

后沟金矿地质地球化学特征 及其成矿模式初步探讨

李 瑞

(冶金部第一地质勘查局516队·河北宣化)

本文叙述了后沟金矿的地质地球化学特征。从硫、铅、氢、氧同位素组成、包裹体成分及测温数据入手,探讨了成矿物质来源及金的迁移和沉淀形式,提出了该矿的成矿模式。

关键词: 金矿床; 地质地球化学特征; 成矿模式

后沟金矿床位于内蒙古陆的南缘, 尚义—赤城深断裂带上, 是冀西北最近发现的一个重要金矿类型。矿区出露地层有: 太古界桑干群, 是一套经强烈混合岩化作用形成的达角闪岩相的中高级区域变岩系, 其内有绿岩建造, 同位素年龄为2400~2790Ma; 元古界长城系, 为一套海相碎屑—化学沉积岩系, 著名的宣龙式铁矿产于其中; 中生界侏罗系, 为一套基性火山熔岩—火山碎屑岩。区内构造—岩浆活动强烈。控矿构造为一组多期次活动的压扭性断裂; 岩浆岩有加里东

期汤泉花岗岩, 沿断裂分布的海西期小张家口超基性岩和后沟碱性杂岩。其中后沟碱性杂岩体为重熔—交代型, 属过渡型花岗岩系列, 其金含量均值达22ppb, 与金矿化关系密切。矿区地质简图见图1。

矿床地质特征

1. 矿体产状及规模

矿体产于碱性杂岩体边部的蚀变正长岩(钾质蚀变岩)中, 严格受构造控制, 且赋存于压扭性断裂带下盘。矿体呈似层状或大

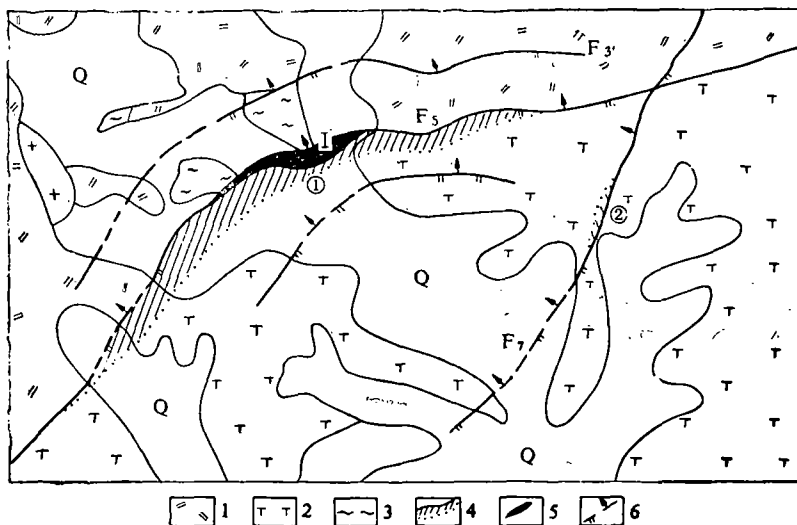


图 1 后沟金矿区地质简图

Q—第四系; 1—二长岩; 2—正长岩; 3—桑干群变质岩; 4—钾质蚀变岩; 5—矿体; 6—压扭性断裂; ①②—矿化带编号

透镜状,与围岩为渐变关系。现已查明的矿体延长320 m,延深250 m,平均厚度14.5 m,最大厚度达26 m。就总体而言,矿体品位较稳定,但厚度变化大,体现了热液交代成矿的复杂性及其特征。

2. 矿石类型、成分及结构构造

后沟金矿属于蚀变岩型,矿石为黄铁矿化钾质蚀变岩(蚀变正长岩),根据含金矿物组合可划分为3种矿石类型:团块状黄铁矿—石英脉型,由自形程度较高的黄铁矿(2%)和石英、微斜长石组成,黄铁矿呈立方体,晶纹发育,多已碎裂,石英脉内部很少见黄铁矿,为第一矿化阶段的产物;细脉浸染状黄铁矿—石英脉型,由细脉浸染状黄铁矿(3%)、石英脉、微斜长石及少量多金属矿物组成,石英细脉及黄铁矿脉密切共生,矿石品位较高,金品位与黄铁矿含量呈正比,是第二矿化阶段的产物;团块状、细脉浸染状黄铁矿—石英脉型,属第一、二阶段矿化叠加的产物。常见团块状黄铁矿被破碎,并充填有细脉、他形黄铁矿,黄铁矿含量较高(约4%),矿石品位也较前二者高。以上3种矿石无明显分带,多呈混杂状态分布,显示出矿液多期次活动性,而Au多在中晚阶段沉淀。

就总体而言,矿石成分非常简单,金属矿物仅占3%左右,以黄铁矿为主,少量黄铜矿、辉铜矿、斑铜矿、方铅矿、闪锌矿、镜铁矿、磁铁矿等,金主要以自然金(98%)形式产出,呈裂隙金充填于黄铁矿裂隙中(图2)。脉石矿物以微斜长石、石英、玉髓为主,另有少量碳酸盐矿物。

矿石以块状、细脉浸染状及角砾状构造为主,多呈自形、半自形、他形结构,以及由应力作用而产生的碎裂结构,局部见交代结构。

3. 围岩蚀变

矿体围岩蚀变有微斜长石化、硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化。

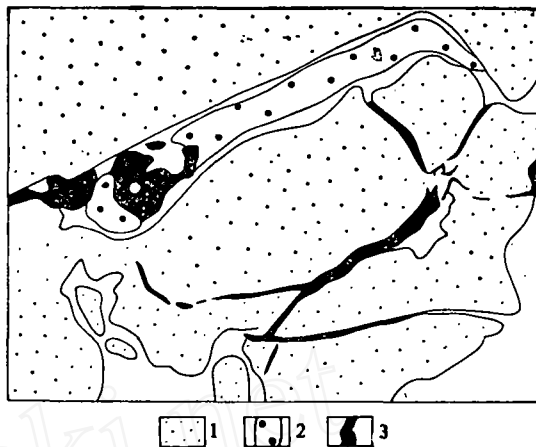


图2 黄铁矿裂隙中的自然金

1—黄铁矿; 2—方铅矿; 3—自然金

其中黄铁矿化与金矿化关系密切,蚀变强度从控矿断裂下盘往外逐渐减弱,分带现象不明显。热液早期蚀变——微斜长石化为该区找金矿的重要标志。

控矿地质条件

1. 地质条件

与金矿化关系密切的地层为太古界桑干群,主要岩性为斜长角闪岩、角闪斜长片麻岩、浅粒岩、变粒岩等,含 SiO_2 48~65%,尼格里值主要参数: $c/f_m=0.4\sim0.7$; $\text{alk}=2.3\sim11.9$,都在正变质岩的范围。原岩恢复为基性火山熔岩(粒斑玄武岩—细碧—角斑岩等)、火山碎屑岩及少量中酸性熔岩,其中 $\text{MgO}>15\%$ 的超镁铁质岩石的原岩可能为玄武质科马提岩。桑干群含金量高出克拉克值2~12倍,其中第二岩性段金含量达46ppb,为重要的含金建造(绿岩建造)。很可能是本区金矿的矿源层。

矿脉中铅的模式年龄 t_m (540~950Ma)比其直接围岩(正长岩)的同位素年龄(260Ma)要大得多,而与区域的两次混合岩化、超变质作用时间(500Ma、1000Ma)接近。说明铅可能从该次热事件的铅—铀—钍体系

中蜕变而来,与铅相关的金可能来自桑干群变质岩系。

2. 构造条件

本区由于长期受南北向挤压作用,形成一系列近东西向的压性断裂带,与其配套的一组共扼断裂构成控矿断裂。控矿断裂属压扭性质,呈舒缓波状,由碎裂岩、构造角砾岩、糜棱岩、断层泥组成,局部地段见较古老闪长玢岩的透镜体。构造应力前期为张性,后期多为压性、压扭性。矿化与后期构造活动关系密切,矿体多产于构造带靠下盘一侧,显示了构造控矿特征。断层泥发育地段矿体厚度较大,表明断层泥对矿液起着一定的“屏蔽作用”。

3. 岩浆岩条件

后沟碱性杂岩体为水泉沟碱性杂岩体的东延部分,岩性复杂,与围岩(桑干群)呈渐变关系,局部见侵入接触。岩体内有大量与桑干群有一定时、空关系的片麻岩捕虏体,其片麻理方向与区域片麻理方向一致。岩体中 $K_2O+Na_2O>10\%$,里特曼指数为6~10,属碱性岩系列。其成岩年龄为 $260.04\pm 9.16\text{Ma}$ (Rb—Sr法,地科院地质研究所)。在K—Na—Ca图上,该岩体的投影点多数落在交代花岗岩区,也较靠近岩浆花岗岩区;在Q—Ab—Or图解中,其投影点落在3kb以下,属中深成相,成岩温度约 800°C ,比岩浆型花岗岩($600\sim 700^\circ\text{C}$)略高。结合岩体稀土分布特征,以及微量元素和同位素(Rb、

Sr)分析,杂岩体是由陆壳(桑干群)改造而来,同时有幔源物质加入。

碱性杂岩体主要由正长岩—二长岩、石英二长岩、二长花岗岩组成,是本区金矿的直接围岩,岩体平均含金量为22ppb,其岩体边部的正长岩可达58ppb。该杂岩体与金矿化关系密切(氢、氧同位素可进一步提供依据),它不仅为成矿带来了金源及热流体,而且还提供了成矿所需的热动力。

成矿组份特征

1. Au的来源

为探讨矿质Au的来源,作了硫、铅同位素分析。

(1) 硫同位素特征 对各期次黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 的测定结果(8件)表明,多数(6件)集中分布在 $-10\sim -12\%$,说明硫的来源比较单一,且远离陨石硫。考虑到杂岩体为重熔—交代型,故认为硫主要来源于碱性杂岩体,但不排除变质硫的混入。

(2) 铅同位素特征 采集矿石中方铅矿和黄铁矿样品5件作铅同位素分析(地科院地质研究所分析),结果见表1。

从铅同位素比值和参数I和参数II的模式年龄看,应属于年轻铅。将其投影在 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 及 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图中,有4件落在 $\mu=8\sim 9$ 之间。故本区矿石铅属普通的正常铅。用单阶段演化模式所计算的年龄大体反映铅脱离母体的年龄。其中有4件同位素组成变化

后沟金矿铅同位素组成

表 1

样 号	测试样品	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	模式年龄, Ma (参数 I)	模式年龄, Ma (参数 II)
S ₆	矿石中方铅矿	17.721	15.497	37.628	540	310
DL ₂	矿石中方铅矿	16.524	15.197	36.715	870	670
H—4	矿石中方铅矿	17.629	15.525	37.594	650	420
HB ₁₀₈	矿石中黄铁矿	15.488	13.619	37.619	—	—
Tb ₉	矿石中黄铁矿	16.715	15.1917	36.7498	950	720

参数 I: $T = 4570\text{Ma}$; 参数 II: $T = 4485\text{Ma}$ 。

不大,说明其物质来源和演化历史大体相似。铅的模式年龄与该区地质历史上两大热事件——1000Ma和500Ma的区域性混合岩化作用接近。

本区铅、硫同位素组成特征表明,该区成矿经历了漫长的过程。始于约1000Ma左右的大规模区域混合岩化作用,桑干群(绿岩建造)中的成矿元素活化、迁移,并初步富集;主要再造成矿期为海西期,桑干群部分重熔形成碱性杂岩,使金进一步富集成矿,但不排除有幔源金混入。

2. 成矿流体来源及特征

从本区氢、氧同位素组成来看,矿石中石

英细脉的 $\delta^{18}\text{O}$ 为9.38~12.10‰,与围岩(正长岩、二长岩, $\delta^{18}\text{O}=8.16\sim 10.32\%$)接近。在 $\delta\text{D}\text{‰}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}\text{‰}$ 图解上,矿区内2件、矿区外围和邻区小营盘金矿的11件样品均落在岩浆水下部,且靠近雨水线。因此认为该区成矿热液具有岩浆水和雨水混合的特征。

石英包裹体成分测定结果如表2所示。从中可以看出,成矿热液中的阳离子以 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 为主,其中 Na^+ 的变化范围较大(1.5~11.73 g/g);阴离子以 Cl^- 和 SO_4^{2-} 为主, Cl^- 的变化范围较大(0.95~34.95 g/g);气相成分主要为 H_2O 、 CO_2 ,与邻近

后沟金石英包裹成分

表 2

样 号	液 相 (Y/g)							气 相 (Y/g)						
	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	F^-	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_2	H_2O	H_2	O_2	N_2	CH_4	CO
1	3.84	2.1	0.72	3.4	0.14	5.94	3.77	23.57	245.0	0.01	0	2.81	0	0
2	5.28	1.82	1.01	2.14	0.57	14.84	5.41	25.53	265.0	0.01	0	2.34	0	0
3	1.56	1.12	0.62	—	0.15	0.95	17.05	37.48	326.0	0.065	1.0	2.60	0	0.76
4	11.73	0.03	0.46	11.65	1.65	34.95	1.22	25.53	1010.00	0.04	0.00	5.31	0.89	0.00
5	—	—	—	—	—	—	—	75.7	1033.0	0.15	—	—	0.33	—

注:本局综合队提供。

小营盘岩浆热液型金矿相似。

石英包裹体均一法和爆裂法的测温结果表明,可清楚地划分成320~380、240~280℃两个温度区间。前者是以金—黄铁矿—石英沉淀为主的阶段;后者为热液晚期矿化阶段。成矿温度应属于中偏高温。

3. Au的搬运和沉淀形式

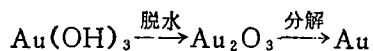
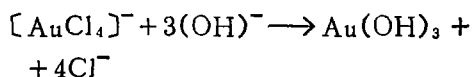
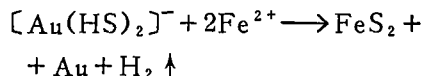
金在自然界主要呈 Au^0 、 Au^+ 、 Au^{3+} 形式,在热液中的搬运形式受温度、压力、pH、Eh值等多种因素制约。从包裹体成分及其他物理化学参数推测,成矿系统早期为低氧化电位(-0.72~-0.95 V)、高温、强碱、封闭一半封闭环境,金主要以 $[\text{Au}(\text{HS})_2]^-$ 及 $[\text{AuCl}_4]^-$ 形式搬运;部分金可能由 SiO_2 携带迁移,在

碱性条件下(pH=10),温度在150~200℃时, SiO_2 的溶解度可达288ppm,因此,可作为Au的保护层携带Au迁移。

随着成矿热液的不断运移,体系由封闭一半封闭状态转向开放状态;在构造有利部位产生第一阶段矿化。该阶段的主要控制条件是氧逸度,形成的矿物有钨铁矿(物理化学条件突变的产物)、磁铁矿及少量黄铁矿和自然金,黄铁矿的结晶温度可达400℃以上。

在成矿热液发生与围岩水/岩交换的成矿过程中,首先产生强烈的微斜长石化和钠长石化, K^+ 、 Na^+ 从成矿溶液中带出,使热液由碱性向弱碱性—弱酸性(pH=8.52~6.82)过渡,热液温度也随着时间的推移而

下降,从而导致金的络阴离子及 SiO_2 保护层大量解体析出金。特别是当 Fe^{2+} 的浓度增大时,更有利于金的络阴离子的分解,从而使大量金进入黄铁矿中,即发生:



由于热液中 S^{2-} 浓度较小,少量 Au 与 Te 形成碲金矿 Au_2Te_3 。

成矿热液演化到晚期, CO_2 的浓度增高,对围岩产生碳酸盐化,形成的碳酸盐矿物沿围岩裂隙充填,这标志着热液成矿作用已处于尾声。

成矿模式探讨

太古代本区下沉,伴之海水侵入,并发生强烈的海底火山喷发,形成一系列基性火

山熔岩(拉斑玄武岩、细碧一角斑岩、玄武质科马提岩)、火山碎屑岩及中酸性火山岩;在火山间歇期有正常的泥砂质碎屑岩及化学沉积岩沉积,形成一套含金的绿岩建造。

1000Ma及500Ma的两次大的区域性混合岩化和超变质作用,使金发生了活化迁移和再分配,并初步富集。海西期本区构造活动强烈,地温升高,导致构造带附近的桑干群重熔,伴之有深部岩汁与之交代,形成了一套碱性杂岩体。随着含金建造的重熔,一方面从围岩中萃取一定量的金及有关成矿组份,另一方面使金在杂岩体中得到进一步富集。岩浆演化至晚期,大部分金转移到岩浆期后热液中,并有大气降水(热卤水)混入形成成矿流体,当遇到有利成矿的构造空间(断裂中的低压扩容带),金的络合物解体使金富集成矿。因此,该区碱性杂岩体的内、外接触带是重要的找矿远景区。

本文承蒙姚其俊工程师审阅,并提出宝贵意见。文中部分数据由本局综合队提供,在此表示感谢。

Geological-Geochemical Features and Metallogenic Pattern of the Hougou Gold Deposit

Li Rui

Geological and geochemical features of the Hougou gold deposit are expounded in this paper. From the point of view of sulfur, lead, hydrogen and oxygen isotope compositions and inclusion constituents and thermometry, a thorough inquiry of the source of metallogenic material and the migration and deposition modes of gold is made, and a metallogenetic pattern of the deposit is put forward by the author.