冀北丰宁银(金)矿床地质、 地球化学特征及成因

李久明,巩恩普,姚玉增,梁俊红

摘 要: 冀北丰宁银(金)矿床的成矿深度<1km,成矿温度<300℃,成矿时间晚于次火山隐爆 成岩作用1.0 Ma 以上,是与隐爆作用有关的陆相次火山浅成低温热液型银多金属矿床。次火山 隐爆作用只是一种构造动力因素,起到动力源和提供扩容空间的间接成矿作用,而直接的成矿环 境为浅成低温水热流体的成矿演化体系。热液流体大致可分为两类:一是富含 SiO₂ 的热流体,存 在于每次隐爆作用之中,起到胶结花岗质角砾的作用,并有少量金属硫化物(如黄铁矿等)沉淀;二 是有大量地下水参与的含矿水热流体,形成于隐爆作用发生之后,此阶段的热液活动导致 Au, Ag, Pb, Zn, Fe, Cu 等金属及其化合物的富集与沉淀。

关键词: 冀北;丰宁银-多金属矿床;地质、地球化学特征;浅成低温热液 中图分类号: P611;P618.5 文献标识码: A 文章编号: 100-1412(2006)04-024+07

0 引言

丰宁银矿位于冀北有色金属成矿带北部,是一 个中大型与陆相次火山隐爆作用有关的银多金属矿 床。该矿床优越的成矿条件和明显的控矿特征使其 在冀北乃至全国都称得上是典型的矿床类型,因此 自 1987 年发现地表露头以来,吸引了众多学者开展 科研工作。 然而. 不同的学者对该矿床成因却有不 同的看法^[1-5],但由于过于强调次火山隐爆作用对 矿床的制约,而对成矿作用的全过程认识有所偏颇。 笔者在野外地质调查、室内研究并结合前人工作成 果的基础上,通过地质、地球化学手段综合分析认 为:次火山隐爆作用仅仅是成矿过程中的一次动力 地质事件,而主成矿阶段是在浅成低温热液活动期, 根据以往对浅成低温热液金属矿床的研究成果^[6,7], 估计本矿床主要成矿作用阶段要比次火山隐爆(最 末一次)成岩作用相对滞后 1.0 Ma 以上。因此该 矿床的成因类型应厘定为与隐爆作用有关的陆相次 火山浅成低温热液型银多金属矿床。

1 区域地质背景

该矿床地处中朝板块之内蒙地轴东段阴山断块 北缘, 位于 NNE 向延展的上黄旗岩浆岩亚带与西 部沽源火山盆地接壤部位, 西距盆地边缘仅 6 km。

区内基底变质岩仅见早元古界红旗营子群,呈 不规则顶垂体等形式残存于白音沟花岗岩的顶部及 南缘(图1),并普遍发生褶皱及混合岩化作用,且局 部混合岩化强烈地段可形成斑状混合岩、均质混合 岩及条带状混合片麻岩。中生界主要为上侏罗统东 岭台群和下白垩统滦平群,为复杂的陆相火山-沉 积岩石组合,堆积在NE向展布的火山断陷盆地内, 不整合于早元古界变质岩系之上。其中,东岭台群 张家口组在区域上分布最广、厚度最大,是构成火山 盆地的主要地层单元,与区内陆相火山岩型银、铅锌 矿有密切的物源联系^[2]。

区域上发育的断裂构造主要有: EW 向的康 保一围场、NE 向的丰宁一隆化和 NNE 向的上黄 旗一乌龙沟等 3 条超壳断裂,以及平安堡一森吉图、 四岔口一青石砬子等次级断裂带。其中与丰宁银矿

收稿日期: 2005-11-14; 改回日期: 2006-02-20

作者简介:李久明(1972),男,黑龙江富锦人,工程师,博士研究生,矿产普查与勘探专业。

床有密切关系的上黄旗一乌龙沟超壳断裂在上黄旗 以北被 NW 向断层错移后,分为东西两支:西支称 御道口断裂,走向 25°;东支称棋盘山断裂,走向 50°。两支断裂分别控制了白音沟一老虎沟门和后 窝铺一上黄旗岩浆岩带的展布。



图 1 丰宁银矿床区域地质简图 (据牛树银等, 1996 修改)

Fig. 1 Regional geological sketch of Fengning Ag deposit
1. 第四系 2. 张家口组 3. 白旗组 4. 红旗营子群 5. 混合岩
6. 燕山期花岗岩 7. 海西期花岗岩 8. 海西期班状花岗岩
9. 断层 10. 不整合界线 11. 产状

本区晚古生代以来岩浆活动极为强烈,侵入岩 出露广泛,空间上呈带状分布,形成时代主要为海西 期和燕山期。海西期侵入岩以花岗岩为主,次为花 岗闪长岩和石英闪长岩,多为岩基、岩株状产出,走 向 NNE 或 NE,岩性稳定,成因类型以 S 型花岗岩 为主,多属于钙碱性、铝过饱和系列岩石。其中,呈 马蹄形岩基状产出的白音沟花岗岩(xả) 长轴为 NE 向(图1),同位素 K-Ar 年龄为 152.6~222.9 Ma, 锆石 U-Pb 一致线年龄为(241±8) Ma,应属海西 晚期侵入岩。燕山期岩浆侵入作用以晚侏罗世张家 口期和早白垩世大北沟期最为强烈⁽⁸⁾,前者主要为 花岗斑岩、石英正长斑岩、二长斑岩;后者为花岗岩、 花岗闪长岩、石英正长斑岩等。区域上大规模的金、 银、铅锌矿化与本期岩浆活动有密切的成因联系, K-Ar 等时线年龄值为 166 Ma。

2 矿床地质

2.1 矿体基本特征

整个矿区(南区和北区)共圈出 26 个矿体,其中 银矿体 10 个,金矿体 16 个。北区 号矿体规模最 大,占总矿石储量的 98%,矿体呈脉状,走向 10°,倾 向 SE,平面上呈"S"形延伸,剖面上呈"八"字状倾 伏,延深 410 m。矿体在地表出露长度约 240 m,水 平厚度变化较大,为 1~18 m,平均厚度 8.02 m,银 平均品位为 517 × 10⁻⁶;金为 1.94 × 10⁻⁶。矿体厚 度变化与矿体产状有关,产状由缓变陡,矿体变薄; 由陡变缓,矿体变厚。

2.2 控矿构造特征

(1) 断裂构造。主要断裂构造有 F_1 , F_2 , F_3 , F_4 等。 F_1 断裂, 即牛圈一老虎坝断裂, 纵贯全区, 长约 8 km, 产状稳定, 延深较大, 断面较平直, 沿走向和 倾向均呈舒缓波状, 断裂切错花岗岩和变质岩并使 其产生动力变质作用, 由压碎角砾岩(破碎带) 与断 层泥、粗糜棱岩组成断裂带。断裂主要发育在海西 期粗粒花岗岩内, 走向 10°, 倾向 SE, 倾角 60°~7s, 底部往往有 0. 5~1 m 厚的灰白色断层泥, 断层内石 英产生韧性变形, 泥化及糜棱岩化花岗岩的定向拉 长明显, 总体表现压扭性结构面、多次活动特点。 F_2 , F_3 断裂位于 F_1 东侧, 近等间距分布, 走向为 20° ~40°, 倾向 SE, 倾角 50°~7s, 具高岭土化、绿泥石 化及萤石化蚀变, 为成矿前断裂。 F_4 断裂, 走向 330°, 倾向 SW, 倾角 45°~58°, 为成矿后的平移正断 层, 切割 F_1 及隐爆角砾岩体。

(2)火山机构- 隐爆角砾岩体。该矿床最主要 的控矿构造是火山机构- 隐爆角砾岩体,因其角砾 和胶结物多由微晶玉髓等高硅矿物组成,故亦称硅 质角砾岩,主要分布于矿区中部 F¹ 断裂的上盘,与 碎裂粗粒花岗岩及压碎角砾岩呈贯入式侵入接触, 界线明显,状如熔岩流,走向 28°或 356°,倾向 SE,倾 角 50°~70°,一般厚度约 20 m,延深 300~650 m。 形态受 F¹ 影响,呈脉状或透镜状平行产出,主脉体 平面上呈"S"形, 剖面上呈反"S"形。岩石呈灰白-暗灰色, 角砾状、块状或斑状构造。石英、萤石的晶 洞、晶簇及梳状构造也很常见。角砾岩成分比较复 杂, 花岗质岩屑含量为 10% ~ 60% , 成分与角砾相 同; 晶屑含量为 2% ~ 15%, 主要是石英和长石的碎 屑。胶结物占 10% ~ 40% , 为隐晶质或微晶玉髓、 凝灰质胶结, 花岗质岩屑角砾周围多由玉髓质灰色 条带包裹, 晚期有微细石英- 萤石- 黄铁矿脉穿插。 角砾大小悬殊, 多杂乱分布, 大者 20~ 30 cm, 小者 0.2 mm 以下, 一般为 1~ 3 cm, 因受熔蚀多呈次棱 角状和次浑圆状。岩屑角砾粒径较大, 晶屑类角砾 多小于 2 mm, 并以棱角状者居多。

2.3 矿石结构构造及矿物共生组合

矿石具有典型的中-低温热液成因结构构造, 主要的矿石结构有交代结构、交代残留结构、包含 结构、固溶体分离结构、自形晶粒状结构、碎裂结 构等;矿石构造主为角砾状构造、复式角砾状构 造、脉状-浸染状构造、环带状构造、团块状构 造、晶洞构造等。

矿体的脉石矿物包括石英、水云母、重晶石、萤 石、长石类矿物、碳酸盐矿物、粘土质矿物等。矿石 矿物组成较复杂:为以黄铁矿为主的方铅矿、闪锌 矿、黄铜矿、辉铜矿、辉银矿、自然银、银金矿、毒砂、 磁铁矿、富银硫砷铜银矿等典型中低温热液成因的 矿物组合,有 30 余种。黄铁矿作为一种贯通性矿 物,它参与整个热液活动,是矿石中最主要的金属硫 化物和银的主要载体矿物,分布极不均匀。矿石矿 物的组构特征表明,金属硫化物常呈自行、半自 形、他形不等粒结构,其中交代溶蚀和包裹、被包裹 现象极为发育,并偶见黄铁矿的骸晶结构。隐爆作 用常使先期形成的黄铁矿出现震裂、震碎结构。但 主成矿期沉淀的金属硫化物(如方铅矿、闪锌矿、黄 铜矿等) 却没有表现出被隐爆作用扰动的迹象, 说明 主成矿期在隐爆作用之后。

2.4 围岩蚀变特征及其分带

丰宁银矿床的主矿体赋存于玉髓化角砾岩中, 矿体两侧的蚀变围岩主要发育干近矿的碎裂粗粒花 岗岩内,并严格受主断裂(F1)及隐爆-侵入角砾岩 体的控制, 平面上呈近 SN 向带状展布, 剖面上矿体 顶板岩石蚀变的强度和范围远远超过底板岩石。主 要的蚀变类型有硅化、钾化、高岭土化(俗称白土 子)、萤石化、黄铁矿化,次为褐铁矿化、绿泥石化、伊 利石化、碳酸盐化等,可见蚀变岩是一组典型的低温 热液矿物组合。硅化、萤石化常呈脉状或面状分布, 局部发育有细脉状或浸染状黄铁矿化、黄铜矿化、铁 白云石化及重晶石化等。根据蚀变矿物的组合特 征、发育程度,可划分3个带(图2): 高岭土-绿 泥石-伊利石带:主要发育于矿体的下盘,蚀变矿物 为高岭石、绿泥石、伊利石、水云母、绢云母等粘土矿 物: 硅化-水云母-蒙脱石化带,蚀变矿物为玉 髓、石英、水云母、蒙脱石及萤石、该带主体与隐爆角 砾岩相在空间上大致吻合: 石英- 黄铁矿- 绿泥 石-碳酸盐化带,主要发育于矿体的上盘,蚀变主体 不超出钾化粗粒花岗岩带。由于热液多期脉动,导 致不同类型和期次的蚀变在空间上叠加或穿插,而 使分带趋于复杂化。

3 流体包裹体

3.1 包裹体组构特征

野外观察及镜下鉴定认为,丰宁银矿石英脉的 成岩演化与矿脉(体)的形成关系密切,可分为成矿 前期石英(Q)、成矿期石英(Q)和成矿后期石英 (Q)3种类型(表1)。包裹体主要有两种产出形

围岩	外 带	内		带小人的水子	外 带	围岩
粗粒花岗岩 , (钾化)	石英-黄铁 矿-绿泥石 -碳酸盐化 蚀变带	硅化-水云母 -蒙脱石-萤石 化蚀变带	矿 体	硅化-水云母 -蒙脱石-萤石 化蚀变带	高岭石-绿泥 石-伊利石化 蚀变带	粗粒花岗岩 (钾化)
原語の外別	◀────上盘		矿体		-下盘	114 OS 1413

图 2 矿体与围岩蚀变空间分带示意图

Fig. 2 Sketch showing spatial zoning of wallrock alteration and ore bady

式:一是个体较大的孤立型原生气液两相包裹体、纯 气相和纯液相包裹体,后两者出露范围局限,且数量 较少,但可见相伴成群出现;二是沿共轭剪切裂隙分 布、数量众多、个体细小的气液两相和纯液相包裹 体。其中原生包裹体形态以圆形、椭圆形为主,少量 出现石英的负晶形,大小为 2~15^µm,浅灰色,常温 下呈气液两相、纯液相及纯气相 3 种形态,气液比 2%~35%,数量较多,而且可见气液比相差悬殊的 包裹体共生在一起,充填度 0.90~0.98 者可见气泡 作无规则剧烈跳动。

Tab 1	Fabric features	of quart z	inclusions	for di	ifferent generati	ons
-------	-----------------	------------	------------	--------	-------------------	-----

期次	成矿前石英(Q)	成矿期石英(Q)	成矿后石英(Q)
形态	椭圆形为主,少量不规则状	椭圆形为主, 少量石英负晶形及不规则状	椭圆形为主, 少量不规则状
大小	2~ 10	2~ 15	2~ 10
颜色	浅灰– 无色	浅灰、灰黑、无色	浅灰
常温下相态	气液两相	气液两相、纯气相、纯液相	气液两相
分布	单个	单个或成群	单个
数量	较多	多	少
充填度	0.75~ 0.98;众值 0.95土	0.65~0.98;众值0.95±	0.85~0.99;众值0.95±
次生包裹体	发育	非常发育	较发育

3.2 成矿温度与压力

石英包裹体均一温度测定表明,成矿前期石英 (Q)为260~360℃;成矿期石英(Q)为200~ 310℃,众值230~270℃,峰值约为250℃;成矿后期 石英(Q)为160~270℃。同时,在成矿期石英 (Q)薄片中可见气液比相差较大的包裹体,但他们 的均一温度接近,如薄片下166中充填度0.65±的 包裹体均一温度为260~270℃,而充填度0.90±的 包裹体均一温度与充填度无关。说明流体成矿过 程中曾发生了相分离或沸腾,故未对均一温度进行 压力校正,该温度即相当于晶体圈闭成矿流体的捕 获温度。对成矿期石英(Q)气液包裹体(充填度为 0.75~0.95)进行冷冻观察,测得其冰点为-1.5℃, 计算得盐度w(NaCl) = 2.6%,可见成矿流体盐度 较低,这可能与矿液定位时有大量地下水加入有关。

由矿物包裹体成分可知, 本矿床中成矿流体中 含有 KCl, 为 KCl 和 N aCl 混合型流体, 据邵 洁涟 (1990) 提出的经验公式, 计算成矿期石英(Q)气液 包裹体捕获时成矿流体压力约为 126×10⁵~260× 10⁵ Pa, 如果按照 30 M Pa/km 的压力梯度计算, 那 么丰宁银矿的成矿深度约为 0.42~0.86 km。

4 矿床地球化学

4.1 氢、氧同位素特征

对该矿蚀变矿物(玉髓)包裹体氢、氧同位素样 品测定显示(表 2), $\delta(^{18}O) = 1.31 \times 10^{-3} \sim 4.15 \times$ 10⁻³, 极差 2.84×10⁻³, 平均值 2.74×10⁻³; & D) = $-98.7 \times 10^{-3} \sim -116.9 \times 10^{-3}$,极差-18.2× 10⁻³,平均值-106.35×10⁻³。将样品数据投影到 流体 δ(D) – δ(¹⁸O)组成图(图 3)上,其投点位于岩 浆水的左下方,明显偏离岩浆水而趋向雨水线,表明 在成矿过程中大气降水可能起到了重要作用。从δ (D) < - 100 × 10⁻³ 也可推断流体中的水主要来源 于大气降水^[10]。但由于矿体定位于比较开放的扩 容空间(火山隐爆角砾岩体)中,净水/岩值较大,水 - 岩反应剧烈、氧同位素漂移明显、而使流体中 δ(¹⁸ 0) 值略有升高。而 δ(¹⁸ 0) 值对包裹体成因具有 示踪意义^[11],认为陨石 δ ⁽¹⁸0) = 3.7×10⁻³~ 6.3× 10^{-3} ; 地幔 $\delta(^{18}O) = (5.7 \pm 1.00) \times 10^{-3}$, 故该矿床 成矿流体应属深源混合岩浆水。





of hydrothermal fluid in Fengning Ag deposit

表 2 丰宁银矿氢、氧同位素测定结果

序号	取样位置	矿物名称	δ(¹⁸ O) / 10 ⁻³	δ(D) / 10- 3
1	T C80	石英	2.21	
2	T C82	石英	4.01	
3	82 线 CM 3	石英	4.15	- 105.0
4	82 线 CM 3	石英	2.13	
5	82 线 CM 3	石英	1.31	- 98.7
6	ZK 83-1 孔	石英	2.78	- 104.8
7	ZK 79-3 孔	石英	2.62	- 116.9
8	极差		2.84	- 18.2
9	均值		2.74	- 106.35

4.2 硫同位素特征

该矿 20 件硫同位素(³⁴ S) 样品分析结果(表 3) 表明, 黄铁矿 $\delta(^{34} S) > 闪锌矿 \delta(^{34} S) > 方铅矿 \delta(^{34} S)$, 说明含矿热流体中硫(³⁴ S) 已达热力学同位素 平衡分馏。 $\delta(^{34} S) = + 3.3 \times 10^{-3} - + 5.2 \times 10^{-3}$, 平均值+ 4.52 × 10⁻³, 变化范围较小, 极差 1.9 × 10⁻³, 标准差为 0.5 × 10⁻³。硫同位素均一化程度 较高, 图解呈现明显的塔式效应(图 4), 具有与陨石 硫接近, 偏正的硫同位素组成。显示硫化物的硫源 较单一, 具有深源硫的特点, 推测其继承了基底变质 岩中基性火山岩的硫。





4.3 稀土元素特征

据岳书仓等(1999)研究,稀土元素作为热液流 体来源的示踪剂能有效地确定火山- 侵入杂岩体的 成岩- 成矿专属性。因此对丰宁银矿矿石和花岗岩 (3件样品)的稀土元素特征作了系统分析(表4),并 作出稀土元素配分模式图(图 5)。稀土总量较低, 分布模式整体呈水平- 略右倾的"W"型,并大致呈 相互平行的折线状,具有一定程度的轻、重稀土分馏 效应和 Eu 负异常(δ(Eu) < 1)。其中 Tb 具有较一 致的明显亏损现象,但原因不详,可能是测试方法和 精度的原因,亦或与某些矿物的多寡有关。反映成 岩与成矿同源演化及具有深源- 壳幔混合来源的 特征。



图 5 丰宁银矿稀土元素配方模式图 Fig. 5 REE pattern of Fengning Ag deposit

Tab 3 S-isotope analysis of Fengning Ag deposit									
样品位置	样品编号	矿物	$\delta\!(^{34}\mathrm{S})$ / 10^{-}^3	样品位置	样品编号	矿物	$\delta(^{34}\mathrm{S})/10^{-}$ 3		
ZK48-1 68.4m	T W1	方铅矿	+ 3.8	ZK48-5 250m	TW6	闪锌矿	+ 3.6		
ZK48-1 81m	TW2	方铅矿	+ 3.5	ZK 48-5 240m	7	方铅矿	+ 3.9		
ZK48-2 123m	T W3	方铅矿	+ 3.2	ZK 48-5 240m	7	闪锌矿	+ 4.2		
ZK48-2 123m	T W3	黄铁矿	+ 4.8	X J 1	8	方铅矿	+ 4.5		
ZK48-2 123m	T W3	闪锌矿	+ 3.2	X J 1	8	闪锌矿	+ 5.1		
ZK48-2 162m	TW4	方铅矿	+ 3.3	X J 1	9	方铅矿	+ 4.1		
ZK48-2 162m	TW4	闪锌矿	+ 3.3	XJ1	9	闪锌矿	+ 5.7		
ZK48-5 260m	T W5	方铅矿	+ 4.3	ZK44-4 124.6m	10	方铅矿	+ 3.6		
ZK48-5 260m	T W5	闪锌矿	+ 4.1	ZK 48-5 246m	14	闪锌矿	+ 5.3		
ZK48-5 250m	T W6	方铅矿	+ 3.8	ZK48-5 258m	15	方铅矿	+ 3.6		

表 3 丰宁银矿硫同位素分析结果

表4 丰宁银矿矿石及围岩稀土元素组成及特征值

T ab 4 Chondrite mormalized REE composition and the characterisic value

w_B/ 10⁻⁶

样品类型	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	H o Er
蚀变粗粒花岗岩	24	41	3.9	15.5	2.1	0.27	1.4	0.06	1.8	0. 24 0. 88
隐爆角砾岩	18	34	3.9	14	2	0.31	1.5	0.18	2.1	0.4 1.1
细粒花岗岩	39	83	5.5	21	1.8	0. 22	1.1	0.07	1.7	0. 28 1
样品类型	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	LREE	H RE E	δ(E u)	δ(Ce)	LREE/HREE
蚀变粗粒花岗岩	0.08	1.3	0. 23	8.5	92.76	86. 77	5.99	0.96	0.76	14. 5
隐爆角砾岩	0.14	1.3	0.25	15	79.18	72.21	6.97	0.91	0.71	10. 4
细粒花岗岩	0.05	1.2	0. 22	9.4	156.14	150.5	5.62	1.09	0.86	26.8

5 讨论与结论

自早元古代至中生代. 冀北地区长期处于隆升 剥蚀状态,中生代以后才开始接受新的沉积^[2]。但 在海西期,受华北板块与西伯利亚板块碰撞造山作 用的影响,该地区发生了强烈的岩浆作用,在矿区表 现为海西期粗粒花岗岩和斑状花岗岩的广泛发育. 这些岩石不但为后来的成矿作用提供了沉淀场所, 而且从稀土元素的配分模式图解来看它们还与成矿 有着密切的成因联系。在中生代晚期,受整个中国 东部构造-岩浆活化^[7]事件的影响,区域火山活动 剧烈而频繁,陆相次火山岩体广泛发育。次火山热 液在浅成-超浅成条件下,外压力骤然降低,挥发组 分自熔浆中强烈析出,具有较强蒸气压力,可以爆破 围岩开辟上侵通道,含矿热液即来源于次火山岩浆 冷凝结晶过程中挥发组分的蒸馏和气化作用[13]。 随后, 矿液在隐爆角砾岩体中遇有大量的地下水并 混合形成含矿的浅成低温热水溶液,在与围岩发生 交代蚀变作用过程中沉积成矿。综合地质、地球化 学特征, 笔者认为, 丰宁银矿与 P・希尔德(Heald, 1987) 及卢焕章等(1995) 总结的陆相火山- 次火山 岩体有关的冰长石(钾长石)- 绢云母型浅成低温热 液矿床成矿模式极其吻合, 即理论上该矿床成矿深 度 h < 1 km, 成矿温度 t < 300 C, 成矿时间晚于赋矿 岩体约 1.0 Ma 以上。并进一步得出以下几点结 论:

(1)次火山隐爆作用只是一种构造动力作用,起 到动力源和提供扩容空间的间接成矿作用,而直接 的成矿环境为浅成低温水热流体的成矿演化体系。

(2)整个隐爆作用不是一次形成的,在先期隐爆 作用发生后,有一个相对稳定时期,早期爆发、冷凝 形成的岩体被后期隐爆作用进一步破碎、胶结,从而 形成了很多复式角砾。这种作用不断进行,并最终 形成了隐爆角砾岩体。

(3) 丰宁银矿热液流体中硫、水的来源具有深源 性和多源性的特点,反映成矿流体最初来源于深部, 可能为下地壳与上地幔之间。深源含矿流体在上升 过程中有浅源流体(大气降水)的加入,从而形成混 合流体。热液流体大致可分为两类: 一是富含 SiO² 的热流体, 形成于每次隐爆作用之中, 起到胶结花岗 质角砾的作用, 并有少量以黄铁矿为主的硫化物沉 淀; 二是有大量地下水参与的含矿水热流体, 形成于 隐爆作用发生之后, 此阶段的热液活动导致 Au, Ag, Pb, Zn, Fe, Cu 等大量金属及其化合物的富集与 沉淀。

(4) 隐爆角砾岩体形成之后的晚期热液活动或 地下水溶滤作用充分利用了这一构造体系,并最终 形成与隐爆作用有关的陆相次火山浅成低温热液型 银多金属矿床。

致谢:本文得到杨红英老师、崔显德老师以及同 一实验室的其他老师和同学的大力帮助,并借鉴了 他们的部分科研成果,野外工作曾得到承德燕山银 业股份有限公司高春武经理的协助,在此一并表示 诚挚的谢意!

参考文献:

- [1] 魏晓英.河北丰宁营房一牛圈银矿床构造控矿特征和成因探讨
 [J].地质找矿论丛,2000,15(3):261-266.
- [2] 杨敏之. 冀北银矿床类型、矿床地质地球化学、地史-演化模式 及找矿方向[J]. 地质找矿论丛, 2000, 15(3): 193-203.

- [3] 张国辉. 牛圈银金矿床流体包裹体研究[J]. 矿物岩石地球化学 通报, 1995, (3): 153-154.
- [4] 刘凤山,张国辉.河北牛圈热泉型银(金)矿床成因[J].贵金属
 地质,1996,(1):48-58.
- [5] 李永刚, 王丽霞. 河北牛圈银(金) 矿床围岩蚀变研究[J]. 地质 找矿论丛, 2002, 17(4): 234 239.
- [6] 卢焕章, 池国祥, 王中刚. 典型金属矿床的成因及其构造环境[M]. 北京: 地质出版社, 1995. 59-177.
- [7] 毛景文.河北省东坪碲化物金矿床流体包裹体研究:地幔流体 与成矿关系[J].矿床地质,2001,20(1):23-35.
- [8] 牛树银,罗殿文,叶东虎,等. 幔枝构造及其成矿规律[M].北 京:地质出版社, 1996. 116.
- [9] 邵洁涟. 金矿找矿矿物学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990.
- [10] 张理刚,陈振胜,刘敬秀,等.两阶段水-岩同位素交换理论及 其勘查应用[M].北京:地质出版社,1995.1422.
- [11] 郑永飞,陈江峰.稳定同位素地球化学[M].北京:科学出版 社,2000.145-148.
- [12] 岳书仓,徐晓春.火山-侵入杂岩带的成岩-成矿专属性[J].
 地学前缘, 1999, 6(2): 456 460.
- [13] 袁见齐,朱上庆,翟裕生.矿床学[M].北京:地质出版社, 1988.156175.
- Pamela Heald, Nora K Foley, Daniel O Hayba. Comparative Anatomy of volcanie-hosted epithermal deposits: acid-sulfate and adularia-sericita Types[J]. Econ. Geol., 1987, 182(1): 1-26.

THE GEOLOGICAL-GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND METALLOGENY OF FENGNING SILVER POLYMETALLIC ORE DEPOSIT, NORTH HEBEI PROVINCE LI Ji#ming, GONG Empu, YAO Y# zeng, LIANG Jum hong

(School of Resource and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang, 110004, China)

Abstract: The analysis on geological geochemical characteristics of Fengning silver-polymetallic ore deposit indicates that the metallogenic depth is less than 1km, the metallogenic temperature is less than 300 °C and the metallogenic epoch is estimated about 1.0 M a later than cryptoexplosion of sub-volcano, thus the deposit belongs to terrestrial sub-volcanic epithermal silver-polymetallic deposit related to crypto-explosion. The sub-volcanic cryptoexplosion, as a tectonic dynamic factor, merely acts as the dynamic source and provision of expansion space, while the direct metallogenic environment is epithermal fluid evolution system. The fluid can be divided into two types: one is SiO2-rich fluid, which occurred in every cryptoexplosion and cement the granitoid breccia and there is little metal sulfides precipitated; the other is ore-bearing hydrothermal fluid with lots of groundwater, which occurred later than cryptoexplosion, and the hydrothermal activity leads to the metal elements, such as Au, Ag, Pb, Zn, Cu and their composites enriched and precipitated.

Key Words: north Hebei province; Fengning silver polymetallic ore deposit; geological geochemical characteristics; epithermal fluid