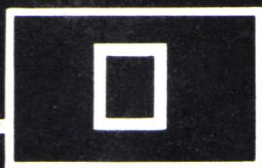


矿床模型导论

张贻侠 主编



地震出版社

矿床模型导论

张貽侠 主编

地震出版社

1993

789591

(京)新登字 095 号

内 容 简 介

本书是一部普及矿床模型有关知识的通俗著作。书中系统地介绍了矿床模型的种类和概念、建模的方法和程序,探讨了矿床建模中的若干理论问题,尽可能地反映了近年来国内外矿床模型研究的最新进展。除导言外,共分十四章,内容包括:系统、矿床及系统方法;模型的含义、建模的原则和一般程序;矿床模型的种类以及研究的历史现状和迫切性;描述性矿床模型的涵义、内容和成熟度;品位-吨位模型的由来、建立程序和应用;矿床产出几率模型的概念和建模方法;矿床系统和成矿系列以及矿床系统模型的建立;矿床模型的定量化和研制定量过程模型的基本构想;矿床成因观念的历史演变;聚矿过程的耗散结构模型;矿床建造、内生成矿系统与矿床模型、金矿床建造模型;科学预测与矿产预测、矿床模型的预测功能、矿床模型与找矿模型;30个关于矿床模型问题的对话。

本书可供高等地质院校师生、地质科研人员、地质勘探、矿山地质工作者参考。

矿床模型导论

张贻侠 主编

责任编辑:王淑玲

*

地质出版社出版

北京民族学院南路9号

北京地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 15印张 370千字

1993年9月第一版 1993年9月第一次印刷

印数 0001-2000

ISBN 7-5028-0948-1/P·591

(1341) 定价: 15.00 元

1993.9.25

谨以此书献给那些为找矿事业而献身的人们!

本书得到国家黄金管理局地质科研基金的资助，特此致谢!

目 录

导 言 矿床建模的现状和未来	张贻侠 (1)
矿床模型思想的由来	(1)
矿床模型研究内容	(2)
对矿床建模工作的基本设想	(3)
第 一 章 系统与矿床	姜琦刚 (5)
系统	(5)
矿床	(7)
系统方法	(8)
第 二 章 模型	姜琦刚 (14)
模型的含义	(14)
建模的原则	(16)
建模的一般程序	(17)
第 三 章 矿床模型	许亚光、戴仕炳 (20)
矿床模型研究的历史与现状	(20)
矿床模型的种类	(22)
我国开展矿床模型研究的迫切性	(23)
第 四 章 描述性矿床模型	姜琦刚 (25)
描述性矿床模型的涵义	(25)
描述性矿床模型的内容	(28)
描述性矿床模型举例	(32)
描述性矿床模型的成熟度	(37)
第 五 章 品位-吨位模型	李绪俊 (39)
品位-吨位模型的由来	(39)
品位-吨位模型的建立程序	(39)
品位-吨位模型的应用	(46)
第 六 章 矿床产出几率模型	卢静文 (55)
世界重要矿床发现史给我们的启示	(55)
矿床产出几率模型	(62)
讨 论	(71)
第 七 章 矿床系统模型	张元厚 (73)
矿床系统和成矿系列	(73)
矿床系统模型的建立	(76)
讨 论	(83)
第 八 章 定量过程模型	李绪俊 (87)
矿床模型量化: 一个重要的方向	(87)
定量过程模型实例简介	(88)
研制矿床定量过程模型的基本构想	(97)

第九章 矿床成因模型	戴仕炳、姜琦刚	(102)
矿床成因模型的举例		(102)
矿床成因模型的结构		(106)
金矿床成因模型讨论		(109)
第十章 矿床成因观念的历史演变	刘洪波	(115)
历史的回顾		(115)
矿床分类与矿床模型		(122)
系统成矿概念		(124)
矿床成因观念的演化趋势		(124)
第十一章 聚矿过程的耗散结构模型	沈秋伟、杨润海	(131)
耗散结构的基本概念		(131)
聚矿过程和聚矿耗散结构		(133)
聚矿体系的识别和建模工作方法		(140)
混沌、分形与模型		(141)
几点思考		(146)
第十二章 矿床建造、内生成矿系统与矿床模型	阎鸿铨	(148)
矿床模型的两个研究方向		(148)
矿床建造与建造分析		(150)
矿床建造及成矿系统的成因模型		(152)
金矿床建造和金矿床建造模型		(154)
第十三章 矿床模型与找矿模型	许亚光	(162)
科学预测与矿产预测		(162)
矿床模型的预测功能		(164)
矿床模型与找矿模型		(166)
问题讨论		(170)
第十四章 关于矿床模型的对话		(176)
关于我国矿床模型研究		(176)
关于国际矿床建模十年项目		(182)
关于矿床模型的应用		(184)
关于超大型矿床的建模		(191)
关于矿床建模的新进展		(198)
关于矿床模型定量化		(202)
结 语		(219)
致读者		(220)
英文摘要		(222)
作者简介		(227)

导言：矿床建模的现状和未来

张贻侠

矿床模型思想的由来

矿床学研究至少有两个基本目的：综合成矿理论，使之达到与当代科学相适应的水平；指导找矿，提高理论找矿的命中率。基于这两个目的而产生了矿床分类。从矿床的成因分类到矿床的工业类型，迄今都采取“鸽子笼”方式。所有的矿床分类，都务求其全，试图把所有矿床都包容在内；各得其所，希望每一个矿床都能在分类表中有自己相应的位置。这种“非此即彼”的分类原则，不断地受到新事实的冲击，特别是当新矿床类型被发现的时候。例如，中国的白云鄂博矿床，究竟在分类表中应占哪个位置，一直在困扰着我们。尔后在澳大利亚发现的奥林匹克坝矿床，同样也难给它一个恰当的分类命名。柿竹园矿床被认为是多种成矿作用的叠加。不整合铀矿床的成矿作用的时间跨度被认为长达 10 亿年之久。还可以举出一系列包括金矿床在内的近期新发现的大型、超大型矿床，几乎都遇到了分类命名的困难。这真是老分类，遇到了新问题。在这种背景下，迫使人们去寻求其它研究矿床的更佳途径。矿床模型就是人们所要寻求的途径之一。

用模型的思路来研究矿床，古已有之。如中国古籍中所表述的矿床垂直分带，早期矿床学教科书中的“成矿树”等，都属于简化了的矿床模型。自觉利用模型来研究矿床，始于 70 年代。80 年代这一趋势业已明朗。1980 年加拿大《地球科学杂志》举办了“矿床模型”讲座。1986 年 USGS 出版了《Mineral Deposit Models》。1988 年 GAC 出版了《Ore Deposit Models》。前苏联于 1981、1985、1990 在新西伯利亚召开过三次“矿床成因模型”的全苏学术讨论会。在 IUGS/UNESCO 的资助下，国际上立了一个 DMP^①为期十年(1984—1994)的大项目。在 1990 年渥太华召开的 8th IAGOD 会议上，DMP 同时召开了专题讨论会。经过近几十年的努力，在诸如块状硫化物矿床、低温浅成热液金矿床等重要的矿床模型研究，以及利用这些模型来进行区域矿产资源评价和找矿预测方面，都取得了明显的进展。诚如国家自然科学基金委员会主持编写的《自然科学学科发展战略研究报告》中的《地质科学》中所说：“矿床地质暂时不去追求那些普遍适用的成矿规律，而是在基础地质深入研究基础上，着眼于一个个成矿模式以及成矿背景的研究”。“在矿产评价和预测方面，人们不得不一个个模式进行总结”（肖庆辉，1991）。这是矿床学领域内应学科发展和工业生产之需而作出的一项重要自我调整。表面上看，覆盖面缩小了，实际上是向纵深发展了。

我国解放以来找矿成绩卓著。曾提出过脉状钨矿“五层楼模式”(1966)、“玢岩铁矿模式”(1978)，以及“成矿系列”概念(1927, 1979, 1980)。近期地矿部又组织了几百个典型矿床总结，有的已经出版。我国从找矿、勘探到矿山开采，积累了相当丰富的素材。1988 年

^①DMP 是 Deposit Modeling Program 的缩写，即矿床建模项目。

地矿部张炳熹总工就在我国开展矿床建模工作，提出了《专家建议》。1988年地矿部烟台总工研讨班上，讨论过这一问题。1990、1991年中国地质科学院成矿远景区划室出版了《矿床成矿模式选编》（一）和（二）。总之，在我国开展矿床模型研究势在必行。这不仅理论上需要，实际上可能，而且会促进我国新一轮找矿工作。“从需要与可能出发，我们的矿床模式研究和建立工作是有条件做好的，而且有优越条件走在国际的前面”（张炳熹，1987）。当然，矿床模型的建立是一项严肃的科学工作，也是一件繁杂的系统工程。不妨先从急需矿种和条件较好的地区开始。我们理应对世界矿床建模工作，做出中国的贡献。

矿床模型研究内容

首先应在总结世界和我国迄今已有的建模经验的基础上，制订具有我国特色的建模理论和方法，其中应包括研究矿床模型的指导思想、技术路线和表达方式等，或者在8th IAGOD会上DMP所说的矿床建模的philosophy和construction。切忌闭门造车。这项研究应持续地进行，定期地总结经验，以推动学术水平的提高。不能毕其功于一役。

模型作为一种科学方法，已被证明在研究那些不能或很难直接观察到的事物或过程时，是行之有效的。

用模型(M)来研究原型(O)。基于二者之间存在某种相似性（形态的、结构的、行为的、过程的，等等），可建立M-O关系。模型(M)为已知，利用M-O关系，来研究未知的原型(O)。这就是模型方法的一种简单表述。

成矿过程一般难于被人们直接观察到。未经勘探和未经开采的矿床，可被视为未经解剖的原型(O)。这个原型是个“黑箱”，至多是个“灰箱”。如果我们把成矿条件或控矿因素作为“黑箱”的输入(input)，而把矿床的特征或属性作为“黑箱”的输出(output)，那么我们可以用研究“输入-输出”的对应关系来“解剖”这个“黑箱”（矿床）。这就是把模型方法用于矿床研究的基本思路。对于矿床这个复杂的、不能直接看到其形成过程的、又难于解剖的原型来说，模型几乎是唯一可行的研究方法。

按美、加学者的定义，“矿床模型是系统有序的信息，用来表征一组相似矿床的本质属性。”按人们对矿床认识的程度，矿床模型又分为经验（描述）模型和理论（成因）模型。上述模型定义，只涉及到“黑箱”（矿床）的输出部分，故只适于定义矿床的经验模型。如果矿床诸本质属性之间的关系以及其产生原因，能够用统一的理论来加以说明，这就是矿床的成因模型。由于它揭示了“黑箱”（矿床）的输出与输入之间的关系，成因模型实际上是个因果模型(causal model)。当然，所有这些模型均需经近代成矿理论和找矿实践的双重检验，逐步修正，由经验模型上升为成因模型，以臻完善。

我们面对的研究对象是如此复杂，迫使我们不得不多方探索更为有效的理论工具。当人们试图用系统论、控制论、信息论，以及耗散结构理论、模糊和混沌理论，或者其它自然科学最新理论来研究矿床，不应该受到奚落，相反应该受到鼓励。即使某种努力失败了，也是值得的。矿床学如果不从其它科学中吸取营养，它就会萎缩。

我们建议的矿床建模工作内容如下。在个别矿床精确描述（包括矿床本身特征和区域地质构造背景）的基础上，进行矿床的归类。按归类建立该类矿床的描述模型。应注意避免主观因素的影响。同时应有该类矿床的产出几率模型（occurrence probability

model), 品位-吨位模型 (grade-tonnage model) 和 T/S 、 T/V 模型 (tonnage / area 或 tonnage / volume model)。在建模过程中应积极探索矿床定量化的可能途径, 包括计算机应用在内。

描述模型经过定量过程模型 (quantitative process model) 和矿床系统模型 (mineral deposit system model) 的补充, 对输入-输出间的因果关系有了更好地了解, 则可以建立矿床的成因模型。矿床成因模型要着眼于全球对比, 不能囿于一国一地。理论上应跟踪国际前沿, 不能故步自封。

国际 DMP 项目确定的宗旨是: 提高矿床建模的学术水平, 不断地完善矿床模型, 推广矿床建模的知识, 以在找矿勘探、资源评价和开发利用方面, 更好地发挥矿床模型的作用。就我国的情况而言, 矿床建模工作应紧密地为新一轮找矿服务。为了减少找矿的盲目性, 找矿模型总会自觉或不自觉地以某种矿床模型作为依托。因此必需把矿床模型及时地转化为找矿模型。根据找矿的实际效果, 反馈回来, 修改完善矿床模型。这两类模型关系是如此密切, 谁也离不开谁。但二者毕竟不是一回事, 也不能互相代替。实现矿床模型向找矿模型的转化, 是矿床学家与找矿学家共同的任务。近些年来我国矿床预测方法有了长足的发展。主管领导对此重视。如果把矿床模型与找矿模型密切结合起来, 其找矿效果预计会比没有矿床模型作基础的单纯找矿方法更好。美、加、前苏联等国家在这方面有不少成功经验, 值得我们借鉴。我国自己的经验, 也应很好地总结。

对矿床建模工作的基本设想

自 1988 年始, 我们把矿床建模工作作为矿床学的一个发展方向认真着手考虑。1989 年到现在, 我们曾多次向有关领导呼吁立项, 寻求资助和合作伙伴。同时积极进行准备。已进行的工作有: 研究美、加和前苏联的建模经验; 结合我国具体情况, 提出我国建模工作的初步思路; 拟定某些技术方案; 选择在急需矿种和条件较好地区开展试验; 探讨矿床模型-找矿模型相结合的可行途径; 建立国际联系, 交流信息等。

从找矿角度看, 迫切需要新思路, 突破旧框子的束缚, 独辟蹊径。矿床模型研究给我们提供了一次机会。花费不多, 收效是多方面的。我国有许多地区地质研究程度较高, 矿床丰富, 找矿前景也好, 是开展矿床模型研究的理想基地。各部门许多项目中, 不同程度地涉及到矿床研究和找矿预测问题。如果这些研究能把矿床模型渗透进去, 或者把二者结合起来, 将会收到事半功倍之效。当前的科研形势要求我们树立“大科学”的观念。破除狭义的门户之见, 多学科联合攻关, 才可能在科学上有所建树。

在国家黄金管理局的资助下, 1991 年我们组织以青年教师、博士、硕士为主体的研究组开始了金矿床模型研究的启动工作。呈现在读者面前的这本小册子, 就是矿床模型研究的一项准备工作。我们觉得, 比较深入而系统地介绍国内外有关矿床模型研究的最新进展, 甚有必要。这不仅为了武装我们自己, 也是为了方便中国的读者。在本书评述现状时, 读者将会发现有不少地方加进了我们的管见。这是因为在矿床模型这个领域内, 尚有许多主要问题有待解决。与其人云己云, 不如探索新路。基于这种考虑, 我们才不避狂妄之嫌, 大胆提出问题。如果由此而引起争论和批评, 或者启发了同行们的灵感, 是所至愿。

显然, 矿床模型研究是一项前景广阔的领域。它既为找矿事业所需, 在理论上也极富有挑战性。对于青年矿床学家来说, 更具有吸引力。

鉴于这项工作的艰巨性, 我们衷心地希望得到海内外同行的指导、帮助和合作。

参考文献

- [1]Dennis P. Cox and Donald A.Singer, Editors, 1987. Mineral Deposit Models, U.S.Geological Survey Bulletin 1693.
- [2]R.G.Roberts, and P.A.Sheahan, Editors, 1988. Ore Deposit Models, Geoscience Canada, Reprint Series 3.
- [3]Abstracts of 8th IAGOD Symposium 1990. Ottawa, Canada.
- [4]Y.X.Zhang, 1990. Research on Mineral Deposit Modeling: A Suggestion for Geologists of Gold Deposits, Address, Unpublished.
- [5]James,D.Bliss,Editor,1992. Developments in Mineral Deposit Modeling,U.S.Geological Survey Bulletin 2004.

第一章 系统与矿床

姜琦刚

何谓系统？我们常把组成整体的部分或成分称为要素，而把以一定方式联结的要素所构成的具有新质的整体，称为系统。世界万物皆系统。地质学研究的地球、地壳、矿床皆系统。根据不同的目的，系统可划分为自然系统、人造系统、复合系统，还可分为静态系统、动态系统等。我们所研究的矿床，为地壳系统的子系统，矿床本身又有许多子系统组成。是系统就要用系统方法来研究，把研究对象作为系统，从系统与要素、要素与要素、系统与环境之间的相互关联和相互作用的关系中来加以综合而精确地考察，以寻求最佳答案。系统方法有无比的优越性。系统方法常用模型法、模拟法、黑箱-灰箱法。模型法是对实际系统的简化描述，而模拟一般是对系统动态进行仿真试验。当研究客体的结构不了解，又不能直接观察其内部状态时，常根据系统的输入-输出关系研究而用“黑箱”、“灰箱”方法。我们所研究的矿床即是一个“黑箱”，至多是个“灰箱”，必须用“黑箱”方法来研究矿床。

系统

“系统”这个词对我们来说并不陌生。我们经常使用和听说各种各样的系统：自然界的海洋系统、大气系统、生态系统；社会中的生产系统、消费系统、教育系统、服务系统；人体内部的呼吸系统、消化系统、神经系统等等。系统论问世以来，人们竞相用系统的观点看世界。那么何谓系统？

我国古代《申鉴·时事》中曾记载过这样一个故事：某人到林中见人张网捕雀，捕到的雀都被扣在各个网眼里。他回到家后，用一截短绳结成许多互不相联的小绳圈，也准备去网雀。有人问他：“这些小绳圈是做什么用的？”他说：“网雀用的。既然一只雀只钻一个网眼，我这些小绳圈岂不比一张大网更省事吗？”不言而喻，此类孤立的绳圈是捕不到雀的。这个故事蕴含着系统涵义的真谛。我们知道，大网虽然是由一个个小网眼组成，但孤立的单个网眼无论是在质上还是功能上都不能与整个网相比。大网的每个小网眼彼此联结在一起，构成了一个多网眼的整体，所以才具有单个网眼所没有的捕雀功能。

通常，人们把类似网眼这种组成部分或成分称为要素；而把以一定方式联结的要素所构成的具有新质的整体，称为系统。换言之，任何系统都可分解为更小的部分或成分。象人体的消化系统是由口腔、食道、胃、肠等器官组成的，它的整体功能是消化食物和吸收营养。每个部分都对整体功能作出自己的一份贡献，但都不能单独地完成整体的功能。

地球也是一个系统。从更广的范围看，它是太阳系统的一个组成部分。地球本身，又是由若干个子系统构成。地壳则是子系统中一个成员。再从更小的范围看，地壳也可分解为一系列组成部分，矿床则是这些组成部分之一（图 1-1）。当然矿床也可以再分解。

如果我们撇开上述这些系统的具体形态和性质，我们就可以发现系统具有若干共同

点。

第一，系统都是由两个以上的要素按照一定方式组合而成的。

第二，系统的要素与要素之间，要素与整体之间及整体与环境之间存在着一定的联系，从而在系统的内部和外部形成一定的结构和秩序。

第三，系统有一定的特征、功能和行为。系统的特征、功能和行为并非是组成要素的性质、功能和行为的简单相加，而是有质的飞跃。

第四，系统可以分级（层次）。系统内部由若干小系统组成。若干个系统又可构成更大的系统。

可见，系统是由两个以上相互联系、相互作用的要素所组成的，具有一定结构和功能的有机整体。它从属于更大的系统，也可分为更小的系统。正如系统论的奠基人，奥地利学者贝塔朗非所定义的，系统是：“处于一定相互联系中的与环境发生关系的各组成部分的总体。”我国著名科学家钱学森认为：“把极其复杂的研究对象称为系统，即由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成具有特定功能的有机整体，而且这个系统本身又是它们从属的更大系统的组成部分。”1967年日本的工业标准 JIS 中，将系统定义为：“许多组成要素保持有机的秩序，向同一目的行动的东西。”

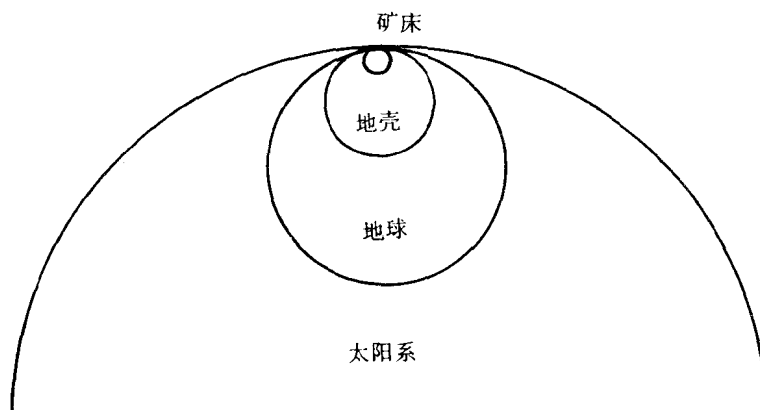


图 1-1 从太阳系到矿床系统示意图

综观我们周围的事物，都具有系统的属性。系统无所不在，无时不有。从浩瀚无际的宇宙空间，到微观的基本粒子，均可视为不同层次的系统。

岂止自然界？人类社会也无一不是系统。从国家到家庭，均为系统。社会也是以系统形式存在的。同样，思维现象也普遍具有系统属性。各种思维形式，如概念、判断、推理以及科学理论等，本身也都是由各种要素组成的系统。思维现象的系统性，乃是物质世界的系统规律在人们思维中的一种抽象的概括和反映而已。

总之，从自然界到人类社会，无一事物不从属于一定的系统。人类就是生活在系统之中，既要靠各种自然系统和社会系统维持生存，又不断地造就形形色色的新系统。系统乃是物质存在的形式和属性。

既然世界上万物皆系统，那么系统的种类也必然是多种多样的。按系统组成要素的自

然属性，可以把系统分为自然系统、人造系统和复合系统。地球、地壳、矿床都属于自然系统。人造系统是指人类为达到某种目的而建立起来的系统。自然系统和社会系统的复合称为复合系统。现实生活中，大多数系统是复合系统。如人-机系统。

按系统的运动状态，我们可以相对地划分为动态系统和静态系统。动态系统是指系统的状态随着时间的变化而变化，即系统的状态变量是时间的函数。系统的状态不随时间变化而变化的就是静态系统。静态系统往往指某一时间域内，状态的变化可以忽略不计，并不意味着系统是静止的。

此外，按系统分析的不同目的，还有实体系统和概念系统、开放系统和封闭系统、控制系统和行为系统、确定系统和随机系统等等。

矿床

矿床是地壳中由地质作用形成的地质体，其中某些矿物或元素的质和量达到工业要求，在目前经济和技术条件下，能被开采和利用。这里包含着两层含意，其一是矿床的自然属性，矿床是由某种特定的自然作用——成矿作用形成于地壳中的地质体，它不随人们的意志为转移，人们只能发现它、利用它，而不能控制它，在这个意义上，矿石与岩石没有本质的区别。其二是它的经济属性，矿床必须是工业上有用、经济上合算、技术上可能被利用的自然资源，在这点上，它又不同于一般岩石。

具有 45 亿年历史的地球，无疑是一个大自然系统。地核、地幔和地壳是组成地球系统的要素（子系统）。作为地球子系统的地壳，又由许多要素（子系统）组合而成。矿床无疑可作为地壳系统的一个子系统。

进一步说，矿床这个子系统，也是由一系列要素构成的。任何一个矿床，都有其围岩和若干形态不同、产状和规模各异的矿体(子系统)，按一定的方式组合而成。从另一角度看，如果把成矿过程作为一个系统，则成矿环境、矿质来源、运移、富集、沉淀成矿等，可视为系统的要素(子系统)。在成矿作用过程中，各要素随时间的变化而变化，所以

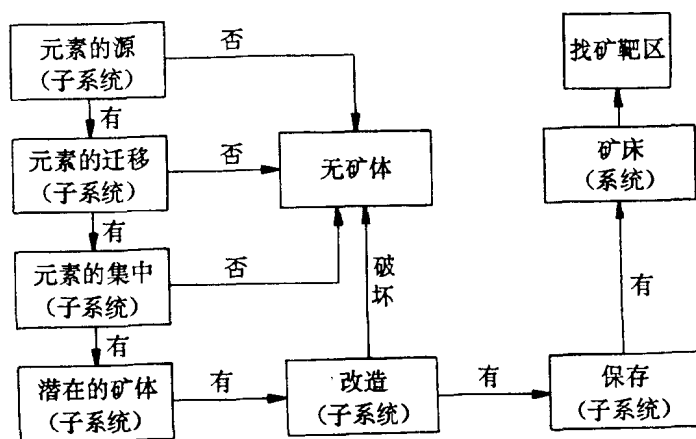


图 1-2 一个矿床形成过程概念模型

(据 J.E.Tilsley, 1988 修改)

成矿过程是个动态系统，而且是个相当复杂的动态系统（图 1-2）。

系统方法

所谓系统方法，就是把研究对象作为系统，从系统和要素、要素和要素、系统与环境之间的相互关联和相互作用的关系中来加以综合而精确地考察，以寻求最佳答案。

宋代科学家沈括的《梦溪笔谈》中讲述的丁渭修皇宫“一举三得”的故事，就是运用系统方法来解决建筑工程的一例。宋真宗大中祥符年间皇宫失火，一夜之间宫室楼台化为废墟。为了修复这些宫殿，真宗挑选了善于思考的晋国公丁渭作为修葺使（即总工程师）。要完成这项重建工程，需要解决一系列相关的难题：取土、运输和废墟垃圾的处理。丁渭首先下令“凿通衢取土”。从施工现场向外挖了几条大深沟，挖出的土作为施工用土，再把宫外的汴水引入新挖的大沟中，“引诸道竹木筏排及船运杂材，尽自堑中入至宫门。”等到建筑运输任务完成以后，再排除堑水，把工地所有垃圾倒在沟内，重新填为平地。简单归纳起来，就是这样一个过程：挖沟（取土）—引水入沟（运输）—填沟（处理垃圾）。这个施工方案不仅取得了“一举而三役济”的效果，而且“省费以亿万计”，还大大缩短了工程期限。丁渭高明之处，就在于他并不是去分头解决问题，而是把三者看成一个相关整体加以协调处理，从而找到一个最佳施工方案，这就是一种朴素的系统思路。

不仅在工程上，系统思路用之于地质上，也同样是有有效的。地壳由若干板块构成。板块的运动，控制了成矿作用，这就是一种系统思想。简单地说，板块的增生与消减，这两种不同的地质作用必然伴随有不同的成矿作用，从而形成了不同的矿床。矿床的分布与板块构造之间存在着密切关系。如果把成矿作用看作地壳板块活动大系统的一个子系统（图 1-3），那末我们对矿床的生成与分布规律，当会有更为深入的了解。

由此可见，系统方法的着眼点在于：

1. 把对象看作是多因素、多变量的整体，从分析和研究对象的诸要素（诸子系统）之间的关系中，去认识对象的属性；
2. 研究各构成要素（子系统）的性质、构造与系统整体性质的关系，从而去认识和评价各要素或子系统对整体的作用程度；
3. 依据各要素或子系统对整体的作用程度，结合外部环境对系统的作用，选择最佳方案去安排系统的各个组成要素和子系统。矿床的形成，就是成矿作用过程中各个子系统即围岩、构造、岩浆岩等最佳组合的产物。

系统方法优于以往的一些方法，特别是在解决复杂问题时。系统方法考察问题时，首先是综观全局，由上而下、由总体到局部，而不只着眼于个别要素的孤立评价。要素之间的联系的方式，决定了系统的整体性能。矿床、特别是超大型矿床的形成，取决于成矿诸要素之间的最佳组合，而不取决于单一的因素。

系统方法用于科学研究中它既是确定目标的方法，又是实现目标的方法。

各种科学研究，如果按照它在认识过程中的功能来分类，一般可以分为确定目标和实现目标这两类。科学研究也象其它工作一样，确定一个恰当的目标，至关重要。系统方法首先在确定目标方面发挥重要的功能。传统的作法是靠经验判断和逻辑分析来确定目标。而系统方法则把确定目标和实现目标的两种认识功能有机结合起来，系统方法使确定目标得以

程序化、精确化，从而使其效果达到最佳化。同时，系统方法还可以通过程序设计、具体计划、研制、生产、安排、运行等阶段来实现既定的目标。所以说系统方法是兼备了确定目标与实现目标两种功能的一种科学方法。

例如在一个地区找矿时,我们不能无所依据。那种“想在哪里找,就在哪里找,想找什么矿,就有什么矿”的想法,注定要碰钉子的。正常的做法是,首先分析这个地区的成矿地质条件。通过系统的分析,确定有无成矿的可能性以及可能找到什么矿种,而后再确定工作目标。然后根据目标选择采用何种有效的找矿方法,包括物探、化探、地质方法的最佳组合。

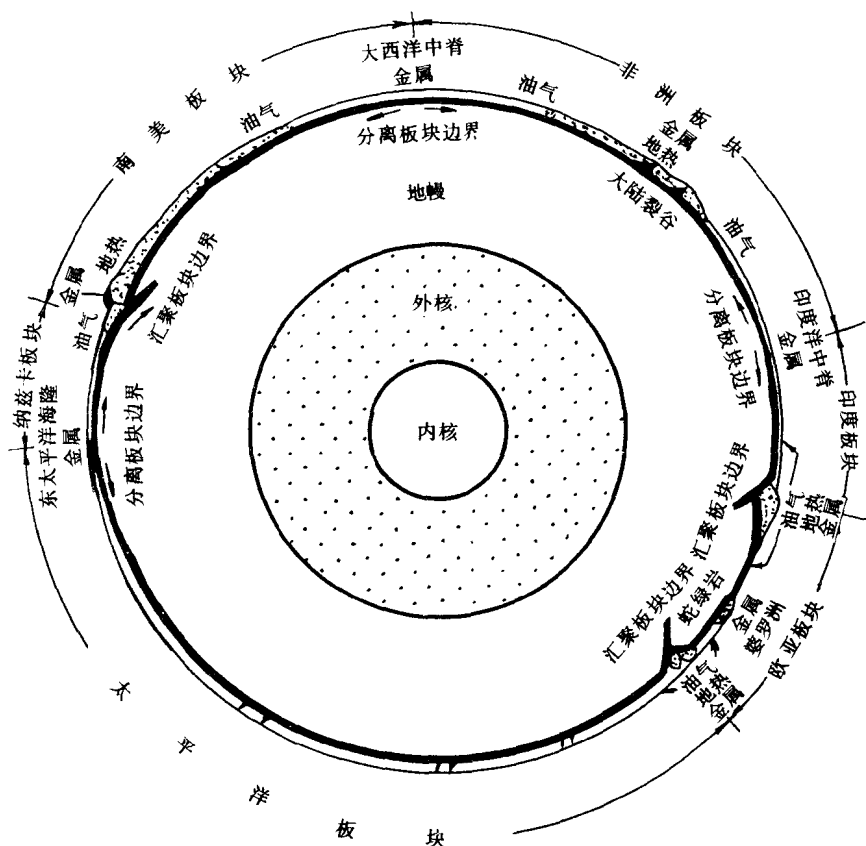


图 1-3 板块活动系统与成矿系统关系示意图

(据 P.Rona, 1977)

人们往往采取将质和量分别加以考察的方法来认识事物,即所谓定性方法和定量方法。而系统方法则把这两者集于一身。它不仅定性地揭示系统性质和机制,而且还可以借助数学语言定量地描述系统的运动状态和规律。一个复杂系统的要素众多,之间关系复杂,一方面定性描述要素与系统,要素与要素之间的关系,同时还可以找到一种方法,定量地研究这些关系,即用数学语言进行定量描述。可以用运筹学、模糊论、现代控制理论等理论和电子计算机手段,使多变量、多因素复杂系统的诸要素的关系定量化。可以说

现代的数学理论和计算技术，已为人们解决复杂系统问题、包括找矿问题开辟了道路。

系统方法要求人们把任何研究对象都看作系统，确定它们的结构以及要素之间的关系，这样就可能引进数学方法来深入研究问题。系统方法是现代科学数量化的必由途径。

举例来说，以控制论为理论指导的功能模拟方法，是以事物、机器以至社会现象中普遍存在的某些功能和行为的相似性为基础的，用模型来模拟原型的功能和行为。以信息论为基础的信息方法，就是把目的的运动，看作一个信息的获取、传递、加工和处理的过程，把系统内外各种因素的相互联系和关系，看作信息的交换过程而加以研究。事实证明，系统方法在研究复杂系统时的优越性是其它方法无可比拟的。我们认为，对于成矿和找矿来说，引用系统方法更为必要。

人们常采用模型法 (model)、模拟法 (simulation)、黑箱 (black box) - 灰箱 (grey box) 等方法来研究那些复杂系统 (图 1-4)。

现实世界中作为研究对象的系统是非常多样的。其繁简程度、规模大小、观察难易均存在着巨大的差异。对于那些结构简单、规模适中又可以直接观察的系统，人们可以直接分析和研究。这时研究对象——系统就是客观实体本身。但有些研究对象情况就不那么简单，或在距离上极为遥远，或空间范围太小或太大，或过程的时间太长或太短，或难于或无法打开解剖等等。这些研究对象均非现实人力所及，因此不可能采取简单的直接研究的方法，这就需要另辟蹊径了。矿床的形成过程即属此例。至于包含人在内的社会大系统，问题就更复杂了。在这种情况下，直接分析就很难实现，必须借助一系列间接方法对系统进行研究。模型和模拟方法就是在这种背景下应运而生的。

模型和模拟两者常常被混用，实际上两者并不相同。模型是对实际系统的简化描述，而模拟一般是指对系统动态进行的仿真试验。

如上所叙，对于那些很难直接把握其本来面目的研究对象，怎么办？如果设计一个与真实系统相似的模型，通过对模型的研究来揭示和掌握真实系统的某些特征和规律，当不失为简易可行之法。这就是研究系统的模型方法。模型可以再现事过境迁的过程，也可将某些大事物、大现象加以缩小，太小的可以放大，大小由之。正由于模型方法具备这些优点，所以模型方法在自然科学和社会领域中，得到了广泛应用。其实，模型方法由来已久。东汉张衡发明的“浑天仪”，就是模仿天体运动的一种模型。近代，特别是二十世纪，模型方法应用范围越来越广。物理学、化学、工程科学、经济学和社会科学等，模型方法已作为研究的常规方法。所以说用模型法来研究矿床，是势所必然，宁早勿迟的事。

模拟的本意是：虚构、抽取本质、超越现实。

系统模拟是用系统模型结合实际的环境和条件，或用实际的系统结合模拟的环境和条件对系统进行分析 and 试验的方法。其目的是要在人为控制的环境条件下，通过改变特定的参数来观察模型的响应，用以预测系统在真实环境条件下的品质和行为。

模拟的概念具有特殊的涵义，因为它是认识论的范畴，是人类最重要的认识系统的途径之一。“模拟”这个术语包含着广泛的各种各样的认识手段的总和。但模拟这一概念在其各种不同的意义中，所包含的一切手段都有一个共性，即它们都是基于把建立和分析模型的过程中所取得的知识转移到被模拟的客体上。实际上模拟就是通过建立的模型对系统进行多次重复实验的过程。

模拟的对象既可以是具体的客体，也可以是抽象的客体。既可以是现实存在系统，也

可以是要设计的系统。

根据模型的性质，模拟可分为实体模拟、物理模拟、数学模拟、数字电子计算机模拟，符号模拟等等。

模拟的思想早在几千年前就有了。如众所周知的象棋，就是模仿古代战争的一种模拟游戏。现代军事家用军事演习来模拟实际战争的兵力部署，装备的配置，战术的实验等。因此模拟并不是新概念，人类早就用模拟方法认识世界和改造世界。

模拟是试图重现某一系统或活动的作业情况，它不必实地去建造并运转一个系统。研究人员首先应对研究的对象或问题虚构一个系统（或称构造一个模型），然后使模型在不同条件下运转，在这个过程中研究系统的本质与性态。模拟过程分三个步骤：

1)提出问题，确定目标：明确模拟对象，即要求清楚地、准确地阐明模拟对象的研究主题。要求建立模拟系统的规模、目的范围，确定模拟系统的界限、限制条件，确定系统模拟的效果评定准则。

2)应用过去已取得的资料、数据，建立描述系统模型，以观察其是否与实际系统情况相符。若发现有任何缺点，应立即予以修正，务求所建立的模型可靠有效。

3)以新的试验工作，验证模型。

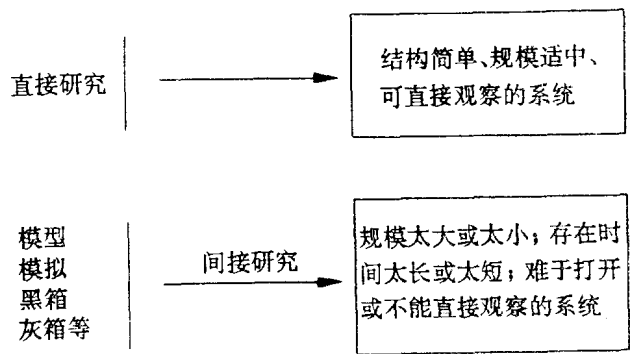


图 1-4 系统方法不同方法及研究对象示意图

以上步骤的程序框图如图 1-5。

模拟方法所研究的客体结构，人们并不清楚，所以才从功能研究着手。这种方法实际上把研究客体作为一种“黑箱”。那么什么是黑箱呢？

如果人们对系统的结构不了解，而且又不能直接观察其内部状态，这种系统相当于一个不能打开的黑色箱子，故称为“黑箱”。

自然界和社会中被视为黑箱的很多。地球就是一个典型的黑箱。对地球内部状态的认识，是通过地震波和其它地球物理手段间接获得的。人们只能是在地球表面进行各种观测，根本无法深入到地球内部去直接观测。但这并不意味着人们无法研究地球。所谓黑箱是这样—一个系统，我们只要研究它的输入和输出，即使不知道其内部结构，我们也可对这个系统的属性和行为作出判断。黑箱方法的优越性是显而易见的。当然，“黑箱”是相对于人这个认识主体而言的。人对客观事物的认识总有一个不知到知，知之不多至知之较多的过程。原被视为黑箱的某个事物，通过技术进步，对它有了确定的认识后，“黑”就转化为