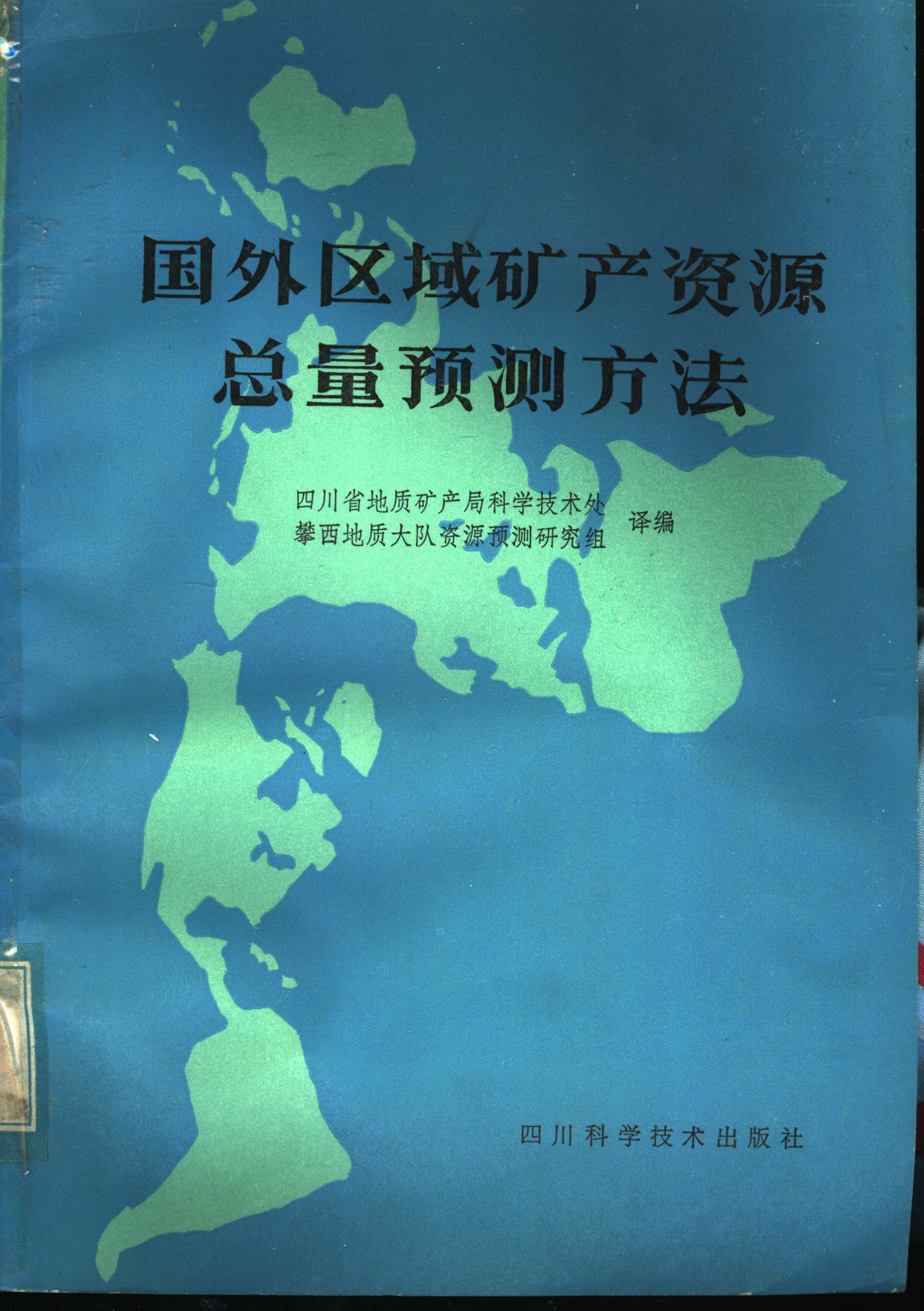




国外区域矿产资源 总量预测方法

四川省地质矿产局科学技术处 译编
攀西地质大队资源预测研究组

四川科学技术出版社

国外区域矿产资源 总量预测方法

四川省地质矿产局科学技术处
攀西地质大队资源预测研究组 译编

四川科学技术出版社

责任编辑：崔泽海
罗孝昌

国外区域矿产资源总量预测方法

四川人民出版社出版 (成都盐道街三号)
四川省新华书店发行 内江新华印刷厂印刷

开本787×1092毫米 印张12 插页2 字数270千
1984年8月第一版 1984年8月第一次印刷
印数：1—3,100册

书号：15298·21 定价：1.75元

前 言

区域矿产资源总量预测是根据一个图幅、一个地区、一个国家、甚至全球的地质矿产特点,采用合适的数学方法,对其可能产出的资源总量进行预估。目的是搞清楚潜在的可利用资源远景,为正确制定资源政策,进行国民经济规划和合理布置地质勘探工作提供依据和资料。矿产资源总量预测工作在国外开展较早,并有了相当的规模和成就。国际地科联于1975年在国际地质对比计划中建立了第98号项目(矿产资源研究中使用计算机的准则),进行有组织地广泛地研究试验,发表了许多有价值的文章。在国内,此项工作近几年也已经开始受到重视,一些单位正在试点,不久的将来即可全面开展。四川目前正在对钒钛磁铁矿和磷矿的资源总量预测工作,拟在取得经验以后再逐步地推广到其它矿产。

资源、能源供应状况如何,将是下一个世纪人类面临的重大问题之一,也是我国四化建设的重要物质前提。预测区域矿产资源总量,搞清其远景,有着十分重要的实际意义。地质工作从定性到定量,从孤立的在点上评价矿床到对大面积矿产资源总量进行科学预测,是事物发展的必然规律。但就目前的水平来说,资源总量预测还未形成系统的理论,工作方法还不成熟,作法上各有不同,属于潜科学范畴,许多问题还有待今后在实践中不断地探索研究。

我们在进行区域矿产资源总量预测方法试点研究中,参加了联合国教科文组织于1981年6月在我国举办的《计算机矿产资源评价》专题讨论会,收集了部分国外资料。为借鉴国外的有益经验,探索和研究出适合我国国情的预测方法,为预测我省、我国潜在的矿产资源贡献我们微薄的力量,我们特组织部分从事该项专题研究的同志,从大量国外文献中选出一些有代表性文章,编译成《国外区域矿产资源总量预测方法》(译文集)一书。为了从原理和方法上给区域矿产资源总量预测工作建立起一个初步的概念,选题力图全面,包括某些有争议问题的正反两方面文章。该书除介绍国际地科联推荐的有关方法外,还包括根据历史资料预测矿产资源的作法和实例、矿产频率法、从地质图资料估计矿产资源的回归模型、地质统计学方法、决策模拟、齐普夫方法、主观概率法等;此外还介绍了与总量预测密切有关的矿产资源数据库,加拿大、美国阿拉斯加矿产资源总量预测情况,收录了“区域性矿产资源评价方法述评”一文及其所附的104篇参考文献目录(为避免重复,其他各文参考文献一律从略)。这个书目比较全面、系统,为进一步深入研究此专题的地质同行提供了相当数量的资料信息。我们希望此书能对区域和矿床地质工作者进行资源定量评价,对正在攻读地质矿产专业和数学地质专业的大专学生会有一点具体的帮助。

另外,说明一下:书中地名,除常用的“世界地名译名手册”和“世界地图”上可查得者外,一律未译;人名,除已有通译的如贝叶斯、齐普夫等外,亦不译出;电子计

计算机输入程序不译，直接沿用原文，以免造成混乱。

本书由四川省地质矿产局科学技术处和攀西地质大队资源预测研究组负责编译。主要参加人员有：陈茂勋、杨本锦、郭履和、彭富钰、唐跃苹、郭建国。最后由杨本锦、陈茂勋定稿。工作中得到王朝钧总工程师、周信国主任工程师、曾本贵工程师的热心指导和帮助，廖刚琴同志帮助清绘插图，在此表示深切谢意。

编译者

目 录

一、全球性资源评价方法	1
著者: A.L.Clark等	
译者: 陈茂勋	
校者: 杨本锦 彭富钰	
二、世界潜在的矿产资源	9
著者: V.E.Mckelvey	
译者: 郭履和	
校者: 杨本锦	
三、根据历史资料预测矿产资源——以汞矿为例	14
著者: S.M.Cargill等	
译者: 陈茂勋	
校者: 杨本锦	
四、从地质图资料估计矿产资源的回归模型	39
著者: C.F.Chung等	
译者: 郭建国	
校者: 周信国	
五、矿产资源评价的地质统计学方法	53
著者: Michel Degbert等	
译者: 杨本锦	
校者: 张理智	
六、齐普夫定律预测部分勘探地区资源总量的辅助方法	56
著者: N.J.Rowland等	
译者: 杨本锦	
校者: 唐跃苹	
七、论齐普夫定律在资源预测中的应用	62
著者: R.J.Howarth等	
译者: 杨本锦	
校者: 彭富钰	
八、资源预测决策模拟	75
著者: R.B.Mc Cammon等	
译者: 雷江安	
校者: 杨本锦	
九、矿床的频率	86
著者: Brian J.Skinner	
译者: 彭富钰	

校者: 杨本锦	
十、品位与吨位关系究竟能告诉我们些什么	102
著者: Donald A. Singer等	
译者: 张冬梅 李朋	
校者: 杨本锦	
十一、加拿大阿巴拉契亚山区铜、铅、锌分布的统计模型	114
著者: F.P. Agterberg等	
译者: 唐锦西	
校者: 杨本锦	
十二、全球矿产资源数据库和全国性矿产资源编目	131
著者: A. L. Clark等	
译者: 郭履和 彭富钰 曾晴 郭建国	
校者: 杨本锦 郭建国	
十三、数据库建立实例	136
著者: R. B. Mc Cammon等	
译者: 郭建国	
校者: 杨本锦	
十四、加拿大地质调查所矿产资源评价和矿床计算机外存储器	142
著者: O. R. Eckstrand	
译者: 杨本锦	
校者: 唐跃苹	
十五、阿拉斯加金属矿产资源评价	148
著者: D. A. Singer等	
译者: 唐跃苹	
校者: 杨本锦	
十六、现有储量、资源预测及预测精确性	159
著者: Rolf Weber	
译者: 郭建国	
校者: 周信国	
十七、主观概率法的发展及其有关评述	162
著者: D. F. Harris等	
编译者: 朱裕生	
校者: 杨本锦	
十八、区域性矿产资源评价方法述评	168
著者: D. A. Singer等	
译者: 陈晓楠	
校者: 陈茂勋 杨本锦	

一、全球性资源评价方法

A.L.Clark, J.L.Cook, S.M.Cargill 著

陈茂勋 译 杨本锦、彭富钰 校

(一) 前 言

为了适应世界经济在短期、中期或长期内对能源和矿产品供应日益增长的需要，故需要更多和更精确的储量和资源资料。在众多的数据中，有关储量和资源的分布位置、数量和质量特征最有价值。为了获得更多的资料，有必要改革老的资源评价方法和发展新的资源评价方法。因为：

1. 储量和资源缺乏明确定义导致的混乱，不但造成了应用上的困难，也使大多数资源分析的价值成为问题。

2. 所有资源评价方法均高度依赖于数据，但多数情况都缺乏足够的数据来支持详细的资源评价工作。

3. 一方面缺乏数据，另一方面又迫切需要详细的资源评价工作，以至资源预测多是高度总合式的。这种高度总合性质忽略了经济模型的基本参数的作用。

4. 在边远地区和地质研究较低地区，由于资源评价需要的金属矿床和能源矿床的储量、品位和规模的分布等可用资料不足，因此，对地球表面的大部分地区无法进行资源评价。

假设上述问题均已解决，在分析短期至长期的矿产和能源供应时，仍然需要有储量和资源数据作为基本输入参数。基于此点，相应提出了六种基本的资源评价方法。因各种方法使用的数据不同，故预测结果亦有所不同。本文将对这些方法依次进行讨论。

(二) 储量与资源评价

在讨论各种资源评价方法之前，必须对储量和资源这两个概念有明确理解。为此，笔者引用了美国地质调查所和美国矿山局提出的储量、资源概念（美国地质调查所、美国矿山局，1976）。

资源（Resource）：是在地壳内部或地壳表面天然产出的固态、液态或气态物质富集体，这种富集体在现在或将来能被经济利用。

储量（Reserve）：是已探明的那部分资源，在确定时期内，可从这部分资源提取

经济上合理、法律上允许的有用矿物和能源商品。

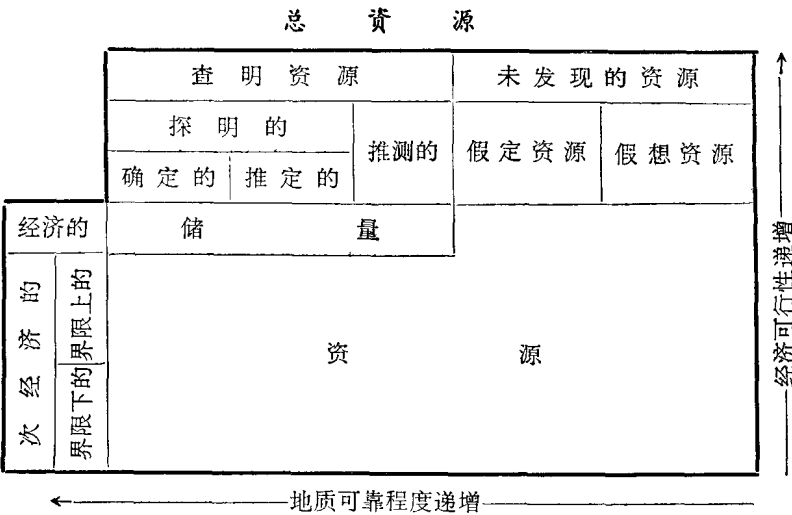
在一般的资源分类中，主要根据地质了解水平，划分为两大类。其定义为：

假定资源（Hypothetical Resources）：在已采矿地区，已知地质条件下有依据推测它存在，但尚未被发现的资源。

假想资源（Speculative Resources）：包括有利地质背景下，已知矿床类型的未被发现的资源和尚待认识的未知矿床类型的未被发现的资源。

储量和资源（假定的和推断的）的定义清楚表明，每一种类别的资源都高度依赖数据，并有相应的精度水平。精度是数据的函数。当把储量和预测的资源应用于分析模式时，这些参数成为首要的因素。分析模式以储量和资源数据作原始输入参数。各种不同类别的储量和资源的关系及其相关的经济可行性和地质可靠性如图1—1。

大多数矿产和能源供给的经济模型都以储量数据作为基本输入参数。用预测的资源作基本输入参数仅仅偶尔试用。然而，七十年代要求按照各种矿产品的地理位置、质量和数量来分析资源的长期供应问题，这时要求把储量和资源两种数据都作为基本输入参数；这样做，特别在资源的情况下并不合适。



资料,是资源预测在特定的地区和矿种没有广泛开展的主要原因。

为了更有效地制定基本的资源评价方法和各种方法对基本资料的要求,国际地质对比计划(简称IGCP)制定了IGCP98项计划(在资源评价中使用计算机的标准)。这个计划已出版了两本专著(Cargill和Clark,1977,1978),对基本方法和所需资料进行了详细说明,介绍了几个实例,建立了资源评价的研究机构。Cargill等(1977,P.211—220)总结了六种主要的资源评价方法,简况如下。

- 1.区域价值估计法:将已知区确定的平均单位区域价值外推到有意义的未知区。
- 2.体积估计法:将有代表性的单位体积内的平均浓度估计值,外推到相应的评价区范围。
- 3.丰度估计法:通过一个经验函数,从已知区有代表性平均丰度来预测可回收资源量。
- 4.矿床模拟估计法:根据类似环境中已知矿床的特征分析,来预测特定环境中的资源。
- 5.德尔菲估计法:根据多名专家对资源反复预测后的集中意见来预测资源。
- 6.综合估计法:利用上述资源估计方法中的两种、多种或全部方法,综合进行的资源预测。

以上方法正在使用 and 修改,以制定资源评价计划。选择那种方法,完全随资料的可用性、人员力量、对预测可靠性的要求而定。表1—1、表1—2和表1—3表示这些方法的

表 1—1 资 料 要 求 表

资 料 名 称	方 法					
	区域价值 估 计 法	体 积 估 计 法	丰 度 估 计 法	矿床模拟 估 计 法	德 尔 菲 估 计 法	综 合 估 计 法
矿产资源图	D	E	D	E	D	E
地 质 图	D	D	D	E	D	E
化 探 图	D	E	E	D	D	E
物 探 图	D	D	D	D	D	E
区域资源统计	E	D	E	D	D	E
地质背景	D	D	D	E	E	E

注: E表示必需的基本资料;D表示希望获得的资料(Cargill和Clark,1977)

表 1—2 人 力 要 求 表(人年)

活 动	方 法					
	区域价值 估 计 法	体 积 估 计 法	丰 度 估 计 法	矿床模拟 估 计 法	德 尔 菲 估 计 法	综 合 估 计 法
收 集 资 料	0—1	1—5	1—5	20—100	1—5	20—100
预 处 理	0—1	0—1	0—1	1—5	0—1	1—5
分 析	0—1	0—1	0—1	5—20	1—5	5—20

(Cargill和Clark,1977)

表 1—3

相对可靠性表

项 目	方 法					
	区域价值 估 计 法	体 积 估 计 法	丰 度 估 计 法	矿床模拟 估 计 法	德 尔 菲 估 计 法	综 合 估 计 法
相 对 的 可 靠 程 度	1	2	3	5	4	6

注：6表示可靠性最高；1表示可靠性最小（Cargill和Clark, 1977）

料、人力要求和各方法的相对可靠性。

任何一个试图进行资源预测的人员，只要粗看一下表1—1、表1—2和表1—3，就会知道在作分析时选择恰当的方法和基本数据为什么如此重要。表1—4总结各种方法的优点和缺点，可用这些因素细心权衡各种资源评价方法的意义和潜在用途。虽然这些资源评价方法都有一定缺点。但必须强调，对每一种方法得出的预测结果，在应用时都应留心，至少是用于分析可用资源长远规划的那部分关键性资料更应留心。现在，这些方法得到迅速发展，许多重要的基本数据得到编码储存，这样扩大了它们的应用范围，增加了它们的可靠性。现正进行的一些资源评价项目的实例将在下节总结。

表1—4

各种资源预测方法的优点和缺点

方 法	优 点	缺 点
区域价值 估 计 法	方法简单、评价周期短、费用少。适用于世界任何国家的矿产资源计划	相等面积地壳有相等价值的假设未必正确。需要高精度的矿产地质和地质图
体 积 估 计 法	方法简便、需要资料少。为天然气、石油盆地资源预测的标准方法。对形态简单均一的矿床特别适合	资料不足时不能用。地质情况相似资源亦相似的假设不一定正确
丰度 估 计 法	获得成果快，可为资源计划获得相当可靠的预测值，能用新的数据进行修正	预测不确定性有时可达2~3个数量级，从小区域外推误差大。假设的岩石类型和矿产间的亲缘关系未必正确
矿 床 模 拟	可包罗全部适合的数据、地质概念。所得结论反映了数据质量。可圈定靶区，提供非总合式预测结果	矿床模型需要的数据受到限制。数据不足时可能导致不相称的矿床模型，并集中于熟知的矿床类型
德 尔 菲 估 计 法	快速有效、费用低、可广泛应用。假如专家选择适当，可提供非总合式预测结果	容易产生偏差，倾向于“拉平”预测值成平均数。成果质量依赖专家的水平 and 经验
综 合 估 计 法	能综合所有适合的数据、概念、经验。提供非总合式预测成果。可用于圈定勘探靶区和资源政策分析	费用和时间耗费大，要求大量的基础资料，工作人员技术水平要求高，因此适用范围有限

(四) 资源预测项目

在过去五年中,开展了许多区域性或全国性资源评价工作,有的正在进行,有的已经完成。这些区域矿产资源评价项目多数采用前述主要方法中的一种或多种进行。这些正在进行或已经完成的项目中最有意义的是:阿拉斯加、南非、新西兰、墨西哥、委内瑞拉和以色列等的区域价值估计法;美国、加拿大、墨西哥和委内瑞拉的体积估计法;加拿大、美国和全球性的丰度估计法;加拿大、芬兰、塞浦路斯和加里东地区的矿床模拟估计法;墨西哥、加拿大和美国的德尔非估计法;以及阿拉斯加的综合估计法等。

虽然,各种方法都适用于金属矿床和能源矿床,但从多数已出版的文献资料看,它们主要涉及的是金属矿床。尽管如此,许多有关油气田的资源预测项目,还是在世界各主要产油区开展或计划开展。所有这些项目,都为资源潜力提供了重要数据。

(五) 总合式和非总合式资源预测

资源预测的用途,主要取决于预测的形式,是总合式,还是非总合式。历史上大多数资源预测都是总合式,即预测总资源量,而不确定矿床的位置和数目。近年来的资源预测工作正努力朝着非总合式预测方向发展。在0.95~0.05的概率置信区内确定预测资源的矿床数目、位置、质量和数量。

总合式资源预测的优点是比较容易完成,要求的基本数据水平没有非总合式资源预测高。获得新数据时比较容易修正,而无需改变预测方法。就新的数据输入而言,总合式预测方法的稳定性也意味着这种评价方法具有相当普遍的适用性。

分析容易,要求数据较少,数据精度相对较低,以及普遍适用性,是总合式资源评价方法被广泛采用的原因。然而,也正是这些因素限制了这种资源评价方法在许多方面的应用,并大大地促进了近年来人们致力发展的非总合式资源评价方法。但要强调说明,在提供资源基本轮廓、预测资源总量方面,总合式资源评价仍有重大价值,而非总合式资源预测只有在这一基础上才能被应用。因此,总合式资源预测是有巨大价值的,在以下的分析中还要应用到。

首先,也许是最重要的,总合式预测可有效地确定一个大区范围的资源潜力。在某些情况下,可对世界范围的资源进行预测,其结果可用于全球性有用矿产和能源的长远规划。虽然,这种分析的不确定性相当大,可能相差几个数量级,但用于长远规划或用于选择大区勘探和开发作依据,还不失其利用价值。对后者而言,将丰度法成果与某一地区的已知资源相比较,可以确定工作程度。若已知资源与预测资源基本相等,说明这个区域已有效地进行勘探;若已知资源量少于预测资源,则需要进一步勘查。

其次,在某些情况下,总合式预测可能比非总合式预测有更大的实用性。特别是许多全球性资源模型,更需要总合式。因为总合式预测输入模型的参数与人口、环境、食

品和水的总合式输入参数非常类似。

第三，有一事实往往被科学界忽略，就是许多关于有用资源的政策性问题。决策者最喜欢的是总合式预测成果。特别是这种预测由于新数据的输入而得到了增强，有利于在多种政策意见中快速决策。

虽然，总合式预测法是有价值的，而且在许多情况下，该法是唯一可用的形式。但最理想的情况是总合式预测结果系由非总合式预测结果相加而得。非总合式预测通常要求大量比较精确的数据、更多的时间和人力，其预测成果有广泛的适用性。因为非总合式预测特别强调阐明资源的矿床数目、位置、质量和数量。其预测结果可用于：

1. 地区、区域和全国性的资源评价项目。
2. 短期、中期和长期勘探和开发项目。
3. 导出区域性、全国性或全球性的总合式资源模型和非总合式资源模型。

非总合式资源评价最重要的属性在于它以基本地质理论、观察研究、数据和分析为基础，将明确的定量信息输入于资源供给系统的经济模型中。

（六）克拉克—德鲁资源模型

非总合式资源预测与资源供给的经济模型相综合，就是克拉克—德鲁资源供给系统概念模型（图1—2）。该模型既表示非总合式资源评价分析程序，又表示各种模型（产出模型、搜索模型、生产模型）综合成的全国性预测模型。

克拉克—德鲁模型的初始阶段，要求有广泛而完整的数据库来支持资源预测工作。这是必要的，因为对克拉克—德鲁模型的初始输入，是由经验决定的矿床模型提供。矿床模型分析决定一种矿产或一个地区的矿床大小、质量和数量。初始的矿床预测模型，一般根据已知地区资料建立。然后根据地质相似性，将已知地区的矿床分布外推到少知或未知地区。

将矿床模型评价结果作基本信息输入到搜索模型，特别是勘探亚模型中，所得结果经分析后，作为基本信息输入于生产模型，再根据时间和经济因素确定供应能力。

克拉克—德鲁模型代表现代资源评价的一种趋势，即不但精确评价潜在资源的位置、质量和数量，而且与供给的经济模型相结合。这种结合，有利于资源评价成果在政策分析上，国家和国际资源评价与开发方面的应用。

（七）结论和建议

资源评价工作正处于迅速发展之中，而且就各个地理区域的一些特定金属矿产和能源资源而言，资源评价已经形成一种理论。然而，由于资源评价高度依赖于数据，在大多数情况下，基本数据并不适合，所得到的预测值往往具高度总合性。这就严重地限制

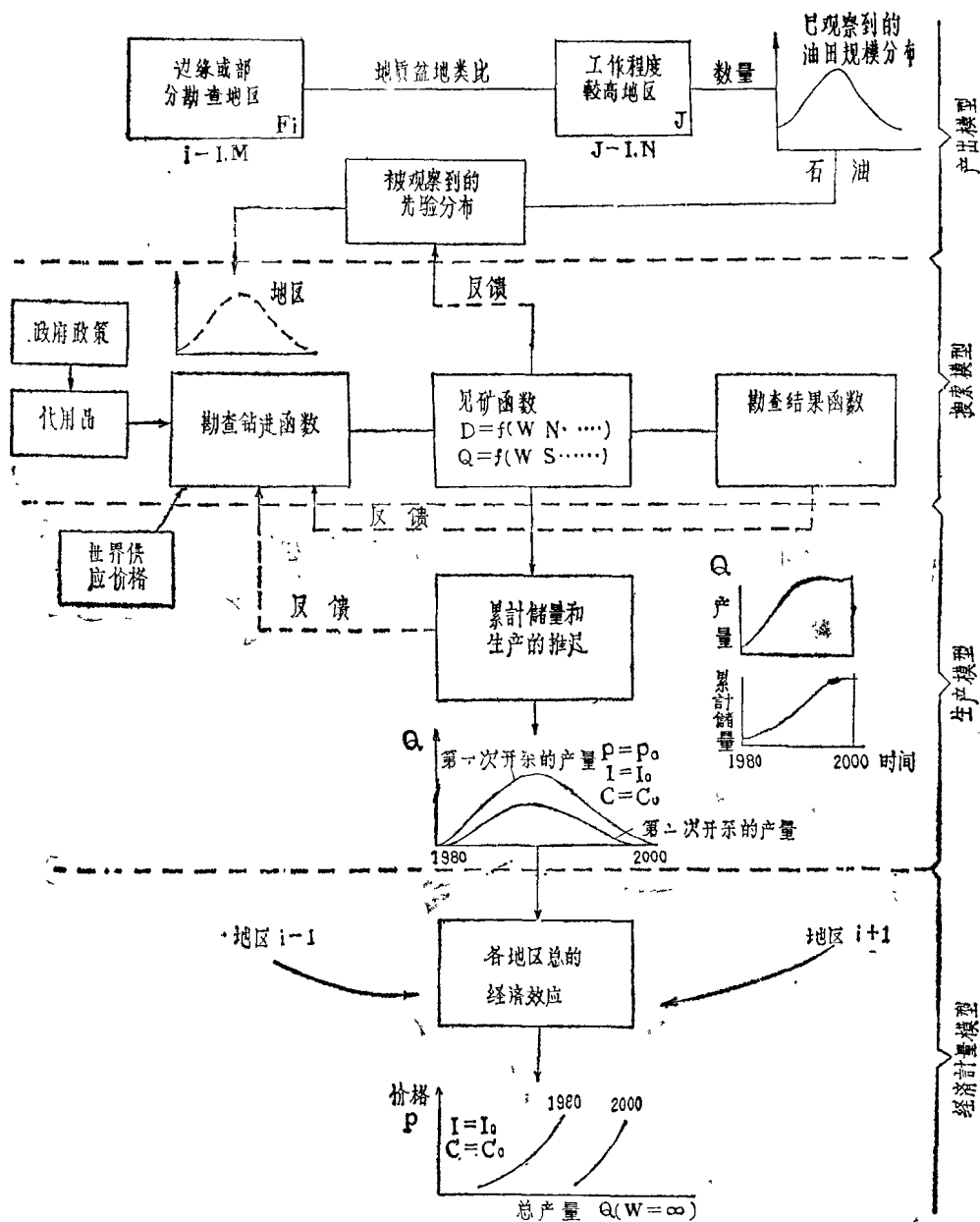


图1-2 石油供应系统的克拉克——德鲁概念模型

i ——地区数 C ——成本 F ——边缘或部分勘查区 I ——投资 N ——矿床数 P ——价格
 Q ——石油体积 S ——油田规模 W ——油井 D ——发现数

了资源评价在经济分析和资源决策上的作用。

近年来的发展，主要是矿床模拟法，现在已可能将资源预测结果应用于资源供给研究，如克拉克—德鲁资源供给模型。由于在资源预测中加强了资源的位置、质量、数量和分布规模特点的研究，基于资源预测的克拉克—德鲁模型可以应用到国际范围，

并对制定长远供给计划也有价值。

由于克拉克—德鲁模型的需要，非总合式资源预测得到发展。这种预测对时间、数据和人力方面的要求都很高。然而，由于可用于全球性资源分析的总合式资源预测刻不容缓，笔者建议由一个国际性项目来承担全球范围的丰度法预测和单位区域价值法预测。虽然，这一计划显得有些庞大，但实际上，大量的分析数据早已在若干个国家取得，并且某些地区和大陆已经这样作了；笔者建议对这些研究资料加以收集、汇编，对没有进行这项工作的地区进行预测。

按丰度法和单位区域价值法进行的全球资源估算的结果，将提供一个以数量级为单位的可利用资源的预测值；虽然是高度总合式，但对了解有效资源的概况是有价值的。一旦完成这种基本数据收集和预测，就可为更详细的非总合式预测提供基础。

研究更多更好的资源预测方法，是目前地质界面临的最突出问题之一。能源与矿产资源的短期到长期供给，是发达国家和发展中国家发展与繁荣的一个主要控制因素。全球性资源预测是人类的需要，它必将造福于全人类。

译自：《Mineral Resource Assessment by Computer》United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, Mineral Resource Assessment Training Course, 1981, 5, Beijing

二、世界潜在的矿产资源

V.E. McKelvey^① 著

郭履和 译 杨本锦 校

对于世界潜在的矿产储量大小这个问题，即使被称作专家的人，其估计亦很少正确，更不用说没有误差。我可能就是一个很少正确的专家，因为对于这个问题我实在无把握。但是，关于潜在储量问题有两点是有把握的：一是潜在储量将比我们目前能够确定的大些；二是不管它们可能有多大，亦将不能无限地维持按指数定律增加的消费量。

矿物和矿物燃料是当今世界的真正关键。自从工业革命以来，矿产资源的大量使用，满足了世界人口显著地增加和提高人民生活水平两方面的需要，甚至在不发达国家亦如此。虽然可恢复资源曾经养活世界数千万人口，但是现在的矿产和矿物燃料养活着好几十亿人口，人类的生存，还将依赖这些资源的继续供应。假如象一些人认为的那样，主要的矿产和燃料的潜在储量能充分满足人们需要的时间，仅仅只有数十年。那么，我们应该立即寻找一个办法来改变生活方式和社会经济制度，以降低矿产和燃料的消费水平。另一方面，假如我们知道有较大的潜在资源，我们就会有更多的时间来逐渐减少按指数律增加的状况，以便在长远的将来达到可以支撑的消费水平。潜在矿产资源供给的充分性问题，是一个非常有争论的问题。当然，有相反的观点认为，资源几乎肯定是永远用不完的。但是，我要强调指出，这个问题的复杂性和重要性不仅仅在于争论的价值，而是为了解决这个问题需要做大量的工作。

在进一步讨论这个问题之前，应了解几个基本概念。一个是储量和资源两者之间的区别。我们认为：矿床储量是已探明，并在目前经济技术条件下可以生产利用者。广义的资源定义包括目前达不到工业可生产程度，但在提高技术或价格的情况下，可能变为有用的贫矿和质量上可以开采，但目前不可以开采的尚未被发现的矿床。储量和资源的区别如同能够计数的手中的鸟和灌木林中只能假定、推测的鸟的区别。

另一个必须充分了解的概念是储量和资源是怎样形成的。宗教信仰者说，上帝创造了矿物和岩石。其实，资源是人创造的。对人类有用或潜在有用的自然物质被称之为资源。人们用各式各样的方法来扩大资源。例如，为以前没有用的矿物和岩石寻找用途，探索怎样经济合理地寻找未发现矿床，怎样开采和处理以前不能被回收的矿物原料，怎样用丰富原料代替稀缺原料，怎样在技术上取得进展，使以前不可能利用的物质能够经济合理地加以利用。除新增资源外，人们还可用提高资源的使用效率，再度回收利用资源，减少浪费和保护资源等方法，来扩大资源的使用年限。

当初我说过，这些过程很自然地会引入很多误差。现在对地球的了解与早些时候比

^①本文著者是美国地质调查局局长。

较是进步了，但用它来充分认识和描述包含可用资源的整个地质环境就很不够了。即使能满足上述条件，将仍然不知道我们的全部潜在资源。因为我们不能预言原料科学和技术将来可能提高的程度，而原料科学和技术则可以使现在不能利用的资源将来可能被利用。虽然相信在使用能源和矿产资源上将比过去效率更高，但是我们也不能通过我描述的方法来预言资源可能延长使用的年限。

我说过，我们可以确信潜在的储量比现在查明的储量大。因为我认为我们有丰富的经验，知道人类的创造能力是一个连续过程，正如相信其它自然过程是连续的一样。我一点也不怀疑根据我们现在还不知道的方法，我们的潜在储量和资源将扩大。

确实，由于这种一致认识，导致一些人认为资源是取之不尽的。然而，我肯定许多新马尔萨斯主义者一定认为我的观点太乐观。当谈到这种想法时，我倾向于有限增长论。简单的原因是他们没有计算按指数律继续增长的结果。简言之，假如继续每年增长3%，那么任何供应十亿年的东西，在目前世界消费速度情况下，将在582年内耗尽。不少矿种甚至在最近20年内就要用完。更有甚者，供应20亿年的东西将在47年多时间内可被用完。当然，到最后耗尽时，由于消费上限制供应，将不遵循这种增大模型。问题在于消费水平和资源大小、元素的供应年限一样有意义。若消费上按指数律增长，即使是巨大的资源也将迅速枯竭。对这个问题我虽未用心研究，但我相信，关于能源和某些其它矿产短缺的问题，大部分是由于消耗超过供给能力的结果。在消费上我们已达到相当高的水平。寻求不是增加资源消费的其它方法来提高人们的福利，现在确实是时候了。

再回到潜在储量问题，虽然评价它的大小有困难，但尝试一下是有意义的。即使假定我们最好的估计也很可能发生错误。但知道我们手中有多少只鸟（储量）和推测能在灌木林中捉到多少只鸟（资源）仍然是有价值的。

本文包括两个分布表。表2—1为估计的世界主要矿产的产量、储量和资源量，系美国地质调查局第820号专报的作者用多种方法编制而成。表2—2可以叫做潜在储量理论估计表，系Ralph Erickson根据我若干年前确定的储量和地壳丰度间关系编制的。

我不准备详细讨论上述预测的结果，但是有两点结论是有意义的。一是第820号专报的估计表明，列入表中的几乎所有矿产资源量，按目前的消耗速度，似乎只能满足世界数十年到一个世纪或更长一点的时间；二是许多矿产还未进行未发现资源的预测。主要原因是凭现有地质知识，还没有一个适合的方法。但对大多数矿产的未发现资源进行了尝试性的估计，估计结果大约与已知资源相等或仅大2至3倍。若将此与连续的指数增长的不消耗对照，则没有理由认为我们已知的和假定的及假想的资源将能充分满足世界对矿产资源的长期需要。

Erickson和我采用的理论方法的事实基础，是美国过去找到的贱金属和贵金属储量与它们在地壳中的丰度有相当近似的比例。假如应用这种相似的比例关系于别的元素，就可估计其它元素的可回收资源的大小。据此，Erickson用元素的地壳丰度的 2.45×10^6 倍（丰度的单位为百万分之一）为基数，推测美国目前的可回收资源。再乘17.3（世界土地面积与美国的土地面积之比）就得世界上估计资源量。按这种方法，世界上不少矿产的可回收资源在理论上比已知储量大若干倍。目前的估计中没有包括次经济的资源和通过改进技术或经济条件后，才可能有经济意义从而扩大的资源。也没有包括将来有用