

科迪勒拉成矿带斑岩铜钼矿床地质特征的 统计分析——实用于评价斑岩矿区

对分布在南、北美洲科迪勒拉成矿带内的58个斑岩矿床采用特征分析进行了研究,将已编码的控制数据编列成一入射-符合矩阵 (incidence-coincidence matrix),由此矩阵导出典型地质特征,使最典型的特征定量化,确立一种地质统计模型来评价科迪勒拉带的斑岩铜矿床。

控制数据

统计分析的依据是通过代表南北美洲科迪勒拉带有经济价值的斑岩铜钼矿床总体的控制抽样提供的。样品共包括58个矿床,其中7个分布在智利、秘鲁、墨西哥,20个分布在美国(亚利桑那),25个分布在加拿大不列颠哥伦比亚。

每个矿床的总值统一按1968年以前历年生产值的总和加上1968年估算的保有储量来计算。所依据的金属价格是:Cu每磅*0.50元,MoS₂每磅1.7元,Pb与Zn每磅0.14元,Ag每两**1.7元,Cu或它的等价物(MoS₂,Au,Sn等)的截止品位点为0.35%。58个矿

有经济价值的斑岩铜钼矿床的总值分布 表1

总 值 (以十亿元计)	观察的频数	计算的频数
0.05~0.25	5	3.45
0.25~0.63	9	10.32 下四分位数 —0.65
0.63~1.60	12	22.43
1.60~4.00	16	31.05
4.00~10.00	13	22.41 —4.62
10.00~25.00	3	8.62 上四分位数
>25.00	0	1.72
总 计	58	100.00

对数时距0.40 (对数以10为底)

* 1磅=453.6克; ** 1两=31.1克。

斑岩侵入杂岩体的地质特征分类 表2

分 组	特 征
A	围岩的岩性
B	围岩的时代
C	侵入体的区域控制
D	控制侵入体的构造线
E	主要花岗岩类岩石类型
F	主要斑状岩石类型
G	主要岩墙岩石类型
H	角砾岩与火山通道
I	花岗岩类岩相与斑岩岩相的接触
J	侵入体形成顺序
K	侵入体水平切面形状
L	侵入体总形态
M	侵入体侵入方式
N	侵入体侵入深度
O	矿化岩石类型
P	矿体水平切面形状
Q	矿体总形态
R	矿体边界性质
S	外带矿物组合
T	中间带矿物组合
U	内带与核部的矿物组合
V	矿化分带
W	硫化物相对含量
X	接触变质带岩性
Y	热液蚀变类型
Z	蚀变分带
AA	剥露水平
BB	磁法异常特征
CC	电法异常特征
DD	化探异常特征

床 总 共 约 值 2 千 亿 元 (1968 年)。按 地 区 分, 美 国 占 1 千 亿 元, 南 美 620 亿 元, 不 列 颠 哥 伦 比 亚 300 亿 元。矿 床 总 值 的 分 布 见 表 1。按 0.4 对 数 (以 10 为 底) 间 距 分 为 7 等, 所 概 括 的 范 围 是 0.05~25 千 亿 元。表 中 还 列 出 根 据 与 观 察 数 据 拟 合 的 对 数 正 态 模 型 得 出 的 频 数 (以 % 表 示)。比 较 大 的 矿 床 (上 四 分

特征分析法流程图

表4

(1) 数据处理

$$\begin{array}{c} \downarrow \text{列 (斑岩铜矿床)} \\ \text{行} \rightarrow \begin{matrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \\ F \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 & 2 & 2 & 5 & 4 & 2 \\ 2 & 5 & 2 & 3 & 4 & 3 \\ 2 & 2 & 3 & 3 & 2 & 1 \\ 5 & 3 & 3 & 6 & 4 & 3 \\ 4 & 4 & 4 & 4 & 6 & 3 \\ 2 & 3 & 1 & 3 & 3 & 4 \end{pmatrix} \begin{matrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \\ F \end{matrix}
 \end{array}$$

编码数据矩阵 (6×8) × 转置矩阵 (8×6) = 乘积矩阵

(2) 地质特征信息向量的长度计算

$$\begin{array}{ll} A & \sqrt{(5)^2 + (2)^2 + (2)^2 + (5)^2 + (4)^2 + (2)^2} = 8.87 \\ B & \sqrt{(2)^2 + (5)^2 + (2)^2 + (3)^2 + (4)^2 + (3)^2} = 8.45 \\ C & \sqrt{(2)^2 + (2)^2 + (3)^2 + (3)^2 + (2)^2 + (1)^2} = 5.42 \\ D & \sqrt{(5)^2 + (3)^2 + (3)^2 + (6)^2 + (4)^2 + (3)^2} = 10.20 \\ E & \sqrt{(4)^2 + (4)^2 + (4)^2 + (4)^2 + (6)^2 + (3)^2} = 10.65 \\ F & \sqrt{(2)^2 + (3)^2 + (1)^2 + (3)^2 + (3)^2 + (4)^2} = 5.82 \end{array}$$

(3) 地质特征典型性排队

按典型性显著的大小 ↓	1) E (10.95)	↑ 最典型的地质特征 ← 截止
	2) D (10.20)	
	3) A (8.87)	
	4) G (8.45)	
	5) F (5.82)	
	6) C (5.42)	

算, 就可以获得一张按典型性大小递减顺序排列的特征表。例如, E的模方最大, 所以它在8个矿床中是最典型的特征(表4, 第3步)。

按其典型程度排队的地质特征表 应用上述方法来研究科迪勒拉带斑岩矿床的170×58数据矩阵, 为在电子计算机上便于加工处理, 编制了计算程序。所得结果列成总表和按表2的分类法将170种特征列成明细表(表5, 总表从略)。

170种地质特征的模方长度的大小在195.8到0的范围之间。典型程度为0的特征在任何一个矿床中都无代表性。模方长度分布的上四分位数表示挑选为最具有典型性的地质特征的截止点。计算出的上四分位数

(75百分位数)为75.1, 意思是指特征的75%具有小于75.1的模方长度。所以挑选出44种特征作为科迪勒拉带斑岩矿床最典型的地质特征。

根据表2的分类将这170种地质特征分成30个组, 每组含的特征数目不等, 并按其典型程度的不同排队, 属于最典型的44种特征排在虚线之上, 虚线以下的特征表示不够或不具典型性(见表5)。在J、V、BB等组中, 没有最典型的特征; 在B、F、G、H、I、R、T、U、X、Z等组中, 只有一种最典型的特征; 而Y、O、Q等组则含有几种最典型的特征。将各组中最典型的特征集合起来, 归并成16项, 就是科迪勒拉带斑岩矿床的综合地质模型(表6)。

含矿斑岩侵入杂岩体各种地质特征的典型程度一览表

表5

A. 侵入围岩岩性			G. 主要岩脉岩石类型			M. 侵入体侵入方式		
1. 基性火山岩	{13}	126.0	1. 石英长石斑岩	{30}	86.7	1. 被动式	{2}	165.7
2. 页岩	{44}	75.1	2. 流纹岩-安粗岩		64.1	2. 主动式		69.1
3. 碳酸盐岩		68.1	3. 英安岩		51.3	3. 盐丘式		20.9
4. 硅质沉积岩		60.1	4. 安山岩		36.3	N. 侵入体侵入深度		
5. 云母片岩		50.2	5. 伟晶岩		27.6	1. 中等	{15}	109.5
6. 花岗岩		40.2	H. 角砾和火山通道			2. 浅成	{43}	75.3
7. 酸性火山岩		37.7	1. 有	{17}	102.8	3. 深成		29.5
8. 片麻岩与混合岩		25.8	2. 重要		39.5	O. 矿化岩石类型		
9. 闪长岩-辉长岩		23.3	3. 在侵入杂岩体中心位置		32.5	1. 斑岩类	{5}	154.9
10. 花岗闪长岩-二长岩		16.4	4. 在边缘位置		31.9	2. 花岗岩类	{9}	138.2
B. 围岩的时代			5. 多重火山道		30.0	3. 角砾岩	{38}	76.9
1. 白垩纪	{34}	82.0	6. 次要		20.0	4. 岩体的火山岩围岩		54.6
2. 前寒武纪		55.8	I. 花岗岩类与斑岩的接触性质			5. 岩体的碳酸盐围岩		25.4
3. 三迭纪		45.7	1. 突变接触	{27}	92.8	6. 各种沉积岩		17.9
4. 古生代		45.2	2. 由突变到渐变		33.2	P. 矿体水平切面形状		
5. 侏罗纪		38.4	3. 渐变接触		4.3	1. 椭圆形	{12}	127.8
6. 第三纪		26.0	J. 侵入体形成顺序			2. 拉长状	{33}	84.5
7. 二迭纪		11.1	1. 闪长岩→花岗闪长岩→石英			3. 不规则状		31.6
8. 石炭纪		9.7	二长岩→石英二长斑岩		63.3	4. 新月形		21.4
C. 侵入体的区域控制			2. 花岗岩→石英长石斑岩		48.4	5. 圆形		17.4
1. 区域断层控制	{3}	159.1	3. 闪长岩→石英闪长岩→石英			6. 楔形		6.0
2. 褶曲控制		25.5	二长岩→石英二长斑岩		46.2	Q. 矿体总形态		
3. 褶曲和断层控制		20.5	4. 石英闪长岩→石英二长斑岩		40.8	1. 筒状	{26}	98.9
D. 控制侵入体的构造线方向			5. 石英二长岩→石英二长斑岩		39.0	2. 板状	{41}	75.5
1. 北北西	{16}	108.2	6. 花岗岩→花岗斑岩			3. 锥状		33.4
2. 北北东	{18}	101.7	→花岗闪长斑岩		24.9	4. 环状		30.0
3. 东北偏东		69.1	K. 侵入体水平切面形状			5. 平卧状或席状		24.9
4. 东南偏东		31.5	1. 拉长状	{21}	97.4	R. 矿体边界性质		
E. 主要的花岗岩类岩石类型			2. 圆状	{39}	76.9	1. 具有原来的边界	{11}	128.3
1. 花岗闪长岩	{42}	75.3	3. 不规则状		60.1	2. 具有错断了了的和原来的边界	{24}	95.6
2. 石英闪长岩		71.9	4. 狭长状		29.8	3. 所有边界完全被错断		3.3
3. 石英二长岩		52.5	5. 形状复杂		20.6	S. 外带矿物组合		
4. 花岗岩		39.9	L. 侵入体总的形态			1. 方铅矿+闪锌矿+银(少量)		69.2
5. 白岗岩		32.7	1. 岩株	{22}	96.2	2. 黄铁矿+方铅矿+闪锌矿+		
6. 闪长岩		27.7	2. 筒状		42.9	黄铜矿		61.6
7. 正长岩		17.0	3. 岩颈		42.5	3. 镜铁矿+磁铁矿		42.8
8. 二长岩		12.5	4. 岩基		37.4	4. 萤石+黄铁矿		29.3
9. 斑状花岗岩		9.8	5. 脉群		35.9	5. 黄铁矿+辉钼矿+方铅矿+		
F. 主要的斑状岩石类型			6. 蘑菇状		14.2	闪锌矿		14.3
1. 石英二长岩	{35}	81.7	7. 岩株		10.4	6. 黄铜矿+斑铜矿+镜铁矿		6.1
2. 石英斑岩		48.0	8. 锥状		7.0			
3. 花岗岩		39.8						
4. 石英闪长岩		33.6						
5. 石英长石斑岩		29.1						
6. 花岗闪长斑岩		15.2						

T. 中间带状物组合

1. 黄铁矿+黄铜矿+辉钼矿 (25)	95.5
2. 黄铜矿+辉钼矿	64.9
3. 黄铁矿+黄铜矿+斑铜矿+辉钼矿	43.2
4. 黄铁矿+黄铜矿+方铅矿+闪锌矿	11.3
5. 方铅矿+闪锌矿+银矿(少量)	0
6. 黄铜矿+金	0

U. 内带与核部的矿物组合

1. 黄铁矿+黄铜矿+辉钼矿 (32)	85.2
2. 黄铁矿+黄铜矿	40.7
3. 黄铁矿+黄铜矿+斑铜矿+辉钼矿	35.1
4. 黄铁矿+黄铜矿+斑铜矿	33.8
5. 黄铁矿+辉钼矿	28.5

V. 矿化分带(由内向外)

1. 辉钼矿→黄铜矿→黄铁矿→方铅矿→镜铁矿	65.2
2. 黄铜矿→辉钼矿→斑铜矿→黄铁矿	45.4
3. 黄铁矿→黄铜矿→斑铜矿	37.9
4. 辉钼矿→黄铜矿→黄铁矿→镜铁矿	35.6
5. 辉钼矿→黄铜矿→黄铁矿→方铅矿	31.0
6. 辉钼矿→黄铁矿	21.1

W. 硫化物相对含量

1. 黄铁矿>黄铜矿>斑铜矿>辉钼矿 (40)	75.8
2. 黄铁矿>黄铜矿>辉钼矿>斑铜矿	42.3
3. 黄铁矿=黄铜矿>辉钼矿	26.0
4. 黄铁矿>辉钼矿>黄铜矿	25.2
5. 辉钼矿>黄铁矿>黄铜矿	16.7

X. 接触变质带岩性

1. 角闪岩 (6)	150.6
2. 矽卡岩	58.1

Y. 热液蚀变类型

1. 千枚岩化 (1)	195.8
2. 钾长石-黑云母化 (4)	155.1
3. 粘土化 (10)	132.8
4. 绿帘岩化 (14)	110.3

Z. 蚀变分带(由内向外)

1. 钾长石-黑云母化→千枚化 (19)	100.2
2. 钾长石-黑云母化→千枚化→粘土化→绿帘岩化	51.3
3. 千枚化→粘土化→绿帘岩化	49.2
4. 分带不明显	49.1
5. 粉土化→绿帘岩化	21.3

AA. 剥露水平

1. 内带和核部 (26)	93.2
2. 中间带	29.0
3. 外带	17.5

BB. 磁异常特征

1. 中等强度	39.6
2. 强度高	14.8
3. 强度低	11.3

1. 异常与矿体不吻合	39.4
2. 比较吻合	14.2
3. 吻合很好	14.0

CC. 电法异常特征

1. 异常强度中等 (36)	77.7
2. 异常强度大	43.3
3. 异常强度小	6.1

1. 异常与矿体比较吻合 (23)	96.1
2. 吻合很好	21.7
3. 不吻合	9.1

DD. 化探异常特征

1. 异常强度中等 (31)	85.6
2. 异常强度大	14.4
3. 异常强度小	6.1
1. 异常与矿体比较吻合 (28)	92.7
2. 吻合很好	10.8
3. 不吻合	10.3

表中方括号中的数字代表最典型的44种特征按先后顺序编号。

典型化含矿斑岩侵入杂岩体综合地质模型

表6

围岩	白垩纪基性火山岩, 接触变质成角闪岩
侵入体的构造控制	受北北西或(和)北北东向的区域断层控制
侵入体性质	花岗岩类: 花岗闪长斑岩与石英二长岩呈突变接触 岩脉: 石英长石斑岩 角砾岩与火山通道: 存在
侵入杂岩体形态	水平切面呈扁形或圆形, 侵入体呈岩株状
侵入体侵入方式	被动侵入; 侵入深度: 浅至中等深度
矿化岩石类型	斑岩与花岗岩类
矿体边界	具有原生的边界, 但有所错动
矿体形态	呈筒状, 其水平截面呈椭圆形或透镜状
矿物共生组合	中间带: 黄铁矿+黄铜矿; 内带和核部: 黄铁矿+黄铜矿+辉钼矿
由内向外硫化物分带顺序	辉钼矿→黄铜矿→黄铁矿→方铅矿→闪锌矿
硫化物相对含量	黄铁矿>黄铜矿>斑铜矿>辉钼矿
热液蚀变性	千枚岩化与钾长石-黑云母化
由内向外蚀变分带顺序	钾长石-黑云母化→千枚岩化→粘土化
剥露水平	达到内带和核部
电法异常特征 (主要是激发极化法异常)	异常强度中等到很强, 异常位置与矿体位置吻合
化探异常特征 (基岩和土壤采样)	异常强度中等, 异常位置与矿体位置吻合较好

根据最典型的特征选出的定量的地质因素 表7

定量的地质因素	最典型地质特征的编号 (按表5)	定量的地质因素	最典型地质特征的编号 (按表5)
变质圈内火山岩的面积	6,13	侵入体表面的宽长比	21, 22, 30
变质圈内泥质沉积物的面积	6,44	铜与钼的比例	40
围岩的平均年龄	34	黄铁矿与黄铜矿+辉钼矿的比例	7, 8, 25, 32
区域断层的走向	3,6,18	地表热液蚀变的总面积	1, 10, 14
似花岗岩相的面积	9,42	地表钾长石-黑云母蚀变面积	4, 19
斑状岩相的面积	5,35	地表黄铁矿化的面积	23, 14
角砾岩与火山通道的面积	17,38	电法反应的大小	23, 39
变质圈内岩脉的总长度	30,37	地球化学反应的相对大小	28

应用统计方法评价斑岩矿床远景地区

这种方法要求选择与已知矿床价值的相关关系作过统计检验的、可定量化的地质因素。利用筛选出来的因素来拟定回归模型和分类模型。将其组合起来得到一种地质统计指标,可以将远景勘探地区按其价值排队。

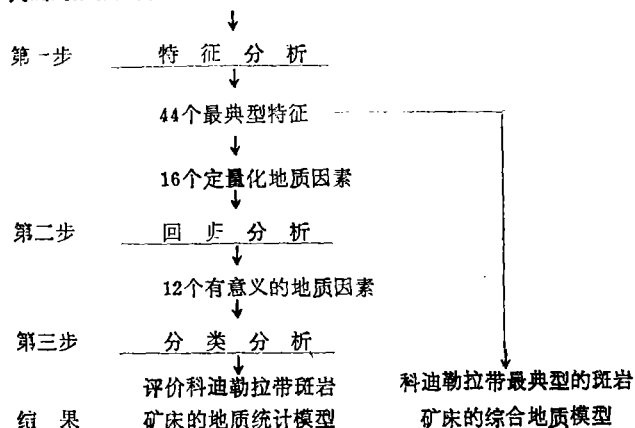
有意义的地质因素的选择 根据两条准则从最典型的特征挑选出评价斑岩矿床的地质因素。这两条准则是:(a)这种因素必须是可以定量化的,(b)适于普查。44个最典型的特征,有32个满足上述两条要求。这32个因素属于围岩建造、侵入体的构造控制、侵入体的几何形状、矿化与蚀变的类型以及地球化学和地球物理特点等。归纳成16个定量化的地质因素列于表7。44个中余下的12个

与侵入体侵位和出露水平、矿体边界的性质,硫化物类型,矿体形状等因素有关,不满足上述准则,所以舍去。因为硫化物含量比例可以根据地表采样和普查钻岩心的化验结果的平均值近似的求得,所以编号(7)、(8)、(25)、(32)、(40)等因素均包括进去。

将16个地质因素的测量结果作自变量,将要评价的矿床价值作为因变量,写成回归方程,方程中的系数是根据58个控制矿床的 16×58 数据矩阵用最小二乘法得出的。并用t检验来检查每一系数的显著性。如果不够显著,则将其舍去。经过这样筛选结果,有4个的显著性小于90%,去掉后还剩下12个是评价有远景矿床的有效因素。

评价科迪勒拉带斑岩矿床
有意义的地质因素的选择 表8

根据58个已控制的矿床
列出的数据矩阵 170个特征



地质统计评价指标 所评价的矿床可划分为两个总体:总体1(成功)与总体2(失败),划分的概率可利用贝叶斯分类模型计算出。模型由控制矿床的两个样本得到。一个样本包括表1中总值分布的下四分位数的14个矿床(即低于650百万元的矿床)。总体1是高于650百万元的44个控制矿床的样本。一个矿床用贝叶斯分类或者划入总体1,或者划入总体2。利用回归分析和贝叶斯分类模型,将这两种方法结合起来,得出一种用数字表示的评价指标,按预期矿产价值的大小排队,提供出哪些应该优先勘探的矿床。统计程序如表8。

上面描述的方法是从科迪勒拉带

58个斑岩矿床的170个特征出发找出44个最典型的特征,再归纳成16个定量地质因素,最后分类筛选出12个有意义的地质因素作为统计模型来评价远景地区的矿产,所用的统计方法是回归分析结合贝叶斯分类法。这种综合统计方法还可以用于其它地区预测和评

价其它矿种资源。

摘译自《Economic Geology》
1972; Vol.67, No.5, p.656~667

作者 J. De 杰弗洛埃

吴平译 谭顺道校

勘		误		正	
期	页	栏	行	误	正
1	7		例8	对变质岩铁矿富矿的形成	对变质岩铁矿的形成
1	79	右	图3	漏排图例说明	1—中新世火山岩; 2—年代新的石英闪长岩; 3—年代老的石英闪长岩; 4—黄铁矿量; 5—铜矿; 6—火山岩可能延伸
1	80	右	图5	漏排图例说明	1—<1000γ; 2—1000~1500γ; 3—>1500γ; 4—铜矿
2	12	左	表5右2	0.001~0.097	0.01~0.099
2	35	左	例8	30分水	30分钟
2	35	左	例9	滤钟	滤水
2	45	右	例3	…换放…	摆放
2	48	左	例8	万象活接手	万向活接手
2	48	右	13	带槽拉手	带槽接手
2	51	左	附表	20.0	21.0

(上接第59页)

下变向器纠方位角效果表

表8

孔号	开孔方位(度)	楔子位置(米)	方位变化情况				纠回(度)
			下楔前测深(米)	方位角(度)	下楔后测深(米)	方位角(度)	
86	324	151.02~163.01	150	314	170	320	6
104	314	125.46~135.89	100	318	175	313	5
112	314	227.46~237.26	200	314	275	323	9

此方法钻进,每进5米要测斜检查效果,以免纠过了头。

3.发现钻孔方位角弯曲时,应立即换用长度适当的大径厚壁管组合的钻具,减少投砂量、水量和压力并适当提高转速。

4.利用斜孔钢粒钻进的促斜因素,改变钻具的回转方向(反转),造成与正转相反的促斜作用,来纠回或保持方位角。其效果见表7。

5.下变向器(死楔子)纠方位角或倾角。我们从1972年采用此法,收到了一定效果(见表8)。实践证明,当地质上的促斜因素占主导地位时,下楔后不久,钻孔方位角仍向原方向弯曲,要是同时改变钻具的回转方向则效果较好。有关变向器纠斜方法,与《地质与勘探》1972年第3期所载中南冶勘609队的经验基本相同,这里就不再详述了。