

# 国外矿产资源储量分类与资源储量估算方法

国土资源部咨询研究中心 李裕伟

国外使用的矿产资源储量分类标准和储量估算方法同我国均有所差别,认识这种差别,处理好两者之间的关系,使之既符合国内要求,又尽可能适应国际标准,是撰写本文的目的。

## 一、矿产资源储量分类的意义

在市场经济条件下,矿产勘查的最主要产品是矿产资源量和矿产储量,它们在市场上通过投资、购买、兼并、抵押等形式流通。同所有的市场产品需要有产品标准一样,矿产资源储量也应该有其产品标准,使同一类产品具有同样的技术规格,这样得到的资源量和储量就具有了投资意义、管理意义、市场意义和法律意义。

首先,每种资源量、储量类型具有各自的投资意义。各种资源储量类型是不能等同看待的,有的类型具有当前开发利用价值,极少投资风险;有的类型尚不具备当前投资开发利用价值,具有较高甚至极高的投资风险。因此,从投资者的角度看,必须非常熟悉各类资源量、储量的比例,否则将难以正确作出投资决策。

其次,每种资源量、储量类型具有各自的管理意义。从企业的层面讲,这种管理意义表现在它们属于企业资产管理范畴。对矿业公司和石油公司来说,资源量、储量是最主要的资产,而不同类型的资源储量其资产的价值是极不相同的。一般说来,矿业企业应尽可能地增加高级别的资源储量类型的数量,以迅速提升企业当前的资产规模;同时要尽可能扩大低级别资源量的数量,以期提升企业的远景资产规模。这就是说,各种资源储量类型,有的是为企业的当前发展奠定资产基础,有的是为企业的未来发展奠定资产基础,企业的管理者必须十分重视对矿产资源储量进行资产管理,将此作为矿业公司经营管理的根本。不懂得矿产资源量、储量的类型及其资产意义,企业高管将很难担负起这种管理责任。

最后,各种资源储量类型既然是通行于市场的产品标准,政府将对这类标准进行规范,从而具有了法律意义。特别是,这些符合要求的资源量储量为各国证券交易和商业银行所承认,可以在股市筹资和向银行贷款。此外,当企业与企业之间或企业与政府管理部门之间,在矿业权市场流通和管理中出现纠纷时,可以

通过法律程序来保护投资者、出让者或经营者的利益，但前提是，这些资源量、储量的估算必须符合相应的分类标准。例如，某勘查单位或矿业公司提交了一定数量的推断的资源量（我国的 333），且其估算过程符合规范要求，在交易后，受让者发现资源量出现了 30% 的误差，于是告到法院。由于推断的资源量属于低级别的资源量，30% 的误差落在其标准允许的范围内，因此出让者将会赢得这场官司。但如果这是一宗证实储量（我国的 111）交易，则出让者将输掉这场官司。由此可见，企业管理者熟悉资源储量类型是多么重要。

## 二、我国现行的矿产资源储量分类

我国目前执行的是《固体矿产资源/储量分类》（GB/T17766-1999）（表 1）。这个分类将矿产资源储量划分为两个大类、三个次类、16 个细分类型。

两个大类是：查明矿产资源、潜在矿产资源

三个次类是：储量、基础储量、资源量。储量是经济可采的矿量，基础储量是产生储量的全部原地矿量，资源量是尚未达到经济可采条件的全部原地矿量。

表 1 我国现行矿产资源储量分类框架

地质可靠 程度 分类 类型 经济意义	查明矿产资源			潜在矿产资源
	探明的	控制的	推断的	预测的
经济的	可采储量(111)			
	基础储量(111b)			
	预可采储量 ( 121 )			
	基础储量 ( 121b )			
边际经济的	基础储量 ( 2M11 )			
	基础储量 ( 2M21 )			
次边际经济的	资源量 ( 2S11 )			
	资源量 (2S21)			
内蕴经济的	资源量 (331)	资源量 (332)	资源量 (334)	资源量 (334)?

注：表中所用编码（111-334）中的第1位数表示经济意义：1 = 经济的，2M = 边际经济的，2S = 次边际经济的，3 = 内蕴经济的，？ = 经济意义未定的；第2位数表示可行性评价阶段：1 = 可行性研究，2 = 预可行性研究，3 = 概略研究；第3位数表示地质可靠程度：1 = 探明的，2 = 控制的；3 = 推断的；4 = 预测的。B 代表未扣除设计和采矿损失的基础储量。

16 个细分类型是：111、111b、121、121b、122、122b、2M11、2M21、2M22、2S11、2S21、2S22、331、332、333、334？。

在上述 16 个细分类型中，比较常用的、能与国际矿业界标准对比的类型有：

可采储量（111）：是探明的经济基础储量的可采部分，它应具有的基本条件是：具有最高的工程控制密度，储量可靠性高；进行了相应的选（冶）加工性能实验，视矿石选（冶）的难易程度完成了实验室流程试验、试验室扩大连续试验或半工业试验；详细查明了开采技术条件；完成了可行性研究。

预可采储量（121、122）：是探明的或控制的经济基础储量中的可采部分，它应具有的基本条件是：具有较高的工程控制密度，储量可靠性较高；进行了相应的选（冶）加工性能实验，视矿石选冶的难易程度完成了可选（冶）性试验、实验室流程试验或试验室扩大连续试验；基本查明了开采技术条件；至少完成了预可行性研究。

探明的资源量（331）：是地质工作程度最高的资源量，它应具有的基本条件是：具有最高的工程控制密度，资源量可靠性高；进行了相应的选（冶）加工性能实验，视矿石选（冶）的难易程度完成了实验室流程试验、试验室扩大连续试验或半工业试验；详细查明了开采技术条件；未完成可行性研究，但完成了概略研究。

控制的资源量（332）：是地质工作程度较高的查明资源量，它应具有的基本条件是：具有较高的工程控制密度，资源量可靠性较高；进行了相应的选（冶）矿加工性能实验，视矿石选冶的难易程度完成了可选（冶）性试验、实验室流程试验或试验室扩大连续试验；基本查明了开采技术条件；未完成预可行性研究或可行性研究，但完成了概略研究。

推断的资源量（333）：是地质工作程度较低的查明资源量，它应具有的基本条件是：部署稀疏的取样工程，资源量可靠性较低；与邻近矿山进行类比确定选（冶）加工性能，对无可类比的或新类型矿石完成了可选（冶）性试验或实验室流程试验；大致查明了开采技术条件；完成了概略研究。

预测的资源量 ( 334 ? ) : 依据区域地质研究成果、遥感、地球物理、地球化学等异常或极少量工程资料, 确定具有矿化潜力的地区, 并和已知矿床类比而估计的资源量, 属于潜在矿产资源, 有无经济意义尚不确定。

其他类型, 由于使用较少, 有的划分尚存在困难, 且与国外不具对比性, 在此不予讨论。

## 二、国外矿业界使用的矿产资源储量分类

目前国外市场经济国家矿业界使用的矿产资源储量分类是矿产储量国际报告标准委员会 ( CRIRSCO ) 的分类体系。CRIRSCO 制定了一个矿产储量国际报告标准的模版, 目前属于这个体系的国家有澳大利亚、加拿大、美国、英国和南非。这些国家的国家标准完全遵照 CRIRSCO 的模版编写。如澳大利亚的 JORC 规范, 加拿大的 CIM 标准, 南非的 SAMREC 规范等。按照这些分类标准估算的资源储量可作为向多伦多证券交易所 ( TSE ) 、澳大利亚证券交易所 ( ASX ) 、约翰内斯堡证券交易所 ( JSE ) 、美国证券交易所 ( AMEX ) 、纽约证券交易所 ( NYSE ) 和伦敦证券交易所 ( LSE ) 筹资和向这些国家的商业银行申请贷款的矿产资源储量资产依据。下面以澳大利亚的 JORC 规范为例, 说明国外市场经济国家矿业界资源储量分类的基本内容。

图 1 为 JORC 规范表示的矿产资源储量类型及其相互转化关系。

### ( 一 ) 矿产资源储量基本类型

1 . JORC 规范将矿产资源储量划分为三个大类, 6 个细分类型 :

第一大类 : 储量, 是立即可以开采利用的、可回收的矿量, 包含证实储量 ( Proved Reserve ) 和可信储量 ( Probable Reserve ) 两个类型。

第二大类 : 资源量, 是当前尚达不到开采利用要求, 但预计最终可能开采利用的全部原地矿量, 包含测定的资源量 ( Measured Reserve ) 、标示的资源量 ( Indicated Reserve ) 和推断的资源量 ( Inferred Reserve ) 三个类型。

第三大类 : 勘查目标 ( Exploration Results ), 是据矿化露头或物化探异常推断的目标体, 可作为进一步部署勘查工程, 发现新的矿体的依据。对勘查目标一般只圈定出空间范围, 不估算资源量。

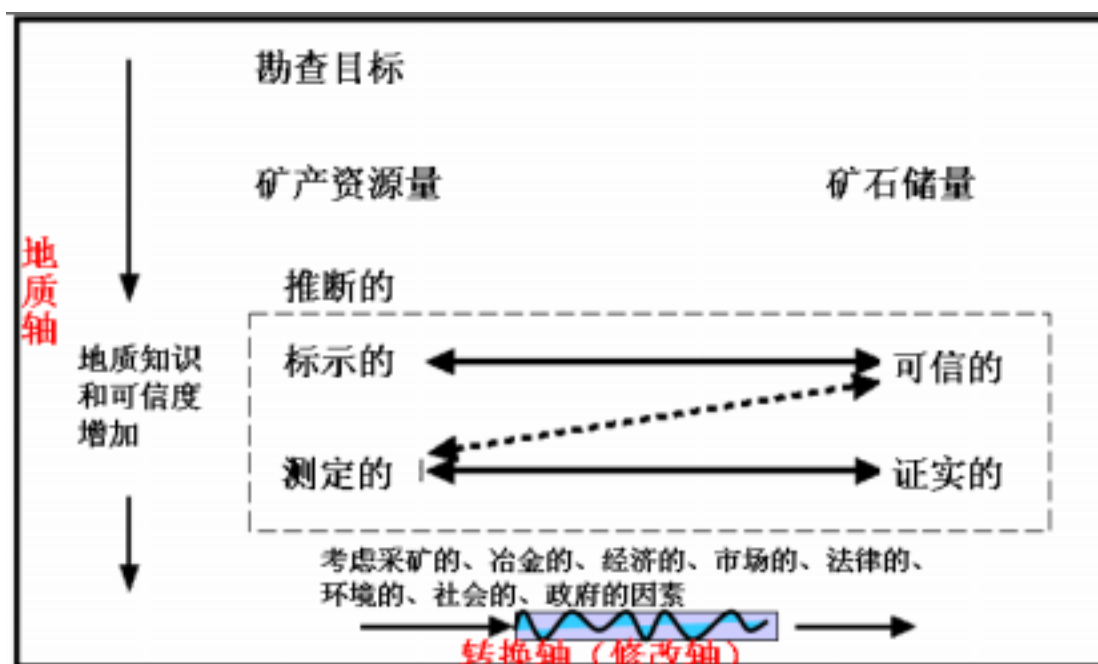


图1 澳大利亚 JORC 规范的矿产资源储量类型及其转换关系

## (二) 矿产勘查目标、矿产资源量与矿石储量之间的转换关系

JORC 规范规定了三大类资源储量之间的转换关系，这种关系被 CRIRSCO 体系的国家广为使用。具体而言有三种转换：

### 1. 勘查目标向资源量的转换

勘查目标仅是一些矿化显示或异常，并不是矿产资源储量，要将勘查目标转换为资源储量，须施加地质勘查工作，将勘查目标转换为推断的资源量。判断是否达到向推断的资源量转换的标志是看是否发现了具有工业意义的矿体。在图 1 中，这一转换表现在图左上角，即地质轴上的起点处，是一种纵向的转换。

### 2. 资源量向资源量的转换

是由较低一级的资源量向较高级资源量的转换，如由推断的资源量向标示的资源量的转换，由标示的资源量向测定的资源量的转换等，也是一种纵向转换。实现这种转换需要施加更详细的地质勘查工作，通常采取提高勘查阶段的形式。

### 3. 资源量向储量的转换

资源量向储量的转换是一种横向转换。转换的方法是通过某种深度的可行性研究，在分析采矿的、冶金的、经济的、市场的、法律的、环境的、社会的和政府的诸因子可行性的前提下，将资源量转化为储量。这意味着，只有在这 8 个因子全部满足有关要求时，资源量才能被提升为储量，从而成为在当前可开发

利用的矿量。为进行这种转换所要求的可行性研究各国的规定有所不同，加拿大、南非等大多数国家要求至少开展预可行性研究，美国则要求开展可行性研究。

### （三）矿产资源储量细分类型

以下给出的是对 6 种细分资源储量类型的原则要求。欲了解对类型更详细的要求，见 JORC 规范的表 1——《评价和报告准则核对一览表》。在具体估算和分类时，应按此表的内容和程序进行。

**1. 勘查目标** 是据矿化露头或物化探异常推断的目标体，它不同于我国圈定的范围很大的预查区或远景区，是一个很小的具体的空间目标。

**2. 推断的资源量** 是资源量中的那么一部分，其吨位、品位和矿物成分可以通过一个低水平的置信度予以估计。推断的资源量是通过地质证据推断的，具有假定的（assumed）但未核实地质的和 / 或品位的连续性。估计推断的资源量的依据是通过从位于露头上或探槽、采坑、坑道和钻孔中用合适的技术获取的信息，这些工程数量有限，具有不确定的质量和不确定的可靠性。（黑体字为 JORC 规范原文，下同）

从以上表述看，推断的资源量具有以下特征：一是估算出的资源数量和品位的置信度低，即可靠性低；二是对工程间矿体的边界和品位的连续性是假定的，即所圈定矿体边界是假定的；三是工程数量有限；四是“用合适的技术获取信息”。其中第四条体现了取样手段的灵活性。国外在求取推断资源量的普查阶段，大量使用反循环钻探，而我国则仍只允许使用岩心钻探，认为反循环钻探取心率低，达不到 65-75% 的采取率要求。其实在国外，反循环钻探不仅大量用于普查，还用于详查和勘探。

**3. 标示的资源量** 是矿产资源量中的那么一部分，其吨位、密度（体重）、形态、物理特征、品位和矿物成分能够以合理的置信度进行估计。估计标示的资源量的依据是勘探工作、取样和化验资料，样品是在露头上或探槽、采坑、坑道和钻孔中用合适的技术采取的。对于确认（confirm）地质的和 / 或品位的连续性来说，标示的资源量使用的工程间距显得过大或部署不合理；但对假定其（assumed）连续性来说，其间距是足够小且符合要求的。

从以上表述看，标示的资源量具有以下特征：一是估算出的资源数量和品位具有合理的置信度，即有了一定的可靠性；二是对工程间矿体的边界和品位的连

续性比假定的要高，但比确定的要低，即所圈定矿体边界是在假定的和确定的之间；三是工程间距也处于推断的资源量和测定的资源量之间；四是“用合适的技术获取信息”。这时较多使用金刚石岩心钻探，取心率一般在 95% 以上。

“标示的”英语原词为“Indicated”，意为“指示的”、“标示的”、“指标的”，我国过去多译为“标定的”，但此词毫无“标定”之意。具体研究国外圈定这一资源量类型的过程发现，这类资源量必须满足以下基本条件：在该资源量块段内，必须含有若干实际样品。也就是说，在该资源量块段中有实际的达到工业要求的样品标示，才能划分入此类型，这有别于无此标示的推断的资源量。但是，这类资源量尚达不到精确测定的要求，因此称其为“标示的”，处于“推断的”和“测定的”之间。

**4. 测定的资源量** 是矿产资源量中的那么一部分，其吨位、密度（体重）、形态、物理特征、品位和矿物成分能够以高的置信度进行估计。估计测定的资源量的依据是详细的和可靠的勘探工作、取样和化验资料，样品是在露头上或探槽、采坑、坑道和钻孔中用合适的技术采取的。要求测定的资源量使用的工程间距很小，足以确定（confirm）地质的和品位的连续性。

从以上表述看，测定的资源量具有以下特征：一是估算出的资源数量和品位具有高的置信度，即可靠性高；二是对工程间矿体的边界和品位的连续性是确定的，即所圈定矿体边界是确定的，同实际边界已相差无几；三是工程间距足够小，能保证上述确定的连续性的实现；四是“用合适的技术获取信息”。这时较多使用金刚石岩心钻探与坑探手段。

“测定的资源量”这一译词在我国广泛使用，准确反映了其英文原意。

**5. 可信储量** 是标示的矿产资源量、在某些情况下是测定的矿产资源量中的经济可采部分。可信的矿石储量是在完成合适的评价和研究后确定的，即在考虑针对现实而假定的采矿的、冶金、经济的、市场的、法律的、环境的、社会的和政府的因子的基础上，对测定的矿产资源量进行分析和修改后获得的。这些评价论证表明，在编制报告的时刻，采掘被认为是合理可行的。

从以上表述看，可信储量具有以下特征：一是估算此类储量的基础主要是标示的资源量，但在某些情况下可以是测定的资源量；二是可信储量是一种可采矿量；三是经过了某种形式的可行性研究，对开发利用该类矿量的采矿、冶金的、

经济的、市场的、法律的、环境的、社会的和政府诸因子的可行性进行了分析；四是基于对上述因子分析的结论是这些矿量可以在当前合理地开发利用。

对于采矿和冶金因子，要求对采矿系统、选冶流程作出合理的假设；对经济因子，要求通过财务分析说明其有经济可采性；对市场因子，要求有足够的销售渠道和签署供销合同的意向；对法律因子，要求符合有关的矿业权属及其他法律要求；对环境因子，要求通过环境评价；对社会因子，要求解决所有的土著、民族、社区问题；对政府因子，要求预期能通过各种审批程序并得到审批文件。

可信的英语原词为“Probable”，意为“很可能的”、“可信的但未证实的”。我国过去多译为“概略的”，但“概略的”是一个工作程度很低的词，而“Probable Reserve”是一类高级别的矿量，用“概略的”会产生误导。考虑到同证实储量的关系，我们将其译为“可信的”，它是可信但尚未证实的，正好与证实储量相呼应。

**6. 证实储量** 是测定的矿产资源量中的经济可采部分。证实的矿石储量包含在采矿过程中混进来的贫化物质和因损失而减少的部分。证实的矿石储量是在完成合适的评价和研究后确定的，即在考虑针对现实而假定的采矿的、冶金的、经济的、市场的、法律的、环境的、社会的和政府的因子的基础上，对测定的矿产资源量进行分析和修改后获得的。这些评价论证表明，在编制报告的时刻，采掘被认为是合理可行的。

从以上表述看，证实储量具有以下特征：一是估算证实储量的基础是测定的资源量；二是证实储量是一种可采矿量；三是证实储量包含采矿贫化损失因素；四是经过了某种形式的可行性研究，对开发利用该类矿量的采矿的、冶金的、经济的、市场的、法律的、环境的、社会的和政府诸因子的可行性进行了分析；五是基于对上述因子分析的结论是这些矿量可以在当前合理地开发利用。

除完全以测定的资源量为基础，且包含贫化损失因素外，证实储量的估算过程同可信储量没有根本的区别。

### **三、建立我国境外勘查的国内外资源储量类型对比关系**

我国的勘查单位和企业到国外进行矿产勘查，既要符合国内资源储量分类要求，又要符合所在国和世界矿业市场的资源储量分类要求，建立国内外资源储量分类对比关系是一个亟待解决的问题。为此，提出以下方案，可供从事境外勘查



的我国勘查单位和企业参考。

我国有 16 种资源储量细分类型，其中许多类型无国外可比对象，在国内对这些类型的划分和使用也存在许多争议，因此我们在建立对比关系时不考虑这些类型。

按照我国现行标准，我国勘查单位和企业在国外勘查时将使用的矿产资源储量类型是：111、121、122、331、332、333、334？。将这些类型同 JORC 规范的类型之间进行对比，建立两者的对比关系如图 2。

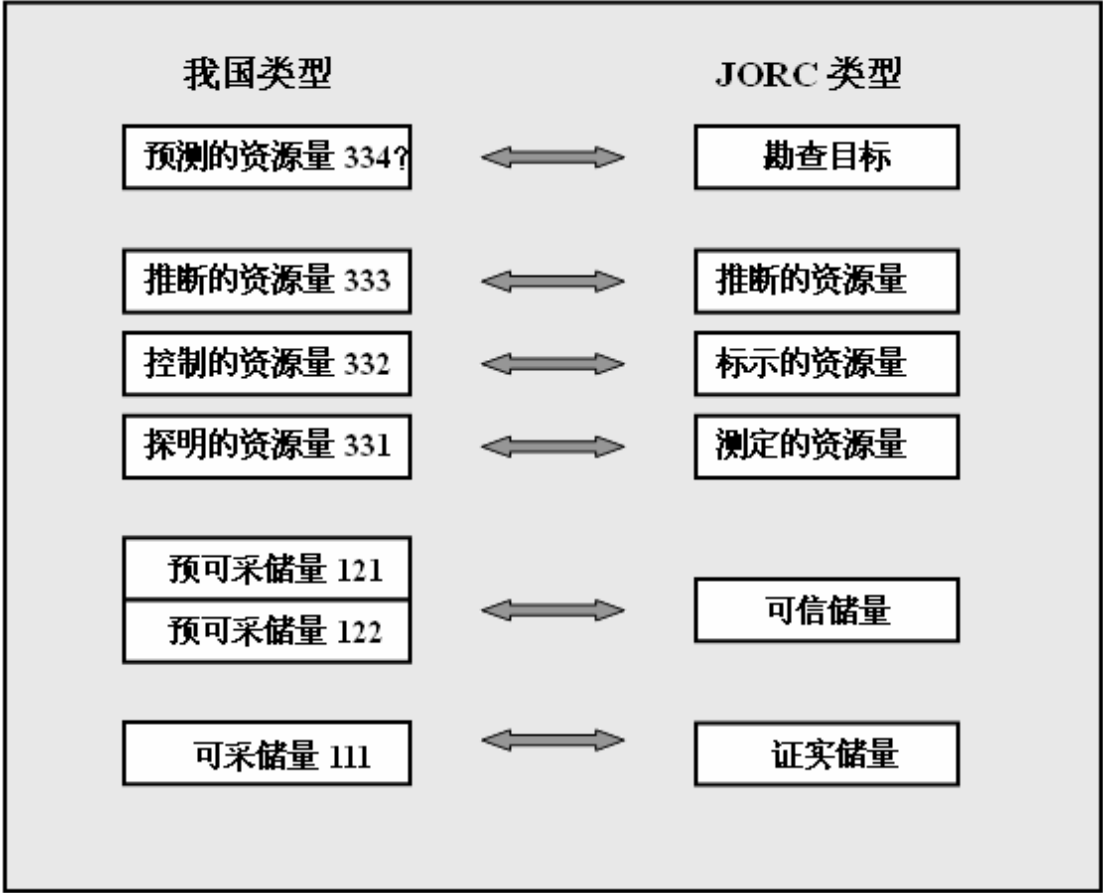


图 2 我国分类标准与 JORC 规范矿产资源储量类型对比表

图 2 的对比是粗略的，两个相应的类型实际上还是存在差异，有些差异甚至是很大的。因此，在使用表中的对比时应按 JORC 的要求进行必要的调整。例如，如果要求获得测定的资源量，就应比我国探明的资源量部署更密的取样工程。由于我国许多境外勘查项目多参照国内标准部署工作，如果是自勘自采，问题不大；但如果要在国外股市筹资或向银行贷款，则难以得到承认。此外，如果国外

政府要求对资源储量报告进行审计，也难以获得通过。我国的境外勘查单位和企业，要视情况对图 2 诸对比类型的具体要求进行调整。表 2 给出了相应对比类型的主要差异。

**表 2 我国分类标准与 JORC 规范的矿产资源储量类型对比表**

我国类型	JORC 类型	说明
预测的资源量 Predicted Resource ( 334 ? )	勘查目标 Exploration Results	我国估算资源量。JOIRC 规范认为在这个工作阶段所获得信息不足以估算资源量，因此要求只圈定目标范围，不估算资源量。建议我国提交的资源量估算报告国外版本，对 334 ? 只圈定勘查靶区，不估算资源量。
推断的资源量 Inferred Resource ( 333 )	推断的资源量 Inferred Resource	我国现行分类标准的要求与 JORC 规范基本一致，但我国许多勘查项目实际工作程度受过去 D 级储量网度的影响，显得偏高。我国获取这类资源量不允许使用反循环钻探，JORC 规范允许广泛使用反循环钻探。在使用反循环钻探获取推断的资源量时，可以部署较高的工程密度。
控制的资源量 Indicated Resource ( 332 )	标示的资源量 Indicated Resource	按 JORC 规范要求，对矿体的工程取样密度比我国略高。
探明的资源量 Measured Resource ( 331 )	测定的资源量 Measured Resource	按 JORC 规范要求，对矿体的工程取样密度比我国高得较多。
预可采储量 Probable Extractable Reserve ( 121 )	可信储量 Probable Reserve	按 JORC 规范，进行包含采矿的、冶金、经济的、市场的、法律的、环境的、社会的和政府八大因子的预可行性以上的研究，我国预可行性研究考虑的因素不够全面。
预可采储量 Probable Extractable Reserve ( 122 )		
预可采储量 Proved Extractable Reserve ( 111 )	证实储量 Proved Reserve	按 JORC 规范，进行包含采矿的、冶金、经济的、市场的、法律的、环境的、社会的和政府八大因子的预可行性以上的研究，我国预可行性研究考虑的因素不够全面。

利用图 2 和表 2，我们可以在向国外提交报告时采用 JORC 规范规定的矿产资源储量类型，而向国内提交报告时使用我国现行标准规定的类型。

#### 四、工程取样密度与矿产资源储量类型

工程取样密度是确定矿产资源储量类型的最重要依据。我国过去的矿种勘查规范均规定了勘查类型、1999 年颁发的现行分类标准虽然明确取消了工程网度，但在矿种规范中仍然以参考性附录的形式列有控制的资源量的网度，由此可上推探明的资源量得网度，下推推断的资源量得网度。因此在我国当前矿产勘查活动中，过去规范规定的网度对确定工程间距仍然起着重要的影响。按照 JORC 标准，确定资源储量类型的合理工程密度，是“合格人员”的职责。合格人员利用他们的知识和经验，来确定工程密度。因此，国外对某个资源储量类型，没有统一的网度规定。简言之，我国过去确定类型靠规范，现在仍未摆脱这一局面；国外确定类型则靠“合格人员”，由“合格人员”自行操作。

从国内外勘查实践看，据工程取样密度确定资源储量类型有以下几种方式：

1．规范给出矿床勘查类型-勘查网度-资源储量类型。首先在勘查规范中建立三者的一体化关系，只要确定了当前矿床的勘查类型，检查其已实施的网度，即可立即判断某个块段的资源储量类型。这种方式，源于前苏联规范，在我国过去的勘查中应用非常普遍。俗称“类型-网度-ABC”。在用剖面法、地质块段法进行资源储量估计时，通常采用这种分类方式。这是我国过去和当前采用的主要确定资源储量类型的方式。

2．经验法。由合格人员按照自己的知识和经验确定勘查类型。以玻利维亚 Don Mario 金矿床为例（2005），“合格人员”提出的资源量分类准则是：测定的资源量：地下开采，矿体已被开拓，段高 15m，坑下钻孔 25m 网格取样。标示的资源量：矿体未开拓的其他部分（实际上在地质勘探时已达到标示的资源量类型标准）。这是一种坑钻联合、探采联合的确定资源储量类型的方法。

3．影响距离法。国外广泛使用多边形法（我国称最近地区法）估算资源储量，其原理是：以钻孔为核心，确定一个影响距离，在这个距离以内，属于某个类型的资源储量。例如，从钻孔向外 50m 范围内为测定的资源量，50-100m 为标示的资源量，100-200 m 为推断的资源量。影响距离多大由“合格人员”确定。

4．地质统计学方法，通常据变差函数（Variogram）确定资源储量类型。具

体做法是，将变程划分为若干个区间，分别为“一通（First Pass，如设置在变程 1/3 处）”、“二通（Second Pass，如设置在变程 1/2 处）”；然后在每个区间设置样品数，再设置资源储量类型与区间的关系。判定资源储量类型的准则是：在一通范围内，超过多少样品时，将其划分为测定的资源量；在一通范围内，样品数

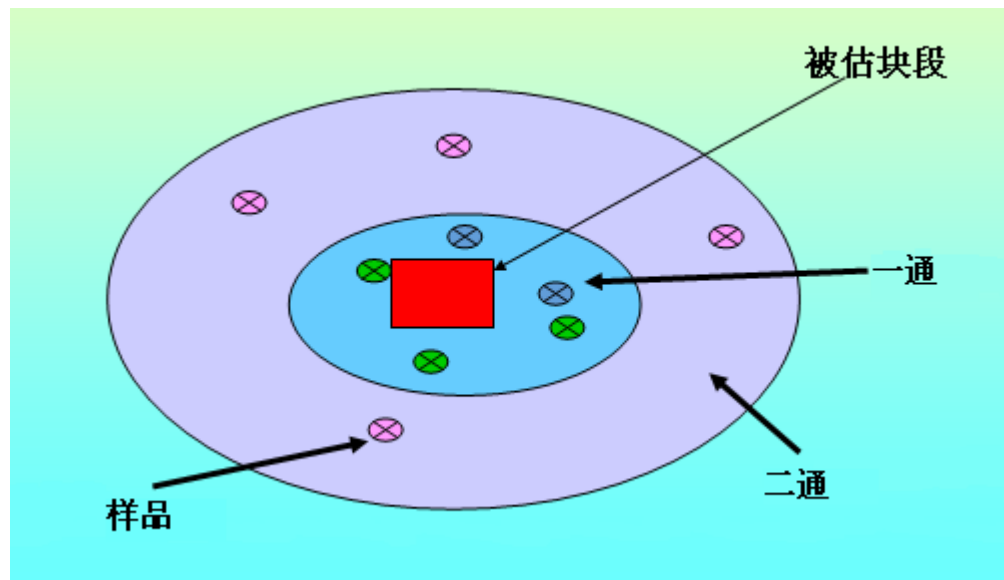


图3 “N 通”区间与样品分布

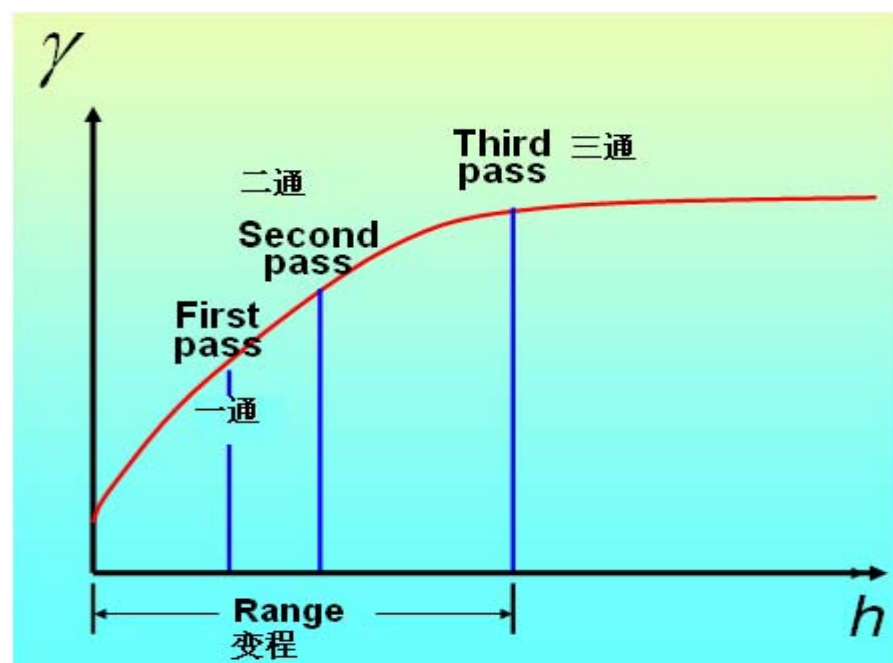


图4 在变差函数图上确定“N 通区间”

达不到测定资源量的要求，在二通范围内，有一定数量样品时，将其划分为标示的资源量；对推断的资源量则设置更宽松的要求。

以格陵兰 Malmbjerg 钼矿床资源量分类准则（RPA 咨询公司，2005）为例，测定的资源量：一通范围内，有 20 个（四象限）以上的样品。标示的资源量：一通范围内，少于 20 个样品，二通范围内有若干样品。推断的资源量：其他情形。

再以智利 Vizcachitas 斑岩铜钼矿床资源量分类准则为例（GHG 资源公司，2007），标示的资源量：在 100m 的搜索范围内至少有 3 个钻孔，相当于钻孔的平均间距为 175m；推断的资源量：不满足以上准则，但要求样品距被估块段的最大距离不超过 200m。

## 五、矿产资源储量误差

不同的资源储量类型，带有不同的误差，具有不同的投资风险，这是要求进行资源储量分类的根本原因。关于资源储量允许误差，国内外有许多研究，规定的范围差别很大，近年来渐趋一致。但资源储量误差多是一个参考数据，通常并不作硬性要求。它的主要意义在于使勘查人员、矿山设计人员和矿业公司高管充分理解不同资源储量类型的精度差别。

### 1. 我国关于资源储量误差的要求

我国曾经对储量误差做过规定，1959 年全国储委对各级储量误差规定如下：

A2 < 20%      B < 30%      C < 25%

20 世纪 90 年代，冶金部、核工业部对储量误差的规定如下：

A < 10%      B < 20%      C < 30%

上述误差是针对全矿床的总储量误差。

### 2. 欧洲分类标准（1959）对资源储量误差的要求

A 误差 < 10%    置信概率 90%

B 误差 < 10%    置信概率 70%

C1 误差 < 30%    置信概率 70-50%

### 3. 南非分类标准（2007）对资源储量误差的要求

测定的资源量（3 个月生产范围）    误差 < 15%    置信概率 90%

标示的资源量（1 年生产范围）      误差 < 15%    置信概率 90%

#### 4. 石油工程师学会 (SPE) 油气分类 (2007) 对资源储量误差的要求

证实储量	置信概率 90%
证实储量+可信储量	置信概率 50%
证实储量+可信储量+可能储量	置信概率 10%

由以上例子可见，有的标准只用误差一个指标，有的标准只用有置信概率一个指标，有的标准同时使用误差和置信概率双指标，有的标准则使用误差、置信概率双指标。此外，有的标准还增加了资源储量衡量范围对误差的约束，因为范围越小，在其他条件相同时，产生的误差越大，反之亦然，这实际上是一种三指标误差标准。

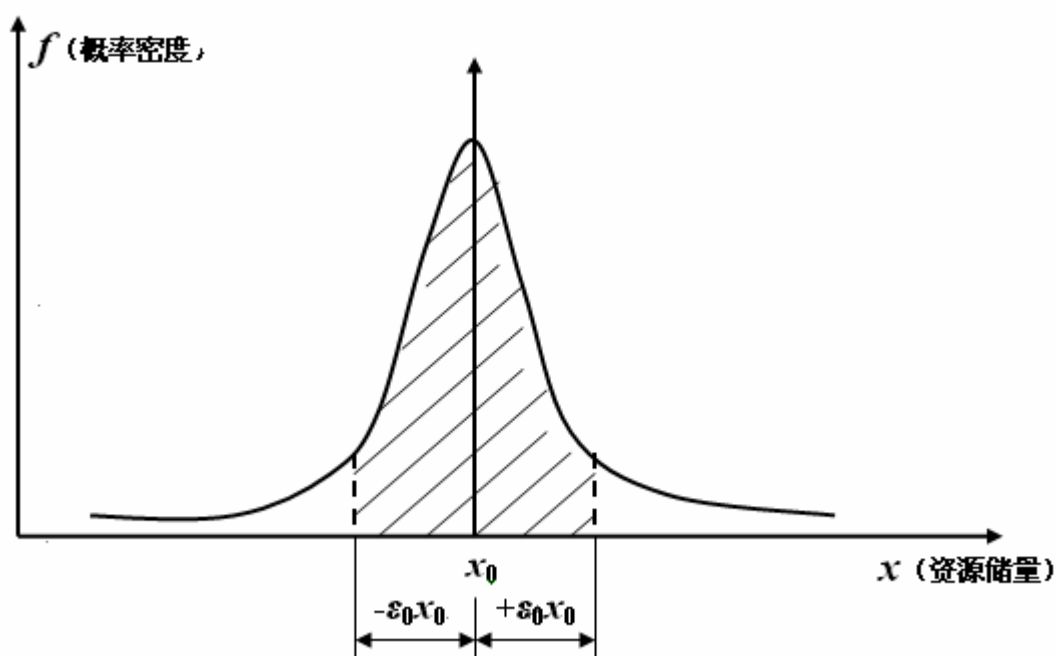


图5 矿产资源储量允许误差与置信概率

图 5 显示估算的资源储量数字、允许误差与置信概率的关系。 $x_0$  表示估算的资源储量数字； $\delta_0$  表示某个资源储量类型的相对允许误差；阴影部分表示置信概率。如果用克里格法估计的资源储量数字在  $x_0 + \delta x_0$  和  $x_0 - \delta x_0$  范围内，则该块段的误差符合类型要求。

用一般的资源储量估算方法,难以得到所估算的资源储量误差大小,但使用

克里格法，则可在获得某个块段的资源储量估算数字时，同时获得其误差的估算数字。

## 六、合格人员制度

CRIRSCO 体系的国家，均建立了合格人员制度。澳洲规范（JORC 规范）、加拿大规范（CIM 标准）、南非规范（SAMREC 规范）、联合国分类框架（UNFC）和矿产储量国际报告标准委员会（CRIRSCO）模板都实行矿产资源储量报告编写的责任人制度。澳洲规范把责任人称为“胜任人员（Competent Person，CP）”、加拿大规范和矿产储量国际报告标准委员会模板把责任人称为“合格人员（Qualified Person，QP）”。对责任人要求的要点是：

1. 合格人员应是一个专业学会的会员。设置这个条件的目的是对合格人员的学术水准进行把关。国外的学会对个人会员的入会资格和管理有比较严格的要求，学会的学术活动也比较频繁，会员的学术水平透明度较高，对会员学术违规行为也有一定的处置程序。因此，把是否是一个专业学会的会员作为一个合格人员必须具备的资质之一，交给学会去管，以保障合格人员专业素质，是一种既有效，又简单易行的办法。

2. 在相关领域有 5 年以上的工作经验。这里要注意关键词“相关领域”，它有两个方面的含义：一是相关矿种和矿床类型，二是相关工作环节。对于第一个“相关”，表明只是在一定的矿种和矿床类型范围内被认为是合格人员。例如，一个金矿的合格人员不意味着是煤矿的合格人员；一个斑岩型铜矿的合格人员不意味着是砂岩型铜矿的合格人员。对于第二个相关，以澳洲规范为例，将矿产资源储量划分为三个大的工作环节：地质勘查工作、矿产资源量估算、矿产储量估算。地质勘查合格人员专门负责勘查设计、野外工作、资料综合等；矿产资源量估算合格人员专门负责资料数据建档、勘查数据库建设、资源量估算；矿产储量估算合格人员专门负责可行性研究和储量估算。一般三类合格人员从事各自的专业环节的工作，如果某些合格人员同时具有从事多个专业环节工作的资质，也可成为多工作环节的合格人员。

澳、加等国对合格人员不须注册发证，只要求本人已在资源储量报告上如实申明自己的相关领域经验和学会会员资格。如果报告在被接受、被审计、被使用过程中没有出现问题，则表明你是个合格人员；如果在后续环节中出现了较大的

问题,今后将很难得到新的资源储量报告估算项目,合格人员的资格也就自动失去了。

合格人员是一个矿产资源储量估算实践的概念,而不是一个简单的水平高低的概念。合格人员必需熟悉他负责的工作,能实际进行相关的操作和分析,提出符合标准和规范要求的资源储量成果。因此,只要在相关的业务实践范围内能胜任工作的都可以成为合格人员;而学术水平和理论水平很高,但不具备相关工作范围经验者则不能被认为是合格人员。因此,应该把合格人员的培养和选拔的重点放到基层一线从事矿产勘查和资源储量估算的技术人员之中。

合格人员在资源量报告、储量报告中要填写“责任页”,所谓责任页,就是在报告的开头或者末尾由每一个合格人员按规范的格式申明他(她)的学历、学会会员身份、工作经历、胜任本项报告编写的理由、遵守规范的保证等。国外市场经济国家的矿产资源量、矿产储量报告都有这种责任页,这对保证报告数据的真实性和报告质量是非常有效的。下面我们列举一个这类申明,它引自在多伦多上市的GHG资源公司2007年名为《智利第 区VIZCACHITAS勘查区技术报告》,这是一份资源量估算报告。报告第一责任人STEVEN T. PRIESMEYER在责任页写道:

**STEVEN T. PRIESMEYER**

8967 W. 77TH Place,

Arvada, Colorado 80005-4302

Telephone: 303-886-2598

Fax: 416-868-2579

Email: [spriesmeyer@comcast.net](mailto:spriesmeyer@comcast.net)

我, STEVEN T. PRIESMEYER, 在此申明如下:

1. 我目前作为一个助理咨询地质师受雇于:

A.C.A. Howe International Limited

330 Bay St., Suite 830

Toronto, Ontario,

Canada M5H 2S6



2. 我1978年毕业于科罗拉多州Durango的佛特·刘易斯学院地质系，获学士学位；1986年在爱得荷州莫斯科的爱得荷大学地质系获硕士学位。
3. 我从大学毕业后，从事地质工作共计有24年。我曾在美国、加拿大、墨西哥、洪都拉斯、尼加拉瓜、委内瑞拉、阿根廷、秘鲁、智利和罗马尼亚工作过。
4. 我是美国采矿冶金和勘查学会、美国经济地质学家学会、洛矶山地质学家协会和丹佛区勘查地质学家学会的会员，并获得美洲专业地质学家协会颁发的专业地质学家（C.P.G）证书（证书号0833）。
5. 我已经阅读过加拿大国家文件43-101（"NI 43-101"）中关于“合格人员”的定义，并在此表示，按照我受到的教育、所具有的（符合NI 43-101定义的）专业协会会员身份和以往的相关工作经验，我符合为达到NI 43-101目的对“合格人员”的要求。
6. 我被全球铜公司勘探副总裁Leo Hathaway告知，自Howe公司（本报告委托方）2005年到现场察看以后，对该勘查区就没有再投入实物工作量。此外，Howe公司查阅了公开提供的纪录，也未发现在Howe公司上次的现场察看后有投入实物工作量的显示。因此Howe公司认为，没有理由为本报告进行一次现场察看。
7. 由于在这个时间进入现场困难，我尚未为此报告到现场察看。如机会合适我计划尽早赴现场察看。
8. 在名为《智利第 区VIZCACHITAS勘查区技术报告》的技术报中，除第12节的矿产资源量外，其他部分都由我负责。报告的生效日期是2007年2月2日。
9. 我之前同属于本技术报告中的事项或产权没有任何关系。
10. 到目前为止，我尽可能使用我的知识、信息和信心，使报告包含了需要披露又不致误导读者的全部科学技术信息。
11. 我独立从事所承担的报告工作，接受NI 43-101第1.4节所有事项的检查。
12. 我已经阅读过NI 43-101和表式43-101F1，并按照这两个文件的要求

完成了技术报告编写。

13. 我同意将本技术报告提交给任何证券交易所和其他的规章管理部门并予以公布，包括公众可以在上市公司的网站中查到这份技术报告。

申明日期：2007年2月2日

签字盖章

## 七、矿产资源储量估算主体

在成熟的市场经济国家，独立的咨询公司、矿业公司都可估算资源储量，但这些资源储量报告的适用范围则有所不同。

如果一份资源储量报告是为上市筹资或向银行贷款的目的而编制，则必须由独立的咨询公司和合格人员进行估算，并在责任页上按规定书写声明文字和签名。

矿业公司内部的技术人员也可进行资源储量估算，其适用范围是为上市公司年报、季报和月报提供资源储量数字，或为矿业公司内部特别是高管提供投资决策和经营决策使用的资源储量数字。

## 八、资源储量估算方法

成熟的市场经济国家同我国的资源储量估算方法有很大差异。剖面法在我国资源储量估算中占统治地位，其次是地质块段法。而国外现在已基本上不使用剖面法，其主流方法是多边形法（Polygon Method）、距离倒数加权法（IDW）和克里格法（Kriging）。

### 1. 剖面法

剖面法或断面法，是一种以工程为资源储量估算块段边界的方法（对边缘块段由于外推，可适当越过边界）。我国对块段法有非常详细的规定和成熟的应用经验。块段法的优点是能根据矿体的变化对矿体或矿石类型界限进行灵活的人工调整处理，缺点一是这种算法过度依赖于勘探线剖面，当工程偏离勘探线较大时将会产生较大的估算误差；二是用此方法圈定的块段在形状上和大小上与开采块段脱节，资源储量估算成果难以为后续的设计和开采所使用；三是方法操作繁琐。

### 2. 多边形法

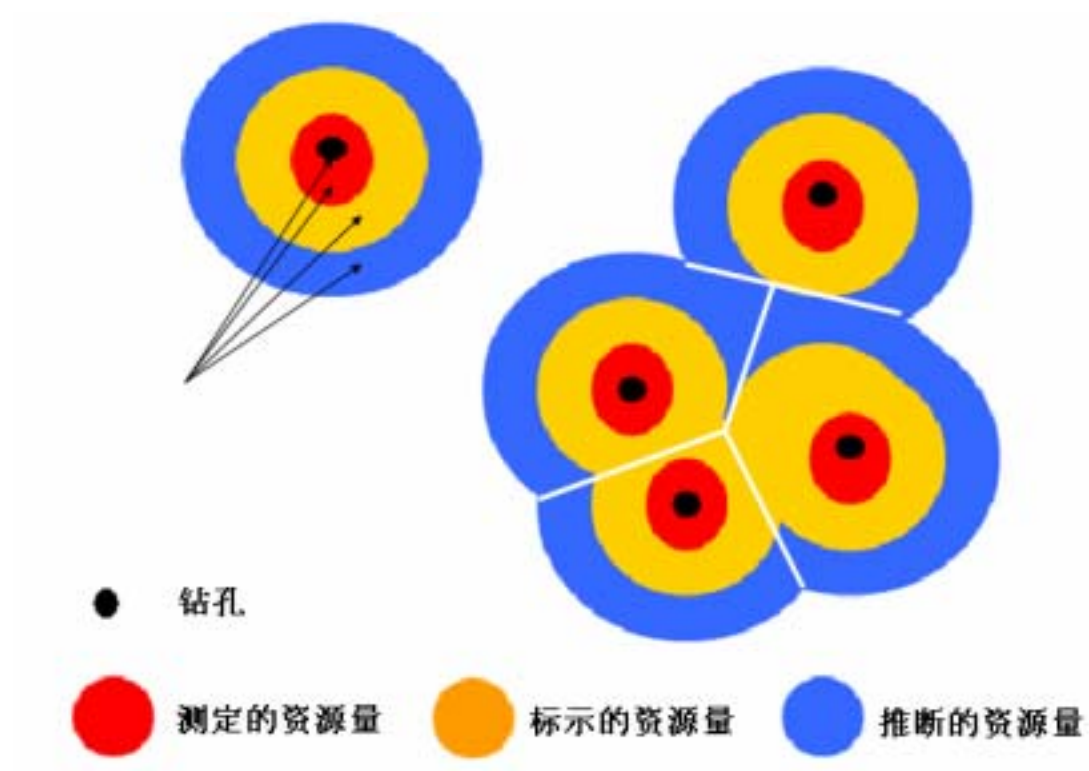


图6 多边形法的原理

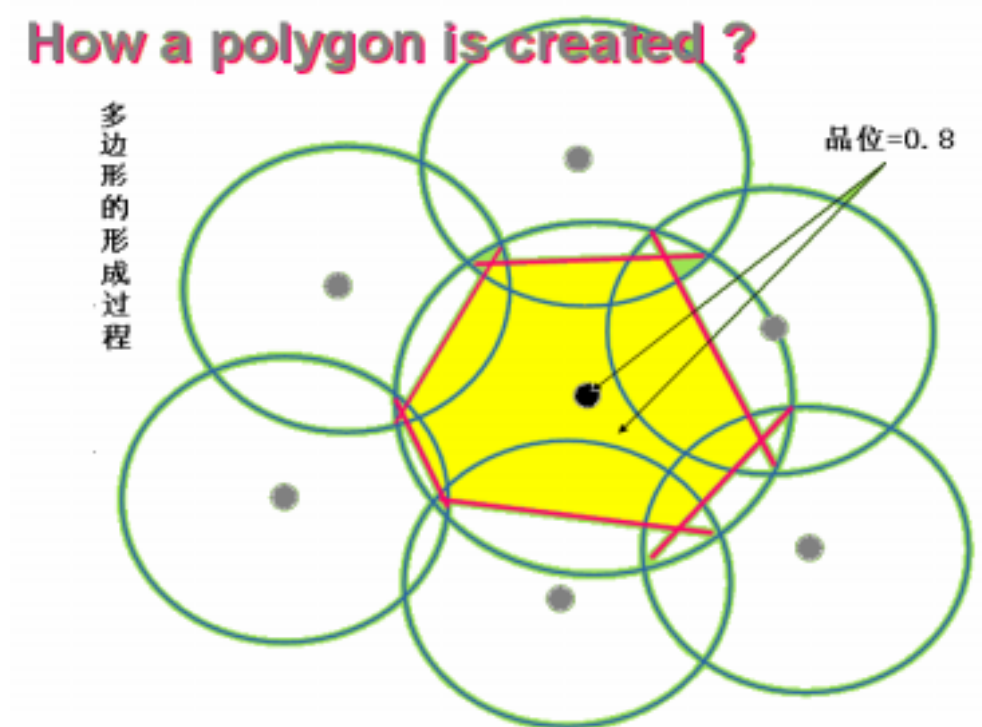
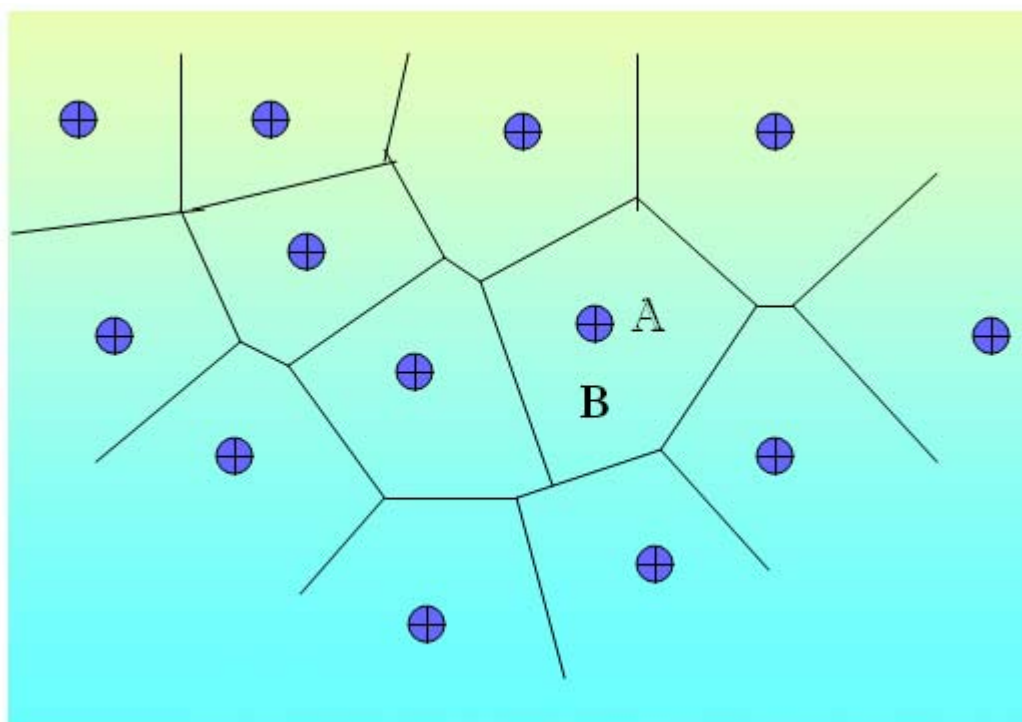


图7 多边形的形成过程



**图 8 当钻孔密集时形成完整的多边形图形**

（图中钻孔 A 的品位被分配给多边形 B）

是一种以钻孔为中心，向外取一个影响距离划一个圆，计算圆内资源储量的方法。当钻孔稀疏时，资源储量估算范围是一些孤立的圆；当钻孔密集时，圆与圆互相交切，形成紧密排列的多边形，故称之为“多边形法”。

多边形法简单易行，在国外应用十分广泛，特别是在普查和详查阶段，当工程数较少时，使用多边形估算资源储量具有很好的效果，是国外资源储量估算的主流方法之一，建议我国的境外勘查项目在普查和部分详查项目中大量使用。

图 5-8 显示多边形法的基本原理。

### 3. 距离倒数法

是一种用邻近样品估算一个块段的资源储量方法。其基本原理是：在估算某个块段的资源储量时，首先确定一个搜索范围，然后搜索在这个范围内的样品。这些样品可能来自块段内，也可能来自块段外。之后按每个样品同块段距离的倒数作为权系数，进行加权平均，从而估算出该块段的品位、厚度等资源储量参数数据。为了强化或弱化不同距离样品的权，还可以以距离的  $n$  次方的倒数加权， $n$  越小，将进一步强化近距离样品的作用，弱化远距离样品的权系数，反之亦然。

距离倒数法是一种估算规则网格系统资源储量的方法,可用于二维和三维的情形。例如,可建立一个  $20\text{m} \times 20\text{m} \times 20\text{m}$  的三维网格系统,估算每个网格的品位、厚度等资源储量参数。由于这种块段可以同开采块段很好地衔接,因此很受采矿人员的欢迎。距离倒数法可用于详查以上的资源储量估算,是国外使用的主流方法之一,建议我国境外勘查项目按其应用条件大量采用。

距离倒数法是一种简单插值方法,其数学模型为

$$z_d = \frac{\sum_{i=1}^n k_i x_i}{\sum_{i=1}^n k_i} \quad (1)$$

$$k_i = \frac{1}{d_i^p} \quad (2)$$

式中  $z_d$  为块段估值,  $x_i$  为第  $i$  个邻域样品的参数值,  $k_i$  为第  $i$  个邻域样品的权系数,  $d_i$  为第  $i$  个邻域样品到被估块段中心点的距离,  $p$  为距离的指数。距离倒数法的工作原理如图 1.5 所示,首先确定一个被估块段 B,估计其中心点的值;然后设置一个半径为  $r$  的搜索圆,将该圆范围内的全部样品按式 (1.2) 对被估点进行估值。 $p$  的大小决定权系数随距离增大的衰减速率: $p$  越大,随着距离增大,

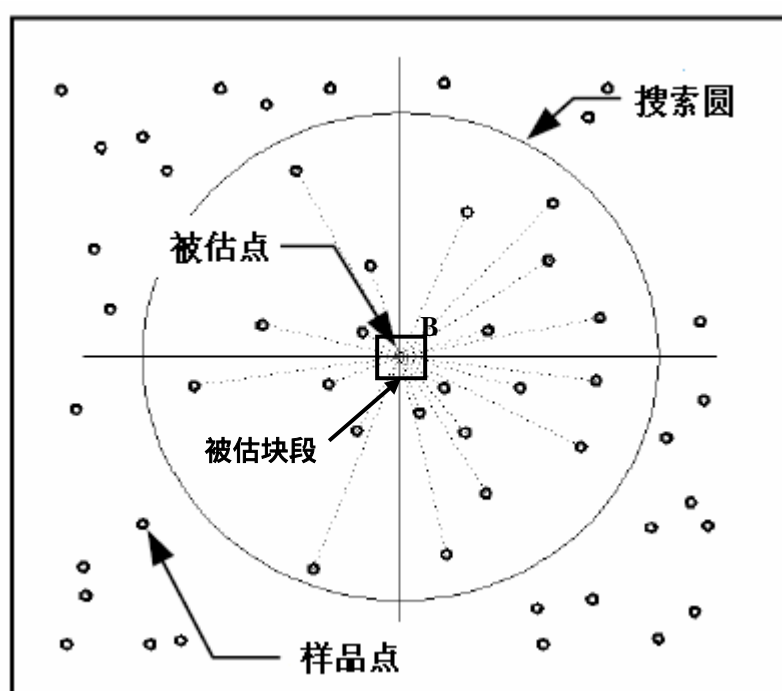


图 9 距离倒数法原理示意图

样品权系数的衰减越快,接近中心的样品权系数迅速加大,离开中心的样品权系数迅速减小; $p$  越小,则随着距离增大,样品权系数的衰减减慢,接近中心的样品权系数与远离中心的样品权系数差距缩小。在实际应用时,如要加大近距离样品的影响,则取较高的  $p$  值,如取 2,3,4 等,如果要适当提高较远距离样品的影响,则取较低的  $p$  值,如 1,0.5 等。图 10 为  $p$  分别取 1,2,3 时的估值效果。

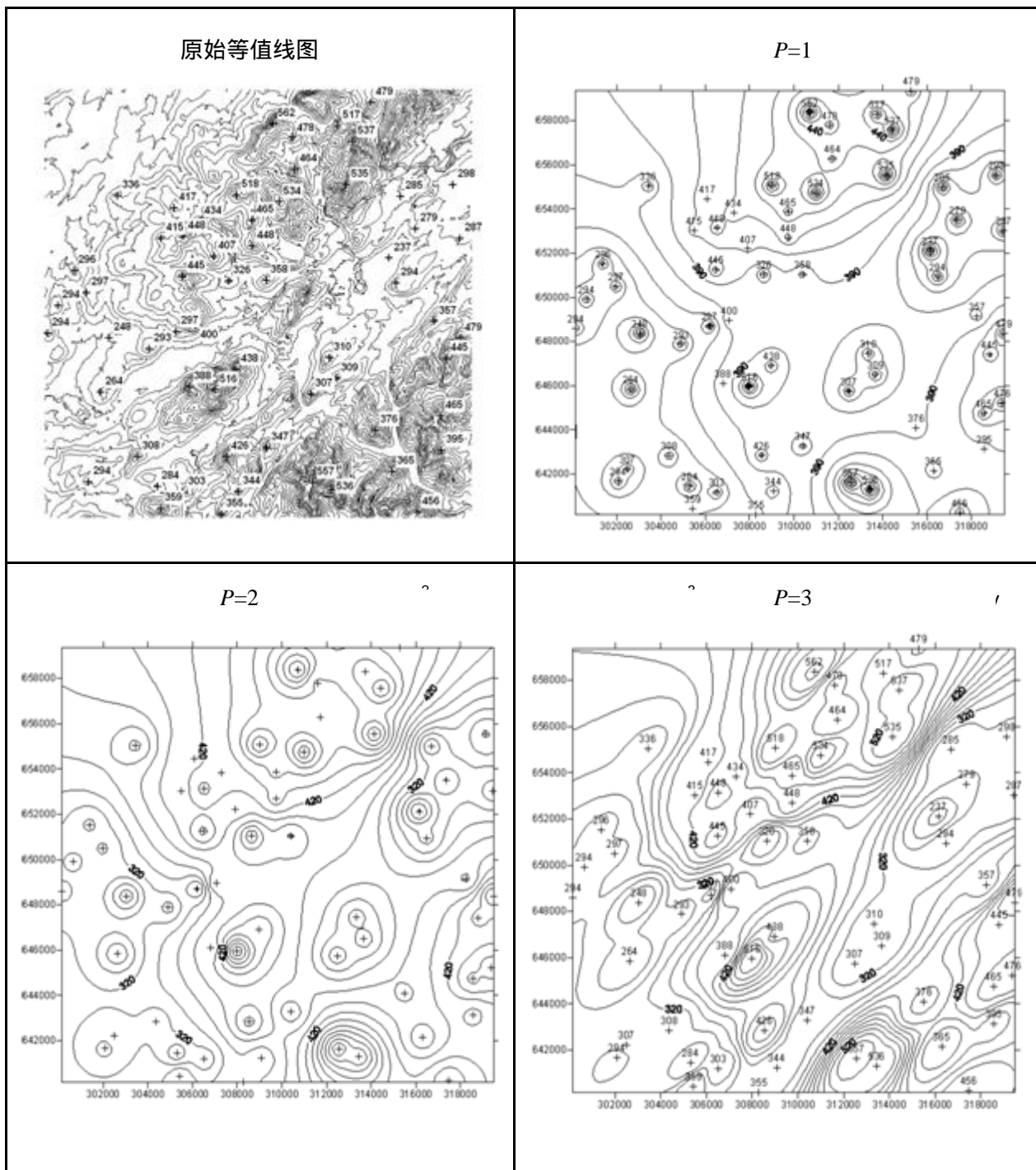


图 10 不同  $p$  值的距离倒数法估值结果对比

由图可见，当  $p$  值为 1 时，插值所获图形最为圆滑， $p$  值为 2 时次之， $p$  值为 3 时图形的圆滑效果最小。因此，可把  $p$  值视为插值的圆滑参数。在进行矿产资源量估算时，不可使圆滑度太小，这样将损失邻域样品的有用信息；也不可使圆滑度太大，这样将冲淡被估点的处的特征信息；选择什么样的  $p$  值，须在研究空间数据的特点和资源量估计效果来确定。

#### 4. 克里格法 (Kriging)

同距离倒数法一样，克里格法也是一种使用邻近地区样品估算一个规则块段资源储量的方法，但更具科学性和更符合矿体品位、厚度变化的地质规律（图 11-12）。

克里格法已成为当前国外矿业界使用最广的资源储量估算方法，特别是对于勘探阶段和矿山生产阶段的资源储量估算，绝大多数是使用克里格法完成的，否则公司上市或向银行贷款将不会获准。一般说来，无论一个勘查区曾用过什么方法估计过资源储量，最终总是要使用克里格法提供可用于矿山设计、可用于建设贷款的资源量或储量。

克里格法受到如此重视的理由是，第一，克里格法是一种无偏估计方法，即从理论上讲，用克里格法估算的矿产资源量、储量只带有随机误差而不存在系统误差。因为无论用什么方法估算储量，由于是使用有限的样品来估计整体空间对

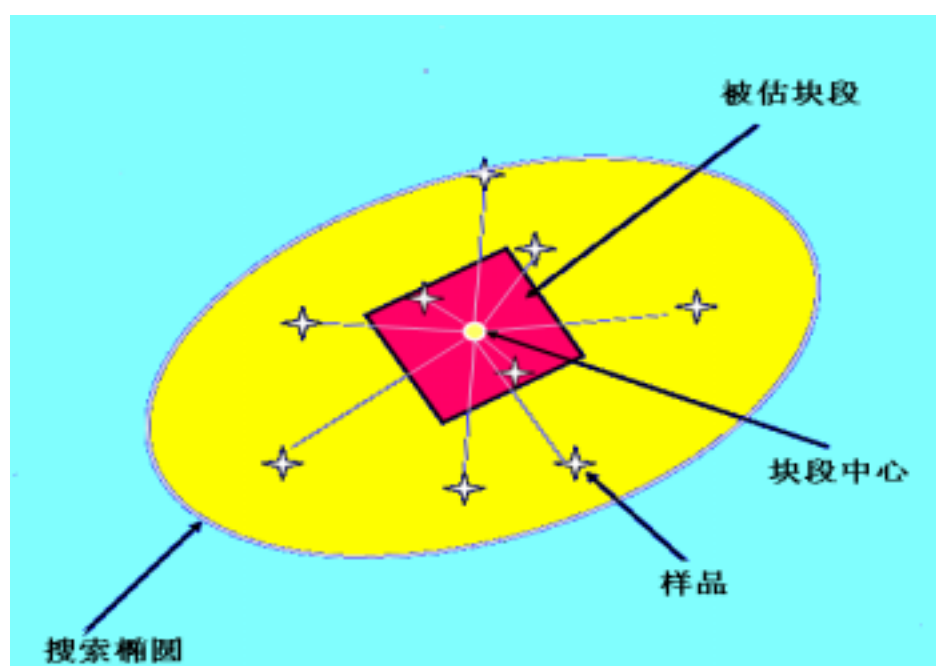


图 11 克里格法基本原理



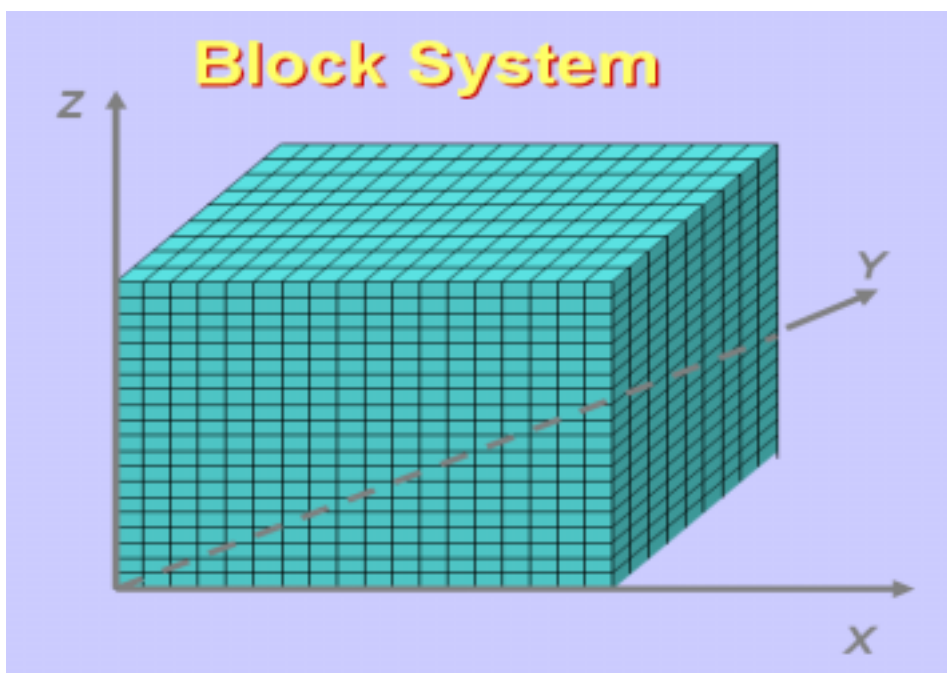


图 12 距离倒数法和克里格法使用的块段系统

象的数量，因此总是有误差的，但如出现系统误差，即估计数据系统偏高或系统偏低，则是估计方法的大忌。

在所有的资源储量估算方法中，只有克里格法用自己的理论证明，其估算结果不回出现系统误差。

第二，克里格法在给出一个块段的资源量、储量参数数据的同时，还给出该参数的估算误差，这就解决了资源储量估算中的一个根本问题：如何确定一个块段的资源储量类型？由于不同的资源储量类型有不同的允许误差，克里格块段的误差信息显然对确定该块段的资源量或储量类型起到科学判断的作用。

第三，克里格法的资源储量估算块段是规则的网格系统，易于同采矿设计和矿山开采系统衔接，在勘查阶段，就可按某种采矿块段系统进行资源储量估算，因此其估算结果更具科学性和可行性。

国外矿业公司常使用的克里格法有：普通克里格法、对数克里格法和指示克里格法。

#### 普通克里格法

普通克里格法（Ordinary Kriging）估值函数为



$$Z_{ok}^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i(\mathbf{u}) Z(\mathbf{u}_i) \quad (3)$$

式中  $Z_{ok}^*$  为点或块段克里格估值,  $Z(\mathbf{u}_i)$  为第  $i$  个邻域样品的参数值,  $\mathbf{u}_i$  为第  $i$  个邻域样品的位置,  $\lambda_i$  为第  $i$  个具有位置  $\mathbf{u}$  的邻域样品的克里格权系数。

普通克里格法的应用条件是数据服从正态分布, 无空间趋势存在。普通克里格法是一种在矿产勘查中使用最广泛的地质统计学估计方法, 只要样品数据符合或大致符合上述要求, 就应该尽量使用普通克里格法, 以避免进入不同方法结果差异的争论。

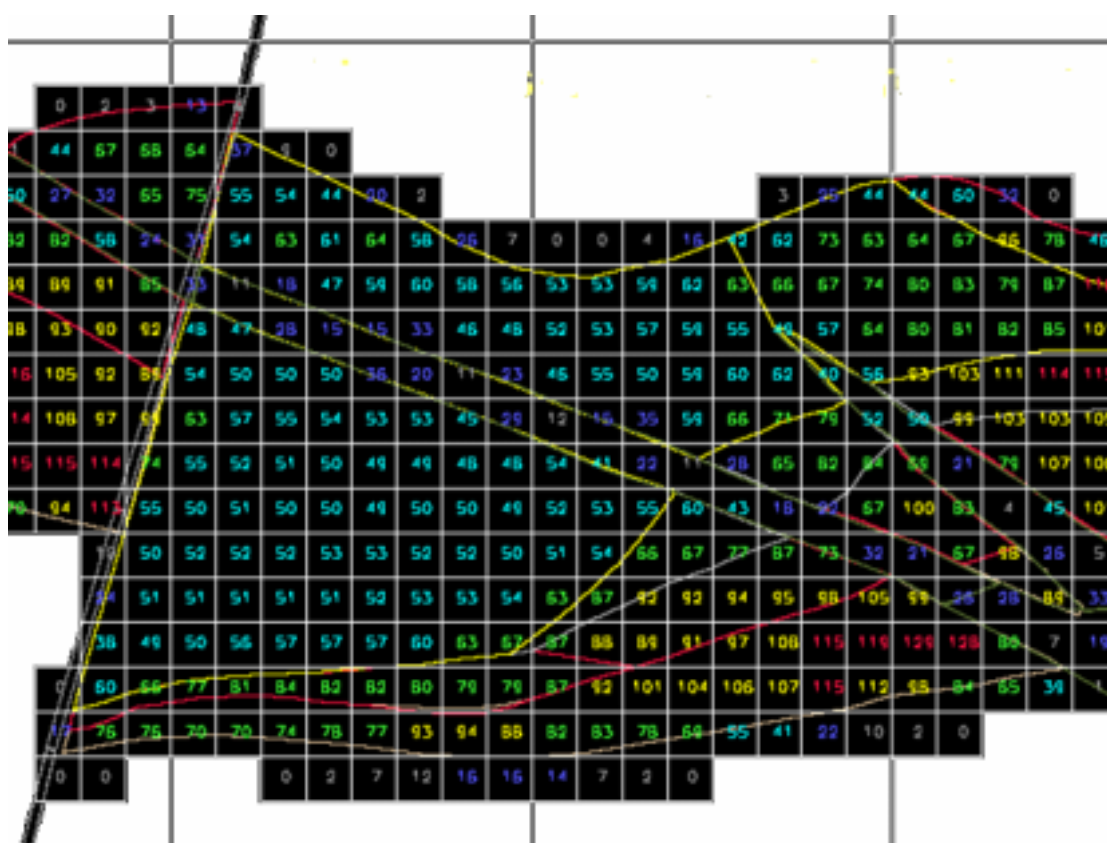


图 13 普通克里格法资源量估算结果

### 对数克里格法

当数据呈对数正态分布时, 可选择对数克里格法。严格地说, 对数克里格法并不是一种克里格法, 而是一种基于数据对数转换的克里格法。在对数据进行对数转换后, 可使用任一种克里格法进行插值, 然后再进行反转换, 把克里格对数

估值结果转换为原来的数据形式。

令样品数据集  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  具有对数正态分布，将其取对数后获得转换后的数据集  $(y_1, y_2, \dots, y_n)$ ，建立该对数数据集的变差函数，之后选择一种克里格法进行估值。如选择普通克里格法，其估值函数为

$$z_k(y) = \sum_{i=1}^n \lambda_i y_i \quad (4)$$

式中  $z_k(y)$  为基于对数的区域化变量  $Y$  的估值， $y_i$  为第  $i$  个邻域样品参数的对数值， $\lambda_i$  为第  $i$  个邻域样品的克里格权系数。

但是，在资源量估计中，我们最终需要的是参数的原值而不是对数值。按照统计学的对数转换关系，将对数值转换为原值的公式为

$$z_k(x) = e^{\left( z_k(y) + \frac{\sigma_k^2(y)}{2} \right)} \quad (5)$$

式中  $z_k(x)$  为对参数原值的克里格估值， $\sigma_k^2(y)$  为该参数克里格估值的对数方差。

在每个克里块段估值中，都要输出  $\sigma_k^2(y)$ ，因此反变换到参数原值不存在困难。

当原值为 0 时，将无法进行对数转换；且上述对数转换是假定原值数据起点为 0 的假设下进行的，如果原值数据的合理起点显著大于 0，则需加上一个常数项；如果原值数据基本上位于 0 处，则加上一个大于正的微小数值即可。于是对数转换公式为

$$y = \ln(a + x) \quad (6)$$

相应的克里格估值由对数向原值的转换式为

$$z_k(x) = e^{\left( z_k(y) + \frac{\sigma_k^2(y)}{2} \right)} - a \quad (7)$$

### 指示克里格法

指示克里格法是一种非线性克里格方法，用于参数数据不服从正态分布时的资源量估计，特别适用于存在多种矿石类型，且每一矿石类型的品位具有一个概率分布区间，诸矿石类型的概率分布又呈叠加状态的复杂情形。

指示克里格法的基本思路是对一个数据集设置一个阈值 (cut-off)  $z$ ，然后审视全部数据集，给大于此阈值者赋一个指标值“1”，给小于此阈值者赋一个指

标值“0”，指标的英文是“indicator”，也可译为“指示”，但不如指标确切。由于多年来均译为“指示克里格法”，对此译名没有必要予改动，但建议在具体涉及“indicator”的用语时，将“indicator”译为“指标”。

在赋予指标值后，所有的计算，包括变差函数的计算和克里格估值，都以样品点的“1”和“0”取值进行。指示克里格法估值的操作步骤为：

1) 对用于进行指示克里格估值的数据集，确定一个阈值  $z_k$ ，对大于等于此阈值的样品赋指标“1”，对小于此阈值的样品赋指标“0”。每个样品的指标值用  $i(u; z_k)$  表示， $u$  是一个位置向量。

$$i(u; z_k) = \begin{cases} 1 & \text{if } z(u) \geq z_k \\ 0 & \text{if } z(u) < z_k \end{cases} \quad (8)$$

式中  $z(u)$  为在位置  $u$  的样品值。

2) 对由“1”和“0”组成的新数据集，计算经验变差函数，并用合适的理论变差函数进行拟合。

3) 对由“1”和“0”组成的数据集，进行普通克里格估值。其估值模型为

$$[i(u; z)]_{ok}^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i(u; z) i(u_i; z) \quad (9)$$

指示克里格估值  $[i(u; z)]_{ok}^*$  是一个条件概率

$$[i(u; z)]_{ok}^* = [P\{Z(u) \geq z \mid (n)\}]_{ok}^* \quad (10)$$

假定上面所说的阈值是矿石的边界品位，则对  $[i(u; z)]_{ok}^*$  可有两种解释。第一种解释是，在被估块段中，在  $n$  个邻域样品条件下，品位的估值  $Z^*(u)$  大于等于边界品位的概率。第二种解释是，在被估块段中，在  $n$  个邻域样品条件下，大于等于边界品位的物质占全部块段物质的百分比。按照第二种解释，可理解为  $[i(u; z)]_{ok}^*$  是一个块段的可回收资源量的回收系数。

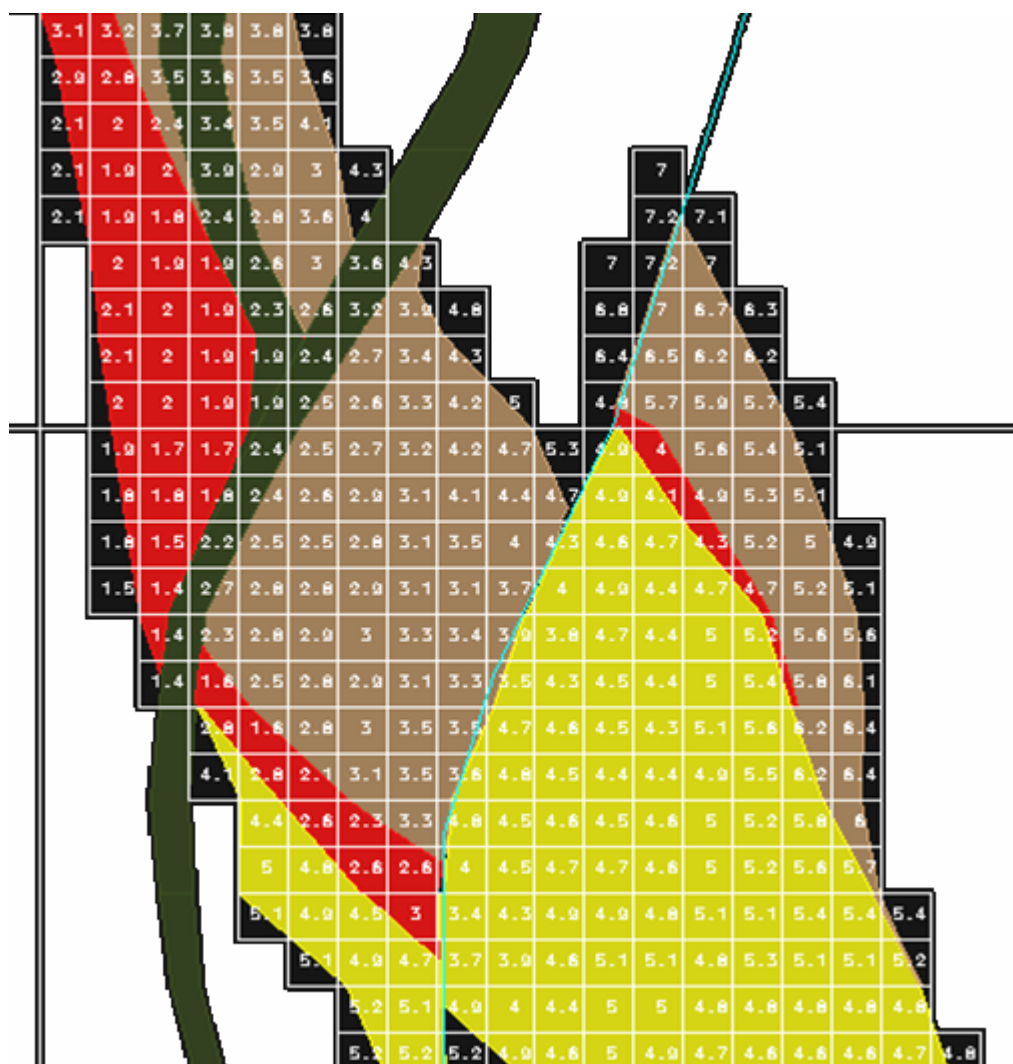
4) 选择一个临界概率，将大于等于此概率的块段圈定出来，作为矿体范围，将小于此概率的部分作为无矿范围。在使用多重指示克里格法时，有多个阈值，因此圈出的不是矿和非矿范围，而是不同矿石类型，如高品位、中品位、低品位矿石类型和非矿范围。

5) 对每一种矿石类型进行克里格法参数估值，可使用普通克里格法、简单

克里格法或对数克里格法进行参数估值。估值的范围即用指示克里格法圈定的范围。

6) 估计资源量。在计算出克里格块段的面积或体积、矿石体重或丰度、品位之后，可估计每个块段的矿产资源量。

指示克里格法的计算实例见图 14。



**图 14 使用指示克里格法估算不同矿石类型的资源量**  
(每种颜色为一矿石类型)