

~~4-1016~~

地质科技资料选编 (一三一)

矿床模式专辑

(续 篇)

地质矿产部情报研究所

1990年1月

前 言

当前世界各国找矿的实践表明,矿床模式已成为最具勘查能力的一种手段。近十年来,苏联、美国和加拿大在建立矿床模式的研究方面有了很大进展,目前正在大力加强各类矿床模式的研制、使用、验证和总结工作。现在矿床模式已成为预测、普查、勘探过程中不可缺少的组成部分。为促进我国地质找矿工作中运用矿床模式这一先进理论,我所已于1988年出版了《矿床模式专辑》一书,较详细地介绍了矿床模式的理论和概念以及十讲矿床模式讲座。本专辑是其续篇,共选收21篇论文。内容是继续介绍各类矿床模式,並着重在矿产预测、区域评价和矿产勘查中如何正确运用这些模式,包括使用矿床的描述性模式、地质成因模式、地球化学模式和地球物理模式以及应用在尚未发现的矿产资源的定量估算中。与此同时,还对矿床模式研究和使用的现状及动向作了全面综述,指出目前模式研究的趋势之一是研制多因素矿床模式,除基础的地质环境、矿床地质特征外,要求大量增加地球物理、地球化学、遥感、矿物学以及有关矿区深部地质情况方面的信息,把直接找矿信息与间接找矿信息结合起来,研制出综合性预测普查模式。还介绍了国际矿床模式项目开展情况,提供了根据各国实际情况如何建立地区的矿床成因模式的经验。另外,本专辑还收进了《加拿大地学》杂志连载的“矿床模式讲座”后四讲(总共十四讲,前十讲已刊载在1988年《矿床模式专辑》中)。这些“讲座”最近已由加拿大地质调查所汇编成册,书名即为《矿床模式》(《Ore Deposit Models》, 1988)。

在本专辑选题过程中考虑到过去介绍的具体矿床模式多以西方国家的矿床为例,以苏联矿床为实例的较少,因此本专辑有意识地选收较多的苏联矿床的具体实例,以便更全面地了解世界各国的研究状况。

本专辑由戴自希、刘曼华负责编辑加工。图件由赵秀兰、魏智如绘制。专辑中的“讲座”取自本所出版的《国外地质科技》。由于水平有限,本书可能存在许多不当乃至错误之处,欢迎读者批评指正。

地质矿产部情报研究所矿产室

1990年1月

目 录

1. 矿床模型研究和使用的现状及动向	(1)
2. 建立矿床模式的方向和任务	(9)
3. 矿床模型在矿产勘查中的使用和误用	(14)
4. 国际《矿床模式项目》正在进行	(19)
5. 矿床模式选登	(25)
6. 火山-沉积建造黄铁矿型多金属矿床的典型模式 (以鲁德内阿尔泰为例)	(36)
7. 陆源建造和碳酸盐-陆源建造黄铁矿型多金属矿床的典型模式	(41)
8. 诺里尔斯克型硫化物铜-镍建造的成因模式	(49)
9. 哈萨克斯坦内生稀有金属矿床主要类型的地质-成因模式	(54)
10. 黑色页岩盆地周围浅海锰矿床的沉积模式	(60)
11. 克拉通地区太古代绿岩型金矿的分布——论变质模式的预测能力	(72)
12. 普查和评价金属矿床的地球化学模型	(81)
13. 多建造金-银矿床的矿物-地球化学普查模式	(83)
14. 利用杰兹卡兹甘矿床的岩石物理模型开展预测和普查	(89)
15. 尚未发现的矿产资源的定量估算——太平洋沿岸山系中美国自然林保护区的 实例研究	(93)
16. 地质经济模型: 勘探和组织工作的新原则	(101)
17. 矿床模式讲座	(106)
(十一) 太古宙岩金矿床	(106)
(十二) 铂族元素矿床——分类和成因	(122)
(十三) 不整合铀矿	(139)
(十四) 火山成因块状硫化物矿床	(153)
第二部分: 成因模式	(153)

矿床模型研究和使用的现状及动向

吴 承 栋

矿床模型法正在成为世界各国进行矿产预测和 勘查时所采用的一种重要方法

进入八十年代,成矿理论研究和矿产预测工作中一个十分值得注意的趋向是,各国都大力加强了各类矿床模型的研究、使用、验证和总结工作。

苏联把建立和完善各类矿床模型作为进一步完善苏联矿产预测工作的最重要措施之一。早在八十年代初苏联就在建造分析基础上分出了87个构造成矿带的类型,从而为进行区域性矿产预测提供了经验模型。从七十年代后期开始,苏联地质部的许多研究所就开始研制和建立主要地质工业类型矿床的地质、地质-地球物理和物理-地质模型。苏联还在1980年5月和1985年11月先后两次召开了全苏矿石建造成因模型会议,讨论了建立矿石建造成因模型的一般原则,探讨了铜镍、铁、稀有金属、铜钼、金、锑、汞等矿产矿石建造成因模型的特点以及以矿石建造成因模型为基础的矿产预测方法原理。苏联目前在预测和评价金属矿产方面正在发展的一个重要新方向是,在评价成矿带、矿区、矿田和矿床的潜在资源时将任务分解,并将这些任务以预测普查组合的形式与地质勘探过程的各阶段联系起来,而这一重要新方向的核心和基础就是在建造分析基础上研制和建立各种矿产主要成因类型不同等级成矿客体的成因模型和预测普查模型。目前已建立的矿床成因模型正在成为苏联已建立的和正在建立的预测普查组合的基础。与此同时,矿床的描述性经验模型和矿床成因模型以及近矿空间不同部位特征已包括在苏联对矿产预测图的要求中。苏联地质部科研生产总局付局长A. И. 克里夫佐夫提出,应根据矿田和矿床模型来编制大比例尺矿产预测图和局部预测图,相应等级的预测普查对象的地质模型应成为预测图的基础。此外,苏联已把建立重要成矿作用的理论模型和各类矿床的预测普查模型(包括多因素矿床模型,建立新的有远景类型矿床的模型,查明大型和特大型矿床形成条件,建立矿床的地球物理模型)列为苏联地质科研工作优先考虑的远景方向之一。

美国地质调查所早在1964年就开始使用矿床模型进行矿产资源的区域评价。矿床的描述性勘查模型在矿产区域评价中的作用在1979年美国丹佛召开的美国本土矿产评价讨论会上就曾受到人们较广泛的注意。为了更好地利用矿床模型方法开展矿产预测和勘查,美国地质调查所继1982年出版了《矿床产地的特征》一书之后,1986年又以111个国家3900多个矿床的资料为基础编辑出版了《矿床模型》一书,该书包括了87个矿床描述性模型和60个不同类型矿床的品位-矿量模型。该书还结合建立矿床模型的要求,根据岩石构造环境对矿床模型进行了分类。目前美国已把建立典型矿床的各类模型作为预测和勘查矿床统一过程中的一个组成部分。

加拿大在开展矿床模型研究的同时,1980年以来在《加拿大地学》杂志上开辟了矿床模

型讲座，先后发表了12个矿床类型（斑岩铜矿，某些铀矿，沉积型层状矿床，亲花岗岩矿床，密西西比河谷型铅锌矿，岩浆分凝铬铁矿矿床，火山成因块状硫化物矿床，浸染型金矿床，加拿大科迪勒拉的浅成热液金银矿床，太古宙脉型金矿，铂族元素矿床，不整合铀矿）的地质成因模型。1984年加拿大地质调查所还出版了《加拿大矿床类型：地质梗概》一书，介绍了矿床的描述性模型。

1985年9月美国和加拿大在美国弗吉尼亚州利斯堡市联合召开了“公有土地矿产资源评价展望”专题讨论会，进一步肯定了矿床模型法是进行矿产预测和评价的有效方法，并交流了矿床模型建立原则和利用矿床模型进行矿产预测和评价的经验。

国际地科联和联合国教科文组织1984年制定了一个矿床模型10年研究计划（1985—1994）。该计划开始时将编辑出版现有模型的资料，包括矿床主要特征的简要介绍，识别各种模型和查明某些研究区的构造地层环境，以确定可能产出的适当矿床类型。接着将为第三世界地质学家举办短期训练班，以便为后来的研究建立参考性标准。以后将进行野外考察和室内研究，以建立和修改适合发展中国家特定地区的矿床模型。根据这个计划，已先后在苏丹喀土穆，菲律宾马尼拉，巴西贝洛奥里藏特，智利圣地亚哥，玻利维亚的拉巴斯和中国太原召开了矿床模型研讨会，分别对热液矿床、斑岩铜矿、块状硫化物矿床、层状侵入体中的铬铂矿化、低温热液贵金属矿床、绿岩带金矿、火山中心热液成矿系统、以火山岩为容矿岩石的低温热液贵金属矿床以及层控铜矿床的成因模型及其实际意义进行了研讨。该计划的指导委员会还打算继续召开这类研讨会，并于1990年8月在加拿大渥太华召开一次国际矿床模型会议（与第8届国际矿床成因协会讨论会同时举行）。

上述趋势的出现反映了当前矿床理论研究进一步与实践相结合的重要动向。随着找矿难度的加大，为了迅速选定靶区和查明找矿目标，勘查人员需要理论研究为他们提供更大的实际帮助，而矿产的地质成因模型正是地质理论与实践相结合的产物。它是以成矿理论为指导来收集、分析和研究已有的各类矿床资料，力求对所研究的成矿客体和周围介质的形成过程及有关的基本地质、地球化学和地球物理特征进行综合分析，概括出最接近实际的认识，在此基础上查明主要控制因素，提供一个有针对性收集和分析资料的提纲和可供勘查区进行对比的已查明的对成矿有利参数的清单，从而使地质人员可以将其观测结果同广大专家的经验 and 知识进行比较，并可保证评价的重复性和复现性，因此可以大大提高预测和找矿效果。由于当代矿床模型研究具有上述特点，它正在成为世界各国开展矿产预测和勘查的有利手段。如美国和哥伦比亚地质工作者在对哥伦比亚进行矿产资源评价时就使用了65个描述性矿床模型和37个品位-矿量模型。美国八十年代评价美国西部太平洋沿岸山系自然林保护片区的金属赋存量时就采用了主观估算、矿床模型和蒙特卡罗模拟三种方法，共使用了21个矿床类型的品位-矿量模型和产状模型，评价了上述91个片区14个矿床类型中的11种金属的资源赋存量。苏联阿尔马雷克铜-金-多金属矿区80年代进行矿区深部预测的主要方法首先就是建立矿区范围内深达10—15公里的综合立体地质-地球物理模型，然后是查明成矿客体分布的基本规律和预测标志，编制不同深度范围内的预测图件以及在各预测区段内建立剖面上部（1—2公里）构造的立体地质-地球物理模型，以决定打普查钻的具体位置。至于利用矿床模型取得勘查成功的突出实例，如早在60年代美国地质工作者就利用根据圣马纽埃矿床建立的斑岩铜矿蚀变分带模型结合构造研究成功地发现了卡拉马祖斑岩铜矿，根据克莱梅克斯钼矿的成因模型在成矿带上开展普查相继找到了亨德逊和埃蒙斯山等大型钼矿。不整合脉型铀

矿的成矿模型在加拿大萨斯喀彻温省阿萨巴斯卡盆地铀矿区的扩大中起了重要作用。80年代初在智利北部发现的特大型埃斯康迪达斑岩铜矿也是根据斑岩铜矿模型, 主要进行铁帽和蚀变分带研究, 並配合使用地球化学找矿方法发现的。苏联近几年大力提倡並在个别地区初步取得良好找矿效果的矿床预测普查组合是以矿床类型的成因模型为基础建立的。美、苏最近建立的用于矿产预测和找矿的计算机人工智能系统也是以矿床模型为基础的。

苏联目前正在研制的矿床模型有按矿床类型建立的地质成因模型和成因模型, 分类标志模型(经验模型), 同等要素组合模型(地质-地球物理模型, 物理-地质模型, 几何化模型), 地质工业定量模型(品位-矿量模型), 形态模型, 富集(品位分布)模型, 多因素模型和地质经济模型, 当前使用较多的是构造成矿带类型模型, 地质和地质-地球物理的经验模型, 地质成因模型以及矿石建造的地质成因模型。而美国和加拿大等西方国家在矿产预测和资源评价中所使用的矿床模型以矿床类型的描述性模型(经验模型)、成因模型和品位-矿量模型为主, 其次是产出概率模型和定量生成过程模型。为对尚未发现的矿产资源进行经济评价, 除利用矿床地质模型外, 还要利用矿床地质经济模型、矿床勘查模型和生产模型。

矿床模型的主要类型及其关系

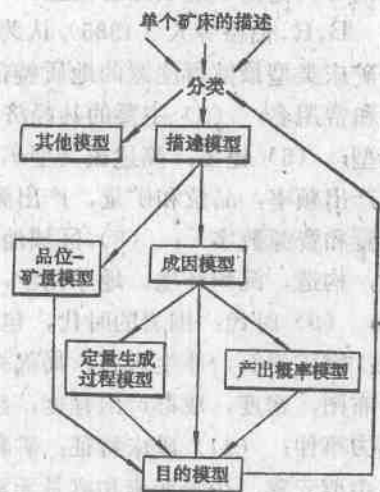
目前预测和找矿工作中研制和使用的矿床模型多是以矿床类型为基础建立的。最常见的矿床模型有描述性模型(又称经验模型, 包括地质描述性模型和地质-地球物理描述性模型), 品位-矿量模型, 地质成因模型, 定量生成过程模型, 产出概率模型以及根据预测和找矿工作的需要而建立的其他模型, 如特定类型矿床的勘查模型, 地质经济模型等。各类模型之间的关系如下图所示。

描述性模型由两部份组成: 形成矿床的地质环境和矿床本身的识别特征。在大多数情况下矿床的描述性模型还包括在进行矿产评价和勘查项目规划时有用的一些资料。建立矿床描述性模型的目的是为解释观测结果提供依据, 提出的特征在规划阶段和在解释发现中均可用来指导资源评价和勘查。

品位-矿量模型是表示特定类型矿床品位和矿量变化范围的模型, 是根据矿床勘探和开采资料建立的。为了便于对比和显示数据, 这种模型一般是以座标图的形式提出。品位-矿量模型是一种用来确定尚未发现矿床规模和质量

的矿床模型。

随着模型特征的成因含义获得了令人满意的解释, 描述性模型就转化为成因模型。矿床的**成因模型**应在一定理论指导下, 在再造成矿时的古环境和地形发展的动力学以及成矿的物理化学条件的基础上建立, 首先要求详细研究在随时间变化的成矿系统中地质作用的发展顺序及其在成矿中的地位。所建立的矿床成因模型应对成矿物质和成矿流体的来源, 有用组份



迁移富集的方式以及成矿作用过程做出理论上的解释和论证，在此基础上提出具有概括性和普遍性的控矿因素和预测准则。

产出概率模型是预测给定地区矿床产出概率的模型，一般要在成因模型基础上建立。由于矿山资料虽较完整，但非生产矿床资料却远不完全，故很难建立精确的概率模型。但目前已能利用现有概率模型定性地识别出一些矿床产出概率大于平均产出概率的地区。一个地区矿床产出概率的高低取决于预测对象与标准含矿客体的相似程度。

定量生成过程模型是定量描述与矿床形成有关的某种作用过程的模型，是矿床成因模型的分支。正在冷却的岩体围周的热流动或流体流动模型是这类模型的例子。

所有上述5种模型以及其他模型都可能是“目的模型”的必要组成部份，如预测普查模型除应包括上述模型中的有关内容外，还应包括成矿客体的地球物理和地球化学特征和异常，矿化直接标志，研究区的侵蚀程度和矿化保存程度以及说明矿上空间、容矿空间和矿下空间的标志组合。

矿床模型的内容和建立矿床模型的程序、原则和要求

矿床模型所包括的内容经历了一个逐步完善的过程。随着矿床模型种类的增加和矿床模型所承担任务的增多，建立模型所包括的资料内容也在不断变化，已从单纯的地质特征和成因解释逐步增加了地球化学、地球物理和矿物学方面的信息以及采用先进技术手段所获得的其他信息（如深部构造资料），进而发展到在成因模型基础上提出有关类型矿床的最佳预测标志和方法组合（预测和勘查模型），并根据经济评价的需要增加了与生产和开发有关的经济内容，提出了地质经济模型。

B.R.伯格等人（1985）认为，建立矿床模型应有下列资料：（1）矿床类型的名称：一个矿床类型最值得注意的地质特征（包括矿种），必要时给出最有名的矿床实例；（2）别名和常用名；（3）主要的具经济意义的矿产；（4）副产品；（5）矿床实例及有关的矿床类型；（6）提要：简述该类型矿床主要特征（包括矿床形状）；（7）经济方面：世界范围的产出频率，品位和矿量，产出概率，在矿区产出的密度或成群产出的程度，重要性（包括储量和资源数字）；（8）区域地质格局：地质总况，地质，地貌，大地构造-构造地质位置，构造，沉积环境，地球化学，地球物理，古水文地质情况，变质作用和后期的热力事件；（9）时代：围岩的时代，包括直接容矿岩石和矿化岩石的时代；（10）采矿区地质环境：容矿岩石，伴生岩石，局部构造地质，地球化学和地球物理，矿化岩石产出频率（时空分布图，密度，成群产出程度，线性排列，产出概率），古水文地质情况，变质作用和后期热力事件；（11）矿床特征：矿物学特征（包括蚀变，产出形式和分带），结构，地球化学（主要元素，微量元素和痕量元素）和分带，同位素地球化学和分带，流体包体地球化学和分带，构造地层控制，风化作用，变质作用和后期热力事件；（12）成因看法；（13）重要未解决的问题；（14）控矿因素和勘查标志；（15）小结；（16）参考文献。

建立矿床模型的程序是：对许多同类矿床实例，特别是其中的典型矿床的有关资料进行收集、分析和研究，查明其共有的地质特征和其他有关参数及其相互关系，包括根据模型的要求开展必要的补充研究；建立矿床的描述性模型，在进行理论分析的基础上建立矿床的成因模型和其他模型；研究模型对预测任务的适用性；进行反演，开展预测，并在实践中进一

步完善已建立的模型。

世界各国建立矿床地质模型时一般考虑的一些原则是：

1, 矿化发展的趋同原则, 即在不同成矿地质条件下可产生相似的同类型的地质产物和矿化;

2, 矿化发展的继承性原则, 即各种成矿作用在同一地区可多次重复出现, 在同一组地质构造中, 在不同地质时期内同一种金属矿化可以重复出现, 並发生有规律地变化;

3, 矿化发展的相似性原则, 即在不同规模的空间和时间范围内矿化发育可具有相似性, 如以不同规模(矿体、矿床、矿田、矿区、矿带)出现的分带现象的相似性;

4, 矿化发展的对称原则, 即矿床(体)的结构在水平方向上常两侧对称和中心对称;

5, 大地水准面控矿原则, 即大地水准面附近有利于矿床的形成, 矿床产出位置常与大地水准面有一定关系, 其分布具有一定的高程范围, 各种类型矿化都出现在一定的“层”范围内。

建立矿床模型时, 应使所建立的用于预测和勘查的矿床模型能起到以下四种作用: 可作为对比的标准; 能指导未来的观察; 能预测新的成矿地质环境; 可作为对所代表的那类矿床进行成因解释的基础。

西方地质工作者还认为, 建立矿床模型时必须尽量考虑边界品位以下的矿床资料, 因为这类矿床可能有助于我们认识形成同类型世界级矿床的作用和系统。如美国地质调查所在建立许多类型矿床的品位-矿量模型时就利用了许多其经济可用性尚未最后确定的、至今尚未开采的矿床资料。在可能的条件下对给定类型矿床的标志应进行定量评价或半定量评价(出现频率、强度, 在矿床内或矿床附近的空间分布, 分布的分带性)。为了简化定量评价的表示方式, 可将定量评价结果转化为等级系统, 例如, 可用5级系统来评价给定类型矿床中标志出现的频率: $1 = 1-10\%$, $2 = 10-30\%$, $3 = 30-70\%$, $4 = 70-90\%$, $5 = 90-100\%$ 。

矿床模型的发展趋势

尽管近年来各国都大力加强了矿床模型的研究, 有的国家(如美国和苏联)还对现有模型研究成果进行了归纳和总结, 但由于受现有成矿理论完善程度、有关资料完整程度和可信程度、以及从事模型研制人员经验和知识水平的限制, 所建立的一些矿床模型还不够完善和成熟, 对许多已建立的成因模型也还有争论, 现代认识水平尚不能保证建立完全定量的地质成因模型, 而且有的模型类型所包括的内容、建立方法和适用范围尚在探索之中。从世界各国目前在矿床模型研制方面的发展情况来看, 有以下值得注意的趋势:

1, 研制多因素矿床模型。研制多因素矿床模型时特别要求大量增加地球物理、地球化学、遥感、矿物学以及有关矿区深部地质情况方面的信息, 在此基础上研制适应于一定地质工业类型矿床的综合性预测普查模型, 包括直接查明矿体周围空间不同部位的特征和标志。国内外的经验表明, 在多因素矿床模型基础上建立综合性预测普查模型时, 应特别注意研究直接找矿信息和间接找矿信息的关联以及各种找矿信息之间的转换规律, 注意应用间接信息建立适应于不同等级不同研究程度地区的简化模型, 来指导预测和找矿。苏联前地质部长 E. A. 科兹洛夫斯基认为, 多因素矿床模型应是根据研究矿床的各种方法建立的各种模型的合成物。

2. 研制成矿系统的地质成因模型, 以便能更好地反映成矿作用过程和矿床形成的复杂条件以及同一地区不同矿种不同类型矿床的共生和制约关系。最近几年, 在苏联科学院有关研究所内正在进行着建立成矿系统成因模型的工作, 苏联1987年还出版了《成矿系统模型的建立》一书, 该书分析了某些成矿系统(深成成矿系统, 交代系统, 热液成矿系统)的物理化学条件和发展的动力学, 并以不同类型矿化为例, 阐述了建立成矿系统成因模型的问题。1987年11月在智利圣地亚哥召开的国际矿床模型研究项目第4次讨论会的内容就是火山中心的热液成矿系统, 重点是研究地热系统与贵金属矿床的关系以及低温热液贵金属成矿系统。苏联科学院B. H. 卡赞斯基认为, 要研究成矿系统和建立成矿系统的模型, 必须研究和了解地壳和矿区的深部构造, 为了预测盲矿床, 还必须把矿石建造的和成矿系统的模型与具体地质环境联系起来, 并取得矿区深达5—7公里地质剖面的可靠信息。

3. 研制与不同等级含矿客体相对应的各级成矿模型和预测标志, 使预测人员能够选用与预测任务和地区规模和研究程度相对应的模型和预测标志, 提高预测的效果。对各级成矿客体模型的要求是, 根据模型应能从周围环境中分出任何成矿客体, 并确定它们同周围空间要素的关系。A. C. 巴雷舍夫认为(1989), 一定等级的普查客体的模型是根据为其所固有的典型标志建立的, 不应包括属于更高级客体的和更低级客体所特有的要素。需要指出的是, 分出不同等级成矿客体的地质和地球物理准则是不同的, 如以金伯利岩为例, 金伯利岩体同周围介质的关系是磁性和导电性偏高、密度偏低, 金伯利岩田的特点是密度低、弹性波速度低, 金伯利岩区的特点是导电率低、密度高、弹性波速度高。苏联1987年出版的《预测普查铅锌矿床的方法基础》一书中, 由H. K. 库尔巴诺夫建立的陆源优地槽黄铁矿-铜-多金属矿床的典型模型就按依次逼近原则包括了具从属关系的(从区域到局部)的预测要素, 提出了生矿建造, 含矿和容矿建造, 上覆沉积物, 聚矿的主要岩性地层层位, 聚矿构造, 矿体的普查准则和标志, 等等。与此同时, 该模型还包括了陆源优地槽复成因多期黄铁矿-铜-多金属矿床形成的典型环境示意图, 查明陆源沉积地层中对黄铁矿-多金属矿化有远景的客体的顺序示意图以及隐伏黄铁矿-多金属矿层赋存环境和进行普查工作条件的综合示意图等。

4. 在已勘探矿床和正在开采矿床多因素模型基础上建立矿床的地质经济模型, 以便能更可靠和有效地指导矿床的勘探和评价工作。如可根据地质经济模拟结果和对所建地质经济模型可靠性的评价在地质勘探过程中及时采取不同对策: 继续工作(加密或放稀勘探网度); 暂停工作(由于矿床经济价值不明); 停止工作(由于矿床国民经济价值小)。

5. 根据建立模型各类矿床产出的地质环境对矿床模型进行分类, 如美国地质调查所就根据建立模型各类矿床产出的岩石构造环境对已建立的矿床模型进行了分类, 以便更好地预测不同地质环境中可能产出的矿床类型和为开展预测选用合适的矿床模型。美国、加拿大地质工作者认为, 适合预测和选用矿床模型用的矿床模型分类还应满足以下两点要求: 必须能容纳未来增加的矿床新类型; 用户应能很容易地找到恰当的模型用于所研究的地质环境。

6. 建立等级型标准模型库。库中每个等级的标准模型都含有较为详细的一套描述该类型矿床的标志。为了建立标准模型库, 需要利用直接在勘探过程中所查明的各类标志, 并采用模型术语来建立矿床分类系统。

7. 数学方法和计算机在矿床模型建立和使用中的作用日益增长。1987年苏联Г. П. 别克扎诺夫等人在《预测矿床的地质模型》一书中就专门探讨了借助数学方法和计算机建立和

使用地质预测模型的问题。他提出的步骤如下：

- (1) 提出预测的和估算预测资源的任务；
- (2) 选择和建立地质概念和假说；
- (3) 根据概念模型建立预测客体 and 标准客体的清单，查明预测客体和标准客体的特征，根据选出的特征建立描述客体的数学模型；
- (4) 建立标准客体和预测客体及其特征相互关系的数学模型；
- (5) 检查所选出的概念模型和一套特征对所提出的预测任务和估算资源任务的适用性；
- (6) 建立将客体分为有远景的和无远景的数学模型，并将所预测客体分为有远景的和无远景的两类；
- (7) 建立定量估算预测资源的数学模型，估算预测客体的预测资源；
- (8) 建立将预测客体分级和排队的数学模型，确定在预测客体上部署更详细地质勘探工作的顺序；
- (9) 根据采取决策的数学模型建立有关预测客体顺序的决策匹配程度的数学模型，并最终确定预测客体的顺序，指出其预测资源的估算结果和预期可能找到的矿床的地质工业类型。

使用矿床模型预测矿产时应注意的问题

1. 美国、加拿大地质工作者认为，要开展正确预测至少必须具有三种类型的矿床模型：矿床描述性模型（包括判别准则）；矿床成因模型；矿床品位-矿量模型。

2. 使用矿床模型开展区域预测时一般要求依次解决下述问题：（1）可能发现的矿床类型；（2）可能找到的矿产；（3）在预期类型矿床中 有用组份的品位和矿量；（4）可能找到的矿床数（主要采用统计方法和专家判断法，一般是将标准地区的矿床密度乘以预测区面积，再乘上相似程度概率）；（5）预测区的资源潜力和远景程度；（6）根据远景程度大小和其他因素对预测区的勘查和开发顺序进行排队。

为解决上述问题，通常要求综合使用多种类型的矿床模型。

3. 必须认清目前建立的矿床模型的局限性。美、苏地质工作者在强调利用矿床模型开展矿产预测和勘查的同时，都指出，预测时不能过分依赖矿床模型，原因是：（1）由于受理论 and 所用资料的限制，许多模型具有很大的主观成份和地区的局限性；（2）由于许多矿床模型都是利用研究程度很高的矿床资料建立的，许多预测区并无与之对应的详细资料，利用矿床模型开展预测所需的一些资料在地质勘查工作早期阶段往往不可能得到；（3）现有矿床模型不能预测矿床新类型，也不能估算预测区的矿床数等；（4）利用矿床模型寻找巨型矿床可能也有一定的问题，经验表明，许多巨型矿床都具有一些重要的不重复出现的特点，而矿床模型往往是根据同类矿床相似特征建立的。考虑到上述情况，苏联前地质部长 E. A. 科兹洛夫斯基认为，矿床地质模型绝不能代替地质人员的创造性思维，原始地质资料 and 认识具有最重要的意义，使用模型时应当对建立模型时所用矿床的地质背景和模型建立者的专业特点给予特别重视。全苏第一届矿石建造成因模型会议表明，苏联在有关建立矿床模型的任务、原则和方法及其内容等基本认识方面仍存在重大分歧，而在全苏第二届矿石建造成因模

型会议上又出现了用产生矿客体的假说和理论以及矿床分布规律代替成矿客体模型的趋向。此外,近年许多新类型矿床的发现也说明,过份依赖矿床模型必将限制找矿人员的思路,如西澳金伯利地区特大型金刚石新类型矿床的发现就打破了金刚石只产在金伯利岩中的传统模式,该矿床含金刚石矿床的岩石不是金伯利岩,而是钾镁煌斑岩。因此,既要看到矿床模型在预测和找矿中可能起到的指导作用,也要了解现有模型的局限性,选用模型时要十分谨慎,而且应不局限于利用现有的模型。

4. 必须确定预测区与所用模型的适应程度。近年利用模型开展预测和找矿的经验表明,许多矿床模型只具有地区性意义,如利用克莱梅克斯斑岩钼矿的成因模型在科罗拉多成矿带上开展预测十分有效,先后发现了几个大型钼矿,但在其他地区并未取得成功。美国总结的卡拉马祖斑岩铜矿成矿模型在大陆边缘区是有效的,但在岛弧区就不适用。根据美国俄勒冈州和加利福尼亚州约500个豆荚状铬铁矿矿床的资料所建立的该类矿床的品位-矿量模型与世界别的地区就有很大差别,菲律宾和土耳其超基性岩中同类矿床的规模要大得多。因此,采用矿床模型开展预测时必须研究所选用的模型与预测区和预测任务的适应程度,在此基础上根据研究区的特点对所选用的模型进行适当补充和修正。值得注意的是,苏联目前已建立的铅锌矿床的地质成因模型和勘查模型就是按矿床成因类型和按地区分别建立的。

几点不成熟的看法和建议

我国早在70年代就开展了矿床模型的研究工作,玢岩铁矿模型的提出就是突出的一例。近年来程裕淇、陈毓川等同志还提出了成矿系列的理论和设想,总结了我国特有的一些成矿系列。1982年以来结合对155个典型矿床的研究已初步建立了一批矿床地质模型,并在找矿中发挥了一定的作用。然而,与80年代美、苏矿床模型研究和使用情况相比,我们可能还有一定的差距,主要是:

1. 如上所述,美、苏等国都已把建立各类矿床模型作为预测、普查和勘探矿床统一过程的一个不可分割的组成部份,作为改进和完善矿产预测工作的最重要措施之一。苏联已把建立重要成矿作用的理论模型和各类矿床的预测普查模型列为苏联地质科研工作优先考虑的远景方向之一。美、苏在模型研制和使用方面都已形成了一套较为完整的计划和设想,正在形成一些在各类模型研制方面的研究中心。此外,美、苏等国近年都已对本国矿床模型研制使用情况进行了较系统的研究和总结。我国矿床模型的研制和使用从全国看极不平衡,模型的研制和使用尚未成为地勘工作中不可分割的一个组成部份,尚未形成有权威性的研究中心,也未在这方面进行过系统总结和统一规划。我们认为,近期应对我国近年矿床模型研制和使用情况进行一次系统回顾和总结,在此基础上在矿床模型的研制和使用方面提出一个统一部署和设想,拟定一个研制、完善和使用不同等级各类矿床模型的较长远规划,提出一些较具体的要求,力争在不久的将来形成我国研制各类矿床模型的拳头单位,使各类矿床模型在我国矿产预测和勘查中真正起到它应起的作用。

2. 我国目前已建立的和大量研制的矿床模型,总的来看,类型还比较单一,主要是地质描述性模型和地质成因模型,国外目前研制和使用的多因素矿床模型、品位-矿量模型、产出概率模型以及开始研制的成矿系统模型和建立不同等级含矿客体模型等趋势在国内尚未引起足够重视,在已建的模型中尤其缺乏地球物理、地球化学和矿物学方面的信息以及有关地

壳和矿区深部地质构造情况的资料, 这些资料恰恰是国外在完善矿床模型研制工作方面强调应增加的内容。

3. 我国现有的矿床模型多数是以单个或少数典型矿床为基础建立的, 而近几年国外研制的许多矿床模型多是以世界或地区多个同类典型矿床为基础建立的。

4. 国外在利用矿产模型开展矿产预测和勘查时, 往往是结合预测和勘查任务的需要选用多种类型的矿床模型, 而我国尚未做到这一点, 而且目前, 总的来看, 尚缺乏这样做的基础。

5. 美、苏等国的科研机构在各类矿床模型的研制、使用和验证方面都发挥着重要的指导和示范作用。这些研究机构不但在建立矿床模型的原则、方法和理论基础方面提出了带指导性的意见, 而且许多重要类型矿床的各类模型和有关专著也是由他们提出或在他们指导和积极参与下建立和编写的, 而我国一些重要的地质科研机构尚远未起到国外同类研究机构在矿床模型研制和使用方面所已经起到的指导和示范作用。

(参考文献从略)

建立矿床模式的方向和任务

E. A. 科兹洛夫斯基等

近几年来, 苏联、美国和加拿大在建立矿床模式方面取得了很大进展。目前许多学者正在研究的矿床成因学和矿床地质学的这个方向, 无疑大有远景, 有很大理论和实践意义。

建立矿床模式是客观需要, 是旨在提高各个阶段地质勘探工作效率而树立预测、普查和勘探对象的综合样板的任务决定的。关于成千上万个已作过评价、勘探和正在开采的矿床新积累的大量描述性资料为建立矿床模式创造了条件。在鉴定矿床特征时得到的原始资料总要以概括, 淘汰一些标志, 选择一些最有代表性的、在同一个矿石建造类型或地质工业类型的矿床中反复出现的标志。已建立的模式的真实性和实用性正在得到在根据矿床模式预测的远景区查明了矿床分布规律和发现了矿床的证实。

关于建立矿床模式的研究现状, 在全苏第一次“矿石建造成因模式”会议上进行过详细讨论。这次会议资料证明, 在建立矿床模式的任务、原则和方法、矿床模式的内容和用途的基本认识上还存在严重分歧。但是, 这次会议就其所提出的问题和所揭示的问题来看, 已超过美国和加拿大地质机构类似的研究, 并决定了下一步工作优先考虑的方向。

苏联地质部所属的许多科研所, 从80年代初开始对建立主要地质工业类型矿床的地质模式、地质地球物理模式、物理地质模式进行研究, 目的是加强和改善矿床预测、普查和评价工作。这些模式已成为现已制定出来并正在付诸实现的预测普查组合的基础。

全苏第二次“矿石建造成因模式”会议, 着重讨论了建立模式问题的成因方面。这次会议在建立模式方面有很大进步, 不过出现了要用成矿假说或概念和矿床分布规律取代矿床模式的倾向。

在国外, 主要是在美国和加拿大, 最近几年正在大力研制以预测普查为目的分类标志模式和地质成因模式, 以及建立在统计学方法基础上的“矿量-品位”定量模式。

总的来说, 建立矿床模式问题的现状, 可以使已得到的成果系统化, 也可以根据地质勘

探工作的迫切任务确定下一步工作优先考虑的方向。

研制矿床模式的目的是树立矿床的综合样板,即用现有手段和方法可以查明的各种特征的互不矛盾的组。在建立模式时,应遵循相似或类似的原则,也应遵循外推有代表性和可能性的原则。模式还应当符合功能性(目的方向性)和实用性(作出有重要实际意义的预测)的要求。相应地,建立模式的步骤包括:建立模式、研究模式、把得到的信息外推到具体的矿床上。建立模式的方法完全取决于模式的最终用途及利用模式的方法。

根据建立矿床模式的现有经验,可以把模式分成以下几类:地质成因模式和成因模式,分类标志模式,同等要素组合模式,地质工业定量模式,形态模式,品位分布模式。为矿床评价和勘探建立的矿床多因素模式具有特殊的意义。

地质成因模式和成因模式实质上就是成矿过程模式。在建立这类模式时,最常考虑的是矿质和搬运剂的来源,它们的本质和在成矿过程各个阶段的状态,物质迁移方式及其富集和沉淀条件。实际上,可以为成矿过程的每一个要素提出它们各自的模式,把这些模式组合起来就构成一个综合性的整体模式。建立成矿过程数字模型和物理化学模型的现有成果,为建立定量成因模式提供了前提。但是,这类模式眼下主要是描述性的,定性的和图示性的,实质上只是这类模式的建立者对成矿过程各个要素及其相互关系和演化的认识的一种图解。

分类标志模式有很老的传统。这类模式按内容和用途可分为以下几种。

最常用的一种是具有给定标志和特征的分类模式。各种标志的内容完全取决于分类的目的,服从于能否估计某一矿床与所选用的标志是否一致。这样做可以“筛掉”一些标志,这会影响矿床模式的完整性。由于所选用的标志的地质内容不同,这种模式不仅可以提供分类信息,而且也可以提供预测、普查和评价信息。

针对一定矿石建造类型和地质工业类型矿床而研制的统计分类标志模式和标志模式是在包括尽可能多的标志的大量抽样中的单个标志的出现频率和地质对象参数变量基础上建立的。这种模式既可以是描述性的,也可以是图解性的,都是把主要标志按一定空间相互关系组合起来。这决定了这种模式有广泛的应用范围,从成因构想到评价工作都可以利用。

同等要素组合模式部分地相当于分类标志模式,但它的主要用途是在预测普查方面。在这种模式中,矿体被看成在成矿过程中有天然相互联系的不同级别的要素系列的极端组成部分。

以文字和图表形式体现的这种地质模式应反映出矿体在地质空间的位置,并应显示出所有的与矿体伴生的岩体和地质产物。这种模式由不同级别的要素组成,但这些要素必须是可以利用在不同的地质勘探工作阶段所使用的方法发现的。

地质地球物理模式和物理地质模式就是除地质特征外还加上了相当于不同要素或其组合的地球物理参数的模式。组成该模式的地质要素与相应地质空间的重力测量、磁法测量、电法勘探和地震勘探特征的对照,决定了建立旨在优化普查勘探方法的模式的综合性。

在根据不同级别的要素组合建立的矿床几何化模式中,要对近矿空间的地质、地球物理和地球化学特征进行归类,以便得到模式中的矿上部分、矿下部分和侧翼部分的一套标志。这种模式一般用公式化的图解表示,并附以在描述相应比例尺预测图图例时所用的说明。

建立以不同级别的地质要素及与其相当的地球物理和地球化学特征的组合的形式表现的矿床模式,可以保证预测图图例内容的客观性,也可以保证预测构想有必要的再现性和可比性。另一方面,将作为预测标志和普查标志的模式要素与地质勘探工作所利用的方法加以对照,可以建立优化的预测普查组合,提高各个阶段工作的效率和效果。

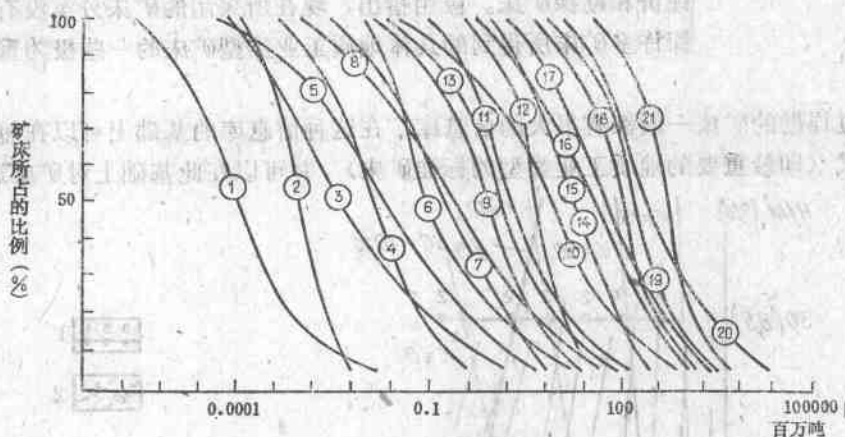


图1 几种主要类型的矿床的矿石储量分布

1—铬铁矿矿床(450个); 2—流纹岩型锡矿床(132个); 3—脉型多金属矿床(75个); 4—大型铬铁矿矿床(174个); 5—少硫化物的含金石英脉矿床; 6—别子式黄铁矿型矿床(44个); 7—脉型锡矿床(43个); 8—不整合型铀矿床(36个); 9—科姆斯托克式低温热液金银矿床(41个); 10—塞浦路斯式黄铁矿型矿床(49个); 11—科马提岩型铜镍矿床(32个); 12—炭质碳酸盐岩系中的金矿床(35个); 13—砂卡岩型磁铁矿矿床(168个); 14—火山沉积型铅锌矿床(45个); 15—含铜砂岩和页岩矿床(57个); 16—碳酸盐岩系中的铅锌矿床(20个); 17—火山岩系中的磁铁矿矿床(39个); 18—斑岩型钼矿床(33个); 19—斑岩型铜矿床(208个); 20—洋流上升型磷块岩矿床(60个); 21—斑岩型钼-铜矿床(16个)。

地质工业定量模式是以决定规模(矿石和金属储量, 主要和伴生元素品位)的特征的统计分析为基础的。为了得到统计平均地质特征, 可利用定量方案模式, 这种模式是在分析储量和品位的分布与矿床数目(矿床所占的百分比)的关系的基础上根据有代表性的抽样建立的。例如, 根据美国地质调查所为每个地质工业类型建立的这种定量模式(图1), 可以确定矿床的最大、最小和最可能的规模及可能具备的质量, 这对预测构想和评价工作是很重要的。确定矿床的预期规模对论证如何布置相应阶段的地质勘探工作具有特殊的意义。

形态模式一般是用将矿体的实际形状与近似的空间轮廓对照的办法在定性基础上建立的。根据这种对照和几何化就可以把矿体形状的描述和矿体规模的估量用相应的几何体表示。

在线性形态参数的比值(长:宽, 宽:厚, 长:厚)基础上建立的形态模式具有定性性质。这种模式可以保证划分矿体的不同形态类型, 并客观地对其进行分类。例如, 对黄铁矿型矿床来说, 从有代表性的抽象来看, 只有少数几类宽:厚(H:M)比值和长:宽(L:H)比值不同的矿床, 如图2所示。

品位分布模式是在总结矿体分带结构基础上建立的。这类模式可以定性地表示, 描述沿矿体一定矢量或矿体轴的分带类型(品位分布), 也可以用图表表示, 在矿体的展开平面投影或立体投影上填绘等品位线, 还可以定量地表示, 计算矿体轴向品位梯度, 查明品位沿矿体轴分布的相互关系。

建立并在实际工作中推广旨在评价和勘探的矿床多因素模式, 对提高地质勘探工作的效率和效果有重要意义。

众所周知, 在评价工作特别是勘探工作中, 是根据苏联国家储量委员会通过的矿床分类, 按固定的工程网度对矿床进行研究的。这种固定的评价和勘探网度在许多情况下使地质

人员不能创造性地去评价和勘探矿床。应当指出，现在所采用的矿床分类没有现代统计学基础，也反映不出在勘探许多矿床所得到的具体地质工业类型矿床的一些极为重要的计算特征的守恒性。

经过详勘的矿床一般都有很大的信息库，在这种信息库的基础上可以在短期内建立这类矿床模式（即最重要的地质工业类型的标准矿床），并可以在此基础上对矿床进行分类，和在

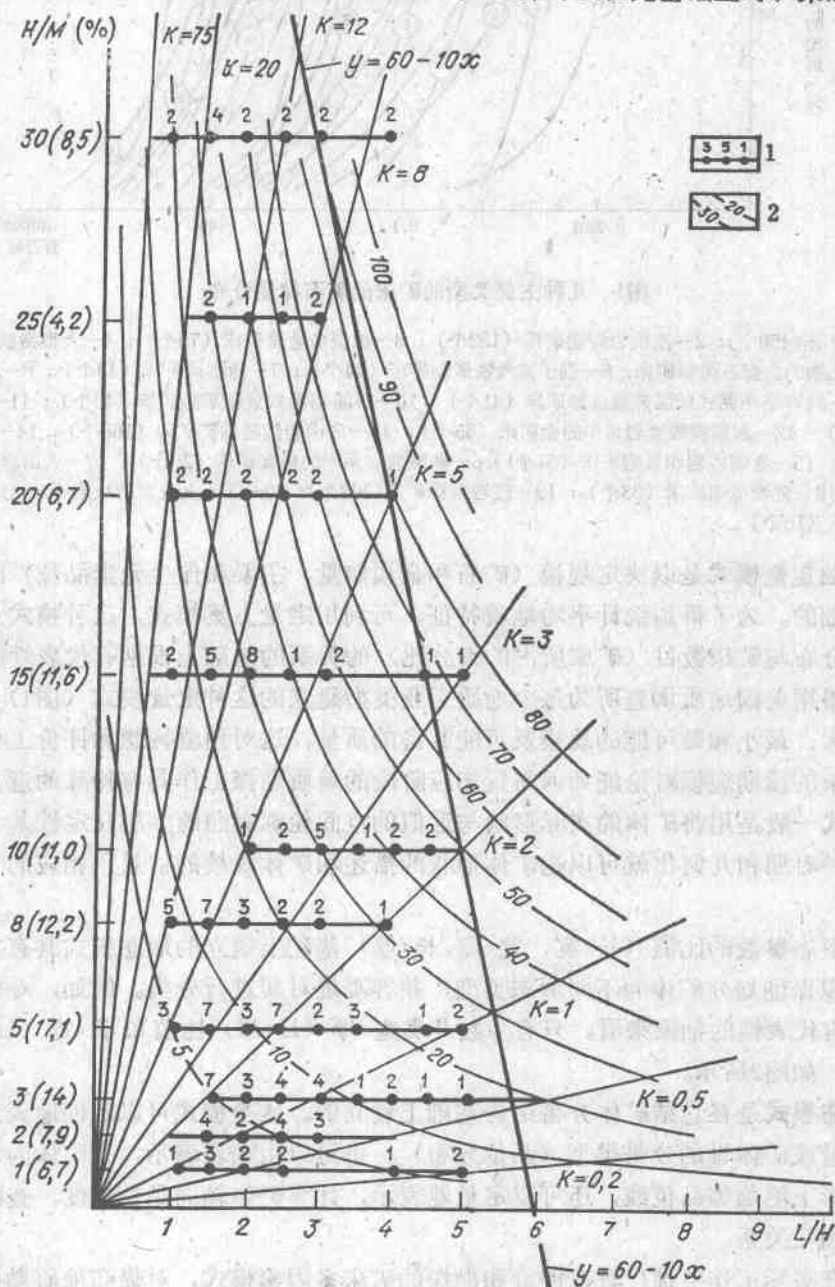


图2 黄铁矿型矿床的宽:厚、长:宽比值类别和线性形态特征关系曲线

1—典型的几类宽:厚比值中:长:宽比值的范围（黑点上面的数字表示矿床数目）；2—长:宽比值；

在 $\frac{H}{M} = K \times \frac{L}{H}$ 等式中引入K值

模式的基础上制定矿床评价和勘探的现代高效率方法。这项工作的主要任务是保证每一个新评价或新勘探的矿床能与模式（即就主要计算特征来看是标准矿床）进行对照，在定量统计基础上确定它们之间的相似程度，根据所得到的成果修正勘探工程的布局，以及用电子计算机计算储量。如果能创造一种方法使一般的地质信息转变为在各个地质勘探工作阶段都可以用电子计算机进行处理的形式，则这对完成上述任务有重要意义。

当然，要实现矿床勘探方法中的这种业已成熟的转变，还要在建立多因素模式方面做大量工作。多因素模式应当反映矿体形态特征和有用组份品位分布之间的相互关系。确定这二者的变化梯度应当成为合理布置勘探工程的基础。在布置勘探工程时，要规定一个确定主要计算参数的精度，这个精度应成为估计矿床勘探可靠程度的基础。

根据开采资料可以建立最有代表性的模式，但这远不是经常能做到的。因此，可以用经过详勘的矿床作为标准矿床，这些矿床与实际情况是否一致，可通过与开采结果进行重点对照的办法来验证。

在任何情况下，矿床模式都应当是计算参数的组合，并以图表、平面和立体的形式体现出来。显然，在矿床模式中要把信息要素（计算参数的总体）、功能要素（建立模式的逻辑方法）和工艺要素（即系统方法和程序方法的组合）结合起来。

建立矿床模式已成为地质勘探过程——从早期阶段到最终阶段——不可分割的部分。在每个勘探阶段都应与标准矿床进行对照，对构想的可靠程度进行评估，对基础模式和具体模式进行修正，并就地质经济评价问题进行研究。矿床地质经济模式是地质勘探工作的主要最终成果。以多方案表示的“矿石储量—工业指标”的相互关系，乃是实际上是多因素模式的一种局部情况但能够决定地质勘探部门最终成果质量特征的模式的基础。

从上述情况可以看出，现在具备建立和推广多因素模式的一切必要前提。地质部门拥有大量的信息库，高效率的电子计算机硬件和软件。在建立多因素模式的方法学原理方面已出现了大有远景的成果。地质部门的牵头科研所已在这个重要的方向上开始进行研究。当前的任务是加速发展建立多因素模式的工作，并分阶段地落实就某些地质工业类型矿床所获得的成果。

矿床多因素模式是苏联地质部制定的发展矿物原料基地管理体系的重要环节，这就决定了这项工作的价值、水平和优先地位。

（转载自地矿部情报所《国外地质科技》1989年第1期，何庆先译自《Советская геология》，1988，№3）。

矿床模型在矿产勘查中的使用和误用

C.J.霍德森

前言

地质学中的模型是包含一组自然地质现象主要特征的理论标准和(或)经验标准。虽然模型可以是单纯描述性的,但大部分模型都含有根据地质作用解释各种描述特征之间关系的内容。矿床模型作为预测大的地区到单个矿带的勘查潜力的基础,在矿产勘查中得到了广泛运用。每个人都使用矿床模型,但很少考虑这些模型是如何建立的,它们怎样影响勘查程序,以及怎样才能改进这些模型。

本文的主题就是研究矿床模型的结构及其在矿产勘查过程中的作用。库恩(1962)在他著名的《科学演化的结构》一书中论述道,在我们与环境日常相互作用的几乎所有方面,其中包括开展科学研究,人们都自觉地或不自觉地运用模型进行预测。如果接受这一观点,那么如果模型对我们以适当指导,这些模型就是最接近于真实的近似。但是应当强调,模型有两方面的作用。一方面,模型是通过增强理解和预测的形式进行资料组织的有力工具;另一方面,由于使用时没有识别出那些不适合于模型的资料,则这些模型就有一种催眠效应,它可能导致对模型应用产生一种不合适的信赖。

矿产勘查

矿产勘查就是逐步缩小勘查靶区,直到发现一个矿床(图1)。勘查工作的起点可以是一块大陆,或者仅是矿山中的一个中段。不论勘查起点区大小如何,勘查的目的就是将注意力逐步集中到最有利的地区,而随着勘查工作的进行,发现经济矿床的机会不断增加,一般来说靶区减小是逐步的,各步之间都有选靶“决策点”。例如,在一个区域普查项目中,第一个决策点是在完成大范围地球化学和地球物理调查后确定的,那时就可以立桩标界或挑选许多矿权地。

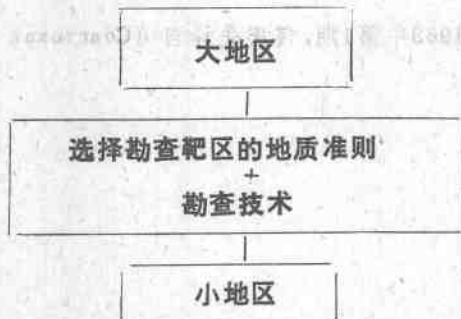


图1 勘查过程: 勘查技术(地质、地球物理和地球化学)用于测量选靶准则的分布,目的是在一个大的勘查地区中挑选出用以进一步勘查的最有远景的地区

矿产勘查中的选择靶区是基于是否存在特殊地质特征或反映地质特征的地球物理和地球化学特征。这些特征可以称为“勘查选靶准则”(见图1)。选靶准则是具体的可测量的特征而不是概念。例如,可能会认为火山中心是火山成因块状硫化物矿床的一个重要的区域性选靶准则。但是,“火山中心”这一特征并未在大多数地质图图例上表示出来,而是根据一个地区中特殊岩性和构造的分布和外形所做的一种解释。表示有火山中心的这类地质图是具体的,组成区域选靶准则的,正是这种图件。