold zone in Lingbao county, Henan province [J]. *Journal of Xi'an College of Geology*, 17(1): 15-21 (in Chinese with English abstract)
- Wang Si-liang, Li De-qin. 2000. The characteristics and forecast of bonanzas in Yunxi deposit of Hetai gold mine [J]. *Gold Journal*, 2(1): 17-21 (in Chinese with English abstract)
- Wei Chang-shan, Xiong Cheng-yun, Jin Guang-fu, Li Wen-xiang, Xiang Wen-jin. 2000. Temporal-spatial pattern of the Mahuagou gold ore deposit, western Hubei, and the search for likely locations [J]. *Journal of Geomechanics*, 6(2): 77-81 (in Chinese with English abstract)
- Wei Jun-hao. 1994. Geochemical primary halo feature of Shuijingtun Gold deposits in northwest Hebei province [J]. *Geology and Prospecting*, 30(6): 56-59 (in Chinese with English abstract)
- Wei Min, Zhao Peng-da. 1995. Orderly rule of space distribution of mineralization and location prediction of orebody [J]. *Earth Science Journal of China University of Geosciences*, 20(2): 144-148 (in Chinese with English abstract)
- Wu Si-hong. 2005. The character of rich pocket in Hetai gold field [J]. *Gold Science and Technology*, 13(3): 33-35 (in Chinese with English abstract)
- Xia Yong-jian. 2008. Metallogenic Regularity and Metallogenic Prognosis of Hetai Deposit, Western Guangdong Province [D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences (in Chinese with English abstract)
- Xiao Zhen, Wei Feng, Liu Tie-xia, Xu Yong-zhong. 2010. Ore prediction and ore-searching direction in Yuerya gold mine, Hebei province [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 25(3): 217-222, 240 (in Chinese with English abstract)
- Xu Jin-ming. 1997. Structural characteristics of ore bodies and prospecting perspective of the Taohua gold deposit [J]. *Mineral Resources and Geology*, 11(3): 168-173 (in Chinese with English abstract)
- Yan Yong-fu. 2005. The geological characteristic and exploration direction of Niuxinshan ore block in Huajian gold deposit region [J]. *Beijing Geology*, 17(1): 12-14, 19 (in Chinese with English abstract)
- Zhen Chao, Wang Jian-guo et al. 1995. On Minerogenetic Structure in Jianping Shaoguoqingzi Gold Deposit - Magma Control [J]. *Journal of Shenyang Institute of Gold Technology*, 14(1): 1-7 (in Chinese with English abstract)
- Zhou Zong-zhi, Duan Jiar-ui. 1988. Characteristics of the ore-controlling structures in Yunxi gold deposit of the mylonite type [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2(3): 10-17 (in Chinese with English abstract)
- Zhu Jiang-jian, Zeng Qiao-song, Yi Jin, Gong Chao-yang, Li Xin-fu, Huang Dong-lin, Wang Si-liang, Xia Yong-jian, Gong Gui-lun, Chen Guang-hao, Lin Ge. 2011a. Prospecting application of absorption-electricity extraction method: A case study from Hetai gold deposit [J]. *Geology and Exploration*, 47(5): 894-902 (accepted) (in Chinese with English abstract)
- Zhu Jiang-jian, Chen Guang-hao, Gong Gui-lun, Yi Jin, Cai Jianxin, Gong Chao-yang, Huang Dong-lin, Zeng Qiao-song, Lin Ge. 2011b. Structure-fluid mineralizing in the mylonitization process for the Hetai goldfield [J]. *Earth Science Frontiers*, 18(5): 67-77 (in Chinese with English abstract)

## [附中文参考文献]

- 陈广浩. 1996. 湘西雪峰弧东段金矿控矿构造的新认识及找矿新思路 [J]. *地质地球化学*, (1): 16-19
- 陈静, 孙丰月, 李绪俊. 2009. 山东招远界河金矿矿体定位机制研究及成矿预测 [J]. *黄金*, 30(7): 14-18
- 陈骏, 王鹤年. 1993. 广东省河台含金剪切带中 REE 及其它微量元素的含量和分布特征 [J]. *矿床地质*, 12(3): 202-211
- 方金云, 丁振举. 1999. 胶东望儿山金矿床矿体赋存规律 [J]. *黄金地质*, 5(3): 28-31
- 符巩固, 许德如, 陈广浩, 李鹏春. 2002. 湘东北地区金成矿地质特征及找矿新进展 [J]. *大地构造与成矿学*, 26(4): 416-422
- 郭涛, 吕古贤. 2007. 胶东西北部金成矿带控矿构造系统分析 [J]. *地质力学学报*, 13(2): 119-130
- 贺振, 于在平, 张学仁. 2006. 牟乳金矿带构造分区特征及找矿意义 [J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 36(6): 992-995
- 胡世杰. 2006. 河台金矿云西矿区富矿包地质特征及赋存规律 [J]. *黄金科学技术*, 14(3): 19-22
- 胡世杰. 2008. 河台金矿云西矿床边深部找矿探索 [J]. *南方金属*, (4): 40-42
- 李惠, 张文华, 刘宝林, 王敬臣, 郭瑞栋. 1999. 中国主要类型金矿床的原生晕轴向分带序列研究及其应用准则 [J]. *地质与勘探*, 35(1): 32-35
- 李惠, 张国义, 王支农, 张文华, 陈军胜, 高延龙, 贺永利, 赵宗勤, 王志远. 2004. 小秦岭石英脉型金矿床的构造叠加晕模式 [J]. *地质与勘探*, 40(4): 51-54
- 李强, 孙继东, 杨兴科, 王磊, 郝俊峰. 2005. 新疆石英滩金矿床原生晕特征与隐伏矿预测 [J]. *地质与勘探*, 41(4): 66-72
- 李少众. 1999. 东坪金矿雁列脉控矿特征及其找矿意义 [J]. *地质与勘探*, 35(6): 15-18
- 李新福, 湛培任. 2007. 河台金矿田糜棱岩带含矿性分析 [J]. *中国矿山工程*, 36(1): 13-16
- 刘建云. 2004. 云南北衙金矿煌斑岩地质特征及找矿意义 [J]. *黄金地质*, 10(1): 20-23
- 刘伟, 戴塔根, 黄满湘, 贺辉. 2006. 广东河台金矿矿体赋存规律及找矿前景 [J]. *黄金*, 27(3): 9-13
- 刘伟. 2004. 广东河台金矿床成因及成矿规律研究 [D]. 长沙: 中南大学: 1-152
- 马立成, 杨兴科, 王磊, 李强, 李国填, 孙继东, 陈文龙, 韦振权.

2006. 东天山石英滩金矿田控矿构造与原生晕深部预测[J]. 地质与勘探, 42(2): 24-28
- 孟祥秋, 宁世刚, 祝阳阳, 张军前. 2008. 内蒙古安家营子金矿田韧一脆性剪切带控矿特征及矿化分布规律[J]. 黄金, 29(11): 16-19
- 孙宗锋, 于海新, 郭天庆, 王君亭, 孙乐雨. 1999. 莱州新立金矿床的发现及其地质特征[J]. 山东地质, 15(2): 32-37
- 汪劲草, 汤静如, 王国富, 史静海. 2001. 太白双王含金水压角砾岩体形成过程和金矿体预测[J]. 地质论评, 17(5): 508-513
- 王长明, 邓军, 张寿庭, 黄守民, 李克寒. 2007. 河南崔香洼金矿原生晕地球化学特征和深部找矿预测[J]. 地质与勘探, 43(1): 58-63
- 王可勇, 范永香, 卢作祥. 1995. 河南灵宝小秦岭金矿带矿化特征及富集规律研究[J]. 西安地质学院学报, 17(1): 15-21
- 王斯亮, 李得钦. 2000. 河台金矿云西矿床富矿包特征及预测[J]. 黄金学报, 2(1): 17-21
- 王鹤年, 张景荣, 戴爱华. 1989. 广东河台糜棱岩带蚀变岩型金矿床的地球化学研究[J]. 矿床地质, 8(2): 61-71
- 韦昌山, 熊成云, 金光富, 李文美, 向文金. 2000. 鄂西马滑沟金矿床的矿体赋存特征及找矿预测[J]. 地质力学学报, 6(2): 77-81
- 魏俊浩. 1994. 冀西北水晶屯金矿主矿脉地球化学原生晕特征[J]. 地质与勘探, 30(6): 56-59
- 魏民, 赵鹏大. 1995. 试论矿化空间分布的有序性规律及矿体定位预测[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 20(2): 144-148
- 伍思洪. 2005. 河台金矿田富矿包的特征[J]. 黄金科学技术, 13(3): 33-35
- 夏永健. 2008. 粤西河台金矿成矿规律与成矿预测研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院
- 肖振, 魏峰, 刘铁侠, 许永中. 2010. 河北峪耳崖金矿成矿预测及找矿方向[J]. 地质找矿论丛, 25(3): 217-222, 240
- 徐锦明. 1997. 桃花金矿床的矿体构造特征及找矿前景[J]. 矿产与地质, 11(3): 168-173
- 闫永福. 2005. 铈尖金矿区牛心山矿段地质特征及找矿方向[J]. 北京地质, 17(1): 12-14, 19
- 郑超, 王建国, 赵纯福, 马民涛, 黄菲, 郝辉. 1995. 建平烧锅营子金矿区成矿构造—岩浆控制[J]. 沈阳黄金学院学报, 14(1): 1-7
- 周崇智, 段嘉瑞. 1988. 广东云西糜棱岩型金矿床控矿构造特征[J]. 矿产与地质, 2(3): 10-17
- 朱江建, 曾乔松, 易金, 龚朝阳, 李新福, 黄栋林, 王斯亮, 夏永健, 龚贵伦, 陈广浩, 林舸. 2011a. 地电化学测量在河台金矿的找矿预测研究[J]. 地质与勘探, 47(5): 894-902
- 朱江建, 陈广浩, 龚贵伦, 易金, 蔡建新, 龚朝阳, 黄栋林, 曾乔松, 林舸. 2011b. 广东河台金矿糜棱岩化过程构造—流体成矿研究[J]. 地学前缘, 18(5): 67-77

### Geostatistical Analysis and Prediction of Orebodies: A Case Study from the Hetai Gold Orefield, Western Guangdong Province

ZHU Jiang-jian<sup>1,2</sup>, ZENG Qiao-song<sup>1\*</sup>, GONG Gui-lun<sup>1,2,3</sup>, YI Jin<sup>1,2</sup>, LIN Ge<sup>1</sup>, CHEN Guang-hao<sup>4</sup>

(1. Key Laboratory of Mineralogy and Metallogeny, Guangzhou Institute of Geochemistry,

Chinese Academy of Sciences, Guangzhou Guangdong 510640;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;

3. The 11th Branch of Chinese Gold Armed Police Force, Ningxiang, Hunan 410600;

4. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou Guangdong 510301)

**Abstract:** The geostatistical analysis and prediction of orebodies (GAPO) method studies ore-search information with regularities of spatial distribution. Such statistics and analysis are based on actual geological data, of which the result is tested by known orebodies and applied to prediction of new orebodies. The predicted region is considered to be reliable in geological settings, and to possess high probability of mineralization in a statistic sense. The process of prediction can be summed up as follows: (1) study and find prospecting information of regularities; (2) do statistical analysis combined with geological information; and (3) predict orebodies with high probability. This paper takes the Hetai gold orefield as an example to illustrate the prediction process of the GAPO. The result shows that the predicted regions by the GAPO method are consistent with orebodies revealed by drill holes, indicating its significance for prediction of orebodies. This method can be applied to the further exploration work of the Hetai gold orefield. In addition, this paper summarizes the advantages, deficiencies, notices and application prospect of the GAPO.

**Key words:** geostatistical analysis and prediction for orebodies, regularity, Hetai goldfield, prospecting