

内生成矿建造成因模式

〔苏〕《内生成矿建造成因模式》编委会

地质出版社

内生成矿建造成因模式

[苏]《内生成矿建造成因模式》编委会 编

石准立 等译

地 质 出 版 社

内 容 介 绍

本论文集包括了全苏内生矿建造成因模式会议上所作的报告(新西伯利亚,1981年5月)。论文探讨了建造分析的一般问题和建立内生矿建造地质-成因模式(金属矿床学的新方向)的原则。讨论了铜-镍矿床、铁矿床、锡-钨矿床、铜-钼矿床、多金属矿床、金矿床和铋-汞矿床的总体与局部地质-成因模式。本论文集是最重要类型的金属矿床地质-成因模式的第一份综合报告。

本书可供从事内生矿作用、地球化学和成矿规律等方面的地质学家阅读。

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭНДОГЕННЫХ РУДНЫХ ФОРМАЦИЙ ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА» СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Новосибирск • 1983

内生矿建造成因模式

[苏]《内生矿建造成因模式》编委会 编 石准立 等译

责任编辑: 李上男

地质出版社出版发行

(北京和平里)

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经销

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 14.75 字数: 348000

1990年6月北京第一版 • 1990年6月北京第一次印刷

印数: 1—995 册 定价: 9.55元

ISBN 7-116-00635-4/P·540

前 言

近年来，成矿建造概念和成矿建造分析牢固地进入了金属矿床理论研究和实践之中，并对成矿规律的理论基础和预测方法起了非常积极的作用。成矿建造是各种金属矿床成因和区域成矿规律分类系统的基本单位，同时也是它们的通用单位。在工业方面，最有价值矿床的成矿建造被认为是它们的主要工业-成因类型。

成矿建造作为一个抽象的集合概念，包括了能以反映该类矿床成矿条件基本规律的最为典型的共同特点。查明那些决定成矿建造独立地位的和它们界线划分的以及建造划分正确性的特点，仍然是建造分析的主要任务，其最终目的和结果是认识矿床的成因。与此有关，详细拟定建立成矿建造成因模式的原则和方法是综合有关成矿自然作用的地质条件和物理-化学参数资料的重要阶段，这一阶段能够促进进一步深入研究成矿理论、矿区和矿床的含矿范围预测原则和远景评价原则。

成矿建造成因模式会议（新西伯利亚，1981）是在其以前所召开的一系列全苏会议的合理延续和某种总结，这些会议曾经讨论过在成矿建造分析基础上的内生成矿分类问题（《西伯利亚和远东的内生成矿建造》，新西伯利亚，1964）、成矿物质来源问题（《内生矿床的成矿物质来源》，莫斯科，1974）、内生成矿作用的物理-化学参数和地球化学问题（《内生成矿自然作用的基本参数》，新西伯利亚，1977；《热液成矿作用的地球化学》，莫斯科，1979）。会议把矿山地质人员、成矿规律研究者、地球化学家和实验工作者为解决主要类别内生金属矿床成因上的复杂关键问题所做的努力联合和协调起来。

本专集中刊出了《内生成矿建造成因模式》问题会议的材料，探讨了建立成矿建造及其成因系列的、成矿热液系统及其演化的总体和局部地质-成因模式的基本原则，讨论了总体模式和局部模式的关系、由定性模式转为定量模式的原则及可能性，研究了在考虑一些决定性因素（诸如：在现代水平上不仅用地质学的方法，而且用相邻学科的方法所解决的地质构造位置、与岩浆岩的关系、成矿溶液和成矿物质来源、成矿的特征等）的成因信息条件下编制成因模式的各种方法。

特别需要强调编制成矿建造及其成因系列的成因模式的实用价值，因为成因模式能够使我们查明某些建造在成矿省和矿区发展历史中的相互关系和在考虑具体地质情况下能够预测矿床。

上述的一切使我们相信，本专集中的材料将会受到地质工作者们的欢迎，而成矿建造成因模式的拟定将成为预测和普查内生金属矿床的科学方法的现实基础。

编辑委员会

（石准立 译 汪乾熙 校）

目 录

前言

成矿作用和成矿建造成因模式的建立	(1)
成矿建造的地质-成因模式	(1)
建立成矿建造地质-成因模式的一般原则	(7)
金属矿床统一成因模式的地球化学状况	(16)
孕矿过程在后生成矿模式中的地球化学作用及地位	(22)
建立内生成矿模式的重要因素	(27)
铜-镍矿床	(31)
Норильск地区的铜-镍成矿作用	(31)
硫化铜-镍矿化的地质-成因模式(以Норильск型为例)	(40)
Чинейск辉长苏长深成岩体中铜硫化物矿化的定位因素	(47)
沃罗涅日结晶地块硫化铜-镍和镍-钴矿化的成因模式	(53)
铁矿床	(59)
火山-深成聚铁的可能模式	(59)
岩浆成因磁铁矿矿化过程的物理-化学模拟	(65)
内生成矿作用铁活动性的岩石化学准则	(70)
铜-钼矿床	(76)
铜-钼建造的成因模式	(76)
铜-钼矿床的铜、钼矿化成因	(87)
喀尔巴阡-巴尔干褶皱区斑岩钼-铜建造的地质-成因模式	(93)
含矿流体的演化模式——局部评价与矿化预测的基础	(97)
铋-汞矿床	(102)
低温热液矿床成矿作用成因模式的当今观点	(102)
矿石形成的物理-化学参数——成矿建造的重要标志	(106)
建立Удере́йск矿床成因模式的资料	(110)
锡-钨矿床	(116)
哈萨克斯坦内生主要稀有金属矿床类型的地质-成因模式	(116)
锡矿床的形成模式	(126)
锡石-硅酸盐-硫化物矿床的地质-成因模式	(131)
与多期花岗岩类侵入体有关的稀有金属成矿作用模式的成因基础	(137)
稀有金属矿化形成的成因观点	(143)
地球化学上两种不同类型的锡矿化形成的物理-化学条件	(149)
多金属矿床	(155)
各类黄铁矿型矿床的成因特征	(155)

黄铁矿型多金属矿床的地质-成因 模式.....	(159)
在火山地槽中含黄铁矿构造体系自身发展的模式.....	(162)
在火山和沉积建造中层控黄铁矿形成的成因模式.....	(167)
鲁德内阿尔泰Таловск矿田多金属矿床地质-成因 模式.....	(172)
哈萨克斯坦层控铅锌矿床综合模式.....	(179)
乌拉尔式黄铁矿型铜矿床形成模式.....	(185)
鲁德内阿尔泰多层火山成因的多金属矿床形成模式.....	(189)
叶尼塞山多金属建造矿床成因模式.....	(196)
金矿床	(201)
以金矿床为例的热液成矿作用的成因模式.....	(201)
变质-热液成矿作用成因 模式.....	(206)
火山带含银热液矿脉的成因性质.....	(210)
金-银矿床的控矿 因素.....	(216)
关于金矿垂直分带的地质-成因 模式.....	(219)
黑色页岩中金矿化的煅烧效应与形成问题.....	(224)

成矿作用和成矿建造成因模式的建立

成矿建造的地质-成因模式

В. А. Кузнецов Э. Г. Дистанов А. А. Оболенский В. И.
Сотников В. Н. Шарапов

建立各种类型金属矿床形成的成因模式是矿床研究的自然组成部分和方法，在一定程度上也是矿床研究的总结。凡是为了认识金属矿床，认识它们的结构、形成条件、分布规律和其他很多成矿问题的目的而进行的研究都是以某种方式解决这一总的任务。建立成因模式意味着最全面地认识该具体对象或矿床类型形成的整个体系：从认识成矿物质来源、它们的搬运形式和方法，直到认识富集形成矿体的条件。在当时的概念和认识水平上发展起来的成矿作用的所有假说和构想，都曾经把方向瞄准解决成矿作用这一根本性的成因问题，并且似乎都是具有某种程度的论证可靠性的以定性为主的局部成矿模式或总体成矿模式。

近几十年来地质科学包括成矿学科和相邻知识领域所出现的巨大进步，促进了成矿作用的许多基本问题的深入研究。广泛开展的同位素和精确定量地球化学研究，目前实质上已经使我们能以“度和量”来研究成矿物质来源问题。在这方面苏联和国外都已取得巨大成就，并进行了理论综合。成矿物质来源的专门科学研讨会（莫斯科，1974）和同位素方法在地质和地球化学中的应用等一系列专业会议都专门讨论过这些问题。成矿物质来源问题也经常的书刊中被讨论。

成矿作用本身和成矿体系的研究也都有很大的进展。这些进步是在地球化学家、矿山工作者、岩浆岩学者和地质生产工作者的共同努力之下，由于在地质学中广泛应用了精确的科学方法，由于分析技术和计算技术的发展以及在这方面所进行的地质研究普遍具有的高水平而获得的。目前已经积累了有关成矿作用物理-化学参数的大量材料，正在发展矿物包裹体组成成分的定性和定量研究方法以及在包裹体中测定一系列稳定同位素的方法。在新西伯利亚（1974）和莫斯科（1979）举行的会议上曾经对内生成矿作用的物理-化学参数进行过详细讨论。内生矿化与岩浆作用的关系曾作为专门问题而加以研讨，对成矿岩浆体系也作过分析。

近年来，成矿体系中热量传导和物质搬运的动力学以及成矿作用的其他很多方面都曾被深入研究。所有这些，与对多种多样的金属矿床的详细研究一起能够使我们转到认识和预测金属矿床的一个全新阶段——大量理论上的综合和更大胆的有科学依据的预测阶段。在这个阶段，成矿作用的理论研究被更紧密地和成矿规律的实用任务结合在一起了。

成矿建造是建立典型地质-成因模式的基本对象

在选择模式和成因构成对象时，必须遵循一系列方法条件和目的条件。一方面，它

应当是符合统一要求的一组矿床，以便能够建立排除广泛出现于自然界的趋同现象的成矿作用综合性模式形象。另一方面，它应当是一定矿石成分的矿床，这是矿床分类、有目的的科学预测和普查的必然要求。成矿建造就和这些要求相符。

成矿建造学说是在矿物共生组合的概念上发展起来的。

成矿建造分析是整个地质建造学说的一部分，也是金属矿床和成矿规律学说的进一步分类和综合阶段。成矿建造是在相近地质条件下形成的矿物组合的成分相似而稳定的一组矿床。成矿建造实质上是地质建造的组成部分，地质建造按Н. С. Шатский, Н. П. Херасков等学者的理解，是各个部分彼此共生的岩石及其伴生矿物的自然组合。对成矿建造外延的这种理解是传统的，并为大部分研究人员所接受。

成矿建造学说的基本研究对象，是在一定物理-化学条件和地质环境下有规律地形成的同一类型的一组矿床。这就决定了成矿建造具有深刻的成因实质，因为它的形成是一定的岩浆作用、构造作用和其他直接影响金属矿床形成的作用在自然界出现的结果。既然，成矿建造是作为共生（平衡的）矿物组合规律性的总合而被划分出来的，而共生矿物组合能表明成矿作用的一定物理-化学和地质条件以及成矿作用的地球化学类型等特点，那么，以成矿建造划分为基础对矿床进行分类，无论从成因角度，还是从成矿规律角度都是很便利的。这一点在某些金属矿床实例和最近制定的金属矿床总分类中表现得很明显。

建造分析的经验表明，对于矿石成分、矿质沉积条件、成矿过程在地质构造和岩浆作用发展史中的位置都显著不同的成矿建造，需要单独制定其预测-普查准则。С. С. Смирнов曾指出过，全面研究一定成矿建造的矿床和建立其形成的原则性的地质-成因模式，能使我们对其做出工业-经济评定。正是通过划分经济方面最有远景的主要成矿建造，才能拟定出各类矿物原料的主要工业-成因类型。

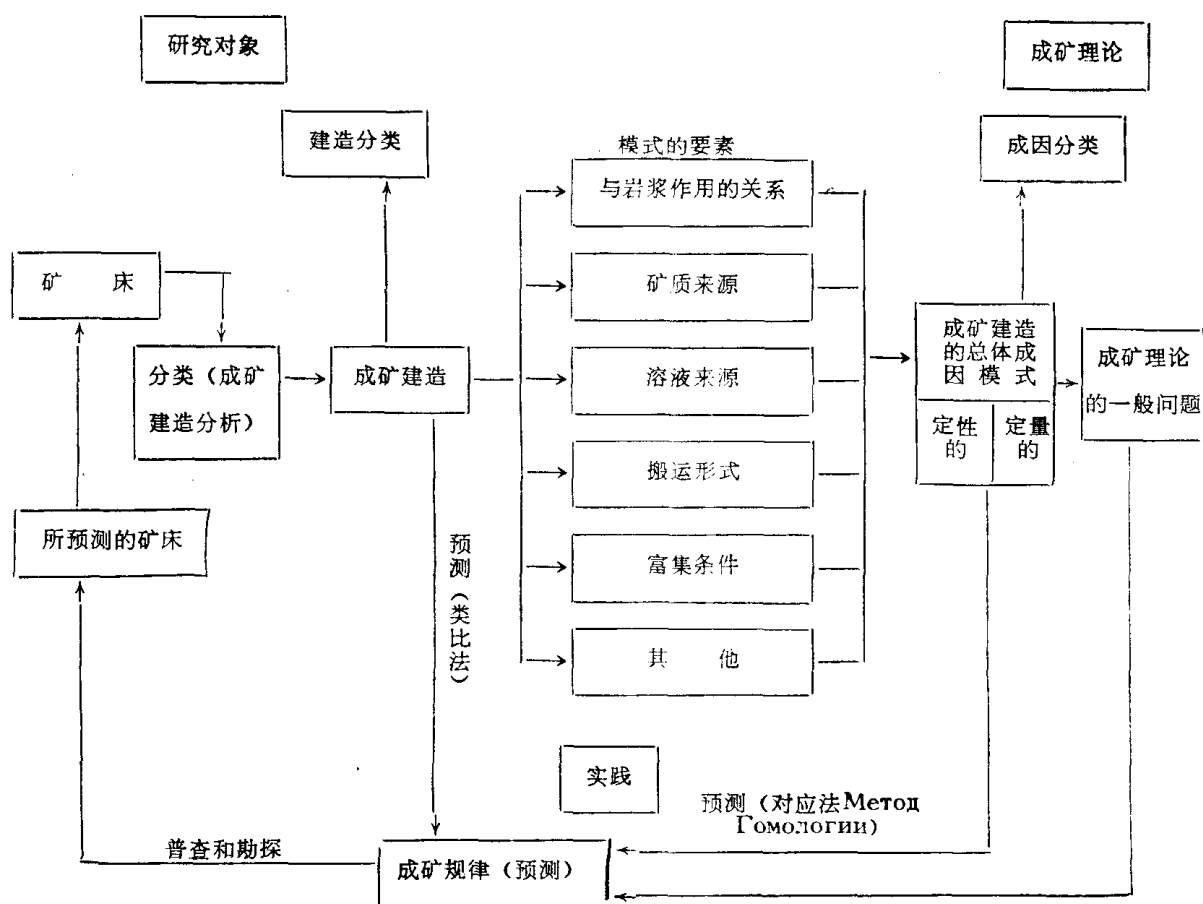
成矿建造包含了某一类矿床的最突出的共同特征，这些共同特征反映了该建造类型矿床形成过程和形成条件的主要规律。查明这些能以决定成矿建造的独立地位及其界线和保证成矿建造划分纯正的特征，是成矿建造分析的主要任务。成矿建造分析方法在考虑一些类别矿床的特殊性的情况下，不断地被完善和发展。

还有另外一些定义成矿建造的方法，比如说，把与一定岩浆建造或地质建造有成因或共生联系的矿床组合包括到这一概念之中。它们是由В. С. Кормилицын等和其他许多研究人员发展起来的。在这种情况下，在金属矿床成矿规律的分类中，成矿建造被赋予了更高一级的解释，相当于我们所理解的成矿组合，或者成矿建造的成因系列。对这个实质上属于分类和术语的问题已有专门文章进行过评论。

可以看出，近20年来，成矿建造分析和成矿建造概念已经牢固地进入金属矿床研究的理论和实践之中，并对成矿规律的理论基础和预测方法的发展产生了巨大的肯定的影响。

成矿建造的成因模式在认识和预测金属矿床系统中的地位如图解所示。综合我们的知识达到建立矿床成因模式的水平，是认识、发展成矿理论和矿床预测方法的合乎逻辑的必不可少的一环。为同一类型矿床（成矿建造）建立总体成因模式，能使预测方法从经验的和类比的途径转变为具有深刻科学成因因果根据的途径。

必须承认，现在还没有令人满意的金属矿床的分类。用模式方法去查明导致矿床形成诸因素的组合，使我们能够深入地研究金属矿床分类问题，并使成矿作用和成矿规律的许



成矿建造成因模式在金属矿床认识和预测系统中的地位

多共同的理论问题有了很大的发展。

总体地质-成因模式的结构

成因模式包括所有导致矿床形成的各种因素和过程的总和，其中有含矿流体和成矿物质的来源、它们向矿石沉积地带的搬运形式、矿石富集沉积的原因和条件。这些决定了总体模式的内部结构。局部模式的建立可能与涉及统一成矿作用的某些要素有关。为复杂成因的矿床建立统一成矿模式特别重要。

不可能为成因模式的建立提供一个尽善尽美的方法。解决这一问题有各种途径，过去的会议材料已很好地说明了这一点。在建立成矿建造的成因模式时，由于成矿建造的地质成因特点不同，起决定意义的要素可以是不同的：与壳内或地幔岩浆作用的成因关系和共生关系、含矿热液和成矿物质的来源及性质、矿石沉积的物理-化学条件以及现代水平的地质科学和相邻学科可以解决的其它方面的成因问题。它们也都是总体成因模式的要素。

作为实例，对于与岩浆作用有关的内生矿床，考虑到能以反映与岩浆作用的关系性质的总的成因特点，可以划分出几类矿床成因模式：与岩浆岩体有直接成因关系的、与岩浆产物有共生关系的、与岩浆作用有远缘共生关系的。

建立第一类成因模式，是和分析含矿岩浆作用的发生、发展和形成特点十分紧密相连

的。这种岩浆作用的表现性质，在许多方面能决定含矿流体和成矿物质的来源、它们的运移和富集形式、导矿和聚矿构造的发展和成矿作用的能量等。事实上，这类矿床成矿作用的全部动力，在某种情况下决定于含矿岩浆源的发展。在这种情况下，建立成矿建造的成因模式是以对巨大成矿岩浆系统的分析研究为基础的。

当矿化与岩浆作用的成因关系极为密切时，建立模式的决定性要素之一是岩石学方面，有时达到对岩石学的分析研究要求时，成因模式的建立也就完成了。许多正岩浆矿床和晚期岩浆矿床的地质-成因模式实质上就是这种模式。特别是当矿化富集在含矿侵入体内的情况下，为某些高温和早期岩浆期后类型的矿床所建立的模式，在一定程度上也归并于这一类。这里，与岩浆房内部的分异和熔离作用以及流体相的富集和分离作用有关的问题是重要的因素。通常，也要分析研究周围最近范围内的容矿介质的影响。

在有远缘共生关系的情况下，成矿作用的发展不仅取决于含矿岩浆作用的性质、岩浆的物理-化学特性和岩浆岩体的特点，而且也取决于围岩的成分和总的地质-地球化学和水动力情况。在满足含矿流体迁移和富集成矿沉淀要求的情况下，侵入岩体往往只起载热体的作用。热液的化学成分明显地取决于岩石以及赋存于其中并与它相互作用的渗流水的性质。建立这类矿床的地质-成因模式，预先要分析研究成矿作用的因果关系及其在岩浆作用发展过程中的地位（考虑到成矿岩浆系统各部分的发展在某一阶段可能有一定的独立性），评估出地幔和地壳组分在成矿过程中所起的作用，分析研究在至少有两类含矿流体和成矿物质来源的彼此复杂联系和相互依存条件下内生成矿作用的地质成因特点和物理-化学特点。

这样的地质-成因模式，特别能够说明与地槽外潜火山花岗岩类岩浆作用有关的铜-钼、钼-铀、某些金、铅、锌和稀有金属建造矿床形成时的成矿作用特点。尽管在这种情况下，在普查和预测-评价工作中（特别是详细预测阶段），含矿杂岩的岩浆产物也受到广泛的重视，但建立地质-成因模式时，与分析研究上述岩浆产物有关的问题仅仅占据比较有限的地位。研究由于深部含矿岩浆作用的发展而在那里产生含矿流体的过程，逐渐获得重要的影响，这正是此类矿床的特殊性。在矿石沉积部位，构造、岩性和水动力因素的作用明显增强，这些因素能对成矿系统的物理-化学状况作一定的，往往是很重要的调整。

在上述情况下，地壳各个块段的地质构造、岩性和岩浆特点，能够使成矿-岩浆系统的发展特性产生一定的差异，并在同一建造的矿床中出现一些不同的特点，因此在建造分析时，要用划分亚建造和矿物类型等方式把这种情况考虑进去。成矿过程发展的特点取决于构造圈的特性，这就注定了除建立成矿建造的总的地质-成因模式外，还要考虑成矿岩浆系统发展的区域性特点而建立具体模式的合理性。类似的处理原则，比如在本文集中的В. И. Сотников等人关于铜-钼建造的成因模式的文章中就有反映。

属于与岩浆作用有远缘共生关系的矿床，首先是低温热液（浅成热液）矿床。低温热液矿床成矿系统的成因模式包括产生热液的各个不同深度水平：地幔含金属流体的产生、它们向地壳上部的搬运、在运移道路上某些元素的活化、与不同类型地下水的混合。起主导作用的是上升的原生流体流，这种流体流是在地幔深处由于地幔部分熔融、去气和活化作用而产生的，而且导致带来必要的热量，保证了热液作用所需的能量。原生流体的成分决定于，能保证成矿元素有效溶解和大量迁移的各种矿化剂从熔浆中分离时的温压条件。各种金属与氯、氟、硫、氧和羟基的不同亲合力，决定了分离出来的流体具有不同的成矿专

属性。富含成矿组分的流体向地壳上部渗透，与围岩和聚集在围岩中的各种类型的渗流水相互作用，是决定低温矿床热液系统的形成条件、演化和成矿专属性特点的主要因素之一。

这种建立不同成矿建造低温热液矿床成因模式的方法，可见本专集А. А. Оболенский等人的文章。

复杂多成因矿床的模式属于独特的一类。这种矿床的成矿富集是由于成矿过程中不同性质的物理-化学系统顺序混合或叠加而形成的。热液-沉积成因矿床、沉积-变质成因矿床、同生-后生矿床等都是它们的实例。变质成因的矿床和一系列其他类别的矿床需要单独讨论。

定性模式和定量模式

由于研究程度不同，模式可以是定性的或定量的。定性模式确定系统的结构、形态和成分，并表明事件的顺序。已知的“成因模式”实质上就是成矿地质过程的定性模式。

定量模式是更深入地研究和揭示地质现象内在联系和相互关系的阶段，这种联系和关系可以是由经过热力学和物理学的相应定律论证的方程式组成和加以描述的。它们可以具有数值指标。建立定量模式这件事是最为复杂的。当谈到成矿作用的定量模式以及它们与各种假说、成因模式等的关系问题时，地质学家目前还有很多不清楚的地方。因此，简要地说明这个问题的要点是有益的。我们提醒注意，“模式”这个概念源于拉丁字“modus”，意思是度量、形象、方法。目前，在自然科学中模式可理解为，以便于接受的形式表示研究系统的某种状态或发展的一种结构或形象。

正确建立的地质作用模式，本质上应具有与实际现象相类似的结构。模拟工作恰恰就是用某种方法将该项研究中极为重要的现实地质事件反映出来。同时，模式应当是那样的简洁，使模式中只保留那些对所提任务是很重要的特征。换句话说，模式和地质现象是相似关系，而不是等同关系。因此，说“模式不能反映作用过程的全部复杂性……”一类的批评是不正确的。一个模式的优劣只能就其中所研究的现实地质系统的特性和关系来评定。

还必须规定“成因假说”、“成因模式”之间以及地质现象的定性和定量模式之间的关系。在分析有限数量的野外观察资料或实验数据时，根据某些类比和推测而得出的某种定性解释和预言乃是成因假说。这是现象的预想结构的某种“轮廓”，其中有一些地方用断线来描绘或者用盲区来表示，而在另一些地方则具有相对清楚的图像。建立在一定的物理思想或物理思想体系基础上的成因假说，能以某种方式与实际资料相吻合，相协调，但还不能定量地指出所研究体系中因果关系的“度”。

这种初级形式的观察研究组织工作乃是科学总结的必然的起始步骤。将系统中所出现的本质属性间的联系和关系作某种深化，并将系统中结构的薄弱环节作某些填补，就可以使成因假说上升到现象的定性模式这种级别。

因此，定性模式与假说的区别就在于，现象作为某一系统从其他众多的系统中被划分出来，它的内部结构和几何形状已被查明。在进行这种工作之后，即可以尝试定量地研究这一系统生存中的某些最重要的要素，或定量地描述它在地质空间和时间上的演化。根据不

平衡状态下物质和能量保存的热力学定律就可以做到这一点。

应当指出, 由于成矿系统的结构极其复杂和实验资料非常有限, 现在还没有能够成功地研究成矿作用各种实际现象的任何一种定量模式。目前只能对内生成矿系统的个别重要要素容易做到定量模拟。最近三十五年, 从定量研究成矿系统以来, 几乎所有内生成矿建造在这方面都取得了很多有价值 and 十分有益的结果。

多组分多相系统中成矿作用的热化学平衡模式是热液系统演化动态的描述和定性模式之间的过渡阶段。在这方面取得了十分重要的成就。在应用化学热力学仪器分析研究热液系统方面, 由于 H. C. Helgeson 等人 [1970] 的工作, 有了很大进展。在苏联这一领域中, 首先获得重大成果的是 И. К. Карпов。现在, 这种方法在地球化学家和矿山地质学家的工作中应用的越来越广泛。

因为, 成矿作用的定量分析研究应当建立于对系统的状态参数在空间和时间上变化情况的描述之上, 所以, 矿山地质人员和地球化学家在构建定量成因模式的第一阶段, 就必须查明成矿系统中温度和压力场演化的最普遍的特点。近三十年来, 只是在分析研究岩浆系统的温度动态方面获得了一定的成就, 而在鉴别压力变化方面则工作的极少。

由于苏联和国外研究人员的努力, 现已查明在区域变质作用、再生作用和接触变质作用的发展过程中地壳温度动态的基本特点。目前, 已经能够概略地指出变质成因金属矿床形成的温度条件以及成矿后侵入体对早先已形成矿床的热影响。

现已查明, 在热流体发生或不发生沸腾的条件下, 渗透到原来受热不均匀的岩石中的含矿流体流中 (无论是在地壳深部, 还是在地表附近) 热演化的基本特征。这就提供了在地壳范围内的各种深度条件下任何岩浆热液系统中的成矿系统的温度场的演化信息。

定量模拟热液系统温度场演化的基本问题, 可归结为相当详细地和逼真地描绘最主要成矿建造所具有的典型系统。

应当指出, 对岩浆结晶时的各种组分的再分配的定量描述方面也出现了令人鼓舞的前景。换句话说, 我们将有可能描述岩浆熔离、残余熔浆中成矿组分的聚集或熔浆退化沸腾的动态, 也就是将有可能描述与所谓岩浆矿床或晚期岩浆矿床形成有关的一整套现象。计算近似平衡的似共结和共结岩浆中热量传递和质量传递的移动边缘问题, 现在已经得以解决, 建立了这种熔浆的平衡结晶模式。

近十年来, 在论述热液系统中物质交换的动态方面也取得了一定的成就。В. С. Голубев 成功地赋予了 Д. С. Коржинский 提出的交代作用的定性模式以定量形式; 推定了当时 А. И. Перельман 曾定性评述的在地球化学障中矿石沉积动态的定量解释。利用这些解决办法, 使我们能够查明在活动的和不活动的化学障中矿石沉积的最显著的特点和地球化学晕的类型与地球化学作用运动学的关系。

从已完成的热液成矿系统中热交换和物质交换的动力学研究的评述中可以看出, 目前还只能做到定量地描述几何形态和内部结构简单的系统中它们的最普通的特征, 只能对定性成因模式作一些修正。但是, 当必须查明温度场、流体流动速度等局部变化时, 由于实验资料有限或电子计算机速度不够和存储性有限, 完成对它们的模拟或者十分复杂, 或者根本就做不到。值得注意的是, 在论述交代作用动力学方面只取得了有限的进展, 而对充填型矿脉中矿石沉积的动力学, 由于上述原因几乎没有作过定量研究。

详细研制成矿建造成因模式是成矿理论发展的进一步措施。建立成因模式能够更充分

地揭示成矿作用的本质，从而有助于修正和完善金属矿床已有的分类和分类方法，使之达到成因分类的要求。

对成因模式的决定性要素的分析研究，使我们能准确地确定成矿建造在成矿区和矿区的地质发展史中的地位，并结合对地质情况的考虑进行矿床预测。

(石准立 译 汪乾熙 校)

建立成矿建造地质-成因模式的一般原则

Д. В. Рундквист

对预测-成矿规律研究的完善，要求研制预测对象（矿体、矿床、矿区、构造-成矿带）形成的地质-成因模式。在预测-成矿规律研究时，地质-成因模式的意义在于，当模拟时控矿因素之间在不同地质条件下变化着的函数关系获得了思维反映。评估控矿因素和准则的重要程度是转向定量预测的一项基本要求。此外，建立反映被分析对象本性实质的成因模式，不仅使该种地质环境下已知金属元素工业富集类型的预测，而且使该地质环境下预测新的富集类型在理论上成为可能。

对于局部预测来说，研制成矿建造的地质-成因模式具有最重要的意义。此时，以整个成矿系统（从组分来源到组分的携出带）这种规模来探讨成矿作用过程、恢复成矿作用的化学机制和温压条件及其在时间和空间上的发展规律（分带性）是模拟的主要任务。

这个任务的复杂性和成矿建造的多样性，决定建立模式时必须考虑能以反映现已查明的某些矿化发育普遍规律的最主要原则。

1. 矿物、岩石、矿石形成的趋同原则 就是在不同的地质作用中有可能产生相似的，甚至是同一类型的产物。这一原则曾被А. Е. Ферсман[1937]作为Гесс热力学定律的结果而以最普通的形式表达出来。他把这个原则定为基本矿物学定律——“一定元素组合在一定的热力学环境中形成的矿物组合（相当共生组合、建造——Д. В. Рундквист）是一定的，而与其形成的成因方式无关”。在研制地质-成因模式时，我们会不断遇到由这一原则所引出的结果，其中最为重要的结果就是成矿建造的趋同性：成矿建造按不同成因方式形成的可能性。

有关成矿建造趋同性的第一个充分明确的概念，是在В. И. Смирнов[1960]的著作中针对黄铁矿型矿床提出来的。在В. А. Кузнецов的文章中[1972]着重指出了矽卡岩铁矿建造、铜-钼建造的趋同性，在П. А. Строна的书中[1978]强调了含金属的黑色页岩建造、菱铁矿-菱镁矿建造、层控铅-锌矿建造的趋同性。

铜-镍建造、磷灰石-磁铁矿-金云母建造和其他许多成矿建造矿床形成规律的研究，证明这些建造矿床是由不同地质环境中发生的不同作用的发展结果而产生的。

相应地，对这些成矿建造就必须既要研制反映形成它们的最重要基本条件的总体性模式，也要研制构造特点（脉状的、层控的、接触的等）、与地质建造的关系、形成深度等

方面有差别的各种不同建造类型(亚建造)的具体模式。我们将把最典型的一种成矿建造——铜-镍硫化物矿石建造的矿床形成问题作为实例加以讨论。

矿石成分属同一类型、分带性相似、都与以岩浆活动总的逆向性为特点的基性-超基性杂岩有关、普遍产在似裂谷构造中、沿深部结构截然不同的断块边界建造有不对称分布特点就决定了这一建造模式的共同特点。正如М. Н. Годлевский (1968)、А. П. Лихачев (1975)所指出的那样,在含矿超基性岩之前强烈的玄武岩类火山活动和镁铁质-超镁铁质岩浆房富集金属组分,是形成铜-镍矿石的重要因素。

此外,在铜-镍矿床主要结构特点相似时,由于熔离、变质和交代所起的作用不同,其成因可以是各种各样的。根据与地质建造关联的特点和矿床成因,苏联境内的铜-镍硫化物矿床曾经划分了几个建造类型(亚建造):мончегорск型、печенг型、аллареченск型、норильск型和курейск型。мончегорск矿床是成矿系统发育的典型侵入体型。Печенг和Норильск矿床是火山侵入型,对курейск型矿床来说,可以看出热液作用的意义最大,而变质作用对аллареченск型矿床的影响最大。

相应地各典型矿床的具体模式具有实质性的差别。我们以мончегорск和печенг矿床为例来讨论这些差别(图1)。

мончегорск矿床与巨大的成层的橄榄岩-辉石岩-苏长岩深成岩体有关,该岩体是在巨厚火山-沉积拗陷的底部在相当大的深度下形成的。相应地,这里的成矿系统可以被认为是相对封闭的,熔浆与围岩的相互作用率可以被认为是很小的。由此就产生了相对结晶分异、熔浆中达到极限溶解度的硫含量也很低(0.05—0.1%)、硅酸盐熔浆结晶过程中不只一次地出现规模有限的熔离。结果,这里在岩石结晶的两个主韵律层的底部形成了浸染状贫矿石(底部矿体和上部临界层),并在原生构造裂隙中产生了由残余硅酸盐硫化物矿石组成的规模相对不大的硫化物富矿石(见图1, а)。

печенг矿床是另一种方式形成的。该矿床和小的顺层辉长岩-异剥橄榄岩岩体有关,岩体产于早元古代巨厚沉积-火山杂岩(мончегорск矿床范围内,这套杂岩覆盖含矿侵入体)上部的凝灰-沉积岩层中。由于岩体规模不大、岩体外形和与水饱和而富含硫的沉积物接触的面积率大、形成深度小决定结晶分异的作用不大,由于硫过饱和,在初始发育阶段(硅酸盐结晶之前)在底部形成硫化物熔浆,并且作为这一切的作用结果,就在围岩的剥离孔洞中,沿超基性岩的接触面、部分在交错裂隙中形成硫化物富矿石(图1, б)。

结果,мончегорск和печенг型矿床,似乎构成了一个由同一类型原始熔浆随其形成深度和周围介质影响不同按不同方式而成的统一铜-镍矿床系列。这一系列还可以补充以一些端元类型:对纯侵入深成型的是布什维尔德型矿床(南非),对溢流火山成因型则为камбалд型矿床(澳大利亚)。

正像作者想像的那样,所有上述情况证明,在研究各种成矿建造矿床的形成条件和分布规律的现阶段,必须考虑建造的趋同性,划分具体的建造类型(亚建造)、为各个具体建造类型制定地质-成因模式和预测准则。此时,查明其成分、结构和构造取决于控矿因素(岩浆的、岩性的、地层的、构造的等)而出现的一系列规律性变化具有特殊的意义,因为这些规律性变化归根结底能够使我们预见现实条件下成矿建造可能表现的所有形式。

2. 矿化发展的继承性原则 这个原则在预测-成矿规律研究中的意义,近年来在文献中不只一次地作过讨论。这一原则决定了不同纪(许多情况下甚至为世)的矿化作用在同一

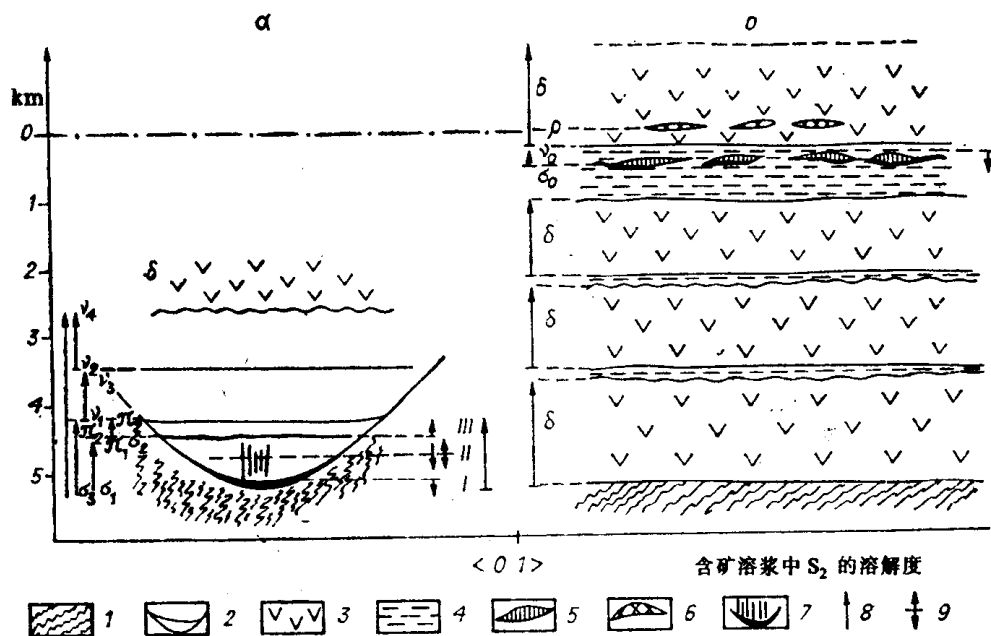


图 1 铜-镍硫化物矿化在地壳剖面中的分布示意图 (a—мончегорск型, б—печенг型)
 1—基底片麻岩; 2—分层的橄榄岩-辉石岩-苏长岩侵入体; 3—辉绿岩; 4—凝灰质沉积岩; 5—辉长岩-异剥橄榄岩侵入体; 6—苦橄岩; 7—矿体; 8—结晶作用的发展方向和岩石成分演化范围; 9—矿体的分带性。箭头表示Cu/Ni比值增大的方向。 σ_0 —异剥橄榄岩; σ_1, σ_2 —斜辉橄榄岩, σ_3 —斜岩斜辉橄榄岩, π_1 —辉石岩, π_2 —斜长辉石岩, ν_0 —碱性辉长岩, ν_1 —暗色苏长岩, ν_2 —苏长岩, ν_3 —辉长苏长岩、辉长岩, ν_4 —辉长斜长岩, δ —辉绿岩。I—III—矿体形成的顺序 (I—底部矿层, II—脉状矿体, III—上部矿层)

地质构造(带、矿田、矿床、矿体)中共存的特点,也决定了在时间上依次更替的各种类型含矿岩石、细脉、脉,在成分方面有规律的继承性。

对有关矿床形成过程的地质年代研究的大量资料进行对比时,查明矿床和矿田范围内矿化发育的持续时间变动范围很大:从几十万、几百万到几千万甚至几亿年。同时,查明前寒武纪的矿床变动范围最大(达几亿年),新生代的矿床变动范围最小(几百万—几千万年)。这种差别不能只用研究时代越老的矿床时其测定误差越大的说法来解释,从一方面来说反映了地质作用在时间上的加速(加速作用),这种加速作用在其他地质观察中也被查明,而从另一方面来说,则是原先已形成的矿石和岩石在以后的地质作用过程中多次受到变形和改造的结果。

地质年代测定也证明了矿床脉动式发育的结论。同时,在所有的场合,矿床发育的持续时间都是有明显时间间断的大量脉动成矿作用出现的结果。每次脉动成矿的持续时间一般都非常之短,都在年代测定误差范围之内。换句话说,关于矿化发育持续时间的观念首先说明成矿作用过程中成矿间断时间的持续性,也说明在同一地段范围内矿化作用发育有多次重复。同时,不同时期的矿化产物具有共同的统一发展方向,甚至其成矿期的时间间隔达几千万年,就连几亿年时也是如此。不论是苏联还是国外都发表了碳酸岩矿床、伟晶岩矿床、各种成分的矽卡岩矿床、稀有金属(Sn-W, W-Mo)云英岩矿床、电气石-绿泥石锡矿床和锡石硫化物矿床、铀-钴-镍矿床,脉状多金属矿床和许多其他类型矿床的有关这方面的资料。并且,正如В. И. Смирнов[1970]正确强调的那样,以有色金属层控矿床为例,其早期共生组合可以是褶皱前的条件下形成的同生产物,而其晚期共生组合则是褶皱

后条件下的后生产物。因此，在研制矿床形成模式时，应当研究成矿系统在整个矿化时间范围内的动态发展。

继承性（矿化赋存在同一构造中和明显属于不同成矿期的矿石在成分上的继承性）的普遍存在，决定了“热点”说的出现；所谓热点就是深部长期活动的热异常，在这些热异常之上，在漫长的地质时期存在着有利于有效成矿的条件〔Рундквист, 1980〕。但是，一些热点和已查明的热点分布“规律性”（线性构造的交点、花岗岩和片麻岩“岩穹”等）对于理解继承性原则是不够的。继承性要求不同时期矿化的共存不仅是在平面上的，而且也是剖面上的，即在一定垂向范围内共存。这又决定了作为继承性出现的一种条件或者块断具有相对长期的构造稳定性，或者多次把一个地段“引入”最有利的成矿“层位”。

3. 矿化在不同空间和时间范围内发育的相似性原则 一般情况下，这一原则决定了矿化形成过程中共同的方向性和不同规模（矿体、矿床、矿田、矿带）分带表现的相似性。相似性原则是总的地球发生发展规律和矿物产物形成时的空间-时间相互关系一致性定律的部分性结果（广泛应用于地层学、岩石学和地质建造的 Вальтер-Головкинский 定律）。这一重要成因原理的各个方面，已由许多学者讨论过。

在研制成矿建造模式时，地球发生规律在以下几方面得到反映：第一，在矿化阶段、矿化期和成矿期的过程内，矿物、共生组合（岩石、矿石）、成矿建造的形成顺序一般情况下是单向和相似的。第二，在每一个较晚的产物中，演化系列的初始矿物和共生组合越来越减少直到完全消失，而最终的矿物和共生组合则得到越来越充分的发展。同时，矿物及其共生组合在时间上的发展顺序，通常反映它们在空间上的分布规律（分带性）。按矿化在空间和时间上的更替方向，按分带向量的方向，在建立模式时必须划分出具前进和后退分带的矿床，具正向和逆向分带的矿床，具向心和离心分带的矿床〔Рундквист, Неженский, 1975〕。

一般情况下，在建立矿田和矿床形成模式时，相似性原则使我们有可能广泛利用由研究个别矿体、矿脉、细脉、交代岩形成特点时所获得的成因结论。大家知道，在许多场合正是由于这一情况，个别矿块、矿石标本似乎小型地“模拟”了整个矿体、矿床的结构，提供了矿物共生组合所特有的时空关系的概念。

4. Кюри-Шафрановский 对称原则 通用的居理对称原则是居理于1908年针对所有物理现象（电场、磁场）以下列形式而提出来的：“某些现象的特征性对称就是可以与现象的存在相容的最大对称”。后来，Н. И. Шафрановский (1964) 针对所有地质产物的发展，对这一原则作了详细规定和修正。为了研究模拟理论，可以从重力向量对形成中的地质体的结构和对称具有决定性影响的原理中得出重要的结果。按照这一原理，矿床和矿体的结构在垂向上一般应当总是不对称的，单方向的，而在水平方向上则应具有两侧对称或中心对称的特点，考虑对应因素和相似因素，在很多情况下这种对称是可以转化的。

铁、铜、多金属、铀-钼和其它同生层控矿床（喷气-沉积矿床、热液矿床）和与岩石层理整合的后生金属矿床的分带，以及赋存在分层侵入杂岩中的铬铁矿、铂、铜-镍矿床的分带是非对称单向垂直分带的明显实例。

区域性分布的交代岩带：次生石英岩、青盘岩、云英岩、长石类岩石具有类似的单向垂直分带和表现不太明显的水平分带。所有那些表现为对称的“套状”垂直分带的矿床，或者相反，矿体延深很大而缺乏垂向分带的矿床，从这种角度出发，都值得特别注意，因

为这两种情况都不符合居里对称原则。

在研究很多硅酸盐-锡石建造和硫化物-锡石建造、钨-钼云英岩和其他建造所描述的套状分带时，在矿床的上部层位和下部层位，的确发现有碱性交代阶段的硫化物和铝硅酸盐发育的对称性，此时矿床中部硫化物数量少而广泛分布以石英为主的、石英-电气石的、石英-黄玉的、石英-萤石的酸性共生组合。此外，在详细对比矿床上部层位和下部层位中交代岩脉、细脉的成分特点时，总能查出一些差别，这些差别最清楚地表现在非金属矿物共生组合和金属矿物的微量元素成分上。

作为实例，我们举出发育于母花岗岩体内外接触带中的脉状云英岩体形成的示意性模式（图2）。脉状云英岩体在上部和下部层位的发育动态，在许多特征上（温度场的特点、溶液流动方向等，见图2a）是完全相反的，这就导致除形成两侧水平对称分带以外还形成不对称垂直分带。这时，重要的是强调各带界线的根本区别：在水平方向（或垂直厚度）上各带界线截然而清晰，而在垂直方向上，各带之间的界线不清楚（图2b中的界线是假定的），这时，确定出交代岩内带、过渡带和外带成分的依次定向的“相”变。

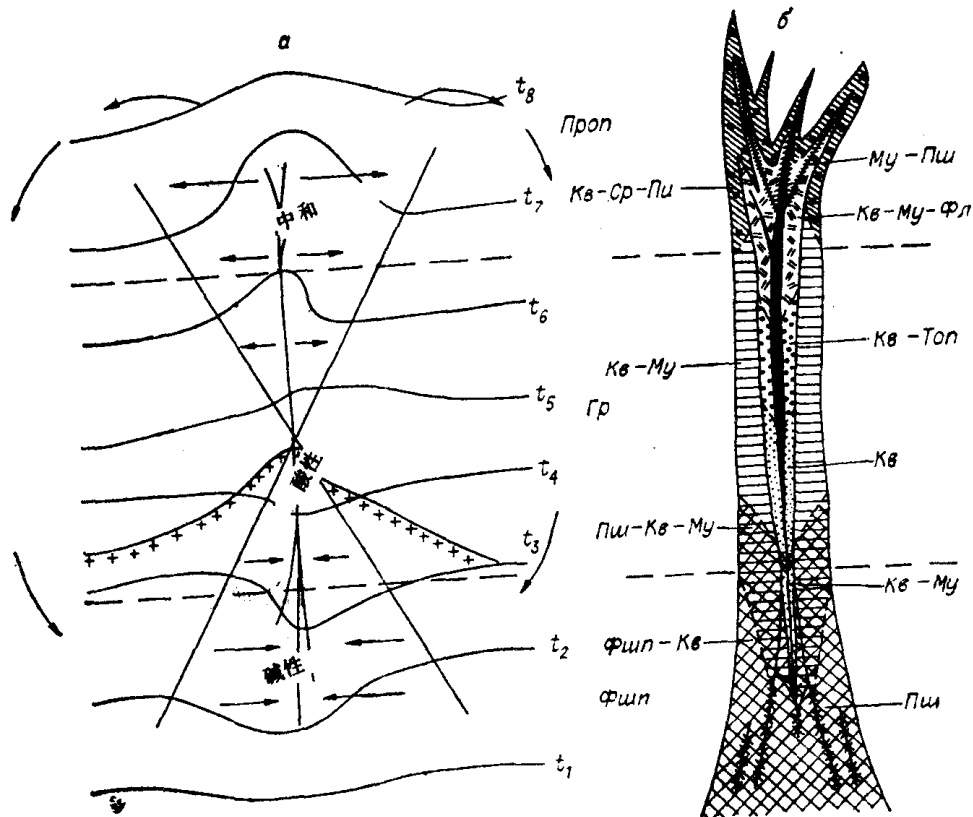


图2 花岗岩侵入体内外接触带中脉状云英岩体的形成模式

a—成矿溶液流动的对称性和方向原理示意图；б—云英岩的最终分带。 $t_1 \sim t_8$ —等地温线。分带：Фшп—长石化带，Гр—云英岩化带，Проп—青盘岩化带，Фл—萤石带，Пш—长石带，Му—白云母带，Кв—石英带，Пи—黄铁矿带，Ср—绢云母带，Топ—黄玉带

对那些被认为垂直分带不特征或未显示出来的矿床，值得进行专门补充研究和检查。在矿化形成时，重力的存在是不可避免的，从理论上讲，在任何情况下都应造成上部层位和下部层位的矿体在矿化、构造、结构上有差别。

在这方面，高加索Квайсинск多金属矿床的研究经验很有代表性。以前曾经认为，该矿床中沿倾向延伸超过800m的陡倾脉体中未出现垂直分带。Х. А. Тедиашвили (1975—