

地质科技资料选编 (一二一)

矿床模式专辑

地质矿产部情报研究所

一九八八年七月

前言

矿床模式是近年发展起来的预测和找矿新理论,它从成因上阐明矿床特征及形成机制,将其共同点和具有代表性的若干标志综合起来,建立起各类矿床模式,用来指导找矿。本专辑是从近年来国外发表的有关矿床模式的文章中,挑选具有代表性的论文,供预测找矿工作者和有关理论研究者参考;较有系统地阐述关于各类金属矿床的模式、实例,包括金、铜、铅、锌、铀和铬等,并作了理论上的探讨,对目前我国找矿工作有一定的指导意义,通过近年来我国找矿工作实践证明,模式找矿势在必行。因此,本专辑是从实际工作和理论研究的地质工作者的有力助手。

本专辑共选收了24篇论文,可以分两个部分:第一部分14篇,较详细地介绍了矿床模式的理论和概念、分类原则及若干典型实例,以及在世界上一部分地区的应用情况;第二部分是从《加拿大地质科学》杂志连载的《矿床模式讲座》中收集了十讲,详细地介绍了各类矿床的模式,供具体对比使用。

本专辑由夏之秋负责编辑,图件由赵秀兰等绘制,所载论文主要取自本所编辑出版的《国外地质科技》。编辑中存在的缺点和问题,欢迎读者批评指正。

矿产室1988.4.

目 录

1. 矿床模式导论.....	(1)
2. 建立矿石建造地质-成因模式的一般原则.....	(10)
3. 矿石建造的地质-成因模式.....	(19)
4. 地壳典型构造的含矿建造与矿石建造.....	(25)
5. 建立内生成矿模式的重要因素.....	(35)
6. 矿床模型.....	(38)
7. 有色金属和贵金属矿床建造的分类原则.....	(51)
8. 金属矿床统一成因模式的一些地球化学问题.....	(58)
9. 布什维尔德和斯提尔沃特杂岩体中富铂硫化物层的成因模式.....	(61)
10. 斑岩铜矿床模式的演变.....	(89)
11. 波丘潘金矿区——在太古界找金的一个模式.....	(97)
12. 浅成热液贵金属矿床的概念模式.....	(103)
13. 北美西南部与火山环境有关的贵金属矿床.....	(116)
14. 金银矿化分布的地质环境模式是大比例尺预测基础.....	(126)
15. 矿床模式讲座.....	(132)
(一) 斑岩铜矿.....	(132)
(二) 某些铀矿床的成因	
第一部分: 综述.....	(145)
(三) 某些铀矿床的成因	
第二部分: 砂岩型和炭质泥岩型铀矿床模式.....	(154)
(四) 沉积型层状矿床的某些模式和新的分类.....	(160)
(五) 亲花岗岩矿床模式.....	(170)
(六) 密西西比河谷型铅——锌矿.....	(180)
(七) 岩浆分凝铬铁矿矿床.....	(192)
(八) 火山成因块状硫化物矿床.....	(205)
(九) 浸染型金矿床.....	(215)
(十) 加拿大科迪勒拉的浅成热液金银矿床模式.....	(228)

矿床模式导论

J.W.巴布科克

前言

矿床模式是任何勘查计划的关键。地质人员找矿时，首先要力求了解已知矿床的成因。在对一个矿点进行勘察和评价时，已知矿体的正确勘查模式可以帮助勘查人员将注意力集中于靶区的关键性地质特征上。

勘查模式可以节省勘查资金，否则就会将资金花费在收集对圈定矿床不重要的一些资料上。本文讲的是使用模式的收益，建立模式时所要考虑的因素和新近模式是怎样演化而成的例子。

随着采矿工业竞争的加剧，新的勘查理论和勘查方法取得了进展。新方法能够给勘探队带来微弱的优势，导致矿床的发现。矿山地质人员则可以用新的成因理论找到以前没有意料到的矿床延伸部分。当把所有合适的方法都用于勘查和采矿工作时，就可以收到更大的效益和更高的利润。

五十年代以前，科学家就已经对矿床和成因和其它自然现象做过研究。他们把其研究成果当成是万能的和最终的，虽然这些研究结果只适用于少数几个矿床。因为没能为区分成因作用提供足够的准则，所以以W.林格仑为首的热液论者和非热液论者之间的大论战对矿产勘查帮助不大。

有关单个矿床的重要信息，比如容矿岩石和矿化的时代，成矿流体的成分，以及共生序列中矿化事件和非矿化事件的区别等等，用老一套设备和方法无法得到。

不过矿床成因的这些早期理论中包含着很好的经验性的东西，这可能是这些理论中最有用的部分。多年来，找矿人运用直接观察和他们的集体经验智慧——经验模式，找到了世界上的大多数矿床。在比较明显的地表矿床已被发现之后，地质人员的作用变得日趋重要。欧洲和北美洲已经到了这种时刻。

由于地质年代学、地球化学、地球物理学、遥感和计算机方面在五十年代引进了尖端设备和相应的方法，因此以前的许多不明确的成因问题可以得到解决。这种高度技术性资料的增多，使人们建立了许多完善的成因模式。

为什么要使用模式？

地质学有史以来一直是用类比法来了解地球的历史。类比就是模式。J.赫顿的经典地质原理——现在是过去的一把钥匙——就是一种类比法，是地质学的拱顶石。

模式能为地质类比或地质研究提供思路。它具有预测性，是我们将勘查工作布置在有利地段的重要指南。模式可以帮助我们解释构造资料，把重点放在区分成矿和非成矿作用的方

法上。

地质人员解决问题的步骤是可以改进的。通过建立模式，可以简化有关单个矿床的大量资料。这样，地质人员就可以对该矿床进行归类，吸收重要的成因信息。模式可以概括复杂现象。

虽然矿床模式只是勘查方法中的一个组成部分，提供的东西不多，但这是令人感兴趣的一个组成部分。建立和使用矿床模式的好处在于：

- (1) 能把重点放在勘查目标和勘查靶区上；
- (2) 能提出需要回答的关于不同类型矿床的构造问题；
- (3) 能提供有关成矿作用的资料，随时可以进行修改；
- (4) 能鼓励与建立模式的人员交流思想。

模式的另一个优点是会给公司带来好处。矿床模式可以大大加深公司领导对项目目标的了解。如果在矿床模式上附上项目的扼要描述，公司领导就会对该项目有透彻的了解。从而对所冒的风险就会感到更有把握。一个表示得很好的模式也可以表示出勘查的判定点，规定地质人员的责任。

并非所有的模式对于矿产勘查地质人员都有直接用处。有些理论本身不是用来找矿的。模拟地幔和地壳的板块构造及其全球性质就是一例。地球在其存在的大部分时间里都经历过板块构造的建设性作用和破坏性作用。其结果留下了复杂的全球性痕迹。但是了解板块构造有助于建立区域性成矿环境。

正象勘查计划中的所有组成部分一样，建立模式只不过是一种手段。而且也不是人人都认为它是一种有用的手段。J.D.里奇(1983)指出：“为了寻找更多的矿床或者开采那些已经发现了的矿床，并不是非要了解矿床的成因不可”。

本文作者认为这种论点是片面的，因为它不主张把凡是可用的资料都用来发展勘查计划。成因模式对勘查工作确实是有帮助的。至于模式被用得好坏，那要看勘查领导人的选择。伍德(1984)认为利用模式是西部采矿公司成功地完成澳大利亚勘查计划的一个重要组成部分。

人 工 智 能

利用地球化学和地球物理学新方法提供的大量资料，使地质人员不用计算机就不可能得到指导勘查工作所需要的信息。一般来说，计算机是通过文献检索，编排多元素地球化学成果，处理地球物理成果和进行地质统计检验来提供帮助的。

计算机的另一个用途是利用人工智能，即由专家编出关键判定程序，用户可以提供数据和最小制导。

人工智能是认识性科学的一个分支。处理信息是智能行为的中心，而利用语言和计算机科学则是关键。“计算机科学和人工智能的发展，使人变成一部处理信息的机器”，尽管按照美国国家科学院(1983)的观点，这是一部特殊的机器。

专家系统——显示专家水平性能的计算机程序——的发展建立在代表基本知识的一系列“如果则”的基础之上。在发展专家系统时，计算机科学家要与勘查地质人员密切合作建立

模式。

斯坦福国际研究所人工智能中心利用美国地质调查所和国家科学基金会的资金建立了探矿者系统。只要能对模式不断进行修订,那么这种专家系统是大有可为的。

1984年7月根据阿马克斯国际镍业公司所属的华盛顿州东部托尔曼山辉钼矿矿床的资料使用了这种探矿者系统。它成功地预测出该矿床以前不知道的延伸部分。这个矿床最初是熊溪采矿公司的勘查人员在六十年代中期发现的。可以不夸张地说,探矿者系统和其它人工智能模拟程序会对未来的矿产勘查产生重大影响。

这种影响将体现在对勘查人员的训练和帮助下,因为探矿者系统和其它专家系统是模仿,是识别信号的,而不是理解信号的。如果所设计的程序不完善,那么答案就可能是不正确的,而该系统不会显示出任何问题。专家系统遵循的是法则,这些法则常常假定过程和响应之间存在一致的关系,但并非是如此。

人的思想能够在互相矛盾的数据中进行折衷。计算机则不能作到这点。知道专家系统中存储着哪类信息是很重要的,只有这样,用户才能对结果的可靠程度作出判断。专家系统象其它非计算机用的模式一样,可以帮助勘查人员使其他勘查人员相信地质靶区的生命力,因为专家系统能显示出这种靶区曾成功地通过了再一次的筛选。

从专家系统如探矿者系统中得到的一个主要好处是它能以固定的公式形式保存和记录各个专家对矿床成因和勘查管理的意见。以后,这种知识“库”对于比较不同专家的成就、记录勘查方法和发展史、进而推动勘查成就都将是有价值的。

建立勘查模式

建立勘查模式的步骤是先建立经验模式,再将其演变成成因模式。用来评价成因模式的

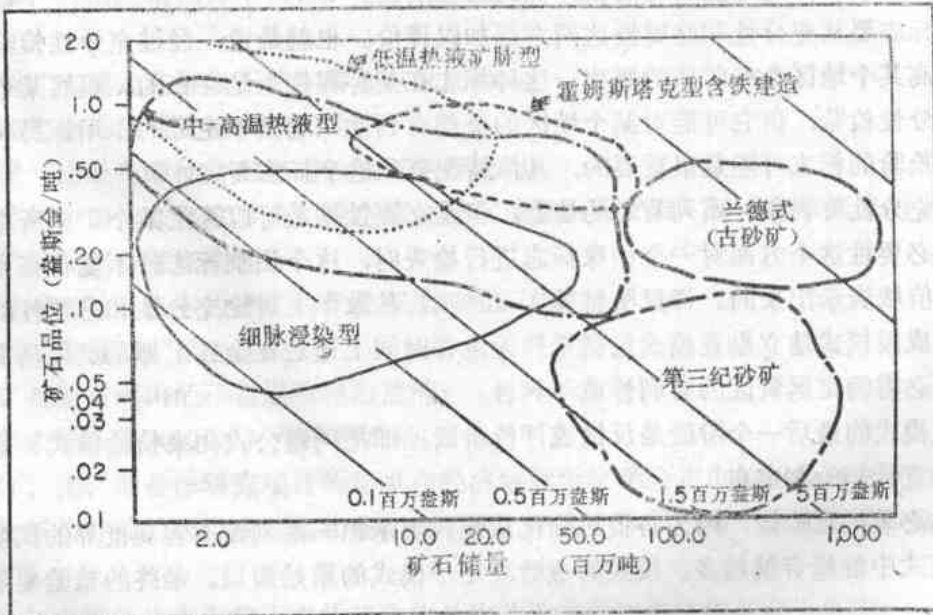


图 1 表示主要金矿床类型的品位-储量图解

识别标志也因能演变成导致矿床发现的效能价格最可取的识别标志。

首先要选择矿种或混合矿种。这通常不是地质人员的责任。地质人员可能被要求去找可提取贵重副产品的矿石类型。利用矿种分类表和文献，就可以确定该矿种的一般矿石类型。布罗布斯特和普拉特（1973）主编的《美国矿产资源》一书起了一个很好的带头作用。

所选择的矿石类型要符合公司的意图，其中包括总收入、年产量、现金流通、低成本的开采方法或露天开采作业。预定的矿石类型模式通常是以矿床原型或分类组为基础的。这方面的例子包括密西西比谷型铅锌矿床，斑岩型铜矿床，热泉型金矿床，沉积喷气型、火山成因型块状硫化物矿床，黑矿，卡林浸染型金矿，墨西哥型锡矿床，含铁层型金矿床，砂金矿床，以及含金刚石的金伯利岩和钾镁煌斑岩。

文献检索继续用来编译有关已选定的矿石类型、矿山以及被看作属于该矿石类型的矿点的经验性信息和资料。对于难以分类的矿床，可以得出有关这类矿床成因的重要信息。

随着这种编译过程的进展，地质人员就可以着手绘制象图1所示的那样的品位-储量曲线（但是要加上有关各个矿床的更多细节）。

下一步是过程的确定。在这个阶段，要选定地质过程，具体说明形成矿床各个部分的各种活动。这些过程能预测响应。形成矿床所需要的过程总和，叫做过程模式。

这些过程是推测的，而响应（岩石组合）则是实在的，可以加以分析。过程-响应模式就是因果模式。在这个阶段，需要选定过程来解释借以导出成因解释——成因模式——的响应模式。建立模拟过程流程图是一个便利的起点。

成因模式能预测预定的矿床的一组识别标志。按照亚当斯和索西尔（1981）的用法，“识别标志”这个术语指的是由一般到特殊的地质特征。亚当斯和索西尔指出。识别标志只是个指南，其选择和应用包含很大的主观性。

在建立勘查模式时，要从十分肯定和否定之间的成因模式中选择识别标志。收集资料是要花钱的，有效的勘查可使所花的钱降低到最低限度。

识别标志要从充分性和必要性这两方面加以评价。也就是说，经过充分性检验的识别标志可以提高某个地区含有矿床的概率；这种标志在某种程度上是存在的。虽然某个识别标志经过了充分性检验，但它可能对某个地区的全部有利性只起微不足道的作用。另一方面，通过充分性检验的标志可能是很重要的，具体情况要依这个标志而定。

虽然充分性可表示一系列肯定的信息，但是必要性则是可以否定某个矿床所有概率的检验。当从必要性这个方面对一个识别标志进行检查时，这个识别标志就不复存在了。必要性是由一个值域表示出来的。详见哈特等人（1978）从数学上讨论充分性和必要性的论文。

根据成因模式建立勘查模式包括选择无论在时间上还是在金钱上都是最经济的识别标志。它也必需确定远景区的有利性或不利性。

建立模式的最后一个阶段是反馈或评价阶段，即把问题公式化来检验模式。这些问题可以作为勘查计划的判定点。

模式必须经过验证，因为将资料简化成模式要承担一系列歪曲客观世界的风险，资料越简单，模式中的噪音就越多。模式的成败决定于模式的原始假设。最终的检验要看它是否可行。

经验模式、成因模式和勘查模式要继续演变，因为它们都要经受勘查和新发现的检验。

下面关于各个模式的讨论着重说明这些模式是怎样演变的或需要如何演变。

黑矿模式

黑矿型 (Kuroko type) 矿床是海底喷气成因的火山块状硫化物矿床。黑矿这个术语意思是日本的黑色矿石，指的是由闪锌矿、方铅矿、重晶石以及少量黄铁矿和黄铜矿组成的致密混合物。黑矿下面是黄矿 (oko)。黄矿由黄铜矿和黄铁矿组成。图2表示的是一个未变形的矿体的典型分带型式。

在五十年代中期建立火山成因模式时，块状硫化物矿床很受重视。这是以普遍应用航空磁力仪为开端的地球物理勘查取得成功的结果。大量磁异常的存在使地质人员发展成本合理的快速评价磁异常的方法。有关新发现的块状硫化物矿床的地质资料的积累逐渐发展成火山成因模式。

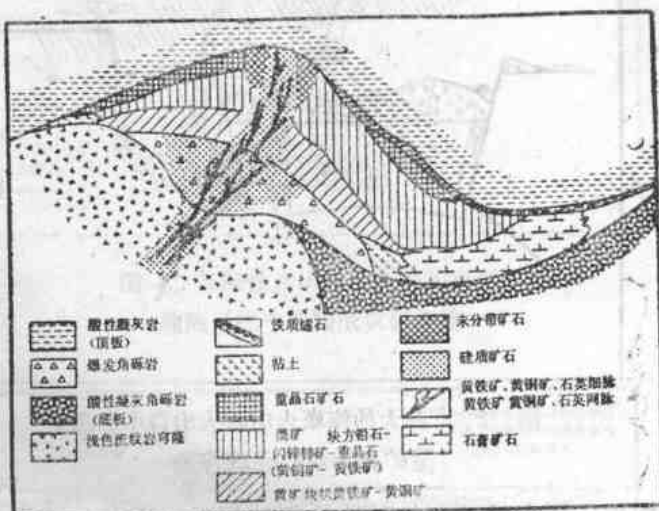


图 2 典型黑矿型矿床的横剖面图

人们的主要注意力集中在加拿大的块状硫化物矿床。日本的黑矿型矿床不那么好让人了解，因为有关文献多是用日文写的。

六十年代期间，这种情况发生了缓慢的变化。黑矿型矿床模式被作为火山成因矿床的亚型提出来了。目前，根据日本-美国-加拿大研究项目所取得的结果，黑矿型矿床模式正在发生演化。

黑矿型矿床模式具有以下基本特征 (见图2)：

1. 硫化物是从喷气柱中沉积的；
2. 喷气柱是在酸性火山穹窿的喷口中形成的；
3. 矿化作用是在穹窿形成和浅色流纹岩 (蚀变的英安岩) 侵入到海底之后发生的；
4. 矿石沉积在海底高地上；
5. 时间有限，日本的黑矿的年龄都是13百万年；
6. 形成温度250°C左右；
7. 矿石是在火山活动衰退阶段形成的；
8. 矿床是在浅 (500米) 海中形成的。

上述日、美、加合作研究项目的结果在经济地质学家学会主办的《经济地质》专辑(五)的“黑矿及与其有关的火山成因块状硫化物矿床”一文中作了报道。现在认为该模式的特征是：

1. 最初由喷气柱中沉淀下来的硫化物是作为碎屑和崩滑块体保存下来的；
2. 喷气柱与酸性岩浆没有直接关系；

3. 矿石是在海底低地上沉积的；

4. 矿石是在形成初始破火山口的喷发之后、火山作用复活之前在海底破火山口内部沉积的（图3）；

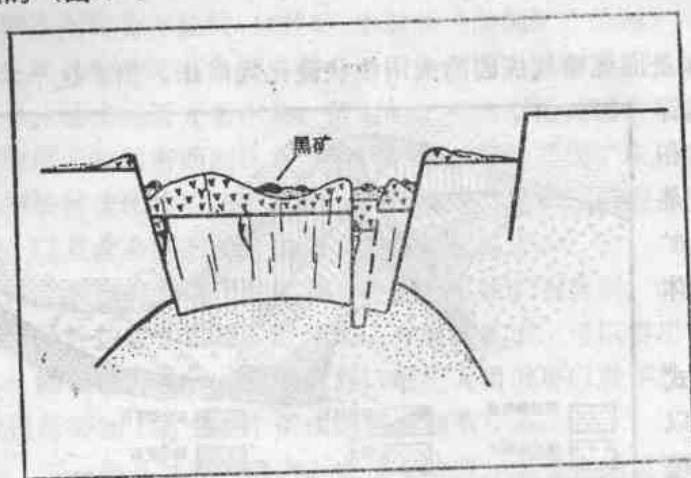


图 3 产在大的海底火山破火山口中的黑矿型矿床的新的区域背景

5. 矿床没有时间限制；

6. 硫化物是在热力使热液活动加强的阶段沉淀的；

7. 黄矿不是原生的，而是黑矿转变的产物；

8. 金属主要是从围岩中淋滤出来的；

9. 碎屑状矿石是软沉积物变形造成的，而软沉积物变形又是晚期酸性火山穹窿侵入造成的；

10. 矿床产在深（大约3.5公里）海水中。

从这两个模式来看，有关黑矿

型矿床各点的差别的对比是很明显的。因此，找黑矿型矿床的勘查方法，将统统有所变化。

海底破火山口的重要性强调必须在区域范围内对火山地层和火山构造进行填图和编图，这样才能鉴别破火山口。海底破火山口的发育很重要，因为它在强烈断裂的岩层的交汇处形成局部洼地。

从更小范围上看，具同位素分带的氧的研究、矿物学研究，以及包括矿物中的铁和镁在内的各种化学元素比值的研究，可以揭示出距矿床1~1.5公里的底板蚀变作用。氧、硫、锶和铅同位素晕甚至可以延伸得更远。

在矿区内了解变形型式可以帮助找到新的矿床。以前只注意到一些变形，而现在变形已成为矿床的一个不可分割的部分。

热泉型金矿床模式

昂贵的金价使人们把精力集中在低温热液贵金属矿床的研究上。美国国内对替代能源的兴趣加大了地热系统研究的投资和兴趣。这种新增的兴趣以及科学家在监视新西兰活动地热系统中作出的不懈努力，有助于人们了解浅部热液系统。

热泉型贵金属系统是包括卡林型交代矿床和闸堂式脉型矿床在内的一系列低温矿床的古地表表现。怀特（1955）提醒人们注意浅部低温热液矿床和活热泉的关系。图4表示的是热泉型金矿床的一个横剖面，表明矿化出现在酸性火山地区的地热环境中。关于单个热泉环境的更详细的情况如图5所示。

地表和近地表的热泉环境是个复杂的成矿区。在为这种环境建立模式时，勘查人员必须考虑以下控制因素：

1. 非常陡的温度梯度；

-

金伯利岩模式

这个模式大体上是根据以下观测结果建立的：（1）金刚石产在喷出的火山角砾岩——称为金伯利岩——中；（2）金伯利岩呈岩墙和岩筒（火山成因角砾岩筒）产出；（3）含金刚石的金伯利岩只产在太古代（大于25亿年）克拉通中；（4）最佳勘查方法是运用指示矿物。

根据上述观测结果, 金刚石勘查工作主要集中在含金刚石的金伯利岩上。但这种作法出现了问题, 就是产在其它岩石类型中的大金刚石矿床被漏掉了。

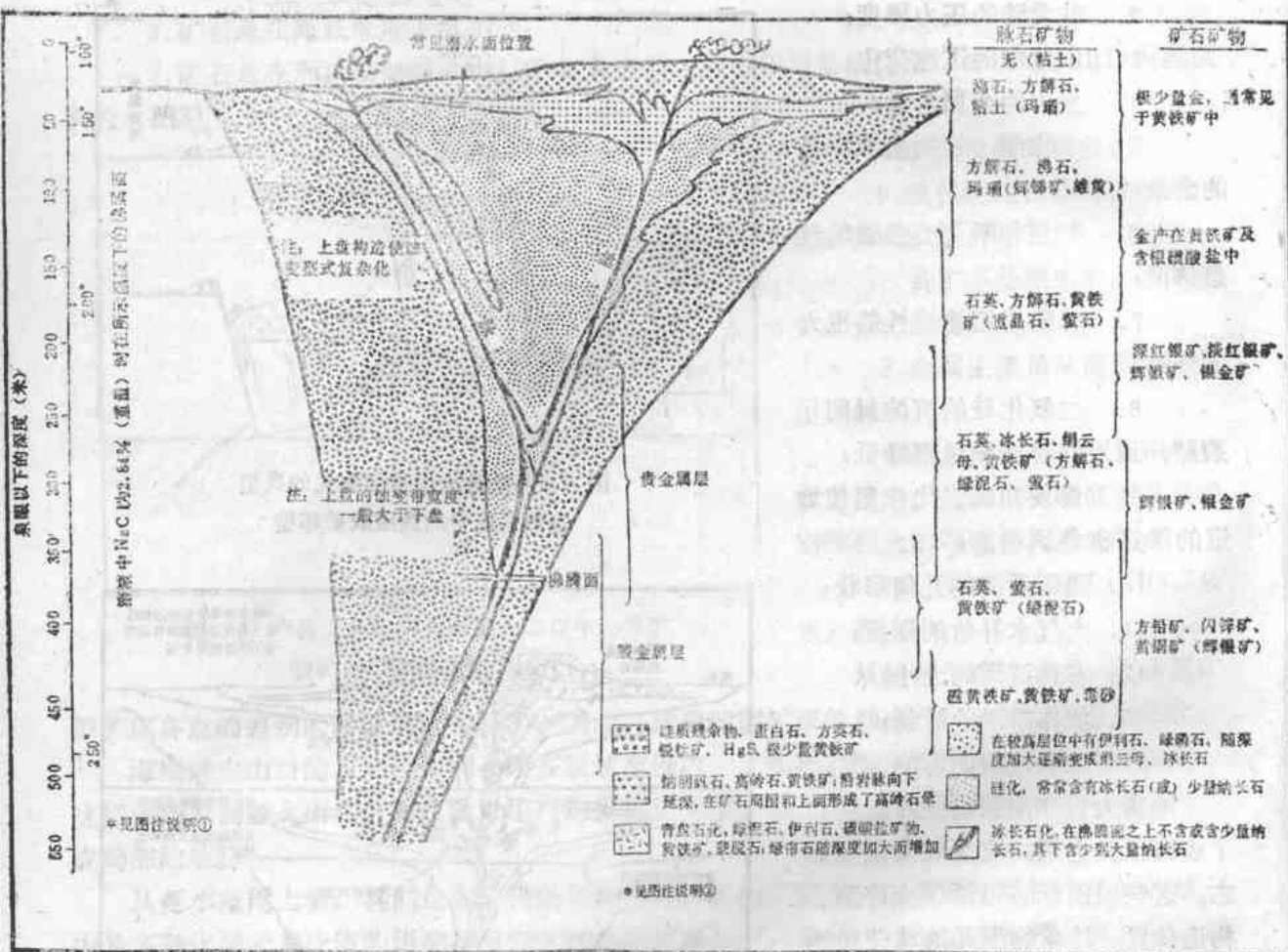


图 6 低温热液贵金属系统的横剖面图, 注意蚀变组合

注: ①在静水压条件下, 所示沸腾的温度 = 240°, NaCl = 2.84% (重量)。在较冷的系统中沸腾面位置更高, 该图就要压缩一些, 例如在 175° 时, As + Ag 就可能沉积在钠明矾石带中。为了计算任何温度和盐度条件下的深度, 我们可使用下列公式:

$$\text{深度 (米)} = \frac{B}{d(1.013)(3.26)(0.0295)}$$

B = 抑制沸腾的压力 (巴)

d = 溶液密度 (克/厘米³)

B 和 d 值可参见马斯 (1976) 的著作, 深度上的静水压条件假定为 100%。

注: ② (蚀变带界限比所示的模糊得多, 本图对于套叠式矿床或多期成矿作用矿床是不适用的)

含金刚石的钾镁煌斑岩及其它岩石

1977 年在西澳的金伯利山脉中发现了含金刚石的钾镁煌斑岩。1978 年查明容矿岩石是含白榴石的钾镁煌斑岩, 而不是金伯利岩。

最近对金伯利岩成因的研究可能会影响未来勘查计划的方向。西澳含金刚石的钾镁煌斑岩的发现, 意味着金伯利岩不再是金刚石的唯一有经济价值的原生容矿岩石。金刚石还产在

阿尔卑斯型橄榄岩中,但数量很小,没有经济意义。

西澳西金伯利区的含金刚石岩石为超钾质火成岩,其成分可从橄榄石钾镁煌斑岩到含白榴石的橄榄石钾镁煌斑岩。这些岩石的发现动摇了将金伯利岩作为唯一的含金刚石的火成岩的观点。

金刚石及含金刚石的岩石的年龄是有争论的。争论的焦点是:金刚石在金伯利岩岩浆中是捕虏晶(外来晶体)还是斑晶(同源岩浆晶体)。

理查森等人(1984)在南部非洲相对年轻的(90百万年)金伯利岩中测定的同源金刚石包裹体的年龄为32~34亿年。这有力地证明金刚石确实是捕虏晶。这对金刚石的勘查工作可能有影响,表现在现在要找的是来自深部(大于150公里)的太古代或早元古代地幔的各种火成岩。而按照经验,金刚石勘查工作主要集中在太古代和早元古代克拉通地区(的金伯利岩)。

罗杰斯和霍克斯沃思(1984)认为,金刚石的分布与太古代期间地幔中含碳量高有关。有些金刚石(类型II)中含次生沉积的晶质碳。应当指出,这些可能是元古代的金刚石,而不是理查森所测定的太古代金刚石。

携带金刚石的金伯利岩或钾镁煌斑岩的时代在成因上似乎并不重要。它们的时代可从前寒武纪到中新世,主要为白垩纪。这对于勘查工作是重要的,因为较年轻的火山道或火山筒有机会保存火山口相,不会因剥蚀而失去许多金刚石。

据巴贝特和维切特(1966)报道,在象牙海岸塞盖拉附近的钾镁煌斑岩中曾发现过金刚石。然而这一发现的意义直到1977年在西澳的钾镁煌斑岩中发现金刚石之后才被广泛地认识到。

金刚石只产在金伯利岩的成因模式太厉害了,它竟使这个信息搁置了长达10年之久。

模式是找矿的指南,但是需要经过不断检验。现在既然认识到金刚石也产在其它岩石类型中,那么对金刚石的存在就要重新评价。例如,根据斯科特史密斯和斯金纳(1984)的意见,十九世纪初在阿肯色州发现的经典的大草原河金刚石矿点就是产在钾镁煌斑岩中的。

斯科特史密斯和斯金纳还对含金刚石岩筒的经典的伸长的漏斗形状提出异议,并提出钾镁煌斑岩岩筒不是这样的形状。金伯利岩火山道和钾镁煌斑岩火山道的形状大体上并没有差别。差别要通过考察年轻的、保存良好的火山口或火山道相金伯利岩喷出岩才能发现。

含金刚石钾镁煌斑岩的发现对金刚石勘查工作有重大影响,迫使人们对金伯利岩模式进行全面重新审查。这将引导人们到岛弧构造环境的其它幔源火山岩中去勘查金刚石。

结 论

模式可以用来突出矿床的重要特征。模式是有限的,因为布莱克(1962)讲过:“绝对真实的模式是不存在的;只有在某个方面不那么真实的模式,才是独创性的模式”。

重要的是地质人员既要了解模式的限度,也要了解模式的长处。灵活地运用勘查模式,就会获得很大收益。地质资料如潮水般地涌来,地质人员除了求助于能从复杂的成矿作用中揭示出其本质的模式外,几乎没有别的选择。

原文题目: Introduction to geologic ore deposit modeling

(张秋明译自《Mining Engineering》, December, 1984. 国外地质科技编辑部校)

建立矿石建造地质-成因模式的一般原则

Л.В. 龙德克维斯特

为了改进成矿预测研究需要研制预测对象(矿体、矿床、矿区、构造-成矿带)形成的地质-成因模式。地质-成因模式对成矿预测研究的意义,在于通过建立模式可以从理性上把控矿因素之间在不同地质条件下变化着的函数关系反映出来。而估计控矿因素和准则的意义是转向定量预测的基本要求之一。同时,建立能够反映分析对象性质实质的成因模式,不仅为预测该地质环境下已知的,而且为预测该地质环境下可能有的新类型的金属元素工业富集从理论上提供了依据。

对于局部预测来说,研制矿石建造的地质-成因模式具有极为重要的意义。而且,模拟的主要任务是:从整个成矿系统(从组份来源到组份搬运带)的范围探讨成矿过程,恢复矿物形成过程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)。

这个任务的复杂性和矿石建造的多样性,决定了在建立模式时必须考虑那些能反映目前已查明的矿化发育的某些一般规律的最主要的原则。

1. 矿物、岩石、矿石形成的趋同原则,也就是在不同的地质作用过程中产生相似的,甚至相同的矿物形成物的可能性。А.Е. 费尔斯曼(1937)对这个原则作过概括性的表达,认为它是Г.И. 赫斯热力学定律的引申。他把这个原则定为矿物学的基本定律——“一定元素组合在一定的热力学环境中形成的矿物组合(相应为岩石、矿石、建造。——Л.В. 龙德克维斯特)是一定的,而与其成因方式无关。”在研制地质-成因模式时,我们会不断地遇到这个原则引起的后果,其中最重要的一个后果就是矿石建造的趋同性,即按不同成因途径形成矿石建造的可能性。

有关矿石建造趋同性的最确切的概念首先是在В.И. 斯米尔诺夫(1960)的著作中针对黄铁矿型矿床提出来的。在В.А. 库兹涅佐夫(1972)的文章中着重指出了矽卡岩铁矿建造、铜-钼建造的趋同性,在П.А. 斯特罗纳(1978)的书中强调了含金属黑色页岩建造、菱铁矿-菱镁矿建造、层控铅锌建造的趋同性。

对铜-镍建造、磷灰石-磁铁矿-金云母建造和其它许多建造的矿床形成规律的研究证明,这些建造的矿床是由于不同地质环境中发生的不同作用的发展而产生的。

因此,对于这些矿石建造来说,既要研制反映它们形成的最重要的基本条件的一般模式,也要研制在结构特点上(脉状的、层控的、接触的等)、与地质建造的关系上、形成深度上等有差别的不同建造类型(亚建造)的具体模式。作为一个例子,我们将讨论最典型的一种矿石建造,即铜-镍硫化物矿床的形成问题。

该建造的模式有许多共同特点,矿石的成分相同,分带性相似,都与以岩浆活动的一般是逆向性为特点的基性-超基性杂岩有关,普遍产在似裂谷状构造中(各个建造沿深部构造

截然不同的断块边界呈不对称分布)正如M.H.戈德列夫斯基(1968)、A.П.列哈乔夫所指出的,铜-镍矿石形成的重要因素是在含矿超基性岩侵入之前发生了强烈玄武岩类火山活动,镁铁质-超镁铁质岩浆源已经富集了成矿组分。

同时,虽然铜-镍矿床的主要结构特点相似,但成因却可以是不同的,即熔离作用、变质作用、交代作用过程所起的作用不同。苏联的铜-镍硫化物矿床,按与地质建造的关系特点和成因,可以分为几个建造类型(亚建造):芒切哥尔斯克型、贝辰加型、阿拉钦顿斯克型、诺里尔斯克型和库烈伊型。芒切哥尔斯克矿床是典型的侵入型矿床,贝辰加和诺里尔斯克矿床是火山-侵入型矿床,对于库烈伊型矿床来说热液作用的意义最大,而对阿拉钦顿斯克型矿床来说变质作用的意义最大。

典型矿床的具体模式相应地有很大差别,我们以芒切哥尔斯克和贝辰加矿床为例来研究这些差别(图1)。

芒切哥尔斯克矿床与巨大的分层橄榄岩-辉石岩-苏长岩体有关,该岩体是在很深的地方即巨厚火山-沉积岩拗陷底部形成的。因此,这里的成矿系统是相对封闭的,熔融体与围岩的单位相互作用不大。于是出现不同的结晶分异作用,熔融体中硫即使达到最大溶解度水平含量也很低(0.05~0.1%),硅酸盐熔融体结晶过程中多次出现的熔离作用的规模有限。结果在岩石结晶两个主韵律——底部矿层和上部临界层——的底部形成了浸染状贫矿石,只在原始构造裂隙中才由残余的硅酸盐-硫化物矿石形成了规模相对不大的硫化物富矿石(见图1, a)。

贝辰加矿床是按另一种方式形成的。该矿床与小的顺层辉长岩-异剥橄榄岩体有关,岩体产于早元古代巨厚沉积-火山杂岩(在芒切哥尔斯克矿床范围内,这套杂岩覆盖含矿侵入体)上部的凝灰质沉积岩系中。由于超基性岩体规模不大,岩体形态决定的与水饱和的和富含硫的沉积物接触的比表面积大,形成深度小,所以结晶分异作用的意义不大,底部的硫化物熔融体在开始阶段(硅酸盐结晶作用之前)是由于硫过饱和而形成的,而作为这一切的函数,就在围岩剥离孔洞中、沿着超基性岩的接触面及部分交切裂隙中形成富硫化物的矿石(图16)。

结果,芒切哥尔斯克型和贝辰加型矿床似乎构成一个统一的铜-镍矿床系列,它们是由原来属同一类型的岩浆熔体形成的,但由于形成深度和周围介质的影响不同而以不同方式向前发展。这个系列还有一些端员类型:纯侵入深成型的是布什维尔德型矿床(南非),喷溢火山成因型的是卡姆巴尔达矿床(澳大利亚)。

作者认为,上述情况证明,在研究不同矿石建造的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),为各个具体的建造类型制定地质-成因模式和预测准则。同时,查明与控矿因素(岩浆的、岩性的、地层的、构造的等)有关的成分、结构和构造的规律性变化系列具有特殊的意义,因为据此我们可预见矿石建造在现实地质条件下的各种各样的表现形式。

2. 矿化发展的继承性原则。这个原则对成矿预测研究的意义近年来在文献中作过多次讨论。

这个原则决定了不同纪(往往甚至是不同世)的矿化作用在同一个地质构造(带、矿田、矿床、矿体)中的共存性,也决定了在时间上依次更替的各种类型的含矿岩石、细脉、脉成

分的有规律的继承性。

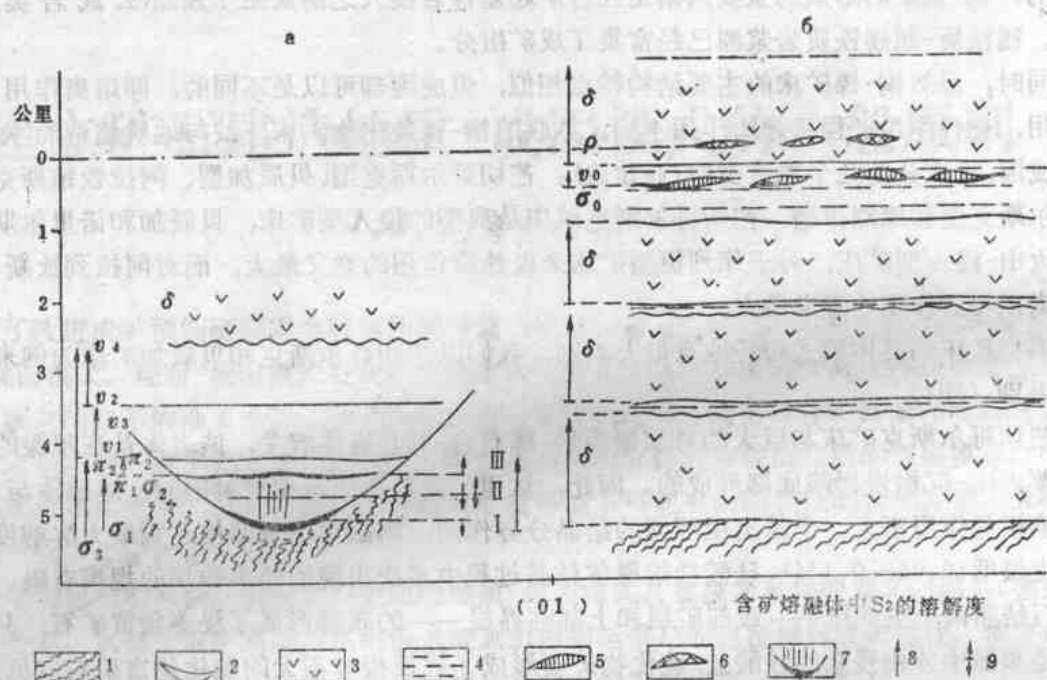


图1 铜-镍硫化物矿化在地壳剖面中的分布示意图 (a—芒切哥尔斯克型, 6—贝辰加型)

1—基底片麻岩; 2—分层的橄辉岩-辉石岩-苏长岩侵入体; 3—辉绿岩; 4—凝灰质沉积岩; 5—辉长岩-异剥橄辉岩侵入体; 6—苦橄岩; 7—矿体; 8—结晶作用发展的方向和岩石成分演化范围; 9—矿体的分带性。箭头表示Cu/Ni比值增大方向。 σ_0 —异剥橄辉岩、 σ_1 、 σ_2 —斜辉辉橄岩、 σ_3 —斜长石斜辉辉橄岩、 π_1 —辉石岩、 π_2 —斜长石辉石岩、 ν —碱性辉长岩、 ν_1 —暗色苏长岩、 ν_2 —苏长岩、 ν_3 —辉长苏长岩、 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)

通过对有关矿床形成过程地质年代研究的大量资料的对比查明, 矿化在矿床和矿田范围内发展的时间长短有很大变化: 从几十万、几百万年, 到几千万甚至几亿年。而且时间范围最大的是前寒武纪的矿床 (达几亿年), 最小的 (几十万) 是新生代的矿床。这种差别不能只用研究时代越老矿床测定误差越大的说法来解释, 而是一方面反映了地质作用在时间上加速 (这从其它地质观察资料中也可得到证明), 另一方面则是原先形成的矿石和岩石在后来的地质作用过程中受到多次退化变质和改造的结果。

地质年代测定也证明了矿床脉动式发育的结论。同时, 在所有情况下, 矿床发展的时间长短都是大量的在时间上不连续的脉动式成矿作用的结果。每次脉动式成矿作用过程的时间都很短, 处于时代测定误差范围之内。换句话说, 关于矿化发育时间长的概念首先证明成矿作用间断的时间长, 证明同一个地段范围内矿化发育的多次重复。而且, 不同时期的矿物形成物具有总的统一的发展方向, 甚至在成矿作用过程之间的间隔为几千万年或几亿年的情况下也是如此。苏联国内外都发表了关于碳酸岩矿床、伟晶岩矿床、不同成分矽卡岩矿床、稀有金属 (Sn—W, Mo—W) 云英岩矿床、电气石-绿泥石锡矿床和锡硫化物矿床、铀-钴-镍矿床、脉状多金属矿床和许多其它类型矿床的这方面的资料。同时, 正像B. H. 斯米尔诺夫 (19

70)所正确强调的那样,以有色金属层控矿床为例,早期矿床可能是在褶皱前条件下形成的同生矿床,晚期矿床则是在褶皱之后形成的后生矿床。因此,在研制矿床形成模式时,应该从成矿系统在发生矿化的整个时间是处于动态的观点来研究成矿系统。

继承性(矿化赋存在同一个构造中)的普遍存在和不同成矿期的矿石在成分上的继承性,决定了“热点”说的出现。所谓热点指的是深部长期活动的热异常。在这些热异常之上,在漫长的地质时期总是存在着有利于主动成矿作用的条件。但是,为了理解继承性原则,只了解热点和已查明的热点分布规律(线性构造的交点、花岗岩和片麻岩“岩钟”等)还不够。继承要求不同时期的矿化不仅在平面上共存,而且也在剖面上共存,也就是在一定垂向范围内共存。这又作为继承性出现的条件之一,或者决定了断块的相对长期构造稳定性,或者决定了一个地段多次“进入”最有利于成矿的“层位”。

3. 矿化在不同空间和时间范围内发育的相似性原则。在一般情况下,这个原则决定了矿化形成过程的统一方向性和以不同规模(矿体、矿床、矿田、矿带)出现的分带的相似性。相似性原则是地球发生发展一般定律和产生矿物形成物空间-时间关系系统一定律的局部表现(即瓦尔特-戈洛夫金斯基定律,广泛用于地层学、岩石学和地质建造学中)。这一重要成因定律的各方面已由A. H. 查瓦里茨基(1947, 1956)、H. 史奈德洪(1952)、J. 诺布尔(1955)、A. И. 舍格洛夫(1963)以及笔者(1965、1968、1971)等人论述过。

在研制矿石建造模式时,地球发生定律反映在以下几个方面:第一,矿物、岩石、矿石、矿石建造在各个矿化阶段和矿化期的形成顺序在一般特况下是同方向和相似的;第二,在每一个较晚期的形成物中,演化系列开始的矿物、岩石和矿石逐渐退化一直到完全消失,而末尾的矿物、岩石和矿石得到越来越充分的发育。而且,矿物、岩石和矿石在时间上的发育顺序往往反映出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交替方向,按分带矢量的定向,在建立模式时必须划分出具前进和后退分带的,具正向和逆向分带的,具向心和离心分带的矿床。

一般情况下,相似性原则决定了在建立矿田和矿床的形成模式时可从广泛利用研究个别矿体、脉体、细脉、交代岩石形成特点时所获得的成因结论。大家知道,在许多情况下正是如此,个别的矿块、矿石标本似乎是整个矿体、矿床的“缩影”,从而提供了有关岩石和石矿石的特有时空关系的概念。

4. 居里-萨弗兰诺夫斯基对称原则。通用的居里对称原则是居里1908年针对所有的物理现象(电场、磁场)提出来的,可表达为“某些现象的特征性对称就是与现象的存在并存的^{最大}对称”。后来И. И. 萨弗兰诺夫斯基(1964)又针对所有地质产物的发展情况详细规定和修正了这个原则。为了制定模拟理论,从重力矢量对已形成的地质体的结构和对称有决定性影响这个论点中可以得到重要成果。按照这个原理,矿床和矿体的结构在垂向上一般总是不对称的,单向的,而在水平方向上是两侧式对称或中心式对称,考虑到同系要素和相似要素,这种对称往往是可以改变的。

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)及与岩石层理整合的后生金属矿床的分带,以及产在分层侵入杂岩中的铬铁矿、铂、铜-镍矿床的分带是对称单向垂直分带的突出例子。

区域性分布的交代岩(次生石英岩、青磐岩、云英岩、长石岩类岩石)带具有类似的单向

垂直分带和表现不明显的水平分带。在这种情况下，应当特别注意那些矿体具有对称的“外套”垂直分带的或者那些矿体垂向延深很大反而没有垂直分带的矿床，因为这两种情况都不符合居里对称原则。

通过硅酸盐-锡石建造、硫化物-锡石建造、钨-钼云英岩建造等的许多矿床的“外套”分带的研究，确实发现矿床上部层位和下部层位碱交代阶段的硫化物和铝硅酸盐发育的对称性，矿床中部的硫化物数量少，主要是以石英-电气石、石英-黄玉、石英-萤石为主的酸性岩石和矿石。此外，如果对矿床上部层位和下部层位中的交代岩脉和细脉的成分特点进行详细比较，总是可查明一些差别，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微量元素成分上。

下面我们以母花岗岩内外接触带中的脉相云英岩体形成的示意性模式（图2）为例来谈这个问题。上部层次和下部层位的脉相云英岩体发育的动态在许多特征上（温度场的特点、溶液流动方向等，见图2a）是极性的，因此除了形成两侧式水平对称分带外，还形成不对称垂直分带。这时重要的是强调各带界线的原则差别：在水平方向（或垂直厚度的方向）上各带界线截然而清晰，而在垂直方向，各带之间没有界线（在图26中界线是假定的），能确定出来的是交代岩内带、过渡带和外带成分的依次定向“相”变。

还应当对那些被认为是垂直分带不典型或未显示出来的矿床也进行专门的补充研究和检查。在矿化形成时重力的不可避免的出现，从理论上讲总会造成上部层位和下部层位的矿体

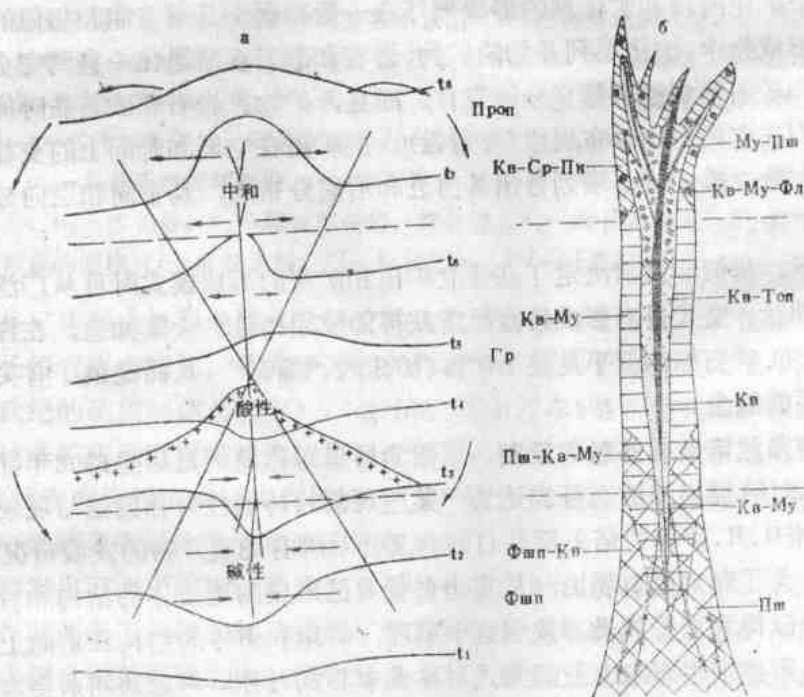


图2 花岗岩侵入体内外接触带中脉相云英岩体的形成模式：a—成矿溶液的对称性和流动方向的示意图，б—云英岩的最终分带

$t_1 \sim t_5$ —等地温线。Фшн—长石化带，Гр—云英岩化带，Прон—青磐岩化带，Фл—萤石带，Пш—长石带，Мш—白云母带、Кв—石英带，Пш—黄铁矿带，Ср—绢云母带，Тош—黄玉带