

第三部分 有效钻孔间距的确定

(以斑岩铜矿为例)

斑岩型铜矿床是世界市场上铜的重要来源,在最近二十年来的采矿史上,浸染状斑岩型矿床作为铜矿来源的重要性是不断增长的。全世界已经开发了一大批斑岩型矿床(丘基卡马塔、埃尔特尼恩特、拉卡里达德、卡纳尼亚、圣马纽埃、巴格达德、布干维尔的马柯珀等)。斑岩铜除了以其很大的铜产量在世界市场上占有突出地位之外,在勘探方面也是一个有很大吸引力的名词。

这类矿床在其地质条件方面有很明显的相似性:

——它们在空间上与侵入岩有关;

——原生矿化(主要是黄铜矿和黄铁矿)呈浸染状或充填裂隙的形式出现,有时也呈脉状出现;

——铜品位的分布表现出分带性;

——在原生矿的上部叠加有宽阔的表生带;

——在区域地质方面,以具有变质沉积岩层为特点,后者受到从酸性到基性侵入岩的侵入。侵入杂岩后来又受到一系列岩株、岩颈和岩墙的侵入;

所有矿床均可用大规模采矿方法开采。

迪格尔斯霍普矿床

(1) 发现与开发 该铜矿在上世纪末已经发现,半个多世纪以来仅有少数次生铜矿化(硅孔雀石、蓝铜矿)露头曾引起过探矿者的注意。他们用小型探井、其他轻型工程和少量找矿钻孔进行过试验,但都未能找到商业矿石,也没有一个探矿者去试图验证这种表生矿化是大的低品位矿体的露头。

第二次世界大战使得人们把注意力集中在从低品位矿石中生产铜的可能性上。第一批浅钻在砾岩覆盖层以下的所有进尺中都发现了连续的低品位的

氧化铜矿石,往下出现硫化物加富带的可能性有了证据。在第一个较深的钻孔打到辉铜矿矿石时,硫化物加富带的出现就成了事实,次生硫化物带的存在得到了证明。以后加强了勘探和开发工作,在6年当中,通过粗略的勘探使这个矿床变成了大型的低品位矿床。

(2) 自然条件 矿床位于一个荒凉地区的山脊上。该山脊平均海拔350米,是一个山系的延续部分(图1),地面被一些冲沟切割,冲沟是在岩石上冲刷出来的。矿床位于一个狭谷的东面。本区的全部河流都是间歇性的,除雨季外很少有流水。

(3) 地质环境 矿体几乎全部隐伏在厚达200米的砾岩层之下(图2),大部分由掩盖层之下的两个火成岩体的一部分组成。一个较早的石英二长岩岩体被一个二长斑岩岩体穿切成极不规则的形状。石英二长岩和二长斑岩在含铜量方面没有系统的差别。这两个岩体又受到小型辉绿岩岩墙和形状不规则的辉绿岩岩体的侵入。辉绿岩的含铜量同前面两类岩石相同。矿化后的侵入体为流纹岩岩墙,流纹岩的铜含量小于0.2%。

砾岩层之下的所有岩石都受到了不同程度的热液蚀变,铜矿化和热液蚀变的类型之间有直接的关系。有很清楚的四种类型的蚀变:高岭石-钠明矾石蚀变、水云母-黄铁矿-黄铜矿蚀变、绢云母-黄铁矿-黄铜矿蚀变和边缘黑云母蚀变。

这四种类型的蚀变似乎都分布在一定范围内,高岭石-钠明矾石蚀变形成一个椭圆形的带,水云母-黄铁矿型蚀变带比较宽阔,围绕高岭石-钠明矾石带分布,绢云母-黄铁矿-黄铜矿型蚀变岩石(矿带)组成一个东部变宽的窄长的蚀变带。边缘

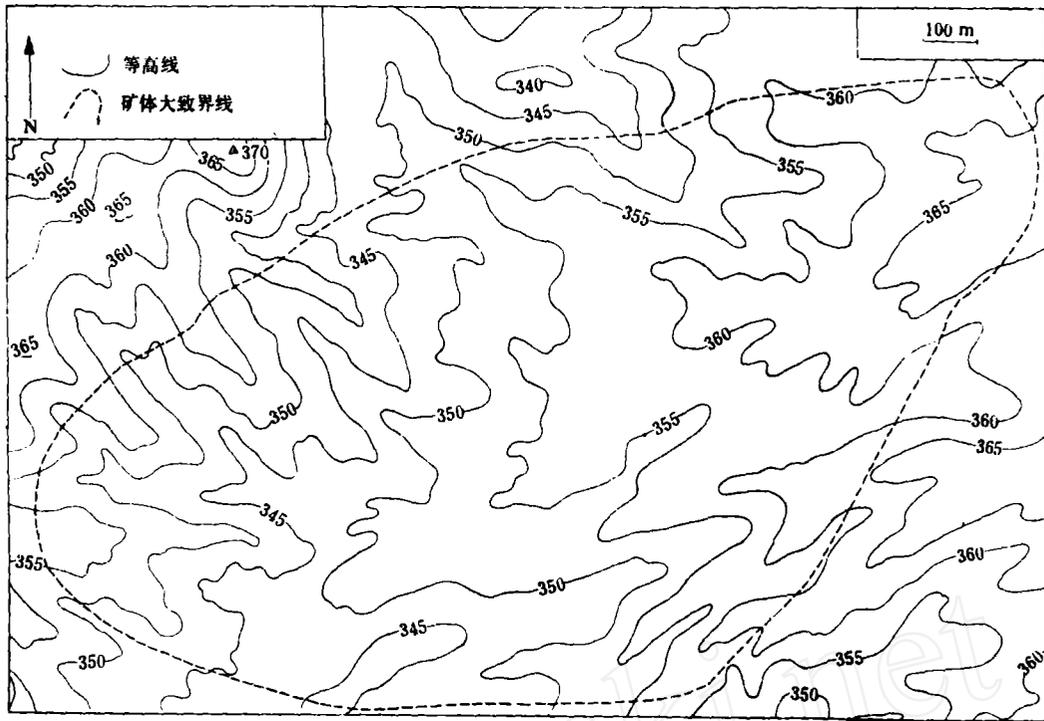


图1 迪格尔斯霍普矿床地形图

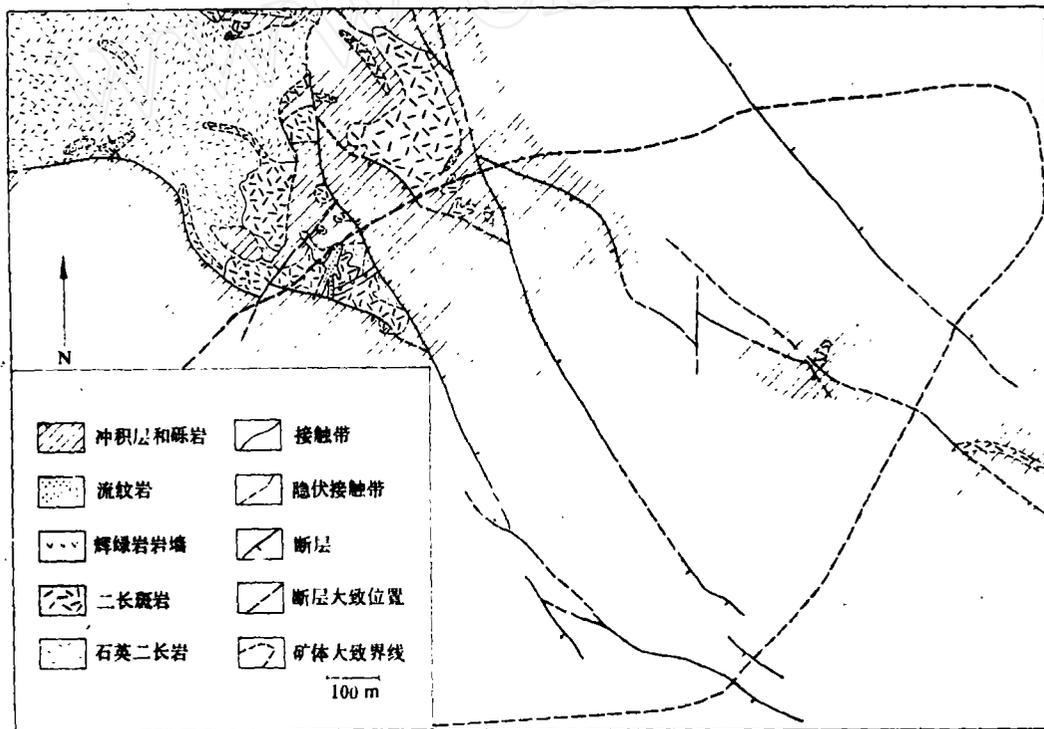


图2 迪格尔斯霍普矿床地质图

黑云母蚀变带分布在水云母—黄铁矿带的北部和矿带的南部。

许多断层切过砾岩层及其下伏的岩石，硫化物带顶部产状的突然变化说明有未被地表填图发现的

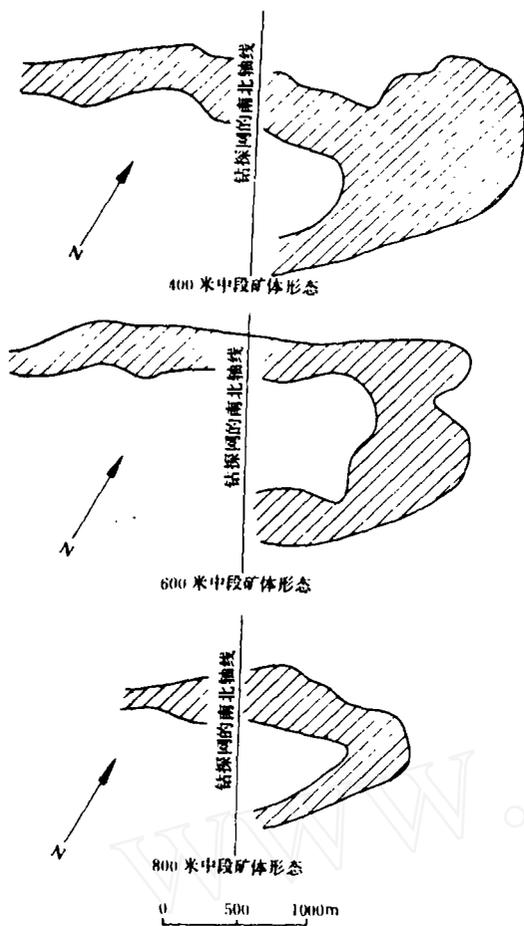


图3 矿体形态图

断层存在。

矿体的形态还没有完全通过钻探搞清楚，但已知长2100米，最大宽度1000米。为了圈定矿体，采矿公司把含铜0.5%以上的岩石作为矿石。在横剖面上矿体呈向南东倾斜的板状，到东部，含铜带向南转弯呈钩状。

在高度绢云母化并且具有其他许多蚀变产物的二长斑岩和石英二长岩中，矿石由浸染状的黄铜矿和黄铁矿组成。原生矿石中几乎没有高品位矿石带，都是中等品位的。矿体下盘黄铁矿增加，但向矿体上盘，黄铜矿和黄铁矿都逐渐消失。

氧化作用很普遍，但在矿体和邻近的矿化围岩中，氧化程度是不相同的。一般情况下，氧化矿石的品位要比硫化物矿石稍低，这可能是铜受到一定程度的淋滤并向下迁移的结果。由于淋滤和富集的共同作用使得氧化带铜的含量比原生硫化物带更不

均匀。矿床氧化带的厚度变化很大，其中的主要矿物是硅孔雀石。

在氧化带下面有一个不规则的表生硫化物带，下降渗透溶液以交代原生黄铁矿和黄铜矿的方式沉淀出了硅孔雀石以及其他次生铜硫化物。氧化带和次生富集带同现代侵蚀面以及潜水面没有关系，它们是在较早的侵蚀旋回中形成的。

该矿床一个很突出的现象是次生富集带急剧地改变产状，因此必须尽可能完全地取得所有的地质资料，因为根据矿床某一部分的资料所作的结论对另一部分不适用。

钻探计划

1. 初步钻探 找矿钻探或初步钻探，主要目的是直接确定有无矿体存在，并且对矿石可能的品位和规模得到一个初步的概念，初步钻探还顺便检查地层、构造、地球化学分带和其他标志或控制因素。在找矿工作的早期阶段，甚至是在测线和地质样品数据不充分的情况下冒风险，也要常常强调快速和少花钱。从我们的例子来说，就意味着，在一个斑岩铜远景区找矿的早期阶段，从整个矿区打5个或6个回转钻来取得地质信息，比用一台完备的工程金刚石钻打同样数量的孔合算。一旦最初的冒险性由于获得有希望的结果而减小时，就可以考虑更详细的钻探取样。

各种矿床类型勘探网间距的设计在理论上有很显著的价值，但是开始制定找矿钻探计划时，地质人员必须记住，他们为之寻找的矿床可能存在也可能不存在。而且这个事实不是用科学解释、工程施工或数据的机器处理所能改变的。要选择一个钻探方案以便保证在花钱少、费时短的情况下取得可供大致作出肯定或否定回答所需要的样品。

(1) 例1

在勘探的最初阶段必须打预备钻孔，其目的是要为估算储量和品位提供数据资料。

在迪格尔斯霍普矿床已经完成了一项广泛的地球化学采样计划，大致圈出了矿体的界线。在整个矿区布置了最初的一批钻孔，以一般地了解矿化品位、矿化带厚度、砾岩覆盖层等情况(图4 钻孔1~11)。在检查这批钻孔的岩芯时，就可以在砾岩层之

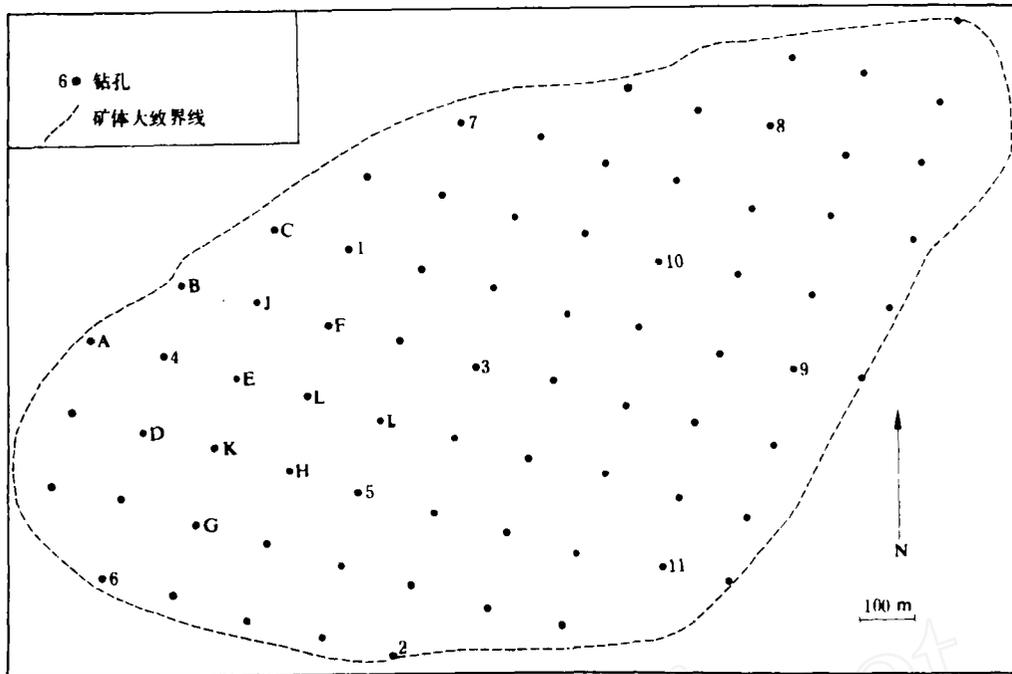


图4 钻孔位置

下划出品位和厚度都有很大差别的氧化带、次生铜硫化物带、原生铜硫化物带和黄铁矿带等四个矿化带。

11个钻孔的数据列在表1（附录）。

必须用这些数据来回答一个问题，在所要求的精度范围内，估算品位和厚度需要多少钻孔。

可以根据下述公式（数理统计学中熟知的公式）求解：

$$P = \frac{V \cdot t}{\sqrt{n}}$$

其中 P = 允许的百分误差（即所要求的精度）；

$V = \frac{s}{\bar{x}}$ ；即样品的标准差（ s ）除以样品数据的均值（ \bar{x} ）；

$t = 1$ ；即对于矿床来说， t 分布的值通常为 1；

n = 达到某一精度所必需的钻孔数。

必须首先用已知的数据求所有四个矿化带的均值（ \bar{x} ）和标准差（ s ）以求得 V 。 P 是可以改变的，这样就可以选择所希望采用的百分误差。在我们研究的这个例子中，允许误差不应超过 10%，即 $P = 10\%$ ，根据上述公式求出 n ，这就是为达到所

要求的 90% 的精度（ $P = 10\%$ ）所必需的钻孔数。已知 n 后，就可很容易地计算网距：

$$a = \sqrt{\frac{F}{n}}$$

其中： a = 钻孔网距；

F = 矿区面积（迪格尔斯霍普的面积是长 2100 米 × 宽 1000 米）；

n = 钻孔数。

通过这些计算，我们会得到如下的结果：

	氧化带	次生铜硫化物带	原生铜硫化物带	黄铁矿带
\bar{x} (铜品位%)	0.561	0.585	0.49	0.134
s	0.3663	0.3419	0.2846	0.113
n (取 $P = 10\%$)	42	34	33	71
a (米)	224	249	252	172
\bar{x} (厚度, 米)	185.4	57.88	168.86	27.7
s	123.26	49.96	192.73	19.88
n (取 $P = 10\%$)	44	74	130	116
a (米)	218	168	127	135

钻孔数目的变化范围在 33~130 之间，由于上述结果不一致，我们必须从采矿者的角度来选择最有利的矿带。例如，黄铁矿带不很好，它的矿石平均

品位和平均厚度都是最小的,原生铜硫化物带的厚度变化太大,次生铜硫化物带规模又太小,看来氧化带有希望得到最好的采矿效果和经济效益。取估算氧化带品位和厚度的精度为90% ($P = 10\%$),则必须打44个钻孔,钻孔网距为218米。

2. 开发钻探 开发钻探的目的,是为经济评价的需要提供对矿床的各种有关特征的评价;开发钻探计划,是为制定详细采矿计划积累必要资料的开始。为了获得有关矿石储量、总品位、边界品位的信息和圈定矿体,需要用比找矿钻探网距要小的网格系统来进行钻探。任何一个开发钻探计划的目标,是要精确打够实际必需的钻孔数,不多不少正好可以确定矿石品位、矿体的形状及产状。

(1) 例2

控制上述开发钻探计划的方法,曾首先用于检查有无必要打某些单个的加密钻孔,并且很容易就可将这个办法推广应用于控制整个开发钻探计划。那些大型浸染状的、相当均匀的斑岩铜矿型矿床,又进行过地质条件的评价,最适合于应用这种方法,不连续的矿体不宜用这种方法。

这种方法的依据就是测量两组数据在空间分布上的线性相关性。若在95%置信水平上相关系数有统计显著性,这就是控制计划的主要标准。把从每个钻孔采的样品按同样长度合成组合样,如果两组钻孔的组合样数据在空间分布上有明显的相关性,似乎就可以合理地作出假定,即每个钻孔的影响区有重叠部分,在这两个钻孔的连线上不需要再布钻孔了。如果存在这种相关性,就有根据认为控制矿化的因素会使沿着被检查钻孔连线的全部分析数据呈相关的分布。于是,测量相邻钻孔间不同组合样线性相关性的显著性,就是测量沿钻孔连线信息量的充分程度,如果它们的相关性显著,说明数据满足精度要求,钻孔密度也够了。

后面将要用到的术语和公式有:

- x, y — 二组组合样的值,分属于一对钻孔;
- $\sum x, \sum y$ — 各组组合样品值之和;
- $\sum x^2, \sum y^2$ — 各组组合样品值之平方和;
- $\sum xy$ — 二组组合样乘积之和;
- n — 计算相关系数所用的组合样对的数目;
- \bar{x}, \bar{y} — 各组组合样值的平均值(算术平均);

- S_x, S_y — 一组合样的标准差;
- $C.I. x, C.I. y$ — 组合样平均值置信区间;
- r — 皮尔逊乘积矩相关系数;
- $Z-r$ 的统计显著性标志(根据正态分布);
- $T-r$ 的统计显著性标志(根据 t 分布)

$$(1) \quad \bar{x} = \frac{\sum x}{n}; \quad \bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

$$(2) \quad S_x = \sqrt{\frac{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}$$

$$S_y = \sqrt{\frac{n \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2}{n(n-1)}}$$

$$(3) \quad C.I. x = \bar{x} \pm t_{0.025} \cdot S_x \cdot \sqrt{\frac{1}{n}}$$

$$C.I. y = \bar{y} \pm t_{0.025} \cdot S_y \cdot \sqrt{\frac{1}{n}}$$

$$(4) \quad r = \frac{n \cdot \sum xy - (\sum x) \cdot (\sum y)}{\sqrt{[n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2] \cdot [n \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

$$(5) \quad Z = r \cdot \sqrt{\frac{n-1}{1-r^2}}$$

$$(6) \quad T = \frac{r \cdot \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}}{1-r^2}$$

如果在95%置信水平上, Z 大于1.96, 表示有显著的相关性, Z 值越高, 相关性越好, 判断 T 为显著的数值依赖于自由度, 这里, 自由度为 $n-2$ 。

可能遇到一个钻孔比另一个钻孔短的情况, 这时, 保留短钻孔的数据作为基础, 移动长钻孔的组合样列, 直到它与短孔的参考高度相同, 对每个钻孔的组合样, 计算均值 \bar{x} 或 \bar{y} , 标准差 S_x 或 S_y , 它们可以度量数据在某置信区间的精确度, 将均值和标准差代入(3)式, 就可求出在95%置信水平上钻孔样品总体平均值的置信限, 由于组合样数量少, 采用 student- t 分布计算。

主要步骤

- (1) 对两个相邻钻孔内的样品, 分别构成有相同的样长和参考高度的组和样。
- (2) 将两组样品彼此相对移动, 计算 r , 可以找出其极大值;
- (3) 计算 r 值的显著性标志 Z 或 T ;
- (4) 确定均值的置信区间;
- (5) 如果 r 值显著并且均值的置信区间落在前面建立的置信限内, 就可以取消这两个钻孔之间的中间钻孔。

在这个实例中, 钻探设计是在每100米·100米

的正方形区中心打一个垂直钻孔，估算均值的要求精度为全铜的 $\pm 0.085\%$ 。在最终的多重钻孔网格图上布置一组初始钻孔。这里，我们只想涉及矿体的一部分，初始钻孔组由9个孔组成，每孔都打在200米 \times 200米正方形区的中心(见图4的孔A~I)。将所采样品合成组合样，取组合样长为10米(标准长度)，参考高度任意(这里是取砾石盖层的底面)，沿

网格的对角线(图5)检查两两钻孔间的线性相关性，检查相关性的运算顺序号标在草图上，第一遍检查 n 对例子，其原始数据列于表2(附录)，每作一次相关性检查，都应用前面的公式计算 r 及 r 的显著性，作第一遍检查后没有发现正相关(见表1 a 1b)，接着作第二遍检查，这次是沿着网格线检查两两钻孔间的相关性，见图6所示。

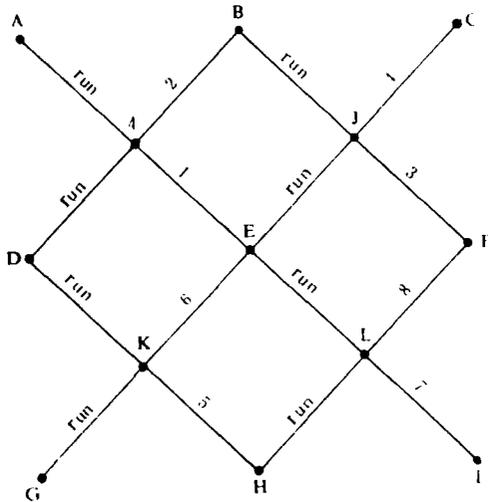


图5 作第一遍相关性检查的顺序图
(图中run应译为运行序号)

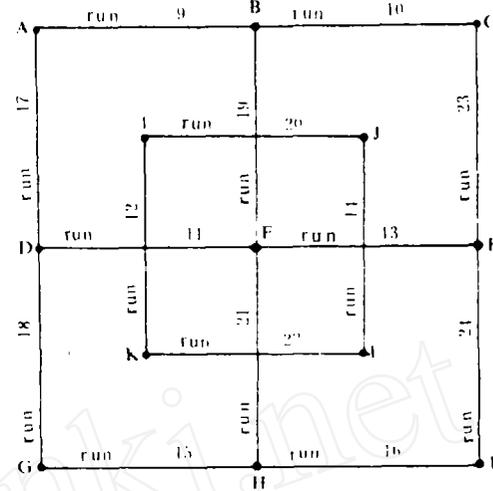


图6 作第二遍相关性检查的顺序图
(图中run应译为运行序号)

作第一遍相关性检查的序列、运算数据、相关系数及显著性

表1a

运行序号	钻孔 x	钻孔 y	相关系数 r	自由度 $(n-2)$	T 值	表列 T 值	Z	r 的显著性
1	E	A	-0.4818	16	-2.119	2.119	1.987	负相关
2	D	B	0.1905	16	0.776	2.119	0.785	不相关
3	F	B	-0.1313	18	-0.562	2.101	0.572	"
4	E	C	0.3532	10	-1.194	2.2282	1.171	"
5	H	D	-0.2528	21	-1.280	2.064	1.264	"
6	G	E	-0.5251	21	-2.827	2.079	2.462	负相关
7	I	E	-0.1086	28	0.578	2.018	0.585	不相关
8	H	F	-0.453	19	2.215	2.093	2.626	负相关

完成了200米网度的钻探工程，结果令人鼓舞，计划进一步按100米网度打钻，这就需要决定在D E孔间、H I孔间、K-L孔间是否应加钻孔，在这个例子中，我们决定在D-E孔间、H-I孔间不加钻孔了，这不仅因为它们存在正相关($r=0.5373$; $r=0.4979$)，而且品位估算的精度也是理想的。K-L孔间需要打钻，因为这里的品位估算太不令人满意了。如果还需要作进一步评价，这里所介绍的整个方法

可以套用到75米 \times 75米或50米 \times 50米网度的情况。

3. 研究经济的勘探网度 为选定一种经济的勘探网度，要利用估算矿体品位的精度和勘探费用间的关系，根据初步勘探所采的少量样品，分析这些因素，确定所需要的勘探网度以实现矿床作比较全面的评价

为了表示平均品位的估算精度，应该计算均值的标准误差(S_e)， S_e 定义为样品的标准差(S)除

作第一遍相关性检查的序列、运算数据和钻孔参数

表 1b

运行序号	钻孔 x	钻孔 y	x	S _x	y	S _y	C ₁ (x)	C ₁ (y)
1	E	A	0.6622	0.1588	0.5324	0.2591	0.0794	0.1295
2	D	B	0.5051	0.2084	0.5698	0.2591	0.1041	0.0638
3	F	B	0.5286	0.3340	0.5406	0.1516	0.1568	0.0742
4	E	C	0.5372	0.1213	0.7524	0.2140	0.0781	0.1378
5	H	D	0.4296	0.2283	0.4435	0.1984	0.0824	0.0803
6	G	E	0.3672	0.1898	0.6763	0.2206	0.0823	0.0937
7	I	E	0.5614	0.3425	0.6191	0.2095	0.1281	0.0783
8	H	F	0.3772	0.1982	0.6254	0.3577	0.0804	0.1631

作第二遍相关性检查的序列、运算数据、相关系数及显著性

表 1c

运行序号	钻孔 x	钻孔 y	相关系数 r	自由度 (n-2)	T 值	表列 T 值	Z	r 的显著性
9	A	B	0.1959	16	0.7991	2.119	0.8077	不相关
10	B	C	-0.1964	13	-0.7222	2.1604	0.7349	"
11	D	E	0.5373	24	3.1209	2.064	2.6365	正相关
12	K	4	0.632	8	2.3066	2.306	1.896	不相关
13	E	F	0.1886	20	0.859	2.086	0.864	"
14	L	J	0.0274	16	0.1099	2.119	0.1129	"
15	G	H	0.298	31	1.7382	2.0396	1.6857	"
16	H	I	0.4979	38	3.5391	2.0244	3.1094	正相关
17	D	A	-0.2442	11	-0.8352	2.201	0.8459	不相关
18	G	D	-0.3658	20	-1.7577	2.086	-1.6763	"
19	E	B	-0.343	16	-1.4606	2.119	1.4142	"
20	4	J	0.0979	13	0.3547	2.1604	0.3663	"
21	H	E	0.0415	27	0.2158	2.0519	0.2196	"
22	K	L	0.849	17	3.6248	2.1099	3.602	正相关
23	F	C	-0.4082	20	-1.9997	2.086	1.8706	负相关
24	I	F	0.00904	22	0.0424	1.9604	0.0431	不相关

作第二遍相关性检查的序列、运算数据和钻孔参数

表 1d

运行序号	钻孔 x	钻孔 y	x	S _x	y	S _y	C ₁ (x)	C ₁ (y)
9	A	B	0.5324	0.2591	0.5484	0.1576	0.1295	0.0788
10	B	C	0.5813	0.1299	0.7570	0.1940	0.0721	0.1082
11	D	E	0.4435	0.1984	0.6918	0.1794	0.0803	0.0726
12	K	4	0.8387	0.1725	0.7746	0.1292	0.1260	0.0944
13	E	F	0.6719	0.1872	0.6166	0.3515	0.0833	0.1566
14	L	J	0.3548	0.1103	0.4638	0.1606	0.0551	0.0799
15	G	H	0.5102	0.2254	0.4607	0.2380	0.0800	0.0845
16	H	I	0.4790	0.2176	0.5888	0.3169	0.0696	0.1014
17	D	A	0.6059	0.2628	0.4020	0.2060	0.1604	0.1269
18	G	D	0.3497	0.1743	0.4645	0.2079	0.0777	0.0926
19	E	B	0.6178	0.1593	0.5484	0.1576	0.0796	0.0788
20	4	J	0.6987	0.1697	0.4978	0.1505	0.0946	0.0839
21	H	E	0.4330	0.2227	0.6581	0.2041	0.0849	0.0777
22	K	L	0.3771	0.2530	0.5078	0.1832	0.1225	0.0896
23	F	C	0.4407	0.2507	0.8225	0.2615	0.1117	0.1165
24	I	F	0.3728	0.1538	0.5998	0.3407	0.0648	0.1142

以样品个数的平方根 (\sqrt{n}):

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

样品值围绕其均值起伏变化, 标准差就是这种变化的一种度量, 而矿化特征 (例如品位的趋势) 则用组合样的标准差来间接度量。

因此, 利用均值的标准误差衡量所决定的钻孔需要量是否合适, 与矿体标准差的估算和样品的数目有密切关系, 而这些因素又受到几何条件和地质条件的影响。

若对一个矿体只有几个钻孔采样, 可用下述方法计算还需要进一步打多少钻孔:

(a) 利用可以得到的地质、地球物理和地球化学资料估算矿体的形状、长度 (l) 和宽度 (w)。

(b) 计算可采矿石组合样的平均品位和标准差。这里, 假定边际品位为 0.5% Cu。

(c) 对由已有的钻孔构成的混合格, 计算矿床的样品数。

(d) 对每种网度计算均值的标准误差。

在整个钻探期间, 即使增加了新钻孔, 有新数据可以参考, 为把钻探需要量弄得尽可能清楚可靠, 还要不断地使用这个方法。

与网度有一定关系的关键变量是:

(a) 矿体的长和宽;

(b) 每个钻孔的平均组合样品数;

(c) 矿床的组合样的标准差;

(d) 超过边际品位的组合样个数与总组合样数之比;

(e) 钻孔总数;

(f) 对均值要求的标准误差。

(1) 例 3

这里举一个设想的小例子解释前面所概述的方法, 计算所用的数据如下:

矿体长度 (l): 2100米;

矿体宽度 (w): 1000米;

钻孔: A、C、G、I (在附录的表 4 列出);

边界品位: 0.5% 铜。

作了如下各项计算:

(a) 计算矿石的组合样个数;

(b) 计算矿石组合样的均值 $\bar{x} = \frac{\sum x_{g_i}}{n_{g_i}}$;

(c) 计算标准差

$$S_{g_i} = \frac{\sqrt{n \cdot \sum x_{g_i}^2 - (\sum x)^2}}{n(n-1)}$$

(d) 计算在本区内可能打的钻孔数;

(e) 计算均值的标准误差。

结果列表如下:

与钻探有关的参量计算

表 2

正方形网格 (米)	钻孔数 l w	需要的 钻孔数	n_{g_i}	S_{g_i}	钻探费用 (80美元/米)
2000	2 1	2	35	0.0359	40000
1000	3 2	6	104	0.0208	120000
600	4 2	8	138	0.0179	160000
400	6 3	18	311	0.0119	360000
200	11 6	66	1139	0.0063	1320000
100	22 11	242	4175	0.0033	4840000
75	29 14	406	7004	0.0025	8120000
50	43 21	903	15577	0.0017	18060000

可以将均值的标准误差相对于钻探网间距的关系绘成图 (图 7)。

用标准差衡量矿床的矿化特征表明, 在标准差充分稳定前, 为使均值的标准误差小于 0.02, 钻探网距应小于 400 米, 在 400 米以下, 随着网距继续变小, 均值的标准误差按线性关系减少, 含矿品位的

估算精度则线性地提高。但是, 当标准误差小到某一程度后, 希望它再进一步变小, 将要耗费极大的代价, 图 7 所示的钻探费用曲线说明了这一点。当网距小于 200 米时, 钻探费用以最快的速度增长, 如果采用 200 米至 250 米的间距可以满足精度要求, 这将是经济而又有最高精度的网距。

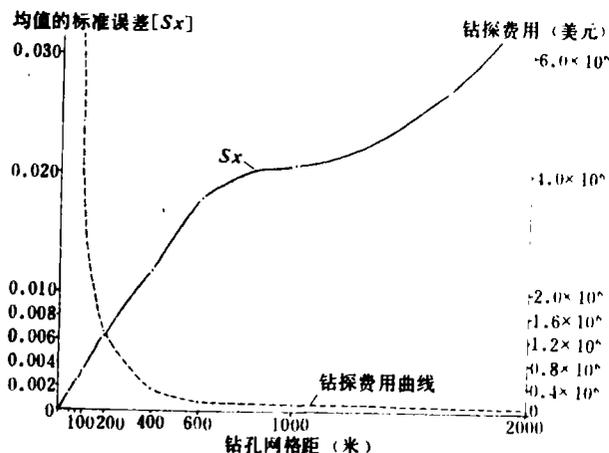


图7 均值的标准误差及钻探费用与钻孔网度的关系图

在开发钻探阶段，有上百个组合样的记录，均值的实际最小标准误差通常是0.005（置信区间0.01）。如果要求误差比这更小，那就属于采矿钻探的范围了。

最后评价

前面列举的三个小例子已经表明，以很少量的计算和简单的统计，就可以作出钻探投资的决定。改善经济指标（如储量和品位）估算的可靠性会取得经济效益，只有经济效益好才能证明投资的决定是否正确。但同时，要积累更多的信息就要增加钻探工程，随之而来，直接的钻探费用和推迟生产的时间耗资会急剧增加，这些费用减小了所期望的利润值，也降低了利润的分配。

因此，钻探工程不宜超过某一标准，即所谓“最大限度效用”，否则将不仅会减少预期的利润而且会增大经济风险。

比较先进的地质统计模型把可量化的地质参数和预期的利润及经济风险的标准联系起来。用这些模型，可能选择出最佳的钻探投资方案。

附录

例1的钻孔资料 表1

编号	氧化带	次生铜-硫化物带	原生铜-硫化物带	黄铁矿部
(1) 含矿品位 (Cu, %)				
1	1.33	0.45	0.421	0.118
2	0.823	1.19	0.618	0.0
3	0.332	0.884	0.443	0.0
4	0.515	0.702	0.8	0.0
5	0.437	0.84	0.666	0.0
6	0.508	0.0	0.0	0.215
7	0.573	0.705	0.0	0.276
8	0.352	0.21	0.501	0.238
9	0.05	0.28	0.391	0.133
10	0.241	0.47	0.834	0.137
11	1.01	0.7	0.716	0.151
(2) 矿带的厚度 (米)				
1	222.1	112.2	11.6	33.8
2	129.3	34.2	73.2	0.0
3	215.9	159.8	21.9	0.0
4	98.9	64.6	18.2	0.0
5	309.6	29.0	156.1	0.0
6	278.1	0.0	0.0	32.6
7	402.6	21.9	0.0	10.0
8	253.8	24.4	248.8	87.6
9	43.9	31.2	405.2	70.8
10	76.9	117.1	407.1	21.9
11	8.3	39.3	512.4	15.9

作第一遍相关性检查的序列 表2

运行序号1		运行序号2			
编号	Cu(x)	Cu(y)	编号	Cu(x)	Cu(y)
1	0.6200	0.1900	1	0.2310	0.4300
2	0.5790	0.2320	2	0.3920	0.5090
3	0.6850	0.4090	3	0.7360	0.5200
4	0.6690	0.4110	4	0.9200	0.5200
5	0.3840	0.4640	5	0.5060	0.4100
6	0.4060	0.7370	6	0.5000	0.1710
7	0.4820	0.8530	7	0.8130	0.1800
8	0.4600	1.1740	8	0.8340	0.7100
9	0.5790	1.0080	9	0.6110	0.6880
10	0.6640	0.5200	10	0.4000	0.4120
11	0.6360	0.5440	11	0.4720	0.6320
12	0.8000	0.4930	12	0.3360	0.6310
13	0.7310	0.4000	13	0.5040	0.6880
14	0.7920	0.4260	14	0.5520	0.7520
15	0.8590	0.4400	15	0.4560	0.8000
16	0.8560	0.5840	16	0.2240	0.6480
17	0.8290	0.4100	17	0.3440	0.4710
18	0.8880	0.2880	18	0.2600	0.4160
运行序号4					
编号	Cu(x)	Cu(y)			
1	0.3280	0.5500			
2	0.5900	0.5700			
3	0.6200	0.6310			
4	0.5790	0.7200			
5	0.6850	0.6400			

续表 2

6	0.6690	0.9730
7	0.3840	1.2000
8	0.4060	1.0600
9	0.4820	0.8000
10	0.4600	0.6720
11	0.5790	0.6600
12	0.6640	0.5500

续表 3

2	0.3040	0.8530
3	0.2720	1.1740
4	0.4240	1.0080
5	0.3200	0.5200
6	0.2200	0.5440
7	0.2690	0.4930
8	0.3200	0.4000
9	0.2310	0.4260
10	0.3920	0.4400
11	0.7360	0.5840
12	0.9200	0.4100
13	0.5060	0.2880

第二遍作相关性检查的序列 表 3

运行序号11			运行序号16		
编号	Cu(x)	Cu(y)	编号	Cu(x)	Cu(y)
1	0.3120	0.6200	1	0.3460	0.3460
2	0.3040	0.5790	2	0.3460	0.2600
3	0.2720	0.6850	3	0.3200	0.2000
4	0.4240	0.6690	4	0.4300	0.2000
5	0.3200	0.3840	5	0.2700	0.1510
6	0.2100	0.4060	6	0.2000	0.1400
7	0.2690	0.4820	7	0.4100	0.1400
8	0.3200	0.4600	8	0.4000	0.1800
9	0.2310	0.5790	9	0.2400	0.3300
10	0.3920	0.6640	10	0.3100	0.3500
11	0.7360	0.6360	11	0.8720	0.4400
12	0.9200	0.8000	12	0.3900	0.3300
13	0.5060	0.7310	13	0.3480	0.3300
14	0.5000	0.7920	14	0.2130	0.3500
15	0.8130	0.8590	15	0.2200	0.4400
16	0.8340	0.8560	16	0.2200	0.4100
17	0.6110	0.8290	17	0.3300	0.5200
18	0.4000	0.8880	18	0.3200	0.5000
19	0.4720	0.9600	19	0.3000	0.6300
20	0.3360	0.9840	20	0.4500	0.6260
21	0.5040	1.0040	21	0.9860	0.6530
22	0.5520	0.8310	22	0.8600	0.5460
23	0.4560	0.5570	23	0.6100	0.7700
24	0.2240	0.5890	24	0.6130	0.8640
25	0.3440	0.6910	25	0.3460	1.1730
26	0.2600	0.4530	26	0.2930	0.9760

运行序号 22			运行序号 23		
编号	Cu(x)	Cu(y)	编号	Cu(x)	Cu(y)
1	0.1200	0.3460	1	0.4260	0.7680
2	0.2400	0.4120	2	0.4130	0.8130
3	0.6530	0.5950	3	0.3460	0.7760
4	0.3060	0.4020	4	0.3800	0.9200
5	0.2000	0.3130	5	0.3200	0.9060
6	0.1200	0.2000	6	0.3300	1.7300
7	0.1600	0.2200	7	0.3500	0.8260
8	0.2600	0.4670	8	0.3600	0.7200
9	0.2200	0.4310	9	0.4080	0.8960
10	0.2400	0.4780	10	0.4000	0.7100
11	0.2900	0.4530	11	0.4300	0.5500
12	0.2800	0.5010	12	0.4320	0.5700
13	0.1200	0.5270	13	0.4400	0.6340
14	0.3600	0.6120	14	0.4400	0.7200
15	0.4760	0.6230	15	0.2000	0.6400
16	0.6160	0.7180	16	0.0400	0.9730
17	0.7730	0.7700	17	0.0160	1.2000
18	0.8400	0.9300	18	0.3680	1.0600
19	0.8900	0.6500	19	0.4500	0.8000
			20	1.0960	0.6720
			21	0.9060	0.6600
			22	1.0000	0.5500

运行序号17

编号	Cu(x)	Cu(y)
1	0.3120	0.7370

例 III—钻孔资料数据 表 4

钻孔 A		钻孔 C		钻孔 G		钻孔 I	
	Cu(x)		Cu(x)		Cu(x)		Cu(x)
1	0.034	1	0.706	1	0.041	1	0.147
2	0.063	2	0.47	1	0.023	2	0.239
3	0.12	3	0.504	3	0.069	3	0.41
4	0.042	4	0.786	4	0.098	4	0.498
5	0.101	5	0.813	5	0.11	5	0.546
6	0.075	6	0.776	6	0.154	6	0.546
7	0.087	7	0.92	7	0.121	7	0.453
8	0.13	8	0.906	8	0.168	8	0.53
9	0.004	9	1.73	9	0.194	9	0.346
10	0.008	10	0.826	10	0.201	10	0.26
11	0.023	11	0.72	11	0.226	11	0.2
12	0.104	12	0.896	11	0.28	12	0.2
13	0.127	13	0.71	13	0.28	13	0.151
14	0.154	14	0.55	14	0.253	14	0.14

(下转第24页)

中直接读出。如：读 t 值，按键 **MR** **5**，屏上即显示出 t 的全值（未舍去小数二位以后的值）。

存储器内容

岩石类型	M.5	p	M.7
qz	M.4	h	M.6
al	M.3	t	M.5
fm	M.2	k	M.4
c	M.1	mg	M.3
alk	M.0	o	M.2
si	M.9	$c:fm$	M.1
ti	M.8	SUM	M.8

计算实例

原始数据

编号	No. 1	No. 2	No. 3
SiO ₂	74.51	68.63	16.21
TiO ₂	0.21	0.35	2.02
Al ₂ O ₃	13.35	10.30	16.19
Fe ₂ O ₃	1.09	5.60	1.16
FeO	0.88	2.61	6.66
MnO	0.00	0.21	0.12
MgO	0.31	0.37	7.27
CaO	0.82	1.07	9.08
Na ₂ O	2.99	6.14	3.36
K ₂ O	5.10	1.17	1.66
P ₂ O ₅	0.20	0.02	0
H ₂ O	0.18	0.53	0
SUM	100.24	100.00	97.06

计算结果

编号	No. 1	No. 2	No. 3
岩石类型	2	3	1
qz	186.71	82.11	-33.32
al	45.98	26.43	21.95
fm	11.79	31.01	45.72
c	5.13	4.99	22.38
alk	37.08	37.52	9.93
si	435.52	298.95	106.41
ti	0.92	1.14	3.49
p	0.49	0.03	0
h	9.35	7.69	0
t	3.75	-16.08	-10.36
k	0.54	0.30	0.24
mg	0.22	0.07	0.54
o	0.40	0.59	0.16
$c:fm$	0.43	0.16	0.48

注：No. 1—黑云母花岗岩，No. 2—碱流岩，No. 3—

汉诺坝玄武岩

在使用 FX-502P 型计算器的过程中，除了上述计算程序外，我们还拟编了查瓦里茨基岩石化学计算程序，岩层厚度计算程序等试算均已成功。

(上接第35页)

续表 4

15	0.19	15	0.57	15	0.24	15	0.14
16	0.232	16	0.634	16	0.22	16	0.18
17	0.409	17	0.72	17	0.24	17	0.33
18	0.411	18	0.64	18	0.22	18	0.35
19	0.464	19	0.973	19	0.2	19	0.44
20	0.737	20	1.200	20	0.213	20	0.33
21	0.853	21	1.06	21	0.226	21	0.33
22	1.174	22	0.8	22	0.3	22	0.35
23	1.008	23	0.672	23	0.213	23	0.44
24	0.52	24	0.66	24	0.27	24	0.41
25	0.544	25	0.55	25	0.346	25	0.52
26	0.493	26	0.4	26	0.4	26	0.5
27	0.4	27	0.493	27	0.493	27	0.63
28	0.426	28	0.44	28	0.44	28	0.626
29	0.44	29	0.488	29	0.488	29	0.653
30	0.584	30	0.65	30	0.65	30	0.546
31	0.41	31	0.704	31	0.704	31	0.77
32	0.288	32	0.792	32	0.792	32	0.864
		33	0.753	33	0.753	33	1.173
		34	0.77	34	0.77	34	0.976
		35	0.472	35	0.472	35	1.2
		36	0.493	36	0.493	36	1.2
		37	0.664	37	0.664	37	1.128
		38	0.32	38	0.32	38	1.128
		39	0.6	39	0.6	39	0.928
		40	0.84	40	0.84	40	0.84
		41	0.806	41	0.806	41	0.736
		42	0.92	42	0.92	42	0.82
		43	0.87	43	0.87	43	0.826
		44	0.64	44	0.64	44	0.67
		45	0.36	45	0.36	45	0.66
		46	0.32	46	0.32	46	0.58
		47		47		47	0.53
		48		48		48	0.45
		49		49		49	0.253
		50		50		50	0.26

