

94, 30(3)
1-8

浪全金矿床矿石特征及成因

牛 林

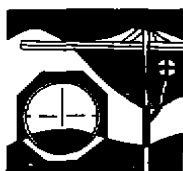
(核工业北京地质研究院)

p618.5/0.2

A

研究了浪全金矿床的矿石特征及成矿作用, 认为该矿床是多期多阶段形成的, 属于碳、硅、泥岩型金矿床中的风化型矿床。

关键词 矿石特征 成矿过程 成因 碳、硅、泥岩型金矿床



地质·矿床

1 矿区地质概况

浪全金矿床位于广西乐业县花坪乡境内。矿床地处华南加里东地槽褶皱系的西北缘, 濒临扬子准地台的西南地区, 大地构造上属于地台与地槽的接合部位。

矿区出露地层为二叠系及三叠系中、下统。二叠系岩性单一, 为厚层状碳酸盐岩。二叠系之上为下三叠统, 作为金矿体的下盘, 其岩性也是碳酸盐岩。中三叠统百逢组与下三叠统为断层接触, 它是金矿体的顶板。百逢组岩性为黑色碳质泥岩、泥质灰岩和粉砂岩。

金矿化产于下三叠统与中三叠统之间的构造破碎带中(图 1)。

金矿的形成主要与浪全断裂带的活动密切相关, 金矿化只是出现于断裂带构造活动较强烈、岩石破碎范围较大及岩层位移较远的部位。

2 矿石特征

2.1 矿石类型

根据化学成分和矿物组成, 我们将该矿床的矿石划分为以下 3 种类型:

(1) 泥质矿石: 为氧化矿石, 是矿区最富的矿石。主要矿物有水云母及少量高岭石, 以

及黄铁矿氧化后形成的褐铁矿。矿石中的 Fe^{3+} 、 K 、 Al_2O_3 和 H_2O 含量都明显增高, Au 、 Sb 、 As 等强烈富集, 而 Si 、 Ca 、 Mg 和 Fe^{2+} 显

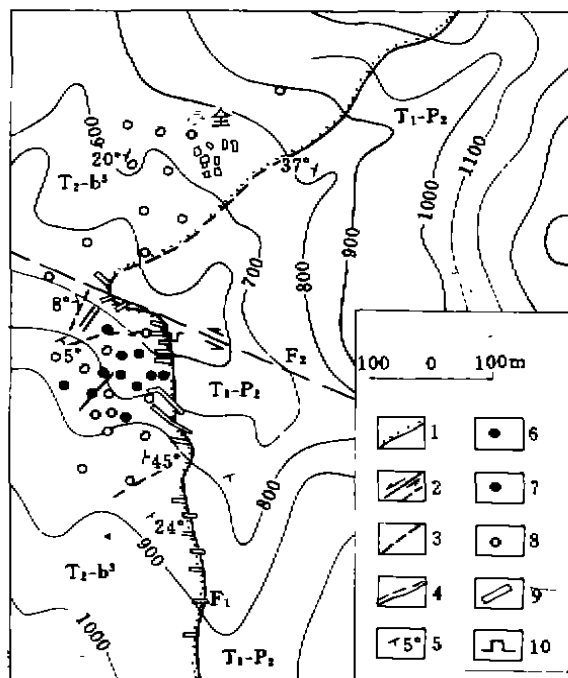


图 1 浪全金矿床地质图

(据中南 305 队资料部分修改)

T₁b₁—三叠系中统百逢组上段: 上部含钙质泥岩、粉砂岩夹灰岩透镜体, 下部含钙质粉砂质泥岩(底部含碳质)夹泥灰岩及灰岩透镜体; T₁-P₁—三叠系下统及二叠系上统: 薄层泥晶白云岩, 生物碎屑灰岩; 1—构造破碎带; 2—实测和推测正断层, 平推断层; 3—性质不明断层; 4—实测、推测地质界线; 5—岩层产状; 6—工业矿化孔; 7—矿化孔; 8—无矿孔; 9—探槽; 10—坑道

著降低。这表明,后生改造作用使一些元素富集,另一些元素被淋失。

(2)硅质矿石:属原生矿石范畴,其特点是 SiO_2 含量多在90%以上。胶结物为较粗的石英,其中还包含着粘土矿物的小颗粒。角砾为细粒石英集合体。

(3)角砾矿石:在矿床中占的比重最大。角砾含量多,成分杂。胶结物为粘土质和铁质。

从化学组成来看,矿石属硅酸盐型,只有金可以工业利用。矿石埋藏浅,产出又集中,很适于露采。工业矿石主要是氧化矿石,松散、破碎,适于堆浸法提取金。

2.2 矿石结构、构造

由于矿床是在热液和表生双重作用下形成的,所以矿石的结构、构造既反映了热液活

动的特征,也反映出表生作用标志。矿石构造有浸染状、条带状、脉状、角砾状、蜂窝状和星点状等6种,而以后3种为主。这些构造对氧化矿石都是很典型的。

星点状构造呈细小的($1\sim 20\mu$)自然金颗粒,散染在泥质岩石中,分布不均。

矿石结构有:显微莓粒结构、自形、半自形晶结构、胶状结构、包裹结构、交代残余结构和假像结构。

2.3 矿石矿物组成

通过显微镜下光片和薄片鉴定及电子探针、电子显微镜、红外光谱与重砂分析,在矿床内共鉴定出各种矿石矿物41种(表1)。其中硫汞银铜矿在国内文献中还未见报道。还有一种汞的硫化物,其成分虽与辰砂相同,但汞和硫的含量却明显地区别于辰砂。

表1 浪全金矿矿石矿物组成

矿物分类	矿物名称
硫化物	黄铁矿、辉铋矿、闪锌矿、铜蓝、雌黄、方铅矿、硫汞银铜矿、辉砷硫银矿、辰砂、黄铜矿
氧化物	石英、褐铁矿、赤铁矿、磁铁矿、王赭、砷铁矿、锡石
硅酸盐	水云母、高岭石、绢云母、地开石、铅石、绿帘石、电气石、蓝晶石、蒙脱石
磷酸盐	方解石、白云石、蓝铜矿、泡铋矿
磷酸盐	磷矿、石、绿松石、独居石
硫酸盐	重晶石、石膏、黄钾铁矾
氟化物	萤石
自然元素	自然金、自然银、自然铜

2.4 自然金特征

自然金的反射色为金黄色,均质体,但常出现假非均质现象。表面常有擦痕。由于反射率和金的成色都很高,故其蓝光和绿光的反射率有降低的趋势。

自然金的形态多种多样,规则的晶形较少见,通常为不规则粒状、薄片状、树叶状、棒槌状、浑圆状和乳滴状。

自然金多以单体金产出,常分布在粘土矿物中。也有少量的包体金,多半包裹在黄铁矿或石英中。粒间金或裂隙金更少见,多分布于黄铁矿颗粒间或裂隙中。

浪全金矿自然金含量极高,而银含量很低,含其他杂质也不多。金的成色极高,这在我国其他金矿床中是少见的(表2)。在电子探针所做的金浓度分布曲线上可以看出,金在颗粒中的分布很均匀。

自然金以显微金为主。我们对光片中自然金颗粒测定的结果,绝大部分自然金的粒级在 $1\sim 2\mu$ 。矿石中还有大量光学显微镜难以分辨的显微金。为此采用金的中子活化放射性 γ 照相方法,并取得了满意的效果。这种方法在我国还是首次应用,它的分辨率为 0.1μ ,精度高,不破坏样品,并能直接地使宏

观与微观相结合(图 2)。

2.5 矿物生成顺序

表 2 浪全金矿自然金成分分析结果(%)及金成色

样品号	颗粒号	测点号	Au	Ag	Si	Fe	Al	Cu	成色
L-077-1	1	1	98.246	0.153	0	0.868	0.030	0	998.4
		2	93.611	3.809	0	0.866	0.004	0.043	960.9
		3	97.471	0.396	0	1.098	0.029	0	995.9
	2	1	95.793	0.067	0	0.649	0.069	0.046	999.3
		2	94.947	0.059	0	0.490	0.021	0	999.4
		3	94.206	0.065	0	0.507	0	0.035	999.1
L-077-2	1	1	90.695	0.028	0.082	1.142	0.241	0	999.7
		2	92.490	0.138	0	0.758	0.034	0	998.5
		3	95.008	0.087	0	0.863	0.027	0.041	999.1
	2	1	95.118	0.090	0	0.856	0.056	0	999.1
		2	92.817	0.287	0	0.766	0.032	0	996.9
		3	68.048	0.113	1.182	5.556	1.406	0.086	

(中国进出口商品检验技术研究所探针组分析)



图 2 金在矿石中的分布(黑点示金颗粒)×2.6
(据 X 光底片类推)

用中子活化¹⁹⁷Au 放射性同位素 γ 照相法;中子通量:1×10¹²中子数/s·cm²;堆照时间:2.5h;冷却时间:11d;感光时间:5h

浪全金矿床的形成经历了 3 个时期:沉积成岩作用中成矿物质的初步富集;内生热液作用形成金矿化;表生作用形成工业金矿体。热液期又根据脉体的穿插关系、矿物共生组合分出了 4 个阶段(表 3)。

3 成矿作用分析

3.1 成矿的物质来源

对于浪全金矿床的物质来源,至今还没有一个一致的看法。本文试图从以下几个方面来探讨这个问题。

3.1.1 地层的含金性

浪全地区的三叠纪地层,产状很缓,岩石露头大都遭到不同程度的风化、剥蚀,很难采到新鲜的岩石样品。我们只在该区新修公路的剥离面上取了少量样品(表 4),反映出地层中金丰度值高,含量变化大。

据贵州区域地质调查队资料,中三叠世安尼锡克期的盆地边缘上斜坡相带的 197 个样品,其 Au 平均含量为 $7.34 \times 10^{-3} \text{g/t}$;盆地边缘下斜坡地带的 303 个样品,金的平均含量为 $16.78 \times 10^{-3} \text{g/t}$ 。按广西地质志资料,浪全地区中三叠世时就是处于槽盆相区。

又据中南冶金地质研究所资料(表 5),中三叠统金的丰度与离散度都是最高的。

我们在中三叠世泥岩中曾采到一个黄铁矿结核,并制成光片,其中见有自然金颗粒。根据结核的产出部位及形态判断,它可能是成岩结核。此外,本区地层中最常见的黄铁矿,约占岩石重量的 3%,它或呈细脉顺层产出,或呈浸染状分布在岩石中,也有的黄铁矿为团块状。这些黄铁矿含金量都较高。上述事实为金矿源层的推断提供了证据。

3.1.2 硫同位素组成

我们在浪全矿区及外围采集了黄铁矿样品作硫同位素组成测定。从硫同位素组成直方图中(图 3)可以看出,黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围较大,属分散型,明显地不同于由岩浆提供硫源所表现出的塔式效应,而具有明显的沉积硫特点。黄铁矿硫同位素变化呈跳跃式,表明在成矿过程中,由于成矿温度不高,冷却较快,硫同位素未能达到平衡。矿体中黄铁矿

的硫同位素变化均局限在地层黄铁矿的硫同位素变化范围之内,从而表明矿石硫同位素组成与地层中硫同位素组成有依属关系。这还可以从矿石与地层中黄铁矿微量元素含量的相似性上得到证实。

表 3 浪全金矿床矿化期次和矿物生成顺序

矿化期及阶段	沉积成岩期	热液期				表生期
		石英—黄铁矿 早期阶段	石英—黄铁矿 主期阶段	石英—黄铁矿 晚期阶段	硫砷石英—方 解石阶段	
粘土矿物	——			——		——
石英	——	——	——	——	——	
黄铁矿	——	——	——	——		
长石	——					
方解石	——				——	——
磷灰石等	——					
闪锌矿		——	——			
方铅矿		——				
黄铜矿			——			
自然金			——	——		——
(Hg,Fe) ₂ S			——			
地开石				——		
辉锑矿				——		
雄黄				——		
雌黄				——		
辰砂				——		
疏汞银铜矿				——		
辉砷铜银矿				——		
自然银				——		
褐铁矿						——
赤铁矿						——
黄铜铁砷						——
软锰矿						——
蓝铜矿						——
绿松石						——
重晶石						——
泡碱矿						——
铜盐						——
自然铜						——
磁铁矿						——

表 4 浪全矿区地层金含量(10^{-5} g/t)

地层时代	岩性	取样位置	金含量
T ₁	灰绿色泥岩	亚煤砷矿西面	5.8
T ₁ b 中三叠统 百逢组	暗灰色粉砂质泥岩	乐道→雅长 42.03km 处	70.1
	暗灰色条带状细砂岩	堆场西 100m	26.6
	暗黄色泥岩	果麻东 400m	6.6
	暗灰色条带状细砂岩	果麻东 300m	8.1
	灰绿色板岩	老鹰嘴	64.0

(地矿部岩矿测试技术研究所分析)

表 5 右江流域三叠系全丰度统计表

地质时代	岩 性	样品数	金丰度 $10^{-3}g/t$	均方差
三叠纪	碳酸盐、粘土岩、砂岩	188	5.78	8.81
晚三叠世	海相及海陆交互相含煤地层	5	2.2	0.57
中三叠世	海相沉积岩:粘土岩、粉砂岩、砂岩	138	6.86	9.91
早三叠世	灰绿色砂岩、粉砂岩、砂质粘土岩及页岩		2.87	3.12

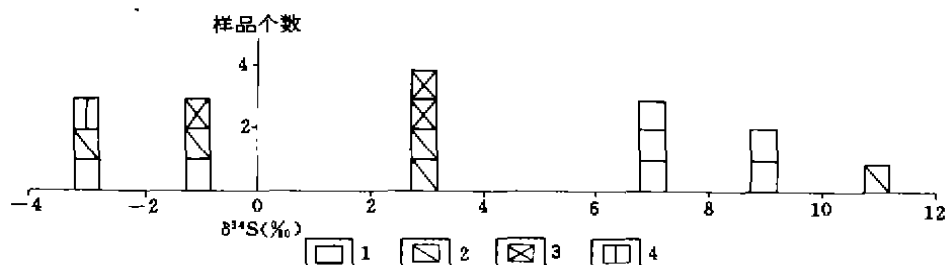


图 3 浪全全矿床黄铁矿硫同位素组成直方图

1—取自泥岩地层;2—取自碳酸盐岩地层;3—取自金矿体;4—取自金于金矿床金矿体

3.1.3 铅同位素组成

矿石与地层的铅同位素组成基本一致,反映了矿床的形成与地层有一定的依属关系。在 Doe 和 Zartman 的演化模式图上,浪全矿床矿石及地层铅同位素组成的数据点落在造山带与上部地壳铅增长曲线之间,远离地幔和下部地壳增长曲线(图 4)。这充分表明,铅主要由上部地壳提供,而幔源物质和下部地壳物质的影响很小。看来,铅很可能来自围岩地层,显示了成矿的浅源性。

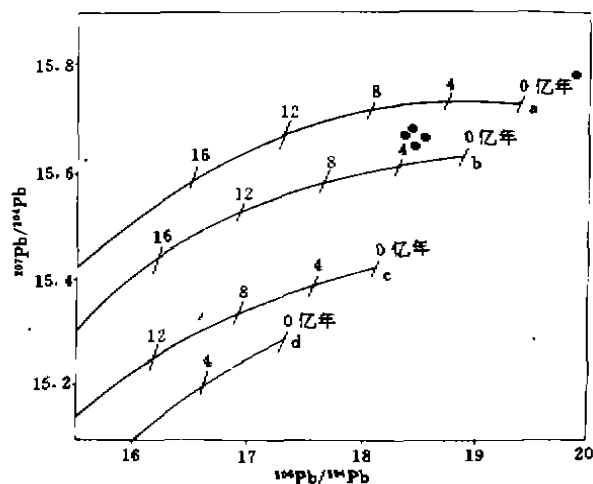


图 4 不同地质环境的 $^{207}Pb/^{204}Pb$ — $^{206}Pb/^{204}Pb$ 图解

(据 Doe 和 Zartman, 1979)

a—地幔铅;b—造山带铅;c—上地壳铅;d—下地壳铅

3.1.4 稀土元素配分及其分布型式

图 5 中的所有样品稀土丰度均较高(ΣREE 高于 $126.86g/t$)。矿石与围岩稀土型式总体相似,金矿化作用并没有明显改变稀土元素在岩石中的配分。由此推测,金可能也来自地层。如果金来自其他源区,则金矿石稀土型式应当反映他源特征,对无矿化的围岩则没有继承性。图 5 还展示了矿石中褐铁矿和不同成因黄铁矿的稀土模式曲线。各个样品分布曲线显示相互平行的特点,这表明其稀土含量大致呈同步变化,其特征仍与地壳和砂岩、板岩的稀土配分模式近似,具有共同的来源。

4 成矿的物理化学条件

这里只讨论热液成矿的一些物理化学条件。

4.1 成矿温度、盐度、密度与压力

由表 6 不难看出,从早期到晚期,石英包裹体的形成温度越来越低、密度越来越大、气液比越来越小。成矿主期阶段的盐度,与早晚阶段相比较,略有增高,但仍属于低盐度范畴,成矿深度也不算大。

4.2 成矿溶液的化学成分、Eh、pH 值、氧逸度与硫逸度

由表 7 可以看出,含矿流体的气相成分

主要是水,其次是 CO_2 ,液相中的阴离子主要是 Cl 和 HCO_3 ,成矿介质的还原程度不高。溶液的 pH 值为弱酸性,氧化还原电位、硫逸

度、氧逸度皆为负值,基本属于低值范畴,这与黔西南地区的许多金矿床极为相似。

4.3 成矿溶液的氢、氧同位素组成及其来源

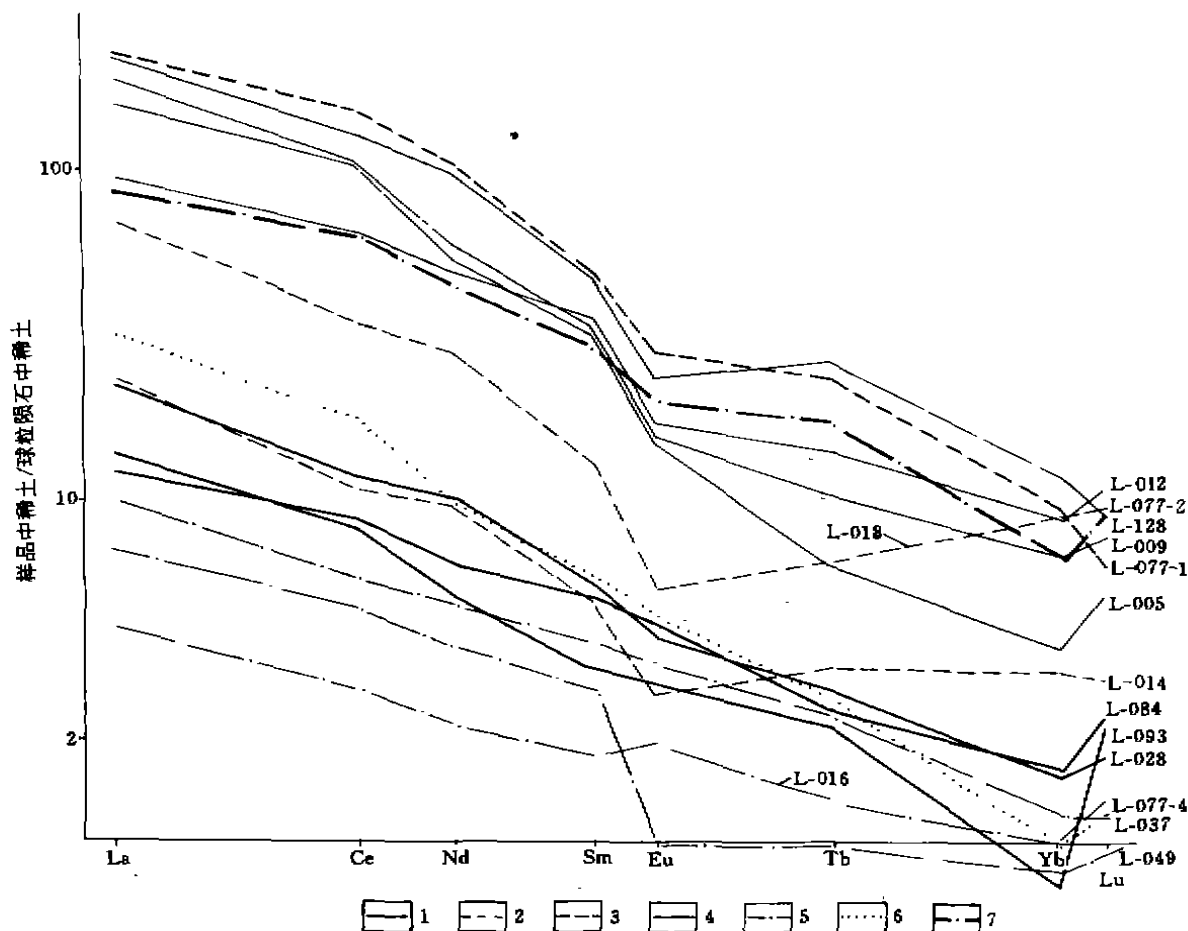


图5 不同样品的稀土模式曲线

1—地层中的黄铁矿;2—硅质矿石;3—泥质矿石;4—矿石中的粘土矿物;5—矿石中的黄铁矿;6—矿石中的褐铁矿;
7—地层样品

表6 石英包裹体温度、盐度、密度及压力测定结果

成矿期及阶段	热液成矿期		
	$\text{SiO}_2-\text{FeS}_2$ 早期	$\text{SiO}_2-\text{FeS}_2$ 主期	$\text{SiO}_2-\text{FeS}_2$ 晚期
形成温度($^{\circ}\text{C}$)	289~351	148~174	115~123
盐度 wt%	0.2~0.4	1.7~4.0	0.1~0.2
密度 g/cm^3	0.568~0.734	0.909~0.934	0.940~0.947
气液比	1:3~1:6	1:8~1:14	1:15~1:20
压力 10^5Pa	168~231	345~435	40~70

(由本院三室包体组分析)

浪全金矿床与矿化有关的石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $+11.56\text{‰}$ ~ $+21.05\text{‰}$ 。由于所测的 $\delta^{18}\text{O}$

值为矿物值,所以根据石英的形成温度,计算出与石英平衡时水溶液的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 -6.03‰

~+5.47‰。投到 $\delta D-\delta^{18}O$ 关系图上的石英 不属于变质水或岩浆水的范畴,其来源应是包裹体的氢、氧同位素组成(图 6)表明,矿液 大气水,成矿溶液应是被加热的大气降水。

表 7 成矿溶液的化学组分特征及其类型

样品号	阳离子(毫克当量%)				阴离子(毫克当量%)				化学组分比值		
	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	F ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	离子组分(重量)		
									$\frac{K^+}{Na^+}$	$\frac{Ca^{2+}}{Mg^{2+}}$	$\frac{K^++Na^+}{Ca^{2+}+Mg^{2+}}$
L-130	5.4	64.2	26.4	1.9	81.3	5.5	4.3	3.7	0.16	23.5	1.58
L-053	4.2	26.4	64.3	4.9	17.8	17.1	54.1	10.9	0.26	21.1	0.29

化学组分比值					矿质类型	还原参数	pH	Eh(V)	lg f _{H₂}	lg f _{S₂}
离子组分(重量)			气体组分(mol)							
$\frac{Cl^-}{HCO_3^-}$	$\frac{Cl^-}{SO_4^{2-}}$	$\frac{Cl^-}{F^-}$	$\frac{CH_4}{CO_2}$	$\frac{CO_2}{H_2O}$						
10.6	3.45	26.7	0.35	0.018	Cl ⁻ -Na ⁺ -Ca ²⁺	0.55	4.76	-0.3068	-42.19	-1.9268
0.19	0.62	1.94	0.09	0.012	HCO ₃ ⁻ -Ca ²⁺ -Na ⁺	0.24	6.10	-0.4079	-41.54	-23.1269

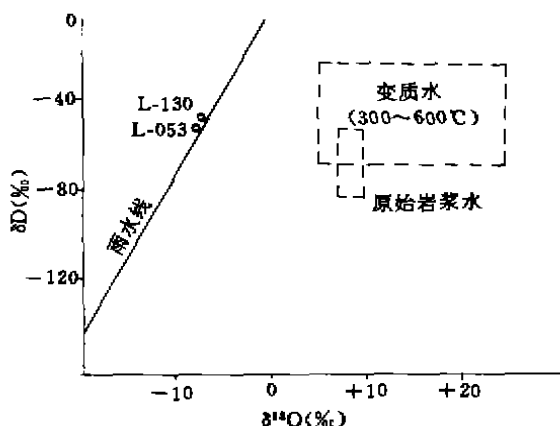


图 6 浪全金矿石英包裹体水的 $\delta D-\delta^{18}O$ 图

5 金的成矿年龄

测定金的成矿年龄十分困难,是至今尚未完全解决的问题。我们采用了新近发展起来的 $^{39}Ar-^{40}Ar$ 年龄测定技术,对矿床的含金石英样品作了测定。测定工作和数据处理由中国科学院地质研究所同位素地质室完成。测定结果经数据处理后列于表 8。获得的年龄谱图如图 7。

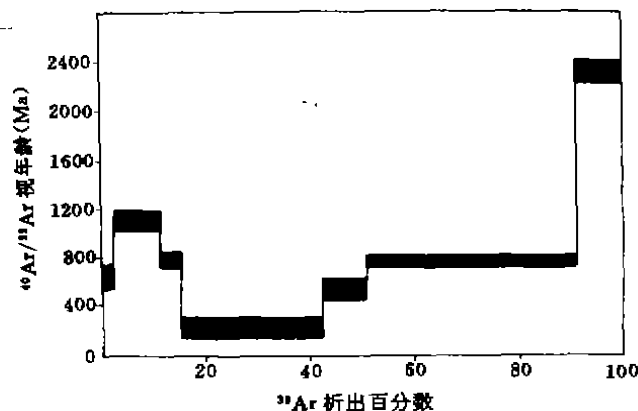


图 7 含金石英(L151) $^{40}Ar-^{39}Ar$ 年龄谱图

根据本矿床的地质情况判断,最早的热液期金的成矿年龄应小于 273Ma,在测试的误差范围之内。

6 矿床成因

根据对浪全金矿的地质构造条件和物理化学条件等诸因素的全面考虑,认为矿床是经历了长期的多种地质作用而富集成矿的。矿床的形成大致经历了沉积一成岩预富集阶段、热液成矿阶段和表生改造富集阶段。

表 8 浪全金矿床含金石英⁴⁰Ar—³⁹Ar 年龄测定实验数据

加热阶段	加热温度 (°C)	$\frac{^{40}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}$	$\frac{^{36}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}$	$\frac{^{37}\text{Ar}}{^{36}\text{Ar}}$	$\frac{^{36}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}$	$(^{39}\text{Ar})\text{K}$ 10^{-12}mol	$(^{39}\text{Ar})\text{K}\%$	$\frac{^{40}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}(\pm 1\sigma)$	视年龄 $(\pm \sigma)$ (Ma)
1	400	210	1.6	34.762	5.2	0.068	2.31	36.84 ± 4.23	847.0 ± 25
2	600	243.158	0.579	4.574	0.474	0.266	9.05	72.71 ± 4.86	1111.2 ± 86.9
3	850	155	0.375	21.726	0.375	0.111	3.78	46.61 ± 3.11	785.8 ± 66.5
4	950	156	0.492	6.952	0.6	0.793	26.98	11.27 ± 3.1	223.6 ± 87.6
5	1050	208.333	0.611	19.312	0.944	0.249	8.47	29.75 ± 4.18	539.2 ± 99.1
6	1400	128.235	0.284	5.112	5.435	1.188	40.42	45.93 ± 2.57	776.5 ± 56.1
7	1550	484.211	0.895	13.722	5.0	0.264	8.98	223.52 ± 9.71	2319.6 ± 93.6

(由中国科学院地质所同位素地质实验室测定)

中三叠世时,陆源含矿物质流入海盆,在该区沉积了以泥岩、细碎屑岩为主的巨厚浊积岩系。这套地层不仅金的丰度值高,而且变异系数大,同时 Hg、As、Sb 等元素的含量也高,是理想的金源层。此外,在成岩过程中,黄铁矿的自形晶化对金亦有富集作用。在成岩期形成的黄铁矿结核中,偶尔还见有自然金颗粒。正是由于这些原因使地层中的某些地段的金丰度值显著提高,为形成金矿床提供了丰富的物质基础。

中三叠世末开始,浪全地区经历了多期次的构造活动,形成复杂的构造变形。在本区含矿地层中形成一系列不同走向的构造断裂带,浪全断裂带即是其中主要的一条。当大气降水沿着这些断裂破碎带、裂隙带及岩石的孔隙下渗时,它们被不断加热,其温度属中低温范畴。下渗的大气水不断升温,密度也不断下降。当这些水下渗到达一定的深度时,由于比重减轻而开始回返,它们又沿着断裂及其两侧的裂隙向浅部运移,滤出围岩中的金和其他组分。金以可溶性络合物运移。

当矿液上升到一定部位,由于一系列物理化学条件的变化,主要是压力、温度及 pH 值的变化,在构造破碎带的有利空间开始卸载。这时矿液的 pH 值由弱酸性变为中性,促

使络合物分解,导致金沉淀。另外,成矿时低的氧化还原电位对金的沉淀也有利。

从晚三叠世起,本区地壳普遍抬升,缺失侏罗、白垩纪沉积。热液金矿化形成之后,本区仍处于上升阶段,岩石长期遭受风化剥蚀。早先形成的热液金矿体部分出露地表,从而受到长期的氧化、淋滤作用。在大量富含 O₂、CO₂ 水的作用下,许多在常温常压下不稳定的矿物被氧化、分解。矿体及围岩中的黄铁矿等被氧化而产生大量硫酸,形成强酸性淋滤水。这种水沿构造带向下迁移,同时解离出矿体中的自然金,部分原生自然金又被溶解,作短距离的搬运。强氧化的强酸性含金溶液沿构造断裂带向下迁移,在不完全氧化带,由于 Eh、pH 等物理化学条件的变化,金又沉淀下来,形成了工业金矿体。重新沉淀的自然金,银含量很低,只含少量的 Fe、Si、Al 等元素。在工业金矿体中除有大量粘土矿物、褐铁矿及其他氧化矿物外,还同时并存有残留的、未完全氧化的多种矿物。

浪全金矿床的含矿围岩是海相的三叠纪泥质岩和碳酸盐岩,工业金矿体是经过表生氧化作用而形成的,工业矿体产于不完全氧化带。所以我们称这种矿床为碳、硅、泥岩型金矿床中的风化型金矿床。

Ore Characteristics and Genesis of Langquan Gold Deposit

Niu Lin

In this paper ore characteristics and ore forming process of Langquan gold deposit are studied. The formation of gold deposit has been experiencing a long and complicated processes. The deposit, weathering genesis, is one of deposits of carbonate-siliceous-pelitic type.