

新疆青河科克萨依韧性剪切带型 金矿床的构造演化模式^{*}

尹意求¹ 李嘉兴² 张积斌³ 陈大经¹ 周志坚⁴ 胡庆雯³ 汪劲草¹

(1 有色金属工业总公司矿产地质研究院, 桂林 2 新疆地质勘查局 706 地质队, 阿勒泰市
3 新疆有色地质勘查局, 乌鲁木齐 4 新疆地质勘查局 701 地质队, 昌吉市)

提 要: 科克萨依金矿床为典型的韧性剪切带蚀变糜棱岩型金矿床, 它与克孜勒它乌推覆构造系统有着十分密切的内在成因联系, 其变形作用以韧性变形为主, 具典型的深层次变形构造组合特点, 其成矿过程可划分为 3 个重要的构造演化阶段, 即早期的剪切片理化阶段、中期的变形分解阶段和晚期的液压致裂阶段, 从而建立了该剪切带金矿床的构造演化模式。早期的剪切片理化阶段仅具微弱的金矿化; 中期变形分解过程中, 含金流体的渗流导致水热蚀变和金在递进缩短应变域的大规模沉淀, 形成了主成矿期的金矿化; 在晚期液压致裂阶段, 含金流体涌入张裂隙, 形成高品位、小规模的金石英脉。

关键词: 韧性剪切带 构造演化模式 金矿床 新疆科克萨依

世界上许多前寒武纪金矿床集中分布于大型线性片理化带中, 这些狭长的片理化构造带通常被称之为含金剪切带, 而受含金剪切带控制的金矿床则称之为剪切带型金矿床。剪切构造不仅是控矿构造, 同时也是一种重要的成矿机制, 这已被国内外学者所广泛接受^[1,2,6~10]。新疆青河县科克萨依韧性剪切带型金矿床的构造演化模式是对 M Bonnemaïson et al. 的剪切带金矿床三阶段成矿模式的补充和发展^[11]。

1 区域地质概况

科克萨依金矿床位于阿尔曼台对冲型碰撞造山带的北部, 容矿地层为下泥盆统托让格库都克组。它与克孜勒它乌推覆构造系统具有十分密切的内在成因联系 (图 1), 该推覆构造系统的上盘地层下泥盆统托让格库都克组被强烈片理化, 形成透入性劈理构造带, 岩性主要为灰绿色凝灰质砂岩、晶屑岩屑凝灰岩及辉石安山玢岩; 其下盘地层上泥盆统卡希翁组变形作用相对较弱, 主要岩性为含砾杂砂岩、安山质凝灰砂岩、硅质粉砂岩及硅质岩等。由于强烈的逆冲推覆作用, 导致卡希翁组褶皱变形, 形成了苏鲁巴依背斜构造。在背斜核部发育花岗岩侵入体, 表明在推覆叠置增厚作用下产生了一个对成矿有利的热构造-岩浆系统。所以, 苏鲁巴依背斜构造、克孜勒它乌推覆断层和布尔根推覆断层三位一体组成了基本的区域构造格局, 即褶皱-逆冲推覆构造系, 并且控制着该地区的金矿化作用。

^{*} 本文为中国有色金属工业总公司地质勘查总局二级课题 (编号: ZH 13-6) “新疆准噶尔北缘重点成矿区带金矿成矿规律研究” 的部分成果

尹意求, 男, 1963 年生, 高级工程师, 主要从事金矿地质找矿研究。邮政编码: 541004

1998-04-16 收稿, 1998-09-19 修改回

2 科克萨依金矿床地质构造特征

2.1 克孜勒它乌推覆构造系统

克孜勒它乌推覆构造系统的变形作用以韧性变形为主，具典型的深层次变形构造组合特点（图2）。这主要表现在：① 劈理及无根褶皱：劈理主要表现为透入性流劈理，产状稳定，常见于安山岩、凝灰质砂岩、凝灰质粉砂岩及硅质岩中，无根钩状褶皱由较早期变质分异的石英脉构成，经晚期劈理置换和流动变形呈鞍状脉形式的钩状褶皱；② 褶皱b线理：分异层理褶皱成紧闭同斜状，构成与逆冲推覆作用有关的b线理；③ 犁式逆掩断层系：绢云石英片岩中可见3~5条（宽5 m左右）的犁式逆掩断层；④ 鞘褶皱：发育于绢云石英片岩和蚀变糜棱岩中，整体上呈舌状形态，长轴分别平行于流劈理或糜棱面理；⑤ S—C面理：广泛发育于蚀变糜棱岩中，二者的夹角一般在 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 之间；⑥ 高剪应变带：在绢云母化较强的蚀变千糜岩中，出现强变形的高剪应变带，形成塑性流动被动褶皱；⑦ 无矿化蚀变的石英透镜体：呈白色、褐色或黄褐色，含菱铁矿或铁质碳酸盐矿物，其长轴平行于流劈理面，与围岩呈突变接触关系，内部石英变形甚弱，或者具有梳状构造，无拖尾现象，无围岩蚀变，为同构造变质侧分泌作用的产物；⑧ 含金石英透镜体：呈黄褐色，油脂光泽较强，含黄铁矿、绢云母等，其长轴平行于糜棱面理，与围岩呈渐变过渡关系，内部石英表现为韧性变形，具有糜棱结构和变形条带构造，向透镜体核部，变形作用逐渐减弱，在尾端形成拖尾，围岩为矿化蚀变的黄铁绢英岩，具有强变形的高剪应变特征，因此，这种石英透镜体是韧性剪切过程中变形分解作用的产物。

2.2 矿体产状、形态及其变形分解网络系统

科克萨依金矿体在地表表现为黄褐色强片理化带，走向NW-SE，向SW陡倾，矿

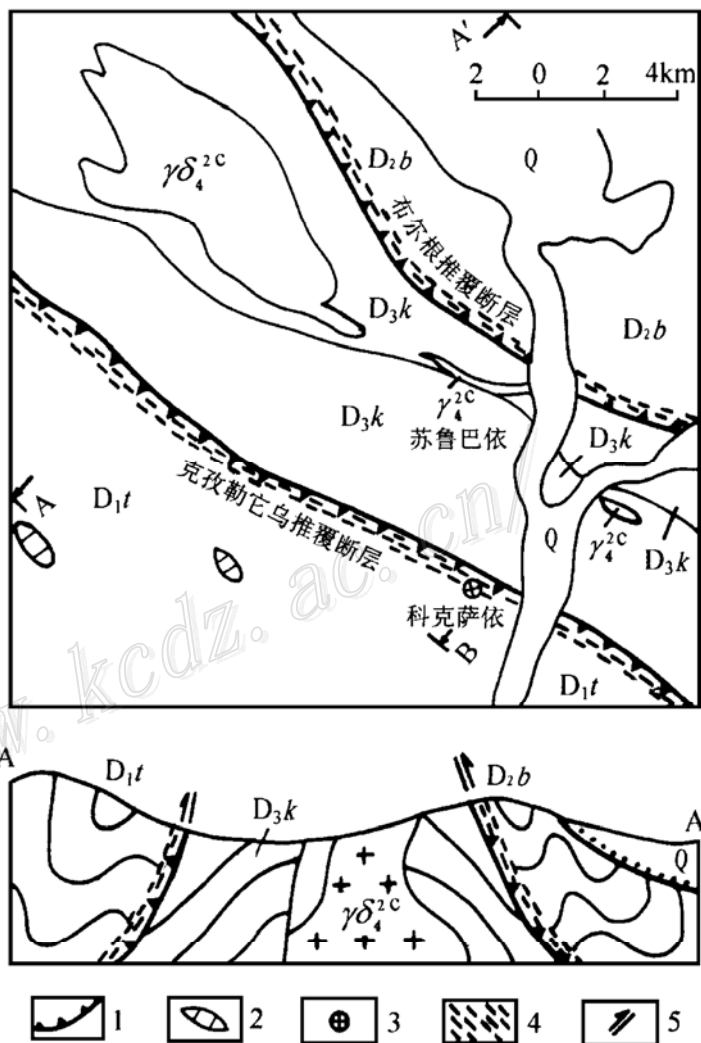


图1 科克萨依金矿区地质构造平面、剖面图

1—逆冲推覆断层；2—灰岩透镜体；3—科克萨依金矿床；4—剪切片理；5—断层运动方向；D_{3k}—卡希翁组；D_{2b}—北塔山组；D_{1t}—托让格库都克组； $\gamma\delta_4^{2c}$ —花岗闪长岩； γ_4^{2c} —黑云母花岗岩；Q—第四系

Fig. 1. Geological-structural map and section of the Kekesayi gold ore district.

1—Thrust nappe fault; 2—Limestone lens; 3—Kekesayi gold deposit; 4—Shear schistosity; 5—Direction of fault movement; D_{3k}—Kaxiweng Formation; D_{2b}—Beitashan Formation; D_{1t}—Tuoranggekuduk Formation; $\gamma\delta_4^{2c}$ —Granodiorite; γ_4^{2c} —Biotite granite; Q—Quaternary.

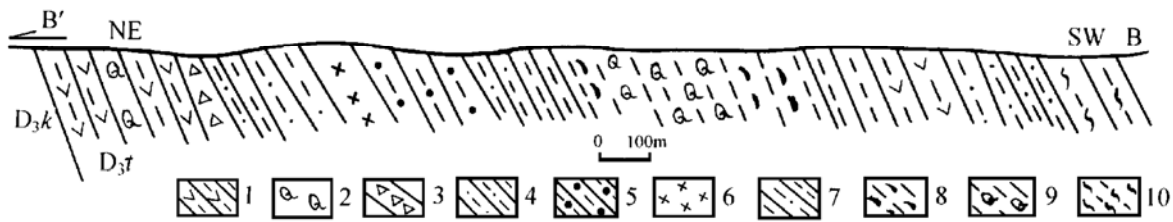


图 2 科克萨依金矿床路线地质构造剖面图

1—劈理化安山岩；2—石英透镜体；3—断层角砾层；4—劈理化凝灰质粉砂岩；5—劈理化凝灰质砂岩；6—花岗岩脉；7—绢云母石英片岩；8—矿化蚀变糜棱岩；9—矿化石英糜棱岩；10—劈理化硅质岩；D₁t—托让格库都组；D₃k—卡希翁组

Fig. 2. Geological-structural route section of the Kekesayi gold deposit.

1—Cleavable andesite; 2—Quartz lens; 3—Fault breccia; 4—Cleavable tuffaceous siltstone; 5—Cleavable tuffaceous siltstone; 6—Granite dike; 7—Sericite quartz schist; 8—Mineralized altered mylonite; 9—Mineralized quartz mylonite; 10—Cleavable silicalite; D₁t—Tuoranggekuduk Formation; D₃k—Kaxiweng Formation.

体围岩为灰绿色安山质晶屑岩屑凝灰岩，片理化较弱，因此，这种强片理化带不是区域变质作用造成的，而是构造剪切作用形成的糜棱片理。矿体延续比较稳定，目前已控制的 3 个矿体中，延长约 1500 m，延深达 60 m，宽度 2~10 m，平均品位约 5 g/t。矿体中心为含金石英透镜体，并可见稀疏浸染状黄铁矿、黄铜矿及少量的绢云母，其矿化最好，为富矿石，最高品位可达 40 g/t；两侧为黄铁绢英岩化碎屑岩质糜棱岩，表现为强绢云母化、硅化及稠密浸染状黄铁矿化，其矿化较好，为主矿体；其外侧的蚀变围岩为灰绿色片理化碎屑岩，表现为绿泥石化、绿帘石化、浸染状黄铁矿化及弱硅化。矿体边界没有明显标志，与围岩呈渐变过渡关系。我们认为这种由强烈剪切变形带所环绕的含金石英透镜体现象是变形分解作用造成的

的典型构造型式，含金石英透镜体代表递进缩短应变域，而黄铁绢英岩化糜棱岩代表递进剪切应变域。科克萨依韧性剪切带型金矿床的 3 个矿体在平面上构成一个完整的变形分解网络系统（图 3）。

此外，还存在一种脉状的含金石英脉，其金品位较高，但规模较小，厚度 2~10 cm，脉体的产状不稳定，有时切穿片理构造或含金石英透镜体。

2.3 韧性剪切带地质构造特征

科克萨依金矿床的矿体形态、产状及矿化强度等都严格受控于韧性剪切带（图 4）。金矿石自身就是以糜棱岩系列为主的蚀变构造岩，其显微构造非常发育，具有典型的糜棱结构，如亚晶、边缘细粒化、动态重结晶、超糜棱岩结构、变形条带、云雾状构造、P-Q 域组

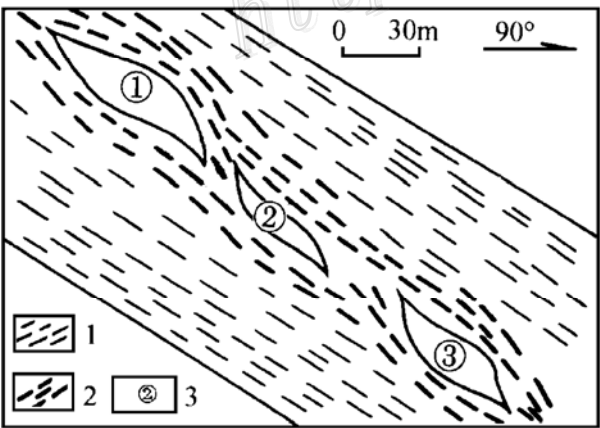


图 3 科克萨依金矿床的变形分解网络系统
1—绿泥石化构造片岩；2—黄铁绢英岩化糜棱岩；
3—矿体及编号

Fig. 3. Network system of deformation partitioning in the Kekesayi gold deposit.
1—Chloritized structural schist; 2—Phyllic mylonite;
3—Orebody and serial number.

构、核幔构造、定向构造、柔褶构造等。

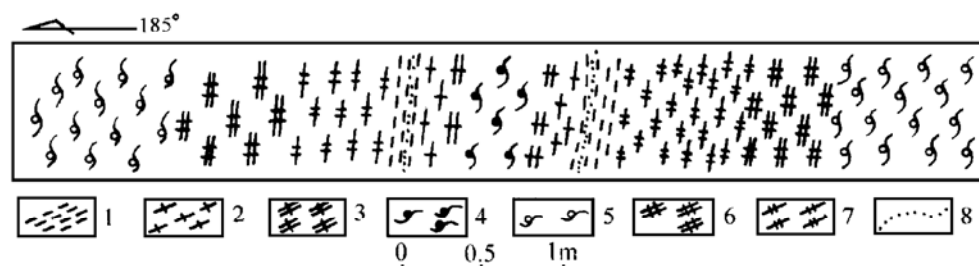


图 4 科克萨依Ⅱ号矿体韧性剪切带分带剖面图

1—千糜岩；2—石英超糜棱岩；3—石英糜棱岩；4—石英初糜棱岩；5—碎屑岩质初糜棱岩；6—碎屑岩质糜棱岩；
7—碎屑岩质超糜棱岩；8—石英脉与碎屑岩的地质界线

Fig. 4. Geological sketch section showing ductile shear zone in No. II orebody of the Kekesayi ore deposit.

1—Phyllonite; 2—Quartz ultramylonite; 3—Quartz mylonite; 4—Quartz protomylonite; 5—Clastic protomylonite;
6—Clastic mylonite; 7—Clastic ultramylonite; 8—Geological boundary between quartz vein and clastic rock.

根据金矿石的变形程度和矿物组成特点，科克萨依韧性剪切带型金矿床的矿石类型可划分为如下几种：

(1) 石英糜棱岩型矿石：含石英 95% 以上，硫化物为 3%~5%，矿石具较强的油脂光泽，含金最高，一般呈透镜状产出，地质编录常称为“石英脉”。

(2) 绢云石英超糜棱岩型矿石：石英约占 70%，绢云母 10%~20%，硫化物 10%~15%，矿石含金较高，分布于透镜状石英糜棱岩外侧，但二者无明显的界线。

(3) 绢云千糜岩型矿石：绢云母约占 90%，石英 3%~5%，硫化物 2%~5%，呈白色，似粘土状、常误称为“千枚岩”，厚度较窄，圈闭含金石英透镜体，二者界线分明。

(4) 石英绢云糜棱岩型矿石：绢云母约占 60%，石英 15%~30%，硫化物 10%~15%，常见绢云母交代石英，是数量最多的一种矿石，与绢云千糜岩型矿石呈渐变过渡关系。

(5) 碎屑岩质初糜棱岩型矿石：具有较弱的绢云母化、硅化及黄铁矿化，可见残留碎屑结构，含金较低，与石英绢云糜棱岩型矿石和蚀变围岩，均无明显的界线。

总之，矿石的矿物组成比较简单，属于贫硫化物的石英绢云蚀变糜棱岩型金矿石。硫化物以黄铁矿为主，次为毒砂、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等。除微量的银金矿、铜金矿、碲金矿、钼铜金矿之外，绝大多数为自然金（0.088~0.5 mm），并常以粒间金、包体金或裂隙金的形式与石英、绢云母和黄铁矿共生^[3,4]。

3 科克萨依金矿床构造演化模式

综上所述，科克萨依韧性剪切带型金矿床的成矿过程可划分为 3 个主要的构造演化阶段，早期的剪切片理化阶段、中期的变形分解阶段和晚期的液压致裂阶段。

3.1 剪切片理化阶段

在阿尔曼台晚古生代对冲碰撞造山过程中，发生了强烈的褶皱-推覆作用，沿克孜勒它乌

大型逆冲推覆剪切带形成了狭长的线性片理化带，并伴随着绿泥石化热液蚀变作用，因此，绿泥石化构造片岩非常发育。同时，在剪切变形过程中，由于构造侧分泌作用，顺片理构造方向形成了不具经济意义的乳白色石英透镜体。这种石英透镜体在东准地区的其它片理构造带中也普遍出现，并可以形成较大的地球化学异常，在评价这些金异常时，必须注意这种乳白色石英透镜体不具金矿找矿意义。如果含金剪切带的构造演化到这个阶段停止活动，那么它的找矿前景不佳。

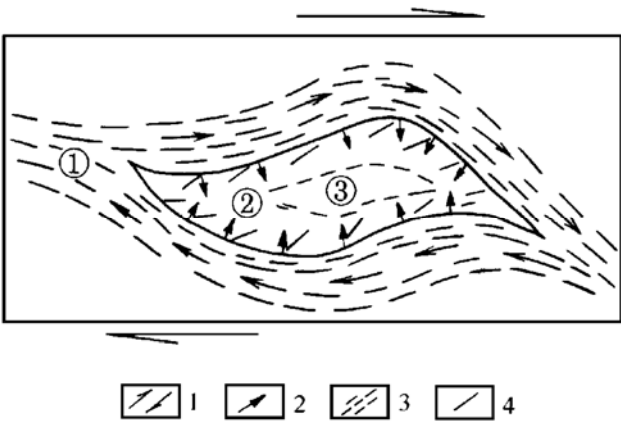


图 5 变形分解作用的成矿动力机制示意图
1—剪切方向；2—成矿流体的流动方向；3—糜棱片理构造；4—微裂隙。①—递进剪切应变域；②—递进缩短应变域；③—弱应变域

Fig. 5. Schematic diagram showing metallogenic dynamic mechanism of the deformation partitioning.

1—Direction of shear; 2—Migration direction of ore-forming fluids; 3—Mylonitic schistosity; 4—Microfracture; ①—Progressive shear strain field; ②—Progressive shortening strain field; ③—Weak strain field.

3.2 变形分解阶段

随着含金剪切带变形强度的增加，在剪切断裂带内，因变形分解作用促使应力和变形集中于有限的强变形域，形成具 P-Q 域结构的构造岩或糜棱岩。这些构造岩具有一定的渗透率，并能起到排泄成矿流体的作用。所以，渗透性较好且压应力相对较低的强递进剪切应变域是含金混合流体汇集、循环的导矿构造，而由递进剪切应变域圈闭的递进缩短应变域则成为了理想的储矿构造（图 5）。承压混合流体在构造动力作用下沿递进剪切应变域进行循环性的渗流，并通过递进缩短应变域中的微裂隙向低能量域渗透-交代，同时传递剪切应力，因而，在变形和蚀变的联合作用下使原岩中矿物和化学组分发生了重要改变：其一，原岩化学组分通过压溶作用就地重新分配；其二，蚀变过程中伴随着元素的迁移和沉淀，最后，促使二氧化硅和金矿物质在低能量的递进缩短应变域富集，形成糜棱岩化的糖粒状含金石

英透镜体，而且这种石英透镜体的变形程度遵循液压传递原理从边缘向核部逐渐减弱，并且被强剪切变形的黄铁绢英岩圈闭^[5]。

3.3 液压致裂阶段

在科克萨依含金剪切带变形-蚀变的晚期阶段，强递进剪切应变域的岩石渗透率降低，从而使汇聚在该变形域内的含矿流体之压力 p_f 增大，形成高压流体。当 $p_f \geq \sigma_3 + T$ 时，(T 为岩石抗张程度， σ_3 为构造应力)，则发生液压致裂作用，导致由流体压力劈开的张破裂，在张开的瞬间因巨大的压力差促使高压流体迅速通入张裂隙，形成含金石英脉，从而使裂隙愈合。“裂开 (opening 或 cracking)-愈合 (scaling)”作用是裂隙形成和矿脉定位的对立统一过程，标志着含金剪切带的构造演化进入了晚期阶段。在科克萨依韧性剪切带型金矿床中，这些晚期液压致裂阶段形成的含金石英脉金品位较高，但规模较小，不代表主成矿期。

图 6 归纳了科克萨依韧性剪切带型金矿床的构造演化模式。

在研究工作过程中，得到了新疆有色地质勘查局和科克萨依金矿的大力帮助，特此致谢。

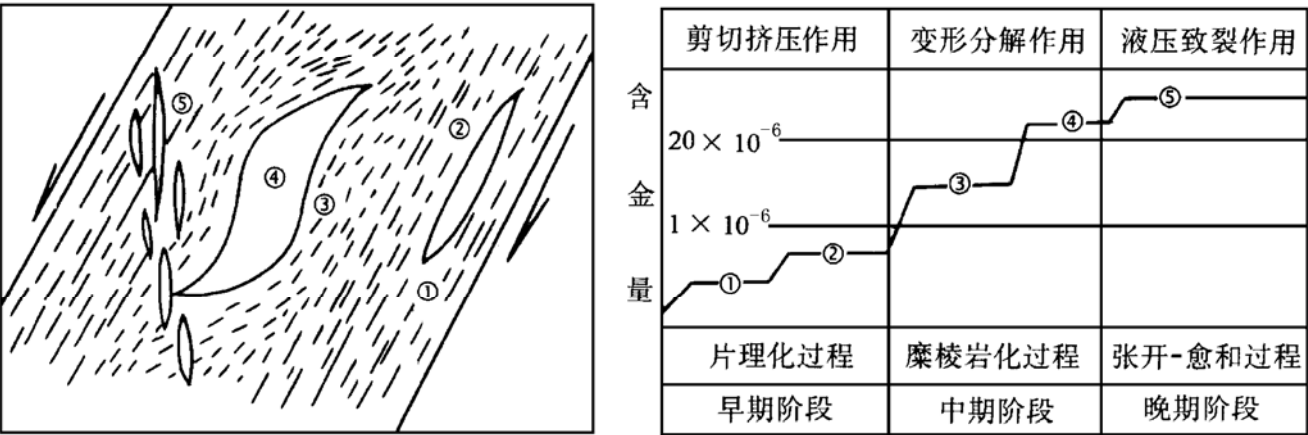


图 6 科克萨依韧性剪切带型金矿床的构造演化成矿模式
(据 M Bonnemaïson, 1990)

①—绿泥石化构造片岩；②—乳白色石英透镜体；③—黄铁绢英岩化糜棱岩；④—含金石英透镜体；⑤—含金石英脉

Fig. 6. Structural evolution metallogenic model of the Kekesayi ductile shear zone type gold deposit.

①—Chloritic structural schist；②—Milky white quartz lens；③—Phyllitic mylonite；④—Auriferous quartz lens；⑤—Auriferous quartz vein.

参 考 文 献

1 邵世才,何绍勋. 剪切带型金矿床中含金石英脉的一种可能成生机制. 大地构造与成矿学, 1994, 18 (2): 155~162.

2 段嘉瑞,何绍勋等. 广东河台金矿构造特征及剪切带金矿模式探讨. 中南矿冶学院学报, 1992, 23 (3): 245~252.

3 周志坚. 青河县科克萨依金矿成矿地质特征的研究. 矿产与地质, 1994, 8 (5): 398~401.

4 周志坚. 新疆青河县科克萨依金矿金的赋存状态. 贵金属地质, 1994, 3 (2): 140~143.

5 汪劲草. 褶皱过程中含金石英脉形成的构造机制. 地质论评, 1997, (1): 78~84.

6 Kerrich R et al. The formation of gold deposits with particular reference to Archean greenstone belts and yellowknife. In: Geological boundary conditions and metal inventory. Contrib. to Geol. N. W. Territories, 1988, 3: 37~62.

7 Mawer C K. Mechanics of formation of gold-bearing quartz veins, Nova Scotia, Canada. Tectonophysics, 1987, 135: 99~119.

8 Moritz R P et al. Mechanics of formation of the gold-bearing fuchsite vein at the Dome mine, Timmins area, Antario, Can. J. Earth Sci, 1990, 27: 1609~1620.

9 Cox S F et al. Deformational and metamorphic process in the formation of mesothermal vein-hosted deposits——examples from the Lachlan Fold Belt in central Victvria, Australia. Ore Geol. Rev. , 1991, 6: 391~423.

10 Brace W F. Permeability of crystalline and argillaceous rock. International. J. Rock Mechanics Mineral Sci. and Geomechanics Abstracts, 1980, 17: 241~1251.

11 Bonnemaïson M et al. Auriferous mineralization in some shear-zones: A three-stage model of metallogenesis. Mineral Deposit, 1990, 25 (2): 96—104.

THE STRUCTURAL EVOLUTIONARY MODEL OF THE KEKSAYI DUCTILE SHEAR ZONE TYPE GOLD DEPOSIT IN QINGHE COUNTY, XINJIANG

Yin Yiqiu, Chen Dajing, Wang Jincao

(*Research Institute of Geology for Mineral Resources, CNNC, Guilin 541004*)

Zhang Jibin, Zhou Zhijian, Hu Qingwen

(*Xinjiang Bureau of Geological Exploration for Nonferrous Metal Resources, Urumqi 830000*)

Key words: ductile shear zone, structural evolutionary model, Keksayi in Xinjiang

Abstract

The Keksayi gold deposit is a typical altered mylonite type gold deposit in the ductile shear zone, which is in close genetic connection with the Keziletawu nappe tectonic system. Dominated by ductile deformation, its deformation is characterized by the combination of deep-level deformation structures. The ore-forming process might be divided into three important structural evolutionary stages, viz., the early shearing-schistositization stage, the middle deformation-decomposition stage and the late water pressure-induced fracturing stage. On such a basis, a structural evolutionary model for this shear zone gold deposit has been established. Merely weak gold mineralization occurred at the early shearing-schistositization stage; in the deformation-decomposition process of the middle stage, the percolation of auriferous fluids led to the hydrothermal alteration and the precipitation of large quantities of gold in the progressively shortened strain domain, causing gold mineralization of the principal ore-forming stage; at the late water pressure-induced fracturing stage, auriferous fluids gushed into tension fissures and formed high-grade small-sized auriferous quartz veins.