

应用趋势面和多元回归法 计算金矿储量的新进展

南非金矿的储量计算仅限于矿山在开采过程中要充分揭露的矿体范围。一般情况是：只计算可能采出的矿块和每个矿块回采面上平均一年能采出的矿量。在一年末，要对矿量作出估算并加以公布，同时也可以用来制定规划、计划、进行选择性和随时掌握品位变化情况。

勘探工作是按照薄层矿体的一般方式进行的，即可在大约 300×400 英尺² 范围的矿体上掘进平巷和天井。随着开采深度的增加和压力、温度的不断上升，工作面也要相应地缩小。运输巷道都布置在矿体下盘，天井按设计与石门保持一定距离。回采作业是从矿块的一面或几面的长度为100至150英尺的工作面上进行的。

通常用手工采样。在井巷中，样品的间距为5英尺。在回采面上，样品间隔为10至15英尺。每回采20英尺，就要在工作面上重新采样。根据开拓和回采过程中的样品资料，即可对矿量做出估算。在一个矿块的揭露部位（一面或四面），这种样品资料是不难获得的。

因此，矿块储量的误差有两个基本来源：①矿块边缘（或其局部）样品品位的误差；②把这些样品品位当作矿块内部的品位时产生的误差。二者相比，头一种误差往往是无关紧要的，也就是说，在矿体已实际揭露的部位，可以准确地测定其品位。但是，把这种数据外推到矿体未揭露的或矿块边界以内的部位时，就不准确了。

测定含金量的基本单位是英寸-本尼威特，即直接测定每平方英尺的矿体平面上金

的含量（144英寸-本尼威特相当于在1平方英尺的矿体中金的含量为1本尼威特）。当矿体或矿脉较窄，而且沿矿体厚度方向上的开采作业很难做出抉择时，这种二维的英寸-本尼威特是一种合理的测定单位。

矿量计算的传统方法

在含金石英脉中，金的品位变化很大。用 $lg. (品位 + 常数^*)$ 的办法使矿块品位估计量的分布归一化后，这些估计量的方差仍可达0.05的级次。这意味着在加上了归一化所需要的常数后，矿块的实际品位可介于下述范围之内：

表1

概率为98%的置信区间	-39%至+73%
概率为90%的置信区间	-29%至+48%
概率为50%的置信区间	-12%至+19%

（与“偶然率误差”的概念一致）

在许多老矿山，这种情况是不能令人满意的。

另外，还有一种几十年来始终可以感觉到、但直到1951年才用统计学给以说明的现象是：在勘探贫富不同的矿块时，都存在着严重的误差。表2中的资料即说明了这一点。

这种在低品位时过低估计矿块品位和在高品位时过高估计矿块品位的现象，是一些金矿共同的特点。这是由于矿块品位变化很大，而仅按矿块边缘上的部分样品确定的矿块品位与采出的矿石品位的相关程度较低所造成的。也就是说，在评价所有的矿块时，

*这一常数为20~60英寸-本尼威特

矿块内部的实际品位对矿块边缘样品品位的回归线在理论上为一条45度的直线。而实际的回归线的斜率却要小于45度(图1)。

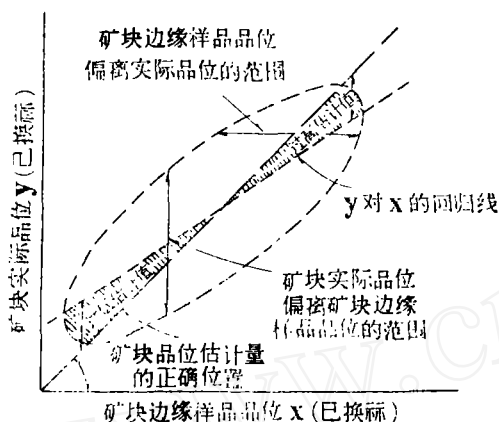


图1 对低品位矿块估价过低和对高品位矿块估价过高的两种情况

矿块品位的标准回归线

在能获得矿区或区段的详尽历史资料时,可以确定矿块边缘样品品位与矿块内部实际品位之间的相关关系,并作出能比较正确地估算各个矿块品位的回归曲线,以消除上述误差。

表2

矿块品位	[英寸-本尼威特]	矿量 [吨]	矿块平均品位 [英寸-本尼威特]	采出矿石品位 [英寸-本尼威特]	误差 (%)
低品位	91~149	110000	124	150	-17
中品位	150~266	400000	201	199	+1
高品位	267~348	160000	290	236	+25

在许多金矿已形成一种对矿石量和品位作出更切合实际的估算的标准方法。上述典型例子中的对数方差,这时可降低至0.03级次,各置信区间的品位变化范围见表3。

表3

98%的置信区间	-32%至+52%
90%的置信区间	-24%至+35%
50%的置信区间	-10%至+14%

尽管这是一种明显的改进,而且上述各种误差也已纠正,但是这种线性回归处理还是不能令人满意的。加上它又引入了一些新的误差,使它不能对一个矿区作出明显的全面分析。因此,这些方法仅对高品位块段和低品位块段才是可信的。

产生这些误差的原因是:线性回归法可以看作是求出每个矿块加权平均品位的手段。这种加权平均品位可能纯属传统的矿块边缘样品品位和将矿山作为一个整体求得的总平均品位。这虽可通过对总平均品位的加权使整个矿区的低品位矿块得到正确的提高,但在具有较低平均品位矿区的低品位区段中,低品位矿块的品位又被提得过高了。而在矿区的高品位区段中,对低品位矿块将只能作出过低的估价。

矿区的总平均品位是288英寸-本尼威特,但是,表2涉及的部位的品位仅200英寸-本尼威特。根据288英寸-本尼威特这一矿区平均品位所做的回归分析,这个剖面中全部矿块的平均品位可由200英寸-本尼威特提高到237英寸-本尼威特,即几乎高估了19%。而平均品位为374英寸-本尼威特的高品位区段中的矿块则被低估了10%。

消除这种误差的办法是:将矿区大致划为平均品位有明显差异的不同分区,然后分别确定它们的相关系数和回归系数。这种方法已在小范围中应用。但是,这样还会有分区上的任意性和在各分区的界线上出现反常现象。

建立在平均品位趋势面基础上的多元回归法

这种做法就是通过回归分析求得各个矿块的区间平均品位。为此,应根据仅有的开发勘探资料来绘制图幅范围为500至600英尺的平均品位等值线图。与一维变化的平均品位相同,这种二维变化的平均品位可在划分为一些网格的区间求得,并确保数据的连续

性和等值线的圆滑性(图2)。根据已划分为网格的开发勘探资料确定的趋势面约占其总对数方差的1/3。在该范围内,品位的发展趋势十分明显,因此,除了可以用它来估算矿块储量外,它对采掘作业效果的预报和设计也是很有用的。

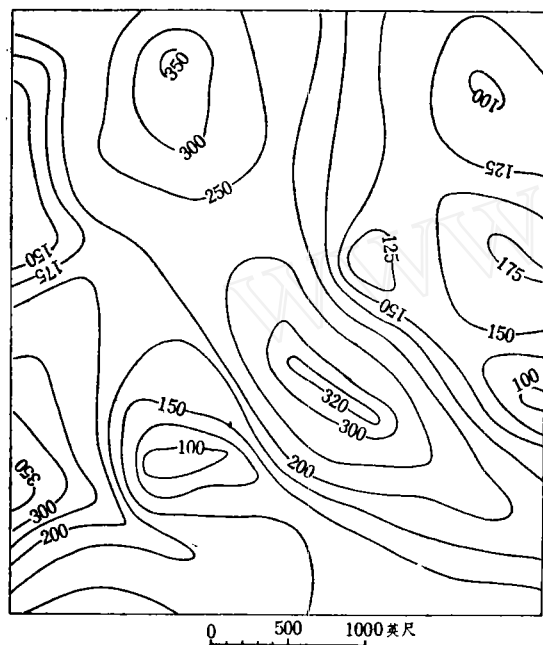


图2 金品位(英寸-本尼威特)等值线图

在计算矿量时,除了使用矿块边缘的样品资料外,还要用这些图件对每个矿块的品位进行订正。

根据几年来各矿块的记录资料,将矿块边缘样品品位和平均品位等值线作为两个自变量,而使回采面上的“内部”样品品位成为因变量,即能制出一个相关表(表4)。

可见,这对一些老方法的改进是十分明显的。各个矿块揭露的剖面 and 采出矿石的品级也表明,这种误差都已排除。

加权平均品位等值线

由于在估算各个矿块储量时所用的基本数据仅仅是各个矿块边缘样品的品位和矿块周围500英尺范围内的所有品位值,而未在求区间平均品位时作任何加权处理,所以还

品位相关表

$\lg_e$ (英寸-本尼威特值+50)

表4

	方差	平均值	相关系数	对数方差
矿块边缘样品品位	0.18	5.815		0.07
等值线品位	0.13	5.874		0.09
矿块内部样品品位	0.16	5.853		—
由矿块边缘样品品位求得的矿块品位	—	—	0.797	—
由等值线品位求得的矿块品位	—	—	0.698	—
由矿块边缘样品品位求得的等值线	—	—	0.561	—
用线性回归法求得的矿块品位	—	—	0.797	0.06
用多元回归法求得的矿块品位	—	—	0.854	0.04

回归公式:

$$\begin{aligned} \lg_{10}(\text{矿块品位的估计量} + 50) \\ = .140 + .39 \lg_{10}(\text{等值线品位} + 50) \\ + .552 \lg_{10}(\text{边缘样品品位} + 50) \end{aligned}$$

有进一步校准的余地。然而,一些矿区和矿脉的资料已表明,金的含量在很大程度上是连续相关的。图3中的例子已反映了这种连续相关性。由该例可以看出,相邻矿块中金的品位有较高的相关性。它们的距离越大,这种相关性也越小,而且当距离超过300英尺时,相关程度已极低。因此,越接近某一未知矿块时,样品品位(即在其边界上的品位)应有越大的加权因数。随着距离的增大

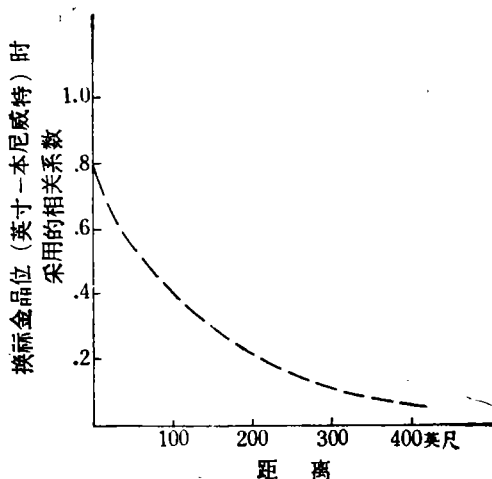


图3 样品距离与品位的相关关系

而远离其边缘时, 加权因数也应逐渐减小。换句话说, 建立一系列含递减系数值的自变量的多元回归模型, 将能对现有的以矿块边缘样品品位和区间平均品位为基础的多元回归法做出改进。这种方法实际上就是在计算矿块品位时对它周围能取得的所有数据采用不同的加权平均值(样品与矿块的距离越大, 加权因数越小)。

另一个须要考虑的因素是: 当存在图2中那种明显的品位趋势时, 沿着趋势方向和垂直于这一方向的加权作用各有高低。把这种情况计入模型, 就可以使得样品品位沿总趋势方向有较大的加权值。

因此, 根据某一阶段在矿区所获得的全部资料和品位趋势面(它反映了已开拓的矿体中任一节点上矿块品位的最佳估计量)即可随时估算一定开发阶段上的加权平均品位。如果存在这种趋势面, 那么其真实性又如何呢?

为此, 我们曾对图2所示断面的矿房样品资料进行了分析。

采空区的趋势面

在这些采空区中, 将大体为 15×20 英尺² 的不规则网格上的各个品位值先落在 25×25 英尺² 的格子上去计算平均品位, 然后再在 50×50 英尺² 的范围内以四个 (25×25 英尺²) 格子为一组求出平均品位。统计分析结果表明, 由 8~9 个样品资料直接求出相同范围 (50×50 英尺²) 的平均品位(经过换算)有较高的对数方差

(0.035)。然后, 再把四个 (50×50 英尺²) 的格子合起来计算 100×100 英尺² 的矿块品位估计量。为了算出移动平均品位, 可将上述格子在两个方向上都重迭一半, 这等于是在 50×50 英尺² 的网格上确定平均品位。这些估计量的对数方差为 0.01 时, 概率误差为 -6% 至 +7.5%。即在 90% 的置信水准下, 概率误差为 -15% 至 +18%。这样就可能利用上述品位的估计量来指明网格节点周围金的矿化强度。

在网格节点之间, 用线性内插法绘出了 125、200 和 350 英寸-本尼威特的等值线(图4)。它证实了品位趋势面的存在, 并反映

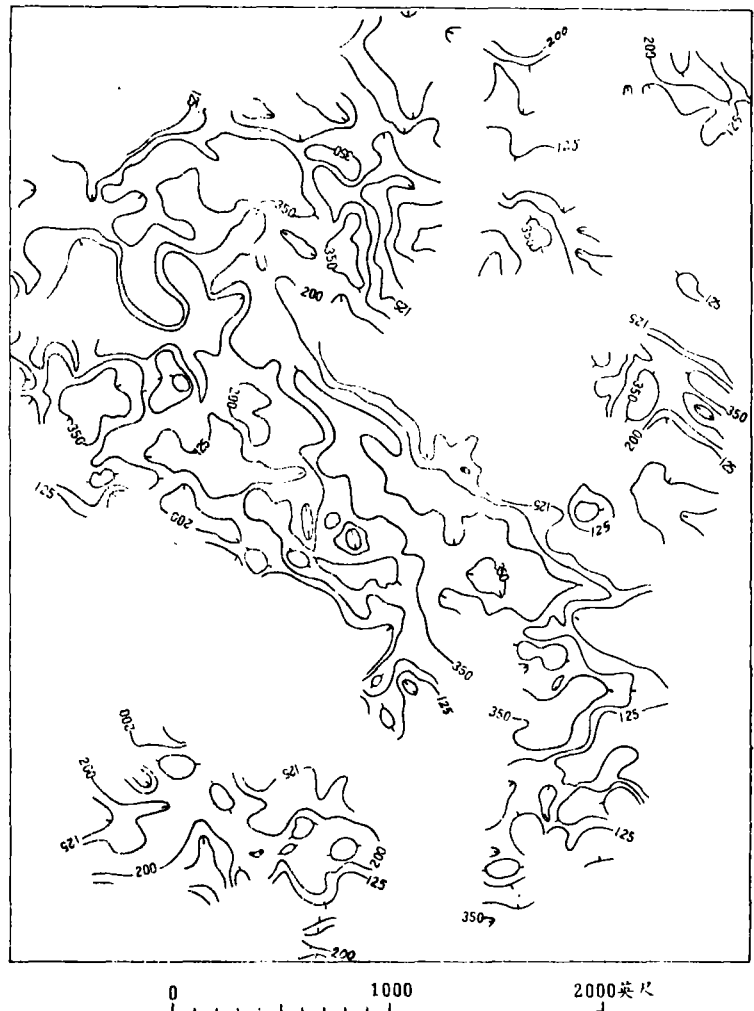


图4 采空区内金品位(英寸-本尼威特)等值线

了这种趋势面的基本特征。

这种趋势面的一个重要特点是，在任何一点上，它都能反映矿体在该点周围 100×100 英尺² 范围内（而不仅是该点本身）金品位的估计量。由于不可能在小于 100×100 英尺² 的矿块上对开采范围作出抉择，所以在更小的范围中确定金的矿化强度已无实际意义。而且，随着深度的增大和开采作业的集中，将会越来越趋向于在较大的范围上作出选择。由于趋势面是根据二维变化的平均品位来确定的，所以从采矿的观点来看，这种方法是完全合理的。

在采空区上，即使应用多项式或其他更复杂的曲面（按最小二乘方拟合），也不可能显著地改善上述趋势面。但是，这种趋势面却可以用来检验旨在表征所举矿体的多项式或其他曲面。

因此，剩下的问题是如何根据采空区周围未开采地段井巷中的样品资料来确定这种趋势面。这个问题如能解决，即可为矿山提供关于矿块品位的全套直观材料（这种要求是经常会提出的）。也就是说，它将取代各种常用的储量计算方法，并从根本上改进矿区的预测、计划、开采范围的选择和品位控制工作。

获得趋势面的多元回归法

利用图 4 中的基本数据和图 5 所示范围内代表品位的一个因变数（Y）和 22 个自变数（X）进行了多元回归分析。由这种分析结果和仅采用了 22 个独立自变量的另一回归分析结果，可以得出下述重要结论：

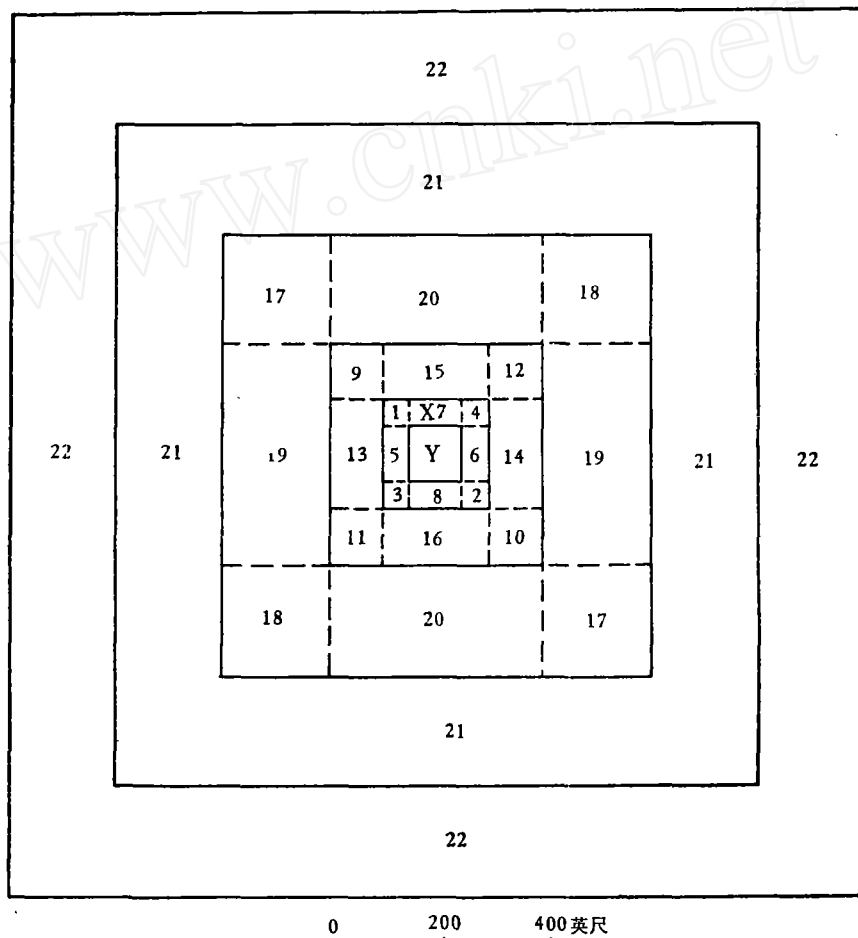


图 5 矿块的分割法

计算品位的多元回归模型由编号为 1 至 22 的自变数（X）和 1 个因变数（中心格子内 Y）组成

1. 除取得了 100×100 英尺² 的矿块的中心样品品位数据外，如尚能利用该矿块以外的补充数据，即可对品位的估计量作出进一步订正。

2. 如不能取得矿块中心的样品品位数据，但其四周 50×50 英尺² 范围内的品位值或其平均值为已知时，利用更外侧的品位数

据(如X9至X18)也能对中心矿块品位的估计量进行订正。

3.若不能获得中心矿块的数据,且X1至X8为未知,而仅可获得X9至X18(即距中心矿块50英尺以外但在 100×100 英尺²范围内)的一组品位值,那么即使利用更外侧的样品品位值也是徒劳的。

4.中心矿块的品位同与其边界相距350英尺以上的样品品位之间不存在明显的相关关系,即变量X21和X22并不能提供任何有用的信息。

即使这样,我们总还是要对每一地区确定具有一定距离的单元之间品位的相关程度。为了用内插法求出趋势面,还须对网格上的诸点拟出多元回归方程,并解出之。

因此也可以认为,

仅有的办法是下列二者之一:

1.研究将一个在数学上确定的曲面同以x和y座标表示的数据拟合的可能性。目前,作者和庇路等人正探索这一途径,它也是金矿矿区开发工作中的问题之一。

2.确定样品的一套加权平均值。这是一组实际的加权平均品位,可以将它们当作矿

块品位的估计量和与理想的多元回归法同样有效的趋势面。

这套加权平均值是:

1.将数据分为以下几组:

(1) 100×100 英尺²的中心格子;

(2) 宽达50英尺并围绕中心格子的方形“环带”(即X1至X8);

(3)在上述“环带”之外宽达100英尺的方形“环带”(即X9至X18);

(4)在上述“环带”之外宽达200英尺的方形“环带”(即X19至X20);

(5)求出各单元的平均品位和(1)至(4)的各组平均品位,并以通过中心格子的南北向和东西向直线将(1)至(4)组的所有数据再分为四组。

2.如(1)

中的数据已具备,那么(2)、(3)、(4)中的各项数据可以舍去。如(1)为未知,则须求出(2),而(3)和(4)可以舍去。

3.(1)至(4)中各项品位值的加权因数为:

(1)10; (2)6; (3)2; (4)1。

(下转第81页)

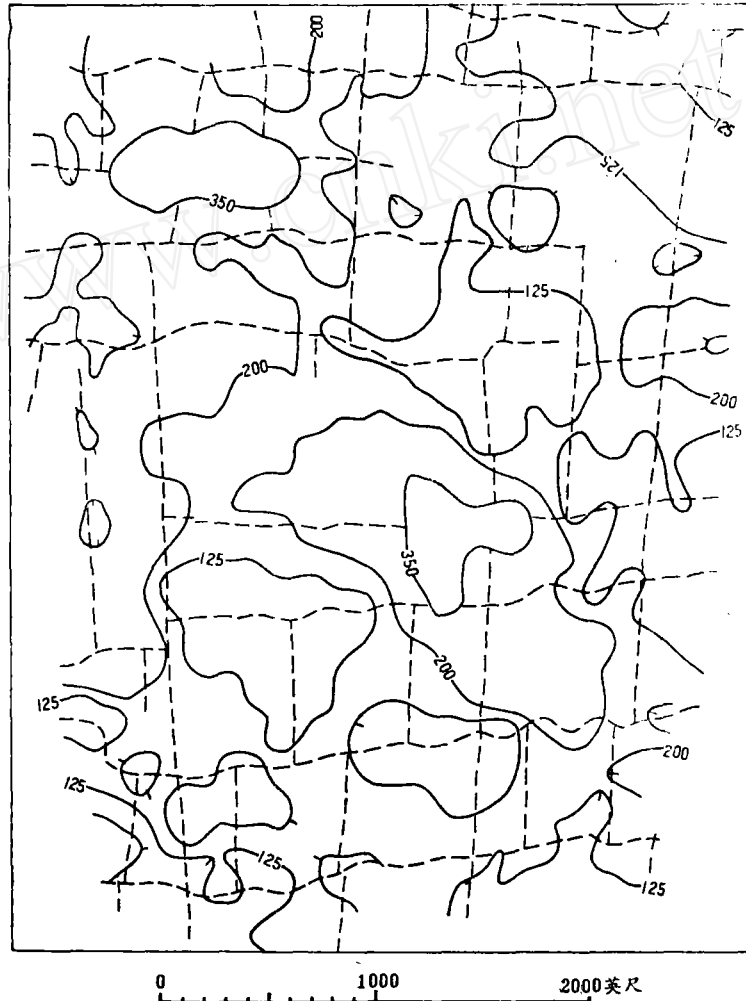


图6 金品位(英寸-本尼威特)等值线图

此, 矿物共生组合在这一概念中把时间、空间和地球化学条件统一起来。

在这种情况下, 矿物共生组合应当用矿物生成的同时性的矿石结构、构造来表征。在共生组合的矿物之间, 不可能存在溶蚀的连生界线。在熔浆或溶液结晶过程中产生的粒状结构, 可以证明矿石中存在矿物共生组合。例如, 多金属矿床矿石中的他形结构, 常常证明黄铜矿、方铅矿和黝铜矿是同时生成的; 石英—锡石建造矿石中的半自形结构, 证明锡石、雌黄和石英是同时生成的。固溶液分解结构也说明闪锌矿—黄铜矿、闪锌矿—斑铜矿等矿物共生组合的存在。此外, 共生组合还能从成分复杂的多组分凝胶中析出矿物时生成; 非晶质铀矿—辉钼矿、非晶质铀矿—方铅矿—黄铜矿、非晶质铀矿—自然砷、非晶质铀矿—玉髓等组合都是这方面的例子。

在热液过程的每一阶段, 可产生一个、两个或三个矿物共生组合, 这些组合或是在同一地段内依次更替, 或是同时或先后发育于不同的地段。同时, 同一矿物又可以进入先后生成的组合之中。在后一情况下, 见到的是矿物的不同世代, 世代的次数可达到 2 至 7~10 或更多。矿物世代是成矿过程中多次反复发生的相似或相同化学反应的结果。

每一矿物共生组合都表示一定的“地球化学级”。这种级的变化就证实了成矿介质各参数(温度、压力、浓度、溶液的 pH 值、氧化还原电位等)的改变。正确认识矿物共生组合的实质, 恰当运用共生组合分析, 有助于解决研究矿石时所遇到的各种问题。

晋译自: 《Изв. высш. учеб. завед.», Геол. и разв, 1974, №3, стр. 61~63 作者: Т. М. 卡伊科娃

(上接第79页)

(5) 的加权因数可取 1。

这种方法与法国学派的马特龙提出的地质统计学原理是一致的。

加权平均品位趋势面

根据这种加权平均品位, 可以确定图 2 和图 4 中的那种趋势面。这里仅用了图 6 中虚线所表示的开发阶段的计算网格上的品位资料。该图中有这一趋势面的三条等值线(其原始数据与图 4 相同)。图 6 与图 4 的拟合度比图 2 为高。这种趋势面约为开发阶段品位计算单元的总对数方差的 2/3(趋势面即按这些计算单元求出)。它与图 2 上的趋势面相比, 约占其对数方差的 1/3。这一部位矿块资料的统计分析表明, 直接用这种加权平均品位趋势面来估算矿块品位时, 得出的

矿块品位将具有以下特点:

1. 比根据矿块边缘样品品位这一传统方法求得的矿块品位更精确;
2. 它与根据矿块边缘样品品位和图 2 上的区间等值线品位(用多元回归模型)求得的矿块品位几乎有同样的精度;
3. 消除了前述的各品级和各剖面中品位的主要误差。

实际上, 这种加权平均品位当然不只是可根据开发阶段取得的资料求得, 而且它还可根据回采面上的样品资料求得, 以提高其计算精度。对于文中的“特例”来说, 其对数方差将低于 0.02。

译自: 《Colo. Sch. Mines Quart.», Vol. 59, P. 795-809.

作者: D. G. 克瑞吉
吴平译 邵梦林校