

湖南漠滨石英脉型金矿成因探讨^①

周德忠 叶大元 余大龙

(贵州工学院地质系)

内容提要:漠滨金矿为一贫硫化物石英脉型金矿。本文着重阐述了具代表意义的II₁脉的地质特征;通过对矿物包裹体的系统研究及氢、氧、硫、铅等的同位素研究,探讨了成矿热液的来源和运移方向,认为该矿床属典型的偏低温混合热液充填型矿床;并指出了进一步找矿的方向和远景区。

主题词:石英脉型金矿 矿床地质特征 成矿流体性质 成矿物质来源 偏低温混合热液充填型矿床 湖南漠滨

在湘西黔东交界地区,广泛出露晚元古界板溪群浅变质岩系,其中发育大量石英脉型金矿。漠滨金矿为一贫硫化物石英脉型金矿床,是区域内具有代表性的金矿床。研究其成因和成矿控制因素,有助于这类金矿床的找矿和评价。

一、区域及矿区地质简况

本区位于扬子准地台江南隆起南西段,武陵运动、雪峰运动、加里东运动和印支、燕山运动对本区地质构造的发展演化有着明显的影响。区内出露地层有板溪群、震旦系、寒武系、石炭系、二叠系、侏罗系、白垩系、第三系和第四系。区域构造以北东向为主,次为北西向和北北东向,褶皱断裂均较发育。区域内超基性岩、基性岩、中性岩及中酸性岩体和岩脉均可见到,但矿区内未出露。

矿区位于托口向斜之南东翼,朗江背斜之北西翼(图1)。出露地层为板溪群五强溪组第二段($Ptbn_2w_2$),岩性主要为一套板岩、凝灰质板岩、砂质板岩、变余细砂岩和变余凝灰质细砂岩等,普遍具条纹状和条带状构造。矿区褶皱构造较简单,总的表现为单斜,但次级褶皱、挠曲较发育。断裂发育,北西向区域性漠滨大断层(F_1)从现采区之西南缘通过,北东向断层(F_2)与之相交,现采区就位于断层交汇处的内侧(图2)。

矿区内具有一定规模的石英脉有三十多条,已证实含金的有十余条,均充填于层间挤压破碎带中。脉的倾向一般为 $320^\circ-350^\circ$,倾角一般为 20° 左右。脉体厚度不大,一般为20—40cm,局部达1.2m。脉中常见金属矿物有黄铁矿、毒砂,还有方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、

● 国家自然科学基金资助课题, 本文由余大龙执笔

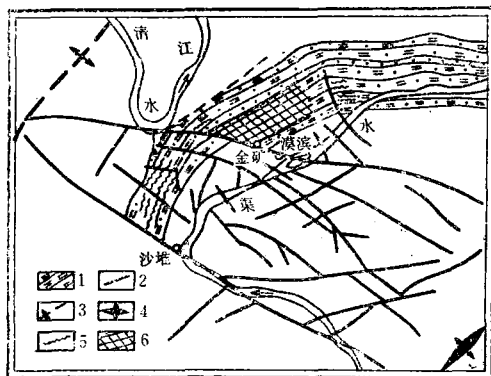


图 1 漠滨金矿的构造位置

1—矿区围岩；2—断层；3—托口向斜；4—朗江背斜；5—石英脉；6—矿区范围

Fig. 1. Structural location of the Mobin gold deposit.

1—Wall rock; 2—Fault; 3—Tuokou syncline; 4—Langjiang anticline; 5—Quartz vein; 6—Limits of the ore district.

黝铜矿和车轮矿等。常见非金属矿物主要为石英，次为方解石、绢云母、绿泥石等，局部见斜长石。围岩蚀变很弱，仅局部出现硅化、黄铁矿化、毒砂化、绢云母化和绿泥石化。金以自然金形式产出，多为可见金，以颗粒粗大著称。金矿化极不均匀，分段富集，品位变化很大。

作者以矿区开采最久、规模最大、产金最多和揭露最好的Ⅱ_下脉为主要对象，通过地质观察、采样，进行了包裹体和稳定同位素等方面的研究，以探讨成矿物质的来源、性质、运移方向和成矿的物理化学条件。

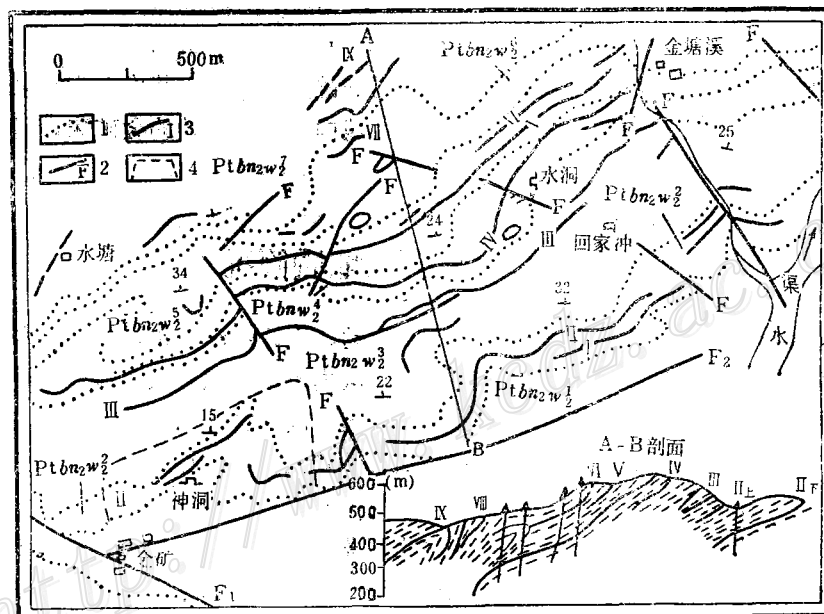


图 2 漠滨金矿地质图

(据黎盛斯1978年资料，略有修改)

Ptbn2w¹—Ptbn2w⁷—板溪群五强溪组第2段之1—7小段，岩性依次为变质细砂岩、条带状砂质板岩、板岩夹砂质板岩、砂质板岩夹变质细砂岩、变质细砂岩夹砂质板岩、砂质板岩夹变质细砂岩、砂质板岩；1—地质界线；2—断层；3—含金石英脉；4—采空区

Fig. 2. Geological map of the Mobin gold deposit.

Ptbn2w¹—Ptbn2w⁷—No.1—7 submembers of second member of Wuqiangxi Formation, Banxi Group, with lithologic characters being respectively metamorphic fine-grained sandstone, banded arenaceous slate, slate intercalated with arenaceous slate, arenaceous slate intercalated with metamorphic fine-grained sandstone, metamorphic fine-grained sandstone intercalated with arenaceous slate, arenaceous slate intercalated with metamorphic fine-grained sandstone, arenaceous slate; 1—Geological boundary; 2—Fault; 3—Gold-bearing quartz vein; 4—Goaf.

二、矿脉主要特征

1. Π_F 脉及矿体的特征

Π_F 脉赋存于五强溪组二段条纹状凝灰质板岩或条纹状砂质板岩的层间挤压破碎带中, 断续延伸达3000m, 由许多似层状、透镜状或小扁豆状脉体组成(图3)。由于层间破碎构造发育程度不同, 造成了石英脉在形态上的相应变化。以1号勘探线为界, 向东石英脉呈扁豆状或薄层状, 一般厚约15cm, 结构简单; 向西石英脉规模较大, 呈似层状或透镜状, 厚度一般为30—50cm, 结构复杂。无论在东部和西部, Π_F 脉均有厚薄变化, 即存在膨胀、狭缩、尖灭、再现等现象。在层间破碎强烈处形成的石英脉多厚大, 且具明显的角砾状构造, 微弱处则形成厚度不大的石英脉。

Π_F 脉中的矿体主要集中在4号勘探线以西290m标高以上, 主矿体在8—26号勘探线之间。 Π_F 脉中圈出的4个矿体的长度为50—458m, 厚度为0.14—0.29m, 品位为3.54—28.11g/t^①。

对 Π_F 脉近4000个金含量和厚度数据^②进行了统计, 求得金品位(C)与脉体厚度(H)之间的相关系数为 $C=1.6163-0.2227H$, 表明在 $\alpha=0.10$ 的显著性水平上, 品位与厚度不相关。

总体而言, Π_F 脉西部比东部脉较厚大, 矿体也多, 规模大, 品位亦富。其它石英脉体也有这种特点。但就西部本身而言, 并非脉体厚大部分金就富, 而往往在脉体较薄或由厚变薄处含金较高。

2. 矿物成分及共生组合

金属矿物中除自然金外, 主要为黄铁矿、毒砂, 次为方铅矿、闪锌矿、车轮矿、黄铜矿及黝铜矿, 还有极少量的白铁矿、脆硫砷铅矿、辰砂和辉锑矿等, 其总量小于5%。非金属矿物以石英为主, 次为方解石、绿泥石、白云石和少量的菱铁矿、钠长石、重晶石、水云母和绢云母等矿物, 其总量大于95%。氧化带中分布有褐铁矿、孔雀石、铜蓝、斑铜矿、辉铜矿和白铅矿等。

矿物共生组合主要有三种: ①自然金-石英组合, 金主要赋存于石英裂隙和晶洞中, 偶见毒砂、黄铁矿等; ②自然金-简单硫化物组合, 进一步可分为自然金-毒砂-黄铁矿组合、

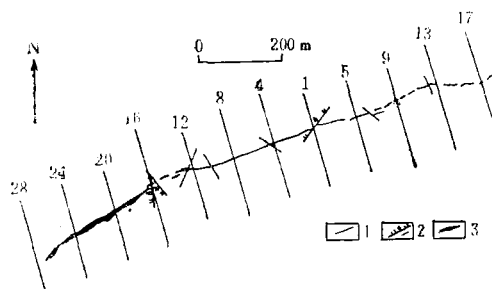


图3 290中段 Π_F 脉示意图

(据湖南地矿局407队1978年资料)

1—勘探线; 2—断层; 3—脉体

Fig.3. Sketch diagram of Π_{lower} vein at 290 level.

1—Exploration line; 2—Fault; 3—Quartz vein.

① 湖南省地矿局407队1978年资料

② 中国人民解放军00535部队1982年资料

自然金-闪锌矿组合、自然金-方铅矿-黄铜矿组合、自然金-毒砂-方铅矿组合；②自然金-复杂硫化物组合，以出现黝铜矿、脆硫砷铅矿和车轮矿为特点。

3. 结构构造

矿石有角砾状、条带状、细脉状、网脉状、晶洞状、浸染状、晶簇状和钟乳状等构造。镜下可见自形晶、半自形晶、他形晶、交代残余、假象、骸晶、包含、充填、环带、乳滴状及镶嵌状等结构。

4. 成矿期、成矿阶段及矿物生成顺序

漠滨金矿主要有两个成矿期和三个成矿阶段（表1）。

（1）热液成矿期：形成含金石英脉的主体，分以下三个阶段：

①石英-黄铁矿-毒砂阶段：即成脉阶段。石英占95%左右，呈自形、半自形粒状、柱状，粒径在0.1—15mm之间（不含晶洞中的石英）。镜下石英表面较浑浊，见较宽大的黑边，边缘平直，突起较高，其中之包裹体普遍较大（ $>5\mu\text{m}$ ）。与石英同时和稍后形成的还有少量的蠕虫状绿泥石、方解石、金红石和钠长石。黄铁矿和毒砂呈星点状或大小不等的集合体出现，晶体较粗大，占总量的2%左右。该阶段矿石含金较少，以块状和条带状构造为主。

②石英-硫化物-复硫化物阶段：为自然金的主要形成阶段。无论石英或硫化物，几乎毫

表 1 漠滨金矿成矿期、成矿阶段及矿物生成顺序

Table 1. Metallogenic epoch, metallogenic stage and formation sequence of minerals in the Mobin gold deposit

矿物名称	成矿阶段	热液期			表生期
		石英-黄铁矿-毒砂(成脉)阶段	石英-硫化物-复硫化物阶段(成矿)	碳酸盐阶段	
石英		——	——	——	
钠长石		——	——		
绿泥石		——			
方解石		——	——	——	
金红石		——			
黄铁矿		——	——	——	
毒砂		——	——		
绢云母		——			
闪锌矿			——		
方铅矿			——		
黄铜矿			——		
车轮矿			——		
黝铜矿			——		
自然金		——	——		——
铜蓝*					——
斑铜矿*					——
铅矾*					——
孔雀石					——
褐铁矿					——

（“*”引自湖南407队1978年资料）

无例外地都以半自形—他形晶细粒集合体或条带状出现。自然金可以产于石英和硫化物晶粒间,也可以交代硫化物产于硫化物晶体中。石英粒径在0.01—0.1mm之间,以白色、透明度较高、表面光洁、突起较低、边缘呈波浪镶嵌或不规则状接触,及其中之流体包裹体很小($<5\mu\text{m}$)而有别于早期石英。硫化物以黄铁矿、毒砂为主,方铅矿、闪锌矿、黄铜矿次之,车轮矿与黝铜矿较少。硫化物粒度比石英稍大,比第一阶段的硫化物要小得多。该阶段矿物除了形成斜切层理的一些细脉(俗称“吊线脉”)外,还可胶结早期石英的角砾形成角砾状构造及条带状构造。

③碳酸盐阶段:为热液成矿的最后阶段,与金关系不大。除了沿早期矿脉裂隙充填外,更多的形成斜切层理和早期石英脉体的碳酸盐脉。

(2)表生期:热液成矿期形成的矿物由于地表的氧化淋滤作用而形成次生富集的矿物组合,金亦可产生次生富集。

三、成矿流体的性质

包裹体研究可以为我们提供有关成矿流体的性质、温度、盐度、密度、成分及运移方向等方面的信息。为此,我们对脉中包裹体进行了较为系统的研究。

1. 包裹体类型及特征

矿区石英脉中的包裹体类型比较单一,以气液包裹体为主,占总数的95%以上;气体包

表2 漠滨金矿包裹体特征

Table 2. Characteristics of inclusions in the Mobin gold deposit

石英脉 包裹体 特征	II		节理脉*	标志层脉	XX号脉	XXV号脉
	II上	II下				
形状	椭圆状、浑圆状、蝌蚪状、长条状、不规则状等		浑圆状、长条状、椭圆状及不规则状等	椭圆状、浑圆状、长条状、滴水状、不规则状等	椭圆状、浑圆状、长条状、不规则状等	椭圆状、浑圆状、滴水状、不规则状等
颜色	无色、浅灰色、灰色		无色	无色、浅灰色	无色	无色
大小(μm)	15.93 (92)	15.46 (661)	13.00 (11)	19.39 (123)	14.20 (45)	14.19 (14)
气液比(%)	5—10		5—8	2—7	5—10	5—10
分布	定向、半定向,多为无规律排布		无规律	以无规律为主	无规律	无规律
均一温度($^{\circ}\text{C}$)	170.2 (69)	169.0 (326)	203.1 (15)	171.4 (53)	178.3 (24)	184.3 (10)
盐度(NaCl质量%)	2.214 (59)	2.837 (321)	3.014 (15)	2.567 (53)	4.163 (24)	2.122 (10)
密度(g/cm^3)	0.909 (59)	0.914 (321)	0.902 (15)	0.910 (53)	0.914 (24)	0.893 (10)

注:括号内数据为统计样数; * 俗称“吊线脉”

裹体非常少见, 不到1%; 有一定数量的纯液体包裹体, 约占2—3%。成因上可划分出原生、次生和假次生包裹体。

根据对940个包裹体的统计结果, 漠滨金矿包裹体以气液型为主, 气液比多小于30%, 一般为5—10%; 大小相差很大, 主要集中在5—25 μm 之间, 约有30%的大于25 μm , 最大达350 μm 左右。早期石英中小于5 μm 的包裹体约占60—70%, 大于5 μm 的占40—30%; 晚期细粒石英中的包裹体一般小于5 μm 。包裹体的形状以不规则状为主, 还有长条状、椭圆状、浑圆状、蝌蚪状和“卡脖子”状等等。包裹体分布不均匀, 有的密集出现, 有的零星分布。

II号脉及其它一些石英脉的包裹体特征列于表2。

2. 包裹体成分

表3为10个样品包裹体成分分析结果。从表中看出, K^+ 、 Na^+ 在阳离子中占有较大比重, 且以 Na^+ 为主, Ca^{2+} 、 Li^+ 很少, Mg^{2+} 最少。在阴离子中, 含量较高者为 Cl^- , F^- 次之, 但有例外。因此, 成矿溶液可能以 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 、 $\text{NaCl-KCl-H}_2\text{O}$ 为主。富含明金的“吊线脉”以包裹体小、 CO_2 浓度为特征; 含金较富的西部II号脉则以包裹体较大、 CO_2 浓度高和溶液成分以 $\text{NaCl-KCl-H}_2\text{O}$ 为特征; 东部以包裹体较小、贫 CO_2 与西部相区别。贫金的标志层脉则以包裹

表3 包裹体成分分析结果

Table 3. Analyses of inclusion composition

样号	矿物	采样位置及矿石构造	分析号	分析结果 (mg/10g)						
				H_2O	CO_2	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Li^+
MB _{y024}	石英	390m中段4线II号脉, 角砾状	2	24.50	0.029	0.0166	0.0119	0.0021	0.0005	0.0102
D ₁₇		390m中段3线II号脉, 角砾状、条带状	8	10.39	0.000	0.0042	0.0111	0.0021	0.0004	0.0051
MB _{y033}		340m中段18线II号脉, 角砾状、条带状	5	14.70	0.015	0.0199	0.0178	0.0043	0.0012	0.0101
D ₃₉		340m中段4线II号脉, 条带状	6	19.90	0.058	0.0149	0.0178	0.0021	0.0008	0.0102
MB _{y040-4}		340m中段12线标志层脉, 块状	3	12.50	0.015	0.0291	0.0223	0.0079	0.0011	0.0098
MB _{y001}		290m中段28线附近“吊线脉”, 块状	1	11.00	0.029	0.0058	0.0089	0.0021	0.0005	0.0083
D ₁₃		290m中段20线II号脉, 条带状	7	14.00	0.035	0.0232	0.0386	0.0136	0.0025	0.0028
D ₂₁		290m中段4线II号脉, 块状	9	18.00	0.029	0.0166	0.0260	0.0100	0.0022	0.0000
290mII号脉		290m中段9线II号脉, 块状	10	6.80	0.000	0.0141	0.0000	0.0021	0.0004	0.0009
MB _{y053}		240m中段II号脉, 角砾状	4	13.00	0.035	0.0042	0.0089	0.0007	0.0000	0.0093
样号	矿物	采样位置及矿石构造	分析号	(mg/10g)			比值			
				F^-	Cl^-	pH	$\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$	$\frac{\text{Na}^+}{\text{K}^+}$	$\frac{\text{Ca}^{2+}}{\text{Mg}^{2+}}$	$\frac{\text{Cl}^-}{\text{F}^-}$
MB _{y024}	石英	390m中段4线II号脉, 角砾状	2	0.0100	0.0250	6.90	1.184×10^{-3}	0.717	4.20	2.50
D ₁₇		390m中段3线II号脉, 角砾状、条带状	8	0.0038	0.0500	6.80	0	2.643	5.25	13.16
MB _{y033}		340m中段18线II号脉, 角砾状、条带状	5	0.0175	0.0675	6.70	1.020×10^{-3}	0.895	3.58	3.86
D ₃₉		340m中段4线II号脉, 条带状	6	0.0063	0.0725	6.90	2.915×10^{-3}	1.195	2.63	114.94
MB _{y040-4}		340m中段12线标志层脉, 块状	3	0.0300	0.0350	6.85	1.200×10^{-3}	0.766	7.18	1.17
MB _{y001}		290m中段28线附近“吊线脉”, 块状	1	0.0063	0.0525	6.75	2.636×10^{-3}	1.535	4.20	8.35
D ₁₃		290m中段20线II号脉, 条带状	7	0.0125	0.1313	6.85	2.50×10^{-3}	1.664	5.44	10.53
D ₂₁		290m中段4线II号脉, 块状	9	0.0100	0.0625	6.70	1.61×10^{-3}	1.566	4.55	6.25
290mII号脉		290m中段9线II号脉, 块状	10	0.0450	0.0350	6.75	0	0	5.25	0.78
MB _{y053}		240m中段II号脉, 角砾状	4	0.0025	0.0500	6.80	2.692×10^{-3}	2.119	—	20.00

(测试单位: 湖北宜昌地质研究所)

体大、 CO_2 含量低为特征。因此,初步认为 CO_2 浓度高有利于金的富集。

从表3还可看出,包体成分在一定程度上反映了成矿溶液在时间上的变化。如晚形成的角砾状石英脉,其包体成分中 CO_2 、 Cl^- 、 Na^+ 等含量相对较少,而先形成的则较多。290m中段Ⅱ_F脉在走向上(从西向东,即由20线→4线→9线) $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比值依次从 $2.50 \times 10^{-3} \rightarrow 1.61 \times 10^{-3} \rightarrow 0$, Cl^-/F^- 比值从10.53→6.25→0.78, Na^+/K^+ 比值从1.664→1.566→0,表明西部流体富含 CO_2 、 Cl^- 、 Na^+ ,亦即说明 CO_2 、 Cl^- 、 Na^+ 与金的成矿关系密切。

表3中列出了各样品包裹体二次去离子水的pH值。数据表明成矿溶液开始沉淀时的酸碱度应小于稀释后的pH值,即在6.75—6.90之间或小于6.75,为中偏酸性。不同脉体之间的pH值相差仅在0.2范围之内,说明成矿热液为同源。

3) 将漠滨金矿与三道岔、金铜岔、白云山、二道甸子、银铜坡和奈林沟金矿的包裹体成分进行比较(表4),漠滨金矿以包裹体数量多、个体大、类型简单、分布不规则、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比值较高,而 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 Na^+/K^+ 、 Cl^-/F^- 等比值很低与之相区别。

表4 漠滨金矿与典型层控金矿床包裹体成分对比

Table 4. Comparison of inclusion composition between the Mobin gold deposit and typical stratabound gold deposits

矿床	三道岔	金铜岔	白云山	二道甸子	银铜坡	奈林沟	漠滨
$\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$	0.0875	0.0803	0.156	0.0417	0.0501	0.00084	0.00187
Na^+/K^+	3.302	3.458	7.500	1.833	0.861	1.517	0.982
$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$	8.288	6.840	2.400	5.364	5.500	3.231	5.540
Cl^-/F^-	66.33	33.90	—	35.50	5.60	42.00	3.09

3. 盐度和密度

对Ⅱ_F脉49个样品中的482个包裹体进行了盐度测定,进而确定出密度值,并作成直方图(图4)。从图看出,盐度变化于1.0—5.0NaCl质量%之间,以2.0—3.0NaCl质量%者居多;密度变化于0.803—0.95g/cm³,以0.90—0.92g/cm³居多。上述数据表明成矿流体的盐

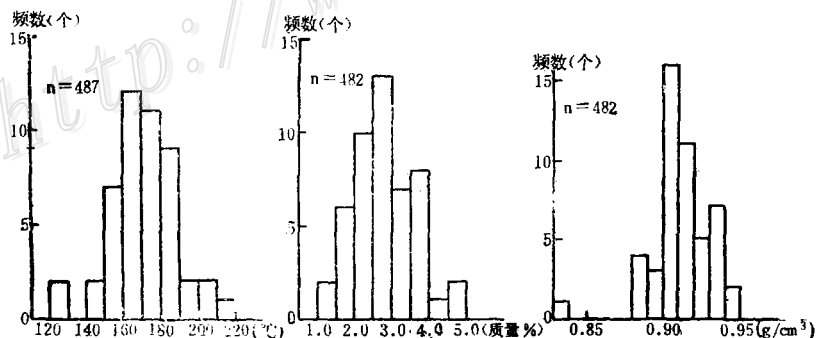


图4 漠滨金矿包裹体均一温度、盐度、密度直方图

Fig. 4. Histogram showing homogenization temperature, salinity and density of inclusions in the Mobin gold deposit.

度和密度均很低。

4. 温度

对487个包裹体进行了均一测温,从直方图(图4)可看出成矿温度介于120℃—220℃间,以160℃—180℃者居多,为偏低温热液矿床。另外,作者将获得的黄铁矿-闪锌矿矿物对的硫同位素值进行计温,用拉伊(1974)的 $1000\ln\alpha=3.0\times 10^5 T^{-2}$ 公式算出温度为177℃。这一温度与包裹体均一测温的统计平均值(179.8℃)很相近,可以反映成矿时的温度。

5. 成矿流体的运移方向

图5为根据均一温度数据勾绘出的温度等值线图。从中可以看出,温度存在一个总体趋势:靠近 F_1 和 F_2 断层交汇部位的采区西南部,温度较高,由此向外、向东,温度总体变低。局部出现小的高值中心,也明显和次级断裂有关。用盐度、密度值所绘制的等值线亦具

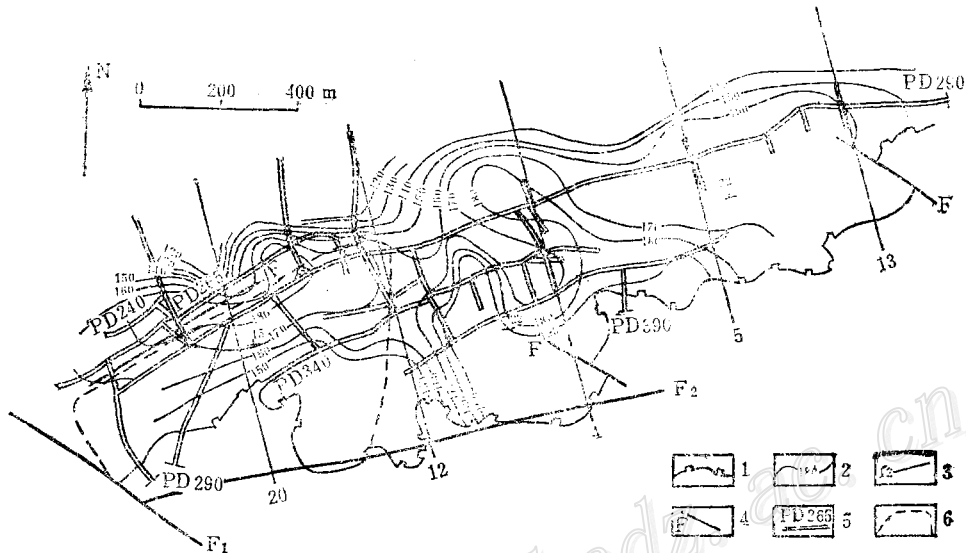


图5 II_下脉均一温度等值线

1—露头线及探槽; 2—等温度线; 3—勘探线; 4—断层; 5—坑道及标高; 6—采空区

Fig. 5. Contour map of homogenization temperatures of inclusions in II_{lower} vein.

1—Outcrop line and exploratory trench; 2—Isothermal contour; 3—Exploration line; 4—Fault; 5—workings and elevation; 6—Goaf.

有类似特点。另外 $\delta^{34}\text{S}$ 值、 δD 值也存在类似的变化。据此我们认为北西西向区域性断层 F_1 (漠滨断层)和次级北东向断层 F_2 等为成矿流体的主要扩散通道,由此向外运移至更次级的构造空间,由于物理化学环境的改变而导致矿脉形成。

四、关于成矿物质来源

稳定同位素研究可为成矿物质来源提供信息。为此,我们进行了硫、氢、氧和铅同位素的组成特征的研究。

表5 漠滨金矿硫同位素组成分析结果

Table 5. Analyses of sulfur isotope composition of the Mobin gold deposit

样号	矿物	采样位置	$\delta^{34}\text{S}(\%)$	备注
Sm02	毒砂	265中段22线Ⅱ _下 脉	8.31	作者采样, 由中国科学院地球化学研究所分析
Sm03	毒砂	265中段20线Ⅱ _下 脉	7.87	
Sm04	闪锌矿	265中段14线西70m左右Ⅱ _下 脉	7.86	
Sm05-1	毒砂	265中段14线西65m左右Ⅱ _下 脉	7.95	
Sm05-2	黄铁矿	265中段14线西65m左右Ⅱ _下 脉	8.82	
Sm06	毒砂	290中段20线Ⅱ _下 脉	8.25	
Sm08	车轮矿	340中段XⅨ号脉	6.13	
Sm09	黄铁矿	390中段6—4线Ⅱ _下 脉	2.53	
Sm12	黄铁矿	340中段16线1号上山Ⅱ _下 脉	6.85	
Sm13	黄铁矿	290中段28线东25m采场Ⅱ _下 脉	8.86	
Sm14	黄铜矿	290中段11号采场Ⅱ _下 脉	8.55	
Sm15	闪锌矿	290中段8号采场“吊线脉”	6.25	
Sm16	方铅矿	290中段10号采场“吊线脉”	5.89	
Sm17	黄铁矿	390中段1线Ⅱ _下 脉	6.95	
Sm18	黄铁矿	390中段4线Ⅱ _下 脉	1.36	
Sm19	黄铁矿	340中段18线Ⅱ _下 脉	8.63	
Sm20	黄铁矿	340中段10线Ⅱ _下 脉	10.69	
Sm22-1	黄铁矿	265中段24线Ⅱ _下 脉	5.47	
Sm22-2	毒砂	265中段24线Ⅱ _下 脉	8.00	
Sm23	黄铁矿	290中段8线Ⅱ _下 脉	9.46	
MBy070	毒砂	265中段14线西20mⅡ _下 脉	7.57	
MBy065	黄铁矿	290中段3号采场Ⅱ _下 脉	8.52	
MBy069	黄铁矿	295中段16线XXⅧ号脉	7.17	
Sb01	黄铁矿	265中段18线Ⅱ _下 标志层岩	9.34	
Sm24	黄铁矿	340中段XⅨ号脉	4.85	
Sm01	黄铁矿	265中段26线Ⅱ _下 脉	9.10	
样号不明*	黄铁矿	漠漠Ⅳ号脉	8.0	桂林冶金研究所分析
	黄铁矿	漠漠Ⅱ _下 号脉	9.3	冶金一队资料
	黄铁矿	漠漠Ⅱ _下 号脉	9.1	
	黄铁矿	漠漠290中段Ⅱ _下 脉	2.12	湖北地质科学研究所分析
	黄铁矿	漠漠385中段Ⅳ _下 脉	4.5	
	黄铁矿		11.4	
	黄铁矿		9.2	王义文资料
	黄铁矿		10.9	
	毒砂		10.9	
	黄铁矿	采样位置不明*	9.6	冶金237队采样, 桂林冶金研究所分析
	黄铁矿		9.8	
	黝铜矿		8.2	
	黄铁矿		10.4	
	黄铁矿		11.4	
	方铅矿		8.2	
Sy01	黄铁矿	265中段28线Ⅱ _上 脉上部围岩	10.91	作者采样, 中国科学院地球化学研究所分析
Sy02	黄铁矿	265中段22线Ⅱ _下 脉下部围岩	10.80	
Sy03	黄铁矿	265中段18线Ⅱ _下 脉上部围岩	9.36	
Sy04	黄铁矿	290中段16线西15m围岩	12.02	
Sy05	黄铁矿	390中段8—10线间Ⅱ _下 脉下部围岩	11.88	

(*“*”者, 其分析结果只具统计意义)

1. 硫同位素组成特征

矿区内不同硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化于+12.02—+1.36‰之间(表5), 平均值为+7.58‰。从图6看出, 石英脉中硫化物的硫同位素组成呈正态分布, 其高值区集中于+7—+10‰之间。围岩中黄铁矿的硫同位素值比较集中, 介于+9—+12‰之间。二者均以富重硫为特征。自围岩→条带状石英脉→角砾状石英脉, 其硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值有依次降低的趋势, 即由10.99‰(5个样平均)→7.73‰(9个样平均)→7.08‰(7个样平均), 可能是热液作用参与下热扩散造成的硫同位素分馏的结果。

对不同中段的黄铁矿和其他硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值进行了统计(表6)。总体来看, 从390到265中段 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值有增加的趋势。一般情况下, 氧逸度升高则沉淀的硫化物富集 ^{32}S , 反之则富集 ^{34}S 。因此Ⅱ_下脉在390中段的氧逸度比其他中段的高, 表明从地表到深部氧逸度有降低趋势。

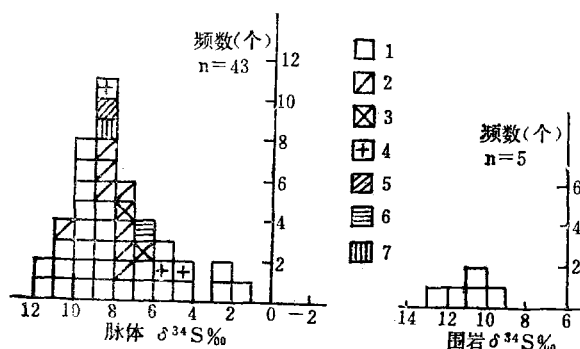


图6 硫同位素组成直方图

1—黄铁矿; 2—毒砂; 3—闪锌矿; 4—方铅矿; 5—黝铜矿; 6—车轮矿; 7—黄铜矿

Fig.6. Histogram of sulfur isotope composition.

1—Pyrite; 2—Arsenopyrite; 3—Sphalerite; 4—Galenite; 5—Tetrahedrite; 6—Bournonite; 7—Chalcopyrite.

表6 不同中段硫化物的硫同位素组成

Table 6. Sulfur isotope composition at different levels

中段	黄铁矿		其他硫化物	
	样数	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$	样数	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$
390	3	3.61	3	3.61
340	3	8.72	3	8.72
290	3	8.95	3	7.97
265	3	7.80	3	7.88

表7 漠滨金矿氢、氧同位素分析结果

Table 7. Hydrogen and oxygen isotope analyses of the Mobin gold deposit

样号	采样位置	测定矿物	均一温度 (°C)	测定结果		$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}(\text{‰})$ (计算)	备注
				$\delta^{18}\text{O}_{\text{矿物}}(\text{‰})$	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}(\text{‰})$		
D ₀₁	265中段26线西60m左右Ⅱ _上 脉	石英	173.5	15.85	-42	2.64	均一温度未经压力校正, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 据 $1000\ln\alpha_{\text{石英-水}} = 3.05 \times 10^6 T^{-2} - 2.09$ 公式计算 (Matthews, 1979), “*”为用170°C的矿区平均温度求得
D ₁₃	290中段20线Ⅱ _下 脉	石英	184.0	14.50	-47	1.99	
D ₂₃	290中段8线Ⅱ _下 脉	石英	164.2	17.72	-60	3.85	
D ₂₆	290中段14线Ⅱ _下 脉	石英	168.9	16.80	-49	3.27	
MBY ₀₀₁	290中段28线“吊线脉”	石英	245(?)	16.61	-46	7.33(?), 3.16*	
MBY ₀₅₀	290中段20线标志层脉	石英	172.1	16.65	-37	3.35	
MI _{下-17}	290中段17线Ⅱ _下 脉	石英	147.5	14.72	-51	-0.44	

上述资料表明硫可能来自围岩和深部两部分。

2. 氢氧同位素组成特征

表7列出了7个样品包裹体的氢、氧同位素测定结果。在290中段Ⅱ₇脉的4个样品中,氧同位素组成无明显变化规律,而从西向东(20线→40线→8线→17线)δD值(‰)从-47→-49→-60→-51,说明西部δD值较东部略高。表7中多数样品反映出δD值与温度呈正相关,因此可作出西部温度偏高的结论。这与包裹体温度在空间上的变化是一致的。

从图7可看出,包裹体水的δ¹⁸O值和δD值落于雨水线和变质水之间,且更接近变质水。由此看来,矿区成矿溶液可能是变质水与其他溶液(如地下水)的混合水。

3. 铅同位素组成特征

表8列出了三个样品的铅同位素值,从中看出,矿石铅同位素值的变化很小,比值的变化范围也在1%以内,表明属于正常铅。

平均模式年龄为9.4亿年。由此推测铅可能来自围岩或下伏更老的地层。

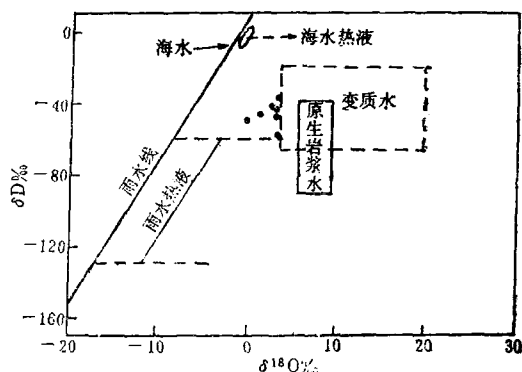


图7 漠滨金矿包裹体水的氢氧同位素组成
Fig.7. Hydrogen and oxygen isotope composition of inclusion water in the Mobin gold deposit.

表8 漠滨金矿铅同位素分析结果

Table 8. Lead isotope analyses of the Mobin gold deposit

样号	矿物	²⁰⁴ Pb	²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb	²⁰⁸ Pb	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	模式年龄 (Ma)		
										H-H	R-F-C	R-S-F
Sm14	方铅矿	1.400 ±0.005	24.065 ±0.101	21.828 ±0.042	52.710 ±0.124	17.189	15.591	37.650	1.1025	1041	888	922
Sm15	方铅矿	1.432 ±0.011	24.172 ±0.041	21.848 ±0.062	52.548 ±0.087	16.880	15.257	36.696	1.1064	902	1045	879
Sm16	方铅矿	1.430 ±0.007	24.166 ±0.055	21.807 ±0.086	52.594 ±0.083	16.899	15.250	36.779	1.1082	880	1036	859

(由中国科学院地球化学研究所测试)

4. 围岩的含金性

关于漠滨金矿围岩(板溪群)金的丰度问题,前人做了不少工作,从发表的数据看,金的丰度可高出克拉克值2.5—10倍以上^{①②}。我们对前人所指出的含金高的岩层进行了复查,结果列出表9。从表可见金的丰度并不高。经检查,含金较高的岩层内见有稀疏的微细石英脉。我院金矿科研组和湖南地矿局407队对区域内变质岩系金的丰度进行的研究结果亦表明金的丰度接近克拉克值,仅在断裂带内出现高值。所以总的看板溪群金的含量是不高的。因此金可能并非完全来自围岩。

① 湖南省地矿局407队1978年资料

② 中国人民解放军00535部队1982年资料

表 9 围岩微量金分析结果
Table 9. Trace gold analyses of the wall rocks

样 号	岩 性	采 样 位 置	金含量 (ppb)
M-33	砂质板岩	金塘溪剖面Ptbn ₂ w ₂ ²⁻¹	2
M-34	砂质板岩		1
M-35	粉砂质板岩		1
M-36	褐色粉砂质板岩		74
M-37	砂质板岩	金塘溪剖面Ptbn ₂ w ₂ ²⁻¹ 下部	11
M-38	砂质板岩	金塘溪剖面Ptbn ₂ w ₂ ²⁻¹	6
M-39	条带状砂质板岩	金塘溪剖面Ptbn ₂ w ₂ ^{1-b} 中上部	3
M-40	具交错层板岩		19
M-41	砂质板岩		1

(由中国科学院地球化学研究所分析)

另外石英脉中黄铁矿的Co/Ni比值为0.425 (<1), S/Se比值为486600, Se/Te比值为1, 围岩黄铁矿的Co/Ni比值为0.278—0.139^①, S/Se比值大于80000。两者均具沉积成因特征。

由上可见, 矿床中的金及硫、硒、碲、钴、镍等元素部分来自围岩也是毫无疑义的。

五、几点认识

综合上述资料, 我们得出以下几点初步结论:

1. 漠滨脉金矿床属于典型的偏低温充填型热液矿床, 其成矿温度介于120℃—220℃之间。

2. 成矿严格受断裂的控制。含金石英脉直接充填于层间挤压破碎带及更次一级裂隙中。贯穿矿区的北西向区域性漠滨断层为导矿构造, 北东向断层F₂及更次级的层间挤压破碎带为散矿和容矿构造。

3. 脉体中富矿段与F₁和F₂的交汇部位在空间上密切相关, 近之则矿化强烈、矿石较富, 远之则矿化减弱, 矿石变贫。包裹体温度、盐度、密度、成分及δ³⁴S值和δD值在空间上所显示的规律变化, 都表明矿液是沿F₁运移, 并通过次级的北东向断裂向更次级的层间破碎带、节理和裂隙渗透而成矿的。

4. 成矿流体部分来自深部, 可能为变质水与部分地下热水之混合水。成矿元素金和其它元素(如硅、硫、砷及铅、锌、铁和铜等)部分来自围岩, 部分来自下伏岩层。

5. 我们认为, 在现采区的西南端, 特别是F₁和F₂交汇部位深部, 可能有未发现的含金石英脉盲矿存在, 是采区内找寻富矿的有利部位。在矿区外围, 应注意在北西西向、北西向断裂带、北东向断裂带, 尤其是二者的交叉、复合部位附近的次级断裂裂隙中找矿。

上述的认识是否符合实际, 尚待实践检验, 不当之处, 望予指正。我们在工作过程中得到了漠滨金矿地测科、湖南地矿局407队、中国人民解放军00535部队、中国科学院地球化学研究所包裹体实验室和卢焕章副研究员等的大力支持和协助, 谨致以衷心感谢。

●据中国人民解放军00535部队资料

参 考 文 献

- 〔1〕 涂光炽等 1984 中国层控矿床地球化学 科学出版社
〔2〕 涂光炽等 1982 地球化学 上海科学技术出版社
〔3〕 何知礼 1982 包体矿物学 地质出版社
〔4〕 中国科学院地球化学研究所包裹体实验室 1977 矿物中的包裹体及其在地质上的运用 地质出版社
〔5〕 张理刚 1985 稳定同位素在地质科学中的应用 陕西科学技术出版社
〔6〕 丁佛平 1980 氢氧同位素地球化学 地质出版社
〔7〕 R.W.博伊尔 1984 金的地球化学及金矿床 地质出版社
〔8〕 Gunter Faure, 1977, Principles of Isotope Geology, pp. 227—248, 351—378, 403—424.
〔9〕 Jager, E. and Hunziker, J.C., 1979, Lectures in Isotope Geology, pp. 134—153, 203—214, 283—312.

A PRELIMINARY DISCUSSION ON THE GENESIS OF THE MOBIN QUARTZ VEIN TYPE GOLD DEPOSIT IN HUNAN PROVINCE

Zhou Dezhong, Ye Dayuan and Yu Dalong

(Department of Geology, Guizhou Institute of Technology, Guiyang, Guizhou)

Abstract

There occur abundant quartz vein type gold deposits in epimetamorphic rocks of Proterozoic Banxi Group extensively exposed in the border area between western Hunan and eastern Guizhou. The Mobin gold deposit is a medium-size sulfides-poor and gold-bearing quartz vein deposit which is quite typical in this area.

The authors have made rather detailed investigation into the most typical gold-bearing quartz vein in the Mobin gold ore district—No. II Lower vein in the aspects of mineral inclusions and stable isotopes, which yields some conclusions:

1. The ore deposit is somewhat of typical epithermal filling type one with ore-forming temperature in the range of 120°C—220°C.

2. Metallogenesis is strictly controlled by fractures, and the intersections of these fractures seem to be closely related to rich orebodies; near them, mineralization is strong and ore is relatively rich; farther away, things are just the opposite. The regular spatial variations in temperature, salinity, density, composition, $\delta^{34}\text{S}$ and δD values of inclusions suggest that the ore deposits were formed as a result of the migration of ore fluids along the fracture and the infilling of these fluids into the secondary order interformational fracture zones.

3. The ore-forming fluids might have been a kind of mixed solution of metamorphic water with some underground hot water, the ore-forming element

gold and other related elements came partly from wall rocks and partly from underlying strata.

The authors consider that blind gold-bearing quartz ore deposits might exist at the southwestern end of the present mining area, especially at the depth of the intersection between F_1 and F_2 , which is therefore a favorable position in search for rich ores in ore district. In ore prospecting on the outskirts of the ore district, attention should be paid to NWW-, NW- and NE- trending fracture zones, especially to the secondary order fractures near the intersection or the compounding position of two fracture zones.

(上接18页)

了花岗岩的物理性质、钨锡矿床形成的物理化学条件、含矿流体性质、成矿物质来源、钨矿床变质特征和典型矿床研究等。现将主要内容概略介绍如下。

1. 英国利物浦大学的 M. P. Atherton 在长期探讨花岗岩“1”型和“S”型、“造山”和“非造山”的二元分类法中,再次提出花岗岩演化的谱系特征 (lineage character),用以表明他一贯的花岗岩类具有原始母岩浆通过分异演化而形成各类花岗岩类的一元分类见解。

2. 加拿大地质调查局的 J. A. Roddich 提出花岗岩的孕育 (granite gestation) 问题。他也认为花岗岩类是由变母岩浆通过系列的演化作用而形成的。

3. 美国地质调查局 P. C. Bateman 积多年对环太平洋深成岩浆作用项目 (Circum-Pacific Plutonism Project) 的研究成果,在通过大面积野外调查和详细测制岩体结构构造的基础上,提出美国西部西厄拉内华达岩基 (Sierra Nevada Batholith) 的侵位模式。

4. 英国地质调查局 E. J. Cobbing 将东南亚锡矿带的花岗岩省划分为4个岩省;日本东北工业技术试验研究所石原舜三将日本白垩纪—第三纪的花岗岩成矿带划分为6个带,同时还指出不同成矿带的花岗岩类的成矿专属性,除不同岩浆系列因素外还有不同陆壳类型的因素。

5. 澳大利亚 James Cook 大学锡矿专家 Roger G. Taylor 利用矿床吨位/品位图解,把世界已知锡矿床划为11个类型。这一分类在当前砂锡矿开采日渐减少而必须大力开展原生锡矿找矿评价的工作中,具有一定现实意义。

6. 澳大利亚矿产资源局 N. G. Higgins 对钨锡矿床热液流体进行了放射性同位素示踪研究。他测试了澳大利亚的 Mt. Carbine 钨矿和 Anchor 锡矿床中的脉石矿物、围岩和花岗岩中的富铈矿物 (磷灰石、萤石、方解石、钠长石) 和富稀土矿物 (磷灰石、萤石、方解石) 的 Sr 和 Sm-Nd 同位素,然后根据 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 和 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值确定热液流体中溶质的可能来源。研究结果表明, Mt. Carbine 钨矿的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值和 ΣNd 值介于花岗岩和沉积岩之间,且以沉积岩为主; Anchor 锡矿的 Sr 和 Nd 同位素值十分接近花岗岩端员,以岩浆流体为主。结果是令人意满的。

7. 会议讨论了南朝鲜上东地区前寒武纪花岗岩类多元素地球化学特征及其在空间上和成因上与 Sn、W (-F)、Li 和 Au 的矿化关系;并提出富 Sn ($>10\text{ppm}$) 和 Li ($>90\text{ppm}$), 高 $1000 \times \text{Li}/\text{K}$ 比值 (>2.4) 和 Rb/Sr 比值 (>4), 低 Mg/Li 比值 (<30)、 Ba/Rb 比值 (<0.8) 和 K/Rb 比值 (<150) 为含锡远景花岗岩的标志。

会议总结了本项目自1983年开始执行以来的主要成就,同时还讨论了项目的延续问题。新建议的项目已由中国和澳大利亚分别上报联合国地科联驻巴黎的IGCP秘书处。如经批准,1989年在中国或1990年在加拿大召开新项目的第一次会议。

(中国地质科学院矿床地质研究所 裴荣富)