

围岩的时代、岩性化和学成分 对外贝加尔内生矿化赋存的意义

(统计资料)

容矿围岩对于成矿溶液的成分,因而也就对矿石的成分必然要产生影响。但由于成矿作用如同多数地质过程一样,是一个随机-概率过程,所以围岩成分对内生矿化赋存影响的一般规律,只能通过掌握尽可能完整的数据来表征。也就是说,某一种围岩对于一定类型的矿化是有利还是不利,应当理解为一种主导的趋势,而其中必有一些例外。阐明外贝加尔地区的这种主导趋势和其中的例外情况,即为本文之目的。

原始资料

作者手头上有外贝加尔中部、东部和北部全部内生矿化的材料。该地区发现了5215个矿点(矿床和矿化点),其中锡644处,钨534处,铅、锌1139处,钼855处,金1375处,萤石688处(表1)。上述矿点,只有一部分矿床获得了储量,而绝大部分矿点的地质储量则是笔者根据现有资料计算得出的。

多半部分矿点在成因上与侏罗纪的岩浆岩有关。矿化类型有:热液型和少数矽卡岩型Pb-Zn、Mo、Au矿点;热液型、云英岩型和少数矽卡岩型Zn、W矿点;低温热液型Au和萤石矿点。不排除有一部分矿床生成于侏罗纪以前的元古代、早古生代和晚古生代,即分别相当分布于外贝加尔的侵入体的时代。

表1列出的岩石成分和时代的资料,取材于每个矿点的描述。在矿化赋存于不同的岩石的情况下,则把集中了多数储量的岩石当作围岩。围岩在水平方向上的分布,是在地质图上用求积仪求得的。用作查明岩石与矿化关系的不同岩性和时代的岩石变种,其

平均化学成分是根据4000余个硅酸盐分析结果算出的算术平均值。在确定不同时代和岩性的岩石变种中的成矿元素平均含量时,利用了141 675个定量和半定量光谱及其他分析结果。

有利于成矿的围岩标志

简单地统计某种岩石内的矿点数目或其总储量,还不足以说明岩石对于成矿的有利程度,因为各种岩石在现地所占据的面积是不同的,由此,考虑到矿化过程的随机特点,岩石占据的面积(岩石时代晚于矿石时)越大,其中矿点的发现率也越高。因此,作为评价有利成矿的岩石的标志,笔者采用了矿化密度(Π)和矿床的平均规模(CPM)。每个矿点的矿化密度(ΠT)等于落在单位面积(100平方公里)内的矿点数。这后一个数值,由根据有用组分储量得出的矿化密度($\Pi 3$)而得以补充,它等于落在单位面积(100平方公里)上的储量数值。矿床的平均规模由某种岩石中有用组分的总储量与拥有这些储量的矿点数之比值来确定。CPM可以表示出:什么样的围岩有利于大型矿床的赋存。

围岩的岩性与时代(表1、图1~4)

对于矿点总数和单独计算的多数金属而言,由太古代到泥盆纪地层,陆源岩石的矿化密度(ΠT)逐步减小,而由二叠纪到侏罗纪则逐步增大(图2)。在石炭纪地层中,矿化密度增高,以锡、金矿化最甚。从寒武纪到泥盆纪,碳酸盐岩石矿点总数的 ΠT ,由于岩石中MgO:CaO含量比的减少而有明

外贝加尔内生矿化分布与围岩时代、岩性的关系

表 1

时代	岩 石	面 积		Sn	W	Pb、Zn	Mo	Au	F
		100KM ²	%						
沉 积 岩 与 喷 出 岩									
A	陆源岩石	18	0.68	0.17 0.01	0.06 0.00	0.78 0.83	0.58 0.03	1.39 0.36	0.11 0.01
Pt	陆源岩石	181.2	6.83	0.48 0.56	0.35 0.03	0.49 1.23	0.35 0.02	0.85 0.15	0.23 2.89
	碳酸盐岩石	50.8	1.92	0.08 0.00	0.12 0.54	1.12 5.26	0.24 0.00	0.24 0.00	0.58 41.9
	基性火山岩	44	1.66	0.07 0.00	0.07 0.11	0.11 0.00	0.07 0.00	1.26 1.16	0.02 0.00
	总 计	276	10.7	0.34 0.37	0.27 0.08	0.55 1.77	0.29 0.01	0.78 0.29	0.26 9.57
	陆源岩石	42	1.58	0.64 0.33	0.19 0.26	1.17 3.64	0.24 0.01	0.45 0.1	0.12 0.00
	碳酸盐岩石	28	1.06	1 0.54	— —	7.32 41.97	0.54 0.18	1.68 0.51	0.57 3.39
E	总 计	70	2.64	0.79 0.42	0.11 0.16	3.63 18.97	0.36 0.07	0.94 0.26	0.3 1.47
	S	陆源和碳酸盐岩石	1	0.04	—	—	—	—	—
D	陆源岩石	35	1.32	0.4 0.06	0.09 0.06	0.23 0.01	0.32 0.02	0.54 0.00	—
	碳酸盐岩石	4	0.15	0.5 0.05	0.75 0.08	3.5 0.13	0.75 0.01	2.25 0.33	—
	基性火山岩	4	0.15	0.75 0.00	— —	0.75 0.08	— —	0.25 0.08	—
	总 计	43	1.62	0.44 0.05	0.14 0.07	0.58 0.14	0.33 0.02	0.68 0.01	—
	陆源岩石	62	2.34	0.84 0.01	0.06 0.00	0.32 0.05	0.23 0.02	1.15 0.1	0.05 0.1
	碳酸盐岩石	1	0.38	—	—	1 0.2	— —	1 0.8	—
C	基性火山岩	3	0.113	—	—	0.33 0.00	—	—	—
	总 计	66	2.49	0.79 0.01	0.06 0.00	0.34 0.05	0.21 0.02	1.09 0.11	0.05 0.1
	陆源岩石	23	0.87	0.04 0.01	0.13 0.1	—	—	—	—
	基性火山岩	1	0.34	—	—	—	—	—	—
P	总 计	24	0.904	0.04 0.01	0.13 0.1	—	—	—	—

T	陆源岩石	172	6.48	0.27 0.02	0.28 0.14	0.11 0.2	0.04 0.00	0.44 0.04	0.03 0.17
J	陆源岩石	160	6.03	0.23 0.42	0.39 1.09	0.68 0.72	0.19 0.03	0.41 0.04	0.18 13
	基性火山岩	5	0.19	0.4 0.00	0.6 0.00	15.2 142.2	4.2 0.62	21 5.2	7.8 151.8
	酸性和中性火山岩	63	2.38	0.11 1.73	0.05 0.00	0.19 5.32	0.16 0.00	0.19 0.00	0.37 1.98
	总计	228	8.59	0.2 0.77	0.29 0.76	0.86 5.09	0.27 0.04	0.8 0.15	0.4 13.01
K	陆源岩石	229	8.63	—	—	—	—	0.14 0.59	0.02 0.05
	基性火山岩	21	0.79	—	—	—	—	0.1 0.00	0.43 13.67
	总计	251	9.46	—	—	—	—	0.14 0.54	0.06 1.19
沉出 积岩 与 总 喷计	陆源岩石	922	34.75	0.29 0.32	0.18 0.21	0.33 0.59	0.16 0.01	0.58 0.22	0.09 2.99
	碳酸盐岩石	84	3.17	0.41 0.19	0.44 0.37	3.3 17.19	0.36 0.06	0.74 0.19	0.57 26.35
	基性火山岩	78	2.94	0.1 0.00	0.1 0.06	1.09 9.13	0.31 0.04	2.08 0.99	0.63 3.24
	酸性和中性 火山岩	63	2.38	0.11 1.73	0.05 0.00	0.19 5.32	0.16 0.00	0.19 0.00	0.4 1.99
	总计	1174	43.2	0.27 0.28	0.18 0.21	0.59 2.64	0.18 0.02	0.61 0.25	0.18 5.35
火 成 岩									
Y	花 岗 岩	325	12.2	0.04 0.00	0.04 0.00	0.16 0.00	0.16 0.05	0.11 0.06	0.19 0.77
Yδ	花岗闪长岩	52	3.1	0.08 0.00	0.06 0.00	0.13 0.02	0.39 0.00	0.38 0.04	0.15 7.42
δ、λ	闪长岩和辉长岩	17	0.64	0.11 0.00	0.12 0.00	0.47 0.00	0.47 0.00	0.29 0.12	0.29 0.23
Pt	总计	394	15.94	0.11 0.00	0.04 0.00	0.17 0.00	0.2 0.00	0.15 0.06	0.18 1.62
Y	花 岗 岩	301	11.3	0.05 0.00	0.08 0	0.09 0.00	0.24 0.01	0.18 0.00	0.07 0.4
Yδ	花岗闪长岩	75	2.9	0.12 0.00	0.04 0.00	0.08 0.82	0.31 0.01	0.69 0.02	0.2 0.12
λ、δ	闪长岩和辉长岩	4	0.15	—	0.5 1.25	2.5 2.2	0.5 0.00	4.75 2.45	2.5 114.5
Pz ₁	总计	380	14.35	0.07 0.00	0.07 0.01	0.1 0.19	0.25 0.01	0.33 0.03	0.12 1.54

γ	花 岗 岩	337	12.7	0.15	0.14	0.33	0.25	0.36	0.46
				0.00	0.48	0.59	1.35	0.51	6.17
γδ	花岗闪长岩	88	3.2	0.42	0.43	0.35	0.53	0.66	0.39
				0.03	0.06	0.37	0.01	0.16	3.77
δ, λ	闪长岩和辉长岩	5	0.19	1.2	0.2	0.8	2.2	1.6	1.4
				3.4	0.03	16.8	0.03	0.44	5.8
J	总 计	430	16.09	0.21	0.2	0.34	0.33	0.44	0.46
				0.05	0.4	0.73	1.06	0.43	5.7
γ	花 岗 岩	185	7	0.68	0.69	0.42	1.06	0.49	0.68
				0.08	0.5	2.80	1.14	0.05	3.04
γδ	花岗闪长岩	95	3.6	0.7	0.6	1.01	1.29	1.24	0.18
				0.04	0.08	0.2	0.16	0.85	0.59
δ, λ	闪长岩和辉长岩	0.5	0.02	2	12	60	10	42	6
				0.00	42	30	0.00	2.4	0.18
J	总 计	280.5	10.62	0.68	0.68	0.62	1.1	0.82	0.52
				0.07	0.43	1.91	0.8	0.33	2.2
火 成 岩 总 计	花 岗 岩	1148	43.2	0.18	0.18	0.23	0.35	0.26	0.31
				0.01	0.22	0.63	0.6	0.18	2.63
	花岗闪长岩	310	12.8	0.37	0.32	0.45	0.7	0.8	0.24
				0.02	0.04	0.37	0.05	0.32	2.5
	闪长岩和辉长岩	27	1	0.33	0.41	2	1	2	0.92
				0.63	1	4	0.01	0.61	18.1
	火成岩总计	1485	56.8	0.22	0.21	0.31	0.43	0.41	0.31
				0.03	0.2	0.63	0.46	0.22	2.9
	火山岩总计	141	5.3	0.11	0.07	0.69	0.24	1.23	0.52
				0.77	0.04	7.4	0.02	0.52	8.3
	沉积岩总计	1006	37.9	0.3	0.2	0.58	0.17	0.59	0.13
				0.21	0.23	1.97	0.02	0.21	4.8
	全体总计	2632	100	0.24	0.2	0.43	0.32	0.52	0.25
				0.13	0.2	1.5	0.27	0.23	3.9

上面的数字——根据矿点数计算的矿化密度 (ΠТ)

下面的数字——根据储量 (假定单位) 计算的矿化密度 (ΠЗ)。

岩 石	Sn	W	Pb, Zn	Mo	Au	F	总计
花岗岩							
花岗岩与辉长岩							
酸性喷出岩							
基性喷出岩							
陆源岩石							
碳酸盐岩石							

图1 外貝加尔各种岩石的平均矿化密度

岩石与时代	Sn	W	Pb,Zn	Mo	Au	F	总计
J							
侵入岩 Pz ₃							
(平均) Pz ₁							
Pt							
闪长岩	20	120	600毫米	100	420毫米	60毫米	33,5毫米
与 Pz ₃				22		1,4	
Pz ₁			25毫米		47,5毫米	25	26毫米
辉长岩 Pt							
J							
花岗岩 Pz ₃							
闪长岩 Pz ₁							
Pt							
J							
Pz ₃							
花岗岩 Pz ₁							
Pt							
酸性喷出岩 J							
Cr							
J							127,5毫米
基性 P							
火山岩 C							
D							
Pt							
C							
碳酸盐 D			35毫米				
岩石 Cm			73毫米				
Pt							
Cr							
J							
T							
陆源 P							
岩石 C							
T							
Cm							
Pt							
A							
	Sn	W	Pb,Zn	Mo	Au	F	总计

图2 矿点数的矿化密度变化(ΠТ)与围岩时代及岩性的关系

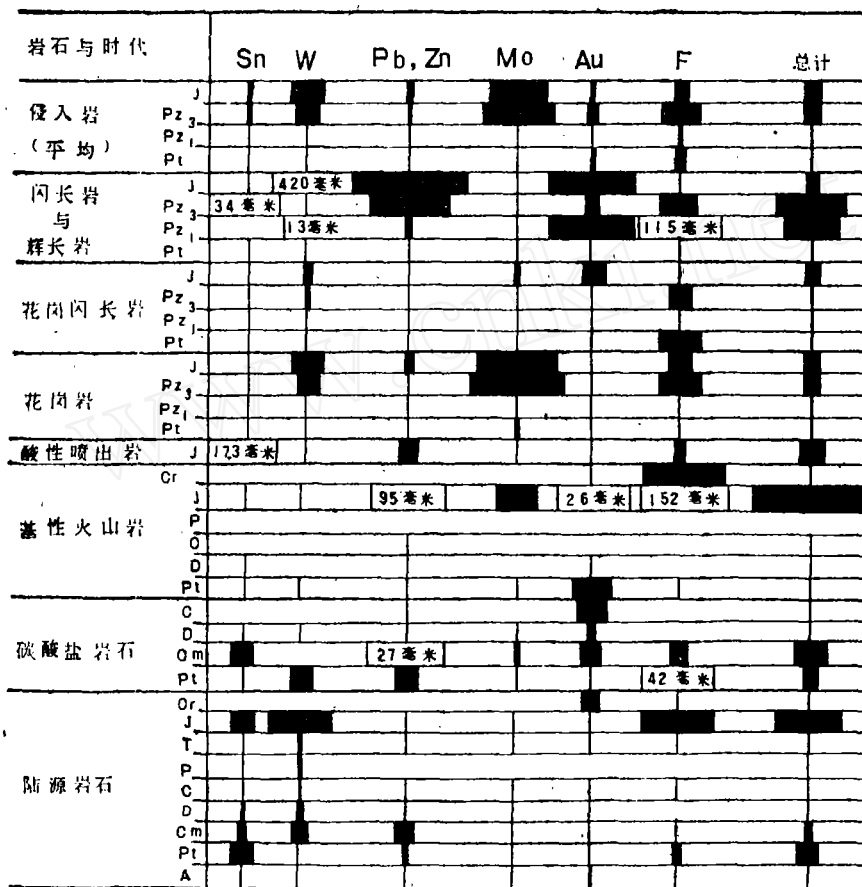


图8 储量的矿化密度变化(Π3)与围岩时代及岩性的关系

显地减小。

因此,白云岩和白云质岩石比灰岩更有利于成矿,这可能不单是取决于白云岩的化学成分,而且也决定于其物理-机械性质;白云岩比灰岩更容易受到脆性应变。在基性火山岩当中,以侏罗纪的矿化密度最大。花岗岩类以及闪长岩和辉长岩等火成岩,矿化密度在较年青的岩石中有明显地增高。

如果研究一下各种岩石的总面积及产于其中的矿化(图1),则可以确信:从碳酸盐岩石到陆源岩石、由较基性的岩石到酸性火成岩,ΠT是减小的,有时Π3也是减小的各种矿产的有利成矿围岩如下:

锡 沉积岩比火成岩更有利于锡矿的生成,因为前者只有平均略大的ΠT,而且Π3和CPM也极不相同。陆源岩石锡的ΠT值,从太古代到石炭纪地层是增长的。对寒武纪

碳酸盐岩层而言,ΠT、Π3和CPM值是很高的。火成岩当中,对锡矿化最有利的是上古代闪长岩和辉长岩以及侏罗纪的酸性火山岩,最大的矿床即产于其中。

钨 根据上述三个标志的数值判断,沉积岩和火成岩对于形成钨矿床的有利程度大致相当,而火山岩则较为不利。陆源岩石当中最有利的是侏罗纪地层;碳酸盐当中最有利的是元古代地层;火成岩当中,以早古生代和侏罗纪闪长岩和辉长岩以及晚古生代的花岗岩ΠT和CPM值最高。

铅和锌 最有利于铅、锌矿床赋存的是侏罗纪火山岩、寒武纪和元古代碳酸盐和陆源岩层,而在火成岩当中则是除元古代以外的任何时代的闪长岩和辉长岩以及侏罗纪的花岗岩。如果不考虑围岩的时代,那末围岩的有利程度是由火山岩到沉积岩、由沉积岩

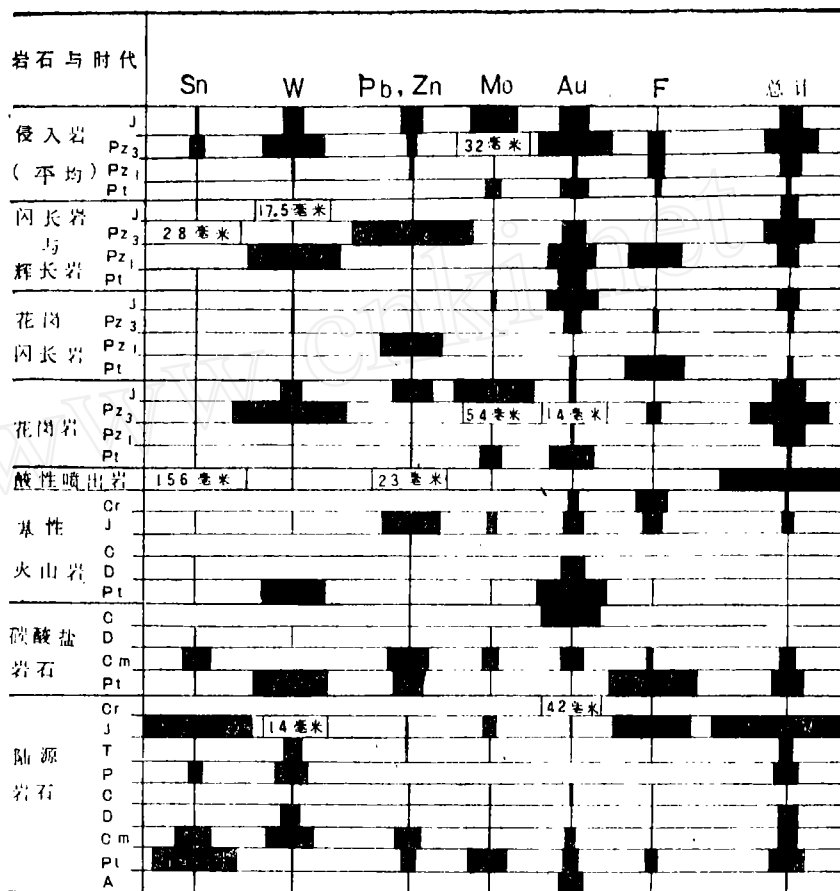


图4 不同围岩中矿床的平均规模(CPM)

到火成岩而降低的。

钼 最有利的是晚古生代和侏罗纪花岗岩。火山岩和沉积岩多半是不利的。只有侏罗纪的火山岩具有较大的 ΠT 和 $\Pi 3$ 值。碳酸盐岩石虽然 ΠT 值较高，但 $\Pi 3$ 和 CPM 值均低，说明产于其中的矿床规模是很小的。

金 沉积岩和火成岩对于该类矿床赋存的有利程度，要比火山岩低一倍；火山岩中 $\Pi 3$ 最高的是侏罗纪火山岩。火成岩和沉积岩的 ΠT 和 $\Pi 3$ 值相近，但沉积岩中比较大的矿床是少见的。

萤石 侏罗纪和白垩纪基性喷出岩、元古代碳酸盐和侏罗纪陆源岩石以及早-晚古生代闪长岩、辉长岩，具有最高的 ΠT 和 $\Pi 3$ 值。这些岩石和元古代花岗岩中有最大的矿床赋存。总地说岩浆岩比沉积岩更有利于成

矿。

围岩的化学成分 (表2)

根据计算出的所有时代和岩性不同的岩石平均化学成分及其中矿化的密度，对于陆源岩石、碳酸盐岩石、火山岩和火成岩单独列出了造岩元素与矿化密度之间的修正相关关系。然后，将造岩元素分为二组：1) 随着岩石基性程度增高而含量减少的一些元素，如 $Si + K + Na$ ；2) 其他元素 (Ti 、 Al 、 Fe 、 Mn 、 Mg 、 Ca 、 P)，其含量随着岩石基性程度的增高而增多。在此过程中，对于陆源岩石所揭示出的一般规律是：矿化密度与第一组元素的总含量成反相关关系，而与第二组元素的总含量成正相关关系，即所有上述矿产的矿化密度是随着陆源岩层基性

外贝加尔陆源成因的围岩中矿化密度与造矿化学元素的相关关系

表 2

造 矿 元 素	造 矿 元 素					
	Sn	W	Pb,Zn	Mo	Au	F
Si	-0.91	-0.83	-0.64	-0.7		-0.6
Ti	+0.75	+0.6	+0.93			
Al		-0.5		+0.76		+0.88
Fe ²⁺	+0.6	+0.5	+0.62	+0.5		+0.9
Fe ³⁺	+0.6		+0.82			
Mn	+0.8			-0.63	+0.6	
Mg		-0.6	-0.93	+0.56	+0.6	
Ca	+0.69			+0.6	+0.68	-0.6
Na	+0.76		-0.76		+0.75	
K		-0.6	-0.93		-0.7	
P	+0.53			+0.78		+0.16
ΣFe	+0.7		+0.84	+0.63		
Fe ²⁺ +Mn+Ca+Mg			+0.74	+0.7	+0.93	+0.975
Na+K		-0.7	-0.82	-0.5		-0.5
Fe ³⁺ :Fe ²⁺			+0.63	+0.73	-0.82	
Si+Na+K	-0.5	-0.53	-0.81	-0.71	-0.64	-0.45
Ti+Al+ΣFe+Mn+Mg+Ca+P	+0.82	+0.6	+0.87	+0.72	+0.82	+0.52

表中的数字：秩次相关系数(R)显著性数值或近于显著性数值；空白：相关系数值与显著性数值差别极大。

程度的增高而增长的。根据作者所掌握的材料，这个规律只是对于铍不适用，其矿物形式为硅酸盐绿柱石，这与上述化学元素是不同的。

矿化密度与单个元素含量的相关关系常常符合于前述规律，但也有例外。Mn、Al和钼的ΠT、Π3具有负相关关系，Mg—W、Ca—W、F亦为负相关，Na—Sn、Au为正相关。值得注意的是Fe³⁺:Fe²⁺比值的影响，它部分地表征着岩石的氧化-还原性质。该比值与亲铜元素——Pb、Zn、Mo为正相关，与Au的矿化密度为反相关。K/(K+Na)与W的CPM为正相关关系。

表2没有考虑到的其他规律还有以下几点。基性喷出岩中Mn含量的增高，是有利Sn矿床赋存的一个标志。碳酸盐岩石中Mg含量与Pb、Zn(R=+1)的相关程度很高；碳酸盐岩石中Mo的矿化密度(R=-1)、Ca和P的含量和Pb、Zn的矿化密度为负相关(R=-0.7)。碳酸盐岩石P的含量增高，对锡矿床的生成是一个不利的因素(R=-1)。

如果列出火成岩围岩的类似的相关关

系，则可以得出同样的规律性：随着岩石基性程度的增高，矿化密度也增大。这一结论从表1和图也可以间接得出。但由于矿化与侏罗纪花岗岩类的成因联系，这个规律常受到破坏。

结 果 讨 论

已经确定，除了岩石的岩性和化学成分外，控制矿化和岩石分布的构造、岩石物理性质、围岩与矿化的成因共性以及这些因素的组合，对岩石中矿化密度的分布也有影响。因此，并不是表1和图1~4所阐明和表示出的规律都能用围岩的岩性和化学成分的观点来解释；这种影响常被上述因素所掩盖，不过仍然可以得出以下结论：

不同时代的陆源岩石中的矿化密度变化(图2、3)，常反映出岩石化学成分在时间上的变异，这可从表2中间接得出。有时这种变化相当于呈分散状态存在于这些岩石中的成矿元素平均含量与相应矿化的密度之相关关系。正相关关系适用于锡(R=0.6)、铅(0.8)、钼(0.5)；负相关适于铌

($R = -1$)。

花岗岩类的总矿化密度与分散于其中的成矿元素平均含量的总数之间,几乎为正比关系($R = 0.9$),花岗岩的时代由老到新该值是增长的。侏罗纪花岗岩中所有上述元素矿化密度的增高,说明了矿化与此种花岗岩类的联系,从而它作为容矿介质的作用则被掩盖了。值得注意的是,花岗岩类当中的矿化密度,随着岩石由老到新而增大,这未必能用岩石物理-化学性质对成矿有利来解释,而很可能是成因方面的原因在这里发生了影响。

因此,不管存在过什么观点,在外贝加尔与每一时代(元古代、早-晚古生代和侏罗纪)的花岗岩类有关的矿化都是存在的,而花岗岩岩浆的成矿能力(据图1分析)由老到新有比较明显的能长。

由上述资料引伸出来的主要规律(这个规律对于认识与酸性岩浆有关的内生矿床成矿过程中围岩化学成分的作用可能具有普遍意义)是:随着岩石基性程度的增高,矿化密度是增大的。所以,在一般情况下,围岩中铁镁组分含量的增高,可以看作是一个有利的标志。

文献中很少报导有关围岩化学成分对内生成矿作用的影响问题。有些材料与笔者得出的结论是符合的。但H.H.奥泽洛夫得出了另一种结论。他认为,苏联产于硅铝酸盐岩石中的许多金属的矿床数量,是随着碱金属含量的增高而增高,但随着Ca、Mg、Fe含量的增高而减少。奥泽洛夫认为,最有利成矿的是在苏联大面积分布的花岗岩类和砂岩,还有酸性火山岩。矿化之所以产于火山岩中,是因为二者有成因上的联系。正因

为外贝加尔围岩与矿床的成因联系,才能够解释侏罗纪火山岩与花岗岩类具有很高的矿化密度。这种情况对查明围岩作为成矿介质的作用造成了困难。

关于基性程度较高的岩石比酸性岩对于内生矿化更为有利的论述,是从П.С.柯尔仁斯基造矿溶液酸碱度条件的概念中逻辑推理而得出的,它是该交代作用理论的结果之一。但能够证实这个结果的具体实例,目前并不充分。

柯尔仁斯基认为,“每一个岩浆期后过程,至少是与花岗岩类有关的过程,都具有溶液的酸性状态阶段、围岩的淋蚀阶段……。淋蚀前锋上酸性溶液的中和作用或由于溶液的冷却,可能是金属矿物富集堆积的原因之一。”与此同时,酸性溶液的中和作用,通常在基性程度高的岩石中更容易发生。

“当溶液流入基性成分的岩石(碳酸盐岩石、超基性岩等)中时,其所有碱的活性增强,故可造成金属矿物的沉淀”。

外贝加尔从陆源岩石到碳酸盐岩石、从酸性火山岩到基性火山岩、从花岗岩-花岗闪长岩到闪长岩和辉长岩矿化密度的增长,只有用基性程度较高的岩石中酸性溶液的有效中和作用才能解释。比较花岗岩和花岗闪长岩,以及不同化学成分(表2、图1)的陆源岩石中的矿化密度表明,甚至是岩石的基性增长不太大时,但也引起矿化密度的增加,即导致造矿溶液的较为强烈的中和作用,并增加成矿的可能性。

晋燧译自:《Изв.АН СССР, сер. геологическая》, 1974, №2, стр. 92~102 作者:А.Д.卡尼谢夫