

甘肃鹰嘴山金矿床地质和成矿地球化学^{*}

毛景文¹ 张作衡¹ 杨建民¹ 张招崇² 王志良¹ 叶得金³

(1 中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

(2 中国地质科学院地质研究所, 北京 3 甘肃省酒泉地质调查队, 酒泉)

提 要: 鹰嘴山金矿床是北祁连山西段新发现的剪切带型金矿床。赋矿围岩为粉砂质板岩、英安质碎裂岩和安山质角砾凝灰岩等, 蚀变以硅化和绢云母化为特征。成矿作用分为原生成矿期和表生氧化-次生富集成矿期。原生成矿期又可以分为微晶石英岩矿化阶段和脉状石英硫化物阶段, 后者为主成矿阶段, 表生成矿期硫化物氧化为硫酸盐类, 金除了包含在硫化物中外, 还以自然金充填石英颗粒之间或石英裂隙。在原生矿化蚀变过程中, 硅质、碱质、CO₂ 和 REE 带入了成矿体系。均一法测温表明成矿主要温度为 320~200℃, 成矿流体含有大量 CO₂, 其氧同位素显示为岩浆水或深部流体为主。

关键词: 脉状金矿床 地质特征 地幔流体成矿 北祁连山 甘肃鹰嘴山

鹰嘴山金矿床位于北祁连山西段的甘肃省安西县, 与寒山大型金矿床直距 15 km^[1]。1995 年地质矿产部甘肃地质勘查开发局酒泉地质调查队在二轮区划工作的基础上, 从构造环境和成矿背景分析确定成矿有利地段, 并以自然重砂中金高点为线索, 沿沟追索, 发现了鹰嘴山金矿。经初步普查评价, 金储量达中型规模。

1 成矿地质背景

在构造位置上, 鹰嘴山矿区位于北祁连加里东褶皱带西端之鹰嘴山向斜的北翼, 区内出露地层为寒武系中统格尔莫沟群火山岩、碎屑岩和碳酸盐岩 (图 1)。该岩群从下至上分 3 个岩性段: 一段分布于北缘, 岩性为粉砂质板岩、硅质岩、结晶灰岩、安山岩夹英安质角砾凝灰熔岩, 厚度大于 342 m; 二段分布于中部, 岩性为凝灰岩、安山质火山角砾岩、安山岩夹板岩, 与一段整合接触, 岩石破碎蚀变强烈, 为赋矿地层, 厚度 89.8 m; 三段分布于南缘, 岩性为粉砂质板岩、硅质岩、凝灰岩夹安山质角砾凝灰熔岩、英安质火山角砾岩、砂岩、结晶灰岩, 与二段整合接触, 厚度大于 389 m。

矿区内地层呈单斜产出, 倾向 195°~205°, 倾角 45°~60°。断裂构造发育, NWW 向断裂走向 270°~290°, 倾向南西, 倾角 50°~70°, 为主断裂, 控制金矿 (化) 体的分布与产出形态。NE 向断裂规模小, 属平移断裂, 断距 10~130 m, 使矿体出现错位。

矿区内岩浆岩比较发育。主要有超基性岩, 岩石类型为蛇纹岩化橄榄岩, 呈岩墙侵入于

^{*} 本文系国家计委科技找矿项目 (JG9471902)、原地质矿产部定向科研项目 (DKJ95-16) 和地质矿产部跨世纪人才基金资助的部分研究成果

毛景文, 男, 1956 年生, 研究员, 长期从事金属矿床地质和地球化学研究。邮政编码: 100037

1998-04-22 收稿, 1998-07-10 修改回

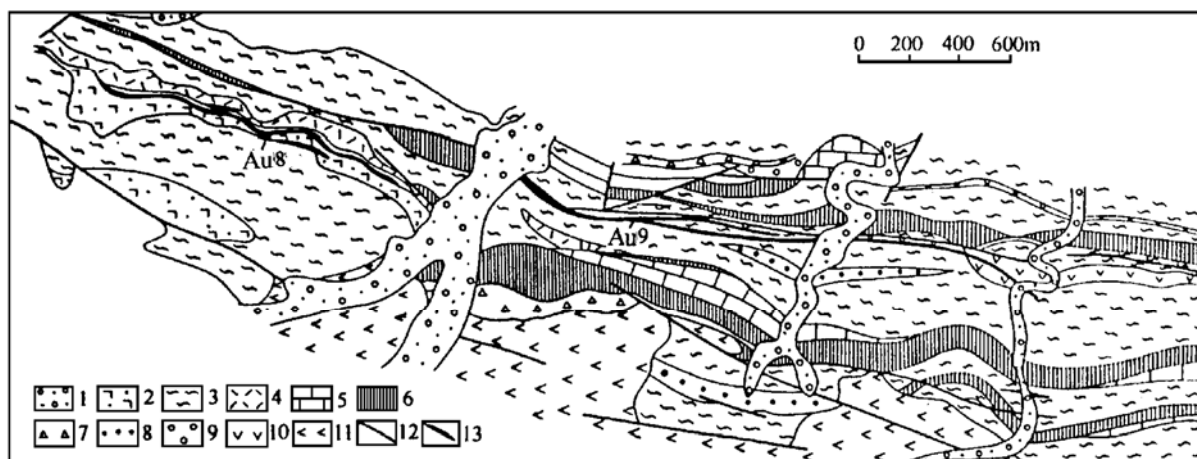


图 1 鹰嘴山金矿区地质图

(据甘肃地质勘查局酒泉地质调查队 1997 资料修编)

- 1—第四系；2—角砾凝灰熔岩；3—板岩；4—凝灰岩；5—灰岩；6—硅质岩；7—英安角砾岩；8—砂岩；9—砾岩；
10—安山岩；11—超基性岩；12—断层；13—含矿构造破碎带

Fig. 1. Diagrammatic geological map of the Yingzuishan gold ore district.

- 1—Quaternary; 2—Brecciated tuffaceous lava; 3—Slate; 4—Tuff; 5—Limestone; 6—Siliceous rock; 7—Dacitic breccia;
8—Sandstone; 9—Conglomerate; 10—Andesite; 11—Ultrabasic rock; 12—Fault; 13—Ore-bearing fractured zone.

矿区南部地层。其次有辉长岩脉、闪长岩脉和花岗岩脉。

2 矿体特征

矿体主要赋存于格尔莫沟群二段中的超基性岩边部的破碎蚀变带中，矿化蚀变带长 5 km，宽约 30 m。矿体围岩为粉砂质板岩、英安质碎裂岩、安山质角砾凝灰岩、安山岩、硅质岩和蛇纹岩。

矿体与顶板围岩粉砂质板岩界线清楚，与底板围岩一般无明显界线，这是由于粉砂质板岩不利成矿热液的流动而起到屏蔽层的作用，而底部围岩为超基性岩，有利于矿液的交代。根据采样分析结果已圈定 11 个矿（化）体。其中工业矿体 4 个，最大矿体 2 个，即 Au8 和 Au9，尤以 Au9 规模最大，长 509 m，宽 3~5 m，平均品位 $Au\ 9.62 \times 10^{-6}$ ^①。矿体形态主要为带状和透镜状，主要由石英脉和微晶石英岩组成，还包含有大小不等的围岩团块、角砾及其交代残留体。矿体倾向 $180^\circ \sim 200^\circ$ ，倾角 $37^\circ \sim 82^\circ$ ，与顶板板岩接触的 1~2 m 范围内金品位较富，并常见明金。

3 矿化和蚀变

鹰嘴山金矿化作用可分为两个期次，即原生成矿期和表生氧化-次生富集成矿期。原生成矿期又可以分为微晶石英岩矿化阶段和脉状石英硫化物阶段。第一阶段是含金富硅热液沿破

① 甘肃地勘局酒泉地调队，1997，甘肃省安西县鹰嘴山金矿普查地质报告

碎带对围岩进行强烈的交代作用，当超基性岩作为主岩时，则形成致密块状石英岩。石英岩宽度几米到十多米，其组成除了 95%~99% 的微晶石英外，还有少量绢云母和黄铁矿。在石英岩边部，可见交代蛇纹岩成凹凸不平的接触界线。该阶段矿化比较弱，金品位 $0.5 \times 10^{-6} \sim 8.64 \times 10^{-6}$ 。金可能以微晶形式被包含在黄铁矿、方铅矿等硫化物中。第二阶段是在微晶交代石英岩矿化阶段之后，出现中粗粒富硫化物石英脉，其金品位一般较高，为 $0.5 \times 10^{-6} \sim 53 \times 10^{-6}$ 。石英脉厚几厘米到几十厘米，主要组成为石英，还有 1%~10% 的长石、绢云母、黝帘石和白云石等。长石类以钾长石为主，表面有一定程度的高岭石化；斜长石很少见，偶见具聚片双晶的钠长石。黝帘石呈短柱状。由于目前揭露得比较浅，地表金属硫化物多数已被氧化，故对金属硫化物矿物种类尚不能全面了解，但无疑黄铁矿是最重要的一种，因为在氧化带中可见黄铁矿假象黄钾铁矾集合体普遍存在。金除了被包含在黄铁矿等硫化物中外，并以可见自然金充填于石英颗粒之间。自然金形态多样，主要为孤岛状、肾状、树枝状和不规则状。粒径 (mm) 一般为 $1.5 \times 0.65 \sim 0.225 \times 0.125$ ，最小 0.03×0.02 ，最大粒径为 2 mm。在石英脉中可见石英及长石等矿物呈花岗结构，部分受挤压和剪切，表现为拉丝构造，即石英和长石形变成扭曲长条或长丝状交生在一起。中粗晶石英脉或硫化物石英脉一般叠加在微晶石英岩之上 (图 2)，偶见一些小脉直接叠加在蛇纹岩上。在某些叠加在蛇纹岩上的石英脉中又可以见到一些新生微晶蛇纹石集合体。

这些蛇纹石的形成说明成矿温度比较低。由于地处干旱—半干旱地区，氧化带的特点与寒山矿床一样，普遍发育黄钾铁矾细网脉，沿后期的裂隙充填，尤其是第二阶段的石英脉两侧，也见直接穿插于微晶石英岩之中。但在鹰嘴山矿区未见象寒山矿区那样广泛发育的石膏脉。在硫化物富集地段，可见具黑色与白色两类物质组成的炉渣状氧化带。X 衍射分析表明，黑色物质主体为胆矾，白色者则为石英。

与成矿有关的围岩蚀变比较简单，有硅化、绢云母化、铁白云石化。正如图 2 所示，两个阶段的矿化，即微晶交代石英岩和硫化物石英脉本身就是重要而特征的交代蚀变和充填之产物，一般出现于矿化活动的中心部位。在微晶交代石英岩与蛇纹岩之间偶见有铁白云石集合体，铁白云石呈自形晶的菱形状，具明显的环带结构。在铁白云石发育处也见镁绿泥石出现。绢云母虽然含量少，但出现的面积比较大，尤其是当板岩和凝灰岩作为矿化主岩时，绢云母相对比较发育。

在矿体中除金外，铅、锌、铜和银均可以利用。其品位分别为 Pb $0.02\% \sim 0.26\%$ ，个别达 4.59%；Zn $0.01\% \sim 0.06\%$ ，个别 0.36%；Cu 小于 0.1%，个别达 1.46%；Ag $6 \times 10^{-6} \sim 12 \times 10^{-6}$ ，个别 0.36%。

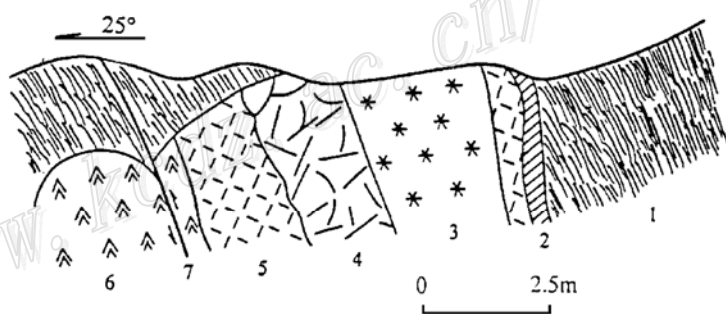


图 2 鹰嘴山金矿剖面图

- 1—板岩；2—红色烘烤带；3—烟灰色蜂窝状含金氧化铁帽；
4—含硫化物石英脉叠加在微晶石英岩上；5—微晶石英岩；
6—蛇纹岩；7—断层

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

- 1—Slate; 2—Red optalic metamorphic zone; 3—Grey tafoni auriferous gossan; 4—Auriferous sulfide quartz veins superimposed on massive quartzite; 5—Auriferous massive quartzite; 6—Serpentinite; 7—Fault.

4 矿化蚀变的地球化学

4.1 主量元素和微量元素

板岩是鹰嘴山矿区一种重要的成矿围岩,显微镜下观察表明矿物以绿泥石、石英和绢云母为主,因而其化学成分相应表现为高铝、富镁和钾(表1),这种成分特点似乎也反映出板岩的原岩为富基性火山物质的沉积岩,矿体边部板岩的明显特征是铁含量增高,TFe($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$)含量最高可达9.85%(YZ13-2),其余仍保留了原岩之特点(表1)。远离矿化带的板岩含金仅 2×10^{-9} ,在矿体附近的板岩含金量升至 $0.052 \times 10^{-6} \sim 0.48 \times 10^{-6}$,即增大了26~240倍,微量元素分析结果显示板岩既富基性元素,也富酸性不相容亲石元素。近矿板岩与远离矿化带的板岩相比,其 SiO_2 含量略有降低,暗示出Si在蚀变过程中为带出物质,这为后期的硅化作用创造了条件。

超基性岩为矿区的另一种重要成矿围岩,但在矿体边侧的蛇纹岩已经全部硅化,仅部分保留蛇纹石集合体的假象,化学分析结果证明其成分主要为 SiO_2 ,Pb含量也达4.59%,Au含量达 8.64×10^{-6} ,Ag含量达 126×10^{-6} ,均已达工业品位(表1),这一分析结果也说明第一阶段矿化Au、Ag等也构成工业矿体。微量元素分析结果表明,尽管超基性岩已经蚀变成了石英岩,但微量元素仍然显示出原岩的性质,例如富Sr等,Co/Ni比值小于1,贫酸性不相容元素Li、Rb、Be和Ga。大部分石英硫化物脉都含有一定量的 K_2O (0.49%~1.21%),说明成矿流体比较富钾。

表1中所分析的含矿石英脉为第二阶段矿化之产物,其组成主要为 SiO_2 。由于有少量的绢云母,所以 K_2O 和 Al_2O_3 的含量相对高一些,氧化铁略有富集可能与石英脉中含黄铁矿和毒砂有关系。微量元素分析表明,这些石英脉,金含量为3.39~5.2 g/t,Cu、Pb、Zn也较其它元素相对富集,并形成矿化。石英脉比板岩和微晶石英岩富有As元素,反映出含砷矿物的存在。

4.2 稀土元素

对鹰嘴山矿区8件样品进行了稀土元素分析。其中3件为板岩和近矿板岩,1件为第一阶段矿石——微晶石英岩,其余均为第二阶段矿石——石英脉或破碎石英脉。测试分析在国家地质测试中心由陈静、曾法刚完成,结果列于表2。

板岩和近矿板岩的稀土元素的总量变化在 $146.34 \times 10^{-6} \sim 202.50 \times 10^{-6}$ 之间,La/Yb比值10.17~17.16,La/Sm比值4.41~7.21, δEu 0.70~0.77,其稀土元素分布曲线总体上显示出缓右倾斜形,铈微弱亏损(图3)。近矿板岩虽然有一定程度的绢云母和较弱碳酸盐化和硅化,但与板岩的稀土元素含量及球粒陨石标准化型式图基本相似,经蚀变后,板岩的HREE或略增加或略降低。板岩的原岩为含火山物质的泥页岩类,其REE较之北美页岩明显总量降低,La/Yb比值类同。微晶石英岩和石英脉为2个阶段矿化之产物,几乎全部由石英组成,所以REE含量仅在 $7.56 \times 10^{-6} \sim 20.42 \times 10^{-6}$ 之间。由于富金石英脉中含有一定量的金属硫化物,而金属硫化物不利于容纳稀土元素,因而其REE总量相对较低,除了YZ13-4外,其余4件样品的 δEu 值在1左右。与板岩相比较,不仅REE总量下降,而且La/Yb比值大,介于12.17~35之间。后者的稀土元素球粒陨石标准化图形(图4)表现为比较明显右倾斜。YZ13-4样品显示出比较强的铈亏损, δEu 为0.48。因此从它们的稀土元素特点可知,存在着

比较大的差别，表明成矿物质并非来自围岩。

表 1 鹰嘴山矿(岩)石化学分析资料(%)

Table 1. Bulk and trace element analyses of the ores and related rocks in the Yingzuishan gold deposit

样品编号	YZ11-1	YZ11-2	Y11-5	YZ13-2	YZ13-3	YZ7-1
矿(岩)石类型	板岩	近矿板岩	微晶石英岩	近矿板岩	含矿石英脉	含矿石英脉
SiO ₂	60.91	60.76	87.30	57.66	97.62	91.93
TiO ₂	0.83	0.72	0.09	0.82	0.06	0.12
Al ₂ O ₃	15.02	14.23	1.92	14.70	0.95	2.34
Fe ₂ O ₃	2.23	7.64 (T)	1.91 (T)	8.25	0.43	1.94
FeO	5.91	—	—	1.60	0.52	0.56
MnO	0.13	0.37	0.04	0.06	0.06	0.04
MgO	4.44	4.03	0.44	3.70	<0.01	0.41
CaO	0.39	0.53	0.08	0.31	0.11	0.34
Na ₂ O	1.06	0.62	0.11	0.58	0.17	0.26
K ₂ O	4.13	2.70	<0.20	5.56	0.49	1.12
P ₂ O ₅	0.17	0.43	<0.10	0.25	0.03	0.13
H ₂ O ⁺	4.06	—	—	5.10	0.28	0.90
CO ₂	0.47	—	—	0.09	0.09	0.19
S	0.03	0.03	0.62	0.43	0.08	0.21
烧失量	—	5.40	3.22	—	—	—
Cu	—	2.41	—	—	—	—
Pb	—	—	4.59	—	—	—
合计	99.95	99.87	100.62	99.11	100.90	100.52
微量元素/10 ⁻⁶						
Ba	251.7	274.40	142.20	470.20	89.72	209.10
Be	1.40	2.36	<1.00	1.09	<1.00	<1.00
Co	21.50	98.94	3.69	2.65	<1.00	2.13
Cr	131.30	136.40	34.12	135.50	27.53	36.08
Cu	66.57	—	167.30	269.00	52.86	268.00
Ga	13.02	11.72	<5.00	23.86	<5.00	8.14
Li	29.14	34.27	2.89	39.56	<0.30	6.74
Ni	64.82	101.00	7.03	16.07	<4.00	<4.00
Pb	30.70	182.50	—	157.40	746.20	770.70
Sr	33.09	56.47	185.10	185.70	33.89	97.44
Th	6.36	6.38	<3.00	5.38	<3.00	<3.00
V	147.50	70.16	21.20	205.70	10.80	35.66
Zn	103.00	2519.00	168.90	190.50	19.45	310.50
Zr	162	148	37	156	—	—
Hf	<10	31	<0	<10	—	—
Ta	<10	218	39	<10	—	—
Rb	172	162	<2	238	—	—
Au	0.002	0.052	8.64	0.48	5.20	3.39
Ag	0.059	0.005	126.00	0.29	12.60	7.81
As	—	—	—	—	104.90	98.00

注：T—全铁；“—”为未分析

表 2 鹰嘴山金矿床岩(矿)石稀土元素分析数据(10⁻⁶)

Table 2. REE analyses of the ores and related rocks in the Yingzuishan gold deposit (10⁻⁶)

样品编号	YZ11-1	YZ11-2	YZ11-3	YZ11-5	YZ13-2	YZ13-3	YZ13-4
样品名称	板岩	近矿板岩	破碎石英脉	微晶石英岩	近矿板岩	含金石英脉	破碎石英脉
La	40.07	39.06	3.85	6.30	35.53	2.05	2.80
Ce	68.72	73.37	6.09	8.57	60.47	3.15	3.48
Pr	6.87	7.82	0.76	0.80	6.39	0.35	0.36
Nd	27.67	35.32	1.89	2.50	24.33	1.17	1.71
Sm	5.56	8.86	0.22	0.52	5.09	0.29	0.33
Eu	1.16	2.27	0.10	0.14	1.01	0.06	0.05
Gd	5.52	11.72	0.13	0.39	3.32	0.13	0.28
Tb	0.81	1.81	0.02	0.07	0.53	0.02	0.05
Dy	4.47	9.93	0.15	0.50	3.66	0.14	0.34
Ho	0.98	1.96	0.02	0.09	0.78	0.03	0.07
Er	2.90	5.40	0.06	0.24	2.54	0.07	0.21
Tm	0.38	0.72	0.01	0.03	0.32	0.01	0.03
Yb	2.35	3.84	0.11	0.23	2.07	0.08	0.23
Lu	0.28	0.42	0.02	0.04	0.30	0.01	0.04
合计	167.74	202.50	13.43	20.42	146.34	7.56	9.98
LREE/HREE	8.48	4.66	24.68	11.81	9.82	14.47	6.97
La/Yb	17.05	10.17	35	27.39	17.16	26.62	12.17
La/Sm	7.21	4.41	17.50	12.12	6.98	7.07	8.48
δEu	0.70	0.76	1.68	0.99	0.77	0.95	0.48

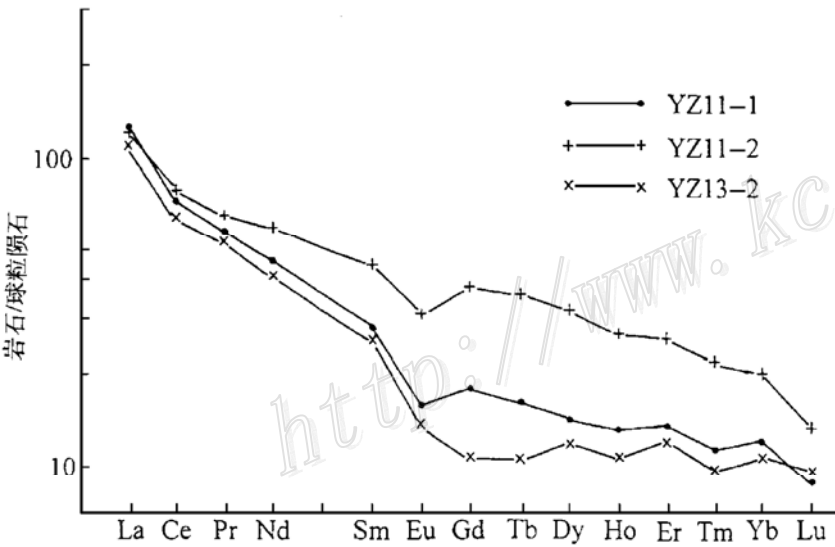


图 3 鹰嘴山金矿床寒武系板岩和蚀变板岩的稀土元素分布型式
图中样品编号同表 2

Fig. 3. Chondrite-normalized REE patterns of Cambrian slate and altered slate in the Yingzuishan gold deposit.
Serial number of samples as for Table 2.

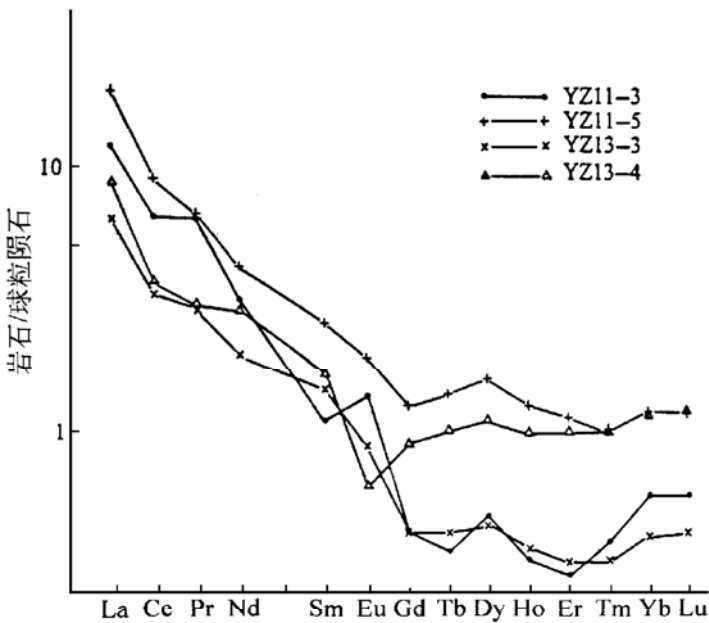


图 4 鹰嘴山金矿两类矿石的稀土元素分布型式
图中样品编号同表 2

Fig. 4. Chondrite-normalized REE patterns of two types of ores from the Yingzuishan gold deposit.
Serial number of samples as for Table 2.

5 流体包裹体

正如大多数剪切带型金矿床一样，鹰嘴山金矿流体包裹体不十分发育。原生成矿期第一阶段的微晶石英岩型矿石由于石英晶体极细，无法观察到包裹体。第二阶段富硫化物石英网脉中包裹体个体较小(2~10 μm)，形态不很规则。该矿床中包裹体类型有气相、液相、气液相和含液相 CO₂ 相，但最发育的为气液相包裹体。

通过对 56 件样品的流体包裹体测温度和盐度，获得成矿温度范围 358~170℃，其中主要的成矿温度范围为 320~200℃(未经压力校正)，成矿温度直方图呈正态分布(图 5)。盐度范围为 3.8%~9.3%NaCl，主要范围为 4.5%~7.0%NaCl。温度与盐度之间不存在线性关系，与温度相比，盐度在整个成矿过程中相对比较稳定。

利用激光拉曼光谱法对两件石英中包裹体气相和液相分别进行测定，结果证明无论是气相还是液相中 CO₂ 和 H₂O 含量均最高，其次为 CH₄ (表 3)。

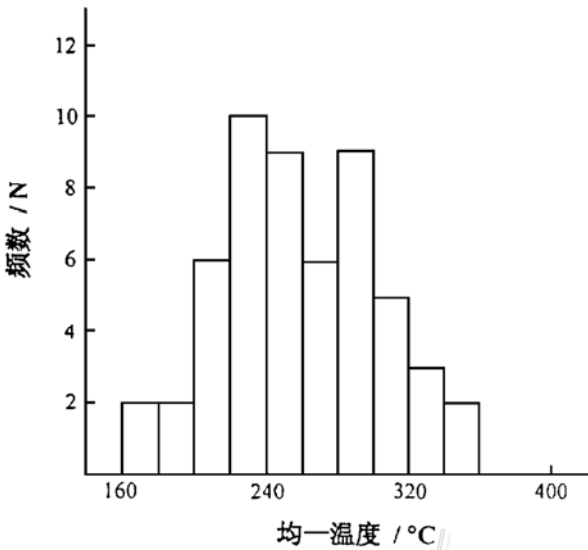


图 5 鹰嘴山金矿成矿均一温度直方图
Fig. 5. Histogram of homogenization temperatures measured from quartz in auriferous sulfide quartz veins of the Yingzuishan gold deposit.

表 3 鹰嘴山金矿流体包裹体气相、液相成分分析结果

Table 3. Analyses of gaseous and liquid inclusions in the Yingzuishan gold deposit

样 号	气相 / % ^①						液相 / %				盐水溶液 / (mol/L)		
	CO ₂	N ₂	H ₂ S	CH ₄	H ₂ O	H ₂	H ₂ O	CO ₂	H ₂ S	CH ₄	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
YZS2-1	71.2	8.8	7.0	10.8		2.2	29.6	45.4	15.1	9.9	0.35		0.25
YZS2-2	63.7				22.9	13.4	50.1	42.9		7.0	0.25	0.16	

①摩尔数的相对百分含量，mol/L 单位体积中的摩尔数；由中国地质科学院西安地质矿产研究所王志海测试

6 氧同位素

本研究对鹰嘴山矿区 12 件石英样品进行了氧同位素测定，结果列于表 4。其 δ¹⁸O 值变化范围为 10.7‰~15.0‰，平均值为 13.1‰。在计算成矿流体的 δ¹⁸O_{H₂O} 值时，尽量使用了同一样品测定的 δ¹⁸O 值与实际测温数据。对于缺少测温数据的样品，使用了取样位置相近的一组测温数据与之相配合，利用 1000 lnα_{水-石英} = 3.38 × 10⁶ T⁻² - 3.4^[10] 分馏公式进行计算，结果也一并列入表 4。从表 4 中可以看出，流体的 δ¹⁸O 值域为 3.6‰~7.4‰，平均 5.2‰。按照 Shepard 的定义^[11]，即岩浆水的同位素组成为：δ¹⁸O 值 = 5.5‰~9.5‰，δD = -40‰~-80‰，形成鹰嘴山金矿的成矿流体基本上是岩浆水或深部流体与一些大气降水的混合。

表 4 鹰嘴山金矿床氧同位素组成

Table 4. Oxygen isotope data of the Yingzuishan gold deposit

样品编号	测试矿物	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$	样品编号	测试矿物	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$
YZ7-1	石英	13.0	5.1	YZ13-5	石英	12.9	5.8
YZ9-2	石英	12.7	4.8	YZS2-1	石英	13.2	4.2
YZ11-3	石英	12.7	4.2	YZS2-2	石英	12.9	3.9
YZ11-4	石英	14.2	5.7	YZS2-3	石英	13.3	5.7
YZ13-3	石英	13.4	6.3	YZS3-8	石英	15	7.4
YZ13-4	石英	10.7	3.6	YZS-11	石英	13.6	6.0

注：由地质矿产部矿床地质研究所白瑞梅测试

7 讨论和结论

7.1 超基性岩与金矿床

在鹰嘴山矿区内，目前所探明的主矿体位于加里东期超基性岩体的接触带，因而在当地勘探的地质工作者厘定其为与超基性岩有关的矿床类型，并力图从超基性岩的生成演化方面探讨金矿的成因。但从整个矿区的金矿体分布来看，金矿化不仅出现在超基性岩中，还出现在板岩、角砾凝灰熔岩和凝灰岩中。对成矿起主导作用的是断裂或破碎带，超基性岩由于其本身的可交代性，因而使其矿化和蚀变都比较发育。

尽管在地球中金的分布特点是地壳、地幔和地核分别为 0.004×10^{-6} 、 0.005×10^{-6} 、 2.6×10^{-6} ^[2]，但很少见与超基性岩有成因关系的金矿床，即使在 Robert 的最新金矿床分类方案中也未提及此类矿床^[12]。在我国，偶尔见有与超基性岩有关金矿床的报道和研究，例如云南哀牢山墨江金厂^[3]和冀北小张家口^[4]金矿。但是，他们与鹰嘴山矿床类同，超基性岩只是金矿化的一种围岩。在墨江金厂金矿床中，金矿化发育于蛇绿岩套的超基性岩中，但更多赋存于其它岩石，如石炭系中下部深灰色薄层—中厚层硅质岩和变余粉砂岩中，控制金矿体的构造为金厂背斜西部倒转翼及 NW 和 EW 走向断裂^[5]。

在国际上，Rock 等提出煌斑岩与金矿床的密切联系曾受到广泛关注^[13]，在我国也一度引起不小的研究热潮。这一成因模型认为通过地幔柱交代地幔，再由煌斑岩浆将金带入浅部地壳成矿。经过 80 年代末和 90 年代初的广泛学术讨论，目前越来越多学者认为煌斑岩成金的理论模型无法解释一些明显事实，例如煌斑岩脉可以出现在诸多构造环境中，在部分金矿区也见有煌斑岩脉，但很少发现金矿与煌斑岩脉的直接关系。

7.2 深部流体与成矿

作为脉状金矿床，其形成受赋存空间——断裂破碎带的制约，是含矿流体直接沉淀或交代沉淀的产物。如前所述，地核和地幔中含金丰度比较高，但又很难通过基性-超基性岩和煌斑岩作为载体到浅部成矿，那么流体或气体很可能是运载深部金成矿的一种重要途径。

金成矿的环境比较多，但目前越来越多的研究表明成矿流体来自深部。卡林型金矿曾被认为是同生沉积的典型，现代研究表明成矿流体来自深部，抑或隐伏岩浆房抑或地幔本身。这些成矿流体沿断裂向浅部运移，在合适的构造部位交代沉淀成矿，赋矿围岩可以是碳酸盐岩也可以是碎屑岩。地质学家已对浅成低温热液金铜矿床和碲化物型金矿床与岛弧岩浆带关系

进行了翔实研究^[14]，金的成矿作用与深源花岗岩或地幔脱气之间关系已经一再被证实。最近几年，四川大水沟碲金矿床^[6]和湖南万古金矿床研究^[12]表明，成矿与地幔流体活动有着密切关系。目前众多研究表明，大陆边部剪切带和大陆内部深大断裂旁侧的剪切带往往是地幔流体活动和成矿的重要场所。

在鹰嘴山金矿区，控制成矿作用的重要因素仍然是 NWW 向剪切断裂带。尽管尚未测定其具体成矿年代，但可以类比相距 15 km 的寒山金矿床^[1]，也就是说可能为印支期成矿。无论成矿围岩是超基性岩还是碎屑岩和中酸性火山碎屑岩，大量的硅化、石英绢云母化、碳酸盐化以及它们的 REE 分析结果均显示出部分成矿物质和流体异地来源信息。矿石中石英氧同位素计算值显示出成矿流体主要来自岩浆或深部。尽管均一化测温结果揭示成矿发生于 320~200℃，但流体包裹体成分以 CO₂ 和 H₂O 为主，基本揭示有地幔流体参与成矿的特点。正如孙丰月^[8]和杜乐天^[9]所强调，C—H—O 组合为地幔流体成矿的一种指示。氧同位素资料也表明成矿流体为深源流体与少量地表大气降水的混合。

参 考 文 献

- 1 毛景文，杨建民，张招崇等．甘肃寒山剪切带型金矿床地质、地球化学和成因．矿床地质，1998，17（1）：1~13.
- 2 刘英俊，曹励明．元素地球化学导论．北京：地质出版社，1987.
- 3 张海涛．超基性岩蚀变热液型金矿床．云南地质，1984，3（4）：311~325.
- 4 彭岚，马配学，金光惠等．冀北超基性岩区金矿床地质特征及找矿方向．北京：地质出版社，1992，1~66.
- 5 杨岳清．老王寨、库独木金矿床和金厂金矿床．见刘增乾、李光振、叶庆同等著：三江地区构造岩浆带的划分与矿产分布规律．北京：地质出版社，1993，118~126.
- 6 陈毓川，毛景文，骆耀南等．四川大水沟碲（金）矿床地质和地球化学．北京：原子能出版社，1996，50~106.
- 7 毛景文，李延河，李红艳等．湖南万古金矿床地幔流体成矿的氢同位素证据．地质论评，1997，43：647~649.
- 8 孙丰月，石准立，冯本智．胶东金矿地质及幔源 C—H—O 流体分异成岩成矿．长春：吉林人民出版社，1995，1~170.
- 9 杜乐天．烃碱流体地球化学原理——重论热液作用和岩浆作用．北京：科学出版社，1996，231~430.
- 10 Clayton R N, O'Neil J R, Mayeda T K. Oxygen isotope exchange between quartz and water. Jour. Geophys. Res., 1972, 77: 3057~3067.
- 11 Sheppard S M F. Characterization and isotopic variations in natural water. Rev. Mineral., 1986, 16: 165~183.
- 12 Robert F, Poulsen K H, Dube B. Gold deposits and their geological classification. 1998 (in press).
- 13 Rock N M S, Groves D I. Can lamprophyres resolve the genetic controversy over mesothermal gold deposits? Geology, 1988, 16: 538~541.
- 14 Sillitoe R H. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region. Australian Journal of Earth Sciences, 1997, 44: 373~388.

GEOLOGY AND METALLOGENIC GEOCHEMISTRY OF THE YINGZUISHAN GOLD DEPOSIT, GANSU PROVINCE

Mao Jingwen¹, Zhang Zuoheng¹, Yang Jianmin¹, Zhang Zhaochong²

Wang Zhiliang¹ and Ye Dejin³

(1 *Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037*)

(2 *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037*)

(3 *Jiuquan Geological Survey, Bureau of Geology and Exploration of Gansu Province, Jiuquan 735009*)

Key words: Yingzuishan vein gold deposit, geology, mantle-derived mineralization fluid, North Qilianshan, Gansu Province

Abstract

The Yingzuishan deposit, a gold deposit recently discovered in the western part of North Qilianshan Caledonian orogenic belt, is 15 km away from the Hanshan large-size gold deposit. The strata in the mine are composed of volcanic, clastic and carbonate rocks of Middle Cambrian Ge'ermogou Group.

The host rock for the gold mineralization mainly comprises silty slate, dacitic cataclastic breccia and andesitic tuffbreccia. Totally 11 orebodies have so far been found, of which the largest one is about 509 m long and 3 to 5 m wide with an average grades of 9.62×10^{-6} . The orebodies extend 180° to 200° and dip 37° to 82° . Silicification, sericitization and ferrodolomitization are developed in the mine.

Mineralization in the Yingzuishan gold deposit displays two episodes, i. e., endogenetic and exogenetic episodes. The endogenetic episode comprises two stages of mineralization. Stage I mineralization comprises dense massive quartzite formed through replacement of ultrabasic rocks by auriferous hydrothermal solution. Stage II mineralization, the principal gold mineralization stage characterized by small auriferous sulfide quartz veins, is commonly superimposed upon stage I mineralization. Geochemical studies of the ores and altered rock reveal that silicon, alkaline components, CO_2 and LREE were brought into the metallogenic system during mineralization and alteration.

Homogenization temperature of stage II mineralization range from 320°C to 200°C . Raman laser spectrum analysis of single inclusions shows the existence of abundant CO_2 in the fluid. Oxygen isotope data suggest that the ore-forming hydrothermal solution responsible for the gold deposit was mainly derived from the magma of the mantle.