



数理统计方法在斑岩铜矿 找矿评价中的应用

周宏坤 郝今教

斑岩铜矿的经济意义已为人所共知。我们试图通过探讨数学地质手段在找矿评价中的应用,裨对这类矿床的找矿突破有所帮助。

斑岩铜矿是与中-酸性浅成岩浆侵入活动有关的细脉浸染型高-中温热液硫化矿床,在时间和空间上都具有一定发展规律的蚀变矿物晕和地球化学扩散晕。据此,并从已有的认识出发,我们认为斑岩岩体的种类、规模、形态、侵入时间、岩石结构、围岩的岩性、时代、蚀变带组合,以及矿化富集部位、矿石构造、金属矿物组合等成矿地质条件,可以看作是评价斑岩铜矿的地质变量。

一 斑岩铜矿成矿地质条件的统计规律

根据上述成矿地质条件,我们对国内13个已知成型的斑岩铜矿床进行了频率统计。结果表明,除围岩岩性及其时代、蚀变带组

合等变量外,其他各地质条件都有一定的规律。

1.斑岩岩体种类比较集中。成矿的岩体主要是中酸性花岗闪长岩(图1),频率达66.67%。随岩体酸性、碱性或基性的增加,成矿的可能性降低。

2.与矿床有成因联系的斑岩岩体绝大多数(78.58%)属于浅成全晶质斑状结构(图2)。向超浅成(玻基斑状结构)或深成(等粒结构)变化时,成矿频率明显减少(<10%)。

3.已知成矿斑岩岩体的规模,分布面积集中在0.1~1.5平方公里区间内,频率达62%(图3)。随分布面积的增加或减少,成矿频率下降。

4.斑岩岩体的形态以岩株状为好,频率为已知斑岩铜矿的50%;其次为岩墙或岩脉,频率为28.58%(图4)。

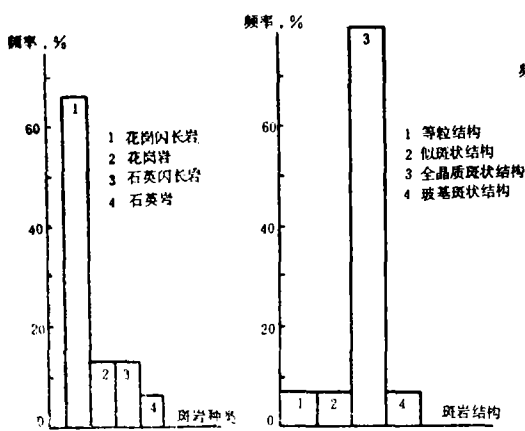


图1 斑岩种类频率分布直方图

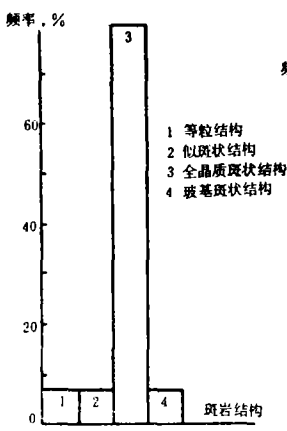


图2 斑岩结构频率分布直方图

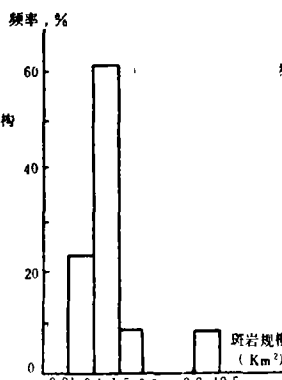


图3 斑岩规模频率分布直方图

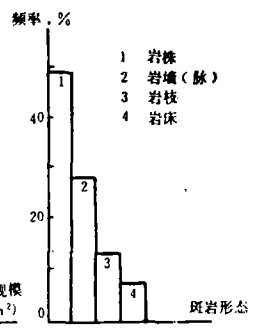


图4 斑岩形态频率分布直方图

5.成矿斑岩岩体侵入时代以燕山期居多,频率达61.54%。侵入时代变新、变老时,频率均降低。

6.已知斑岩铜矿的矿石构造特征非常明显,全部为细脉状和浸染状。

7.斑岩铜矿的金属矿物组合十分一致,

主要为硫化铁型, 频率达83.34%。

以上的统计数字, 从定量方面补充了我们对斑岩铜矿成矿地质条件的认识。

二 统计规律在评价斑岩铜矿床中的应用

在研究已知斑岩铜矿成矿地质条件统计规律的基础上, 按照判别分析的基本思想, 我们建立了评价斑岩铜矿的综合指标(P_k), 藉以区分成型与不成型斑岩铜矿或无矿的岩体。其步骤是:

1. 据上述统计频率对各矿床每项成矿地质条件进行定量(p_i), i 为地质变量编号。

2. 每个 p_i 取对数值并相加, 构成斑岩铜矿床(或岩体)的综合指标(P_k), k 为矿床或岩体的编号。

3. 据已知A类(具工业价值)和B类(不成型或无矿岩体)之斑岩铜矿作模型, 确定分类的临界标准 P_0 :

$$P_0 = \frac{\sum_{k=1}^{Na} P_{AB}/Na + \sum_{k=1}^{Nb} P_{BK}/Nb}{2}$$

式中 P_{AK} 、 P_{BK} 分别为A、B两类的第 K 个矿床的综合评价指标, $K = 1, 2, 3, \dots, Na(Nb)$, Na 、 Nb 分别为A、B两类的个数。

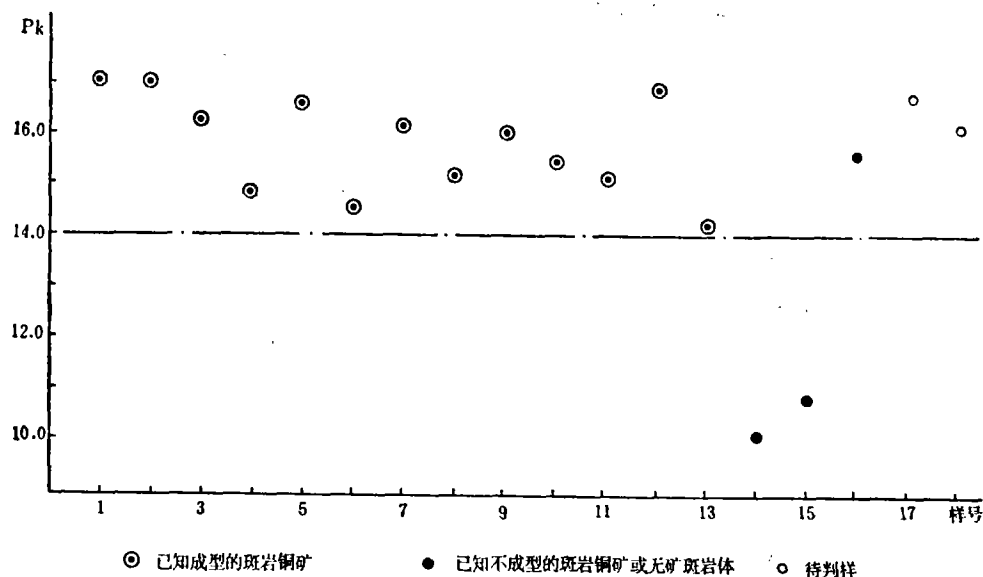


图5 综合评价指标 P_k 分布图

4. 按第1、2两步求出待判斑岩岩体的各项 p_i 和综合评价指标 P_k , 并以临界标准 P_0 分辨该岩体之归属。

按照上述步骤, 我们对18个斑岩铜矿或斑岩岩体作了判别, 其中13个为已知成型斑岩铜矿床, 3个为已知不成型铜矿化或无矿岩体, 2个为待判斑岩岩体, 判别结果见图5。对16个已知矿床和矿化点进行分类时, 可靠性达90%以上, 仅16号样判错, 由不成型矿化判为成型矿床。对待判斑岩岩体(17、

18号样)提出有形成斑岩铜矿床可能的意见, 这种看法与地质和化探方面的认识吻合。

综合评价指标 P_k 在某种程度上可以视为各成矿地质条件的概率乘积。当统计数量增大时, 各成矿地质条件出现的频率将会稳定为某一数值。频率的稳定性表明, 以应用统计频率建立的综合评价指标 P_k 用于斑岩铜矿找矿评价是有理论依据的。

三 成矿地质条件的定量和 贝野斯判别分析的应用

1. 成矿地质条件的定量 应用贝野斯判别分析需将各地质条件作定量表示,但现有的矿床研究可能提供的资料多为定性描述。针对这种情况,我们在采用贝野斯准则的判别分析时,根据一些原则将各地质变量作了初步定量。所采用的定量方法有以下几种:

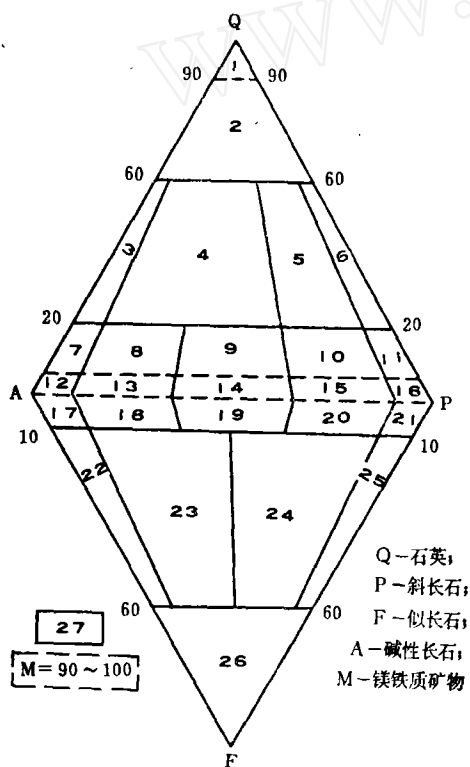


图 6

1—石英岩; 2—富石英的花岗岩类; 3—碱性长石花岗岩类; 4—花岗岩; 5—花岗闪长岩; 6—云英闪长岩; 7—碱性长石石英正长岩; 8—石英正长岩; 9—石英二长岩; 10—石英二长闪长岩/石英二长辉长岩; 11—石英闪长岩/石英辉长岩/石英斜长岩; 12—碱性长石正长岩; 13—正长岩; 14—二长岩; 15—二长闪长岩; 16—闪长岩/辉长岩/斜长岩; 17—含似长石碱性长石正长岩; 18—含似长石正长岩; 19—含似长石二长岩; 20—含似长石二长闪长岩/二长斜长岩; 21—含似长石闪长岩; 22—似长正长岩; 23—似长二长正长岩; 24—似长二长闪长岩/似长二长辉长岩; 25—似长闪长岩/似长辉长岩; 26—似长岩; 27—超镁铁岩石

(1) 按照测定的数据定量。有些地质变量可得出确切的定量数据,如岩体的规模,以出露的长×宽表示。

(2) 按照变量的内在联系进行顺序编号定量。有三种情况: ①按照造岩矿物成分变化的趋势编号定量。属于这种情况的如岩浆岩种类的确定。我们参照国际地质会议的“深成岩分类和命名”顺序稍加修改作了编号,具体情况见图 6。②按照形成时间先后顺序编号定量。如斑岩岩体侵入时代和围岩形成的时代(表 1)。③按照统计概率由大至小的顺序编号定量。如斑岩岩体形态按

表 1

时代 编 号	斑岩岩体侵入时代	围 岩 时 代
1	喜 山 期	第 四 纪
2	燕 山 期	第 三 纪
3	印 支 期	白 垩 纪
4	海 西 期	侏 罗 纪
5	加里东期	三 迭 纪
6	吕 梁 期	二 迭 纪
7		石 炭 纪
8		泥 盆 纪
9		志 留 纪
10		奥 陶 纪
11		寒 武 纪
12		震 旦 纪
13		前震旦纪

概率大小的顺序编号为 1—岩株状; 2—岩墙或岩脉状; 3—岩枝; 4—岩床。④按产出深度编号定量。对斑岩岩体据岩石结构反映的侵入深度可分四种,即等粒结构、似斑状结构、全晶质斑状结构及玻基斑状结构。由深而浅编号为 1, 2, 3, 4。

(3) 2—10 进制组合定量。蚀变分带是斑岩铜矿找矿评价的主要标志之一,综合我国斑岩铜矿床蚀变资料,大致可分为五个蚀变带: 即强石英化带、石英—钾长石化带、石英—绢云母化带、伊利石—水白云母化带和青盘岩化带。这些带在不同矿床中以不同的组合出现。

对各种组合我们采用五位二进制的数,每位对应一个蚀变带(表 2)。该带出现时为“1”,不出现时为“0”。将这个组合

的二进制数再换标为10进制则是该蚀变组合的定量。例如，矿床的蚀变组合有石英—钾长石化带、伊利石—水白云母化带和青盘岩化带时，定量为11。

表 2

强石英 化带	石英—钾 长石化带	石英—绢 云母化带	伊利石—水 白云母化带	青 盘 岩 化带
-----------	--------------	--------------	----------------	-------------

地质变量中矿化富集部位的定量亦采用了这种方法。

(4) 简单的顺序编号定量。有的地质变量，如围岩岩性，包括了沉积岩、变质岩和岩浆岩三大类，每类的分类依据极不相同，它们间的内在联系亦较复杂，加之划分的精细度又包含着人为因素，因此，目前只能依据岩性类别顺序编号定量（表 3）。

表 3

编 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
岩 性	火 山 熔 岩	基 性 火 山 熔 岩	酸 性 火 山 熔 岩	中 性 火 山 熔 岩	火 山 碎 屑 岩	砂 砾 岩	泥 质 岩	碳 酸 盐 岩	板 岩	千 枚 岩	片 岩	花 岗 闪 长 岩

2. 各种定量方法的比较 各种地质变量虽然作了上述定量，但这些定量方法是否可行？兹依据我们设计的三种定量方案判别效果对比、讨论如下。

第一种定量方案是将成矿地质条件分别以不同方法定量。如，斑岩岩体规模以出露的宽度×长度定量，岩体形态按统计概率由大至小顺序编号定量，岩体和围岩时代按时间先后顺序编号定量，蚀变带组合和矿化富集部位按 2—10 进制组合定量，围岩岩性作简单顺序编号定量等。

第二种定量方案是将各成矿条件统一用频率定量。

第三种方案是将各成矿条件统一按统计频率（概率）由大至小顺序编号定量。

三种定量方案对 16 个已知斑岩铜矿和矿化点进行判别分析的效果如表 4。由表 4 可见：

(1) 三种定量方案的判别效果均较

表 4

定量 方案	类间差异 F 值	可靠概率 (%)	平均归类 概率(%)	显 著 性 检 验
1	2.9	100	98.05	$\alpha = 0.10$, 水平显著
2	9.7	100	99.18	$\alpha = 0.01$, 水平显著
3	9.6	100	99.14	$\alpha = 0.01$, 水平显著

好，对 16 个已知样所作验证都与已知归属相同，即可靠概率达 100%。平均归类概率亦较理想，达 90% 以上。由此说明，在当前地质变量还不能达到精确定量的情况下，考虑变量的内在联系，而采用一些原则进行顺序编号的定量方法是可行的。在某种意义上讲，这也是扩大了多元统计方法的应用领域。

(2) 从类间差异 F 值及其对应的显著性检验来看，第一种方案效果要低于第二、三种方案。它仅在 $\alpha = 0.10$ 时水平上差异显著，而二、三两种方案 F 值在 $\alpha = 0.01$ 时，水平上显著。

这种情况的出现，一方面说明按统计概率或按统计概率由大至小顺序编号定量的方法比其他方法更为优越，因为它是以地质变量内部统计规律作依据的；另一方面也暴露了第一种定量方案中某些地质变量的定量方法，如围岩岩性按简单的顺序编号定量有较大的缺陷。

四 存在问题及其分析

我们在应用统计规律（或判别分析）进行斑岩铜矿找矿评价时，发现的问题是：

1. 个别已知样归属不正确；

2. 判归为成型斑岩铜矿床的待判样 17 号，经钻孔验证是含铜钼的热液型石英脉矿化点。

究其原因，可能是：

(1) 在找矿评价阶段，对地质特征、地质变量的认识都不够准确。如将 17 号待判样某些热变质的矿物组合作为斑岩铜矿的热液蚀变组合来看待了，并推断在岩脉群下部有斑岩体存在。在这种假设条件下参加计算，当钻孔证实假设条件并不成立时，自然也就失掉了判别的意义了。

(2) 由于本次工作受具体条件的限制和认识上的不一致,不成型或非矿岩体(第二类)的代表样过少(仅3个),这必然会影响到判别标准的代表性。

(3) 某些变量选择不当。围岩蚀变在斑岩铜矿评价中占有重要地位,它与矿化的关系并非简单地表现为某些带出现与否的组合问题。

根据现有的研究与认识,斑岩铜矿具有多期蚀变、多期矿化的特征。每期矿化都与一定的蚀变有时间上的关系,工业矿体主要赋存于石英绢云母化或黑云母钾长石化带中。因此,正确地反映矿化与蚀变的关系还

应包括各种蚀变带(特别是主矿化期的蚀变分布的广度与强度,及其相互间改造程度等定量数据。

我们的体会是,数理统计在找矿评价中的应用,必须有良好的地质工作基础。应用效果如何?一方面取决于方法的选择,另一方面也决定于矿床研究的程度——成矿规律认识的深刻性及地质变量的可靠性,同时需要对地质变量提出确切的数值。我们相信,随着斑岩铜矿床研究程度的不断提高,数理统计方法必将在找矿评价中日益发挥明显的作用。

斜孔中所见的断层点 在剖面图上的投影

地层和断层是两种不同的地质现象。由于二者的产状不同,斜孔中的断层点不可能在投影到剖面图上后出现在钻孔中。如按地层产状将该点投影到剖面图上,只会得到地层的投影点,而不是断层的投影点。即便这个断层点也是地(矿)层点,也只有在断层面和地(矿)层面均垂直于地质剖面时,二者才能重合。在一般情况下,应当按它们各自的产状要素,用走向投影法或产状投影法(见《地质与勘探》1977年第2期第40~41页)作图。此时,断层点往往落在图中的孔外(见插图),而不是在孔中。

(王仁农)

