

山东金翅岭金矿成矿构造及应力场研究

高建伟¹ 李英康¹ 赵国春² 李宏星² 李秋叶² 姚聿涛¹ 米胜信¹

(1. 国土资源实物地质资料中心 河北燕郊 065201;

2. 中国地质大学 地球科学与资源学院 北京 100083)

[摘要]金翅岭金矿位于胶东西北部招远-莱州的中部,为石英脉型金矿。基于构造填图和古构造应力场反演,初步查明了该矿床控矿断裂的运动学特征和构造演化历史。研究表明:在侏罗纪-白垩纪时期,该矿床控矿断裂大致经历三期活动:成矿前构造应力场为NW-SE向挤压,成矿期为NE-SW向挤压,成矿后为NW-SE向挤压;成矿作用发生在构造应力场从NW-SE挤压到NE-SW向挤压转换时期。正是由于构造应力场转化使得控矿断裂开启,才导致成矿作用的发生。

[关键词] 构造变形 构造应力场 石英脉型金矿 金翅岭金矿 山东招远

[中图分类号] P618.51 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2014)01-0122-08

Gao Jian-wei, Li Ying-kang, Zhao Guo-chun, Li Hong-xing, Li Qiu-ye, Yao Yu-tao, Mi Sheng-xin. Metallogenic structure and tectonic stress field of the Jinchiling gold deposit in Shandong Province [J]. *Geology and Exploration* 2014, 50(1): 0122-0129.

0 引言

胶西北地区作为中国最重要的金成矿省,以其独特的地质特征和丰富的金矿资源而备受地质学家关注(吕古贤等,1994;邓军等,1996;罗镇宽等,2002;宋明春等,2011;杨敏之,1996;杨忠芳等,1998;范永香等,1993;陈光远等,1989;李士先等,2007;林文蔚等,2007;毛景文等,2002;孙丰月,1994;范宏瑞等,2005;王登辉等,2012)。金翅岭金矿是胶西北地区一个典型的中型石英脉型金矿,目前已经有学者对该金矿的成矿流体进行了研究(张旭等,2012;杜高峰等,2012),但是对该金矿的构造活动规律和构造演化的研究却相对薄弱,本文通过运用构造填图和构造解析的方法查明了金翅岭金矿的控矿构造特征及其活动规律,为今后的深部找矿提供了依据。

1 区域地质背景

胶东地区位于华北克拉通东缘,传统理论将其划分为胶辽台隆(任纪顺等,1981),板块-地体构造将其划分为胶北地体(曹国权,1990;胡受奚等,

1998)。由于受郯庐断裂和太平洋板块俯冲的作用,华北克拉通东缘发育一系列NNE向断裂体系,自西向东可分为3个成矿带,即招远-莱州金成矿带、蓬莱-栖霞金成矿带和牟平-乳山金成矿带;它们控制了胶东地区大部分的金矿床,金翅岭金矿就位于胶西北地区的招-莱金成矿带内。

招-莱金成矿带内出露的地层主要为上太古界胶东岩群、下元古界荆山群和粉子山群。招-莱成矿带内出露的岩体主要为晚侏罗世的玲珑花岗岩体、早白垩世中期的郭家岭花岗闪长岩体,其中玲珑岩体成岩年龄为160~150Ma;郭家岭岩体成岩年龄为126~130Ma(罗镇宽等,2002)。招-莱金成矿带内构造发育,其中褶皱为基底构造,以栖霞复背斜为代表;断裂自西向东依次排列,主要为三山岛断裂、焦家-新城断裂、灵山-北截断裂、草头沟断裂和招远-平度断裂。其中,草头沟断裂是金翅岭金矿的主要控矿断裂(图1)。

2 矿床地质特征

矿区内出露地层主要为胶东群和第四系,其中

[收稿日期]2013-05-02; [修订日期]2013-09-26; [责任编辑]郝情情。

[基金项目]中国地质调查局“全国危机矿山找矿”项目(20089937)资助。

[第一作者]高建伟(1986年-),男,2012年毕业于中国地质大学(北京)获得硕士学位,助理工程师,主要从事构造地质学、矿床学方面的研究。E-mail: cugbgjw@163.com。



图 1 招 - 莱成矿带区域地质略图(据邓军等,1996 略改)

Fig.1 Geological sketch of the Zhaoyuan-Laizhou metallogenic belt (modified from Deng et al., 1996)

- 1 - 第四系;2 - 胶东群变质岩;3 - 玲珑型花岗岩;4 - 郭家岭型花岗闪长岩;5 - 断层;6 - 栖霞复背斜;7 - 金矿床
- 1 - Quaternary sediments;2 - Jiaodong Group metamorphic rock;3 - Linglong type granite;4 - Guojialing type granodiorite;5 - fault;
- 6 - Xixia anticlineorium;7 - gold deposit

胶东群以小捕虏体形式分布于围岩内。矿体围岩为玲珑花岗岩;区内脉岩发育,从中基性至中酸性都有,但与成矿关系最为密切的是闪长玢岩和正长斑岩。围岩蚀变主要为钾长石化、绢英岩化和黄铁绢英岩化。

矿区内的主断裂为草头沟断裂,该断裂控制 P4 号脉;此外区内还发育近 SN 向断裂和草头沟断裂的次级平行断裂,分别控制 P1 号脉和 P35 号脉等,这些断裂呈舒缓波状展布,具有多期活动的特点。此外,区内还发育 NW 向断裂,多为成矿后活动构造,错断矿体(图 2)。

该矿床矿石结构为自形 - 半自形粒状、碎裂、交代残余、包含、填隙结构等;构造主要为脉状、网脉状、块状、浸染状、晶洞状、角砾状构造等。根据不同矿脉之间的穿插关系、复合脉分析、矿物组合分析,将本矿区矿化作用分为四个阶段:黄铁矿 - 石英阶段、石英 - 黄铁矿阶段、多金属硫化物阶段、和碳酸盐阶段。其中,石英 - 黄铁矿阶段和多金属硫化物阶段为最主要的成矿阶段。

区内矿脉数量较多,以往工作在 P35、P4、P83、P1、P19 等多条矿脉中均圈出金矿体,而且全部为盲矿体。矿体一般延长 83 ~ 130m,厚度 0.32

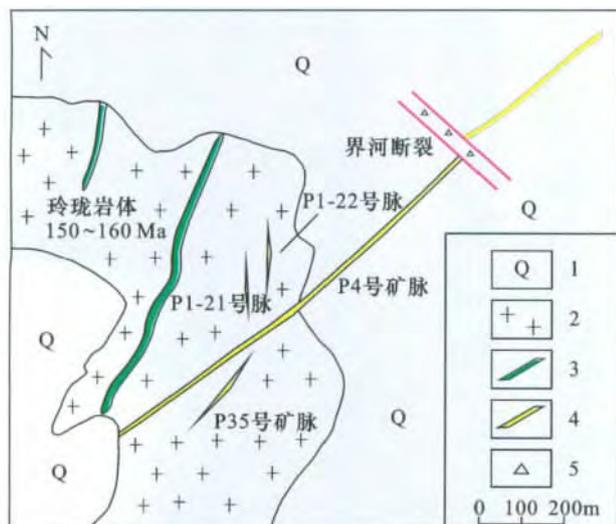


图2 金翅岭金矿地质简图^①

Fig.2 Geological map of the Jinchiling gold deposit^①

- 1 - 第四系; 2 - 花岗岩; 3 - 闪长玢岩脉; 4 - 矿体; 5 - 破碎带
 1 - Quaternary sediments; 2 - granite; 3 - diorite porphyrite vein;
 4 - ore body; 5 - fracture rock zone

~1.46m。目前矿山主要开采的矿体为P4号脉、P1号脉和P35号脉,其中以P4号脉矿体规模最大,P1号脉和P35号脉次之,P4和P35走向为NE向,P1号脉走向为近SN向。矿体严格受断裂构造控制,金矿体主要为北东向和近南北向,具有脉幅窄、长度短、规模小、数量多、产状变化大、陡倾斜、品位高等特点。矿体分布在矿化蚀变带内,由黄铁矿石英脉及蚀变岩组成。

P4号脉内发育P4-3、P4-4、P4-6、P4-7、P4-8等工业矿体,经过勘察,有的工业矿体已经连成一个矿体,现在矿山整体将P4脉归并为P4-4和P4-7;P1号脉内发育P1-15、P1-16、P1-21、P1-22等工业矿体;P35号脉内发育P35-5等工业矿体。

其中,P4-4分布在1~33号勘探线间、-30~-700m标高间,其北段21~33线浅部原为P6号脉。矿体形态呈脉状,局部厚大呈透镜状,往深部局部有分枝,其走向长度已超过800m,现控制斜深达750m(其南西段深部尚未封闭),产状一般为 $318^{\circ} \sim 329^{\circ} \angle 66^{\circ} \sim 75^{\circ}$,平均 $324^{\circ} \angle 69^{\circ}$ 。矿石组成主要为黄铁矿石英脉,次为黄铁绢英岩。矿化特点:以细脉状、块状黄铁矿化为主,有时见细脉浸染状黄铁矿和星点状黄铜矿化。单工程金品位一般在 $0.92 \sim 166.97\text{g/t}$,平均为 5.63g/t ,品位变化系数为117.34%;单工程矿体厚度在 $0.20 \sim 4.23\text{m}$,平均为 1.23m ,厚度变化系数为61.3%。属厚度稳定、金组

分分布不均匀型的矿体。

P4-7矿体分布在35~47号勘探线、-150~-550m标高间,矿体形态呈脉状,其走向长度270m,现控制斜深为420m,其产状一般为 $320^{\circ} \sim 324^{\circ} \angle 66^{\circ} \sim 68^{\circ}$,平均 $323^{\circ} \angle 67^{\circ}$ 。矿石组成主要为黄铁矿石英脉,次为黄铁绢英岩。矿化以细脉状、块状黄铁矿化为主,有时见细脉浸染状黄铁矿和星点状黄铜矿化。单工程金品位 $0.80 \sim 246.58\text{g/t}$,平均为 13.34g/t ,品位变化系数为109.4%,单工程矿体厚度在 $0.27 \sim 0.82\text{m}$,平均为 0.53m ,厚度变化系数为61.3%。属厚度稳定、有用组分分布不均匀型矿体。

3 控矿构造解析

3.1 矿区构造期次和阶段划分

根据时间和成矿的关系,可以将矿田构造分为成矿前构造、成矿期构造和成矿后构造。根据金翅岭金矿含矿岩体断裂和节理中充填物或蚀变的不同,对不同性质的断裂和节理进行区分。钾化蚀变的形成普遍早于成矿时代,在围岩中普遍发育,并常沿裂隙分布,常常可以看到钾化蚀变花岗岩被矿脉或黄铁绢英岩脉充填或穿切的现象,钾化蚀变属于成矿的前奏,钾化的变形可以看作是成矿前构造活动的产物。矿体为充填在断裂和节理内的黄铁矿-石英脉,故含矿断裂和节理可视为成矿流体运移通道的一部分,矿体的分布形态,如分枝复合、胀缩等,是成矿期构造活动的产物。成矿后断裂活动表现为对矿体的改造和破坏作用。

3.2 控矿断裂运动学转化序列

矿田和矿床的大比例尺填图是研究矿田构造的基本方法(翟裕生等,1993)。本文通过对该金矿-380m中段的详细构造填图(图4),并结合断裂带内的岩石受力特征,初步查明了金翅岭金矿控矿断裂的运动学转化序列。研究表明:金翅岭金矿的控矿构造大致经历了三期活动,构造应力场大致经历了NW-SE向挤压—NE-SW向挤压—NW-SE向挤压的演化过程。

成矿前的钾化、绢英岩化蚀变岩石受到挤压应力的作用形成构造角砾,角砾有磨圆(图3a、3b);而成矿期第一阶段矿石内发育石英晶洞(图3c),成矿期第二阶段的黄铁矿较为自形(图3d),说明在此时期受力为张性;到多金属硫化物阶段,黄铁矿破碎,为张性角砾,沿着破碎裂隙有多金属硫化物充填(图3e)反映出在成矿期的第三阶段应力性质应为张剪性质;成矿后,断裂带内发育断层泥(图3f),说明成矿后草

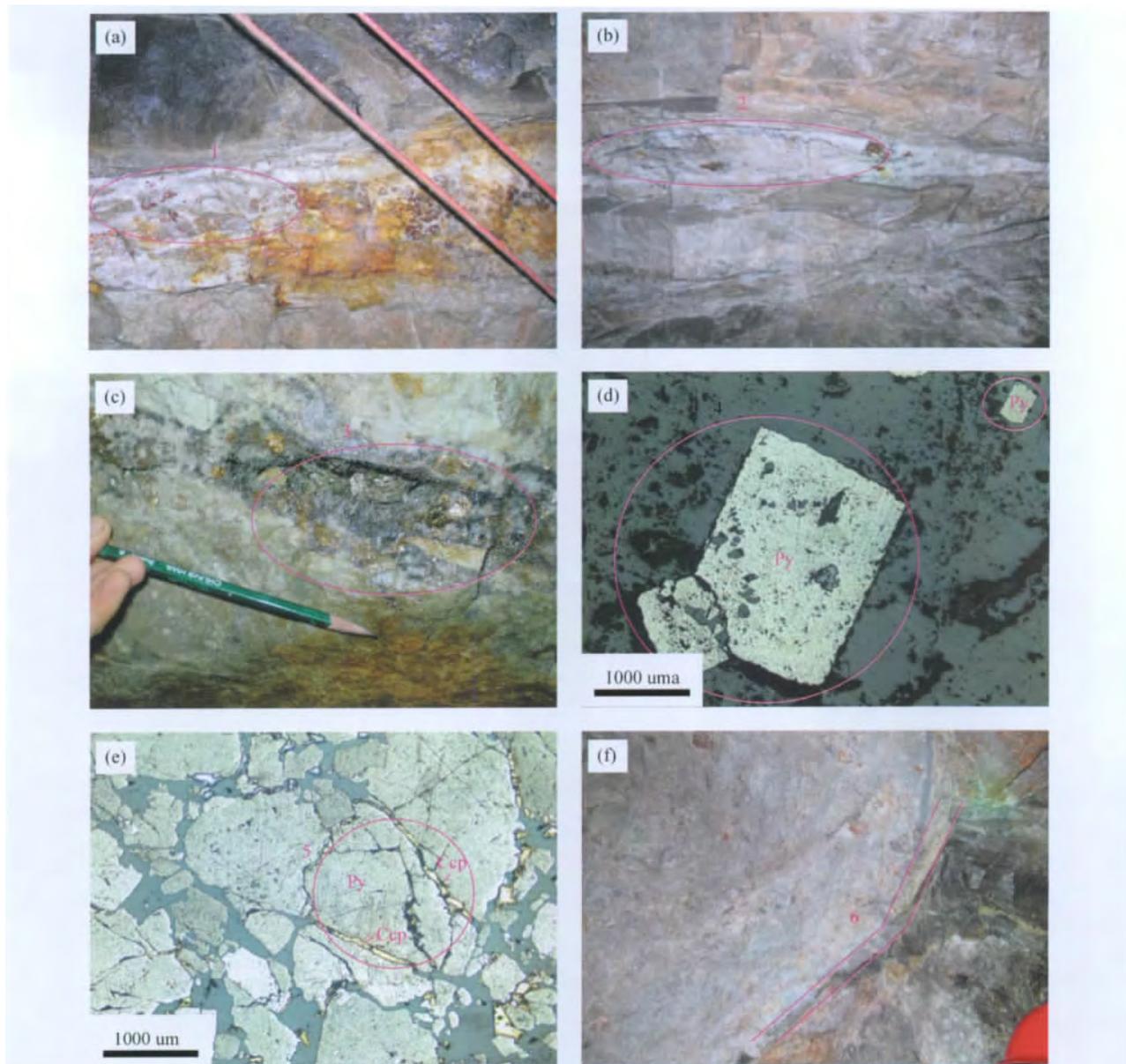


图 3 金翅岭金矿断裂带内岩石构造特征

Fig. 3 Characteristics of rocks within faults in the Jinchiling gold deposit

a - 绢英岩化角砾; b - 绢英岩化透镜体; c - 石英晶洞; d - 自形黄铁矿; e - 碎裂黄铁矿; f - 断层泥; Py - 黄铁矿; Ccp - 黄铜矿
 a - sericitolite breccias; b - sericitolite structural lenticular body; c - quartz miarolitic; d - automorphic pyrite; e - broken pyrite; f - fault gouge;
 Py - pyrite; Ccp - chalcopyrite

头沟断裂受到挤压应力作用。从断裂带内岩石受力特征可以看出,金翅岭金矿的控矿断裂大致经历压扭性-张性、张扭性-压扭性构造应力场的作用。

为了查明成矿时期构造运动学特征,作者在井下进行了详尽的构造填图(图 4)。图 4 表明:在成矿时期,草头沟断裂在走向 40°时矿脉宽,走向 50°时矿脉窄,说明草头沟断裂的活动性质为左行引张;近 SN 向断裂走向沿 NE 向转折时含矿性好,说明近 SN 向断裂活动性质为右行引张。同时,作者井下节理统计发现,含矿节理的主要方向为 NE、近 SN 和 NW 向三组,

其中近 SN 向和 NE 向节理多为张剪性,NW 向节理多为压剪性,说明了在成矿时期大致受到 NE-SW 向挤压应力的作用。故在成矿时期构造应力场应为 NE-SW 向挤压,草头沟断裂发生左行引张,近 SN 向断裂发生右行引张。

3.3 构造应力场分析

从金翅岭金矿控矿断裂的运动学活动序列可以大致确定各个构造活动序列和构造应力场方向,接下来本文运用共轭剪节理的方法进行进一步确定。

不同蚀变矿化阶段的应力场作用不同(高建伟

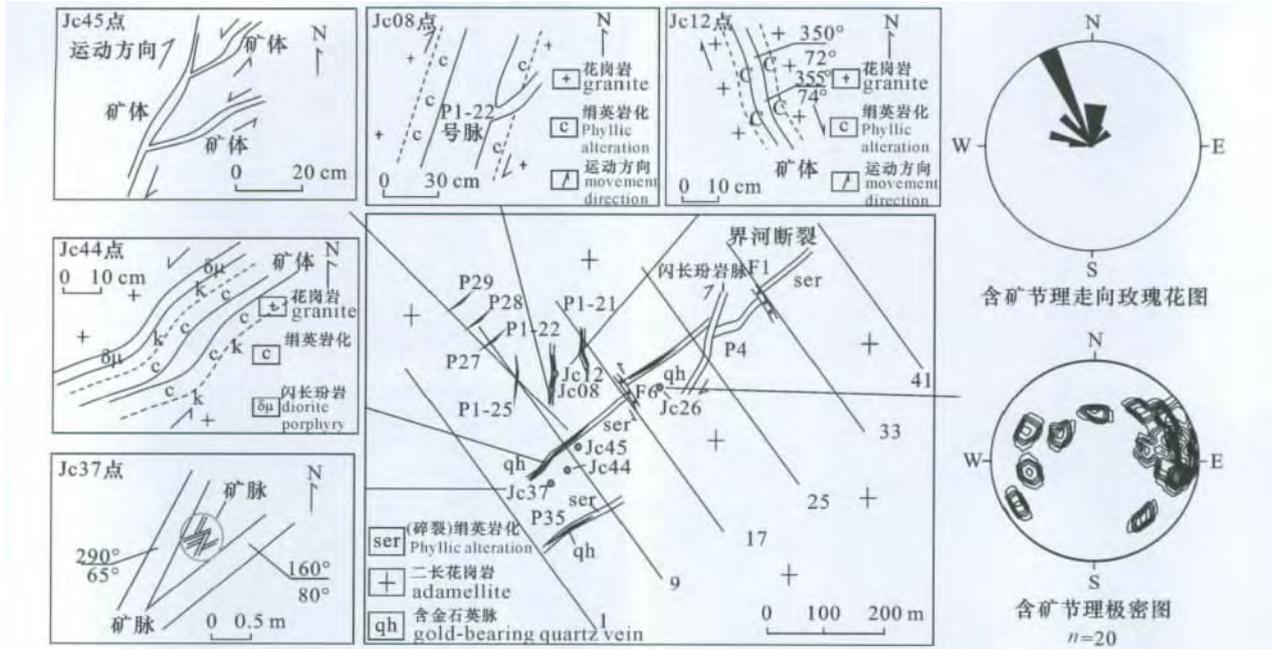


图 4 金翅岭金矿 -380m 中段构造填图

Fig. 4 Map showing structures at -380m middle section in the Jinchiling gold deposit

表 1 利用共轭节理进行构造应力场分析

Table 1 Analysis of the tectonic stress field by using conjugate shear joints

构造 应力场演 化期次	共轭节理		主应力轴产状			节理 充填物
	A	B	σ_1	σ_2	σ_3	
第一期	245°∠45°	80°∠42°	338°∠20°	155°∠80°	258°∠4°	成矿前石英脉
第二期	290°∠65°	160°∠80°	35°∠42°	240°∠58°	142°∠16°	石英-黄铁矿脉
第三期	40°∠50°	200°∠82°	302°∠26°	114°∠24°	204°∠6°	无充填

等 2011)。为了确定各期次构造应力场方向,利用统计的各个构造活动期次共轭节理产状(表 1)的方法求得各活动期次的主应力方向,其中各个构造期次的共轭节理是经过多组共轭节理测量后取平均。表 1 列出了各个活动期次对应的主应力方向,可看出,在成矿前大致为 NW-SE 向挤压应力场;在成矿期大致为 NE-SW 向挤压应力场;在成矿后大致为 NW-SE 向挤压应力场。

3.4 构造演化史

结合矿区内控矿断裂的运动学转化序列和各构造活动期次对应的构造应力场特征,推测该矿区的主控断裂(草头沟断裂)大致经历三期活动(图 5)。成矿前草头沟断裂的活动性质为左行压扭,受到 NW-SE 向挤压;成矿期草头沟断裂的活动性质为左行张扭,受到 NE-SW 向挤压;成矿后草头沟断裂活动性质为左行压扭,受到 NW-SE 向挤压。

前人的研究表明,在 245~180Ma,华北板块

和扬子板块发生碰撞,形成了苏鲁-大别超高压带,此时最大主应力为近南北向(万天丰,2004)。胶东地区形成近 EW 向的褶皱和韧性剪切带,郯庐断裂形成并做左行平移运动(万天丰,1995;徐嘉伟等,1992;Xu et al,1987;张岳桥等,2008;Zhang et al,2003;李洪奎等,2009)。此时岩石圈加厚;在 180~135Ma,此时最重要的构造事件是伊佐奈崎板块向 NW 快速俯冲;在此期间,玲珑岩体侵入,并在和胶东群接触部位形成 NNE 方向的一系列断裂,此时期主应力是 NW-SE 向,郯庐断裂表现为挤压逆冲(孙丰月等,1994);在 135~100Ma,伊佐奈崎板块向欧亚大陆俯冲速度减慢,郯庐断裂拉张伸展,此时的主应力方向为 NE-SW 向,本区构造演化出现了一个重要的转换期,即中生代的构造体制转折,该构造体制转折在 120~110Ma 到达高峰(翟明国等,2005),表现为:深部岩石圈快速减薄,浅部北东向、北北东向的盆岭格局取代了东西向的构造格局。正是由于构造体制的转折,本

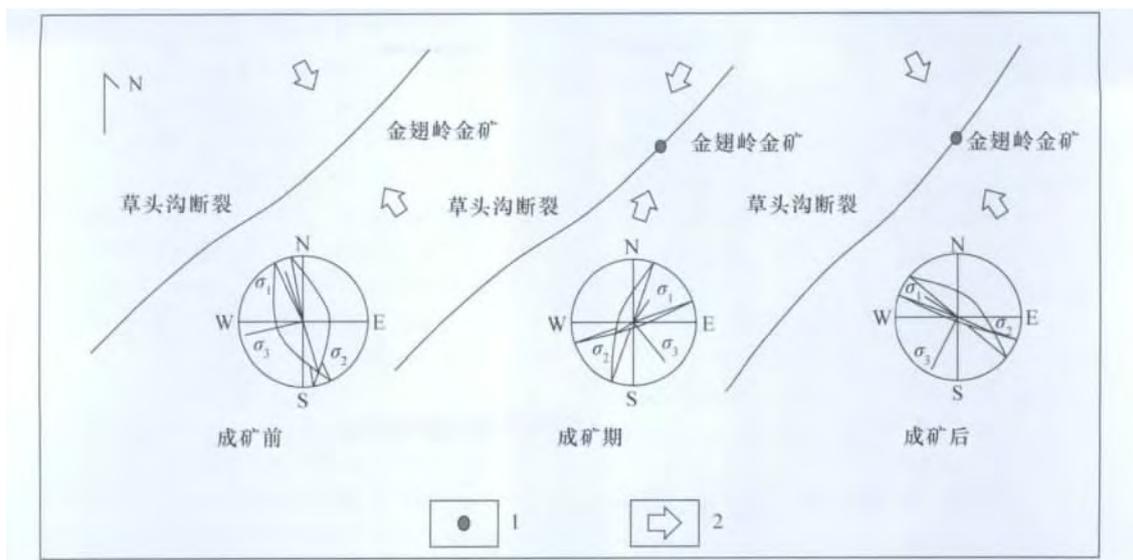


图 5 草头沟断裂构造演化图

Fig. 5 Tectonic evolution of the Caotoutou fault in the Jinchiling gold deposit

1 - 金矿床; 2 - 主应力方向

1 - gold deposit; 2 - principal stress direction

区火山-岩浆活动强烈,郯庐断裂发生局部拉张、右行走滑。到 100Ma 之后,构造体制转折结束,太平洋板块 NW 向俯冲,此时的主应力方向为 NW-SE,郯庐断裂再次发生左行平移活动,胶西北地区 NNE-NE 向断裂发生压剪性活动。本文关于金翅岭金矿的构造演化与区域大地构造背景有着良好的一致性。

4 成矿演化机理探讨

流体的运移取决于 2 个主要方面,第一是流体本身的边界特征,第二是固体介质的渗透性(Hubbert, 1956)。该矿床的流体运移驱动力为构造作用,一方面构造变形可以改变流体运移场的势能分布,另一方面构造作用可以通过压缩、扩容、破裂等方式改变固体介质的渗透性能,从而影响流体的运移速率、方向和方式等。有学者通过构造模拟等方法对构造带不同位置的应力状态进行了研究(吕古贤等,1999),认为构造对流体运移的影响是通过构造所产生的附加静水压力来表现的。这里的构造附加静水压力是指地壳中某一深度的总静水压力除去重力附加静水压力的剩余部分,是一个各向等正应力。流体的运移主要由静水压力引起,因此在断裂构造活动时存在静水压力差,导致成矿流体向上运移,并向两侧发生扩散。正是由于该矿床的控矿断裂在成矿时期发生动力学转化,形成静水压力梯度,从而使成矿流体迅速迁移。

成矿流体的运移方式主要为真空泵式。以 P4 号

矿脉为例,在成矿前,控制 P4 脉的断裂受到 NW-SE 向挤压应力场的作用发生左旋平移,断裂带内处于压剪性的紧闭状态,断裂带内岩石发生破碎;到成矿期,构造应力场发生由 NW-SE 向挤压转变为 NE-SW 向挤压的转换,控制 P4 脉的断裂性质由挤压性转变为张性,断裂张开,为深部成矿流体上涌提供了通道,也为成矿提供了空间。流体在上侵过程中与围岩发生水岩反应,形成大规模蚀变,并使 Au 等成矿元素发生活化、迁移,进而沉淀成矿。

5 结论

(1) 金翅岭金矿是胶西北招远-莱州金成矿带内一个典型的石英脉型金矿,其控矿断裂主要为草头沟断裂和近 SN 向断裂。

(2) 矿区内的控矿断裂经历了多期活动,根据其运动学转化序列和构造应力场的反演,推测矿区内的控矿断裂经历了 3 期显著变化,构造应力场经历了由 NW-SE 向挤压转化为 NE-SW 向挤压,再到 NW-SE 向挤压的转化过程,这 3 期构造活动控制了断裂的基本形态和矿体展布特征及赋存规律。

(3) 金翅岭金矿成矿作用发生在构造应力场转化时期,且与区域大地构造背景有着良好的一致性。

(4) 成矿流体的驱动力和运移方式均与控矿断裂的开启密不可分,控矿断裂的活动促使了成矿作用的发生。

[注释]

- ① 山东正元资源勘察研究院. 2009. 山东招远金翅岭金矿接替资源勘察报告[R]

[References]

- Cao Guo-quan. 1990. On Jiaonan terrain in Shandong Province [J]. *Geology of Shandong*, 6(2):1-9 (in Chinese)
- Chen Guang-yuan, Sun Dai-sheng, Shao Wei. 1989. Genetic mineralogy of gold deposits in Jiaodong region with emphasis on gold prospecting [M]. Chongqing: Chongqing Press: 1-452 (in Chinese with English abstract)
- Du Gao-feng, Zou Hai-yang, Yang Liu, Chen Song-ling, Liu Yan-ping. 2012. Characteristics of ore-forming fluid from the Jingchiling gold deposit in Shandong province [J]. *Geology and Exploration*, 48(4):677-684 (in Chinese with English abstract)
- Deng Jun, Xu shou-li, Fang Yun, Zhou Xian-qiang, Wan Li. 1996. Structural system and gold mineralization dynamics of Jiaodong northwest area [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-98 (in Chinese with English abstract)
- Fan Hong-rui, Hu Fang-fang, Yang Jin-hui, Shen Kun, Zhai Ming-guo. 2005. Fluid evolution and large-scale gold metallogeny during mesozoic tectonic transition in the eastern Shandong province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(5):1317-1328 (in Chinese with English abstract)
- Fan Yong-xiang, Gao Qiu-bin. 1993. A research on structural ore-control regularity of Zhaoyuan-yixian gold belt in Shangdong [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press: 1-75 (in Chinese with English abstract)
- Hu Shou-xi, Wang He-nian, Wang De-zi. 1994. Geology and geochemistry of gold deposit in East China [M]. Beijing: Science Press: 27-49 (in Chinese)
- Hubbert M K. 1956. Darcy law and the field equations of the flow of underground fluid [J]. *Transactions of the American Institute Mine and Metallurgical Engineers*, 207:222-239
- Gao Jian-wei, Zhao Guo-chun, Mao Xiao-hong, Teng Chao, Dong Han-wen, Li Sheng-rong, Song Yu-bo, Liu Zhen-hao. 2011. Research of metallotectonics and tectonic stress field of Jinqingding gold deposit, Shandong province [J]. *Geoscience*, 25(6):1099-1106 (in Chinese with English abstract)
- Li Hong-kui, Yang Yong-bo, Yang Feng-jie. 2009. Tectonic evolution and mineralization of Shandong Yishu fault zone [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-221 (in Chinese with English abstract)
- Li Shi-xian, Liu Chang-chun, An Yu-hong, Wang Wei-cong, Huang Tai-ling, Yang Cheng-hai. 1998. Geology of gold deposits in Jiaodong [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-423 (in Chinese with English abstract)
- Lin Wen-wei, Zhao Yi-ming, Zhao Guo-hong, Peng Cong, Zhao Weigang. 1997. The ore-control mechanism of gold deposits in northwestern Jiaodong [J]. *Mineral Deposits*, 16(2):107-119 (in Chinese with English abstract)
- Luo Zhen-kuan, Miao Lai-cheng. 2002. Granite and gold deposits of Zhaoyuan-Laizhou area, Jiaodong [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press: 1-143 (in Chinese with English abstract)

- Lv Gu-xian, Kong Qing-cun. 1994. Geology on the Linglong-Jiaojia-type gold deposits in the Jiaodong area, China [M]. Beijing: Science Press: 1-253 (in Chinese with English abstract)
- Lv Gu-xian, Lin Wen-wei, Luo Yuan-hua, Li Xiao-bo, Ni Shi-jun, Deng Jun, Zhou Shao-dong, Cao Zhi-min, Zhang Jun. 1999. Tectonophysics-geochemistry and gold metallogenic prognosis [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-458 (in Chinese with English abstract)
- Mao Jing-wen, Hao Ying, Ding Ti-ping. 2002. Mantle fluids involved in metallogenesis of Jiaodong (East Shandong) gold district: Evidence of C, O and H isotopes [J]. *Mineral Deposits*, 21(2):121-128 (in Chinese with English abstract)
- Ren Ji-shun, Jiang Chun-fa, Zhang Zheng-kun. 1981. The tectonics of China and its evolution-illustration of 1:4000000 tectonic map of China [M]. Beijing: Science Press: 29-37 (in Chinese)
- Sun Feng-yue. 1994. The present situation problem and recommendation scheme on the classification and gradation of mineral resources [J]. *Journal of Changchun University of Earth Sciences*, 24(4):378-422 (in Chinese with English abstract)
- Song Ming-chun, Cui Shu-xue, Yi Pi-hou, Xu Jun-xiang, Yuan Wen-hua, Jiang Hong-li. 1996. Large-very large gold mine prospecting and metallogenic model of gold ore concentration area in Jiaodong northeast [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-332 (in Chinese with English abstract)
- Xu Jia-wei, Ma Guo-feng. 1992. Review of the years (1981-1991) of research on the Tancheng-Lujiang fault zone [J]. *Geological Review*, 38(4):316-324 (in Chinese with English abstract)
- Xu J W, Zhu G, Tong W X. 1987. Formation and evolution of Tancheng-Lujiang wrench fault system: A major shear system to the north of the Pacific Ocean [J]. *Tectonophysics*, 134(2):273-310
- Wan Tian-feng. 2004. Geotectology outline of China [M]. Beijing: Geological Publishing House: 133-447 (in Chinese with English abstract)
- Wan Tian-feng. 1995. Evolution of tancheng-Lujiang fault zone and palaeostress fields [J]. *Earth Science*, 20(5):526-534 (in Chinese with English abstract)
- Wang Chen-hui, Wang Deng-hong, Huang Fan, Xu Yu, Chen Zheng-hui, Ying Li-juan, Liu Shan-bo. 2012. The major gold concentration areas in China and their resource potentials [J]. *Geology in China*, 39(5):1125-1142 (in Chinese with English abstract)
- Yang Min-zhi. 1996. The geochemistry of wall rock alteration zone of gold deposits-as exemplified by Jiaodong gold deposits [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-112 (in Chinese with English abstract).
- Yang Zhong-fang, Xu Jing-kui, Zhao Lun-shan, Shen Yong-li, Wu Yue-bin. 1998. Geochemistry of regional crustal evolution and gold mineralization in Jiaodong area [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-126 (in Chinese)
- Zhai Ming-guo, Fan Qi-cheng, Zhang Hong-fu, Sui Jian-li. 2005. Lower crust processes during the thinning in eastern China: Magma underplating, replacement and delamination [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(6):1509-1526 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Xu, Li Sheng-rong, Lu Jing, Yan Yu-tong, Wang Feng, He Xian. 2012. H-O, He-Ar isotopic compositions of fluid inclusions for tracing the source of ore-forming fluids of Jingchiling gold deposit, north-

- hest Jiaodong area [J]. *J Mineral Petrol*, 32(1):40-47 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Yue-qiao, Dong Shu-wen. 2008. Mesozoic tectonic evolution history of the Tancheng-Lujiang fault zone, China: Advances and new understanding [J]. *Geological Bulletin of China*, 27(9):1371-1390 (in Chinese with English abstract)
- Zhai Yu-sheng, Lin Duo-xin. 1993. Orefield tectonics [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-200 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Y Q, Dong S W, Wei S. 2003. Cretaceous deformation history of the middle Tan-Lu fault zone in Shandong province, eastern Chinese [J]. *Tectonophysics*, 363:243-258
- [附中文参考文献]
- 曹国权. 1990. 论胶南地体[J]. *山东地质* 6(2):1-9
- 陈光远 孙岱生 邵 伟. 1989. 胶东金矿成因矿物学与找矿[M]. 重庆:重庆出版社:1-452
- 杜高峰 邹海洋 杨 柳 陈松岭 刘艳萍. 2012. 山东金翅岭金矿成矿流体特征[J]. *地质与勘探* 48(4):677-684
- 邓 军 徐守礼 方 云 周显强 万 丽. 1996. 胶东西北部构造体系及金成矿动力学[M]. 北京:地质出版社:1-98
- 范宏瑞, 胡芳芳 杨进辉 沈 坤 翟明国. 2005. 胶东中生代构造体制转折过程中的流体演化和金的大规模成矿[J]. *岩石学报* 21(5):1317-1328
- 范永香 高秋斌. 1993. 山东招远—掖县金成矿带构造控矿规律研究[M]. 武汉:中国地质大学出版社:1-75
- 胡受奚 王鹤年 王德滋. 1998. 中国东部金矿地质学及地球化学[M]. 北京:科学出版社:27-49
- 高建伟 赵国春 毛小红 滕超 董汉文 李胜荣 宋玉波 刘振豪. 2011. 山东乳山金青顶金矿成矿构造和应力场研究[J]. *现代地质* 25(6):1099-1106
- 李洪奎 杨永波 杨峰杰. 2009. 山东沂沭断裂带构造演化与成矿作用[M]. 北京:地质出版社:1-221
- 李士先 刘长春 安郁宏 王为聪 黄太颖 杨承海. 2007. 胶东金矿地质[M]. 北京:地质出版社:1-423
- 林文蔚 赵一明 赵国红 彭 聪 赵维刚. 1997. 胶东西北部金矿的控制因素[J]. *矿床地质* 16(2):107-119
- 罗镇宽 苗来成. 2002. 胶东招莱地区花岗岩和金矿床[M]. 北京:冶金工业出版社:1-143
- 吕古贤 孔庆存. 1994. 胶东玲珑—焦家式金矿地质[M]. 北京:科学出版社:1-253
- 吕古贤 林文蔚 罗元华 李晓波 倪师军 邓军 周邵东 曹志敏 张均. 1999. 构造物理化学与金成矿预测[M]. 北京:地质出版社:1-458
- 毛景文 郝 英 丁悌平. 2002. 胶东金矿形成期间地幔流体参与成矿过程的碳氧氢同位素证据[J]. *矿床地质* 21(2):121-128
- 任纪顺 姜春发 张正坤. 1981. 中国大地构造及其演化. 1:400 万中国大地构造图说明说明书[M]. 北京:科学出版社:29-37
- 孙丰月. 1994. 胶东地区中生代区域构造演化与成矿[J]. *长春地质学院报* 24(4):378-422.
- 宋明春 崔书学 伊丕厚 徐军祥 袁文花 姜洪利. 2011. 胶西北金矿集中区深部大型—超大型金矿找矿与成矿模式[M]. 北京:地质出版社:1-332
- 徐嘉炜 马国峰. 1992. 郯庐断裂带研究的十年回顾[J]. *地质论评* 38(4):316-324
- 万天丰. 2004. 中国大地构造纲要[M]. 北京:地质出版社:135-147
- 万天丰. 1995. 郯庐断裂带的演化与古构造应力场[J]. *地球科学* 20(5):526-534
- 王成辉 王登红 黄 凡 徐 钰 陈郑辉 应立娟 刘善宝. 2012. 中国金矿集区及其资源潜力探[J]. *中国地质* 39(5):1125-1142
- 杨敏之. 1996. 金矿床围岩蚀变带地球化学—以胶东金矿为例[M]. 北京:地质出版社:1-112
- 杨忠芳 徐奎奎 赵伦山 沈镛立 吴悦斌. 1998. 胶东区域地壳演化与金成矿作用地球化学[M]. 北京:地质出版社:1-126
- 翟明国 樊祺诚 张宏福 隋建立. 2005. 华北东北岩石圈减薄的下地壳过程:岩浆底侵、置换与拆沉作用[J]. *岩石学报* 21(6):1509-1526
- 张 旭 李胜荣 卢 晶 严育通 王 枫 何 娴. 2012. 山东招远金翅岭金矿床 H, O, He, Ar 同位素组成及其对成矿流体示踪的研究[J]. *矿物岩石*, 32(1):40-47
- 翟裕生 林多新. 1993. 矿田构造学[M]. 北京:地质出版社:1-200
- 张岳桥 董树文. 2008. 郯庐断裂带中生代构造演化史:进展与新认识[J]. *地质通报* 27(9):1371-1390

Metallogenic Structure and Tectonic Stress Field of the Jinchiling Gold Deposit in Shandong Province

GAO Jian-wei¹, LI Ying-kang¹, ZHAO Guo-chun², LI Hong-xing², LI Qiu-ye², YAO Yu-tao¹, MI Sheng-xin¹

(1. Geological Information Centre, Ministry of Land and Resource, Yanjiao, Sanhe, Hebei 065201;

2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083)

Abstract: The Jinchiling quartz-vein type gold deposit is located in the central part of the Zhaoyuan-Lizhou metallogenic belt. Structural mapping and paleo-tectonic stress inversion reveal the tectonic movement features and tectonic evolution history of the Jinchiling gold deposit. The result shows that during the Jurassic to the Cretaceous period, the ore-control fault of this deposit underwent three stages of activities: (1) nearly NW-SW-directed compression stress before mineralization; (2) during mineralization, the stress field changed into NE-SW compression; and (3) the stress field converted to NW-SE compression again after mineralization. Mineralization occurred in the transformation period of the tectonic stress field. The mineralization occurred when the tectonic stress field transformed as aforementioned, which opened the ore-control fault and led to filling of ore bodies.

Key words: tectonic deformation; tectonic stress field; quartz-vein type gold deposit; Zhaoyuan, Shandong province