

数学地质丛书

矿产资源 评价方法学导论

朱裕生



地质出版社

2

数学地质丛书

L

矿产资源评价方法学导论

朱 裕 生

地质出版社

数学地质丛书
矿产资源评价方法学导论

朱裕注

责任编辑：高书平 刘岚岩

地质出版社

(北京西便门)

沧州地区印刷厂印刷

(河北省沧州市河西中街62号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：850×1168 $1/32$ 印张：15 $3/4$ 字数：416,000

1984年12月北京第一版·1984年12月北京第一次印刷

印数：1—4,530册 定价：4.45元

统一书号：13038·新56

前 言

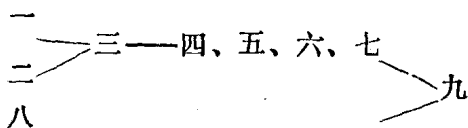
矿产资源总量预测和评价工作已在全国开展，为使从事该项工作的地质工作者在实际工作中了解矿产资源评价的理论、方法学 and 它的发展趋势，特编写了“矿产资源评价方法学导论”一书。

矿产资源评价是近期发展起来的一门实用的技术学科，它的概念、内容和结构几经变化和修改，至今仍然不能最终地、确切地说清楚它的全部理论体系和完整的内容。本书所述的内容只是初步的理论骨架和方法学体系，已有的大量实践和积累的初步经验证明，矿产资源评价是有强大生命力的地质学分支。就当前的地质理论和方法技术水平而论，我们只能站在今天这样一个特定的时间点上，描述当前矿产资源评价的概念、理论和方法学，以及对实践工作中成功的经验和失败的教训作适当的归纳和说明。

本书的内容和章节的安排，作者尽可能考虑到矿产资源评价这一学科的上述特点，将基本内容侧重于矿产资源评价方法学的论述和方法的实际应用上，并尽量应用实例来说明，其中包括国外的一些典型实例，供读者示范和观摩。与矿产资源评价方法有关的数学理论、电子计算机技术、软件系统和地质数据库等内容，尽量用语言来说明，并列出了有关文献供读者自己查阅。

全书共分九章，其中的第一、二章叙述了矿产资源评价的基本概念、矿产资源预测方法的分类和矿产资源评价的方法学；第三章专门论述地质数据的使用和转换、构造原始数据模型和方法数据模型；第四、五、六章叙述矿产资源评价的方法；第七章概要总结了地质解释的目的、任务和方法；第八章介绍矿产资源评价计算机程序系统；第九章总结和归纳了已经积累的矿产资源评价的经验和有关实例。各章之间的关系是：

ABA27/03



本书在编写过程中曾得到众多的同志的帮助和鼓励，除应用了作者近几年来在矿产资源评价方法研究中获得的成果外，并应用了矿床所数学地质研究室、武汉地质学院数学地质研究室、长春地质学院数学地质研究室和长沙230所的研究成果。赵鹏大教授详细地审阅了原稿，提出了不少有益的建议。潘恩沛高级工程师和刘序琮同志均提供了众多的实例和有关文献的翻译稿件。刘其润同志供给了大量国外最新的文献资料，李德伟、余金生、和李纯杰等同志对本书的编写和内容均提了良好的意见并提供了大量实例。对所有这些单位和学者在此一并致谢。

本书是一本综合性的参考书，由于作者水平所限，书中难免有许多疏失、遗漏、缺点和甚至错误之处，尚祈读者批评指正。

作者 一九八三.三.

目 录

前 言	(I)
第一章 总论	(1)
§ 1 矿产资源评价的发展历史和现状	(2)
§ 2 资源和储量的分类、分级	(7)
§ 3 矿产资源与矿产储量的关系	(17)
§ 4 矿产资源评价的理论基础	(21)
§ 5 矿产资源评价的基本概念	(24)
§ 6 矿产资源评价工作的组织	(34)
§ 7 矿产资源评价与地质学	(37)
§ 8 矿产资源评价的发展趋势	(39)
第二章 矿产资源评价的方法学	(42)
§ 1 方法学概述	(42)
§ 2 矿产资源评价的数据	(44)
§ 3 单元	(46)
§ 4 控制区和评价区	(59)
§ 5 评价方法	(67)
第三章 数据	(69)
§ 1 原始数据	(69)
§ 2 地质数据的分类	(72)
§ 3 变量的选择	(73)
§ 4 数据转换	(75)
§ 5 数据的补齐和均匀化	(84)
§ 6 关于数据的其它问题	(85)
第四章 矿产资源评价方法(上)	(87)
§ 1 概述	(87)
§ 2 区域价值估计法	(90)
§ 3 体积估计法	(107)

§4	丰度估计法	(114)
§5	德尔菲估计法	(124)
§6	主观概率估计法	(135)
§7	拉斯基律估计法	(159)
§8	历史产量—品位法	(162)
§9	齐波夫分布律估计法	(177)
§10	蒙特卡罗模拟在资源评价中的应用	(181)
第五章	矿产资源评价方法(中)	(185)
§1	概述	(185)
§2	趋势面分析法	(187)
§3	因子分析法	(193)
§4	聚类分析法	(202)
§5	矿床模拟法	(209)
§6	判别分析法	(215)
§8	回归分析法	(220)
§8	成因地质模型法	(238)
第六章	矿产资源评价方法(下)	(262)
§1	逻辑信息法	(263)
§2	特征分析法	(287)
§3	数量化理论	(307)
§4	事件概率回归估计	(312)
§5	模糊集理论在矿产资源评价中的应用	(318)
第七章	地质解释	(328)
§1	地质解释的目的	(328)
§2	模型类型	(330)
§3	地质概念模型	(331)
§4	逻辑模型	(332)
§5	矿产资源评价模型	(338)
§6	矿产资源评价模型与矿产资源信息的关系	(340)
§7	评价模型与地质概念模型的相互转化	(342)
第八章	矿产资源评价计算机程序系统	(344)
§1	概述	(345)

§ 2	矿产资源评价数据库	(350)
§ 3	地质科学计算机程序系统	(399)
§ 4	BMDP统计分析程序库.....	(404)
§ 5	矿产资源评价咨询系统	(416)
§ 6	矿产资源数据库设计简述	(426)
第九章	矿产资源评价经验记实	(435)
§ 1	典型实例	(436)
§ 2	矿产资源评价属地质工作的发展战略	(454)
§ 3	制定矿产资源和储量的分类原则及各种技术要求是 开展矿产资源评价的必要条件.....	(461)
§ 4	深入研究成矿规律, 灵活选用评价方法, 认真进行 地质解释.....	(467)
§ 5	建造矿产资源数据库和研制矿产资源评价方法程序 系统	(484)
§ 6	培养矿产资源评价人材实践知识和经验的综合.....	(485)
参考文献		(487)

第一章 总 论

矿产资源评价是对地壳内各种矿产蕴藏量进行估算并对其实用价值作出推测，属地质调查工作的发展战略内容的组成部分。该项工作是在研究和认识地质规律的基础上用地质理论和可能的技术方法（地质的、物化探的、数学地质的）指出现在还没有发现而将来可能或应当发现的矿产蕴藏量或矿床，并对它的质和相应的量作出评价，还要对该蕴藏量在当前和未来的社会政治和经济发展趋势中的地位（开发生产和使用价值）作出推测。

矿产资源评价是一个正在迅速发展的年轻学科，它的概念、理论、方法以及和其它学科的关系，强烈地依赖于实践和经验的积累和总结。就当前的实际情况而论，矿产资源评价已形成初步的理论骨架和方法学体系，成为地球科学新的分支学科。

矿产资源评价工作已改变了过去的那种局部的、零散的和单矿种经验性的传统预测方法的被动局面，它对一个国家或一个地区（矿区、矿带）的矿产资源作出全面的、系统的、科学的评价，所以它受到各国政府和经济管理部门的普遍重视，在五十年代以后获得迅速的发展。

自地球科学形成以来，地质学家们探索过矿产资源评价问题。但由于过去的地质研究程度尚不详细，技术条件不足，以及经济发展对矿产资源量的供求矛盾尚不突出，矿产资源评价方法和设备（主要是用于地质数据管理和处理的计算机及其软硬件）等实际问题尚未得到解决，所以一直处于停滞不前的状态。五十年代后，电子计算机在地质领域内应用的范围不断扩大，具备了综合各类地质资料（地质、物探、化探、卫星照片）和搜集社会政治经济发展过程中对矿产资源依赖性的有关数据的能力，加之对评价方法的研究和探索有了重大突破，随之而来的便是矿产资

源评价获得突飞猛进地发展。这些都是矿产资源评价发展史的基本特征。

§1 矿产资源评价的发展历史和现状

矿产资源评价在国际上作为地质工作的主要组成部分而又在地质学中获得应有的地位并进行大规模实践的历史很短,若以开始执行国际地质协调计划(IGCP)第98项“资源研究中计算机应用标准”这一专题的第一次会议算起(1976年10月在挪威的卢恩举行),还不到十年的时间。就在这一年,美国政府开始执行“阿拉斯加矿产资源评价计划”(AMRAP)、“国家铀矿资源评价计划”(NURE),完成了“美国尚未发现的石油和天然气可回收资源的地质估计”(725号公报)。在这短暂的几年中,世界经济发生了巨大的变化,特别是七十年代初石油危机的发生,使西方各国政府的首脑人物越来越认识到能源资源和矿产资源的近期、中期和长期供应问题的重要性。概括地讲,以下四点事实是政府首脑和经济计划人员首先考虑的问题:

第一是发表了“有限增长论”(Meadows等,1972)。这个理论第一次清楚地说明自然资源、粮食、环境保护、人口增长和科学技术间的相互关系和互相影响,特别是“有限增长论”的分析提出了矿产资源和能源发展限度的科学依据,并要求查明长远经济规划中矿产资源和能源资源的最低限量,这就直接提出了对矿产资源评价的迫切要求。

第二是环境保护法的建立,严重冲击了矿产资源和能源资源的勘探、发展和开采,导致了对它的重新评价和代用品的寻找,这就对矿产资源和能源的评价提出了新的标准。

第三是石油生产和输出国组织的成立。此活动明显地说明了垄断控制在矿产资源和能源资源供应方面表现出来的脆弱性,这促使各国政府提出首先评价本国矿产资源和能源资源的任务。

第四是七十年代石油危机的出现产生了两种直接后果，一是石油以外其它矿种垄断组织的相继成立，二是石油供应价格的上涨造成矿产工业方面投资的减少，对未来矿产品的供给保证提出了疑问。为此，各国政府为了防止这类恶性循环的发展，确定将矿产资源评价作为本国政府决定国策时的经济背景。

以上四方面的事实促使矿产资源评价工作蓬勃开展起来，特别在西方国家，例如美国、加拿大等国制定了宏大的矿产资源评价计划，并由政府直接干预工作的开展和计划的执行。

虽然矿产资源评价工作在1976年以后在某些国家才成为地质工作的一个组成部分，但矿产资源评价方法的探索研究早在五十年初就已经开始。在最近三十年中，通过探索、研究、总结和试验，已形成了一整套完整的矿产资源评价方法，并建立了初步的理论体系。

回顾矿产资源评价的这段发展历史，大致可将其分为以下两个阶段：

1. 试验探索阶段

本阶段是以1957年M. Allais提出单元中矿床数服从泊松分布的矿产资源定量评价模型为起点。差不多与此同时，人们已经认为在足够大的区域内某种矿产资源量的分布大致相当于这种元素在地壳中的分布。这些认识的实质是矿产资源评价的原始概念，也是应用数学方法建立矿产资源评价模型的指导原则。在此期间，M. Allais提出的泊松分布模型所表达的矿产资源评价模型的概念最为完整。据此模型，他认为在阿尔及利亚的撒哈拉沙漠区还可发现20个矿床，其区域矿产价值和勘探成本均服从对数正态分布。他应用这种统计关系预测了在一定成本意义下发现一定数量矿床的概念，并据此来部署普查勘探工作。

从此以后，矿产资源评价模型成为了广大评价人员探索的课题。1962年J. C. Griffiths提出了采用判别函数建立矿产资源评价的数学模型。1965年D. P. Harris应用判别分析方法建立了矿产资源同地质环境之间定量关系的数学模型，并完成了亚利桑

那、新墨西哥和犹他三个州部分地区的九千平方公里范围内的矿产资源评价工作。

紧接着,1967年国际地科联成立了地质数据存储、自动处理和检索委员会(COGEODATA),1968年成立国际数学地质协会,1969年创办了国际数学地质学会会刊,1971年第一个地质计算机程序系统(GEOCOM)出版,1972年美国地质调查局成立矿产资源评价室,1973年D.P.Harris提出了两类矿产资源评价模型,即多元统计评价推断模型(MG)和主观概率评价模型(SP),1974年F.P.Agterberg建立和论证了矿产资源评价的逻辑模型,1975年开始执行国际地质协调计划98项——“资源研究中计算机应用标准”。

综括以上事实,该阶段的特点是:

①矿产资源评价模型的探索研究达到了多样化和理论化的高度;

②初创矿产资源评价理论体系的雏型,特别是通过初步实践提出了矿产资源评价在当前的地质理论上都是直接或间接使用矿床模型的理论;

③电子计算机在地球科学中的应用为矿产资源评价提供了崭新的计算工具,从此可以把用人力无法计算的复杂数学方法纳入了矿产资源评价模型范畴之内,为地质数据的综合和地质知识的综合奠定了物质基础;

④在学术上,以F.P.Agterberg,D.P.Harris,J.D.Griffiths和D.A.Singer等著名学者为中心,组织上以国际数学地质协会为核心,协调矿产资源评价理论和方法的研究,并组织学术交流。

2. 推广实用阶段

本阶段以1976年10月在挪威的卢恩举行的国际地质协调计划98项首次会议为起点,在会上总结了矿产资源评价的六种标准方法(区域价值估计法、体积估计法、丰度估计法、矿床模拟法、德尔菲估计法和综合方法)。在本阶段对矿产资源评价的理论和

方法在原有的基础上进行了全面总结，发展到实用阶段。1977年在肯尼亚召开的98项第二次会议上除总结了六种方法的实践经验外，还总结了知识综合的具体方法，即以PROSPECTOR(勘察者)作为知识综合的技术手段。1979年4月在墨西哥召开的98项第三次会议上，全面总结了98项专题，形成了矿产资源评价的基本理论和全套方法，并推广应用。在这方面美国首途急驰，制定了规模宏大的矿产资源评价计划，先后执行和完成了“美国尚未发现的石油和天然气可回收资源的地质估计”、“阿拉斯加矿产资源评价计划”、“国家铀矿资源评价计划”，目前正在执行“美国本土矿产资源评价计划”。为了保证矿产品、矿产资源和能源的近期、中期和长期供给的需要，美国政府把矿产资源评价工作作为一项国策来考虑，拨出巨款支持这些工作，并直接参与评价计划的执行。因此，美国已成为目前世界上开展矿产资源评价工作做得最多、最深、最全面、积累的经验 and 理论知识最完整的国家。

从以上事实可以看出实用阶段的特点是：

(1) 矿产资源评价的探索和实验研究的成果终归是以实用为目的，是为发展经济服务的技术方法，在目前，国家矿产资源评价的成果已成为国家经济计划重要组成部分；

(2) 一个国家(或地区)的经济发展依赖于对矿产资源的掌握程度，所以，在发达国家，矿产资源评价工作已被作为国策来考虑；

(3) 矿产资源评价涉及到基础地质学、方法地质学和经济地质学三大门类，因此从事矿产资源评价的技术队伍必须由训练有素、经验丰富和多专业(矿床地质、地球物理、地球化学、经济地质、数学地质、计算机软件及资源分析专业人员)的人员组成，同时也要配备一定数量的辅助人员；

(4) 矿产资源评价工作目前已超出一个地区、一个国家的范围，提出了“全球性资源评价方法学”、“全球资源数据库”(例如A.L.Clark等人提出的全球1052个矿床的数据文件)等实

际行动方案。该工作对确定未来全球性矿产资源的供求关系不仅有益，而且使全球的环境保护、人口增长和矿产资源开采、勘查工作建立在实际资料的基础上。

七十年代前后，我国已经作了矿产资源评价方法的探索研究工作，积累了一定的经验。在此期间作了黑色金属、有色金属、石油、煤、稀有元素、放射性元素等矿种的区域（1/20万）、矿田和矿区的统计预测，其方法的多样性和资料的高度综合性是近年来地质工作中所罕见的。这个势头仍然有增无减。

就今天的地质理论和技术水平而论，地质学家（或资源评价人员）对矿产资源量与地质条件之间的关系的认识还是相当肤浅的，有时利用某种关系对某些地区作了有效的评价，预测出某些潜在矿床，但在另一些地方，按同样的关系所作的评价，验证后却屡屡落空，还有时在评价人员所忽略的地方则偶然地发现了矿产资源。因此，矿产资源评价面临着如下几个重大的实际问题：

1. 数据水平

矿产资源评价结果的优劣，取决于数据水平。目前评价中所使用的数据绝大部分是过去形成的，未考虑矿产资源评价的要求，这类数据基本上属于低水平的。在过去地质工作中，在区域地质调查、区域化探和区域物探测量中获得的数据用于矿产资源评价时，发现缺陷甚多，这是公认的事实。这影响着矿产资源评价结果的优劣和对数据的使用。

2. 资料综合

从不同性质的地质资料（地质、物探、化探和卫星影像资料）中择取与矿产资源有关的信息，建立矿产资源评价模型，这就是资料的综合。特征分析方法目前虽然已可用来进行资料综合，但资料综合仍然是矿产资源评价中有待解决的重大技术问题。

3. 知识综合

任何地质数据都不能包括最活跃的人的主观知识和经验，而

矿产资源评价在综合各类人员（地质、物探、化探）的经验和知识的基础上获得的结果，却较易于被使用者接受。“勘查者”咨询系统虽然是作为知识综合的技术手段而研制出来的，但它还不是综合的最佳方式。

总之，数据水平、资料综合和知识综合是当前矿产资源评价面临的实际问题。

§2 资源和储量的分类、分级

资源（resource）和储量是两个互相联系又互相区别的概念。长期以来不同的人对这两个不同的概念持不同的见解。采矿人员认为二者的区别不大；从事矿产资源评价和矿产普查勘探的人员总是把经工程揭露的矿体（加相应外推部分）的矿石或金属数量定义为储量，在预测区内用地质理论或某种技术方法（物探、化探、数学地质等）确定的称资源；而经济学家则着重其经济价值。总之，长期以来，“储量”和“资源”没有统一的概念。随着矿产资源评价工作的开展以及近代高速发展的经济建设对储量和资源的依赖性，需要对矿产储量和矿产资源的概念作出明确的规定，并研究它们的分级原则。

§2.1 矿产储量和矿产资源的基本概念

矿产资源——天然赋存于地壳内或地壳上的固体、液体或气体物质的富集物，从其形态及数量来看，作为一种经济开采和提取的矿产品是目前可行的或潜在可行的。

矿产储量——已被勘探工程（槽探、井探、钻孔）揭露，在确定的时间内具有现行的经济价值和法律上允许的有用矿物和能源商品。

两者的差别见表1-1。

矿产资源和矿产储量两者的根本差别是：矿产储量是根据（利

矿产储量和矿产资源基本差异对照表

表 1-1

矿 产 储 量	矿 产 资 源
1. 当前可以经济开采或生产矿物商品的 矿产物质	期望可以发现或潜在可生产矿物商品的 矿产物质
2. 工程揭露证实其存在	尚未发现
3. 按工业的可利用性分为平衡表内和 平衡表外储量,按其误差大小和地质 研究程度将平衡表内储量分成若干 级(目前我国分A, B, C, D四级)	按评价使用的资料精度和产出的概率值 (或风险度)分成若干级(目前我国采 用E, F, G三级)
4. 用确定性的数学模型计算(地质统计 学除外)	用统计推断的随机模型估算
5. 目前矿产储量有一套成熟的计 算 方 法(如断面法、地质块段法、等高[值] 线法、克里格法等)	方法灵活多样,除一般常用的矿床模拟 法、丰度法等六种标准方法外,尚可使 用多元统计方法、信息论、拓扑学中的 某些数学方法估算
6. 通过矿山开采,检验其矿产储量计算 方法和勘探控制的正确性	在相当长的时间内得不到验证,只能根 据评价方法的科学性、逻辑性和合理性 来推断评价结果的可靠程度

用勘探工程资料)测定的矿体几何形态和化学组分的各种参数计算的数值,而又依其可能出现的误差大小分成若干级,矿产资源量则是在矿体各种参数未知的情况下,利用矿产资源量与地质条件之间的关系推断得到的数值,依其产出的概率大小来推断将来证实其存在的可靠性。

§2.2 矿产储量和矿产资源分级现状

矿产储量和矿产资源的分类、分级及对它们的统一管理是当今世界各国政府及其地质部门极为重视的一项技术工作,目前我国有“储量分类规范总则”,苏联有“矿产储量分类规范”(1960,

年颁发)，1982年苏联又颁发了“固体矿产储量和预测资源分类”；美国有“矿产资源和储量的分类原则”（CIRC，831，1980）；在加拿大，1975由能源、矿山和资源部制订了“矿产资源分类法”；联合国总部的自然资源、能源和运输中心组制定了“矿产资源的国际分类”，企图用该规定来统一全球矿产资源和储量的管理和使用。这些规定和法令对我们研究矿产资源和储量的分类依据、方法和原理有重要参考价值。

1. 苏联的分类方案

苏联在一九八二年颁发了“固体矿产储量和预测资源分类”规定。该规定按研究程度和国民经济意义进行地下固体矿产储量计算和国家统计的全苏统一原则，确定探明矿床工业开发准备程度的条件，以及评价固体矿产预测资源的基本原则。固体矿产预测资源是根据一般地质概念、科学理论前提、地质填图和地球物理及地球化学调查结果推测的，按含矿盆地、大的矿区、矿结、矿田和各矿床进行估算。预测资源的资料（结果）用于制定普查评价和地质勘探工作的计划。

固体矿产预测资源的质量和加工技术性能可利用已知类似矿床的工业指标进行类比。

该规定的分类分级见表1-2

固体矿产储量和预测资源分类表

表 1-2

类 别	分 级	
固 体 矿 产 储 量	A	
	B	
	C ₁	
	C ₂	(初步评价储量)
固 体 预 测 矿 产 资 源	P ₁	矿床预测资源
	P ₂	矿区、矿田预测资源
	P ₃	成矿区预测资源