

金属、非金属矿产储量计算方法

邓善德

(国土资源部储量司)

一、储量计算方法的选择

矿体的自然形态是复杂的，且深埋地下，各种地质因素对矿体形态的影响也是多种多样的，因此，我们在储量计算中只能近似的用规则的几何体来描述或代替真实的矿体，求出矿体的体积。由于计算体积的方法不同，以及划分计算单元方法的差异，因而形成了各种不同的储量计算方法在。比较常用的方法有：算术平均法，地质块段法，开采块段法，多角形法(或最近地区法)，断面法(包括垂直剖面法和水平断面法)及等值线法等，其中以算术平均法、地质块段法、开采块段法和断面法最为常见。现将几种常用的方法简要说明如下。

1.算术平均法

是一种最简单的储量计算方法，其实质是将整个形状不规则的矿体变为一个厚度和质量一致的板状体，即把勘探地段内全部勘探工程查明的矿体厚度、品位、矿石体重等数值，用算术平均的方法加以平均，分别求出其平均厚度、平均品位和平均体重，然后按圈定的矿体面积，算出整个矿体的体积和矿石的储量。

算术平均法应用简便，适用于矿体厚度变化小，工程分布比较均匀，矿产质量及开采条件比较简单的矿床。

2.地质块段法

它是在算术平均法的基础上加以改进的储量计算方法，此方法原理是将一个矿体投影到一个平面上，根据矿石的不同工业类型、不同品级、不同储量级别等地质特征将一个矿体划分为若干个不同厚度的理想板状体，即块段，然后在每个块段中用算术平均法(品位用加权平均法)的原则求出每个块段的储量。各部分储量的总和，即为整个矿体的储量。地质块段法应用简便，可按实际需要计算矿体的不同部分的储量，通常用于勘探工程分布比较均匀，由单一钻探工程控制，钻孔偏离勘探线较远的矿床。

地质块段法按其投影方向的不同垂直纵投影地质块段法，水平投影地质块段法和倾斜投影地质块段法。垂直纵投影地质块段法适用于矿体倾角较陡的矿床，水平投影地质块段法适用于矿体倾角较平缓的矿床，倾斜投影地质块段法因为计算较为繁琐，所以一般不常应用。

3.开采块段法

是以坑道为主要勘探手段的矿床中常用的储量计算方法，由于矿体被坑道切割成大小不同的块段，即将矿体化作一组密集的、厚度和品位一致的平行六面体(即长方形的板状体)。因此实质上开采块段法仍是算术平均法在特定情况下的具体运用。

计算储量时，是根据块段周边的坑道资料，(有时还包括部分钻孔资料)分别计算各块段的矿体面积，平均厚度，平均品位和矿石体重等，然后求得每个块段的体积和矿产储量，各块段储量的总和，即为整个矿体的储量。

开采块段法能比较如实地反映不同质量和研究程度的储量及其

空间的分布情况，块段的划分与开采系统相一致，所以在开发勘探时期广泛被应用。

4. 断面法

又称剖面法，是矿床勘探中应用最广的一种储量计算方法。它利用勘探剖面把矿体分为不同块段，除矿体两端的边缘部分外，每一块段两侧各有一个勘探剖面。按矿产质量、开采条件、研究程度等，还可将其划分为若干个小块段，根据块段两侧勘探剖面内的工程资料，块段截面积及剖面间的垂直距离即可分别计算块段的体积和矿产储量，各块段储量的总和，即为矿体或矿床的全部储量。

断面法的特点是借助勘探剖面表现矿体不同部分的产状、形态、构造以及不同质量，不同研究程度和矿产储量的分布情况。按勘探剖面的空间方位和相互关系，断面法又分为水平断面法、垂直平行断面法和不平行断面法。而在垂直断面法中又分为两种：一种是按勘探线为划分块段边界的，这是最常用的一种；而另一种则是以勘探线间平分线为划分块段边界的，又称之为“线储量法”。即每一勘探剖面至相邻两剖面之间二分之一距离的地段，即为该剖面控制的地段，分别计算各块段的储量，然后累加即为矿体或矿床的储量。线储量法主要用于砂矿床的储量计算。

此法之优点是计算简单，适用于任何产状和形状的矿体，但要求所有勘探工程(坑探、钻探)均分布于同一勘探剖面上，其储量计算工作是建立在地质勘探剖面图的基础之上，是应用较广的计算方法。水平断面法是利用水平中段进行储量计算，其计算原理与剖面法相同。

常用于坑道控制的矿体或露天开采的矿床储量计算中。

此外还有几种不常用或应用条件较为狭窄的储量计算方法，它们可以用于资源量的概略计算。适用于地质勘探程度不高，工程分布有限，研究程度不足，只能用于供远景规划的资源计算等。

(1)最近地区法(又称多角形法)：其实质是将形状不同的矿体，人为地简化为便于计算体积的多角形柱体。即在储量计算平面图所圈定的矿体范围内以每个勘探工程为中心，按其与各相邻工程的二分之一距离为顶点，将矿体划分为一系列紧密连接的多边形地区。再依据每个多边形地区中心的工程资料分别计算其矿产储量。这种储量计算方法不仅不能反映矿体的真实特点，而且计算过程繁琐，在实际工作中很少应用。只有在工程分布不均匀、工程揭露的矿体其厚度、品位相差悬殊、矿体形状极不规则的情况下，为了考虑各工程所影响的权数才采用此方法。多角形顶点的选择，有时也采用内插法以便使计算结果更准确一些。但总的来说，这种方法应用并不广泛。

(2)三角形法：其实质是将形状不规则的矿体，人为地简化为便于计算体积的三棱柱状体。即在储量计算平面图所圈定的矿体范围内，以直接连接各相邻勘探工程，把矿体分为一系列紧密连接的三角形块段，再依据三角形块段顶点的勘探工程资料，分别计算各块段的矿产储量。这种计算方法不仅不能反映矿体的真实特点，而且计算过程繁琐，实际的勘探报告中很少应用。

(3)等高线法：这是层状沉积矿床或岩体中常用的一种储量计算方法。它以矿层顶板等高线图为基础，把矿层分为若干倾角相似的部分。

分，然后用一定的公式分别计算其体积和储量。等高线法的特点是可以直接反映矿层的产状和埋藏特点，适用于产状和厚度都比较稳定，倾角中等，并有足够勘探工程控制的矿床。

(4) 等值线法：其实质是利用矿体等厚线图或厚度-品位等值线图，把形状复杂的矿体变为一个形状相似，底平面平坦面顶面高低起伏的几何体，然后用一定的公式分别计算各等值线内块段的体积和储量。其优点是可以借助上述图件，形象的表现出矿体形态，有用组分的分布及变化特点，但缺点是制图复杂，特别是含有多种有用组分的矿床，必须按每种组分分别制图，所以实际工作中亦应用不广泛。

(5) 类比法：其实质是应用类比的原理，概略地计算矿产储量的方法。它根据已经勘探或开采的矿床的资源，来求出矿区单位面积内所有的矿产储量，然后将其推及到地质条件相类似的新发现地区，估算出全部矿化面积内可能有的矿产储量(严格说应当是资源量)。

这种方法，只用在区域矿产远景评价或矿床远景评价时，用来估算区域的地质储量(资源量)或矿床远景储量(资源量)。对某些地质构造极为复杂，矿化极不均匀的矿床，如水晶矿床和某些稀有金属矿床等，用一定的公式计算矿体单位面积(1m^2 或 100m^2)的矿产产出率(吨或千克)，也属于一种简单统计法。

二、工业指标

工业指标，是在当前的技术经济条件下，工业部门对矿产质量和开采条件所提出的要求，也是评价工业矿床价值，圈定矿体和计算储量所依据的基本参数。在市场经济条件下，工业部门所使用的矿产储

量工业指标是依据市场规律变化而相应变化的。而国家为了统计全国矿产资源总量，以分析资源供需形势而使用的工业指标则需求相对稳定的，这是一个矛盾。这个矛盾在未来的储量管理改革中就有可能形成两套不同用途的工业指标。一种是国家用于宏观决策的指导性(参考)工业指标，另一种则是企业行为的微观条件下的工业指标。

提供矿山建设设计用的地质报告采用的工业指标(包括多种矿种共生或伴生的综合工业指标)，是根据国家的各项技术经济政策、资源情况、开采和加工的技术水平，结合国家当前和长远的需要，由地质勘探单位提出有关地质资料和对工业指标的初步意见，经设计部门进行技术经济论证的基础上，由矿山企业确定。

一般固体矿山的工业指标主要包括边界品位，工业品位，有害组分最大允许含量，最低可采厚度，最低工业米百分值，夹石剔除厚度，以及剥离系数等。此外还可针对某些矿山的特殊情况和要求，提出其他项目的工业指标。矿山的参考工业指标只用在普查找矿、详细普查、或初步勘探阶段，作为矿床评价和储量估算时参考。

(一) 矿石质量方面的要求

1. 边界品位，又称边际品位，是工业部门对固体矿产提出的一项质量指标。它是指在储量计算圈定矿体时，对每个样品有用组分提出的最低质量要求，它是区分岩石和矿石的一个最低品位界限。

就单工程而言，位于矿体厚度边界线以内的第一个样品，其有用组分的含量一般应大于或等于边界品位。

边界品位一般是按当前经济技术水平、国民经济对该矿种的需求

以及矿石质量的特点等综合因素来确定的。对于需要选矿的有色金属矿产来说边界品位一般是尾矿品位的 1.5 至 2 倍以上。在市场经济条件下，边界品位的确定，往往取决于矿产品(精矿)价格与采选(冶)总成本之间的平衡点，即不盈利，又不亏本的品位值。

边界品位的第二个用途是划分平衡表内与平衡表外矿石的界线，如果按边界品位圈定的矿体，经处理后，其平均品位仍达不到最低工业品位的要求，则对高于边界品位而又低于最低工业品位的矿石，划为平衡表外矿石；反之，若平均品位高于最低工业品位，则称之为平衡表内的矿石。新的《固体矿产资源/储量分类》取消了“表内”、“表外”储量代之为“经济的”、“次经济的”储量，大致可与原“表内”及“表外”储量相对应，但新的储量分类，包括内容更全面、更广泛，不仅仅单指“品位”而言(请参阅《固体矿产资源/储量分类》)。

2. 最低工业品位或最低可采工业品位

它是工业上可以利用的矿段或矿体的最低平均品位，是区分利用(表内)储量和暂不能利用(表外)储量的标准之一。一般是指单项工程所揭露的单个矿段中 useful 组分的最低平均品位而言。有些特殊矿种，也同时下达矿段最低平均品位或者矿体(床)最低平均品位，目的是确保矿山开采后能有较好的经济效益。

最低工业品位的确定，决定矿床的采选技术条件，国民经济资源的需求程度以及现有的技术水平和经济条件，在技术上可行和经济上合理的前提下，最大限度、充分合理地利用矿产资源。工业指标最低的计算取决于矿产品(精矿)价格与采选(冶)总成本和略有盈余的平

衡点。其略有盈余一般是指同类产品的最低社会平均利润值。因此，矿山企业的工业指标在市场经济条件下是一个随社会经济因素制约而引起的变量，不应当也不可能一成不变，企事业应当推广先进的储量计算技术，实行微机化动态管理，才能适应社会的需求。

3. 矿石品级的划分

主要是根据有益、有害组分的含量或某些矿石的物理性能，以及不同用途的要求，把矿石划分为不同品级，如贫矿、富矿、一级品、二级品等。因此，在地质勘查工作中查清不同矿石品级的分布，对于保证矿产资源的合理开采和利用是十分重要的。

4. 有害杂质平均允许含量

矿段或矿体内矿产品质量和加工生产过程中有所影响的有害成分的最大允许含量，是衡量矿石质量和利用性能的重要标志。对于一些直接用来冶炼或加工利用的富矿和一些非金属矿，如耐火材料、熔剂原料等更是一项重要的要求。

5. 伴生有益成分

与主要有益组分相伴生的，在加工利用或开采生产过程中可以回收的或对产品质量有益的成分。综合评价伴生有益组分，可以提高矿床的价值，有时还可适当降低对重要有益组分的要求。因此，在地质勘探中查清伴生有益组分的含量及赋存状态，具有相当重要的意义。

原全国储委储发〔1995〕38号文关于“调整规范要求，改革储量审批的意见”中指出：“勘查矿产时，对可以利用且对社会、经济效益的共生、伴生矿产，必须进行综合评价。”指的是当前技术上可

行，经济上合理的共生、伴生矿产必须进行综合评价。

(二) 开采技术条件方面的要求

1. 最低可采厚度

它是薄矿层的一个重要的工业指标，指在一定的技术经济条件下，对有开采价值的单矿体、单矿段的最小可采厚度要求。它是根据开采时最大允许贫化率和矿体内有用组分的含量，并用最低工业品位衡量来确定的。最低可采厚度与矿体的产状及变化有关，在无特殊说明的情况下应以矿体的真厚度衡量。

同一采高内的互矿层，若主要矿层接近于可采厚度，累积厚度超过可采厚度，经开采部门同意，也可计算工业储量。

2. 最低工业米百分值

简称米百分率或米克/吨值，它是工业部门对某些矿产，特别是工业利用价值较高的矿产所提出的一项综合指标。它等于最低工业品位与最低可采厚度的乘积，只用于圈定厚度小于可采厚度而高于最低工业品位的富而薄的矿层或薄脉状矿床。只有当厚度与品位的乘积大于或等于此项指标时，方可加入能利用(表内)储量范围。

3. 夹石剔除厚度

又称“最大允许夹石厚度”。它是工业部门根据采矿技术和矿床地质条件对固体矿产提出的一项工业指标。在工业矿体或块段中低于边界品位的夹层叫“夹石”。夹石剔除厚度，是指开采工业矿石时能分别处理的最小夹石厚度。大于这一厚度规定的夹石，应从矿石中剔除，小于这一指标规定的夹石则应参加计算不能剔除。但混入后其平

均品位不能低于最低工业品位，否则一起剔除或将夹石附近的样品一并剔除，直到满足各项指标要求为止。夹石剔除以后，夹石两侧的矿层应按最低工业品位，最低可采厚度或最低工业米百分值分别衡量。

4. 剥离比(剥采比、剥离率、剥离系数)

露天开采的矿体或矿床，开采时需剥离的覆盖物量(包括开拓安全角的剥离量)与埋藏的矿石量之比。

(三) 提交工业指标论证资料

地质部门应当根据有关文件精神，积极与矿山生产建设，设计部门共同协商，根据需要提供有关资料和图件，并提出用不同的工业指标试算方案所得的储量、图件、说明书等有关资料。一般包括：

- (1) 矿区地形地质图；
- (2) 有关剖面图、平面图；
- (3) 地质构造及矿体产状等有关说明；
- (4) 样品的化验分析资料(包括内外检验资料，如系砂矿应包括淘洗品位与化验品位，实方重量与松方重量等)；
- (5) 矿石的加工试验资料(包括原矿品位、精矿品位、回收率、尾矿品位、流程等)；
- (6) 不同工业指标方案的储量、品位等对比资料(包括不同方案的矿体形态变化有关图纸资料等)；
- (7) 矿床开采技术条件有关资料；
- (8) 对工业指标的建议意见；
- (9) 其他资料。

三、矿体的圈定

矿体的圈定是储量计算的关键环节，矿体圈定的原则必须遵循地质规律。必须建立在对地质规律研究的基础上，根据矿体的自然形态、产状及其变化特点，有益有害组分的空间分布规律，蚀变矿物的分布和组合，以及后期构造的影响等因素综合确定，不能“见矿连矿”。储量计算应严格按工业指标圈定矿体，所圈定的矿体形态应与矿体的自然形态基本一致。

(一) 单工程矿体厚度的圈定

单工程矿体厚度的圈定主要是依据工业指标，以充分体现连续性。圈定单工程矿体厚度一般按下列步骤进行：

1. 按边界品位的指标初步确定矿体的边界(表 1 中的 1-8 号样品之间)及矿体中的无矿夹石地段；
2. 按夹石剔除厚度的指标剔除夹石，或并入矿体中；
3. 按工业品位圈定“表内”矿与“表外”矿界线，并按照“穿鞋戴帽”的有关规定(见国储 [1991] 164 号文)最后确定表内矿矿体界线。

矿例：设某金矿工业指标为：边界品位 1.00g/t，工业品位 3.00g/t，块段平均品位 5g/t(每个块段只允许带进一个含表外矿的工程)，最低可采厚度 1.00m，夹石剔除真厚度 2.00m。下面是几个典型分析成果，表中(表 2-表 6)厚度均为换算后的真厚度。

(1) 单工程表内与表外矿的圈定(单品位指标则相对简单一些)

表 1 表内矿包表外矿及上下带表外矿

样品	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
厚度/m	1.50	1.90	1.10	1.20	0.90	0.98	0.80	2.00	1.00	1.20	1.10	1.50
Au/(g. t ⁻¹)	1.05	2.88	3.21	5.62	2.56	2.80	6.50	1.50	0.50	0.50	0.30	0.10
平均	Au 3.27g/t, 厚度 8.88m											

说明：①3、4、7号样品为表内矿，中间夹5、6号样品为表外矿，因两侧工程无对应表外矿，因此一起并入计算表内矿；②根据“穿鞋戴帽”原则，在不影响表内矿圈定的前提下，上、下可以带进一个夹石剔除厚度的表外矿，因此，2、8号也参加一起计算表外矿。1号样品已经超出2.00m夹石剔除厚度范围，故不能加入；③经试算结果，2-8号之间符合表内矿要求，金品位3.27g/t，单工程矿体厚度8.88m。

表 2 表内只包表外矿

样品	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
厚度/m	1.50	1.90	1.10	1.20	0.90	0.98	0.90	2.20	1.10	1.20	1.10	1.50
Au/(g. t ⁻¹)	1.05	2.55	3.21	3.02	2.56	2.80	3.50	1.50	2.50	0.50	0.30	0.10
平均	Au 3.02g/t, 厚度 5.08m											

说明：①先计算表内矿，经加权初算结果，只有3-7号5个样品加权平均，符合表内矿要求；②因该矿金品位低，无法带进1-2个表外矿；1-2、8-9号分别为两段表外矿；③本工程试算结果，3-7号之间符合表内矿要求，金品位3.02g/t，单工程矿体厚度5.08m。

表 3 表内矿单独分支或合并到表外矿

样品	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
厚度/m	1.50	1.90	1.10	1.20	0.90	0.98	0.90	2.20	1.10	1.20	1.10	1.50
Au/(g. t ⁻¹)	1.05	2.88	3.01	3.02	2.56	2.80	3.50	1.50	2.50	0.50	0.30	0.10
平均	Au 2.40g/t, 厚度 11.78m											
			金 3.02g/t 厚度 2.30m					3.05 0.9				

说明：①本矿段金品位过低，只有3号、4号样品为表内矿；②7号样品厚度只有0.90m，其m.g/t值为3.15m.g/t，也可列为表内矿；③只要两侧工程相应部位有表内矿，这两段表内矿可以单独划分出来(3-4号表内矿3.02g/t，厚度2.30m，7号表内矿3.50g/t，厚度0.90m)；④若两侧相邻，工程的相应单位不存在表内矿则划分出这两小段表内矿无实用意义。可以将1-9号9个样品一起划分为表外矿。经计算得知，该工程本矿段表外矿品位2.40g/t，单工程表外矿体厚度11.78m。

(2) 单工程夹石剔除厚度的圈定

表 4 夹石正常剔除

样品	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
厚度/m	1.50	1.90	1.50	1.40	1.10	1.20	1.30	2.00	1.00	1.00
Au/(g. t ⁻¹)	1.05	2.88	3.21	5.62	0.90	0.80	6.50	1.50	0.50	0.20
平均	Au 3.27g/t, 厚度 8.88m				剔除		金 3.47 厚 3.30m			

说明：①5、6号样品为夹石，厚度已超过2.00m；

- ②属于夹石正常剔除范围；
- ③1号样为表外矿。

表5 夹石剔除后带走一个上部样品

样品	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
厚度/m	1.50	1.90	1.00	0.50	1.10	0.80	1.30	1.00	1.00	1.00
Au/(g·t ⁻¹)	1.05	2.88	4.50	3.10	0.50	0.20	6.50	1.50	0.50	0.20
平均		3.27g/t 2.90m			剔除		4.33g/t 2.30m			

说明：①5、6号样品为夹石，但厚度尚不足2.00m(只有1.90m)，若不剔除，把2-8号样品全部加权平均，则全部变为表外矿，金2.85g/t，厚度7.60m；

- ②按夹石剔除原则，应把上部或下部位较低样品一并剔除，以保存上下两段表内矿；
- ③比较结果，应把上部低品位的4号样品一起作为夹石剔除，4、5、6号样品加权平均结果是，金0.94g/t，不是表外矿；
- ④夹石剔除结果，带走了一个表内矿样品，但仍然保留下来两段表内矿，较为合理。

表6 夹石剔除后带走下部分支矿体

样品	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
厚度/m	1.50	1.90	1.7	0.50	1.10	0.80	0.90	0.80	1.00	1.00
Au/(g·t ⁻¹)	1.05	2.88	5.50	3.90	0.30	0.20	3.10	2.90	0.50	0.20
平均		Au4.09g/t, 厚度4.10m			剔除					
		Au4.09g/t 厚度4.10m			剔除		3.01g/t 1.70m		剔除	

说明：①5、6号样品为夹石，但厚度尚不足2.00m；

- ②若不剔除，将2-7号样品加权结果，则全部变成了表外矿，金品位2.91g/t，厚度6.90m, 显然不合理；
- ③将4号样与7号样比较，4号样品高于7号样品；
- ④对比结果，应把下部低品位的7号样品与5、6号样品一起作为夹石剔除；
- ⑤计算结果，5-8号样品为表外矿，金品位1.56g/t，厚度3.60m，假如不是连成一片，或相邻工程对应部位不存在表外矿体，则该表外矿无实用价值，可以不单独圈出；
- ⑥结论：本工程夹石剔除结果，带走了下部的分枝矿体，只留下上部一段表内矿，单工程要厚度圈定和夹石剔除的类似情况，可能还有很多，但最典型的列举了这6种，供读者参考。

二、矿体截面积的圈定

矿体截面形态的圈定是在单工程矿体厚度圈定的基础上，分别在储量计算剖面图或平面图上进行的。

1. 矿体连续性的圈定

两个相邻见矿工程其矿体经厚度圈定后均合乎工业要求，赋存部位互相对应，符合地质规律，则应在截面上将这两个工程所见的矿体连接成同一矿体。在圈定时应注意以下几点：

(1) 在储量计算剖面图或平面图上的矿体连接，除极个别情况外，一般应以直线相连；

(2) 若用曲线圈定矿体时，工程之间的矿体推绘厚度，不应大于相邻被工程控制的实际厚度(图 1)；

(3) 两工程所见为同一矿体，若矿石类型或品级不同或量类别不一致，则应互为对角线尖灭连接(图 2)；

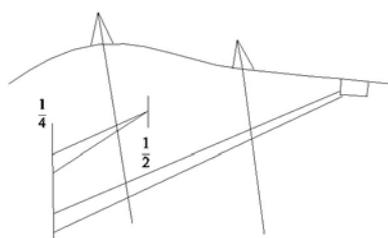


图1 工程间推厚度应小于实际控制厚度

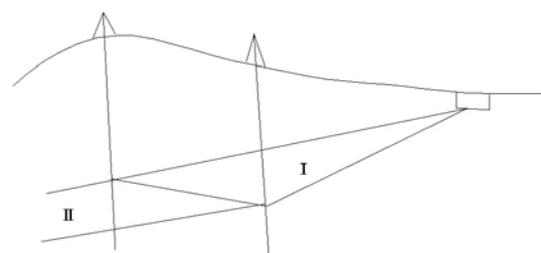


图2 矿石品级不同，应互为尖灭

(4) 如两见矿工程之间矿体被新断层或岩脉所切割，则矿体只能根据已掌握的地质规律分别推绘断层或岩脉的边界上(图 3)；

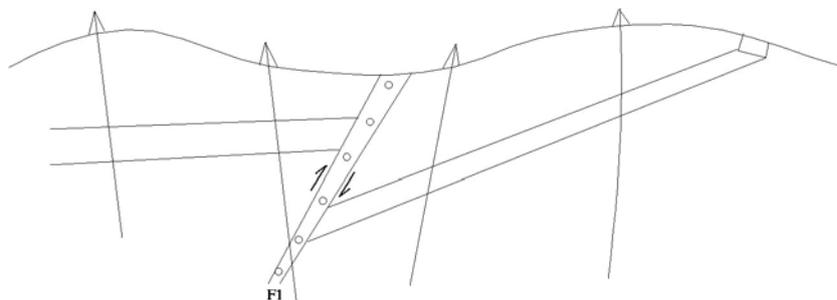


图3 两见矿工程间矿体被断层错断，可按已控制的矿体产状推到断层边界

(5) 对于形态复杂、具有不同产状的分枝矿体或交叉矿体，应划

分出分枝，而且在截面形态圈定时，也应在图上注明分枝产状的储量计算分界线(图 4)；

(6)两相邻工程所圈矿体中无矿夹石的层位相同，部位对应，地质特征一致，则应相连成同一夹层(图 5)。

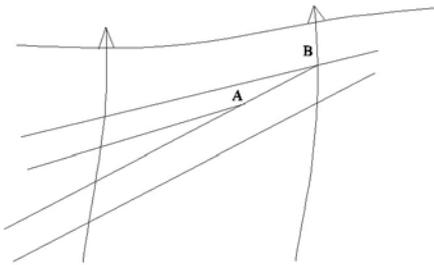


图4 分枝矿体应标明储量计算分界线

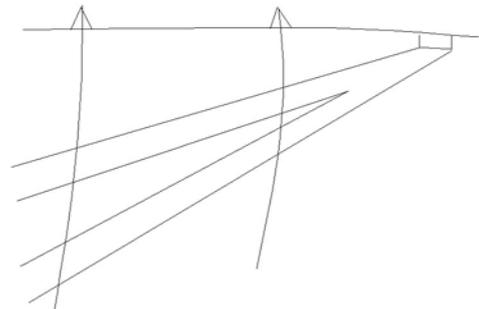


图5 同一产出部位夹石连接为夹层

2. 矿体边界点(线)圈定

(1)两相邻工程一个见矿，另一个不见矿时，用有限外推法确定边界；

①两相邻工程一个见矿，另一个不见矿时，按工程间距的二分之一作尖灭(图 6)；

②两相邻工程，一个见矿，若另一个只见矿化(即品位大于边界品位二分之一以上)则可推工程间距的三分之二尖灭(图 7)；

③两相邻工程，一个工程见矿，另一个工程只达到米百分值或米克吨值，则该工程可以作为矿体尖灭点处理(图 8)；

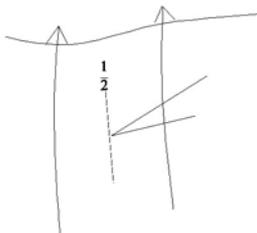


图6 两相邻工程只有一个见矿可内推二分之一尖灭(或板体四分之一)

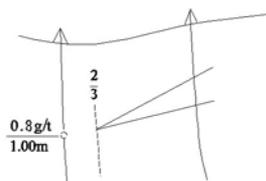


图7 某见矿工程可向两相邻见矿化工程内推三分之二尖灭(或板体三分之一)

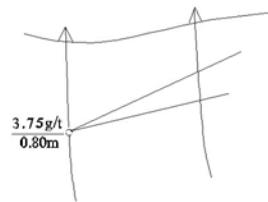


图8 见矿工程可向两相邻达到米克/吨值(表内矿)工程尖灭

④经工程证实，矿体为断层切割错开，在允许的间距范围内，矿体边界可平行推绘至断层线上(见图 3)；

⑤当只有单工程见矿，且矿体厚度小于夹石厚度时，不能列为“分枝”矿体(图 9)。

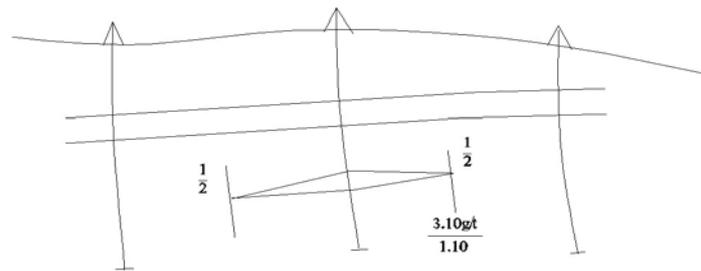


图9 不能划为分枝矿体的小矿体

(2) 见矿工程向外作无限推断时的边界点确定

见矿工程以外无工程控制，或未见矿工程到见矿工程之间距离远大于勘探时所要求的相应控制间距时，由见矿工程向外推断矿体之边界，称作无限推断，除特殊情况外，一般都作相应网度的二分之一尖灭。对于只达到米百分值或米克吨值的见矿工程，除绝大部分工程都按最低工业米百分值圈定的薄脉状富矿体外或在矿体内部包含的一个工程外，均不外推。

(三) 块段划分

块段是矿体储量计算的基本单元，块段的划分尽可能考虑地质因素，勘探手段和储量级别等因素，既不能划分过大，也不应划分过小。

1. 块段划分的原则

(1) 考虑地质因素：同一块段内产状基本稳定，矿体基本连续，

不受断层错动，形态较为规则，矿石类型、工业品级相同，品位比较稳定。

(2) 考虑相邻块段勘探手段应基本相同，如槽探、钻探、坑探或两种、三种手段的组合。块段划分不宜过大，也不应过小。块段分界线应尽可能以勘探工程间的连线为分界线(剖面法则以剖面为分界线)。如图 10 所示矿体垂直纵投影图。

(3) 同一块段储量级别应当相同，如图 10 所示。

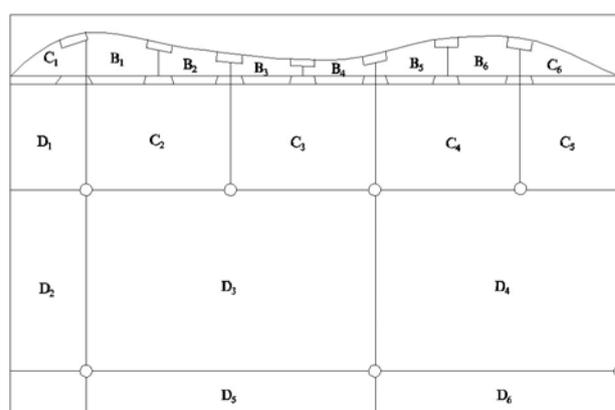


图 10 矿体垂直纵投影图

(4) 块段编号顺序一般应从上到下，从左到右，或从北到南、从西到东，按不同级别，顺序编号，以便在计算机过程中便于检查。块段代号应力求简单明了，切忌繁琐和生搬硬套。

2. 块段平均品位的计算原则

(1) 块段内工程密度基本相同，则由各工程品位和厚度加权平均求得，如图 10 中 B 级储量。

(2) 块段内各工程密度不同，则应分别加权，然后再平均计算，如图 10 中 C、D 级储量，应分别求取上部三个工程的加权平均品位和下部两个工程的加权平均品位，然后再次平均求得矿块平均品位。

(3) 表内矿工程和表外矿工程的块段平均品位计算。据前述批复的工业指标中，每个块段只允许携带一个表外矿工程。但前提是矿块平均品位应达到 5g/t 的要求。若矿块平均品位小于 5g/t 要求，则应降为表外矿块。

例 1：正常情况下含表外矿工程的块段平均品位计算(图 11)

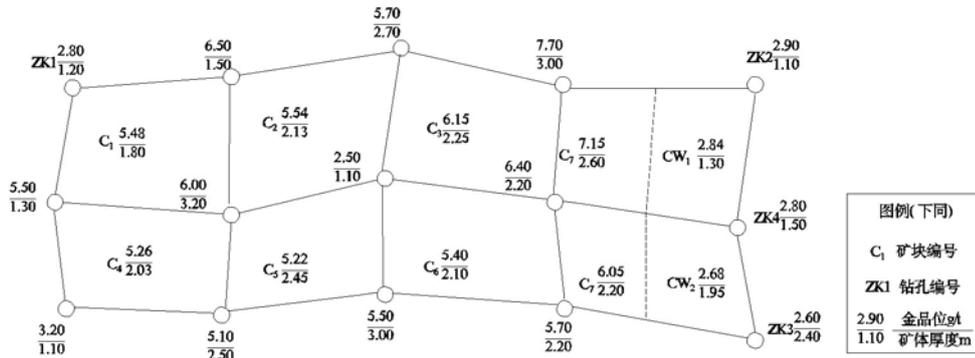


图11

①C₁块段为 4 个工程的块段，其中ZK₁ $\frac{2.80}{1.20}$ 为表外矿工程，按指标要求，可以划入块段内计算表外矿，经计算得C₁块段金平均品位 5.48g/t，平均厚度 1.80m。

②ZK₂ $\frac{2.50}{1.10}$ 为C₂、C₃、C₅、C₆四个块段的表外矿工程，经计算各块段平均品位及厚度为C₂ $\frac{5.54}{2.13}$ 、C₃ $\frac{6.15}{2.25}$ 、C₅ $\frac{5.22}{2.45}$ 、C₆ $\frac{5.40}{2.10}$ 均符合块段品位指标。故ZK₂表外矿工程可以参与表内矿块计算。

③ZK₃、ZK₄、ZK₅三个表外矿工程，因为分布在边部，而且每个矿块不允许带进两个表外矿工程，因此，在每个矿块中只好再次划分出表内矿块和表外矿块(各工程影响一半)。

例 2：特殊情况下包含表外矿工程的矿块平均品位(图 12)

① C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 四个矿块包含了一个表外矿工程 ZK_1 ，带入矿段后试算结果是，4个矿块品位均不符合矿块最低平均品位 $5g/t$ 的要求，表外矿工程 ZK_1 必须单独圈定。不再参加四个矿块的平均品位计算。

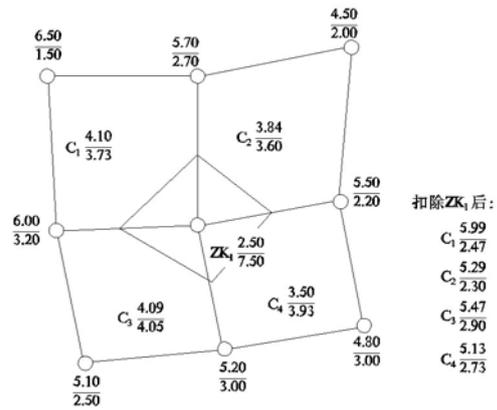


图12 (图例同图11)

②扣除表外矿 ZK_1 工程后，矿块平均品位计算结果为： $C_1 \frac{5.99}{2.47}$ 、 $C_2 \frac{5.29}{2.30}$ 、 $C_3 \frac{5.47}{2.90}$ 、 $C_4 \frac{5.13}{2.73}$ ，均符合块段最低平均品位要求。

例3：特殊情况下未知扣除表外矿块的情况(图13，改变 ZK_2 参数后引起的变化)

①扣除 ZK_1 工程后，矿块的平均品位及厚度是： $C_1 \frac{5.99}{2.47}$ 、 $C_2 \frac{5.29}{2.30}$ 、 $C_3 \frac{5.22}{2.90}$ 均符合矿块平均品位大于 $5g/t$ 的要求；

②唯有 $C_4 \frac{4.88}{2.73}$ 不符合矿块最低平均品位要求，处理意见有两种。

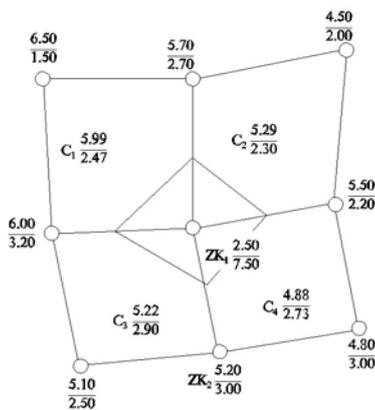


图13 (图例同图11)

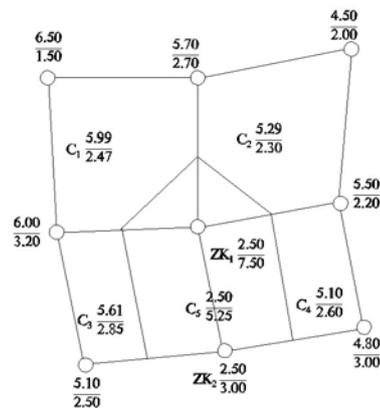


图14 (图例同图11)

一是原则上， C_4 矿块应当与 ZK_1 表外工程一同剔除，列为表外矿矿块；

二是若全区类似 C_4 的矿块只有少数几个，则可以考虑周边地质条件，作为特殊情况保留表内矿块。保留的前提是全矿区必须达到矿区最低平均品位的要求，如果工业指标中没有全区最低平均品位要求，但应在储量计算应当说明的问题中单独提出，以便开采时综合考虑其经济利用价值。

例 4：扣除表外矿工程后的矿块平均品位计算(图 14，改变 ZK_2 参数后引起的变化)

① ZK_1 、 ZK_2 均为表外矿工程，故按表内矿与表外矿各影响一半的原则，扣除表外矿影响的面积；

②计算结果如图 14 所示， C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 为表内矿块， C_5 为表外矿块。

四、储量计算参数的计算方法

(一)平均品位的计算方法

计算平均品位常用的方法有算术平均法及加权平均法。对于那些品位稳定的矿体，可用算术平均法计算。对于品位波动幅度较大的矿体，则应采用样长或矿体厚度加权平均法计算。当采样数量很大时，加权平均法与算术平均法所求得的结果往往是接近的，在作了必要的对比以后，亦可用算术平均法来代替加权平均法。

1. 单项工程平均品位的计算

单项工程算术平均品位的计算，就是用该工程各样品品位的代数和除以样品个数；单项工程加权平均品位的计算一般是以长度加权，即用各样品的长度与品位的乘积除以各样品的长度和。

2. 截面平均品位的计算

截面中各单项工程品位相差不太大时，可用算术平均法求取平均品位，如果单项工程品位出入较大时，可用单项工程的矿体厚度加权求取平均品位。当采用长度加权时应注意在同一截面中各单项工程之穿矿方向是否平行，如不平行时则应将各单项工程之穿矿长度换算成同一方向上之矿体厚度，然后按矿体厚度加权求矿体截面平均品位。

3. 块段平均品位计算

块段内各工程矿体厚度稳定，品位波动不大，则块段的平均品位用算术平均法求得，否则应按厚度加权平均法求得。

如果块段是由两个截面所圈定时，则块段平均品位应按矿体截面面积加权求平均品位。

4. 样品数量较少的条件下平均品位计算

在矿点检查、评价或勘探后期，样品数量较少，而样品品位波动又很大时，可采用几何平均数求矿体的平均品位。公式为：

$$C_0 = \sqrt[n]{C_1 \times C_2 \times C_3 \dots C_n}$$

式中， C_0 为矿体平均品位； C_1 、 C_2 ……为样品品位； n 为样品个数。

(二) 特高品位样品的确定及其处理方法

特高品位指的是矿床中那些比一般品位高出许多倍的异常品位，一般在矿化很不均匀的部位出现。特高品位样品的概念不是固定的，因此，确定特高品位样品的标准或界限在不同矿床或矿体，甚至同一矿体的不同勘查阶段是不同的。

1. 确定特高品位下限有四种方法

(1)变化系数法：根据矿床类型及有用组分的变化系数确定下限值，以往多以矿床平均品位的 2-15 倍为下限值。

(2)根据样品品位频率曲线确定特高品位下限值，即根据样品品位段及其出现的频率，找出特高品位的拐点值，即为下限。

(3)应用统计分析函数查明特高品位下限值。首先制作样品品位频率曲线，运用数理统计的方法确定其分布类型，计算样品分布的有关参数，按分布类型定出特高品位样品下限。

(4)影响系数法：即根据特高品位使矿区(床、体)平均品位增高的百分数，即影响程度来确定的下限值，通常用如下公式表示为：

$$\text{正常样品最高值：} H=C+\frac{C(N-1)M}{100}$$

式中，C为校正前的平均品位(或包括特高品位在内的平均品位)；N为参加计算的样品个数；M为特高品位使平均品位增高的百分数，即影响程度：

$$M=\frac{C-C_1}{C} \times 100\%$$

C_1 为剔除特高品位后所计算的平均品位；一般把 $M \geq 20\%$ 称为有用组分很不均匀的矿床； $M=15 \sim 20\%$ 为有用组分不均匀矿床； $M < 15\%$ 为有用组分均匀的矿床。

2. 特高品位样品的处理方法

(1)剔除特高品位样品，不参加平均品位的计算；

(2)以正常品位的上限值代替特高品位样；

(3)剔除特高样品的平均品位代替特高品位样品；或以包括特高品位在内的平均值代替特高品位。

(4) 剔除特高品位及过低部分的品位求平均值，以此代替特高品位；

(5) 用特高位相邻两侧样品或包括特高品位在内的三个连续样品平均值代替特高品位样品；

(6) 用前述的各种方法确定的特高品位下限值代替特高品位样品。

在上述各种方法中，以包括特高品位在内的平均品位值代替特高品位值的方法是经常使用的。

由于确定特高品位下限的办法种类很多，计算繁琐，为统一起见，原国家储量管理局下发了国储 [1991] 164 号文，统一规定了在编写和审批报告处理特高品位时，其下限值一般取矿体平均品位(包括特高品位在内)值的 6-8 倍。当矿体品位变化系数大时，采用上限值；变化系数小时，采用下限值，在实际应用中效果较好。处理时其影响范围不宜过大，以用特高品位所影响块段的平均品位或工程(当单工程矿体厚度较大时)平均品位代替为宜。特殊情况下，当矿体地段中某工程平均品位高于各相邻工程平均品位 6-8 倍以上尚不及矿体平均品位的 6-8 倍时，作为特殊情况亦需处理，方法同上。

(三) 矿体厚度计算

1. 钻孔矿体厚度计算

由于钻孔所穿过的矿体厚度与储量计算所需要的矿体厚度方向不一致，因此需进行换算。换算时除涉及钻孔的穿矿厚度、钻孔穿矿的方位及倾角外，尚涉及矿体产状(主要是倾向及倾角等)参数。对于

矿体产状稳定者，可采用矿体产状总的平均值作为换算的依据。对于矿体形态比较复杂，产状变化较大者，应使用钻孔见矿处的局部产状，因而，需用图解与计算等方法求得。

矿体产状可通过制作钻孔见矿点的等高线图法，三点法的图解法及解析法以及下面所列举的公式等方法求得。矿体厚度换算主要公式如下：

设：L为钻孔穿矿厚度； m_g 为矿体倾向剖面上矿体水平厚度； m_s 为钻孔钻进剖面上矿体水平厚度； m_r 为勘探线剖面上矿体水平厚度； r_s 为钻进剖面与矿体倾向夹角； θ_s 为钻进剖面与矿体走向夹角； r_r 为勘探线剖面与矿体倾向夹角； θ_r 为勘探线剖面与矿体走向夹角； β 为见矿处钻孔倾角； α_s 为钻进剖面上矿体伪倾角； α_r 为勘探线剖面上矿体伪倾角； α 为矿体真倾角； m_v 为矿体垂直厚度；M为矿体真厚度。

(1)沿钻进剖面上的矿体水平厚度 m_s ；

求证 $m_s = \frac{\sin(\beta + \alpha_s)}{\sin\alpha_s} \cdot L$ 当钻进方向与矿体倾向相背时(见图 15)，

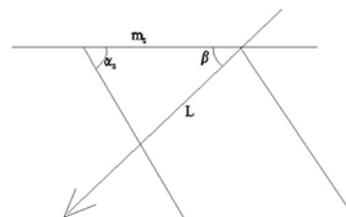


图15 钻进方向与矿体方向相背

$$\begin{aligned} \therefore \frac{L}{\sin\alpha_s} &= \frac{m_s}{\sin[180^\circ - (\beta + \alpha_s)]} \\ \therefore m_s &= \frac{\sin[180^\circ - (\beta + \alpha_s)] \cdot L}{\sin\alpha_s} = \frac{\sin(\beta + \alpha_s)}{\sin\alpha_s} \cdot L \end{aligned}$$

当钻进方向与矿体倾向相同时(见图 16)，

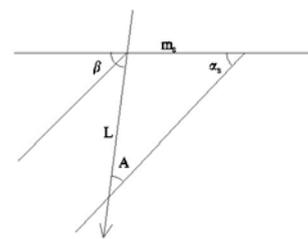


图16 钻进方向与矿体方向相同

$$\therefore \frac{L}{\sin\alpha_s} = \frac{m_s}{\sin A}, \text{ 且 } \angle A = \angle \beta - \angle \alpha_s$$

$$\therefore m_s = \frac{\sin A \cdot L}{\sin \alpha_s} = \frac{\sin(\beta - \alpha_s)}{\sin \alpha_s} \cdot L$$

$$\text{因此, } m_s = \frac{\sin(\beta \pm \alpha_s)}{\sin \alpha_s} \cdot L$$

(2) 勘探线上矿体水平厚度 m_τ : 求证 $m_\tau = L$.

$$\sin(\beta \pm \alpha_s) \cos \gamma_s / \sin \alpha_s \cdot \cos \gamma_\tau \text{ (见图 17)}$$

$$\therefore m_\tau = m_g / \cos \gamma_\tau$$

$$m_g = m_s \cdot \cos \gamma_s$$

$$\therefore m_\tau = m_s \cdot \cos \gamma_s / \cos \gamma_\tau$$

又因前面所证 $m_s = L \cdot \sin(\beta \pm \alpha_s) / \sin$

α_s 所以,

$$m_\tau = L \cdot \sin(\beta \pm \alpha_s) \cos \gamma_s / \sin \alpha_s \cdot \cos \gamma_\tau$$

(3) 矿体倾向剖面上矿体水平厚度 m_g : 求证 $m_g = L \cdot \sin(\beta \pm \alpha_s) \cos \gamma_s / \sin \alpha_s$ (见图 18)

$$\therefore m_g = m_\tau \cdot \cos \gamma_\tau$$

$$\text{又 } m_\tau = L \cdot \sin(\beta \pm \alpha_s) \cos \gamma_s / \sin \alpha_s \cdot \cos \gamma_\tau$$

$$\therefore m_g = m_\tau = L \cdot \sin(\beta \pm \alpha_s) \cos \gamma_s \cdot \cos \gamma_\tau / \sin \alpha_s \cdot \cos \gamma_\tau$$

$$= L \cdot \sin(\beta \pm \alpha_s) \cos \gamma_s / \sin \alpha_s \quad \text{即证。}$$

(4) 矿体垂直厚度 m_v : 求证 $m_v = L \cdot \sin(\beta \pm \alpha_s) / \cos \alpha_s$ (见图 19)

$$\therefore m_v / \sin \alpha_s = m_s / \sin(90^\circ - \alpha_s), \text{ 又}$$

$$m_s = \frac{\sin(\beta \pm \alpha_s)}{\sin \alpha_s} \cdot L$$

$$\therefore m_v = m_s \cdot \sin \alpha_s / \sin(90^\circ - \alpha_s)$$

$$= \frac{\sin(\beta \pm \alpha_s) \cdot L}{\sin \alpha_s} \cdot \sin \alpha_s / \sin(90^\circ - \alpha_s)$$

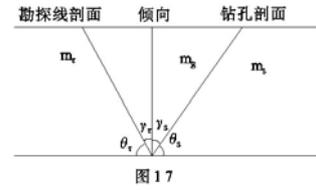


图 17

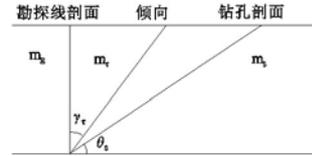


图 18

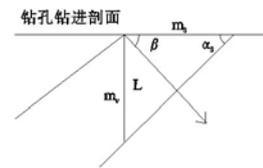


图 19

=L · sin(β ± α_s) / cos α_s 即证。

(5) 矿体真厚度m: 求证m=L · sin(β ± α_s) cos α / cos α_s (见图 20)

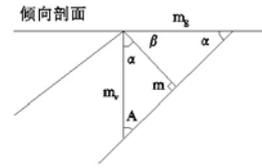


图 20

∵ ∠A=90° - ∠α, 又m_v= L · sin(β ± α_s) / cos α_s

$$\therefore m = m_v \cdot \sin A$$

$$= \sin A \cdot L \cdot \sin(\beta \pm \alpha_s) / \cos \alpha_s$$

$$= \sin(90^\circ - \alpha) \cdot L \cdot \sin(\beta \pm \alpha_s) / \cos \alpha_s$$

$$= L \cdot \sin(\beta \pm \alpha_s) \cos \alpha / \cos \alpha_s \text{ 即证。}$$

式中的矿体真倾角 α, 可由剖面上所量得的伪倾角反算:

∵ 由图 20 可知 tan α = m_v / m_g

由图 21 可知 tan α_τ = m_v / m_τ, 即 m_v = m_τ ·

tan α_τ

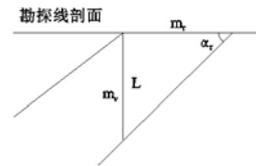


图 21

由图 18 可知 cos γ_τ = m_g / m_τ, 即 m_g = m_τ ·

cos γ_τ

$$\therefore \tan \alpha = m_\tau \cdot \tan \alpha_\tau / m_\tau \cdot \cos \gamma_\tau = \tan \alpha_\tau / \cos \gamma_\tau$$

另由图 17 可知 sin θ_τ = m_g / m_τ, 即 m_g = m_τ · sin θ_τ

$$\therefore \tan \alpha = m_\tau \cdot \tan \alpha_\tau / m_\tau \cdot \sin \theta_\tau = \tan \alpha_\tau / \sin \theta_\tau$$

因此, tan α = tan α_τ / cos γ_τ, 或 tan α = tan α_τ / sin θ_τ

上述是基本公式, 读者还可以导出其他一些公式, 在此从略。

2. 坑道及探槽矿体厚度换算

坑道和探槽控制的矿体形态与产状比较确切, 因而, 换算成储量

计算所需要的矿体厚度其精度较高。

(1) 矿体水平厚度

当勘探线方向与矿体走向垂直又与矿体剖面投影图一致时，穿脉或探槽沿勘探线所揭露的矿体厚度，即是所需要的矿体水平厚度。

如果穿脉或探槽不平行勘探线，或与矿体纵投影图斜交时，则矿体水平厚度 m_τ 应按下列公式计算：

$$m_\tau = L \cdot \cos \gamma_s / \cos \gamma_\tau \text{ 或 } m_\tau = L \cdot \sin \theta_s / \sin \theta_\tau$$

式中， γ_s 为矿体倾向与穿脉或探槽方位夹角； γ_τ 为矿体倾向与矿体纵剖面投影图法线间的夹角(即与勘探线夹角)；或者是矿体走向与矿体纵投影图方位的夹角； θ_s 为矿体走向与穿脉或探槽间的夹角； θ_τ 为矿体走向与纵投影图法线间的夹角(即与勘探线夹角)。

$$\because \text{由图 22 可知 } m_g = m_\tau \cdot \cos \gamma_\tau, \quad m_g = L \cdot \cos \gamma_s$$

$$\therefore m_\tau \cdot \cos \gamma_\tau = L \cdot \cos \gamma_s$$

$$\text{即 } m_\tau = L \cdot \cos \gamma_s / \cos \gamma_\tau$$

$$\text{又由图 22 可知 } \angle \gamma_s = 90^\circ - \angle \theta_s, \quad \angle \gamma_\tau$$

$$= 90^\circ - \angle \theta_\tau$$

$$\text{则 } m_\tau = L \cdot \cos (90^\circ - \angle \theta_s) / \cos (90^\circ - \angle \theta_\tau)$$

$$= L \cdot \sin \theta_s / \sin \theta_\tau$$

(2) 矿体垂直真厚度 m_v ：求证 $m_v = L \cdot \cos \gamma_s \cdot \tan \alpha$ ，或 $m_v = L \cdot \sin$

$$\theta_s \cdot \tan \alpha$$

$$\because \text{由图 20 可知 } m_v = m_g \cdot \tan \alpha, \quad \text{由图 22 可知 } m_g = L \cdot \cos \gamma_s$$

$$\therefore m_v = L \cdot \cos \gamma_s \cdot \tan \alpha$$

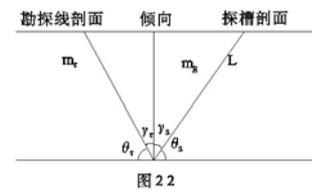


图 22

$$\begin{aligned} \text{又} \because \angle \gamma_s = 90^\circ - \angle \theta_s, \therefore m_v &= L \cdot \cos(90^\circ - \angle \theta_s) \cdot \tan \alpha \\ &= L \cdot \sin \theta_s \cdot \tan \alpha \end{aligned}$$

即证 $m_v = L \cdot \cos \gamma_s \cdot \tan \alpha$ ，或 $m_v = L \cdot \sin \theta_s \cdot \tan \alpha$

(3) 矿体真厚度 m ：求证 $m = L \cdot \cos \gamma_s \cdot \sin \alpha$

\because 由图 20 可知 $m = m_g \cdot \sin \alpha$ ，由图 22 可知 $m_g = L \cdot \cos \gamma_s$

$\therefore m = L \cdot \cos \gamma_s \cdot \sin \alpha$ ，即证。

3. 矿体截面平均厚度的计算

通常当穿脉与深部钻孔联合圈出的块段，在计算矿体平均厚度时，需用矿体截面的平均厚度。如果矿体由等间距的平行穿脉坑道控制，则其平均厚度可用算术平均法求得，如矿体变化较大，而且穿脉坑道的间距又不相等时，可用穿脉坑道影响的距离加权求出平均厚度。

如果矿体截面形态很复杂，此时可用矿体之截面面积除以矿体的投影长度求得矿体在该截面上的平均厚度。

4. 块段平均厚度计算

块段平均厚度计算原则基本上与块段平均品位的计算原则相同，最常用的为算术平均法。其次为按影响系数，用加权平均法求得。

(四) 平均体重计算

体重是储量计算的一项重要参数，它对矿石量的影响权数最大，因此必须认真重视体重样的采集和计算。平均体重应按不同矿石类型分别计算。通常要求每一种矿石类型的小体重样品不应少于 30 个并均匀分布于矿床的各区段中，样品的采集一定要有代表性；对于金属

矿产的小体重样品，在测完体重后，应有相应的化学分析结果，并且应分别统计不同品位区间的体重，按矿区总体品位区间的比例，最终计算矿区平均体重。对于不同矿石类型应分别统计体重，并按不同矿石类型在矿体中占的比例，最终计算矿区到平均体重。

只有当全矿区平均体重变化不大时，才可以采用全矿区计算一个平均体重；一般情况下，小体重的统计结果应采集大体重样进行校正，对于松散和多孔状态的矿石必须采集大体重样品加以校正，并用孔隙度和温度校正小体重值。

(五) 含矿系数计算

含矿系数又称可采系数。对于那些有用组分分布很不均匀的矿床，例如某些稀有和贵金属矿床、伟晶岩矿床以及某些堆积锰矿等，可采的工业矿段与非工业矿段互相穿插交错，在一般情况下，用正常的勘探工程间距往往不能探明工业矿体的分布情况，故储量计算中引入含矿系数概念，并用它来校正“勘探所得的储量”。因此，一般不能用含矿系数求得高级储量，含矿系数的运用是有条件的。例如：

(1) 工业矿石与非工业矿石互相穿插交错，在矿区勘探阶段用较密的工程也难于圈定出可采部分的形态。

(2) 在开采时，工业矿石不能单独进行开采。

(3) 在开采以后不能够将工业矿石与非工业矿石分离。

如果矿床中的工业富矿石与贫矿石能分别开采或加工时能分别处理，则不应利用含矿系数计算储量。

含矿系数可按下列公式求得：

$$K = l/L, K = s/S, K = v/V, K = q/Q$$

式中，K 为含矿系数； l 为工业品级矿石的长度或工程穿越矿体之厚度； L 为整个矿体长度或工程穿越矿层总厚度(含非工业矿石)； s 为工业品级矿石的面积； S 为整个矿体的面积； v 为工业品级矿石的体积； V 为整个矿体(层)的体积； q 为工业品级的矿石量； Q 为整个矿体(层)的矿石量。

计算和运用含矿系数时应注意的几个问题：

(1) 在勘探中，业已查明之无矿地段并且在开采时或留作柱，或能分开处理时，这一地段可不用含矿系数。

(2) 应用含矿系数计算储量时，参与块段平均品位计算的样品应与参加含矿系数计算相应的样品一致。

(3) 在计算含矿系数或运用含矿系数计算储量时，应对矿体中有用组分在空间上变化进行分析研究。当品位变化在空间上有一定规律时，含矿系数应按块段分段进行计算和处理。如变化不显著时，可根据具体情况，按矿体或储量等级进行计算和处理。

五、面积、体积测定及储量计算

(一) 面积测定方法

测定面积的方法可以分为器械法、图解法及分析法。简要说明如下：

1. 定极求积仪法

即用定极求积仪测定图形面积。通常是将放在测量图的左方及右方，分别连续测定二、三次，在允许误差范围内求取平均值(精度要

求一般为 1%)。

2. 求积透明板法

对图形复杂面积又小时，可用求积透明板测定之。求积透明板的形状很多，有方格透明板、平行线透明板、双曲线透明板及求积圆盘等。其中以方格透明板和平行透明板使用广泛而且简单方便。测定时将透明方格纸转动 45° 重复统计一次，两次误差小 3% 时取平均值。

(3) 图解法(几何法)

将所测定的面积划分成长方形、三角形等各种几何图形计算面积。这是最常用和最简便的测定方法，其应用最广，其中以三角形精度最高。

4. 纵树法

纵树法实质就是解析法。是由勘探工程原始数据直接求得起算数据。适用于多边形面积，尤其是形态复杂时工作效率比图解法高。它利用计算机将求差、求积及求和的步骤连续进行，速度快、工效高，方法本身有计算，有检查，准确度高，方法也容易掌握。

纵树法计算面积公式：

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1})$$

将 X 轴与 Y 轴互换后可得：

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n y_i (x_{i+1} - x_{i-1})$$

用两式计算结果，可以相互验算。

纵树法计算多边形面积时，以各角顶点坐标值为起算数据，为使

各点坐标值均为正值，将所求面积置于第一象限中，坐标值一般取三位整数和 1-2 位小数，即可满足计算的要求。

(1)用矿体水平投影图计算储量时，可由平面图坐标系统量取。

(2)对陡倾斜矿体或用平行剖面法计算储量时，则需要在矿体垂直纵投影图或储量计算剖面图上建立直角坐标系统，以高程为一坐标轴，另外再选某一勘探线(对于矿体垂直纵投影图而言)或某一勘探基线为另一坐标轴量出坐标值。

(3)再一种作法是利用勘探线及其基线建立直角坐标系统，结合高程三度空间的坐标系统。假设一坐标原点，通过坐标换算公式将勘探工程的地理坐标改算为勘探网坐标系统值，并以此编制各种图件，计算见矿顶板、底板，以及见矿中点坐标值，以此数据制图并计算面积。此法可以消除其他各种方法不可避免的误差。

(二)块段体积计算

对于开采块段法，地质块段法等求块段体积时，一般均为块段投影面积乘其法线方向上的矿体厚度或平均厚度，结合对矿体变化掌握程度选以合适的体积计算公式，现将断面体积计算中常用的几个公式说明如下：

1. 棱柱体公式

两截面形状相似，面积差不超过 40%；两截面形状不同，但两者的长轴相等或接近相等；两个截面形状不同但其分解后的各种简单个体均是楔形体时均可采用此公式。

此公式广泛用于平行断面法与等值线法

矿体体积： $V = \frac{1}{2} (S_1 + S_2) \cdot L$

式中， S_1 、 S_2 为两个截面面积； L 为两个平行截面间的距离。

2. 截锥体公式

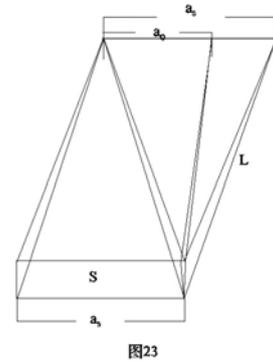
两个截面形状大致相似，其侧棱延长线交点接近于角锥体，两者的面积差大于 40%，或截面积虽相差不大，而形状不规则时，皆用下列公式计算：

$$V = \frac{1}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2})$$

3. 楔形体公式

当块段只有一个截面有效，向另一个截面作线形尖灭，且有效截面的任一轴长与尖灭线相等时使用下式：

$$V = \frac{1}{2} S \cdot L$$



如为楔形时，(图 23)可用下式：

$$V = \frac{1}{3} S \cdot L + \frac{1}{6} S \cdot L \cdot \frac{a_0}{a_s}$$

4. 角锥体公式

当块段只有一个截面有效，另一端作点尖灭皆可用此公式：

$$V = \frac{1}{3} S \cdot L$$

5. 通用公式

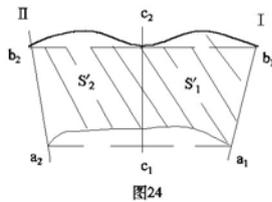
当两个截面对应形状不同或复杂，或是不同心的截锥体，面积值不论相等或不相等，都可以采用下列公式计算：

$$V = \frac{L}{6} \left[S_1 \left(2 + \frac{l_2}{l_1} \right) + S_2 \left(2 + \frac{l_1}{l_2} \right) \right] \text{ 或 } V = \frac{L}{6} \left[S_1 \left(2 + \frac{m_2}{m_1} \right) + S_2 \left(2 + \frac{m_1}{m_2} \right) \right]$$

式中， l_1 、 l_2 为两个截面积的长轴， m_1 、 m_2 为两个截面积的平均宽度。前述之四种体积公式在运用上难以确定时，都可以用此公式计算。

6. 不平行截面的块段体积计算

参加计算的两个截面不平行时可用图解分析法



法计算块段体积（图 24）

$$V_1 = S_1 \times \frac{S'_1}{l_1} \quad V_2 = S_1 \times \frac{S'_2}{l_2} \quad V = V_1 + V_2$$

式中， S_1 、 S_2 分别为 I、II 两个剖面的矿体截面面积； S'_1 、 S'_2 分别为两个辅助块段的水平投影面积； l_1 、 l_2 分别为 I、II 两个剖面的矿体投影宽度，即 a_1b_1 、 a_2b_1 ； V_1 、 V_2 分别为两辅助块段的体积。

（三）块段矿石量及金属量计算

块段矿石量计算： $Q = V \cdot D$

式中， Q 为块段矿石量； V 为块段体积； D 为块段之矿石体重。

块段之金属量： $P = Q \cdot C$

式中， P 为块段之金属量； Q 为块段之矿石量； C 为块段之平均品位。

矿体或矿区之储量应按不同矿石品级，不同储量级别之块段累计求得。

（四）储量计算中各种数据的进位要求

在储量计算中各种参数及储量的不数点进位规则是“四舍六入。逢五奇进偶舍”。

储量计算各参数的有效值：有色金属矿石品位一般要求小数点后

两位，黑色金属品位取整数；矿体厚度及体重取小数点后两位，截面距离及面积取整数，矿石及金属量取整数。

六、伴生元素的储量计算

伴生元素的储量计算是在技术上可行，经济上合理的前提下，对可以综合回收利用的有益元素才进行储量计算。若暂时尚难利用则只需在报告中指出并建议加强综合研究，综合回收利用即可。

可以利用的伴生元素储量与主要有用组分的储量计算应同时进行。按矿石的工业类型和品级分别计算，计算时除伴生元素品位外，其他储量计算参数与主要组分基本相同。若伴生元素品位有大量的基本分析成果或组合分析成果，则可按正常方法计算储量，但其储量级别应相应降低一级。若无系统分析，则不能计算储量，或只可用单矿物法或精矿法近似地计算出伴生元素的资源量。其计算结果只供综合利用和综合研究工作参考。

在选冶过程中可以回收利用，经济效益较好的分散元素，其工业指标也是根据不同的矿石类型，不同的选冶条件以及不同时期的工业要求而确定的。对伴生元素最低工业品位的一般要求请参考 1986 年全国矿产储量委员会办公室编印的《矿产工业要求参考手册》。

七、储量计算图件的编制及计算表格的制定

（一）储量计算图件的编制

储量计算图件是进行储量计算必备的资料，有关矿体的圈定，块段的划分，面积测定等工作均需在储量图上进行，其比例尺一般为 1: 1000 或 1: 500。主要图件包括取样平面图，储量计算剖面图，平

面图、纵投影图以及矿体等值线图。对于某些露天开采矿床尚需制作剥离比等值线图。矿区或矿床的 1: 1000—1: 2000 地形地质图是储量计算不可缺少的图件。

1. 取样平面图

包括地表取样平面图及中段取样平面图(或称矿体水平断面图)。这种平面图的主要用途是用以圈定矿体的厚度及截面形态,因而图纸的主要内容应包括:坐标网、勘探线及基线、勘探工程的位置及编号、取样位置及样品编号(包括加工技术样品及物理试验样品)。控制矿体及其形态的各项主要地质因素,例如含矿层、矿体顶底板及主要地层(或岩石)界线、岩性符号、岩层产状、褶皱及断裂等构造以及各种脉状地质体对矿体的切割关系,围岩蚀变的范围、种类及其强度。矿体,矿石类型及矿石品级的分界线、块段界线及编号、样品分析结果表等。

2. 储量计算剖面图或勘探线剖面图

其用途和取样平面图相同外还用于确定储量计算的有关参数。前者属于矿体水平截面图件,后者属于矿体的垂直截面图件。它与地质剖面图略有区别,因为它的重点在于表达与矿体形态直接有关的资料,附有详细的取样分析资料表和储量计算的边界线、边界点,储量计算块段的编号、面积及储量级别等。因此,除与圈定矿体有关的地质因素外,其他地质因素均可舍去。

在某些矿区储量计算剖面图与勘探线剖面图可以合并编制。若勘探线剖面图比例尺较小,不能详细表达取样成果及有关储量计算方面

的资料时，应单独编制。

3. 矿体纵投影图

矿体纵投影图分为水平投影图、垂直投影图以及倾斜投影图。此三种图的多用途是圈定矿体的边界线，进行块段划分，测定矿体投影面积，同时，也是总体反映矿体的勘探程度的综合性图件。下面作重点介绍。

(1) 矿体垂直纵投影图

适用于矿体产状陡倾，勘探线基本垂直矿体走向。

①比例尺：根据矿体规模与精度要求而定，一般为 1：500—1：2000。

②图纸内容：投影方位、标高线、经线或纬线、剖面线、地形线、探槽、天井、竖井、水平坑道、穿脉、钻孔、采场、断层、岩脉、矿体边界、块段编号，如果是储量计算垂直纵投影图还应突出储量级别及块段储量计算结果等内容。如块段面积、平均厚度、平均品位、块段矿石量和金属量等在图内标注不清，可在图件下或右侧列表说明之。

③制图所依据的资料：矿区地形地质图，中段取样平面图，坑道测点坐标网、勘探工程分布图、天井、穿脉平面图和剖面图，钻孔平均品位计算表，钻孔厚度核算表，储量计算剖面图或地质勘探剖面图（附钻孔方位平面图）。

④制图工序及方法简述

1) 确定投影面：投影面方位一般选垂直于勘探线的方向上而且

通常是与矿体的总体走向一致。投影线与矿体走向面的夹角一般不能大于 15° ，如大于 15° ，各勘探线数值则需要换算，必要时采用分段投影线，但应注意两者的衔接，适当地划分开分界区间，并给出经线或纬线（应选与投影线夹角大于 45° 的一组）。

2) 绘制标高线：选择适当高度，使矿体恰好位于图幅中间，标高线在图上距离为 10cm，并在左端注上标高值。

3) 由于投影面垂直于勘探线，选择需要的勘探线全部投上，先在矿区地形地质图上选取垂直投影图的切线位置，将切线上的地形展绘到投影图上，再将勘探线通过切线的点转绘到投影图上并以该点向下划垂线，将切线上探槽的切割图形及其他必要内容展绘图上。

4) 地表部分绘图：矿体两端如不在切线上或相差较大时，应将矿体中心的地形投影到该切线（面）上。其次是对探槽的绘制。应切绘探槽所揭露的矿体的中心点的位置和标高。

5) 坑道中段穿脉及表内外块段的绘制：根据投影线与勘探线将每个穿脉垂直投影到图上，如有沿脉坑道，应绘出并注明中段号。

6) 绘制天井：天井穿脉、竖井及采矿场。

7) 断层及岩脉空白区的绘制：断层的断距平面图上很清楚的将矿体切开，而在投影图上则表现为空白区，空白区的大小与断距的大小及投影方位有关。如投影线固定，空白区的大小与断距成正比，有时表现为一断层线。切割空白区与岩脉时，先将矿体中心线与断层线交点垂直投影到图上，再将断层切开的矿体两端投影到图上，联结地表及坑内各对应点即面空白区。空白区及岩脉所占面积，计算储量时

应去掉。同理，由断层形成的重叠区，在图上亦应表现。

8) 钻孔的绘制：根据钻孔资料将钻孔见矿中心点的实际位置投影图上，并注明孔号，厚度及平均品位。

(2)矿体水平投影图

①比例尺：根据矿体规模精度要求而定，可选 1: 500—1: 1000。

②图纸内容：坐标网、地表矿体中心线，坑道沿脉、穿脉，矿体某水平平面为中心投影，钻孔矿体中心投影，落空钻孔位置，矿体与矿化带分界点，竖井、断层、岩脉、剖面线、块段等。如果是储量计算水平投影图，则还应该重点突出储量计算的块段编号、块段级别以及块段储量计算结果的有关数据，如块段面积、块段平均厚度、平均品位、块段矿石量及金属量等。若图内标注有困难，可在图幅下方或适当位置列表表示。

③制图依据资料

块段地形地质图、中段取样平面图、中段地质平面图、勘探工程分布图、地质剖面图或储量计算剖面图以及储量计算结果有关表格等。

④制图工序及方法简述

1) 绘制坐标网

2) 地表矿体中心走向线的绘制：在矿区地形地质图上选取矿体变化转折处中心点，依据坐标编制到投影图上，然后将各点联线即成。

3) 坑道穿脉中心线的投制：先在中段地质图上选取矿体变化转折处的中心点，然后按坐标编制到投影图上，各点联接即成。选取中

心点除应考虑中段地质平面图矿体变化转折点外，还应考虑到：有工业矿体时则取工业矿体矿体中心线与穿脉交点；只有非工业矿体时，就取非工业矿体中心线与穿脉交点；两者皆有则取工业矿体中心线交点；仅有矿化带则取矿化带交点；矿体中心线遇有断层时，中心按断距大小断开。总的原则是：不让矿体中心线有急骤变化而歪曲了矿体的真实走向。

4) 钻孔矿体中心点的投影：根据钻孔见矿的平面位置的坐标投射到投影图上，落空的钻孔同法绘制。

5) 竖井位置、断层岩脉等利用坐标绘制。

6) 矿体的推绘与划分：根据矿体地质特点和工程间距按前述的处理办法绘制零点边界线及计算边界线。

(3) 矿体倾斜纵投影图

矿脉倾角大于 30° 小于 60° 者，采用倾斜面投影法计算储量精度较高。但制图难度比较大，如没有特殊要求，一般不采用此图。其制图方法如下：

①统计矿脉走向及倾斜，计算出矿脉的平均走向、平均倾角，以此制图。

②按照矿脉的平均走向在地形地质图或坑道平面图上定出矿脉的平均走向线。计算出坐标线在纵投影图与矿脉平均走向的夹角，即可确定坐标的空间位置。

③图的坐标间距采用截切矿脉平均走向的坐标线距离。图的高程距按矿脉平均倾角计算确定。

④倾斜面投影图的地形线是矿脉地表出露高程投影在矿脉平均走向线上，以矿脉为中心点线的实际高程点制图。

⑤根据计算所得坐标线上的斜度及间距，和高程线的倾斜间距，分别把坐标线及高程线画在倾斜面投影图上。

⑥按坐标线及高程线将控制矿脉的坑道、钻孔、槽探、井探、民窿、采空区、岩脉及断层等位置绘于图上，划分块段圈出工业矿体边界。⑦用此法制图时，以矿脉真厚度计算储量。

⑧在图上钻孔处注明：（上述两图件亦同）

孔号 $\frac{\text{矿层厚度(m)}}{\text{矿石品位}}$ 矿心采取率%

探槽及穿脉处注明：

工程号 $\frac{\text{矿层厚度(m)}}{\text{矿石品位}}$

每个块段应写上储量级别及块段号，表示内容如下：

块段储量级别，块段号

$$\frac{S(\text{块段面积})\text{m}^2, M(\text{平均厚度})\text{m}, C(\text{平均品位})\%}{Q(\text{矿石量})t, P(\text{金属量})t}$$

倾斜面坐标线的倾斜角“ α ”可按下列公式计算：

$$\alpha = 90^\circ - \arctan(\cos \theta \tan \gamma)$$

式中， θ 为矿脉平均倾角； γ 为坐标线与勘探线在平面图上的夹角。

（证明：略）

其他图件，因文章篇幅有限，在此不能一一细述。

（二）储量计算表格的制定

随着计算方法的不同，储量计算表格的形式也各异。表格的制定是储量计算工作中的一个重要环节。一般要求如下：

1.表格的制定应与储量计算的工作程序相一致。

2.计算表格应包括计算过程中的全部起算的基础资料和必要的中间数据，以便于检查。

3.表格的眉目应清楚。表格的格式应与所采用的计算工具相适应，以减少抄表过程，删去不必要的中间数据，并删去与储量计算无关的其他内容。

本文建议的五种基本表格如下：

表 7：槽、坑、钻探工程中矿体平均品位、体重计算表

表 8a：槽、坑、钻探工程中矿体水平、垂直厚度计算表

表 8b：钻探工程中矿体水平、垂直厚度计算表

（若需要计算真厚度，可在后面加一栏）

表 9：块段平均品位、厚度、体重计算表

表 10：块段面积计算表（断面法也可适当修改）

表 11：块段储量计算表（也可以用作矿体（床）储量计算总表）

各表格式如下：

储量计算参数说明：

L —钻孔穿矿厚度；

m_g —矿体倾向剖面图上矿体水平厚度；

m_r —勘探线剖面图上矿体水平厚度；

γ_s —钻进剖面与矿体倾向（反倾向）夹角；

θ_s —钻进剖面与矿体走向夹角；

γ_τ —勘探线剖面与矿体倾向（反倾向）夹角；

θ_τ —勘探线剖面与矿体走向夹角；

β —见矿处钻孔倾角；

α_s —钻进剖面上矿体伪夹角；

α_τ —勘探线剖面上矿体伪夹角；

α —矿体真倾角；

m —矿体真厚度；

m —矿体垂直厚度

