

宣化小营盘金矿的控矿构造研究

叶发广 钱祥麟 张志成

(北京大学地质系, 北京)

提 要: 本文探讨了河北宣化小营盘金矿区的系列构造事件及相伴的变质-热事件, 厘定了该区一条角闪岩相韧性剪切带以及稍晚的以剪切带中心为滑脱面的系列冲断构造。野外丰富的变形标志清楚地显示了这两期运动方向相反的构造事件的存在。显微构造亦十分丰富, 并证实了这两期运动的存在及其先后关系。金矿主要以石英脉型式赋存于滑脱带, 而顶、底板糜棱岩只有在冲断层切割处才显示含金石英脉。因此, 笔者在小营盘金矿构造研究这一薄弱环节上有突破性认识, 并指出控矿构造事件发生于中生代。基于此, 对该区扩大找矿前景作者提出了有益的理论指导。

主题词: 小营盘金矿 韧性剪切带 推覆滑脱 中生代

位于河北宣化的小营盘金矿(亦称张家口金矿)发现于1965年。自此, 为扩大找矿前景和丰富成矿理论, 对该矿床的成因机理有了广泛的探讨(俞传平, 1983; 王时麒, 1986; 胡小蝶等, 1985; 1990)。这些研究多偏重于成矿溶液及其地球化学、变质作用、交代作用及蚀变作用等, 而对构造的明显控制作用缺乏深入的探讨, 成矿年龄的认识上也存在较大的差异。本文试图弥补这方面的不足, 以期完善和突破对该矿的成因机理认识。

1 区域地层和大断裂与金矿的关系

纵贯华北地台北缘的区域性大断裂对金矿成因起着明显的控制作用, 已发现的金矿点大都沿大断裂两侧分布, 而这些大断裂多具有长寿性。小营盘金矿位于这些大断裂中的一支即尚义-崇礼-赤城大断裂以南。该区原划分的太古宙“谷咀子群”是小营盘金矿区的围岩地层, 也被认为是该矿区的矿源层。它是一套麻粒岩相深变质岩系, 组成岩石主要为石榴二辉麻粒岩、角闪变粒岩、黑云斜长角闪片麻岩、浅粒岩、角闪辉石岩和斜长角闪岩等。原岩主要为一套火山-沉积岩系。区域上, 这套深变质岩系明显遭受以角闪岩相为主的叠加退变质作用, 而金矿区本身则叠加了更晚期的与金矿形成关系密切的绿片岩相退变质事件。

2 金矿区的多期构造-变质-热事件

小营盘金矿为石英脉型金矿, 含矿石英脉主要赋存于近水平(倾角 $<4^{\circ}$)的构造岩带中(图1)。这条构造岩带内的顶板和底板保存有厚数厘米至数十米的糜棱岩, 而其中心部位是破碎的糜棱岩及贯入的石英脉。野外和室内研究表明, 该矿区控矿构造变形明显可分为三

叶发广 男, 硕士, 1966年生, 从事构造地质的教学和科研工作。邮政编码: 100871
1994-2-2收稿, 1994-3-21修改回

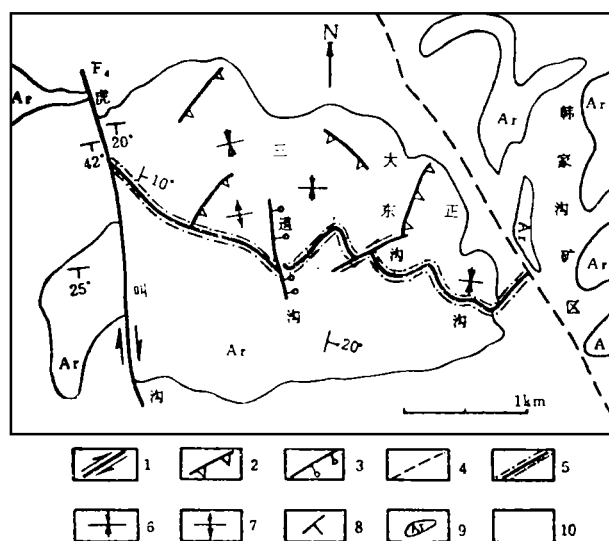


图 1 小营盘金矿区地质略图

1—走滑断层；2—逆断层；3—正断层；4—破碎带；5—糜棱岩带+滑脱带；6—背斜；7—向斜；
8—面理产状；9—太古宙岩石组合；10—第四系

Fig. 1. Geological sketch map of the Xiaoyingpan gold district.

1—Strike-slip fault; 2—Reverse fault; 3—Normal fault; 4—Shatter zone; 5—Mylonite and detachment zone; 6—Anticline; 7—Syncline; 8—Attitude of foliation; 9—Archean rocks; 10—Quaternary.

期，即早期以糜棱岩带为标志的韧性剪切变形，稍晚的以糜棱岩中心带为滑脱面的脆性冲断变形，更晚的以密集节理为主的破裂变形。

早期韧性变形形成的糜棱岩带现主要残存于矿区中部和西部平缓主脉带的顶、底板，并在晚期脆性断层中以角砾形式部分保存。最大厚度可达40m。野外露头上的各种变形标志指示了糜棱岩是由北向南的推覆剪切作用所致。

(1) 不对称褶皱及其降向。在大东沟侧坡的底板糜棱岩中，薄层基性岩墙形成连续的不对称褶皱(图2a)，并在转折端处形成更微小的不对称褶皱。其降向方向指示了NW向SE的右型剪切作用。在三道沟的一基性岩墙内部，石英脉也形成了一个良好的不对称褶皱(图2b)。(2) 多米诺骨牌。见于三道沟的顶板糜棱岩中。3~5 cm厚的基性岩墙被剪切拉断成缓倾($<10^\circ$)的多米诺骨牌式构造，相邻“骨牌”之间为稳定拉长的石英矿物颗粒和弱变形长石颗粒(图2c)。(3) 旋转的矿物残斑。主要由强硬矿物颗粒石榴子石和钾长石显示。在糜棱化过程中，流变性较差的这些矿物体积减小不明显而主要是以被动旋转或破裂来适应剪应力作用。多为 σ 型态(图2d)的残斑，其尾部常由长石、石英和石榴子石等复矿物微小颗粒组成。(4) 布丁构造。在小照坡的顶板糜棱岩中，石榴二辉斜长角闪岩呈连续的布丁体分布。可能为最早一期的烟灰色石英脉充填布丁颈缩处的裂隙，甚至贯入布丁体内部(图2e)。单个布丁体长厚不一，XZ面轴面比为2:1~8:1。布丁链近南北向水平延伸，附近糜棱岩在颈缩处凹陷加厚。(5) 膝折。见于三道沟的顶板糜棱岩中(图2f)。膝折边界有钾化现象，膝折带内平行于面理亦有钾化条带。但此膝折指示了左行剪切作用。少量($<30\%$)反向运动标志在糜棱岩中的存在是正常的(Sibson, 1980)。(6) 拉伸线理。在韧性剪切过

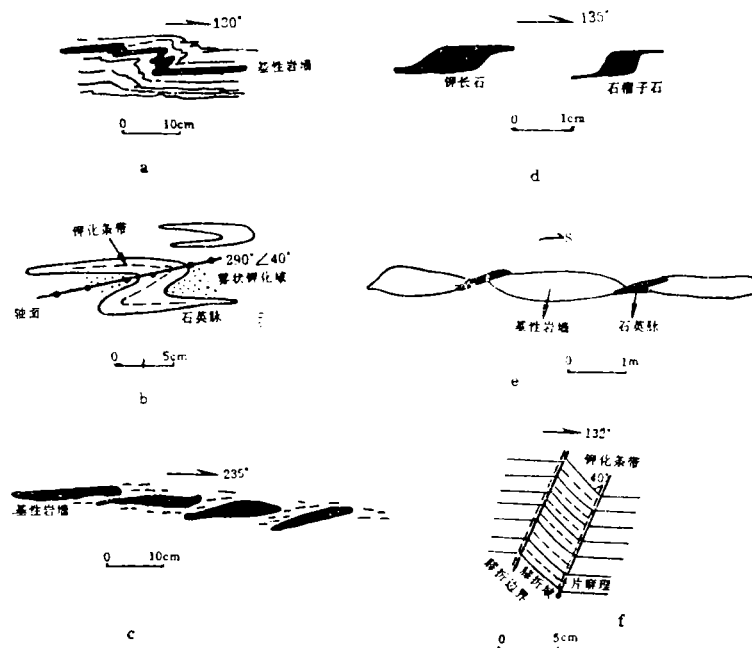


图 2 小营盘金矿区糜棱岩带的运动方向指示标志。详细内容见正文
Fig. 2. Directional markers in mylonites of the Xiaoyingpan gold district.
(See the text for detailed elucidation).

程中形成的拉伸线理由明显拉长的石英矿物颗粒及定向排列的角闪石组成。在底板糜棱岩中,稳定的拉伸线理产状 $NW335^{\circ}\angle 5^{\circ}$ 。顶板糜棱岩中的拉伸线理由于受稍晚冲断和褶皱的影响大都已改变方向。这在薄片中有反映(见下文)。

总之,上述的各种变形标志普遍指示了糜棱岩形成时,剪切带上盘岩石由NW向SE的缓倾推覆作用,是金矿控矿构造的最早一期变形。

在光学显微镜下,石英和长石韧性变形的主要特征如下:

(1) 长石双晶的弯曲(图版1)。流变实验研究表明,斜长石通过位移滑移而产生的这种晶内塑性变形所需温度至少为 700°C (Tullis, 1983)。考虑到剪切带中少量自由水的引入及其软化作用以及其它更强硬矿物塑性变形的缺乏,这一变形温度区间可初步定为 $(500^{\circ}\text{C}, 700^{\circ}\text{C})$ (Rutter和Brodie, 1992),与该区早期的区域性角闪岩相退变环境相一致。薄片研究中常发现强硬矿物长石弯曲的双晶在应变最大部分的破裂。(2) 长石的波状消光(图版1)。由长石晶内塑性变形产生,往往与双晶的塑性弯曲相伴随,且垂直于弯曲的双晶面。(3) 长石的膝折(图版2)。由长石矿物的一组双晶面有规律地弯折形成。而另一组双晶面出现时常与膝折边界斜交。膝折带内常出溶长石组成(反)条纹长石。(4) 长石的机械双晶(图版3)。它与(反)条纹长石及长石的原生双晶存在很多方面的差别,是塑性变形的产物(何永年等,1986)。

长石的以上塑性变形现象有力地说明了小营盘金矿的韧性剪切带形成于角闪岩相环境,与区域上的角闪岩相退变质事件一致。长石进一步动态重结晶作用的缺乏说明变形不是很强。角闪岩相韧性剪切糜棱岩带在冀东地区也有报道(张贻侠等,1986)。

糜棱岩中石英矿物的变形非常明显,如亚颗粒组成的拔丝构造(图版4)、动态重结晶新颗粒(图版5)和核幔构造(图版5)及变形纹和波状消光等。

糜棱岩带形成时基本上处于一封闭体系,仅有少量的含硅溶液及含金液体沿近水平剪切带侵位并在破裂的强硬岩层及其附近贯入。国内外大量剪切带型金矿的研究结果也表明韧性剪切带为一近封闭体系,难以形成金矿(Cameron, 1988; 栾世伟等, 1986)。

剪切带内岩石的矿物颗粒体积减小和应变集中促进了应力的集中,而应力的集中又进一步促进了应变的集中和矿物颗粒体积的减小。因此,变形最强和颗粒体积减小程度最大的糜棱岩带中心形成了糜棱岩及围岩上升过程中因持续受力作用而发育的系列冲断构造的滑脱面。

系列冲断层仅切割了滑脱面之上的糜棱岩和围岩而不影响其下的岩石(多期次活动断层仍可向下切割)。褶皱的影响也是如此(图3)。

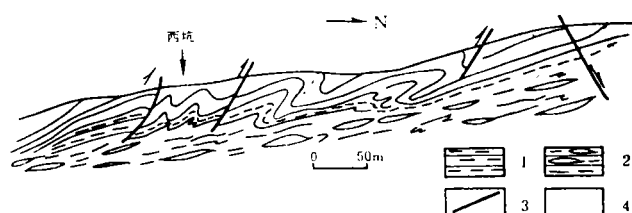


图3 三道沟剖面的褶皱推覆体及滑脱构造

1—糜棱岩; 2—滑脱带; 3—断层; 4—太古宇

Fig. 3. Fold nappe and detachment structure in Sandaogou, the Xiaoyingpan gold district.

1—Mylonite; 2—Detachment zone; 3—Fault; 4—Archean.

系列冲断层的运动方向恰与韧性剪切的方向相反,是由南往北。主要的证据有:

(1) 小型双重推覆构造(duplex, 图4a)。主要见于滑脱带内,有堆垛式(图4a₁)和叠瓦状(图4a₂)两种形态之分。前者底板断层水平而顶板断层弯曲,后者顶、底板断层近水平且平行,次级断层均弯曲收敛于底、顶板断层。滑脱带中普遍发育的这两种形态的双重推覆构造指示了冲断层运动方向主要是由南向北。(2) 拖曳褶皱。滑脱带之上的冲断构造大量这类规模不等的指示运动方向的伴生褶皱。其中的一个拖曳褶皱如图b所示。该冲断层向上切割时出现分支现象,向下收敛于滑脱带。仅在顶板围岩内发育的冲断层数量较少,但其伴生拖曳褶皱也都指示了由南向北的冲断作用。(3) 小型叠瓦构造(imbricate, 图4c)。这类冲断构造的构造组合中,系列次级断层向下弯曲收敛于共同的底板断层,彼此有规律地间隔。甚至可以在手标本上或薄片(图版8)观察到。(4) 弯曲的断层劈理。由断层泥和断层角砾形成的反“S”型劈理在冲断面中多有发育。其弯曲形态大都指示了由南向北的冲断作用(图4d)。(5) 错断的标志层。尤其是基性岩墙群,其错断形态很容易被用作判断冲断方向。

小营盘金矿严格限制于虎叫沟断层(F₄, 图1)以东。以往认为它是一条正断层,而且是金溶液上升的通道(河北地质三队, 1964)。通过仔细研究,作者提出不同的看法。在虎叫沟沟谷,两侧的围岩以极其稳定的南北走向为特征,而稍远离虎叫沟断层,围岩走向改变,最终趋于区域性的东西走向(图5)。导致片麻理走向明显变化的原因正是虎叫沟断层

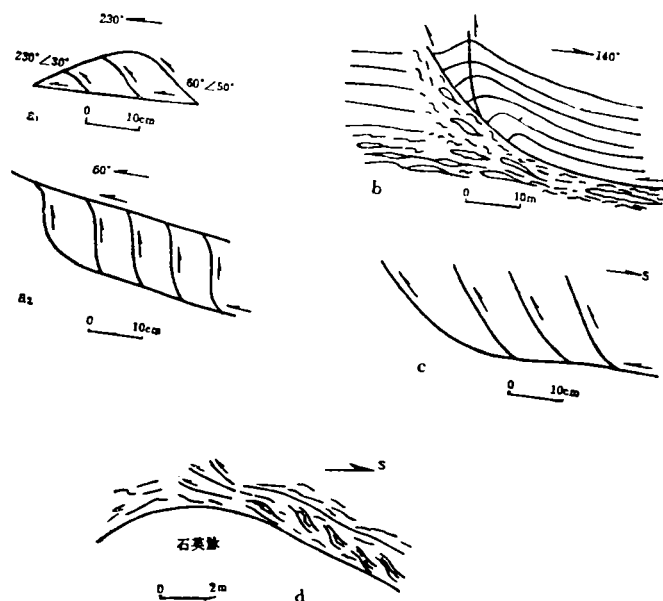


图4 判断脆性冲断层运动方向的一些标志。详细内容见正文

Fig. 4. Some markers used to determine the movement direction of the brittle thrusts (See the text for detailed description).

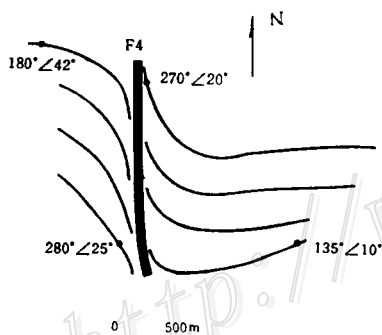


图5 虎叫沟走滑剪切断层的平面示意图

圆点及数值代表该处岩石及其面理产状

Fig. 5. Sketch diagram showing the

Hujiaogou strike-slip fault.

Solid circles and numerals represent attitudes of rocks and foliations there.

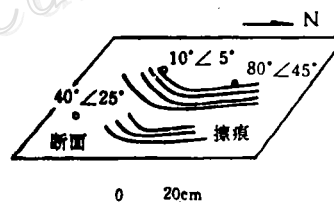


图6 大东沟断层的镜面擦痕及断层性质变化示意图

详见正文

Fig. 6. Variations in scratches and nature of the Dadonggou fault (See the text for detailed description).

的右型走滑剪切作用。这条长寿断层切割了整个糜棱岩带及上、下盘围岩。其实，与冲断作用同时发育的走滑剪切作用在大东沟剖面中也非常明显。这条断层的镜面擦痕清楚地表明了倾斜走滑的大东沟断层随后改变方向而由南向北逆冲（由镜面上的正阶步显示）。无交切关系的两组擦痕在同一镜面上连续地改变方向（图6）。虎叫沟断层的控矿意义将在后述及。

这期脆性变形在镜下薄片亦相当明显，如粒间显微裂隙切割早期亚颗粒石英集合体和新晶粒石英（图版6），并使其发生位移（图版6）。长石则发生共轭状（图版7）及微型duplex状（图版8）等多种形式的破裂。

伴随这期脆性冲断事件的大量自由水的引入使金矿区普遍发生明显的绿片岩相退变质作用;大量石英脉沿破碎带侵位,并在持续的变形中破碎,从而为含金溶液的富集和沉淀提供了极佳的场所。

国内外大量研究结果表明,绿片岩相变质条件是含金溶液沉淀的最有利环境,而环境条件的改变必然受控于构造事件。因此,上述两期运动方向完全相反的构造事件是小营盘金矿的主要控矿成矿事件,控制了矿液的运移方向、运移通道和沉淀空间;是深层次岩石向浅部地壳运移过程中的连续叠加事件华北板块普遍发育的中生代推覆构造(刘德佑等,1987;An Yin等,1993)及郯庐断裂的中生代活动特征(An Yin等,1993;俞鸿年等,1987),我们认为,控制小营盘金成矿的这两期主构造事件发生在晚侏罗世至早白垩世(J_3-K_1),是华北板块受扬子板块在三叠纪(T)的碰撞(K J Hsu等,1991;张国伟等,1991)后效应所致。

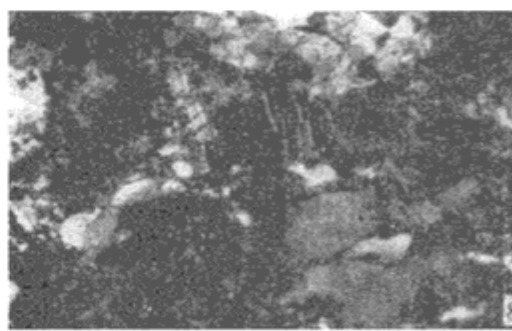
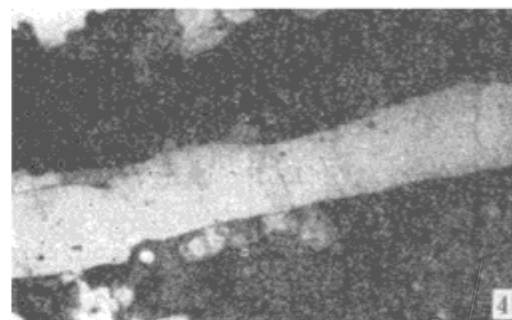
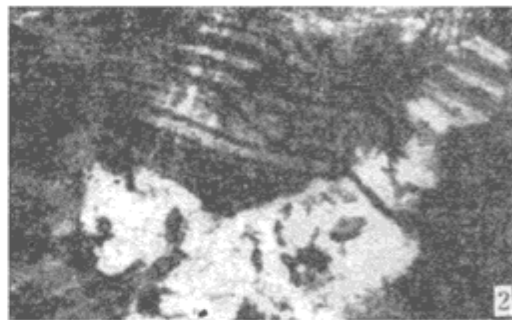
此外,该矿区普遍遭受了更晚的NE走向的陡倾($80^\circ\sim 90^\circ$)节理的强烈切割。这期节理使规模较大的含金石英脉被切割成细小块体,非常有利于开采。同时,沿节理仍有少量的可能是最后一期的石英脉侵入。不同于前两期石英脉,它的产状多陡倾,含量也少,与金成矿关系不密切。初步推断这期破裂变形发生于新生代。

3 小营盘金矿区找矿前景预测

由于小营盘金矿明显受到构造事件的控制,因此,构造现象的正确厘定有利于充分扩大找矿前景。以往的研究多忽视这一重要问题,或如前文所述,认为含金溶液是沿虎叫沟断层上升并向东流动的,从而缩小和限制了金矿区范围。笔者认为,虎叫沟断层是一条非成矿关键性的走滑剪切断层,但它错断了矿体。因此应在其NW方向继续寻找被错断的同已经开采的金矿在类型和成因上完全相似的金矿床。同时,由于含硅和含金液体并非东西向侵位,而是沿运动方向相反但均为NW-SE向的韧性剪切带尤其是中心脆性滑脱面侵位,因此,沿开采矿区的NW方向和SE方向继续向外围寻找韧性剪切带+脆性推覆滑脱带是扩大该矿区找矿前景的另一有效途径。

参 考 文 献

- 1 王时麒.张家口金矿的成因研究.北京大学学报(自然科学版),1986,(4)
- 2 俞传平.河北小营盘金矿床成因初步探讨.河北地质学院学报,1983,(4)
- 3 栾世伟等.小秦岭金矿糜棱岩成因机理及其与金矿化关系.成都地质学院学报,1986,13(8)
- 4 胡小蝶,赵嘉农.河北小营盘含金石英脉的地质特征和形成的物理化学条件.天津地质矿产研究所所刊,1983,11
- 5 胡小蝶等.张宣地区太古代变质岩脉中脉金的成矿作用.天津地质矿产研究所所刊,1990,22
- 6 刘德佑,胡学智.山西灵丘太白堆山推覆构造.山西地质,1987,(2)
- 7 周世泰.再论华北地台古老变质岩中金矿成因特征.地质与勘探,1993,(8)
- 8 张贻侠等.冀东太古代地质及变质矿.中华人民共和国地质矿产报地质专报(区域地质).北京:地质出版社,1986.(6)
- 9 俞鸿年等.福建东南沿海中、新生代构造应力场的演化及其与板块运动的关系.南京大学学报,1987,(3)
- 10 张国伟等.秦岭造山带岩石圈组成、结构及演化特征.秦岭造山带学术讨论会论文选集.陕西:西北大学出版社,1991.
- 11 甘盛飞等编译.国外前寒武纪金矿床地质研究进展.辽宁:辽宁科学技术出版社,1992.
- 12 Cameron R M. Archaean gold, relation to granulite formation and redox zoning in the crust. Econ. Geol., 1988, 82
- 13 Sibson R H. Fault rock and fault mechanisms. J. Geol. Soc. Lond., 1977, 133



图版说明

- 图版 1 长石双晶的弯曲和波状消光。 $\times 2.5$, 正交偏光。宣化小营盘
图版 2 长石双晶的膝折。 $\times 1.25$, 正交偏光。宣化小营盘
图版 3 长石的机械双晶和弯曲。 $\times 10$, 正交偏光。宣化小营盘
图版 4 石英矿物的拔丝构造。 $\times 1.25$, 正交偏光。宣化小营盘
图版 5 石英亚晶和新晶的核幔构造。 $\times 1.25$, 正交偏光。宣化小营盘
图版 6 切穿不同矿物的显微微裂。注意左上石英亚颗粒的“麻花状”破裂和右下石英亚颗粒的明显位移。 $\times 1.25$, 正交偏光。宣化小营盘
图版 7 冲断变形期斜长石的共轭状破裂(中右)。 $\times 10$, 正交偏光。宣化小营盘
图版 8 冲断变形期斜长石的叠瓦状破裂(中上)。 $\times 2.5$, 正交偏光。宣化小营盘

TECTONIC CONTROLS OVER THE DEVELOPMENT OF
THE XIAOYINGPAN GOLD DEPOSIT, XUANHUA,
HEBEI PROVINCE

Ye Faguang, Qian Xianglin and Zhang Zhicheng

(Department of Geology, Peking University, Beijing 100871)

Key words: ductile shear zone, thrust detachment surface (zone), Mesozoic, Xiaoyingpan gold district

Abstract

Detailed research has been made on tectonic events as well as the accompanying metamorphism and heat events in the Xiaoyingpan gold ore district, Hebei Province. It is pointed out that there exists a ductile shear zone of amphibolite facies and a series of subsequent thrusts gently dipping down into a detachment surface lying in the central part of the shear zone. Furthermore, plenty of deformation suggests that the activities of these two different tectonic deformations on different levels occurred in reverse directions. Thin section studies also confirm their existence and reveal their time relationship. Gold ore mainly occurs in the detachment zone with abundant space formed by lots of fractures and proper temperature; nevertheless, mylonites in both hanging and lying walls of the detachment rarely contain auriferous quartz veins unless they are cut by thrusts. In view of some geological evidence on the North China plate affected by the Yangtze plate, it is thought that these two different tectonic events took place in Mesozoic. Therefore, it is reasonable to hold that our research has made a breakthrough in the study of regional tectonics of this gold district. In the end, some useful suggestions are given to enlarge the area of the gold ore district. It is considered that follow-up survey should be done in NW and SE directions east of the Hujiaogou fault and also in NW direction west of the fault.