

新疆包古图金矿床特征及其成因

齐进英

(中国科学院地质研究所, 北京)

熊义大

(新疆有色地质勘探公司 701 队, 昌吉)

摘要: 西准噶尔包古图地区已发现 20 多个金矿床和矿点, 它们与海西期发育的闪长质小岩体群和脉岩群有密切的成因联系。为石英脉-网脉型矿脉, 其分布受北东向裂隙控制, 无论侧向还是纵向都呈平行排列和成群出现。含金矿物是自然金和银金矿。经石英和黄铁矿的气液包裹体测试表明, 金矿化温度 170~305℃, 平均 222℃; 矿化条件为还原和酸性环境; 矿液主要为岩浆热液和大气降水。

主题词: 闪长质岩浆 石英脉-网脉型 物理化学条件 矿床成因

包古图地区位于新疆准噶尔西部托里县境内, 东北距克拉玛依市约 60 km, 达拉布特深断裂东南, 包古图河西侧一带。该区古采井洞计有 16 处, 近年又发现金矿化点 7 处。部分矿化点已进行勘探, 为具有一定规模的金矿床。因此, 包古图地区可望成为有远景的金矿田。本文主要对该区金矿床地质特征、成矿条件以及成矿物质来源等问题进行讨论。

1 区域地质概况

准噶尔及苏联东哈萨克斯坦部分地区, 位于西伯利亚和塔里木两个古板块之间, 海西早期塔里木古板块向北运动, 由消减作用产生天山岛弧带及准噶尔弧后盆地, 海西末期盆地收缩、消亡。至中生代转化为陆相湖盆, 形成含煤和石油的沉积地层。包古图地区(图1)广泛出露的地层是下石炭统, 下部为太勒古拉组(C_1t), 是海盆发育顶盛时期的产物, 为火山-硅质岩建造, 含大量拉斑玄武岩, 硅质岩中有放射虫化石。从中部的包古图组(C_1b)至上部的希贝库拉斯组(C_1x)为浊积-海下扇建造, 沉积物逐渐变粗, 硅质和火山物质逐渐减少, 反映盆地渐次收缩。二叠系为陆相磨拉石建造。

达拉布特深断裂为北东向断裂组之一, 具有平移走滑和向南东推覆的性质。在包古图地区, 近南北向断裂亦比较发育。超基性岩体沿深断裂分布, 为冷侵人体。石炭纪地层已发生褶皱, 包古图地区轴向近南北。岩石受到浅变质作用。

基底岩系为加里东期千枚岩、片岩、大理岩及变火山岩, 出露于包古图以西, 区内仅见零散露头。

岩浆活动有闪长质小岩体群及脉岩群, Rb-Sr 全岩等值线年龄 $261 \times 10^6 \sim 320 \times 10^6$ a。之后有酸性岩浆活动, 形成如庙尔沟、阿克巴斯陶等花岗岩体, 年龄 $220 \times 10^6 \sim 257 \times 10^6$ a^①。

① 本文由陶景连编辑

① 长春地质学院金矿研究队, 新疆地矿局七队, 1987

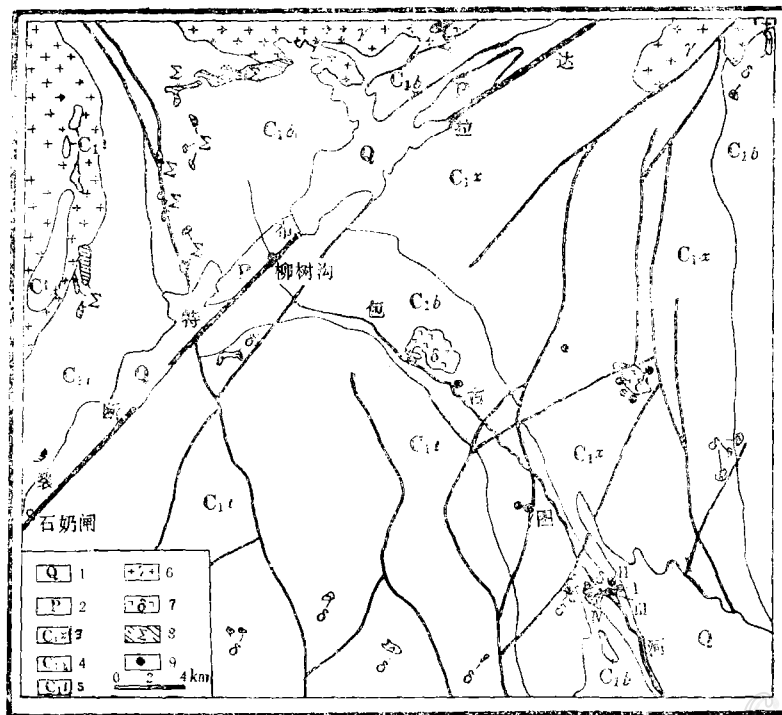


图 1 包古图地区地质略图

(据新疆地质局 11 队 1982 年 1/20 万图改编)

1—第四系；2—二叠系；3—5—下石炭统；3—希贝库拉斯组；4—包古图组；5—太勒古拉组；6—花岗岩；7—闪长岩；8—超基性岩；9—金矿床、矿化点；I—IV—矿床代号

Fig. 1. Sketch geological map of Baogutu area.

1—Quaternary; 2—Permian; 3—5—Lower Carboniferous; 3—Xibeikulasi Formation; 4—Baogutu Formation; 5—Tailegula Formation; 6—Granite; 7—Diorite; 8—Ultrabasic rock; 9—Gold deposit or mineralization occurrence; I—IV—Number of ore deposit.

金矿化位于闪长质小岩体附近和脉岩稠密分布区。矿脉产状与岩脉接近，呈北东走向平行排列。围岩为石炭纪地层、脉岩及小岩体。

2 矿床地质

包古图地区的金矿床（点）赋存岩层主要是下石炭统的包古图组（ C_{1b} ）和希贝库拉斯组（ C_{1x} ），下部的太勒古拉组（ C_{1t} ）较少。矿脉发育受区域裂隙控制，主要为北东走向，倾向北西，与脉岩群产状大体上一致。

主要含矿围岩有包古图组的凝灰质粉砂岩、泥质粉砂岩，希贝库拉斯组的含角砾砂岩、砂质角砾岩。小岩体和脉岩的侵位时代、岩浆来源、化学成分彼此基本一致。据 IUGS 分类，以石英闪长（玢）岩和石英二长闪长（玢）岩为主，二者占全部样品（样品数 $n=167$ ）的 70%。

矿脉有平行分布成群出现的特征，无论是侧向还是纵向都如此。以 II 号矿床为例，地表有十数条矿脉，主矿脉长达 360 m，倾向 320° ，倾角 70° 左右。矿脉可以在岩脉中，也经常

斜穿过岩脉进入围岩之中。成矿后断裂多为近南北向左行断裂，对矿脉有破坏作用(图2)。

深部还有许多盲矿体，呈平行雁行状排列(图3)。钻探证实，矿脉已延至深500m以下。

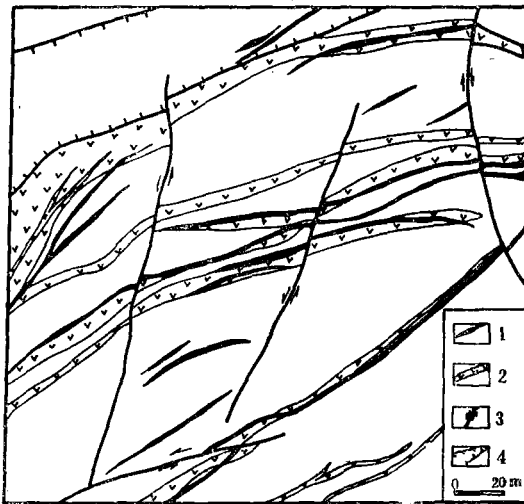


图2 II号矿床东部地质略图

(据新疆有色地质勘探公司701队1986年1/500地质图改编)

1—金矿脉；2—闪长质岩脉；3—断裂；4—破碎带

Fig. 2. sketch geological map of the eastern part of No. II ore deposit.

1—Gold vein; 2—Dioritic dike; 3—Fault; 4—Shattered zone.

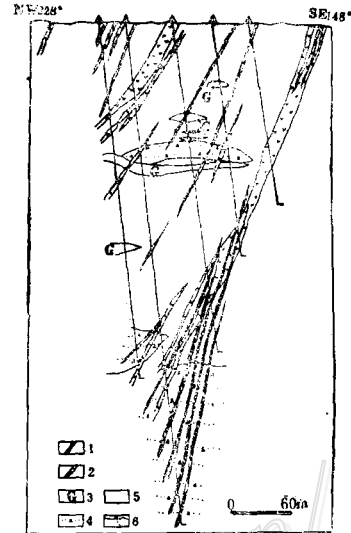


图3 II号矿床第32勘探线剖面图

1~2—同图2；3—灰白色硅质岩；4—砂质角砾岩及含角砾杂砂岩；5—凝灰质粉砂岩、细砂岩；6—钻孔

Fig. 3. Geological section along No. 32 exploration line of No. II ore deposit.

1-2 as for Fig. 2; 3—Greyish white siliceous rock; 4—Arenaceous breccia and rubble-bearing graywacke; 5—Tuffaceous siltstone and fine sandstone; 6—Drill hole.

包古图金矿脉产状稳定，但厚度和形态则有变化。在III号矿床平巷中可以看到，矿脉时而由二、三十厘米收缩为厚仅几厘米，有时呈帚状散开。

主要矿脉类型为石英脉型和石英-碳酸盐网脉型。在闪长质小岩体内部有时发育破碎带蚀变岩型含金矿脉，蚀变岩主要是黄铁矿绢云母岩。

石英脉-网脉状矿脉，围岩蚀变较弱，常见的是黄铁矿化和硅化。硅化表现为硅质贯入裂隙、孔隙中，充填、交代，呈云雾状扩散，使灰黑色围岩变为灰白色。黄铁矿化主要是在矿脉近旁围岩及脉内围岩角砾中形成黄铁矿细晶粒。这两种蚀变与金矿化关系密切。

矿石构造：①角砾状构造：它是最常见的一种矿石构造，这种构造乃由矿液沿断裂破碎带运移和沉淀、包围围岩角砾而成。②细脉-网脉状构造：石英、碳酸盐以及部分黄铁矿沿微细裂隙充填而成。网脉状者总伴有硅化，渗透浸润围岩，使石英网络与围岩界限模糊不清。③梳状-菊花状构造：梳状是由石英晶体垂直脉壁生长形成。当石英围绕角砾生长时，首先形成由微细晶组成的皮壳，然后较粗的石英晶体垂直角砾生长，形成以角砾为花心的菊花状构造。在较粗的角砾之间，有时尚保留有空洞，石英晶出完好，形成水晶小晶洞。④块状构

造：为较粗的含金石英脉所特有的矿石构造。⑤似条带状构造：黄铁矿、毒砂形成较早，沿脉壁分布，辉锑矿、辉铁锑矿形成较晚，位于脉的中部位置，形成似条带状。

矿脉品位由浅部向深部有变富的趋势，样品的最高品位为 140.06 g/t，其深度近 300 m。

矿石中还含有铜和银，银的含量约为金的 3 倍，可以回收，从而提高了矿床的经济价值。金与银、砷及银与砷含量间呈很好的正相关性：

$$\text{Au—Ag 相关性: } y = 0.746 + 2.736x \quad r = 0.8024$$

$$\text{Au—As 相关性: } y = 134.08 + 596.32x \quad r = 0.8147$$

$$\text{Ag—As 相关性: } y = 104.74 + 205.26x \quad r = 0.9564$$

金与锑的相关性较差，但也明显，例如当 Sb 丰度为 $5 \times 10^{-6} \sim 15 \times 10^{-6}$ 时，Au 含量多为 0.01×10^{-6} 以下，当 Sb 丰度达数十至数百 ppm 时，则必然有金的富矿化存在。

3 矿石矿物

包古图含金石英脉、网脉中金属矿物量不多，分布亦不均匀，属于少硫化物型。金属矿物可划归三类：自然金属类有自然金和银金矿两种；硫化物类有黄铁矿、毒砂、白铁矿、辉锑矿、辉铁锑矿、磁黄铁矿、黄铜矿及银锑黝铜矿；氧化带矿物有褐铁矿、黄铜华、孔雀石及臭葱石。

3.1 自然金及银金矿：自然金呈孤立的粒状或片状存在于石英中，有时呈微粒群及微细脉出现，状如云雾。金粒外围石英常呈烟灰色或褐铁质染成橙褐色。显微包裹体金经常存在于黄铁矿、毒砂、辉锑矿等矿物之中。镜下亦发现金粒包裹毒砂微晶的现象。

电子探针分析表明，自然金除含银之外，明显的杂质成分 ($>0.1\%$) 有 Co、Fe、Ni、As、Sb、Te 及 Zn (表 1)。平均成色 $[\text{Au}/(\text{Au} + \text{Ag})] \times 1000 = 848$ ，变化范围 815~921， $\text{Au}/\text{Ag} = 5.90$ 。银金矿平均成色 805，变化范围 785~797， $\text{Au}/\text{Ag} = 4.12$ ，属于富金的银金矿 (表 1)。

3.2 黄铁矿：黄铁矿分布广泛，呈浸染状及细脉状，一般粒度细小 ($<3 \text{ mm}$)。晶形有六面体、八面体、五角十二面体及聚形。一般晶面光滑，部分颗粒在扫描电镜下可见到 {111} 晶面具成排的溶蚀坑。

电子探针分析表明 (表 2)，27 个样中发现金者 7 个样，发现银者 19 个样，其中两个样金含量达到 1%，证明黄铁矿中存在有金和银的矿物包裹体。多数样中含砷，最高达 2.05%。此外，含有微量 Co、Ni、Sb、Te、Se、Cu、Pb、Zn 等。

黄铁矿平均铁含量 46.67%，硫为 52.33% (样品数 $n = 27$)，硫含量低于黄铁矿的理论值，而且变化范围较大 (图 4)。

黄铁矿热电性测试 (中国地质大学邵伟、罗飞完成) 计 32 个样，其中 7 个样为自形晶粒已知晶面，其余为光薄片任意面。结果表明，空穴型即 P 型为主，占 78%，其次是 P 型与电子型 (即 N 型) 的混合型。P 型占主导反映有利于金矿化^[1]。

3.3 毒砂：毒砂分布较广泛，几乎在所有的矿石光片之中都可见到微细的呈菱形或柱状自形晶粒。毒砂反射率近于黄铁矿，白色，非均质性较强，偏光色红褐及蓝绿色。

包古图矿床中的毒砂平均 ($n = 12$) 含 As = 41.98%，比理论值较低，而平均含

表 1 包古图金矿床自然金及银金矿的化学成分 (%)

Table 1. Chemical composition of native gold and electrum in gold deposits of Baogutu area

样号	8-219	9-149	8-3A	8-3B	8-160	9-175	平均	
矿物	自然金				银金矿		自然金	银金矿
Au	92.13	82.93	82.33	81.29	78.53	79.41	84.67	78.97
Ag	7.28	16.41	15.23	18.43	20.08	18.30	14.34	19.19
S	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00
Fe	0.14	0.08	0.00	0.00	0.06	0.00	0.06	0.03
Co	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.29	0.01	0.17
Ni	0.26	0.18	0.10	0.24	0.12	0.18	0.20	0.15
As	0.00	0.00	0.45	0.00	0.09	0.00	0.12	0.05
Sb	0.00	0.00	0.37	0.00	0.16	0.00	0.09	0.08
Se	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02
Te	0.00	0.00	0.66	0.00	0.45	0.05	0.21	0.25
Cu	0.00	0.06	0.00	0.00	0.13	0.00	0.02	0.06
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.38	0.00	0.69
Zn	0.21	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.05	0.14
总量	100.02	99.99	99.14	100.00	99.98	99.61	99.85	99.80
矿床	II号	II号	III号	III号	I号	I号	II III号	I号

测试者：中国地质大学电子探针室李树岩

S=21.07%，Fe=35.11%，比理论值偏高。平均As/S=1.99，变化范围为1.74~2.16。毒砂亦含金，平均Au=0.12%（表2）。

3.4 辉锑矿及辉铁锑矿：石英脉型金矿脉中见有较粗颗粒的辉锑矿和辉铁锑矿，呈长柱状

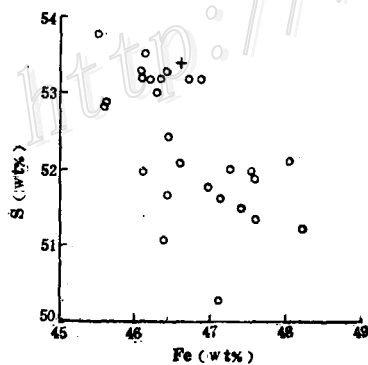


图 4 黄铁矿 Fe-S 成分相关图
(图中“+”号代表黄铁矿的理论值)

Fig. 4. Fe versus S correlogram of pyrite.
(The symbol “+” stands for theoretical value of pyrite)

集合体，而在石英网脉型中者却十分微细，呈针状集合体。反光镜下呈强非均质性。辉铁锑矿是辉锑矿的一种变种，铁含量平均13.02，锑含量锐减，只有56.42%（表2）。辉锑矿亦含有Au、Ag矿物微细包裹体。

3.5 其它矿物：白铁矿见于II号矿床，板状细小颗粒。黄铜矿呈微粒状，稀少。磁黄铁矿少量见于IV号矿床中，与铜镍矿床中的磁黄铁矿对比硫含量较高，而铁含量则较低。银锑黝铜矿见于III号矿床。分布于裂隙中，黑色烟灰状，它是锑黝铜矿的变种（表2）。

地表氧化带广泛发育褐铁矿、黄锑华及孔雀石，鲜艳的颜色是易于发现的找矿标志。有的地段还有臭葱石，是毒砂的氧化产物。

表 2 包古图金矿床矿物化学成分 (%)

Table 2. Chemical composition of sulfide minerals from gold deposits in Baogutu area

矿物	黄铁矿	毒砂	辉钨矿	辉铁钨矿	白铁矿	黄铜矿	磁黄铁矿	银锑黝铜矿
样数	27	12	4	3	3	2	1	1
S	52.33	21.07	26.34	27.81	38.03	34.33	40.43	21.97
Fe	46.67	35.11	0.02	13.02	61.39	29.88	59.32	3.34
Co	0.08	0.09	0.08	0.09	0.11	0.03	0.14	—
Ni	0.07	0.04	0.30	0.15	0.03	0.03	0.08	—
As	0.32	41.98	0.15	0.13	0.02	0.65	0.00	—
Sb	0.08	1.27	70.71	56.42	0.00	0.00	0.00	28.46
Se	0.06	0.09	0.08	0.15	0.03	0.46	0.00	—
Te	0.06	0.07	0.78	1.43	0.32	0.06	0.06	—
Cu	0.06	0.03	0.08	0.04	0.14	34.43	0.00	27.30
Pb	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—
Zn	0.07	0.06	0.11	0.20	0.16	0.06	0.00	3.29
Ag	0.12	0.05	0.01	0.30	0.16	0.06	0.00	15.33
Au	0.13	0.12	0.30	0.07	0.00	0.13	0.00	—

注：由中国地质大学电子探针室李树岩测试；银锑黝铜矿由丁奎首送样

4 金成矿的物理化学条件

4.1 温度条件

4.1.1 石英包裹体测温：矿脉石英含有大量包裹体，但很微小，约 0.5~2 μ m，扫描电镜观察发现多为圆形、椭圆形，部分呈不规则状。用高灵敏度爆裂仪（放大 4~10 万倍）测得爆裂温度见表 3。

一般含矿石英样品均有两组爆裂温度，一组小于 285 $^{\circ}$ C，一组大于 310 $^{\circ}$ C，反映了曾有两次较大的热液活动。温度高的一组具有区域性，各处样品之间温差不大，其中亦包括不含矿石英脉样品，代表早期石英脉主体形成时的热液温度。温度低的一组只见于含矿样品，是与金矿化密切相关的热液活动。概言之，不含矿的石英样品的爆裂曲线为高温单峰型，含矿的为双峰型。包古图矿床石英爆裂峰值的大小或包裹体量的多少与矿化之间呈线性关系，相关系数 $r = 0.85^{[2]}$ 。石英爆裂温度低温组平均（样数 $n = 14$ ）229 $^{\circ}$ C，变化范围 170~285 $^{\circ}$ C。温度波动范围大，反映矿化持续时间长，对金的矿化有利。

4.1.2 黄铁矿的爆裂温度：黄铁矿的爆裂曲线显示三种类型，即双峰型、低温单峰型和高温单峰型。与石英同理，高温组代表早期黄铁矿的形成温度，平均（ $n = 20$ ）为 322 $^{\circ}$ C；低温组代表金的矿化温度，平均（ $n = 19$ ）216 $^{\circ}$ C，变化范围 170~305 $^{\circ}$ C（表 4）。

黄铁矿开始形成的温度，最高达 380 $^{\circ}$ C，高于石英，表明黄铁矿首先开始晶出。石英和黄铁矿二者低温值相近，因此，证明金的矿化温度为 170~305 $^{\circ}$ C，总平均温度为 222 $^{\circ}$ C。

4.2 相对温压条件

矿物成分及矿物包裹体的成分反映成矿条件，是指示矿化作用相对温度和压力的一种参数。

表 3 石英包裹体爆裂温度

Table 3. Decrepitation temperatures of fluid inclusions in quartz

样号	爆裂温度(°C)		特征	
9-12	—	366	高温单峰型	
9-13	245	354	双峰型	
9-14	—	310	高温单峰型	
9-42	200	354	双峰型	
9-43	245	360		
9-345A	200	368		
9-345B	220	354		
J-385	235	346		
J-387	272	350		
J-389	252	354		
J-392	285	352		
J-469	260	334		
J-475	260	330		
J-474	172	310		
9-123	—	354		高温单峰型
9-368	250	354		双峰型
K-122	170	298		

测试者为中国科学院地质研究所六室谢奕汉

表 4 黄铁矿包裹体的爆裂温度

Table 4. Decrepitation temperatures of fluid inclusions in pyrite

样号	爆裂温度(°C)		曲线特征	
9-65	182	342	双峰型	
9-67	230	368		
9-68	210	342		
J-126	225	372		
8-161	170~245	350		
8-215	230	378		
8-235	170~250	305		
9-13	172~260	368		
9-345	182~250	380		
8-113		345		高温单峰型
9-42		332		低温单峰型
9-34	280			
8-181	305			双峰型
8-18	230	372		
8-189	232	352		
8-191	230	345		
8-257	220	340		
8-259	230	344		
J-387	240	395		
K-64	210	375		
K-239	230	375		
8-194		314	高温单峰型	

由中国科学院地质研究所六室谢奕汉测试

4.2.1 石英包裹体成分: 石英包裹体的气相成分和液相成分分别列于表 5 及表 6 中。成矿热液演化过程中, 随着温度的降低 CO₂ 渐次减少, 而 H₂O 含量则递增, 因此, H₂O/CO₂ 值

表 5 石英包裹体气相成分 (μg/g)

Table 5. Gaseous composition of fluid inclusions in vein quartz

样号	成分	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	H ₂ O	CO
9-12		0.047	0.00	15.00	11.96	25.53	2245.0	0.00
9-13		0.13	0.00	16.25	15.71	25.53	2100.0	9.38
9-14		0.21	0.00	6.88	7.50	25.53	1800.0	0.00
9-42		0.32	0.00	82.19	81.40	33.39	324.5	0.00
9-43		0.097	0.00	16.25	20.00	13.75	842.5	0.00
9-80		0.016	0.00	10.63	4.46	127.66	1297.5	9.38
9-85		0.056	0.00	8.31	3.75	19.64	1042.5	0.00
9-87		0.23	0.00	57.50	62.12	13.75	1357.5	9.38
9-123		0.002	0.00	12.81	4.46	127.66	2810.0	9.38
平均		0.12	0.00	22.87	23.48	45.83	1537.5	4.17

测试者: 地质部矿床地质研究所稳定同位素地质室林淑云等

表 6 石英包裹体液相成分 (μg/10g)
Table 6. Liquid composition of fluid inclusions in vein quartz

成分 \ 样号	9-12	9-13	9-43	9-87	9-123	平均
Na ⁺	8.24	3.89	17.23	102.55	3.15	27.01
K ⁺	24.19	27.51	72.45	22.97	4.95	30.41
Ca ²⁺	0.00	0.00	0.00	52.76	0.00	10.55
Mg ²⁺	0.51	0.39	0.78	1.70	0.00	0.66
F ⁻	0.69	0.00	0.61	27.92	0.20	5.88
Cl ⁻	1.80	1.40	2.14	11.27	1.40	3.60
SO ₄ ²⁻	22.99	15.26	76.24	0.00	11.47	25.19
NO ₃ ⁻	10.29	36.85	41.05	173.05	0.00	52.25
PO ₄ ³⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Br ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

由地质矿产部矿床地质研究所程莱仙测试

可反映温度。包古图金矿床的 $H_2O/CO_2=33.55$ ，而中低温热液型胶东玲珑西山金矿床为 16.62，玲珑东山为 8.91，温度较高的栖霞金矿床该值仅为 1.45^[3]。由此可以认为，包古图矿床的成矿温度与胶东金矿相当或者更低一些。

包裹体的 Na^+/K^+ 比值与温度呈正相关性，上述胶东三个金矿床 Na^+/K^+ 分别为 3.89、2.71 及 16.36。包古图金矿床为 0.89，仅高于胶东三山岛蚀变岩型金矿的 0.42^[3]。亦表明包古图金矿床成矿温度较低。

$(CO_2 + H_2 + CH_4)/N_2$ 比值与压力呈负相关关系。胶东玲珑金矿该比值为 19.30~37.13，栖霞为 9.5^[3]，包古图金矿该值更低，仅为 3.40，可能反映其成矿时的压力较大。压力较大与剪切裂隙为容矿构造的分析相一致。

4.2.2 矿物成分的信息：矿石矿物中毒砂形成的温压条件较宽，在温度较高时毒砂相对富砷，压力较大时则富硫。例如，江西省高温的含钨石英-毒砂脉中的毒砂，其 $As/S=2.45$ ^[4]，而包古图的毒砂 $As/S=1.99$ ，反映形成时相对温度较低和压力较大。

黄铁矿中杂质元素砷含量反映压力，例如中深成金矿中的黄铁矿砷含量为 0.47%，浅成金矿者砷为 0.64%，包古图金矿者平均 ($n=27$) 为 0.32%，反映其成矿时压力较大。再者，包古图金矿床黄铁矿的 $Co/Ni=1.14$ ，亦是低温矿床的特征^[5]。

含金石英脉中的石英较富含 Al^{3+} ，为类质同象替代 Si^{4+} 的结果，这时相应量的 Na^+ 和 K^+ 进入晶格中，以平衡电价。包古图石英的主要杂质成分列于表 7。由表 7 可以看到，

表 7 石英主要杂质含量 (%)

Table 7. Contents of major impurities (metal oxides) in vein quartz

成分 \ 样号	K-24	K-170	K-172	K-174	K-230	K-233	K-274	K-474	平均
Al ₂ O ₃	0.06	0.56	0.66	0.37	0.31	0.45	0.57	0.39	0.49
K ₂ O	0.12	0.05	0.06	0.07	0.08	0.07	0.05	0.03	0.07
Na ₂ O	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02

由中国科学院地质研究所九室董光复、石文华分析，夏祥送样

$K_2O > Na_2O$, 平均 $Na_2O/K_2O = 0.29$ 。胶东金矿平均 $Na_2O/K_2O = 0.31$, 表明包古图金矿与胶东金矿的成矿温度相当或稍低一些。

金的成色有随成矿时代的变老及温度增高、压力加大而提高的特点。据世界范围的 64 个金矿床统计, 其中 31 个中深成矿床平均成色为 893, 成色低于 820 的仅有 2 个矿床; 其余 33 个为近地表金矿床, 其平均成色为 670, 仅个别矿床例外, 有较高的成色。据包古图地区 6 个金矿床统计, 平均成色为 829, 应属于压力较高的一组矿床。

4.3 氧化还原环境

包古图金矿床中石英的红外吸收光谱 2350 cm^{-1} 吸收带微弱, 表明 CO_2 含量很少。 $2850 \sim 2950\text{ cm}^{-1}$ 吸收带有显示, 为含 CH 组分的反映, 而 $3000 \sim 3700\text{ cm}^{-1}$ 频段十分显著, 表明富含 H_2O 。

包裹体成分中不含氧 (见表 5), 而 CH_4 平均含量达 $23.48\text{ }\mu\text{g/g}$, N_2 为 $22.87\text{ }\mu\text{g/g}$, H_2O 为 CO_2 的 33.5 倍之多。这与红外光谱分析所得结果一致, 表明矿床形成于还原环境。

黄铁矿最早晶出, 但成矿后仍有形成; 此外, 还存在相当多的白铁矿, 它只在较低的温度下才稳定, 这说明硫逸度 f_{S_2} 在金的整个矿化阶段一直是高的。

包裹体成分及高的 f_{S_2} 说明矿化是在酸性条件下形成的。

5 矿床成因

金的克拉克值为 4×10^{-9} ^[6], 富集到当前最低可采品位 1g/t 时需富集 250 倍之多。包古图地区有关岩石的金丰度: 下石炭统岩层为 3.52×10^{-9} ($n = 217$), 闪长质小岩体岩石为 6.20×10^{-9} ($n = 126$), 闪长质脉岩为 9.70×10^{-9} ($n = 91$); 若达到工业品级需富集上千倍, 因此, 矿化不可能一次完成。金矿床的形成应为多种因素起作用的多次活化、迁移、富集的漫长过程。

包古图地区的金矿床、矿点分布于小岩体附近及脉岩密集区, 二者有密切的成因联系。而且闪长质小岩体岩石及脉岩的金丰度较高, 为理想的矿源岩石。小岩体群及脉岩群来自同一岩浆源, 其化学成分、球粒陨石标准化分配型式、侵位时代都是一致的。小岩体和脉岩群样品的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比值范围为 $0.70379 \sim 0.70410$ 之间, Nd-Sm 同位素 $\epsilon_{Nd(t)}$ = $6.1 \sim 7.1$ 。岩石化学性质皆属于 I 型, 其岩浆源自上地幔或下地壳之中。

矿石中黄铁矿和辉锑矿的硫同位素 $\delta^{34}\text{S} = -0.8\% \sim +3.6\%$, 平均 ($n = 23$) 为 2.15% (图 5), 证实成矿热液为岩浆来源。矿石球粒陨石标准化 REE 分配型式见图 6 (中子活化法, 由中国科学院原子能所李慎之测试), 许多特点与小岩体和脉岩群极为类似, 也说明成矿热液与小岩体和脉岩的同源性。

包古图矿床的成矿作用可概括为下列过程:

海西晚期, 准噶尔弧后盆地闭合, 在南北向应力的持续作用下, 产生了一系列以北东向为主的剪切裂隙, 为矿液提供了运移、富集的空间。

在闪长质岩浆分异过程中, 金以多种络合物或配合物^[8]等形式始终处于流体相中。与金共生的元素有 As、Sb、Se、Te、Ag 等。而 As 及 Sb 的存在可大大提高金的溶解度, 因为金很易形成 $Au(AsS_3)^{2-}$ 、 $Au(AsS_4)^{2-}$ 、 $Au(SbS_4)^{2-}$ 等配合物。成矿的初始热液温度、压力

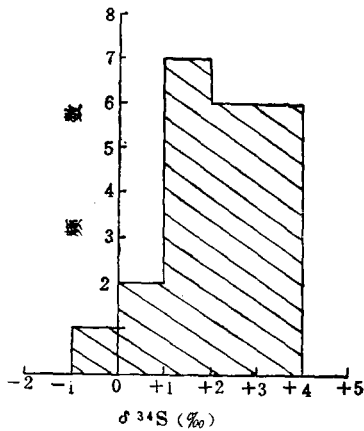


图5 包古图金矿床黄铁矿和辉锑矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值频数直方图

(中国科学院地质研究所八室硫同位素组赵瑞测)

Fig. 5. Histogram of $\delta^{34}\text{S}$ values for pyrite and stibnite from gold deposits in Baogutu area.

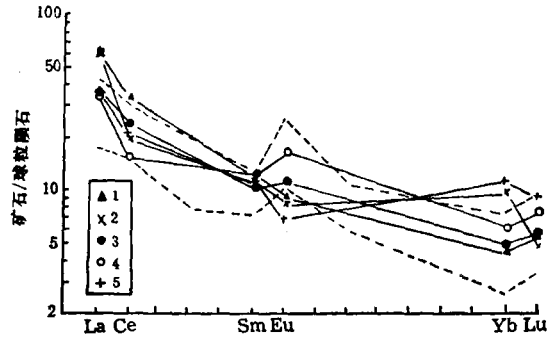


图6 包古图金矿床矿石的球粒陨石标准化REE分配型式

样号：1—08-16；2—08-17；3—82-54；4—82-59；5—16-22；图中两虚线之间为闪长质岩石相应图式的分布范围

Fig. 6. Chondrite-normalized REE patterns of ores from gold deposits in Baogutu area.

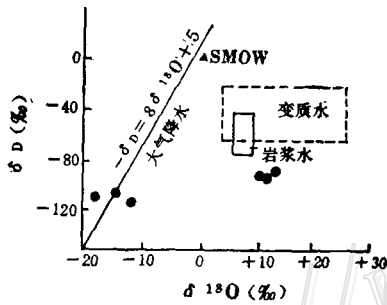


图7 包古图金矿床热液演化图

(石英包裹体水的 $\delta^{18}\text{O}$ 据 Clayton⁽⁷⁾公式换算)

Fig. 7. Hydrothermal evolution of the gold deposits in Baogutu area.

均较高，化学性质活泼，当这种热液沿裂隙贯入渗透时，热液可以不断地从围岩中萃取分散的金，使矿液中金的浓度不断增加。

矿液向上运移到一定标高后，深潜的大气降水及变质水便参与了成矿作用，同时把围岩中的金带入矿液中。石英包裹体水的 $\delta^{18}\text{O}$ - δD 图(图7)表明，成矿热液中岩浆水起主要作用，后期成矿热液逐渐向大气降水为主的方向演化。平均($n = 6$) $\delta^{18}\text{O} = 0.10\text{‰}$ ， $\delta\text{D} = -97\text{‰}$ (分别由地质矿产部矿床地质研究所同位素地质室及北京大学同位素室测定)。

当温度降至350℃左右时黄铁矿和石英开始结晶，形成石英硫化物脉。当温度降至229℃时金的配合物分解，金以自然金、银金矿形式晶出。整个成矿过程处于还原和酸环境。压力相对较高，因而包古图矿床金的成色较相应温度下其它矿床的成色偏高。矿脉的分布明显受裂隙控制，围岩的性质和种类对金的成矿没有专属性。

参 考 文 献

- 1 邵伟, 陈光远, 孙岱生. 黄铁矿热电性研究方法及其在胶东金矿的应用. 现代地质, 1990, 4(1): 46~57
- 2 谢奕汉, 王英兰. 小秦岭含金石英脉中包裹体的热爆曲线特征及其找矿意义. 岩石学报, 1989, 4: 15~21
- 3 陈光远, 邵伟, 孙岱生. 胶东金矿成因矿物学与找矿. 重庆: 重庆出版社, 1989. 137~157
- 4 王灏, 潘兆椿, 翁玲宝. 系统矿物学(上册). 北京: 地质出版社, 1984, 342~352
- 5 Hawley T E, Nichol I. Trace elements in pyrite, pyrohotite and chalcopyrite of different ores. Econ. Geol., 1961, 56(3)

- 6 Taylor S R. Abundances of chemical elements in the continental crust: A new table. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1964, 16(1~3)
- 7 Clayton R N, O'Neil J R, Mayeda T K. Oxygen isotope exchange between quartz and water. *J. Geophys. Res.*, 1972, 77, (17): 3057~3067
- 8 Баранова Н Н, Кольцов А Б. Влияние рудных и летучих компонентов гидротермального раствора на процессы переноса и отложения золота (по результатам изучения флюидных включений), *Геохимия*, 1986, (6): 739~749

CHARACTERISTICS AND GENESIS OF GOLD DEPOSITS IN BAOGUTU, XINJIANG

Qi Jinying

(Institute of Geology, Academia Sinica, Beijing)

Xiong Yida

(No. 701 Geological Party, Xinjiang Nonferrous Geological Exploration Corporation, Changji, Xinjiang)

Abstract

More than 20 gold deposits and occurrences have been discovered in Baogutu area, west Junggar. They are closely related to Hercynian dioritic intrusive groups and vein groups. Ore veins are of quartz vein type and stockwork type, which are in parallel arrangement both laterally and vertically with their distribution strictly controlled by NE-trending fissures. Decrepitation temperatures of inclusions in quartz and pyrite show that mineralization temperatures of native gold are 170~305°C, averaging 222°C. Chemical composition of ore minerals also implies that the mineralization temperature of native gold is low. Thermoelectricity of pyrite is mainly of P type and, next, mixed P and N type. Fluid inclusion composition of minerals indicates a reducing and acid mineralization environment. Hydrogen and oxygen isotopic composition demonstrates that mineralizing fluids are magmatic water and meteoric water.