第30卷第4期 地球科学与环境学报 Vol. 30No. 4
2008年12月 Journal of Earth Sciences and Environment Dec. 2008

西天山特克斯达坂尔戈带金矿构造特征及其控矿作用

聂江涛, 魏刚锋, 李永军 李赛赛
(长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 通过对西天山伊什基里克山东段的尔戈带金矿野外地质调查, 结合室内显微构造和岩组分析得出, 金矿赋矿层位属下石炭统大哈拉军山组上段岛弧火山碎屑岩。矿区在海西期发生了3次构造活动: 早石炭世晚期, 伊什基里克背斜核部产生的右行近东西向韧-脆性剪切带, 无论沿走向还是顺倾向均呈舒缓波状, 带内发育片理化带、S-C面理、A型褶皱、A型线理、石英亚颗粒、波状消光、旋转碎斑系和构造透镜体等, 石英亚组构均具有小圆环带趋势和强极密部(c+ g)型式, 开角约36°, $\sigma_1 \approx 317° \angle 84°$; 晚石炭世, 韧-脆性剪切带经历左行剪切, 随着脆性程度的增加, 近东西向左行压扭性断裂形成, 应变椭球为三轴扁椭球状, 平面压扁型应变; 晚石炭世末期到早二叠世, 北西向压扭性断裂带产生。尔戈带金矿体位于近东西向韧-脆性剪切带与近东西向、北西向断裂(带)的叠加部位, 韧-脆性剪切带使部分金元素从矿源层分溢出来, 产生初步聚集, 其后压扭性断裂中局部张扭性部位是金沉淀、富集的有利场所, 并在此形成金矿体。因此, 早石炭世晚期到早二叠世, 矿区内发育的韧-脆性剪切带和断裂(带)对尔戈带金矿有重要的控制作用。

关键词: 西天山; 尔戈带金矿; 构造特征; 控矿作用
中图分类号: P54 文献标志码: A 文章编号: 1672-6561(2008)04-0357-010

Structural Characteristics and Its Ore-controlling Effect in Ergedai Gold Deposit in Tekesi Daban, Xinjiang Province

NIE Jiang-tao, WEI Gang-feng, LI Yong-jun, LI Sai-sai
(School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Geological investigation, indoor microstructure and fabric analyses were performed on the Ergedai gold deposit located at the eastern Yishijilike Mountain. The results indicate that, the host stratum of the deposit was island arc volcaniclastic rock which belonged to the upper member of lower Carboniferous Dahalajunshan Formation. Three stages of tectonic movements had happened during the Hercynian period. In the late stage of early Carboniferous, the right-lateral E-W trending ductile-brittle shear zones were formed near the core of the Yishijilike anticline, which extended in the form of gentle wave along strike and dip and presented schitosity zones, S-C foliation, A-type fold, A-type lineation, subgrains in quartz, wavy extinction, relic phenocrysts and structural lens. LPOs of quartz are all composed of small girdle patterns and strong maxima(c+ g) with opening angle of 36°, $\sigma_1 \approx 317° \angle 84°$. During the late Carboniferous period, the ductile-brittle shear zones experienced a left-lateral shearing and with the increasing of brittle degree, the left-lateral E-W trending compresso-shear faults were formed in which the strain ellipsoid was flat-ellipsoidal and showed flatten-type strain in plane. From the latest stage of late Carboniferous period to the early Permian period, the NW compresso-shear faults were formed. The ore bodies are located at the superimposition areas of the E-W trending ductile-brittle shear zones

收稿日期: 2008-05-26
基金项目: 新疆维吾尔自治区区域地质矿产调查项目(XJQDZ2004-12)
作者简介: 聂江涛(1980-), 男, 湖北应城人, 理学博士研究生, 从事构造地质学和矿产研究。E-mail: niejiangtaonjt@163.com
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

with the E-W trending faults and the NW trending faults zones. It is considered that the ductile-brittle shear zones made gold element transfer from ore source bed, then led to the primary concentration of gold element, and lastly gold deposited and enriched in party of tensional-shear position of the compresso-shear faults where the ore body was formed. Therefore, the Ergedai gold deposit was mainly controlled by ductile-brittle shear zones and faults which were formed from the late stage of early Carboniferous to the early Permian.

Key words: western Tianshan mountain; Ergedai gold deposit; structural characteristic; ore-controlling effect

0 引言

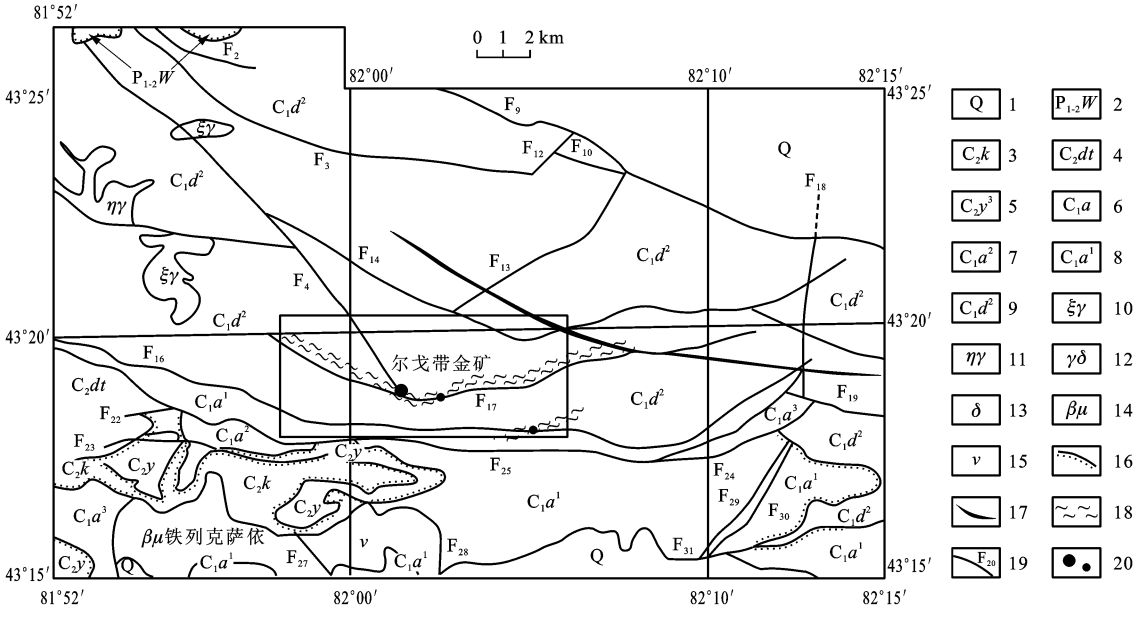
西天山是中国重要的金铜成矿单元, 大地构造位置独特, 矿产丰富, 备受各国地质学者的关注[1-5]。1977~ 1979 年, 新疆地矿局区域地质调查大队完成了《巩留幅》1∶ 200 000 区域地质矿产调查[6]; 1990~ 1993 年, 新疆地矿局第九地质大队在对伊什基里克山一带 1∶ 50 000 综合物化探普查时发现了尔戈带金矿(化) 点[7]; 1995~ 1999 年, 该队进一步开展了金矿普查[8]; 1997~ 1999 年, 地矿部物化探研究所进行了伊什基里克地区铜、银、金多金属矿化规律及找矿预测, 前人在伊什基里克山成矿带做了大量工作[9-13], 但对尔戈带金矿构造特征和控矿作用的研究较少。2004 年至今, 笔者参与了新疆巩留县特克斯达坂一带 1∶ 50 000 区域地质矿产调查项目, 在此将重点分析尔戈带金矿构造特征及其控矿作用。

1 地质特征

1.1 区域地质概况

研究区位于伊什基里克山东段山脊, 地层区划归属于中天山地层区伊宁地层小区[14-15]。区内出露地层主要有下一中二叠统乌郎组、上石炭统科古琴山组、东图津河组、伊什基里克组及下石炭统阿克沙克组和大哈拉军山组 (图 1), 其中, 前 5 套地层之间的接触关系均为角度不整合, 后 2 套地层之间为平行不整合。大哈拉军山组为浅海相以酸性火山岩为主的中、酸性火山熔岩及火山碎屑岩。

大地构造归属于西天山造山带伊宁地块[4-5], 早石炭世处于板块俯冲碰撞阶段, 随后进入大陆边缘岛弧环境[11], 晚石炭世末期造山运动(因尼卡拉运动) 完成了研究区内洋陆转换, 早二叠世进入陆



1- 第四系堆积物; 2- 下一中二叠统乌郎组; 3- 上石炭统科古琴山组; 4- 上石炭统东图津河组; 5- 上石炭统伊什基里克组; 6- 下石炭统阿克沙克组上段; 7- 下石炭统阿克沙克组中段; 8- 下石炭统阿克沙克组下段; 9- 下石炭统大哈拉军山组上段; 10- 正长花岗岩; 11- 二长花岗岩; 12- 花岗闪长岩; 13- 闪长岩; 14- 辉绿(玢) 岩; 15- 辉长岩; 16- 不整合; 17- 伊什基里克山背斜; 18- 韧-脆性剪切带; 19- 断层及编号; 20- 尔戈带金矿区内金矿点; 据文献[16]

图 1 新疆伊什基里克山东段地质图

Fig. 1 Geological Map of Eastern Yishijilike Mountain, Xinjiang

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

内发展阶段。早石炭世发生鄯善运动, 形成伊什基里克背斜, 核部由大哈拉军山组上段组成, 两翼为阿克沙克组, 褶皱轴走向近东西, 轴面产状 170°~ 195° ∠77°~ 85°, 枢纽波状起伏, 与区域近东西向构造线一致。在该背斜核部, 近东西向韧-脆性剪切带和近东西向、北西向、北东向断裂较为发育, 近东西向断裂切断了科古琴山组, 北西向断层被乌郎组覆盖。

该区西部出露海西期二长花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩体, 南部有海西期基性辉长岩、辉绿(玢)岩岩体出露。

1.2　矿源层

金矿体分布于下石炭统大哈拉军山组上段中酸性火山碎屑岩中。该套地层下未见底, 上覆与阿克沙克组呈平行不整合。伊什基里克山东段出露的大哈拉军山组光谱数据计算结果显示(表 1), As、Sb、Cu、Zn 等亲硫元素高于区域背景值, Cu、Pb、Zn、Au、Ag、As、Hg 等亲硫元素变异系数 C_v 为 0.59~ 4.36, 属强分异, 具有良好的金成矿背景。大哈拉军山组是尔戈带金矿的成矿物质来源, 属矿源层[10-12]。

表 1　大哈拉军山组主要成矿元素分析结果

Tab. 1　Analytical Data for Main Metallogentic Elements in Dahalajunshan Formation

元素	Au	Ag	As	Sb	Hg	Cu	Pb	Zn
陆壳元素	2.50	0.07	1.70	0.20	0.04	25.00	15.00	65.00
算术平均值	0.72	0.05	4.59	0.49	0.01	28.18	15.90	100.05
标准差	0.62	0.06	9.68	0.53	0.00	122.80	30.16	193.40
样品个数	455	455	455	455	455	455	455	455
变异系数	0.86	1.05	2.11	1.08	0.59	4.36	1.89	1.93

注: w(Au)/10^{-9}, 其他/10^{-6}

1.3　矿石特征和围岩蚀变

矿石为他形粒状、半自形—自形粒状、莓球状, 具碎裂结构、初糜棱结构和星点浸染状、稀疏浸染状、脉状构造。根据镜下和电子探针分析, 金主要以超显微状包裹于黄铁矿和石英等矿物中, 自然金仅占 9.47%; 黄铁矿呈浸染状、细脉浸染状分布, 以他形细粒状、自形粒状、粒状集合体等形式产出。金矿的围岩蚀变主要有黄铁矿化、褐铁矿化、绢云母化、绿泥石化、碳酸岩化以及高岭土化等, 其中与金矿有密切关系的蚀变有硅化、黄铁矿化和褐铁矿化。

2　构造特征

尔戈带金矿位于伊什基里克背斜核部转折端的南侧, 矿区内发育近东西向韧-脆性剪切带、两条近东西向断裂(F_{16}、F_{17})和北西向脆性断裂带(F_4)(图 2)。

2.1　近东西向韧-脆性剪切带特征

2.1.1　几何学和岩石学特征

矿区发育南北两条韧-脆性剪切带, 北部剪切带位于 F_{17} 北边, 出露 120~ 1 100 m; 南部剪切带位于 F_{17} 南边, 出露 40~ 70 m, 两剪切带性质相同, 总体呈近东西向展布, 局部为北东东向或北西西向, 产状 150°~ 200° ∠65°~ 80°, 无论沿走向还是顺倾向均呈舒缓波状, 因受后期断裂破坏, 延伸不稳定。

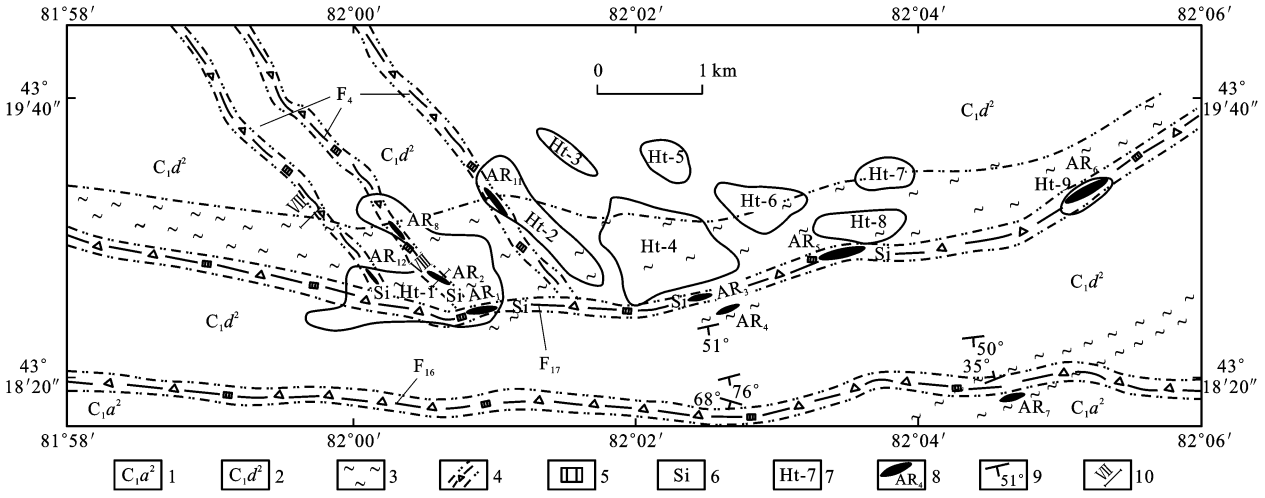
为了研究韧-脆性剪切带特征, 笔者在北部剪切带和 F_4 实测了两条构造剖面(图 3), G Ⅶ(图 3)位于 F_{17} 北部剪切带, G Ⅷ(图 3)控制剪切带中的 F_4(图 2)。剪切带后期脆性破碎强烈(图 4a、b), 有硅化、黄铁矿化等。金矿体明显残留有早期韧-脆性变形特征, 带内发育片理化带(图 4c)、S-C 面理(图 4d)、A 型褶皱、A 型线理(图 4e)、旋转碎斑系和构造透镜体, 动力变质岩中的石英发育亚颗粒、波状消光等, 可见糜棱岩化金矿石。在其他矿体、围岩中同样发现早期韧-脆性剪切作用残留的痕迹。

韧-脆性剪切带出露的动力变质岩有: 糜棱岩化凝灰岩、糜棱岩化岩屑晶屑凝灰岩、初糜棱岩等。

(1) 初糜棱岩: 凝灰岩以及石英脉中石英具有明显的塑性变形特征, 生成初糜棱岩。石英亚颗粒构造、波状消光等粒内塑性变形较为发育。石英脉中有黄铁矿和金的富集。

(2) 糜棱岩化晶屑岩屑凝灰岩: 部分岩石已为金矿石, 主要由晶屑、岩屑和火山碎屑组成, 岩石塑性变形广泛发育。其中石英碎斑周围有固态塑性流动构造(图 4f), 塑性岩屑多为玻璃质, 并被晶屑压弯, 局部出现脱玻化现象和石英亚颗粒, 说明金矿早期有明显的塑性剪切变形, 且温度相对较高。

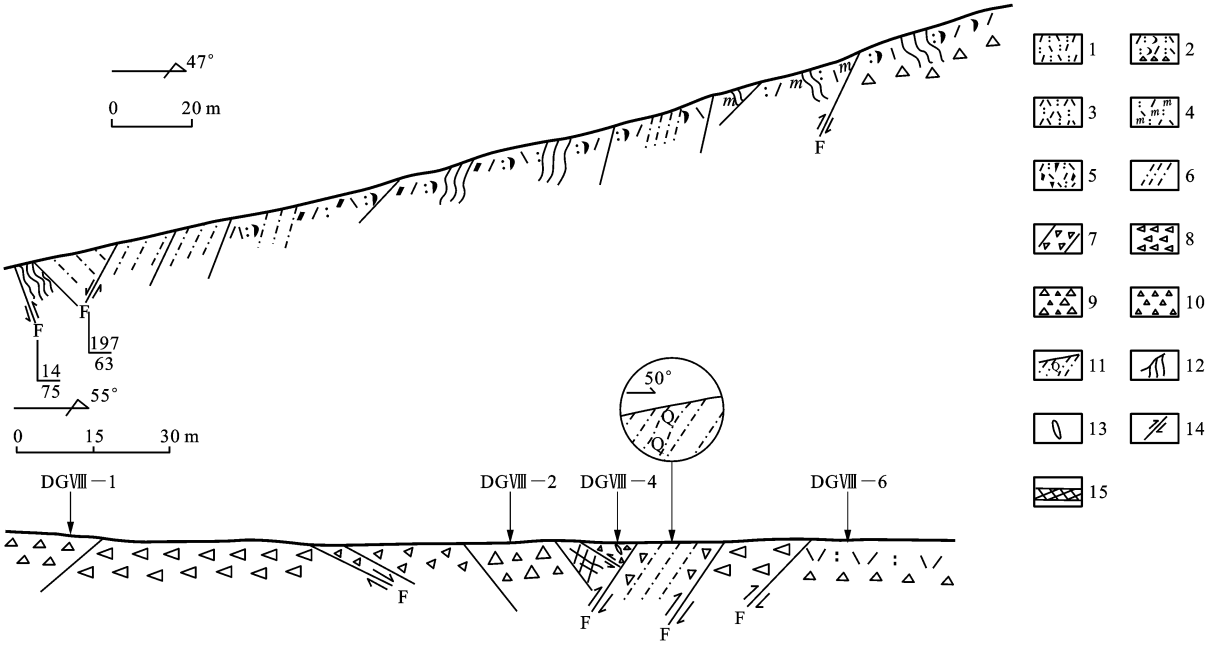
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



1– 阿克沙克组中段; 2– 大哈拉军山组上段; 3– 韧-脆性剪切带; 4– 断裂构造破碎带; 5– 黄铁矿化; 6– 硅化; 7– Au、Ag、As、Sb、Bi、Cu 异常和编号; 8– 金矿点(体)及编号; 9– 地层产状; 10– 构造剖面及编号; 据文献[16]

图 2 尔戈带金矿地质图

Fig. 2 Geological Map of Ergedai Gold Deposit



1– 流纹质凝灰岩; 2– 角砾岩化流纹质玻屑凝灰岩; 3– 碎裂岩化凝灰岩; 4– 碎裂岩化熔结凝灰岩; 5– 糜棱岩化岩屑晶屑凝灰岩; 6– 初糜棱岩; 7– 构造角砾岩; 8– 碎裂岩; 9– 碎斑岩; 10– 碎粒岩; 11– 石英脉初糜棱岩; 12– 片理化; 13– 透镜体化; 14– 次级断层; 15– 矿体

图 3 尔戈带金矿 GⅦ和 GⅧ实测构造剖面

Fig. 3 Geological Structural Sections of GⅦ and GⅧ Ergedai Gold Deposit

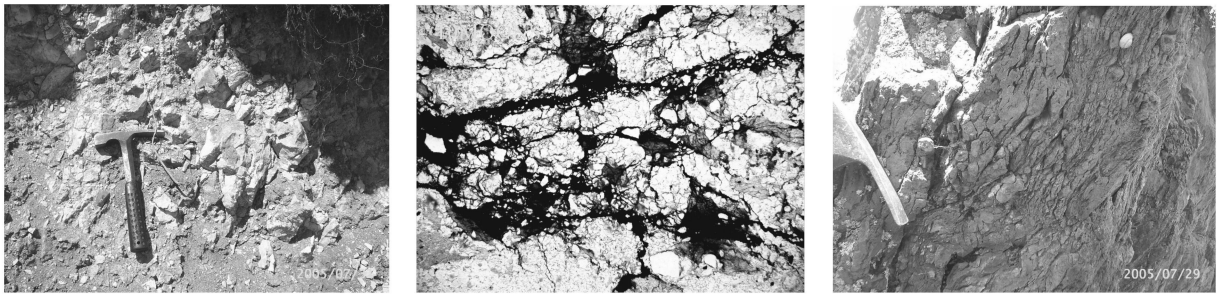
长石碎斑可见亚颗粒, 并具碳酸岩化, 个别长石颗粒内有被方解石充填的追踪张裂隙。

(3) 片理化凝灰岩: 主要有片理化流纹质玻屑凝灰岩、片理化熔结凝灰岩。火山灰物质发生塑性流动, 矿物颗粒定向排列明显, 片理化发育。

2.1.2 *运动学和动力学特征*

线理、面理、不对称构造及 A 型褶皱等从不同侧面反映了剪切带的运动学特征。剪切带中发育 A 型线理(图 4e), 所谓 A 型线理是与最大主应变轴(A)平行的线理, 反映了变形的伸长方向, 韧-脆性剪切带内的拉伸线理与该处最大伸长方向一致, 产状 82° ∠57°; S-C 面理较为发育, 剪切带边缘 S、C 面理夹角较大, 约 30°, 但中心地带局部近似平行, 由于后期脆性构造(节理、劈理)干扰, 致使早期

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



a　构造角砾岩(镜头方位315°)　　b　碎裂结构(10×10单偏光)　　c　片理化带(镜头方位320°)



d　S-C面理(垂直地面拍照)　　e　韧-脆性剪切带中线理(镜头方位280°)　　f　糜棱岩化晶屑岩屑凝灰岩石英碎斑周围的塑性流动构造(10×10单偏光)

图 **4**　尔戈带金矿韧-脆性剪切带内构造特征

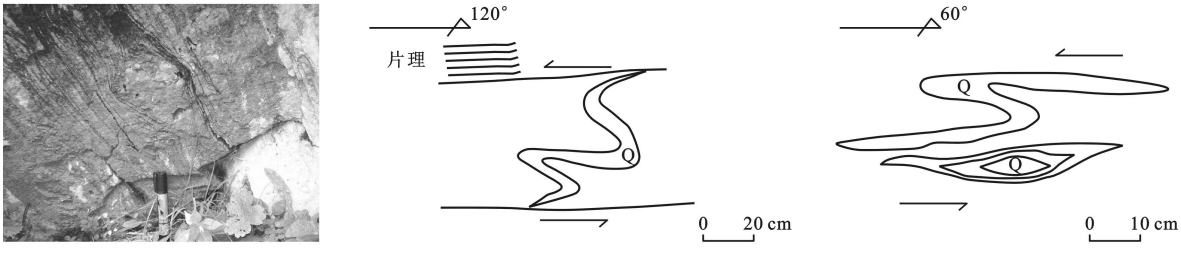
Fig. 4　Structural Characteristics in Ductile-Brittle Shear Zones of Ergedai Gold Deposit

S、C面理破坏(图 4d), C、S 面理产状分别为 110° ∠38°、85° ∠70°, 103° ∠46°、111° ∠46°, S-C 面理的锐夹角显示韧-脆性剪切带早期经历了右行剪切; 不对称构造主要有“σ”型旋转碎斑系(图 5a), 拖尾的形态显示韧-脆性剪切带在晚期经历了左行剪切。剪切带内石英脉发育多种形式的褶皱(图 5b、c), 且以左行逆冲剪切为主。

为了分析剪切带的动力学特征, 采集了两定向样 DG Ⅷ2 和 DG Ⅷ4(图 3), 通过费氏台测得石英光轴并作出岩组图(图 6)。

DG Ⅷ2 位于矿体破碎带中, 图 6 显示以下几个主要特征: 小圆环带加极密部组合型式, 即 c+ g 型; 最强极密部位于小圆环带上; 小圆环带中心 σ_1 ≈ 314° ∠84°, 位于剪切带张扭性部位[17-18], 开角约 37°; 岩组图由两个最强极密部和多个分散次级极密部组成。DG Ⅷ4 为含金石英脉中石英光轴岩组图: 小圆环带加极密部组合型式, 即 c+ g 型; 小圆环带的中心位于剪切带的张扭性部位, 最强极密部位于小圆环带上, 脉体可能沿张扭作用形成的裂隙贯入, 最大主应力方位 σ_1 ≈ 320° ∠84°, 开角约 35°, 表明当时形成温度较高; 脉体贯入后还受到后期剪切作用的影响。两岩组图均具有小圆环带趋势和强极密部(c+ g 型), 开角约 36°, 说明剪切带早期经历了塑性变形, 最大主应力方位 σ_1 ≈ 317° ∠84°, 位于剪切带张扭性部位。

野外观测研究和室内显微构造分析结果表明,



a　韧-脆性剪切带中旋转碎斑系 镜头方位95°　　b　韧-脆性剪切带内石英脉发育的褶皱　　c　韧-脆性剪切带内石英脉发育的褶皱

图 **5**　尔戈带金矿韧-脆性剪切带内旋转碎斑系和褶皱构造

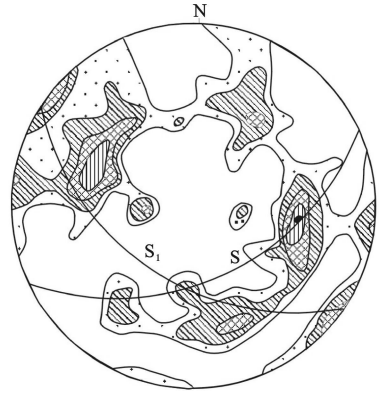
Fig. 5　Relic Phenocrysts and Folding Structure in Ductile-Brittle Shear Zones of Ergedai Gold Deposit

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



石英光轴200个(下半球)
4.5%～3.5%～2.5%～1.5%～1%; S－韧-脆性剪切带

a DGⅧ-2样品



石英光轴200个(下半球)
4.5%～3.5%～2.5%～1.5%～1%; S－韧-脆性剪切带; S_1－北西向控矿断层

b DGⅧ-4样品

图 6 尔戈带金矿韧-脆性剪切带中石英光轴岩组图

Fig. 6 Quartz C-axis Fabrics of Ductile-Brittle Shear Zones in Ergedai Gold Deposit

尔戈带金矿区发育的两条韧-脆性剪切带至少经历了两次活动: 岩组图小圆环带中心位于剪切带张扭性部位, $\sigma_1 \approx 317° \angle 84°$ (图 6a、b), 以及剪切带中发育 S-C 面理、A 型线理(图 4d、e)等说明第一次为张扭性右行剪切; 第二次经历了压扭性左行剪切, 其依据为岩组图强极密部位于剪切带压扭性部位, $\sigma_1 \approx 155° \angle 30°$ (图 6a、b), 剪切带内发育不对称构造(图 5a)、片理化带、构造透镜体(图 3)、A 型褶皱(图 5b、c)等。

2.2 脆性断裂(带)特征

2.2.1 近东西向断裂特征

矿区发育两条近于平行的断裂(F_{16}、F_{17})。

F_{17}断层发育在北部韧-脆性剪切带南侧下石炭统大哈拉军山组第二段($C_1 d^2$)中, 长约 17 km, 破碎带宽 70～170 m, 断层面呈舒缓波状, 产状 150° ～ 185° ∠40° ～ 65°。断层中的动力变质岩以脆性变形为主, 发育碎斑岩、构造角砾岩, 角砾大部分呈透镜状, 具右行雁行状排列, 劈理发育, 与断层面锐夹角显示左行压扭性质。

为了研究 F_{17} 断层特征, 实测了断层附近伴生的 50 组构造透镜体长、中、短轴。对测得的数据, 分别采用付林图解法和长短轴法做有限应变分析[19]。

(1) 付林图解。图 7 中参数定义为

$$K = (a-1)/(b-1)$$

其中

$$a = (1+e_1)/(1+e_2)$$

$$b = (1+e_2)/(1+e_3)$$

式中: a、$b \geqslant 1$; $1+e_1$、$1+e_2$、$1+e_3$ 分别为应变椭球的长半轴、中间半轴、短半轴的相对长度。不同 K 值代表不同应变状态。由图 7 可知 K 值为 $0< K< 1$。

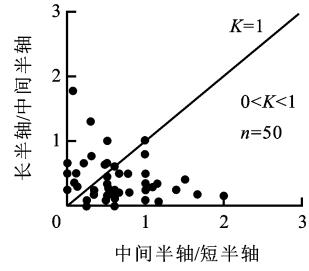


图 7 F_{17}断层中构造透镜体应变轴的付林图解

Fig. 7 Flinn Diagram of Deformed Structural Lens in F_{17} Fault

(2) 长短轴法。利用长短轴法对 F_{17} 断层中构造透镜体的三轴长度在 XY、YZ 或 XZ 面进行测量、计算长短轴比, 以 X、Y、Z 为坐标轴投点得到长短轴比投影图解(图 8)。

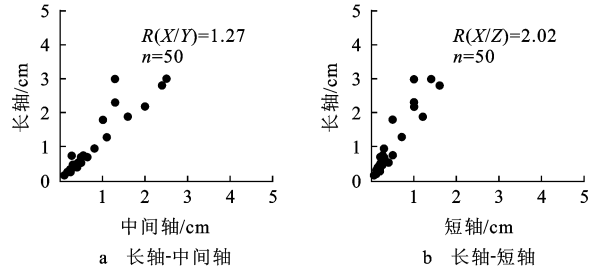
通过图解分析可知, F_{17} 断层构造透镜体应变轴比数据为

$$R(X/Y) = 1.27$$

$$R(X/Z) = 2.02$$

主应变大小为 X: Y: Z= 1: 0.8: 0.5, 显示应变沿 X 轴拉伸。

F_{17}断层分析结果表明, 该区 $0< K< 1$, 应变椭球为三轴扁椭球状, 应变类型为平面压扁型应变;



a 长轴-中间轴 b 长轴-短轴

图 8 F_{17}断层中构造透镜体应变轴比

Fig. 8 Aspect Ratio of Deformed Structural Lens in F_{17} Fault

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

主应变沿 X 轴拉伸; 结合构造透镜体的右行雁行排列, 说明该断层以压扭性作用占主要地位。

F_{16}断层出露于 F_{17} 断层的南侧, 延伸约 40 km, 破碎带宽约 100 m, 断层面沿走向和倾向均呈舒缓波状, 产状 160°~ 195° ∠66°~ 72°, 为下石炭统阿克沙克组和大哈拉军山组地层分界线。断层中的构造岩发育, 主要有碎粒岩、碎裂岩、构造角砾岩, 其中构造角砾大部分透镜体化, 呈右行雁行状排列, 大小一般为 1. 5 cm × 0. 5 cm × 0. 4 cm, 说明此断层在压扭性应力作用下形成, 伴生节理较多, 早期的节理被石英、方解石充填, 晚期节理无任何充填物。

2. 2. 2　北西向断裂带构造特征

矿区内北西向断裂带 F_4 由 3 条近平行的断裂组成, 每条长 20 km, 宽 350~ 390 m, 无论沿走向还是顺倾向均呈舒缓波状, 产状 200°~ 220° ∠ 40°~ 50°, 向南延伸受近东西向断裂限制, 其生成稍晚, 区域上被中、下二叠统乌朗组覆盖。G Ⅷ剖面(图 3 下) 控制韧-脆性剪切带内的 F_4 断层发育较宽的碎裂岩化凝灰岩、碎粒岩、碎斑岩、构造角砾岩等。

(1) 碎裂岩化凝灰岩。岩石由晶屑和火山灰组成, 碎裂结构发育(图 4b) , 碎裂形成的角砾棱角明显。晶屑以石英为主, 有熔蚀边, 表面干净, 火山灰呈隐晶质, 具碳酸岩化, 有脱玻化现象。胶结物为铁质矿物和被铁质浸染的火山灰。

(2) 碎粒岩。原岩为玻屑熔结凝灰岩, 普遍高岭土化, 大部分矿物被粉碎成细粒, 粒径一般为 0. 3 ~ 0. 1 mm, 具脱玻化现象。

(3) 碎斑岩。原岩为凝灰岩, 具碎斑结构, 碎斑含量 50%~ 90% , 长石多高岭土化, 碎粒大小不一, 大者粒径 2. 0~ 1. 5 mm, 小者 1. 0~ 0. 5 mm。

(4) 构造角砾岩。原岩为熔结凝灰岩, 普遍高岭土化, 角砾棱角明显, 大小悬殊, 多数透镜体化, 一般为 2. 0~ 6. 0 mm, 胶结物为磨碎的凝灰质岩屑或岩粉。

需要说明的是, 北西向断裂带叠加在近东西向韧-脆性剪切带内的上述构造岩中的石英可见亚颗粒(图 9) 、波状消光、扇状消光等粒内塑性变形特征。控制 F_4 断裂的剖面位于韧-脆性剪切带内(图 2) , 出露的动力变质岩中均保留了早期韧-脆性变形的痕迹。断层伴生的构造透镜体, 主要表现为压扭性, 但因断层面呈舒缓波状, 局部显张扭性(图 10) , 因而形成大量碎裂岩。

在构造破碎带中采集了 DG Ⅷ1、DG Ⅷ6 定向

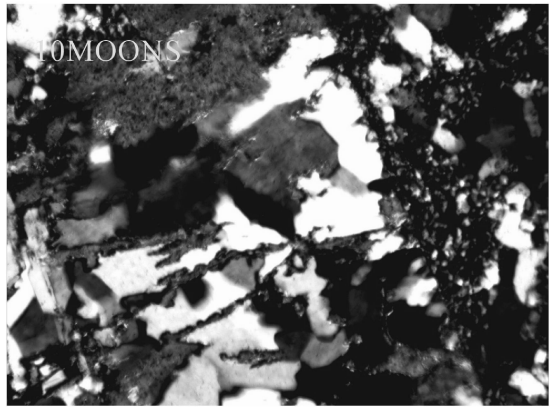


图 9　北西向断裂中石英亚颗粒(10× 10 正交偏光)

Fig. 9　Subgrains of Quartz in the NW Fault (10× 10 Orthogonal Polarization)

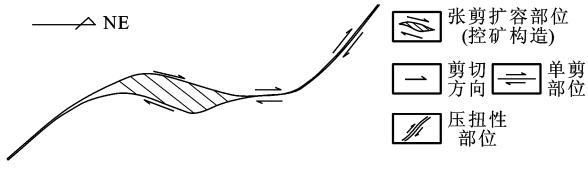


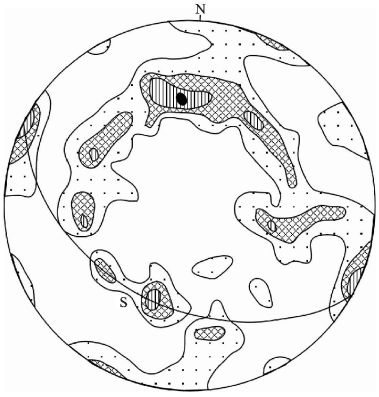
图 10　舒缓波状压扭性断裂

Fig. 10　Sketch Map in Profile of Gentle Wave-like Shearing Compressional Fracture

样(图 3) , 通过费氏台测量石英光轴, 作岩组图(图 11) 。岩组图中残留的小圆环带趋势清晰可见, 强极密部和次级极密部明显分散, 说明断裂带以脆性变形为主, 是继近东西向韧-脆性剪切带、近东西向断裂后的又一次构造活动, 表现为压扭性。利用断裂附近伴生的共轭节理赤平投影求得 $\sigma_1 \approx 222° \angle 7°$、$\sigma_2 \approx 322° \angle 70°$、$\sigma_3 \approx 130° \angle 20°$。

综上所述, 矿区在早石炭世处于板块俯冲碰撞阶段, 其后进入大陆边缘岛弧火山活动期, 晚石炭世末期造山运动(因尼卡拉运动) 完成了洋陆转换, 说明海西运动时构造-热事件相当发育。区内从晚石炭世早期到早二叠世早期发生了 3 次构造活动: 早石炭世晚期发生的鄯善运动生成伊什基里克背斜, 在其核部张扭性部位产生右行韧-脆性剪切带, 最大主应力方位 $\sigma_1 \approx 317° \angle 84°$; 晚石炭世发生的造山运动(因尼卡拉运动) , 韧-脆性剪切带再次经历左行活动, 随着脆性程度的增加, 近东西向左行压扭性断裂形成, 应变椭球为三轴扁椭球状, 平面压扁型应变, 沿 X 轴拉伸, 最大主应力方位 $\sigma_1 \approx 155° \angle 30°$; 晚石炭世末期到早二叠世早期, 最大主应力方位变为 $\sigma_1 \approx 222° \angle 7°$, 北西向压扭性断裂带产生。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



石英光轴200个(下半球)
4%～3%～2%～1%; S－北西向断层

a DGⅧ-1样品



石英光轴200个(下半球)
4.5%～3.5%～2.5%～1.5%～1%; S－北西向断层

b DGⅧ-6样品

图 **11** 尔戈带金矿压扭断裂(带)中石英光轴岩组图

Fig. 11 Quartz C-axis Fabrics of Compresso-Shear Faults(Zones) in Ergedai Gold Deposit

3 构造对金矿的控制作用

3.1 矿体特征

尔戈带金矿点均位于伊什基里克背斜核部南侧近东西向韧-脆性剪切带与不同方向断裂(带)的叠加部位,受近东西向韧-脆性剪切带、近东西向断裂(F_{16}、F_{17})、北西向断裂带(F_4)控制。不同方向的断裂(带)与韧-脆性剪切带叠加处的矿体各具特征。

3.1.1 近东西向断裂与韧-脆性剪切带叠加部位

F_{17}断裂与北部韧-脆性剪切带叠加部位出露的矿点有 AR_1、AR_3～AR_6,F_{16}与南部韧-脆性剪切带叠加部位出露仅有一个矿点 AR_7(图 2),同一方向断裂带内的金矿体特征具有很强的相似性。例如 AR_6 矿点中展布有 7 条矿体,产状稳定,均呈透镜状、扁豆状雁行排列,主矿体长 120.0 m,厚 5.6 m,产状 175°～185° ∠ 62°～85°,平均品位 4.31×10^{-6},最高 19.38×10^{-6},矿石为含金石英脉、糜棱岩化晶屑岩屑凝灰岩、构造角砾岩,其中含金石英脉大部分已黄铁矿化,黄铁矿晶形不好,呈半自形-他形,脉体透镜体化,具右行排列;围岩为片理化岩屑凝灰岩、片理化凝灰岩、片理化玻屑凝灰岩;构造蚀变为硅化、黄铁矿化等。值得注意的是,AR_1 矿点有 11 条矿体,较其他矿点内矿体规模有所增加。

3.1.2 北西向断裂带与韧-脆性剪切带叠加部位

北西向断裂构造带(F_4)由 3 条平行的断层组成,发现的矿点有 AR_2、AR_8、AR_{11}、AR_{12}。以 AR_2 为例,矿体的规模较大,主矿体长 320.0 m,厚 9.0～24.5 m,产状 210°～235° ∠75°,一般品位(3.5～5.0)$\times10^{-6}$,最高品位可达 20×10^{-6};呈脉状、分枝复合脉状,含金石英脉呈透镜状雁行排列,多位于断裂产状变化的局部张性部位或断裂伴生的张性节理中;矿体围岩为碎裂岩、片理化玻屑凝灰岩、糜棱岩化凝灰岩。

3.2 控矿作用

西天山金铜多金属矿床的主要成矿期是海西中期(360～290 Ma)[20],而矿区构造形迹大多也是海西运动中期的产物,成矿期和构造活动期有很好的吻合性。研究表明,早石炭世伊什基里克背斜仅使大哈军山组上部地层中的金元素向背斜转折端附近初步运移和聚集,而韧-脆性剪切带、近东西向断裂和北西向断裂带明显对尔戈带金矿有控制作用。

3.2.1 近东西向韧-脆性剪切带对金矿的控制

目前关于韧性剪切带对金矿的控制还存在着不同的认识[21-28]。Sibson 等[21]和 Cameron 等[22]认为金矿形成于脆-韧性转换带位置。Cameron 等[22]认为大型剪切带上宽下窄,脆-韧性转换带像咽喉一样,流体从韧性带到脆性带时,压力的突然降低是矿物沉淀的主要机制。陈柏林[23-24]认为,韧性剪切带型金矿是韧性剪切带演化发展的产物,金矿化发生在韧性变形向脆性变形的过渡时期内。

韧-脆性剪切带不仅控制着所有矿体,而且是重要导矿构造。在韧-脆性变形过程中产生的较高温度,使大哈拉军山组地层中部分金元素不断活化,分溢出来,同时韧-脆性变形产生的 C 面理有利于含矿流体沿剪切带上升运移,使金元素富集,产生矿化,形成金矿化体的品位不高,因而带内形成金矿体的可能性不会太大,但韧-脆性变形是金矿形成的必要条件,因为在没有叠加韧-脆性剪切带

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的断裂(带) 中未见金矿体。因此, 近东西向韧-脆性剪切带是金矿形成的第一阶段。

3.2.2　脆性断裂(带) 对金矿的控制

邵世才[29] 认为剪切作用本身成矿的可能性较小, 剪切只是创造了成矿空间。尔戈带金矿韧-脆性剪切带在提供空间和通道的同时也使金元素从地层中分溢出来, 但形成不了矿体, 因而早期韧-脆性变形之后的脆性作用是金矿形成的一个重要过程。

当矿区内近东西向断裂叠加到早期近东西向韧-脆性剪切带上时, 由于断裂主要受左行压扭性应力作用, 因而岩石内部垂直断盘运动方向上将产生一系列左行雁行状排列的张扭性微裂隙面, 这些发育在韧-脆性剪切带内的微裂隙会使带内含矿流体通过其发生渗透交代。压扭性脆性变形虽不利于金矿的沉淀富集, 但是这种环境有利于矿物细化, 元素活性增加, 迁移能力也随之增强。当含矿热液到达同一构造不同部位如局部张扭性扩容空间时(图 10), 随着温压的降低, 含金热液活动性减弱, 很容易在压扭性应力作用下形成的舒缓波状断层局部张扭性破碎带中沉淀富集, 因而, 断裂构造局部张扭性部位为金矿富集提供了良好的场所。例如受近东西向断裂控制的矿体(AR_1、AR_3 ~ AR_6、AR_7) 产出位置和断裂构造局部相对引张部位(如断裂带产状变化、膨胀、分枝以及复合场所) 非常吻合。

在北西向断裂带和近东西向韧-脆性剪切带交汇部位的矿体(AR_2、AR_8、AR_{11}、AR_{12}) 产状和北西向断裂带一致, 控矿特征与近东西向断裂十分相似, 都是压扭性断裂中局部张扭性部位改变温度和压力条件, 影响含金热液的运移速度, 使金在压扭性应力作用过程中产生的局部张扭性扩容空间富集。矿体上盘围岩定向样(DG Ⅷ4) 石英亚组构岩组图(图 6b) 显示最强极密部位于控矿断裂的张扭性部位, 表明矿体就位于 F_4 局部张扭性扩容空间。北西向断裂活动再次叠加在早期近东西向断裂内的矿体时, 由于多次热液活动, 使得该处矿点(如 AR_1) 内矿体规模有增加的趋势, 应该是该矿区中最有利的成矿部位。

Loucks 等[30] 对金的溶解度试验研究表明, 在成矿流体中金主要以络合物 $AuHS(H_2S)^0_3$ 的形式迁移, $AuHS(H_2S)^0_3$ 的溶解度对温度和压力的变化极其敏感, 例如当温度从 400 ℃降到 340 ℃或者压力降低 200 MPa 左右时, 溶液中 90% 的金将沉淀出来。而剪切带如同一个黄金的"天然生产车间", 其应变特征和构造演化控制着金的成矿作用, 带内温度压力的变化直接影响着成矿流体运移和成矿元素的沉淀[31]。尔戈带金矿区内韧-脆性剪切带活化的金元素在温压条件没有改变的情况下, 金不易沉淀, 会在带内不断迁移。此时, 剪切带内糜棱面理和片理化面理提供了流体运移的良好通道。随着脆性程度的增加, 或剪切带叠加断裂就会形成大量脆性裂隙和各种充填脉, 从而破坏原有的物理、化学场, 降低了叠加部位处早期韧-脆性剪切带温压条件, 当达到 Loucks 等试验所得到的温压条件时, 大部分金就会在脆性张扭性构造有利部位沉淀下来。

综上所述, 早石炭世晚期形成的伊什基里克背斜使大哈拉军山组上部地层中的金元素初步聚集; 同时形成的近东西向韧-脆性剪切带使金元素在该带内进一步富集; 晚石炭世到早二叠世, 脆性变形成为最重要的成矿阶段, 近东西向、北西向断裂(带) 叠加到近东西向韧-脆性剪切带上, 带内金元素随压扭性应力作用不断向局部张扭性空间沉淀富集, 形成金矿体(表2)。因此, 矿区内的韧-脆性剪切带和

表 2　尔戈带金矿区构造变形序列与金矿的关系

Tab. 2　Relationship between Gold Enrichment and Distortional Sequence of Shear Belt, the E-W-trending Faults and NW faults in Ergedai Gold Field

变形期次	第 1 次变形	第 2 次变形	第 3 次变形
变形时代	早石炭世晚期	晚石炭世	晚石炭末期到早二叠世
变形性质	右行韧-脆性张扭	左行韧-脆性、脆性压扭	脆性压扭
构造形迹	伊什基里克背斜、近东西向韧-脆性剪切带	近东西向断裂	北西向断裂带
变形机制	地壳中部构造层张扭性韧-脆性变形	地壳中上部左行压扭性脆性变形	地壳中上部压扭性脆性变形
最大主应力方位	317°∠84°	155°∠30°	222°∠7°
岩组图特征	小圆环带、极密部	极密部	强极密部分散
构造对金矿的控制作用	含矿热液在韧-脆性剪切带活化, 初步运移、聚集。	近东西向断裂活动引起剪切带内物理化学场的变化, 使活化的金元素在压扭性断裂带中局部张扭性空间富集成矿, 矿体形成	在北西向断裂带叠加早期韧-脆性剪切带部位, 金元素同样在压扭性断裂带中局部张扭性扩容空间中富集, 形成矿体

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

断裂对金矿的形成、富集有重要的控制作用。

4 结语

(1) 尔戈带金矿区在海西期至少有 3 次构造活动, 早石炭世晚期(鄯善运动) 在伊什基里克背斜核部产生右行韧-脆性剪切带; 晚石炭世(因尼卡拉运动), 韧-脆性剪切带发生左行剪切, 随着脆性变形程度的增加, 近东西向左行压扭性断裂形成, 应变椭球为三轴扁椭球状, 沿 X 轴拉伸; 晚石炭世末期到早二叠世, 北西向压扭性断裂带产生。

(2) 矿区内发育的韧-脆性剪切带和断裂(带) 对金矿有重要的控制作用。早期近东西向韧-脆性剪切带叠加晚期断裂(带) 是有利的成矿部位, 矿体位于压扭性断裂中局部张扭性扩容空间。

(3) 矿区内韧-脆性剪切带和近东西向、北西向断裂(带) 三者交汇处是最有利的成矿场所, 因此, 进一步勘探、找矿可以选择在韧-脆性剪切带与 F_4 3 条平行断层和 F_{17} 相交的部位。

参考文献:

[1] 王 核, 夏 斌, 彭省临, 等. 西天山北部地区成矿规律初探[J]. 大地构造与成矿学, 2002, 26(4): 363-369.

[2] 陈克强, 韦龙明, 周志坚. 新疆西天山博故图金矿地质特征与找矿方向[J]. 地质与勘探, 2007, 43(6): 47-51.

[3] 李注苍, 李永军, 李景宏. 西天山阿吾拉勒一带大哈拉军山组火山岩地球化学特征及构造环境分析[J]. 新疆地质, 2006, 24(2): 120-124.

[4] 张国伟, 李三忠, 刘俊霞. 新疆伊犁盆地的构造特征与形成演化[J]. 地学前缘, 1999, 6(4): 203-214.

[5] 成守德, 王元龙. 新疆大地构造演化基本特征[J]. 新疆地质, 1998, 16(2): 97-107.

[6] 新疆地质矿产局区域地质调查大队. 巩留幅 1∶200 000 区域地质矿产调查报告[R]. 乌鲁木齐: 新疆地质矿产局, 1979.

[7] 新疆地质矿产局第九地质大队. 伊什基里克山一带 1∶500 000综合物化探普查报告[R]. 乌鲁木齐: 新疆地质矿产局, 1993.

[8] 新疆地质矿产局第九地质大队. 巩留县尔戈带萨依一带金矿普查报告[R]. 乌鲁木齐: 新疆地质矿产局, 1999.

[9] 谢春华, 曾晓建. 新疆伊什基里克成矿带金矿类型及其地质特征[J]. 矿产与地质, 2001, 15(增刊): 464-468.

[10] 谢春华. 新疆乌孙山 1 号金矿床的发现及其地质特征[J]. 黄金地质, 2000, 6(1): 22-26.

[11] 张继武, 孙 超, 王伟东. 新疆西天山伊什基里克西段火山-次火山岩型金矿带成矿地质条件及找矿预测[J]. 黄金, 2003, 24(2): 13-17.

[12] 于瑞金. 伊什基里克金矿床地质特征[J]. 矿产与地质, 1999, 13(6): 335-337.

[13] 胡庆雯. 新疆伊犁博古图萨依金矿床地质特征及富集规律[J]. 矿产与地质, 2007, 21(4): 452-455.

[14] 车自成, 刘洪福, 刘良臣. 中天山造山带的形成与演化[M]. 北京: 地质出版社, 1994.

[15] 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 新疆区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1999.

[16] 新疆地质矿产局第九地质大队, 长安大学. 新疆巩留县特克斯达坂一带 1∶500 000 区域地质矿产调查报告[R]. 乌鲁木齐: 新疆地质矿产局, 2006.

[17] 何永年, 林传勇, 史兰斌. 构造岩石学基础[M]. 北京: 地质出版社, 1998.

[18] 胡 玲. 显微构造地质学概论[M]. 北京: 地质出版社, 1998.

[19] 郑亚冬, 常志忠. 岩石有限应变测量及韧性剪切带[M]. 北京: 地质出版社, 1985.

[20] 沙德铭, 田昌烈, 董莲慧. 西天山中北段铜、金矿床成矿规律初探[J]. 新疆地质, 2003, 21(2): 185-189.

[21] Sibson R H, Robert F, Poulsen K H. High-angle Everse Faults, Fluid-pressure Cycling, and Mesothermal Gold-Quartz Deposits[J]. Geology, 1988, 16: 551-555.

[22] Cameron E M. Derivation of Gold by Oxidative Metamorphism of a Deep Ductile Shear Zone: Part 1. Conceptual Model[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1989, 31(2): 135-147.

[23] 陈柏林. 糜棱岩型金矿金元素丰度与构造变形的关系[J]. 矿床地质, 2000, 19(1): 11-25.

[24] 陈柏林. 构造变形类型与金矿化类型的关系[J]. 世界地质, 2000, 19(3): 217-239.

[25] 魏刚锋, 聂江涛, 辛红刚, 等. 铧厂沟金矿床北部控矿剪切带地质特征及金的富集规律[J]. 地球科学与环境学报, 2005, 27(4): 38-44.

[26] 弓小平, 杨兴科, 陈 强, 等. 东天山觉罗塔格金矿带构造变形与成矿预测[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(2): 6-10.

[27] 魏宽义, 刘 平, 王民良. 南秦岭正河金矿区控矿剪切带特征与成矿关系研究[J]. 地球科学与环境学报, 2003, 25(4): 17-20.

[28] 陈 强, 杨兴科, 姬金生, 等. 哈密白干湖金矿区构造变形分析[J]. 西安工程学院学报, 2001, 23(4): 1-5.

[29] 邵世才. 试论韧性剪切作用与金的成矿[J]. 贵金属地质, 1996, 5(2): 142-146.

[30] Loucks R R, Mavrogenes J A. Gold Solubility in Supercritical Hydrothermal Brines Measured in Synthetic Fluid Inclusions[J]. Science, 1999, 284(5423): 2159-2162.

[31] 王义天, 毛景文, 李晓峰, 等. 与剪切带相关的金成矿作用[J]. 地学前缘, 2004, 11(2): 393-400.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net