



甘新北山金窝子韧性剪切带型金矿床成因^{*}

陈柏林

(中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘 要 金窝子金矿床位于中朝-塔里木板块与哈萨克斯坦板块俯冲碰撞带南缘的甘新北山中带东段,受矿源岩系和区域性韧性剪切带的形成和演化的双重控制。下二叠统金窝子组中金元素含量高,又普遍发生浅变质作用和较强烈的构造变形作用,所以金窝子组能够提供成矿物质。区域性构造变形过程中,大规模深层次的韧性剪切变形促使金窝子组中金元素活化迁移,连同 SiO_2 、K、Na 等活性组分和岩石中 H_2O 一起,形成含金动力变质热液;当含金热液上升并进入到 NEE 向低角度逆冲韧性断裂中,则发生交代蚀变和矿化,形成蚀变糜棱岩型和网脉型金矿化;而含金热液上升进入到 NNW 向高角度张性-张扭性脆性断裂中,则发生充填型矿化,形成石英大脉型金矿化。所以金窝子金矿的最主要控矿因素是矿源岩系和韧性剪切带。因此,金窝子金矿床属于韧性剪切带型金矿床,其成矿作用与控矿因素都与韧性剪切带有关。

关键词 地质学 矿床成因 韧性剪切带 金窝子金矿 甘新北山

中图分类号: 618.51

文献标志码: A

A discussion on origin of Jinwozi ductile shear zone type gold deposit in Beishan area of Gansu and Xinjiang

CHEN BaiLin

(Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract

Located tectonically in the eastern section of the middle Beishan zone on the south edge of the collision belt between Tarim-Sino-Korean plate and Kazakhstan plate, the Jinwozi gold deposit is controlled by source strata and the evolution of the regional ductile shear zone. Because lower Permian Jinwozi Group contained abundant gold and extensively experienced epi-metamorphism and structural deformation, it could provide enough materials for gold mineralization. In the process of regional structural evolution, the deep-level ductile shear deformation probably caused the gold element to be remobilized and differentiated from the source rocks, forming Au-bearing tectono-metamorphic hydrothermal solution together with the active components like SiO_2 , K, Na and H_2O in rocks. When the Au-bearing hydrothermal solution went up and migrated along the NEE-trending low-angle thrust ductile brittle fault, metasomatic alteration and mineralization took place, forming an altered mylonite type and/or stockwork gold deposit. In contrast, when the Au-bearing hydrothermal solution migrated upward and entered the NNW-trending high angle transverse tension fault, infilling mineralization occurred and formed a quartz-vein type gold deposit. It is thus concluded that the main ore-control factors are the source strata and ductile shear zone. The Jinwozi gold deposit is a ductile shear zone type deposit, whose genesis and control

^{*} 本文得到‘十一·五’国家科技支撑计划重点项目(编号:2006BAB07B02-04)的资助

第一作者简介 陈柏林,男,1962 年生,研究员,主要从事区域构造、矿田构造和成矿预测研究。Email: cblh6299@263.net

收稿日期 2009-12-30;改回日期 2010-10-16。李 岩编辑。

factors are all related to the ductile shear zone.

Key words: geology, origin of ore deposit, ductile shear zone, Jinwozi gold deposit, Beishan area of Gansu and Xingjiang

金窝子金矿床位于甘新交界的北山中带东段, 矿区内出露地层是金窝子组, 为一套有轻微变质的火山岩-沉积碎屑岩系, 矿区内出露的岩浆岩有华力西期二长花岗岩体和石英闪长岩脉、辉绿岩脉。矿区中南部大部分被新近系苦泉组覆盖(曹正中, 1990 陈纪明, 1995 雒利平等, 1999)。金矿化分为 2 种类型, 其一是赋存于金窝子组(浅变质的火山岩-沉积碎屑岩系)中、受 NEE 向低角度韧性断层控制的蚀变糜棱岩型金矿化, 以 210 矿脉为代表, 属于该类型的还有 208、214、250、163 等金矿脉; 其二是产于华力西期二长花岗岩体中、受 NNW 向陡倾角脆性断层控制的石英大脉型金矿化, 以 3 号脉群为代表, 同类型的还有 22 号脉群、31 号脉群、49 号脉群等(曹正中, 1990 陈纪明, 1995 陈富文等, 1999)。

对于金窝子地区金矿床的成因和成矿作用机制, 前人从矿床的地球化学、围岩和岩浆岩特征以及年代学等多方面开展了研究(曹正中, 1990; 王虹, 1993; 陈富文等, 1999; 刘伟等, 2002; 王清利等, 2008), 但是仍然存在比较多的争议。多数研究者认为它属于典型岩浆热液型矿床, 但是成矿作用时代在印支期(213 Ma), 而金窝子二长花岗岩时代为海西早期(354~358 Ma), 时差超过 100 Ma, 于是推测存在隐伏岩体。然而隐伏岩体只是推测, 而局部钻探证实, 深部岩石特征与地表出露的金窝子二长花岗岩一致(席小平, 1997), 是地表岩体的下延, 无法证实印支期隐伏岩体的存在。部分研究者提出构造动力成因论(王虹, 1993; 卡哈尔等, 2005), 但是只是表面的较粗浅认识, 没有从成矿作用过程与成矿机制上进行论述。王清利等(2008)研究了该金矿床的成矿作用机制, 认为其受韧性剪切带控制, 是地幔流体上升萃取韧性剪切带破碎岩石中的成矿物质并富集于剪张性裂隙中形成矿床的。对于构造控矿作用, 目前比较一致的认识是石英脉型受张性裂隙控制, 而蚀变(糜棱)岩型则有争议, 有层控论、层间破碎带控论、韧性剪切带论等, 笔者(陈柏林等, 2003)曾提出了逆冲推覆构造体系控矿作用的认识, 认为蚀变糜棱岩型和石英脉型金矿化是受同一逆冲推覆构造体系中的低角度主逆冲面和上盘次级张裂隙构造控制的同一成矿作用过程的不同矿化表现形式。

本文在论述逆冲推覆构造体系控矿作用的基础上, 在野外对金窝子岩体进行了详细的对比调查, 结合近年在成矿流体和成矿物质及其与韧性剪切带的关系等研究成果, 探讨了金窝子金矿床的成矿作用和成因。

1 金窝子金矿床地质概况

金窝子金矿床位于甘新北山地区, 属于西伯利亚-哈萨克斯坦-准噶尔和塔里木板块交汇部位的塔里木板块东北的北山裂谷中部, 于马连井复向斜核部偏北侧(新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1993; 左国朝等, 1990; 1996)。矿区及其外围地区是照壁山-破城山贵金属金(区划四级)成矿带(周济元等, 2000; 曹正中, 1990 陈富文等, 1999)的最主要部分, 据不完全统计, 该成矿带内已发现中型金矿床 3 处、小型金矿床及金矿点近 20 处(图 1)。

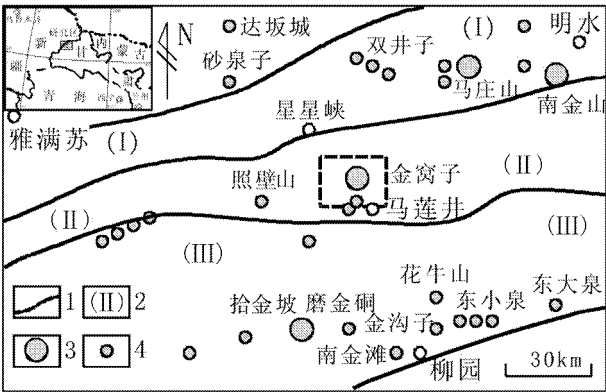


图 1 金窝子金矿田及邻区区域构造纲要与金矿床(点)图

1—构造单元界线; 2—构造单元编号; 3—中型金矿床; 4—小型金矿床、金矿点。(I)红柳河-牛圈子弧后盆地(裂隙槽); (II)马庄山弧后盆地; (III)拾金坡-红柳园构造岩浆岩带

Fig. 1 Sketch map of regional structure and gold deposits in the Jinwozi gold ore field and its vicinity

1—Boundary of structural unit; 2—Serial number of structural unit; 3—Medium-size gold deposit; 4—Small-size gold deposit and gold ore spot; 5—Jinwozi gold ore field; (I) Hongliuhe-Niujuanzi back-arc basin; (II) Mazhuangshan back-arc basin; (III) Shijinqi-Hongliuyuan tectonomagmatic belt

金矿区内出露地层主要为下二叠统金窝子组(P_{1j})。岩性为沉凝灰岩、含砾沉凝灰岩、凝灰质砂岩、碳质板岩、钙质砂岩,夹有少量碳酸盐岩和中酸性火山岩及中基性火山岩。前人曾经将其定为上泥盆统(陈纪明,1995),但由于金窝子金矿两侧均为含化石的下二叠统,金窝子组中并未发现确切的晚泥盆世化石而受到质疑(廖卓庭等,2003)。笔者认为东天山东段-北山地区在晚泥盆世以碰撞期后陆相粗碎屑岩巨厚堆积为特点(墩墩山组为代表),火山岩成分较少,而早二叠世,本区处于塔里木板块北东缘的北山裂谷环境(周济元等,2000),发育较多的火山岩组分,甚至出露枕状玄武岩,所以本文将金窝子组确定为下二叠统。金窝子组岩石已发生浅-中等变质作用,多数为低绿片岩相和千枚岩相。新近系上新统苦泉组(N_{2k})分布零星,为粘土粉砂质泥岩及砾岩。

区内岩浆活动强烈,主要活动时期为古生代,以金窝子岩体为主体,伴随有一系列脉岩产出。金窝子岩体长轴方向为北东 65° ,地表出露长5 km以上,宽500~900 m,岩体西宽东窄,呈长舌状、岩株状产出,向北及北西倾伏,东段为黑云斜长花岗岩,西段为黑云二长花岗岩。岩体中有石英闪长岩脉、白云母花岗岩脉、伟晶岩脉、辉绿岩脉和大量石英脉(图2)。

根据金矿化的空间位置,可将金矿化分为侵入岩体中的金矿化和围岩中的金矿化2种类型,根据矿化型式又分含金石英脉型和蚀变糜棱岩型。北矿区即金窝子金矿,产于金窝子二长花岗岩岩体内及接触带附近,为石英脉型。单脉规模一般较小,脉长20~500 m,宽0.5~数米,平均0.8 m,延深大于延长。矿体形态为脉状、透镜状,分枝复合、膨胀狭缩,连续性较好,脉间距20~100 m。脉体多受NNW(近南北)向断裂控制,倾向 $225\sim 275^\circ$,倾角 $65\sim 80^\circ$ (图2、图3)。矿石为含硫化物石英脉类型,具有充填结晶结构,块状构造、脉状构造;矿石矿物主要有自然金、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、褐铁矿等。脉石矿物主要为石英、方解石等。金品位一般较高, w_{Au} 大于 8×10^{-6} 。近矿围岩蚀变为黄铁矿化、硅化、绢云母化。

南矿区即210金矿,位于金窝子岩体以南,产于金窝子组凝灰质砂岩的低角度韧性断裂蚀变破碎带中。该破碎带规模较大,地表出露350 m,控制长度6.2 km,宽度7~103 m,走向NE($50\sim 55^\circ$ 左右),倾向NW,倾角从上部到下部有逐渐变缓的特点,上

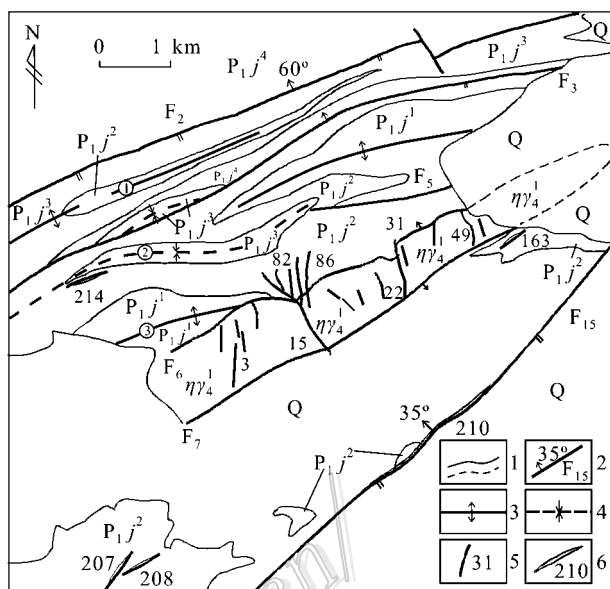


图2 金窝子金矿田构造地质图(据席小平,1997 改编)

Q—第四系; P_{1j}^4 —下二叠统金窝子组第四段; P_{1j}^3 —下二叠统金窝子组第三段; P_{1j}^2 —下二叠统金窝子组第二段; P_{1j}^1 —下二叠统金窝子组第一段; γ_4^1 —华力西早期二长花岗岩;1—地质界线;2—断裂编号及产状;3—背斜;4—向斜;5—石英脉型金矿脉及其编号;6—蚀变糜棱岩型金矿体及其编号。①向阳山背斜;②磨盘山向斜;③金窝子背斜

Fig. 2 Structural geological map of the Jinwozi gold orefield (modified after Xi, 1997)

Q—Quaternary; P_{1j}^4 —4th Member of lower Permian Jinwozi Formation; P_{1j}^3 —3rd Member of lower Permian Jinwozi Formation; P_{1j}^2 —2nd Member of lower Permian Jinwozi Formation; P_{1j}^1 —1st Member of lower Permian Jinwozi Formation; γ_4^1 —Early Variscan monzogranite; 1—Geological boundary; 2—Serial number and attitude of fault; 3—Anticline; 4—Syncline; 5—Quartz-vein type gold ore vein and its serial number; 6—Altered mylonite type gold ore vein and its serial number; ① Xiangyangshan anticline; ② Mopangshan syncline; ③ Jinwozi anticline

部一般为 $20\sim 35^\circ$,下部变缓至 $10\sim 20^\circ$ 。金矿体或矿化体受韧性断裂破碎带控制,产于破碎带中,为蚀变糜棱岩型,局部为石英细网脉型。矿体形态为脉状、透镜状、扁豆状。矿体长20~710 m,厚0.7~11 m,倾向延伸50~500 m(图2、图4)。矿体金品位变化较大, w_{Au} 最高可达 100×10^{-6} 。在韧性剪切带走向拐弯的凹部、倾向上产状由陡变缓的部位矿化较好(钱道全,1998)。矿石为含硫化物蚀变糜棱岩类型,具有鳞片变晶结构,条带状、细网脉型构造;金属矿物主要为自然金、银金矿、黄铁矿,少量方铅矿、闪锌矿和黄铜矿。脉石矿物为绢云母、石英、绿泥石、方解石等。近矿围岩蚀变为黄铁矿化、绢云母化、硅化、碳酸盐化等。

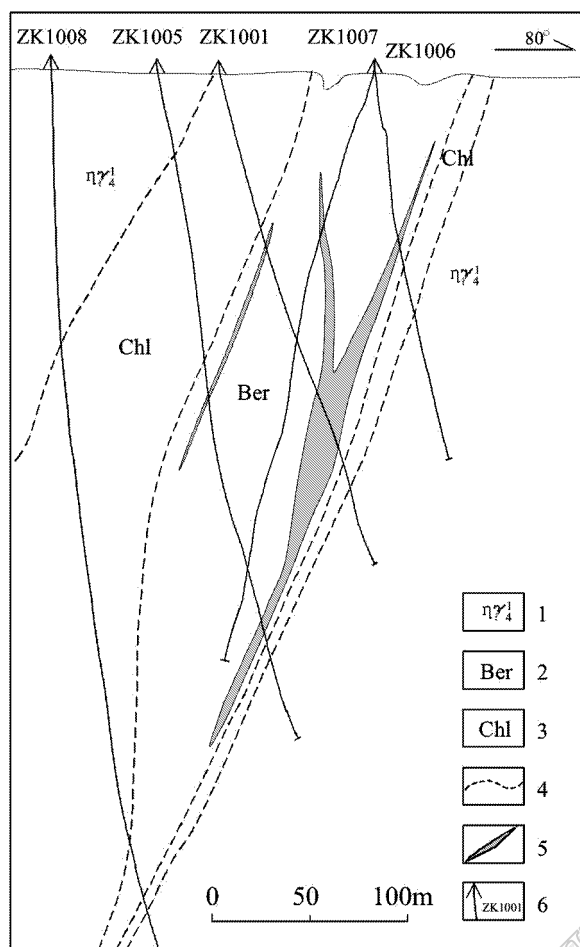


图3 金窝子金矿床10线地质剖面(据有色704队资料^①)

1—华力西早期二长花岗岩;2—绿泥石化碳酸盐化带;3—黄铁绢英岩化带;4—岩性和蚀变界线;5—金矿体;6—钻孔及编号

Fig. 3 Geological section along No. 10 line of the

Jinwozi gold deposit

1—Early Variscan monzogranite; 2—Chloritized carbonated alteration belt; 3—Pyritized phyllic alteration belt; 4—Lithologic and alteration boundary; 5—Gold ore body; 6—Drill hole and its serial number

2 金窝子金矿构造特征

2.1 构造概况

金窝子地区内主体构造线为NE向。褶皱构造主要由呈北东向延伸并相间分布的一系列背斜和向斜组成:从NW向SE依次有向阳山背斜、磨盘山向斜、金窝子背斜、金南向斜、210背斜和零南向斜,其中前3个褶皱出露地表,后3个褶皱被第四系覆盖,是隐伏褶皱。组成褶皱构造的地层均为下二叠统金

窝子组(图2)。

断裂构造非常发育,主要是华力西期挤压体制下构造堆垛作用时期的低角度韧性逆冲推覆构造体系(韧性剪切带),是主要的控矿赋矿构造;偶见中新代脆性小断裂破坏矿床构造,但是规模和位移较小,对已经形成的金矿床没有造成根本性的破坏(图2)。

2.2 低角度逆冲推覆构造体系

2.2.1 低角度逆冲型韧性剪切带

控制210金矿床的是低角度韧性逆冲型剪切变形带,其主要特征如下:①含金韧性构造变形带具有明显穿层的特点(图4),一些部位该变形带上下的金窝子组虽然与含矿构造带走向近于平行,但是倾角具有明显差异,在金矿区内,地层倾角为30~60°,以40~45°居多,而含矿构造带倾角为15~30°。如在中坑水平坑道0线附近,含矿构造带产状为55°/NW26°,韧性构造变形带内糜棱岩片理为55°/NW39°,但是构造变形带下盘的含砾砂岩产状为55°/NW56°(图5A);②含矿构造带上盘内侧与其平行的含碳质片理化岩石经鉴定为构造片岩或强变形含碳质凝灰岩,而不是平行层理的碳质夹层(图5A、B、C、D图6A)。③韧性构造变形带与地层具有明显的分划性界面,显示韧性变形特点;同时韧性构造变形带内部含砾凝灰岩或含砾凝灰质砂岩具明显的变形,砾石压扁拉长明显,凝灰质基质也有明显的片理化,具有明显的定向组构和显微构造特征(图5A、B;图6B);④变形运动方向为逆冲推覆,从韧性变形带产状与带内变形岩石片理产状的关系(图5A、B)、带内小型“X”型剪裂隙及其中微细石英脉充填特征(图5B)、含矿构造变形带上盘的柔皱(图5C、D)等均反映出构造变形的运动方向为低角度逆冲推覆;⑤从钻探剖面揭露的含矿构造变形带前缘结构特点也具有逆冲推覆的运动学特征(图4)。

2.2.2 上盘逆冲岩席和高角度逆冲断层

主逆冲推覆构造带上盘的下二叠统地层中发育一系列由逆冲岩席和高角度逆冲断层组成的叠瓦状构造,如在联合金矿区北侧的下二叠统(夹薄层灰岩的凝灰岩)中,发育多个紧闭倒转褶皱,并伴有4~5个高角度逆冲断层(图2中F₂、F₃、F₅、F₆)。

2.2.3 派生断裂构造

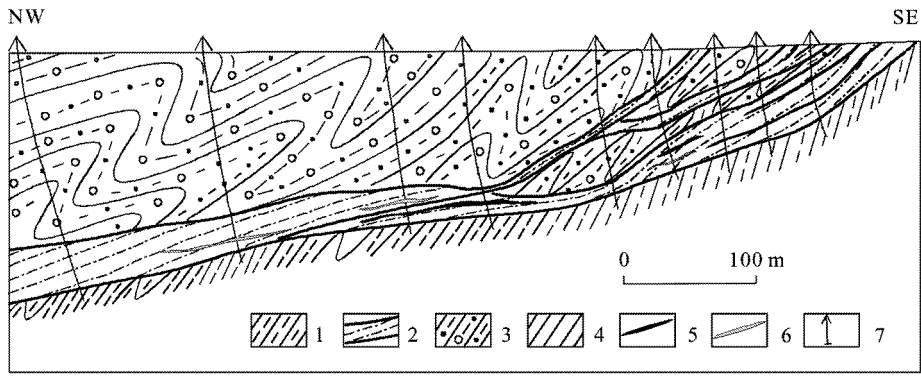


图 4 210 金矿床 0 线地质剖面图(据有色 704 队资料^①编制)

1—凝灰岩;2—黄铁矿化碎裂-糜棱岩化凝灰岩或构造片岩;3—凝灰质含砾粗砂岩夹炭质页岩;4—沉凝灰质页岩夹凝灰质砂岩;
5—金矿体;6—金矿化体;7—钻孔

Fig. 4 Geological section along No. 0 line of the 210 gold deposit

1—Tuff;2—Pyritized tectonic schist or cataclastic pyritized mylonitized tuff;3—Tuffaceous gravel-bearing gritstone with carbonaceous shale;4—sedimentary tuffaceous shale with tuffaceous sandstone;5—Gold ore body;6—Gold mineralized zone;7—Drill hole

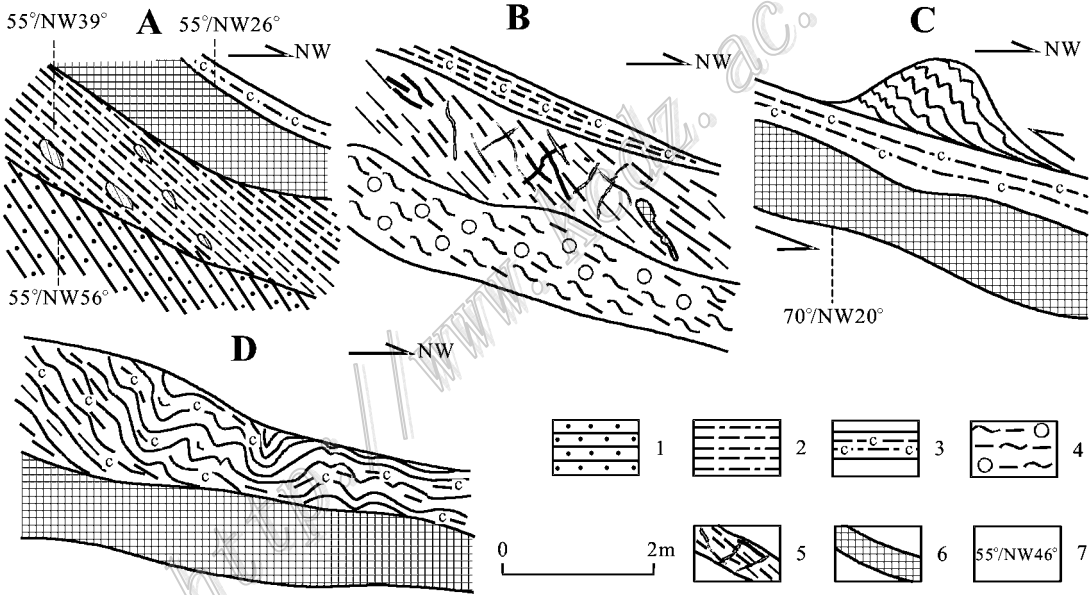


图 5 210 金矿床赋矿构造与金矿体关系素描

A. 中坑水平坑道 0 线;B. 平巷 0 线;C. 2 中段 2 线开采面;D. 2 中段 2 线开采面. 1—含砾凝灰质砂岩;2—含砾砂质凝灰质糜棱岩;
3—碳质构造片岩;4—片理化含砾砂岩;5—石英细网脉型金矿体;6—交代石英脉型金矿体;7—产状

Fig. 5 Sketch showing the relationship between gold mineralization and ore-bearing structure in the 210 gold deposit

A. Middle adit of No. 0 prospecting line;B. Adit of No. 0 prospecting line;C. 2-level mining face of No. 2 prospecting line;D. 2-level mining face of No. 2 prospecting line. 1—Gravel-bearing tuffaceous sandstone;2—Gravel-bearing sandy-tuffaceous mylonite;3—Carbonaceous tectonic schist;
4—Schistositized gravel-bearing sandstone;5—Veinlet and network type gold ore body;6—Metasomatic quartz vein type gold ore body;7—Attitude

在北西-南东向构造主压应力作用下,在相对偏韧性的下二叠统中发育了自北西向南东的逆冲推覆构造,而在相对比较强硬又偏脆性的花岗岩中则形

成平行于主压应力方向(NNW 向或近 SN 向)的张性-张扭性脆性断裂(图 2)。

① 有色 704 地质队. 1980-1992. 新疆东部金窝子地区矿床普查、勘探报告.

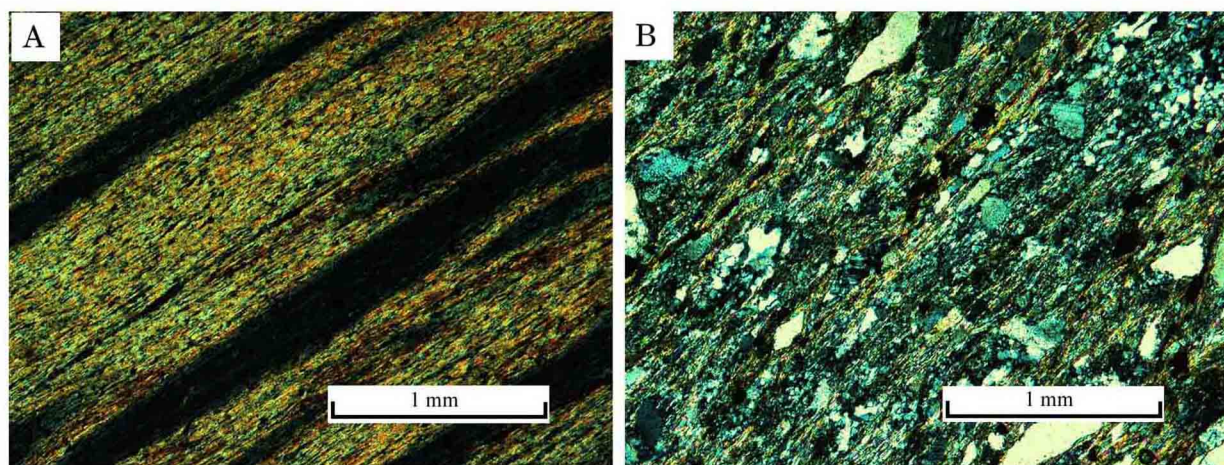


图6 构造变形岩石显微照片

A. 含碳质构造片岩; B. 强变形含砾凝灰质砂岩

Fig. 6 Micrograph of deformed rocks

A. Carbonaceous tectonic schist; B. Deformed gravel-bearing tuffaceous sandstone

3 浅层次韧脆性-脆性构造的控矿容矿作用

3.1 低角度韧脆性逆冲断层控矿作用

在构造挤压体制下形成的北东东向低角度韧脆性逆冲断层是东天山区区域性韧性剪切带东段部分的中浅层次构造,是金窝子金矿田内210金矿床为代表的碎裂蚀变岩型或石英网脉型矿体的重要且唯一的控矿构造。目前资料显示,勘探工程所控制的210金矿床的金矿体均受到这组低角度韧脆性逆冲推覆断层的控制,该断层虽为挤压体制下的逆冲推覆断层,出现片理化和构造片岩,但由于倾角平缓,断层面与主压应力轴夹角比较小,沿断层面具有一定的张扭性或扭张性力学性质,所以沿断裂能够发育矿化蚀变作用,这一特点与加拿大阿比提比(Abitibi)绿岩带西格玛(Sigma)矿区近水平金矿脉产出特点(Sibson et al., 1988)非常相似,它们具有相似的成矿动力学条件。但是由于总体为压扭性力学性质,局部张扭性力学性质也比较有限,含矿热液既不能大量进入,也没有足够的空间积蓄,只能部分交代,所以矿化作用表现为以交代为主,形成蚀变糜棱岩(或构造片岩)型金矿化,仅在局部张性比较明显的部位形成交代-充填型碎裂蚀变岩型或石英网脉型金矿体。交代成因的石英具有晶体小、晶形差等特征。蚀变糜棱岩型金矿是210金矿床最主要的金矿类型,占储量的90%以上,矿带和矿体产状稳定,延伸

大,主矿体长600 m,倾向延伸大于500 m,矿化带长大于2.0 km,倾向延伸大于1.0 km,矿化边界均未封闭,该区仍有极大的金矿找矿远景。

3.2 高角度张扭性断层控制石英大脉型金矿化

在金窝子韧脆性低角度逆冲推覆构造演化过程中,随着逆冲推覆作用的发生及变形由稍深层次韧性向较浅层次脆性的转化,其上盘岩块内发育一系列与逆冲推覆方向接近的高角度张性-张扭性断层,这些断层走向近南北向或北北西向,倾角 $70^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 或近于直立,为偏张性或张扭性力学性质。它控制了金窝子石英大脉型金矿床,矿石中石英具有晶形好、晶体较大、梳状对壁生长等特征,反映了充填结晶的矿化形式。在该矿床范围内,共发育包括3号脉群、22号脉群、31号脉群、49号脉群等在内的40余条石英脉型金矿脉(图2)。

3.3 高角度叠瓦状压性断层不含矿

发育于低角度逆冲推覆构造带上盘的与主逆冲面走向相近的高角度叠瓦状断层,由于其倾角比较陡,走向又与主压应力垂直,正处于最大压应力面内,断层呈挤压闭合状态,含矿热液比较难以进入,所以大多数没有发育金矿化。

4 韧性剪切变形时代与成矿时代的一致性

对于金窝子岩体的形成时代,目前已经取得共

识。胡蔼琴等(1997)最早运用锆石 U-Pb 法,测定了金窝子二长花岗岩体的年龄为 358 Ma;陈富文等(1999)则用全岩 Rb-Sr 等时线法,获得金窝子岩体年龄为 354 Ma,两者非常接近,表明金窝子二长花岗岩体的定位时间发生在早石炭世。而对金矿床的成矿时代,早期被认为形成于晚古生代,与金窝子岩体的侵入具有成因联系(陈纪明,1995)。陈富文等(1999)运用石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线法,测得岩体中含石英脉和围岩破碎带中含石英网脉的年龄分别为 228 Ma 和 230 Ma,表明 2 种类型金矿化是同时形成的;王清利等(2008)对金窝子金矿床黄铁绢英岩化矿石中的绢云母进行了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学测定,获得矿石中的绢云母的坪年龄为 243.2 Ma。王清利等(2008)还对控制金窝子 210 蚀变糜棱岩型矿体的低角度韧性剪切带中的绢云母进行了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学测定,获得韧性剪切带中的绢云母的坪年龄为 243.8 Ma。上述年龄值远晚于金窝子花岗闪长岩体形成的时间,反映金窝子金矿床成矿作用与金窝子二长花岗岩体的侵位无直接的成因联系。事实上,石英大脉型金矿体赋存于金窝子二长花岗岩体内的脆性断裂中,说明成矿作用在岩体冷却固结之后,其形成时代应该明显晚于岩体的侵位时代。上述测年数据显示金窝子金矿床的形成时代应与韧性剪切带的构造变形时代有关。

5 成矿流体和成矿物质来源的再认识

成矿流体和成矿物质来源是矿床成因研究的重要内容,对金窝子金矿床成因前人已经开展了较多的研究和探讨(陈纪明,1995;胡蔼琴等,1997;席小平,1997;陈富文等,1999;雒利平等,1999;刘伟等,2002;赵渊新,2004;潘小菲等,2006),主要测试数据列于表 1。概括起来,多数学者认为成矿流体主要来源于岩浆热液,但有地下水的混入,而且 3 号矿脉比 210 号矿脉成矿温度和盐度偏低,成矿流体地下水混入量相对更多。

对成矿物质来源的认识相对多样,雒利平等(1999)依据硫同位素数据认为金窝子金矿床成矿物质来源于深部岩浆。刘伟等(2002)则认为硫可能是由成矿流体从金窝子组和金窝子花岗闪长岩体中淋滤而来,铅则来源于从地幔到地壳的贮库。王清利等(2008)强调金矿床与韧性剪切带的关系,认为成矿物质来源于韧性剪切带破碎岩石,由地幔流体上

升萃取并富集于剪张性裂隙中形成矿床。但是较多研究者(陈纪明,1995;席小平,1997;陈富文等,1999;赵渊新,2004)依据金窝子组和金窝子岩体金元素的高丰度(w_{Au} 分别为 $7.2 \times 10^{-9} \sim 17.7 \times 10^{-9}$ 和 $7.5 \times 10^{-9} \sim 9.4 \times 10^{-9}$),认为金矿床的成矿物质来源于金窝子组和金窝子二长花岗岩。

笔者认为矿床形成是一个复杂的地质作用过程,对矿床成因的研究需从整个地质作用系统方面综合考虑,为此笔者补充了有针对性的测试工作。矿床石英流体包裹体的氢、氧同位素组成和成矿温度补充测试显示,3 号石英脉矿体石英流体包裹体 δD 为 $-53\text{‰} \sim -108\text{‰}$,平均 -82‰ , $\delta^{18}\text{O}$ 为 $3.98\text{‰} \sim 7.68\text{‰}$,平均 5.88‰ ,成矿温度 $190 \sim 270^\circ\text{C}$,平均 226°C ,平均盐度 [$w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$] 5.75% ;210 蚀变糜棱岩型金矿矿体石英流体包裹体 δD 为 $-48\text{‰} \sim -97\text{‰}$,平均 -76‰ , $\delta^{18}\text{O}$ 为 $6.82\text{‰} \sim 9.25\text{‰}$,平均 7.98‰ ,成矿温度 $194 \sim 286^\circ\text{C}$,平均 238°C ,平均盐度 [$w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$] 7.57% (表 1)。测试结果总体特征与前人结果是非常一致的,说明‘成矿流体主要来源于岩浆热液,但有地下水的混入’的认识是较可靠的,同时硫同位素测试数据也与前人的结果一致。

笔者对金窝子二长花岗岩中的金元素含量进行了测试。金窝子岩体金元素的高丰度是认为成矿物质来源于金窝子二长花岗岩的最直接依据。笔者认为成矿元素含量高是可能成为矿源岩系的一个前提,是有利条件,但并不是成为矿源岩的必要条件,最关键的是矿源岩有多少成矿元素能够被活化萃取出来参与成矿作用,这主要取决于岩石中成矿元素的状态和岩石所经历的变质变形改造作用,应该进行具体分析。首先,笔者在野外对金窝子岩体进行了详细的对比调查,从岩石特征来看,岩体虽然发育蚀变,但是蚀变仅发育于含金石英脉的边部及一定范围内。正如席小平(1997)所描述的‘金窝子岩体显然经过碱交代作用,自石英脉金矿体向外,产生了 2 个对称的蚀变带,第一带为黄铁绢英岩化带,第二带为绿泥石-硫酸盐化带;自二长花岗岩到金矿体,金的含量明显与 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值及 SiO_2 含量呈正相关关系’。所以,笔者认为这种对称蚀变带很可能是石英脉的充填成矿作用引起的二长花岗岩的蚀变。同时,岩体仅有局部碎裂,未发生变形,也未发生变质作用。所以,即使金窝子岩体金元素含量比较高,但是由于其变质-变形作用弱,其中的金元素尚未被活化,难以进入成矿作用过程,因此,金窝子

表 1 金窝子金矿床 2 种类型金矿化流体包裹体和同位素特征对比表

Table 1 Table of hydrogen, oxygen and sulfur isotope composition, temperatures and salinities of fluid inclusions of two kinds mineralization in the Jinwozi gold mine, NW China

测试项目	3 号脉群	210 号脉群	资料来源	备注
δD	-79‰ ~ -115‰ -87.6‰ ~ -101.7‰ (2) -89.4‰ ~ -108.7‰ (5) -53.4‰ ~ -119.4‰ (3) -53‰ ~ -108‰ (6)	-89.6‰ ~ -98.9‰ (3) -71.7‰ ~ -91.6‰ (5) -48.2‰ ~ -64.5‰ (3) -48‰ ~ -97‰ (6)	胡藩琴等,1997 雒利平等,1999 刘伟等,2002 刘伟等,2002 本文	石英流体包裹体 黄铁矿流体包裹体
$\delta^{18}O$	13.68‰ (7) 2.71‰ ~ 5.59‰ (2) 4.8‰ ~ 8.8‰ (5) 3.0‰ ~ 4.1‰ (3) 3.98‰ ~ 7.68‰ (5)	12.36‰ (3) 5.54‰ ~ 6.94‰ (3) 7.2‰ ~ 9.5‰ (5) 8.2‰ ~ 10.4‰ (3) 6.82‰ ~ 9.25‰ (5)	陈纪明,1995 雒利平等,1999 刘伟等,2002 刘伟等,2002 本文	为石英矿物,未进行分馏换算 石英流体包裹体 黄铁矿流体包裹体
流体包裹体 t_h	210 ~ 288℃ (5) CO₂ 266 ~ 321℃ (24) H₂O 280 ~ 320℃ (20) CO₂ 300 ~ 330℃ (41) H₂O 190 ~ 210℃ (14) 190 ~ 270℃ (12)	220 ~ 315℃ (7) CO₂ 225 ~ 359℃ (22) H₂O 240 ~ 270℃ (20) CO₂ 250 ~ 330℃ (19) H₂O 230 ~ 250℃ (16) 194 ~ 286℃ (8)	雒利平等,1999 潘小菲等,2006 潘小菲等,2006 潘小菲等,2006 潘小菲等,2006 本文	黄铁矿-石英阶段 黄铁矿-石英阶段 石英-黄铁矿-多金属阶段 石英-黄铁矿-多金属阶段
流体包裹体盐度 ω (NaCl _{eq})	2.0‰ ~ 5.5‰ (3) CO₂ 1.9‰ ~ 10.0‰ (21) H₂O 7.3‰ ~ 9.3‰ (13) CO₂ 2.8‰ ~ 11.2‰ (13) H₂O 3.7‰ ~ 9.3‰ (23) 5.75‰ (4)	4.8‰ ~ 8.2‰ (3) CO₂ 3.9‰ ~ 9.5‰ (14) H₂O 9.0‰ ~ 11.0‰ (10) CO₂ 4.9‰ ~ 9.5‰ (4) H₂O 7.8‰ ~ 8.4‰ (3) 7.57‰ (6)	雒利平等,1999 潘小菲等,2006 潘小菲等,2006 潘小菲等,2006 潘小菲等,2006 本文	黄铁矿-石英阶段 黄铁矿-石英阶段 石英-黄铁矿-多金属阶段 石英-黄铁矿-多金属阶段
$\delta^{34}S$	6.69‰ (16) 4.37‰ (17) 3.1‰ ~ 6.3‰ (5) 3.29‰ ~ 5.94‰ (10) 6.3‰	6.76‰ (12) 6.58‰ (15) 5.0‰ ~ 6.8‰ (6) 5.6‰ ~ 7.9‰ (5) 5.7‰ ~ 5.8‰ (2)	陈纪明等,1995 据有色 704 队资料^① 雒利平等,1999 刘伟等,2002 李文辉等 2005 本文	
铅同位素	²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb: 18.317 ~ 18.485 ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb: 15.608 ~ 15.821 ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb: 38.349 ~ 39.048	²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb: 18.193 ~ 18.442 ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb: 15.491 ~ 15.735 ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb: 37.945 ~ 38.542	刘伟等,2002 刘伟等,2002 刘伟等,2002	

注 表中 CO₂ 指富含 CO₂ 的包裹体,H₂O 指水溶液包裹体。括号内数字为测试的样品数。

岩体不太可能是直接的矿源岩系。第二,从采样位置来看,笔者选择矿化蚀变影响尽量小的金窝子二长花岗岩岩体样品 3 个,金元素测试结果为 $(2.8 \sim 3.5) \times 10^{-9}$,与地壳丰度接近,远小于前人的金窝子岩体金元素含量值。前人所测含金量高的金窝子岩体样品可能大多数是采于金窝子金矿区内的样品,

已经不同程度地受到石英脉型矿化蚀变的影响。因此,笔者认为金窝子岩体金元素含量高不一定是原生的,而很可能是金的矿化作用所引起的。

金窝子组普遍发生浅变质作用,同时发生强烈的构造变形作用,变质作用和变形作用将极大地促使地层中的金等成矿元素发生活化。所以金窝子组

① 有色 704 地质队. 1980-1992. 新疆东部金窝子地区矿床普查、勘探报告.

金含量高不仅可以提供足够的成矿元素,而且经过变质变形作用,这些成矿元素已经被活化,能够进入成矿作用过程。如果按地层中金元素含量低限(7.2×10^{-9})的 25% (1.8×10^{-9}) 能够被活化迁移进入成矿作用的话,那么一个长 10 km、宽 0.5 km、斜深 4 km 的变形带中活化迁移出来的金将可以形成 93 t 的特大型金矿床。笔者认为是不是金的矿源岩,关键不是地层中金元素含量的高低,而是地层中有多少金能够被活化迁移出来进入成矿作用过程,即使是 w_{Au} 为 0.5×10^{-9} (地壳丰度的五分之一到六分之一) 的金被活化迁移,一个长 10 km、宽 0.5 km、斜深 4 km 的变形带中活化迁移出来的金元素也可以形成 26 t 的大型金矿床。由于金窝子组普遍发生浅变质作用和较强烈的构造变形作用,所以金窝子组能够提供金矿床的成矿物质。

综上所述,金窝子金矿床的成矿物质(金元素)主要来源于金窝子组地层。

6 金窝子金矿床成因分析

金窝子金矿床属于韧性剪切带型金矿床,其成矿机制和控矿因素都与韧性剪切带有关。

金窝子金矿 2 种不同金矿化类型是同一成矿作用在不同控矿构造动力学条件下的具体表现。由于 2 种金矿化类型属于同一成矿作用的结果,所以成矿流体来源和成矿物质来源是相同的,唯一存在差异的是含金热液上升的距离和矿体定位的位置不同,即 3 号脉为代表的石英脉型金矿比以 210 号脉为代表的蚀变糜棱岩金矿含金热液上升的距离大、矿体定位位置高,因此其成矿温度略低、成矿深度略浅、成矿流体中地下水的混入略多。

韧性剪切带成生演化中的不同变形层次的构造及其构造变形过程是引发动力变质热液的形成,驱使成矿流体运移的动力和通道,促使金矿体最后定位的条件和场所。

金窝子地区成矿作用演化经历以下几个阶段:

第一阶段:晚古生代,金窝子金矿床所在的东天山-北山地区处于哈萨克斯坦-准噶尔板块与塔里木板块的结合部位,泥盆纪—早石炭世,洋壳板块分别往北和往南向哈萨克斯坦-准噶尔板块和塔里木板块之下俯冲,晚石炭世—早二叠世,两大板块对接缝合,形成区域性东西向右行走滑型韧性剪切带(300~280 Ma)。早二叠世,金窝子地区处于塔里

木板块北东缘的北山裂谷区,形成以金窝子组为代表的大量火山岩和火山碎屑岩,其中部分含有偏基性的深源岩浆岩组分,这套岩系富含金等成矿元素,其中 w_{Au} 达 $(7.2 \sim 17.7) \times 10^{-9}$,是金成矿作用的物质基础。

第二阶段:晚古生代末期—早三叠世初,随着两大板块对接缝合及北山裂谷的闭合碰撞,区域性韧性剪切带继续向东发展,在金窝子地区形成低角度逆冲型韧性剪切带(263~242 Ma),而在稍浅部位形成了包括偏韧性的火山沉积岩中的 NEE 向韧脆性剪切带(韧脆性断层)和偏脆性花岗岩中的近 SN 向偏张性脆性断裂。

(1) 深层次的韧性剪切变形导致包括金窝子组在内的地层岩石发生浅变质和强烈变形,变质变形作用(特别是深层次的韧性剪切变形)促使金窝子组地层中高含量的金元素被活化,连同 SiO_2 、K、Na 等活性组分和岩石中的 H_2O 一起形成动力变质热液。

(2) 含金动力变质热液在温压、挤压构造应力场和化学位差异等因素驱动下沿韧性剪切带上升至韧脆性转换带附近或稍上部位,在韧脆性糜棱岩中沿 C 面理或微裂隙发生交代蚀变和矿化,则可形成蚀变糜棱岩型金矿,这种蚀变糜棱岩中的含金微细石英脉往往在 1 mm 左右或更细;在稍上的偏脆性的部位可形成细网脉状金矿化,这就是金窝子 210 金矿。

(3) 当含金热液继续上升至脆性区,进入发育于低角度逆冲型韧性剪切带上盘的金窝子花岗闪长岩体中与挤压方向近于平行的张扭性或偏张脆性断裂内,并发生充填蚀变和矿化,则形成石英大脉型金矿化,这就是金窝子以 3 号脉为代表的石英脉型金矿。而且在形成石英大脉型金矿体的同时,含矿热液使石英脉外侧的花岗闪长岩发生对称性蚀变带,使得石英脉型金矿体两侧一定范围内金含量发生对称性升高。

第三阶段:中生代以来,本区发生多期脆性变形、不均匀抬升和不同程度的剥露,最终形成目前主要金矿体出露近地表的状态。

7 结论及意义

下二叠统金窝子组地层中金元素含量高,又普遍发生浅变质作用和较强烈的构造变形作用,所以能够为金成矿作用提供成矿物质。区域性构造演化

过程中,大规模深层次韧性剪切变形过程促使金窝子组中金元素活化迁移,连同 SiO_2 、K、Na 等活性组分和岩石中 H_2O 一起,形成含金动力变质热液;当含金热液上升并进入到低角度逆冲型韧性脆性断裂中的,则发生交代蚀变和矿化,形成蚀变糜棱岩型和网脉型金矿(以 210 金矿为代表);而含金热液上升进入到 NNW 向高角度张扭性脆性断裂中时,则发生充填型矿化,形成石英大脉型金矿床(以 3 号矿脉为代表)。所以金窝子金矿床属于韧性剪切带型金矿床,其成矿机制与控矿因素都与韧性剪切带有关。

韧性剪切带型金矿的成矿作用机制中存在成矿元素迁出区与矿化富集定位区的空间位置差异,长期演化的韧性剪切带是剪切带型金矿床形成并导致多种金矿化类型叠加、形成大型金矿床的有利条件,也是寻找大型剪切带型金矿床的有利地区。但是仅仅一期强烈变形的大型韧性剪切带,其引发的动力变质热液形成的矿化富集区局限在其之上数公里的韧性、脆性区,如果抬升剥露过程中没有继续发生变形,那么这条大型韧性剪切带抬升到达近地表时,出露的是大面积超深层次的变形带,韧性变形带及已形成的金矿床早已剥蚀殆尽,这也是韧性剪切带型金矿找矿的不利地区(陈柏林等,1999)。

References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. 1993. Regional geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 941p (in Chinese with English abstract).
- Cao Z Z. 1990. Discussion on the origin of the Jinwozi gold deposit[J]. Xinjiang Geol. Mineral Resour., (1-2): 45-50 (in Chinese).
- Chen B L, Dong F X and Li Z J. 1999. Metallogenic model of the ductile shear zone type of gold deposit[J]. Geol. Rev., 45(2): 186-192 (in Chinese with English abstract).
- Chen B L, Wu G G, Ye D J and Liu X C. 2003. An analysis of ore-controlling structure in the gold orefield, Beishan area, Gansu and Xinjiang[J]. Acta Geoscientia Sinica, 24(4): 305-310.
- Chen F W, Li H Q, Cai H and Liu H Q. 1999. The origin of the Jinwozi gold deposit in eastern Xinjiang: Evidence from isotope geochronology[J]. Geol. Rev., 45(3): 247-254 (in Chinese with English abstract).
- Chen J M. 1995. The geological characteristics and discussion about origin of Jinwozi gold deposit, Beishan, Gansu Province[A]. In: Cun G and Chen J M, ed. The typical gold deposits in China (the second volume) [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 16-24 (in Chinese).
- Hu A Q, Wang Z G and Tu G Z. 1997. Geological evolution and diagenetic and metallogenetic regularity in northern Xinjiang [M]. Beijing: Sci. Press. 1-230 (in Chinese).
- Kahaer K. 2005. The tectonic ore-forming and vista for looking for new gold deposit [J]. Xinjiang Non-ferrous Metal, (4): 16-17 (in Chinese with English abstract).
- Li W H, Ba K W, Zhang X Z and Liu Suming. 2005. Discussion on mineralization characteristics of gold deposits in Beishan's Hongliuhe to Mingshui region and suggested prospecting targets [J]. Xinjing Geol., 23(2): 136-139 (in Chinese with English abstract).
- Liao Z T and Liu L J. 2003. The carboniferous and Permian of the Gansu-Xinjiang border area with remarks on the age of the surrounding strata of the Jinwozi gold ore [J]. J. Stratigraphy, 27(3): 163-172 (in Chinese with English abstract).
- Liu W, Li X J and Deng J. 2002. Sources of ore-forming fluids and metallic materials in the Jinwozi lode gold deposit, eastern Tianshan Mountains of China [J]. Sci. in China (Series D), 32 (Supp.): 135-153 (in Chinese with English abstract).
- Luo L P, Feng J Z, Fu S X, Wu D W and Yang Z A. 1999. Geology and geochemistry of the Jinwozi gold mine in Gansu [J]. Geol. Explor. Non-ferrous Metals, 8(5): 522-525 (in Chinese with English abstract).
- Pan X F and Liu W. 2006. Fluid inclusions characteristics and ore-forming evolution of Jinwozi gold deposit [J]. Acta Petrologica Sinica, 22 (1): 253-263 (in Chinese with English abstract).
- Qian D Q. 1998. The features of the gold-containing ductile shear zone and the gold mineralization in 210# gold deposit [J]. Mineral Resour. & Geol., 12 (4): 237-241 (in Chinese with English abstract).
- Sibson R H, Robert F and Poulsen K H. 1988. High-angle reverse faults, fluids pressure cycling and meso-thermal gold deposits [J]. Geol., 16: 551-555.
- Wang H. 1993. Dynamic hydrothermal origin of Jinwozi gold deposit [J]. Xinjiang Geol., 11 (1): 63-67 (in Chinese with English abstract).
- Wang Q L, Chen W, Han D, Wang C Y, Lin X Y and Zhang S H. 2008. The age and mechanism of formation of the Jinwozi gold deposit, Xinjing [J]. Geology in China, 35 (2): 286-292 (in Chinese with English abstract).
- Xi X P. 1997. Geology and gold prospecting target of Jinwozi body [J]. Xinjiang Geol., 15 (1): 76-83 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Y X. 2004. The Geological characteristics of Jinwozi gold deposit and suggested prospecting targets [J]. Xinjiang Non-ferrous Metal (3): 18-19 (in Chinese with English abstract).
- Zhou J Y, Cui B F, Xiao H L and Chen S Z. 2000. The rift evolution and Au ore-forming regular in east part of Beishan, Gansu and Xinjiang [J]. Volcanology & Mineral Resources, 21 (1): 7-17 (in Chinese with English abstract).
- Zuo G C and He G Q. 1990. Plate tectonics and metallogenetic regularities in Beishan region [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 226p (in Chinese with English abstract).
- Zuo G C and Li M S. 1996. Formation and evolution of the early Paleo-

zoic lithosphere in the Beishan area, Gansu-Inner Mongolia, China [M]. Lanzhou: Gansu Sci. & Techn. Press. 1-93 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 曹正中. 1990. 金窝子金矿成因分析 [J]. 新疆矿产地质, 1-2: 45-50.
- 陈柏林, 董法先, 李中坚. 1999. 韧性剪切带型金矿床成矿模式 [J]. 地质论评, 45(2): 186-192.
- 陈柏林, 吴淦国, 叶得金, 刘晓春. 2003. 甘新北山金窝子金矿田构造控矿解析 [J]. 地球学报, 24(4): 305-310.
- 陈富文, 李华芹, 蔡红, 刘姝群. 1999. 新疆东部金窝子金矿成因讨论——同位素地质年代学证据 [J]. 地质论评, 45(3): 247-254.
- 陈纪明. 1995. 甘肃北山金窝子金矿床地质特征及成因探讨 [A]. 见: 寸圭, 陈纪明, 主编. 中国典型金矿床(第二集) [C]. 北京: 地质出版社. 16-24.
- 胡嵩琴, 王中刚, 涂光炽. 1997. 新疆北部地质演化及成岩成矿规律 [M]. 北京: 科学出版社. 1-230.
- 卡哈尔·克尤木. 2005. 金窝子金矿床构造成矿与找矿前景 [J]. 新疆有色金属, (4): 16-17.
- 李文辉, 薄科武, 张学洲, 刘夙明. 2005. 北山地区红柳河-明水一带金成矿规律及找矿方向探讨 [J]. 新疆地质, 23(2): 136-139.
- 廖卓庭, 刘陆军. 2003. 甘(肃)新(疆)交界地区的石炭系和二叠系——兼论金窝子金矿围岩地层的时代 [J]. 地层学杂志, 27(3):

163-172.

- 刘伟, 李新俊, 邓军. 2002. 东天山金窝子石英脉型金矿床成矿流体和成矿物质的来源. [J]. 中国科学(D辑), 32(增刊): 105-119.
- 雒利平, 冯建忠, 傅水兴, 吴德文, 杨自安. 1999. 甘肃金窝子金矿地质地球化学特征 [J]. 有色金属矿产与勘查, 8(5): 522-525.
- 潘小菲, 刘伟. 2006. 北山金窝子金矿床流体包裹体特征及成矿流体演化 [J]. 岩石学报, 22(1): 253-263.
- 钱道全. 1998. 210 金矿床含金韧性剪切带特征与金矿化 [J]. 矿产与地质, 12(4): 237-241.
- 王虹. 1993. 金窝子金矿床动力成矿作用皱议 [J]. 新疆地质, 11(1): 63-67.
- 王清利, 陈文, 韩丹, 王成玉, 刘新宇, 张思红. 2008. 新疆金窝子金矿床形成时代研究与成因机制讨论 [J]. 中国地质, 35(2): 286-292.
- 席小平. 1997. 金窝子岩体的地质特征及找金方向 [J]. 新疆地质, 15(1): 76-83.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区地质志 [M]. 北京: 地质出版社. 941 页.
- 赵渊新. 2004. 金窝子金矿床的地质特征及找矿方向 [J]. 新疆有色金属, (3): 18-19.
- 周济元, 崔炳芳, 肖惠良, 陈世忠. 2000. 甘新北山东段裂谷演化及金矿成矿规律 [J]. 火山地质与矿产, 21(1): 7-17.
- 左国朝, 何国琦. 1990. 北山板块构造及成矿规律 [M]. 北京: 地质出版社. 226 页.
- 左国朝, 李茂松. 1996. 甘肃北山地区早古生代岩石圈形成与演化 [M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社. 1-93.