1000-0569/2006/022(01)-0236-44 *Acta Petrologica Sinica* 岩石学报

新疆东天山康古尔塔格金矿带成矿作用的构造制约*

王义天[1] 毛景文[1,2] 陈文[3] 杨富全[1] 杨建民[1]

WANG YiTian[1], MAO JingWen[1,2], CHEN Wen[3], YANG FuQuan[1] and YANG JianMin[1]

1. 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037
2. 中国地质大学地球科学与资源学院,北京 100083
3. 中国地质科学院地质研究所,北京 100037
1. *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100037, *China*
2. *Faculty of Earth Sciences and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing* 100083, *China*
3. *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100037, *China*

2005-11-10 收稿, 2005-12-18 改回.

Wang YT, Mao JW, Chen W, Yang FQ and Yang JM. 2006. Tectonic constraints on mineralization of the Kanggurtag gold belt in the Eastern Tianshan, Xinjiang, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1):236 – 244

Abstract The east-west-trending Kanggurtag gold belt, over 300 kilometers in length, located in the middle of the Late Paleozoic Eastern Tianshan orogenic belt, Xinjiang, NW China, where there are about 30 gold deposits / occurrences discovered so far. The gold belt is developed along the south margin of the regional large-scale Qiugemingtashi-Huangshan ductile shear zone, and the north margin of the Aqishan-Yamansu volcanic rock zone. Gold deposits occurred in the belt can be classified into three members of ore types according to characteristics of occurrence and deposition, namely epithermal (e. g. Shiyingtan), shear-hosted replacement (e. g. Kanggur), and granitoid-related quartz vein (e. g. Xifengshan). Gold mineralization of the Kanggurtag gold belt is mainly controlled by the dextral strike-slip shear system developed along the Qiugemingtashi-Huangshan ductile shear zone during the Permian post-collisional stage, although the pre-enrichment of gold ore-forming materials may appear in the Late Carboniferous in the regional compressional regime. Along the ductile shear system, the different stress and strain distribution, different rock permeability, and different tectonic level cause to different proportion of ore-forming fluid and ore-forming material, resulting in different ore types, as well as the spatial distribution of all kinds of gold deposits. All of the gold resources are the products of the same regional metallogenic event in the same tectonic setting, and all of gold types developed on different tectonic section of the shear zone can comprise a gold deposit continuum. The regional first-order shear belt constrains the main sources of ore-forming material and ore-forming fluid, the second-order shear belt constrains the development of different gold type, and the third-order shear fracture system constrains the occurrence of gold orebody, constituting a three-level ore-controlling tectonic system.

Key words Gold mineralization, Strike-slip faulting, Shear system, Post-collisional, Kanggurtag gold belt

摘 要 康古尔塔格金矿带呈东西向展布于新疆东天山晚古生代造山带的中部,发育在秋格明塔什-黄山韧性剪切带的南缘,阿奇山-雅满苏火山岩带的北缘,形成的金矿床可划分为三种主要端元类型,即浅成低温热液型(热泉型)、剪切带交代蚀变岩型、与中浅成花岗岩类有关的石英脉型。金的成矿作用主要受控于二叠纪后碰撞阶段秋格明塔什-黄山大型韧性剪切带形成的右行走滑剪切系统,在剪切系统的不同构造部位由于应力应变状态的不同、岩石渗透率的不同、构造层次(深度)的不同等,导致成矿流体和成矿物质在组成比例上的差异,从而形成不同类型的金矿床。所有类型的金矿资源是在同一构造环境下相同区域成矿事件的产物,在不同构造部位产出的金矿床类型可以组成一个连续的金矿化系列。区域一级剪切构造带控制金矿带成矿物质和成矿流体的主要来源,二级剪切构造控制金矿床的发育,三级剪切裂隙系统控制金矿体(脉)的产出,从而构成三级构造控矿系统。

* 国家重点基础研究发展计划项目(编号:2001CB409807 和 G1999043216)资助的成果.

第一作者简介: 王义天, 男, 1969 年生, 博士, 副研究员, 主要从事区域构造演化与金属成矿作用研究, E-mail: wyt69@263.net

关键词　金成矿作用；走滑断层作用；剪切系统；后碰撞；康古尔塔格金矿带
中图法分类号　P618.51

1　引言

新疆东天山康古尔塔格金矿带是自上世纪80年代以来地质工作者在进行区域地质调查和执行国家"305项目"的过程中发现并确定下来的，经过十余年的研究和勘探开发，已成为新疆地区一个新的具有良好远景的黄金产区。康古尔塔格金矿带呈东西向展布于新疆东天山造山带的中部，长度约300km余，已发现规模不等的金矿床(点)近30个。通过执行有关的生产和科研项目，众多研究者围绕康古尔塔格金矿带，在岩石、区域构造、成矿作用特征、矿床成因、成矿规律和成矿预测等方面开展了大量卓有成效的研究工作，取得了许多重要的研究成果，对该金矿带的认识不断深入。本文在前人的研究成果基础上，通过野外调查和室内研究，从金矿床的产出分布和成矿特征入手，分析在不同尺度上构造活动对金成矿作用的影响和控制，探讨区域性大型剪切系统在成矿过程中的作用和意义，为成矿预测和找矿工作提供可能的理论依据。

2　区域地质背景

新疆东天山造山带长约600km余，呈东西向分布于准噶尔盆地和塔里木盆地之间，是北部的哈萨克斯坦-准噶尔板块与南部的塔里木板块在晚古生代期间会聚碰撞的产物，是中亚造山带的一个重要组成部分。其北侧以大草滩断裂(F_1)为界与吐哈盆地相邻，南部以略向南呈弧形凸出的近东西向的阿其克库都克断裂带(F_4)为界与中天山相邻，在其西南端以NW向的干沟-卡瓦布拉克断裂带(F_5)为界与南天山相接，东南端以NE向的星星峡断裂带(F_6)为界与北山相接(图1)。

2.1　构造格架

四条近东西向分布的区域性一级主干断裂带奠定了东天山造山带的基本构造格架，自北向南依次为大草滩断裂带(F_1)、康古尔塔格断裂带(F_2)、雅满苏-苦水断裂带(F_3)和阿其克库都克断裂带(F_4)(图1)。另外，区内还发育一些次级的NE向和NW向断裂。

上述四条断裂带两侧的地层建造、构造变形、变质作用和岩浆活动等特征各不相同，根据岩石组成的不同东天山可以划分为三个主要岩性单元，自北向南依次为小热泉子-大南湖火山岩带、秋格明塔什-黄山复理石岩带、阿奇山-雅满苏火山岩带。然而，关于三个岩性单元的古构造属性问题，目前还存在一些不同认识和看法，仍然是一个亟待解决的重要基础地质问题。首先，有关东天山的大地构造格局看法不同，主要认识包括西伯利亚板块、哈萨克斯坦板块和塔里木板块的碰撞带(李春昱等，1982；肖序常等，1992)，隶属于塔里木板块的石炭纪火山型被动陆缘(何国琦等，1992)，塔里木板块活动陆缘弧盆体系的一部分(马瑞士等，1993)，哈萨克斯坦板块和塔里木板块的碰撞带(姬金生等，1994；周济

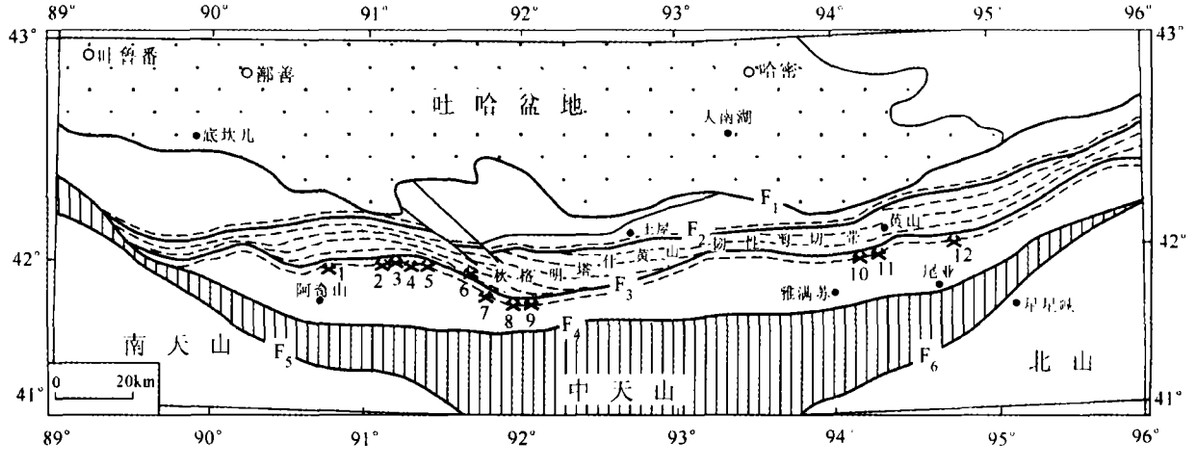

图1　新疆东天山区域地质构造与金矿床分布简图

主干断裂带：F_1-大草滩断裂带；F_2-康古尔塔格断裂带；F_3-雅满苏-苦水断裂带；F_4-阿其克库都克断裂带；F_5-干沟-卡瓦布拉克断裂带；F_6-星星峡断裂带。

主要金矿床(点)：1-石英滩；2-红石；3-环耳山；4-康古尔；5-马头滩；6-大东沟；7-小尖山；8-西凤山；9-红石岗；10-半边山；11-翠岭；12-白干湖

Fig. 1　Schematic map of tectonics and gold distribution in the Eastern Tianshan orogen, Xinjiang

元等,1994; 张良臣,1995),古生代以来发育起来的多岛洋(海)体系(陈海泓等,1999; 秦克章等,1999; Xiao WJ *et al.*, 2004)等。其次,对于各组成单元的具体构造属性和演化意见不一。关于秋格明塔什-黄山复理石岩带古构造属性的认识存在很多观点,如石炭纪裂陷槽(肖序常等,1992; 陈哲夫,1997)、石炭纪弧间盆地(马瑞士等,1993)、古生代有限洋盆(周济元等,1994)、古生代海沟(姬金生等,1994)、泥盆纪—早石炭世弧前盆地(Xiao WJ *et al.*, 2004)、奥陶纪—早石炭世的大洋盆地(李锦轶,2004)等。关于秋格明塔什-黄山复理石岩带南北两侧的火山岩带的认识,大多数研究者认为是岛弧型火山岩,因此在构造上即属于岛弧带,但是对于这两个岛弧的归属问题认识不一。许多人普遍认为北侧是一个泥盆纪—石炭纪岛弧带,为准噶尔板块向南俯冲的产物; 南侧是一个石炭纪岛弧带,为塔里木板块向北俯冲的产物(马瑞士等,1993; 姬金生等,1994; 周济元等,1994; 杨兴科等,1997)。Xiao WJ *et al.* (2004)和 Zhang LC *et al.* (2004)提出阿奇山-雅满苏火山岩带是石炭纪中天山地块向北俯冲的产物,李锦轶(2004)将其划为哈拉塔格地块北部被动陆缘沉积岩系和上覆的后碰撞火山沉积岩系。秦克章等(2002)认为北侧为早石炭世裂陷槽,南侧为早石炭世裂谷。

尽管对东天山各构造单元的古构造属性和规模、板块俯冲的极性和时序、缝合带的位置和数量等问题的认识意见不一,但是各地质体最终于晚石炭世会聚碰撞形成东天山晚古生代造山带已成为普遍的共识。

2.2 岩石组成

小热泉子-大南湖火山岩带主要为泥盆纪和早石炭世的火山沉积岩系及中酸性侵入岩,岩性以中基性火山岩为主,夹有安山质火山岩和一些碳酸盐岩及钙质泥岩等碎屑岩,局部可以见到保存不完整的火山机构。在七克台-康古尔一线以东地区这套岩石被称为企鹅山群,在以西地区称为小热泉子组。该岩带南缘后期经历区域构造变形,构成了秋格明塔什-黄山韧性剪切带的边缘组成部分。

秋格明塔什-黄山复理石岩带中主要出露石炭系苦水组和干墩组地层,以及第三系桃树园组。东部的苦水组由具有浊流沉积特征的杂砂岩组成,西部的干墩组主要为一套半深—深海相复理石杂砂岩建造,由深灰色沉凝灰岩、岩屑砂岩及硅质岩组成。经过强烈的区域中深层次的构造变形,该带岩石普遍发生强烈的片理化和糜棱岩化作用,形成目前区内所见的灰绿色砂质千糜岩、片理化灰绿色沉凝灰岩、浅灰色片理化长石岩屑细砂岩等,构成了大型的秋格明塔什-黄山韧性剪切带的主体。

阿奇山-雅满苏火山岩带内出露地层为下石炭统雅满苏组钙碱性—碱性—中酸性火山岩及其碎屑岩、碳酸盐岩,中石炭统土古土布拉克组钙质砾岩、凝灰砂岩、安山质凝灰角砾岩和安山质沉凝灰岩,以及侏罗系下—中统煤窑沟组砾岩、砂岩、粉砂岩和泥岩。石炭系地层普遍发生低级变质作用,变质程度为低绿片岩相、葡萄石-绿纤石相。该岩带北缘同样经历了区域构造变形,构成了秋格明塔什-黄山韧性剪切带的边缘组成部分。

整个东天山地区的岩浆活动十分频繁,尤其是华力西期和印支期的侵入岩最为发育。侵入岩以深成岩为主,浅成岩次之,形态包括岩基、岩株、岩墙等。岩性从超基性、基性,到中酸性等各类岩体均有发育,基性-超基性岩体主要分布于东段的黄山一带,中酸性岩体尤其是花岗岩类侵入岩则在全区普遍分布。岩脉(墙)有基性岩脉和中酸性岩脉,它们多呈近东西向分布,部分为北西向、北东向和近南北向。岩脉规模不等,一般长几十米到上千米,厚度可达十余米,常成群产出。

2.3 秋格明塔什-黄山韧性剪切带

秋格明塔什-黄山韧性剪切带剪切带呈舒缓波状沿近东西向展布于东天山的中部,长约 600km 余,宽 20 ~ 40km(图 1)。构造带的主体由复理石岩带构成,其两侧岛弧带的边缘亦被卷入构造变形,但变形程度相对较弱。大致以北侧的康古尔塔格断裂带和南侧的雅满苏-苦水断裂带为界,构造带可划分为中央强变形带和南北边缘弱变形带,两侧弱变形带无清晰边界,渐变过渡到未变形区域,康古尔塔格金矿带即发育产出在该构造带的南部边缘(图 1)。根据对韧性剪切带中发育的中小尺度上的各种线理、面理、劈理、揉皱、褶曲等,各种显微构造形迹,以及被卷入的基性-超基性和中酸性侵入体等等变形特征的研究表明(马瑞士等,1993; Allen MB *et al.*, 1993; 杨兴科等,1997; 李锦轶等,2002; 王瑜等,2002; Xu XW *et al.*, 2003),该构造带形成于早期的南北向挤压推覆,后期发育右行走滑变形作用。

关于秋格明塔什-黄山韧性剪切带的形成时代,李华芹等(1998)根据卷入韧性变形的地层及相关的 Rb-Sr 和 K-Ar 同位素测年结果推测为晚石炭世—早二叠世。王瑜等(2002)对边部卷入韧性剪切变形的克孜尔塔格岩体进行的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 同位素年代学研究表明,东天山造山带的南北向挤压作用结束于 276Ma,右行走滑变形主要集中于 276 ~ 253.9Ma。陈文等(2005)通过对该剪切带的构造岩进行的系统的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 同位素年代学研究结果表明,该带早期韧性推覆剪切作用发生在 300Ma 之后并持续到 280Ma,晚期发育的右行走滑剪切变形作用主活动期为 262.9 ~ 242.8Ma,与中天山北缘的阿其克库都克断裂带的右行走滑变形时代(舒良树等,1998)相近。

3 金矿床的成矿特征

依据矿床的产出和矿化特征、成矿物质的组成特征等,康古尔塔格金矿带中发育的金矿床可划分为三种主要类型,即浅成低温热液型(热泉型)、剪切带交代蚀变岩型、与中浅成花岗岩类有关的石英脉型(表 1)。

表 1 东天山康古尔塔格金矿带三种类型金矿床成矿作用特征对比

Table 1 Metallogenic characteristics of three types of gold deposit from the Kanggurtag gold belt in the Eastern Tianshan, Xinjiang

矿床类型	浅成低温热液型(热泉型)金矿床	剪切带交代蚀变岩型金矿床	与中浅成花岗岩类有关的石英脉型金矿床
典型矿床代表	石英滩	康古尔	西凤山
其它矿床实例	—	马头滩、红石、环耳山、康西、回归、大东沟、麻黄沟、齐石滩、元宝山、白干湖	小尖山、长城山、红石岗、红西、翠岭
容矿岩石	安山-英安质熔岩及火山碎屑岩	糜棱岩化安山-英安质火山岩，蚀变糜棱岩	中浅成花岗斑岩，安山岩
相关侵入岩	英云闪长岩体、花岗斑岩脉、闪长玢岩脉，据物探资料推测深部可能存在一酸性侵入岩体	石英正长斑岩、流纹斑岩、英云闪长岩、钾长花岗岩	黑云母二长花岗岩、石英斑岩
容矿构造	破火山口环状裂隙及区域断裂交汇	脆-韧性剪切断裂和裂隙	岩体边、顶部的放射状、环状裂隙及围岩裂隙
矿体形态	脉状、透镜状	板状、脉状、透镜状	脉状
矿石组构	结构：隐晶状、微粒状、变胶状、针状、片状 构造：块状、角砾状、晶洞状、条纹状、网格状、竹叶状、皮壳状	结构：自形-半自形粒状、他形-半自形粒状、交代结构 构造：浸染状、脉状、块状、角砾状、	结构：中粒自形-半自形结构 构造：块状、角砾状、浸染状
矿石平均品位	14.05×10^{-6}(14.05g/T)	9×10^{-6}(9g/T)	12.5×10^{-6}(12.5g/T)
金赋存状态	粒间金(>90%)、裂隙金(2%)、包体金(1.5%)	裂隙金、粒间金、包体金、薄膜金	裂隙金、粒间金、包体金
围岩蚀变	青磐岩化、黄铁绢英岩化、绿泥石化、硅化、泥化、碳酸盐化、绢云母化	青磐岩化、黄铁绢英岩化、黄铁矿化、磁铁矿化、硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化	较弱的钠黝帘石化、硅化、绿泥石化、绢云母化、黄铁矿化
矿石矿物组合	自然金(银)-银金矿-黄铁矿-黄铜矿-白铁矿-毒砂-褐铁矿	自然金-银金矿-黄铁矿-磁铁矿-黄铜矿-方铅矿-闪锌矿-褐铁矿-赤铁矿-磁黄铁矿	自然金-银金矿-黄铁矿-黄铜矿-方铅矿-赤铁矿
脉石矿物组合	玉髓-石英-方解石-冰长石-绿泥石-绢云母-石膏	石英-绿泥石-绢云母-白云母-方解石-白云石-石膏	石英-绿泥石-绢云母
主要成矿元素	Au、Ag、Cu、Pb、Hg、Te	Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Fe	Au、Cu
流体包裹体特征	富 H_2O 的气液两相包裹体、水溶液单相包裹体	液相包裹体、含液体 CO_2 多相包裹体、气相包裹体	含 CO_2 包裹体，气液两相包裹体
流体中气相成分	H_2O、CO_2、H_2	H_2O、CO_2、N_2、CH_4、H_2、CO	H_2O、CO_2、H_2
流体中离子成分	Na^+、K^+、Mg^{2+}、F^-、Cl^-，$Na^+/K^+<1$	Na^+、K^+、Mg^{2+}、F^-、SO_4^{2-}、Cl^-、NO_3^-，$Na^+/K^+>1$	Na^+、K^+、Cl^-、F^-，$Na^+/K^+>1$
盐度(%NaCl)	0.8~6.7	9.5~17.5	15.5~20.5
成矿温度(℃)	110~250	120~310	300±
成矿压力(MPa)	27~33	50~80	10±
成矿深度(km)	0.5	2.9~3.8	>3
f_{O_2}	—	10^{39}~10^{42}	—
f_{CO_2}	—	10^{23}~10^{41}	—
Eh(mV)	-0.78~-0.70	-0.72~1.31	-0.75
pH	5.8~6.8	6.08	5.4~6.1(小尖山)
$\delta^{34}S$(‰)	0.1~2.3	-3.1~3.3	—

续表 1

Continued Table 1

矿床类型	浅成低温热液型(热泉型)金矿床	剪切带交代蚀变岩型金矿床	与中浅成花岗岩类有关的石英脉型金矿床
$\delta^{13}C$(‰)	-5.5	-4.4	—
δD(‰)	-119.4 ~ -81.7	-66 ~ -45	-63.52(小尖山)
$\delta^{18}O_{矿物}$(‰)	4.66 ~ 13.73	11.3 ~ 13.2	14.74(小尖山)
$\delta^{18}O_{水}$(‰)	-12.74 ~ -1.65	-8.34 ~ 2.98	7.5(小尖山)
$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$	0.7049 ~ 0.7059	0.7077 ~ 0.7106	0.7070
成矿流体来源	大气降水	大气降水-岩浆水-变质水	岩浆水
成矿物质来源	地壳-上地幔源火山岩	地壳-上地幔源火山岩	地壳-上地幔源中浅成侵入岩
成矿时代(Ma)	288 ~ 244	290 ~ 254	272
矿床规模	中型	大型	小型

资料来源:姬金生等(1994,1997);李华芹等(1998);张连昌等(2000);裴仲举(1998);杨兴科等(1998);薛春纪等(1999);丰成友等(1999);毛景文等(2002);Zhang LC *et al.*(2003, 2004);Wang YT *et al.*(2003, 2004);Mao JW *et al.*(2005)

3.1 浅成低温热液型(热泉型)金矿床

该类矿床目前在康古尔塔格金矿带中只发现一个典型的石英滩金(银)矿床(表 1)。

石英滩金(银)矿距秋格明塔什-黄山韧性剪切带的南缘雅满苏-苦水边界断裂带 3km。矿区出露地层为一套中酸性火山岩-火山碎屑岩组合,岩性主要为安山岩、英安岩、火山角砾岩、凝灰岩等,未遭受韧性剪切变形。矿体由含金玉髓质石英脉和破碎矿化蚀变岩构成,产于古火山机构边缘的安山-英安质熔岩及火山碎屑岩中,呈脉状、带状和网脉状。主要金属矿物有黄铁矿、黄铜矿和褐铁矿等,金矿物以银金矿、自然金为主,呈微细粒状以粒间金形式产于石英颗粒间或石英与绢云母颗粒间,裂隙金和包裹金较少。主要脉石矿物有玉髓、石英、方解石、文石、绢云母、绿泥石、冰长石、重晶石和明矾石等。围岩蚀变有青磐岩化、黄铁绢英岩化、绿泥石化、硅化、泥化和碳酸盐化等,呈带状分布。

3.2 剪切带交代蚀变岩型金矿床

该类代表性矿床为康古尔金(铜)矿床(表 1),其它还有马头滩、红石、环耳山、大东沟、白干湖等金矿床(点)。

康古尔金(铜)矿区内出露地层主要为一套浅变质(绿片岩相)中酸性火山岩及少量沉积碎屑岩,主要岩性有安山岩、英安质和安山质凝灰岩、砂砾岩等,矿区内还发育正长斑岩、石英斑岩和钠长斑岩等浅成岩脉。矿体由矿化蚀变糜棱岩和含金石英脉构成,产于三条 NE 向大致平行的脆-韧性剪切带中,容矿岩石和矿体顶底板均为蚀变糜棱岩和糜棱岩化火山岩。矿体形态呈似层状、透镜状、不规则脉状,与糜棱岩面理产状一致。主要金属矿物有黄铁矿、磁铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、赤铁矿、褐铁矿、铜蓝、辉铜矿和斑铜矿等,金矿物主要为自然金和银金矿,以它形晶为主,呈粒状或片状,赋存状态主要为粒间金、包裹金和裂隙金。主要脉石矿物有石英、绿泥石和绢云母,以及少量方解石、白云石、菱铁矿、石膏和重晶石等。围岩蚀变强烈,从矿体中心向外侧依次出现硅化、绿泥石化-黄铁矿化、磁铁矿化-黄铁绢英岩化、绢云母化-青磐岩化的明显分带。由于交代蚀变矿体与围岩呈渐变过渡关系,因此要根据化学分析结果圈定矿体边界。

3.3 与中浅成花岗岩类有关的石英脉型金矿床

该类代表性矿床为西凤山金矿床(表 1),其它还有红石岗、红西等金矿床(点)。

西凤山金矿区出露地层主要为安山岩与安山质晶屑凝灰岩,发育多个中浅成花岗斑岩岩株和岩枝,矿体即产于花岗斑岩体边部、顶部及其附近的围岩之中。矿体由含金石英脉构成,呈脉状和透镜状,与围岩界线清楚。矿脉规模小,数量多。矿石成分比较简单,金属矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、自然金和银金矿,偶见方铅矿和赤铁矿,自然金主要分布于黄铁矿的晶隙或裂隙中。脉石矿物主要是粗粒石英。围岩蚀变较弱,主要发育绿泥石化、绢云母化和黄铁矿化等。

4 金成矿作用的多尺度构造控制

4.1 金矿体(脉)产出的构造控制

康古尔塔格金矿带中所有金矿床的矿体发育都受到矿区内发育的脆-韧性和脆性断裂或裂隙的控制,这些构造属于区域性秋格明塔什-黄山韧性剪切带一级构造的第三级构造组成部分。本区三种类型金矿体主要以脉状产出,其次为透镜状(石英滩金矿、康古尔金矿)和板状(康古尔金矿),因而本区的金矿体亦可称为金矿脉,其中脉状和透镜状矿体是

以流体充填方式成矿的重要特征，板状矿体则是以流体交代方式成矿的主要特征。而流体的活动与成矿所需的赋存空间即由构造活动所产生的断裂系统提供，因此在现象学的意义上，金矿体(脉)即为断裂或裂隙。例如，在石英滩矿区内发育有大量的脆性断裂构造，这些断裂是受区域 NEE 向断裂和与古破火山口有关的环状裂隙共同控制下的产物，其中近东西向的张(扭)性断裂是主要的容矿构造。在康古尔金矿区，含金石英脉主要发育在若干个 NE—NEE 向张扭性脆-韧性剪切带中的里德尔剪切裂隙系统内，矿化蚀变岩则产于剪切带中的糜棱岩和构造片岩中，即沿主剪切面理分布。在西凤山金矿区发育大量的脆性裂隙系统，它们是中浅成花岗斑岩边部和顶部的原生放射状和环状裂隙及附近围岩中的裂隙构造，这些张性裂隙为石英脉所充填而构成石英脉体群。总之，本区第三级的张性和张扭性断裂系统控制了金矿带中的矿体(脉)的产出与分布。

4.2 金矿床类型的构造控制

在石英滩矿区附近，秋格明塔什-黄山韧性剪切带沿东西走向于此处发生左列式断错，石英滩金矿即位于断错之间。这种左列式断错在剪切带右行走滑过程中表现为离散伸展性变形，即在区域压扭性剪切变形带上发育局部性的拉张构造。在这种局部拉张环境下，石英滩一带的岩浆活动异常强烈，在安山岩和凝灰岩等火山岩地层中发育有黑云母花岗岩、花岗闪长岩、闪长玢岩、黑云母花岗闪长岩、石英二长斑岩等侵入岩，和沿破火山口侵入的花岗流纹斑岩及隐爆角砾岩等次火山岩等。石英滩浅成低温热液型(热泉型)金(银)矿床正是在上述构造-岩浆活动背景下发育形成，即上地壳中循环的大气降水经浅成侵入岩的加热而沿张性构造向上运移，从途径的火山岩中萃取成矿物质形成含矿流体，然后以热泉的形式在浅层次的火山机构和附近的张性裂隙空间中聚积成矿。金矿石普遍发育的隐晶状、微粒状、胶状和条纹状、网格状、角砾状等结构和构造，以及玉髓、冰长石等低温矿物组合等，都表现出浅成低温热液型(热泉型)矿床成矿深度浅、成矿温度低的典型特征(表 1)。

在康古尔金矿一带，以安山岩和凝灰岩为主的火山-沉积岩系普遍发生韧性变形，发育多条次级的韧性、脆-韧性剪切糜棱岩带，即秋格明塔什-黄山韧性剪切带的二级构造，它们由一系列 NE—NEE 向张扭性变形带构成，康古尔、马头滩和红石等金矿床就发育在这些二级构造变形带中。在这些金矿床中，金矿体的产状、形态、大小和分布等都受构造控制，在显微尺度上亦是如此，表现出典型的剪切带型金矿床的成矿特征。交代蚀变岩型矿体构成了金矿床中的富矿体(Rui ZY *et al.*，2002)，其矿化蚀变的强度与剪切变形的强度密切相关(马天林等，1998)。上述剪切带交代蚀变岩型金(铜)矿床是与区域韧性剪切带发育演化相一致的同构造型金矿床，其成矿作用特征表明(表 1)，成矿流体起源于深部的岩浆水和剪切动力变质水，成矿物质来源于岩浆岩和在强烈剪切变形过程中从围岩中活化迁移出来的矿质。于深部形成的含矿流体沿剪切带向上运移，在地壳浅部大气水加入，温压条件发生变化，成矿流体或充填聚积、或与围岩发生强烈的交代作用，从而在剪张裂隙中形成含金石英脉或网脉，沿剪切面理形成蚀变糜棱岩等含金交代蚀变岩。

在西凤山和小尖山一带，秋格明塔什-黄山韧性剪切带于此处形成一个“反 S 形”弯曲(图 1)，这种弯曲地段在剪切带右行走滑过程中表现为张性剪切变形，从而发育局部性的拉张构造。岩浆活动在这种局部拉张环境下非常发育，形成以岩株、岩枝和岩脉形式产出的中浅成花岗斑岩侵位于安山岩和凝灰岩等火山-沉积岩系中。西凤山和小尖山金矿床的成矿特征显示(表 1)，其成矿流体和成矿物质起源于岩浆活动，以单一的流体充填方式在侵入体和附近围岩的张性裂隙系统中聚积形成与中浅成花岗岩类有关的石英脉型金矿床。

4.3 金矿带形成与分布的构造控制

在空间上，康古尔塔格金矿带位于秋格明塔什-黄山韧性剪切带的南缘，阿奇山-雅满苏火山岩带的北缘，即上述各类型金矿床产于同一大地构造单元中的相同中-酸性火山-沉积岩系。在时间上，三种类型金矿床的形成时代主要集中于 290～244Ma 期间(李华芹等，1998；韩春明等，2002；Zhang LC *et al.*，2003)，这与秋格明塔什-黄山韧性剪切带的形成发育以及区内岩浆活动的时间基本一致，东天山晚古生代造山带也在此期间进入后碰撞演化阶段。金矿带早期成矿作用与剪切带早期挤压推覆作用时间相吻合，后期的主期成矿作用与右行走滑作用时间相吻合(Wang YT *et al.*，2003；2005)。上述时空耦合性指示了区域构造演化对金成矿作用和金矿带的形成具有重要控制作用，暗示了金成矿作用是同一区域构造环境下的产物，金矿带是相同成矿事件的产物。大量的矿床同位素地球化学和流体包裹体研究(姬金生等，1994，1997；张连昌等，2000；蔡仲举，1998；薛春纪等，1999；丰成友等，1999；Zhang LC *et al.*，2003，2004；Wang YT *et al.*，2004)表明，康古尔塔格金矿带各类金矿床的成矿物质都主要来源于深部的上地幔和下地壳，另外阿奇山-雅满苏火山-沉积岩系亦提供了部分矿质；各类金矿床的成矿流体组成为相似的 Na-K-Cl 型，只是由于各种来源的流体在不同类型矿床中所占的比例不同而表现出一些差别，即浅成低温热液型以大气水为主、与中浅成花岗岩类有关的石英脉型以岩浆水为主、剪切带交代蚀变岩型则为大气水、岩浆水和动力变质水的混合。而大气水在不同类型成矿流体中所占的比例直接受控于矿床产出的深度和构造变形特征，从浅成低温热液型、剪切带交代蚀变型、到与中浅成花岗岩类有关的石英脉型，成矿深度依次变深(Mao JW *et al.*，2005)，大气水的比例依次降低。

5 讨论与结论

大型剪切带是地壳中的高度活动带、能量汇聚带、高渗

透区和流体汇集区(Lu HZ and Chi GX, 1996; 刘建明等, 1998; 邓军等, 1999),经历过挤压、压扭和张扭等构造变形过程的剪切带构成流体在垂向上扩散运移的抽送系统(McCuaig TC and Kerrich R, 1998)。与剪切带相关的金矿床经常成带成群分布、集中出现,在空间上构成金矿化集中区,从而形成大型、超大型金矿床(涂光炽, 1994; 翟裕生等, 1997; Goldfarb RJ *et al.*, 2001),以走滑为主的剪切带则往往形成在走向上延伸可达上百公里的大型成矿带(王义天等, 2004),成矿作用与剪切带的构造-岩浆活动密切相关(朱永峰, 2004)。东天山康古尔塔格金矿带发育在秋格明塔什-黄山韧性剪切带的南缘,这里是岩石强弱变形的过渡带,局部温压条件和地球化学梯度亦发生变化,因而成为构造-岩浆活动最活跃的地带。区域构造带在走向上发生的局部弯曲或断错等可导致走滑剪切活动在这些地方发育局部的会聚挤压性变形或离散伸展性变形,而具体的应变特征取决于走滑剪切的运动方向和局部弯曲或断错的方向(Davis GH and Reynolds SJ, 1996)。秋格明塔什-黄山韧性剪切带在280Ma以前发育挤压推覆剪切作用,晚期于造山带后碰撞期间(262.9~242.8Ma,陈文等, 2005)发育右行走滑剪切作用。在韧性剪切带的南缘、剪切带局部发生弯曲和断错,这些地段在区域右行走滑剪切变形过程中表现为离散伸展性变形,发育的拉张构造为岩浆和流体的活动提供了扩容空间,从而在浅部形成浅成低温热液型的石英滩金矿和稍深部与花岗岩类侵入体有关的石英脉型的西凤山金矿床。由于沿康古尔塔格金矿带的走向后期剥蚀程度东段比西段强(李锦轶等, 2002),因而使上述两个形成于不同深度的金矿床目前出露于相似的地表高度上。而在剪切带没有弯曲或断错的线形地段则主要表现为单剪变形,从而形成如康古尔、马头滩和红石等剪切带交代蚀变岩型金矿床。另外,在沿剪切带南缘发生弯曲但幅度不大的地段,如在剪切带东段的白干湖一带(图1),表现出的成矿作用特征介于康古尔和西凤山两类矿床之间,显示为一种过渡类型的特征。这一事实进一步佐证了金矿带中不同类型的金矿床是相同成矿事件的产物,在不同构造部位发育产出的金矿床类型可以组成一个连续的金矿化系列(Nesbitt BE, 1988),上文中所述的三种金矿床类型可视为三个端元类型。这一认识对评价康古尔塔格金矿带的成矿潜力与远景具有重要意义,可为本区进一步的找矿勘探工作提供一定的理论指导。

总之,东天山康古尔塔格金矿带的成矿作用主要受控于二叠纪后碰撞阶段大型秋格明塔什-黄山韧性剪切带发育的右行走滑剪切系统,尽管金成矿元素的预富集可能于晚石炭世南北向的区域挤压构造体制下就已开始,所有类型的金矿资源都是在同一构造环境下相同区域成矿事件的产物。区域一级剪切构造带控制了金矿带的形成与分布,二级剪切构造控制了金矿床的发育,三级剪切裂隙系统控制了金矿体(脉)的产出,从而构成三级构造控矿系统。沿剪切系统不同部位应力应变状态的局部化分布、不同应变部位岩石渗透率的不同、以及构造层次(深度)的不同而导致成矿流体和成矿物质在组成比例上的差异,从而形成不同类型的金矿床,进而也控制了金矿床在垂向和水平方向上的空间产出规律。

致谢 在野外调查工作中得到新疆地矿局董连慧博士、王磊和张文智高级工程师的大力支持和帮助,同时在野外实地与Richard Goldfarb, Franco Pirajno和Craig Hart博士进行了有益的交流和讨论,在此致以衷心的谢意!

References

Allen MB, Windley BF and Zhang C. 1993. Paleozoic collisional tectonics and magmatism of the Chinese Tien Shan, Central Asia. Tectonophysics, 220: 89 - 115

Cai ZJ. 1998. Metallogenic characteristics and origin of Kanggur gold deposit of ductile shear zone type. Xinjiang Geology, 16(2): 163 - 172 (in Chinese with English abstract)

Chen HH, Hou QL, Xiao WJ. 1999. Archipelago-type collisonal orogenesis: examples from orogenic belts in northern Xinjiang and South China. In: Chen HH, Hou QL and Xiao WJ (eds). Collision Orogenic Belts of China. Beijing: China Ocean Press, 1 - 16 (in Chinese with English abstract)

Chen W, Sun S, Zhang Y, *et al.* 2005. $^{40}Ar/^{39}Ar$ geochronology of the Qiugemingtashi-Huangshan ductile shear zone in East Tianshan, Xinjiang, NW China. Acta Geologica Sinica, 79(6): 790 - 804 (in Chinese with English abstract)

Chen ZF, Cheng SD, Liang YH and Xu X. 1997. Opening-closing tectonics and mioneralization in Xijiang. Urumqi: Xinjiang Science Technology and Hygiene Publishing House, 1 - 394 (in Chinese with English abstract)

Cheng SD, Wang GR, Yang SD, *et al.* 1986. The paleo-plate tectonics of Xinjiang. Xinjiang Geology, 4(2): 1 - 26 (in Chinese with English abstract)

Davis GH and Reynolds SJ. 1996. Structural geology of rocks and regions, 2nd edition. New York: John Wiley and Sons, 357 - 371

Deng J, Zhai YS, Yang LQ, *et al.* 1999. Dynamic simulation of tectonic fluid metallogenic system in shear zone. Earth Science Frontiers, 6: 115 - 126 (in Chinese with English abstract)

Feng CY, Ji JS, Xue CJ, *et al.* 1999. Geology and genesis of the Xitan epithermal gold deposit in eastern Tianshan. Xinjiang Geology 17 (1): 1 - 7 (in Chinese with English abstract)

Goldfarb RJ, Groves DI and Gardoll S. 2001. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. Ore Geol. Rev. 18: 1 - 75

Han CM, Mao JW, Yang JM, *et al.* 2002. Types of late Paleozoic endogenetic metal deposits and related geodynamical evolution in the east Tianshan. Acta Geologica Sinica, 76(2): 222 - 234 (in Chinese with English abstract)

He GQ, Li MS, Liu DQ, *et al.* 1994. Paleozoic crustal evolution and mineralization in Xinjiang of China. Urumqi: Xinjiang People's Publishing House, 1 - 477 (in Chinese with English abstract)

Ji JS, Tao HX, Zeng ZR, *et al.* 1994. Geology and mineralization of the Kangurtag gold belt in Eastern Tianshan. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 20 (in Chinese with English abstract)

Ji JS, Xue CJ, Zeng ZR and Yang XK. 1997. Studies on the Kanggurtag

gold belt in Eastern Tianshan, Xinjiang. Geological Review, 43 (1): 69 - 77 (in Chinese with English abstract)

Li HQ, Xie CF, Chang HL, *et al*. 1998. Study on metallogenetic chronology of nonferrous and precious metallic ore deposits in north Xinjiang, China. Beijing: Geological Publishing House: 1 - 244 (in Chinese with English abstract)

Li JY, Wang KZ, Li WQ, *et al*. 2002. Tectonic evolution since the Late Paleozoic and mineral prospecting in eastern Tianshan Mountains, NW China. Xinjiang Geology, 20(4): 295 - 301 (in Chinese with English abstract)

Li JY. 2004. Late Neoproterozoic and Paleozoic tectonic framework and evolution of Eastern Xinjiang, NW China. Geological Review, 50 (3): 304 - 322 (in Chinese with English abstract)

Liu JM, Zhao SR, Liu W, *et al*. 1998. Ore-forming fluid systems in crust. Advance in Earth Sciences, 13: 161 - 165 (in Chinese)

Lu HZ and Chi GX. 1996. Geochemical characteristics of ore forming fluids in shear zone hosted Archean gold deposits. Earth Science Frontiers, 3: 19 - 38

Ma RS, Wang CY, Ye SF, *et al*. 1993. Tectonic framework and crust evolution of Eastern Tianshan. Nanjing: Nanjing University Press, 1 - 225 (in Chinese with English abstract)

Ma TL, Sun LQ and Xu XW. 1998. Structures of the Kanggur gold deposit in eastern Tianshan Mountains, Xinjiang. Journal of Geomechanics, 4(2): 45 - 51 (in Chinese with English abstract)

Mao JW, Godlfarb RJ, Wang YT, *et al*. 2005. Late Paleozoic base and precious metal deposits, East Tianshan, Xinjiang, China: Characteristics and geodynamic setting. Episodes, 28(1): 23 - 36

Mao JW, Yang JM, Han CM, *et al*. 2002. Metallogenic systems of gold and copper polymetallic deposits and related geodynamic model in the eastern Tianshan, Xinjiang. Earth Science, 27(4): 413 - 424 (in Chinese with English abstract)

McCuaig TC and Kerich R. 1998. *P-T-t*-deformation-fluid characteristics of lode gold deposits: evidence from alteration systematics. Ore Geology Reviews, 12(6): 381 - 453

Nesbitt BE. 1988. Gold deposit continuum: A genetic model for lode Au mineralization in the continental crust. Geology, 16: 1044 - 1048

Qin KZ, Fang TH, Wang SL, *et al*. 2002. Plate tectonics division, evolution and metallogenic settings in eastern Tianshan Mountains, NW China. Xinjiang Geology, 20(4): 302 - 308 (in Chinese with English abstract)

Qin KZ, Sun S, Chen HH, Hao J. 1999. Temporal-spatial distribution framework of metal deposits in northern Xinjiang: guides of Paleozoic archipelago-style collision orogenic belts. In: Chen HH, Hou QL and Xiao WJ (eds). Collision Orogenic Belts of China. Beijing: China Ocean Press, 183 - 196 (in Chinese with English abstract)

Rui ZY, Goldfarb RJ, Qiu Y, *et al*. 2002. Paleozoic-early Mesozoic gold deposits of the Xinjiang Autonomous Region, northwest China. Mineralium Deposita, 37: 393 - 418

Shu LS, Charvet J and Ma RS. 1998. Study of a large scale Paleozoic dextral strike-slip ductile shear zone along the northern margin of the Central Tianshan, Xinjiang. Xijiang Geology, 16(4): 326 - 336 (in Chinese with English abstract)

Tu GC. 1994 Recent progresses on the studies and searches for superlarge mineral deposits. Earth Science Frontiers, 3: 45 - 52 (in Chinese with English abstract)

Wang YT, Mao JW, Chen W, Yang JM, Wang ZL and Yang FQ. 2005. Strike-slip fault controls on mineralization in the Kanggurtag gold belt in the Eastern Tianshan, Xinjiang, NW China. In: Mao JW and Bierlein PF (eds). Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1347 - 1349

Wang YT, Mao JW, Li X F and Yang FQ. 2004. Gold mineralization related to the shear zone. Earth Science Frontiers, 11(2): 393 - 400 (in Chinese with English abstract)

Wang YT, Mao JW, Wang ZL, *et al*. 2003. The Kanggur and Matoutan gold depsoits, eastern Tianshan, Xinjiang. In: Mao JW, Goldfarb RJ, Seltmann R, *et al*. (eds). Tectonic Evolution and Metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan. London: CERCAMS, Natural History Museum, 271 - 282

Wang Y, Li JY and Li WQ. 2002. ^{40}Ar-^{39}Ar chronological Evidence of dextral shear and tectonic evolution of the eastern Tianshan orogenic belt. Xinjiang Geology, 20(4): 315 - 320 (in Chinese with English abstract)

Wang ZL, Jiang N, Wang YT, Mao JW and Yang JM. 2004. Genesis of Kanggur gold deposit in Eastern Tianshan orogenic belt, NW China: Fluid inclusion and oxygen and hydrogen isotope constraints. Resource Geology, 54(2): 177 - 185

Xiao WJ, Zhang LC, Qin KZ, *et al*. 2004. Paleozoic accretionary and collisional tectonics of the Eastern Tianshan (China): implications for the continental growth of central Asia. American Journal of Science, 340: 370 - 395

Xu XW, Ma TL, Sun LQ and Cai XP. 2003. Characteristics and dynamic origin of the large-scale Jiaoluotage ductile compressional zone in the eastern Tianshan Mountains, China. Journal of Structural Geology, 25 (11): 1901 - 1915

Xue CJ, Ji JS and Zhang L C. 1999. Research on isotopic chronology of Xitan gold deposit, Xinjiang. Journal of Xi'an Engineering University, 21(4): 6 - 10 (in Chinese with English abstract)

Yang XK, Ji JS and Luo G C, *et al*. 1997. Plate tectonics and metal mineralization in Eastern Tianshan. Journal of Xi'an College of Geology, 19(3): 34 - 42 (in Chinese with English abstract)

Yang XK, Ji JS, Zhang LC, *et al*. 1998. Basic features and gold prognosis of the regional ductile shear zone in eastern Tianshan. Geotectonica et Metallogenia, 22: 209 - 218 (in Chinese)

Zhai YS, Zhang H, Song HL, *et al*. 1997. Macroscopic Structures and Superlarge Ore deposits. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 180 (in Chinese)

Zhang LC, Ji JS, Li HQ, *et al*. 2000. Geochemical characteristics and sources of the two types ore-forming fluids of the Kanggurtag gold belt in Eastern Tianshan. Acta Petrologica Sinica, 16(4): 15 - 19 (in Chinese with English abstract)

Zhang LC, Shen YC and Ji JS. 2003. Characteristics and genesis of Kanggur gold deposit in the eastern Tianshan mountains, NW China: Evidence from geology, isotope distribution and chronology. Ore Geol. Rev. 23: 71 - 90

Zhang LC, Xiao WJ, Qin KZ, *et al*. 2004. Types, geological features and geodynamic significances of gold-copper deposits in the Kanggurtag metallogenic belt, eastern Tianshan, NW China. International Journal of Earth Science, 93: 224 - 240

Zhang LC. 1995. Plate tectonics and dynamic characteristics of Xinjiang, China. In: Selected academic theses of 3rd Tianshan geology and mineral resources symposium of Xinjiang. Urumqi: Xinjiang People's

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Publishing House, 1 - 14(in Chinese with English abstract)

Zhou JY, Mao YS, Huang ZX, *et al*. 1994. Volcano geology of the ancient continental margin in Eastern Tianshan. Chengdu: Press of Chengdu Science and Technology University, 1 - 280 (in Chinese with English abstract)

Zhu YF. 2004. Ductile-shear zone related gold deposits in craton and Paleozoic orogenic belt: An analysis of their ore-forming processes and environments. Mineral Deposits, 23(4): 509 - 519(in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

蔡仲举. 1998. 康古尔韧性剪切带金矿床成矿特征与成因. 新疆地质,16(2):163 - 178

陈海泓,侯泉林,肖文交. 1999. 多岛海型碰撞造山作用初探-以北疆和华南地区为例. 陈海泓,侯泉林,肖文交主编,中国碰撞造山带研究. 北京:地质出版社,1 - 16

陈文,孙枢,张彦等. 2005. 新疆东天山秋格明塔什-黄山韧性剪切带$^{40}Ar/^{39}Ar$年代学研究. 地质学报,79(6): 790 - 804

陈哲夫,成守德,梁云海,徐新. 1997. 新疆开合构造与成矿. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1 - 394

成守德,王广瑞,杨树德等. 1986. 新疆古板块构造. 新疆地质,4(2):1 - 26

邓军,翟裕生,杨立强等. 1999. 剪切带构造流体成矿系统动力学模拟. 地学前缘, 6: 115 - 126

韩春明,毛景文,杨建民等. 2002. 东天山晚古生代内生金属矿床类型及地球动力学演化. 地质学报,76(2): 222 - 234

何国琦,李茂松,刘德权等. 1994. 中国新疆古生代地壳演化与成矿. 乌鲁木齐:新疆人民出版社,1 - 477

姬金生, 陶洪祥, 曾章仁等. 1994. 东天山康古尔塔格金矿带地质与成矿. 北京:地质出版社,1 - 204

姬金生, 薛春纪,曾章仁,杨兴科. 1997. 新疆东天山康古尔塔格金矿带研究. 地质论评,43(1):69 - 77

李华芹,谢才富,常海亮等. 1998. 新疆北部有色金属贵金属矿床成矿作用年代学. 北京:地质出版社,202 - 220

李锦轶,王克卓,李文铅等. 2002. 东天山晚古生代以来大地构造与矿产勘查. 新疆地质,20(4): 295 - 301

李锦轶. 2004. 新疆东部新元古代晚期和古生代构造格局及其演变. 地质论评,50(3):304 - 322

刘建明,赵善仁,刘伟等. 1998. 成矿地质流体体系的主要类型. 地球科学进展,13: 161 - 165

马瑞士,王赐银,叶尚夫等. 1993. 东天山构造构造格架及地壳演化. 南京:南京大学出版社,1 - 225

马天林,孙立蒲,徐兴旺. 1998. 新疆东天山康古尔金矿控矿构造特征. 地质力学学报,4(2):45 - 52

毛景文,杨建民,韩春明,王志良. 2002. 东天山铜金多金属矿床成矿系统和成矿地球动力学模型. 地球科学,27(4):413 - 423

秦克章,方同辉,王书来等. 2002. 东天山板块构造分区、演化与成矿地质背景研究. 新疆地质,20(4):302 - 308

秦克章,孙枢,陈海泓,郝杰. 1999. 新疆北部金属矿床时空分布格局-古生代多岛海型碰撞造山带的标志. 陈海泓,侯泉林,肖文交主编,中国碰撞造山带研究. 北京:地质出版社,183 - 196

舒良树,夏飞雅克,马瑞士. 1998. 中天山北缘大型右旋走滑韧剪带研究. 新疆地质,16(4):326 - 336

涂光炽. 1994. 超大型矿床的探寻与研究的若干问题. 地学前缘,3: 45 - 52

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

王瑞,李锦轶,李文铅. 2002. 东天山造山带右行剪切变形及构造演化的^{40}Ar-^{39}Ar年代学证据. 新疆地质, 20(4):315 - 319

肖序常,汤耀庆,李锦轶等. 1990. 试论新疆北部大地构造演化. 新疆地质科学,第一辑. 北京: 地质出版社,47 - 68

薛春纪,姬金生,张连昌等. 1999. 新疆西滩金矿床同位素年代学研究. 西安工程学院学报,21(4):6 - 10

杨兴科, 姬金生, 罗桂昌,陶洪祥. 1997. 东天山板块构造与金属矿产成矿规律. 西安地质学院学报,19(3):34 - 42

杨兴科,姬金生,张连昌等. 1998. 东天山大型韧性剪切带基本特征与金矿预测. 大地构造与成矿学, 22: 209 - 218

翟裕生,张湖,宋鸿林等. 1997. 大型构造与超大型矿床. 北京:地质出版社,1 - 180

张连昌,姬金生,李华芹等. 2000. 东天山康古尔塔格金矿带两类成矿流体地球化学特征及流体来源. 岩石学报,16(4):536 - 541

张良臣. 1995. 中国新疆板块构造与动力学特征. 新疆第三届天山地质矿产学术讨论会论文选集. 乌鲁木齐:新疆人民出版社, 1 - 14

周济元,茅燕石,黄志勋等. 1994. 东天山古大陆边缘火山地质. 成都:成都科技大学出版社,1 - 280

朱永峰. 2004. 克拉通和古生代造山带中的韧性剪切带型金矿:金矿成矿条件与成矿环境分析. 矿床地质,23(4):509 - 519