

辽宁二道沟脉状金矿床矿物学、流体包裹体地球化学和同位素特征及其成因

王松洋^{1), 2)}, 董国臣¹⁾, 安然¹⁾, 聂飞¹⁾, 王鹏¹⁾, 孙凡¹⁾, 董美玲¹⁾

1) 中国地质大学, 北京, 100083; 2) 武警黄金地质研究所, 河北廊坊, 065000

1 地质背景

辽宁二道沟金矿床位于华北地台北缘、内蒙地轴东段北侧, 是张家口—赤峰一级金矿带东段二道沟-金厂沟梁金矿田的重要组成部分, 区域北部有呈近东西向的赤峰—开原断裂带, 南东边界为呈北东—北北东向的承德—北票断裂带。

矿区所出露的地层主要为太古宙高级变质岩系及其上覆的中生代陆相火山熔岩—碎屑沉积建造(郭洪中等, 1994)。区内岩浆侵入活动发育, 北东向带状展布于火山岩盆地的南、东、西侧。围岩蚀变发育, 主要是绿泥石化、绢云母化、硅化以及钾长石化、碳酸盐化等。

2 矿体产状及其矿物学特征

二道沟金矿中矿体主要以脉状产出酸性火山岩和粗粒花岗岩中。矿脉均为陡倾斜矿脉, 倾角多在 70~80° 间。东西向矿脉常成群出现, 北西向矿脉往往是单脉或复脉, 明显受断裂构造控制。矿脉平均金品位变化大, 最大可达 14.9ppm。

二道沟金矿主要矿石矿物为黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、黝铜矿、银金矿等。黄铁矿是整个成矿热液活动的贯通性矿物, 同时也是最主要载金矿物。黄铁矿可划分为早、中、晚三个世代, 各个世代黄铁矿与金矿化关系明显不同(庞奖励等, 1999)。黄铜矿见于所有矿脉之中, 但在空间上分布不均, 没有明显的世代关系。它也是主要的载金矿物之一, 常有包裹体金出现。方铅矿和闪锌矿也是主要的矿石矿物, 二者常一起出现, 在北部矿区的矿脉中大量分布, 形成于多金

属硫化物石英阶段。在其晶体中经常发现有自然金粒, 而矿物的解理缝、颗粒边缘往往是金最有利的产出位置。石英是矿石的最主要脉石矿物, 也是硅质蚀变中的主要成分, 呈暗灰色, 细脉状或透镜状, 分布在整個热液活动阶段, 可以分为三个世代。其它脉石矿物有绢云母、方解石、绿泥石等。

矿石结构以自形—半形晶粒结构、他形晶粒状结构、压碎结构及乳滴状结构为常见, 其次为交代残余结构、反应边结构、交代熔蚀结构与包含结构等。黄铜矿常与闪锌矿、黄铁矿等共生, 构成固熔体分解结构, 互为主晶和客晶。自形—半自形晶粒状结构表现为在浸染状矿石中, 黄铁矿呈自形—半自形晶, 星点状或集合体分布于矿石中。他形晶粒状结构表现为黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿呈他形晶粒状集合体, 多见于脉状矿石中。压碎结构表现为早期形成的黄铁矿及石英被压碎成大小不等的角砾, 角砾有时被晚期形成的黄铁矿等金属矿物及硅质胶结。脉石矿物结构中可见方解石以细脉状穿插于早期的石英之中。

3 金矿流体包裹体地球化学特征

本文选取矿区不同中段第二世代的石英, 分析包裹体中的流体信息, 并结合已有流体包裹体资料, 综合解释流体来源并探讨矿床成因。通过镜下观察发现, 本次研究的包裹体主要有纯气相、纯液相、气液两相和含子矿物等类型, 但是以气液两相为主, 占所观察的包裹体的 95% 以上, 无色透明, 边界清楚, 气液比在 15~35% 之间。

注: 本文为国家黄金集团科研项目, 111 计划项目(B07011)和长江学者和创新团队发展计划(IRT1083)联合资助。

收稿日期: 2013-03-13; 改回日期: 2013-03-31; 责任编辑: 费红彩。

第一作者简介: 王松洋, 男, 1986 年生, 硕士, 矿产普查与勘探专业, E-mail: wsyibm@163.com。

3.1 包裹体形态特征

石英中包裹体主要以集群出现,个别单独存在。包裹体粒径主要在 $1\sim 5\mu\text{m}$ 之间,最大粒径大于 $15\mu\text{m}$ 。包裹体形态复杂多样,常见形态有椭圆状、浑圆状、长条形、不规则三角形和不规则多边形等,局部可以看到沿裂隙呈线条状分布。

3.2 流体包裹体均一温度

第二世代石英均一温度测试结果集中在 $303\sim 341^\circ\text{C}$ 范围内,相当于最重要成矿阶段即石英-多金属硫化物阶段的矿物沉淀出来的温度。结合前人研究均一温度成果得知,矿化温度在空间上有一定变化规律:在垂直方向上,由浅的中段到较深的中段矿化平均温度逐渐升高;沿矿脉均一温度也有微弱的变化,矿化温度矿脉沿北西-东南方向逐渐降低,变化范围不大。

3.3 流体包裹体盐度

流体包裹体盐度是通过冰点换算得到的,其盐度计算公式为:

$$W=0.00+1.78t_m-0.0442t_m^2+0.000557t_m^3$$

式中 W 为 NaCl 的重量百分数, t_m 为流体包裹体的冰点温度 ($^\circ\text{C}$)。结果表明,流体的盐度在 $0\sim 10.0\text{wt}\%\text{NaCl}$ 之间,在 $3.0\sim 7.0\text{wt}\%\text{NaCl}$ 之间出现明显的峰值,反映成矿流体的盐度在 $3.0\sim 7.0\text{wt}\%\text{NaCl}$ 之间出现的几率最高,相对比成矿温度,盐度的平均值是 $5.1\text{wt}\%\text{NaCl}$ 。

3.4 二道沟金矿成矿流体密度、压力及成矿深度

本文运用 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 体系的 T - p 相图来确定成矿流体的密度及其流体均一时气相饱和压力值。得到二道沟金矿成矿流体的 $\rho=0.72\text{g}/\text{cm}^3\sim 0.805\text{g}/\text{cm}^3$,同时估算得到压力范围 $4.9\text{MPa}\sim 12.8\text{MPa}$ 。根据孙丰月 (2000) 给出的脉状热液矿床深度与压力分段拟合的方程,即得到的流体压力小于 40MPa 时,用压力除以静水压力梯度 ($10\text{MPa}/\text{km}$),估算得到二道沟金矿成矿深度在 $0.49\text{km}\sim 1.28\text{km}$ 。但是由于目前样品的限制,没有采到矿体根部,因此二道沟金矿的成矿深度应该比 1.28km 要深。

4 同位素地球化学

4.1 硫同位素

本文针对矿区主要矿脉较深中段及不同走向的黄铁矿硫同位素研究。同位素测试分析在核工

业北京地质研究所完成。测试数据表明它们的 $\delta^{34}\text{S}$ 值十分相似,集中在 0 附近。二道沟金矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 在 $-1.7\sim +0.3$ 之间;西对面沟花岗闪长岩岩体全岩硫同位素分布在 $-0.6\sim +0.9\%$ 范围内。

4.2 铅同位素

本次对二道沟金矿较深中段与不同走向的黄铁矿铅同位素进行研究。铅同位素测试分析结果表明,二道沟金矿矿石铅 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值分布在 $17.1010\sim 17.2170$ 之间,平均 17.1493 ; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.3630\sim 15.4070$,平均值为 15.3817 ; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=37.1890\sim 37.3560$,平均值是 37.2560 。铅同位素比值范围窄,反映铅同位素组成比较稳定。 μ 值变化区间为 $9.17\sim 9.25$,均值为 9.20 ,略大于地幔铅的值 ($8\sim 9$); Th/U 值为 $3.83\sim 3.88$,平均 3.85 ,略小于地壳 Th/U 值,介于地壳与地幔之间,且更接近陨石的 Th/U 值 (3.8 ± 0.1);用单阶段演化模式计算的年龄出现不合理的年龄值,与真实年龄肯定有差异较大,可能反映的是铅脱离 Th-U 体系的时间,而非含铅矿物形成的时间。

5 讨论

5.1 成矿条件

二道沟金矿矿区内侵入岩很多,从花岗岩侵入体与金矿床空关系看,金矿床(点)产于岩体内部或其接触带,主要分布于花岗岩类侵入体周围 $0\sim 7\text{km}$ 的范围内,多数集中在 3km 之内,体现出两者之间密切的空间伴生关系;从金矿化与岩浆作用的时间关系来看,二道沟金矿成矿时间大体同时或稍晚于侵入岩浆作用的时间,这一点在邻区的金厂沟梁金矿以及区域其它金矿一样,可能指示二道沟金矿床和其他同年代的金矿化(床)是区域构造-岩浆演化晚期的产物。因此西对面沟斑状花岗闪长岩岩体很可能与金矿成矿作用有关。

对矿区不同中段第二世代石英流体包裹体均一温度测试结果表明,温度集中在 $303\sim 341^\circ\text{C}$ 范围内,结合之前流体包裹体测温资料,温度集中在 $270\sim 320^\circ\text{C}$,表明矿床形成于中温热液环境。而根据流体包裹体盐度估算出二道沟金矿成矿深度在 $0.49\text{km}\sim 1.28\text{km}$,但是由于目前样品的限制,实际的成矿深度可能远远大于此估算值。

5.2 矿床成因

二道沟金矿脉状矿体中的黄铁矿硫同位素组成分布范围在 $-1.7\text{‰} \sim +0.3\text{‰}$ ，而西对面沟岩体边缘的花岗闪长岩和中心部位的斑状花岗闪长岩的全岩硫同位素测定值域位于 $-0.6\text{‰} \sim +0.9\text{‰}$ 之间，三者的硫同位素组成极为相似，证明了三者硫属于同一来源，也说明硫同位素均一化程度高。

矿床中硫的来源一般可以分为三类，地幔硫 $\delta^{34}\text{S}$ 接近于 0，地壳硫成因于地幔分异，之后又经过沉积作用、变质作用岩浆活动和生物作用等改造，其 $\delta^{34}\text{S}$ 变化可能非常大，混合硫则视其混合物质的数量和性质而异（尹观等，2009）。根据 Ohmoto 和 Rye（1979）对世界上著名的 14 个热液矿床的硫同位素研究的分类， $\delta^{34}\text{S}$ 接近于 0 而为不大的正值表明硫源为地幔硫或均一化地壳硫，这与本文所获得的二道沟金矿及周围岩体硫同位素一致。根据硫化物硫同位素组成在典型热液条件下形成的相图，结合二道沟金矿成矿物理条件（ $\text{pH}=4.1 \sim 6.7$ ， $f\text{O}_2=3.99 \times 10^{-40} \sim 1.202 \times 10^{-29}$ ）和矿物组合（黄铁矿+闪锌矿+方铅矿），认为二道沟金矿硫化物的硫同位素组成与成矿流体的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{ss}}$ 基本一致，即 $\delta^{34}\text{S}_{\text{黄铁矿}}=\delta^{34}\text{S}_{\text{ss}}=-3.6 \sim +1.1\text{‰}$ ，从而暗示硫来源比较深，可能来源于上地幔。

铅同位素数据为岩浆侵入作用与矿床形成的关系提供了进一步的证据。通过分析比较二道沟、金厂沟梁、小长皋沟和西对面沟岩体的铅同位素组成，即 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和计算得到的 μ 、 ω 值都十分的相似，尤其是 μ 值更为接近，这些特征可以表明铅同位素可能有相同或相似的来源与演化，即铅应该是来源于相同的源区，然后在同一体系中演化形成。在铅同位素演化图解中（图 1），二道沟、金厂沟梁、小长皋沟和西对面沟岩体在 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 构造模式图中（图 1a）基本集中分布于下地壳演化线与地幔演化线之间，这一分布规律反映了在金厂沟梁—二道沟矿田的金矿石与岩浆岩的铅主要来源于深部（上地幔和下地壳）。而在 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 构造模式图中（图 1b），铅同位素组成也主要分布于下地壳演化线与地幔演化线之间，但是有少量的数据投在了地幔演化线与上地壳演化线之间，且具有一定的线性关系，

显示铅形成的过程中，铅的来源一致，但是受到了上地壳铅的混染，形成了部分异常铅。

6 结论

辽宁二道沟金矿呈脉状产于中生代火山岩中，其主要矿石矿物为黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等。流体包裹体均一温度集中在 $303 \sim 341^\circ\text{C}$ ，属于中温热液环境，盐度在 $0 \sim 10.0\text{wt\%NaCl}$ 之间。黄铁矿硫同位素在 $-3.6 \sim +1.1$ 之间，铅同位素反映铅来源于上地幔与下地壳。二道沟金矿为岩浆热液型成因，与西对面沟岩体具有密切的成因联系。

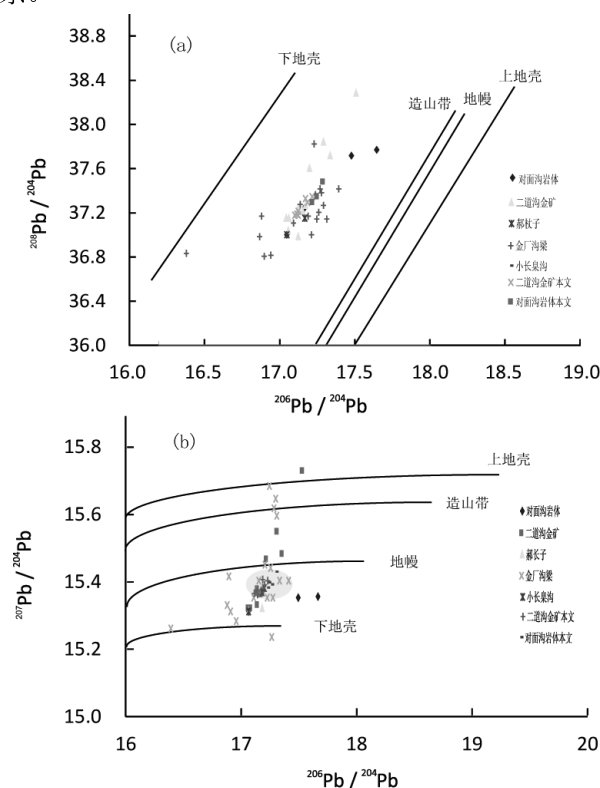


图 1 二道沟-金厂沟梁矿田铅同位素构造模式图

参考文献 / References

- Ohmoto H, Rye R O. 1979. Isotopes of sulfur and carbon. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 2nd ed. (Barnes R L, ed.), Wiley, New York.
- 庞奖励. 1999. 辽宁二道沟金矿床矿物地球化学特征. 陕西师范大学学报 (自然科学版), 27 (4): 97~114.
- 尹观, 倪师军. 2009. 同位素地球化学. 北京: 地质出版社.