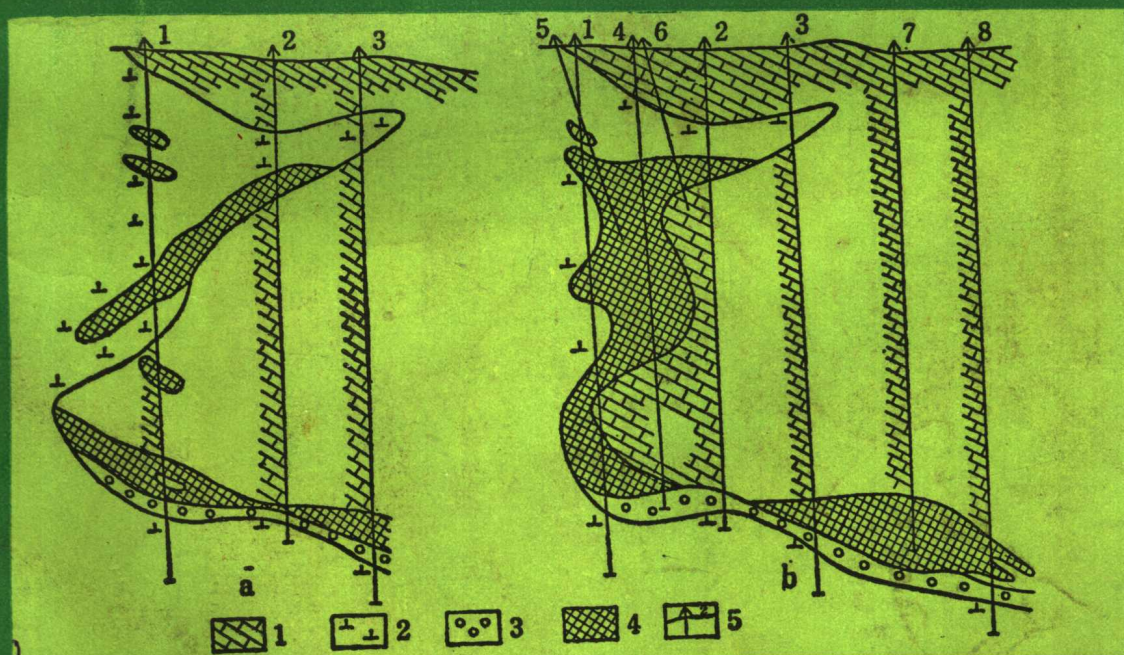


670733

高等学校教材

矿床勘查与评价

赵鹏大 李万亨 等编著



地质出版社

高 等 学 校 教 材

矿 床 勘 查 与 评 价

中国地质大学 赵鹏大 李万亨 等编著

地 质 出 版 社

内 容 简 介

《矿床勘查与评价》是作者在多年教学基础上，结合国内外矿床勘查理论和实践的新发展，为矿床地质专业编写的最新教材。

本书内容充实。作者全面系统地阐述了矿床勘查的基本理论、方法和技术问题。与以往的同类著作相比，在结构、体系上有很大的改变，在理论上有一定的加强。

全书约35万字，包括九章，计第一章绪论，第二章矿床勘查的理论基础，第三章勘查技术手段及其综合应用，第四章勘查对象的筛选，第五章矿床勘探基本任务与问题，第六章矿体形态特征的研究，第七章矿产质量特征的研究，第八章储量计算，第九章矿床地质经济评价。

本书适用于矿床地质学专业，也可作为地质矿产勘查专业学生和从事矿床勘查地质工作的生产、科研人员参考。

高等学校教材

矿床勘查与评价

赵鹏大 李万亨 等编著

责任编辑：沈文彬

地质出版社出版

（北京西四）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店总店科技发行所发行

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：15.5 字数：365,000
1988年10月北京第一版·1988年10月北京第一次印刷

印数：1—3,635册 定价：3.10元

ISBN 7-116-00268-5/P·241

前 言

“矿床普查勘探学”，又称“找矿勘探地质学”，或称“找矿勘探方法”，已有多种教材问世。本教材“矿床勘查与评价”是在前述课程基础上，为适应“矿床地质学”专业教学需要而编写的。

“矿床勘查与评价”既继承了“矿床勘探学”的基本内容，又根据近年来矿床勘探理论和实践的新发展，加强了诸如矿床评价等方面的内容；特别在结构体系上做了较大变动，把矿床勘查的主要对象和主要成果与勘探的主要方法联系起来，从而使其更加完善合理，在一定程度上改变了过去各篇章缺乏必要横向联系，纵向阐述也不够深入的弊端。为了适应今后找矿勘探难度日益增大的需要，努力提高地质效果和经济效益，因此本教材试图以阐述矿床勘查技术和方法的基本理论为主要宗旨，同时对一些繁琐叙述性的非重点内容做了删减。全书侧重于矿床勘探问题的阐述，有关普查问题，因另开设新课，故只从勘查对象的筛选角度，作为矿床勘查先行过程而简要提出，以免重复。

本教材第一章及第二章第二、三节由赵鹏大编写，第二章第一节及第七章由冉宗培编写，第三、四、五章由王定域编写，第六章由熊鹏飞编写，第八、九章由李万亨编写。全书由赵鹏大及李万亨负责主编并最后定稿。

本教材由长沙中南工业大学陈国琰教授及新疆工学院王功恪副教授主审，并经地矿部找矿勘探教材编审委员会审查。本教材的出版得到了许多同志的大力支持，在学校讲授这门课程时，也听取了校内外和广大学员的意见，编者在此表示衷心感谢！限于编者水平，书中一定有不少的缺点和错误，欢迎读者批评指正。

编 者

1987年7月于武汉

目 录

第一章 绪论	1
第一节 矿床勘查的基本概念.....	1
第二节 矿床勘查与评价学的发展与现状.....	2
第三节 我国矿床勘查工作的主要成就和问题.....	12
✓ 第四节 矿产地质勘查工作的阶段性与连续性.....	16
第二章 矿床勘查的理论基础	25
第一节 矿床勘查的主要理论基础.....	25
第二节 矿床勘查的最优化准则.....	36
第三节 矿床勘查的最优化战术决策及战略决策.....	40
第三章 勘查技术手段及其综合应用	43
✓ 第一节 不同勘查技术手段的作用及应用范围.....	43
第二节 勘查技术手段的综合应用.....	54
第四章 勘查对象的筛选	65
第一节 找矿远景地段及找矿对象的确定.....	65
第二节 勘探对象的确定.....	71
第五章 矿床勘探的基本任务与问题	74
✓ 第一节 矿床勘探的任务与要求.....	74
✓ 第二节 矿产资源及储量的分类与分级.....	76
✓ 第三节 矿床勘探程度.....	81
第四节 矿床勘探工作中的矿床地质研究.....	85
✓ 第五节 矿床勘探类型.....	89
第六章 矿体形态特征的研究	96
第一节 矿体形态特征研究的内容.....	96
第二节 矿体形态特征的研究方法——剖面法.....	111
✓ 第三节 勘探工程间距及剖面精度分析.....	128
第七章 矿产质量特征的研究	148
第一节 矿产质量特征研究的一般问题.....	148
第二节 矿产质量的研究方法——取样法.....	151
✓ 第三节 取样间距及取样精度评价.....	170
✓ 第四节 取样结果的整理及研究.....	177
✓ 第八章 储量计算	194
第一节 矿床工业指标.....	194
第二节 矿体圈定和块段划分.....	202

第三节	储量计算方法·····	205
第四节	储量计算精度估计及其评价方法·····	219
第九章	矿床地质经济评价·····	224
第一节	矿床地质经济评价的概念、原则和任务·····	224
第二节	矿床勘查各阶段地质经济评价的目的、要求和内容·····	226
第三节	矿床地质经济评价的参数·····	227
第四节	矿床的微观经济评价（或企业经济评价）·····	234
第五节	矿床的宏观经济评价（或国民经济评价）·····	238
	主要参考文献·····	241

第一章 绪 论

第一节 矿床勘查的基本概念

所谓“矿产（或矿床）勘查”是指矿床的普查与勘探的总称。它与“地质调查”含义不同。“地质调查”一般指基础性的区域地质测量工作。“地质勘查”则是有更广泛的含义：有时，它概括了由区域地质调查到矿床普查及勘探乃至生产矿山的全部地质工作，也有时泛指所有各类专门性勘查，如矿产勘查，工程地质勘查、水资源勘查等等。

在国外，矿床普查与勘探工作在不同国家应用不同的术语、具有不同的含义。如W. C. 彼得斯（1978）在“勘查与矿山地质”一书中指出：“Prospecting”与“Exploration”这两个词在北美及在他本人的著作中是可以互换的。“Exploration”一词用于从概查（矿点检查）到远景评价以至到生产矿山寻找新矿体为止的全部工作序列。在苏联，上述两个词则分别被译为“找矿”及“勘探”，而且被理解为首先找到矿，然后进行勘探（B. M. 克利特，1968）。但在法国及其它一些国家，其意义恰相反。“Exploration”指的是对矿化显示的广泛寻找，而“Prospecting”则是指对这种显示的更局部的研究（儒歇尔，1963）。

本教材所用“矿床勘查”一词虽系指矿床普查与勘探的总和，但全书侧重于矿床勘探问题的阐述。矿床普查问题只从勘查对象的筛选角度，作为矿床勘探的先行过程而简要提出。

本教材以阐述矿床勘查的基本理论、基本方法和技术为宗旨。它有以下几个特点：

1. 加强了对矿床勘查理论问题的介绍。这不仅通过第二章“矿床勘查的理论基础”来实现，而且在各章叙及勘查程序及方法时也力求进行必要的理论概括。我们认为，随着找矿勘探难度的日益增大，不仅找矿工作必需以先进的成矿理论为指导而进入“理论找矿”阶段，而且矿床勘探也进入到“理论勘探”的重要阶段。综合起来，可以说进入到“理论勘查”阶段。只有突出各种勘查技术和方法的理论依据，才有可能取得较好的地质效果和经济效益。

2. 加强了对矿床评价问题的介绍。第八章“储量计算”和第九章“矿床地质经济评价”两章，不仅着重介绍了作为评价的基础——矿床储量的计算方法，或者说，不仅单纯介绍矿床的地质评价，而且加强了经济评价的内容。正因为如此，本书定名为“矿床勘查与评价”。

3. 本书尝试建立一种新体系，即将矿床勘探时研究的主要对象：矿体的形态特征与矿石的质量特征分别与勘探的主要方法——剖面法及取样法相联系；将矿床勘查的主要成果：矿床储量的计算与另一主要勘查方法——比较评价法相联系。从而将过去找矿勘探地质学中的几个独立篇章：矿床勘探中的矿床地质及矿体地质研究；勘探工程布置；地质编录；取样及储量计算等部分有机地融合一起。在这当中，一些非重点问题被删减，而着重

阐述基本方法和技术、从而突出了“少而精”原则。新体系改变了过去各篇章缺乏必要横向联系,纵向阐述也不够深入等弊端。然而新体系还远不够完善,其效果有待教学实践检验。我们感到,自1940年苏联学者B. M. 克列特尔奠定矿床普查勘探学的基础,提出了本学科应包括的主要内容以来,将近半个世纪过去了,但矿床普查勘探学学科体系不能认为已经完善,相反,它有待进一步改进和发展。因此,在这方面的探讨仍是十分必要和有益的。

4. “矿床勘查与评价”及“矿床普查勘探学”在体系和内容上既相区别又相联系。

“矿床勘查与评价”吸收了“矿床普查勘探学”,尤其是“矿床勘探”的基本内容。但根据近年来矿床勘探理论和实践的新发展,增减了部分内容,特别是体系上作了较大的变动,可以说,“矿床勘查与评价”是“矿床普查勘探学”的发展和新体系形式。

5. “矿床勘查与评价”的内容与国家生产力发展水平、技术状况和技术政策有关。一些内容具有地方特色和经验特色,所以我们在阐述某些内容时不仅注意反映各方见解,而且着重于分析问题的实质、理论基础和研究思路。例如对于矿床勘查阶段问题不仅介绍各种划分方案,而且着重分析了划分勘查阶段的理论依据应该是什么。

第二节 矿床勘查与评价学的发展与现状

矿床勘查与评价学是研究矿床寻找条件及阐明最有效地查明及评价工业矿床的理论与方法的实用地质学科。它的早期形式为“勘探作业”及“找矿勘探地质学”,近代找矿勘探地质学的学科体系形成于本世纪40年代初期。1940年B. M. 克列特尔在其《矿床普查与勘探教程》专著中首次系统阐述了构成本学科基本内容的找矿、勘探、取样、编录、储量计算等基本原理和方法。自这本奠基性著作问世以来,将近半个世纪过去了。在这期间,矿床普查勘探的生产形势有了很大发展和变化。各国学者在这一学科领域也进行了大量研究。所有这些生产和科研成果大大丰富了矿床普查勘探学的内容,也为进一步发展这门学科创造了条件。

一、矿床勘查与评价学的新进展

矿床勘查与评价学的发展与日益加强的矿床普查勘探生产实践紧密相关。近半个世纪以来,下面几个方面的发展是引人注目的:

(一)为满足对矿产资源在质和量方面日益增长的新要求,加强了对新地区、新类型和新矿种的勘查工作。

找矿地质学的三大基本问题,即:找什么、哪里找和怎样找的问题随时间的发展而有了变化。其中“找什么”的问题,已经不能局限于传统的各种矿产已知的工业类型了。

“哪里找”的问题也已经不能局限于陆地浅部地区了,因而要探索新的找矿信息、要查明间接的、不明显的,甚至潜在的找矿标志。美国地质调查局1981年857号公报指出:已知的浅、富矿床逐步枯竭,需要找深部矿(埋深数百米以至大于1000m)、需要利用贫矿、边远或经济不发达地区的矿床。正因如此,找矿难度日益增大。矿床发现率呈指数下降。据统计,在美国本土48个州范围内,1937—1957年的20年期间,每1亿英尺(=30.48Mm)钻探进尺所能发现的油田面积是指数下降。现在每1亿英尺钻探进尺能找到的油田面积已降到100km²以下。40年代早期,大油田约占发现的3/4。50年代早期,小油田在发现中就

已占有相当比重了。又据苏联的统计资料,由于目前矿床勘探面临着更加复杂的条件,新矿床的勘探往往用了过量的钻孔,如在勘探中、小型油田时打了约46—78%的非生产井或“干孔”。在1959—1972年期间,据2150个石油矿资料分析,C₁级储量只有62.1%转变为A+B级储量,而另外部分经过进一步勘探被证实是无根据的而被注销或转为表外储量。在鞑靼共和国,C₁级储量的可证实程度不超过40%。与此同时,勘探成本提高了。在加拿大,1950年勘探费用为金属矿床产值的0.8%,1955年增至2.4%,1960年为3.2%,而至1965年已增至4%。即15年中增加了5倍之多。

近二三十年来世界上发现的一些重要矿床大多是以以前不为人们所重视的新矿床类型。例如①斑岩型矿床(包括Cu, Mo, Sn, W, Au, Ag等)。30年来世界发现的大型Cu矿几乎3/4为斑岩型Cu矿床;②层状与层控矿床(除碳酸盐岩中的铅锌矿床外,还有黑色页岩中的Cu、U、Au、W等);③风化壳型富铁矿床,如澳大利亚的哈默斯利、巴西的卡拉贾斯、苏联的库尔斯克、克里沃罗格等;④火山岩型块状硫化物矿床,如加拿大、美国、澳大利亚、日本等地发现的此类Cu、Pb、Zn、Ag等矿床;⑤与前寒武纪含Fe、含Mn建造有关的Cu、U、Au矿床,如澳大利亚奥林匹克坝Cu、U、Au矿床;⑥与基性、超基性层状分异岩体有关的Pt族金属矿床,如美国斯捷尔沃特矿床;⑦浅成低温热液的“卡林型”Au矿床,这是近年来在美国西部地区发现的一种分散在第三纪沉积岩中的浸染状Au矿床。此外,美、苏等超级大国都强调加强世界大洋铁、锰结核矿床的勘查。强调对大陆、陆架、陆坡及洋底进行大比例尺综合研究、把这些地区看成是增加矿产资源的巨大潜力所在。以石油为例,目前石油产量1/5来自海上油井,而据美、法地质学家估计,陆架和洋底蕴藏石油可采储量为900—1500亿吨,对金属矿来说,不同地质结构区——地盾、地台、褶皱区、现代大洋构造,洋陆交接带等也都具有特殊的矿化类型。总之,矿床勘查由浅部向深部、由陆地向海洋、由开发地区向边远地区扩展;矿床勘查对象由大而富向大而贫或富而小类型,由矿床的传统工业类型向新类型的过渡;矿床勘查为适应“空间时代”、“电子时代”和“信息时代”的需要而加强对新型矿物原料的研究等趋势都是值得重视的。

(二)为更有效地指导找矿勘探实践,从不同角度加强了矿床勘查理论的研究。

在西方国家,比较重视矿床“勘查哲学”和决策理论的研究。所谓“勘查哲学”是指一整套指导勘查者成功地发现和查明矿床的原则,进一步地说,也是研究、定义、解释和改进这些原则的智力信条。这种勘查哲学在不同时期具有不同的内容。而且随勘查对象不同而有所异。如P. A. 拜雷(1972)认为:目标的确定应先行于勘查哲学的确定。进行勘查的五个基本要素是人力、知识、方法、时间和金钱。拜雷并提出了人力是最关键的控制要素。

美国加州大学教授L. B. 斯利科特(1960)认为“找矿是世界上最大、最好的赌博事业”,从而他认为“赌徒破产律”在某种意义上可以做为从事这项风险事业的指导理论。

“赌徒破产”的概率 P_r 可用下式表示:

$$P_r = e^{-NP}$$

式中: P_r ——每一次冒险的成功概率;

N ——冒险次数。

就是说,如果每次冒险的成功比为1:10,即成功概率为0.1,则连续10次冒险的失败概率为

0.35, 连续20次冒险, 失败概率为0.13, 如果资本雄厚, 连续进行, 经过100次失败, 则破产的机会仅有0.000045, 即仅为百万分之四十五。斯利科特认为, 在未来, 即使最强大的公司也不会有足够的资金能够满足按理想的规模进行勘查的要求, 所以他建议进行联合投资开展大规模勘查活动、以保证矿床勘查的成功。

西方国家比较流行的另一勘查理论是“拉斯基律”。即矿床储量吨位是矿石品位的函数。矿石品位按算术级数降低, 则累积矿石量按指数级数增加, 即所谓“算术-几何 (A/G) 比率”。其一般表达式为:

$$T = AB^{-G}$$

式中 T —— 矿石吨数

G —— 矿石品位

A —— 比例常数

B —— 任意底数, 习惯上多用自然对数底。

拉斯基研究了美国斑岩铜矿的资料, 得出了如下表达式:

$$T = e^{(k_1/k_2)} e^{(-G/k_2)} \text{ 或}$$

$$G = k_1 - k_2 \ln T$$

式中 k_1, k_2 为常数, 系按不同矿床具体加以确定, k_2 为负号, 表明 T 增加, G 将减少。 T 为已采出吨位加储量, G 为此吨位的加权平均品位。拉斯基品位吨位曲线可以作为寻求最优边界品位以保证采矿盈利的理论依据。近年来一些研究者对拉斯基法则提出了批评性意见, 指出其并不具备普遍意义。

在苏联, 矿床勘查研究比较受到重视。不断出现一些理论性概括。例如, 1957年克列特尔提出了著名的矿床勘探的五大原则; 1959年B. И. 比留科夫提出了矿床勘探的三大基本方法, 即: 勘探地质剖面法, 勘探取样法及评价对比法。1977年E. O. 帕格列比茨基提出了矿床普查勘探的三大基础: 地质基础, 经济基础及数学基础。E. O. 帕格列比茨基认为: “矿床普查勘探对象的本质可以由三门科学的方法加以揭示和说明: 经济学、地质学和数学。以上所有这些便成了矿床普查勘探学的理论基础, 而解决普查勘探任务则要求综合应用上述三门科学的方法”。1980年克罗林格研究了矿床勘探过程的最优化决策理论并认为: 近代勘探方法理论的发展有两种不同的方向。第一个方向是寻找最优勘探方案。一般是在已勘探完毕的矿床研究并寻找最好的勘探方案。第二个方向是勘探过程的最优化管理和组织。它要求不是在勘探行将结束时找到最优勘探方案, 而是在勘探设计和勘探过程中找到这种方案并从这一点出发研究相应的理论。克罗林格还提出了另外两个勘探原则, 即不确定性原则和利用事前信息 (或称先验信息) 原则, 前一原则说明矿床勘查不可能达到绝对的最优化, 而只能是相对的最优化。后一原则表明, 在进行勘探时, 不能只利用在本矿床已经取得的信息, 更重要的是利用预测的先验资料。不对勘探对象的某种性质作出预测性评价, 要作任何一种决策是不可能的。

此外, 还有一些学者也发表了有关普查勘探方面的专著, 如A. Б. 卡日丹 (1974, 《矿床勘探的方法基础》; 1977, 《矿床勘探学》); B. И. 比留科夫 (1978, 《初步勘探的合理网度》); W. C. 彼得斯 (1978, 《勘查及矿山地质学》); E. A. 楚玛琴科等 (1980, 《地区含矿远景地质评价的系统分析》); 哈博 (1978, 《石油勘探中的概率决策系统》); 纽温道普 (1975, 《石油勘查中的决策分析》); 里德曼 (1979, 《矿床勘查技术》) 等。这些专著从

不同角度丰富了矿床勘查理论，值得我们重视。

在我国，三十多年来矿床普查勘探工作取得了很大成绩。不仅发现和查明了数以万计的矿床，而且基本认识了我国各类矿产的分布特点和主要成矿区的地质条件。在找矿经验方面，总结出“区域展开、重点突破”，“从面着眼，从点入手、面中求点、点面结合”等原则。在运用地质理论指导找矿方面也取得了可喜的成果。在矿床勘探方面，总结了我国自己的经验，编制出我国的金属、非金属矿床地质勘探规范总则以及铁、铜、磷、硫、锡、铅锌等多种矿产的勘探规范，研究并制定了我国的矿产储量分类系统、探讨了地质勘探阶段的合理划分、进行了大量矿床的探采对比研究、对各类矿床合理勘探网度、综合勘探及综合评价等问题有了进一步的认识。我国地质院校和一些专家学者在矿床普查勘探理论方面也进行了不少研究。60年代初期，北京和长春地质学院合编了《找矿勘探地质学》，在此以后，长春、成都、武汉地质学院、中南矿冶学院及昆明工学院都相继编写出版了有关矿床普查勘探的专著或教材。1984年出版了新编的《找矿勘探地质学》（侯德义主编）。在矿床普查勘探的一些专门领域发表了不少专著，如在区域成矿规律及找矿方向方面有《成矿规律及成矿预测学》（卢作祥、范永香、刘辅臣，1983），在矿床普查勘探的统计分析方面有《矿床统计预测》（赵鹏大、胡旺亮、李紫金，1983），《矿产资源评价方法导论》（朱裕生，1984），在矿床普查勘探经济方面有《地质经济问题》（陈国琰等，1981），《矿床技术经济评价》（李万亨，1983）。还有对专门矿种找矿勘探理论和方法的总结等等。所有这些工作，都不同程度地丰富了我国的矿床普查勘探的理论和方法。

（三）为适应“理论找矿”阶段的新要求，加强了对矿床模型和矿床勘查模型的研究。

在寻找隐伏矿和难认矿的比重越来越大从而找矿难度日益增大的情况下，为提高找矿效果，地质理论在指导找矿方面的作用从未有像今天这样巨大。所以人们把现阶段的找矿称之为“理论找矿”阶段。在指导找矿和资源评价中，对在典型矿床成矿规律和控矿因素深入研究的基础上所建立的各类矿床模型具有重要意义。

美国著名地质学家E.H.T.惠顿（E.H.T. Whitten, 1983）曾指出，当今地质科学的三个最重要事件是①板块构造理论的发展；②计算机的应用和③模型概念的引入。

找矿时既要求建立各类矿床的地质概念模型或地质模型，也要求建立指导勘查和评价的各类数学模型。

矿床地质概念模型，或简称矿床模型，是矿床所处三维地质环境或特征的描述，是成矿机制和控矿因素的高度概括和抽象，是某种类型矿床成矿规律的总结。它可能包括从宏观到微观的各种特征，如典型矿床的区域地质构造环境；矿床及其周围岩石物理、化学性质、岩性、蚀变及构造特征；与矿床相关联的地质、地球化学、地球物理特征；矿床的品位、储量、矿物学及化学特征，成矿时代及成因特征等多方面的信息。人们还注意到：找矿时既要以有关矿床模型的概念为指导，又不能局限于某种单一的模型概念。特别应注意各类矿床和矿体可能的共生或伴生关系，即有时要考虑建立“成矿系列模型”或建立所谓“矿田模型”、“矿带模型”等。

近年来，矿床勘查数学模型得到了广泛的应用、最常用的有以下几类：1)矿床基本特征数学模型。有人称“矿床产状模型”。其中主要包括①矿体空间分布模型。如斯利科特研究了加拿大安大略等地区按 1000km^2 大小单元内含有矿床数的分布后提出，矿床空间分

布不是象阿莱斯和布隆德尔所提出的服从波松分布，而是服从指数分布，并指出：如果矿床真的服从波松分布，则广泛流行的找矿格言：“就矿找矿”或“在已知矿区附近可以找到更多矿床”就是错误的。因为按照波松分布模型，对于矿床密度较大地区再要找到矿的机会是很小的。近年来的研究则更多倾向于认为矿床空间分布服从于负二项分布模型。②对于矿床价值分布模型，多数学者认为服从对数正态分布。如在诺兰分析了285个矿区的产值，其结果很好地服从对数正态分布。在该研究区仅4%的矿区就提供了80%的产值，而16%的矿区就几乎达到全部产值的97%。法国阿莱斯研究撒哈拉地区也得出了同样结论。一个最大的矿床提供了35—40%的矿床值。25%的矿床占有了65—80%的价值。③矿床规模分布模型，也多数服从对数正态分布。④矿床品位分布模型与矿种及矿床类型有关。2) 矿床发现概率模型与很多因素有关，主要因素有矿床规模形状、及产状等。例如相同面积的长条形矿体较之等轴状矿体更难于被发现。另外，与钻孔或其它观测点的距离，排布样式、观测密度等也有关系。例如美国学者研究了美国本土的石油发现率后指出，1973—1975三年内，找到大油田（1亿桶以上）的机会是1:2800，有人用任意钻探发现油田的概率来大致评价发现油田的机会，如东得克萨斯油田面积约为570km²，而美国48个州可能含油的沉积岩分布面积为4.7Mkm²，则任意钻探发现此油田的概率为1/8250。而经估计，在科威特以任意钻探找到大油田的概率高达1:15，可见发现率与矿床的丰度有直接关系，已提出有多种计算找矿概率的数学模型。3) 找矿数学模型。彼得斯称其为“地质有利程度”模型。如美国波特波尔从30个详细勘探的矿区选取地质特征并得出一个乘积矩阵模型，然后将此模型用于未知区以确定对其进行勘探的有利程度。哈里斯等为了鉴别有利地区采用了多元地质统计模型。他利用俄勒冈及新墨西哥州的矿山作为控制区，而将犹他州的一部分作为研究区，结果在144个单元中选出了19个作为进一步勘探的远景区。这种地质有利程度模型在外推时要考虑不同地质、经济和技术条件的差别，也要考虑新类型或比模型区更大矿床存在的可能性。4) 矿产资源定量预测数学模型，用于矿产资源定量预测的数学模型至少已提出有30余种，但最常用的方法不超过10种。

当今，数学模型在矿床普查勘探中的应用已经逐步发展成为独立的科学分支，如“矿床统计预测”；“矿产资源定量评价”以及“地质勘探中的统计分析”等。

（四）为迎接世界性矿产资源供需矛盾的挑战，加强了勘探储量和预测资源量的研究。

明确区分“储量”和“资源”这两个概念是矿产资源研究中的一大进步。现在，各国地质矿业工作者及经济计划工作者都倾向于接受这种划分。近十年来，人们对矿产资源的研究大大加强。在德意志联邦共和国汉诺威市，每隔三年召开一次矿产资源问题国际学术讨论会。1976及1979年召开的两次会议主要探讨了地球矿产资源的潜力及影响矿产资源应用的各种问题。1982年召开的第三次国际讨论会则以“矿产勘查的新途径”为主题，广泛讨论了矿产资源政策，能源资源及金属非金属矿物原料的普查、勘探与评价等问题。1975年开始的国际地质协调计划第98号专题用了6年时间专门研究资源定量预测的方法和计算机应用标准化问题。1981年苏联通过了新的“固体矿产储量及预测资源分类”、“固体矿产预测资源分类及C₂级储量准备和登记暂行条例”等。一些苏联学者（如B.A.拉利奇金等）称这些规范的问世“开创了一个提高地质勘探工作效果和矿物原料基地准备质量的新阶段”。

新分类除提高了对各级储量所要求的地质及其它自然因素研究程度的要求以及规定了有关保证安全施工和环境保护方面的要求外,还采用了一种新的论证探明储量的方法。以前,勘探的详细程度是评价某一级储量的基本准则,现在各级储量是用达到一系列相应要求的结果来论证的。例如A级储量、就要求确定矿体的规模、形状和产状,研究矿体形态变化的特点和规律等。此外,新分类提高了对C₂级储量的要求。在论证该级储量时也要求评价矿体的规模和结构。对于按地质复杂程度属于第3和第4类的矿床,在进行矿山企业设计时允许依据至少20%的C₂级储量。

最为重要的是在新分类中第一次加进了评价固体矿产预测资源(P₁、P₂、P₃级)的基本原则。在矿床可估计P₁级、矿田及矿结可估计P₂级,而在成矿区、盆地、矿区或矿带则可以估计P₃级预测资源。我国地矿部资料局就矿产资源总量预测所规定的E、F、G三级资源大体与其相当。但苏联新分类中明确规定C₂级及预测资源P₁、P₂及P₃级是初勘、普查、区域地质调查和物探工作的最终成果。这样,就加强了后备储量的准备,做到了在地质勘探的各阶段都进行资源量或储量的估计,并使对矿产储量和资源的研究形成了一个完整的体系。苏联在石油、天然气储量(A、B、C₁、C₂)、远景储量(C₃)及预测资源(Π₁及Π₂)方面也建立了新的储量结构模式。A.M.贝博奇金(1983)在“固体矿产勘探的科学方法基础”一文中认为新规范反映了当前地球科学的发展趋势,反映了矿床勘探方法、地质经济评价以及矿床开采和综合加工工艺和组织方面的新成就。例如为提高探明储量和预测资源的可靠性,更加强了采用地球物理方法,规定大多数矿种的矿床都要进行地面物探、要求其资料可用来进行地质填图,即不仅注意物探的直接找矿效果,而且更要普遍重视物探在研究地质构造或间接找矿中的作用。此外,所有各种矿产的矿床在进行勘探时必须进行测井,以检查钻探资料、圈定矿体、确定矿体的连续性和确定矿体参数。对许多矿种(Fe、W、Mo、Zn、Pb、萤石磷块岩及Be等)规定取样时除进行地质研究外,还要尽量进行地球物理研究。

我国自1976年起开始了矿床统计预测研究工作。1980年我国地质矿产部决定在全国范围内逐步开展矿产资源总量预测工作。1981年设立了“矿产资源总量预测方法研究”的科研项目并先后进行了①吉林省镍矿资源总量预测及方法研究;②安徽省沿江地区铜矿资源总量预测及方法研究;③江西省钨矿资源总量预测方法试验研究;④湖北省鄂东南地区铁铜矿产资源总量预测方法研究;⑤四川省攀西地区钒钛磁铁矿资源总量预测方法研究;⑥1:20万图幅(铜陵幅)矿产资源总量预测方法研究;⑦几种类型矿床资源总量预测方法的研究等7项专题研究。这些研究成果从不同角度丰富和加深了矿产资源定量预测和评价的理论及方法,大大推动了实际工作的开展。如在这一项目带动下,开展了黑龙江麻山地区石墨矿、辽宁朝阳地区金矿、河南小秦岭金矿、江苏全省石灰岩、湖南湘中及全省锑矿、甘肃龙首山地区镍矿、广东阳春地区多金属和云南滇中铜矿资源量预测工作。同时,还在全国范围内开始了对Fe、Cu、Au、石灰岩四种矿产总量预测工作,对石油及煤炭资源也进行了总量预测工作,取得了良好的开端。但我国尚未做到将矿产资源量预测作为地质勘查各阶段所必须进行的工作。

(五)为提高矿床勘查工作效益,勘探过程中的经济分析和矿床技术经济评价日益受到重视。

如果矿床勘探可以“不惜代价”、“不计成本”,那么也就无勘探科学可言。地质效果

和经济效果的统一是勘探方法最优化的准则。勘探的优劣比（或成功概率）、收益和成本是影响勘探决策的基本要素。矿物原料的经济合理利用（包括综合勘探、综合利用，工业指标的经济论证等），勘探基地的正确选择，勘探方法和技术手段的先进性与合理性，勘探程度的适当等都是提高勘探经济效果的关键。

由于在确定矿床开采的可行性中经济因素起十分重要作用，因而在经济开发地区与经济落后地区地质勘查的战略任务应有所区别。一般地说，在经济开发程度低的地区，找矿的战略任务主要是在于发现特别巨大的矿床或特别稀缺的矿床。

对矿产的综合利用方面，已经逐步引起人们重视，并在研究方面有所加强。据云南省储委的资料，我国已先后完成了2000多个矿区的综合评价任务。以铅锌矿为例，根据对106个矿区统计，大部分矿区（82%）已不同程度地对共生和伴生矿进行了综合评价、综合勘探工作，其中做得好和比较好的约占23%。所谓做得好的是指：

1. 对在矿床中的各种伴生元素种类、含量以及赋存状态和分布规律研究得比较清楚。
2. 伴生元素在选矿的各种产品中富集程度、回收情况、甚至在冶炼过程中可能回收的情况有所了解，各种评价资料的质量基本可靠，达到了与主元素详细勘探阶段相适应的研究程度并计算了储量。

对共生和伴生矿的综合利用进行了技术攻关并取得了很大成绩。例如金川矿，最初只能回收Ni、Co，而目前已能回收Ni、Cu、Co、Pt、Pd、Au、Ag、S、Ir、Os、Ru、Rh等12种产品，回收率也在不断提高。

近年来，在苏联提出了一个值得注意的问题，如A. M. 谢切维文（1981）提出：苏联长期以来把增加回收组分的数目和资源的回收率作为主要目标而忽视实际经济效益的研究。由于不认真考查各种副产品的实际生产费用，造成许多经济损失。例如在整个Cu、Pb、Zn生产部门，稀有金属的生产占该部门资金的5%，而产值却低于2%，在目前技术经济条件下，开采利用主要组分时要求把所有的伴生组分都利用起来，显然也是不合理的。

严格遵守地质勘探工作的阶段性是提高经济效果的必要条件。苏联近年来指出了一些由于未遵守阶段性而造成浪费的主要方面是：

- ① 在未对勘探对象获得充分资料并给以肯定评价的情况下就开始了大量详细工作。
- ② 初勘工作量偏大。有时初勘工作量竟占整个勘探工作量的75%，从而延长了时间，如卡札林斯克CuMo矿床初勘竟持续了30年之久。

③ 在详勘阶段为了高级储量增长计划的完成而勘探那些近期不拟开采的对象。例如在乌达坎含Cu砂岩Cu矿床，B级储量计算在300m以下的深部，而上部反而研究不足，但此矿设计为露采。许多矿床详细勘探深度达800—1000m，在很多情况下，勘探储量大大超过计划的年生产力，甚至100倍。例如全苏至1963年1月1日所勘探的食盐A+B级储量甚至在损失为50%的情况下可以满足现行开采水平下385年的需要，个别矿床甚至可保证1000年的需要。我国这类例子也很多。如云南某煤矿，通过地质勘探，完成了两个勘区的详勘工作，探明了近10亿吨储量，提交了报告，但设计部门认为两个勘区位置太高、太远、难以利用，又要求勘探离未来铁路近一些的四井田。兰坪金顶铅锌矿，设计规模为年产3万吨，但高级储量却求了377万吨。这些情况都是地质勘探工作没有很好地和矿山生产建设、设计程序、规模相协调，勘探工作没有分期分阶段进行，过早地投入过多工作量，从而造成

经济效益差，或甚至是很大浪费的严重后果。

(六) 为提高矿床勘查效果，加强了新技术，新方法的研究和应用，提高了对勘查人才素质的要求。

由于寻找隐伏矿床的比重加大，单纯用传统方法越来越难发现矿床了。据戴瑞(1970)统计，在加拿大，1950年以前，85%的矿床由传统的探矿法找出。1951—1955期间下降到46%，1961—1965为31%，而1966—1969仅有9%为传统方法所找到。新技术方法的大量使用，导致地质的、物化探的和其它的勘查信息数量大大增加。电子计算机的应用不仅大大提高了数据处理的能力和效果，而且开辟了勘查方法研究的新途径——系统分析途径。有人认为，把专家的理论知识和经验通过计算机来表示而建立的人机系统，决定了地质勘探工作发展的一个新阶段。当前，“人工智能”或“专家系统”在矿床勘查方面已有了初步的应用。美国的“勘查者”专家系统已对斑岩铜矿，块状硫化物矿床及密西西比型铅锌矿等十余种类型矿床的勘查可以进行技术咨询，最近，美国科奇(Koch)教授又提出一个“地质评价者”专家系统。这是一个为矿床勘查和政府规划提供大范围内矿产资源估计的一种专家系统。通过对621幅2°的国家地形图系列图幅的联系估计，可以估计全美国的矿产资源。它是从“勘查者”发展而来，新系统可以帮助地质学家应用他们的地质知识和可利用数据评价矿产资源。它与“勘查者”的区别是除规则库外还附加有一个数据库。其流程如图1—1：

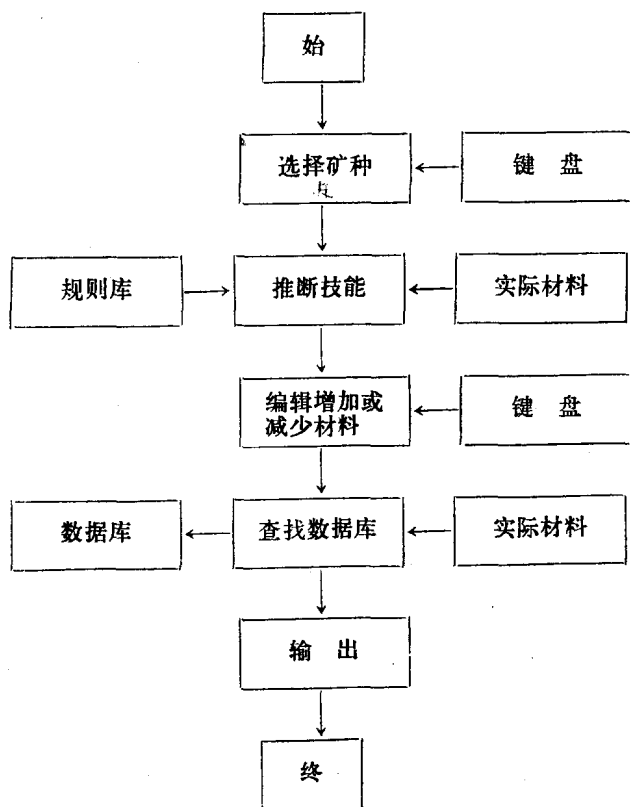


图 1—1 “地质评价者”框图
(据G. S. Koch, 1986)

许多国家把在进一步研究地质、地球物理和地球化学普查方法和仪器，加大探测深度、精度和可靠性以及在相邻科学成就基础上，研究全新测试设备和直接找矿的仪器和方法作为整个地质学研究领域中最重要任务之一提了出来。

在强调矿床普查勘探新技术、新方法的同时，也注意勘查人员素质的提高。美国最近出版的一本勘探专著中写道：“为什么有的公司在勘查中取得很大的成功，有的同样规模的公司却失败，这不是一个容易回答的问题，但要强调的是，矿床的发现要靠有思想的人，要靠愿意跑更多路途的人，靠愿意执行一项有风险的建议的人，靠比考查过该矿床的前人能观察出更多问题的人”。

以上情况必然对矿床普查勘探学产生影响。

二、进一步发展矿床勘查与评价学需要研究解决的若干问题

尽管半个世纪以来矿床普查勘探生产实践取得了丰富的成果和经验，在一些专门或个别问题上也进行了研究，但如何对整个矿床普查勘探学科加以充实和提高还是一个急待解决的问题。就此提出以下初步意见：

（一）从世界资源竞争与保证的战略高度发展矿床勘查与评价学。

20世纪矿产的消费量和产量几乎在呈指数增长，而矿床的发现率却在呈指数下降。矿产需求与保证之间的矛盾已越来越被人们所关注。未来世界经济的竞争首先表现为各种资源，其中特别是矿产资源的竞争。对于像我们这样的大国，保证尽可能多的矿产能够自给并有足够多的矿产储备是一件具有战略意义的大事。矿床勘查与评价学应该成为有效地保证各类矿产资源需求的重要理论和方法的基础之一。因此，这门学科应该受到更高度的重视，应该进一步加强研究以保证其解决普查勘探实际问题的能力得到增长。然而实际情况是，这门学科往往被人们忽视。例如，至今没有一所专门从事矿床普查勘探方法研究的研究机构；在培养地质人材方面，这门课程常常不被列为主课，凡此种种，与这门学科在保证矿产资源需求所处的重要地位极不相称。我们强调从世界资源竞争与保证的战略高度发展矿床普查勘探学，目的不仅在于希望从各方面提高对此学科的重视程度，而且还认为在矿床勘查与评价学中有必要增加“国内外矿产资源形势分析”及“矿产资源总量预测”等专门章节。

（二）在统一的理论基础上建立矿床普查勘探学学科新体系。

长期以来，矿床普查勘探学的各组成部分没有形成一个有机联系的整体。这些组成部分的每一篇或可单独出来形成自己的独立体系（如取样、储量计算等）、或可任意增减或改变顺序（如编录及生产矿山中的地质工作等部分）。更重要的是，这门学科到底应包括哪些必须内容，与其它相邻学科如何分工也都缺乏充分论证和深入探讨。例如，苏联学者克列特尔特一直把“矿床工业类型”作为矿床普查勘探学的必要组成部分，因为矿床工业类型是回答找矿三大基本问题之一：“找什么？”的基本内容。另一些作者则主张将矿床工业类型作为矿床学的分支学科而不包含于矿床普查勘探学之中。又比如找矿方法部分，一些学者在本学科中详细介绍各种现代找矿方法，一些学者仅详细叙述化探方法，而另一些学者则认为物、化探等均各自有其独立的学科，因而主张只阐述各种方法的综合应用。凡此种种，皆反映现代矿床普查勘探学的学科体系还有待进一步完善的情况。我们考虑建立新体系的基本线索是：

基本目的：发现并查明工业矿床

基本主线：预测和评价

基本方法：剖面法、取样法、比较评价法

基本基础：地质、数学、经济和技术基础

基本原则：最优地质效果与经济效果统一

最高精度要求与最大可靠程度统一

模型类比与因地制宜统一

随机抽样与重点观测统一

全面勘查与循序渐进统一

我们认为，上述各基本线索构成了矿床勘查与评价学的较完整的理论体系基础，也是矿床普查勘探学的最基本问题和最基本内容。

在矿床勘查技术方法方面，将勘查对象—目的任务—研究内容—研究方法—研究技术—研究成果作为一个统一整体加以阐述，从而将矿床勘探时地质研究内容、勘探工程布置、取样、编录及储量计算等内容有机地联系在一起是十分必要的。

（三）深入开展矿床勘查与评价基本理论及新技术和新方法的研究、更新内容，使其与矿床普查勘探生产实践的新形势新要求相适应。

难度日益加大、要求日益提高的、未来的矿床普查勘探工作要求更有效的理论去指导，要求更先进的方法与技术去实现。虽然前面提到近年来矿床普查勘探研究有所进展，但总是相当落后的、是不被人们所重视的、是不能很好起到指导实践的作用的。

美国地质学家E. L. 奥尔（1981）指出：“勘查中花费大量资金的事实表明，尽管我们的许多指导原则可能是正确的，但大部分原则并不是十分有效的。因此，为了进一步缩小找矿范围从而降低发现成本，我们需要更确切的找矿准则。为此，我们比以往更加需要新的概念”。

我国地矿部的一份资料“对有中国特色的地质工作现代化的几点探索”指出：“过了第一轮‘丰收期’以后，找矿的难度加大，找矿效果趋于下降，说明我们现有的水平已不适用于勘查工作的新形势。只有把地质研究程度和技术手段大大提高一步，才能增强评价地表难以发现和难以识别的矿床的能力”。

为了适应新形势的需要，提高矿床勘查的效率和效益，除必须大力加强基础性地质工作，加强基础地质理论研究及加强现代成矿理论研究外，矿床勘查与评价学科本身，尚有以下一些问题是值得进一步深入研究：

1. 矿床勘查基本理论研究

① 矿床成因新理论、新概念及建立在此基础上的勘查新理论、新概念

② 地壳丰度、矿床规模及资源总量关系

③ 矿体地质、矿体变化性预测及勘探理论

2. 矿床勘查的新领域研究

① 矿产资源总量预测

② 隐伏矿床的三维立体预测

③ 矿床勘查经济分析及可行性研究

④ 矿床勘查战略及决策分析

3. 矿床勘查新技术方法