

储量计算

- 矿产资源及储量的分类与分级
 - 矿产资源储量计算的原理和一般过程
 - 矿床工业指标的确定
 - 矿体圈定及块段划分
 - 储量计算参数的确定
 - 储量计算方法
 - 储量精度估计及其评价方法

概念

- **矿产储量，简称储量，一般是指具有一定地质研究与控制程度的已查明的矿产资源。**
- **它是国家和地方合理规划工业布局，制定国民经济计划与资源政策的重要依据；是优化市场资源配置，实施资源宏观调控，安排矿产勘查计划、矿山开发与生产计划和管理的重要依据。**

一. 矿产资源及储量的分类与分级

(一) 若干基本概念

矿产资源 (mineral resources) 是现行可采或潜在可采的天然产出于地壳内或地表的固、液、气态矿产物质的堆积体 (美国矿业局, 1996)。

储量 (reserves) 已查明且具有现行可开采价值的那一部分资源量 (同上)。

矿产资源总量 = 能利用的储量 + 暂不能利用的储量 + 尚未发现的资源量

矿产资源及储量的分类分级的含义

就是根据**矿产资源及储量**精确性及可靠程度、工业用途及技术经济可行性的不同，对矿产资源及储量所作的详细划分。

矿产资源及储量的分类分级的意义

客观地反映了由于不同的观测尺度、勘查技术手段及其控制程度和研究程度，所获得的矿产资源在精度和可靠程度上的差别；

反映了国民经济对于具有不同工业用途的矿产资源和储量的不同要求；

便于全国性的矿产储量统计、规划、平衡，保证矿产资源合理利用。

(二) 矿产资源及储量的分类分级依据

● 1. 资源及储量的地质研究可靠程度

对储量的地质研究程度的研究对象有两种不同的理解。在我国的储量规范中是指矿体的局部地段（块段）。根据

- 1) 矿体外部形态要素的控制与研究程度;
- 2) 对影响矿体的地质构造的控制和研究程度;
- 3) 矿体内部结构要素的控制与研究程度。

划分出不同级别的矿产储量。

我国新的《固体矿产地质勘查规范总则》(GB/T17766-1999)中, 则分为勘探、详查、普查和预查4个调查阶段。相应的地质可靠程度为探明的、控制的、推断的和预测的, 编码依次为1, 2, 3, 4。

2. 矿床技术经济研究程度

我国新的《固体矿产地质勘查规范总则》中，将之分为：

可行性研究（1）

预可行性研究（2）

概略研究（3）

● 3. 储量开发的经济意义

在我国的矿产储量分类中根据矿床开发的经济意义将其分为能利用储量和暂不能利用储量。

我国新的《固体矿产地质勘查规范总则》中，则分为：

经济的（1）

边际经济的（2M）

次边际经济的（2S）

内蕴经济的（3）

经济意义未定的（？）

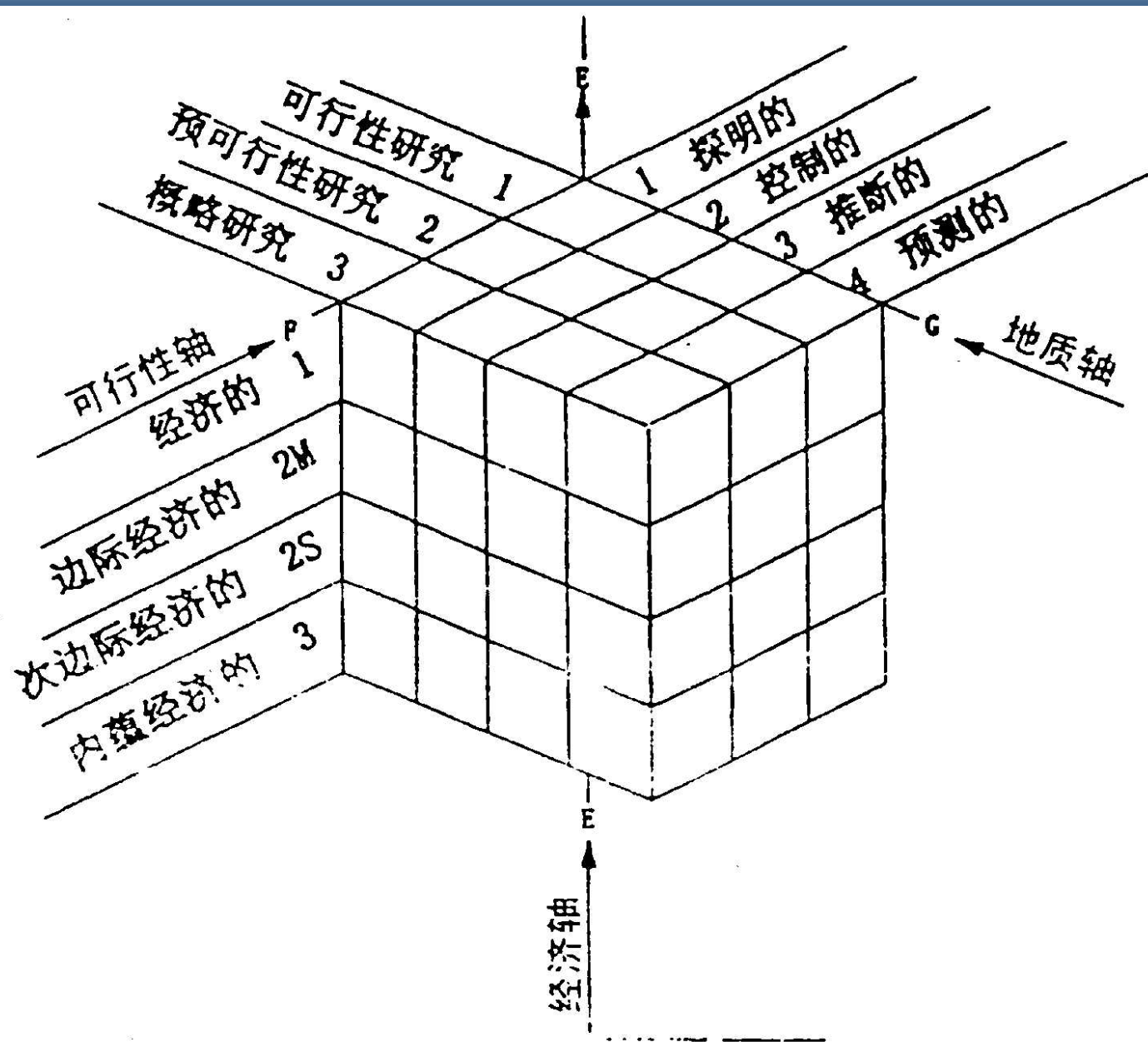


图 1 固体矿产资源 / 储量分类框架图

(三) 资源量和储量类别的具体划分

1. 《总则》（92年）的储量分类

能利用储量：又称表内储量，是指符合当前的工业技术条件和相关法规、政策，可以被工业开采利用的矿产储量。

暂不能利用储量：又称表外储量，是指不符合当前工业技术经济条件和相关的法规、政策，暂时不能被经济开采利用的矿产储量。划归这一类是因为：矿贫、矿薄、难采、难选冶及外部条件差。

《总则》（92年）的储量分级

根据储量分级三标准的控制程度的不同：准确、详细、基本、初步、大致，将储量分为A、B、C、D、E五级。其中：

- A级是矿山编制采掘计划的储量，由生产部门探求。
- B级是矿山建设设计依据的储量，又是地质勘探阶段求的高级储量，并可起到验证C级储量的作用，一般分布在矿山先期开采地段。
- C级是矿山建设设计依据的储量。
- D级其用途有：为进一步布置地质勘探工作和矿山建设远景规划的储量，对于复杂矿床可作为设计依据。
- E级为远景资源。

新《总则》中的资源量和储量的划分

内蕴经济资源量

矿产勘查工作自普查至勘探，地质可靠程度达到了推断的至探明的，但可行性评价工作只进行了概略研究，**由于技术经济参数取值于经验数据，未与市场挂钩，区分不出其真实的经济意义**，统归为资源量。

可细分为3个类型：探明的内蕴经济资源量（331）、控制的内蕴经济资源量（332）、推断的内蕴经济资源量（333）。

预测资源量

经预查，依据已有资料分析对比估算的预测资源量（334）？，也是资源量的一种，属潜在矿产资源。

新《总则》中的资源量和储量的划分

2) 基础储量

经过详查或勘探，地质可靠程度达到控制的和探明的矿产资源，在进行了预可行性或可行性研究后，经济意义属于经济的或边际经济的，也就是在生产期内，每年的平均内部收益率在0以上的那部分矿产资源。

基础储量又可分为两部分：

新《总则》中的资源量和储量的划分

经济基础储量

是每年的内部收益率大于国家或行业的基准收益率，即经预可行性或可行性研究属于经济的，未扣除设计和采矿损失（扣除之后为储量）。

又可分为3个类型，与储量中的3 个类型呈对应关系，探明的（可研）经济基础储量（111b），探明的（预可研）经济基础储量（121b）、控制的经济基础储量（122b）；

新《总则》中的资源量和储量的划分

边际经济基础储量

即内部收益率介于国家或行业基准收益率与0之间的那部分。

也有3个类型，探明的（可研）边际经济基础储量（2M11）、探明的（预可研）边际经济基础储量（2M21）、控制的边际经济基础储量（2M22）。

新《总则》中的资源量和储量的划分

3) 储量

经过详查或勘探，地质可靠程度达到了控制或探明的矿产资源，在进行了预可行性研究或可行性研究，扣除了设计和采矿损失，能实际采出的数量，经济上表现为在生产期内每年平均的内部收益率高于国家或行业的基准收益率。**储量是基础储量中的经济可采部分。**

根据矿产勘查阶段和可行性评价阶段的不同，储量又可分为可采储量（111）、预可采储量（121）及预可采储量（122）3个类型。

国内主要的储量和资源分级对比表

总则 1992	矿产储量									
	A	B	C	D	E					
铀矿 1991	可靠资源					远景资源	预测资源			
	A	B	C	D	E	F	G			
总则 1977	探明储量						预测资源			
	A	B	C	D				E	F	G
				C级 降级	C级 外推	异常 验证	稀疏 工程			
总则 1959	探明储量						地质储量			
	工业储量				远景储量					
	A1	A2	B	C1	C2					

国内外主要的储量和资源分级对比表

总则 1992	矿产储量							
	A	B	C	D	E			
苏联 1981	勘探储量			初步评价储量		预测储量		
	A		B	C1	C2	P1	P2	P3
美国 1980	Total resources 总资源量							
	Identified resources 查明资源					Undiscovered resources 未发现资源		
	Demonstrated 探明的				Inferred 推测的	Hypothetical 1 假定的	Speculative 假想的	
	Measure 实测的		Indicated 推定的					
	Economic reserve base 经济的储量基础					Resources 资源		
	Marginally economic reserve base 边界经济的储量基础							
	Subeconomic resources 次经济资源							
英美 工业界	Proved ore 证实矿量		Probable ore 概略矿量		Possible ore 可能矿量	Latent resources 潜在资源		
联合国 1997	矿产资源总量							
	证实储量 概略储量		可行的资源 预可行的资源 确定的资源		推定资源 推测资源		踏勘资源	

勘查各阶段矿产资源储量类别对比表

地质可靠程度 储量类别		地质可靠程度						
		查明资源					潜在资源	
		探明的（001）			控制的（002）		推断的（003）	预测的（004）
经济意义		可行性研究（010）	预可行性研究（020）	概略研究（030）	预可行性研究（020）	概略研究（030）	概略研究（030）	概略研究（030）
经济的（100）	扣除设计采矿损失	可采储量（111）	预可采储量（121）		预可采储量（122）			
	未扣除设计采矿损失（b）	基础储量（111 b）	基础储量（121 b）		基础储量（122 b）			
边际经济的（2M00）		基础储量（2M11）	基础储量（2M21）		基础储量（2M22）			
次边际经济的（2S00）		资源量（2S11）	资源量（2S21）		资源量（2S22）			
内蕴经济的（300）				资源量（331）		资源量（332）	资源量（333）	资源量（334）?
相当于原储量级别		B			C		D	E+F
原各勘查阶段探求储量类别		勘探						
					详查			
							普查	
								预查

国内外矿产资源主要分类概略对比表

表 B1 国内外矿产资源主要分类概略对比表

标准名称	分 类 对 比				
本标准 (1999)	查明 矿 产 资 源				潜在矿产资源
	储量	基础储量		资源量	预测的资源量
	可采储量 预可采储量	经济基础储量	边际经济 基础储量	次边际经济资源量、内蕴经济资源量	
《固体矿产地质勘探规范总则》中华人民共和国国家标准 GB 13908—92		能利用储量		尚难利用储量	
		a 亚类	b 亚类		
《联合国国际储量/资源分类框架》(1997)	矿产资源总量				
	证实矿产储量 概略矿产储量	可行性矿产资源 预可行性矿产资源 确定的矿产资源	推定的矿产资源 推测的矿产资源	踏勘矿产资源	
CMMI 系统(1997)	证实矿产储量 概略矿产储量	确定矿产资源	推定矿产资源	推测矿产资源	矿产潜力
《矿产资源和储量分类原则》(美国地质调查局,1980)	查 明 资 源				未经发现资源
	经济储量 边际经济储量	经济-边际经济储量基础		次经济资源	假定资源 假想资源

二、矿产资源储量计算的原理和一般过程

■ （一）储量计算的基本原理

- 把自然界客观存在的形态复杂的矿体分割转变为体积与之大体相等、矿化相对均一的形态简单的几何体，运用恰当的数学方法，求得储量计算所需的各种参数，最后计算出矿产(矿石或金属)储量来。

■ （二）储量计算的一般过程是：

- 1.确定矿床工业指标；
- 2.圈定矿体边界或划分资源 / 储量计算块段；
- 3.根据选择的计算方法，测算求得相应的资源储量计算参数：矿体(或矿段)面积 S ，平均厚度 M ，矿石平均体重 D ，平均品位 C 等
- 4.计算矿体或矿块的体积 V 和矿石资源量 / 储量 Q ：
$$Q=VD$$
- 或金属量 P ：
$$P=QC$$
- 5.统计计算各矿体或块段的资源量 / 储量之和，即得矿床的总资源量 / 储量。

三、矿床工业指标的确定

■ (一) 矿床工业指标的概念和内容

■ 1 矿床工业指标的概念及意义

- 矿床工业指标，简称工业指标，它是指在现行的技术经济条件下，工业部门对矿石原料质量和矿床开采条件所提出的要求，即衡量矿体是否具有开采利用价值的综合性标准。

- 它是圈定矿体和计算资源储量所依据的标准。也是评价矿床工业价值、确定可采范围的重要依据。。

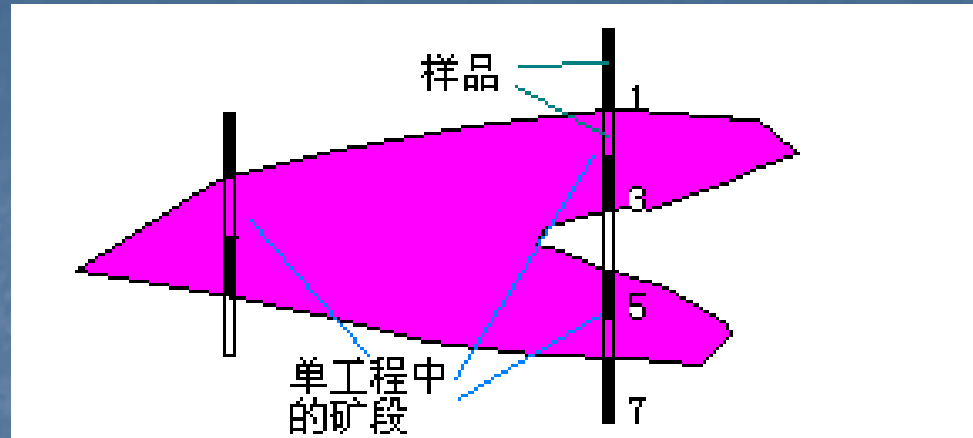
意义：矿床工业指标能保证

- 合理地圈定矿体、计算储量
- 正确地进行矿床技术经济评价
- 综合利用矿产资源，减少损失
- 确定最优的矿床开采方案，从而获得最高经济效益

■ 2 工业指标的内容

■ 矿床工业指标可归纳为如下三类：

- 第一类：与矿石质量有关的，如边界品位，最低工业(可采)品位，有害杂质最大允许含量，有用伴生组分的最低综合品位，矿石自然类型和工业品级的划分标准；出矿品位或入选品位等；
- 第二类：与地质体厚度有关的，如最小可采厚度、夹石剔除厚度或夹石最大允许厚度等；
- 第三类：其它的，如一些综合指标：最低工业米百分率(或工业米克吨值)、含矿系数；还有个别矿种所需规定的特殊标准，如铬铁矿的铬铁比、铝土矿的硅铝比，煤矿的挥发分、灰分、发热量，耐火材料矿产的耐火度、灼减量；与采矿条件有关的采剥比、开采深度等。 其中最重要、最常用的几项工业指标是：



1) 边界品位：指在圈定矿体时，对单个样品有用组分含量的最低要求，作为区分矿与非矿的分界标准。

它直接影响着矿体形态的复杂程度、矿石平均品位的高低、矿石与金属储量的多少。它一般界于尾矿品位与最低工业品位之间。

2) 最低工业品位，是指对工业可采矿体、块段或单个工程中有用组分平均含量的最低要求，亦即矿物原料回收价值与所付出费用平衡、利润率为零的有用组分平均含量。

它是划分矿石品级，区分工业矿体(地段)与非工业矿体(地段)的分界标准之一。它直接关系到工业矿体边界特征和储量的多少。它常高于边界品位，在圈定矿体时，往往与边界品位联合使用。

3) 矿体最小可采厚度，是指在一定的技术经济条件下，有开采价值的单层矿体的最小厚度。

原是区分能利用储量与暂不能利用储量的标准之一。

4) 夹石剔除厚度（最大允许夹石厚度）是指在储量计算圈定矿体时，允许夹在矿体中间非工业矿石（夹石）部分的最大厚度。

大于这一厚度的夹石应予以剔除，小于此厚度的夹石则合并于矿体中连续采样计算储量。

5) 有害杂质平均允许含量，是指块段或单工程中对产品质量和加工过程起不良影响组分的最大允许含量。

6) 共(伴)生组分综合利用指标：与主有用组分共(伴)生的，具有综合利用工业价值的其它有用组分的最低含量标准。

7)剥采比（剥离比），指矿床露天开采时，剥离的废石体积与采出每单位重量的矿石数量的比，即剥离量与矿量的比值。单位为立方米/吨。

大于此指标者，则不宜露天开采，应考虑地下开采

8)最低工业米百分率。它是对矿体厚度(米)与品位(%)乘积要求的综合指标。当品位值为克 / 吨(贵金属)时，称为最低工业米克吨值。

它只用于圈定厚度小于最小可采厚度，而品位远高于最低工业品位的薄而富矿体(矿脉、矿层)：当其厚度与平均品位乘积等于或大于此指标时，则圈为工业可采矿体。所计算储量原为表内储量，否则划入表外（次边际经济的资源量）。

(二) 确定矿床工业指标的原则

1. 必须最大限度地合理利用矿产资源，

凡是经济上允许的，且采、选、冶技术工艺又能提取回收的各种有用组分，都应综合利用；

2. 应保证技术上的可能性和经济上的合理性：

- 技术上的可能性主要是指根据工业指标圈定的矿体以及矿石品级、类型分布区适合进行工业开采，并能进行分别选冶；
- 经济上的合理性是指矿山企业在生产期间能获得合理的利润。

3. 对矿石实行优质优用，

凡具有一定规模又能单独分采、分选的均应分别开采，制定分别开采的指标。

4. 矿床工业指标是动态的，其必须随具体情况而变化

(三) 制定品位指标的方法

1. 类比法（经验法）：

根据现有类似矿床实际生产的品位指标和有关统计资料分析对比确定的方法。

适用条件：

- 有用组分简单，矿石加工技术性能不复杂的矿床；
- 急待建设，来不及取得试验资料的小型矿山
- 详查阶段计算储量时应用

优缺点：

优点：简单，节省人力、时间。

缺点：选取的指标难以准确。

2.价格法（静态经济计算法）

根据从矿石中提取一吨最终产品（精矿或金属）的生产成本不超过该产品的价格的原则来计算。

右式中： S_d' 、 Z_d 为1吨精矿的生产成本和价格（元/吨）； S_e 、 S_p 、 S_d 为1吨矿石应偿还的地勘费用、开采成本和选矿成本（元/吨）； q 为选1吨精矿所需矿石量（吨），即选矿比；

如果最终产品是精矿时：

$$S_d' \leq Z_d$$

$$S_d' = (S_e + S_p + S_d)q$$

$$q = C_d / [C_p K_d (1 - K_f)]$$

$$(S_e + S_p + S_d) C_d / [C_p K_d (1 - K_f)] \leq Z_d$$

$$C_{pmin} \geq (S_e + S_p + S_d) C_d / [Z_d K_d (1 - K_f)]$$

C_d 、 C_p 、 C_{pmin} 为精矿品位、矿石平均品位和最低工业品位（%）；

K_d 、 K_f 为选矿回收率和开采贫化率（%）。

3.方案法,

其过程为:

- 根据矿床的特点和样品分析资料, 拟定几组品位指标方案;
- 根据矿床开采技术条件和拟采用的采矿方法确定可采厚度和剔除夹石厚度;
- 按不同方案计算储量和矿石品位;
- 不同方案的综合分析和技术经济比较, 确定合理指标方案。

方案法的优缺点：

优点：是在一系列经济技术指标的基础上选定的，比较完善。

缺点：若指标选择不当会使结论有一定的主观性；计算工作浩繁。

方案法的应用条件：有完整的化学分析、技术加工试验及各项生产技术指标等原始材料。

四. 矿体圈定

在储量计算图上把矿体空间形态位置，即矿体边界线确定下来的工作，称为矿体圈定。

■ (一) 矿体圈定的原则

- 1.矿体圈定必须建立在对矿床地质研究的基础上；
 - 矿体空间分布、形产状及其变化特点
 - 有用组分和伴生组分空间分布规律
 - 控矿地质因素的研究
- 2.圈定矿体必须以各种原始地质资料为依据；
- 3.圈定矿体必须严格按照工业指标进行；
- 4.具体圈定时还应按照上级下达的规定进行，不得任意改动

■ (二) 矿体边界线的种类

- **零点边界线**：矿体尖灭点的联线。
 - 一般情况下，它与矿体自然边界(矿体与围岩界线明显)或外边界线一致，表示各矿体大致分布范围。
- **可采边界线**：是指可供开采利用的矿体(矿块或块段)边界线
- **内边界线**：连接边缘见矿工程所形成的边界线，表示由勘探工程实际控制的那部分矿体分布范围。
- **外边界线**：用外推法确定的矿体边界线，表示矿体的可能分布范围；它与内边界线间的储量的可靠程度要低于内边界线范围内的储量。
- **资源储量类别边界线**：以资源储量分类标准圈定，表示不同类别资源储量分布范围的边界线。
- **自然(工业)类型边界线**—以矿石自然(工业)类型划分标准确定的边界线。
- **工业品级边界线**—在能分采矿石工业类型边界线内，以工业品级划分标准确定的边界线。

■ (三)矿体边界线的圈定方法

■ 矿体边界线的圈定一般是在勘探线剖面图、中段地质平面图或矿体投影图上，利用工程原始编录和矿产取样资料，根据确定的工业指标，结合矿床(体)地质构造特征、勘探工程分布及其见矿情况，全面考虑进行的。

■ 其一般步骤是：

■ 先确定单个工程矿体各种边界点位置。

■ 然后，将相邻工程上对应边界点相连接，完成勘探剖面上的矿体边界圈定；

■ 再对矿体边缘两两相邻工程(剖面)和全部工程所控制的矿体各种边界线的适当连接和圈定。

1. 单个工程中矿体边界点(线)的确定

m	Sn (%)
1.0	0.43
1.0	0.14
1.0	0.76
0.5	0.37
1.2	0.18
1.0	0.15
1.0	0.24
1.0	0.13
0.5	0.64



1)根据截穿矿体的单个工程中连续分段取样化验分析结果，将大于边界品位的样品分布地段全部圈成矿体。

Sn的边界品位为0.2%

——在单个工程中矿体边界圈定之二

m	S _n (%)
---	--------------------

1.0	0.43
-----	------

1.0	0.14
-----	------

1.0	0.76
-----	------

0.5	0.37
-----	------

1.2	0.18
-----	------

1.0	0.15
-----	------

1.0	0.24
-----	------

1.0	0.13
-----	------

0.5	0.64
-----	------

- 2)若圈入矿体的地段总厚度大于最小可采厚度则为矿体；小于最小可采厚度者则

- 品位与厚度的乘积大于工业米百分率者仍为矿体；
- 其积小于工业米百分率者则作非矿处理。


- 圈为非矿地段的总厚度若小于夹石剔除厚度者则作矿处理。否则作为夹石剔除。

最小可采厚度 1米

夹石剔除厚度 2米

——在单个工程中矿体边界圈定之三

m	Sn (%)
1.0	0.43
1.0	0.14
1.0	0.76
0.5	0.37
1.2	0.18
1.0	0.15
1.0	0.24
1.0	0.13
0.5	0.64



3.5m
0.4329%

2.5m
0.276%

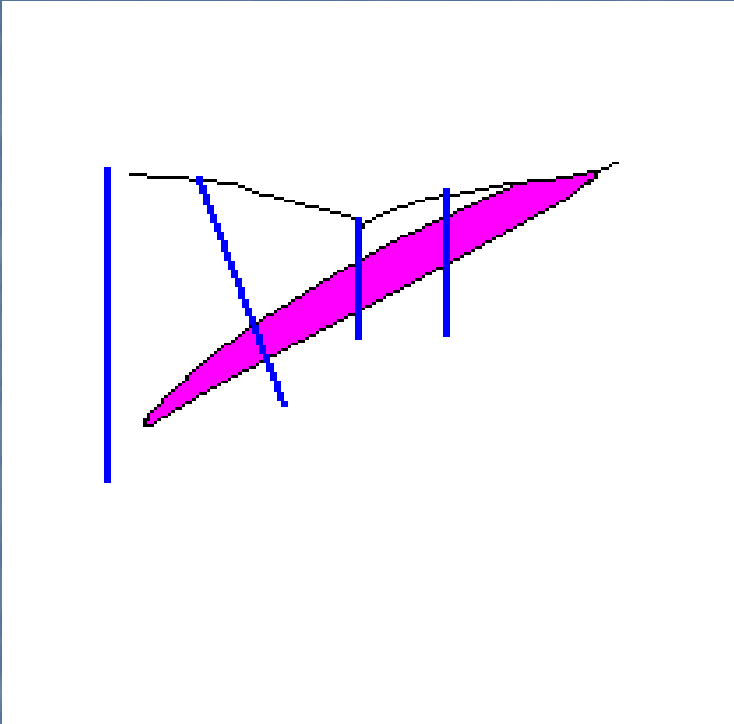
3.计算每个矿段的厚度和厚度加权平均品位。若平均品位大于最低工业品位则为能利用储量（表内矿）；否则，为暂不能利用储量（表外矿,次边际经济的资源量、2S00）。

例：锡矿最低工业品位为 0.3%。
本例上段矿体厚度3.5米，厚度加权平均品位 0.4329%，为能利用储量。下段厚度2.5米，厚度加权平均品位0.276%，为暂不能利用储量。

■ 2 两相邻工程及全部工程中矿体边界线的圈定

- 在储量计算图上，在完成单个工程中矿体边界线基点确定以后，沿矿体走向和倾斜方向上，矿体边界线的圈定常用以下方法完成：

■ (1)直接法

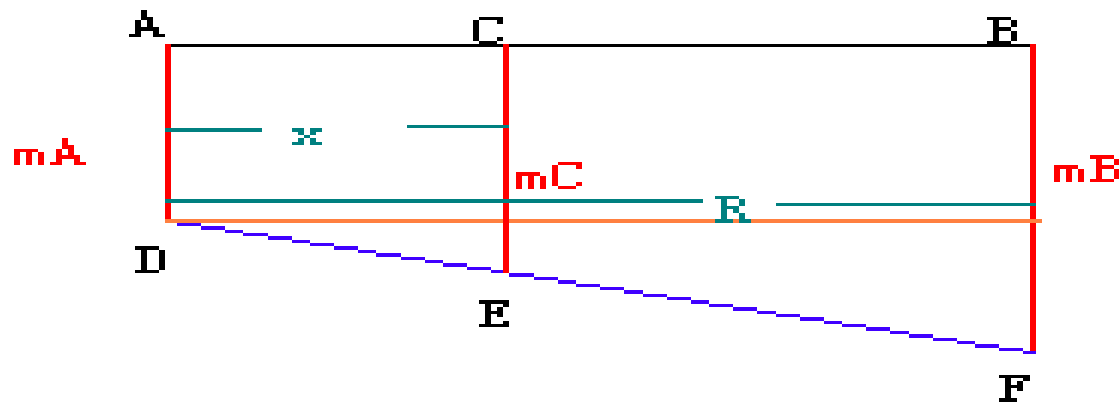


当相邻两工程均穿过符合工业指标要求的矿体边界基点，且地质条件又允许时；或由于矿体与围岩界线清楚，由工程地质编录直接测绘了边界基点位置，则相对应基点用直线连接，即得相应的矿体边界线。

■ (2)插入法

- 当相邻两见矿工程一个穿过符合工业指标要求的矿体，另一个工程所见为非工业矿化(低于工业指标要求)时，可采边界线(基点)在两个工程之间，可用内插法求得。插入方法视具体情况而定：
- 当两工程间有破坏矿体的后期地质构造(如断层、岩脉)划隔开来，造成两工程所见矿化陡然变化时，即以该地质构造接口线划开(地质法)。

- 当它们呈渐变规律时，如图所示， A、B分别为低于、高于工业指标 m_c (代表最低工业品位或最小可采厚度)等的两相邻工程平面位置，已知其标志值为 m_A 、 m_B ，且 $m_A < m_C < m_B$ ，所求符合工业指标要求的可采边界线基点C的位置，可用以下内插法求得：
- (1) 计算法 $x = R (m_C - m_A) / (m_B - m_A)$



■ (2)作图法

■ $AD=mc-ma$

■ $BE=mB-mc$

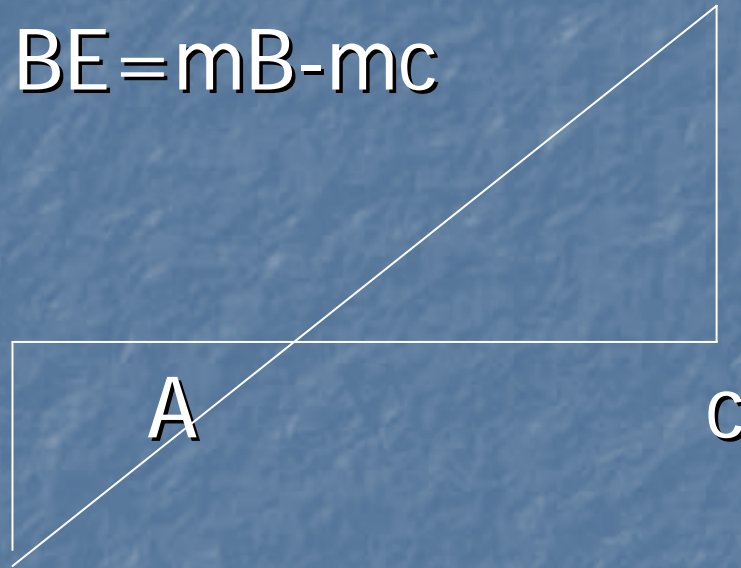
E

■

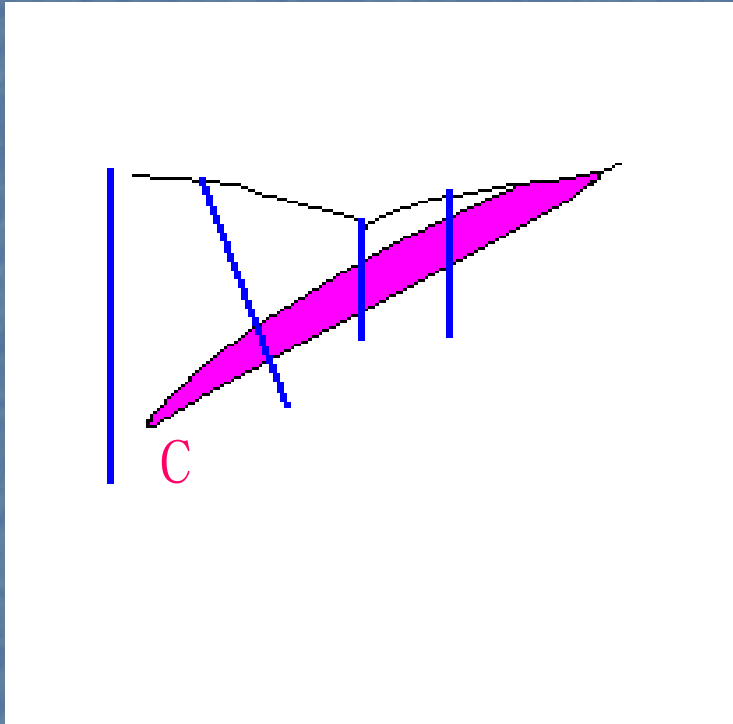
B

■

D



- **3) 有限推断(外推)法**: 即在边缘见矿工程与未见矿工程之间划出矿体边界线的方法。



首先确定矿体尖灭点的位置:
可采用形态的自然趋势尖灭法(左图C点);

或视具体情况, 采用工程间距的 $1/2$ 、 $1/3$ 、 $2/3$ 、 $1/4$ 、 $3/4$ 等几何方法;

其次将矿体尖灭点与见矿工程中矿体顶、底板界线点直线相连, 得矿体零点边界线;

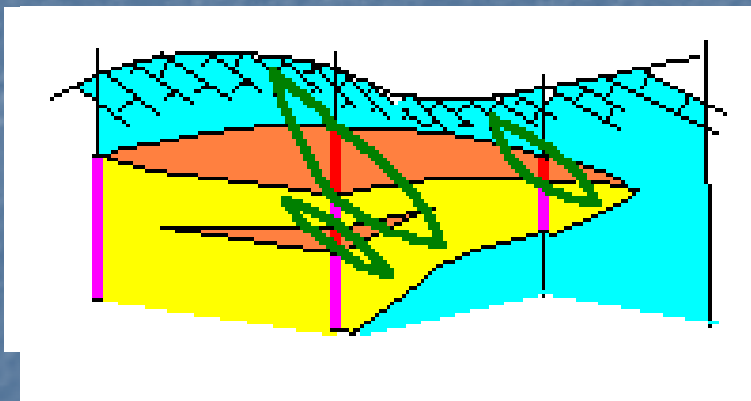
4) .中点尖灭法及无限外推

在作有限外推时，以两工程的中点作为尖灭点，即是中点尖灭法。

无限外推

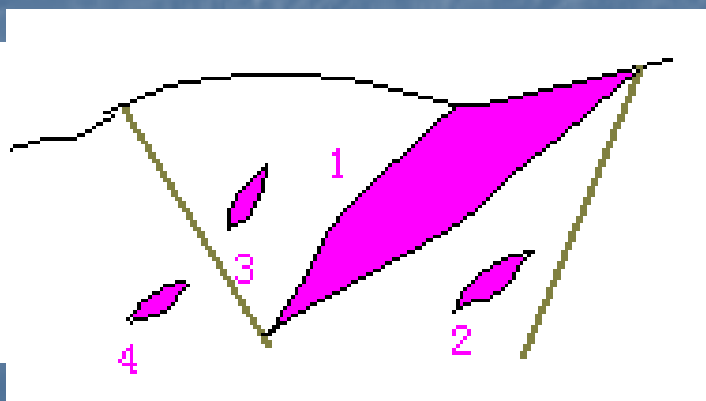
- 常用正常网度的 $1/2$ 、 $1/3$ 或 $1/4$ 的间距外推
- 根据矿床地质特征和矿体变化规律外推
- 根据物化探资料外推
- 根据已揭露部分矿体规模予以推断外推

（四）矿体圈定的注意点



- 矿床地质特点和矿化规律的掌握是正确圈定矿体的基础；

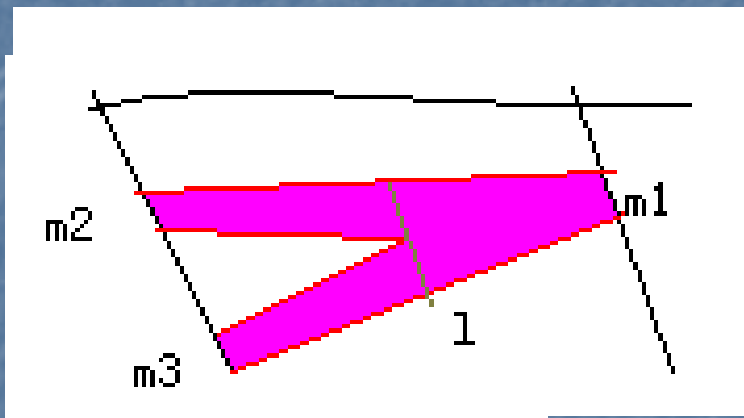
矽卡岩型矿床按接触带圈定。
如果按岩层产状圈则是错误的。



- 露天开采的矿体在开采境界范围外的小矿体不需圈入；

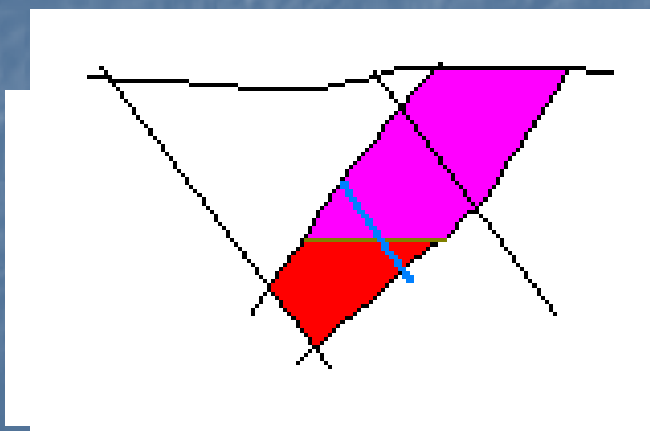
在开采境界内主矿体1附近的2、3号矿体应圈入，境界外的4号矿体不圈入。

(四) 矿体圈定注意点



- 推断的矿体厚度不应大于两个工程的实际见矿厚度；

如左上图， $l > m_2 + m_3 > m_1$
不合理



- 圈定矿石自然类型边界必须考虑地下水面对氧化矿化布的影响。

左下图兰线的圈定方法不正确。

(五) 矿体圈定中的 块段划分

块段是矿产储量计算的基本单元，在投影图或剖面图上的面积由勘探工程揭露，并按如下标志划分。

- 不同的勘探程度而获得的不同储量级别；
能利用储量和暂不能利用储量，不同级别的储量分为不同块段。
- 矿石的不同自然类型和工业品级；
如氧化矿与原生矿，贫矿与富矿分为不同块段。
- 不同的开采系统的需要。
按不同的产状、标高或开采条件划分不同块段。

注意：块段不要太零乱，要编号。

五. 储量计算参数的确定

储量计算参数包括：

- 矿体面积
- 矿体平均厚度
- 矿石平均品位
- 矿石平均体重

有时还包括

- 矿石湿度
- 含矿系数

(一) 矿体面积的测定

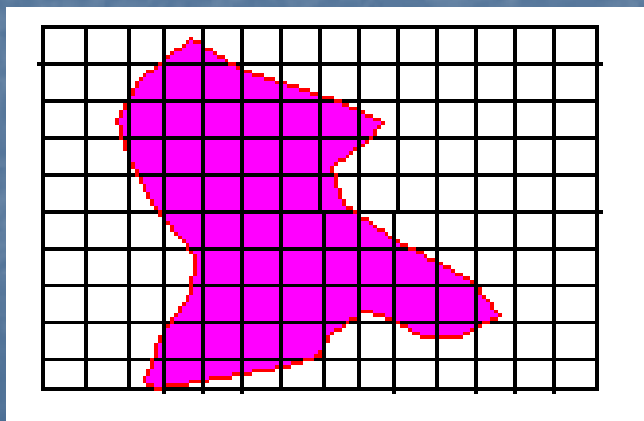


- 在各种储量计算图纸上进行
- 求积仪法
- 曲线仪法

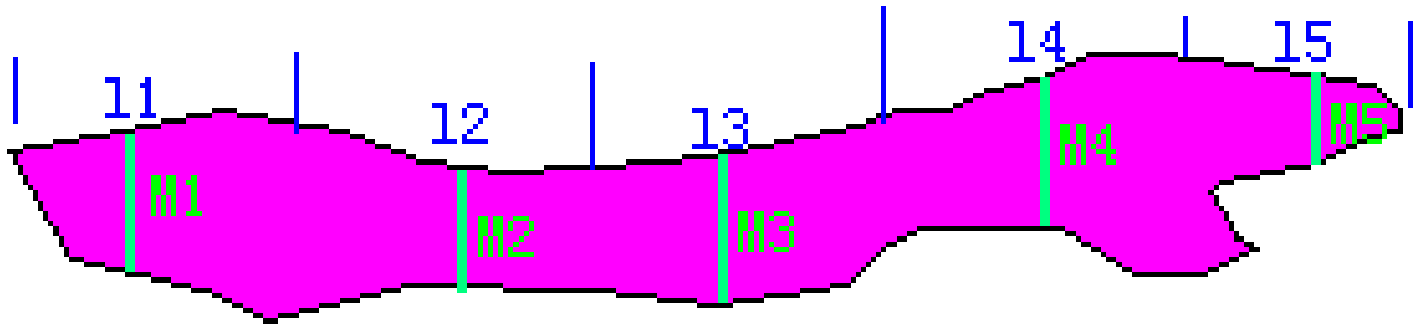
面积近似等于图中黄线长度之和与线距之积。

- 透明方格纸法
- 几何法

当矿体面积为规则几何图形时，可将其划分成三角形、矩形或梯形计算其面积。



(二)矿体平均厚度的计算



■ 算术平均法 $M = (\sum M_i) / n$

■ 控制长度加权平均法

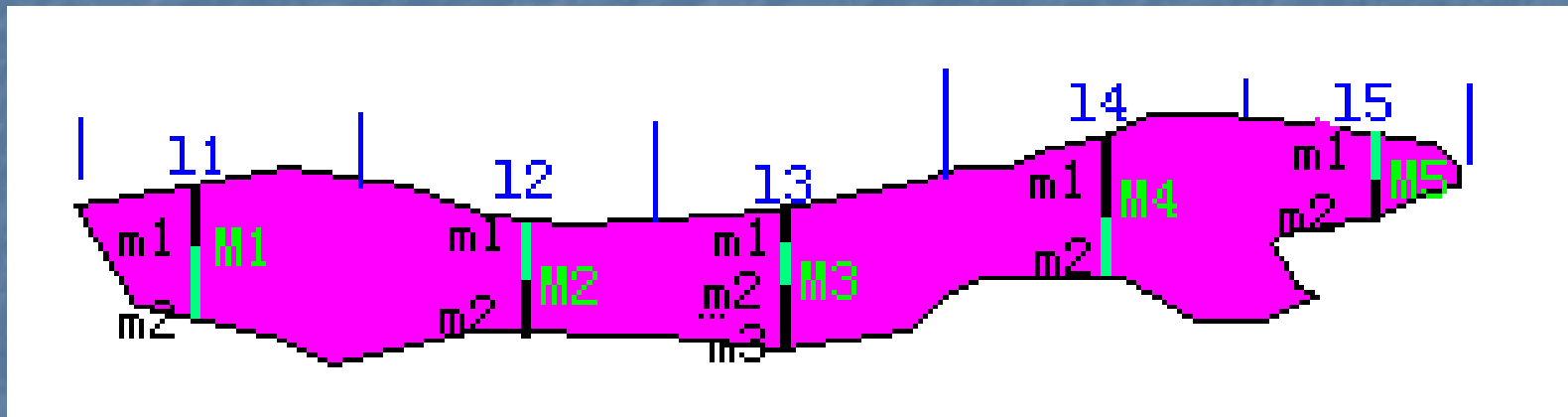
$$M = (\sum M_i l_i) / (\sum l_i)$$

■ (三) 矿石平均品位的计算

- 矿石平均品位的计算程序，一般是先计算单个工程(线)的平均品位，再计算由若干工程控制的面平均品位；最后计算矿块(或矿体)的体平均品位和全矿区(矿床)的总平均品位。
- 传统的平均品位计算方法分为算术平均法和加权平均法两种。一般当某些样品品位所代表的试样长度、重量、矿体厚度、控制长度或矿石体重、断面面积等不相等，且有相关关系时，常采用以相应参数(一个)或几个参数(≥ 2 个)乘积为权的加权平均法求其平均品位；否则，一般均采用算术平均法计算其平均品位。当有特高品位存在时，应先处理特高品位，再求平均品位。

(三) 矿石平均品位的计算

1. 工程平均品位计算



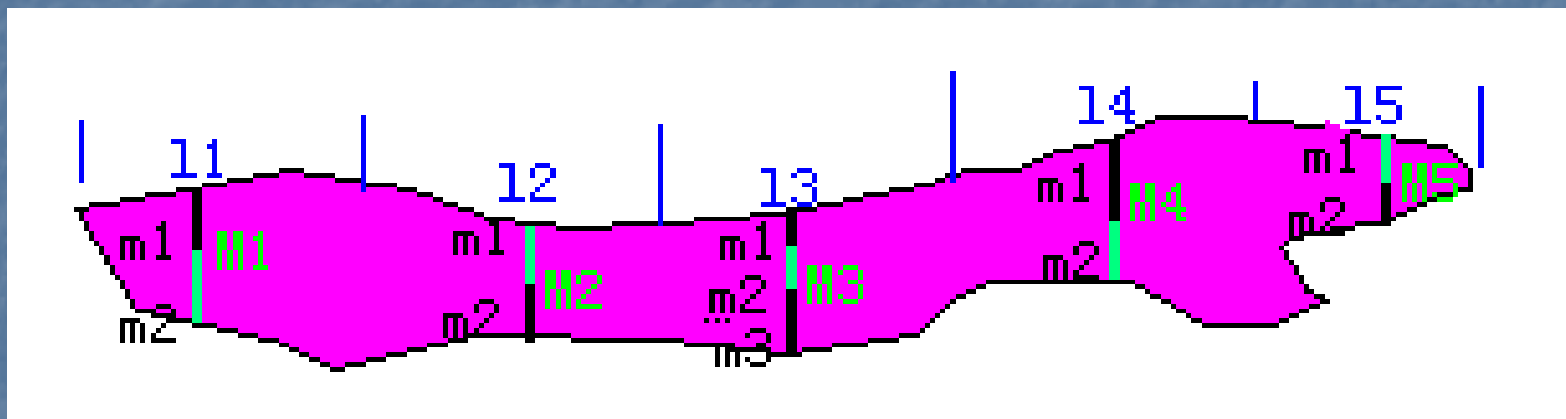
■ 工程平均品位计算

算术平均 $C = (\sum c_i) / n$

厚度加权平均 $C = (\sum c_i m_i) / (\sum m_i)$

(三) 矿石平均品位的计算

2. 剖面 and 块段平均品位计算



- 剖面平均品位如果取样间距不等，且品位与厚度具正相关时，需用厚度和样品控制长度加权平均

$$C_{\text{剖}} = \frac{\sum C_i M_i l_i}{\sum m_i l_i}$$

如果取样间距相等，则可以不以控制长度加权，品位与厚度不具相关性，则可不以厚度加权。

- 块段平均品位 $C_{\text{块}} = (C_1 S_1 + C_2 S_2) / (S_1 + S_2)$

（四） 特高品位

所谓特高品位（风暴品位）是指高出一般样品品位很多倍的高品位。高出的倍数与品位变化系数有关。

1 特高品位的确定

样品品位究竟高到什么程度才算特高品位？目前尚无统一的标准和确定方法。有人应用经验模拟法，有人应用概率统计计算法进行确定。一般情况下，人们常是根据矿床类型与矿石品位变化特点，如有色金属矿床，将品位值高于矿体(床)平均品位6—8倍者为特高品位。当矿体品位变化系数大时，取上限值，反之，取下限值。也可参考对比表(P195)所列特高品位最低界限资料进行确定。

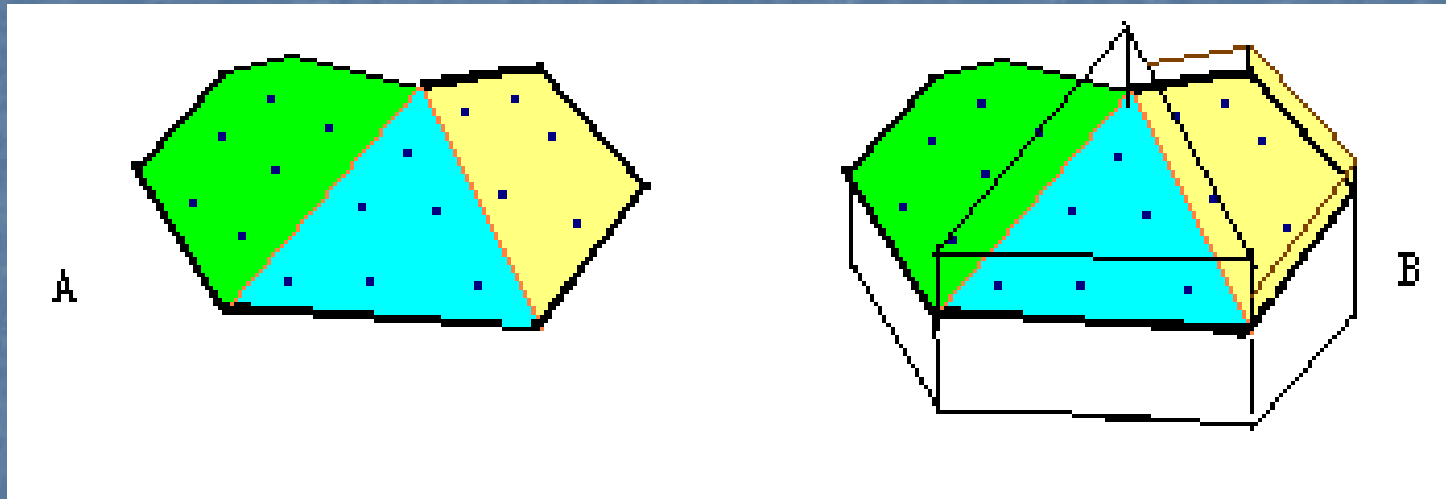
2.特高品位处理方法:

- 计算平均品位时将特高品位去除掉;
- 以整个坑道或块段的平均品位代替;
- 用特高样品相邻的两个样品的平均值代替;
- 用一般样品的最高值代替。

六. 储量计算方法

- 几何学方法
 - 地质块段法
 - 开采块段法
 - 断面法（剖面法）
 - 其它传统的储量计算方法
 - 距离倒数平方法
- 地质统计学

（一）地质块段法



根据矿床地质特点和勘探程度将矿体划分为若干块段（图A）。将它们看作是以块段内所有工程厚度为平均厚度的理想的板状体（图B）。板状体的体积为块段体积。

地质块段法计算公式

根据块段内全部工程数据，用算术平均法计算出块段的平均厚度（ m_i ）、平均品位（ C_i ）和平均体重（ d_i ）。块段体积（ V_i ）、矿石储量（ Q_i ）及金属储量（ P_i ）用下列公式计算：

$$V_i = S_i \times m_i$$

$$Q_i = V_i \times d_i$$

$$P_i = Q_i \times C_i$$

式中： S_i 为某块段的面积。

总矿石储量（ Q ）和金属储量（ P ）则是各块段储量之和。

- 地质块段法适用于任何产状、形态的矿体，它具有不需另作复杂图纸、计算方法简单的优点并能根据需要划分块段，所以被广泛使用。当勘探工程分布不规则，或用断面法不能正确反映剖面间矿体的体积变化时；或厚度、品位变化不大的层状或脉状矿体，一般均可用地质块段法计算资源量和储量。但当工程控制不足，数量少，即对矿体产状、形态、内部构造、矿石质量等控制严重不足时，其地质块段的划分根据较少，计算结果也类同其它方法误差较大。

（二）开采块段法

当矿体被坑道切割成许多块段时可应用开采块段法计算储量。

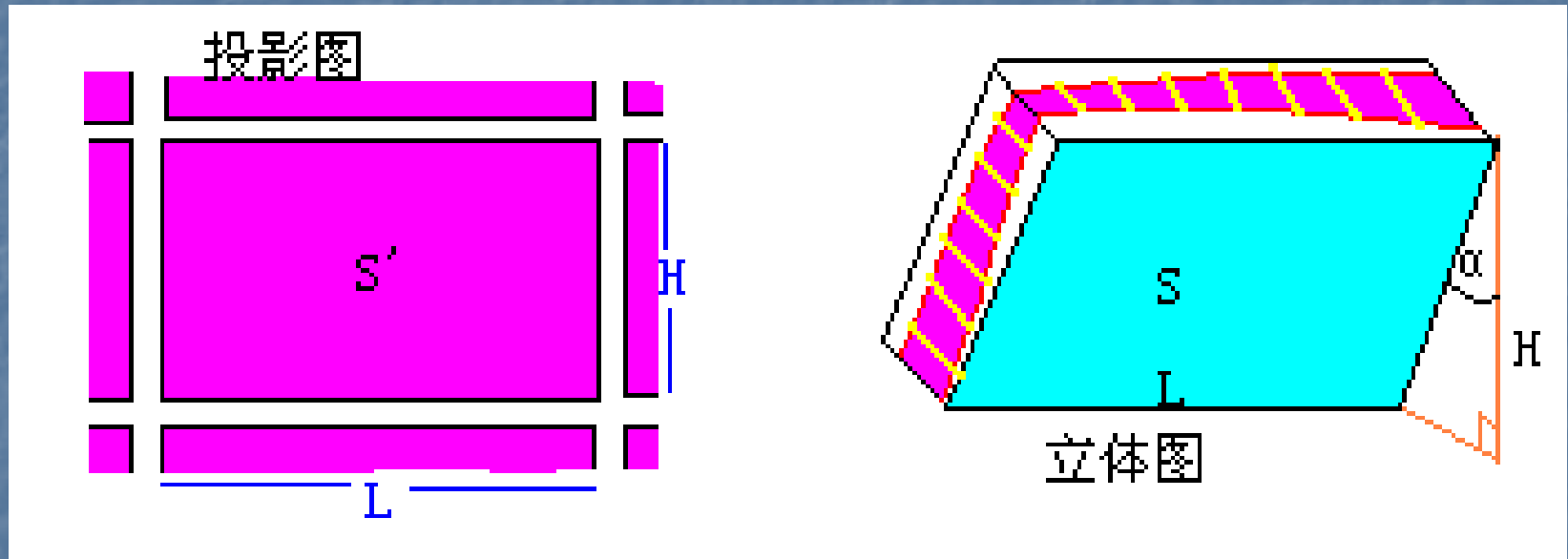
储量计算图件：矿体垂直投影图，有时用沿矿体倾斜面的投影图。

储量计算分如下三种情况：

- 矿体块段被坑道四面圈定；
- 矿体块段被坑道三面圈定；
- 矿体块段被坑道二面圈定。

开采块段法

1. 当矿体块段被坑道四面圈定时



当开采块段的上下为沿脉，左右为天井所揭露时，块段呈矩形。在投影面上块段面积即 $H \times L$ 。

开采块段法

当矿体块段被坑道四面圈定时

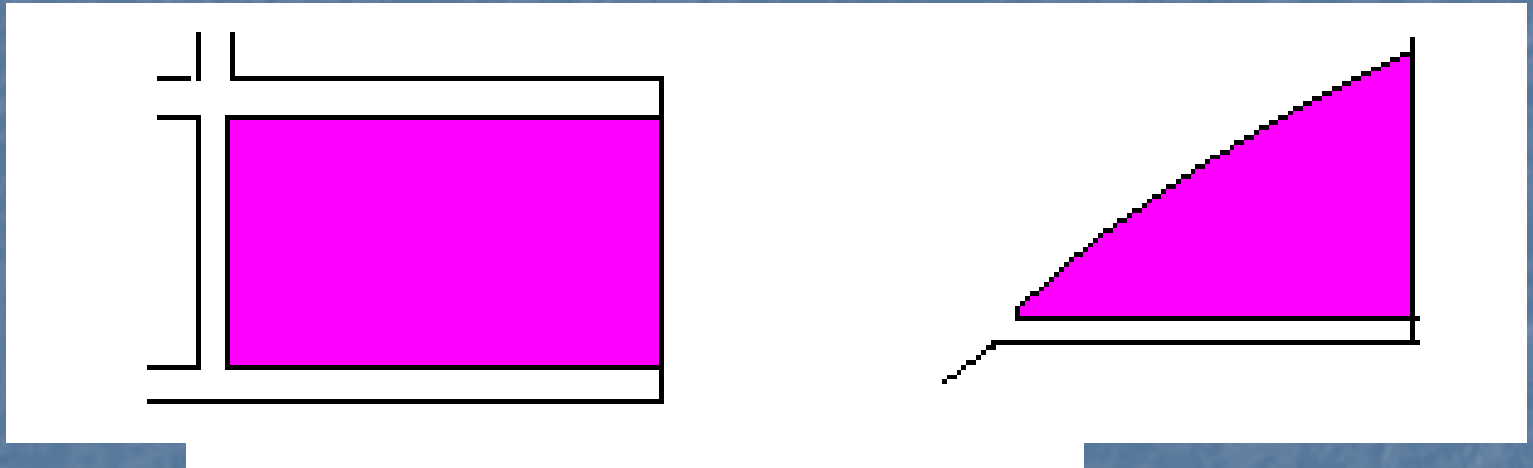
块段的平均厚度（ m ）、平均品位（ C ）和平均体重（ d ）可根据其变化特点，用算术平均法或加权平均法求得。

块段体积是投影面积与其相垂直的厚度的平均值之积。如在垂直投影面求得投影面积，而厚度是真厚度，则应根据矿体中心面与铅垂面的夹角 α 加以换算：
$$S = S' / \cos \alpha$$

矿石储量（ Q ）为： $Q = Vd$ ，金属储量（ P ）为：
$$P = QC$$

开采块段法

2 当矿体块段被坑道三面或二面圈定时



首先计算被揭露各边的平均厚度和平均品位。然后求两边或三边的，品位算术平均值为块段的平均品位。其余与四面圈定的计算相同。如三面圈定的计算：

$$C = (C_1 + C_2 + C_3) / 3$$
$$m = (m_1 + m_2 + m_3) / 3$$

- 开采块段法常适用于以坑道工程系统控制的地下开采矿体，尤其是开采脉状、薄层状矿体的生产矿山使用最广。由于其制图容易、计算简单，能按矿体的控制程度和采矿生产准备程度分别圈定矿体，符合矿山生产设计及储量管理的要求，所以生产矿山常采用。
- 但由于开采块段法对工程(主要为坑道)控制要求严格，故常与地质块段法结合使用，一般在开拓水平以上采用开采块段法或断面法，以下(深部)用地质块段法计算储量。

(三) 断面法（剖面法）

断面法计算储量的**图件**是勘探线地质剖面图。

断面法**分类**：

- 垂直断面法和水平断面法
- 平行断面法和不平行断面法

断面法的**应用条件**：只要勘探工程按勘探线或勘探网及水平勘探系统布置的均可应用。

断面法的**优点**：

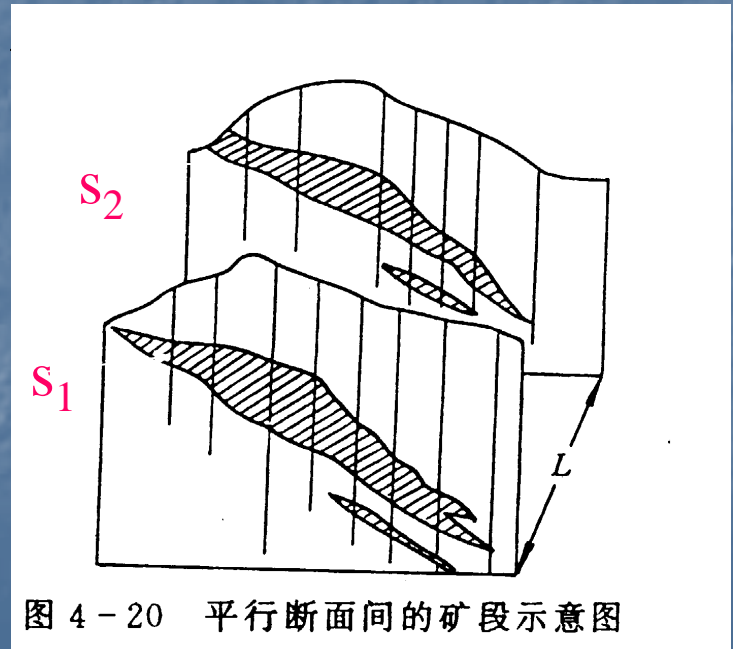
- 断面图保持了矿体的真实形状并反映地质构造的特点；
- 用勘探线剖面图作储量计算的断面图工作量不大、手续简单；
- 可根据储量级别及矿石的工业类型、工业品级任意划分块段，方法灵活。

断面法（剖面法） 计算步骤

- 在剖面图上把矿体划分为若干块段；
- 测量每个块段的面积；
- 计算两剖面间或剖面外推部分的体积；
- 计算矿石平均体重及平均品位；
- 计算矿石储量；
- 计算金属储量；
- 矿产储量汇总。

1. 平行断面法 块段体积计算公式

设剖面间距为 L 相邻剖面的块段面积较大者为 S_1 ，较小者为 S_2 ，面积相对差 $k = (S_1 - S_2) / S_1$ ，则矿体体积 V 为：

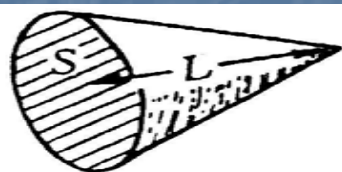


1) $V = L (S_1 + S_2) / 2$ (梯形公式) 当 $k \leq 40\%$ 时

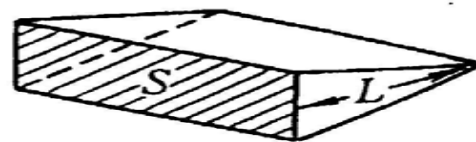
2) $V = L (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2}) / 3$ (截锥公式) 当 $k \geq 40\%$

3) $V = L S_1 / 2$ 当 $S_2 = 0$, 楔形尖灭时

4) $V = L S_1 / 3$ 当 $S_2 = 0$, 锥形尖灭时



(a)



(b)

图 4-22 矿体端部块段形态示意图

(a) 锥形体; (b) 楔形体

(3) 当两断面矿体形态不同,又无一边相当,应采用拟柱体(辛浦生)公式,即

5)
$$V = \frac{L}{6} (S_1 + 4S_m + S_2)$$

式中: S_m —— $\frac{L}{2}$ 处平行断面上的矿体面积。其求法如图 4-21 所示。

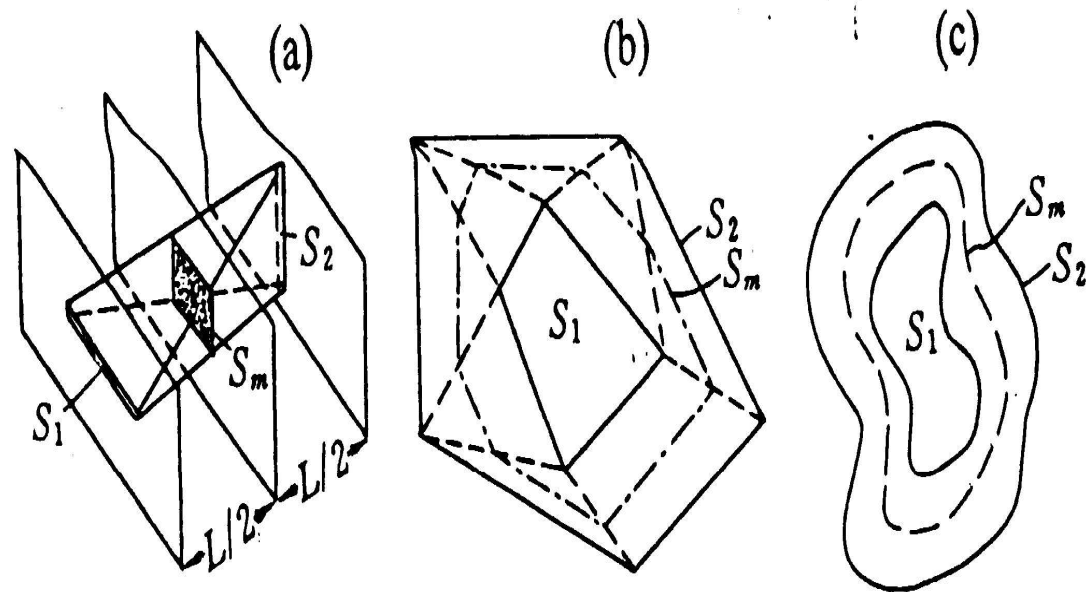


图 4-21 断面间内插断面(S_m)的三种求法示意图

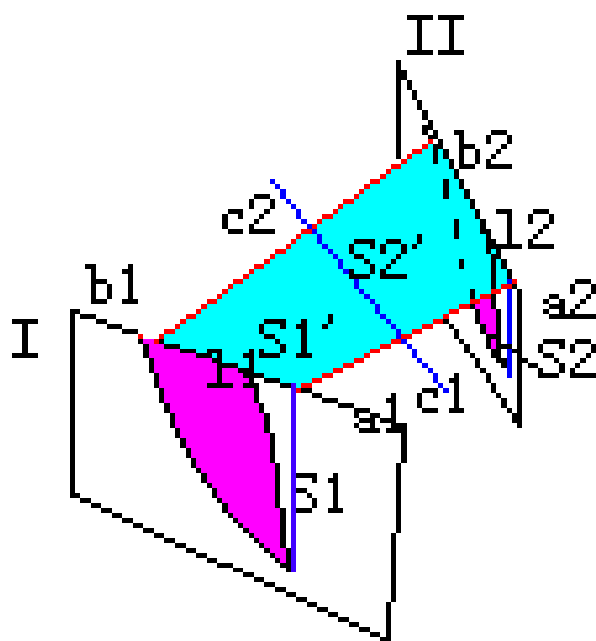
平行断面法 块段储量计算公式

设块段的矿石平均体重为D,平均品位为C,则该块段的矿石储量Q和金属储量P分别为:

$$Q=VD$$

$$P=QC=VDC$$

2 不平行断面法 (辅助线法、中线法)



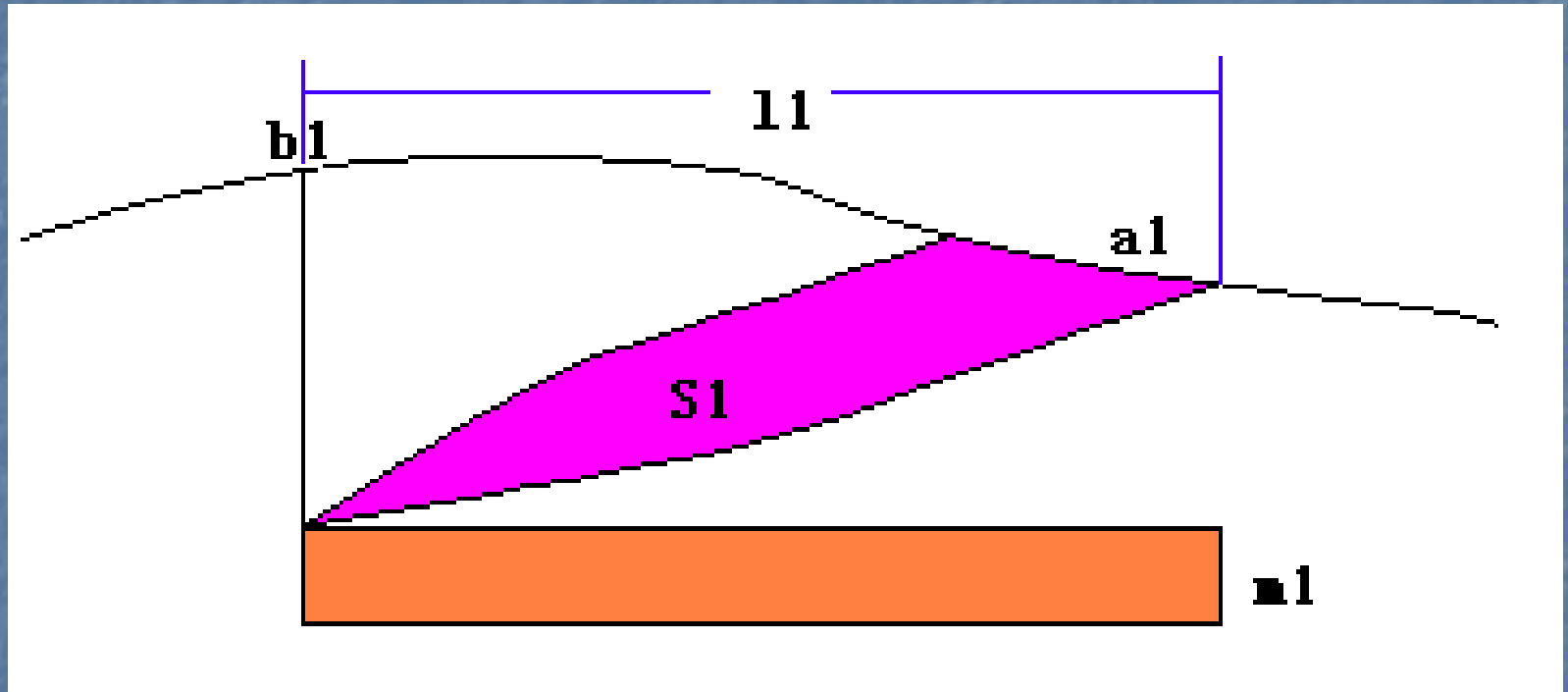
I和II为两条不平行的断面，其块段面积为 S_1 和 S_2 。各剖面相应的矿体投影长度分别为 l_1 和 l_2 。由矿体在平面上的投影点圈成图上绿色区域。 c_1 、 c_2 为两断面中点的连线，将绿色区域分为 S_1' 和 S_2' 两部分。则：

$$V_1 = (S_1/l_1) S_1'$$

$$V_2 = (S_2/l_2) S_2'$$

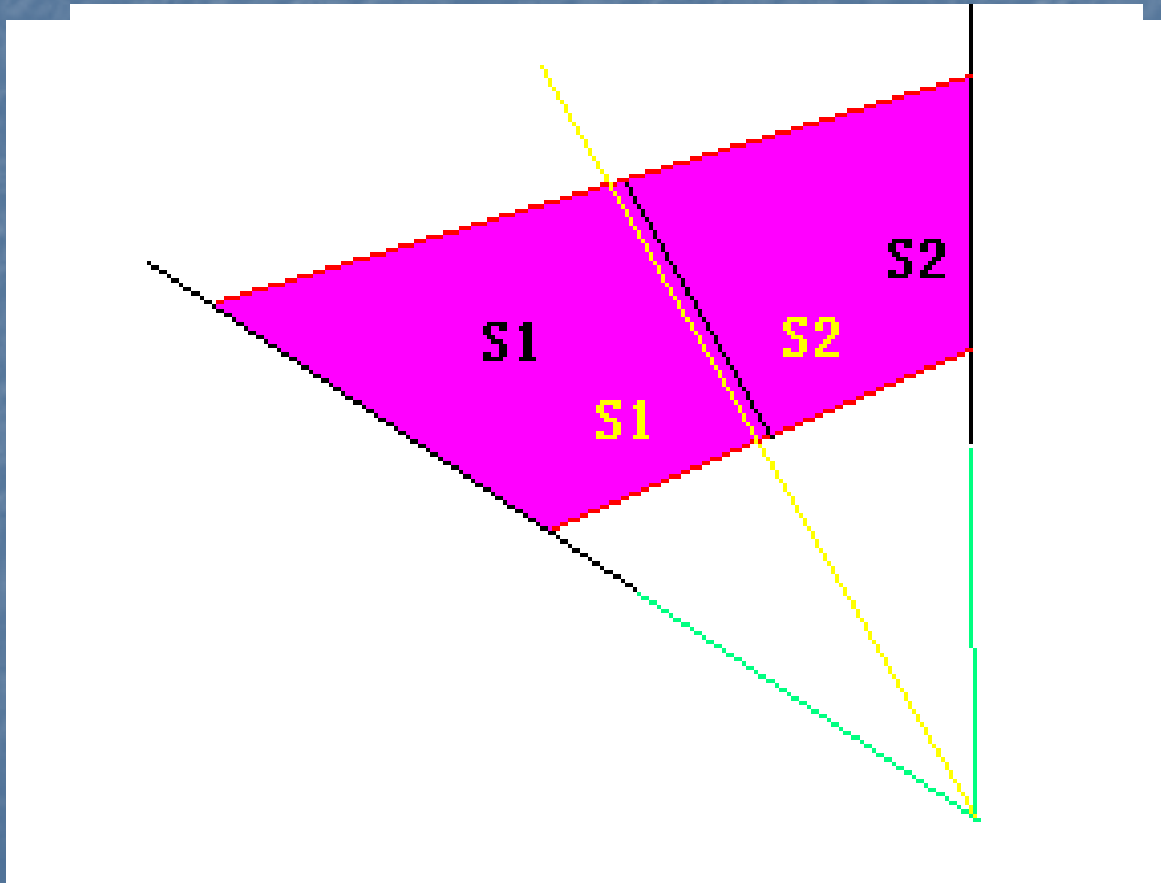
$$V = V_1 + V_2$$

不平行断面法 辅助线法剖面示意图



辅助线法将辅助线一侧的矿体当成具有相同厚度的板状体。该板状体的厚度为：
$$m_1 = S_1 / l_1$$

不平行断面法 辅助线法平面示意图

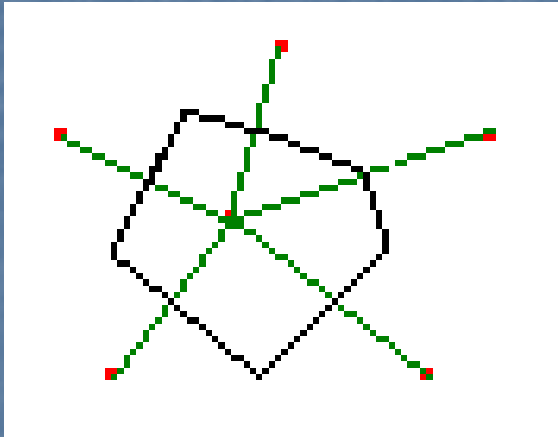


在平面上，
可将块段的
平面投影用
不同的方法
分成两部分。
方法之一是
中联线法。
方法之二是
角平分线法。

- 其它参数和块段矿石储量与金属储量计算同于平行断面法。

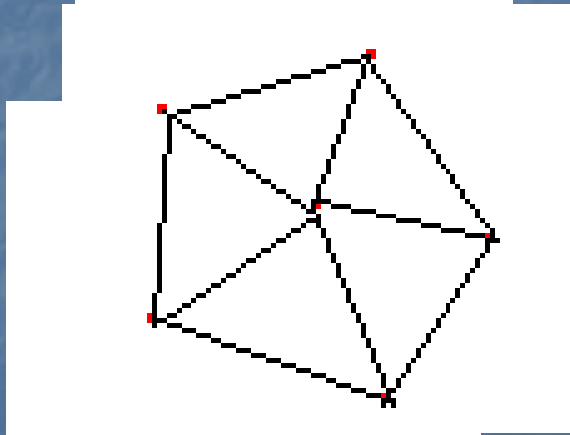
- 断面法在地质勘探和矿山地质工作中应用极为广泛。它原则上适用于各种形状、产状的矿体。其优点是能保持矿体断面的真实形状和地质构造特点，反映矿体在三维地质空间沿走向及倾向的变化规律；能在断面上划分矿石工业品级、类型和储量类别块段；不需另作图纸，计算过程也不算复杂；计算结果具有足够的准确性。但是，当工程未形成一定的剖面系统时，或矿体太薄，地质构造变化太复杂时，编制可靠的断面图较困难，品位的“外延”也会造成一定误差是其缺点。

3 最近地区法和三角形法



两种方法都是根据见矿工程划分矿块计算矿储量，然后汇总。

最近地区是某工程与邻近工程连线的中垂线所围成的地区。以该工程的厚度、品位等参数计算矿块储量。



连接各见矿工程得到一系列三角形。

以三角形三个顶点上工程的厚度、品位的算术平均值作为矿块的厚度、品位估值计算矿块储量。

地质统计学 geostatistics

地质统计学是根据相邻变量的值（如若干样品的值），利用变异函数所揭示的区域化变量的内在联系来估计空间变量的数值方法。

1951年南非金矿采矿工程师D.G.Krige提出了按照样品与待估块段的相对空间位置和相关程度来计算块段品位及储量，并使估计误差为最小的方法——克立格法。

- 它是以矿石品位和矿床资源量 / 储量的精确估算为主要目的，以区域化变量理论为基础，以变异函数作为主要工具，以电算为手段，对既具有随机性，又具有空间结构性(相关性)的变量(如品位、厚度等)进行统计学研究。它实质上是一种高技巧的统计插值模型，能够把矿体中有限的探矿工程取样测试资料传递到矿床任何一个局部地段，能最大限度地有效利用这些信息；因为在估算时，充分考虑了品位(变量)的空间变异性和矿化强度在空间的分布特征，使估算结果更加符合地质规律，置信度高。但需有较多的样本个体为基础；计算所需时间和费用较多；所圈定矿体边界为折线，与矿体自然边界往往不一致。在矿床勘查过程中，运用这种方法，针对矿床的地质特征，能帮助选择勘探与开采方法，还能制定或检验合理的勘探工程间距。

区域化变量

区域化变量是一种在空间上具有数据的实函数。它具有两个性质：结构性和随机性。

从矿业角度看，区域化的概念与某些定性特征有关：

- 局部性 区域化变量只限于区域化几何域，且以几何支撑定义的。
- 连续性 通过两个相邻样品之间的变异函数来描述。
- 异向性 在各个不同的方向上，往往其变化性的大小及变化性质不同。
- 可迁性 在区域化几何域内具有明显的空间相关性，超出此范围相关变弱或消失。

变异函数 概念

以向量 h 相隔的两点 $x, x+h$ 处的两个区域化变量 $z(x)$, $z(x+h)$ 之间的变异可用它的增量 $[z(x)-z(x+h)]$ 平方的数学期望

$$2 \gamma(x, h) = E\{[z(x) - z(x+h)]^2\}$$

来表示, $2 \gamma(x, h)$ 称为变异函数。

要估计该函数, 必须要有 $z(x)$, $z(x+h)$ 这一对区域化变量的若干现实, 但同一点只能取一次样, 即只有一个现实。为此提出内蕴假设的概念。

内蕴假设是指随机函数 $z(x)$ 的增量 $[z(x)-z(x+h)]$ 只依赖于分隔它们的向量 h , 而不依赖于具体位置 x 。

变异函数

内蕴假设下的变异函数估计(一)

在内蕴假设下被向量 h 相隔的的每一对数据
 $\{z(x), z(x+h)\}$ 可以看成是一对随机变量
 $\{z(x), z(x+h)\}$ 一次不同的现实。

而变异函数 $2\gamma(h)$ 的一个估计 $2\gamma^*(h)$ 是

$$2\gamma^*(h) = \{ \sum [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \} / N(h)$$

式中 $N(h)$ 是被向量 h 相隔的实验数据的对数。

变异函数

内蕴假设下的变异函数估计（二）

$h=a$



$h=2a$

例如：有一组间隔为 a 的区域化变量

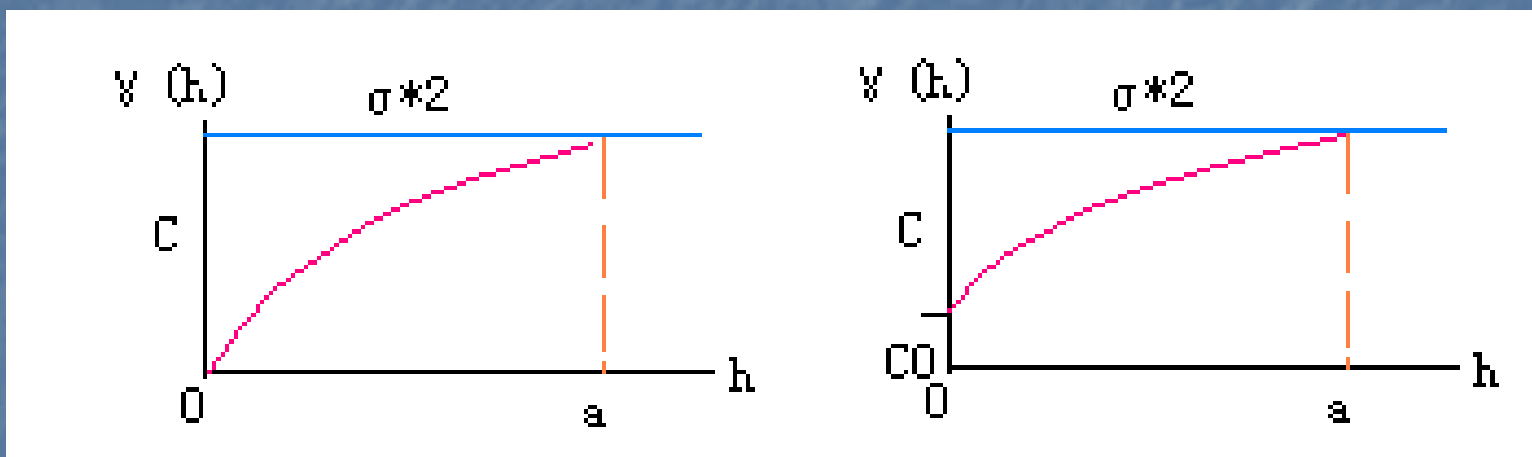
$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, \dots, X_n$$

$h=a$ 的现实有： $X_1-X_2, X_2-X_3, X_3-X_4, \dots, X_{n-1}-X_n$

$h=2a$ 的现实有： $X_1-X_3, X_2-X_4, X_3-X_5, \dots, X_{n-2}-X_n$

变异函数

变异曲线



$$\gamma^*(h) = \{ \sum [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \} / 2N(h)$$

就是半变异函数。将 $\gamma^*(h)$ 值为纵坐标， h 值为横坐标制成曲线图，这就是变异曲线。

变异函数

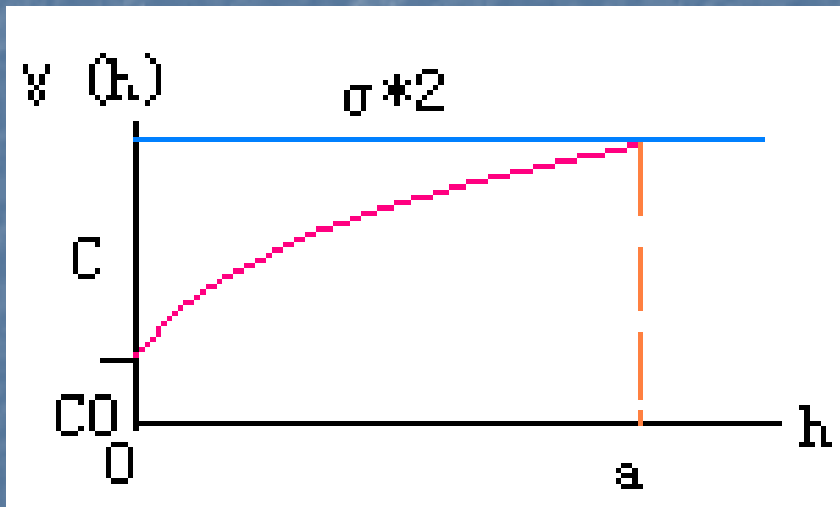
变异曲线的主要参数

h : 样品间距。 $\gamma(h)$ 随 h 的增大而增大。

a : 变程, 当 h 超过 a 时, 相邻样品的相关性消失。

C : 基台值, 即为 $\gamma(\infty)$, 就是随机函数的方差。

C_0 : 块金效应, 它是由于观测误差和矿化的微型变差所致。



地质统计学

计算储量的大致步骤

- 计算实验半变异函数。
- 建立矿化空间结构理论模型，拟合实验半变异函数。
- 估计平均值，建立矿床模型，包括：
 - 列出克立格方程组；
 - 对克立格方程组中点与点的变异函数求解；
 - 计算块段与样品之间的变异曲线；
 - 计算块段估值和估计方差。

七 储量精度估计及其评价方法

- 储量计算误差的分类及确定
 - 地质误差（类比误差）
 - 技术误差（测定误差）
 - 方法误差
- 储量计算精度的估计
 - 从储量计算参数精度估计储量精度
 - 储量的区间估计
 - 用储量误差模型估计

（一）储量计算误差的分类及确定

1 地质误差（类比误差）

地质误差（类比误差），是在地质勘探时所获得的资料进行了不正确的内插和外推所产生的误差。包括对矿体几何形态和品位的变化的推断等。

其误差一般很大，随勘探工程密度增加而减少。

加强地质研究是减小地质误差的有效途径。目前尚无完善的误差估计方法。

七 储量计算误差的分类及确定

2 技术误差（测定误差）

技术误差（测定误差）是由于对储量计算基本参数测量的不准确而产生的误差。包括：矿体厚度、孔斜、体重、湿度、品位、面积测量等。

产生技术误差的原因：测量设备的不完善、测量条件的改变及测量者工作失误等。

减小误差的途径：

- 多次反复测量求平均值或采用校正系数；
- 采用新的高精度的方法。

估计技术误差的方法：用重复测量、检查测量的方法。

七 储量计算误差的分类及确定

3 方法误差

是指由于选用不同的储量计算方法或不同的计算参数平均值方法所产生的误差。其中包括：

- 储量计算方法本身的误差；
- 计算储量计算参数平均值时用算术平均法或加权平均法带来的误差。

В. И. 斯米尔诺夫研究了储量计算方法误差后的结论：

- 不同计算方法的计算结果非常接近（误差0—5%）；
- 繁杂的方法并不一定比简单元方法的精度高。

减小方法误差的途径：根据矿体的特征和勘探工程布置正确选用方法。

(二) 储量计算精度的估计

1. 据储量计算参数精度估计储量精度

根据间接测量误差的传递原理，若储量计算参数：块段面积(S)、矿体厚度(m)、矿石体重(d)及矿石品位(C)等参数是相互独立的，则可推出如下计算金属误差(σ_p)和矿石储量均方误差(σ_Q)公式：

$$\sigma_p^2 = P^2 (V_S^2 + V_m^2 + V_d^2 + V_C^2)$$

$$\sigma_Q^2 = Q^2 (V_S^2 + V_m^2 + V_d^2)$$

(二) 储量计算精度的估计

据储量计算参数精度估计储量精度例子

例：根据某矿床储量计算原始测定资料，各参数的均值和均方差分别为：

$$S=235000\text{m}^2, M=8.4\text{ m}, d=2.9\text{t/m}^3, C=4.3\%$$

$$\sigma_S=6500\text{m}^2, \sigma_M=1.5\text{m}, \sigma_d=0.3\text{t/m}^3, \sigma_C=1.1\%$$

$$P = SMdc = 235000 \times 8.4 \times 2.9 \times 4.3\% = 246000\text{ t}$$

$$\sigma_P^2 = 246000^2 \left[\left(\frac{6500}{235000} \right)^2 + \left(\frac{1.5}{8.4} \right)^2 + \left(\frac{0.3}{2.9} \right)^2 + \left(\frac{1.1}{4.3} \right)^2 \right] = 6584140800\text{t}^2$$

$$\sigma_P = 81143\text{t}$$

$$\text{极限误差 } \sigma_{nP} = 2 \sigma_P = 162286\text{t}$$

$$\text{相对误差 } S_P = \sigma_{nP} / P = 162286 / 246000 = 66\%$$

在置信概率68%时的金属储量区间为: $246000 \pm 81143\text{t}$

(二) 储量计算精度的估计

2 储量的区间估计

- 当用N个工程勘探矿体时，不用N个工程的资料一次计算金属储量P，而是从N个工程中随机抽取m个独立样本，每个样本包括n个工程，分别计算 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_m$ 。
- 以m个样本的算术平均值P作为金属储量的估值。

$$P = (\sum p_i) / m$$

- N个工程所求得的金属储量的精度 $\lambda(P)$ 为

$$\lambda(P) = t_{\alpha} S / \sqrt{(m-1)}$$

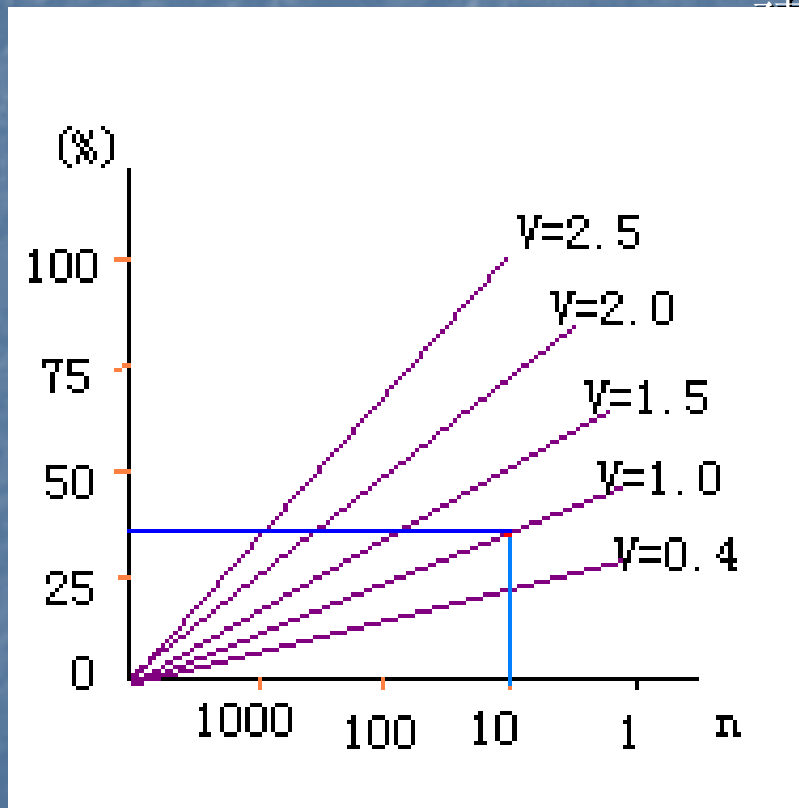
式中:S为m个样本计算的均方差。

- 在给定信度为 α 时的金属储量区间为

$$P \pm \lambda(P) = P \pm t_{\alpha} S / \sqrt{(m-1)}$$

(二) 储量计算精度的估计

3 用储量误差模型估计



建立不同品位变化系数的储量误差模型。

在给定均值和均方差时，可用Monte-carlo（蒙脱-卡洛）模拟产生一组品位值。

计算不同工程数时的储量误差。

得到某一变化系数值时金属储量误差与工程数的回归模型。

改变变化系数值，得到不同变化系数时的回归模型。

据回归模型估计一定变化系数值和工程数时的误差值。