



论渗流热卤水成矿作用的意义 与成因标志(上)

姜齐节 刘东升 陈民扬

冯建良 余大良 黄超 曾骥良

问题的提出

多年来,在金属矿床的成矿假说中,岩浆(包括火山)成矿假说及风化—沉积成矿假说受到广泛支持。但自然界中还存在一大批矿床,其特点介于上述两类典型矿床之间。例如,很多矿床具明显的热液成矿特征,并没有与之有关的岩浆活动或其关系可疑。又如,有的矿床具明显的沉积特征,但又有另一系列特点:①矿化可以孤立出现;②矿体厚度和厚度梯度大;③伴生组分复杂;④沉积成矿现象与可被解释为热液成矿的现象经常共生;⑤矿床分布受构造控制。

为了说明这些现象,近年来广泛流传着火山—沉积和沉积—再造成矿两种假说。在一定条件下,它们都是可取的。但以此解释所有中间类型的矿床却有不少困难。其中最尖锐的问题是:在具沉积特征的矿床中,远非所有地区都有相应的火山活动;在与岩浆活动无明显联系的矿床中,远非所有矿床都有沉积成矿的证据。

因此使人设想,在这些成矿假说之外,可能还有某种独立的成矿作用,它兼具内生和外生成矿的某些特点,从而造成了上述现象。

近年对红海凹地现代成矿作用和对富含重金属的现代热卤水的研究,确实说明有此可能。即深部形成的热卤水,在其渗流中汲取围岩的重金属,而后迁移至地表水体底部沉积成矿,当然也可在地下以交代或充填的方式成矿。从1964年起, G.F.戴维逊、K.C.邓纳姆^[1]、D.E.怀特^[2]、Ф.В.丘赫

洛夫^[3]等,先后以不同的明确性提出了上述见解。丘赫洛夫把这种非岩浆含矿溶液称为渗流溶液。

但这种成矿的可能性在我国尚未受到重视,可能是下述问题阻碍着进一步研究:

在理论上,渗流热卤水的形成究竟有无独立意义?它是否是某种岩浆过程的结果?如果有独立意义,其普遍性又如何?

在实践上,渗流热卤水成矿缺乏明确的成因标志。因此,不能把有关矿床区分出来,无法进一步研究它们的成矿特点和控矿因素。

本文以综合整理前人对各种天然水化学成分的资料研究为基础,讨论前一问题;以我国主要铁和有色金属矿床的实际材料及与此有关的5000件硫同位素组成数据研究为基础,讨论后一问题。

渗流热卤水的发生是一个 独立而广泛的过程

近年来,通过研究金属矿床矿物包裹体成分,对成矿溶液的性质有了进一步的了解。令人感兴趣的进展如下:

1.成矿时溶液中重金属浓度较高。从P.И.拉法尔斯基(1973)^[4]汇集的6个多金属矿床20多个样品的分析结果来看,铜、铅、锌含量一般为几十至几百ppm。可认为含量在10ppm以上的溶液具有成矿的现实可能性。锰和铁的矿石边界品位较有色金属高1~2数量级,或可类推。

2.成矿时溶液有较高的总矿化度。据雷德尔(1972)^[5]汇集的资料,大多数总矿

化度能达到卤水(>5%)至盐水(1~5%)级。看来,重金属迁移量与载体成分的浓度有某种关系。

在现存水体中,重金属含量达到上述标准者不多,所了解的情况列如附表。

附表列出的富重金属水体中,按产状及成分可明显的分为两组:

(1)火山热泉水 以爪哇卡娃一依德日火山口湖、千岛群岛埃别科火山上尤里叶夫泉及玛切赫火山格梁口泉为代表。富含的重金属为铁,全是硫酸盐型水,强酸性,总矿化度为16000~106000毫克/升。本组溶液本文不拟讨论。

(2)成固有争议的热卤水 它们或已形成规模巨大的铁、锰、铜、铅、锌沉积(如红海凹地);或极富重金属,在钻孔壁或蓄水池中不断沉淀各种金属矿物(如索尔顿海、切列肯、密西西比州中部等)。它们的产状各有不同,但溶液性质甚为近似。阴离子成分简单,Cl⁻占绝对优势,SO₄²⁻/Cl⁻值及HCO₃⁻/Cl⁻值均<0.01,建议称为高纯氯化物卤水。阳离子中Na>Ca>Mg。总矿化度一般为20~30%。水温370~44℃。pH值4.6~6.5。本组热卤水成因争议的焦点在于它们是否是某种岩浆过程的结果。

1.高纯氯化物卤水的生成与岩浆无关。前人列举的主要理由归纳如下:

①上述热卤水所存在地区没有与之相应的活火山活动。红海和索尔顿海虽然其底部或附近有玄武岩和黑耀岩,但均在万年以前生成,而切列肯和密西西比州中部为非火山区,后者本身为油田水;

②氢、氧同位素研究表明,即使在有早期火山活动的地区,卤水也源于海水或雨水。卤水的锶、铅同位素组成与其赋存的地层相近,而与早期火山岩有明显差别。怀特主要依据同位素资料作出了水与岩浆无关的结论;

此外,我们还愿意补充一个重要的理由,即岩浆水中一般不出现高纯氯化物卤水。

火山热泉 据苏联、日本、印尼等地产于火山口或火山锥上的68个火山热泉分析资料判断,不存在高纯氯化物卤水。热泉中氯

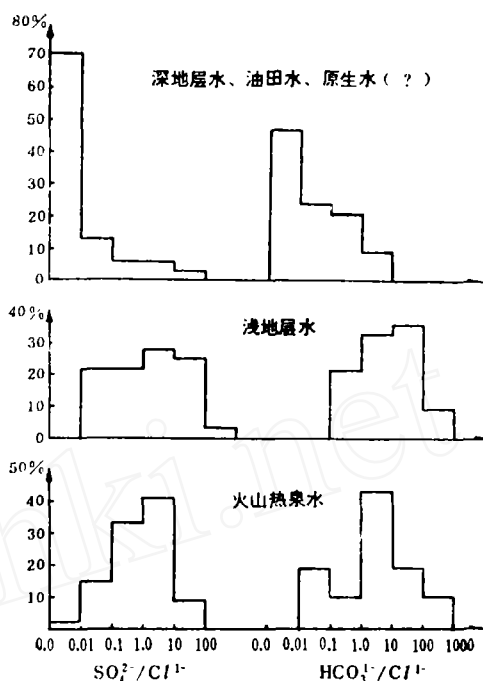


图1 火山热泉水、地层水和油田水水质对比

化物水、硫酸盐水、重碳酸盐水所占比例几乎相同。氯化物水中含其他阴离子一般较多(图1)。

火山射气 在我们所知的苏联、美国、日本、新西兰等30余个火山330个分析样中,计有氯质射气38个(11个火山),硫质射气24个(15个火山),碳质射气267个(28个火山)。其中有两种情况:一为宁静式喷发的火山射气(如夏威夷),成分无明显演化,主要为碳质射气,少量硫质射气;二为爆发式喷发的火山射气有演化。一般在火山喷发前间歇期为碳质气或水蒸气与空气,在喷发前一年左右硫质气开始增加,到喷发前2~3个月氯质气开始增加。火山喷发期间常以氯质气为主(也有以硫质气及碳质气为主的),在随后1~5年内以硫质气及氯质气为主,再后转为碳质气为主,最后则为水蒸气及空气。与此有关,火山射气中的火山气(HCl, Cl₂, HF, SO₂, SO₃, H₂S, CO₂, CO, CH₄, NH₃, H₂等)所占比例也由百分之几至十几向百分之零点几至零变化。看来,氯质射气是短暂的。

高纯氯质射气则更为短暂。ΣS(SO₂ +

$\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{S} + \text{S}_2 / \Sigma \text{Cl}(\text{HCl} + \text{Cl}_2 + \text{HF})$ 与 $\Sigma \text{C}(\text{CO}_2 + \text{CO}) / \Sigma \text{Cl}$ 均 < 0.01 者仅有 3 个分别采自不同火山的非连续样品。3 个样的射气成分主要为水蒸气及空气, 火山气仅占射气的 $0.1 \sim 0.2\%$, 因而含氯实际很少。

总的来说, 无论是高温 (可达 1300°C) 或低温 (百余度), 无论是中 (基) 性火山 (堪察加, 千岛群岛), 基性火山 (夏威夷) 或是酸性火山 (卡特迈), 无论是爆发式喷发 (堪察加及千岛群岛) 或是宁静式喷发 (夏威夷), 火山喷气都有高硫高碳的特点, 没有一个持续很长的氯质喷气阶段, 更不用说高纯氯质气的持续喷出了。因此, 火山热泉中极少高纯氯化物卤水也就不难理解。

目前尚无海底火山气液成分的资料。但从夏威夷这种由海底火山喷发长成的岛屿的材料看, 海底喷发与陆相喷发未必有根本不同。海水本身含 SO_4^{2-} 较高, $\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^- = 0.14$, 依靠与海水的混合不能形成高纯氯化物卤水。

火成岩中气液包裹体成分, 据雷德尔汇集的资料^[9], 与火山气液大体一致。氯化物水、硫酸盐水、重碳酸盐水均有出现, 但没有一个高纯氯化物卤水。看来, 岩浆水中一般不出现高纯氯化物卤水是有普遍性的。

2. 高纯氯化物卤水有广泛分布。尽管岩浆水中极少出现高纯氯化物卤水, 但高纯氯化物卤水在自然界中却有广泛分布。

深地层水 虽然对成因的认识不一, 但目前水文地质界已公认地下水的成分及总矿化度有分带现象存在, 深部地下水一般是高矿化度的氯化物卤水。据邓纳姆的资料判断^[11], 多数深地层水是高纯氯化物卤水, 其总矿化度可达 37% , $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$ 。在阿尔伯达北部和犹他州格兰得郡二处, 还发现了深地层水富含锰、铜、铅、锌等重金属, 是具成矿现实可能性的例子 (见附表)。

油田水 石油地质学界早已注意到多数油田水是 $\text{Na}-\text{Ca}$ 型高纯氯化物卤水。前述富重金属的密西西比州中部高纯氯化物卤水即为油田水。

溶解蒸发盐岩水 溶解石盐 (常伴生石膏) 生成的卤水应是 $\text{Na}-\text{Ca}$ 型高纯氯化

物卤水。前述红海和索尔顿海热卤水, 相当部分国外学者认为与溶解深部的蒸发盐有关。如果除石盐和石膏外还含钾盐, 生成卤水的成分可能是多样的。这一方面取决于钠镁硫酸盐的含量, 另一方面, 按 H. 博歇特 (1964)^[12] 对钾盐变质的研究, 还取决于溶解过程中交代作用的完全程度。如果钠镁硫酸盐不发育或交代作用完全, 溶解钾盐的卤水也可以是高纯氯化物卤水, 但阳离子中应 $\text{Mg} \gg \text{Ca}$ 。溶解蒸发盐岩水的来源, 可以是外界加入的, 也可以是石膏转化为硬石膏时脱水析出的。

蒸发的成盐卤水 除少数内陆碱湖及苦湖外, 蒸发盐湖的成盐卤水大部为氯化物卤水。但 SO_4^{2-} 一般较高, 据 M. Γ. 瓦里亚什科 (1962)^[13] 的资料, 仅在个别情况下有高纯氯化物卤水, 且 $\text{Mg} > \text{Ca}$ 。

深地层卤水和油田卤水的成因是水文地质界和石油地质界长期讨论的问题, 提出过多种假说。其中, 封存海水成岩改造、渗透薄膜效应、地下水重力分异、在封闭条件下地下水的长期化学反应都有可能。地层中高纯氯化物卤水的生成途径可能是多样的。因而其分布也必然是广泛的。

3. 高纯氯化物卤水中重金属的来源和沉淀。虽然与火山作用无关的富重金属的现代热卤水都是高纯氯化物卤水, 但多数高纯氯化物卤水并不富含重金属。合理的解释是: 重金属并非高纯氯化物卤水所固有, 它只有在地层中渗流, 从围岩中溶滤和聚集重金属, 才有可能形成真正的含矿溶液。由此出发, 并考虑到高纯氯化物卤水溶滤围岩中重金属的能力最强, 能使重金属作大量的长距离迁移, 才可理解高纯氯化物卤水易于富集重金属的事实。由此, 我们把这种富重金属的高纯氯化物热卤水的成矿作用称为“渗流热卤水成矿”。

在这里, 卤水的加温和驱动十分重要。温度增加能使重金属的溶解度成数量级的增加, 又可使卤水密度减小发生流动。不可否认, 岩浆活动可以是高纯氯化物卤水加热和驱动的重要原因之一。但这并不是必需的。较高的地热梯度和地下水的运动远非都与岩

附表：现代富含重金属水溶液化学成分(ppm)

地 点	海 水	红海“大西洋Ⅱ”注地	索尔顿海 I.I.D.No1(美)	里海切列肯 (苏)	密西西比 中部油田 水(美)	阿尔伯达 北部(美)	犹他州 格兰得 郡(美)	爪哇卡娃 —依德日 火山口湖 (印尼)	千岛群岛 Оберо火 山上尤里 叶夫塞苏 泉(苏)	千岛群岛 Магex火 山Граз 泉(苏)
编 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂ (H ₂ SiO ₃)	6.4	30	400	<2.1				(12)	(317)	(161)
Al	0.01		4.2					4913	608	204
Fe	0.01	59~81	2090~2290	9.42~25.6	420	0.01~3.1	750	1840	1191	1964
Mn	0.002	70~80	1400~1560	10.8~50.5			260	—	20	2.2
As	0.003		12	0.03~0.7			—			
Sb	0.005		0.4							
Ca	400	5150~5390	28000~29360	17740~22942				888	344	244
Mg	1350	764~794	40~54	2622~3505				699	227	54
Sr	8.0	40	400~609	585~865	2260				1.0	
Ba	0.03	0.9~4	225~235	—	59		8			
Cu	0.003	0.26~0.8	4.4~8	0.9~1.5	—	0.02~0.5	6		0.01	
Pb	0.00003	0.5~0.6	84~102	2.1~77	111		6			
Zn	0.01	2.5~5.4	528~790	0.9~25	357	0.01~290	60			
Na	10500	87800~92600	50400~51600	67080~84670				1100	287	105
K	380	1870~3040	17500	390~650				1051	268	78
Li	0.17		215	6.42~9.75					6.8	
Rb	0.12		135~137	0.2~1.0						
Cs	0.0005		14~16	0.0						
Ag		0.003~0.3	0.8~2.1	0.002	0.0006		0.4			
Co		0.2					—		0.12	
Ni		0.3		0.3~1.0					0.31	
H								1044	143	100
NH ₄			409						60	未分析
HCO ₃ ⁻	140	140	>150	13.7~34.0				未报道	未报道	未报道
SO ₄ ²⁻	2650	840~954	5.4	247~575	50			60223	8885.3	7384.63
硫化物 H ₂ S			16							
Cl	18980	156000~163200	155000~163500	146000~165000	194600			20561	4928	3120.48
F	1.3		15					—	52	50
Br	65	13~69	120	473.8~656.8					0.5	4.28
I	0.06		18	20.9~31.7					未发现	2.0
B	4.6	11	390	65~265	500					
其他元素			No.4	[Cd]0.47~4.50					Ti0.6	
总矿化度	34486	258000~261600	240000~259000	238200~273400		91000~300000	366608	106000	17649.8	16305.7
温度℃		56	~340	56~92	130				9.5	85
比 重	1.027	1.196								
pH	8.2	5.3~6.5	5.2	5.75~6.15	5.77			0.02	0.86	1.6
Eh,mv		310~350		112~170						
δD SM-OW‰	0.0	7.5	-75							
δO ¹⁸ S-MOW‰	0.0	1.18	+2.33							
SO ₄ ²⁻ /Cl ⁻	0.14	0.0058~0.0061	0.00013~0.00014	0.0015~0.0036	0.00026			2.93	1.97	2.32
HCO ₃ ⁻ /Cl ⁻	0.0074	0.00085	>0.001	0.0001~0.0002				—	—	—
水质类型	氯化物型	高纯氯化物型	高纯氯化物型	高纯氯化物型	高纯氯化物型			硫酸盐型	硫酸盐型	硫酸盐型
资料来源	(2)	(2)(6)	(2)(7)	(8)(3)	(8)	(1)	(1)	(9)	(10)	(11)

浆活动有关,是一个明显的事实。

断裂对渗流热卤水的上升有重要意义。渗流热卤水上升过程中温度和压力的降低,特别是与浅地层水的混合或与围岩发生化学反应,均可导致重金属在地下沉淀,形成渗流热卤水热液矿床。也可迁移至海底,与海水作用沉淀重金属,形成渗流热卤水沉积矿床。

值得注意的是:渗流热卤水是高浓度的成矿溶液,不单含有较多的重金属,而且带有比重金属多得多的造岩元素,其浓度甚至超过一些盐湖。例如,含氯可达195000毫克/升(土库曼),为海水10倍;含钠可达92900ppm(红海),为海水9倍;含钙可达29000ppm,含钾可达上万ppm(索尔顿海),均可较海水高两个数量级。如果卤水由溶解钾盐生成,镁大约可以取代钙的位置。此外,在某些卤水中还有一些元素呈特殊高含量的富集。如钡可达5367毫克/升(四川盆地),锶可达5000毫克/升,SiO₂可达1745毫克/升(西伯利亚地台),硼可达500毫克/升(密西西比州中部),氟可达18ppm等。显然,由这样的溶液成矿,在一定条件下,可以沉淀大量非金属矿物。事实上,在现代渗流热卤水沉积物中,索尔顿海即伴有大量蛋白石,红海伴有薄层石膏。

这里面临的情况和稀薄溶液成矿的假定全然不同。种种迹象表明,与渗流热卤水沉积矿床伴生的可能还有某些同来源的化学沉积岩。必须慎重考虑某种渗流热卤水沉积建造存在的可能性。在渗流热卤水热液矿床中,在蚀变生成物和脉状充填物的解释上,看来也不必每处都要从矿体围岩中寻找造岩元素的来源。

值得指出的是:高纯氯化物卤水中富集钡并非罕见现象。据邓纳姆引述的资料^[1],美国和加拿大823个油田水样中,含钡较海水一般高2~3个数量级;美国一些深地层水含钡较海水一般高1~4个数量级,最高达1550ppm。此一现象的意义将在后文进行阐明。

渗流热卤水成矿的矿化特点

从红海凹地矿化和富含重金属的现代卤水的特点来看,渗流热卤水成矿既不同

于外生成矿,也不同于内生成矿。其物质来源不与岩浆有关,也不与风化条件相联系;含矿溶液中,阴离子组分简单而稳定,重金属及造岩元素则复杂而多变,已知富重金属的现代渗流热卤水,其物理化学状况也简单而稳定;金属可以在地表水体底部以沉积方式成矿,也可在地下以热液交代或充填的方式成矿。

结合后述我国各渗流热卤水成因的矿床来看,成矿控制条件也有其特点。物质来源地(即卤水通道)与构造有关;卤水的发生和金属的沉淀,都应与地层岩相特点所反映或所决定的地球化学条件有关。这两者可能是基本的。在卤水受岩浆加热和驱动的条件下,成矿可以与岩浆活动表现出并不密切的时间和空间联系。在沉积成矿的条件下,成矿又可受古地形(如凹地)和沉积建造的控制,或表现出一定的建造特点。卤水中重金属的来源当然也容许(但并非必定)与某些特定的矿源层或矿源岩相联系。

因此,渗流热卤水成矿的矿化特点必然是介于内生和外生矿化之间,亦此亦彼,非此非彼。可以用这些特点作为判别渗流热卤水成矿的参考标志。

它与风化—沉积系列矿床的区别,以铁矿为例说明如下:

在矿化形态和分布方面,正常沉积铁矿矿体薄而变化小,最大厚度常为几米;含矿层位稳定,可在大范围内对比;虽然品位、厚度和规模有变化,但含矿层位上矿化总是广泛分布,成群成带。渗流热卤水沉积铁矿却出现完全不同的情况。如矿化可以孤立出现;矿体厚度和厚度梯度大,上百米的矿体可在短距离内尖灭;其分布与构造有关等。

在矿化组分方面,正常沉积铁矿一般为单金属,脉石矿物含铝硅酸盐类较多。渗流热卤水沉积铁矿则成分复杂,不同情况下分别有大量锰、铜、锌、铅相伴,有时有钴(石碌)、稀土(白云鄂博)。还经常见大量重晶石,有时有硅质矿石或含碧玉,偶见大量萤石。

渗流热卤水沉积铁矿的另一特点,是总有可被疑为热液成因的矿化相伴。对此,以往或以沉积变质、或以岩浆热液叠加、或以

地下水改造等来解释。判断每一具体情况下上述解释的合理性需要深入工作,此处无法评论。需要考虑的是:从渗流热卤水成矿的概念来看,沉积和热液现象的伴生本是很自然的,无须借助复杂的设想。

以上差别并非渗流热卤水沉积矿床所独有,不能用非此即彼的方式直接论证其存在。

在热液矿床中,岩浆热液矿床可以下述特点与非岩浆热液矿床相区别:

1. 必定有与之同时的岩浆活动。

2. 经常有与侵入体(及次火山岩体)有关的蚀变和矿化分带。这是由于岩浆期后溶液中可能构成阴离子的组分复杂,成矿作用又是由岩浆凝结温度向较低温度逐渐发展的过程。温度下降会引起各种组分离解情况发生变化,导致溶液中阴离子组成和酸碱度的重大变化,并影响到氧化还原电位。因而使溶液在演化发展过程中性质必然表现出阶段性,出现一系列飞跃。所以,不同时期应出现不同蚀变产物,不同时期各种重金属的搬运形式和迁移能力也应有差别,决定了金属和脉石矿物组合的演变,从而也决定了蚀变和矿化分带的必然出现。同时,如果围岩性质较均一,分带在空间上还会表现出连续过渡的特点。

值得注意的例外是与次火山岩体无关的火山热液矿床。其相当部份未见高温的蚀变

和矿化,分带中心也不很明确。这或与成矿的开放条件有关,或与研究程度不够有关。

3. 必定与岩浆岩在空间上密切共生。我国与侵入体有关的热液矿床,其蚀变和矿化分带的总范围,小则几百米,大则上千米,一般仅在千米左右。其外侧或上部,有的出现大量铅锌矿化,有的出现了大量铍矿化(如大厂),有的还出现了较多的雄黄及雌黄(吉龙山)。因此,所有矿化均与侵入体(或次火山岩体)密切相伴。

火山热液金属矿床的分布趋向于火山活动中心区,也是肯定的事实。

远离侵入体,超出了上述分带范围的矿化极少可能与侵入体有成因联系。分带是由成矿溶液性质的演化决定的。一般情况下,在溶液性质历经多次剧烈改变后,重金属一直稳定迁移,而不发生沉淀的可能性很微小。

渗流热卤水热液矿床表现的特点有不同。它们的生成可以与岩浆活动无关。在卤水受岩浆加热和驱动的情况下,也只与岩浆岩表现出并不紧密的时间和空间联系。它们的蚀变类型较简单,常见硅化、方解石化、白云石化、重晶石化,在硅铝质岩石中还常见绢云母化、绿泥石化。如果出现矿化和蚀变的分带,它们常与围岩岩性、岩相和矿化层位的变化有关,而与侵入体无关。

但也应注意,上述特点并非渗流热卤水热液矿床所独有。(未完待续)

加拿大魁北克省开采阿尔昌铜矿

在加拿大魁北克省玛塔加米地区,已着手开采一个新的深部铜矿床。除铜之外,矿石还含有锌、银、金。

据13个钻孔的计算,矿石量超过70万吨。各种组分平均含量(%)是:铜—2.4, 锌—6.3, 银—40克/吨, 金—0.9克/吨。矿化沿圈定地段倾向偏东向下延伸。个别地段铜含量达6%。在东部600米深部钻孔资料揭示矿体厚度为8米,含铜1.62%、锌5.96%。该地段定名为“A区”,下一步的钻探和许多准备工作将集中在这个范围。估计A区的投产初步需要70万美元,到1979年将增加到1亿5千万美元。如条件有利,1979年6月可望从该区生产出铜精矿。

据《ЭИ.ВИЭМС.Экон. мин. сырья и геол. развед. работ》, 1978, №.12

确定地下矿石中若干金属的方法

拜伦吉尔公司宣布了一项找矿方法,用它来确定地下矿石中的铀、铜、镍和其他某些金属。

在圈定的远景地段,把土壤、植物以及水面上的尘状微粒用吸尘器收集起来,过滤后移到一条可以承物的活动带上。活动带用一件刺激微生物发育的物质浸透的织物覆盖。活动带上的物质经过分析得出各种微生物的数量,后者则作为矿化的指示。

据《ЭИ.ЭИЭМС.Экон. мин. сырья и геол. развед. работ》, 1978, №.12