

五凤浅成热液金矿床地质特征及 成矿机理研究

陈仁义 芮宗瑶

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

提 要: 五凤金矿床是中生代陆相火山环境中的浅成热液型矿床。其典型的蚀变矿物包括绢云母、冰长石、玉髓、蛋白石、浊沸石、水白云母和蒙脱石。流体包裹体研究表明, 成矿温度集中于200~240℃, 含盐度很低(1.0wt%~1.5wt%NaCl), 成矿压力为 $4.0 \times 10^7 \sim 6.8 \times 10^7$ Pa, 流体由偏碱性向弱碱性演化; 稳定同位素研究结果为, $\delta D = -66\text{‰} \sim -98\text{‰}$, $\delta^{18}O_{H_2O} = -3.2\text{‰} \sim -7.2\text{‰}$, $\delta^{34}S = 1.0\text{‰} \sim 2.6\text{‰}$, $\delta^{13}C = -6.9\text{‰} \sim -9.4\text{‰}$ 。由此推断成矿流体为天水成因的地热水, 矿质来自深源。它完全可以同世界上典型的浅成热液贵金属矿床相类比。

主题词: 浅成热液 地热水 流体包裹体 成矿流体

1 区域成矿环境

五凤矿床地处吉林黑龙江华力西褶皱带经中生代活化形成的火山断陷盆地中, 隶属于环太平洋火山活动带延边凹陷带。

区域主要含矿岩层为石炭系天宝山群的灰岩和板岩, 二叠系柯岛组的安山质凝灰熔岩, 侏罗系屯田营组和金沟岭组中至中酸性火山岩。区域的主要含矿岩体有华力西期改造型侵入岩, 岩性为花岗闪长岩和黑云斜长花岗岩, 主要形成矽卡岩型铜铁、铅锌和铜钼钨多金属矿床(如天宝山铅锌矿); 印支-燕山期的同熔型次火山岩, 主要形成金-有色金属成矿亚系列(如刺猾沟、五凤等金矿)。

区域性老头沟-窟窿山北东向断裂和太阳-三道北西向断裂在五凤交汇, 故五凤矿区控矿构造均为北东向或北西向。五凤金矿床产出的地质背景是活化期形成的陆相火山岩及次火山岩, 控矿构造受区域断裂控制。

2 矿床地质特征

2.1 围岩

五凤矿区及其周围出露的地层为晚侏罗世火山间歇喷发的安山质熔岩-火山碎屑岩, 东南部有第三系基性熔岩。上侏罗统金沟岭组安山质火山岩是金矿的主要赋矿围岩。

火山岩可分为屯田营组和金岭组。屯田营组下段为角闪安山岩夹层状角砾熔岩, 主要见

陈仁义, 男, 26岁, 现为中国地质科学院研究生部博士研究生, 从事金属矿床学研究。邮政编码: 100037
1991年11月收稿, 1992年6月二次修改回

于矿区西南侧。上段为正常的沉积碎屑岩, 岩性为褐色砂砾岩。砾岩成分以花岗岩为主, 安山岩次之, 这可能代表了一个火山喷发的相对宁静时期。金沟岭组下部为爆发相酸中性熔岩—火山碎屑岩, 岩性从无斑安山岩至安山集块岩均有发育, 为本区火山活动的高潮; 上部中性熔岩广泛超覆于下部岩层之上, 岩性为灰—灰紫色角闪安山岩、石英安山岩及斜长角闪安山岩。

2.2 控矿构造

受区域性断裂构造的控制, 五凤主要控矿构造为北东向断裂和北西向断裂 (图1)。前者以北东I号断裂为代表, 走向 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$, 倾向北西, 倾角 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 属剪切性质。后者发育于北东断裂两侧, 走向 $300^{\circ}\sim 310^{\circ}$, 倾向南西, 倾角 70° 左右, 属张性裂隙。该断裂常为方解石沸石脉或方解石石英脉充填, 并保留有棱角状围岩碎块。五星山地段表现为片理化和糜棱岩化, 常为石英脉填充。

一般地说, 充填于断裂破碎带中的石英脉就是矿脉。

2.3 与矿化有关的岩浆岩

在五星山和赤岩洞一带出露有碱长花岗岩及其脉岩——次粗面安山岩。碱长花岗岩中可见稍晚侵入的细晶花岗岩, 沿剪切断裂带呈脉状贯入, 其矿物成分完全一致。次粗面安山岩呈上宽下窄的不规则漏斗状侵入于花岗岩之中, 走向北西, 近直立; 与花岗岩接触面呈锯齿状、港湾状 (图2), 接触带附近花岗岩具明显的烘烤现象。

从收集到的13个碱长花岗岩的化学分析结果 (据何耀宗等, 1983; 刘文达等, 1982; 陈仁义, 1990), CIPW标准矿物中斜长石中An分子大多小于5.5%, 所以主要由钠长石组成, 另外FeO+Fe₂O₃+MgO含量偏低, 在AR-SiO₂图上投影均属碱性, 因此把它们定为碱长花岗岩是合理的。

据刘文达等 (1982) 对延边地区火山岩中主要成矿元素的研究表明, 同维诺格拉多夫 (1962) 岩石丰度相比, 屯田营组和金沟岭组Au的含量较基性岩石丰度高2.5~4.75倍, 燕山期次火山岩比同类岩石的金高2.75~7倍; 各类岩石的Ag普遍高于同类岩石丰度的10~

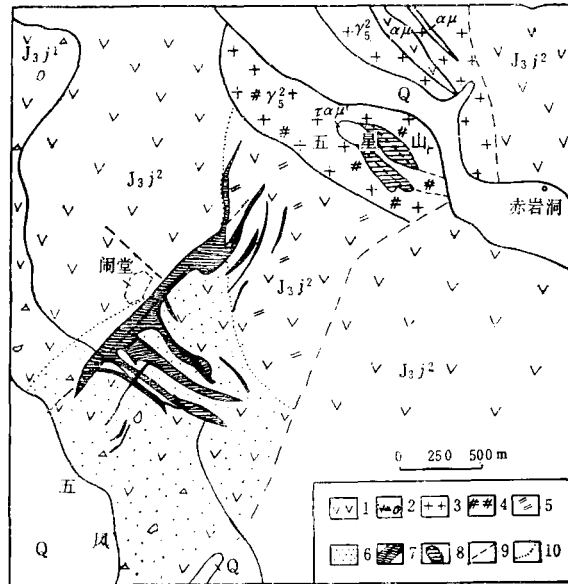


图1 五凤金矿床地质略图

1—金沟岭组上段: 安山岩、石英安山岩; 2—金沟岭组下段: 火山碎屑岩; 3—碱长花岗岩; 4—绢英岩化带; 5—硅化-水白云母化带; 6—硅化-冰长石化-沸石化带; 7—破碎蚀变带及含金石英脉; 8—网脉浸染状矿体; 9—断裂; 10—蚀变带界线; Q—第四系; $\tau\mu$ —次粗面安山岩; $\alpha\mu$ —次安山岩

Fig. 1. Geological sketch map of the Wufeng gold deposit.

1—Upper Member of Jingouling Formation (andesite and quartz andesite); 2—Lower Member of Jingouling Formation (pyroclastic rock); 3—Alkali-feldspar granite; 4—phyllic alteration zone; 5—Silicification-hydromuscovitization zone; 6—Silicification-adularization-zeolitization zone; 7—Shattered alteration zone and auriferous quartz vein; 8—Network dissemination orebody; 9—Fault; 10—Boundary of alteration zone; Q—Quaternary; $\tau\mu$ —Subtrachyandesite; $\alpha\mu$ —Subandesite.

100倍; As高出同类岩石的50倍。由此可见这些主要成矿元素在火山岩形成时就很高。

2.4 矿体

五凤金矿床按其产状可分为脉状和网脉浸染状两种矿化类型。脉状矿体以五凤旧矿区为

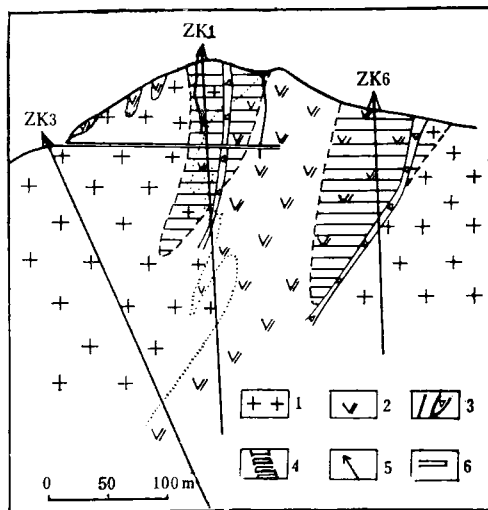


图2 五星山I线剖面图

(据吉林第六地调所科研队资料, 1990)

1—碱长花岗岩; 2—次粗面安山岩; 3—断裂破碎带; 4—矿化带及矿体; 5—钻孔; 6—坑道

Fig. 2. Geological section along No. I line of Wuxingshan

1—Alkali-feldspar granite; 2—Subtrachyandesite; 3—Fractured shatter zone; 4—Mineralized zone or orebody; 5—Drill hole; 6—Gallery.

代表, 分布于金沟岭组火山熔岩及其碎屑岩中, 充填于北东向和北西向断裂之中。已知含金脉体40余条, 构成一闹堂式矿段。网脉浸染型矿体以五星山为典型, 赋矿围岩为碱长花岗岩和次粗面安山岩, 矿体主要分布于接触带及其附近。五星山共可圈出4条矿体。

脉状矿体分为两组: 其一为北东向脉体, 受北东断裂控制, 延长2000m, 产状与断裂一致。单脉宽0.1~2m, 北侧平行脉发育。主脉中段与北西脉交汇处, 脉体急剧膨大, 品位变富, 形成所谓的闹堂式矿段。这是过去的主要开采对象。矿脉以致密石英为主, 伴有玉髓和少量冰长石、黄铁矿。矿脉比较规则。其二是北西向脉体, 受张性裂隙控制, 多分布于北东主脉东侧, 由方解石石英脉组成。脉体呈明显分枝复合、膨缩现象, 具单脉、平行脉或网脉, 脉宽0.5~2m, 是本区主要开采的矿体。五星山地段在早期糜棱岩化带上叠加后期的北西向张扭性破裂, 使其岩石普遍破碎, 构成网脉充填的良好场所。一般来说, 碱长花岗岩中矿化呈粗而稀疏的网脉; 而糜棱岩化细晶花岗岩

岩中网脉密集; 次粗面安山岩中呈密集平行细脉。

矿石主要呈细脉—网脉状构造, 另外见有角砾状构造。角砾为围岩或压碎的石英脉, 胶结物多为细粒石英, 是成矿时流体沸腾的有力证据。矿石结构以交代、交代残余和充填结构为主, 次为晶簇状、胶体状结构。银金矿多以交代黄铁矿形式产出, 其次充填于矿物裂隙中。石英以它形或半自形粒状产出。

主要的金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、银金矿、辉银矿、碲银金矿、方铅矿、闪锌矿和褐铁矿等。非金属矿物有石英、方解石、玉髓, 蛋白石、冰长石、沸石、绢云母、钠长石和水白云母等。

银金矿粒径一般为0.015~0.09mm, 成色约600, 个别达800。辉银矿主要分布于冰长石方解石石英脉中, 与银金矿连生。黄铁矿粒径0.01~1.2mm, 呈细脉或浸染状分布于各含金脉或强蚀变岩中。黄铁矿中Co/Ni为1.2~2.4, 显示了火山作用有关的特征。冰长石往往见于石英和方解石裂隙中, 其含量与金的含量呈正相关关系。

2.5 矿化富集规律

根据野外和室内的观察研究以及开采的资料表明, 金矿化富集具以下几点规律: ①两组

构造的交汇部位矿脉往往膨大,品位较高,矿化最有利;②断裂的拐弯、分枝复合部位脉体膨大,矿化较好;③含金较富的矿石多含冰长石,二者呈正相关关系。冰长石是金富集的直接标志;④张性裂隙更有利于金的富集;⑤矿石呈浸染状、角砾状构造,有利于金的富集;⑥硫化物含量增大,含金相对较高。结晶程度不高的细粒黄铁矿与金矿化关系密切;⑦蚀变破碎带中的石英脉均不同程度含金。

3 蚀变作用

五凤矿区范围内各类岩石普遍遭受不同程度的蚀变。以硅化最为强烈,遍及全区,以沸石化、水白云母化为典型;以冰长石化、绢云母化为直接矿化标志。此外,还有碳酸盐化、绿泥石化、钠长石化等蚀变作用。

安山岩的斜长石斑晶被肉红色沸石全部或部分交代,构成本区独特的蚀变现象。越靠近矿脉,沸石化越强,故可作为找矿标志之一。沸石矿物以自形晶到它形均有。此外还可见脉状方解石沸石脉,可能为成矿期后热液产物,标志着成矿热液活动范围。

绢云母化多以鳞片状集合体形成交代长石类矿物,与矿化密切共生。安山岩与花岗岩接触带以强烈硅化-水白云母化为特征。原岩面目全非,仅局部残余变斑结构,外观呈白色粉末状。经X射线粉晶分析和差热分析表明其主要成分为水白云母,含少量蒙脱石和钠长石。这代表近地表的酸性粘土盖层,为浅成热液矿床的典型蚀变作用。

根据蚀变矿物组合,可把五凤矿床的蚀变作用分为四个带,即绢英岩化带、硅化-水白云母化带、硅化-冰长石化-沸石化带和青磐岩化带(见图1所示)。

五星山网脉浸染状矿化带强烈绢英岩化;五凤脉状矿化则与硅化-冰长石化-沸石化关系密切;水白云母化带本身不含矿;但可作为矿化的间接标志;青磐岩化则是成矿的前提,受后期热液作用叠加改造。

热液作用过程首先形成早期高温石英。主成矿阶段由于沸腾促使 CO_2 和 H_2S 从流体中逃逸,结果造成剩余溶液向弱碱性方向演化,形成冰长石、绢云母与金密切共生,晚期形成方解石沸石脉。同时含 CO_2 和 H_2S 的蒸气沿构造薄弱带向地表迁移,当与较冷的地下水相遇时,形成酸性溶液。这种酸性溶液与围岩反应,即形成水白云母和蒙脱石的酸性盖层。

4 流体包裹体

4.1 流体包裹体类型

矿物中包裹体类型可以反映矿床产出的地质环境和成矿流体的特征。根据包裹体的气液比、物理化学状态和主要化学成分,把五凤矿床的流体包裹体分为三个类型。

A型:液体包裹体。气液比小于50%,一般以10%~20%为多,部分仅出现跳动的小黑点。加热时均一到液相。此类型包裹体约占包裹体总量的80%以上。

B型:气体包裹体。气液比大于50%。加热时多均一为气相,部分为完全的气体包裹体,此类型含量10%~15%。A、B两种类型统称气液包裹体,在矿区范围内非常普遍。

C型:含 CO_2 三相包裹体。一般含气态 CO_2 、液态 CO_2 和水三相。此类型包裹体仅见于矿区西部外围。

4.2 均一温度

通过对石英中气液包裹体的研究,共测得均一温度169个,变化范围从400~80℃,平均250℃,峰值200~240℃,代表主成矿期温度。

根据均一温度与蚀变矿化阶段的关系(图3),可把均一温度划分为三个区间:①400~300℃之间为早期高温石英形成阶段,代表成矿热液的早期活动,形成浸染状矿化;②300~180℃,代表主成矿期的温度范围,此阶段天水热液作用强烈,并广泛形成硅化、冰长石化、绢云母化、方解石化和部分沸石化,同时伴随金属硫化物的沉淀,形成本区的脉状矿体;③180~80℃阶段大致相当于硅化-水白云母化形成阶段,同时伴有大量的沸石化。这一阶段代表加热的天水与近地表地下水的混合,从而形成粘土质盖层。

以上三个区间反映五凤金矿热液活动的三次高潮,分别形成不同的矿物组合和矿化。

4.3 盐度测定

五凤矿床的盐度变化范围为0.5wt%~5.0wt%NaCl,平均值为1.6wt%NaCl。峰值集中于1.0wt%~1.5wt%NaCl。与安山岩地带的地热流体含盐度一致,与典型浅成热液贵金属矿床的含盐度一致。

进一步研究均一温度和冰点降的关系(图4),可把本区的包裹体分为两类:B区代表与碱长花岗岩有关的热液体系,其冰点降不随均一温度而改变,反映本区有少量岩浆热液的混

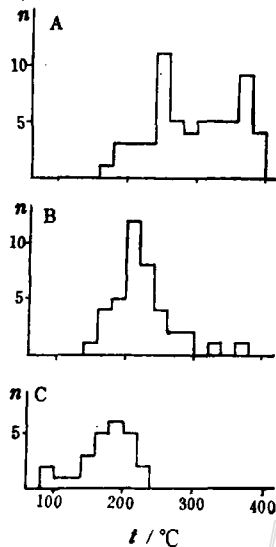


图3 各蚀变带形成温度对比
1—绢英岩化带; 2—硅化-冰长石化-沸石化带; 3—硅化-水白云母化带
Fig. 3. Formation temperatures of various alteration zones.
1—Phyllic alteration zone; 2—Silicification-adularization-zeolitization zone; 3—Silicification-hydromuscovite zone.

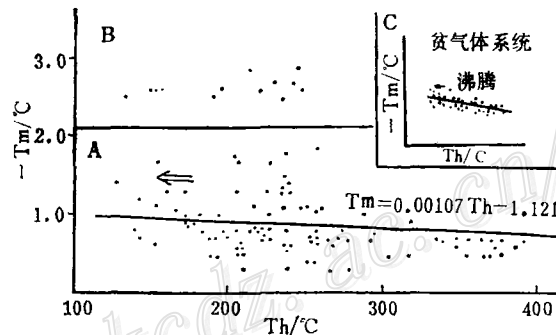


图4 五凤地区流体包裹体Tm-Th图解
(据芮宗瑶等, 1990)

A—五凤地区与贫气体(CO₂)地热系统有关的流体包裹体;
B—五凤地区与碱长花岗岩有关的; C—现代贫气体地热系统
(C据J W Hedenquist, R W Henley, 1985)

Fig. 4. Tm-Th diagram of fluid inclusions in the Wufeng ore district.

A—Fluid inclusions related to low gas (CO₂) geothermal system in the Wufeng ore district; B—Fluid inclusions related to alkali-feldspar granite in Wufeng; C—Fluid inclusions related to modern low gas geothermal system.

入; A区显示了冰点降和均一温度呈负相关关系,即随着成矿流体的逐步冷却,系统含盐度略微增加。

同C区代表现代贫气体地热系统的流体^[3]相比,进一步说明五凤金矿具有热泉型矿床的

流体特征。其负相关关系可解释为由于对流上升中的沸腾和蒸气的逃逸, 从而引起溶解盐度随冷却而稍稍增加。这种负相关关系还可以作为沸腾的证据。

矿液沸腾对金属硫化物沉淀具有一定意义。由于矿液的减压沸腾、造成 H_2S 和 CO_2 的逃逸, 使矿液中迁移的金属离子络合物稳定性遭到破坏, 从而促使金属硫化物的沉淀。

4.4 流体成分

对石英、方解石和沸石分别进行包裹体液相和气相成分的分析 (表 1), 结果表明:

表 1 矿物包裹体化学成分分析结果 ($\mu g/10 g$)
Table 1. Chemical composition of fluid inclusions in minerals ($\mu g/10 g$)

样号	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	H ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	CO	H ₂ O
Qz: 9WBC-1	2.06	7.02	0.17	0.34	0.10	4.49	4.04	0.96	0.03	1.56	0.71	7.86	9.39	412.5
-2	9.92	20.24	0.79	0.39	1.32	4.09	22.34	0.00	0.04	3.13	0.89	15.68	12.50	425.0
-6	3.54	24.17	0.41	0.21	0.88	4.09	18.21	0.00	0.03	2.19	0.89	7.86	12.50	325.0
Zc: 9WBC-4	1.45	0.73	0.73	0.73	0.22	2.47	3.63	0.00	0.28	3.44	0.00	15.71	16.56	737.0
Cal: 9WBC-3	1.97	30.03	—	5.42	6.00	7.88	245.27 ^①	0.00	0.66	4.69	1.61	15.68	20.63	80.0

注: 由矿床所程莱仙、林淑云测定, Br、PO₄³⁻、C₂H₆、O₂ 4 项分析结果均为 0。Qz—石英; Zc—沸石; Cal—方解石

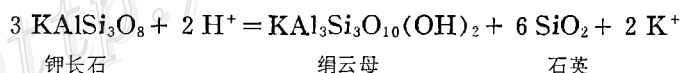
① 结果偏高, 仅供参考

液相成分中, 阳离子以 K⁺、Na⁺ 为主, 且 $K^+/Na^+ > 1$, 石英包裹体中 K⁺/Na⁺ 平均为 3, Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 少量, 阴离子以 SO₄²⁻ 和 Cl⁻ 占绝大多数, F⁻ 少量。因此反映成矿流体为 K⁺-Na⁺-SO₄²⁻-Cl⁻ 型水。

气相成分中, 除 H₂O 外, 以 CO₂ 和 CO 为成矿流体主成分。此外, CO₂ 含量小于 CO, 且有少量 H₂ 和 CH₄ 的存在, 反映成矿热液体系处于还原环境。另外含一定量的 N₂, 可能反映一定的天水成因。

4.5 pH 值及压力估算

五凤矿区普遍存在钾长石、石英和绢云母的共生组合, 故采用以下平衡关系来探讨 pH 值。



根据其平衡常数 K 以及由流体盐度和流体成分求得的钾离子浓度, 就可获得 pH 值数据。

水的中性线参照李荫清 (1985) 的计算结果^[1], 则有

t/°C	150	200	250	300
流体 pH 值	6.84	6.54	6.24	5.94
水的中性线	5.82	5.65	5.60	5.65

由此可见成矿溶液在从 300℃ 向 150℃ 冷却时由中性向弱碱性演化。矿石沉淀时 (200℃), 溶液呈弱碱性。实际上从银金矿与冰长石共生也反映成矿溶液呈弱碱性。从矿物生成顺序看, 晚期方解石沸石脉的发育也说明溶液向碱性方向演化。

利用纯水包裹体体系和含CO₂的三相包裹体部分均一温度,对矿床形成的压力进行估算,所得压力范围为 $4.0 \times 10^7 \sim 6.8 \times 10^7$ Pa;捕获温度为270℃,与均一温度相当。因此,说明本矿区成矿压力较小,体系主要处于相对开放状态,成矿流体曾出现过减压沸腾。

5 矿床成因讨论

5.1 稳定同位素特征

根据吉林省第六地调所科研队所做的单矿物稳定同位素分析(表2),进一步证实五凤矿床的成矿热流体为天水成因。

表2 矿物和包裹体水的同位素组成(‰)

Table 2. Chemical composition of minerals and inclusion water(‰)

样号	矿物	产状	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$	δD	$\delta^{18}\text{O}_{\text{矿物(SMOW)}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{W(计算)}}$
C ₁	方解石	矿渣	-7.8		3.2	-4.8
C ₂	方解石	矿渣	-7.9		0.8	-7.2
C ₃	方解石	58号矿脉	-6.9		4.5	-3.6
C ₄	方解石	30号矿脉	-9.4		2.4	-5.6
C ₅	方解石	31号矿脉	-8.2		3.3	-4.8
9 WBC-3	方解石	31号矿脉	-7.7	-96	4.5	-3.6
-1	石英	31号矿脉		-88	5.3	-6.7
-2	石英	3号坑道		-98	7.0	-5.0
-4	沸石	51号矿脉		-66	4.6	
-6	石英	49号坑道		-87	5.7	-6.3
9 WXZ-3	石英	五星山花岗岩		-87	8.8	-3.2
-1	钾长石	五星山花岗岩			4.0	-4.6
-2	斜长石	五星山花岗岩			3.9	

注:由矿床所白瑞梅、董燕玲、蒋少涌、孙利测试

矿物包裹体水的 δD 值为-66‰~-98‰,平均为-87‰。根据矿物-水关系式计算的包裹体水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为-3.2‰~-7.2‰,平均为-5.1‰。由此可见其氢、氧同位素组成与现代地热水(如美国的黄石公园、拉森公园和索尔顿湖等^[21])相近。而且五凤的 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化不大,说明流体与围岩的同位素交代作用不明显。

图5显示:五凤的热液流体远离原生岩浆水区,而与西内华达和墨西哥的典型浅成热液矿床的氢、氧同位素组成一致。从而进一步充分肯定五凤矿床为浅成热液型,流体来源于天水。

矿脉中方解石的 $\delta^{13}\text{C}$ 变化于-6.9‰~-9.4‰之间,平均-8.0‰,与深源碳一致。故可推断循环对流中的热流体淋滤萃取了火山岩中的深源碳,形成含碳矿物。

矿石中黄铁矿的硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 值为1.0‰~2.6‰,平均1.7‰。假如这代表初始硫,则接近陨石型硫。硫同位素分布集中,说明本区具同一硫源。因此至少可以推测成矿流体中的硫是从火山岩或次火山围岩中萃取的,然后在近地表环境中形成硫化物沉淀。

5.2 矿床成因

根据浅成低温矿床的特征,可以把分别具接近中性pH值和酸性pH值的两种不同的深部

流体产生的矿化区分开^[4]。接近中性pH值的系统与现代地热系统相似。对两种不同系统的热

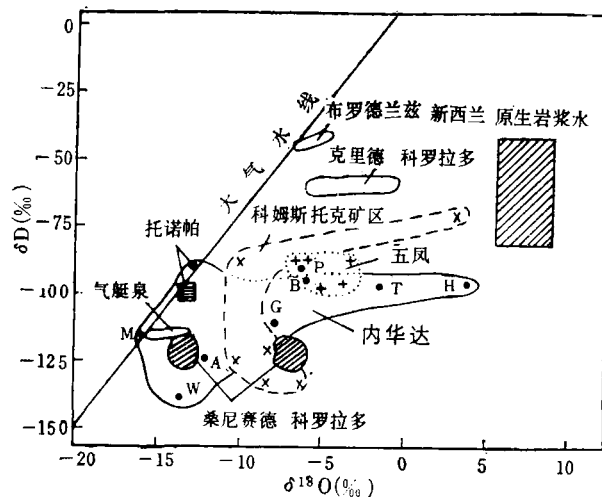


图5 典型浅成热液矿床流体包裹体水 $\delta D-\delta^{18}O_{H_2O}$ 图解

(据H. L. Barnes, 1979, 原图改编)

M—曼哈顿; W—万得; A—奥罗拉;
G—吉尔伯特; B—牛蛙; T—坦迈尔;
H—亨博尔特; P—帕丘卡(墨)

Fig. 5. δD versus $\delta^{18}O_{H_2O}$ diagram
of fluid inclusions in typical
epithermal deposits.

M—Manhattan; W—Wonder; A—
Aurora; G—Gilbert; B—Bullfrog;
T—Tenmile; H—Humboldt; P—Pachuca.

液蚀变的解释, P. 希尔德等(1987)分别采用“冰长石—绢云母”和“酸性硫酸盐”术语; 小H. F. 博纳梅(1986)采用“低硫的”和“高硫的”; J. W. 赫登奎斯特(1987)提出了“低硫化作用”和“高硫化作用”两个术语, 借以说明矿化流体中存在的硫的氧化还原状态。

氢氧同位素研究显示五凤金矿床成矿流体为天水成因的地热水; 流体包裹体研究表明成矿温度主要为200~240℃; 流体含盐度低, 呈还原状态; 硫及贱金属含量很低; pH值接近中性并逐渐向偏碱性演化, 析出的气体氧化后产生酸性盖层; 随着温度的降低, 伴生蚀变以粘土化为主; 矿化以开放孔隙充填为特征, 同时见有角砾岩脉, 矿石见有胶体条带状和晶簇状构造; 未见叶腊石和明矾石。由此可推断五凤金矿床为典型低硫体系的浅成热液型矿床。

由于成矿介质水为 $K^+-Na^+-SO_4^{2-}-Cl^-$ 型, 故推测其迁移形式以硫代硫酸盐形式进行迁移。这种硫代络合物只有到达地表附近氧逸度高的地方, 才受氧化而沉淀。

根据国外许多已知矿床资料, 浅成热液脉状矿床的空间上金属分带往往是贱金属在深部, 向上逐渐过渡为贵金属, 以沸腾面作为其大概的界线^①, 因此五凤矿床深部是否含有贱金属, 有待进一步工作加以证实。

参 考 文 献

- 1 李荫清. 我国几个主要斑岩铜(钼)矿床的包裹体演化机制及成矿pH条件. 矿床地质, 1985, 4(2)
- 2 魏菊英, 王关玉编. 同位素地球化学. 北京: 地质出版社, 1987. 122~123
- 3 Hedenquist J W, Henley R W. The importance of CO_2 on freezing point measurement of fluid inclusion for epithermal ore deposits. Econ. Geol., 1980(5)
- 4 White N C et al. Epithermal environments and styles of mineralization: variations and their causes, and guidelines for exploration. Journal of geochemical exploration, 1990, 36: 445~474

① 布坎南 L. J., 北美西南部与火山环境有关的贵金属矿床. 丁武宝译, 矿床模式专辑, 1988, 地质矿产部情报研究所(内部资料)

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND METALLOGENIC MECHANISM OF THE WUFENG EPITHERMAL GOLD DEPOSIT, JILIN PROVINCE

Chen Renyi and Rui Zhongyao

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

Abstract

The Wufeng gold deposit is hosted by Upper Jurassic volcanic rocks and hence has been regarded as a volcanic hydrothermal deposit since 1960's.

Nevertheless, systematic studies of its geological setting, alteration, fluid inclusions and stable isotopes have led the authors to believe that the deposit is actually a typical epithermal deposit formed in a continental volcanic environment. Typical altered minerals include sericite, adularia, zeolite, hydro-muscovite, montmorillonite and opal; orebodies assuming veinlike forms fill shatter zones or stockwork fissure systems; auriferous veins are mainly developed in the phyllic zone and the quartz-adularia-zeolite zone.

Fluid inclusion analyses show that hydrothermal fluids were under the condition of low temperature (mainly 200~240°C) and low salinity (chiefly 1.0wt%~1.5wt% NaCl) and in an alkali environment, belonging to $K^+-Na^+-SO_4^{2-}-Cl^-$ system. The inverse correlation between T_m and T_h implies that ore-bearing fluids once boiled during the precipitation of ore materials.

Stable isotope analysis has yielded the following data: $\delta D = -98\text{‰} \sim -66\text{‰}$, $\delta^{18}O_{H_2O} = -7.2\text{‰} \sim -3.2\text{‰}$, $\delta^{13}C = -9.4\text{‰} \sim -6.9\text{‰}$ and $\delta^{34}S = 1.0\text{‰} \sim 2.6\text{‰}$, suggesting that ore-bearing fluids were meteoric waters circulating at depth, and sulfur and carbon were derived from surrounding volcanic rocks. In a word, the ore-forming system of the Wufeng gold deposit is similar to modern geothermal system.