



《矿床统计预测简介》专栏，系本刊约请武汉地质学院勘探教研室数学地质组撰写，由赵鹏大、胡旺亮、李紫金三同志执笔。《简介》拟分四期刊完。各期内容如下：

- ①数学地质与矿产预测；
- ②地质变量的选择、取值和变换；
- ③矿床统计预测的基本方法（上）；
- ④矿床统计预测的基本方法（下）。

——编者

① 数学地质与矿产预测

武汉地质学院勘探教研室数学地质组

当今矿产普查工作正面临着向深部、隐伏和新类型矿床进军的新形势。除一些边远地区外，寻找露头矿和浅部矿的机会越来越小。这意味找矿难度日益增大。为了进一步提高普查找矿效果，系统研究成矿理论，深入分析成矿规律，大力改进矿产预测方法是十分重要的。

传统的矿产预测，其理论基础是矿床在空间和时间上分布的规律性。这种规律性主要表现为一定类型矿床与一定地质构造环境相联系。根据有利成矿地质因素在时间和空间上的发育和展布特征及其组合状态评价不同地段的含矿远景。然而，矿床的形成和分布对于某种已知有利地质构造条件并不是一种“确定性事件”。例如，表面相似的地质构造环境可能在含矿性上具有很大的差异。这说明成矿作用不仅受一般规律性制约，而且与一些局部因素和很多随机因素有关，其中包括某些在目前地质理论和方法条件下尚未被认识的控矿因素。因此，做为矿产预测的理论不仅要依据已知的一般规律性，而且需要注意受局部因素制约的特殊规律性，并且要考虑随机因素的影响，这就要把矿床的形成和分布做为随机事件来研究。

传统的矿产预测，主要是根据各种近矿的，直接或间接标志评价地区含矿远景，如矿化显示和蚀变围岩、物、化探异常等。然而，对于预测深部矿体来说，远矿的、间接的矿化标志就不容忽视。

传统的矿产预测主要是单个地考虑各种因素和标志与矿化的联系，而且一般不能充分反映各种因素或标志对成矿控制程度的差异性。由于矿床的形成是多种因素综合作用的结果，各种控矿因素不仅同时与矿化有关联，而且各种因素彼此之间也存在不同程度和性质的联系。用传统的预测方法，无法同时考查几十、上百个因素与矿化的联系，也不能排除其它因素的影响而真正考查矿化与某个地质因素的关系。另外，评价各种因素的成矿意义时往往取决于研究者的观点、对某个问题的认识和掌握程度等。

传统的矿产预测主要是用类比法定性地进行。这样，使远景预测区的分级过粗，而且不同级别远景区的分界标志有时难于掌握，特别是各种因素和标志的组合比较复杂时更不易客观地评价研究区的远景程度。因此，同一地区的预测结果往往因人而异，而且对不同预测方案缺少评价的客观准绳。在这方面存在的问题与划分矿床勘探类型时发生的问题有很多类似之处。

不言而喻，新的矿产预测理论和方法应该力图避免上述主要问题和缺点，应该尽量符合

现代矿产预测工作的新趋势和新要求。近年来,数学地质在矿产预测中的应用,在这些方面取得了不同程度的进展。值得强调的是,数学地质的引入,不仅增添了一种矿产预测的新方法和新途径,更重要的是,它提供了一种基本的地质—数学思维方法和工作要求,即探讨一切地质过程在数量上的规律性。具体到矿产预测,它主要体现在以下几方面:

首先,注意到矿床的形成和分布是在服从地质过程发展总趋势基础上受概率法则的支配,因此应注意查明矿床(点)规模、质量、矿床价值的统计分布模型以及矿床(点)在时间和空间上分布的统计模型。

其次,定量地研究各种地质条件和标志,查明它们的各种数学特征及其在时间、空间的变化性(包括分布函数的参数、趋势函数、趋势剩余及自相关函数等),查明各因素及标志与矿化的相关性,找出各因素及标志最有利成矿和找矿的数值范围,建立矿化与各种控矿因素和找矿标志间的数值联系,确立各种不同矿化等级所对应的典型地质条件和标志组合或地质环境。

最后,定量地评价预测结果,查明预测地段的远景大小和预测对象的可能规模或价值并进行概率估计,评价预测的风险或可能损失并在此基础上以某种最优化准则做出相应的统计决策。

上述工作综合起来可概称为“矿床统计预测”。按这些工作的性质来说,有人认为矿床统计预测属于“在大区域内具空间变化性的多元系统数据的统计分析工作”(阿格特伯格,1974)。具体地说,是根据大区域中系统获得的地质和物、化探观测值估计特定类型矿床产出的概率。有人认为矿床统计预测是一种“环境分类”或“模式识别”工作,其主要任务是确定各种因素和标志的不同组合模式所对应的预测对象类别。可以把不同标志组合看成是不同矿化特征的数字编码,因此可以像“查字典”一样,根据标志的组合特征评价地区的含矿远景(多罗德尼岑,1966),或进行有利及不利于勘探的地区分类(哈里斯,1965,科克,1969)。也有人将矿床统计预测工作看成是在不确定条件下采取最优决策的工作,其目的是“在最小限度漏失矿床的前提下最大限度缩小需要进行详细工作的地区范围”(布加耶茨,1976)。

由以上论述可以看出矿产预测中的地质—数学思维方法和将矿产预测地质问题变为数学问题的一般途径。需要强调的是,应用数学方法进行矿产预测必需充分考虑和依据地质成矿理论研究所取得的成就和现有的找矿经验,只有把数学方法和成矿规律的理论成就很好地结合起来,才能取得预期效果。

矿床统计预测的基本步骤如下:

1. 确定预测对象和预测地区范围

首先确定“找什么”和“那里找”的问题。一般是按矿种或某种矿石建造或成因类型进行预测。预测范围根据工作要求按地理区划或地质区划加以确定。如某地区、某成矿带或矿田等等。

2. 确定预测基本地段或基本单元

通常将整个预测范围按一定形状和大小的网格划分成等面积单元。这种预测基本地段或单元的大小取决于所要求的比例尺大小,预测对象的种类和地区地质构造的复杂程度。

3. 选择原始的标志总体

各种原始地质资料,如从地质图、物、化探图上读取的各种标志值,各种分析化验数据,各种观测结果等都是进行统计预测的基础资料。这些变量(标志)可区分为纯量和向量两大类。前者是只用一个数值表示的变量,如一套岩系中砂岩夹层的总厚度,岩石中硅的含量等,后者是用两个或更多个数值描述的变量,如一套岩系中砂岩、页岩及灰岩的厚度百分比,岩石中基本造岩氧化物的含量(达10~15或更多个数值)。用于预测的变量有时称为标志。据布加耶茨(1976)等人的意见,选择原始标志时可参考下面几个原则:①全部或大多数单元中该标志值是已知的;②在整个研究区中该标志不具有相同的值;③在每个单元中该标志只有一个值;④该标志可以进行观测或度量。

4. 对各单元按统一标志组合进行取值

在确定原始标志总体以后,对每个单元都应按统一的标志总体取值,而且须要用统一的标准形式进行表示。为此,对某些变量可能需要进行适当变换或进行某种特殊编码。

5. 建立标准对象总体

标准对象有时也称“控制单元”或“控制区”。根据所欲采用的统计分析方法,有时只需确定“已知有矿”的控制单元,有时还需同时建立“已知无矿”的标准对象总体。当资料比较充分时,还可以进一步区分,比如建立“已知有大型矿床”的标准单元和“已知有小矿”的标准单元等。当研究区内做为标准对象的矿床数量太少时,可将邻区或其它地质条件相类似地区同类矿床的单元做为标准单元加以利用。有时,可扣除一部分标准单元不参加统计分析,它们留做以后验证统计预测效果之用。

6. 选择适当统计分析方法,建立相应矿产预测数学模型

根据资料的数量和性质、预测的任务要求以及地区地质构造特点等选择恰当的数学分析方法。目前已经用于统计预测的方法很多,通常综合选用几种方法,可以收互相补充和验证之效。在进行具体分析计算过程中,有些方法可以同时起到筛选重要地质变量,确定具有最大信息统计预测标志的作用。通过分析计算,根据某种最优化准则,确定成矿远景预测区。

7. 对远景预测区进行地质解释和验证

验证包括统计检验和实际验证,特别是后者,它是检验统计预测效果的基本途径和唯一标准。上面概述的工作步骤是在应用基础概率和单变量统计方法以及多元统计分析方法进行矿产预测时最一般的工作步骤。这不排除在应用某些特定方法时而采取与其相适应的特殊工作步骤。

矿床统计预测效果,主要取决于原始资料数据的可靠性和可利用程度、对地区基本地质一成矿特征的认识程度、变量选择是否得当、方法运用是否正确合理等。因此对以上叙述的每一步骤都应认真做好,任何环节的疏忽都可能导致错误的结论。

已有实践表明,用数学地质理论和方法进行矿产预测具有很大优越性:它可以最大限度地利用已有资料并发掘出最多的找矿信息;它有助于排除因人而异和模棱两可的不确定因素从而对远景区进行定量的、客观的评价;尤其是它为矿产预测自动化、精确化奠定了不可少的基础。然而,由于这是一项比较新的课题,在理论和方法上都尚待进一步完善,还有不少问题值得进一步研究解决,比如:

1. 矿产预测中的抽样理论和方法问题。目前国内外大多采用划分等面积单元的方法,但单元大小的确定缺乏客观准绳。地区研究程度和精度的差异性导致单元之间观测取值的基础不同从而影响预测的可靠性。另外是样本代表性问题,即根据已知区或控制区所建立的数学模型是否能有效地推广到新区或未知区的问题。

2. 地质观测结果的数字化定量化以及最优变量的选取问题。例如,作为重要控矿因素之一的构造因素至今没有很好的定量办法。又如,地质体的形态、产状、内部结构、不同地质体之间的组合特征等都可能造成矿化的差异性,而这些标志的定量化或综合性参数的确定都是需要进一步研究的。特别是要注意:某种标志在数值上的相似性并不等于地质上的相似性。例如,有两个等面积单元,其中某种超基性岩出露面积相等,但一个单元属于大岩体的一部分,而另一单元隶属于小岩体,这样,如何反映两者含矿性的可能差异就很重要。

3. 现有数学模型的适用性问题。某些地质观测值空间变化的连续性或地质趋势的存在使得现有的一些研究随机变量的数学模型大为逊色。许多地质变量不呈正态分布也给一些地质统计模型的有效应用带来困难。

4. 如何提高预测深度问题。在矿床统计预测中,很多地质变量取值于地质图,因而只能反映地表或较浅部的地质特征。除物、化探及某些化验分析数据能代表一定深度外,目前的统计预测基本属于二维工作方法,其很大缺点是对第三度空间,即深度考虑不够。如根据地表资料,某单元内无侵入体出露,但地下却可能有火成岩体存在,或地表无断裂,而深部却可能有断裂通过等,这就影响对深部预测的可靠性。另外在掩盖地区如何选取地质变量和预测也是有困难的。

尽管存在上述问题,矿床统计预测无疑是值得注意的重要方向。可以预料,随着数学地质和电算技术的进一步推广,矿床统计预测工作必将更加广泛开展起来,从而为祖国的四个现代化和地质科学的现代化做出更大贡献。