

作为花岗岩类含矿性指示矿物的黑云母

花岗岩岩浆可以认为是可能的矿质来源之一。因为绝大多数各种成因类型的稀有元素矿床在空间上都与花岗岩类有关。但是, 尽管在岩石或构造方面具备稀有金属矿化富集的有利条件, 也不是所有的花岗岩类都伴随产生矿床或矿点。

看来, 这与花岗岩岩浆的产生及其随后结晶的不同条件有关。这些条件决定着分散于其中的稀有元素形成岩浆期后富集的可能性。如果说用来判断对花岗岩类含矿性有影响的区域性特点或年龄特征方面的资料还不足的话, 那么大量的地质、岩石方面的考察都导致一种看法: 这种看法认为, 就含矿性的意义来说, 最有前景的往往是多期侵入体晚期的淡色花岗岩类, 以及规模不大而成份复杂的花岗岩类岩体。这种岩体均赋存于区域性断裂带, 一般称之为裂隙侵入体。

然而这几种标志也不是普遍适用的。因为无论是晚期淡色花岗岩类, 还是裂隙侵入体的花岗岩, 常常并不含矿。也许关于含矿可能性的充分资料在于花岗岩类本身的地球化学特征之中, 也就是在于金属元素在岩石及其组成矿物中的分布性质。

金属元素在花岗岩类中的含量

首先就是平均含量, 因为一般总是根据它来判断花岗岩类是否属于含矿类型。但由于平均含量并不能反映岩石中金属元素分布的均匀程度或是在构成岩石的各种矿物当中的分布情况, 所以它只能提供一个抽象的概念。

平均含量有什么成因上的意义, 不同的人有不同的解释。从一种可以认为是传统的观点来看, 高于克拉克值的稀有元素与金属元素的含量, 是在成矿方面具有专属性的岩浆的固有特征。这种岩浆在结晶过程中可以产生含矿侵入体。的确也有不少实例可以证明, 与花岗岩伴生的某些元素的矿点, 元素的含量可以超过克拉克值4~9倍。

但是, 如果说含矿岩体中某种元素的含量高于克拉克值, 就必须掌握从大量样品中计算得出的平均值, 而这些样品又应该充分地代表或是花岗岩类的某一岩石种类, 或是整个岩体。后者的情况特别重要, 因为金属元素含量往往较高的云英岩或伟晶岩, 常延伸到花岗岩体的顶部。这种由气体运移造成的局部富集与整个岩体的平均含量毫无共同之

处。此外, 若要对含矿侵入体中的金属元素作出高含量的结论, 还必须以未蚀变或蚀变极弱的花岗岩的分析为依据。这是因为含矿花岗岩一般均受到不同程度的岩浆期后蚀变。

由于对上述的测试条件不甚重视, 以致到现在还把金属元素的高含量看作是区分含矿与不含矿花岗岩的一个重要标志。

按照较新的一种观点来看, 花岗岩类的含矿性与其说归因于花岗岩岩浆稀有元素最初的富集程度, 不如说是若干有利条件结合在一起的作用。这些条件妨碍了稀有元素在主要的结晶阶段不分散, 而在更晚一些的伟晶岩或热液期形成堆积。证明这种看法的是愈来愈多地在含矿花岗岩中发现稀有与金属元素含量远比克拉克值为低的现象。

的确, 金属元素含量接近或低于克拉克值的现象已见于外贝加尔东部含锡花岗岩, 外贝加尔东部和哈萨克斯坦中部含钼花岗岩, 远东、外贝加尔东部与西部及阿尔泰的含钨花岗岩, 以及含绿柱石、含金、含钽的侵入体。

1927年, 施瓦茨等人曾经描述过锂辉石伟晶岩与片岩围岩的接触带, 发现伟晶岩中贫磷, 但较富集于片岩中, 伟晶岩富锂, 但未发现锂被带入片岩的明显迹象。据此得出一个结论, 认为伟晶岩的成份与它带入片岩的物质之间没有依存关系。同期, 洛多契尼柯夫提出了一个极化法则。他说: “……如果认为是偶然的话, 但却是相当经常地在侵入岩、喷出岩及其对围岩的作用中见到一种现象。根据这种现象的反复出现, 可以叫作同一种岩浆的岩浆期与岩浆期后矿物极化法则。它可用下面的一句话来表述: 火山期后过程所携带的某些元素或氧化物, 在决定这一过程的岩石本身当中含量极少。”作为例证, 他举出了与花岗岩接触的岩石之中镁、铁(黑云母)有所富集, 但这些元素对花岗岩本身并不起多大作用。辉长岩与辉绿岩将大量的钠(钠长英板岩、绿色板岩)带入围岩, 但本身所含这种元素却甚少。

1960年, 科纽克也注意到成岩元素在天山花岗岩侵入体形成时期表现出来的极化习性。外贝加尔西部的博姆-戈尔洪岩体所含Sn、Sc、Ta、Nb的量超过克拉克值, 而这些并不是岩浆期后呈现的特征元素。尽管伴随有脉状钨矿化和网脉状钼矿化,

但该类体的花岗岩类当中W与Mo的含量均甚低。

因此想起斯米尔诺夫在1964年写的一句话，他说：“我们还不十分确定地知道，铜、锡及其它一些元素在含铜、含锡和类似地区岩石中的含量，究竟是高于、还是低于克拉克值。”

金属元素在黑云母中的含量

测定金属元素在岩石中的总含量并不能提供有关其赋存状态的认识。但掌握总含量又是十分重要的，因为只有通过它才能判断花岗岩类岩体的矿化程度。实际上，岩石中元素含量高的原因，或由于其本身以类质同像为主的赋存形态，或由于其大部份集中于某种独立矿物当中。它们反映出花岗岩岩浆可有极不相同的产矿能力：在一种情况下不形成矿床，在另一种情况下成矿作用很明显。

因此，稀有元素和金属元素矿物本身在花岗岩中的含量以及这些元素在造岩矿物（特别是黑云母）中的含量，都应作为花岗岩类含矿性的补充标志。同时可以认为，金属元素在一定的矿物中含量骤增（如黑云母中的锡、斜长石中的铍），也属于含矿侵入体的一种典型特征。

不少人十分倾向于把黑云母当作花岗岩类含矿性的指示矿物。这在某种程度上是由于在花岗岩类造岩矿物当中，各种伴生元素含量最高的首推黑云母。这是因为黑云母特有的成份和结构最利于一系列元素进入它的晶架，而且它本身析出的时间较晚，即正当金属元素在熔体中相对富集的时候。可以说，正像对花岗岩类一样，黑云母中金属元素的高含量也可以看作是钼、锡、铍、钨等元素含矿性的一个指标。

但是要查明导致产生这种高含量的原因，一方面应考虑黑云母析出的时间或成份上的特点（这两者并不是固定不变的，而且对稀有元素进入黑云母晶架的数量也有影响），另一方面还要研究这些因素究竟能使黑云母中某种元素的平均含量提高多

少，是否原因就在于类质同像的赋存形态。

平均含量 要判断矿物中某元素的含量高低，必须知道它的平均含量，而可信的平均含量应该以相当数量的分析结果为基础。某些元素的平均含量列于表1。

在进一步比较研究黑云母中稀有元素和金属元素的局部含量和平均含量时，我们确信存在两种现象。一种是含矿花岗岩类的黑云母所含金属元素的量超过平均值，另一种则低于平均值。具体的例证是：Mo的高含量为82克/吨，低含量为2.3克/吨；钨是10克/吨（高）~5.0克/吨（低）；锡是120克/吨（高）~2.50克/吨（低）；等等。不含矿的花岗岩类黑云母所含金属元素的量往往高于平均值。例如，吉萨尔山脊花岗岩类当中的黑云母含钼30克/吨，蒂尔内阿乌兹花岗岩中的黑云母含锡99克/吨。

小包体 对上述资料可以求得一种解释，即设想黑云母中金属元素含量高的原因不仅在于元素赋存的类质同像形态，而且也在于它的矿物形态。换言之，就是与金属元素纯矿物的小包体有关。实际上，造岩矿物中副矿物包体可能很多，所以当我们断定黑云母中稀有元素与金属元素含量的大小时，要十分慎重，因为不能确信其中是否没有这些元素的矿物包体。举例来说，在光、薄片上的计数表明，阿尔泰花岗岩中有33%~73%的褐帘石、锆石、磷灰石、榍石、磁铁矿和绿帘石是以小包体的形式存在于黑云母中。在乌克兰的前寒武纪花岗岩中，黑云母里面独居石等副矿物的分布密度比在其它造岩矿物中高两级。

榍石和磁铁矿是黑云母中最普通的包体，它们对于黑云母中钼、铁含量的影响通过两组分析结果的对比可以确定：一是分析仔细挑选出来的自然大小的黑云母晶体；另一是分析经过磨碎和离心分选的样品。后一组的分析结果是TiO₂的含量由3.5%降为2.5%，Fe₂O₃由7.4%降到6.3%。

苏联寒武纪后花岗岩类侵入体黑云母中金属与稀有元素平均含量，克/吨 表1

元 素	花 岗 闪 长 岩	花 岗 岩		
		黑云母花岗岩	淡 色 花 岗 岩	侵入花岗岩(平均)
W	1.5 (2)	6.8 (65)	13.7 (6)	7.2 (73)
Mo	4.4 (16)	5.8 (108)	9.8 (13)	6.0 (137)
Sn	41.5 (36)	66.8 (179)	71.0 (71)	76.5 (326)
Nb	93.4 (71)	148.1 (207)	198.2 (48)	143.6 (326)
Ta	9.8 (38)	16.8 (168)	14.2 (37)	15.3 (243)

注 表中 括号内的数字为分析的次数，从中求得平均值。以下各表均同。

云母中因有锆石的小包体而使其含量高达150克/吨,但去掉这些包体之后,锆石含量只有18~56克/吨。黑云母所以具有较高的放射性,一般认为原因不在于其结晶格架中铀、钍的含量高,而在于锆石、晶质铀矿或铜铀云母中的小包体。正是这些放射性矿物的小包体才使乌克兰与哈萨克斯坦花岗岩中黑云母的铀、钍含量增多。此外,黑云母平均含有1%的稀土,大部份看来也是来自独居石或磷钇矿小包体,它们即是多色晕圈的中心。这种情况也适合于铌、钽,因为天河石花岗岩中的云母富集了岩石中大部份的钽铁矿-铌铁矿。

以上例证是有关稀有元素矿物小包体的,但已确定它们对一系列金属元素也有影响,比如说,沿解理赋存于云英岩化未蚀变花岗岩云母中的辉钼矿薄片。

为了查明含矿花岗岩中黑云母的金属元素含量偏高与存在这些元素纯矿物小包体之间可能的依存关系,曾经从 Sn、Ta、W、Mo 矿床的花岗岩类

当中分离黑云母。每份称样分为两组,一组磨碎后再经离心分选,另一组保持原来自然状态的大小。两组的分析结果见表2。从这些数据中可以看出,含矿花岗岩某些金属元素(Sn、Ta、Nb、Cu、Mo、W)的含量,在经过离心分选的黑云母中降低33%~75%。这是因为去掉了上述元素的独立矿物小包体,诸如钽铁矿-铌铁矿、黄铜矿、辉钼矿、黑钨矿,以及其它一些以硫化物为主的金属矿物。光谱分析证明在离心分选后的黑云母中,Cr、Ni、Co、V、Pb的含量显著降低。

黑云母中所含金属矿物小包体对其成份产生的污染影响,文献中已有记载。磨碎后经过离心分选的白云母,其含锡量比纯手选的要低50%。

从外贝加尔东部花岗岩分离出来并磨碎为0.6毫米的黑云母,含钼310克/吨;磨碎为0.2毫米再经离心分选之后,含钼量只有3.5克/吨。有时经离心分选以后含钼量为6.8~1.9克/吨。

因此,含矿花岗岩类黑云母中稀有元素的含量

不同研磨粒度黑云母中金属元素含量,克/吨 表2

试样号	Sn	W	Mo	Zn	Nb	Ta	Cu
含锡花岗岩(楚科奇)							
1	49	6.8	8.0	280			
	40	4.5	6.0	280			
2	160	1.1	2.0	300			
	100	1.2	1.0	220			
3	20	1.5	5.0	210			
	20	0.7	3.0	200			
含钼花岗岩(外加贝尔东部)							
4	620	7.0	3.0	600	2666	70.5	
	470	5.0	2.0	300	224	51.7	
5	750	3.0	1.0	520	224	98.4	
	700	1.0	1.0	450	112	36.1	
铜-钼花岗岩(阿尔明尼亚)							
6	15		2.0	220			40
	8		1.0	250			25
7	10		2.0	220			75
	7		1.0	400			56
8	11		0.7	210			46
	8		1.0	200			20
钼-钨花岗岩(北加高索)							
9	64	8.5	22.7	367	136	12.2	260
	57	1.8	2.5	370	103.5	11.89	200
10	62	1.2	5.0	450			200
	52	0.7	3.0	260			200

注:分子为手选黑云母的分析数值,分母为离心分选后黑云母的分析数值。

超过平均含量(见表1),具体情况是(以克/吨计算):滨海区含锡花岗岩黑云母的锡含量为400,外貝加尔东部为200,哈萨克斯坦为250;外貝加尔东部含钼花岗岩黑云母的钼、铌含量相应为234~2450;北高加索含钼花岗岩黑云母的钼含量为82。以上的数据看来都应归因于这些元素的独立矿物小包体。

金属元素赋存的类质同像形态与其矿物形态之间的相互关系 根据一系列的情况确定存在一种依存关系,它表现为花岗岩中任何一种金属元素独立矿物的出现都对该元素在黑云母中的含量有影响。例如,含有大量Ta、Nb矿物(钽铌矿、黑稀金矿、铌铁矿-铁铌矿)的含钼花岗岩,其黑云母的含钼量比钼-铌酸盐类副矿物较少的不含钼花岗岩中的黑云母要多九倍。

在苏萨梅尔岩基浅色花岗岩类当中存在铀钍石,这种花岗岩类的黑云母中含Th 260克/吨、U 25克/吨,但在该岩体的未查出存在铀钍石的黑云母-角闪石花岗岩中,黑云母所含Th、U只有38.5和5克/吨。前边已经提到,近几年的工作确定黑云母中的多色晕圈是因为存在晶质铀矿、钍石、独居石等放射性强的副矿物小包体。

同样的依存关系也见于图瓦次碱性侵入体的锆石。这种关系表现为锆石中存在的各种杂质元素在质和量上直接取决于与锆石共生发育的有关副矿物在岩石中的含量。比如,锆石中钽的含量随着岩石中黑稀金矿含量的增高而加大;钽与钍石的出现有关;铌、钼则与岩石中存在烧绿石、铌铁矿或黑稀金矿有关。

但是,矿物中金属元素含量增高与花岗岩中这些元素的独立矿物数量之间类似的直接依存关系远非经常可见。往往会发现另一种相反的依存关系,即花岗岩中金属元素的独立矿物的低含量与其在矿物中的高含量相适应。这是因为该元素或以类质同像杂质的方式在造岩矿物和副矿物结晶格架中分散,或是形成另一些矿物。譬如说,在乌拉尔的花岗岩类当中,赫尔金花岗岩含大量的磷钼矿,但其中的石榴石含钼量却很低;科赤卡尔花岗岩含有钼-铌酸盐类,但其中的钽铁矿含铌甚少。此外,依里姆诺戈尔斯克、札貝卡拉盖依的花岗岩类实际上不含钼-铌酸盐类,但其中的榍石与钽铁矿的含铌量则较高。

最近的研究工作还证明,黑云母中的铌、钼含量超过平均值时,花岗岩中钼-铌酸盐类的数量往往低于平均含量;前者若低于平均值,后者则较高。

在这方面最明显的是科坦苏依岩体的黑云母和浅色花岗岩:黑云母的含Ta量比平均值大1.5倍,而花岗岩中的钼-铌酸盐类含量则比平均值低2/3。

苏萨梅尔岩基花岗岩类所见的铀钍石是零星少量的,褐帘石平均(5个测试结果)含Th 18932克/吨,包括了岩石中50~70%的钍。含有大量铀钍石(副矿物)的罕塔乌岩体的花岗岩类是另外一种情况。该处褐帘石含钍量极低,只有1500克/吨,仅包括岩石中全部钍的3~6%,54.5%的Th均在铀钍石中。

表现在花岗岩类的黑云母或其它造岩矿物、副矿物中金属元素含量与这些元素的独立矿物之间相反的依存关系,原因在于某种元素在某一组共生矿物之间严格不变的分配关系。与黑云母争夺某种金属的矿物一出现,一般均使这种金属在黑云母中的含量明显降低。因此上述的黑云母中金属元素含量与花岗岩中这些元素的独立矿物数量之间的直接依存关系,常常要归因于黑云母中存在这些矿物的小包体。

金属元素的分布性质 根据黑云母的成份特征来评价花岗岩可能的含矿性,特别是用来查明导致其中金属元素含量增高的原因时,分析这些元素在黑云母中的分布性质会有很大帮助。在这方面,对比雅库梯自治共和国扬-布鲁拉赫区含矿(Sn、Li)花岗岩类黑云母的成份与苏联花岗岩类黑云母的平均成份,可以得到颇有意义的资料。

首先可以明确的是,这些花岗岩类当中黑云母的金属元素平均含量,总是高于平均值很多(见表3)。因此会使人感到目前一种相当普遍的看法似乎是合理的,即认为含矿花岗岩中黑云母的特点就是相应金属元素的含量高。但是如果仔细分析这些元素在黑云母中的局部含量,就会很容易地把它们分为两组,而且两组当中都有金属元素含量近似的黑云母。含量高的一组,一般却是测试出现的次数比较少,然而正是这一组极大地提高了平均含量。假如没有该组,扬-布鲁拉赫区含矿花岗岩中黑云母的金属元素平均含量会比平均值低百分之五十。

黑云母的金属元素含量所以会出现大小不同两组的原因,看来就是与其本身所含这些元素的独立矿物小包体有关。上述地区花岗岩类矿物成份的特点也可以证实这种看法,该地花岗岩类所含Sn、Li矿物和Nb、Ta矿物分别比平均含量高100~150倍和15倍。

通过频率多边形的分析还可以证明这种高含量并非由于黑云母中的类质同像杂质。例如,根据表3的数据可以列出黑云母中出现Sn、Li、Nb、Ta

雅库梯自治共和国扬-布鲁拉赫区花岗岩类黑云母中金属元素含量 克/吨 表 3

元 素	扬-布鲁拉赫区花岗岩类中的黑云母			苏联各地花岗岩类中的 黑云母
	1 组	2 组	平 均	
(1)	18	9	27	396
Sn (2)	26~84	102~240	26~240	
(3)	52	140	81	76.5
(1)	9	14	23	326
Nb (2)	49~91	147~406	49~406	
(3)	75	268	192	143.6
(1)	9	13	22	243
Ta (2)	8.2	16.4~57.4	8.2~57.4	
(3)	8.2	34.7	23.8	15.3
(1)	19	6	25	297
Li (2)	400~2400	3200~4600	400~4600	
(3)	1429.0	3690.0	1972.0	916.0
(1)	21	3	24	159
Cs (2)	10~520	1100~2700	10~2700	
(3)	225.0	1633.0	401.0	107.0

注: (1) - 分析个数; (2) - 含量上下限; (3) - 平均含量。

雅库梯自治共和国扬-布鲁拉赫区花岗岩类若干矿物的比较特征 克/吨 表 4

矿 物	苏联各地的黑云母花岗岩(170)	雅库梯自治共和国的花岗岩类(4)
磷铝锂石	0.02	2.01
锡石	0.14	54.06
铌-铌酸盐类	4.80	179.80

的频率多边形, 对比之下不难发现每一个多边形中都有分属于不同组合的两个最大值。含量高的一组, 看来是因为存在这些元素的独立矿物小包体。

结 论

1. 侵入体的含矿性不仅体现了岩浆原始成份的功能, 而且也反映着形成侵入体的各种条件的作用。后者决定了造矿元素的赋存状态; 或以分散状态留存在岩石之中, 或者以某种方式富集起来。

因此, 如果把花岗岩岩浆的产矿能力看成是分散的金属元素在一系列条件配合下于岩浆晚期和后期阶段积聚形成花岗岩体的一种作用, 那么这种产矿能力表现的首要标志就是出现这些元素的独立矿物, 即一般所说的副矿物。尽管产矿能力的充分表现需要一系列因素的有力配合, 而出现的这些矿物却固定于一种新的、比类质同像更集中的金属元素赋存形态, 即矿物分散形态。也就是说, 岩石中的

稀有元素以分散的微观、次微观析出物存在。

2. 关于岩浆产矿能力的上述论断是否确切, 还可由黑云母中金属元素赋存的类质同像形态与矿物形态之间相反的依存关系来证实。所列的数据表明, 含矿花岗岩类黑云母中稀有元素含量高常常是因为存在这些元素的独立矿物小包体。根据就是此种元素在离心分选后的黑云母中含量变低; 表明存在不同组合的频率多边形的特征; 以及金属元素赋存的类质同像形态与矿物形态之间的反比关系。

3. 去掉小包体后, 含矿花岗岩类黑云母的金属元素含量将低于平均值。这不仅说明此种元素以类质同像分散方式存在的可能性是很小的, 而且指出含矿花岗岩中具备使金属元素形成独立矿物的有利条件, 后者可能被纳入与它同时形成的黑云母晶体, 其中所含的这种元素也往往较多。

4. 因此, 一方面可以把花岗岩岩浆的产矿能力看作是其中分散金属元素形成独立矿物的能力, 同

(下转第64页)

2.根据理论在测区必须存在有被电化学活动性有差异的溶液所饱和、或被部分充填的水平带。其分界面通常以地下水水面来代表。

3.在这两个地下水带之间,金属矿必须是连续导电的(即块状的或者至少是部分呈脉状的)。因此金属矿富集部分应穿过地下水水面。

4.产生自然电场的金属矿必须位于深度不太大的地方,以便在地表可测出它所产生的电场。风化层深或覆盖层厚,将使自电反应变模糊。

5.自电异常不应受到切割地形引起的过激电场所掩盖,或是被它严重地歪曲。

布尔卡山、加尔瓦德格尼和布里达尔本的地面物探和钻探结果,证明在莱基兰地槽内的地质环境,对使用自然电场法是有利的。作者认为莱基兰地槽的地形和地下水条件以及矿石的类型对成功地使用自然电场法所需要的条件均能够满足。

虽然自然电场法、磁法或者加上化探,对地下金属矿床可能给出很明显的表示,但许多地质和物探人员在没有相应的激发极化异常的情况下,提出钻孔验证可能会感到勉强。布尔卡山的时域激发极化结果,确实表明它有能力圈定出未风化的基岩中新鲜的金属矿的位置。加尔瓦德格尼的频率域激发极

化法资料也同样地取得了效果,虽然它与自然电场法所圈定的矿体位置一样,但它比自然电场法的勘探深度大。在布里达尔本由于受到电力传输线的干扰,在硫化矿上没有提供有用的资料,但这种情况还是罕见的。

我们并不认为自然电场法比激发极化法或别的物探方法更有用。但是,我们认为,如果对决定自然电场法有效性的某些环境参数没有进行研究,就在勘探计划中把自然电场法排斥在外,这是不对的。在特定的金属矿区内和特定地形条件下,自然电场法可以作为一种明确的、经济的勘探手段。与磁法和化探一起,对于一小块地区作出初步评价。然后,对于自电结果,或磁法结果、或化探结果、或是这些方法的综合结果,以及对那些用这些方法没有获得效果的地区,并根据地质或其它理由认为有远景的地区,再作激发极化法。

自然电场法的工作效率高、费用低,定性解释容易,这种方法是值得勘探部门认真加以考虑的。

摘译自《The Australasian Institute of Mining and Metallurgy》,

1973, No.246, P.21~30.

尤启明译,熊光楚校

(上接封三)

时应当承认它们在黑云母中的高含量并不总是花岗岩含矿性的一个直接指标。这是因为黑云母中稀有元素含量与花岗岩中这些元素的独立矿物数量之间常会见到反比的关系。作为一种指标,很可能黑云母中金属元素的含量较平均值低的情况更可靠。更能说明这种可能性的一点就是:花岗岩中金属元素的含量往往低于克拉克值。这种情况同时也反映在对花岗岩岩浆的地球化学特征十分敏感的黑云母的

成份上。

5.需要指出的是,含矿花岗岩中黑云母的金属元素含量低,并不是什么异常的现象,而可能反映了某种更高一级的规律。也就是说,含矿岩石中某一相应元素的贫化,意味着该元素可能在不同类型和规模的矿化作用中富集。

译自《Геология рудных месторождений》

1973, №1, с.41~50

龚昶行译,禾江校