

地质与矿产

## 冀西北水晶屯金矿地质特征及成矿作用研究

郑宏伟<sup>1</sup>,牛树银<sup>1</sup>,李富<sup>2</sup>,李秀花<sup>3</sup>,王丰翔<sup>1</sup>,张良<sup>2</sup>

(1. 石家庄经济学院,河北 石家庄 050031;2. 张家口市海龙金矿有限公司,河北 张家口 075000;3. 河北地矿局第三地质大队,河北 张家口 075000)

**摘要:**水晶屯金矿位于我国重要的金矿集中区——河北省张宣(张家口—宣化)幔枝构造区南部,是张宣地区比较有代表性的中型金矿,张宣幔枝构造演化过程中形成的一系列多期次、多阶段的褶皱和断裂构造体系对该矿的形成和演化起着重要的控制作用。该文以幔枝构造理论为指导,在总结前人资料基础上,通过野外调查,室内综合分析,认为其外围及深部仍具有较大找矿潜力。

**关键词:**幔枝构造;成矿作用;控矿构造;张宣地区;水晶屯金矿

**中图分类号:**P618.41

**文献标识码:**A

冀西北张家口—宣化地区是我国重要的黄金产地,该区矿产储量大、分布广、成矿时期集中,水晶屯金矿是该区具有代表性的中型金矿<sup>[1]</sup>。但近年来矿山勘探遇到困难,矿山资源面临枯竭,该文在总结前人资料基础上,应用幔枝构造理论,深入开展了矿田构造研究,认为张宣幔枝构造演化过程中形成的一系列多期次、多阶段的褶皱和断裂构造体系,对金矿的形成和演化起着重要的控制作用,水晶屯金矿属于多级断裂控制的构造破碎带型——石英脉型金矿<sup>[2]</sup>,预测矿区深部及外围仍具有较大的找矿潜力。

## 1 区域地质背景

水晶屯金矿位于崇礼—赤城韧性剪切带南侧,张宣幔枝构造西缘拆离带上,是张宣幔枝构造演化过程中形成的构造破碎带型——石英脉型金矿。燕山运动以来,张宣幔枝构造的形成跨越了传统划分的燕山台褶带和内蒙地轴2个构造单元,北起康保,南到涿鹿,西自尚义,东至赤城,总体表现为以崇礼为中心的巨大的穹状构造,其间发育了一系列环绕中心的弧形、半环形、环形韧性剪切带、褶皱带和断裂带,控制了张宣地区多金属矿产的构造—岩浆成矿系列<sup>[3]</sup>(图1)。

## 2 矿区地质特征

水晶屯金矿位于张家口市东25 km,水晶屯村东约1.2 km处,北起上新营—下新营,南至碾子沟,西始石板沟,东到四台沟。

### 2.1 地层

矿区出露地层简单,主要为太古宙桑干群化家营组浅色麻粒岩和涧沟河组暗色变粒岩。

化家营组岩性为一套浅色麻粒岩,主要分布于矿区南半部,按岩性特征和矿物组合,可分上下2个岩性段。

化家营组下段以浅色麻粒岩、变粒岩类为主,局部夹少量暗色岩石,主要分布于矿区中南部和东部,岩石普遍受强烈混合岩化作用、交代作用,局部麻粒岩呈“残核”,地层产状同区域片麻理方向一致,是含金石英脉的主要赋矿围岩。

化家营组上段以二长麻粒岩、变粒岩互层为特征,上部夹有薄层眼球状不规则条带状混合岩。

涧沟河组岩性以一套暗色变粒岩为主,夹少量麻粒岩,混合岩化程度较低,主要分布在矿区北半部。

### 2.2 岩浆岩

矿区内虽未见侵入岩体,但断裂及构造裂隙发

收稿日期:2013-04-01;修订日期:2013-09-15;编辑:王秀元

作者简介:郑宏伟(1987—),男,硕士研究生,研究方向:构造地质学与构造成矿控矿;E-mail:2491569768@qq.com。

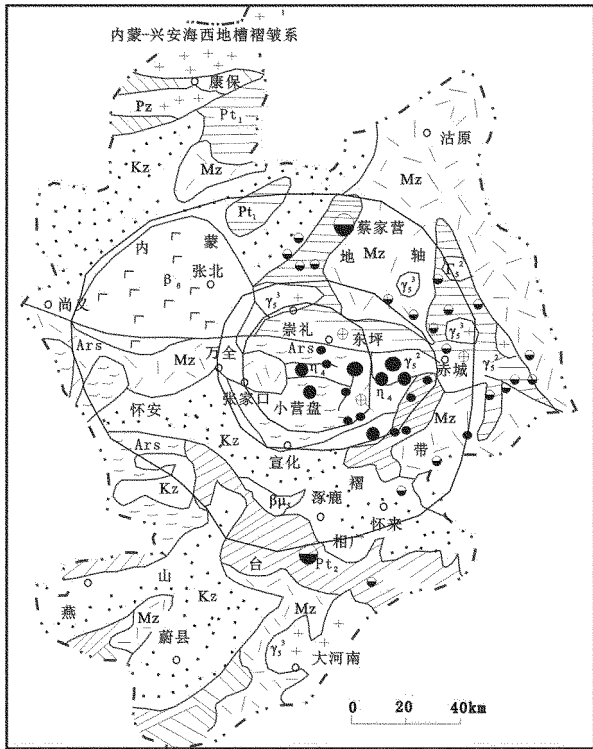


图 1 张宣幔枝构造区金银多金属分布简图

1—新生界;2—中生界;3—古生界;4—中上元古界;5—下元古界;6—太古宇;7—新生代玄武岩;8—燕山晚期花岗岩、正长斑岩;9—燕山中期花岗岩斑岩、石英二长岩、闪长岩;10—燕山早期辉绿岩;11—海西期花岗岩、二长岩;12—断裂构造;13—构造单元分区;14—遥感环形影像;15—省市界;16—大型金矿床;17—中、小型金矿床;18—大型银多金属矿床;19—中小型银多金属矿床;20—金银矿床

育岩浆热液产物长英质岩脉及含金石英脉,且Ⅷ号脉以北有一条近 EW 向矿脉东段接近罗家营斑状花岗岩体,附近也形成了席麻湾等金矿点,由此可见罗家营斑状花岗岩体的岩浆活动与矿区成矿作用有着密切关系<sup>[4]</sup>。

### 2.3 构造特征

矿区位于尚义-赤城韧性剪切带之次级韧性剪切带中山沟-谷嘴子-小营盘-响水沟剪切带西南侧,青边口-大白杨剪切带北侧。矿区内褶皱构造主要包括近 EW 向的白石沟向斜和矿区南部碾子沟北坡的背斜及其两侧的轴向近于平行排列的若干小型背、向形构造,均为巨型倒转复向斜中的次级构造,控制矿区内地层产状。矿区内断裂构造十分发育,按其方向可分为近 EW,近 SN, NW 向 3 组。

水晶屯外营-黑林山断裂为矿区主干断裂,近

EW 向展布, S 倾, 主构造带内糜棱岩、碎裂岩、角砾岩、断层泥分带分布, 具压扭性构造特征。该构造经历了压扭性、张扭性、压性多期次的构造活动, 是主要控制蚀变岩型和石英脉型矿体。

近 SN 向断裂构造为矿区主要发育于水晶屯外营-黑林山断裂与黄土坡-碾子沟断裂之间, 部分呈雁列式排列, 断裂带走向延伸 350~800 m, 倾向 W, 倾角 40°~85°。由西向东, 产状逐渐变缓。早期多为张扭性, 晚期为压扭性。构造面、片理不发育, 控制着主要的含金石英脉型金矿。

黄土坡-碾子沟断裂, 走向 NW 向, 倾向 SW, 倾角 60°~80°, 局部反倾, 断裂面平直, 构造带内主要由碎裂蚀变角砾组成, 是以剪切为主的扭性构造。与水晶屯-张全庄 NW 向次级含金剪切带平行, 规模较小, 切穿了近 EW、近 SN 向断裂构造裂隙中充填的石英脉, 形成最晚, 为成矿后断裂, 对矿体有一定的破坏作用<sup>[5]</sup>。

### 3 矿床地质特征

水晶屯金矿由 8 条含金石英脉或含金蚀变带构成, 矿脉编号为 I, II, IV, V, VI, VII, VIII, X; 按其走向分为近 EW 向、近 SN 向和 NW 向 3 组, 其中对 II 矿脉、VIII 矿脉研究程度较为深入(图 2)。

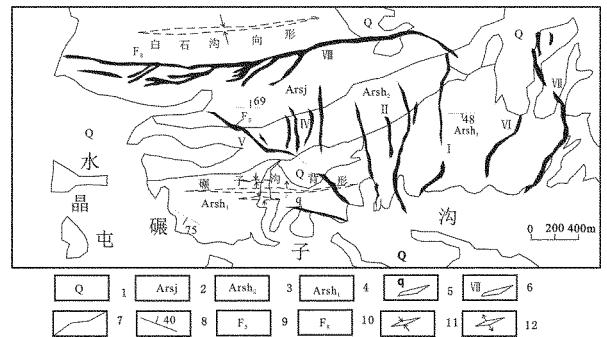


图 2 水晶屯金矿地质简图

1—第四系;2—太古宙桑干群涧沟河组;3—太古宙桑干群化家营组 2 段;4—太古宙桑干群化家营组 1 段;5—石英脉;6—矿脉(群)及编号;7—地境界线;8—产状;9—黄土坡-碾子沟断裂;10—水晶屯外营-黑林山断裂;11—向形;12—背形

#### 3.1 矿脉展布特征

II 矿脉由 6 条支脉组成, 其中 II-1 矿脉规模最大, II-2, II-4, II-5 为隐伏矿脉, 矿脉的规模、形态、产状严格受构造断裂带控制, 矿脉沿走向延长和倾向延深均较稳定, 金平均品位  $8.53 \times 10^{-6}$ , 属厚

度变化较稳定,品位较均匀类型。矿体产状随构造带产状变化而起伏,倾向 W,倾角一般  $35^{\circ}\sim 70^{\circ}$ ,各矿体在平面和剖面上均以  $35\sim 75$  m 左右的等间距呈近平行排列,矿体走向长  $80\sim 680$  m,倾斜延深  $50\sim 300$  m,最大延深 388 m。矿体形态以规则的脉状为主,透镜状、扁豆状次之,沿走向、倾向均有膨缩现象。矿体近地表局部有 E 倾的现象。

VIII 矿脉展露于矿区北部,分布 4~71 线间,为近 EW 向矿脉,矿体总体走向  $80^{\circ}\sim 110^{\circ}$ ,3 线以东逐渐变为  $100^{\circ}\sim 130^{\circ}$ ,倾向 S 或 SW,倾角  $45^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ,具东缓西陡的特点,属厚度稳定、品位较均匀—不均匀类型。矿脉断续约 1 600 m,中间具尖灭再现及分枝现象,矿脉南侧发育一系列羽状分支矿脉,其走向长数十米~数百米。矿体赋存标高  $920\sim 1\ 380$  m。矿体形态为大透镜状或似层状

近 SN 向(I, IV, VI, VII)矿脉与 NW 向(V)矿脉,地表追索前者沿走向长  $300\sim 700$  m,矿脉厚度一般  $0.20\sim 1.80$  m,品位  $(1.50\sim 4.50)\times 10^{-6}$ ;后者沿走向长约 500 m,矿脉厚  $0.60\sim 2.50$  m,平均品位  $3.2\times 10^{-6}$ 。

### 3.2 围岩蚀变及矿化

水晶屯金矿近矿围岩蚀变发育,其中与金矿关系密切的为钾长石化、硅化、绢云母化、黄铁矿化等。蚀变带一般范围较窄,带内一般均发生金矿化,并具有明显的蚀变分带(由内向外):钾长石+黄铁矿+硅化→黄铁矿+绢云母→高岭土+绿泥石+绿帘石。各带间无明显界线,逐渐过渡。在空间上,矿体不同部位的蚀变组合有所差异。其中,碳酸盐化、赤铁矿化、钾长石化、弱硅化为矿体顶部的蚀变组合,黄铁矿化、硅化、绿泥石化为矿体底部的蚀变组合。

### 3.3 矿石矿物特征

矿区主要有 3 种金矿石自然类型:蚀变岩型、石英网脉蚀变岩型和石英脉型。蚀变岩型矿石为矿区的主要矿石类型,但品位一般较低,石英脉岩型和石英网脉蚀变岩型矿石金的品位较高,含金的黄铁矿以浸染状分布于钾化蚀变岩型矿石中,矿石风化后常呈褐黄红色,是很好的找矿标志。浅部石英脉型矿化晚于钾化蚀变岩型矿化,向深部逐渐演变为蚀变岩型矿体。

矿石中主要金属矿物有赤铁矿、黄铁矿、针铁矿、褐铁矿、磁铁矿,次为少量辉钼矿、黄铜矿、铜兰、

孔雀石等;主要的含金、银矿物有自然金、碲银矿、碲金矿、银金矿等;主要脉石矿物有石英、长石、次为绢云母、方解石、角闪石、黑云母等,约占 87%。

矿石的结构主要为碎裂结构、半自形粒状结构、他形粒状结构、交代假象结构、交代残余结构及交代环状结构等。

矿石的构造主要为角砾状构造、浸染状构造、块状构造、蜂窝状构造、脉状构造及团块状构造等。

## 4 同位素特征

成矿物质来源是找矿靶区优选的关键问题,而同位素地球化学特征则是研究成矿物质来源行之有效的方法。

### 4.1 硫碳铅同位素特征

通过统计对水晶屯金矿床矿石中硫化物同位素测试结果,为  $(+3\sim -27)\times 10^{-3}$  之间,因此推断原始成矿热液的总硫  $\delta^{34}S_{SS}\approx 0\times 10^{-3}$ ,应属幔源硫。但区内贫<sup>34</sup>S 反映了成矿物质并非直接源于地幔,而是具有岩浆硫与地层硫双重特征。矿区的  $\delta^{13}C$  ( $10^{-3}$ ) 值变化范围在  $-5.9\sim -3.9$ ,平均值  $-4.60$ ,接近于地幔来源,某些已知地质体中的  $\delta^{13}C$  ( $10^{-3}$ ) 值相比,该区的值落入岩浆氧化态碳和岩浆成因的碳酸盐的碳同位素组成范围之内,综合分析表明矿区的碳酸盐岩为岩浆热液成因。水晶屯金矿的 Pb 同位素比较一致, $^{206}Pb/^{204}Pb=16.84\sim 17.60$ , $^{207}Pb/^{204}Pb=15.136\sim 15.50$ ; $^{208}Pb/^{204}Pb=36.751\sim 37.60$ , $^{208}Pb/^{204}Pb=37.815\sim 37.890$  范围内波动,并落于 B. R. Doe 的铅同位素构造模式图中的克拉通地壳区及地幔与造山带之间,表明成矿物质主要来源于地幔深部,在成矿物质上涌的过程中有桑干群围岩的混入。

### 4.2 氢氧同位素特征

通过对水晶屯金矿床及外围金矿点的矿物包裹体的温度测量,成矿温度区间主要在  $176\sim 252^{\circ}C$  之间,平均为  $220^{\circ}C$ ,将这些数据投到  $\delta D - \delta^{18}O$  关系图上,可见该矿床氢、氧同位素均在原生岩浆水附近,而远离大气水和变质水,反映出与成矿关系最为密切的为原始岩浆水,但在其向上运移、成矿过程中,有部分地表水(其主要为大气降水)加入,但外来介质水参与成矿作用不明显。

稳定同位素地球化学特征表明,成矿物质以深

源为主,以围岩萃取为辅,是随地幔热柱多级演化向上迁移,并以贯入形式在幔枝构造的有利构造扩容带中成矿。

## 5 成矿时限

不同学者对水晶屯石英脉中的蚀变钾长石进行了精细测年,得到金成矿年龄差距很大(表 1)。该文认为水晶屯金矿受张宣幔枝构造控制,其成矿期应为燕山期。而部分数据偏离燕山期,主要是因为含矿热液成矿的过程中,熔融部分围岩混入含矿热液中,导致岩浆成分有所改变,使所取得的钾长石样品被改造过。

表 1 水晶屯金矿同位素年龄

测定矿物	方法	同位素年龄(Ma)	资料来源
蚀变钾长石	K - Ar	153.65	文献[5]
		131.45	
		202.50	
蚀变钾长石	K - Ar	204.80	文献[6]
		215.506	

## 6 成矿作用分析

水晶屯金矿成矿物质主要来源于深部,且矿区地层主要为太古宙桑干群古老变质岩系,地层含矿接近该区的背景值<sup>[7]</sup>,因此其成矿作用分析主要探讨构造、岩浆活动对成矿元素迁移富集的影响。

### 6.1 岩浆控矿分析

自显生宙以来,水泉沟一大南山碱性二长杂岩体,长期受尚义-崇礼-赤城深大断裂带的严格控制,是一个多阶段活动的杂岩体,影响了张宣地区矿点的分布。幔枝构造逐渐演化使剪切带由韧性-脆脆性-脆性变形发展演化,并遭受多期次复杂面型-裂隙型碱-酸交代作用,从而使幔源富碱热流体酸-碱分离、钾-钠分离、矿-碱分离等演化形成各种糜棱岩-碱交代杂岩和含金富碱硅质热液。在开放系统下矿体作为酸体(硅质体或石英脉)的一部分沿剪切带迁移,并在远离强烈碱交代作用区外围一定范围内形成金矿床<sup>[8]</sup>。

矿区东侧约 5 km 处罗家营花岗斑岩岩体,为燕山期岩浆侵入的斑状花岗岩体。岩体内发育大量石英脉,出露于四台沟东北,露头接触带附近形成多处金矿点,向深部有变大再变小的趋势,膨胀部位延伸至水晶屯金矿下部,与水晶屯金矿成矿作用相关。

通过采用浅层地震勘探解析深部储矿构造,碾子沟北坡背斜底部可能为侵入的岩浆岩体,可见水晶屯金矿深部同样具有巨大的找矿潜力<sup>[9]</sup>。

综上所述,在幔枝构造演化过程中,罗家营花岗斑岩岩体上侵伴随着成矿流体的迁移,并在一定的温压条件下在侵入接触带和次级构造裂隙等有利成矿构造部位富集成矿,水晶屯金矿为多级裂隙控制的构造破碎带型-石英脉型金矿。

### 6.2 构造控矿分析

张宣幔枝构造不仅对矿床的形成和演化、金的富集具有很大的能动作用,而且控制着矿床的时空分布。水晶屯金矿位于张宣幔枝构造西缘拆离带上,幔枝构造演化过程中形成的一系列多期次、多阶段的褶皱和断裂构造体系对金矿的形成和演化起着重要的控制作用。

崇礼-赤城剪切带呈近 EW 向展布,倾向 NE,是区域内的主干断裂,也是幔枝构造轴部主要的导岩导矿构造,控制了区域部分岩体和金矿的空间分布。

矿区内褶皱不发育,断裂构造十分发育。近 EW 向展布的褶皱构造控制着区内地层展布以及区内构造格局,矿区各个矿体多集中在背形构造的转折端。

在构造应力作用下,岩浆-变质杂岩呈揭顶式裸露,主拆离带的大幅度拆离滑脱,并形成了 NW 向、近 EW 向和近 SN 向断裂构造。其中 NW 向环状构造与 EW 向线性构造带规模较大,起着导岩、导矿作用,而 SN 向构造相对封闭、规模较小是穹窿隆升派生的容矿构造。

### 6.3 成矿模式

通过区域地质构造、岩浆演化和成矿物质来源等方面的探讨,简单归纳成矿模式(图 3-A,图 3-B)。

燕山运动以来,当华北地幔亚热柱持续强烈上隆至岩石圈底部受阻时,华北地区发生热减薄断陷,形成环状构造(褶皱、断裂)和放射状断裂,二者配套共生、相互切错。当华北地幔亚热柱上隆时,大幅度向北西拆离的地幔物质被张宣幔枝轴部陡倾韧性剪切带切割时,由于减压释荷作用,形成深熔岩浆。由于韧性剪切带为压剪性、连通性较差,深熔岩浆主要依赖于温度差、压力差、粘度差逐渐(缓慢)上侵上

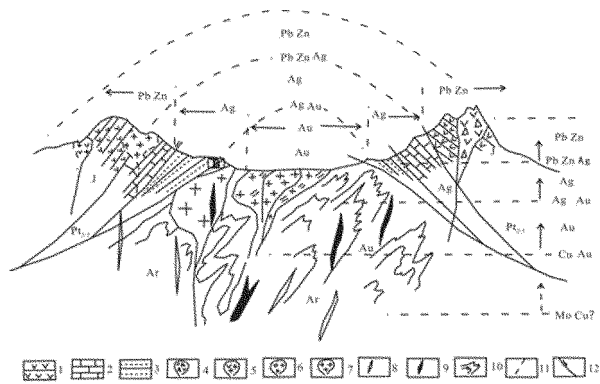


图 3-A 张宣地区成矿模式图

1—火山岩;2—碳酸盐岩类;3—碎屑岩类;4—侏罗纪潜火山岩;5—侏罗纪火山机构;6—海西期正长—二长岩体;7—燕山期中酸性岩体;8—燕山期中酸性岩脉;9—燕山期中基性岩脉;10—基底变质岩系;11—轴部韧性剪切带;12—幔枝构造外围拆离滑脱带

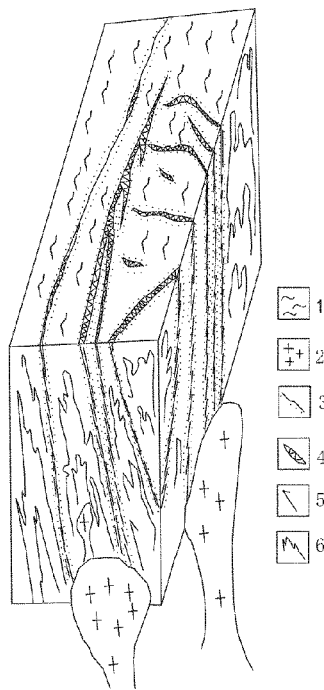


图 3-B 水晶屯矿区成矿模式图<sup>[6]</sup>

1—太古宙桑干群化家营组;2—燕山期花岗岩;3—矿化蚀变带;4—含金石英脉;5—成矿物质迁移方向;6—韧性剪切变形带

涌。当基—超基性岩浆侵入到地壳一定深度范围的薄弱带中时,其巨大的热烘烤作用使其周缘的壳源岩石发生不同规模的同化混染作用,从而形成幔壳混染岩浆或壳源岩浆,并呈接力状态脉动式发生多次岩浆侵入活动,构成从中基性向中酸性演化的系列岩浆,经过多次碱质交代形成各种糜棱岩—碱交代杂岩和含金富碱硅质热液。由于中酸性岩浆密度低、浮力大,导致区域岩石—地层密度倒转,使岩浆—变质杂岩一起发生大规模隆升,形成一系列中酸性深成侵入体及其相关的脉岩。外围盖层大幅度拆离滑脱,导致岩浆—变质杂岩呈揭顶式裸露,从而构成典型的幔枝构造。

水晶屯金矿位于张宣幔枝构造的西侧拆离带上,由于区域挤压应力作用,罗家营花岗斑岩岩体上侵使该区老变质岩抬升接受剥蚀,不但活化了早期相互切割的近 EW 向和近 NW 向断裂,而且在穹窿构造顶部形成近 SN 向横张断裂。当成矿期含矿流体活动时,一定的温压条件沿不同级别的构造裂隙扩散,并形成多级裂隙控制的构造破碎带型—石英脉型金矿。

## 7 几点认识

(1)水晶屯金矿的成矿物质来自深源,其形成和演化受张宣幔枝构造多期次、多阶段的褶皱和断裂构造体系的控制,因此矿区深部及外围具有巨大的找矿潜力。

(2)在幔枝构造演化末期,矿体作为酸体(硅质

体或石英脉)的一部分沿构造体系迁移,在远离强烈碱交代作用区外围一定范围内形成金矿床,断裂与岩体构造共同控制着矿床的形成及矿脉的空间展布。从幔枝构造系统分析,罗家营花岗斑岩岩体上叠加的褶皱和断裂构造体系控制了水晶屯金矿矿脉的产出和分布状态,穹窿的顶部及边部断裂是有利成矿构造部位。其中近 EW 向构造具有区域性,因此向矿区东侧探寻周边相似的构造体系,可能会发现类似矿区。

(3)水晶屯金矿是张宣幔枝构造西缘拆离带上上盘多级裂隙控制的构造破碎带型—石英脉型金矿,沿拆离带探矿,可增加深部储量。

致谢:在论文写作过程中得到牛树银教授的指导和水晶屯金矿相关领导的帮助,在此表示感谢。

## 参考文献:

[1] 吴珊珊,赵莎,牛树银,等.河北省崇礼县中山沟金矿深部成矿分析[J].黄金科学技术,2009,17(1):6—9.  
 [2] 牛树银,孙爱群,王宝德,等.张宣幔枝构造成矿与深部找矿潜力分析[J].大地构造与成矿学,2009,32(4):548—555.  
 [3] 牛树银,孙爱群,张建德,等.胶西北金矿集中区亚热柱幔枝构造成矿研究[J].山东国土资源,2012,28(12):1—10.  
 [4] 赵永鑫.冀北水晶屯金矿床稀土元素特征及其成因和找矿意义

- [J]. 现代地质, 1993, 7(3): 356—362.
- [5] 赵莎, 吴珊珊, 牛树银, 等. 冀西北水晶屯金矿成矿控矿构造研究[J]. 黄金科学技术, 2009, 17(2): 12—16.
- [6] 宋瑞先. 河北金矿地质[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [7] 赵莎. 冀西北地区水晶屯金矿床资源潜力分析[D]. 石家庄: 石家庄经济学院, 2009.
- [8] 李红阳, 彭岚, 王国富, 等. 冀西北崇礼—赤城含金剪切带矿机制[J]. 贵金属地质, 1994, 3(3): 169—175.
- [9] 祁民, 张宝林, 宋保昌, 等. 河北水晶屯金矿隐伏找矿靶区钻孔岩心地球化学特征及成矿预测[J]. 黄金科学技术, 2004, 12(5): 6—14.

## Study on Geological Characteristics and Mineralization of Shuijingtun Gold Deposit in Northwestern Hebei Province

ZHENG Hongwei<sup>1</sup>, Niu Shuyin<sup>1</sup>, LI Fu<sup>2</sup>, LI Xiuhua<sup>3</sup>, WANG Fengxiang<sup>1</sup>, ZHANG Liang<sup>2</sup>

(1. Shijiazhuang University of Economics, Hebei Shijiazhuang 050031, China; 2. Hailong Gold Mining Company, Hebei Zhangjiakou 075000, China; 3. No. 3 Geological Brigade of Hebei Bureau of Land and Resources, Hebei Zhangjiakou 075000, China)

**Abstract:** Shuijingtun gold mine locates in south of Zhangxuan (Zhangjiakou—Xuanhua) mantle branch areas which is the important gold concentration area in Hebei province. It is a representative medium—sized gold mine. A series of multi—period and multi—stage fold and fault tectonic systems formed in the evolution period of Zhangjiakou—Xuanhua mantle branch. It plays an important controlling role in the formation and evolution of the mine. By using mantle branch theory as a guide, through field survey and indoor comprehensive analysis on the basis of previous datas, it is regarded that there still have a great prospecting potentiality in its peripheral and deep part of Shuijingtun gold mine.

**Key words:** Mantle branch structure; mineralization; ore—controlling structures; Zhangjiakou—Xuanhua region; Shuijingtun gold deposit