新疆东天山红石金矿床成矿流体和成矿物质来源示踪*

王义天[1] 张文智[2] 王磊[2] 毛景文[1] 杨富全[1] 陈文[3]

WANG YiTian[1], ZHANG WenZhi[2], WANG Lei[2], MAO JingWen[1], YANG FuQuan[1] and CHEN Wen[3]

1. 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037
2. 新疆地质矿产局第一地质大队,新疆鄯善 838204
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. *The No.* 1 *Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Shanshan Xinjiang* 838204, *China*
3. *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100037, *China*

2007-03-29 收稿,2007-05-07 改回.

Wang YT, Zhang WZ, Wang L, Mao JW, Yang FQ and Chen Wen. 2007. Tracing the sources of ore-forming fluids and materials of the Hongshi gold deposit in the Eastern Tianshan, Xinjiang, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 23(8): 1998-2006

Abstract The Hongshi gold deposit is one of typical deposits from the Kanggurtag gold belt in the Eastern Tianshan, Xinjiang, NW China. Fluid inclusion and H, O, C, and S stable isotopic studies on the deposit have been carried out in this paper. The obtained data from fluid inclusion study indicate that the ore-forming fluids are rich in CO_2 and characterized by middle-low temperature, low salinity, and middle-low density. Concurrently, hydrogen ($\delta D_{SMOW} = -104‰ \sim -63‰$) and oxygen ($\delta^{18}O_{石英} = 13.8‰ \sim 15.5‰$, $\delta^{18}O_{水} = -1.7‰ \sim 6.1‰$) isotopic compositions of quartz, and carbon ($\delta^{13}C_{PDB} = -3.5‰ \sim -2.7‰$) and oxygen ($\delta^{18}O_{PDB} = -28.9‰ \sim -26.5‰$、$\delta^{18}O_{SMOW} = 1.1‰ \sim 3.5‰$) isotopic compositions of calcite indicate that the ore-forming fluids are derived from the both the deep fluid and the magmatic fluid, and mixed with meteoric water at last stage. Sulfur isotopes of pyrite range $-11.5‰ \sim 3.8‰$ with average value of 1.73‰, implying the sulfur of ore-forming materials is characterized by deep-seated sulfur similar to that of meteorite. Briefly, the mineralization process of the Hongshi gold deposit can be summarized as follows: In the regional shearing regime, the deep fluids rich in metallogenic elements flow upward inside the shear system, and mixed eventually with the shallow fluids, and experience the replacement with country rocks. Finally, metallogenic elements concentrate and deposit within the shear zone due to the change of physical-chemical conditions in the shallow level.

Key words Fluid inclusion, Stable isotope, Hongshi gold deposit, Kanggurtag gold belt, Eastern Tianshan

摘 要 红石金矿床是新疆东天山康古尔塔格金矿带中的代表性矿床之一,本文对其进行了比较系统的流体包裹体和稳定同位素研究。流体包裹体研究结果表明,红石金矿床的成矿流体为中低温、低盐度、中低密度的富 CO_2 流体。石英氢同位素组成 δD_{SMOW} 为 $-104‰ \sim -63‰$,石英氧同位素组成 $\delta^{18}O_{石英}$ 为 $13.8‰ \sim 15.5‰$、$\delta^{18}O_{水}$ 为 $-1.7‰ \sim 6.1‰$。方解石碳同位素组成 $\delta^{13}C_{PDB}$ 为 $-3.5‰ \sim -2.7‰$,方解石氧同位素组成 $\delta^{18}O_{PDB}$ 为 $-28.9‰ \sim -26.5‰$、$\delta^{18}O_{SMOW}$ 为 $1.1‰ \sim 3.5‰$。H、O、C 同位素组成特征指示红石金矿床成矿流体主要起源于深部,后期混合有大气水。黄铁矿硫同位素组成 $\delta^{34}S$ 为 $-11.5‰ \sim 3.8‰$,集中于 $0.4‰ \sim 3.8‰$,平均值为 1.73‰,指示了成矿物质中的硫具有接近陨石硫的深源特征。红石金矿床的成矿作用可概括为富含成矿元素的深源流体在区域剪切构造作用下沿剪切系统不断向上运移,逐渐与浅部流体混合并与围岩发生交代蚀变作用,由于物理化学条件的改变,成矿元素最终在剪切扩容空间中富集成矿。

关键词 流体包裹体; 稳定同位素; 红石金矿床; 康古尔塔格金矿带; 东天山

中图法分类号 P618.51

---

* 国家重点基础研究规划项目课题(2007CB411302 和 2001CB409807)资助成果。

第一作者简介:王义天,男,1969 年生,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: wyt 69@263.net

新疆东天山中部发育的康古尔塔格金矿带呈东西向展布,长300km余,是新疆地区一个成矿远景巨大的黄金产区,已发现金矿床(点)近30处。前人对康古尔塔格金矿带中产出的金矿床从多角度、多层次进行了卓有成效的研究工作,尤其是对其中典型的康古尔和石英滩金矿床开展了大量的研究,对金矿成矿作用的特征和机制的认识不断深入。红石金矿床也是该金矿带的代表性矿床之一,但对其研究较少,已报道的工作只有王莉娟等(2006)在研究新疆准噶尔和东天山地区产于韧性剪切带中三个金矿床的成矿流体时,对红石金矿的少量样品进行了石英流体包裹体的碳同位素和硫化物的硫、铅同位素研究。本文通过对该矿床进行比较系统的流体包裹体和稳定同位素地球化学研究,揭示其成矿流体和成矿物质的来源,并结合前人有关康古尔塔格金矿带的区域构造演化和成矿作用等方面的研究成果,探讨红石金矿床的成因机制,为进一步认识康古尔塔格金矿带的成矿作用机制和规律提供新的证据。

1 区域成矿背景

呈东西向展布于准噶尔盆地和塔里木盆地之间的新疆东天山造山带,被认为是哈萨克斯坦-准噶尔板块与塔里木板块在晚古生代期间会聚碰撞的产物(肖序常等,1992;马瑞士等,1993;姬金生等,1994;周济元等,1994;张良臣,1995;李锦轶,2004),或是古生代以来发育起来的多岛洋(海)体系会聚的产物(陈海泓等,1999;秦克章等,1999;Xiao *et al.*, 2004)。三条近东西向的大型断裂带奠定了东天山造山带的基本构造格架,自北向南依次为康古尔塔格断裂带、雅满苏-苦水断裂带和阿其克库都克断裂带(图1)。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,根据岩石组成可以划分出三大岩性单元,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。在晚古生代的碰撞造山过程中,秋格明塔什-黄山复理石岩带经历了强烈的中深层次的构造变形,普遍发育片理化和糜棱岩化作用,形成砂质千糜岩、片理化沉凝灰岩、片理化长石岩屑细砂岩等构造岩系列,构成大型秋格明塔什-黄山韧性剪切带的主体,康古尔塔格金矿带即主要发育在该剪切带的南部边缘(图1)。

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,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

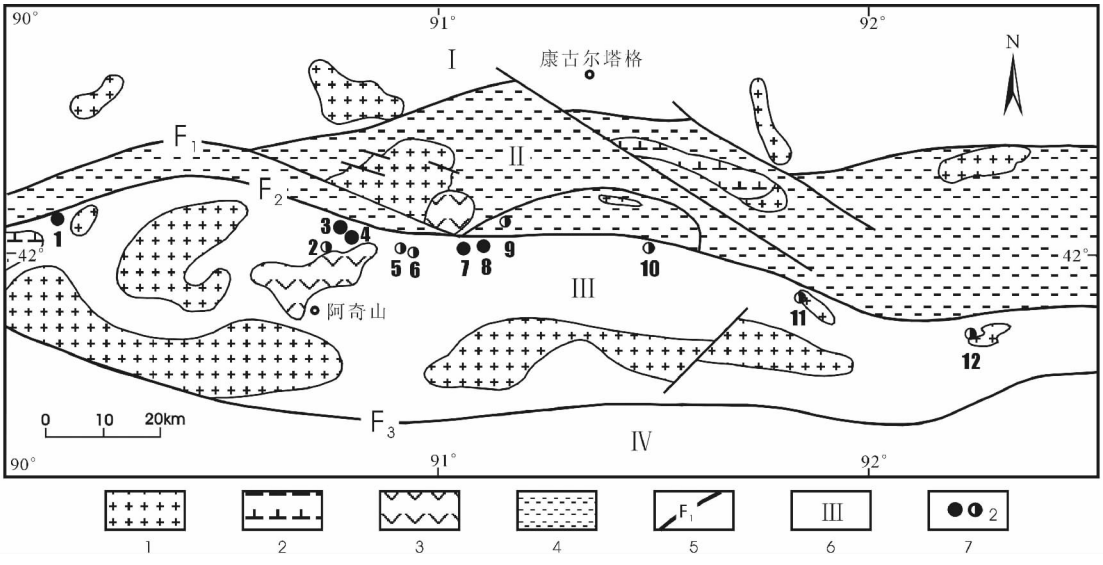


图1 东天山康古尔塔格金矿带中西段地质简图

1-晚古生代花岗岩;2-晚古生代花岗闪长岩;3-晚古生代英云闪长岩;4-大型韧性剪切带;5-区域断裂带及编号;6-构造单元编号;7-金矿床(点)及编号 1-石英滩,2-麻黄沟,3-红石,4-环耳山,5-康西,6-回归,7-康古尔,8-马头滩,9-元宝山,10-大东沟,11-小尖山,12-西凤山;构造单元:Ⅰ-小热泉子-大南湖火山岩带,Ⅱ-秋格明塔什-黄山韧性剪切带,Ⅲ-阿奇山-雅满苏火山岩带,Ⅳ-中天山;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-阿其克库都克断裂带

Fig. 1 Geological sketch map of the middle-west section of the Kanggurtag gold belt in the Eastern Tianshan

Legends: 1-Late Paleozoic granite, 2-Late Paleozoic granodiorite, 3-Late Paleozoic tonalite, 4-Giant ductile shear zone, 5-Regional fault belt and number, 6-Number of tectonic unit, 7-gold deposit (occurrence) and number. Tectonic units: Ⅰ-Tuwu-Haerlik island arc, Ⅱ-Qiugemingtashi-Huangshan ductile shear zone, Ⅲ-Aqishan-Yamansu island arc, Ⅳ-Central Tianshan. Regional fault belts: F_1-Kanggurtag fault belt, F_2-Yamansu-Kushui fault belt, F_3-Aqikekuduke fault belt; Gold deposits (occurrences): 1-Shiyingtan, 2-Mahuanggou, 3-Hongshi, 4-Huanershan, 5-Kangxi, 6-Huigui, 7-Kanggur, 8-Matoutan, 9-Yuanbaoshan, 10-Dadonggou, 11-Xiaojianshan, 12-Xifengshan

建造。小热泉子-大南湖火山岩带主要由泥盆纪和早石炭世的火山沉积岩系及中酸性侵入岩组成,在七克台-康古尔一线以东地区称为企鹅山群,以西地区称为小热泉子组。阿奇山-雅满苏火山岩带内出露石炭系雅满苏组钙碱性-碱性-中酸性火山岩及其碎屑岩、碳酸盐岩,石炭系土古土布拉克组钙质砾岩和中酸性火山碎屑岩,以及侏罗系煤窑沟组沉积岩系。其中石炭系地层普遍发生低绿片岩相、葡萄石-绿纤石相等低级变质作用,其北缘经历了区域构造变形,成为秋格明塔什-黄山韧性剪切带的边缘部分。

东天山地区的岩浆活动频繁强烈,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,到中酸性等各类岩浆岩均有发育,其中基性-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发育。

在东天山康古尔塔格金矿带中已发现规模不等的金矿床(点)近 30 个(图 1),主要金矿床类型可划分为三种(姬金生等,1997;Rui *et al.*,2002;Mao *et al.*,2005):浅成低温热液型(如石英滩金矿)、剪切带交代蚀变岩型(如康古尔金矿)以及与中浅成花岗岩类有关的石英脉型(如西凤山金矿)。

2 矿床地质特征

红石金矿床产于康古尔塔格金矿带的西段,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;东距康古尔金矿约 30km,西距石英滩金矿约 45km(图 1)。赋矿地层为下石炭统干墩组,岩性主要为放射虫硅质岩、碎屑岩夹少量火山碎屑岩和薄层灰岩,主要赋矿岩段的岩性为灰绿色片理化细砂岩夹薄层状沉凝灰岩。干墩组岩石普遍遭受糜棱岩化和片理化变形,普遍发育拉伸线理,形成从糜棱岩、千糜岩到构造片岩的构造岩系列组合。片理走向近东西,普遍倾向北,倾角 60°~80°。矿区范围内侵入岩发育普遍,主要以晚古生代的中酸性岩体为主,在矿区南侧出露大面积的英云闪长岩,北侧出露花岗闪长岩小岩体。

红石金矿床目前已圈定出 3 条金矿脉 L_1、L_2 和 L_3,总体走向 100°左右,一般倾向南,局部近直立。L_1 金矿脉断续长度 1100m,厚度 0.47~7.65m,圈出 2 个金矿体(L_{1-1} 和 L_{1-2}),平均金品位为 4.0g/t。L_2 金矿脉位于 L_1 金矿脉西侧 300m,二者呈雁列式平行展布。控制矿体长度 240m,厚度 0.37~11.32m,矿体呈不对称透镜状,平均金品位为 4.5g/t。L_3 金矿脉为盲矿体,位于 L_{1-2} 号矿体下部 10~20m 处并与之平行,由相互近于平行、间距为 2~3m 的四条矿体组成,平均金品位为 3.6g/t。金矿石主要由含金石英脉和含金蚀变糜棱岩等两种类型组成。矿石矿物主要有自然金、黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、菱铁矿和褐铁矿等,脉石矿物主要有石英、绿泥石、绢云母、方解石和钾长石等。根据矿物组合和生成顺序,可以划分出三个成矿阶段,即阶段Ⅰ为石英-黄铁矿阶段;阶段Ⅱ为石英-多金属硫化物阶段;阶段Ⅲ为石英-碳酸盐脉阶段。矿石结构主要有粒状结构和交代结构,矿石构造主要有块状构造、网脉状构造、细脉浸染状构造、条带状构造和角砾状构造等。围岩蚀变普遍发育,主要类型有硅化、绿泥石化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化、钾长石化、黄铜矿化和绿帘石化。围岩蚀变具有一定的分带性,靠近矿体以硅化、绿泥石化、黄铁矿化、黄铜矿化和绢云母化为主,远离矿体的蚀变主要为绢云母化、碳酸盐化、钾长石化和绿帘石化等。

3 样品与测试方法

本次工作从红石金矿床样品中选择了 10 件金矿石样品用于测试分析,其中 1 件样品(HS-30)采于地表探槽,其余 9 件样品采于 110m 中段的坑道中。对其中的 4 件样品进行了流体包裹体的显微测温,分析工作在中国地质科学院矿产资源研究所流体包裹体与成矿模拟实验室完成,分析仪器为 Linkam 显微冷热台。从上述 10 件金矿石样品中共分离出 8 个石英、7 个黄铁矿和 2 个方解石等 17 个单矿物样品,纯度达 99% 以上,对其进行稳定同位素测试,分析工作在国土资源部同位素地质开放研究实验室完成,分析仪器为 MAT-251EM 质谱计。

3.1 流体包裹体显微测温

将金矿石样品磨制成厚度为 0.25~0.3 mm 的双面抛光薄片,对其中的热液矿物石英和方解石进行流体包裹体岩相学和均一法测温研究。用于流体包裹体显微测温的冷热台工作温度范围是 -196℃ ~ +600℃,测试精度为 ±0.1℃。显微测温结果见表 1。

3.2 氢同位素

将石英单矿物样品清洗、去除吸附水和次生包裹体后,用加热爆裂法从样品中提取原生流体包裹体中的 H_2O,将 H_2O 同 Zn 在 400℃ 条件下反应 30 min 制取 H_2,然后在质谱计上测定 H_2 的 δD 值,测试精度为 3‰。测试结果见表 2,8 件石英样品的 H 同位素组成范围是 -104‰ ~ -63‰。

3.3 氧同位素

石英氧同位素组成分析采用 BrF_5 法,在质谱计上测定 $\delta^{18}O$ 值,测试精度为 0.2‰。测试结果见表 2,8 件石英样品的 O 同位素组成范围是 13.8‰~15.5‰。

3.4 硫同位素

将黄铁矿样品同 CuO、V_2O_5 混合氧化剂在高温真空条件下进行反应制取 SO_2,然后在质谱计上测定 SO_2 的 $\delta^{34}S$ 值,测试精度为 ±0.2%。分析结果见表 2。7 件黄铁矿样品的 S 同位素组成范围是 -11.5~3.8‰。

表 1　东天山红石金矿床流体包裹体显微测温结果

Table 1　Microthermometric data of fluid inclusions from the Hongshi gold deposit in the Eastern Tianshan

样品号	主矿物	包裹体类型	冰点(℃)		盐度(wt% NaCl)		CO_2 包裹体						完全均一温度(℃)	
			范围	平均值	范围	平均值	初熔温度(℃)	笼形水合物熔化温度(℃)		部分相均一温度(℃)		CO_2相密度(g/cm^3)		
								范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	
398HS-17	石英	两相气液富 CO_2	-7.2 ~ -4.0	-5.5 (8)	6.45 ~ 10.73 4.87 ~ 6.11	8.51 (8) 5.63 (4)	-59.1	6.8 ~ 7.5	7.1 (4)	24.5 ~ 28.1	25.9 (4)	0.651 ~ 0.710	0.688 (4)	127 ~ 353 241 ~ 264	219 (8) 250 (3)
	方解石	两相气液	-45 ~ -3.6	-3.9 (5)	5.86 ~ 7.17	6.36 (5)								209 ~ 236	227 (5)
398HS-19	石英	两相气液	-4.6 ~ -0.6	-2.8 (13)	1.05 ~ 7.31	4.56 (13)								113 ~ 210	148 (14)
398HS-20	石英	两相气液	-5.6 ~ -3.0	-4.2 (9)	4.96 ~ 8.86	6.67 (9)								177 ~ 299	228 (12)
398HS-30	石英	两相气液富 CO_2	-5.1 ~ -0.7	-3.5 (6)	1.23 ~ 8.00 3.94 ~ 8.61	5.60 (6) 5.93 (5)	-58.8	5.3 ~ 8.0	6.9 (5)	20.2 ~ 28.2	25.2 (5)	0.649 ~ 0.764	0.700 (5)	150 ~ 347 225 ~ 298	247 (12) 257 (3)

注:括号中数字为所测包裹体的数量。测试单位:中国地质科学院矿产资源研究所; 测试者:陈伟十。

表 2　东天山红石金矿床 H、O、C、S 同位素组成分析结果

Table 2　H, O, C, and S isotopic compositions of the Hongshi gold deposit in the Eastern Tianshan

序号	样品号	样品描述成矿阶段	成矿阶段	δD_{SMOW}(‰)	$\delta^{18}O_{石英}$(‰)	t(℃)	$\delta^{18}O_{水}$(‰)	$\delta^{34}S_{VCDT}$(‰)	$\delta^{13}C_{PDB}$(‰)	$\delta^{18}O_{PDB}$(‰)	$\delta^{18}O_{SMOW}$(‰)
1	HS-3	黄铁矿化硅化蚀变岩	Ⅱ	-104	14.6	225	4.4	0.4	—	—	—
2	HS-5	方铅矿黄铁矿硅化蚀变岩	Ⅱ	-90	14.4	230	4.4	—	-3.5	-28.9	1.1
3	HS-7	黄铁矿硅化蚀变岩	Ⅱ	-95	14.8	200	3.1	1.9	—	—	—
4	HS-8	石英碳酸盐细脉	Ⅲ	-80	15.2	150	-0.3	—	-2.7	-26.5	3.5
5	HS-12	片理化黄铁矿化硅化蚀变围岩	Ⅱ	—	—			-11.5	—	—	—
6	HS-14	片理化硅化绿泥石化蚀变围岩	Ⅱ	—	—			-8.8	—	—	—
7	HS-17	黄铁矿化硅化蚀变岩	Ⅱ	-81	15.1	225	4.9	1.1	—	—	—
8	HS-19	黄铁矿化石英碳酸盐脉	Ⅲ	-86	13.8	150	-1.7	1.4	—	—	—
9	HS-20	黄铁矿化石英脉与蚀变岩	Ⅱ	-91	14.0	230	4.0	3.8	—	—	—
10	HS-30	钾化石英脉	Ⅰ	-63	15.5	240	6.1	—	—	—	—

注:H、O 同位素测试的样品为石英,S 同位素测试的样品为黄铁矿,C、O 同位素测试的样品为方解石。测试单位:国土资源部同位素实验室; 测试者:罗续荣,万德芳,王成玉。

3.5 碳氧同位素

将方解石同磷酸在25℃条件下反应制取 CO_2,然后在质谱计上测定 CO_2 的 $\delta^{13}C$ 和 $\delta^{18}O$,测试精度为 ±0.2‰。用 Friedman 的公式:$\delta^{18}O_{SMOW} = 1.03086 \times \delta^{18}O_{PDB} + 30.86$,计算获得 $\delta^{18}O_{SMOW}$ 值。分析与计算结果见表2。2件方解石样品的 $\delta^{13}C_{PDB}$ 值分别为 -3.5‰和 -2.7‰,$\delta^{18}O_{PDB}$ 值分别为 -28.9‰和 -26.5‰,$\delta^{18}O_{SMOW}$ 值分别为1.1‰和3.5‰。

4 测试结果分析

4.1 成矿流体特征

流体包裹体的岩相学研究(图2)表明,红石金矿床石英中原生流体包裹体普遍发育,但包裹体一般较小,大小在2~5μm者居多。包裹体形态多呈浑圆状、长条状和不规则状等。

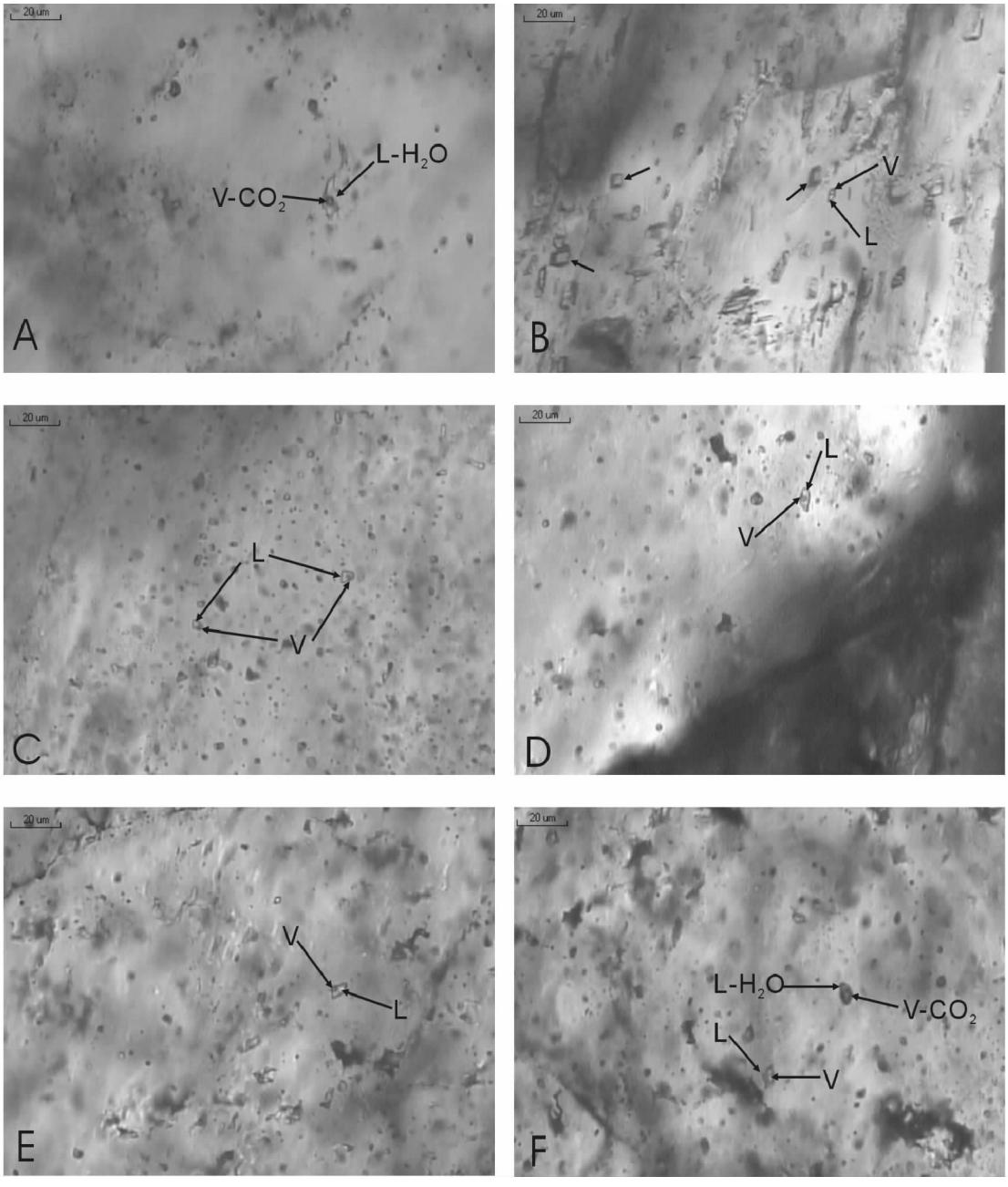


图2 红石金矿床流体包裹体显微照片

A、C、D、E、F为石英中的流体包裹体,B为方解石中的流体包裹体;L-液相,V-气相,$V\text{-}CO_2$-气相二氧化碳,$L\text{-}H_2O$-液相水;比例尺都为20μm

Fig. 2 Micrographs of fluid inclusions from the Hongshi gold deposit in the Eastern Tianshan

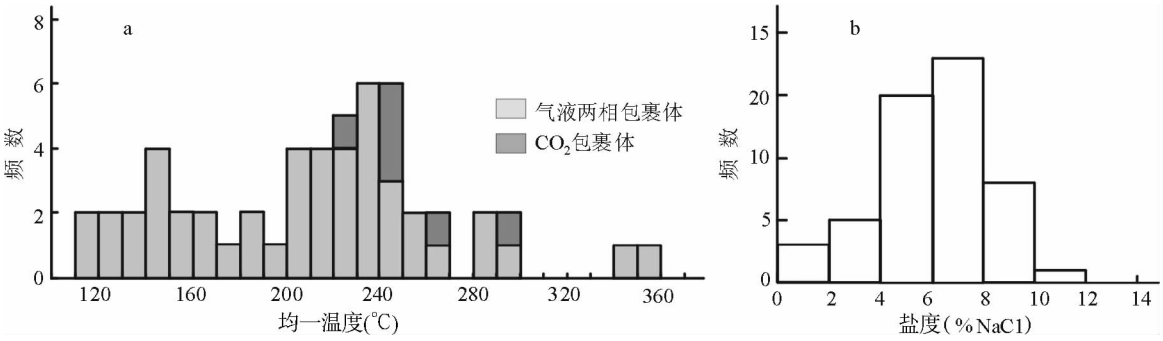


图3 红石金矿床流体包裹体均一温度直方图(a)和流体包裹体盐度直方图(b)

Fig. 3 Histogram of homogenization temperatures (a) and histogram of salinities (b) for fluid inclusions from the Hongshi gold deposit in the Eastern Tianshan

包裹体类型主要为气液两相包裹体,以及少量富 CO_2 包裹体。大多数包裹体比较透明,不同相之间界线比较清晰,少数包裹体颜色较暗,看不清其相态。气液两相包裹体气液比范围 10% ~20% ±,富 CO_2 包裹体中 CO_2 体积一般占包裹体体积 20% ~50% ±,个别大者可达 60%。方解石中的原生流体包裹体零散分布,主要为气液两相包裹体,包裹体气液比 20% ~30%,形态呈负晶形和不规则状。另外还观察到极少数包裹体中含有固相子矿物,子矿物为浅绿色,呈长条形和方形,由于极为细小而无法确定其成分。

流体包裹体显微测温结果(表 1)表明,红石金矿床流体包裹体的完全均一温度范围 113℃ ~353℃,出现两个峰值区(图 3a):140℃ ~150℃、200℃ ~250℃。其中,富 CO_2 包裹体的完全均一温度出现在高值区,平均值为 253℃。富 CO_2 包裹体部分相均一至液态 CO_2 的部分均一温度范围 20.2℃ ~28.2℃,平均值为 25.6℃。包裹体中 CO_2 的固相初熔温度 -58.5℃ ~ -59.1℃,反映流体包裹体中还存在 CH_4 和 N_2 等组分。Graupner *et al.* (2001)用激光拉曼光谱研究穆龙套金矿流体包裹体的结果显示,当纯 CO_2 的初熔温度为 -56.9℃ ~ -58.5℃,CH_4 的含量为 2.0% ~15.0 mol %,N_2 的含量 <0.5%;当初熔温度降低为 -60.9℃ ~ -62.4℃,CH_4 含量达 16.4% - 39.5 mol %,N_2 的含量最高可达 10%。以上均一温度数据表明,红石金矿床的成矿作用属于中低温,由早期到晚期成矿温度逐渐降低。

根据测温数据估算的红石金矿床流体包裹体的盐度范围 1.05% ~10.73% NaCl,平均值为 6.18% NaCl,总的峰值为 7.00% NaCl(表 1,图 3b)。其中,两相气液包裹体的盐度范围较宽,平均值为 6.34% NaCl。富 CO_2 包裹体的盐度范围集中于 3.94 ~8.61% NaCl,平均值为 5.79% NaCl。上述数据显示红石金矿床的成矿流体属低盐度,其中富 CO_2 包裹体的盐度相对较低。

将所测得的红石金矿床流体包裹体均一温度和盐度数据投影到的温度-盐度-密度相图(图 4)上显示,流体的密度范围 0.72 ~0.97g/cm^3,属于中低密度。其中富 CO_2 包裹体

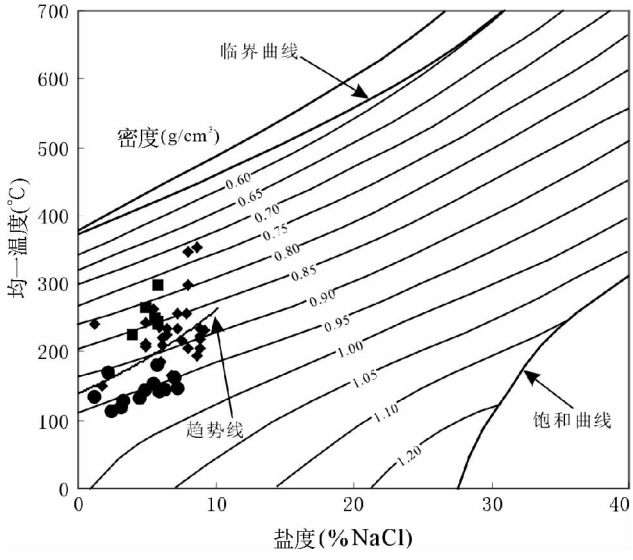


图4 红石金矿床流体包裹体均一温度-盐度-密度相图(底图据 Bodnar,1983). 图中菱形数据点代表早期成矿阶段的气液两相包裹体,圆形数据点代表成矿晚期石英碳酸盐脉的气液两相包裹体,正方形数据点代表富 CO_2 包裹体

Fig. 4 Diagram of homogenization temperature-salinity-density for fluid inclusions from the Hongshi gold deposit in the Eastern Tianshan (The base diagram is after Bodnar, 1983)

的密度范围 0.77 ~0.86g/cm^3,略高于 CO_2 相的密度值(0.649 ~0.764g/cm^3,表 1)。同时,数据点的趋势分析表明,均一温度与盐度之间显示出正相关的变化关系,即盐度随温度的降低而降低,尤其是成矿晚期流体的这种变化趋势十分显著,指示了低温度、低盐度的大气水与早期流体混合导致了成矿流体的降温稀释过程。但富 CO_2 包裹体的盐度随着温度的变化则相对稳定,可能指示了早期流体在混合前发生的温度降低过程(Zhu et al, 2001)。

总之,流体包裹体的研究结果表明,红石金矿床的成矿

流体属于 H_2O-CO_2 体系,流体总体特征表现为中低温、低盐度、中低密度、富 CO_2。盐度稳定的富 CO_2 包裹体的发育,指示了成矿流体可能来自深部(Graupner *et al.*, 2001; Zhu *et al.*, 2001)。成矿作用由早期到晚期,成矿流体的温度和盐度呈现降低的趋势,晚期阶段温度和盐度的显著降低,反映了大气水的广泛参与。

4.2 成矿流体来源

4.2.1 氢、氧同位素示踪

金矿石样品的石英氢同位素组成为 -104‰ ~ -63‰,变化范围相对较大。氧同位素组成为 13.8‰ ~ 15.5‰,数值范围很集中,表明在成矿过程中氧同位素组成基本保持不变。根据氧同位素分馏公式:$1000\ln\alpha_{石英-水} = 3.38 \times 10^6/T^2 - 3.40$(Clayton *et al.*,1972),计算获得包裹体水的 $\delta^{18}O$ 值范围为 -1.7‰ ~ 6.1‰,与变质水和岩浆水的氧同位素组成范围(Sheppard,1977)一致或接近。在 δD-$\delta^{18}O$ 图解中(图5),数据点主要集中分布于岩浆水和变质水分布区域的左下方,钾长石化石英脉(样品 HS-30)的数据点则落入变质水岩浆水重叠区域,成矿晚期阶段的石英碳酸盐脉(样品 HS-8 和 HS-19)的数据点则更靠近大气水。除 HS-8 和 HS-19 两个样品数据外,其它数据在 $\delta^{18}O$ 值基本稳定(3.1‰ ~ 6.1‰)的情况下,δD 值表现出由大到小的变化趋势。上述数据特征表明,成矿流体的来源接近于变质水和岩浆水的混合水,在流体演化过程中主要是氢同位素含量远高于各类岩石的大气水的加入导致了成矿流体 δD 值的波动,在晚期成矿阶段,大气水的参与显著增强。这与前文介绍的流体包裹体的温度和盐度变化所提供的成矿流体演化信息相一致。红石金矿床产于发育低绿片岩相变质作用的韧性剪切带中,矿区内中酸性侵入体发育,氢氧同位素组成特征与这些成矿地质特征相吻合,指示了红石金矿床的成矿流体起源于深部,区域大型剪切构造变形及其所引发的低级变质作用(动力变质作用)在成矿流体形成和多源流体混合演化过程中具有重要意义。红石金矿床的氢氧同位素组成特征与康古尔金矿床(Zhang *et al.*,2003)相类似,而与中天山天格尔剪切带型金矿床的特征不同,其氢氧同位素组成远离岩浆水的组成范围,指示了岩浆来源的流体在成矿作用中不具重要意义(Zhu *et al.*, 2007)。

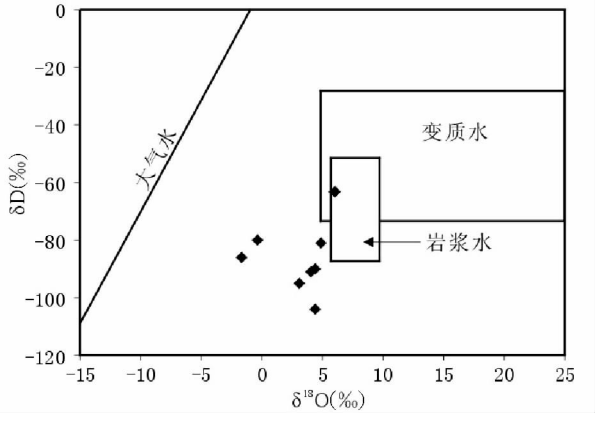


图5 东天山红石金矿床石英流体包裹体 δD-$\delta^{18}O$ 图解(底图据 Sheppard,1977)

Fig. 5 δD vs. $\delta^{18}O$ diagram of quartz fluid inclusions from the Hongshi gold deposit in the Eastern Tianshan (The base diagram is after Sheppard, 1977)

4.2.2 碳、氧同位素示踪

红石金矿床的方解石碳同位素组成为 -3.5‰ ~ -2.7‰,与 Rollinson(1993)根据碳酸岩、金伯利岩和金刚石等厘定的地幔碳同位素组成($\delta^{13}C_{PDB} = -3‰ \sim -8‰$),以及海相碳酸盐碳同位素组成($\delta^{13}C_{PDB} = -1‰ \sim 2‰$)范围接近,指示了成矿流体中碳的混合来源特征,即由幔源岩浆带入的地幔碳和由碳酸盐地层中大气降水循环淋滤出的地层碳组成。王莉娟等(2006)分析了红石金矿石英流体包裹体中 CO_2 的碳同位素组成,$\delta^{13}C_{PDB}$ 值的范围 -6.75‰ ~ -5.17‰,与方解石矿物的碳同位素组成范围基本相似,同样指示了其来源的深源性。其东侧康古尔金矿碳酸盐脉的碳同位素组成为 -6.2‰ ~ -2.4‰(王志良等,2004),与红石金矿基本一致。而其西侧的石英滩金矿石英流体包裹体中 CO_2 的 $\delta^{13}C_{PDB}$ 值为 -24.34‰(王莉娟等,2005),则指示其成矿流体的沉积来源。

红石金矿床的方解石氧同位素组成($\delta^{18}O_{PDB} = -28.9‰ \sim -26.5‰$,$\delta^{18}O_{SMOW} = 1.1‰ \sim 3.5‰$)位于花岗岩类、变质岩和大气降水的重叠区域内(Sheppard, 1977; Rollinson, 1993)。康古尔金矿碳酸盐脉的碳、氧同位素总体特征反映了来源于深部(包括幔源)的成矿流体在演化过程中与围岩发生混染蚀变的趋势(王志良等,2004)。相比较而言,红石金矿床与围岩干墩组大理岩碳、氧同位素组成($\delta^{13}C_{PDB} = 3.9‰ \sim 4.0‰$,$\delta^{18}O_{SMOW} = 24.4‰ \sim 25.5‰$,王志良等,2004)明显不同,表明其成矿流体的演化受大气水的影响更显著一些,这与其氢、氧同位素组成特征所反映出的流体演化信息相一致。

4.3 成矿物质来源

金矿石样品的黄铁矿硫同位素组成除 2 件样品(HS-12 和 HS-14)以外,其余都为正值(0.4‰ ~ 3.8‰),平均为 1.73‰,数据范围狭窄,表明硫同位素的均一化程度较高,指示了成矿物质中的硫具有接近陨石硫的深源特征。样品 HS-12 和 HS-14 为蚀变围岩,其 $\delta^{34}S$ 值都为负值(-11.5‰ ~ -8.8‰),反映了样品的矿化蚀变作用相对较弱,更多的保留了围岩地层的硫同位素组成特征,指示了矿化蚀变强度由矿体向围岩逐渐减弱的趋势。硫同位素组成特征指示了红石金矿床的金成矿物质可能来源于深部和围岩,具有与成矿流体类似的形成演化特征。

5 讨论与结论

新疆东天山中部的秋格明塔什-黄山大型韧性剪切带在东天山造山带后碰撞阶段的早期发育南北向挤压推覆,后期发育右行走滑变形。早期推覆剪切作用发生于300~280Ma,后期走滑剪切作用主活动期为263~243Ma(王瑜等,2002;陈文等,2005)。该构造带的形成和时空演化控制了康古尔塔格金矿带的发育(Wang *et al.*,2005;王义天等,2006),剪切带中发育的含炭浊积岩-放射虫硅质岩-枕状玄武岩建造,是金成矿有利源岩,后期强烈的剪切-岩浆活动,是金富集成矿的有利条件(王京彬等,2006)。剪切带既是成矿流体的通道,又是金的沉淀场所,成矿作用一般不受围岩性质和变质程度的控制(朱永峰,2004, 2007; Zhu and Zhou, 2005; Zhu *et al.*, 2007)。流体包裹体和稳定同位素研究结果表明,红石金矿床与康古尔金矿床(Zhang *et al.*,2003; Wang *et al.*, 2003;王志良等,2004)的成矿作用基本相似,尤其是成矿物质和成矿流体都起源于深部,只是在成矿后期阶段由于所处构造部位和围岩组成的不同,使成矿流体中围岩和大气组分的组成比例在不同矿床中表现出一定差别(王义天等,2006)。红石金矿床的成矿流体为起源于深部的中低温、低盐度、中低密度的富CO_2流体,伴随着成矿作用由早到晚的阶段演化,成矿流体的温度和盐度呈降低趋势,大气水的参与显著增加。秋格明塔什-黄山大型剪切系统为主要起源于深部的成矿流体和成矿物质提供了输运的通道,同时产生动力变质流体并从围岩中淋滤成矿元素,富含成矿元素的深源流体在剪切构造作用下不断向上运移,逐渐与浅部流体混合并与围岩发生交代蚀变作用,由于物理化学条件的改变,成矿元素最终在剪切扩容空间中卸载并富集成矿。

致谢 野外工作得到了新疆地矿局总工程师董连慧博士和张维周处长的大力支持和帮助,在区域考察中与澳大利亚西澳地调局 Franco Pirajno 博士进行了有益的讨论和交流,《岩石学报》审稿专家对文章初稿提出了宝贵的修改意见,在此表示衷心的谢意!

References

Bodnar RJ. 1983. A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and PVTX properties of inclusion fluids. Economic Geology, 78: 535 – 542

Chen HH, Hou QL and Xiao WJ. 1999. Archipelago-type collisional 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)

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)

Clayton RN, O'Neil JR and Mayeda TK. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water. J. Geophys. Res., B77: 3057 – 3067

Graupner T, Kempe U, Spooner E *et al.* 2001. Microthermometric, Laser Raman spectroscopic, and volatile-Ion chromatographic analysis of hydrothermal fluids in the Paleozoic Muruntau Au-bearing quartz vein ore field, Uzbekistan. Economic Geology, 96: 1 – 23

Ji JS, Tao HX, Zeng ZR *et al.* 1994. Geology and mineralization of thr Kanggurtag gold belt in Eastern Tianshan. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 477 (in Chinese with English abstract)

Ji JS, Xue CJ, Zeng ZR *et al.* 1997. Studies on the Kanggurtag gold belt in Eastern Tianshan, Xinjiang. Geological Review, 43(1): 69 – 77 (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)

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)

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

Qin KZ, Sun S, Chen HH *et al.* 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)

Rollinson HR. 1993. Using geochemical data: Evolution, presentation, interpretation. Longman Scientific & Technical, 266 – 315

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

Sheppard SMF. 1977. Identification of the origin of ore-forming solutions by the use of stable isotopes. Inst. Mining Metallurg., 25 – 41

Wang JB, Wang YW and He ZJ. 2006. Or e deposits as a guide to the tectonic evolution in the East Tianshan Mountains, NW China. Geology in China, 33(3): 461 – 469 (in Chinese with English abstract)

Wang LJ, Wang JB, Wang YW *et al.* 2005. The study of ore-fluid and C-S-Pb isotope of rich in S and poor in S types in epithermal gold deposits, Junggar area, Xinjiang. Acta Petrologica Sinica, 21(5): 1382 – 1388 (in Chinese with English abstract)

Wang LJ, Wang JB, Wang YW *et al.* 2006. Ore-forming fluids and carbon, sulphur and lead isotope studied on ductile-shear-zone-type gold deposits in Junggar-Ea stern Tianshan Mts. area, Xinjiang. Geological Review, 52 (4): 486-493 (in Chinese with English abstract)

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 – 319 (in Chinese with English abstract)

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

Wang YT, Mao JW, Chen W *et al.* 2006. Tectonic constrains on mineralization of the Kanggurtag gold belt in the Eastern Tianshan, Xinjiang, NW China. Acta Petrologica Sinica, 22(1): 236 – 244 (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 ZL, Mao JW, Wu GG *et al*. 2004. C, O and H isotopic evidences for mantle fluids involved in the late ore-forming stage of the Kanggurtag gold deposit in Eastern Tianshan Mountains. Acta Geologica Sinica, 78(2): 195 – 202 (in Chinese with English abstract)

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

Xiao XC, Tang YQ, Li JY *et al*. 1990. Discussion on tectonic evolution of the northern Xinjiang. Xinjiang Geoscience (Ⅰ), Beijing: Geological Publishing House, 47 – 68 (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. 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 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 Scinece 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: 509 – 519 (in Chinese with English abstract)

Zhu YF and Zhou J. 2005. Geochemistry of the Tianger shear zone-hosted gold deposit (west Tianshan, northwest China). In: Mao JW and Bierlein FP (eds). Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge. Berlin: Springer, 1131 – 1134

Zhu YF, Zeng YS and Jiang N. 2001. Geochemistry of the ore-forming fluids in gold deposits from the Taihang Mountains, Northern China. International Geology Review, 43: 457 – 473

Zhu YF, Zeng YS and Gu LB. 2006. Geochemistry of the rare metal-bearing pegmatite no. 3 vein and related granites in the Keketuohai region, Altay mountains, northwest China. J. Asian Earth Sciences, 27: 61 – 77

Zhu YF, Zhou J and Zeng YS. 2007. The Tianger (Bingdaban) shear zone hosted gold deposit, west Tianshan, NW China: Petrographic and geochemical characteristics. Ore Geology Reviews, 32: 337 – 365

Zhu YF. 2007. Indosinian movement and the related metallogy in Xinjiang. Geological Bulletin of China, 26(5): 510 – 519 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

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. 见:陈海泓,侯泉林,肖文交主编. 中国碰撞造山带研究. 北京:海洋出版社,1 – 16

陈文,孙枢,张彦等. 2005. 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

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

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,曾章仁等. 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

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

秦克章,孙枢,陈海泓等. 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. 见: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

王京彬,王玉往,何志军. 2006. 东天山大地构造演化的成矿示踪. 中国地质,33(3):461 – 469

王莉娟,王京彬,王玉往等. 2005. 新疆准噶尔地区富硫型与贫硫型浅成低温热液金矿床成矿流体与碳硫铅同位素. 岩石学报,21(5):1382 – 1388

王莉娟,王京彬,王玉往等. 2006. 新疆准噶尔—东天山地区产于韧性剪切带中的金矿床成矿流体与碳、硫、铅同位素. 地质论评,52(4):486 – 493

王义天,毛景文,陈文等. 2006. 新疆东天山康古尔塔格金矿带成矿作用的构造制约. 岩石学报,22(1):236 – 244

王瑜,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

王志良,毛景文,吴淦国等. 2004. 东天山康古尔金矿成矿晚阶段地幔流体参与成矿作用的碳氢氧同位素证据. 地质学报,78(2):195 – 202

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

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. 古老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

朱永峰. 2007. 新疆的印支运动与成矿. 地质通报,26(5): 510 – 519