

内蒙古哈达庙金矿床地质 特征及矿床成因探讨

聂凤军 张洪涛 孙浩 樊建廷

(中国地质科学院矿床地质研究所) (内蒙古地矿局103地质队)

内容提要: 内蒙古哈达庙金矿床位于天山—内蒙海西晚期褶皱带镶黄旗复向斜内。金矿化主要分布在燕山期花岗岩与石英闪长岩接触带以及邻近的火山角砾岩脉群内,矿体主要由含金石英脉和含金石英—电气石脉组成,金矿石品位较高。围岩蚀变自含金矿脉向外分别为硅化、电气石化、钾化、绿帘石化和碳酸盐化,金矿化同硅化和电气石化有关。硫、碳、氧和氢同位素数据以及黄铁矿痕量元素分析表明:同斑岩体有关的金矿化和在火山角砾岩脉群中产出的金矿化是同源不同演化阶段的产物,高 f_{O_2} 和低pH值的物理化学环境是金沉淀富集的重要控制因素,矿床成因类型属斑岩型中温热液矿床。

主题词: 火山角砾岩 围岩蚀变 花岗岩 电气石化 金矿床 哈达庙

内蒙古哈达庙金矿床是近年来发现并进行开采的一处新矿床。该矿床不仅金矿石品位高、易采选,而且成矿地质条件较为独特。因此,对其成因进行探讨,将有益于华北地台北缘地槽区内金矿的普查工作。

一、区域地质背景

研究区位于天山—内蒙海西晚期褶皱带川井—化德深大断裂(许多文献又称42°断裂)北侧的镶黄旗复向斜内。区内除了大面积分布的第四系砂砾层和粘土外,出露较广的还有下二叠统呼格特组沉积岩系和上侏罗统三道河组中酸性火山喷发岩(图1)。

区内主要构造为近东西向分布的哈达庙张性裂隙带和北东向伊恨乌苏逆断层。两组构造在伊恨乌苏相交构成一个“三角形”区。哈达庙含金斑岩体和含金火山角砾岩脉群以及其它有金矿化显示的镁铁质和长英质岩脉(株)均产出在“三角区”的石英闪长岩内。哈达庙裂隙带主要由一系列呈折线状断续分布的长英质岩脉组成,从东向西,脉岩群总体走向由东西向偏转为北西向,并且有在伊恨乌苏处与北东向逆断层汇合之趋势。伊恨乌苏逆断层的地表出露长度约15km,向南倾,倾角60°—70°。需要提及的是:本区的区域构造和控矿裂隙带主要受矿区南部川井—化德深大断裂(内蒙地轴和海西地槽分界线)控制,同时亦遭受到燕山期北东向和北北东向断裂、褶皱构造活动影响,所以区内许多构造形迹均兼有北东、北北东和东西向构造特征。在上述几组构造叠加复合部位往往是岩浆活动和金矿化富集的有利场所。

区内岩浆岩分布较广,约占全区岩石出露面积的54%。依据各岩体的侵入接触关系,主要岩浆岩形成的先后顺序为黑云母花岗岩、闪长玢岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗斑岩、火

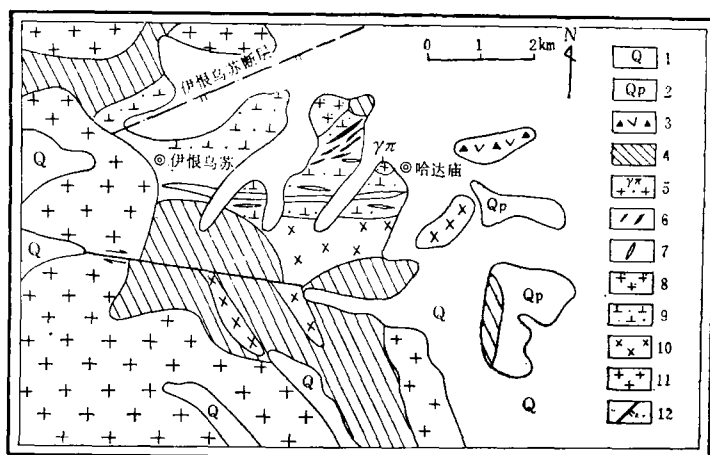


图1 内蒙古哈达庙金矿床区域地质略图

1—第四系粘土；2—第四系砂砾；3—上侏罗统三道河组；4—下二叠统呼格特组；5—哈达庙含金花岗斑岩；6—火山角砾岩脉；7—长英质岩脉；8—花岗岩闪长岩；9—石英闪长岩；10—闪长玢岩；11—黑云母花岗岩；12—断层
Fig. 1. Schematic regional geological map of the Hadamiao gold deposit, Inner Mongolia.

1—Quaternary clay; 2—Quaternary sand and gravel; 3—Upper Jurassic Sandaohe Formation; 4—Lower Permian Hugote Formation; 5—Hadamiao gold-bearing granite porphyry; 6—Volcanic breccia dyke; 7—Fe-Isic dyke; 8—Granodiorite; 9—Quartz diorite; 10—Diorite porphyry; 11—Biotite granite; 12—Fault.

山角砾岩脉群及其伴生的闪长玢岩和流纹岩脉。与金矿化有密切关系的主要岩石有以下几种：

石英闪长岩：为本区最重要的金矿床围岩。岩体分别侵位于下二叠统呼格特组沉积岩、黑云母花岗岩和闪长玢岩体内，出露面积约为15km²，成岩时间为 182 ± 2.6 Ma（钾-氩法，据内蒙103队资料）。岩石主要由斜长石（ $An=35-42$ ）、石英、条纹长石（ $Or_{84}Ab_{16}$ ）、普通角闪石和镁铁黑云母组成，副矿物有磁铁矿、榍石、磷灰石和锆石。岩性比较均一，岩相分带不甚明显。该岩体化学成分（6件全岩样品平均值） SiO_2 为60.26%， K_2O+Na_2O 为5.65%， K_2O/Na_2O 比值为0.69，属正常钙碱性岩石系列。

哈达庙含金斑岩体：研究区内花岗斑岩体分布广泛，其中经济意义较大的为哈达庙斑岩体。含金斑岩体呈岩株状自西向东侵位于石英闪长岩内，岩体南北两侧向外陡倾（倾角在 $50^\circ-70^\circ$ ），向东平缓超覆，（倾角为 $15^\circ-30^\circ$ ），平面上为一不规则椭圆状，出露面积约3200m²（图2）。含金花岗斑岩呈灰白色—浅肉红色，块状构造，多斑和聚斑状结构。斑晶由斜长石（ $An=15-10$ ）、条纹正长石（ $Or_{87}Ab_{13}$ ）、石英和黑云母组成，基质主要由钾长石、钠长石和黑云母组成，呈显微花岗结构。斑晶：基质一般为2:3—1:1。副矿物有磷灰石、磁铁矿、黄铁矿、榍石和锆石等。需要指出的是，该斑岩体热液蚀变极为强烈，部分斜长石斑晶全部为绢云母和泥质斑点所取代，仅保留斜长石晶体假象，钾长石对斜长石、绿泥石对黑云母的交代蚀变现象也极为常见，此外，石英斑晶的熔蚀结构和基质石英的次生加大特征亦十分明显。该斑岩体的化学成分（5件样品平均值： SiO_2 为71.92%， K_2O+Na_2O 为6.74%， K_2O/Na_2O 比值为1.0，属正常钙碱性岩石系列。

火山角砾岩脉群：分布在哈达庙含金斑岩体北侧约0.5km处，角砾岩脉群由33条长度不等和规模不同的角砾岩脉或岩墙组成，出露面积约0.32km²。从火山角砾岩脉群中心部位向

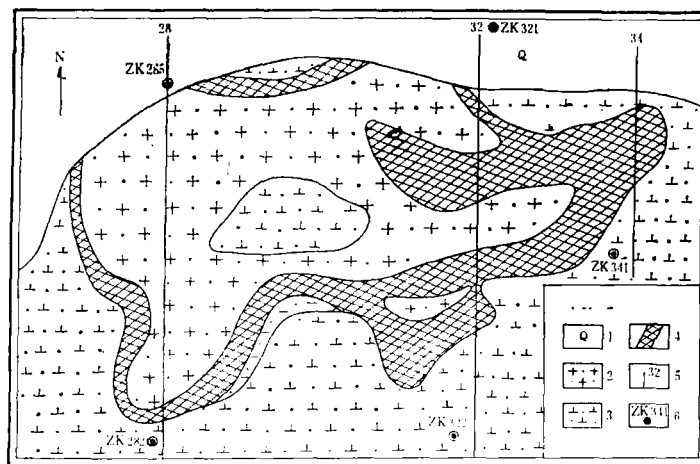


图2 哈达庙斑岩金矿床地质示意图

1—第四系；2—花岗斑岩；3—石英闪长岩；4—金矿体；5—勘探线；6—钻孔

Fig. 2. Diagrammatic geological map of the Hadamiao porphyry gold deposit.

1—Quaternary; 2—Granite porphyry; 3—Quartz diorite; 4—Orebody; 5—Exploration line; 6—Drill hole.

外，依次可划分为火山角砾岩脉群、震碎石英闪长岩和电气石化裂隙带。金矿化主要分布于火山角砾岩脉群内（图3）。

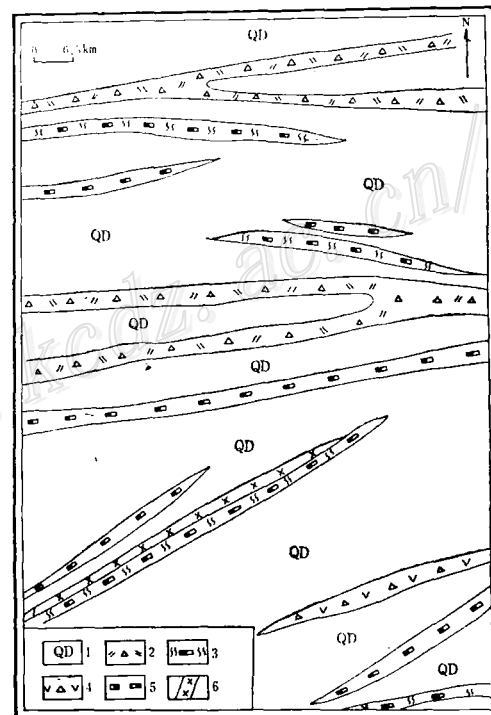
火山角砾岩多呈灰—灰黑色，碎屑结构，角砾状构造。角砾为浑圆状、次棱角状和棱角状花岗闪长岩或花岗岩碎屑呈杂乱无章分布，砾径多为0.5—2cm。胶结物一般为长石、石英、绢云母和电气石或岩浆岩碎屑，由于胶结物大都受到强烈硅化和电气石化影响，岩石显得致密坚硬。

图3 含金火山角砾岩墙分布示意图

1—石英闪长岩；2—含金火山角砾岩墙；3—石英—电气石脉；4—火山角砾岩墙；5—电气石化裂隙脉；6—闪长玢岩脉

Fig. 3 Schematic geological map showing the distribution of gold-bearing volcanic breccia dykes.

1—Quartz diorite; 2—Gold-bearing volcanic breccia dyke; 3—Quartz-tourmaline vein; 4—Volcanic breccia dyke; 5—Tourmaline veins; 6—Diorite porphyrite vein.



对哈达庙地区石英闪长岩、花岗闪长岩和花岗斑岩中副矿物磷灰石测定的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值分别为 0.7085 ± 0.00011 、 0.7088 ± 0.00012 和 0.708 ± 0.00010 ^①。石英闪长岩、花岗斑岩和

① 聂凤军、张洪涛, 1988, 内蒙古哈达庙火山角砾岩脉群含矿性研究

火山角砾岩脉群中石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值分别为8.8‰（2件样品平均）、8.9‰（3件样品平均）和7.9‰^①（2件样品平均）。上述测试数据表明各地质体的锆氧同位素组成基本一致，这暗示了它们在成因和成岩物质来源上的密切关系。

二、矿化特征

哈达庙地区的金矿化主要产出在花岗斑岩体内部或斑岩体与石英闪长岩接触带上，以及火山角砾岩脉群的石英、电气石脉中，并以前者为主。

（一）矿体的空间展布形态

1. 斑岩型金矿体：除少部分金矿体在斑岩体内部呈细脉浸染状产出外，大部分金矿体赋存在斑岩体与石英闪长岩接触带上，其中又以斑岩体向东超覆端接触带上的矿体最厚，品位最高。金矿化强度与石英-电气石脉、石英-黄铜矿-黄铁矿脉的发育程度有关。矿体的形态主要受围岩接触带控制，接触带上由地表向深处金矿体的厚度变薄、品位降低。单个矿体形态为脉状、透镜体或扁豆状，其分合、膨胀、尖灭和拐弯现象较为普遍，伴随这些现象金矿体的厚度和品位均具不同程度的变化。

2. 火山角砾岩脉型金矿化：在所研究的33条火山角砾岩脉中，仅有4条岩脉金含量较高。钻孔资料表明：金矿化带走向为北东-北北东，倾向南或南东，具有经济意义的矿段约占整个矿化带面积的1/15，矿体垂向延伸尚未完全控制。金矿体一般呈脉状或透镜体状分布，分合、膨胀和尖灭现象尤为突出。矿化与硅化、电气石化、黄铁矿化和绿帘石化发育程度密切相关，矿石品位变化极大，相邻两个样品的金含量可相差数十倍。矿石品位和矿体厚度之间不存在相关关系。

（二）矿石物质组分和金的赋存状态

表1 含金石英脉不同矿石类型化学成分（质量%）
Table 1 Chemical composition of different ore types of gold-bearing quartz veins (in mass percentage)

样品号	矿石类型	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
哈8501	黄铜矿型	75.24	2.72	0.16	5.43	3.72	1.25	0.15	0.42	0.65	1.40	0.06
哈8743	多金属型	69.32	8.40	0.30	3.24	1.73	0.82	0.06	2.41	2.12	3.12	0.01
哈8741	角砾岩型	70.21	12.61	0.58	2.47	1.76	2.25	0.03	0.64	1.95	0.47	0.15
哈8767	氧化矿石	88.01	0.57	0.04	6.41	1.02	0.06	0.03	1.34	0.03	0.24	0.01
样品号	矿石类型	H ₂ O	CO ₂	Cu	Pb	Zn	W	Mo	Te	As	S	总和
哈8501	黄铜矿型	1.44	0.46	0.21	0.03	0.05	0.002	0.001	0.001	0.003	6.2	99.59
哈8743	多金属型	2.42	2.72	0.04	0.02	0.02		0.003	0.001	0.009	3.20	99.96
哈8741	角砾岩型	1.46	3.26	0.102	0.04	0.06	0.002	0.007	0.003	0.004	2.40	100.45
哈8767	氧化矿石	0.28	0.32	0.30	0.02	0.01	0.003	0.004		0.004	0.4	99.10

（哈8501由内蒙古地矿局中心实验室分析，其余由中国地质科学院岩矿测试所分析）

① 中国科学院地球化学研究所测定

1. 哈达庙金矿床矿石组分较为简单,除自然金和银金矿外,伴生的金属矿物主要有黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿、磁铁矿、赤铁矿、白钨矿、褐铁矿、孔雀石和铜蓝等。脉石矿物有石英、长石、电气石、黑云母和方解石,热液蚀变矿物为绢云母、绿泥石、绿帘石、纤闪石和高岭石等。依据矿石的形成条件和产状,可将矿石划分为黄铜矿型、多金属型、角砾岩型和氧化型矿石,以上四种类型矿石化学分析结果列于表1。

自然金和银金矿呈不规则粒状、树枝状、片状、蠕虫状和薄膜状分布,粒径大者可达2mm,一般在0.01—0.05mm之间。自然金可在黄铜矿晶体内呈乳滴状和等轴粒状包裹体存在、亦可沿黄铁矿晶体细微裂隙呈脉分布。自然金成色较高,一般为865—999。黄铜矿呈半自形—他形粒状和片状,可见聚片双晶,并与黄铁矿、斑铜矿密切共生,局部被赤铁矿或磁铁矿包裹。黄铜矿中金含量较高,是重要的赋金矿物(表2)。

表2 自然金、银金矿和黄铜矿电子探针分析结果(质量%)

Table 2. Electron microprobe analyses of native gold electrum and chalcopyrite (in mass percentage)

样品号	矿物名称	Au	Ag	Cu	Fe	S	总和
哈8501	银金矿	74.82	24.86		0.24		9.992
哈8502	银金矿	67.54	31.55		0.41	0.03	99.53
哈8703	黄铜矿	0.04		34.79	29.84	35.04	99.71
哈8704	自然金	85.92	13.42	0.13	0.06	0.06	99.59
哈8705	自然金	91.99	6.26		0.02	0.06	98.33
哈8706	自然金	99.76			0.21	0.014	99.98

分析者: 中国地质科学院矿床地质研究所陈克樵

2. 矿石结构构造: 矿石一般为浸染状、细脉浸染状构造,其次为叶片状,蜂窝状和角砾状构造。矿石结构以他形—半自形粒状为主,尚有包含结构、交代残余结构、胶状结构和镶边结构等。

(三) 矿化期次划分 哈达庙地区的金矿化与该区多期次岩浆侵入活动有关,尤其同岩浆演化晚期的花岗斑岩和火山角砾岩脉群有密切的成因联系。根据矿脉的相互穿插关系、矿物共生组合和成矿围岩类型,笔者将哈达庙金矿床的形成过程分为气成热液期、热液期和表生期。

1. 气成热液期: 该成矿期以形成大量石英和电气石为特征,钾长石、钠长石和磁铁矿亦分布广泛,金矿化较弱,局部见有黄铁矿、含金黄铜矿和自然金颗粒。该期形成的矿物组合仅局限在斑岩体内部。石英气液包裹体的均一温度为380—430℃(5件测温样品),平均值400℃。围岩蚀变以硅化、电气石化和绢云母化为主(表3)

2. 热液期: 该成矿期又可分为早、中、晚三个成矿阶段。早阶段为石英—硫化物阶段,以形成大量石英、钾长石、电气石和磁铁矿为特征,伴生有黄铁矿和黄铜矿以及少量自然金和白钨矿,构成黄铜矿型金矿石。石英气液包裹体的均一温度为350—290℃(5件测温样品统计),平均值为310℃。热液蚀变以绢云母化、黄铁矿化、硅化、钾化和电气石化为主。中阶段为多金属硫化物阶段,并且形成多金属型金矿石。矿石矿物组合为黄铜矿、黄铁矿、斑铜

矿、自然金、银金矿和白钨矿。脉石矿物为石英、电气石、钾长石和方解石。由显微粒状自然金、银金矿、黄铁矿和黄铜矿以及石英、电气石和钾长石组成的角砾岩型金矿石也是该阶段含矿热液活动的产物。石英气液包裹体均一温度变化范围为190—282℃（6件测温样品统计），平均值为210℃。典型的热液蚀变为硅化、电气石化、黄铁矿化、绿泥石化和高岭石化，此外，黑云母的褪色现象十分明显。热液活动晚期是碳酸盐阶段。该阶段形成的金矿化较弱，一般不具工业意义。

3. 表生期：原生金矿石在地表遭受氧化淋滤作用，不仅可形成褐铁矿、孔雀石和铜蓝，而且可使矿石中的金进一步富集，构成品位很高的氧化型矿石。

（四）围岩蚀变 哈达庙金矿床的成矿围岩主要是燕山期石英闪长岩，围岩蚀变为硅化、电气石化、钾化（钾长石化和黑云母化）、绢英岩化、绿泥石化和碳酸盐化，其中以硅化、电气石化和绢英岩化同金矿化关系最为密切。一般来讲围岩蚀变近矿体强、远离矿体弱，并且略具蚀变分带现象（图4）。

硅化和电气石化主要发育在接触带及其附近的张性裂隙带内，蚀变矿物为石英和电气石，蚀变带与金矿体的空间分布范围基本吻合。绢英岩化：常常叠加在钾化带上，特

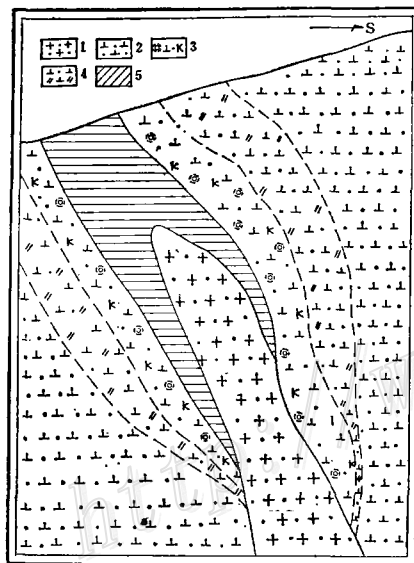


表3 哈达庙金矿床矿物生成顺序
Table 3. Formation sequence of minerals
in the Hadamiao gold deposit

成矿期 矿物	气成热液期	热液期			表生期
		石英-硫化物	多金属硫化物	碳酸盐	
钾长石	—	—	—	—	—
钠长石	—	—	—	—	—
石英	—	—	—	—	—
电气石	—	—	—	—	—
黑云母	—	—	—	—	—
绿帘石	—	—	—	—	—
方解石	—	—	—	—	—
黄铁矿	—	—	—	—	—
白铜矿	—	—	—	—	—
黄铜矿	—	—	—	—	—
自然金	—	—	—	—	—
银金矿	—	—	—	—	—
方解石	—	—	—	—	—
高岭石	—	—	—	—	—

图4 哈达庙金矿床34勘探线剖面示意图

1—花岗岩斑岩；2—未蚀变石英闪长岩；3—钾化和绢英岩化带；4—绿帘石化和碳酸盐化带；5—金矿体

Fig. 4 Schematic geological section along No. 34 exploration line of the Hadamiao gold deposit.

1—Granite porphyry; 2—Unaltered quartz diorite; 3—K-feldspathization and phyllic zone; 4—Epidotization and calcitization zone; 5—Gold orebody.

征的蚀变矿物为绢云母、石英、黄铁矿和钠长石，偶见萤石。

研究表明：与同类未矿化岩石相比，矿化蚀变围岩以富H₂O、CO₂、S、K₂O、SiO₂和贫Na₂O、MgO和CaO为特征（6件全岩化学分析结果统计）。

三、稳定同位素组成及矿物标型特征

(一) 氢氧同位素组成^① 哈达庙斑岩体含金石英脉(3件石英样品)的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $+9.8-+12.5\%$, 并且从矿脉中心向外明显降低。根据石英气液包裹体均一温度测定值^②和利用 $1000\ln\alpha_{\text{石英-H}_2\text{O}}=3.26\cdot 10^6T^{-2}-2.98$ ^[2]方程式计算得到的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 $+4.8-+6.9\%$, 石英气液包裹体水的 δD 值为 $-46--58\%$ 。火山角砾岩脉群内含含金石英脉(2件石英样品)的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $+6.5\%$, 低于斑岩体中含含金石英脉($+9.0\%$)。根据石英气液包裹体均一法温度值计算得到的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 $+1.1-+3.7\%$, 石英气液包裹体中水的 δD 值为 $-44--48\%$ 。上述各类含金石英脉中石英和气液包裹体的氢氧同位素组成特征表明: 成矿作用早期含金热液流体的性质更接近岩浆水。而在成矿作用晚期, 由于原生热液流体中混入相当一部分大气降水致使 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 和 $\delta^{18}\text{D}$ 分别低于和高于早期含矿热液的相应值。这从一个侧面反映了从斑岩体内含金石英脉到火山角砾岩脉群含金石英脉方向, 成矿溶液的演化趋势。

(二) 硫同位素组成 含金斑岩体(3件黄铁矿样品)的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $+1.9-+2.6\%$ (北京三所测定), 平均值为 $+2.3\%$; 火山角砾岩脉群中(3件黄铁矿) $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为 $-1.5-+2.10\%$, 平均值为 $+1.8\%$, 黄铁矿的硫同位素组成特征基本上与岩浆热液矿床, 特别是斑岩铜(钼)矿床的黄铁矿相似, 因此, 可以认为斑岩体中的硫来自较深部位, 但并不排除大气降水或壳源物质对火山角砾岩脉群中硫同位素组成的影响。

(三) 碳同位素组成 哈达庙斑岩体含金石英脉和火山角砾岩脉群含金石英脉(各2件方解石)的碳同位素组成基本一致, $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -7.1% (矿床地质研究所测定)。对比结果表明, 方解石是地壳物质、天水和岩浆水混合作用的产物。

(四) 黄铁矿标型特征 哈达庙斑岩体含金石英脉和火山角砾岩脉群含金石英脉(4件黄铁矿)的微量元素测定结果表明: Co/Ni 比值变化范围为 $2.4-3.6$ (由岩矿测试所测定)平均值为 2.78 ; S/Se 比值为 $(2.45-4.0)\times 10^4$, 平均值 2.96×10^4 ; Cu 含量为 $2509-4000\text{ ppm}$, 平均值为 3272 ppm , As 含量为 $1708-2688\text{ ppm}$, 平均值为 2190 ppm 。上述比值均同岩浆热液矿床中黄铁矿的相应比值类似^[1], 反映了黄铁矿形成过程的同一性。

四、金矿床成因探讨

哈达庙金矿床野外地质调查和各主要侵入岩体锆、氧同位素测定结果表明: 燕山期东西向和北东向深大断裂构造的复活和上地幔安山质熔浆上涌所引起的区域热流值升高可造成基底岩石(地层)——早古生代优地槽火山喷发沉积岩的深熔, 进而形成大面积分布的闪长玢岩、石英闪长岩和花岗闪长岩。岩浆的结晶分异作用、气液分异作用和多期次侵位, 不仅使石英闪长岩内广泛分布有花岗岩岩株、岩枝、岩脉和火山角砾岩脉群, 而且可促使金在一些斑岩体顶部富集。研究区西部白乃庙群金的平均丰度为 26.30 ppb ^③(126件岩石样品统计),

① 中国科学院地球化学研究所测定

② 中国地质科学院沈阳矿产地质研究所测定

③ 景德武等, 1986, 内蒙古温都尔庙群—白乃庙群绿岩带含金性研究报告(内部资料)

是地壳克拉克值的5.4倍。西北部温都尔庙群金的平均丰度为5.51ppb (81件岩石样品统计), 特别是在有锰质、铁质矿物富集的地段金的丰度为21.37ppb (32件岩石样品统计), 最高可达360ppb。上述地层均是赋含金的地质体, 如果它们一旦发生深熔作用, 将有可能提供金矿物物质来源。

哈达庙含金斑岩体岩相学研究结果表明: 当深熔岩浆沿着有利构造部位上侵时, 岩浆的结晶分异作用可促使大量挥发性组分、 SiO_2 、 K_2O 和金等元素在岩浆房顶部或旁侧富集, 从而形成高侵位的花岗斑岩岩株或岩脉。在构造薄弱地带, 富挥发组分熔浆亦可冲破外壳, 发生爆破作用, 大量挥发性组分、含矿热液流体和熔浆混合物喷出地表形成火山爆发角砾岩脉群。

含金斑岩体野外地质调查结果证实, 岩浆的冷凝收缩可产生大量的张裂隙构造, 在花岗斑岩与石英闪长岩的接触带上, 这种构造特征尤为明显, 特别是岩浆期后多期次构造活动使这样的张裂隙系统更为发育, 为含矿热液的上升和沉淀富集创造了良好的条件。

在含矿热液演化早期, 金可与各种不同类型的阴离子团结合, 形成稳定的络合物 (如 $\text{Au}_2[\text{HS}]_2\text{S}^{2-}$, $\text{Au}[\text{HS}]_2^-$, AuHS , AuCl_4^- 和 $\text{Au}_2\text{Cl}_6[\text{HCl}]_2 \cdot [\text{H}_2\text{O}]_n$), 并且通过粒间孔隙或原生冷凝细微裂隙进行扩散和运移。迁移过程中, 溶液同早期晶出矿物的交代反应, 可造成广泛发育的硅化、电气石化、绢英岩化和黄铁矿化, 而且形成以黄铜矿型矿石类型为主的金矿化 (仅限于斑岩体内部)。由于在这一成矿阶段没有明显大气降水的混入, 因此, 含矿热液的氢、氧同位素组成基本与岩浆水相类似。

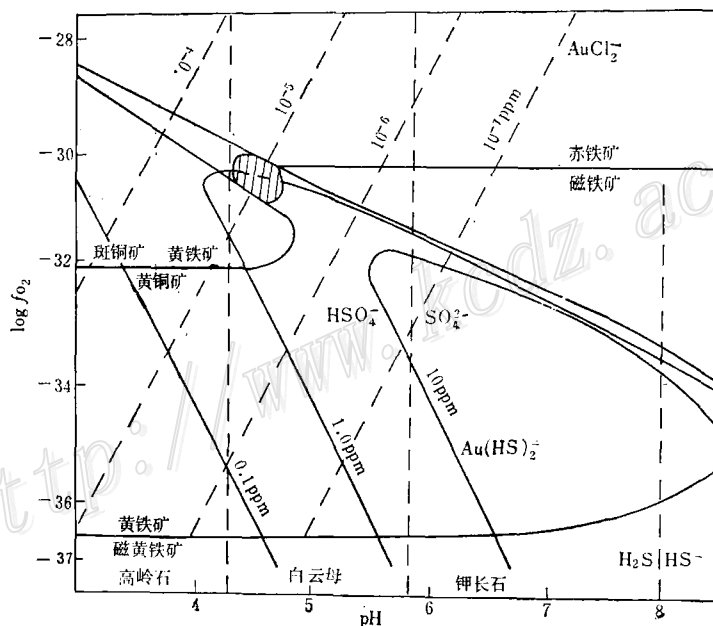


图5 哈达庙金矿床pH- f_{O_2} 图解

(据T. M. Seward, 1984资料改编) (3)

阴影区是根据矿床矿物共生组合、围岩蚀变和氢、氧、碳和硫同位素确定的矿床形成环境大致范围

Fig. 5 Diagram of pH versus f_{O_2} of the Hadamiao gold deposit.

Cross-hatched area represents the approximate physicochemical condition for gold deposition at the Hadamiao gold deposit as defined by coexisting mineral assemblage, wall rock alteration and isotopes of hydrogen, oxygen, carbon and sulfur (after Seward, T. M., 1984).

随着成矿作用过程的推移和成矿体系的开放,大气降水及有关组分也会不断参予成矿溶液演化,并且同岩浆热流体混合形成混合热液流体(热液氧、氢和碳同位素组成兼具岩浆水和大气降水特征)。混合热液流体对石英闪长岩的蚀变作用可造成大量铁镁矿物的解体,因此释放出来的Fe、Mg、Al和Ti可同热液流体中的B、S和C结合形成电气石、黄铁矿、绿泥石和绢云母。Ca和Na大量流失可产生广泛的硅化蚀变。含矿热液中大量游离SiO₂的存在有利于金的搬运和迁移,有资料表明^[3]:有胶态氧化硅作保护层的胶态金即便在350℃条件下也不会发生沉淀。当成矿热液流体上升到近地表处时,成矿体系温度和压力的下降,特别是 f_{O_2} 的增高和pH值降低造成了溶液的化学不平衡(图5),进而在花岗斑岩与石英闪长岩接触带上形成以多金属矿石类型为主的金矿体和火山角砾岩脉群内以角砾状矿石为主的工业金矿体。

成矿作用晚期,斑岩体及其伴生的矿脉长期裸露地表,遭受风化剥蚀形成氧化型矿石。

如上所述:哈达庙金矿是与花岗斑岩有关的中温热液金矿床。该矿西部约1.5km处的伊恨乌苏斑岩体,其产出地质环境和岩相学特征均同哈达庙斑岩体相类似,并有金矿化显示,是进行金矿找矿勘探的有利地段。

笔者野外工作期间曾得到郑振方、赵贵麟高级工程师和张德生工程师等的多方帮助,成文过程中承蒙袁忠信研究员和杨岳清副研究员指教,受益匪浅,谨致衷心感谢!

参 考 文 献

- [1] 陈光远、孙岱生、殷辉安 1987《成因矿物学与找矿矿物学》重庆出版社 第239—243页
- [2] Taylor, H. P., 1974, The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problem of hydrothermal alteration and ore deposition. *Econ. Geol.*, Vol. 69, No. 6, p. 842.
- [3] Seward, T. M., 1984, The transport and deposition of gold in hydrothermal system. In Forster, R. P. ed. *Gold '84 Geological Society of Zimbabwe, Special Publication No. 1*, pp. 165-182.

GEOLOGICAL FEATURES AND ORIGIN OF THE HADAMIAO GOLD DEPOSIT IN INNER MONGOLIA

Nie Fengjun and Zhang Hongtao

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

Sun Hao and Fan Jianting

(No. 103 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia, Sunid
Youqi, Inner Mongolia)

Abstract

Situated in Xianghuangqi synclinore of Late Hercynian Tianshan-Inner Mongolian folded belt, the Hadamio gold deposit consists of two major orebodies which are now being exploited. One is composed of quartz, tourmaline, chalcopryrite, pyrite, magnetite, native gold and electrum and occurs extensively along the contact zone between the Hadamio granite porphyry and quartz diorite, associated with silicification, tourmalinization and beresitization; the

other, which has the same mineral assemblage, is distributed inside the volcanic breccia dykes and associated with silicification, tourmalinization and epidotization. Of these wall-rock alterations, silicification and tourmalinization are intense and have close relationship with gold mineralization.

The gold-bearing granite porphyry outcrop is about 80m long and 40m wide, trending west-east and dipping laterally in north and south directions. The major minerals include quartz, micropertthite ($Or_{87}Ab_{13}$), plagioclase ($An=15-10$) and biotite, the phenocrysts consist of K-feldspar, quartz and plagioclase, and accessory minerals are apatite, magnetite, sphene, zircon and hematite. The porphyry is characterized petrochemically by an average SiO_2 of 71.92% and K_2O+Na_2O of 6.74% (with K_2O/Na_2O ratio being 1), thus belonging to normal calc-alkaline rock series. A number of gold-bearing volcanic breccia dykes have been discovered around the Hadamio gold-bearing granite porphyry. Breccia dykes consist of granodiorite fragments, cataclastic quartz diorite and volcanic cements and have an average SiO_2 of 72.31% and K_2O+Na_2O of 2.54%, with K_2O/Na_2O ratio being 0.5.

The formation temperatures of minerals vary from 400°C to 120°C with those of the main ore-forming stage ranging from 190°C to 282°C, averagely 210°C. According to the homogeneous temperature of fluid inclusions in quartz and formation sequence of minerals, the gold mineralization might be divided into four stages, i. e., quartz + tourmaline; quartz + chalcopyrite; polymetallic sulfides and carbonate + quartz.

Oxygen, hydrogen, carbon and sulfur isotopic compositions suggest that $\delta^{18}O$ values of quartz from gold orebodies at the contact zone vary in a relatively narrow range (+9.8–13.5‰), $\delta^{18}O_{H_2O}$ values of equilibrium water are +4.8–+6.9‰, δD values of fluid inclusion water in quartz are –46– –58‰, and $\delta^{34}S$ values of pyrite are +1.9– +2.6‰. The volcanic breccia dykes are characterized by mixed solutions with magmatic water as the major source. The stable isotope compositions are $\delta^{18}O=+6.5-+9.0\text{‰}$, $\delta^{18}O_{H_2O}=+1.1-+3.7\text{‰}$, and $\delta D=-44- -48\text{‰}$, and the $\delta^{13}C$ value(+7.1‰) of calcite is approximately equal to that of the gold orebody at the contact zone. The variation range of stable isotope values together with the behavior of minor elements in pyrite implies that sulfur, oxygen, carbon and some metallic elements were largely derived from igneous sources at depth.

All the data mentioned above suggest that the granitoids originated from the anatexis of early Paleozoic eugeosynclinal volcanic-sedimentary rocks. Moreover, the gold-bearing porphyry and gold-bearing volcanic breccia dykes are products of the evolution of the same magmatic hydrothermal fluid at different stages. It is therefore considered that the studied gold deposit belongs genetically to the mesothermal gold deposit.