

甘-新北山金窝子金矿田构造控矿解析

陈柏林^{1,2)} 吴淦国²⁾ 叶得金³⁾ 刘晓春¹⁾

(1) 中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100081; 2) 中国地质大学, 北京, 100083;

3) 甘肃省地质调查局酒泉地质调查队, 甘肃 酒泉, 735009)

摘 要 金窝子金矿田位于中朝-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, 是受断裂构造控制的岩浆热液型金矿床。区域构造格局控制成矿带的分布, 不同构造单元具有不同的控矿构造型式。金矿田内基本构造格局是走向 NE、倾向 NW 的低角度逆冲断层及其伴生(派)生的同走向高角度逆冲断层、紧闭褶皱以及与其垂直的高角度横张断层组成的推覆构造体系。NE 向低角度逆冲断层控制蚀变糜棱岩型金矿化(以 210 金矿床为代表), NNW 向高角度横张断层控制石英脉型金矿化(以金窝子金矿床为代表), 而 NE 向高角度逆冲断层和紧闭褶皱中无金矿化。NE 向低角度断层不仅是重要的含矿构造, 而且在成矿过程中起着控制成矿物理化学界面的作用。所以, 金窝子金矿田 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。

关键词 构造控矿体系 构造动力学条件 金矿化类型 金窝子金矿田 甘-新北山

An Analysis of Ore-controlling Structures in the Jinwozi Gold Orefield, Beishan Area, Gansu and Xingjiang

CHEN Bailin^{1,2)} WU Ganguo²⁾ YE Dejin³⁾ LIU Xiaochun¹⁾

(1) Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing, 100081; 2) China University of Geosciences, Beijing, 100083;

3) Jiuquan Geological Party, GBEDGMR, Jiuquan, Gansu, 735009)

Abstract The Jinwozi gold orefield, located tectonically in the Beishan middle zone on the southern edge of the collision belt between Tarim-Sino-Korean plate and Kazakhstan plate, is of magmatic hydrothermal type controlled by fault structures. Regional structures control the distribution of gold metallogenic belts, and different structural units control different types of ore-controlling structures. The main structures in the orefield comprise the low angle thrust structural system, which includes NE-trending low angle NW-dipping thrust faults, associated NE-trending folds and high angle faults in the upper plate, and NW-trending high angle transverse tension faults in the hanging wall. Different structure elements control different gold mineralization types in the orefield. Low angle faults control the altered mylonite type represented by the No. 210 gold deposit, while NW-trending high angle transverse tension faults control the quartz-vein type represented by the Jinwozi gold deposit. However, no gold mineralization has been found in the NE-trending folds and the NE-trending high angle faults in the hanging wall. The low-angle fault not only serves as one of the most important ore-bearing structures but also plays an important role in controlling the geochemical interface of mineralization. Therefore, the two gold mineralization types in the orefield are different expressions of the same mineralization under different tectonic-dynamic conditions of the ore-controlling structure.

Key words ore-controlling structure system tectonic-dynamic conditions gold mineralization type Jinwozi gold ore-field Beishan area in Gansu and Xingjiang

金窝子金矿田位于甘肃-新疆交界处甘肃省安西县一侧, 紧邻 312 国道, 由联合金矿床(包括 3 号脉群、22 号脉群、31 号脉群、49 号脉群等)、210 金矿床、214 金矿点、250 金矿点、163 金矿点等组成。

本文由原地质矿产部定向研究基金(地科定 96-21)资助。

改回日期: 2002-1-28; 责任编辑: 宫月萱。

第一作者: 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; E-mail: cblh6299@263.net。

其大地构造部位是中朝-塔里木板块与哈萨克斯坦板块俯冲碰撞带南缘的北山中带,在早古生代属于岛弧区靠近弧后盆地一侧(三级构造单元),区域构造位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)。其成矿区划归属东天山-北山成矿带的星星峡-明水金-多金属成矿亚带中的照壁山-破城山贵金属金四级成矿带(周济元等,2000)。矿田内出露地层上泥盆统金窝子组,为一套有轻微变质的火山岩-沉积碎屑岩系,主要岩性为凝灰岩、含砾凝灰岩、凝灰质砾岩、凝灰质砂岩、千枚岩夹泥质页岩和碳质板岩及少量薄层灰岩。矿田内出露的岩浆岩有华力西期花岗闪长岩体和石英闪长岩脉、辉绿岩脉。矿田中南部大部分被新第三系苦泉组覆盖(曹正中,1990;陈富文等,1999)。金矿化分为2种类型:①赋存于上泥盆统金窝子组中,受NE向低角度断层控制的蚀变糜棱岩型,以210金矿床为代表,属于该类型的还有208、214、250、163等金矿点;②金矿化是产于华力西期花岗闪长岩体中,受NNW向陡断层控制的石英脉型,以联合金矿区为代表(曹正中,1990;陈富文等,1999)^①。对于金窝子地区金矿床,前人研究主要侧重于矿床的地球化学、岩浆岩特征和成矿作用年代学的研究,所开展的构造控矿研究比较粗浅(如新疆有色704队对210金矿区控矿构造进行初步研究,认为是层控和层间破碎带控矿)。对于其构造控矿机制,特别是两类金矿化控矿构造的成因联系和构造控矿机制的研究非常薄弱。笔者通过研究认为,金窝子金矿田的控矿构造是一个低角度推覆构造体系中不同级别和不同序次构造的组成部分,金矿田内两种类型金矿化是同一成矿作用过程受发育于不同围岩中的不同性质断裂构造控制的具体表现。

1 区域构造及其控矿作用

金窝子金矿田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,金矿床(点)的产出与本区区域构造演化特征和岩浆热动力作用具有非常密切的关系(图1)。

从金窝子及外围地区金矿床的分布特点分析,

区域构造控矿作用比较明显,主要表现为:

(1) 区域构造格局控制成矿带的分布:就甘-新交界一带的金矿床成矿特点可以划分为照壁山-金窝子金矿床密集区和北侧的马庄山-南金山金矿床密集区、南侧的拾金坡-东大泉金矿床密集区,其分别受区内3个三级构造单元,即红柳河-牛圈子弧后盆地(裂陷槽,I),马庄山弧后盆地(II)和拾金坡-红柳园构造岩浆岩带(III))的控制,金矿床(点)主要分布于早古生代火山-沉积岩和华力西期岩浆岩带中(新疆维吾尔自治区地质矿产局,1993;左国朝等,1990,1996;周济元等,2000;图1)。

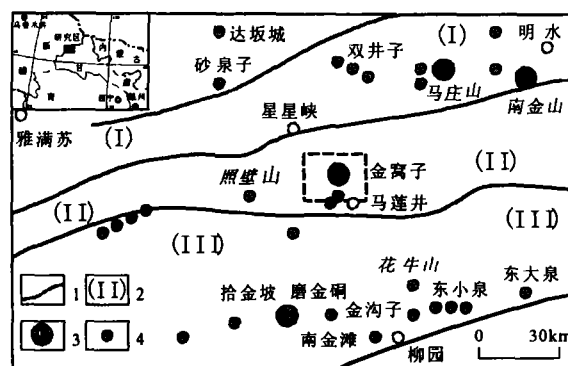


图1 金窝子金矿田及邻区区域构造纲要与金矿床(点)图
Fig.1 Sketch map of regional structure and gold deposits in Jinwozi gold ore-field and its vicinity

1-构造单元界线;2-构造单元编号:(I)红柳河-牛圈子弧后盆地(裂陷槽);(II)马庄山弧后盆地;(III)拾金坡-红柳园构造岩浆岩带;
3-中型金矿床;4-小型金矿床、金矿点
1-line of structural unit;2-number of structural unit:(I) Hongliuhe-Niuanzi back-arc basin;(II) Mazhuangshan back-arc basin;(III) Shijinpole-Hongliuyuan tectonomagmatic belt;3-medium-size gold deposit;4-small-size gold deposit and gold ore spot;

(2) 不同构造单元具有不同的控矿构造型式,在北侧马庄山弧后盆地区,金矿床是受石炭系火山岩和火山机构控制,金矿化有火山岩型和低温次生石英岩型(任丰寿,1992;崔惠文等,1996);照壁山-金窝子金矿床密集区主要受北山地区洋壳消失(板块碰撞)后的泥盆纪造山阶段含矿系控制,金矿化有蚀变糜棱岩型和石英脉型;而南侧的拾金坡-东大泉金矿床密集区主要受构造堆叠作用为主的挤压体制条件下大规模的花岗岩类岩浆活动的控制,金矿化主要为石英脉型(左国朝等,1990;图1)。

2 金窝子金矿田构造发育特征

2.1 矿田构造一般特征

金窝子金矿田褶皱构造主要由呈NE向延伸并

① 新疆有色704地质队. 1980~1992. 新疆东部金窝子地区矿床勘探、普查报告.

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。褶皱构造均发育于上泥盆统金窝子组内(图 2)。

矿田内断裂构造非常发育,这些断裂构造分属于 2 个体系:①华力西期挤压体制下构造堆垛作用时期的低角度逆冲推覆构造体系,是主要控矿赋矿构造;②中生代脆性断裂是破坏矿床构造,但是破坏构造总体活动性比较弱,对已经形成的金矿床没有造成根本性的破坏(图 2)。

一系列叠瓦式紧密褶皱和逆冲断裂构造的形成是华力西期挤压体制下构造堆叠作用为主的构造变形之结果,其主压应力方向应为 NW—SE。

2.2 低角度逆冲推覆构造体系

2.2.1 低角度主逆冲断层

控制 210 金矿床的是低角度韧-脆性逆冲断层。①含金构造带是穿层的断裂构造,上泥盆统金窝子组地层虽然与含金构造

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 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$,以 $40^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 居多,而含金构造带倾角为 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。如在中坑水平坑道 0 线附近,含金构造带产状为 $55^{\circ} \text{NW} 26^{\circ}$,构造带内糜棱岩片理为 $55^{\circ} \text{NW} 69^{\circ}$,但是构造带下盘的含砾砂岩产状为 $55^{\circ} \text{NW} 46^{\circ}$ (图 3-a);②含金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,而不是平行层理的碳质夹层(图 3-a、b、c、d);③构造带与地层具有明显的分划性界面,构造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,具有明显定向组构和显微构造特征(图 3-a、b);④变形运动方向为逆冲推覆,从断裂带产状与带内变形岩石片理产状的关系(图 3-a、b)、带内小型“X”型剪裂隙及其微细石英脉充填特征(图 3-b)、含金构造带上盘的揉皱(图 3-c、d)等均反映出构造变形的运动方向为逆冲;⑤从钻探剖面揭露的含金构造带前缘结构特点也具有逆冲推覆构造带的典型特征(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上泥盆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上泥盆统地层(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 F_2 、 F_3 、 F_5 、 F_6)。

2.2.3 派生断裂构造

在 NW—SE 向构造主压应力作用下,相对偏韧性的上泥盆统地层中发育了自 NW 向 SE 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)。

3 构造控矿作用解析及模式

3.1 低角度断层控矿作用

3.1.1 低角度断层压扭性力学性质控制以交代为主的金矿化类型

在构造挤压体制下形成的 NE 向韧脆性低角度逆冲断层是金窝子金矿田内 210 金矿床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的矿化蚀变作用,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 等,1988)非常相似,具有相

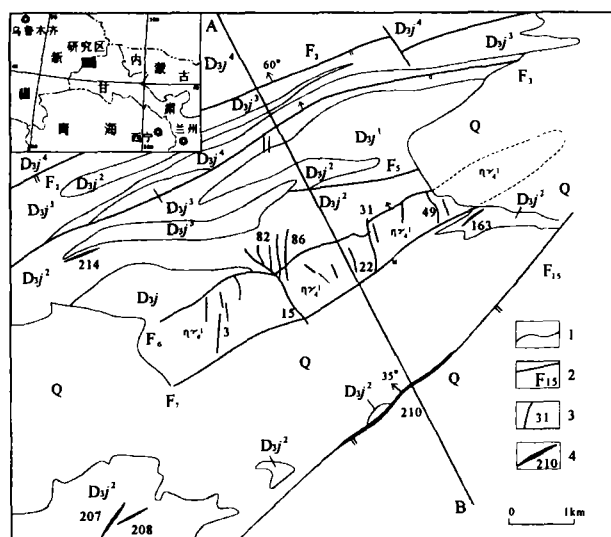


图 2 金窝子金矿田构造地质图
(据有色 704 地质队资料编制)

Fig. 2 Structural geological map of the Jinwozi gold ore-field
(after 704 Geological Team)

Q-第四系; D_{3j}^4 -上泥盆统金窝子组第四段; D_{3j}^3 -上泥盆统金窝子组第三段; D_{3j}^2 -上泥盆统金窝子组第二段; D_{3j}^1 -上泥盆统金窝子组第一段; η_1^4 -华力西早期二长花岗岩;1-地质界线;2-断裂及其编号;

3-石英脉型金矿脉及其编号;4-构造蚀变岩型金矿体及其编号
Q-Quaternary system; D_{3j}^4 -fourth part of Jinwozi formation of upper Devonian series; D_{3j}^3 -third part of Jinwozi formation of upper Devonian series; D_{3j}^2 -second part of Jinwozi formation of upper Devonian series; D_{3j}^1 -first part of Jinwozi formation of upper Devonian series; η_1^4 -early Variscan monzogranite; 1-line of geological limitation; 2-fault and its number; 3-Quartz-vein type gold ore veins and their number; 4-structural altered rock type gold ore veins and their number

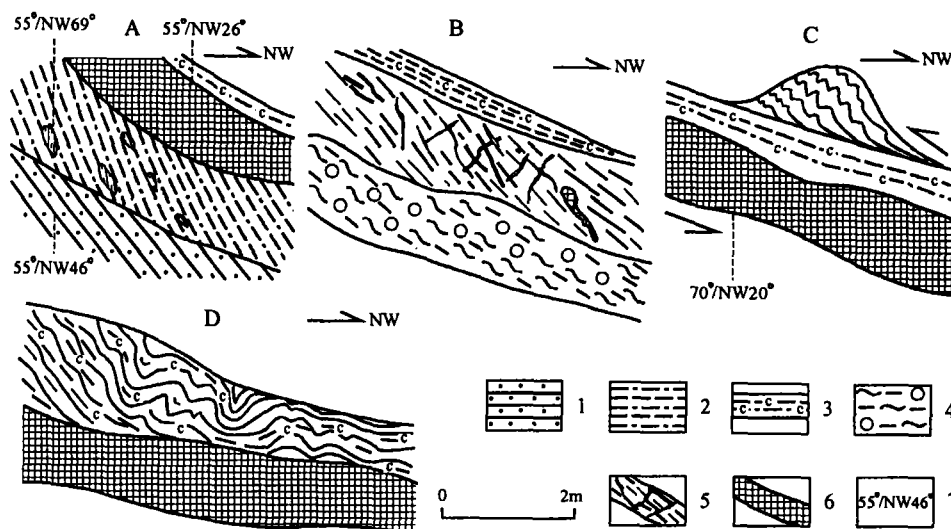


图3 210 金矿床赋矿构造与金矿体关系素描

Fig.3 Sketch showing the relationship of gold mineralization and ore-bearing structure at the 210 gold deposit

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-含砾砂岩;

2-含砾砂质糜棱岩;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

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 sandstone;2-gravel-bearing sandy mylonite;3-carbonaceous tectonic schist;4-schistosity gravel-

bearing sandstone;5-veinlet and network type gold ore-body;6-metasomatic quartz vein type gold ore-body;7-attitude

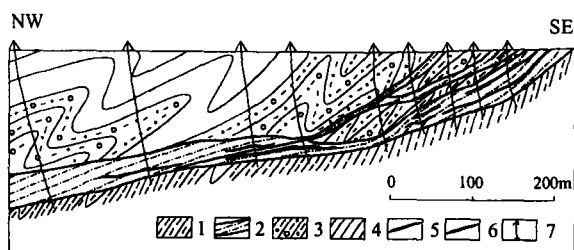


图4 210 金矿床 0 线地质剖面图

Fig.4 No. 0 prospective section of the 210 gold deposit

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

1-tuff;2-pyritized tectonic schist or (and) cataclastic pyritized mylonitized

tuff;3-tuffaceous gravel-bearing grit-stone with some carbonaceous shale;

4-sedimentary tuffaceous shale with some tuffaceous sandstone;

5-gold ore-body;6-gold mineralized zone;7-drill hole

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-充填型石英脉或石英网脉型金矿体。交代成因的石英具有晶体小、晶形差、晶界不规则等特征。蚀变糜棱岩型金矿是 210 金矿床最主要

金矿类型,占储量 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 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。

3.1.2 低角度断层控制成矿地球化学界面 低角度断层一方面因倾角小或者呈平缓的波状起伏延伸,与受深度影响的成矿物理化学界面夹角很小,或连续穿插于这种界面附近;更重要的是,由于断层的位移作用使断层面上下盘的岩石在岩性、结构、构造等方面存在差异,上下盘间的物理化学条件也有差异,这将导致物理化学界面与低角度断层在一定的范围内重叠,甚至低角度断层起到控制这种界面的作用,这是成矿最有利的部位。当深部岩浆热液上升并混合被加热的地下水循环参与萃取下盘围岩中的成矿元素后上升至低角度断层附近时,含矿热液既沿着低角度断层运移,也与断裂带内的构造岩发生交代蚀变,由于氧化还原条件的变化和热液对围岩交代蚀变的发生破坏了热液系统的平衡,使溶解于热液中的成矿元素析出、沉淀,形成矿床(傅昭仁等,1992;Chen Bailin 等,1999)。如果热液系统在相当长的时间内不断循环,成矿元素不但被萃取、运移、沉淀,还可以形成大型矿床。金窝子金矿床石英脉型金矿石中 3 个黄铁矿样品的 S 同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 平均为 5.9‰(新疆有色 704 队 9 个样品平均 6.79‰),

反映出S同位素具有岩浆热液硫和沉积地层硫的混合来源特点;矿石样品的O同位素 $\delta^{18}\text{O}_\text{Q}$ 为 $+6.9\text{‰} \sim +14.8\text{‰}$,以 230°C 捕获温度换算后成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}_\text{H}$ 为 $-3.06\text{‰} \sim +4.74\text{‰}$, δD 为 $-71\text{‰} \sim -95\text{‰}$,在 $\delta^{18}\text{O}-\delta D$ 图上投影点位于岩浆水区左侧边界和左外侧,反映成矿流体为岩浆水和大气降水的混入水。陈富文(1999)曾详细对比研究金窝子地区花岗闪长岩中石英大脉型和地层中石英细网脉型(后者即本文的蚀变糜棱岩型)金矿体的S、H、O、C、Sr同位素和流体包裹体特征,认为两种类型金矿床成矿流体具有同源性,成矿物质具有地层和岩浆岩双重来源,也与构造控矿认识相一致。

3.2 张扭性断层控制石英脉型金矿化

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垂直的高角度张性-张扭性断层,这些断层走向近SN向或NNW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。断层控制了金窝子石英脉型金矿床,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、图5)。

3.3 压性叠瓦状断层不含矿

发育于低角度逆冲推覆构造带上盘的叠瓦状断层,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。

3.4 构造控矿作用模式

金窝子金矿田构造控矿作用模式见图6。

4 结论

金窝子金矿田位于中朝-塔里木板块与哈萨克斯坦板块俯冲碰撞带的南缘的北山中带,是受断裂构造控制的岩浆热液型金矿床。区域构造格局控制成矿带的分布,不同构造单元具有不同的控矿构造型式。金矿田内基本构造格局是走向NE、倾向NW的低角度逆冲断层及其伴生(派生)的同方向高角度逆冲断层-紧闭褶皱和与其垂直的NNW向高角度横张断层组成的推覆构造体系。推覆构造体系的不同构造成分具有不同的控矿作用,NE向低角度逆冲断层控制蚀变糜棱岩型金矿化(以210金矿床为代表),NNW向高角度横张断层控制石英脉型金矿

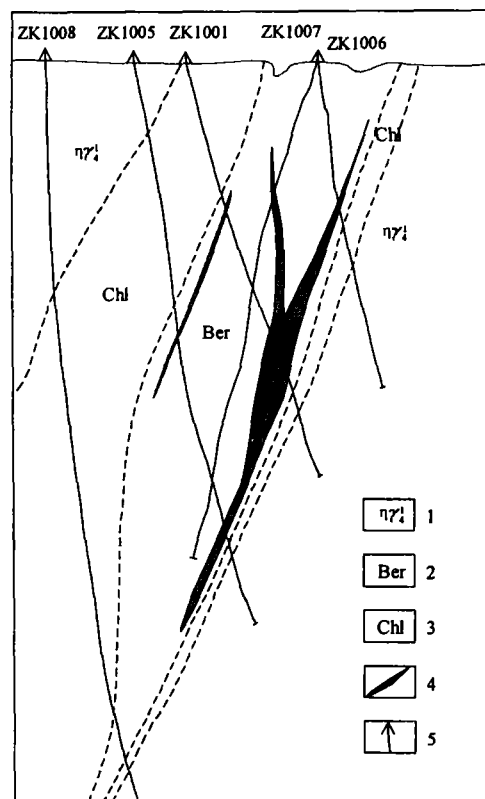


图5 金窝子金矿床10线地质剖面(据有色704队资料)

Fig.5 No. 10 prospective section of Jinwozi gold deposit (after 704 geological team)

- 1-华力西早期二长花岗岩;2-绿泥石化碳酸岩化带;
3-黄铁绢英岩化带;4-金矿体;5-钻孔

1-early Variscan monzogranite;2-chloritized carbonated alteration belt;
3-pyritized phyllic alteration belt;4-gold ore-body;5-drill hole

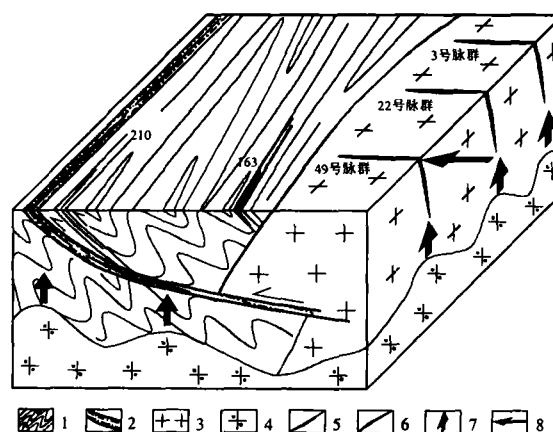


图6 金窝子金矿田构造控矿模式图

Fig.6 Metallogenic model of gold deposits in Jinwozi ore-field

- 1-泥盆系浅变质火山碎屑岩;2-低角度推覆构造及构造片岩;
3-华力西早期花岗岩;4-华力西晚期花岗岩;5-交代蚀变岩型金矿体;
6-充填石英脉型金矿体;7-岩浆热液及成矿物质上升方向;
8-推覆构造上盘运动方向

1-epimetamorphic pyroclastic rock of Devonian series;2-low angle fault and tectonic schist;3-early Variscan granite;4-latter Variscan granite;5-metasomatic altered rock-type gold ore-body;6-filling quartz-vein type gold ore-body;7-migration direction of magmatic solution and ore-forming elements;8-moving direction of upside of nappe fault

化(以金窝子金矿床为代表),而与主断裂同走向(NE向)高角度逆冲断层-紧闭褶皱无金矿化。低角度断层不仅是重要的含矿构造,而且在成矿过程中起到控制成矿物理化学界面的作用。所以,金窝子金矿田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。

参考文献

- 曹正中. 1990. 金窝子金矿成因分析. 新疆矿产地质, (1~2): 45~50.
- 陈富文, 李华芹, 蔡红等. 1999. 新疆东部金窝子金矿成因讨论——同位素地质年代学证据. 地质论评, 45(3): 247~254.
- 崔惠文, 陈祖伊. 1996. 甘肃北山地区金矿地质. 北京: 地质出版社.
- 傅昭仁, 李德威, 李先福等. 1992. 变质核杂岩及剥离断层的控矿构造解析. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 任丰寿. 1993. 南金山-马庄山海相火山岩型金(银)矿成矿找矿模式. 甘肃地质科技情报, (3): 28~32.
- 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. 北京: 地质出版社.
- 周济元, 崔炳芳, 肖惠良等. 2000. 甘新北山东段裂谷演化及金矿成矿规律. 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. 北京: 地质出版社.
- 左国朝, 李茂松. 1996. 甘蒙北山地区早古生代岩石圈形成与演化. 兰州: 甘肃科学技术出版社.

References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. 1993. Regional geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Cao Zhengzhong. 1990. Discussion on the origin of the Jinwozi gold de-

posit. Xinjiang Geology of Mineral Resources, (1~2): 45~50 (in Chinese).

- Chen Bailin, Liu Jianmin, Zhang Da et al. 1999. Mineralization and ore-controlling implications of low angle faults. Acta Geologica Sinica (English Edition), 73(4): 438~446.
- Chen Fuwen, Li Huaqin, Cai Hong et al. 1999. The origin of the Jinwozi gold deposit in eastern Xinjiang-Evidence from isotope geochronology. Geological Review, 45(3): 247~254 (in Chinese with English abstract).
- Cui Huiwen, Chen Zuyi. 1996. Gold deposit geology of Beishan area, Gansu province. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Fu Zhaoren, Li Dewei, Li Xianfu, Wang Xianda. 1992. Structural analysis on ore-controlling of metamorphic core complexes and denudational faults. Wuhan: Publishing House of China University of Geosciences (in Chinese).
- Ren Fengshou. 1993. Metallogenic and prospecting model of marine-volcanic rock type Au-Ag deposit in Nanjinshan-Mazhuangshan area. Geological Science and Technology Information of Gansu, (3): 28~32 (in Chinese).
- Sibson R H, Robert F, Poulsen K H. 1988. High-angle reverse faults, fluid-pressure cycling, and mesothermal gold deposits. Geology, 16: 551~555.
- Zhou Jiyuan, Cui Bingfang, Xiao Huiliang et al. 2000. The rift evolution and Au ore-forming regular in east part of Beishan, Ganshu and Xingjiang. Volcanology and Mineral Resources, 21(1): 7~17 (in Chinese with English abstract).
- Zuo Guochao, He Guoqi. 1990. Plate tectonics and metallogenic regularities in Beishan region. Beijing: Publishing Geological House (in Chinese with English abstract).
- Zuo Guochao, Li Maosong. 1996. Formation and evolution of the early paleozoic lithosphere in the Beishan area, Gansu-Inner Mongolia, China. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press (in Chinese with English abstract).