

用地球化学方法 评价岩浆岩体含矿性的可能途径

四川冶金地质勘探公司605队 郑天佑

岩浆岩体含矿性的评价工作(简称岩体评价),是通过对岩浆岩体地球化学特征的研究,尽量恢复岩浆作用过程中成矿元素的分布分配、迁移演化、分散集中状况,进而推断该岩体提供成矿物质情况的一种地球化学找矿方法。它主要用于内生矿产的普查找矿阶段。

岩体评价的任务是预测岩体成矿的可能性、矿产种类、相对规模以及可能的赋矿地段(但不涉及矿体确切位置)。其优越性在于灵活机动,不需测网,只以较少的野外工作即可在大面积内较快的选点,缩小靶区,提供找矿方向。

该项工作在国内外基本上仍处于试验研究与积累资料阶段。近年来,由于找矿工作的需要,地球化学理论与测试技术的进展,使其发展较快。

一、岩浆作用中控制成矿的某些地球化学因素

关于岩体及内生矿产的成因,各说不一。我们讨论的前提是:侵入体系由各种方式形成的岩浆熔体冷凝而成,成矿物质主要是岩浆作用的直接或间接产物。这就可以将岩体地球化学特征、岩浆熔体凝固过程的地球化学作用与岩体提供成矿物质的性能联系起来,进行岩体含矿性的评价。

1. 岩浆成分对成矿作用的影响

成矿元素的丰度 岩浆中成矿组分的丰度是关系到其集中成矿可能性的一个重要因素。岩浆已固结时,这种原始丰度应反映在岩体中成矿元素分布分配的特点上。然而,对岩体中成矿组分的含量与成矿的关系却有两种相反的看法:一种认为,岩体中富含某种组分,说明该组分相对“过剩”,具备提供成矿物质的先决条件,有利成矿;相反的看法则认为,这种现象正说明在岩浆结晶过程中,该组分不具备集中的条件,而分散于岩体内,不利成矿。

其实,这两种情况都可能存在,只是内外因条件的差异导致了不同的结果。下面以成矿与造岩元素在岩浆作用中形成类质同象的难易程度,分三类进行讨论。

(1) **不易与主要造岩元素成类质同象的** 大部分亲硫元素及钨、锡、铬等元素,由于受晶体化学性质巨大差异性的限制,岩浆中其浓度高时,不可能全部分散于造岩矿物中。故当岩体中这类组分丰度增大时,相当一部分成矿元素将以更大的增高率成独立相聚集在岩体某一部分或残余溶液中,造成成矿的有利条件。

(2) **极易与造岩元素成类质同象的** 如Y、TR等元素,在中酸性岩中往往分散于含钙和磷的造岩矿物或副矿物中,而在贫钙的碱性岩中,则易形成残余富集。

(3) **可形成造岩矿物或在一定条件下比较容易与造岩元素成类质同象的** 如Fe、Mn、Ni等元素。镍在缺硫情况下可大量进入橄榄石中而分散,铁可形成多种造岩矿物而被固定于岩体中,故不能仅以其在岩体中的含量作为评价的依据。此时,这类元素存在形式〔如(Fe, Ni)₂S₂、Fe₃O₄、Fe²⁺/Fe³⁺〕的研究非常重要。

控矿元素 这里指的是岩体中影响成矿元素成晶体化学分散或相对集中的主要造岩元素及硫、硫等。这些元素在岩体中的含量、存在形式的变化,可影响与之相关的微量元素的集中分散。下面举例说明其控制作用。

(1) 在超基性岩浆中,在极贫铝的情况下,铬不易代替橄榄石中的铁,当铝浓度增高并进入硅氧四面体中取代硅而形成普通辉石时,铬则易于混入其中置换铁。

(2) 大量钙的存在将导致稀土元素的分散,但超基性岩浆中加入少量CaO又有利于硫化物相与Cr₂O₃从硅酸盐相中熔离出来。

(3) 钠的作用与钙相反,一般认为,大量钠的存在不利于硫化物从硅酸盐相中熔离出来。

(4) 镁与硫控制着镍的分散与集中,只有当硫浓度高时,镍的亲硫性才能得到充分体现,使硫化物相在硅酸盐大量晶出前熔离集中。

(5) 氧在岩浆结晶过程中对成矿元素的集中

分散也起一定的作用。故岩浆中的氧化还原条件对成矿作用的影响是值得注意的问题。

岩石的酸度与可能形成的矿种间也有一定的相关性。

“运矿组分”的作用 “运矿组分”包括 F、Cl、B、P、OH 等挥发分，有时还有 K、Na 等易与成矿元素组成易溶络合物的组分。例如，F 对 Sn，Cl 对 Fe 的迁移集中所起的作用。

2. 岩浆结晶过程对成矿元素集中的影响

岩浆的原始组分，绝不是控制成矿的唯一因素。相同的岩浆成分，经受不同的物理化学结晶过程，元素集中成矿的可能性就大不一样，也必然导致岩体具有不同的地球化学特征。这方面的主要影响因素有：

岩浆的分异状况 影响岩浆分异的因素是多种多样的，如岩浆侵入的深度、运动特点、冷凝速度、平衡条件、成矿及控矿元素含量和比例、挥发分的多少、围岩条件及同化混染作用等。当然，分异作用进行得越彻底，越有利于成矿元素的集中成矿。岩浆分异主要表现在：

(1) 空间上的分异 不仅造成造岩元素的分带，而且也导致成矿元素富集于某一相带和部位。

(2) 时间上的分异 岩浆在演化进程中的分异，常造成早阶段结晶的岩体（岩相）与晚阶段岩体（岩相）在成分上的差异，成矿元素也往往在某一特定阶段发生富集。因此，寻找不同类型的矿产应从研究与之相应的岩浆分异产物着手。

与围岩的同化混染作用 同化混染作用不仅改变了岩浆成分（包括大量成矿物质的加入）与物理化学状态，影响着成矿元素的集中分散，还应注意挥发分和某些控矿组分的加入所起的作用。如含盐建造中的氯、钠，石膏层中的硫（钙），碳酸盐中的 CO₂ 和钙也都对成矿物质的集中起作用。

岩浆侵入深度 某些资料表明，一定矿种或区域内不同深度的侵入体有不同的含矿性。例如，我国与矽卡岩型铜、铁矿有关的多为中深成侵入体。

此外，岩浆的结晶速度与平衡状态，也必将影响着成矿组分的集中与分散。

3. 自变质交代作用对成矿元素集中的影响

自变质作用中常常由于造岩矿物或副矿物的晶格构造和化学成分的改变，使呈类质同象状态分散的成矿元素从矿物中被释放出来，并在有利条件下集中成矿。如黑云母中大量的微量元素（Sn、Zn、Li、Be、Nb、Ta 等）在钾质交代（变为白云母）时析出；钾长石中 Tl、Rb 等也可能在钠质交代

过程中随钾而游离出来。

另外，交代作用越发育，也说明岩浆中运矿组分越多，有利于成矿物质的集中。

二、评价基性—超基性岩体含矿性的一些标志

岩浆矿床的形成，在空间、时间和成因上都与基性—超基性岩体有密切的关系。因而，研究岩体的地球化学特征对寻找本类矿床具有特别重要的意义。这里仅据一些零星的资料说明一下寻找铬、镍矿的岩体评价的可能途径。

1. 岩带（及岩体群）中成矿有利岩体的标志

虽然由于地质条件的差异使各成矿岩体的具体特征各不相同，但一些总的趋势往往是可以看出来的。特别是基性—超基性岩体常成群成带出现，在同一岩体群中就可利用同一组指标进行评价。

控矿元素特征 各造岩元素指标中，以镁及镁铁比对研究成矿专属性意义最大。铬主要与高镁的纯橄岩、斜方辉橄岩等镁质超基性岩有关，其 $m/f > 7 \sim 9$ 或 $MgO/FeO+Fe_2O_3 \geq 3 \sim 5$ （地台型铬矿可产在 $m/f = 3 \sim 4$ 的铁质超基性岩中）。硫化铜镍矿虽然可见于从高镁到富铁的一系列岩石中（ m/f 从 9~10 到 < 2），但主要是产于铁质基性—超基性岩中，而且成矿岩体的镁含量一般都高于无矿的同种岩石。另据统计，成矿岩体中的镁含量还与矿石硫化物中镍含量成正相关关系，这也说明镁的控制作用的重要性。

其他造岩元素的一般规律是：Ca、Al、Fe 低，利于形成铬矿；Fe+Mg+Mn 高，K+Na/Ca 和 Na/K 低，利于形成镍矿。

硫对硫化铜镍矿床形成的控制作用，如前所述，是一个比造岩元素更重要的指标。一些资料指出，含矿岩体中的硫浓度比无矿岩体可高出几至 20 倍。

成矿元素特征 成矿元素的丰度对其能否从硅酸盐相中分离出来有很大的意义。如华北某岩带中含矿岩体的铬含量均大于 3400 g/g。一些含镍矿的岩体中之镍、铜含量也常比非矿岩体高一至数倍。

成矿元素的存在形式非常重要，岩体中它们的独立矿物多时一般利于成矿；对镍矿的评价而言，岩体中硫化镍含量的多少是一个相当重要的标志。

此外，成矿元素在矿物中的含量也可作为评价标志。如含铬矿的岩体中，铬含量常常高于无矿岩体的同种矿物。又如，造矿铬尖晶石和附生铬尖晶

石中铬含量具有共消长关系,故可用附生铬尖晶石中的铬含量来反映造矿铬尖晶石中铬的丰度。同样,也有人将岩体中浸染状硫化物里的Ni/Fe比值作为找镍矿的标志。

微量元素含量及元素之间的关系 亦可成为含矿岩体的标志。国外某岩带中含镍矿岩体的Cr/V>16,非矿岩体Cr/V<1,指示了该岩带中早期结晶的基性程度高的岩体利于形成镍矿。

挥发分的大量存在和明显的自变质作用有利于成矿物质的富集 一些镍矿中矿化较强的地段常伴生有明显的蛇纹石化、滑石化和次闪石化,这种蚀变显然是含矿熔浆中大量挥发分作用的结果。

岩体的分异程度 对浅部分异岩体来说相当重要。上述各种指标在岩体各部分的差异都可作为分异标志。

2. 岩体中成矿有利部位的标志

岩体的分异是形成有利部位的前提。因此,岩体的分异与成矿有利部位二者利用的指标应是相应的。如大型铬矿不仅主要控制在高m/f比值的橄辉岩-斜方辉橄岩相中,而且可根据岩体中微量元素的差异进一步预测有利地段。如华北某岩体就是在圈出高Mg,低Fe、Co、V的地段中找到了铬矿。熔离式镍矿也常产在一定的岩相中。

三、评价中酸性岩含矿性的一些标志

中酸性侵入体与岩浆期后矿床之间,在形成时间、空间和物理化学条件上都有所不同,加之矿液与围岩的物质交换,使研究它们的成因联系复杂化了。因而,中酸性岩体的地球化学特点对岩浆期后矿床的控制作用较为间接,岩体含矿性评价工作也就更困难些。鉴于控制期后矿液集中的因素远非岩浆作用这一方面,所以评价的重点是研究岩体析出成矿物质的能力,而不涉及矿液能否集中成矿。

1. 有利成矿岩体的标志

造岩元素的特点 中酸性岩岩石酸度对形成矿种的影响虽不及铬矿那样明显,但总的趋势,如所周知,是随着SiO₂含量的增高矿种由Fe及Cu、Pb、Zn等多金属为主过渡到Mo、Bi、W、Sn等为主。

钾、钠含量也常作为评价成矿的标志。如我国与矽卡岩铜矿有关的燕山期花岗岩与同酸度岩石的平均值相比,一般是钾、钠高而铁、镁低;华南与钨锡矿化有关的花岗岩往往是富钾贫钙、铝、铁。

成矿及伴生微量元素的特点 一般认为成矿元

素含量高的岩体有利于成矿。我国华南大量钨、锡、铍、铌的含矿岩体中,成矿元素的含量都显著增高,东秦岭、川北、湘南及长江中下游的一些矽卡岩型铜及多金属矿中也有类似现象。

成矿元素的存在形式也应注意。如我国许多矽卡岩型铁矿的成矿岩体中,Fe²⁺/Fe²⁺+Fe³⁺比值都低于非矿岩体。由成矿元素组成的副矿物也可能成为找矿标志。某些含钨、锡矿花岗岩中的锡石、黑钨矿等副矿物的含量都高于非矿岩体。

有时伴生的微量元素及其比值也被当作评价岩体含矿性的标志。如与钨锡矿有关的花岗岩中的Li、Rb、Cs、Pb/Zn等,铜矿中的Mo,钼矿中的Be,硼矿中的Cs,锡矿中的Li及铅矿中的Pb/K在含矿岩体中的含量都比无矿岩体明显增高。

岩体中成矿及伴生微量元素在其“富集矿物”中的含量常可成为更灵敏的指标。如澳大利亚富锡与贫锡的花岗岩相比,岩石中锡含量相差4.5倍,而在黑云母中则相差达12倍。我国华南与锡矿有关的花岗岩的黑云母中锡含量也大大增高;国外某些铜、锌、锡、铀矿的黑云母中成矿元素含量比非矿岩体黑云母中高达数十倍。

含挥发分高的岩体有利成矿 如华南及国外的某些含钨、锡的花岗岩中都明显富氟。

杂岩体中晚阶段结晶的岩体和单个岩体的顶部往往有利成矿 其主要地球化学标志有:(1)富含成矿元素、伴生微量元素和挥发分(包括含挥发分的矿物增多);(2)某些稀散元素,如TR、Li、Be、Rb、Cs及一些元素的比值,如Pb/K、Zn/Pb、Zn/Fe、Rb/K、Sr/Ca、Hf/Zr等增高。

其他特征 如岩体的分异状况、与富含成矿元素和挥发分岩层的同化混染作用等都值得注意。如某岩体由于吸收含盐地层中大量的氯,使岩浆中的铁得以充分集中,形成了大型铁矿。

2. 自变质交代作用中成矿物质被携出的标志

碱质交代作用的结果,往往导致成矿元素在被交代岩石中的贫化,因而对比未交代岩石和受交代岩石中成矿及伴生元素的含量,对研究该岩体所含的成矿元素是否被携出是很有意义的。

3. 赋矿地段的标志

一些研究资料报导了含矿岩体中由远矿到近矿,某些元素发生的规律性的变化,可指示赋矿地段。如近磁铁矿体岩体中的Fe、Ca含量增高,SiO₂降低,近金矿体岩石中的重金属总量增高,近钨(钼、铜)矿体的黑云母中Cu、Ag、Sc、Y

含量增高而F、Na降低等等。

4. 矿液来源及预测相对矿化规模的问题

由于岩浆期后矿床主要产于岩浆岩体的外围，因而已知矿体的矿液是否来自被研究的岩体，也是关系到岩体评价成败的一个重要问题。通过自岩浆期到热液期“贯通元素”的研究、岩体自变质交代作用的研究，以及相对于岩体的矿床分带和微量元素分带、矿液与岩体生成深度的对比、同位素年龄的测定等，是有可能解决这一问题的。

矿化规模与岩体（或岩浆）提供出的成矿物质的多少、岩浆结晶条件、分异状况都有一定的关系。

四、几个具体工作方法问题

1. 要全面分析，综合评价

在评价过程中，由于各种指标都可能出现例外的情况，因而应当选取一组指标，综合考虑多种地质、地球化学因素，进行全面分析，综合评价。详细地进行地质、地球化学的观察与研究，注意与已知点的类比。但对复杂的地质现象，又应具体情况具体分析，避免生搬硬套。

2. 岩体的对比

一般说来，同时期、同构造旋回所形成的岩体有着相似的地球化学规律，便于对比。但应注意，同地区不同构造旋回的岩体间的地球化学特征有时会表现出规律性的变化，并能成为找矿标志。如华南自雪峰期至燕山期的花岗岩中，不仅岩石化学性质有规律性的变化，而且随着成矿元素含量的增高，其含矿性亦明显增大。

具体岩体间要注意同种岩性和同部位相对比，否则易造成假象。不同岩性的岩体一般应用元素比值及相关关系更好些。“元素对”的选择主要是考虑那些在地球化学性质上有一定相关性的元素。

3. 微量和常量元素的应用

造岩元素指标控制范围大，要求分析精度也高，对具体岩体的选择效果，常不如微量元素明显。由于分析方法复杂，故应以分析成矿及伴生微量元素组分为主。还应注意利用已有的分析化学资料，

必要时才测定部分造岩元素，进行综合分析。

4. 元素存在形式的研究

这对于分析岩浆中成矿及伴生微量元素的原始丰度、成矿物质的集中条件是很重要的。研究的方法除单矿物法外，还有：（1）化学萃取法，如常用的以 H_2O_2 法提取碱性-超碱性岩中呈硫化物形式存在的镍，比用全镍分析所得的结果能更可靠地评价岩体的含矿性。又如，花岗岩中的锌，常主要存在于黑云母中，用NaCl溶液溶样品后，可提取出黑云母中的全部的锌。（2）相关分析，根据元素之间的相关关系，可间接判断其存在的形式。如镍以类质同象形式进入硅酸盐晶格时，岩体中镍、镭成直线相关，而当存在硫化镍时镍镭关系就变复杂了。（3）其他技术手段，如偏光镜、电子显微镜、电子探针及气液包体研究等。

5. 样品采集

可用随机取样法。应对不同部位、岩性、侵入期和分异演化阶段的产物、不同蚀变矿化状况的岩石进行分别采样。考虑到岩体中元素分配的均匀性，每类样品的数量最好不少于5~10件。

6. 数理统计方法的应用

如元素的概率分布模式、判别分析、相关分析，对描述岩体中元素的分布状态和判别岩体与矿化的关系都有帮助。

7. 岩体与围岩

岩体评价仅是研究了整个成矿过程中某一阶段的某些地球化学作用，如与围岩成分的研究、构造分析及矿体（矿化）露头的地球化学评价工作结合起来，将会取得更好的效果。

* * *

岩体评价工作尚处于开始阶段，在理论研究和方法技术上还存在着不少缺欠，这些都有待于今后在实践中解决。相信随着找矿地球化学实践经验的不断丰富与地球化学理论的发展，岩体评价工作必将更加显示出其在找矿工作中的作用。

本文是作者的心得，由于掌握资料少，加之水平有限，错误和不当之处难免，敬希指正。