

花岗岩类岩体的地球化

学特点及其含矿性评价

初 绍 华

(辽宁有色地质勘探公司地质研究所)

岩浆是成矿物质的重要来源之一。已经查明,一定的内生金属矿床往往与固定的侵入体具有成因和空间上的联系。因此,研究岩浆岩的地球化学特点,对判断在岩体内部和周围形成空间上、成因上与其有关的某些金属矿床的可能性,以及区域成矿预测,具有重要的意义。

在岩浆熔融体结晶时,金属元素的大部分原子分散在组成岩石的矿物中,小部分则与岩浆的挥发组份(水、氯、氟、二氧化碳、硫、硼等)相结合,在侵入体内强烈运移,或者随着挥发组份一起离开侵入体。有些挥发组份(水和氟)能从根本上改变硅酸盐熔融体的物理性质。例如,含有大量水和氟的花岗岩熔融体,在550 ~ 600 °C时结晶,而含少量水和氟的熔融体,则在750 ~ 800 °C时结晶。花岗岩类的含矿性最终取决于母岩浆中挥发组份和某些元素的含量,以及岩浆喷射分异作用的条件和规模。

所谓花岗岩类岩体,系指碱性、次碱性、酸性和中酸性岩浆岩体。从上个世纪开始,人们就着手研究岩体含矿性问题,目的在于用定量准则代替定性概念,查明岩浆作用与矿化关系的具体标志。

按岩体的矿化程度,可把岩体划分为不含矿、矿化(含矿有限)和含矿岩体。矿化岩体是指没有形成工业矿化的岩体,多数具分散矿化,仅在有限条件下形成工业矿体。形成工业矿床的岩体,或者与其周围的金属矿床有密切空间和成因联系的岩体,称为含矿岩体。含矿岩体和不含矿岩体较容易区别,而矿化岩体与含矿岩体则难以区分。所谓花岗岩类的岩体含矿性评价,就是确定花岗岩类岩体的潜在含矿性,即判断岩体内部或周围形成与其有密切空间和成因联系的内生矿化的可

能性。解决这个问题,除应用地质学方法(地质构造、矿物—岩石、矿物学)以外,从本世纪开始,人们还广泛地利用了岩石化学资料和实验资料。

(一) 传统地质方法

传统地质方法是根据花岗岩的浅成性、酸性、浅色特点、分异程度以及副矿物成分进行岩体评价。但这些标志都有很大的局限性,藉此,往往还不能从众多的不停生矿化的类似花岗岩类岩体中,把含矿侵入岩体划分出来。

(二) 元素丰度研究

近十几年来,由于分析技术水平的提高,含矿性地球化学准则——元素丰度的研究开始受到重视。研究表明,在地质、岩石化学,特别是与地球化学相结合的基础上,有可能辨别含矿和不含矿花岗岩侵入体。

近年来,提出了这样一种观点,即工业矿化既可能是岩体中某些金属元素浓度增高的结果,也可能是浓度降低的结果。至于相应元素的浓度增高或降低多少,因为没有确定世界性平均克拉克浓度,计算含矿岩体中元素含量的变化水平一般是不可能的。在有些含矿岩体和杂岩体中,成矿元素浓度急剧增高,超过平均克拉克值几十到几百倍;相反,有些含矿岩体,成矿元素浓度低于克拉克值水平。

研究不同类型花岗岩体中Cu、Pb、Zn、Sn、Mo、Ag、W等元素的丰度表明,岩体中这些元素的含量偏高,并不是潜在含矿性的标志。事实上,含某种金属矿的岩体,该金属元素的含量可能不高;而某种金属元素含量高的岩体,并不一定形成该金属元素的矿床。例如,苏联某地区的花岗岩,锡的平均含量为0.0006%,其中含

锡矿的安粗岩系列花岗岩和刚玉奥长石质稀有金属浅色花岗岩，锡的平均含量分别为0.0005%和0.0022%，但与锡矿无关的钠质花岗岩类，锡的平均含量却为0.0018%。有些研究资料还表明，含水少的岩浆，即使其中锡、氟含量很高，也不能形成大型锡矿。因为水的含量低，会明显地减弱喷射分异作用程度。花岗岩岩浆潜在含矿性的必要条件是水和氟的含量都高。

В. Л. 巴尔苏科夫 (1964) 首先在统计学基础上，研究了元素浓度增高或降低的问题。他指出：锡矿化与岩浆作用的关系主要表现在花岗岩中该元素浓度的增高；多金属与岩浆作用的关系尚未查清；对第三类元素 (Mo)，结论是没有关系。

(三) 元素集中程度的研究

苏联应用元素集中程度，研究了晚二叠世花

$\text{Sn}_{10} - \text{F}_{4.1} - \text{Be}_3 - \text{Rb}_{2.9} - \text{Li}_{2.8} - \text{Pb}_{2.5} - \text{W}_{2.2} - \text{Mo}_{2.2} - \text{Zn}_{1.7} - \text{Ba}_{1.3}$
 $\text{Sr}_{0.1} - \text{Ba}_{0.1}$

以元素式描述花岗岩类岩体中亲岩和稀有元素集中 (分子) 和分散 (分母) 程度。

根据元素式计算集中指数 (HHK)，用以描述花岗岩类岩体亲岩和稀有元素总的集中或分散水平。 $HHK = KK_1 + KK_2 + \dots + KK_n - n$ 。式中， KK 为亲花岗岩元素的浓集系数； n 为参加计算集中指数的元素数。所谓亲花岗岩元素，是指在浅色花岗岩中富集，并同时是内生矿化特有的元素，其矿化与花岗岩侵入体有密切的空间和成因联系。根据富钙和贫钙花岗岩的克拉克浓度，查明K, F, Li, Rb, Be, B, Sn, W, Mo, Pb为亲花岗岩元素；而Sr, Ba, Zn则不是，计算 HHK 时舍去后几个元素。计算 HHK 值有计算Mo和不计算Mo两种方案，上述实例中，计算Mo时集中指数为+22.0，不计算Mo时为+20.8。

集中指数可用来说明花岗岩类岩体相对于具有克拉克值地球化学特点的花岗岩 ($HHK = 0$) 的地球化学异常程度。根据集中指数把岩体划分为：集中指数1~2的为矿化岩体；5~10的有远景的稀有金属岩体；15~45的岩体潜在含矿性最高。利用元素集中指数能够定量地估计

岩岩侵入体的岩石—地球化学特点及其含矿性。所研究的花岗岩类属于次碱性和钾花岗岩类， $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 在0.1~1范围内变化，碱度指数值为0.6~0.9，绝大多数岩体饱和氧化铝。

1. 元素式和集中指数

要得到某岩体的元素式，首先应计算该岩体中每个元素的平均含量相对于花岗岩中其克拉克浓度的规格化结果，即计算岩体中每个元素平均含量与花岗岩对应元素的克拉克浓度比值，也叫浓集系数 (KK)。平均含量近于克拉克浓度的元素 ($0.8 < KK < 1.2$) 剔除掉，然后按 KK 值大小依次排列，将 $KK > 1.2$ 者列于分子 (按降低次序)， $KK < 0.8$ 者列于分母 (以增高次序)，该式即称为元素式。为便于阅读，在元素间加上破折号。例如：

元素富集水平，用以判断花岗岩类岩体的含矿性比较准确可靠。亲花岗岩元素在岩体中分布范围越广，平均浓度确定的越准，判断含矿性的可靠程度就越高。

2. 元素集中序列

将某花岗岩岩体的亲花岗岩元素按富集系数大小依次排列，就得到该岩体的元素集中序列，可用来确定花岗岩类岩体集中或分散的元素组合，判断岩体潜在的含矿性。苏联内地的某稀有金属省，根据稀有金属元素集中序列，把岩体划分为弱 (半) 稀有金属、稀有金属和超稀有金属组。

弱稀有金属花岗岩：仅部分亲花岗岩元素 (Sn, Rb, W) 明显集中，富集系数为2~3，氟的含量较低，或者不超过克拉克值水平。浅色花岗岩类岩体具有类似的地球化学特点时，一般为不大含矿 (含矿有限) 的，可能只伴有不强的Sn矿化或Sn, W气成热液矿化，且贫氟的矿物、稀有金属矿物和硫化物矿物。通常是矿点很多，但储量小，意义不大，在有利条件下可形成砂锡矿床。

稀有金属花岗岩：所有亲花岗岩元素的含量

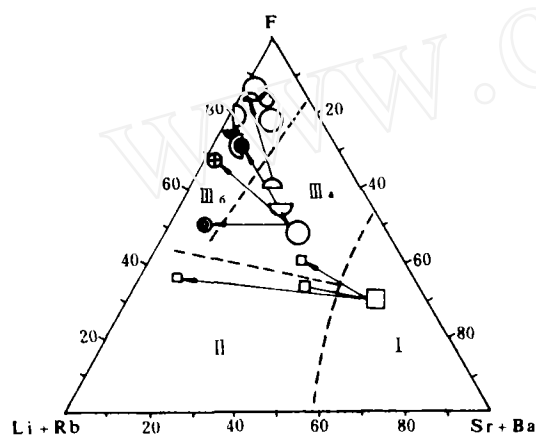
都增高,富集系数1.5~4,氟含量高(个别岩体中很高)。这类岩体是含矿的,几乎所有岩体中都有大型锡、钨矿床。

超稀有金属花岗岩:在各侵入体中,多数亲花岗岩元素浓度增高,但不固定,且变化范围大。其中F, B, Be, W的含量与稀有金属花岗岩类似, Li, Sn, Rb, Cs的含量特别高。这类侵入体常与Sn, Sn—W及稀有金属矿化伴生,但矿化强度和规模直接与侵入体的规模有关。

弱稀有金属、稀有金属浅色花岗岩的共同特点是贫Sr, Ba。

(四) 地球化学三角图解

科兹洛夫等人(1974)指出,利用地球化学三角图解,结合地质资料,可把花岗岩类侵入体划分为不含矿的、矿化的(含矿有限的)和含矿的(见图)。含矿岩体位于F—Li+Rb区附近,



地球化学三角图解

(据B. Л. Козлов, 1981)

I—不含矿岩体区; II—矿化(含矿有限)岩体区;

III—含矿岩体区; III_a—潜在含矿区; III_b—含矿区;

不同符号表示不同地区岩体,箭头所指为同类岩体

近于F角。F的含量高时,主要产有Sn矿床;较低时,主要产有石英—钨矿床。含矿岩体又可划分为潜在含矿(III_a)和含矿(III_b)的岩体。

应用三角图解的必要条件是,必须查明所研究花岗岩侵入体的期—相结构。作图要选择最特

征的元素,如F在岩浆期后金属矿化形成中起着主导作用,它的富集水平与含矿性有直接关系;花岗岩中稀有碱金属Rb和Li的浓度与所有亲花岗岩元素,特别是与Sn具有密切的相关关系,Rb和Li的富集程度大体上与稀有金属元素,特别是Sn的浓度成正比;Ba, Sr浓度总和与花岗岩的岩石化学分异程度有关,从早期暗色花岗岩到晚期浅色花岗岩,呈有规律地降低。Ba和Sr的含量在含矿和不含矿花岗岩中有显著差异,在含矿花岗岩中明显贫化。

上述岩体含矿性的地表化学标志,通常是浅色花岗岩所特有的。酸性花岗岩系列,一般属于浅色花岗岩, SiO₂高于73%,暗色矿物1~3%。多数稀有金属花岗岩含暗色矿物4~6%。

矿物成分和黑云母含量对岩体含矿性评价具有重要意义。浅色花岗岩中的黑云母是含矿性的主要指示之一。Li, Sn, F主要富集于造岩矿物,岩石中70~80%的Li集中在黑云母中;50%的Sn集中于暗色矿物;F的主要富集矿物是黑云母,多余的F部分与磷灰石结合,大部分赋存在黄玉和萤石中。因此,花岗岩中亲花岗岩元素富集程度异常高时,应结合其矿物成分综合考虑。例如,不含矿的暗色花岗闪长岩中,特征元素Sn的含量可能相当高,但这多半是由于黑云母和角闪石的含量增高而造成的。

(五) 花岗岩的地球化学类型*

花岗岩地球化学类型的含义是具有同一形成条件和形成方式的一组岩石,这些岩石产在一定的地质动力环境中,其化学成分、稀有元素的数量和矿物成分很相似,而且潜在含矿性和含矿性都相近的岩浆是在相似地质条件下形成的。

花岗岩的地球化学类型是以花岗岩中稀有元素Ba, Rb, Sr, Li, Zr和F, H₂O, CO₂, Cl, K₂O, Na₂O, Al₂O₃的含量作为划分标志的。据此,苏联归纳出不同地球化学类型花岗岩的特点及其成矿专属性(见表)。

Li, Rb, Sr和Ba的分布取决于以下原因:在岩浆结晶时, Ba和Sr趋向于集中在最早析出的

* Таусон(地矿部地质情报所译):花岗岩——矿石之源,1979年。

不同地球化学类型花岗岩类特点及其与成矿的关系

	花岗岩的地球化学类型	地球化学特点	成矿专属性
玄武岩类 岩类 的 特征 生物	1. 安山岩系列的花岗岩类	亲石元素含量接近于平均花岗岩, 水、二氧化碳和Cl高, 氟低。	含铜黄铁矿矿床、铜—钼矿床、金和银矿床通常都与安山岩系列花岗岩有关
	2. 安粗岩系列花岗岩	富含水、二氧化碳、氟、氯和硼, 钼、铷异常高, 钼平均为0.017 %。	含矿性最高。铜、钨、金、银、铋和铀矿床与安粗岩系列花岗岩有关
	3. 拉斑玄武岩系列斜长花岗岩	钾、铷、铯、铍、氟、钼极低, 钼平均仅为0.0003 %, 钼平均为0.0057 %。	含矿性最差
	4. 钠质火成岩类的稀有金属花岗岩	$Na_2O + K_2O / Al_2O_3 > 1$, 铈、稀土、铈、铊、铋、铷的含量异常的高, 铯、钼和水极低, 钼平均为0.004 %。	含稀有金属矿床, 与钼矿无关
再生花岗岩类	5. 碱性系列稀有金属花岗岩类	钾、钠特高。Ba低, 为0.05 %, Sr低, 为0.017 %。	浅成侵入体产有铀、钼矿床
	6. 碱性系列再生花岗岩	Ba高, 为0.155 %。Li低, 为0.0027 %。Kb低, 0.014 %。	含矿性最差
	7. 钙碱性系列再生花岗岩	水、氟、二氧化碳很高, 稀有元素成分更接近于平均花岗岩, 钼为0.083 %。	产有铀、钼、铋和少量金矿床
	8. 刚玉辉长岩质稀有金属浅色花岗岩	$Na_2O + K_2O / Al_2O_3 < 1$, 氟、铷、铯、铊、铋是花岗岩中最高的, 铷为0.044 %, 钼、铯低, 氟0.27 %, 水也高, 铯花岗岩铯高达2.5 %, 平均0.61 %。	含矿性最高, 产有铜、钨、铋、铀、铯、铊、铍、铷矿床
超变花岗岩类	9. 超变质花岗岩类	氟、铯、铍极低, 钼是花岗岩类中最高的 (0.28 %)。	含矿性最差

注: 据 Таузон 资料 (1978) 编制, 具有全部花岗岩平均稀有元素含量的花岗岩称为平均花岗岩。

长石中, Li, Rb则集中在残余的熔融体中。由于这些元素与F密切相关, 故在喷射分异过程中它们的运移作用很强。

综上所述,通过对花岗岩类元素丰度的研究,应用元素式、集中指数和集中序列确定元素集中程度,运用含矿性三角图解,以及根据不同地球化学类型花岗岩的特点和成矿专属性,有可能对成因上与花岗岩侵入体有关的一类金属矿床作出

准确的区域性地球化学预测。有关火成岩中稀有元素地球化学方面的资料,可作为研究地壳中元素异常场形成的理论基础,这种理论将成为深部矿床普查方法的科学依据。

主 要 参 考 文 献

- [1] 柯兹洛夫, В. Д. и др., Геохимия, 1985, №2, с. 222 ~ 232
- [2] 朱坚敏等: 地质与勘探, 1983, 第4期, 第54 ~ 62页