

# 大型有色和贵金属矿床的预测标志

М. Б. Бородаевская 等

大型和特大型矿床，尽管其总数量与中、小型相比并不很多，但在大多数矿产的储量和开采方面却占主要地位（表1）。

表1 大中小型矿床所占比例

矿 区	比 例	矿 区	比 例
汞 矿	1:9:90	据不同矿物资源对全世界地壳的统计资料	1:7:50
铋 矿	1:7:250	据不同矿物资源对全世界地壳的统计资料	1:9:90
斑 岩 铜 矿	1:15:29	据不同矿物资料对全世界地壳的统计资料	1:3:49

这一规律在研究各种地质—工业类型矿床的储量和开采的分布状况时表现得更为清晰。例如在资本主义和发展中国家，四种含铜黄铁矿型矿床中包含有铜的储量30%；在约数百个斑岩铜矿床中，有73个矿床的储量，约占铜储量的90%。在这种情况下，大型矿床矿石在开采中所占的比重也在快速增长着，例如近20年来在资本主义和发展中国家铜的开采比重已由75%增长到80%。

一般地说，大型矿床只有为数不多的几种地质—工业矿床类型。例如在资本主义和发展中国家，已知铜的八种地质—工业类型矿床中，大型矿床只有铜—镍矿、斑岩铜矿、含铜黄铁矿、含铜砂岩和页岩矿床。

В·В·札依科夫对世界多金属矿床地质—工业类型的规模进行了统计分析，前寒武纪变质层控铅—锌矿床中铅和锌储量的平均规模为500—1000万吨，石灰岩—白云岩地层层控铅—锌矿床中为200—500万吨，显生宙火山—沉积型黄铁矿—多金属矿床中100—200万吨，火山—沉积型铜—锌黄铁矿矿床中为50—100万吨，矽卡岩和脉状矿床中为10—50万吨。

近些年来，В·И·贝格、Н·Н·博罗夫科、В·Г·巴什基罗夫等对大型有色和贵金属矿床的找矿标志和预测评价问题，无论是从总体上，或是对各个地区和工业—成因类型方面都做了大量工作。他们对这一问题提出了各种不同的见解。其中包括可以称做时间模式和符合于地壳某些块段金属矿物质密度偏高最有利于形成大型矿床的动力学模式。Р·М·康斯坦丁诺夫曾经以多因素地质系统逻辑—信息分析为基础，完成过大型锡石矿床的成矿预测。他提出过几种可用于预测的计算方法，为了确定信息标志还采用过帕（压、应力单位）的变形三角形方法。

但是，在用数学方法解决这一问题而进行的无论什么尝试的情况下，对正确地判定任何一种类型大型矿床的形成来说所必需的地质条件仍起着主导作用。在这种情况下不能认为“大型”和“特大型”这一术语是固定不变的。按А·И·克里夫佐夫等的看法，大型矿床应当是其中矿石储量可以作为矿山独立开采对象的那些矿床。对每一种矿产来说，大型矿床是以具有各不相同的矿石储量为特征。预测具体的矿床，系指要挑选出对赋存矿体或近似矿体群有潜在远景的地段。但是“大型矿床”这一术语常常是与一种广义上的矿田概念，即在矿田范围内大型矿床和若干个中、小型矿床（例如里奥—延托、芒特—阿札等）有规律的联系在一起。

无论是国外或是在苏联国内，例如乌拉尔、鲁德内阿尔泰、哈萨克斯坦、高加索、外贝加尔等等地区，

人们对许多大型和特大型有色和稀有金属矿床进行过详细研究。收集到的资料证实,各种不同地质—工业类型的矿床,不管规模大小如何,其形成条件都是不同的。每一类矿床可能只形成在其中可以划分为含矿建造、生矿建造和成矿建造的地质建造而成为一定类型的地质构造范围内。在这种情况下,矿化与地质建造的相互关系在时间和空间上愈接近,则确定矿床类型和矿床巨大程度的因素就愈多,根据对地质建造的研究可以获得矿质来源的性质、形成的深度、矿质沉淀的顺序等等。

这类相互关系特别清楚地反映在层控矿床、内生—外生矿床,以及与火山活动、深成火山活动有关的内生矿床中。用上述因素解释深成矿床,无论是在矿质来源方面或是成矿机制方面都比较复杂。因为矿化和围岩的形成在时间上可能都在很早以前,中间又可能包括许多地质事件。

现在在重新探讨某些地质—工业类型大型矿床的预测标志之前,首先研究它们与同一类型规模较小矿床有区别的那些标志。对储量中等的矿床未明显反映其特征。

**黄铜矿矿床:**大型矿床的古构造位置是产在基底岩石铜克拉克值高的原始优地槽内部和前缘强烈挠曲的岩带内。已知极少数大型和特大型矿床也产在大陆边缘和大陆内部停止挠曲的裂谷带内。大型矿床的有利构造位置,是它们在空间上产在巨大的通导岩浆和导矿的断裂内。后者往往将成分方面有所不同的地壳岩石和下伏含有黄铜矿矿石的基底岩石分成块段。后者的形成环境也起着重要作用;例如有些大型矿床,与由大量的流纹英安岩(达50%或更多)组成,一般说来,金属矿物质的量随着酸性分异体数量的降低也逐渐减少的向心性喷发有关。酸性火山作用的多相性也是重要因素,这种多相性是火山岩在迅速堆积阶段,火山活动有若干短期间断引起的。伴有酸性火山作用的强烈构造活动可以引起不止一次的岩层破裂,沿着破裂含矿溶液上升,而且在总的过程中喷发穹隆的发育要经过若干个世代,这时强烈的构造活动又有助于形成一些局部性穹隆间的、近于尖峰形的和其它类型的产在酸性岩中某些层位内的洼地。在这些封闭性洼地构造中造成有利于热液成因金属矿物质,在剖面不同层位沉积的条件,而且洼地侵蚀沟的深度愈深和层位的数量愈多,就能使矿床的规模愈加巨大。

区域性火山作用型和单个小的平缓状酸性岩穹隆不是有利因素。

特别有利的火山构造(矿田)类型是:(1)充填在各自隔开的、岩层基底上发育有酸性火山作用洼地内的一些巨大的( $50-100\text{km}^3$ )流纹岩—英安岩火山机构,(2)充填在分布状况受大型玄武岩隆起弧状、环状、放射状构造单元控制的破火山口状和其他形式洼地内的一些小型流纹岩—英安岩火山机构成群分布的地区。在这种情况下,于若干个阶段内形成的酸性火山岩其总的规模应是 $50-80\text{km}^3$ 。

在前一种类型的矿田内,如果存在大型矿床时有可能出现若干个中、小型矿床。在第二种类型的矿田内,很可能出现若干个(有可能达到10个)规模接近于中型的矿床。

大型矿床的重要特点是矿石矿物成分复杂。无论是一些单个矿体也好,或是矿床和矿田也好,从总体上讲具有明显的横向和垂直分带性。矿体的底盘有厚的绢云质交代岩带也是它的特点。

我们还可以指出,在含矿火山岩剖面几乎整个的酸性火山岩范围内,如果大量出现含硫喷发活动和单个火山岩体下深约数公里处发现(根据物探资料)穹隆状隆起也可作为次要标志(表2)。

**火山—沉积建造中的黄铁矿—多金属矿床:**形成这一类型大型矿床的古构造环境,其先决条件是主要产在发育于古中间地块上的次生优地槽内。这类优地槽中的火山岩是以中酸性火山岩为主要成分的有明显对比性的火山岩,而基性火山岩则处于从属地位。与大型矿床伴生的酸性火山岩,爆发率高,并含有大量的挥发组分。

大型矿床通常产在不同方向的、深的、长期活动的深断裂相结合的地段(表3)。大型矿床中的矿体与围岩呈整合关系,它们产在近矿围岩特点为成分不同的沉积岩与火山岩成薄的交互层状的地层层位中。

大型矿床的矿石一般是矿物成分复杂,而且显示出许多种矿床所特有的性质。矿物相的分带性依铜和铜、铅和锌、铅和铋等的含量比值沿矿体的倾向和走向发生变化为前提而逐渐地显示出来。根据脉石矿物和金属矿物中气—液包裹体的研究,成矿阶段形成矿化时的温度梯度较低。

表 2 黄 铜 矿 矿 床 特 征

大型和小型矿床的预测标志	大 型 和 特 大 型 矿 床	小 型 矿 床 和 矿 点
大地构造标志	原生优地槽的内带和外带，少数为挠曲不深的大陆内部和大陆边缘裂谷	原生优地槽，次生优地槽，大陆边缘和大陆内部裂谷
古火山标志	<p>主要为间断的、少数为连续的建造岩层中的向心性火山作用，爆发系数高</p> <p>近矿酸性火山作用，地层为多阶段性(2—4)，可以划分为若干暂时停息的短期阶段，其中集中有对伴有玄武岩流的局部火山混合岩堆积</p> <p>充填在由酸性和中性火山岩组成的凹槽形洼地内巨大的火山机构</p> <p>上述相同建造岩层和发育在它们范围内环绕玄武岩类巨大古火山酸性成分的一些小的火山机构群体</p> <p>与不同酸性火山火作用阶段有关的穹隆和洼地的位置所决定的控制矿体的某些层位。最有代表性的是含有大颗粒(达5mm)石英浸染体的流纹岩和流纹岩—英安岩</p>	<p>同于前述建造岩层中的区域性裂隙型和向心性火山作用</p> <p>单阶段(有时为双阶段)出现酸性火山作用。</p> <p>发育在剖面一定层位玄武岩类中的一些小的、互相相邻的和单个的火山机构</p> <p>玄武岩类山坳斜坡上的冰川谷，其中连同单个的向心性火山机构发育有酸性火山作用者最为有利(有时对中型矿床也有利)</p> <p>控制矿体只是一个层位，流纹岩和流纹岩—英安岩含有大颗粒石英浸染体，或者不含有，或者不起大的作用</p>
构造标志	<p>成为岩浆通道的巨大的构造断裂有着重要作用</p> <p>矿体产在酸性火山作用发展过程中不是一次生成的洼地构造内(斜坡的、穹隆间的、接近尖峰形的、各种类型的破火山口)</p> <p>出现强烈的同生火山变形</p>	<p>比较安静的能够提供含矿溶液微量渗透的构造环境</p> <p>产在成因与酸性火山作用无关的洼地构造内</p> <p>同生火山构造稍有出现</p>
矿石交代作用标志	<p>矿石矿物成分复杂</p> <p>复杂的、有明显对比性的矿物—地球化学分带性(横向和垂直方向)无论是对各个矿体来说，或是对矿床的规模来说(或者从总体上就矿田来说)，是在若干个阶段内形成</p> <p>主要的轴向石英岩带常常与之伴生的含绢云母建造岩层出现强烈热液蚀变。矿体底盘旁边厚度宽和延伸远的岩带在定向的情况下与它们的底板成垂直方向</p> <p>在含黄铁矿火山作用所经历的整个时期和火山岩剖面的整个酸性部分大量出现含硫喷气活动</p> <p>矿化强度的地球化学标志是明显可以对比的</p>	<p>矿石矿物成分较简单</p> <p>较简单的、单一阶段的分带性</p> <p>热液交代蚀变反映为绿泥石—碳酸盐—石英质和含少量绢云母的绿泥石—石英质交代岩</p> <p>局部出现含硫喷气活动</p> <p>地球化学标志对比性低</p>
地球物理标志	根据物探资料，在古火山下深约数公里处发现有穹隆状隆起(估计与火山下面的侵入体一致)	没有这种隆起

成矿阶段前近矿蚀变发育强烈，不仅扩及到矿体的下盘，也扩及到矿体的上盘。它们由宽的 和延伸远的绢云母—石英质交代岩体构成。与矿同时的绿泥石化岩石的蚀变带也构成岩层大部分。根据物探资料，通常在矿区深约2—3公里的地段常常发现对已经沉淀和受热能环流制约的矿石影响作用的侵入岩体，这种热能引起变质作用，并使矿石受到改造。

表3 火山—沉积建造中黄铁矿—多金属矿床特点

大型和小型矿床的预测标志	大型和特大型矿床	小型矿床和矿点
大地构造标志	次生优地槽 矿床局限在复向斜边缘部分	原生优地槽和次生优地槽，大陆边缘和大陆内部裂谷 局限在和沉积作用同时的构造内不同的地段中
古火山标志	在有明显对比性建造中有向心性火山作用，爆发率高(>50%) 不同时期的，但空间上伴有酸性和基性火山作用现象 近矿围岩剖面是不同成分的沉积岩和夹有厚度大的(1—5m)火山岩层组成的交互层	明显对比性建造和间断性建造中的火山作用(区域性的、裂隙型的和向心型的)，爆发率低(<50%) 绝大多数只发育酸性火山岩作用 均质地层，或是夹有大厚度(5—20m)岩层组成的交互层
构造标志	主要局限在一些区域性长期活动断裂交汇部位 矿体与围岩呈整合关系	沿不同方向的区域性断裂产出，或者在它们之间产出 矿体与围岩的关系有整合的，也有交错。
矿石交代作用标志	矿石矿物成分复杂 铜和铅、铅和锌、铋和铅(Cu/Pb、Pb/Zn、Bi/Pb等)含量比值的变化系数沿矿体走向和倾向逐渐变化。 沿矿体走向和倾向的古温度梯度低(100m为30—50°C) 强烈的深部淋滤(绢云母—石英交代作用，它们的产物构成厚的、延伸远的岩带) 与矿同期的绿泥石岩带，构成厚的、延伸远的岩体 矿化强度的地球化学标志有明显的对比性。	矿石矿物成分比较简单。 Cu/Pb、Pb/Zn、Bi/Pb等含量比值变化系数沿矿体走向和倾向快速变化 沿矿体走向和倾向的古温度梯度高(100m为>50°C) 近矿蚀变岩石一般为次生石英岩等。绢云石英岩层是一些小的岩体。 含矿的绿泥石岩，构成一些单个的薄夹层和小透镜体。 矿化强度的地球化学标志对比性稍差
地球物理标志	根据物探资料发现矿区下部深约数公里处或空间上与它们邻近的部位有侵入岩体。	深部无侵入岩体

在对大型和小型铜—黄铁矿矿床和多金属—黄铁矿矿床矿体的形态参数作定性和定量描述时我们曾得出一些有意义的结论。在分析中使用了如下参数：矿体最大的长度、宽度和厚度。查明了这些参数对大型矿床同中、小型矿床相对比反映出来的变化特征具有一些独特的特点(表4)。

表4 黄铁矿矿床矿体形态参数

类型	规模	长度与宽度比	长度与厚度比
黄铜矿矿床	大型	2	80—100
	小型和中型	2	200
多金属矿床	大型	3	16
	小型和中型	2	9

大型铜—黄铁矿矿床的特点是这些参数的值明显偏高，矿体沿延伸方向的变化与厚度的变化也是成比例的。而中、小型矿床的矿体则看不出这种趋势。

在矿体长度和宽度的比例在相对固定的情况下，鉴于矿体的增大取决于厚度，因而可以把大型多金属矿床和中、小型矿床加以区别。这些资料在初步和详细勘探时都是可以利用的。

**火山岩带金—银矿床：**这类矿床无论是在区域性和局部性产出条件方面，或是矿石成分和与其伴生的

交代岩特征对比方面均有大的差别（表5）。

表 5 火山岩带金—银矿床特征

大型和小型矿床预测标志	大型和特大型矿床	小型矿床和矿点
大地构造标志	在构造—岩浆活动阶段形成的火山岩带	在地槽构造发育造山阶段形成的火山岩带
古火山标志	火山—构造建造系长时期多旋回形成 广泛发育爆发火山形成的和热液作用的岩层	火山—构造山系单阶段形成 对火山和热液作用来说爆发现象不是其代表性特征
地球物理标志	负重力异常位于震中	负重力异常位于边缘或者无
构造标志	出现明显的横向和垂直断裂构造 矿床环境有明显的对比性；地垒—背斜褶曲使洼地复杂化，隆起范围内有局部挠曲现象 控矿构造和近矿围岩构造是一些大的正—平移断层构造 矿体为破碎矿化带型	没有明显横向和垂直断裂构造 矿床环境无明显的对比性 控矿构造的位移只有小的断距 脉状矿体
近矿交代作用标志	广泛发育热液交代岩层（低温相变安山岩和泥质板岩）和硅化作用 广泛发育冰长石化和水云母化 多种岩层组成的交代岩的特征：变安山岩—泥质板岩和砂卡岩—云英岩型岩层相互结合 矿石中Au和Ag比值高 Au在成矿过程中经过长时期沉淀结晶，存在某些不同时期的含矿矿物组合	面型交代岩层稍有出现或者无，有高温和低温相变安山岩 不具有钾交代作用特征 单岩层系列的交代岩 比值低 金是一次性沉淀结晶只有一种含矿矿物组合

大型矿床几乎只与构造—岩浆活动阶段的火山岩带有关；造山火山岩带中金—银矿床也相当多，但规模通常是中型。因为构造—岩浆活动阶段的火山岩带在某种程度上是形成在由于区域性构造格架有大变化的不同种类的基底上，在这种岩带内常常清晰地出现一些断裂性横交切和斜交切构造，继承基底构造格局和在火山作用阶段又有新的矿化。

对一些大的火山岩体来说，其特点是火山岩构造结构的形成是长时期的，可以最清楚地辨别出在火山岩层中若存在一个统一的中心的时，常常会有一个火山机构“放入”到另一个火山机构去的现象。

对一些大型矿床来说，在矿田范围内往往可以直接看出近矿围岩构造在同矿田或矿总结的构造的相互关系方面有明显的“相对性”：地堑成为复杂的地垒—背斜褶曲化，洼地成为复杂的穹丘化等等。还有一个特点是大的长期发育的垂直断层可以作为控矿构造，往往也可以直接作为近矿围岩构造。

经常可以看到，无论是成矿前的火山相或是热液成矿阶段，有时在这个阶段的整个过程中（成矿前的、与矿同期的和成矿后的矿物组合）都是以爆发方式形成的。对许多种矿床类型来说，其产出背景的特征是广泛发育面型热液交代岩层；对一些大型金—银矿床来说，钾的高度活动性是其特点（发育有近矿冰长石化岩带和水云母化岩带）。

还可以看出，成矿作用的整个过程具有长期性和复杂性：近矿围岩交代岩具多种岩层性质（变安山岩、泥质板岩和砂卡岩—云英岩型岩层相互结合），金是经过长期沉淀结晶，存在某些不同时期形成的含矿矿物组合。

以上讨论了一些与火山作用有密切联系的研究程度较高的矿床类型的实例。对这些矿床来说，矿化与

# 秦岭动力热变作用成矿之雏议

王清廉

(陕西地矿局第十三地质队)

秦岭地处我国北东向和北西向构造的交叉部位；位于华北与华南两个板块相向推移的缝隙地带；据波浪镶嵌说，为华南与华北地壳波浪起伏、此起彼伏的支点处。因此，是众所瞩目的地应力高度集中、构造持续活动的地带。由于应力集中和持续的构造活动与岩浆侵入，就形成各种各样的矿产。其它的成矿作用固然有所存在，但动力热变的成矿作用，也具有重要地位。秦岭地区的动力变质成矿，以往个们已有论及，但未能引起足够的注意。

生矿建造、近矿围岩建造和成矿建造的相互关系已作了详尽地调查研究。

从总体上讲，所讨论关于大型矿床的大部分标志仅具定性性质。进一步的研究任务是定量评价。这无论是对总的地质建造标志和岩相标志来说，或是对矿物学标志来说都是完全可能的。对地槽区和边缘火山岩带来说，总的地质标志可以将组成它们的地质建造反映为定量的相互关系的形式，火山作用的性质可以借助于不同成分的火山岩和向心性、区域性及裂隙型火山作用所起的作用间的相互关系或者爆发系数去反映，对剖面中近矿围岩的性质可以通过剖面1—0.1公里不同成分或具有不同构造特点的岩层的数量去反映。

地球化学指数的定量分析研究，看来应当借助于查明地质—工业类型大型矿床相一致的地球化学异常的元素之间一定的数量关系的方法去发展它。

矿物学标志可以通过不同类型交代岩间相互的数量比去表示，矿石的矿物成分可以用造矿矿物和造矿元素等的数量比去表示。因为利用这些数量参数可以将大型矿床的预测工作提高到较高的科学水平，也为运用计算机完成这些任务提供了可能性。

综上所述，可以得出如下结论：

1.大型和特大型矿床，正如以上讨论的实例表明的那样，它们具有地质构造和成矿作用出现性质不同于其它许多矿床的一系列特征；认识了这些特征就有可能去进行大型矿床的预测和集中地质勘探工作。

2.对不同地质—工业类型的矿床来说，它们具有由不同类型成矿区和成矿带的地质发展史所决定的一些特有的特征，这些不同类型的成矿区和成矿带与某一种生矿建造和成矿建造、与能成矿的火山作用和成矿作用的长期性等等有一定关系。因此，大型和特大型矿床的预测工作，只有在对被预测的对象经过详细研究制定出了典型模式和对该区作了比较详细的研究（地质的、地球物理的和地球化学的）才可能富有成果。

3.对大型矿床来说，最有代表性和普遍意义的标志是它们产在含矿建造形成时期岩石圈的活动地段内、含矿建造的形成和矿化作用的长期性，以及在空间上往往与矿质来源不同，成矿时间常常间断的矿化结合起来等等。对许多内生—外生矿床来说，矿床的规模取决于成矿作用复合成因的程度。

4.大型和特大型矿床的找矿标志问题，是许多矿产资源基地开发阶段最重要的问题之一。这一问题需要按现代最高的理论水平广泛组织和进行研究工作。

(赵玉丁译自《Советская геология》1987.

№.5, 李纪良校)