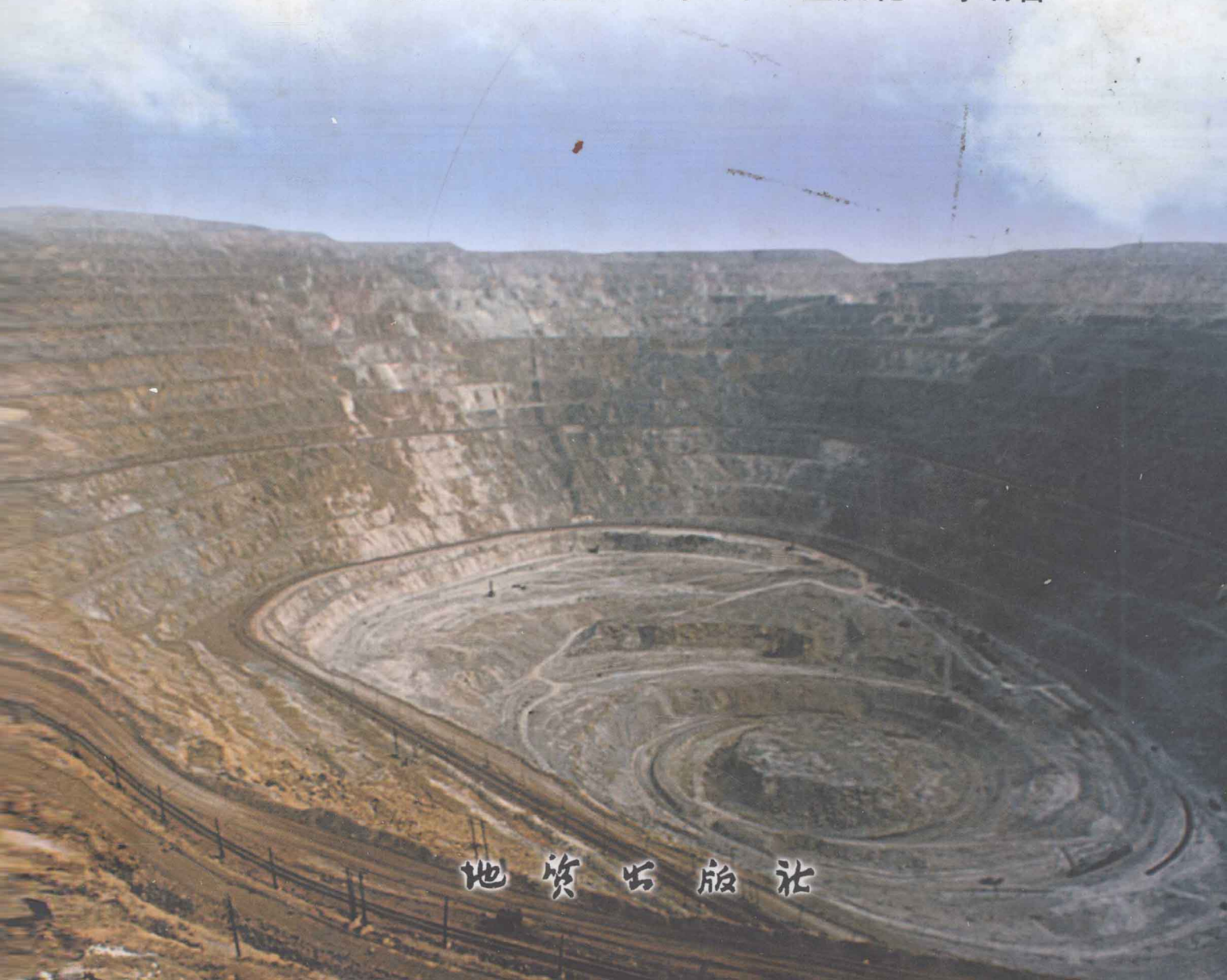


世界

找矿模型与矿产勘查

中国地质调查局发展研究中心

施俊法 唐金荣 周 平 金庆花 等编著



地质出版社

地调情报总第 34 期

世界找矿模型与矿产勘查

中国地质调查局发展研究中心

施俊法 唐金荣 周 平
金庆花 戴自希 项仁杰 等编著
杨宗喜 朱丽丽 金 玺

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书包括找矿模型总论和找矿模型各论两个部分。总论部分系统总结了矿床模型的概念及研究历史,探讨了找矿模型的定位和功能,提出了建立不同级次找矿模型的思路和方法,并以大量实例说明了找矿模型的应用及其效果,指出了找矿模型应用中值得注意的问题。找矿模型各论系统总结了全球 50 个找矿模型,涉及的矿种有铁、铬、镍、铜、铅、锌、钨、锡、钼、金、铂族金属、铀、稀土等。每个找矿模型包括概述、地质特征、矿床成因和找矿标志三个部分内容。

本书可供从事矿产勘查、成矿理论研究人员及地质矿产专业的大学生、研究生和教师参考。

封面为哈萨克斯坦科翁腊德(Kounrad)斑岩型铜矿床。

图书在版编目(CIP)数据

世界找矿模型与矿产勘查 / 施俊法等编著. —北京:地质出版社, 2010. 10

ISBN 978-7-116-06901-5

I. ①世… II. ①施… III. ①找矿-地质模型②矿产-地质勘探 IV. ①P624

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 186668 号

责任编辑:王 璞 宫月萱 孙亚芸

责任校对:杜 悦

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话:(010)82324508 (邮购部); (010)82324569 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京天成印务有限责任公司

开 本:889mm×1194mm 1/16

印 张:31.5

字 数:970 千字

印 数:1—3000 册

版 次:2010 年 10 月第 1 版

印 次:2010 年 10 月第 1 次印刷

审 图 号:GS (2010) 1214 号

定 价:108.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-06901-5

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

序

中国地质调查局发展研究中心以施俊法为首的研究集体继编著《信息找矿战略与勘查百例》之后，今日又编著了《世界找矿模型与矿产勘查》一书，我深感欣慰，并向他们表示祝贺。他们为矿床界又做了一件很有意义的好事，为广大矿产勘查工作者及从事矿床教学、科研的工作者送来了具有实用意义的国内外找矿经验与成矿理论。

当前，我国已进入工业化中期阶段，经济与社会的发展需要大量矿产资源保证，而一些矿产资源国内保障程度不断下降，将危及国家安全。当务之急是加大国内矿产勘查与开发力度，同时努力角逐国际矿业市场，充分利用国外资源，合理供给我国优势矿产资源，形成相对稳定的可持续的国内矿产资源保障体系。其中，立足国内，加强国内矿产勘查与开发是基础。目前，我国广大地区矿产勘查工作进入“攻深找盲”阶段、找矿难度日益增大，因此，更需要科技的支撑，其中借鉴国内外已有的找矿经验是重要捷径，这些找矿的成功经验是近百年来全球矿产地质工作者应用地质理论与勘查技术方法进行找矿探索实践的范例和智慧结晶。编著出版的这本书，就是把国内外找矿经验介绍给读者，这是一项具有重要意义的研究工作。

本书就我国急需的矿产汇集了国内外 50 个矿床类型与重要矿集区的找矿模型，较精炼地汇集了它们的成矿地质环境、控矿因素、矿床成因及找矿标志，这对在其他地区寻找同类矿床很有借鉴意义。编著者在编写过程中回顾和总结了国内外对成矿模式、找矿模型研究的过程与含义，论述了找矿模型的定位与功能。本书广泛收集了很多典型矿床的文献资料，内容丰富，在此基础上，又进行了必要的综合研究与提炼，努力为读者提供了前人对各类矿床勘查与研究成果的精华。因此，从事矿床勘查与研究的广大地质工作者，尤其是从事这类矿床勘查与研究的同仁们，很值得一阅。

人类过去与当今对各种矿产、各种矿床类型进行了和不断进行着勘查与研究，已形成并不断地充实着巨大的知识宝库，应用、开发这个宝库资源为我所用，促进我国的找矿和矿床科学的研究工作，是一项重要和急迫的任务。我国地质矿产情报部门广大工作者已为此做出了不可磨灭、卓有成效的重大贡献，今后这方面工作仍有待切实加强。就本书所涉及的矿床找矿模型信息汇总、提炼、出版而言，应当说只是本领域工作的一个开端。我衷心希望有关领导部门把本项工作纳入长期计划，稳定支持，让本书的研究集体稳定地从事本项工作。祝他们不断地出成果出人才，为祖国的矿产勘查、开发事业做出更大贡献。

1 施俊法

2010.10

前言

进入 21 世纪,特别是 2003 年以来,世界经济不断增长。虽然发达国家已步入后工业化时代,但矿产资源作为经济发展的基础性因素,其需求依然十分强劲。2008 年爆发的全球金融危机,对矿业发展产生了不利影响,但这仅仅是矿业发展中一个“短暂的停顿”。发展中国家正处于工业化加速发展阶段,资源消耗与日俱增;中国、俄罗斯、印度、巴西等新兴国家的迅速崛起,导致全球资源需求快速增长,带动矿业进入了新一轮的发展周期。总体说来,矿产资源的消耗明显加速,供应压力日趋增大,全球固体矿产勘查投入连年攀升。因此,找寻新的矿床,扩大资源储备,仍然是地质勘查工作的主要任务,对矿产远景良好、国土面积较大的国家来说,情况尤其如此。中国作为最大的发展中国家,在经济全球化的大潮中,必须立足本国,面对全球,大力开发矿产资源,满足自身发展需求,抵御国际贸易壁垒,保证社会主义经济建设的快速发展,这是我国地质勘查事业的神圣使命,也是我们开展本项研究的基本前提和宗旨。

一、本书研究背景

经济建设对矿产资源的强劲需求,促使成矿理论和勘查技术不断发展,为各种找矿方法的发展带来了新的机遇。矿产勘查存在着巨大的风险和不确定性,要有效地减少这种风险与不确定性,有赖于新思路、新概念、新技术的发展。其中,于 20 世纪 70 年代蓬勃发展起来的矿床模型(或矿床模式)研究,无疑是综合各方面知识指导矿产勘查的重要发展方向。数十年来,按不同矿床类型建立起了许多种类的矿床模型,其应用涉及成因理论研究、区域资源预测评价、局部找矿、科研教学等诸多方面,促进了许多同类型新矿床的发现,也导致了新矿床类型的扩展。近 20 年来,国内外发现了一批大型超大型矿床,其中一些是属新类型矿床,例如,铁氧化物铜金铀矿床、黑色岩系中贵金属矿床,等等。由此可见,矿床模型的发展与应用,代表着当代矿床学研究的一种新趋势。

近年来,国内外对矿床模型的研究虽有很大进展,但就现有文献或专著看,主要偏重于某些典型矿床的研究,通过系统总结和归纳建立的模型,多为单个矿床的成矿模式。这种研究方法虽在理论认识上较以前有很大提高,对找矿也有指导意义,但在实践中也遇到了不可回避的问题。例如,我们对国外 100 个大型超大型矿床勘查的实例研究结果表明,根据理论模型(概念模型、成因模式)精心设计、科学论证、认真勘查,固然可取得重大突破,但有趣的是:有些矿床按事先设定的成矿模式来组织勘查工作,虽然找到了矿床,但实际的矿床类型却并不符合预期的理论模式;不少矿床的发现虽未经过缜密的理论分析,勘查者仅仅依据已知矿床的特点,心领神会地在外围果断布钻,结果却也取得了巨大成功,体现出经验和运用技术的优势。众多的实例表明,经验、技术、运气在矿产勘查中也是十分重要的。于是,不拘泥于理论研究,侧重于应用实效的找矿模型应运而生,在国内外都表现出了强劲的发展势头。

思路决定出路,意识决定眼界。在矿产勘查实践中,人们早已自觉不自觉地应用着找矿模型。其特点是重视各类找矿标志(信息)的系统组合,实行找矿方法的合理运用,强调经验与实况的理性综合。例如,蚀变带与有利构造部位的组合,一直被看作是重要找矿标志;无磁性围岩中磁铁矿的磁异常特征,早已成为人们头脑中的一个简单而实用的找矿标志;利用元素含量、元素组合和空间分带来评价和判断化探异常的性质和意义,也是理论认识与实践经验的一种综合;所有这些,均可看作是

找矿模型的一种要素或雏型。大力开展找矿模型的研究和应用，正是要在以往成矿模式研究的基础上，吸收矿床成因模式和各类标志模型的长处，发展和完善建立找矿模型的理论方法体系，不断提高其应用效果。因此，开展找矿模型研究具有十分重要的理论意义和实际意义。

诚然，在国内外文献中，找矿模型这一概念已出现了二三十年，但对它的准确理解和确切表述却众说不一，还在探讨之中。这正是我们编写本书的原因。本书所指的找矿模型是以经验模型为基础，兼容理论模型，以多学科综合方法为途径，以具体指导找矿实践为宗旨，系统归纳出的一套显示矿床特征和找矿标志的集合。本书依据国内外的有关文献资料，力图理清找矿模型的定位与功能，探讨和论证找矿模型的实践性和实用性特质，概括和阐述针对不同级次找矿工作的建模方法和应用实例，并列举了50个世界重要矿床类型，总结和反映出找矿模型的内容实况。我们衷心希望通过这些工作为读者研究与应用找矿模型提供系统的基础资料和基本观点。

二、本书研究思路

鉴于目前国内外对典型矿床特征和成矿模型已积累了大量资料，我们认为有必要对已有的资料进行梳理，总结典型类型矿床的主要找矿特征，推进找矿模型的建立与应用，促进地质找矿的重大突破。根据本研究的特点，在开展本研究过程中，我们本着“依托已有文献，力求抓住共性，突出找矿标志，建立找矿模型”的原则，进行了相关的思考和探索。

1. 兼收并蓄，各展其长

对指导矿床勘查，促进找矿突破来说，经验模型与理论模型作为认识链上的两个环节，其重要性不言而喻。随着矿床学研究的深入和科学技术的发展，许多矿床的成因问题得到了解决，或者加深了认识，促使人们建立了许多比较完善的成因模型。成因模型自然成为解释经验找矿标志的基础和前提。然而，不少重要矿床的理论认识观点不一，特别是成因模型需在勘探开发过程中不断验证，一时难以概全。一方面，尽管理论观点有异，找矿标志却往往趋同，并不影响矿床经验模型的总结；另一方面，不管理论模型还是经验模型，在实测过程中所要收集和鉴别的找矿标志，乃是第一性的客观依据。而找矿模型侧重于成矿标志的系统采集和综合研究，不拘泥于理论和成因的探讨，讲求实用性，在对实际资料分析的过程中，确实也很难将经验模型与理论模型截然分开。因此，在本次研究过程中，虽然有意突出找矿模型和找矿标志，但并不排斥理论模型和成因探讨，而力求将成因理论探讨的内容转化为重要找矿标志。

由于某些类型的矿床成因还存在争议，许多矿床，特别是近年来发现的一些新类型矿床，不同的研究人员有不同的见解，因此在研究找矿模型时，我们在内容和分类上充分考虑了兼容性和开放性，因而同一个矿床可能出现在几个不同的找矿模型中。随着矿床研究的不断深入和认识的不断提高，新的成矿观点陆续涌现，我们力求把握相关研究的历史资料，在建模论述中充分考虑新内容、新标志和新类型的增补。

2. 抓住典型，容故纳新

在研究和构建找矿模型时，我们特别注意抓住典型的和有代表性的矿床、矿田、矿区（带），以及已建立的不同学科和不同性质的模型，将其作为论证的基础。例如，条带状铁质建造型富铁矿床找矿模型，以巴西卡腊贾斯、澳大利亚哈默斯利、乌克兰克里沃罗格为代表；密西西比河谷型铅锌矿床找矿模型，以美国密西西比河谷地区的老铅锌矿带、维伯纳姆矿带和加拿大的派因波因特矿带等为代表；卡林型金矿床找矿模型，以美国卡林矿带和中国秦岭的陕甘川、滇黔桂矿集区为代表。通过深入研究这些典型矿床、矿田、矿区（带）的区域地质和矿床地质、矿床发现过程和勘查历史，以求构建的找矿模型具有真实性、完整性和代表性。

在研究过程中，同时注意最新资料的收集，以体现模型研究的全面性和特色性，以及模型成果表述的时代性。

3. 注重实用，以局部找矿模型（普查找矿模型）为主

成矿作用的痕迹必然要反映在不同级次的岩石—构造体系和特征有别的成矿信息系统中，因此，

找矿模型也应分级次建立。从工作程序来看,矿产勘查工作大致可以分为区域预测、局部预测和矿床勘探3个阶段。与之相应,可以建立区域找矿模型(区域成矿预测评价模型)、局部找矿模型(普查找矿模型)、矿床找矿模型(矿床勘探模型)。其中,局部找矿工作是选择对拟寻矿床(最)有效的方法组合和标志组合,力求在局部找矿的靶区范围内圈定或找到矿床勘探基地,即确认含矿找矿靶区。这就是通常所说的矿床普查,它是整个找矿工作中最核心、也是最艰难、最需研究的课题。因此,本次研究将重点放在局部找矿模型研究上。当然,区域找矿模型、矿床找矿模型的研究,也会推进局部找矿模型的研究。

4. 依托文献,突出找矿标志

本次研究以铁、铬、镍、铜、铅、锌、钨、锡、钼、锑、金、铂族金属、铀、稀土等金属矿床为主,从已有的文献资料出发,以找矿为主线,尽力收集各类矿床的特征、成矿规律和成因类型,加大综合研究的力度,力求提取和概括出各类矿床的地质、地球物理、地球化学找矿标志。在本次研究中,不求矿种齐全、矿床成因类型全面,但求资料扎实、可靠。

5. 立足国外,统筹国内矿床模型

本次研究以现有的文献为基础,鉴于国内文献读者易于得到和研究,我们将重点放在国外典型类型矿床找矿模型研究上。同时考虑到我国矽岩铁矿、柿竹园钨多金属矿床、个旧锡矿床、大厂锡多金属矿床、锡矿山锑矿床、碳硅泥岩型铀矿床、焦家-玲珑金矿及长江中下游地区铜多金属矿床、白云鄂博铁铈稀土矿床等在一定程度上具有一定的特色和代表性,故邀请国内有关专家参与研究,以便与国外找矿模型作对比。

三、本书主要研究内容

按照上述思路研究和总结找矿模型,虽不能说无例可鉴,但毕竟文献中观点有异、体例纷繁,难以统一而行。为了使本书有明确的逻辑-概念体系,我们着力研究了下述内容,形成自己的观点,以指导资料的归纳总结,并尽力在各论中予以体现。

1. 系统研究了国内外矿床模型的概念

矿床模型是针对某类型矿床系统整理出的一套描述或反映其基本特征的信息。在矿床模型的研究中,因目的、重点、用途不同,人们提出了各种各样的模型概念和定义。尽管不同学者的观点、重点有别,实质上却不约而同地把矿床模型区分为两大类,即经验模型和概念模型。经验模型注重矿床基本特征和找矿标志的收集、甄别和系统整理,不太强调整理它们之间的内在联系,故又被称为描述性模型;概念模型注重把观测到的矿床特征和相关标志与成矿作用过程联系起来,以确定成矿和控矿规律,故又称为理论模型。各类模型概念,乍看起来众说纷纭,实则有着内在的联系。我们以系统总结矿床模型的研究历史为基础,尽力从两大类模型的研究成果中汲取总结和建立找矿模型的依据。

2. 系统论证了找矿模型的概念和定位

找矿模型基本上以经验模型或描述性模型为主,它以找矿为目的,以事实资料为基础,以多学科的标志、特征、数据组合(不是成因和假设)形成的找矿准则和判据为基本内容(物探、化探、遥感模型只是内容或专业的区分,不是性质和类别的区分),通过系统总结和综合研究来指导找矿,故属描述性模型的范畴。诸如文献中出现的普查模型、预测模型,以至前苏联提出的从区域到矿体的预测普查组合,都可以归入找矿模型,在矿产勘查实践中颇受青睐。因此,找矿模型这一术语体现了模型研究的实用性,但在我们看来,它并不排除对矿床理论(成因)的探讨及对矿床特征和标志的总结。

3. 系统介绍了找矿模型建立的原则和方法

纵观找矿模型的建立方法,均需遵循内容相符性、相近性(或相似性)、选择性、综合性、可度量性、可比性、直观性、规范化8个方面的原则。我们将侧重介绍建模过程中的归纳法、演绎推理法及相关步骤。应该提到的是,不同级次和不同类型矿床的找矿模型,所用的资料类别、特征标志、数据精度、目标客体都是有区别的,因此建模的原则、方法和表达形式也会有所不同。

4. 系统论述了不同级次找矿模型的内涵和本质

不同级次的找矿模型，不仅是研究对象规模大小（涉及面积）的区别，更有基本地质依据及相关特征、标志和研究重点的差别。区域找矿模型以地质建造和区域构造分析为基本依据；局部找矿模型以赋矿岩系和控矿构造的成矿标志和成矿特征为主要依据；矿床找矿模型则以矿体和矿化作用的各种标志、特征及其空间分布规模为主要依据。在此过程中，都要进行地质、地球化学、地球物理等相应特征与标志的研究，形成相应的专业找矿模型，分别发挥其不同的优势和效用。

5. 论述了找矿模型的功能和效果

本书以大量实例系统总结了国内外地质、地球物理、地球化学找矿模型研究最新的进展，并说明了找矿模型研究与应用的思路及找矿效果。从找矿模型的普遍性与特殊性、理论性与实践性、研究阶段性与开放性、参数全面性与准确性、成矿系统性与找矿模型级次性、矿床新类型与找矿模型创新性等6个方面，论述了找矿模型研究与应用中应该注意的问题，强调建立模型、使用模型是指导资料收集和资料解释（认识、理解）的手段，而不是目的。建模、用模是勘查工作中深化资料收集和认识的运行过程，而不是终结。

6. 系统总结了国内外50个重要金属矿床类型（亚类或式）矿床的找矿模型

本书涉及的主要矿种包括铁、铬、镍、铜、铅、锌、钨、锡、钼、锑、金、铂族金属、铀、稀土等，也包括金刚石；主要内容包括各类型矿床的地质特征、矿床成因和找矿标志（包括区域地质找矿标志、局部地质找矿标志、地球物理找矿标志和地球化学找矿标志等）。

找矿模型是—定阶段对矿床认识的系统总结和概括，在实践中将不断得到深化和完善，因此，找矿模型的发展具有明显的阶段性。找矿模型来源于找矿工作实践，服务于找矿工作，当找矿模型研究与应用达到一定程度、积累到—定阶段时，必然产生新的理论和新的认识，进而形成新的模型。本书所涉及的找矿模型体现了作者对现有资料的认识水平，需要在实践中不断丰富和发展。

四、几点说明

1. 关于找矿模型研究范围和找矿模型的分类

在研究初期，我们系统设计了不同类型矿床的研究方案，因受资料、经费和时间的限制，本次仅对其中的50个典型类型矿床找矿模型进行了研究。在实际研究过程中，因资料收集情况不同，有的矿床类型资料较欠缺，有的资料则较为丰富，甚至有些矿床的亚类资料也很丰富，因此，在原研究提纲的基础上，增加了某些亚类找矿模型研究。尽管如此，由于矿床种类繁多，类型多样，本书涉及的矿床找矿模型仍然有限。我们期待以后立项进一步加以研究。

在所研究的50个找矿模型中，矿床类型划分方案不同，有的以温度高低划分（如低温浅成热液型金矿床），有的以容矿围岩性质划分（如黑色页岩型金矿床、矽卡岩型金矿床），有的以产状划分（如不整合型铀矿床），考虑到资料的真实性，以及有些矿床类型划分本身具有较大争议或交叉性，本书没有作统一划分。

本次研究主要针对大类“型”的矿床找矿模型，同时对少量特征性较强的亚类或典型矿床（本书称为“式”）找矿模型也作了研究。此外，针对绿岩带金矿、澳大利亚维多利亚地区金矿、我国长江中下游地区铜多金属矿床开展了找矿模型研究。

2. 关于找矿模型的建模工作

找矿模型内容丰富、专业面广，因此建模工作是一项难度巨大的工程，尤其是以典型类型矿床为主线，更是难上加难。本书虽详细论述了建模思路和建模过程，但本次研究主要是依托文献资料，对国内外已有资料进行概括和总结，受工作条件限制，对大部分典型矿床未能进行实地考察和研究，也未对已建模型进行实践检验，有待于读者在应用过程中发展和完善。

3. 关于找矿模型的编排

为方便读者查阅，在编排上以矿种为序，以成因类型为据。在研究过程中，我们还收集了大量国外关于金刚石矿床的资料，内容丰富，对我国金刚石找矿具有一定的指导意义。虽然它属非金属矿

床, 本书仍将其收入在内。

4. 关于个别地层时代旧称谓的沿用

过去的文献普遍采用“第三系(纪)”和“下第三系(纪)”等称谓, 但新的地层表已改用“古近-新近系(纪)”、“古近系(纪)”等表示, 由于本书涉及资料较多, 鉴于对原文献中“第三系”难以判断是“古近系”还是“新近系”, 故本书保留了“第三系(纪)”等的称谓。由于相同的原因, 也保留了石炭系三分的称谓。此外, 由于文献发表时间不一, 各地区研究认识程度不同等, 地层时代的归属会有一定的出入。

5. 关于参考文献

本次研究参阅了大量参考文献, 大多数文献在正文中作了标注。但有小部分参考文献, 对具体找矿模型研究, 虽有扩展思路、增加证据等功效, 但有时确实难以在书中具体位置作出标注, 为了方便读者参考, 将它们一并列于书后的参考文献中。在本书编写之初, 各章节的参考文献是单独列出的。鉴于有些文献在不同找矿模型中均被引用, 为节省篇幅, 我们将参考文献汇聚在一起, 这给读者的查阅和使用增添不少的麻烦, 敬请读者谅解。

此外, 本书以前人大量研究成果和实际资料、图表为基础, 根据本书需要, 对有些图、表作了一定缩减和改编。书中某些讨论和认识, 可能与原作者不完全一致, 这只代表本书作者的一种认识, 而不意味着对原作者观点的否定。

五、本书编写分工及致谢

本项研究启动于2006年年初, 历时5年, 是国土资源大调查项目“地质调查情报编译与科技成果集成”的成果之一, 作为《信息找矿战略与勘查百例》的姊妹书推出。本书的前言、总论由施俊法编写, 参加找矿模型各论编写的人员有唐金荣、周平、金庆花、戴自希、项仁杰、杨宗喜、施俊法、朱丽丽、金玺、尤孝才、江永宏、徐华升等, 李友枝参与了前期调研, 彭捷、李建全、方秋芸和王丹等参与了相关资料的收集。在研究过程中, 华东冶金地质勘查局赵云佳和华东冶金地质勘查局综合地质大队高道明、洪东良完成了玢岩型铁矿床找矿模型研究; 东华理工大学潘家永、吴仁贵完成了碳硅泥岩型铀矿找矿模型研究; 山东省第六地质矿产勘查院崔书学参与了山东焦家-玲珑式找矿模型研究; 桂林工学院王钟和广西二一五地质队范森葵完成了大厂锡多金属矿床找矿模型研究; 中国地质大学(武汉)马振东、龚敏、龚鹏、曾键年、王磊、金希完成了长江中下游地区铜多金属矿床找矿模型研究。全书由施俊法、唐金荣统稿。

本项研究始终在中国地质调查局有关领导和专家的指导下开展, 叶建良、陈仁义、严光生、卢民杰、薛迎喜、肖桂义、刘凤山、李志忠、何凯涛对本项研究给予了大力支持; 陈毓川、方克定、叶天竺、肖庆辉、彭齐鸣、齐亚彬对本项研究给予了指导; 陈毓川院士在百忙中为本书作序; 吴传璧、刘士毅、赵伦山、王保良、王家枢、沈镛立、梅友松、马振东、冯钟广、闫立本、刘益康、罗永国、吴其斌、刘凤仁、刘志刚审阅了本书部分内容, 并提出了宝贵的修改意见。中国地质大学(北京)莫宣学院士提供了大量资料; 王立文、刘吉成、石宏仁、纪忠元、丁晓红提供了大量译文资料。中国地质调查局发展研究中心主任邓志奇、总工程师谭永杰, 以及中国国土资源经济研究院院长姚华军给予了大力支持。在本书编写过程中, 大量引用了原中国地质矿产信息研究院出版的“三刊”(《地质科技参考资料》、《地质科技动态》和《国外地质科技》)和一系列专题情报研究成果。在此一并表示诚挚的感谢。

本书由于研究范围广, 涉及学科多, 工作难度大, 难免存在不足之处, 敬请读者批评指正。

施俊法

2010年10月8日

目 录

序 前 言

上篇 总 论

第一章 矿床模型及其研究历史	(3)
一、矿床模型的概念和特点	(3)
二、矿床模型研究历史概述	(5)
第二章 找矿模型的定位与功能	(12)
一、关于找矿模型的定位	(12)
二、关于找矿模型的内涵	(20)
三、找矿模型的作用与功能	(21)
第三章 建立找矿模型的思路与方法	(27)
一、找矿模型的特点	(27)
二、建立找矿模型的原则和方法	(27)
三、建立不同级次找矿模型的思路	(30)
四、建立综合找矿模型的思路	(39)
第四章 找矿模型的研究与应用	(40)
一、地质找矿模型的研究与应用	(40)
二、地球物理找矿模型的研究与应用	(47)
三、地球化学找矿模型的研究与应用	(52)
四、综合找矿模型的研究与应用	(60)
第五章 找矿模型的基本属性与发展优化	(65)
一、找矿模型的普遍性与特殊性	(65)
二、找矿模型的理论性与实践性	(66)
三、找矿模型研究的阶段性与开放性	(67)
四、找矿模型参数的全面性与准确性	(68)
五、成矿系统性与找矿模型级次性	(69)
六、矿床新类型与找矿模型创新性	(69)

下篇 找矿模型各论

模型一 条带状铁质建造型富铁矿床找矿模型	(73)
模型二 火山-沉积型铁矿床找矿模型	(81)
模型三 玢岩型铁矿床找矿模型	(90)
模型四 层状型铬铁矿床找矿模型	(100)
模型五 豆荚状型铬铁矿床找矿模型	(108)
模型六 斑岩型铜矿床找矿模型	(119)
模型七 斑岩型铜金矿床找矿模型	(128)

模型八	火山成因块状硫化物型矿床找矿模型	(133)
模型九	别子型块状硫化物矿床找矿模型	(141)
模型十	砂页岩型铜矿床找矿模型	(145)
模型十一	矽卡岩型铜矿床找矿模型	(152)
模型十二	长江中下游地区铜多金属矿床找矿模型	(160)
模型十三	铁氧化物铜金型矿床找矿模型	(172)
模型十四	岩浆型铜镍硫化物矿床找矿模型	(182)
模型十五	拉斑玄武岩型铜镍硫化物矿床找矿模型	(189)
模型十六	溢流玄武岩型铜镍硫化物矿床找矿模型	(195)
模型十七	陨石撞击型铜镍硫化物矿床找矿模型	(203)
模型十八	科马提岩型铜镍硫化物矿床找矿模型	(209)
模型十九	红土型镍矿床找矿模型	(215)
模型二十	喷气沉积型铅锌矿床找矿模型	(220)
模型二十一	密西西比河谷型铅锌矿床找矿模型	(229)
模型二十二	陆相火山岩型铅锌矿床找矿模型	(235)
模型二十三	砂页岩型铅锌矿床找矿模型	(239)
模型二十四	朝鲜检德式铅锌矿床找矿模型	(244)
模型二十五	秘鲁塞罗德帕斯科式铅锌多金属矿床找矿模型	(252)
模型二十六	非硫化物型锌矿床找矿模型	(256)
模型二十七	斑岩型钼矿床找矿模型	(266)
模型二十八	矽卡岩型钼矿床找矿模型	(275)
模型二十九	湖南柿竹园式钨多金属矿床找矿模型	(283)
模型三十	广西大厂式锡多金属矿床找矿模型	(290)
模型三十一	云南个旧式锡多金属矿床找矿模型	(299)
模型三十二	湖南锡矿山式铋矿床找矿模型	(306)
模型三十三	绿岩带金矿床找矿模型	(316)
模型三十四	霍姆斯塔克型金矿床找矿模型	(324)
模型三十五	山东焦家-玲珑式金矿床找矿模型	(330)
模型三十六	砾岩型金铀矿床找矿模型	(340)
模型三十七	卡林型金矿床找矿模型	(350)
模型三十八	浅成低温热液型金矿床找矿模型	(359)
模型三十九	与碱性岩有关的浅成低温热液型金矿床找矿模型	(367)
模型四十	矽卡岩型金矿床找矿模型	(374)
模型四十一	黑色岩系型金矿床找矿模型	(384)
模型四十二	俄罗斯苏霍依洛格式贵金属矿床找矿模型	(393)
模型四十三	澳大利亚维多利亚地区金矿床找矿模型	(400)
模型四十四	层状镁铁质-超镁铁质侵入岩型铂族金属矿床找矿模型	(407)
模型四十五	不整合型铀矿床找矿模型	(415)
模型四十六	砂岩型铀矿床找矿模型	(425)
模型四十七	碳硅泥岩型铀矿床找矿模型	(435)
模型四十八	风化壳离子吸附型稀土矿床找矿模型	(442)
模型四十九	内蒙古白云鄂博式铁铈稀土矿床找矿模型	(450)
模型五十	金伯利岩型和钾镁煌斑岩型金刚石矿床找矿模型	(457)
	主要参考文献及资料	(466)

上 篇
总 论

第一章 矿床模型及其研究历史

从本质上说，矿床模型是矿床学研究的重要组成部分，它源于矿床学研究，随着矿床学的发展而不断深入完善，随着找矿实践的需要而不断丰富扩展。正如俄罗斯地球化学家 А. П. Соловов (1987) 所说，“一个学科的发展要遵循一定的规律：经验观测资料的积累使我们可以建立抽象的模型，模型研究则导致理论的建立，立足于理论再进行实践，已是更高水平的实践”。因此，建立矿床模型是传统认识论的践行，即从经验性资料出发研究和总结客观规律，上升为理论，再去指导实践。任何一种矿床模型的建立，只代表对研究对象的认识深化，而不是认识的终结，更不是束缚人们认识和实践的桎梏。也就是说，建立矿床模型是推进成矿作用研究和矿产勘查的一种新形式。

在研究过程中，不同专业和不同追求的研究者们，研发出各式各样的模型，提出了众多内涵有别的概念或术语，开拓着找矿应用的不同方向，使矿床模型研究领域异彩纷呈、门类多样。在此背景下，为把握研究重点，理清我们的研究思路，有必要对矿床模型的概念和研究历史作一简要的回顾。

一、矿床模型的概念和特点

(一) 矿床模型的概念

通常所说的矿床模型 (mineral deposit model) 是一个综合性的概念。一般来说，矿床模型是针对某类型矿床系统整理出的一套描述或反映其基本特征的信息集合。在矿床模型的研究中，因目的、重点、用途不同，人们提出了各种各样的模型概念和定义，乍看起来千头万绪，实则有着内在的联系。为了理清本书的研究与编写的思路，有必要对矿床模型的概念作一些探讨。表 1-1 列出了国内外学者对矿床模型概念的代表性论述。

表 1-1 国内外学者对矿床模型概念的表述

作者与年代	概念描述 (定义表达)	资料来源
D. P. Cox 和 D. A. Singer, 1986	矿床模型是描述一类矿床主要属性 (特征) 的经过系统编排的信息。模型可能是经验 (描述性) 模型，在这种情况下，各种属性都被认为是重要的，即使它们的关系并不清楚；模型也可能是理论 (成因) 模型，在这种情况下，各种属性是通过某种基本概念相互联系起来的	Mineral deposits models; U. S. Geological Survey Bulletin 1693, p: 7
R. G. Roberts 和 P. A. Sheahan, 1988	矿床模型由两个部分组成：经验模型——包括观察数据在内的一系列数据，用于描述矿床；概念模型——试图通过统一的成因模型解释数据	Ore deposit models, Geological Association of Canada, 1988, p. V
C. J. Hodgson, 1989	矿床模型是一种概念性和 (或) 经验性的标志，既体现着矿床类型的描述性特征，又包括根据地质作用对这些特征的解释	Uses (and abuse) of ore deposit models in mineral exploration. In: Exploration'87 proceeding; Ontario Geological Survey Special, 3: 31 ~ 35
N. White, 2008	矿床模型就是把矿床的主要特征用简单易懂的方法表示出来，它是某一矿床的各种有用信息的综合体，包括在不同尺度上识别出的最全面而可靠的特征	Ore deposit models: their use in exploration, 2008 年在中国昆明的“矿床模型及矿产勘查”讲座

续表

作者与年代	概念描述（定义表达）	资料来源
陈毓川等，1993	矿床成矿模式，确切地说，它是对矿床赋存的地质环境、矿化作用随时间、空间变化显示的各类特征（包括地质、地球物理、地球化学和遥感地质）以及成矿物质来源、迁移富集机理等要素进行概括、描述和解释，是成矿规律的表达形式。找矿模型突出的是某类矿床的基本要素和找矿过程中特殊意义的地质、物化探和遥感影像等特征及空间的变化情况。总结发现该类矿床的基本标志和找矿使用的方法手段	中国矿床成矿模式，地质出版社
裴荣富，1995	矿床模式是一组相似（或同一类型）矿床地质特征的综合表征，即通过对同一类型的每一个矿床地质特征的系统整理，所归纳出的具有一定理性认识的、反映该类型矿床共性的标准样式，以便为矿床地质工作者辨认该类型矿床的面貌提供参考	中国矿床模式，地质出版社
涂光炽，2001	成矿模式（矿床模式）是有关某矿床或某一矿床类型中客观存在的、可供描述的各种资料及参数的集合、抽象和概括。可供描述的资料及参数包括矿床产出的地质背景、矿体产状形态、矿石物质组成、围岩蚀变、控矿因素等。这一部分相对较定型，它们的概括不仅有利于同类矿床的对比，对找矿预测也很有帮助。另外，成矿模式也可以包括矿床成因，这一部分较难定型，它随着成矿理论水平的提高、成矿规律的深入研究等将有所发展和改变	过去 20 年矿床事业发展的概略回顾，矿床地质，2001，（1）：1~9
翟裕生，2001	矿床模式或成矿模式是指在对大量矿床进行综合研究的基础上，对某类矿床或某种成矿作用基本特征的概括。它一般采用图解、文字或表格的形式，将复杂的成矿要素、成矿过程和矿床地质特征进行概括，用以具体指导对某类矿床的找矿工作	走向 21 世纪的矿床学，地球科学进展，2001，16（5）：719~725

由表 1-1 可知，尽管不同学者的视点、重点和角度有别，实质上都不约而同地把矿床模型区分为两大类，即经验模型和概念模型（或曰理论模型）。经验模型注重矿床基本特征和找矿标志的收集、甄别和系统整理，不特别强调要探究它们之间的内在联系，故又被称为描述性模型；概念模型注重把观测到的矿床特征、相关标志与成矿作用过程理性地联系起来，以确定成矿和控矿规律，故又称为理论模型。以这两类模型为基础，因目的、用途、特征之不同，又派生出多种多样的模型和概念，如成因模型、品位-吨位模型、矿体形态模型等（详见第二章）。

严格说来，在矿床模型的研究和应用中，各种模型的概念并不是最重要、最本质的问题，关键是应把模型研究或建模工作看作是解决地质找矿实际问题的方法途径或思维方式。在解决找矿问题的过程中，“模型”只是一种中间成果，还需要在实践中不断发展和完善。

应该提到的是，在中文文献中，矿床模型也被称为“矿床模式”、“成矿模式”；在物化探文献中，亦有“异常模型”和“异常模式”之称谓。不过，在大部分情况下，“模型”与“模式”对应的英文都是“model”；只有地球化学分散“模式”对应的是“pattern”，那已经是另外的专业含义了。因此，本书基本上采用“模型”这一术语和概念（引用的中文文献除外）。

（二）矿床模型的特点

经过半个多世纪的探索与发展，矿床模型不断得到补充和完善，其研究工作日趋成熟，研究领域与应用范围不断扩大，找矿效果日趋明显。当前，矿床模型具有以下几个特点：

一是“亦老亦新”。矿床模型的概念已经提出半个多世纪，在地质找矿过程中发挥了重要的作用。在实际运用过程中，具有“老矿床，新模型”、“老资料，新解释”、“老模型，新作用”的特点。20 世纪 60 年代依据斑岩铜矿蚀变分带模型发现美国卡拉马祖斑岩铜矿床的过程，堪称矿床模型应用的典范，至今还被人们津津乐道。一些古老的矿床模型在当今深部找矿的过程中正焕发着青春，针对矿床新发现，不断研究新信息，解决新问题，形成新认识，推出新模型，实现新突破。过去，人们习惯把澳大利亚奥林匹克坝铜金铀矿床称为“独生子”矿床。经过大量研究后发现，在世界范围

内广泛发育此类矿床，它们构成了一种新类型，即铁氧化物铜金型矿床，这为矿床模型研究注入了新的内涵。据称，应用该模型，在澳大利亚、加拿大、越南等国家取得了一系列重大发现。

二是“亦小亦大”。从研究尺度上看，矿床模型研究范围可以小到一个具体矿床（体），亦可以大到矿田，再到区域成矿带乃至全球尺度成矿域。人们总结的每个类型矿床模型虽然文字不多，但涵盖着众多矿床的信息，涉及不同级次成矿客体的空间关系，包容着地质、地球物理、地球化学等信息，因此，具有“小模型，大视野”、“小模型，大功能”、“小模型，大信息”的特点。

三是“亦理亦工”。矿床模型既包括概念性模型，又包括经验性模型；既有理论性研究，也有实用性研究；既有成矿理论总结，更有找矿实践应用；既是原创性与再创性的结合，又是信息积累和认识升华的结合。因此，矿床模型是理论与经验、认识与工程（实践）、科学与技术相结合的产物和载体。

二、矿床模型研究历史概述

（一）国外矿床模型研究发展概况

矿床模型的研究是随着矿床发现实践和成矿理论深化而发展起来的。从已有的文献资料来看，国外矿床模型研究的发展大体经历了3个阶段。

1. 矿床模型的萌生和奠基时期

这一时期大致为20世纪30年代至70年代末。其基本特征是，以大量已知矿床为基础，总结出了一系列典型矿床的基本特征。

在矿床学研究的早期，虽然没有正式提出矿床模型的概念，但实际上早就从研究已知矿床的典型特征入手，查明控矿要素，探讨成矿过程，总结矿床成因，确定找矿标志，孕育着矿床模型的研究思路。例如，美国的W. 林格伦、R. C. 艾孟斯，瑞士的P. 尼格里，挪威的J. H. L. 伏格特，德国的H. 斯奈德洪，前苏联的A. E. 费尔斯曼、C. C. 斯米尔诺夫、A. Γ. 别捷赫琴等，以各自的研究为依据，认为大部分金属矿床与岩浆热液作用有关，建立了以“岩浆-热液”成矿作用为主导的学说。这些观点逐步系统化，形成了岩浆热液成矿论，实际上这便是现今我们熟知的岩浆热液型矿床的矿床模型。以德国A. G. 维尔纳为代表的水成论学派，认为所有的岩石和矿床都是从大洋水中沉淀形成的，大洋水中溶解有形成岩石和矿床的所有物质，当它们沿岩石裂隙渗透时，就在其中沉淀出矿石。后来，逐渐形成“侧分泌”成矿观点，进一步演变成了“层控”成因的新观点。这便是后来提出的“层控型矿床模型”。

到20世纪50年代，“模型”的概念和术语开始被采用，并见诸文献。例如在美国，当时已开始研究斑岩铜矿的蚀变和矿化分带模型，用于找矿实践，并在卡拉马祖等矿床的发现中发挥了作用。从60年代开始，使用矿床的描述性模型和成因模型进行矿产勘查和矿产资源区域评价，在科罗拉多钼矿带的扩大和阿拉斯加矿产资源评价中取得了成功。这种研究思路得到了学术界和管理部门的认可。1979年，美国在丹佛召开了“矿产评价讨论会”，将描述性勘查模型确定为评价美国本土矿产资源潜力的主要方法。

20世纪60年代和70年代，在澳大利亚，便有意地建立了一些典型矿床的成因模型，并集中力量利用模型指出成矿环境，圈定找矿靶区。1960~1980年间，澳大利亚成功建立并应用的模型有：第三纪到现代红土准平原上的铝土矿矿床模型，元古宙条带状铁质建造中的块状赤铁矿矿床模型，超镁铁质熔岩流铜镍硫化物矿床模型，古生代火山岩中的铀矿矿床模型，以陆棚碳酸盐岩为容矿岩石的铅锌矿床模型，酸性火山岩中的多金属块状硫化物矿床模型，等等。

从20世纪70年代起，前苏联地质部和苏联科学院的许多研究所，也开始集中力量研究一些重要类型矿床的地质和地球物理模型。

应当提到的是,在20世纪60~70年代,板块构造学说的兴起和发展,给成矿理论和成矿模型的研究注入了新的活力。地质科学理论的重大创新推动着矿床模型研究的发展。到70年代末,矿产勘查发现了大量矿床,促进了现代矿床学框架的基本确立,同时也为矿床模型的研究和应用奠定了良好的基础。

2. 矿床模型研究和应用的发展时期

20世纪80年代以来,在大量资料积累的基础上,矿床模型研究的规范化和系统化成为这个时期矿床模型研究的重要特征,并呈现出以下特点。

(1) 总结性、综合性学术著作大量问世,研究水平明显提高

1981年,美国地质调查局出版了《Characteristics of Mineral Deposit Occurrences》,开始以专著形式总结矿床模型的研究成果。此后,不同国家相继出版了类似的总结性专著,且综合性大大提高。例如,1986年,美国地质调查局D. P. Cox和D. A. Singer编著的《Mineral Deposits Models》,总结了111个国家3900多个矿床的资料,包括87个矿床类型的描述性模型和60个不同类型矿床的品位-吨位模型。1992年,J. D. Bliss主编的《Developments in Mineral Deposits Modeling》对1986年之后美国矿床模型的建立和使用做了简要回顾。加拿大地质调查局于1984年出版了《Canadian Mineral Deposit Types: A Geological Synopsis》(O. R. Eckstrand, 1984),介绍了一些矿床类型的描述性模型。此后,加拿大地质协会于1988年和1993年先后出版了《Ore Deposit Models》(R. G. Roberts and P. A. Sheahan)和《Ore Deposit Models (II)》(P. A. Sheahan and M. E. Cherry)两本汇编,系统收入了加拿大矿床模型研究的最新成果,先后重印了7次。1998年,《澳大利亚地质和地球物理杂志》编辑部组织大学、研究部门和矿业公司,针对澳大利亚的主要矿床类型撰写了20个找矿模型。这种趋势也延伸到发展中国家,例如,哈萨克斯坦于2004年以英文出版了《Minerogenic Map of Kazakhstan》(S. Zh. Daukeev等,2004),介绍了43个典型矿床的地质特征和矿床模型。2007年,印度出版了《Exploration Modeling of Base Metal Deposits》专著(S. K. Halдар, 2007),以印度元古宙锌矿资料为基础,与澳大利亚、加拿大的层状铅锌银矿床进行对比,系统地论述了矿床模型的理论、参数和实例(表1-2)。

表1-2 20世纪80年代以来国外发表的矿床模型代表性著作

作者和年份	出版物或成果名称和单位	主要内容
R. L. Erickson, 1981	Characteristics of Mineral Deposit Occurrences, 美国地质调查局	介绍了美国47个矿产地特征,包括地质、地球物理、地球化学特征。该文集成为后来D. P. Cox等编写《Mineral Deposits Models》的基础
O. R. Eckstrand, 1984	Canadian Mineral Deposit Types: A Geological Synopsis, 加拿大地质调查局	介绍了一些矿床类型的描述性模型
D. P. Cox和D. A. Singer, 1986	Mineral Deposits Models, 美国地质调查局	以111个国家3900多个矿床资料为基础,介绍了87个矿床类型的描述性模型和60个不同类型矿床的品位-吨位模型
R. G. Roberts, P. A. Sheahan, 1988	Ore Deposit Models, 加拿大地质协会	系统收入了加拿大当时矿床模型研究的最新成果
1980年以来 Geoscience Canada杂志	矿床模型讲座	先后介绍了12个20世纪70年代和80年代在北美流行的地质-成因模型
J. D. Bliss, 1992	Developments in Mineral Deposits Modeling, 美国地质调查局	对1986年之后美国矿床模型建立和使用的发展做了简单回顾。研制和完善了主要矿床类型的描述性模型和品位-吨位模型,以及数字矿床模型和矿床勘查模型,并对建模方法进行了研究,进一步完善了以矿床模型为基础的计算机人工智能预测勘查系统,扩大了模型应用领域
P. A. Sheahan and M. E. Cherry, 1993	Ore Deposit Models (II), 加拿大地质协会	系统收入了加拿大当时矿床模型研究的最新成果
E. A. du Bray, 1995	Preliminary Compilation of Descriptive Geoenvironmental Mineral Deposit Models, 美国地质调查局	反映矿床开采前以及由于矿山开采、矿石处理和冶炼等活动所造成的环境行为的地质、地球化学、地球物理、水文和工程信息的集合。该专辑收入了32种类型矿床地质环境模型