

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

藻、有机质、粘土矿物富金成矿对比实验

林丽 朱利东 张萌 朱弟成 刘虹

(成都理工学院, 610059)

内容提要 藻、有机质、沉积物、粘土矿物富集和释放金的对比实验研究表明:活体生物富金能力较强,热水环境下温泉蓝细菌富金能力更强,并且为生物所富集的金易于迁出参与成矿;在生物生活的氧化环境,生物对金的作用主要表现为与生理活动有关的吸收作用,与金离子结合的生物配合物主要是含硫有机化合物;在沉积→成岩→成矿过程中,随着生物活体→死体→腐解有机质→有机淤泥→有机岩的变化,有机质对金的富集作用越来越小,并随着有机质成熟度的增加,其富金能力变弱而解析金的能力却增强。3种粘土矿物吸附金的能力为:伊利石>高岭石>蒙脱石,释放金的能力相反,并且粘土矿物的加入降低了有机质吸附和释放金的能力;油田卤水对富集于活体藻生物中的金的萃取能力强于无机流体。

关键词 藻 有机质 粘土矿物 生物成矿 模拟实验

近年来,生物成矿模拟实验尽管已在菌藻生物活体和有机质富金实验^[1~7]以及释放金实验^[8]等方面取得一些成果,但仍存在着以下的不足:其一,忽略了实际地质环境中除了生物及其衍生的有机质外,还有其他与之共生的无机物质对金具有富集作用;其二,忽略了不同环境条件下,生物对金作用能力的变化;其三,只偏重于对金的吸附作用或者有机溶液淋滤萃取岩石中金的实验,而忽略了为生物、有机质、粘土矿物以及沉积物所富集的金能否释放出来参与成矿这方面的研究。

1 实验材料及条件设置

尽管作者在以往的模拟实验中,考虑了在沉积环境中共生的有机质、沉积物以及蒙脱石粘土矿物,但却未考虑以下几个问题:①生物活体与死体富集和释放金的比较;②不同温度条件下,菌藻生物对金作用能力的差异;③在由沉积→成岩→成矿过程中,随着成熟度的变化有机质富集和释放金能力的变化;④不同的粘土矿物富集和释放金的对比;⑤在释放金实验中,以往选用的是天然条件下不存在的王水介质作为萃取溶液,而没有用天然存在的流体溶液。

针对以往生物成矿模拟实验^[8,9]的不足,本文选用现代淡水绿藻(活体)、海生蓝细菌、温泉蓝细菌、温泉泉口的菌和藻生物干样(死体)、生物(绿藻)腐解的有机质、原油、温泉泉口淤泥(包括生物腐解产生的有机质)以及伊利石、高岭石和蒙脱石粘土矿物作为样品,进行富金和释放金的对比实验研究。并且,在以王水介质作为实验参照下,本次萃取实验增加了自然界中存在的各种流体,即无机流体(根据拉尔玛金矿物包裹体成分配制,配方:0.5 MNaCl+0.3 MKCl+100 mgMnO₂)、油田卤水以及无机流体与有机水(生物腐解产生)混合液,并且根据拉尔玛金矿床矿物包裹体测温以及实验条件,设置了3种温度条件,即常温(25℃±)、100℃

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号:49503048)。

本文1998年2月收到,6月改回,章雨旭编辑。

和 210℃。含金溶液的配制方法是用蒸馏水逐步稀释 AuCl_3 标准溶液,本次实验选用 10×10^{-6} 、 1×10^{-6} 和 0.609×10^{-6} 三种浓度条件。

2 实验内容、方法及结果

2.1 藻、有机质、沉积物、粘土矿物富金作用对比实验

实验 1 将现代淡水绿藻、菌和藻生物干样、原油、生物腐解的有机质、温泉泉口淤泥(包括生物腐解的有机质)以及伊利石、高岭石和蒙脱石粘土矿物分别放入盛有 2000mL、1000mL、500mL 含金浓度分别为 10×10^{-6} 和 1×10^{-6} 的蒸馏水的烧杯中,浸泡 4 天,测定各烧杯中 Au 溶液浓度的变化。测定方法:采用原子吸收法隔日测定,实验均在常温常压下进行。4 天后,绿藻仍存活。实验的结果列入表 1。

表 1 不同时间范围内每克样品(干重)中 Au 的富集量
Table 1 The gold content in different samples (dried samples) of per gram

编号	样品类型	干 重 (g)	溶液中 Au 浓度 ($\times 10^{-6}$)	加入的 Au 溶液体积 (mL)	每克样品(干重)中 Au 的富集量($\mu\text{g/g}$)				
					第一天	第二天	第三天	第四天	第五天
1	淡水绿藻	16.9172	10	2000	0	1132.575	1146.939	1143.488	1164.761
2	淡水绿藻	6.2594	1	2000	0	264.562	268.334	286.938	252.168
3	淡水绿藻	4.2626	1	1000	0	179.937	185.593	203.331	199.327
4	干 藻	288.6	10	1000	0	28.517	30.088	29.655	33.037
5	干 菌	159.4	10	500	0	21.989	22.668	26.212	30.866
6	原 油	121.5	10	500	0	40.864	40.951	40.982	41.152
7	原 油	42.432	1	500	0	10.428	10.583	11.784	10.687
8	伊 利 石	44.7	10	500	0	14.989	29.204	58.842	86.626
9	高 岭 石	24.2	10	500	0	15.289	35.112	47.696	69.302
10	蒙 脱 石	169.6	10	500	0	5.483	7.813	10.873	16.872
11	有 机 质	97.2790	10	500	0	47.955	48.376	50.525	51.060
12	有机淤泥	281.5705	10	500	0	16.372	16.574	17.555	17.758
13	有机淤泥	176.7047	1	500	0	2.617	2.669	2.830	2.425

注:1~3:采自重庆南温泉;4,5:采自拉尔玛金矿降扎温泉;6,7:取自云南景谷油田;11:为淡水绿藻降解产物;12,13:采自重庆南温泉。

(1)绿藻生物活体对 Au 的富集作用最强。在 Au 浓度为 10×10^{-6} 的溶液中浸泡 4 天后,每克绿藻生物富 Au 量是生物干样(死体)的 35~38 倍,有机质的 29 倍,原油的 28 倍,有机淤泥的 66 倍,伊利石的 13 倍,高岭石的 17 倍,蒙脱石的 69 倍。在浓度为 1×10^{-6} 含金溶液中浸泡 4 天的绿藻生物活体也比在 10×10^{-6} 含金溶液中浸泡的其他样品富金能力强得多。

(2)除粘土矿物以外,其他与有机质有关的样品,在实验的 1~2 天对 Au 的富集作用非常明显。其中绿藻活体最为显著,其每克样品(干重)的富金量为 4 天后富集总量的 97.24%。从第 3 天到第 4 天的富集量却依次减小趋于平衡(图 1)。

(3)不同重量的绿藻活体在不同浓度、不同体积含金溶液中浸泡,其富金率不一样,16.9 g(干重)的藻体在含金浓度 10×10^{-6} 的 2000mL 溶液中浸泡 4 天后,每克富金量为 1164.76 μg ,而 6.2 g(干重)和 4.2 g(干重)的藻体在含金浓度为 1×10^{-6} 的 2000mL 和 1000mL 的溶液中浸泡 4 天后,其每克富金量却为 252.2 μg 和 199.3 μg 。显然,随着溶液 Au 浓度(或 Au 绝对量)的增高,每克(干重)绿藻生物活体富 Au 量增大。

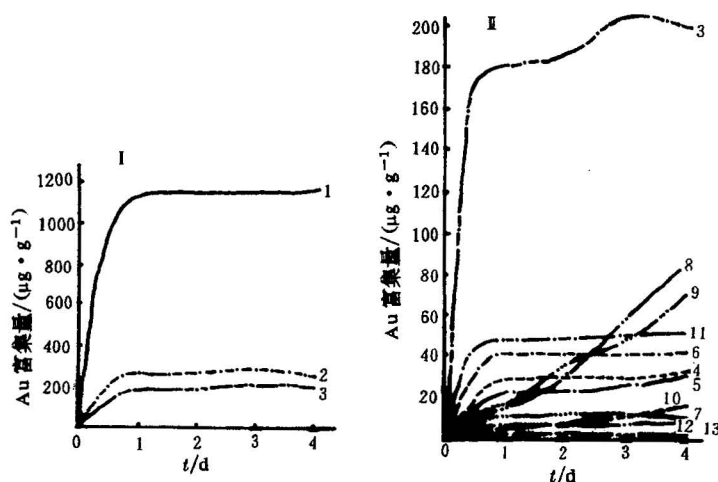


图 1 不同时间范围内每克样品(干重)中金总量的变化曲线

Fig. 1 Variation of total gold in per gram of different dried samples in different time intervals

曲线编号 1~13 与表 1 中的相同

The line No. 1~13 are the same as those in Table 1

(4)粘土矿物对 Au 的富集作用,与其他样品第 1~2 天出现急剧上升的趋势不同,表现为逐渐上升的趋势,而且不同的粘土矿物对 Au 的富集能力不同。3 种粘土矿物富金能力为伊利石>高岭石>蒙脱石。

(5)有机质对 Au 的吸附作用强于有机淤泥。在浓度为 10×10^{-6} 的含金溶液中浸泡 4 天后,每克样品(干重)中富集 Au 量,前者是后者的 2.88 倍。

(6)生物降解的有机质与有一定成熟度的原油富金能力不同,表现为随着有机质成熟度的增加而富金能力降低。

(7)在浓度为 1×10^{-6} 的含金溶液中,绿藻、原油和有机质出现了在第 4 或第 5 天溶液浓度回升的现象,这些在以往的实验也出现过,原因有待于作进一步研究。

实验 2 将海生蓝细菌 I (层理席藻)和温泉泉口附近的蓝细菌 II 和 III (以小型色球藻为主)分别放入盛有 500mL 含金浓度为 0.609×10^{-6} 的海水和温泉水的烧杯中。其中 I 和 II 是在

常温常压下进行,III 却保持水温 52°C ,均实验 15 天(之后,蓝细菌均仍存活),测定水溶液中金浓度的变化,实验结果表明(表 2):

(1)不同生物样品对金的富集作用明显不同,蓝细菌生物比绿藻生物富金能力强^[8]。温泉蓝细菌比海生蓝细菌富金能力强。

(2)不同环境的蓝细菌生物富金能力不同。在保持水温 52°C 的条件下,温泉蓝细菌富金作用明显提高,与常温相比每克生物富金量增加了 $30 \mu\text{g}$ 左右。

(3)各蓝细菌生物对金的富集作用也表现出在实验的最初 2 天尤为显著,在第 3~15 天明显减慢,其中金的含量逐渐趋于稳定。

2.2 藻、有机质、沉积物、粘土矿物释放金的对比实验

实验 3 将实验 1 在含金溶液中浸泡后的各样品,过滤,用蒸馏水反复冲洗除去表面残留的 Au 残液,晾干,然后置于 30°C 烘箱中烘干。分 4 份,在各份样品中分别加入

表 2 不同时间范围内每克蓝细菌样品(干重)中金总量的变化及实测值

Table 2 Variation of total gold in per gram of different dried samples in different time intervals and measured total gold in per gram

实验天数	每克样品(干重) 中富集 Au 量($\mu\text{g/g}$)		
	I	II	III
第 1 天	0	0	0
第 2 天	96.03	112.784	143.825
第 4 天	101.433	138.398	151.540
第 7 天	102.709	143.710	151.842
第 10 天	103.279	147.420	151.616
第 15 天	103.367	147.731	150.985
①	104.270	151.950	142.525

①每克样品中 Au 实测值。

80mL 王水、油田卤水、无机流体溶液和混合液,静置 24 h 后,一组保持常温;一组在电热板上加热至 100℃,恒温 2 h;一组则在马沸炉中加温至 210℃,恒温 0.5 h,然后过滤,用原子吸收法测定萃取液中 Au 浓度。萃取实验结果(表 3,图 2)表明:

(1)在常温条件下,在王水、油田卤水中,从绿藻生物中解析出的金比其他样品高。在无机流体溶液中,却从蒙脱石和菌干样中解析出的金比绿藻及其他样品的高。但是在加热到 100℃、210℃条件下,上述 3 种萃取液从绿藻生物中萃取的金都明显高于其他样品。在混合流体介质条件下,除蒙脱石外,绿藻生物和温泉干藻的 Au 的萃取率比原油、有机质及淤泥的高。说明在地质环境中为生物所富集的 Au 在后期成矿过程中易于带出。

表 3 在不同加热温度以及不同萃取溶液条件下各样品中 Au 的萃取率

Table 3 Extraction rate of gold in samples at different temperatures and extraction solutions

编 号	实验 温度 (℃)	各样品中含金总量以及萃取液的萃取 Au 量 and 萃取率															
		王水(Y ₁)				油田卤水(Y ₂)				流体溶液(Y ₃)				有机水+流体溶液(Y ₄)			
		干重 (g)	含 Au 总 量(μg)	萃取 Au 量(μg)	萃取率 (%)	干重 (g)	含 Au 总 量(μg)	萃取 Au 量(μg)	萃取率 (%)	干重 (g)	含 Au 总 量(μg)	萃取 Au 量(μg)	萃取率 (%)	干重 (g)	含 Au 总 量(μg)	萃取 Au 量(μg)	萃取率 (%)
1	常温	1.533	1785.00	1102.50	61.76	1.541	1795.13	99.92	5.57	1.538	1791.75	22.56	1.26				
	100	1.378	1604.58	1604.58	100.00	1.550	1805.61	240.08	13.30	0.703	818.245	71.84	8.78	0.411	478.950	24.64	5.14
	210					1.523	1773.35	336.72	18.99	0.345	401.260	27.20	6.78	0.266	309.827	14.96	4.83
2	常温	0.569	143.433	123.20	85.89	0.568	143.307	0.00	0.00	0.573	144.341	0.96	0.67				
	100	0.587	147.947	47.947	100.00	0.587	148.123	0.00	0.00	0.582	146.863	2.00	1.36	0.544	137.255	0.00	0.00
	210					0.581	146.409	0.00	0.00	0.547	137.860	15.68	11.37	0.564	142.298	12.96	9.11
4	常温	25.401	839.133	155.85	18.57	25.401	839.133	2.64	0.31	25.400	839.133	10.80	1.29				
	100	26.277	868.103	242.00	27.88	26.071	861.297	68.48	7.95	26.20	872.817	43.12	4.94	26.321	869.573	45.44	5.23
	210					26.23	866.844	74.56	8.60	26.07	861.532	39.04	4.53	26.056	861.116	79.76	9.26
5	常温	14.502	447.612	179.50	40.10	14.498	447.50	7.12	1.59	14.497	447.470	12.00	2.68				
	100	14.372	443.612	308.00	69.43	14.721	454.375	0.00	0.00	14.071	434.336	5.28	1.22	14.38	443.945	3.84	0.86
	210					14.616	451.134	0.00	0.00	14.466	446.525	16.72	3.74	14.366	443.433	13.76	3.10
6	常温	12.610	518.930	0.025	0.00	11.046	454.362	0.00	0.00	10.986	452.099	2.08	0.46				
	100	10.918	449.288	118.40	26.35	10.994	452.407	0.00	0.00	11.02	453.490	3.12	0.69	10.957	450.914	0.00	0.00
	210					11.028	453.811	0.0	0.00	5.238	215.572	15.60	7.24	5.791	238.313	16.08	6.75
8	常温					8.943	774.717	0.00	0.00	8.946	774.960	8.08	1.04				
	210					8.935	774.024	0.00	0.00	8.922	772.881	13.12	1.70	8.3716	725.150	10.24	1.41
9	常温					4.845	335.787	0.00	0.00	4.843	335.656	7.12	2.12				
	210					4.846	335.829	0.00	0.00	4.814	333.639	13.12	3.93	4.760	329.862	13.12	3.98
10	常温	15.414	260.064	172.50	60.33	15.416	260.094	5.84	2.25	15.418	260.135	6.96	2.68				
	100	5.417	260.116	184.00	70.74	15.402	259.868	1.68	0.65	15.279	257.780	12.40	4.81	15.399	259.811	3.68	1.42
	210					15.455	260.764	0.00	0.00	15.422	260.196	17.52	6.73	15.337	258.762	28.32	10.94
11	常温	8.830	450.863	267.50	59.33	8.849	451.808	0.00	0.00	8.852	451.971	2.48	0.55				
	100	8.732	445.844	435.00	97.57	8.899	454.391	0.00	0.00	8.789	448.770	8.08	1.80	8.794	449.015	0.00	0.00
	210					8.936	456.296	0.00	0.00	4.755	242.166	19.12	7.05	4.252	217.231	7.92	3.65
12	常温	25.586	454.344	143.25	31.53	25.558	453.847	1.04	0.23	25.608	454.735	2.08	0.46				
	100	25.408	451.175	325.00	72.03	25.282	448.948	0.00	0.00	25.557	453.821	3.60	0.74	25.387	450.818	0.00	0.00
	210					25.162	446.812	0.00	0.00	25.094	445.599	14.80	3.32	24.641	437.558	6.88	1.57

注:表中编号与表 1 中的相同。

(2)在不同介质条件下,生物释放金的能力不同,油田卤水的为 5.57%~18.99%,无机流体的为 1.26%~11.37%,混合液的为 5.14%~9.11%,表明在自然地质条件中,油田卤水萃取作用强于无机流体溶液和无机流体与有机水混合溶液。

(3)在不同温度条件下,生物样品及其他的无机和有机样品释放金的能力表现为随着加热

温度由常温→100℃→210℃的变化而增强,其中最为明显的是生物样品。

(4)粘土矿物释放金的能力与其吸附能力相反,即使是在加热条件下,也表现为蒙脱石>高岭石>伊利石。

(5)除王水介质和油田卤水外,在无机流体溶液、有机水与无机流体混合溶液介质中,原油解析金能力强于生物腐解的有机质,表现为随着成熟度的增加有机质释放金能力增强。

(6)在油田卤水介质下,有机质释放金能力最弱,但在无机流体和混合溶液介质条件下,随着粘土矿物的加入,降低了有机质释放金的能力。

3 菌藻生物富金作用的讨论

实验表明了生物活体与有机质、生物死体以及其他的无机物质富金能力存在着很大的差异,生物活体富金能力是其他样品的 17~69 倍。这种差异反映了生物活体与其他样品在富金机理上存在不同。活体生物对金的作用主要表现为细胞的吸收作用。同样,不同类型不同条件下生物富金能力的不同也正是细胞吸收金作用的表现。层理藻为分枝丝状体,细胞串珠状联在一起,细胞壁较厚,外有分层的胶质鞘;而色球藻为单细胞、椭圆形,外壁较薄,其通透性比前者好,并且色球藻外壁薄的特点使其受温度影响远远超过层理藻,生物细胞膜是有类脂双层模型,细菌中的膜脂组成,可随生长温度的改变而改变,以便使膜保持流动状态^[11~13],在温度高的条件下,离子更容易通过细胞膜。其次,蓝藻生物高温适应研究^[10]表明随温度的上升,温泉中细菌的 tRNA 中胸腺嘧啶被修饰形成 5-甲基-2-硫脲嘧啶,也即第二位的氧原子被硫取代,并且 5-甲基-2-硫脲嘧啶的含量也随着提高,按照生物对环境的适应性,那么热泉环境的蓝细菌以及在加热条件下的温泉蓝细菌与海生蓝细菌除了细胞结构上有差异外,其生化成分也应有差异。而金属离子依靠蛋白质作为跨膜载体进入细胞,进入细胞内的金属离子又是结合在适当的生物配体上形成长期的库存形式^[13]。显然,无论是金属离子在细胞间隔间(细胞膜或细胞壁)的运移还是在体内的蓄集都与生物各结构中的生物化学组成(也即生物配体)密切相关。不同类别的生物其生化组成有差异,同一生物在不同

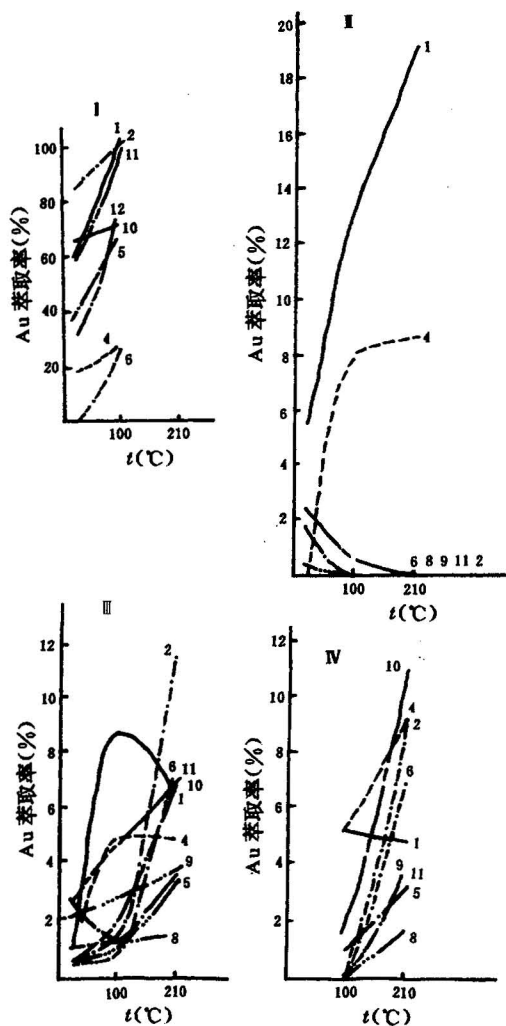


图 2 各样品在不同温度和不同介质条件下金的萃取率变化图

Fig. 2 Variation of extraction rate of gold in samples at different temperatures and solutions

I—王水介质; II—油田卤水; III—无机流体溶液; IV—混合流体溶液

曲线编号 1~12 与表 3 中或表 1 中的内容相同

I—in aqua regia; II—in oil-field brine; III—in inorganic fluid solution; IV—in mixed fluid solution.

The line No. 1~12 are the same as those

in Table 3 or Table 1

环境下,由于生物协调环境的反映使其生化组成也不同,那么,实验2所表现出的以壁薄的色球藻为特征的温泉蓝细菌比分层多、壁厚的大海生层理席藻的富集金的能力强,以及在保持水温52℃条件下,具有相同表面积的温泉蓝细菌富金能力比在常温下的强均进一步说明生物对金的富集能力除了与其生物表面积的大小有一些关系外,更多的是与细胞壁(膜)的通透性以及生物的生化组成明显有关。

根据生物无机化学特征,一种元素摄入量的多少与细胞膜(或细胞壁)内外系统的离子浓度等因素有关,溶液中金属离子浓度的多少决定了细胞摄入的金属量。实验1所反映的随着水溶液中Au浓度(或Au绝对量)的增高,每克生物活体样品富Au能力增大的现象,说明高含金量水溶液中生物富金量的升高是细胞调节内外渗透压以及物质平衡、生物体内解毒性与其生活环境相协调的表现。指示了生物能否成矿与一定的金源有关,而这种金源又与一定的大地构造背景和沉积环境相联系。生物活体虽有极大的富金能力,离开这特定的环境也是无能为力的,大量的地质事实和现代海洋资料均说明,并非凡有生物大量繁盛的海洋环境和生物化石丰富的地质单元都有矿床的发现。

实验2反映了温泉蓝细菌比海生细菌富金能力强,并且在加热条件下,温泉蓝细菌富金能力明显提高,这主要是表现在5-甲基-2-硫尿嘧啶多少的差异上,而生物蓄集有毒金属的生物配体主要是硫蛋白^[13],那么可以推测与金相配合的生物配体主要是含硫有机化合物。在温泉环境中,生物体中更有利于形成一些含硫有机化合物。以往的研究表明,热水环境是金的重要来源之一^[14],那么,热水环境在为金提供大量来源前提下,同时又为生物提供更为有利的细胞壁(膜)的通透状态以及形成更多的与金离子相结合的生物配位体。显然,热水环境是生物成矿最有利的场所。

4 结论

绿藻、蓝细菌、菌藻干样、有机质、原油、沉积物、3种粘土矿物富集与释放金的对比实验研究表明:①活体生物富金能力最强,并且为生物所富集的金在自然流体溶液中易于迁出参与成矿。②不同类型和不同环境的生物富金能力不同。温泉蓝细菌富金能力最强;热水环境的蓝细菌富金能力更强。③当生物生活在氧化环境,生物对金的富集主要表现为与生理活动有关的吸收作用;与金离子结合的生物配合物主要是含硫有机化合物。④生物活体在沉积过程对金的初始富集起了至关重要的作用,在由沉积→成岩→成矿过程中,随着生物活体→死体→腐解有机质→有机淤泥→有机岩的变化,有机物质对金的富集作用越来越小,并随着有机质成熟度的增加,其富金能力变弱而解析金的能力却增强。⑤3种粘土矿物吸附金的能力为:伊利石>高岭石>蒙脱石,释放金的能力却相反,并且粘土矿物的加入也降低了有机质吸附和释放金的能力。⑥油田卤水对富集于活体藻生物中的金的萃取能力强于无机流体,说明某些金属矿床与油气矿产在空间上存在着联系。

参 考 文 献

- 1 殷鸿福,谢树成. 四川松潘东北寨金矿预富集过程中的菌藻成矿作用. 地球科学,1992,17(3):241~249.
- 2 张景荣,朱法华. 蓝藻富集金的模拟实验及其地质意义. 地球化学,1993,1:61~67.
- 3 陆元法,刘宝瑛,薛堂荣,王仲文,王小龙. 狗头金表生生物成矿作用. 成都:西南交通大学出版社,1994. 11.
- 4 刘志礼,刘雪烟. 几种藻类聚金的对比. 见:叶连俊主编. 生物成矿作用研究. 北京:海洋出版社,1994. 213~217.
- 5 夏伟,李雅芹. 微生物对金的富集作用. 见:叶连俊主编. 生物成矿作用研究. 北京:海洋出版社,1996. 227~230.

- 6 胡凯,刘英俊,贾蓉芬,陈文华. 低温热液条件下有机质富集金机理的实验研究. 中国科学(B辑),1993,23(8):880~888.
- 7 刘金钟,傅家谟,卢家烂. 有机质在沉积改造型金矿成矿中作用的实验研究. 中国科学(B辑),1993,23(9):993~1000.
- 8 林丽. 现代绿藻和蓝细菌富集金的模拟实验. 成都理工学院学报,1994,21(4):42~44.
- 9 林丽. 拉尔玛金矿中的生物作用. 成都科技大学出版社,1994. 78.
- 10 郑维发,曾昭琪. 淡水蓝藻的高温适应. 湖泊科学,1994,6(4):356~363.
- 11 朱汝璠,张楚富. 生物化学. 武汉大学出版社,1989. 687.
- 12 俞大维,李秀伦. 微生物学(二版). 北京:科学出版社,1985. 66~112.
- 13 王夔. 生物无机化学. 北京:清华大学出版社,1988. 238.
- 14 Boyle R W. The geochemistry of gold and its deposits. Geol. Surv. Bull. Canady,1979. 584.

Comparative Experiments on Gold Enrichment and Mineralization by Bacteria and Algae, organic material and clay minerals

Lin Li, Zhu Lidong, Zhang Meng, Zhu Dicheng and Liu Hong

(Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059)

Abstract

Experimental studies of gold enrichment and releasing by bacteria, algae, organic matter, sediments and clay minerals show the following: ① the gold-enriching ability of living organism is stronger than dead ones, cyanobacteria in the hydrothermal environment have a stronger effect on gold enrichment than those living under the normal temperature conditions, and the gold enriched by organisms is easily released. ② In the oxidized environment in which organisms live, the gold-enriching mechanism of organisms is probably manifested by absorption relating to physiological action, and the most important ligand combined with gold is mainly sulfur-bearing organic compounds. ③ In the process of deposition → diagenesis → mineralization, the gold-enriching ability of organic matter becomes weaker with increasing maturity of organic matter as there is a change of living organisms → dead organisms → decayed organic material → organic sludge → organic rock, but the gold-releasing ability is increased. ④ The gold-absorbing abilities of three types of clay minerals are illite > kaolinite > montmorillonite, but their gold-releasing abilities are on the contrary, and the gold-absorbing and -releasing abilities of organic matter decrease with the introduction of clay minerals. ⑤ Oil-field brine has a stronger ability extraction of gold-enriched by living algae than inorganic fluid.

Key words: algae; organic material; clay mineral; biomineralization; simulating experiment

作者简介

林丽,女,1965年生。1993年于中国地质大学(武汉)获博士学位。现为成都理工学院地质学系副教授,主要从事生物成矿方面的研究工作。通讯地址:610059,成都理工学院地质学系。电话:(028)4078811。