

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

論金属矿体厚度与品位变化的特征、程度及变化系数

冉 崇 英

矿体的产状要素、形态、长度、厚度(或寬度)、斜深、面积、矿物成分与化学組成含量、矿石結構构造、物理性質及加工技術性質等,概属矿体的属性。这些属性,多能用数值表示之,名曰矿体的参数。地质勘探人员对矿体参数的变化,非常重視。因为参数的变化,特别是矿体厚度与矿石品位的变化,对矿床勘探有重大的影响。Л. А. 晉可夫^[1]把金属矿体的变化分为四个类型:(1)均匀、連續、有規律的变化;(2)均匀、連續、无規律的变化;(3)跳跃式、不連續、有規律的变化;(4)跳跃式、不連續、无規律的变化。他认为,多数外部形态参数(包括厚度)的变化,属(1)、(2)类;而内部参数(首先是品位)的变化,属(3)、(4)类。两者有本质的不同,其整理与研究的方法也不应相同。他指出,內插与外推可适用于厚度,而不宜用于品位;自然,数理統計法只适用研究品位等内部参数的变化,而不宜用于厚度等参数变化了。但是很多取样与儲量計算或实际勘探工作中,对矿体厚度与矿石品位的計算与研究,均广泛地采用了相同的方法(特别是数理統計法)。看来,即并未区分厚度与品位的变化有何本质不同,而与 Л. А. 晉可夫的結論相矛盾。本文试图对此分歧,提出一些肤浅的看法,并借以探討金属矿体厚度与品位的变化性与变化系数。不当之处,望閱者指正。

一、金属矿体厚度与品位变化特征的初步探討

矿体变化的特征,既在地质方面,又在数学方面。作者对这两方面都研究不够,以下只能以若干矿床实例分析的方式作初步的探討。

(一) 金属矿体厚度与品位变化地质特征的实例分析

矿体变化的地质特征是由地质条件所决定的。

这里以我国一层状銅矿为例說明之。

該层状銅矿产于昆阳系浅变质岩层中。矿床以中温热液为主。矿带上貧矿床居多,中等品位矿石的矿床(以下簡称中矿)則較少,富矿体局部出現于中矿床中。

以下討論其厚度与品位变化(附帶涉及矿床規模)的地质特征。

(1) 控制矿床規模、厚度与品位变化的若干地质条件

在此將貧矿与中(富)矿产出特征及其控制条件比較如下:

1. 貧矿床一般远离数十公里甚至长百余公里的規模巨大的导矿断层,且走向长数十公里的导矿断层活动不強烈,比前者小的橫断层稀疏(間距一般約250—400米),含矿构

造不发育(主要为微弱的层間滑动所引起的微弱裂隙系統,表现为微弱的层間裂隙带与稀疏的网状节理),如云南某銅矿;中(富)矿床多位于长百余公里及数十公里的导矿断裂的上盘,或两个长数十公里的导矿断裂上盘的交会带(云南某銅矿),小于数十公里的断层縱橫密集分布(橫断层間距一般为50—100米,如云南某銅矿南北两端富矿体部,400米內,有六个橫断层),含矿构造良好(不調和褶皱、小挠曲、小断层、強烈的层間破碎带与张剪力共軛式羽毛状裂隙发育)。

2. 貧矿床多在厚层状(厚度100—400米)純白云岩层中(云南某銅矿);中(富)矿体多在泥质炭质白云岩(云南中部)或泥质白云岩(云南北部)中。

3. 貧矿体一般距火成胶結角砾岩較远,或控制該岩脉的断层在成矿期繼承性活动不显著;中(富)矿体一般在火成胶結角砾岩0—50米以內,且控制該岩脉的断层繼承性活动明显(云南中部)。在岩脉上盘或頂部的矿体較富厚(云南中部),小角砾岩下部亦有厚矿(云南中部)。岩脉沿层产出且长而規則者,矿体大而稳定(云南中部北部),短者矿体亦短(云南中部)。岩脉橫穿岩层时,矿体不規則且小而富。岩脉微切岩层时矿化稳定。可見断层热液角砾岩在空間上、产状上对矿体厚度与品位变化有明显的控制作用。

4. 矿带上各矿床氧化带发育,而次生富集带不显著以至缺失。个别矿床(云南中部)在次生氧化物富集带与次生硫化物富集带发育时,矿石品位較原生矿可驟然加富5—15倍。

5. 貧矿石呈浸染状、稀疏散点或网状、抑或薄膜状构造;而中富矿石呈粗脉状、条带状、斑点状、密集散点或网脉状、以至块状构造。貧矿石构造多在稀疏細节理网中,銅矿物交代白云石,矿化范围較广;富矿石构造一般为銅矿物沿层間破碎带或沿羽毛裂隙充填,并在其旁側伴随局部交代作用。此类羽毛裂隙,一般有几个方向剪切組羣,并且相互交切,有明显的小距离位移,在交切处多块状构造矿石,部分呈条带状构造,在块状或条带状附近,有密集散点状构造。

6. 凡規模較大者,多属貧矿,呈层状或似层状,基本沿围岩岩层产出,厚度大而稳定;而中(富)矿床一般規模小,呈透鏡状或柱状产出,矿体分枝与膨縮現象显著,厚度与品位变化較不稳定(云南中部)。个别中等以上規模中(富)矿床,呈似层状产出,厚度不大但較稳定(云南中、北部)。

上述情况表明:控制該銅矿生成、分布、規模、厚度与富集的主要地质条件是,火成胶結角砾岩、有利于褶皱断裂以及白云岩与次生富集。自然,控制矿体厚度与品位变化的主要地质条件,也正是此四大条件了。

(2) 矿床規模、矿体厚度与品位变化的綜合控制条件

必須指出,諸地质控制条件对矿体各参数变化的控制,是具綜合影响的。

同时应注意,各控制条件的組合是复杂的。复杂的組合对矿体厚度、規模与品位变化的控制情况,也就是多样的。例如,本銅矿带可見如下情况:

1. 在不純白云岩地区,含矿构造良好,若近导矿构造,且次級橫断层密集,則矿床可达中等以上規模,厚度較稳定,品位較富(云南中部);若远导矿构造,且次級橫断层稀疏,則矿床規模小,厚度不稳定,品位較貧。

2. 距导矿构造較远的厚的純白云岩区,虽白云岩晶粗质純、化学性活泼,利于矿液流

通与交代,但若次级横断层不发育,缺乏圈闭构造与有利的含矿构造(挠曲不显,层间滑动不烈,只有层间微节理或溶蚀洞,缺乏供矿液充填的裂隙系统和聚矿的泥质隔层),则矿液分散,以致所成矿床大而贫(仅靠断层局部地段品位稍高)。

3. 位于不纯白云岩之上、上复有板岩盖层的、厚度不大的(100米左右)纯白云岩区,近导矿断层,次级构造良好(横断层密集),含矿构造中等(在该岩石中羽毛裂隙及层间破碎带的发育程度介乎厚层纯白云岩与不纯白云岩之间),亦可形成厚度不稳定的(厚度变化于10—80米之间)中小型富矿床。

以上已讨论诸控制条件的综合性的一面;另一方面,各控制条件或其细节,对矿体不同参数变化所起的主次控制作用,是不尽相同的。如上例,易交代的围岩(厚层纯白云岩),着重地控制矿化广度(包括厚度的变化);次生氧化物富集与次生硫化物富集作用,突出地控制矿石品位变化,同时相应地影响到矿体(尤其是富矿体)的形态、产状与厚度的变化。

上述矿体厚度与品位变化的地质特征,自然是局部性的,而就整个矿体来说,难于看出厚度与品位变化有何本质的差异。对于各种成因类型金属矿床矿体厚度与品位变化地质规律的探讨,必须全面研究构造、岩浆、围岩、地层与次生富集等主要地质控制条件^[2]及其复杂的组合与变化,此任务远非本文所能胜任。

(二) 金属矿体厚度与品位变化的数学特征实例分析

地质条件虽足以解释矿体变化的原由并指明变化总的趋向与轮廓,但不能确切表达变化的数量特征与程度。后者有赖于数学研究。

矿体变化的数学特征是,多半不具初等函数性质,而呈现概率规律性。纵然厚度与品位相当稳定的矿体,其变化数值通常也不是呈理想的或整齐准确的函数曲线,下面以某矿床为例来进行分析。

我国某沉积变质铁矿¹⁾,甲矿区贫铁矿体成层状产出。矿体共五个(图1),沿走向长

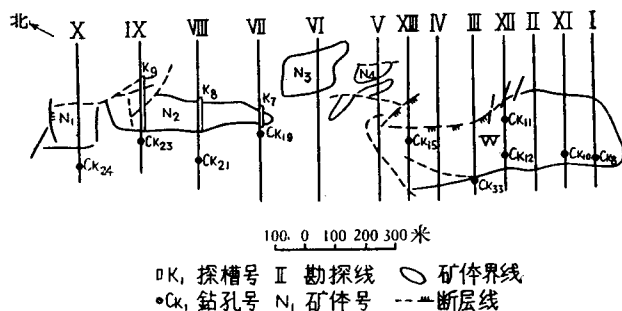


图1 一铁矿床甲矿区矿体及勘探工程分布平面示意图

110—720米,厚100—190米,已知延深150—800米。矿石含铁量一般为20—40%,平均

1) 资料来自某勘探队1956年某铁矿床总结报告与附图,包括图1至4与表1至3。

品位 30.01%。深部矿石 FeO 含量增加。SiO₂ 含量为 30—60%，一般为 40—50%，与 Fe 含量大致成消长关系。当 SiO₂ 减少而 Fe 剧增时，可形成富矿体。反之，则可由贫矿变为含铁的石英岩。

通过图表分析，可见以下情况：

1. 该铁矿属海相沉积变质矿床。其规模大、层位稳定、矿层厚度与矿石品位变化不大，但厚度与品位的变化值，就整个矿区而言，则非初等函数性质（图 2、3）。

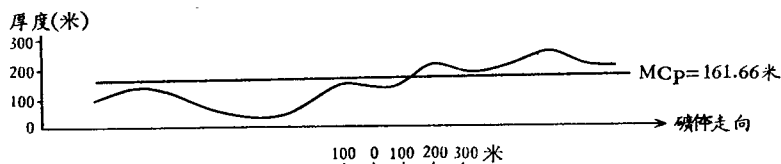


图 2 一铁矿床甲矿区沿走向厚度变化曲线

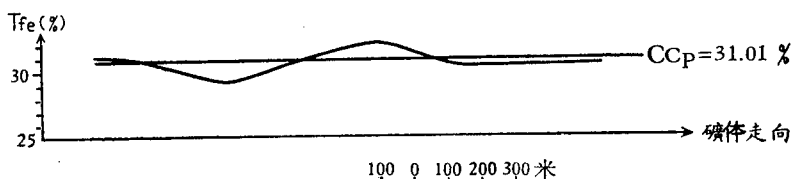


图 3 一铁矿床甲矿区沿走向品位变化曲线

从图 2、3 知：沿走向矿体厚度与品位的变化，波动于平均值附近，对于任一观察点（剖面）呈偶然性升降。

又在表 1 至 3 中分别看到：CK₁₉ 号钻孔中品位的变化值，整个甲矿区矿体厚度在各剖面的变化值与铁品位在各剖面或工程内的变化系数值，也均带偶然性增减。

2. SiO₂ 与 Fe 含量间成负的相关变化（见图 4 及其附表）。

3. 深度与 FeO 含量间成正的相关变化。

4. S、P、Mn 等伴生元素的含量变化无方向性，且与 Fe 含量间无依赖关系。其数值大小对于任一观测点带偶然性出现。

上述情况表明：对应于自变量 X（指沿走向、沿倾向或沿厚度等空间坐标）的因变量 Y（指矿体厚度或品位）之值，是不能作出整齐准确的初等函数曲线的；而某值的出现、大小或正负，是具偶然性的。这种大量偶然现象的数量规律，即属概率规律性的范畴。所谓相关关系，亦指对变量 X 的每一个值对应的另一变量 Y 的一些值的概率关系，它只表示二变量间的大致消长关系，不成严格的比例变化。

作者对其他矿床的数十个矿体分析，也证实了“厚度与品位变化往往具偶然性变化”这一特征。金属矿矿体这种大量的偶然性变化，是由于地质作用通常具复杂性与不均匀性所致，它不象实验室或工艺上的一般物理或化学变化那样易于人为地控制其影响因素，使之单纯而均一，以致变化值能呈规整、准确的函数曲线。当然，在个别特定的情况下，即控制作用单纯均一的条件下，未尝不可能出现厚度或品位呈初等函数变化的矿体，不过目前尚缺这方面的典型实例。

表 1. 某铁矿床甲矿区 N₂ 矿体 VII 剖面 CK₁₉ 品位变化系数计算表

样号	品 位 (C) Tfe%	离 差 (±X)	平 均 差 (H)	平 均 差 变化系数 (V ^H)%	离差平方 · ±X ²	均 方 差 (δ)	均 方 差 变化系数 (V ^δ)%
1	21.40	-8.97	$H = \frac{\sum \pm X }{n}$ $= 2.688$	$V^H = \frac{H}{C_{cp}} \cdot 100$ $= 8.85$	80.4609	$\delta = \sqrt{\frac{\sum \pm X ^2}{n}}$ $= 3.54$	$V^\delta = \frac{\delta}{C_{cp}} \cdot 100$ $= 11.66$
2	26.90	-3.47			12.0409		
3	29.60	-0.77			0.5929		
4	28.00	-2.37			5.6169		
5	28.70	-1.67			2.7889		
6	30.06	+0.23			0.0529		
7	32.70	+2.33			5.4280		
8	30.90	+0.53			0.2809		
9	31.40	+0.63			0.3969		
10	30.00	-0.37			0.1369		
11	29.90	-0.47			0.2209		
12	30.40	+0.03			0.0009		
13	31.70	+1.33			1.7689		
14	30.85	+0.48			0.2304		
15	27.75	-2.62			6.8644		
16	27.30	-3.07			9.4249		
17	31.30	+0.93			0.8649		
18	33.05	+2.68			7.1824		
19	27.80	-2.57			6.6049		
20	27.00	-3.37			11.3509		
21	28.75	-1.62			2.6244		
22	30.70	+0.33			0.1089		
23	26.70	-3.67			13.4689		
24	28.75	-1.62			2.6244		
25	34.50	+4.13			17.0569		
26	36.40	+6.03			36.3609		
27	36.20	+5.83			33.9889		
28	31.60	+1.23			1.5129		
29	33.45	+3.08			9.4804		
30	23.85	-6.52			42.5104		
31	30.30	-0.07			0.0049		
32	26.55	-3.82			14.5924		
33	38.65	+8.28			68.5584		
34	33.65	+3.28			10.7584		
35	36.05	+5.68			32.2624		
合 計	n = 35				ΣX ² = 438.224		
平 均		C _{cp} = 30.37					

表 2. 某鉄礦床甲礦區礦體厚度變化系數計算表

礦體號	剖面號	厚度 (M)	離 差 (±X)	平 均 差 (H)	平 均 差 變化系數 $V^H(\%)$	離差平方 (±X ²)	均 方 差 (δ)	均 方 差 變化系數 $V^δ(\%)$
N ₁	X	100	-61.66	$H = \frac{\sum \pm X }{n}$ = 56.6	$V^H = \frac{H}{M_{cp}} \cdot 100$ = 35	3794.56	$\delta = \sqrt{\frac{\sum \pm X ^2}{n-1}}$ = 68.45	$V^δ = \frac{\delta}{M_{cp}} \cdot 100$ = 42.3
N ₂	IX	140	-21.66			466.56		
	VIII	80	-81.66			6658.56		
	VII	30	-131.66			17161.00		
N ₃	·VI	140	-21.66			466.56		
N ₄	V	140	-21.66			466.56		
W	XIII	220	+58.34			3398.89		
	IV	220	+58.34			3398.89		
	III	180	+18.34			334.89		
	XII	240	+78.34			6130.89		
	II	250	+88.34			7796.89		
	XI	200	+38.34			1466.89		
合計	n = 12					$\sum \pm X ^2$ = 51541.14		
平均		$M_{cp} = 161.66$						

表 3. 某鉄礦床甲礦區變化系數比較表

礦區號	礦體號	剖面號	工程號	品位均方差 變化系數 $V_c^δ(\%)$	$V_c^δ \times 0.8$	品位平均差 變化系數 $V_c^H(\%)$	$\frac{V_c^H}{V_c^δ}$
甲	N ₂	VII VIII IX	CK ₁₉	2.91	2.33	2.20	0.76
				6.60	5.28	4.10	0.62
				11.66	9.33	8.85	0.76
				32.00	25.60	20.05	0.63
			CK ₂₁	28.95	23.16	17.70	0.61
			K ₈	13.47	10.78	9.40	0.70
			IX	17.35	13.88	13.90	0.81
				5.04	4.03	4.20	0.83
				16.59	13.27	13.30	0.80
			K ₉				
				厚度均方差 變化系數 $V_m^δ(\%)$	$V_m^δ \times 0.8$	厚度平均差 變化系數 $V_m^H(\%)$	$\frac{V_m^H}{V_m^δ}$
甲	W			42.30	33.84	35.00	0.83
				11.75	9.40	10.18	0.81

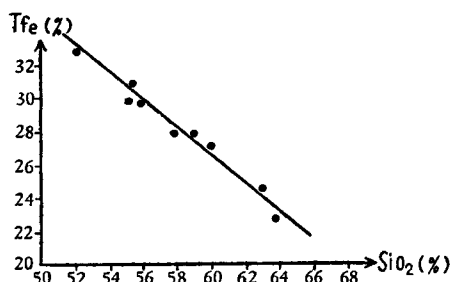


图 4 一鉄矿床甲矿区 Kg 之 SiO_2 -Fe 羣点分布图

附 SiO_2 与 Fe 含量对比表

試 样 号	TFe(%)	SiO_2 (%)
6	30.72	54.60
18	22.79	64.14
31	28.32	58.90
42	28.15	58.10
53	29.71	55.88
64	32.84	52.20
75	29.82	54.74
87	24.63	63.00
93	27.59	60.30

二、金属矿体厚度与品位变化的特性、程度以及其变化間的联系問題

(一) 金属矿体厚度与品位变化的特性与变化程度問題

Д. А. 晉可夫认为^[4], 不連續、跳跃式变化, 是品位等矿体内部参数变化的基本特性; 均匀連續、呈平滑曲綫, 是厚度等矿体外部参数变化的基本特性。两者在性質上有根本的區別。看来, 他只注意到那些品位不均匀但厚度稳定的矿体, 而沒有充分注意另一些品位均匀与厚度不稳定的矿体。然而, 我們知道, 后者也是自然界客观存在着的, 且为数不少(詳后)。遺憾的是, Д. А. 晉可夫却沒有对它們的变化, 作出应有的結論。他說^[4]: “組分分布較平稳的矿体是否存在? 目前, 还解决不了这些問題”; 他并把形态复杂实际上厚度变化較大的所謂“形态跳跃体”, 看作是罕見的例外, 而且把复杂形态, 視作单一形态的簡單和, 把厚度的突然膨脹或尖灭, 視作局部的跳跃, 并由此解释这样的厚度变化, 依然是均匀連續的。看来, 这种解释未免有些牵強附会。总之, 他把部分矿体变化的特有形式扩大成为一般矿体变化的普遍規律, 因而他的論点, 是值得商榷的。

由上节可知, 無論从金属矿体厚度与品位变化的地质控制条件上, 还是数学特征上, 都难以看出品位与厚度变化有何本質差异。因此, 与其說品位变化不均匀(跳跃)、厚度变化均匀(連續), 是矿体变化的基本特性, 勿宁說它是矿体品位与厚度变化性質的多样性(詳下)之一; 与其說均匀(連續)或不均匀(跳跃)是矿体某类参数变化的專屬本質, 勿宁說它們是矿体各种参数变化性質的通用描述詞。实际上, B. И. 斯米尔諾夫^[6]、M. H. 阿尔波夫^[1]和巴雷舍夫^[2]等, 正是利用这类形容詞及其相应的变化系数, 来描述矿体品位与厚度的变化性質和变化程度并对矿床进行勘探分类的。在他們的分类中, 明确地肯定了: 不仅有品位不均匀与厚度稳定的矿床; 而且存在着品位均匀、极均匀与矿体厚度变化大的矿床。

关于不同类型矿床其矿体变化程度, 則是多样性的。

巴雷舍夫曾指出, 許多沉积矿床厚度变化大于品位变化; 多数有色金属矿床、部分岩

1) 見 A. П. 拉尔欽柯 1956 地质勘探工作理論和方法基本問題, 北京地质学院。該书中“巴雷舍夫”之誤。

浆矿床和复杂的鉄矿床,厚度与品位的变化值大致相同;遭受破坏的最复杂的有色金属以及多数稀有、貴金属矿床,其品位变化大于厚度变化。B. И. 斯米尔諾夫^[6]曾依据矿化的連續性及有用組分分布的均匀性,将矿体分为四类,即:(1)矿化連續且有用成分分布均匀;(2)矿化連續但有用成分分布不均匀;(3)矿化不連續但有用成分分布均匀;(4)矿化不連續、有用成分分布也不均匀。我們认为:自然界金属矿体厚度与品位的变化程度,的确是多样的,不能一概而論“多数矿体品位变化值跳跃不均匀,而厚度变化值則是均匀連續的”。巴雷舍夫对不同类型矿床具体分析其厚度与品位变化的大小是合理的。B. И. 斯米尔諾夫的分类更为詳尽。

从我国一些不同类型矿床的实际資料来看,金属矿床矿体厚度与品位的变化程度也有四类情况:

(1) 矿体厚度較稳定且品位較均匀者:

品位与厚度的变化系数一般較小。可以层位稳定的海相沉积鉄矿床或沉积变質鉄矿床为例。如本文前面所举的我国某沉积变質鉄矿床。

(2) 矿体厚度較稳定但品位不均匀者:

可以我国西南某伟晶岩型鉍矿床及其原生錫矿床为例。前者矿脉厚度相差不过数倍,而其中綠柱石含量可悬殊到十余倍;后者矿体呈似层状、网状及透鏡状产出,矿体的品位变化系数普遍大于厚度变化系数(表4)。

表4 某原生錫矿床变化系数表*

矿体号	品位变化系数(%)	厚度变化系数(%)	矿体形态
(略)	140.5	41.7	似层状
	130.0		(层間)
	297.0		(层間)
	195.0		(层間)
	147.7	72.0	(层間)
	141.0		(层間)
	175.0	45.0	网状
	108.0		网状
	228.0	96.0	透鏡状
	118.0		(接触带)
	158.0	88.0	(接触带)
	144.0		(接触带)
	137.0	77.0	(接触带)
	146.0		(接触带)

* 引自某地測处, 1959, 金属矿床勘探类型参数之計算方法及其应用。

(3) 矿体品位較均匀但厚度不稳定者:

可以某沉积扁豆状錳矿及某层状銅矿为例。前者矿体呈餅状交錯产出,多呈聚合与分枝現象。錳品位多在20%左右。厚度变化系数大于品位变化系数;后者矿体呈扁豆状、透鏡状或似层状,其厚度变化系数一般大于品位变化系数(仅La₂矿区例外,見表5)。

(4) 矿体厚度不稳定且品位不均匀者:

厚度与品位变化系数通常較大,許多稀有、貴金属矿床或第IV勘探类型的矿床属之。

表 5 某层状铜矿床变化系数表*

矿区代号	品位变化系数(%)	厚度变化系数(%)	矿体形状	矿床勘探类型
T	13	39	扁豆体	I—II
C	72	82	扁豆体	II
E	30	73	层状浸染体	II
LoS	36	82	透镜体	II
LoN	30—70	80—115	不連續扁豆体	III
La ₁	9	70.9	似层状	II
La ₂	70.9	65.5		

* 引自某矿务局地质处, 1959, 某铜矿床勘探手段和勘探网密度的初步研究。

在这里, 我們不厌其烦地引述了众所周知的矿体厚度与品位变化的多样性, 充分地证明了 Д. А. 晉可夫对矿体变化特性及其应用結論是带有片面性的。他的結論只能适用于我国矿体变化的第二类情况, 难以适用于其余三类情况; 而影响到勘探工作的复杂性的, 何尝仅在于品位的不均匀性呢?

(二) 金属矿体厚度变化与品位变化之间的联系及其实用意义

我們愿意指出, 不仅金属矿体厚度与品位的控制条件是統一的, 而且金属矿体厚度与品位本身也是相互依存的, 两者的变化也是相互影响的, 其研究整理方法, 自然也是类似的。

矿体中金属组分与厚度的关系, 实质上是物质与其占有空間的关系, 由造岩作用到造矿作用, 使组分含量达到工业品位, 且其占有空間到达工业規模与工业厚度, 即形成了矿体。在矿体内品位仍有变化, 升高可以形成富矿, 降低可不达可采品位。

实际勘探工作中, 矿体工业厚度边界綫的最終确定, 通常是以化验所得的品位为依据的。这对圈定那些边界綫不明显的矿体 (如浸染状矿石或土状氧化矿石組成的矿体), 就更加必要。同理, 划分貧富矿体之界綫, 也是以一定的品位为依据的。在圈定工业矿体时, 要同时考虑最小可采厚度与最低可采品位双重指标。最低米百分率是二参数有机的結合。品位与厚度之积, 再乘以面积与体重之积, 即构成矿体的金属儲量。可見此二参数是互相依存并在儲量計算上有紧密联系的。采用相似的整理研究方法, 也是极其自然的。

Д. А. 晉可夫认为, 品位变化不允許繪曲綫, 只宜繪折綫, 甚至贊成只准繪“点”图^[4]。看来, 这个推論的立足点并不充分, 而在勘探实践中是难以被采纳的。相反地, 品位变化曲綫及化探中等含量綫的广泛应用, 是无可非議的。

三、金属矿体厚度与品位变化系数之应用与簡算

一般取样与儲量計算均用品位变化系数的变动范围来对品位变化程度分級, 并以之直接对矿床进行矿床勘探类型的划分 (如表 6)。少数文献提到以厚度变化系数对矿床进行矿床勘探类型的划分 (如表 7)。按 Д. А. 晉可夫的观点^[4], 变化系数只适用于品位等矿体内部参数、而不适用于厚度等矿体外部参数。在我国若干勘探队都曾用品位与厚度两种变化系数确定矿床勘探类型, 并通称此法为数学分析法。

勘探实践表明, 数学分析法不是确定矿床勘探类型最可靠的方法, 它只能起輔助或参

表 6 按品位变化程度的矿床分类^[1]

矿床类型	品 位 变 化 程 度	
	特 征	变化系数%
I	极 均 匀	<20
II	均 匀	20—40
III	不 均 匀	40—100
IV	极 不 均 匀	100—150
V	特别不均匀	>150

表 7 按厚度变化程度的矿床分类

矿床类型	变化系数的变动范围(%)	
	据巴雷舍 ¹⁾	据某地测处 ²⁾
I	5—50	0—50
II	30—80	30—80
III	5 ³⁾ —100	50—100
IV	80—150	80—150

- 1) 拉尔欽柯, A. П. 1956 地質勘探工作理論和方法基本問題, 北京地質学院。該书中巴雷舍可能为“巴雷舍夫”之誤。
- 2) 可能“50”印刷之誤。
- 3) 某地测处 1959 金属矿床勘探类型参数之計算方法及其应用。

考作用, 其缺点是某些地质因素在指标中得不到反映。而且数学分析法也不便于反映变化的性質。在应用数学分析法时, 作者还认为:

- 1) 表 7 中厚度变化系数的分級范围很不合理。如 50% 及 80% 可分別列入 I、II、III 及 II、III、IV 类。由于范围过分灵活, 几乎丧失了此因素在划分勘探类型中的作用。
- 2) 目前所确定的矿体走向延长这一参数的极限范围^[6], 未必能通用于各类矿床。
- 3) 单用品位变化系数一个参数或联合应用厚度变化系数、走向延长、含矿率等几个参数来直接划分矿床的勘探类型, 显然是夸大了一个或几个参数的作用, 难以包括划分矿床勘探类型的其他重要的、难于用数值表达的地质因素, 如矿床构造、矿体形态、产状等。因而, 用参数变化值直接确定矿床勘探类型, 总难免有一定的片面性。

为了克服这种片面性, 作者认为: 品位与厚度变化系数, 最好限于反映参数的变化程度以补某些地质特征文字描述之不足, 不宜以一参数或諸参数之值来直接确定矿床勘探类型, 从而代替了全部地质特征。这样, 既使数学分析法克服了片面性, 又使地质特征法(或經驗法、对比法)得到了充实。贊同把两者結合的方法, 簡称为“地质数学法”。它的特点是, 宜用参数值表达之地质特征(如品位的、厚度的或面积的变化系数、含矿系数、矿床規模、分布面积、矿体长度、斜深等), 則以数值确切表示之; 而矿床构造、形态、产状等特征, 則仍从地质习惯用文字描述。为此, 若干参数的分級范围, 須結合我国矿床勘探实际情况, 加以制訂或修訂, 使之統一与规范化。

反映品位均匀程度的品位变化系数, 目前应用較广, 惟其計算嫌繁。以下探討变化系数之簡化計算与应用于勘探的問題。

目前常用下式計算,

$$V_c = \frac{\delta}{C_{cp}} \cdot 100 \cdots \cdots (I) \text{ 式}$$

其中

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum X^2}{n-1}}$$

- V_c ——品位变化系数

δ ——品位的均方差

C_{cp} ——平均品位值
- X ——离差(分析品位与平均品位之差)

$\sum X^2$ ——离差平方和

n ——样品或观察点数目

1958 年彭胤斌建議^[5]以下述公式簡化之

$$\text{令 } K_c = V_c^2, \text{ 則 } K_c = \frac{n}{n-1} \left(\frac{n \sum C^2}{(\sum C)^2} - 1 \right) \cdots \cdots \text{(II) 式}$$

其中 V_c 与 n 代表意义同上

K_c ——变化系数

$\sum C^2$ ——各样品品位平方和

$(\sum C)^2$ ——各样品品位之平方

他认为(II)式較(I)式省事(省去減法、不求平均值 C_p , 也不开方), 不过变化系数 K_c 值的含义及其反映品位均匀程度的数值也要作相应的改換, 才利于直接应用。

我們认为: (II)式仍嫌繁瑣, 特别是要求出一系列的平方值, 頗不簡便。作者认为通过平均差求变化系数, 則其演算大为簡化了。

一般概率論及数理統計书中指出: 均方差(又名方根差、标准差或中誤差)較平均差精确而广用。因此, 变化系数也多用均方差求得而不常用平均差导出。勘探上也沿此习惯計算。我們认为: 平均差变化系数(記为 V^H , 下同)較均方差变化系数(記为 V^δ , 下同)不仅計算簡便多了, 且在概率理論上能証明^[3]: 当观察值相当大时, 則

$$H = 0.7979\delta \quad (\text{式中 } H \text{ 示平均差, } \delta \text{ 示均方差})$$

既然如此, 为什么不可以用 H 代 δ 呢? 这里应指出, 勘探上用变化系数在一定范围内的数值来反映品位或厚度的变化程度, 其对变化系数要求的精度并不是很高的。因此, 是完全可以 V^H 来代替 V^δ 的。

V^H 的計算过程見表 1、2。此計算步驟, 免去了平方与开方之繁, 并便于检查計算上的錯誤。大家知道: 检查計算上的錯誤, 也是一項繁雜的工作, 有时因乘方或开方的步驟在內, 非加以重算不易发觉其錯誤。但在求 V^H 过程中只有四个步驟, 且主要工作量系加減运算(即第一、二步), 只須驗證离差之代数和是否接近于零, 便能及时发现第一、二步計算是否有誤。这样, 計算工作量簡化多了。

表 8 品位变化程度表

V_c^H 品位平均差 变化系数(%)	品位均匀程度
< 15	品位均匀
15—30	品位較均匀
30—80	品位不均匀
> 80	品位极不均匀

目前我国鉄、鋁、銅等金属矿床勘探类型中, 对厚度与品位变化程度的描述, 基本上是分四級。因此, 將表 6 按 $H = 0.7979\delta$ 公式加以折算, 并簡化为表 8¹⁾, 以反映品位均匀程度。同样, 也可以用恰当的厚度平均差变化系数值, 反映厚度稳定程度(因其原分級不太适用, 故未折算)。

作者对我国某鉄矿床甲矿区(即前节例)中部分矿体的、剖面的以及工程中的品位与厚度变化系数 V^δ 与 V^H 分別求算, 并加以对比(見表 1 至 3), 至分別用表 6 与表 8 衡量其变化等級, 得到以下結果:

1) 該矿区除 CK₂₁ 及其所在 VIII 剖面外, 品位平均差变化系数(V_c^H , 下同)均 < 15%, 而其相应的品位均方差变化系数(V_c^δ , 下同)均 < 20%, 可見用表 8 与表 6 标准分別衡量此二值所反映的变化程度相符, 即属表 8 中均匀的(相当于表 6 中极均匀);

1) 我国鉄、鋁、鉛矿产儲量計算规范(草案)中, 未用“极均匀”, “特別不均匀”等詞, 故折算中表 8 內所分的前三級变化程度相当于表 6 內的前三級, 表 8 內末級相当于表 6 內的后兩級。

2) CK₂₁ 及其所在 VIII 剖面的 V^H 值分別為 17.7% 及 20.05%，其相應的 V^δ 值分別為 28.95% 及 32%，可見用表 8 與表 6 標準分別衡量此二值所反映的變化程度亦相符，即是表 8 中較均勻的（相當於表 6 中均勻）；

3) 甲礦區及其中▽▽號礦體分別計算的厚度平均差變化系數 V_m^H 與厚度均方差變化系數 V_m^δ 之比值（0.83 與 0.87）和理論系數 0.7979 較為接近（表 3）；

4) 整個礦區 $\frac{V^H}{V^\delta}$ 之比值（表 3 末行）為 0.61—0.87，平均比值为 0.75，它與理論系數 0.7979 亦甚接近。若以 $V^\delta \times 0.8$ 所得數與實際計算的 V^H 值相較，其絕對誤差最大值为 5.55，平均值為 1.49。此誤差值均未能引起某工程的、某剖面的或某礦體的品位變化程度升級或降級（表 3）。尚須指出，此誤差還將隨觀測點之增多而有所減小。

由上驗算初步証實：勘探中用 V^H 來反映礦體參數的變化程度既簡便而又有數學依據并足以滿足必要的精度。當然，若誤差值出現於分級界限值附近時，分別計算 V^H 與 V^δ 所定的變化程度的級別可能不同。但在這種情況下，我們不難理解：分級界限值附近的變化系數值，實際上是反映變化程度在兩級間的過渡狀況。因為分級標準只不過是反映一定變化範圍的大致經驗數據，不應當把界限值附近的級別，人為地加以截然絕對化。

本文蒙馬鎮坤工程師審閱并提出修改意見，作者并得到俞廣鈞、徐振東與岳仲先等同志的幫助，謹此一併致謝。

參 考 文 獻

- [1] 阿尔波夫, М. Н. 1956 金屬礦床取樣。地質出版社。
- [2] 馮景蘭 1963 關於成礦控制及成礦規律的幾個重要問題的初步探討。礦床分類與成礦作用。科學出版社。
- [3] 張啟仁 1959 測定值計算基礎, 第三章概率論在誤差理論中的應用。科學出版社。
- [4] 晉可夫, Д. А. 1956 金屬礦體變化的四個類型。地質譯叢第 4 期。
- [5] 彭胤斌 1958 簡化品位變化系數計算方法的建議。地質與勘探第 12 期。
- [6] Смирнов, В. И. 1957 Геологические основы поисков и разведок рудных месторождений. Изд. М. Г. У.

О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ИЗМЕНЕНИЯ МОЩНОСТЕЙ И СОДЕРЖАНИЙ РУДНЫХ ТЕЛ, СТЕПЕНИ ИХ ИЗМЕНЕНИЯ И КОЭФФИЦИЕНТАХ ВАРИАЦИИ

Жан Цун-ен

(Резюме)

В настоящей статье рассматриваются четыре типа рудных тел, характер изменения их различных параметров и соответствующие выводы, предложенные Д. А. Зенковым (1955 г.). Отмечено значение изменчивости мощностей и содержаний рудных тел при разведке месторождений. Сделан анализ закономерностей изменения мощностей и содержаний рудных тел на примере месторождений Китая. Так же попытались выяснить особенности изменчивости мощностей и содержаний рудных тел и степени их изменения. В конце выдвинуто предложение о применении коэффициента вариации и схеме упрощения его подсчета.

Мы считаем, что закономерность изменения мощностей и содержаний рудных тел прежде всего проявляется в геологии и она может выражаться и математически. Геологическую закономерность изменения параметров рудных тел месторождений различных типов должно выяснить путем изучения рудоконтролирующих геологических условий. Чаще всего сложность геологических условий и неравномерность их воздействий определяют изменения параметров многих рудных тел. Эта изменчивость часто проявляет закономерность, согласованную с теорией вероятности. Как по геологическим, так и по статистическим данным трудно сказать, какое существенное различие существует между изменениями мощностей и содержаний рудных тел.

Основными характерными чертами изменчивости рудных тел являются не столько неравномерное изменение содержаний (скачкообразное) и равномерное изменение (последовательное) мощностей рудных тел, поскольку существует большое многообразие, выражающееся в степени изменения содержаний и мощностей рудных тел.

Мы считаем, что равномерность (последовательность) или неравномерность (скачкообразность) не являются специфическими особенностями каких-либо параметров рудных тел. Мы рассматриваем их лишь как общепринятые термины, характеризующие степень изменения различных параметров рудных тел. Известно, что по изменчивости мощности и содержания рудные тела Китая могут разделяться на четыре категории. В связи с этим нельзя односторонне утвердить, что большинство рудных тел отличается неравномерными изменениями содержаний и равномерными изменениями мощностей, так как неравномерное изменение содержания и равномерное изменение мощности характеризуют лишь одну из четырех категорий рудных тел, выделенных в нашей стране. Также несправедливо считать, что сложность разведки месторождений только зависит от неравномерности содержания.

Вследствие того, что изменение содержаний рудных тел не имеет существенного различия изменения их мощностей и изменения как содержаний так и мощностей обычно проявляют закономерность, согласованную с теорией вероятности, поэтому

различные методы математической статистики могут широко применяться в изучении изменчивости рудных тел. Практика доказала, что коэффициент вариации мощности или содержания только в дополнение геологических описаний отражает степень изменения рудных тел. Поэтому было бы нецелесообразно, если лишь по коэффициентам вариации определить разведочные типы месторождений, так как расчленение месторождений на разведочные типы должно осуществляться на основе полного изучения всех геологических факторов. Однако некоторые из этих факторов трудно выражать цифрами.

При разведке месторождений метод математической статистики может получать широкое применение лишь в том случае когда его применение тесно сочетается с детальным изучением геологических особенностей месторождений.

По теории вероятности можно доказать, что $H = 0,7979 B$. И коэффициент вариации по средним отклонениям применяется удобнее и проще, чем коэффициент вариации по среднеквадратическим отклонениям. Первые опыты уже доказали, что первый коэффициент в разведке может обеспечивать должную точность. Поэтому мы предлагаем широко применять его. В нашей работе по величинам этого коэффициента вариаций по средним отклонениям рудные месторождения разделяются на 4 категории.