

品位、厚度变化性质的初步研究及其 在矿床勘探中的作用

彭程电

品位、厚度是衡量矿体质量和形态规模的主要标志,其变化性对矿床勘探有很大影响。因此,详细研究品位、厚度的变化性,已成为勘探中每一个阶段的一项重要任务。矿体的变化性包括变化性质、变化程度及控制矿体变化的地质因素(变化原因)三个不可分割的基本要素^{*}。可是,长期以来,人们研究变化性往往只注重变化程度。如研究矿体品位变化,常划分出均匀的、不均匀的两类,或细分成三至五类。又如研究矿体厚度变化,常划分出稳定的、不稳定的两类,或细分成三至五类等。并以此作为区分矿床勘探难易程度或精确程度的依据之一。而对于变化性质则研究较少。但是,我们研究许多矿床时发现,品位、厚度变化性质普遍具有某些规律,研究这些规律对于解决矿床勘探中的一些理论与实际问题都有一定帮助。

变化性质的特点和分类

变化性质是反映品位(厚度)等标志在矿体不同空间位置上相互之间的联系和具体(或内在)变化的各种规律。通过矿床勘探工作,在矿体三度空间上或不同部位可获得大量品位、厚度等标志的数值。如果把这些数值按照不同方向的实际顺序排列起来,它们升高、降低变化所形成的各种各样的自然变化特点和规律就是变化性质,也有人称做变化特性或变化规律。这些变化规律均受地质构造等因素控制。例如,某夕卡岩型铜钨矿床,在控矿构造发育部位,矿体厚度普遍增

大。因此,研究品位、厚度等标志的变化性质,有助于分析地质构造等控制因素,对于查明矿体富厚规律及其形成条件,并在此基础上指导矿床合理勘探,都具有一定意义。

品位、厚度变化性质一般可分成三种基本类型。

(1) 不规则变化或突变 在矿体内某一地段或某一方向上,相邻观测点所获品位(厚度)数值相互之间既无局部联系,在整个地段内也缺乏总体联系,即数值大小呈现无规律的急剧的跳跃或不连续的杂乱的排列(图1, A、B)。这是许多金属矿床,特别是有色、稀有、贵金属矿床(如某些铂、金、钨、钼、汞矿床)品位沿走向、沿倾向及其他方向较常见的变化特征。当观测测量间距不太密集时有些矿体厚度也可出现这类变化。

(2) 方向性变化或坐标变化 矿体品位或厚度数值沿某一方向相邻观测点之间的联系和依存关系不明显,但在整个方向上或某一范围内变量(品位、厚度)数值则具有升高或降低的趋势。这种局部变化无规律但总体变化有规律的现象,构成一幅波状起伏的曲线(有时需经平差和修匀,如图1 C、D)。这种局部不相依但总体相依的规律,是许多金属矿床品位厚度常见的一类变化性质。为了深入研究,还可细分出明显的方向

^{*} 赵鹏大:《矿床勘探中矿体地质研究的若干基本问题》。《中国地质》1964年第2期

性变化和不明显的方向性变化两类。

(3) 规则变化或渐变 矿体中各相邻观测点之间品位(厚度)数值有时呈连续的有规律的逐渐上升或下降,即局部变化和总体变化都有一定规律(图1 E、F)。许多矿体厚度和有些矿体(如某些铁矿床)品位可出现这类变化性质。

根据上述分类可以看出,变化性质除第一类无明显规律外,后两类都有一定规律性。

品位、厚度的变化程度(也叫变化幅度或变化强度)一般是指矿体或矿块品位、厚度数值的相对变化幅度。它通常是个量的概念,如表示品位升高和降低的幅度和均匀性,厚度波动的幅度和稳定性,而不能表示变化的规律。后者有赖于变化性质的研究。由此可见,变化程度和变化性质是反映矿体变化规律的两种含义不同的特征,二者既有联系又有区别。因此,研究和表示它们的方法也有一些差异。有人称它们是变化的数量与质量的关系。看来,也可形象地把它们比作波动的振幅与频率(波长)的关系。

研究方法

研究和评定品位、厚度等标志变化性质

的方法一般采用曲线分析法,即在沿矿体三度空间的各个方向(如沿走向、倾向、厚度方向)的地质构造简图或工程编录素描图基础上绘作“品位、厚度变化曲线——地质因素联系图”(如图2)。从这种联系图中可以看出变化性质的各种特征,也可分析各种变量与地质因素之间的关系,即进行成因分析。图2反映出锡、铅品位均具有方向性变化,即近上盘含矿破碎岩石中品位较低,而近下盘氧化矿石中品位普遍增高;图中曲线还反映出锡与铅品位的正相关关系等。因此,这是一种基本的综合研究方法。有时,曲线出现不明显的方向性变化,如锯齿状(跳跃式)升高或降低,则可用滑动窗法或平差法进行一次或二次修匀,使方向性变化更加明显。

可是,这种方法比较繁琐,尤其是研究勘探程度较高和已开采的矿床时,资料较多,工作量很大,而地质勘探普遍所采用的类比法又必须以已知矿床的规律为基础,工作量将成倍增长。此外,该方法也不便于分类和对比。为此,我们在研究某锡矿床条块矿体时,初次试用了一个评定变化性质的定量指标——变化性质指数(t),其计算公式如下:

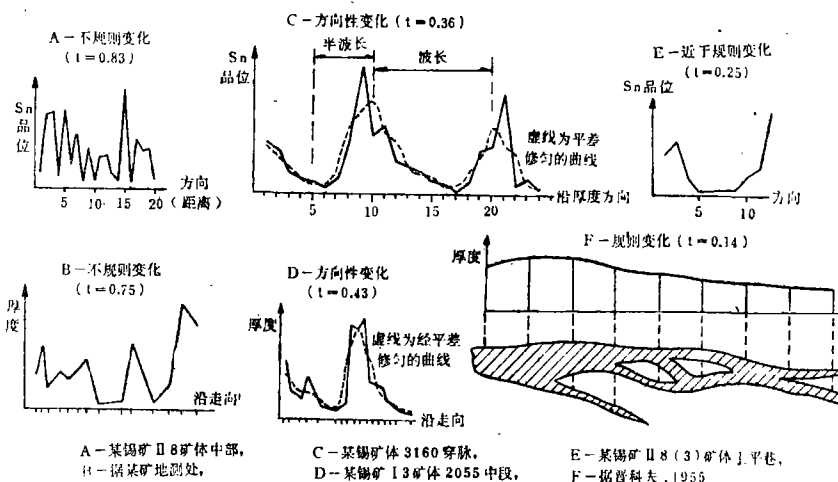


图1 金属矿体品位、厚度变化性质分类实例示意图

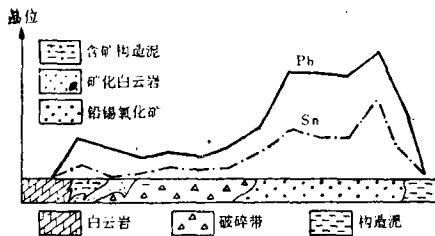


图2 品位变化曲线
某锡矿床—穿脉—地质系轴联系图

$$t = \frac{M}{n-2}$$

式中M是矿体某标志数值（如品位）在某方向上升或降低的“符号”变化次数（如品位数值由上升变为下降算作一次“符号”变化，再由下降变为上升又算一次“符号”变化）。

n是该范围内观测值个数和抽样个数。

根据初步研究，t值大小与变化性质分类如表1所示。

这种定量指数算法比较简便，能大致进行分类，其结果与上述曲线分析法所获结果一般能吻合，所以是一种简单有效的辅助方法。但是，它与地质因素缺乏直接联系，不便于进行综合分析。因此，它必需与上述曲线分析法配合，才能收到更好的效果。

矿体品位（厚度）变化性质分类
与t值大小关系表 表1

类别	变化性质	t值
1	不规则变化	1.0~0.8
2	不明显方向性变化	0.7~0.5
	明显方向性变化	0.5~0.3
3	规则变化	0.2~0.0

变化性质还可根据统计分布曲线图（或叫频数、频率分布图）来大致判断，类似正态曲线的对称分布在多数情况下反映其变化性质趋于规则变化或方向性变化；曲线不对称性越大，说明变化性质越不规则。

此外，也有用一级差值、二级差值来估计变化性质的方法。

总之，上述方法各有其特点和不足之处，并且多数还是试验性的。至于变化性质随着观测点（抽样）间距的不断加密可能会产生一些什么变化，变化性质是否与研究方法有关，以及品位厚度数值是否具有某种概率，还是因为受地质因素的控制而存在着一定的数值联系或内在规律，目前尚有许多争论。所以，研究方法也还有进一步探讨的必要。

品位、厚度变化性质的某些规律 及其在矿床勘探中的作用

骤然看来，各类矿床品位、厚度变化性质错综复杂，变化万千，似乎没有什么规律性。但是，只要按前述方法对它们进行分类和统计即可看出，许多矿床品位、厚度普遍具有方向性变化，其比例约占各类矿床的一半，不规则变化与规则变化的矿床也约各占一半。并且，各类变化性质所占比例还有以下特点：一是复杂的变化较大的矿床不规则变化有增多的趋势，简单的变化较小的矿床规则变化有增多的趋势；二是有些矿床厚度规则变化所占比例比品位多，而品位不规则变化所占比例又比厚度多。如果把方向性变化和规则变化这两类有一定规律的矿床加在一起统计，不难看出，一般都超过半数，有些可达到三分之二以上。由此可见，许多矿床中品位、厚度变化性质普遍具有一定规律性是无疑的。认识和研究这些规律对于指导矿床勘探，如选择合理的勘探工程间距（网密度）和取样间距，储量计算时品位、厚度外推方法及其理论依据的探讨都有一定的作用。下面仅以若干矿床的实例略加说明。

（1）品位厚度呈波状起伏的方向性变化（如图1.C），可作为选择和确定合理的

工程间距（勘探网密度）及取样间距的重要依据。

图3为一类似正弦函数的品位或厚度变化曲线模式。每一波峰表示有一高值（如A.C.E）每一波谷表示有一低值（如B.D.F）。两个波峰或两个波谷之间构成一个完整的波（如A.C.之间），其间距为一个波长。如果勘探工程间距取半波长（即一个工程控制波峰，另一个工程控制波谷，那么，所获结果在理论上是工程数量最少，而勘探精度最高的。考虑到地质勘探工程位置由于各种因素影响随意性较大，但只要能以半波长为工程间距，即使略作左右移动，所获数值平均值也会接近实际的，因为如有一工程接近高值，邻近另一工程必将接近低值。

如果方向性变化规律明显，波长又较短，则可适当放稀工程间距，并用半波长的奇数倍（如三倍、五倍等）作为工程间距，这样所获平均值也与实际的比较接近。如图3中C与F之间工程距离放稀至三倍半波长，波的形态被简化了，增加与减少的部分S与S₁，量大致相等，但总量仍不变。大量实际资料表明，在勘探过程中所揭露的矿体，不论是品位还是厚度，都在某种程度上被简化了。

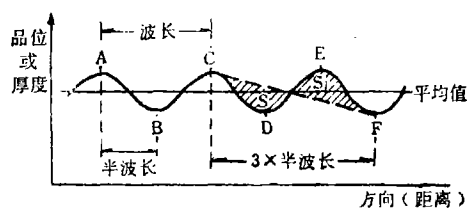


图3 厚度、品位方向性变化模式分析示意图

还应当指出，由于矿床地质条件复杂，品位与厚度变化性质出现不同特点和规律，或者说方向性变化的半波长长度不一致，因而勘探工程采用不同间距或不均匀布置也是合理的。并且，矿体边部工程比中间要密一些同样是必要的。

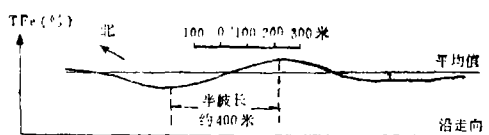


图4 某铁矿床甲矿区沿走向品位变化曲线
据冉崇英, 1964

〔例一〕某海相沉积变质铁矿床甲矿体品位沿走向具明显的方向性变化（图4）。变化曲线的半波长约400米。原勘探时北段工程间距一般200米，南段一般100米。如果利用了方向性变化的规律，工程间距可放稀到400米，就控制矿石品位而言，是比较合理和精确的。

〔例二〕某夕卡岩型铜锡矿床一矿体，规模较大，形态为似层状，长轴走向近东西。一组近南北向的控矿构造比较发育，矿体沿这组构造膨大。因此，在东西向剖面上，矿体虽呈扁豆状，但其厚度具波状起伏的方向性变化，波峰之间的距离（即波长）约50米。而沿南北（倾斜）方向，矿体受花岗岩体形态及其他因素影响，也出现波状起伏变化，波长平均约40米。该矿体在勘探时曾采用的工程网度为80×60米。经开采证实，勘探精度较高，总储量误差小于20%（不包括矿山在原矿体以外增加的储量以及由于多探明一种金属而进行了综合圈定所增加的储量）。矿体中沿走向和倾向厚度方向性变化的半波长的三倍值分别为75米和60米，与上述网度十分接近，勘探精度较高的主要原因即在于此。如果容许适当降低勘探精度要求，网度还可放稀。

〔例三〕某热液锡石硫化物矿床中有些层间氧化矿条状矿体锡品位沿走向具有方向性变化，其半波长约80米。如果以此作为选择工程间距的依据，就控制矿体品位变化而言，可达到较高的勘探精度。

〔例四〕某锡矿一脉状矿体的开采资料表明，沿水平厚度方向品位普遍具有方向性变化（图5）。原取样间距为1米，方向性

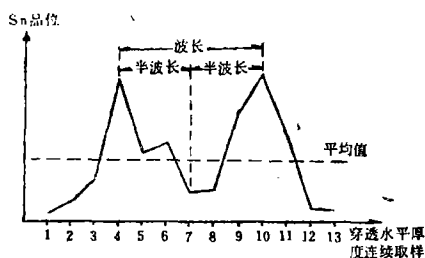


图5 某锡矿2540采场品位自然变化曲线

变化的半波长却大致3米。如果按3米的间距取样,并左右移动取样点(一方案取1、4、7、10、13等样,二方案取2、5、8、11等样,三方案取3、6、9、12等样)所获品位平均值分别为0.57%、0.45%、0.51%。与原来取样平均值0.51%比较,相对误差最大约12%,平均约8%。其他类似试验结果,品位相对误差一般不超过15%。

(例五)上例中的二矿体规模大,厚度6~10米,因此,沿水平或垂直方向穿透厚度连续取样时工作量很大,可达数千个,且矿石均为夕卡岩硫化矿,比较坚硬,取样工作困难更多。但是该矿体中许多部位近顶底板矿石品位普遍增高,近中部轴面品位降低,有一定规律的方向性变化。如果利用这一规律,把取样点布置在近顶底板(各一个)和轴面附近(取两个,即按两个半波长布样),这样取样结果精度可以保证,而取样数量则可减少一半至三分之二。

(2)可以作为品位厚度值外推法的依据。

在许多矿床计算储量时,常按矿体厚度的自然尖灭规律用内插或外推法圈定矿体,其理论依据实质上就是因为这些矿体厚度常具有渐变或规则性变化规律,而品位出现类似的情况较少,因此一般不能按其自然尖灭(贫化)进行内插外推。有些变化较小的矿床(如某些交代磁铁矿矿床)品位有时出现规则性变化,根据同样原理,也可按品位值自然降低到边界的位置作为内插外推的界

限。相反,在矿体厚度出现不规则变化或突变时,如果仍然采用厚度自然尖灭法进行内插和外推,则是不合理的。

至于金属矿体品位与厚度是否存在根本差异,目前尚有争论。因涉及问题较多,这里暂不讨论。

(3)有助于在不同组分品位之间、品位与厚度之间或其他特征与上述标志之间进行相关分析,有助于研究矿化规律和矿体形成条件。

在图2中,可看出锡与铅品位之间具有正相关关系。在图6中,金与黄铁矿品位变化性质相同;二者有一定的相关关系。又如某锡铅矿床分带特征与品位方向性变化规律有关。在研究这种变化性质的基础上编制品位厚度等值线图,并进行趋势分析,对于认识成矿规律、进行成矿预测和安排找矿工作都有一定意义。

(4)变化性质的某些规律可作为矿床勘探难易程度的标志之一。

自然界的矿床千变万化,错综复杂,矿体各种标志的变化规律也不尽相同,因而根据一些影响勘探的主要因素(如矿体规模、形态等)来区分矿床勘探相对的难易程度,是必要的。过去普遍所采用的划分勘探类型的方法是否合理可行,其中存在些什么问题,本文不拟详细讨论。这里仅就某些有关问题进行一些分析。

一般认为,为了获得相同的勘探精度,对于变化程度大的矿床比变化小的矿床需要

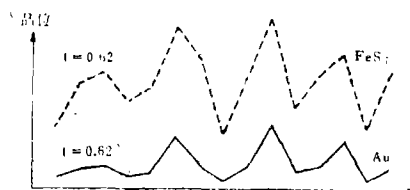


图6 某金矿中金和黄铁矿品位自然变化曲线对比图
第237队

更多更密的勘探工程。过去区分矿床勘探的难易程度也常以矿体各主要标志的变化程度为依据之一。而对于变化性质的特点和规律考虑较少。可是在实际上,许多矿体品位厚度的变化规律往往影响了勘探的难易。

有两个矿体的厚度变化程度不同:一个较稳定,一个较不稳定,尖灭膨大较快(见图7),但变化性质相同,都具有规则变化(渐变)。按照过去认识,变化程度不同,所需工程数量和密度(间距)应该不同。但研究和分析其变化性质后可发现它们的变化规律相同,说明可采用相同的工程数量和密度。两种方法比较,单就控制矿体厚度而言,后一种显然比较合理。

有两个矿体的品位变化程度相同(如数值大小和波动幅度相同),而变化性质不同:一个具有不规则变化,一个表现为规则变化(见图8)。如按过去认识,以变化程度为依据(其他因素相同或不予考虑),两个矿体应采用相同的工程间距,这显然是不合理的。如以变化性质的特点为依据,前者无规律可循,工程间距应密一些;后者有一定规律,工程间距可略稀一些。

某稀散元素风化壳型矿床,矿体厚度变化具有一定规律,并与地形变化有着密切联系。勘探时研究和利用了这一规律,放稀了

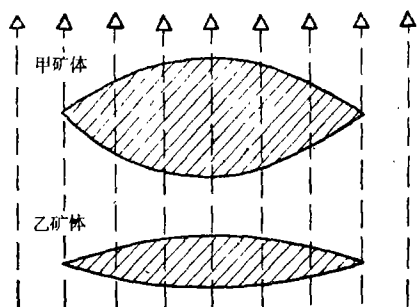


图7 厚度变化程度不同但变化性质相同的两个矿体

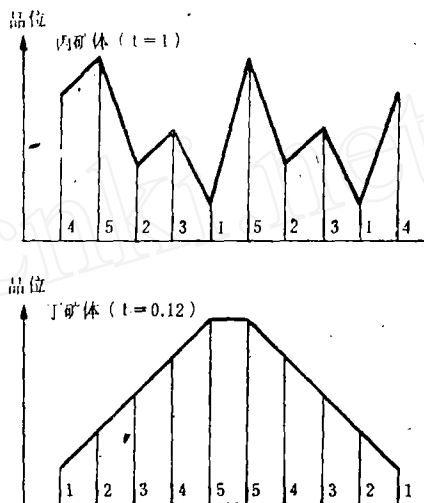


图8 品位变化程度相同但变化性质不同的两个矿体

工程间距进行勘探,收到了较好的效果。这里所指厚度变化的规律其实就是变化性质中的规则变化(渐变)。

以上实例着重讨论变化性质的若干规律及其实际应用等问题。对于产生这些变化的原因即控制因素,尚未逐一详细介绍。当然,影响矿床勘探难易的因素很多,要全面综合考虑,并分清主次,否则容易产生片面性或得出不正确的结论。

最后应当指出,品位、厚度变化性质问题十分复杂,影响因素很多,目前尚存不少争论。以上所提到的研究方法和实际应用等方面的问题,仅仅是一些初步的工作成果,许多问题还有待进一步研究和探讨。