

新疆青河县野马泉金矿床地质及地球化学特征

何 英,张 江

(中国冶金地质总局新疆地质勘查院,乌鲁木齐 830063)

摘要: 野马泉金矿床位于准噶尔微板块东段,东准噶尔晚古生代陆缘盆地的南部,喀斯开尔索克坎大断裂西侧,哈萨坎复背斜轴部;矿体呈脉状主要赋存于蚀变闪长玢岩脉中及其内、外接触带。蚀变闪长玢岩脉的围岩为志留系库布苏群下亚群粉砂质板岩、千枚岩化粉砂岩;矿床成因类型为次火山热液—变质热液叠加型。

关键词: 野马泉金矿床;准噶尔微板块;蚀变闪长玢岩脉;新疆青河县

中图分类号: P613;P618.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2012)04-0469-10

1 矿床基本地质特征

1.1 区域构造位置

矿床位于哈萨克斯坦—准噶尔板块东部准噶尔微板块的东段,东准噶尔晚古生代陆缘盆地的南部,喀斯开尔索克坎大断裂西侧,哈萨坎复背斜轴部。区域内沉积厚度巨大,喷发活动强烈,构造活动频繁、复杂。

伴随构造活动有大量岩浆岩多次侵入,有超基性岩体沿大断裂带侵位,具有优地槽特点。

1.2 地层

矿区出露地层为志留系库布苏群下亚群(Skp^a),呈 NW 向展布,由南西向北东依次为粉砂质板岩、千枚岩化粉砂岩和凝灰岩、碎裂凝灰岩,二者大致以顺层侵入的闪长玢岩脉为界,南侧为粉砂质板岩、千枚岩化粉砂岩,北侧为凝灰岩、碎裂凝灰岩。

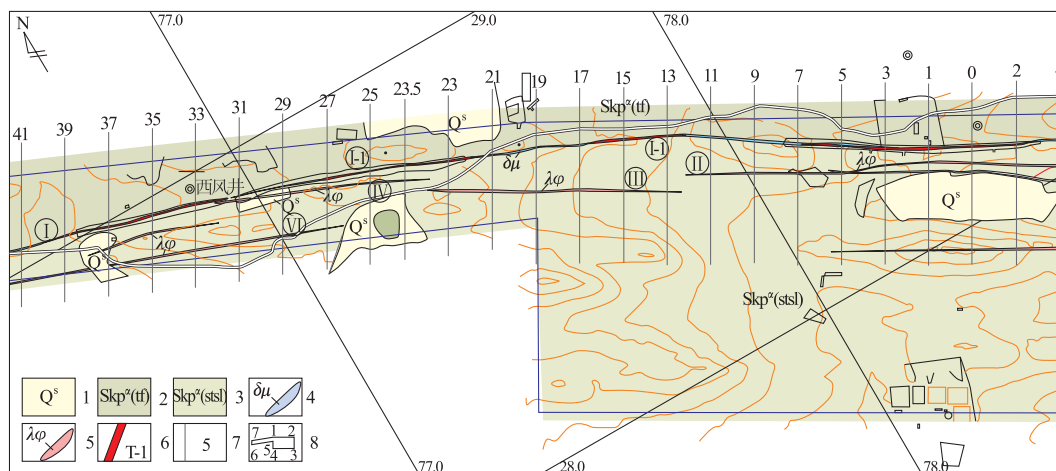


图 1 野马泉金矿区地形地质图

Fig. 1 Topographic and geological map of Yemaquan Au deposit

1. 第四系:人工堆积物;2. 库布苏群下亚群:凝灰岩、碎裂凝灰岩;3. 库布苏群下亚群:粉砂质板岩、千枚岩化粉砂岩;4. 闪长玢岩脉;5. 石英钠长斑岩脉;6. 金矿体及编号;7. 勘探线及编号;8. 矿区范围

收稿日期: 2012-07-07; 责任编辑: 余和勇

作者简介: 何英(1965-),男,工程师,主要从事矿产地质勘查及研究工作。通信地址:新疆乌鲁木齐市南湖南路 66 号水清木华 A0 座 12 层,中国冶金地质总局新疆地质勘查院;邮政编码:630063;E-mail:1300412129@qq.com

(1)粉砂质板岩、千枚岩化粉砂岩:由南往北、由新到老可细分为 5 层。①粉砂质板岩夹碳质板岩层:呈灰黑—黑色及灰绿—黄绿色,薄层状、易风化,普遍发育有扁豆状石英脉,一般延长不大,厚度 0.1~1 m 不等,沿板理产出,厚度 350~900 m;②硅质板岩、碳质板岩:以灰白—灰黑色硅质板岩和含碳砂质板岩为主,西部以黄绿色砂质板岩和灰黑色含碳砂质板岩为主,厚度 300~600 m;③硅质板岩、碳质板岩:以灰白—灰黑色硅质板岩和含碳砂质板岩为主,西部以黄绿色砂质岩和灰黑色含碳砂质板岩为主,厚度 300~600 m;④碳质板岩:以灰黑色碳质板岩夹灰黑—黄绿色砂质板岩、凝灰质板岩为主,厚度 100~700 m;⑤砂质板岩、碳质板岩互层:呈灰白—灰黑色,由碳质、粉砂质、砂质板岩组成,呈薄层状、薄板状;由南向北,粒度由逐渐变粗到逐渐变细,成分由碳质逐渐变为砂质,又由砂质变成碳质,东部以碳质板岩夹砂质板岩为主,西部则以碳质板岩夹粉砂质及硅质板岩为主,厚度大于 500 m。

(2)凝灰岩、碎裂凝灰岩层:主要由灰绿色粉砂

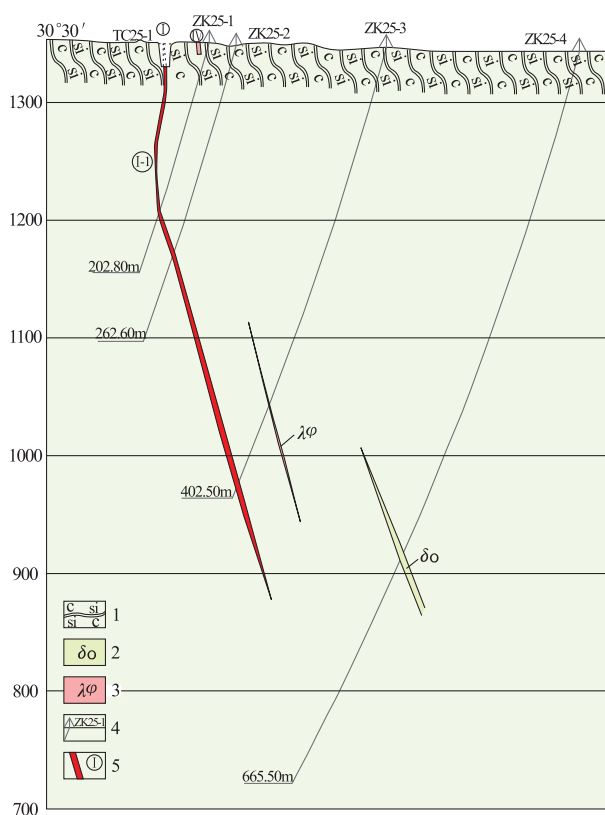


图 2 野马泉金矿区 25 号勘探线剖面图

Fig. 2 Section of line 25 in Yemaquan Au deposit

1. 硅质板岩与碳质板岩互层; 2. 石英闪长岩; 3. 石英钠长斑岩;
4. 沿脉巷道及编号; 5. 钻孔及编号; 6. 矿体及编号

表 1 野马泉地区主要地层含金背景值

Table 1 Background value of gold in major stratigraphic units in Yemaquan area

系	统	组(群)	样品数/个	平均值 $w(\text{Au})/10^{-9}$
志留系	S	库布苏群	55	3.66
石炭系	C ₁	南明水组	422	1.39
泥盆系	D ₂	平顶山	279	1.40
		托让格库都克组	111	1.80

岩、板岩、条带状粉砂岩组成,夹中性晶屑—岩屑凝灰岩及火山凝灰岩夹层,可见厚度 1 097 m。

据陕西物化探队 1986—1989 年 1 : 200 000 低密度化探资料(表 1),矿区志留系库布苏群金的平均丰度(3.66×10^{-9})明显高于区域内其他地层,也高于区域内花岗岩类金含量平均值($<1 \times 10^{-9}$)。由此推断,志留系库布苏群地层很可能就是金的矿源层。

1.3 岩浆岩

矿区侵入岩以闪长玢岩脉为主,其次有石英钠长斑岩、石英脉等。脉岩的分布均受库布苏断裂、库布苏北大断裂等断裂控制。

(1)闪长玢岩脉($\delta\mu$):呈脉状产出,沿断裂侵入于志留系库布苏群下亚群硅质板岩与碳质板岩互层中,是野马泉金矿的主要赋矿岩石。闪长玢岩脉在矿区内沿走向断续延长超过 4.6 km,宽 1~5.28 m;走向 $290^\circ \sim 300^\circ$,倾向不稳定;东部(23 线以东)倾向 $105^\circ \sim 216^\circ$,倾角 $68^\circ \sim 83^\circ$,由上向下逐渐变缓;西部(23.5 线—35 线)在剖面上呈舒缓波状。岩石具超浅成特征,地表新鲜岩石呈灰绿色,蚀变后呈浅红褐色—黄褐色。显微镜下,岩石具斑状结构(图 3a,图 3b),斑晶为斜长石、角闪石及石英,斜长石占 $15\% \sim 20\%$,角闪石已蚀变为黑云母、绿泥石、绿帘石等,仅保留模糊的长柱状假象,占 $1\% \sim 2\%$,石英呈残晶状,约占 1% ;基质为球粒结构。岩石普遍发生蚀变,具硅化、绢云母化、绿泥石化。局部发育有石英细脉及网脉,多靠近岩脉的上下盘分布。闪长玢岩脉是矿区主要含矿岩石,矿体主要赋存于闪长岩脉的中部,其次为接触带。

(2)石英钠长斑岩($\lambda\phi$):位于蚀变闪长玢岩脉的西南侧,共有 5 条,呈雁行斜列状;长 540~1 100 m,沿走向断续长 3.20 km,宽 1~3 m。其中位于 13 线—33 线的一条石英钠长斑岩脉长达 1 100 m,在 33 线附近与含矿闪长玢岩脉斜接,交角 $5^\circ \sim 10^\circ$ 。岩脉赋存于志留系库布苏群下亚群硅质板岩与碳质板岩互层中,多产于闪长玢岩脉的南西侧,有时见切穿闪

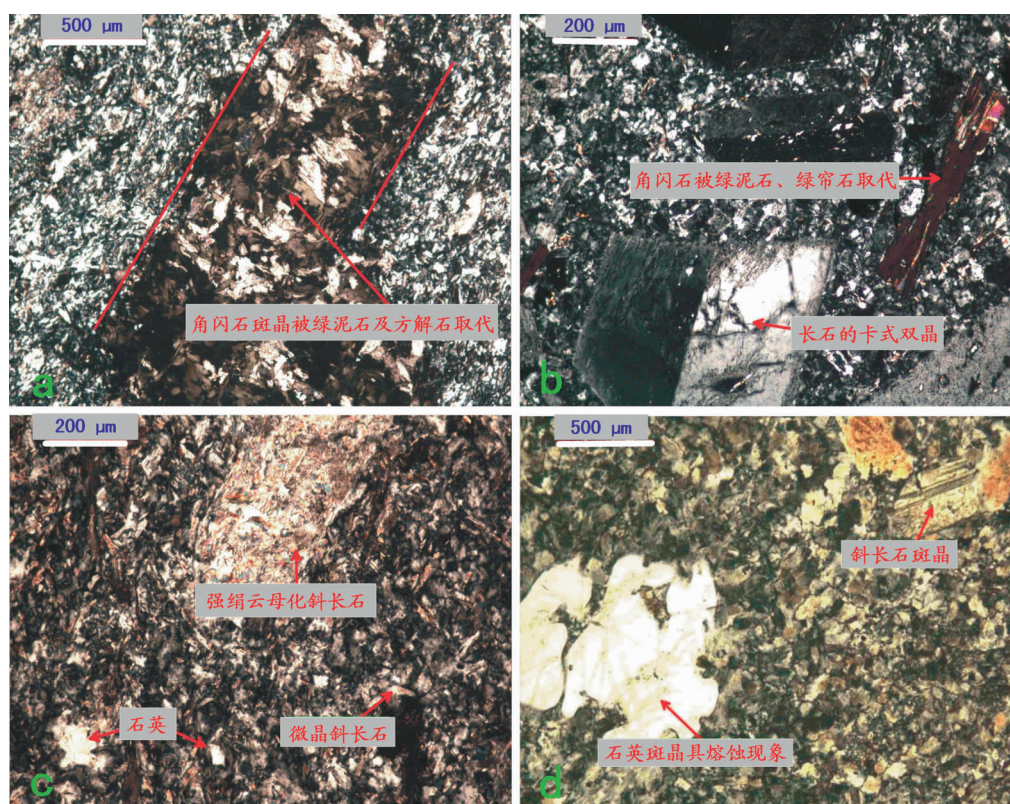


图 3 闪长玢岩和石英钠长斑岩的显微照片

Fig. 3 Microscopic photo of dioritic porphyry and quartz-albite porphyry

长玢岩脉,形成晚于闪长玢岩;岩脉地表为淡黄色,钻孔中新鲜岩石呈灰白色,斑状结构,斑晶为石英和钠长石,基质为显斑状结构(图 3c,图 3d),由微细的长英质矿物组成。岩石普遍发生蚀变,并且有明显的挤压片理化现象;石英钠长斑岩脉是矿区的另一种赋矿岩石,Ⅱ号、Ⅳ号、Ⅴ号石英钠长岩脉局部赋存工业矿体。

1.4 构造

(1)褶皱构造。库布苏倒转背斜位于库布苏东侧,由志留系硅质板岩、千枚岩、千枚岩化粉砂岩及凝灰岩构成紧密线状背斜,轴向 $290^{\circ}\sim 300^{\circ}$,两翼产状 $70^{\circ}\sim 86^{\circ}$ 。野马泉金矿位于库布苏倒转背斜的轴部。

(2)断裂构造。矿区断裂构造主要为被岩脉充填的 NWW 向断裂,规模较大的有 6 条,其中 1 条被矿化蚀变闪长玢岩充填,另 5 条为石英钠长斑岩充填。①被蚀变闪长玢岩充填的断裂:总体走向 $290^{\circ}\sim 300^{\circ}$,与库布苏北大断裂平行,东段(23 线以东)倾向 SW,倾角 $80^{\circ}\sim 85^{\circ}$,向西(23 线以西)近于直立,局部向 NE 倾斜。断面沿走向及倾向均呈舒缓波状,具压扭性特征;断裂被闪长玢岩脉充填,无岩脉地段断裂仍然存在,仅是宽度变窄。脉岩上下盘呈破碎状,说明断裂经过多次活

动;②被石英钠长斑岩充填的断裂:总体走向 $300^{\circ}\sim 310^{\circ}$,倾向 SW 或 NE,倾角 $80^{\circ}\sim 85^{\circ}$;30 线—50 线与被闪长玢岩充填的断裂靠在一起,呈斜接复合关系;断裂性质属压扭性。

1.5 围岩蚀变

矿区的金矿体及近矿围岩发生较强烈的蚀变,主要的蚀变类型为硅化、绢云母化、黄铁矿化及绿泥石化、碳酸盐化等,其中的硅化、黄铁矿化、绢云母化与成矿关系密切,而绿泥石化、碳酸盐化、高岭土化等则为成矿后的次生蚀变,与金矿化关系不密切。

2 金矿体特征

经过勘查,将前人工作时(2007)对野马泉金矿圈定的 4 个小矿体归并成为一个较大的矿体(Ⅰ-1 号矿体)和较为零散的 5 个小矿体(表 2)。现仅将 Ⅰ-1 号矿体地质特征简介如下。

Ⅰ-1 号矿体位于 4 线—39 线间,地表采用多个探槽(或剥土)系统揭露。金矿体在地表分为 4 段,长度分别为 460 m,350 m,343 m,450 m(总长 1 603 m);浅

表 2 野马泉金矿区矿体特征统计表

Table 2 Characteristic statistics of ore bodies in Yemaquan Au deposit

矿体编号	I-1	I-2	II-1	IV-1	IV-2	V-1
长度/m	2258	245	60	51	211	100
延深/m	466	127	84	97	344	250
规模	最小	0.27	0.23		0.42	
	厚度/m	6.30	1.61		3.78	
	最大	1.94	0.94	0.75	2.12	0.26
	平均	66.07				
品位	厚度变化系数/%	1.00	1.65	1.01	1.80	
	$w(\text{Au})/10^{-6}$	96.00	12.25	5.38	8.20	
	最高	3.50	4.81	1.10	1.97	5.38
	平均	72.64				
产状	倾向/ $^{\circ}$	195~220	180~200	210	196	30
	倾角/ $^{\circ}$	75~85	82	78	79~86	84~90

部施工了 2 个中段的坑道,深部采用钻孔控制的方式,控制矿体走向最大长度 2 258 m,矿体厚度 0.40~6.30 m,平均厚度 1.94 m,矿体厚度变化系数 66.07%,矿体最大倾斜延深 466 m;矿体地表出露高程 1 312~1 346 m,矿体控制最低高程 823 m。

矿体金品位 $w(\text{Au})=1.00\times 10^{-6}\sim 96\times 10^{-6}$,平均 3.50×10^{-6} ,最高达 96×10^{-6} ;品位变化系数为 72.64%,矿体的厚度与金品位无论在走向上,还是倾向上都比较稳定(图 4,图 5)。

在矿体走向上,由北西向南东,有厚度由薄变厚、金品位由低升高的趋势;在倾向上,由北东向南西,有厚度由小变大、金品位由低升高的趋势。

但是,无论在走向上,还是倾向上,矿体均有尖灭再现、分支复合现象,局部出现无矿的“天窗”,使矿体形态复杂化。矿体被成矿后断裂错动,断距 3~5 m,对矿体形态有一定影响,但破坏性不大。

对矿体而言,由顶板至底板,矿体金品位由低升高、再降低(图 6)。换言之,矿体中部的品位较高,其顶、底板处品位有所降低。

矿体倾向不稳定,东部(23 线以东)倾向 $105^{\circ}\sim 216^{\circ}$,倾角 $68^{\circ}\sim 83^{\circ}$,向深部逐渐变缓;西部(23.5 线—35 线)在剖面上呈舒缓波状;例如 25 线,一中段以上矿脉呈直立状,一中段至二中段间矿脉倾向约为 30° ,倾角近 80° ;二中段至 ZK25-1 孔深度 1 200 m 处矿脉倾向转为 210° ,倾角 86° ;由 ZK25-1 孔 1 200 m 处至 ZK25-3 孔 970 m 处矿脉倾向基本没变,但倾角变缓(74°)。矿体为黄铁绢英岩化闪长玢岩,其上、下盘围岩多为蚀变闪长玢岩和碳质板岩、粉砂质板岩互层。

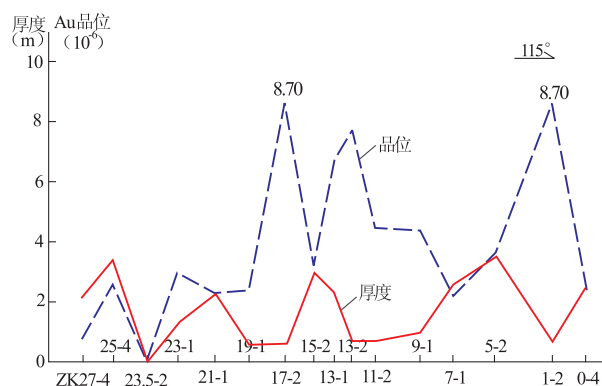


图 4 1200 中段 I-1 号矿体的走向厚度和金品位变化曲线图

Fig. 4 Thickness along strike VS variation of gold grade curve of ore body I-1 at level 1200 m

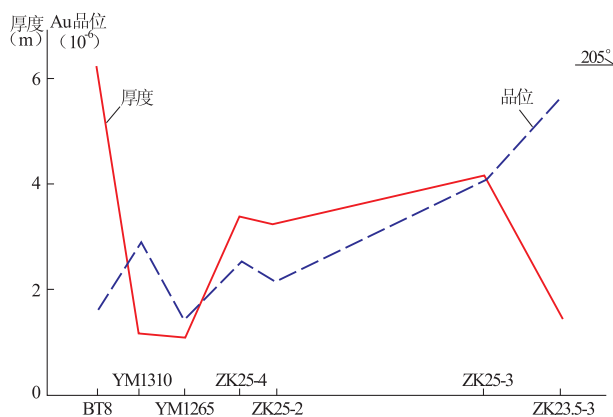


图 5 25 线 I-1 号矿体的倾向厚度和金品位变化曲线图

Fig. 5 Thickness along dip VS variation of gold grad curve of ore body I-1

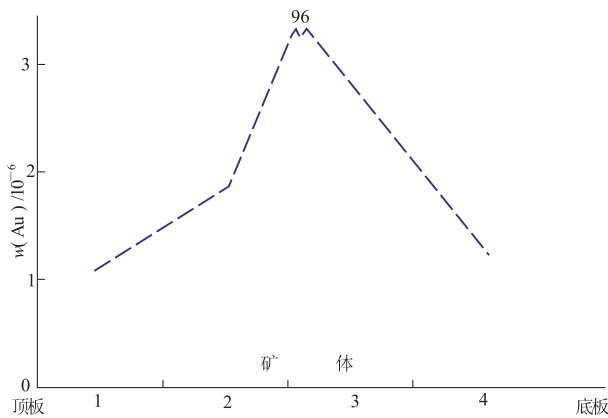


图 6 BT8 号矿体金品位变化曲线图

Fig. 6 Curve showing gold grade variation of ore body BT8

3 金矿石特征

3.1 矿石组分

金矿石以蚀变闪长玢岩型矿石为主,石英钠长斑岩型矿石次之。

(1)蚀变闪长玢岩型矿石。矿石的金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、褐铁矿、黄铁矿、毒砂、孔雀石;脉石矿物有斜长石、角闪石、石英、玉髓、方解石、绢云母、绿泥石、高岭土等。载金矿物为黄铁矿和石英。①黄铁矿:是矿石中的主要金属矿物,其粒度变化较大,呈浅黄色、亮黄色,以半自形微细粒状为主,其次为星点状;黄铁矿可分为两期,早期为细粒状,立方体,粒径>0.01 mm,呈星点状分布;晚期为微细粒状,呈浸染状沿裂隙分布,多氧化为褐铁矿化;②石英:是主要的脉石矿物,多为白色,他形粒状,粒径0.15~0.7 mm,多稀疏分布于斜长石粒间,含5%~10%,有些为次生成因;不同矿脉硅化强度不同,早期石英多为乳白色—白色,细粒状,呈脉状、网脉状分布;成矿期石英多为烟灰色—灰白色,微细粒

状,主要呈网脉、细脉状分布;晚期石英为白色—浅黄色,粒度较粗,常表现为交代和重结晶的自形粒状石英,主要呈浸染状、团块状,局部呈细脉、网脉状,硅化与金矿化关系较为密切;③自然金:灰黄色,以裂隙金、晶隙金为主,其次以包裹体金的形式赋存于黄铁矿、石英、毒砂、褐铁矿、方解石等矿物中,粒度一般为0.004~0.72 mm。

(2)石英钠长斑岩型矿石。矿石中金属矿物有自然金和微量黄铁矿、黄铜矿、褐铁矿;脉石矿物有斜长石、石英、绢云母、方解石石英细脉等。①黄铁矿:浅黄色—亮黄色,以半自形微细粒状为主,其次为星点状;黄铁矿可分为2期:早期为细粒状,立方体,粒径小于0.04 mm,呈星点状分布于石英钠长斑岩中;晚期为微细粒状,呈浸染状沿裂隙分布,多氧化为褐铁矿;②自然金:金黄色,以晶隙金为主,呈金群分布,粒度一般在0.01~0.10 mm之间,金矿物主要赋存在石英之中。

3.2 矿石结构构造

蚀变闪长玢岩型矿石结构主要为斑状结构,其次还有填隙结构、碎裂结构、交代溶蚀结构、包含结构等;矿石构造主要有斑杂状构造、块状构造、脉状构造和细脉浸染状构造。

石英钠长斑岩型矿石为斑状结构,块状构造。

3.3 金矿物特征及赋存状态

据新疆矿产实验研究所物相分析成果,自然金中的裂隙金和晶隙金占72.14%,包裹金占27.86%,主要赋存于黄铁矿、石英、毒砂、褐铁矿、方解石等矿物中。

据电子探针分析,金矿物公仅见自然金;颜色为深黄色,粒度一般在0.004~0.72 mm,其中可见金占57.87%,显微金占41.13%,自然金平均 $w(\text{Au})=90.24\%$, $w(\text{Ag})=8.56\%$ 。自然金与石英矿物呈连生体出现比较普遍,自然金外形多为不规则状、网脉状、树枝状、片状等。

表 3 矿石化学多项元素分析结果
Table 3 Multi-element analysis of gold ore

元素	$w_B/10^{-6}$						$w_B/\%$			
	Au	Ag	Mo	Sb	W	WO ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cu	Zn
质量分数	2.06	0.21	1.74	0.00	9.84	12.35	15.69	67.01	0.003	0.01

元素	$w_B/\%$									
	Pb	S	As	Fe	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	C	Na ₂ O
质量分数	0.002	0.47	0.001	1.80	2.30	2.96	0.71	3.32	0.30	3.30

资料来源:新疆矿产实验研究所:青河县野马泉—库布苏金矿可选性试验报告(2010)。

明金样品在显微镜下观察,自然金主要呈丝状、细粒状、棒状、片状,粒径大多为微细粒,多 <0.07 mm,大约占 70%(按金的颗粒统计); $0.07\sim0.2$ mm 者约占 30%,最大的粒径为 0.2 mm。

3.4 矿石化学组分

矿石化学组分见表 2 和表 3。由表 3 可见,矿石的主要成分为 SiO_2 ,其次为 Al_2O_3 , K_2O , Na_2O , Fe_2O_3 , CaO , MgO ;矿石中的有用组分是金, $w(\text{Au})=1.05\times10^{-6}\sim22.95\times10^{-6}$,平均 3.47×10^{-6} 。金的物相分析结果表明,有 72.14%的金属属于裂隙金和晶隙金,还有 6.95%的金为硫化物包裹金,合计 79.09%的金为易选金;另外,还有碳酸盐包裹金(约占 20.91%)属于较难选的金;矿石中的其他有益组分均低于岩金矿伴生组分评价参考值。但是,浮选金精矿中富集的有价元素除金之外,主要是银和硫,其中银的品位 $w(\text{Ag})=4.9\times10^{-6}$,回收率为 90.30%;硫的品位 $w(\text{S})=10.40\%$,回收率为 85.63%。因此,采用浮选工艺选矿时,应注意银和硫的综合回收利用。

3.5 矿石类型及品级

矿石总体属于蚀变岩型,根据原岩类型可进一步分为金—蚀变闪长玢岩型、金—蚀变石英钠长斑岩型、金—变质蚀变碎屑岩型 3 类,其中以金—蚀变闪长玢岩型矿石为主;近地表处矿石有一定的氧化,但仍为原生矿石。矿石的工业类型为低硫蚀变岩型矿床。矿石品级可分为 $w(\text{Au})\geq2.50\times10^{-6}$ 的工业矿石和 $w(\text{Au})=1\times10^{-6}\sim2.50\times10^{-6}$ 的低品位矿石 2 类,以工业矿石为主。

4 矿床地球化学特征

4.1 稀土元素组成特征

野马泉金矿区及外围岩石稀土元素分析结果见表 4。

(1)各类岩石稀土总量变化较大,其中闪长玢岩稀土总量最高,约 250×10^{-6} ,稀土元素组成较为稳定,强弱蚀变岩石间变化不大;花岗闪长斑岩的稀土元素含量变化较大,推测这种变化与岩石的蚀变有关。

表 4 野马泉金矿及库布苏金矿岩石稀土元素组成及参数值

Table 4 REE composition and parameters of rocks in Yemaquan and Kubusu Au deposits

样号	采样位置	岩性	$w_B/10^{-6}$										
			La	Cc	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
9825	野马泉 金矿区	闪长玢岩	34.72	75.28	9.81	41.78	8.70	2.34	8.63	1.33	8.01	1.62	4.65
9830		闪长玢岩	35.25	74.81	10.09	42.02	8.65	2.25	8.80	1.32	8.28	1.61	4.62
9835		闪长玢岩	34.44	77.39	10.34	40.42	8.45	2.31	8.40	1.28	8.37	1.58	4.31
98242		蚀变闪长玢岩	36.26	76.68	9.84	41.73	9.20	2.56	9.27	1.44	8.23	1.64	4.91
9838		变质碎屑岩	15.80	31.71	4.21	17.97	4.12	1.04	3.91	0.62	3.82	0.76	2.26
9840		碳质板岩	23.68	45.27	5.77	23.40	5.32	0.73	5.09	0.81	4.84	1.00	3.00
9860	库布苏 金矿区	花岗闪长斑岩	19.92	24.65	3.14	11.89	2.53	0.60	2.37	0.34	2.02	0.39	1.05
9866		闪长玢岩	26.92	53.91	6.67	25.86	5.64	0.30	5.56	0.89	5.50	1.08	3.01
9888	野马泉 金矿区	含金石英脉	8.41	10.53	1.25	4.92	1.01	0.29	1.01	0.17	0.95	0.19	0.52
9892		含金石英脉	7.05	4.02	0.28	0.49	0.13	0.30	0.01	0.02	0.09	0.02	0.05
98182		石英脉	2.83	2.55	0.29	0.90	0.19	0.40	0.15	0.02	0.07	0.01	0.03

样号	采样位置	岩性	$w_B/10^{-6}$					特征值				
			Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	LREE/HREE	$(\text{La}/\text{Yb})_N$	$(\text{La}/\text{Sm})_N$	$(\text{Gd}/\text{Yb})_N$	
9825	野马泉 金矿区	闪长玢岩	0.701	4.50	0.69	46.01	248.77	5.73	5.20	2.51	1.56	
9830		闪长玢岩	0.678	4.29	0.70	45.82	249.18	5.71	5.54	2.56	1.66	
9835		闪长玢岩	0.599	4.20	0.66	45.01	247.77	5.90	5.53	2.56	1.61	
98242		蚀变闪长玢岩	0.730	4.57	0.68	45.63	253.36	5.60	5.35	2.48	1.64	
9838		变质碎屑岩	0.355	2.26	0.34	21.74	110.92	5.22	4.71	2.41	1.39	
9840		碳质板岩	0.467	3.01	0.45	28.20	152.25	5.65	5.30	2.80	1.36	
9860	库布苏 金矿区	花岗闪长斑岩	0.169	1.02	0.17	11.90	75.15	8.34	13.71	4.95	1.87	
9866		闪长玢岩	0.474	3.04	0.50	32.40	172.18	5.97	5.97	3.00	1.48	
9888	野马泉 金矿区	含金石英脉	0.080	0.50	0.08	5.42	35.33	7.55	11.34	5.24	1.63	
9892		含金石英脉	0.008	0.04	0.01	0.46	12.78	40.00	118.83	34.11	2.02	
98182		石英脉	0.005	0.03	0.01	0.37	7.48	21.25	63.60	9.37	4.03	

测试单位:原地质矿产部武汉综合测试中心;资料据武警黄金第八支队:新疆青河县库布苏北金矿普查报告(2010)。

(2) 地层稀土元素含量比岩脉低, 大约为岩脉的 $1/2$, 但 $LREE/HREE$, $(La/Yb)_N$, $(La/Sm)_N$, $(Gd/Yb)_N$ 各参数均与岩脉十分接近。

(3) 石英脉内稀土元素含量普遍不高, 且不同样品之间变化较大, 含金石英脉 9888 号样品比 9892 号的稀土总量高, 认为是遭受后期热液改造的结果。

(4) 轻稀土元素在各种岩石内均比重稀土富集, 石英脉内轻稀土元素富集最为明显。除 9888 号样品外, 另外 2 个石英脉样品的 $LREE/HREE > 20$, $(La/Yb)_N > 60$, $(La/Sm)_N > 9$; 表明石英脉的稀土元素分馏比岩脉及地层都要显著。

(5) 同区内其他与中基性岩脉有关的铜、金矿床比较, 矿区及外围金矿区岩石稀土元素含量明显要高(表 4), 但 $LREE/HREE$, $(La/Yb)_N$, $(La/Sm)_N$, $(Gd/Yb)_N$ 各参数均十分接近, 反映了它们在物质来源上存在着密切联系。野马泉、库布苏金矿区的稀土总量较高可能与矿区岩脉偏酸性有关。矿区岩脉的形成与区域岩浆活动有关, 可能是同一岩浆演化不同阶段的产物。

4.2 稀土元素分布模式

(1) 矿区内各岩脉、地层以及区内与金铜矿床有关的中基性岩脉内稀土元素分布模式(图 7)十分接近, 均呈平缓右倾趋势, 除花岗闪长斑岩 9860 号样品具有较明显的 Eu 亏损外(可能与蚀变作用有关), 其他样品的稀土分布曲线基本上互为平行。一方面反映了地质体中稀土组分分馏较弱, 同时也说明地质体在物质来源上的相似性或继承关系。

(2) 石英脉除 9888 号样品受后期热液影响与岩

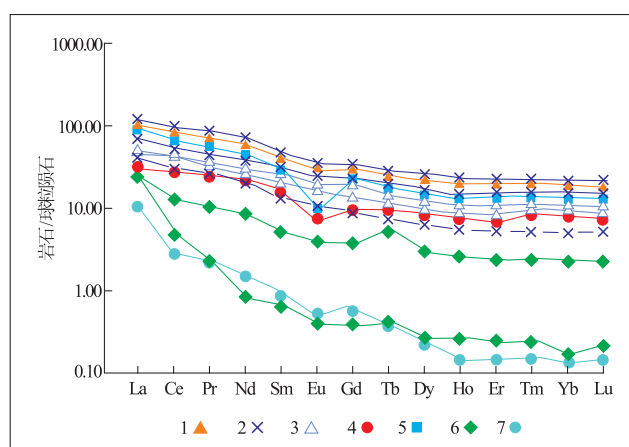


图 7 岩石稀土元素分布模式

Fig. 7 REE pattern of rocks

1. 蚀变闪长玢岩; 2. 未蚀变闪长玢岩; 3. 地层; 4. 基金铜矿区的中基性脉岩; 5. 北矿带花岗闪长斑岩; 6. 含金石英脉; 7. 石英脉

脉、地层分布曲线近于平行外, 其他石英脉分布模式与岩脉、地层的差别很大, 表现为强烈的右倾趋势。石英脉与岩脉、地层岩石在稀土元素分布模式上的明显不同, 反映了石英脉内稀土元素不可能是岩脉或地层中元素的简单析出或继承。石英脉内的稀土元素可能具有复杂来源。

综合上述, 我们认为野马泉金矿、库布苏金矿区岩脉同区域其他与金铜矿床有关的中基性岩脉相比更偏酸性, 同时二者在稀土分布模式上十分接近, 说明它们很可能是同一地质过程中岩浆演化不同阶段的产物。地层岩石稀土元素在分布模式上与岩脉也很接近, 很可能与地层中含有一部分火山沉积物质有关, 由于与陆缘沉积混杂, 故而稀土总量比岩脉要低。但是地层内的火山物质在成矿上可能与岩脉具有同源关系。石英脉内的成矿元素与岩脉及地层差别较大, 二者在成矿物质上不具有直接联系。矿化与石英脉的形成很可能不是同时发生的, 矿化与后期热液活动有关, 并且热液富含 Au, As, W 元素, 相对富含 Cu, Pb, Zn 等元素。化探显示, 这些成矿元素在地层内有较高的背景值, 推测热液内的成矿物质可能部分来源于地层。

4.3 氢氧同位素特征

石英流体包裹体 H_2O 的氢氧同位素组成是判断成矿热液 H_2O 来源重要的地球化学证据。中国地质大学对野马泉金矿、库布苏金矿含金石英脉和非含金石英脉的石英分别测定了氢、氧同位素, 并根据包裹体均一温度和氧同位素在石英和 H_2O 之间的分馏方程, 计算了成矿热液 H_2O 的氢氧同位素值(表 5)。

水岩反应(W/R)计算结果显示, 当 $W/R=10$, 温度为 $280 \sim 330\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 水与岩石反应可以得到 $\delta(D)-\delta(^{18}\text{O})$ 组成值与包裹体 H_2O 中测试的 $\delta(D)-\delta(^{18}\text{O})$ 组成相一致或相近的结果(表 6)。因此, 结合前述流体成分特征与典型岩浆水、热卤水不相符的事实, 推测野马泉金矿、库布苏金矿的成矿流体可能主体为次火山热液, 其次为变质(混合)热液。

4.4 矿物流体包裹体特征

流体包裹体为成矿流体作用的产物。通过流体包裹体的研究, 可探知矿床的成矿环境。野马泉金矿、库布苏金矿的含金石英脉中石英富含流体包裹体, 它们呈带状分布, 有时呈群分布。包裹体类型以液体包裹体为主, 有少量含液相 CO_2 包裹体及含子矿物包裹体, 气液比为 $3\% \sim 8\%$ 。无色或淡黄色, 圆形、椭圆形或长条形, 直径一般为 $1 \sim 2\text{ }\mu\text{m}$, 少数 $3 \sim 4\text{ }\mu\text{m}$, 普遍很小, 反映了主矿物快速结晶的成因。

表 5 野马泉金矿、库布苏金矿石英脉中石英氢氧同位素测定结果

Table 5 H isotope analysis of quartz of gold ore veins from Yemaquan and Kubus Au deposits

样号	矿区	名称	均一温度/℃	$\delta(D)/10^{-3}$	$\delta(^{18}\text{O}_{\text{SiO}_2})/10^{-3}$	$\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}})/10^{-3}$
9891	野马泉	含	313	-94.4	15.11	8.01
9896		金	334	-72.8	14.34	7.92
98175		石	302	-63	15.72	8.24
98241	库布苏	英	295	-66.9	15.21	8.47
98185	野马泉	脉	243	-62.1	15.88	5.38

测试单位:中国地质大学(武汉)测试中心。

分馏方程 $1000 \ln \alpha = 3.42 \times 10^6 \times T^{-2} - 286$ (张理刚, 1983)。

表 6 不同水岩比 (W/R) 及成矿温度条件下的 $\delta(D) - \delta(^{18}\text{O})$ 组成表Table 6 $\delta(D) - \delta(^{18}\text{O})$ analysis under various water/rock ratios and temperatures

W/R	$t=280\text{ }^{\circ}\text{C}$		$t=330\text{ }^{\circ}\text{C}$	
	$\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}^f})$	$\delta(\text{D}_{\text{H}_2\text{O}^f})$	$\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}^f})$	$\delta(\text{D}_{\text{H}_2\text{O}^f})$
Q1	3.34	-8.86	4.60	-18.93
Q2	3.81	-14.13	4.97	-23.35
Q4	4.55	-22.39	5.54	-30.30
Q6	5.11	-28.59	5.98	-35.51
Q8	5.54	-33.42	6.31	-39.57
1	5.89	-37.28	6.58	-42.81
2	6.92	-48.85	7.39	-52.54
4	7.75	-58.11	8.03	-60.32
6	8.11	-62.08	8.31	-63.66
8	8.31	-64.28	8.46	-65.51
10	8.43	-65.69	8.56	-66.69

库布苏金矿区(距野马泉金矿区仅 1.3 km)流体包裹体成分测试结果(表 7)显示,库布苏金矿流体包裹体成分不具备典型的岩浆热液与典型热卤水成分特征,很可能属次火山热液和变质热液叠加、改造的结果。

(1)成矿温度:温度是成岩成矿时重要的物理化学参数。由于库布苏金矿区以流体包裹体为主,因此采用均一法和爆裂法测温(表 8),它们分别代表成岩成矿的温度下限。

(2)成矿压力:据对石英中包裹体成分分析,本矿区流体主要成分为 K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , F^- , CO_2 , H_2O 等。可以利用 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 体系的 $p-v-t$ 数据近似地估计流体包裹体的压力。经求解,本矿区流体密度为 0.75~0.85,成矿压力近似值为 30~45 MPa,成矿深度近似值为 1.2~1.8 km,属浅成—超浅成成矿。

野马泉金矿、库布苏金矿成矿温度近似值为 190~375℃,属中温成矿;成矿压力为 30~45 MPa;成矿深度为 1.2~1.8 km(近似值);成矿流体化学

成分以 Cl^- , SO_4^{2-} 为主, Cl^- 和 CO_2 含量与金矿化呈正相关;成矿流体的盐度为 1.43%~11.6%;pH 值为 6.85~4.83~7.08, Eh 值为 -0.62~-0.43 V,还原参数 $R=0.13\sim 1.28$,矿化度为 16.8~83.69 g/L。由此可以认为,野马泉金矿、库布苏金矿属埋深较浅的中温热液矿床。溶液形成的物理化学条件为:由弱酸→酸性→中性演化,密度 0.75~0.85,盐度中等,还原性较强。

4.5 成矿时代讨论

据杨高等^[7]对库布苏南岩体的花岗闪长岩进行的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法测定,库布苏花岗闪长岩样品的加权平均 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 (287 ± 2) Ma,岩体中基性包体样品的加权平均 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 (286 ± 3) Ma,为早二叠世华力西运动早期岩浆活动的产物^[8]。由此推断,野马泉金矿区的闪长岩、石英钠长斑岩等脉岩作为区域库布苏南岩体的附加相,为同期大规模岩浆活动的残余岩浆产物,侵位年龄应与库布苏南岩体同期或略晚,而金矿的形成则应晚于石英钠长斑岩的侵位。

表 7 库布苏金矿石英脉包裹体测试结果

Table 7 Quartz in clusion analysis of gold ore from Kubusu Au deposit

样号		921686	921682	921673	F-7	F-6	平均值
岩石及成矿阶段		I	II	III	富矿体石英脉		
		电气石石英脉	烟灰色石英脉	含长石石英脉			
量和单位		$w_B/10^{-6}$					
石英脉的金品位		0.06	0.12	0.06	1.87	0.27	1.07
气相成分	H ₂ O	137.44	130.71	159.04	296.80	464.46	380.63
	CO ₂	3.17	21.98	21.10	3.41	47.39	25.40
	H ₂	0.33	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03
	N ₂	4.50	2.97	5.91	3.59	5.76	4.67
	CH ₄	1.24	2.11	3.05	0.00	2.29	1.14
	CO	0.00	0.00	3.76	0.00	0.00	0.00
液相成分	F	0.00	0.00	0.00	8.71	0.64	4.67
	Cl	9.25	51.60	18.71	24.26	4.84	14.55
	NO ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SO ₄ ²⁻	4.62	2.18	11.83	4.04	2.68	3.36
	Na ⁺	5.62	4.52	2.75	1.09	1.02	1.05
	K ⁺	6.61	3.01	1.38	3.11	2.17	2.64
包体水	Mg ²⁺	4.29	5.28	2.20	0.31	0.50	0.40
	Ca ²⁺	12.88	17.10	1.65	9.64	4.33	6.98

表 8 石英包裹体均一温度和爆裂温度

Table 8 Homoge nization and decrepitation temperature of quartz inclusion

成矿阶段	I	II	III	IV
均一温度/℃	315~420(平均 362)	268~360(平均 322)	176~203(平均 190)	
爆裂温度/℃	375	346	295	285
成矿温度近似值/℃	362~375	322~346	190~295	285

5 结论

(1)矿体主要呈脉状赋存于华力西早期侵入于志留系库布苏群下亚群碳质板岩与硅质板岩中的蚀变闪长玢岩脉内及其内外接触带。

(2)含矿的蚀变闪长玢岩、蚀变石英钠长斑岩含金丰度高,其围岩是志留系库布苏群下亚群碳质板岩、硅质板岩,含金丰度也比较高,均可视为金矿的矿源层(岩)。

(3)矿区及区域与金铜矿床有关的各种岩脉、地层岩石的稀土元素分布模式十分接近,反映了稀土组分分馏较弱,同时也指示区内不同地质体在成矿物质来源方面的相似性或继承关系。表明成矿物质既来源于次火山热液(岩脉),也来源于变质热液(含火山物质的地层)。

(4)矿床矿物流体包裹体的研究表明,矿物流体既不是典型的岩浆热液水,也不是典型的变质热液水,但是,与火山热液比较类似。包体测温结果

表明为浅成—超浅成高中温热液矿床。

(5)区域库布苏南花岗闪长岩样品的²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为(287±2) Ma,属华力西早期。由此推断,与金矿体时空关系极为密切的蚀变闪长岩脉等脉岩类也应该是华力西早期或稍晚。

总之,野马泉金矿应属次火山—变质热液型金矿床。

参考文献:

[1] 甘肃煤田地质局一四五队. 新疆青河县野马泉金矿资源储量核实报告[R]. 张掖:甘肃煤田地质局一四五队,2007.

[2] 中国冶金地质总局新疆地质勘察院. 新疆青河县库普苏金矿详查报告[R]. 乌鲁木齐:中国冶金地质总局新疆地质勘察院, 2010.

[3] 武警黄金八支队. 新疆青河县库普苏北金矿普查报告[R]. 乌鲁木齐:武警黄金八支队,2011.

[4] 新疆矿产实验研究所. 青河县野马泉—库普苏金矿可选性试验报告[R]. 乌鲁木齐:新疆矿产实验研究所,2010.

[5] 哈尔滨黄金设计研究院. 青河县库普苏、野马泉金矿 2000t/d 建设工程初步设计书[R]. 哈尔滨:哈尔滨黄金设计研究院, 2011.

[6] 中国科学院地球化学研究所. 高等地球化学[M]. 北京:科学

- 出版社,1998.
- [7] 杨高学,李永军,吴宏恩,等. 东准库布苏南岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年[J]. 中国地质,2008,35(5):849-858.
- [8] Gradstein F M, Ogg J G, Smith A G. A geological time scale [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2004: 589.

Geological and geochemical characteristics of Yemaquan gold deposit in Qinghexian county, Xinjiang Autonomous Region

HE Ying, ZHANG Jiang

(Xinjiang Geology and Exploration Institute of China Metallurgical Geology Bureau, Ürümqi 830063, China)

Abstract: Yemaquan gold deposit is located at axis of Hasafen anticlinorium in the west side of the big Kasikaersuokekan fault belt in south part of Late Palaeozoic continent marginal basin in the east Zubger area of the micro- Zubger plate. Ore bodies occur in the altered diorite dykes or at their inner and outer contact zones. The altered diorite dykes are enclosed in argillaceous slate and phyllitized siltstone of the Lower Silurian Kubusu group. Genetically, the gold deposit is a sub-volcanic-metamorphic hydrothermal deposit.

Key Words: Yemaquan gold deposit; the micro-Zubger plate; altered diorite dyke; Qinghe county; Xinjiang