

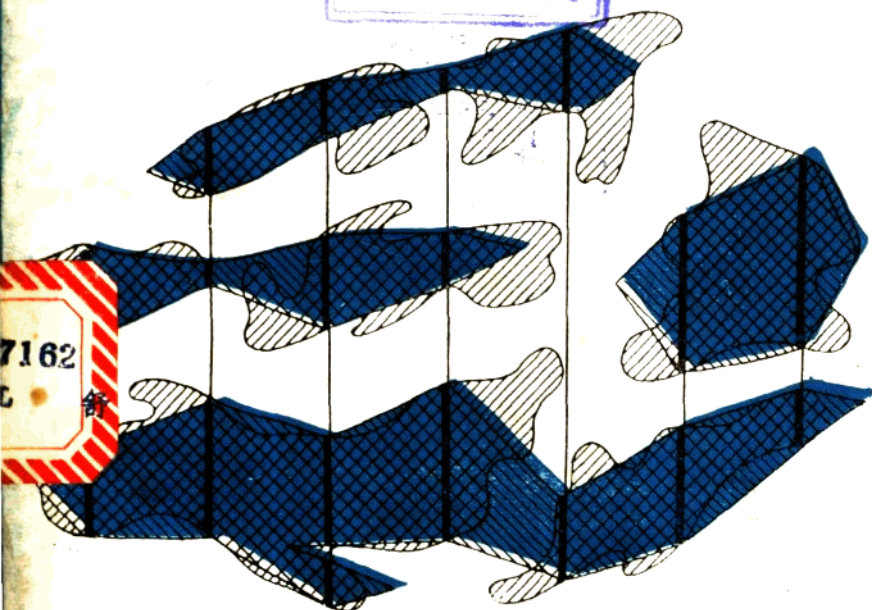
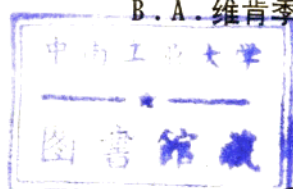
674815

原子能出版社

铀矿床 储量计算

M. B. 舒米林

B. A. 维肯季耶夫



目 录

前言	(1)
第一章 铀矿床储量计算方法概况	(3)
第一节 铀矿床评价特点	(3)
第二节 矿床储量分类原则	(9)
第二章 铀矿床工业类型	(17)
第一节 从储量计算观点看铀矿床构成特点	(17)
第二节 铀矿床最主要的工业类型	(20)
第三章 工业标准	(34)
第一节 标准的种类及其论证	(34)
第二节 标准论证资料准备的若干问题	(46)
第四章 储量计算中工业矿体的圈定	(57)
第一节 圈定的基本情况	(57)
第二节 勘探工程中矿段界线的圈定	(58)
第三节 勘探工程中含矿带界线的确定	(63)
第四节 适合溶浸开采的工业含矿带界线的圈定	(70)
第五节 矿体和含矿带的圈定	(71)
第五章 储量计算方法和计算块段的划分	(73)
第一节 储量计算方法	(73)
第二节 计算块段的划分	(87)
第三节 溶浸开采的矿床的储量计算	(95)
第六章 平均参数的计算	(98)
第一节 块段面积的计算	(98)
第二节 平均参数地质统计值的计算	(100)
第三节 克立格法	(108)
第四节 关于“特高”样品问题	(113)

第七章	含矿系数的利用	(120)
第一节	含矿系数利用概况	(120)
第二节	含矿系数是标准指标	(124)
第三节	含矿系数和平均品位与储量勘探级别的关系	(131)
第四节	含矿系数在溶浸开采中的应用	(136)
第八章	储量计算可靠程度的定量评价	(138)
第一节	储量计算可靠程度定量评价的原则	(138)
第二节	定形误差及其确定的方法	(142)
第三节	定形误差的性质	(160)
第九章	伴生组分储量计算	(177)
第十章	铀矿石开采和加工条件研究程度的要求	(184)
第一节	山地工程开采方法	(184)
第二节	铀矿石的选矿和加工处理	(188)
第三节	地质工艺开采方法	(196)
第四节	地质工艺研究及其成果评价	(199)
第十一章	储量计算报告书的内容及格式	(202)
参考文献		(216)

前 言

现在可以看出，当今社会对能源需求的急速增长，在不久的将来基本上可以通过建立以铀作燃料的核电站（АЭС）得到满足。

1982年初，世界核电站装机容量超过了125 GW，而近四年几乎增加了一倍。在这种高速度增长的情况下，尽管目前在一些主要产铀国积存着相当数量的原料储备，但仍可能会出现铀燃料的一定短缺。

新的铀矿床的普查和勘探是所有工业发达国家的地质部门正在解决的课题。鉴于地质构造复杂和地质勘探参数的多变，铀矿床勘探和评价所需费用是比较高的。

在苏联，原子能原料问题受到极大注意。苏共26大决议规定要加强原子能原料的普查和勘探，研究和运用矿产的快速地质经济评价方法。

在铀矿床勘探实践中总结的储量计算方法和手段，也可以用于某些其它固体矿产的计算。

作者在本书中综合了许多铀矿床储量计算的经验和，并探讨了在已出版的文献中阐述得还不充分，有时甚至还不完全正确的许多一般方法问题。这类问题包括：工业指标种类的论证及其在储量计算中的应用；不连续矿体储量计算的特点和含矿系数的应用；储量勘探程度的定量评价的原则和方法。

此外，本书还提及铀矿体评价的一些特殊问题和圈定的特点以及储量的分级。对采用溶浸开采的矿床的储量计算，也有专门的论述。

在本书编写的过程中，В. Е. 鲍伊佐夫 (В. Е. Бойцов)，К. Г. 勃罗文 (К. Г. Бровин)，В. А. 沃隆佐夫 (В. А. Воронцов)，М. Я. 达拉 (М. Я. Дара)，Н. С. 戎托夫 (Н. С. Зонтов)，Н. Ф. 卡尔波夫 (Н. Ф. Карпов)，П. И. 库什纳列夫 (П. И. Кушнарв)，В. А. 彼特罗夫 (В. А. Петров)，П. П. 雅斯科夫斯基 (П. П. Ясковский) 以及其它同事们曾提了许多宝贵的意见和建议，作者仅在此表示衷心的感谢。

由于 А. Б. 卡日丹 (А. Б. Каждан) 的一贯支持，Ф. И. 沃利弗松 (Ф. И. Вольфсон) 和 К. П. 利亚申科 (К. П. Лященко) 提了许多宝贵的意见，作者才顺利地完成了科学研究，并使其成果得以在书中得到反映。对此，作者尤其表示深切的感谢。

В. В. 奥西波夫 (В. В. Осипов) 和 Л. Н. 特罗菲莫夫 (Л. Н. Трофимов) 帮助誉清手稿，仅在此一并表示感谢。

第一章 铀矿床储量计算方法概况

第一节 铀矿床评价特点

储量计算是在勘探工作进行到一定阶段，对所取得的资料以及为进行有关的技术经济计算所用的全部资料进行综合概括的一项工作。这些计算可能与编制技术经济报告（ТЭД）、常用标准的技术经济论证（ТЭО）以及准备设计新企业和改造现有采矿企业有关。在储量计算过程中，常常根据质量和开采技术条件把储量分成不同级别，依照所规定的工业要求确定矿体在空间上的几何形态，并对矿产的数量和质量作出评价。储量计算还包括一切用以确定矿床开采工艺和矿石加工处理以及进行以后的技术经济计算所必需的所有资料。

通常，储量计算的结果需要经过各级机构审核和批准。详细勘探结束所编制的储量计算报告和用于设计新企业和扩建已开采企业的储量计算报告，必须由苏联国家储量委员会批准，在评价新的大型矿床或矿区时，综合初步勘探成果编制的储量计算，有时可由国家储量委员会审核。

依照现在的要求，一切矿产（其中也包括铀矿）的储量，都是在原始产状条件下计算的，不考虑开采过程中的损失和贫化。储量的计算是按照平衡表内和平衡表外的储量、矿石的工艺加工类型、矿石品级和开采条件（露天、地下、地质工艺方法）分别进行的。计算是综合的，要考虑到可能从矿石内提取的各种有用组分，矿石综合利用的可能性。

铀矿床储量计算具有很多特点。

鉴于铀矿石具有天然的放射性，这样便可以采用成本低、速度快、和精度高的放射性测量方法，对它们进行定性评价。矿石的这一特性不仅对铀矿床的勘探，而且对矿床的开采都有影响，因为采矿企业由此便可以采用快速的放射性取样方法，对所采矿石进行有效的选择和分级；而这一点对其它大多数固体矿产是无法做到的。

同时，由于采用了以主要测量镭当量为依据的放射性取样方法，便要求对矿石的放射性平衡状态和变化情况进行专门的研究和相应的检查，以避免在储量计算中铀的含量产生偏差。对地下开采的矿床，还要求测定出矿石放射性分选和可选性的特性。

通常，铀矿石采用水冶处理，这种方法提取率高，但费用也高。在一个矿床的范围内，矿石工艺品级的数量，一般不多，并且是根据它们的化学成分的特性和变化来区分的。以硅酸盐为主的矿石成分决定了采用酸法处理，而以碳酸盐成分为主的矿石则选用碱法处理。不同的矿物组分，甚至某些有害组分的少量杂质等，对矿石的提取率也会产生重要的影响。铀矿石的加工成本高，迫使人们在铀矿床的储量计算时，对矿石的加工工艺条件给予特别注意。

铀矿床的一个重要特点是许多矿床均可采用地质工艺开采方法（溶浸），直接在钻孔中或在坑道中进行溶液浸出。采用这种方法时，一般需要先使矿石疏松或利用岩石的天然渗透性，使浸出液透过。采用这种方法开采时，在储量计算的时候，对于矿石几何形态的精度要求，允许稍有降低，但同时应提出一系列对溶浸条件的特殊要求，一般需要进行天然条件下的浸出实验。

放射性分选和溶浸法的使用，使得许多铀矿床更能广泛地推广综合开采方法。在这种情况下，对复杂的矿体可采用贫化大而效率高的混合开采；用放射性分选方法，把贫矿和废石除去，选出符合“工厂”品级的矿石。此外，贫矿和丢失在采空区的金属，可以不必采出地表而采用地下堆浸松散岩块的方法，得到补充利用。采用这种综合开采的方法，可以创造实际上是完全回采矿石的可能性，即以最小的损失得到最高的经济效益。

这样，金属矿床往往根据组分的品位把储量分为平衡表内和平衡表外的这种作法，在许多情况下对于铀矿床来说，是人为的。因为，富矿和贫矿开采的经济合理性，在使用不同的开采方法时，差别可能不大。

一般都是把计算所得数字的精确度和可靠性看作是金属矿床储量计算质量评价的基本准则。计算的储量与实际储量的一致性，只有在储量开采了相当一部分之后才能确定。资料的分析表明，实际上完全的一致，任何时候也不存在。大多数情况下，实际储量都高于原来计算的储量。这种增长往往主要有两个原因，即对原料质量的经济要求逐渐降低和原来被计算成平衡表外的那一部分储量提升为可采的储量，或是发现了新的、原来勘探时被遗漏的矿体。

对铀矿石质量的要求，一般很低。但这种低要求，一般不会造成原来所计算的储量大量增加。因为铀矿床构造复杂，所以在开采过程中常常可能发现一些勘探过程中漏掉的矿体。由这些矿体所增加的储量，则往往相当大。此外，如上所述，在开发铀矿床的实际工作中，更广泛地采用能够极大限度提高开采率的溶浸法，也促使开采储量比原先计算的储量有所增加。

应当指出，从已知矿床的实例来看，储量变化并没有带来严重的经济后果。因为大型矿山企业的建设和投产，一般来说是有步骤的。在这种情况下，储量的变化，仅仅使矿山企业不能再扩大。但是，已投产的项目仍然是有利可图的，而且可以顺利地进行生产。

包括铀矿床在内的金属矿床的勘探和开采经验表明，储量计算中最危险的误差并不在于储量计算的总量，而在于那些决定已建企业的最终产品成本的矿床特征。

预计成本和实际达到的成本之间的差异可能具有不同的符号，正负误差的实际意义是不一样的。计算的成本偏高将会产生极为不良的后果，因为在这种情况下，如实际上矿床开发是有利可图的，但根据技术经济计算的结果，却可能没有工业意义。对那些收益不高，即明显不是最好和不列为首先开发的矿床，这类错误最可能出现。如果矿床甚至在计算成本偏高的情况下，仍然被认为是具有工业意义并且可以开发的话，那么，一般可以达到设计的开采经济指标，甚至情况更好。

计算成本比实际成本低，将导致对矿床的工业意义评价过高。这时，即使矿床可以开发，所建企业也无法超出计划的技术经济指标，因而必然使国家受到经济上的损失。

因此，从一般的经济角度考虑，最不希望出现那样的储量计算误差，即一旦存在这种误差，便会造成设计企业产品的计算成本偏低。

储量总数的误差对生产矿山企业的产品成本的影响不大。Г. Г. 古达林 (Г. Г. Гудалин)^[8]指出，当设计中已确定而且在企业投产后生产能力已无法再改变的情况下，储量数字再发生变化，也只是引起基建投资分摊金额的

变化而已。例如按最坏的情况考虑，即储量比设计时减少了，这时，由于企业服务年限缩短，基建投资偿还期变短，因而基建投资偿还的分摊额增大。但是，成本中的基建投资分摊费实际上总是大大低于直接费用，因而，储量误差引起的成本增加仅是次要的因素。不过，储量的误差对于小型矿床特别危险，因为这种矿床同样需要相当大的基建费用。

А. П. 普罗科菲耶夫 (А. П. Прокофьев) ^[40] 指出，对于矿床的开采来说，产生不利后果的不是储量数字的误差，而是平均品位的误差。前一种误差与时间因素无关。但是，平均品位的变化（再以最坏的情况考虑），对已投产的企业来说从一开始就受到它的影响。此外，平均品位的变化还影响成本，因为在矿山生产能力不变的情况下，出窿矿石量的变化不大。

储量计算是在各种参数有选择的测量基础上进行的，原则上是一种概率计算，这种计算方法对均值的增大和减少其概率是相等的（当然，勘探和计算方法必须正确）。但是，正负误差的经济影响是不一样的。换句话说，整个过程“矿床勘探—储量计算—开发”的损失函数曲线，显然是不对称的。

损失函数在数学中应理解为这样的函数：即表示经济损失或其它损失与近似资料的利用的相依关系。М. В. 舒米林 (М. В. Шумилин) 和 А. Б. 卡日丹 (А. Б. Каждан) ^[16] 过去在讨论有关这些函数的特征时指出，当损失函数在表征损失为最小，即以计算参数的误差为零的那一点为基点而呈不对称时，计算参数的选择应在损失函数曲线梯度较小的一方。例如，损失函数是下面一种类型时（图1），已有数据表明，计算函数的允许误差可取值 ± 1.5 。如果计

算参数不再移动的话，则在最大置信度为 3.4 时，可能的平均损失为 2.1。如果把计算参数移动修正，即把其绝对值降低 0.5（即 1/6 偶然误差），则平均损失将降低到 1.4，同时，最大置信度也降低到 1.5。因此，在原始信息具有或然性和所反映的损失函数呈不对称状的情况下，可以通过有意识地降低计算参数值，即采用“保险”系数来减少可能的损失。因而，在对“勘探—开发”过程作出损失函数不对称性的结论时，我们同样作出了关于储量计算中采用保险性修正的正确性和合理性的结论。

这个问题很复杂，需要从采矿学和经济学的角度进行专门的研究。要求储量计算的结果“保险”的趋向非常明显，而且国家储量委员会^[22]坚决实施。因此认为储量计算应由地质部门完成。总的看来，各部门都要“保险”，将使国家的统计储量显著减少。其次，如果情况好的话，储量可能增加并由开采部门采出。如果情况不好，这些储量就可能部分地或全部丢失。当储量实际上增加时，因为有尚未统计的后备储量存在，就有可能算出计划的损失量。

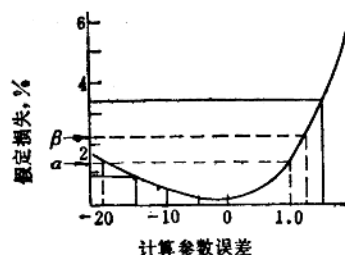


图1 损失函数曲线

a——移动计算时损失的平均水平，
6——非移动计算时损失的平均水平

同时必须注意到，当勘探切穿点够多时，矿石中组分平均品位的统计误差，只有百分之几十。这时如果考虑到误差的正负值的几率是相等的，那么，品位偏高的几率相当于误差几率的一半，因此总是很小。

但是，出窿的矿石中，原先计划的品位和实际的品位的偏差，对生产企业的经济有影响。这种偏差不仅产生于矿体品位计算的统计误差，同时也产生于设计时确定矿石贫化的误差。

为了提高采矿效益，设计部门常常根据矿体形态、产状制定开采方法，并在设计中提出对所选定的采矿方法来说能够达到的最低贫化指标。然而，恰恰正是矿化的形态往往被勘探人员评价得十分粗略，而且，可能出现的误差常常也是一样的：即根据勘探数据所确定的矿体形态和结构都比较简单，但实际上却复杂得多。对矿体形态错误的过于简单的认识，往往导致在技术经济计算时选择了采矿费用最少的高生产率的混合开采方法，而对于实际上形态较复杂的矿体来说，所选择的方法可能导致不能允许的贫化和损失。这时再改用比较有选择的但生产效率较低的方法，不可避免地要引起开采费用增加。在最坏的情况下（有色金属矿床最常见）对矿化形态认识所产生的误差，可能会导致认为矿床在实际上是没有开采价值的，这就等于说矿床储量变化为100%。

可见，对将要在已查明的储量基础上建设的矿山企业来说，对其经济效益影响最大的，不是储量数字或平均品位的误差，而是矿体储量的空间分布，形状、构造和埋藏条件。

所以，在苏联建立储量分类的总的原则是完全正确的，即评价勘探程度的基本标志是勘探所计算的储量的空间位置和分布的研究程度。

第二节 矿床储量分类原则

现行的矿产储量分类是按照矿产的国民经济价值大小，

把储量分为平衡表内和平衡表外两类；根据勘探程度进而又分为 A、B、C₁ 和 C₂ 四级。

平衡表内储量系指可以工业开发的储量，它应当满足为所指定矿床的储量计算而确定的一切标准。

平衡表外储量系指那些金属数量少、品位低、开采条件复杂或必须采用复杂而昂贵的加工方法才能得到，因而在目前开发还不合理的储量。

但是，将储量划为平衡表外的一个必要条件是这些储量在不久的将来具有工业开发的实际可能性。因此，储量划归平衡表外时必须考虑到，这些储量在平衡表内的矿石采完之后，能够投入开发的可能性。

A、B、C₁ 级储量属于探明储量。这些级别储量的总数，可以作为设计新的矿山企业或改建现有企业的依据。C₂ 级储量属于初步评价储量。在设计新企业时，C₂ 级储量一般不予考虑，但它是详细勘探工作设计的依据。根据专门的规定而开发那些储量或矿石质量特殊的矿床时，允许在设计新的矿山企业时考虑 50% 的 C₂ 级储量。在正在生产的处理加工厂严重缺乏原料的地区，设计个别矿山企业时可以考虑 C₂ 级储量。

设计和建设新的矿山企业时，可以根据矿床构造的复杂程度，按不同的比例采用不同级别的探明储量。

对于有用组分分布均匀、构造简单的矿床而言，具有 A 级矿石储量为 10%、B 级储量为 20%、C₁ 级储量为 70% 的勘探程度，即可设计和建设企业。

对于有用组分分布不均匀、构造复杂的矿床来说，具有 B 级矿石储量 20% 和 C₁ 级储量 80% 的勘探程度，便允许设计和建设企业。

对于有用组分分布很不均匀、构造非常复杂的矿床来说，可根据 C_1 级储量进行企业的设计和建设。

一般来说，铀矿床依其本身的构造特点来看，不大可能列入上述的第一种情况。稳定的层状和似层状矿床、大型的裂隙交代的且矿体内部结构简单的脉状和似网脉状矿床属第二类。

在绝大多数情况下，铀矿床属于第三类。属于这一类的还有所有适合溶浸开采的铀矿床，因为对这些矿床常常没有可能、也没有必要划分出高于 C_1 级的储量。

为了评价 C_1 级储量，对于矿体的产状、形态特征和内部结构，矿石的不同自然类型的空间分布及其与工业品级的相互关系，无矿地段和非标准矿石地段的分布，只要求大概地阐明。这意味着，对于矿体形态的特征只要求查明它们的倾斜和走向的平均规模；要查清厚度的变化范围和平均值；要查明主要矿体的产状要素以及矿体与围岩和构造的相互关系。还需要证实，在工业矿化范围内是否存在不同的自然类型和工业品级的矿石，是否存在无矿的和非标准矿石的地段或矿带。这个时候，并不要求查清各种类型或品级的矿石的空间分布，也不要求从矿层内圈定出无矿地段。只要求确定以后圈定这些地段的可能性（或者不可能）和确定在工业矿化总的范围内，这些地段的储量在数量上的相互关系。在这种情况下，应当对矿石的技术加工特性予以充分研究，以保证选矿和水冶工艺流程的制定。

对于 C_1 级储量来说，要求充分研究矿床的水文地质和工程地质条件，以便能够确定矿山开采工作条件。

在矿床构造复杂的情况下， C_1 级储量的范围是根据勘探山地工程或钻孔稀疏的勘探网格圈定的。当构造非常简单

时， C_1 级储量可以根据地质和物探数据的综合分析，部分地采用外推法圈定。对具有非常不连续的巢状矿体的矿床进行储量计算时，只有含矿系数较高（0.4—0.5以上）和形态可靠的含矿地段属于 C_1 级。

划分为B级储量的地段或块段，其勘探程度必须保证不仅能够查明矿体的一般特点，而且还可以查清矿体的产状、形态和结构。在B级块段内，不仅应当确定矿石的各种自然类型和工业品级的数量关系，还应当确定它们在矿体范围内的空间分布的基本规律。除了确定矿体的含矿系数外，还必须确定工业矿化范围内无矿地段分布的基本规律。

为了划分B级储量，应当详细地（排除在以后的补充性勘探过程中，发生重大变化的可能性）查清以下参数：矿体的产状、矿体的走向和倾斜要素，错动矿体的断裂，矿体的内部结构以及矿体与围岩的相互关系特征。在以后加密勘探网格时，仅仅可能出现一些局部的变化和使上述参数更加精确，原则上不会改变关于矿体形态特征和空间分布的认识。

矿床和矿体构造复杂时，B级储量是根据密网度的勘探坑道，采用勘探工程之间的资料用内插法圈定的。当地质构造比较简单时，可以采用勘探数据的有限外推法圈定。矿化非常不连续并呈巢状产出的矿床的储量，当含矿系数小于0.7的时候，在详细勘探过程中一般达不到B级的精度。

对于划分属于A级的储量来说，应当充分查清矿体的产状、形态特征和内部结构；查清不同自然类型和工业品级的矿石分布地段的相互关系和空间位置；必须划分和圈定矿体内无矿和非标准矿石的地段以及查清矿石质量、技术加工特性和决定矿山开采条件的因素。实际上这意味着，对于A

级的地段或块段来说，不仅必须确定矿体产状的一般要素、矿体的形态和范围，而且还应当确定每一个计算块段范围内产状的局部变化。矿体的形态特征和内部结构应当充分研究，其精度应保证使用相邻见矿工程的所有勘探数据连接矿体时只有唯一的方案。

为了把储量列入 A 级，不仅需要准确查清而且还需要详细圈定由不同自然类型和工业品级的矿石构成的地段，以及确定每一计算块段范围内一切无矿地段的形状、数量、规模和空间位置。

为了按照 C_2 级估价储量，可以根据一般的地质资料和单个的勘探工程资料来评价矿体的产状、形态和结构。利用已证实的地质控矿因素和物探资料采用外推法圈定矿体。一般划为 C_2 级的储量，其勘探网度要比同类型矿床 C_1 级的勘探网度稀得多。有时，把较高级别勘探地段的相毗邻地段的储量也划为 C_2 级，对它们的评价只根据地质上的相似性，而不必经过山地工程证实。在计算极不连续的巢状矿化的储量时，一般把含矿带范围内那些含矿系数低（0.3—0.1 或更少）或勘探网度较密的地段划为 C_2 级。正确地掌握矿体的位置、形态特征和内部结构等地质因素，对于合理评价 C_2 级储量，具有决定性意义。

无论是平衡表内或平衡表外的储量，均分出 A、B、 C_1 级的探明储量块段，而 C_2 级的初步探明储量块段只有平衡表内的。 C_2 级的平衡表外储量只对那些正在大量采掘的矿山才予以圈定和考虑，因为这些企业即将计划开采低品位的矿石。

除了在已定形的矿体或含矿带范围内，对各个矿床分别计算 A、B、 C_1 和 C_2 级的储量外，为了评价矿田、矿区、

矿床或矿床中某些地段的潜在可能性，还需确定所谓的预测储量。

预测储量包括那些根据对所研究的矿田、矿床或其地段的结构和铀矿化远景的一般地质认识以及存在有利于矿化富集的构造而作出评价的储量。预测储量不可能确定（即使近似地）矿体的几何形态，而只是一种对所研究的矿床可能远景的地质评价。

矿田、矿床和矿段的预测储量应当单独确定。矿田的预测储量是矿田范围内普查勘探工作设计的依据，矿床和矿段的预测储量是对它们进行初步勘探的依据。

然而，现行的储量分类存在着某些不足之处，本书作者和 A. B. 卡日丹对此曾注意过^[10]。在这种分类中，未能充分考虑到勘探工作中起主导作用的类比原则，依照这种原则来推论相邻见矿地区地质构造的细节，必须具有对标准地区，即用较密的网度勘探过的地区充分的认识。选择最典型的矿床地段或矿体地段作为标准区，在它们中间有重点地加密勘探网度，然后，把在地质勘探详查地段所取得的成果，根据类比的原则推广到所勘探矿床的其余地段。

对地质构造比较简单的矿床进行详细勘探时，按照现行的储量分类必须预先进行地质勘探详查，但不是典型的地区，而是在那些根据初步资料计划首先开发的地段和层位。为此，对于按照苏联国家储量委员会分类中的第一类和第二类矿床，确定了最佳的 A、B、C₁ 级的储量比例。同时，对于最复杂的第三类矿床来说，重点详查工作的要求作了不适当的限制。因为勘探工作的成本非常高，故现行的分类不规定储量的详查应达到 A 级和 B 级。

这样规定未必恰当。如果在勘探地质构造简单的矿床时