文章编号:0258-7106(2012)03-0555-14

# 新疆东天山康古尔剪切带西段金矿床的 成矿流体特征及其地质意义

# 张达玉<sup>1</sup> 周涛发<sup>1\*\*\*</sup> 袁 峰<sup>1</sup> 范 裕<sup>1</sup> 刘 $\mu^1$ 宁福泉<sup>2</sup> 孙海怀<sup>3</sup>

(1 合肥工业大学资源与环境工程学院,安徽 合肥 230009;2 新疆鑫汇地质矿业有限责任公司,新疆 乌鲁木齐 830011;3 新疆地质矿产勘查开发局第一地质大队,新疆 昌吉 831100)

摘要东天山觉罗塔格地区沿着康古尔韧性剪切带发育众多金矿床,已经成为新疆重要的黄金产地之一。 文章对位于该剪切带西段储量较大、勘查程度较高的红石、康古尔和马头滩3个金矿床进行了地质特征、流体包裹体和氢氧同位素研究结果表明,这3个矿床含矿石英脉流体包裹体的均一温度分别为294.4~468.0℃(红石)、236.9 ~441.0℃(康古尔)、150.9~444.7℃(马头滩);盐度 w(NaCleq)分别2.7%~10.5%(红石)、4.2%~9.1%(康古尔)和6.4%~8.4%(马头滩);密度分别为0.54~0.83 g/cm~红石)、0.80~0.86 g/cm~康古尔)和0.57~0.80 g/ cm~马头滩)。本文和前人数据表明,这3个矿床的 δD<sub>SMOW</sub>值分别为-104%~~+63%(红石)、-72%~~45%(康 古尔)和-55%~~45%(马头滩)、与石英相平衡的水的δ<sup>18</sup>O<sub>H2</sub>0值分别为+1.7%~7.4%(红石)、-8.3%~5.0% (康古尔)和2.5%~2.6%(马头滩)。以上特征表明,红石、康古尔和马头滩金矿床成矿流体具有中-高温、低盐度、 较高 CO<sub>2</sub>含量,其中红石金矿床的成矿流体中岩浆水比例比康古尔和马头滩两个矿床相对要高。综合地质、流体和 年代学特征表明,沿康古尔韧性剪切带分布的金矿床可能具有较为一致的成因,可能是 295~280 Ma 和 260~240 Ma两个成矿期叠加作用的产物,分别与早二叠世拉张背景下的中-酸性岩浆的侵入和晚二叠世—早三叠世(260~ 240 Ma)济压背景下康古尔剪切带的韧性剪切变形及抬升作用相对应。

关键词 地球化学 念矿床 流体包裹体 H、O 同位素 年代学 制性剪切带 东天山 新疆 中图分类号 : P618.51 文献标志码 A

# Ore-forming fluids of main Au deposits in western Kangguer shear zone of Eastern Tianshan Mountains and their geological implications

ZHANG DaYu<sup>1</sup>, ZHOU TaoFa<sup>1</sup>, YUAN Feng<sup>1</sup>, FAN Yu<sup>1</sup>, LIU Shuai<sup>1</sup>, NING FuQuan<sup>2</sup> and SUN HaiHuai<sup>3</sup>

(1 School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui, China;
 2 Xinjiang Xinhui Mining Co., Ltd., Urumqi 830011, Xinjiang, China; 3 No. 1 Geological Party,
 Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration, Changji 831100, Xinjiang, China)

#### Abstract

There exist many Au deposits or ore spots along the Kangguer shear zone in Qol Tag area of Eastern Tianshan Mountains, which is one of the most important Au metallic zones in Xinjiang. This paper focuses on geological characteristics, ore-forming fluid inclusions and H-O isotopic compositions of three Au deposits which have experienced fairly high degrees of exploration (Hongshi, Kangguer and Matoutan from east to west) in the

\* \* 遮城作首 "阿府及,方,1904 千土,秋汉,侍土土守州。 Entail:Uzilou©niul.eu 店店日期 - 2014 00 46、15日日期 - 2012 02 24 、佐佳牧伯根

收稿日期 2011-09-16;改回日期 2012-03-21。许德焕编辑。

本文得到'十二五 '国家科技支撑计划' 2011BAB06B01 ) 国家重点基础研究发展规划项目(2007CB411304、2001CB409800 ) 新世纪优秀人才 支持计划项目(NCET-10-0324 ) 国家自然科学基金项目(40772057、41040025 )和矿床地球化学国家重点实验室开放基金(201102 )的联合资助 第一作者简介 张达玉,男,1985年生,博士研究生,矿物学岩石学矿床学专业。Email:zhangdayu1985@126.com

<sup>\*\*</sup>通讯作者 周涛发,男,1963年生,教授,博士生导师。Email:tfzhou@hfut.edu.cn

west segment of the shear zone. The homogenization temperatures of quartz fluid inclusions range from 294.4°C to 468.0°C for Hongshi, from 236.9°C to 441.0°C for Kangguer and from 150.9°C to 444.7°C for Matoutan; the salinities  $w(NaCl_{eq})$  range from 2.7% to 10.5% for Hongshi, from 4.2% to 9.1% for Kangguer and from 6.4% to 8.4% for Matoutan; the densities range from 0.50 g/cm<sup>3</sup> to 0.83 g/cm<sup>3</sup> for Hongshi, from 0.80 g/cm<sup>3</sup> to 0.86 g/cm<sup>3</sup> for Kangguer and from 0.57 g/cm<sup>3</sup> to 0.80 g/cm<sup>3</sup> for Matoutan respectively. According to data obtained from this study and previous researches, the  $\delta D_{SMOW}$  isotopic values range from 104‰ to -63%for Hongshi, from -72% to -45% for Kangguer and from -55% to -45% for Matoutan, and  $\delta^{18}O_{H,O}$ values range from -1.7% to 7.4% for Hongshi, from -8.3% to 5.0% for Kangguer and from 2.5% to 2.6‰ for Matoutan respectively. These analytical data combined with data available suggest that the ore -forming hydrothermal fluids of Hongshi, Kangguer and Matoutan Au deposits were mixed fluids of magmatic and meteoric water, characterized similarly by middle-high temperature, low salinity and high CO<sub>2</sub> content. The ore-forming hydrothermal fluids of the Hongshi Au deposit probably had more magmatic water than Kangguer and Matoutan Au deposits. Combining these characteristics with geology, ore-forming fluids and chronology, the authors hold that the Au deposits distributed along the Kangguer ductile shear belt were probably formed by early Permian (295~280 Ma) and late Permian-early Triassic (260~240 Ma) two stage mineralization, corresponding to the granitoid intrusion in the extension background and the ductile shearing action in the extrusion background respectively.

Key words: geochemistry, Au deposits, fluid inclusion, H-O isotopes, chronology, ductile shear zone, Eastern Tianshan Mountains, Xinjiang

近 20 年以来,在东天山觉罗塔格地区康古尔剪 切带内及其附近陆续发现了众多金矿床(点) 姬金 生等,1994 张连昌,2000)。这些金矿床(点)沿剪切 带的走向自西向东分布 ,已成为东天山乃至北疆地 区金矿化最为集中的地区❶。随着这些金矿床勘查、 开采程度不断加大 ,研究者对其中的典型矿床从地 质特征(姬金生等,1994,蔡仲举,1998)成岩成矿年 代 李华芹等 ,1998 ;陈文等 ,2007 ), 成矿流体( 王志 良等 2004 汪莉娟等 2006 汪义天等 ,2007 )和成矿 机制(张连昌,2000;毛景文等,2002;Chen H Y et al., 2011) ) 等方面进行了较深入的研究。然而, 对这 些矿床的成矿流体特征、成矿年代和矿床成因的认 识,目前还存在较大分歧,并且还存在是与早二叠世 花岗岩侵入体相关的岩浆热液成矿(李华芹等, 1998 :张连昌,2000)还是晚二叠世—早三叠世韧性 剪切作用成矿(陈文等,2007)的争论。这一争议说 明需要对康古尔剪切带中金矿床的成矿作用和成矿 背景开展进一步研究,以深化对觉罗塔格地区晚古 生代构造\_岩浆\_成矿作用的全面认识。

本文选择位于康古尔韧性剪切带西部勘查程度 较高的3个大、中型金矿床,自西向东分别为红石、 康古尔和马头滩金矿床,对其含矿流体包裹体进行 了温压-盐度的测算和 H、O 同位素测试,进一步限定 了这 3 个矿床的成矿流体特征。此外,本文还系统 整理了包括红石、康古尔和马头滩 3 个矿床在内的 沿康古尔韧性剪切带分布的金矿床已有的成矿流体 和成岩成矿年代学研究成果,并据此总结分析了康 古尔金矿床的成矿流体特征及成矿年代,进一步探 讨了这些金矿床的成矿背景。

## 1 地质特征

### 1.1 区域地质背景

康古尔剪切带位于新疆东天山觉罗塔格地区的 中部,处在南部的阿奇山-雅满苏岛弧带与北部大南 湖-头苏泉岛弧带的衔接部位(图1a),是北部的吐哈 地块与南部的中天山地块发生强烈挤压右型剪切变 形作用的产物(王京彬等,2006)。该剪切带自小热 泉子以西,穿过康古尔塔格、夹白山、库姆塔格沙垄, 向东经翠岭、黄山、镜儿泉、白山,再向东进入甘肃境 内,长达500km左右,呈近EW向延伸,是北疆地区 一条极为明显的巨型韧性剪切带。

新疆地质矿产局第一地质大队. 2003. 新疆鄯善地区红石重矿床普查报告. 67 页. 内部资料.



#### 图 1 东天山沿康古尔剪切带分布的金矿床地质图

a. 康古尔韧性剪切带及主要金矿床(点)分布略图(据新疆维吾尔自治区地质矿产局,1993修改);b. 红石金矿床地质略图(据新疆地质矿产局第一地质大队,2003修编)<sup>9</sup>;c. 康古尔金矿床地质图(据蔡仲举,1998修编);d. 马头滩金矿床地质图(据张连昌,2000修编);
e. 红石金矿床 20 号勘探线剖面图(据新疆地质矿产局第一地质大队,2003修编)<sup>9</sup>;f. 康古尔金矿床 26 号勘探线剖面图(据姬金生等,1994修编);g. 马头滩金矿床 42 号勘探线剖面图(据张连昌,2000修编),1—片理化粉砂岩、细砂岩夹沉凝灰质砂岩、沙砾岩;
2—安山岩;3—蚀变流纹斑岩;4—花岗(斑)岩;5—含金矿化体;6—矿体;7—地层产状;8—断裂带及错移方向;
断裂编号及名称:①. 大草滩断裂 ②. 康古尔断裂 ③. 雅满苏断裂 ④. 阿齐库都克断裂 ⑤. 星星峡断裂 ⑥. 沙泉子断裂

Fig. 1 Geological maps of Au deposits along the Kangguer shear zone in Eastern Tianshan area a. Distribution of Au deposits along Kangguer shear zone (modified after Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region , 1993 ); b. Geological sketch map of the Hongshi Au deposit (modified after No. 1 Geological Party of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources , 2003 ); c. Geological sketch map of the Kangguer Au deposit (modified after Cai , 1998 ); d. Geological sketch map of the Matoutan Au deposit (modified after Zhang , 2000 ); e. Geological section along No. 20 exploration line in the Hongshi Au deposit (modified after No. 1 Geological Party of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources , 2003 ); f. Geological section along No. 26 exploration line in the Kangguer Au deposit (modified after Ji et al. , 1994 ); g. Geological section along No. 42 exploration line in the Matoutan Au deposit (modified after Zhang , 2000 ); 1—Foliated siltstone , fine-grained sandstone and tuffaceous sandstone ; 2—Andesite ; 3—Altered rhyolite porphyry ; 4—Granite ( porphyry ); 5—Gold mineralized body ; 6—Ore body ; 7—Attitude of strata ; 8—Fault zone and its shift dislocation ; Fault and its serial number : ①. Dacaotan fault ; ②. Kangguer fault ; ③. Yamansu fault ; ④. Aqikuduke fault ; ⑤. Xingxingxia fault ; ⑥. Shaquanzi fault 康古尔剪切带内的变形岩石主要是觉罗塔格裂 陷槽中部的下石炭统干墩组和梧桐窝子组火山沉积 岩系,以及下石炭统雅满苏组火山岩和火山碎屑岩。 岩石主体发生了糜棱岩化、千糜棱岩化等变质变形 作用,其中,东部的苦水-黄山-镜儿泉一带为变形变 质程度较高的绿片岩相和角闪岩相,西段康古尔塔 格一带为绿片岩相、低绿片岩相,变形变质程度稍 低。该剪切带的变形强度表现出中间强、两侧弱的 特征。带内岩浆侵入活动强烈,有花岗岩和基性岩 侵入体沿韧性剪切带分布,花岗岩侵入体呈凸镜状 或椭圆状,长轴方向与康古尔韧性剪切带走向一致, 指示其受到了剪切带活动的影响。剪切带内及附 近,Au,Cu-Au,Cu-Ni等矿化发育,金矿床(点)产出 在花岗岩侵入体的内部及其周围。

1.2 矿床地质特征

沿康古尔韧性剪切带分布的金矿床(点)有20 余处,自西向东主要有哈尔拉、石英滩、红石、康古 尔、马头滩、西凤山、夹白山、翠西、红山和马庄山等 (图1a)。其代表性矿床的简要地质特征概况如表1 所示。

由于受勘查程度的限制,本文选择剪切带西部 储量较大且勘查程度较高的红石、康古尔和马头滩3 个矿床进行重点研究。这些矿床的主要特征如下:

红石金矿床 产于康古尔-黄山韧性剪切带内 部 图 1a)。该矿区内的岩石普遍遭受了强烈变形与 糜棱岩化 具有显著的拉伸线理和片理 形成了以片 岩-千糜岩-糜棱岩为主的岩石组合。矿区内晚古生 代中-酸性侵入岩发育,矿区西南部出露的红石花岗 岩体呈岩基产出,测得其锆石 LA-ICP-MS 年龄为 (282.7±4.2) Ma(周涛发等, 2010), 矿区内也有少 量花岗斑岩脉出露。矿化主要赋存于下石炭统干墩 组片理化的细砂岩夹薄层状沉凝灰岩中,有少量产 在花岗岩体内部(图 1b)。勘查资料表明,该矿床从 地表向深部,所有的矿体总体呈近 EW 向分布,并受 到 SSE 向的次级断层的控制(图 1b、e)。矿化主要 以石英网脉状的形式产出。矿石中的金属矿物主要 有自然金、黄铜矿 ,有少量的闪锌矿和方铅矿等 ,主 要赋存在石英脉内部及其边缘部位 ;非金属矿物主 要有石英、绿泥石、绢云母、黄铁矿、方解石和钾长石 等。矿石构造主要为块状构造、网脉状构造、细脉浸 染状构造、条带状构造和角砾状构造等 矿石结构主 要有粒状结构和交代结构。含矿石英脉大都受到剪 切变形作用的影响,变形变质明显(图 2a)。根据矿 化特征 ,可以划分出4个成矿阶段 :黄铁矿-绢云母-

表 1 沿康古尔韧性剪切带分布的主要金矿床特征简表

Та	Table 1 Geological characteristics of respective gold deposits along the Kangguer shear zone, Eastern Tianshan area									
矿床名称	构造位置	赋矿地层	控矿构造	侵入体	矿体形态	矿石矿物	围岩蚀变	资料来源		
石英滩	康古尔-黄山剪 切带西段	下二叠统阿其克 布拉克组火山 -沉积岩	近EW 向韧性剪 切作用	花岗闪长岩、流 纹斑岩等	脉状、透镜状	黄铁矿、黄铜矿、 褐铁矿、银金 矿等	黄铁绢英岩化、 绿泥石化、硅 化等	王志良 等, 2004		
红石	康古尔 <sub>-</sub> 黄山剪 切带西段	下石炭统干墩组 火山-沉积岩	近EW 向韧性剪 切作用	海西期花岗岩和 花岗闪长岩	脉状、透镜状	黄铜矿、自然金、 斑铜矿等	黄铁绢英岩化、 绿泥石化、硅 化	0		
康古尔	康古尔-黄山剪 切带西段	下石炭统阿齐山 组火山岩	近 <sub>E</sub> W 向韧性剪 切作用	海西期正长斑 岩、流纹斑岩	扁豆状、脉状	磁铁矿、黄铜矿、 闪锌矿、自 然 金、自然银	青磐岩化、黄铁 绢英岩化、绿 泥石化	李 华 芹 等 , 1998		
马头滩	康古尔-黄山剪 切带西段	下石炭统阿齐山 组火山岩	近 <sub>E</sub> W 向韧性剪 切作用	海西期流纹斑 岩、斜长花岗 斑岩等	脉状	黄铁矿、磁铁矿、 黄铜矿、辉铜 矿、自然金	青磐岩化、绿泥 石化、硅化、黄 铁绢英岩化	张连昌 等, 1998		
西凤山	康古尔-黄山剪 切带西南缘	下石炭统雅满苏 组火山₋沉积 岩	近 <sub>E</sub> W 向韧性剪 切作用	海西期花岗斑岩	脉状	黄铁矿、黄铜矿、 自然金等	黄铁矿化、硅化、 绢云母化	0		
红山	康古尔-黄山剪 切带东北缘	下石炭统干墩组 火山₋沉积岩	近 <sub>EW</sub> 向韧性剪 切作用	少量花岗斑岩脉	脉状	黄铁矿、黄铜矿、 方铅矿、闪锌 矿、自然金等	硅化、绿泥石化、 绢云母化、碳 酸盐化	陈文等 , 2007		
马庄山	康古尔-黄山剪 切带东南缘	下石炭统雅满苏 组火山₋沉积 岩	近EW 向韧性剪 切作用	花岗斑岩、钾长 花岗岩等	脉状、透镜状	银金矿、黄铜矿、 方铅矿、闪锌 矿	硅化、碳酸盐化、 黄铁矿化、叶 蜡石化等	李 新 俊 等 , 2002		

① 新疆地质矿产局第一地质大队. 2003. 新疆鄯善地区红石金矿床普查报告. 67 页. 内部资料.

❷ 董连慧,崔 彬,屈 迅,和志军,刘 拓,桑少杰,王卫江,韩春明,白光宇,郭红霞. 2005. 东天山中段铜矿找矿靶区评价及大型矿床定 位预测.研究报告. 268页. 内部资料.



图 2 红石、康古尔和马头滩金矿床含矿石英脉的岩相学特征照片

a. 红石金矿床内的黄铁矿-石英脉; b. 红石金矿床内含矿石英脉流体包裹体特征; c. 康古尔金矿床内的黄铜矿-黄铁矿-石英脉; d. 康古尔 金矿床内含矿石英脉流体包裹体特征; e. 马头滩金矿床内的闪锌矿-黄铁矿-石英脉; f. 马头滩金矿床内含矿石英脉流体包裹体特征; Cp-黄铜矿; Py-黄铁矿; Qz-石英; Sp-闪锌矿; l-g-气液两相流体包裹体

Fig. 2 Photographs of petrography and microlithology of ore-bearing quartz and fluid inclusions from Hongshi,

Kangguer and Matoutan Au deposits

a. Pyrite-quartz veins in the Hongshi gold deposit;
 b. Fluid inclusions in quartz from the Hongshi gold deposit;
 c. Chalcopyrite-pyrite-quartz veins in the Matoutan gold deposit;
 e. Sphalerite-pyrite-quartz veins in the Matoutan gold deposit;
 f. Fluid inclusions in quartz from the Matoutan gold deposit;
 cp—Chalcopyrite;
 Py—Pyrite;

Qz-Quartz; Sp-Sphalerite; l-g-Gas-liquid fluid inclusions

石英阶段;金-黄铁矿-磁铁矿-石英阶段;含金、多金 属-黄铁矿-石英阶段;碳酸盐-石英阶段(曹洁等, 2010)。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。

康古尔金矿床 位于康古尔韧性剪切带西部的 脆-韧性剪切变形带中,西距红石金矿床约 30 km(图

1a)。该矿床的赋矿围岩为下石炭统阿齐山组火山 岩 岩石中面理、片理、线理及不对称旋转组构十分 发育 变质变形作用强烈。矿区内的岩浆岩有中-酸 性和偏碱性火山岩及浅成-超浅成侵入体,年代学研 究表明其侵位于 300~280 Ma 之间(张连昌 2000)。 矿体呈透镜状,沿近 EW 向断裂带分布。该矿区被 一条近 SN 向的右型平移断裂分为东、西两部分,平 移距离约 150 m(图 1c)。与红石金矿床类似,康古 尔矿床内矿化石英网脉的分布明显受围岩片理化的 控制 具有定向分布的特征(图 1f);含金石英脉具有 与围岩一致的变形作用的地质特征表明 ,其形成时 限应不晚于剪切带变形的时限。据其特征,可将成 矿作用分为 5 个阶段:黄铁绢英岩化阶段;自然金-黄铁矿-磁铁矿-绿泥石化阶段;自然金-黄铁矿-石英 脉阶段 ;多金属硫化物石英脉阶段 ;贫硫化物碳酸盐 石英脉阶段(姬金生等,1994)。矿石内的金属矿物 主要有自然金、黄铜矿,有少量银金矿、黄铜矿、黄铁 矿、方铅矿、闪锌矿等,主要呈脉状和浸染状产出(图 2c) 非金属矿物主要为石英、白云母、绢云母等。围 岩蚀变分带明显 由内向外依次为 强磁铁绿泥石化 带和强黄铁绢英岩化带、弱绿泥石化带和弱黄铁绢 英岩化带、绢云母化带。

马头滩金矿床 位于康古尔金矿区以东约5○ km处,产在康古尔-黄山韧性剪切带内的呈近 EW 向至 NEE 向展布的次级断裂带中(图 1d)。赋矿地 层为下石炭统阿齐山组中-酸性火山碎屑岩及火山 熔岩 在该矿区西北部 有呈 EW 向分布的花岗斑岩 脉。该矿床与康古尔金矿床在构造位置和地质特征 上十分类似 都受到康古尔剪切带变质-变形作用的 控制。前人测得其矿化蚀变岩的年龄为 290~280 Ma(张连昌 2000)。该矿床由 4 条近 EW 向分布的 含金蚀变带组成 ,矿体与蚀变围岩之间呈渐变过渡 关系(图 1d、g)。根据矿化特征,可划分出3个成矿 阶段:金-磁铁矿-绿泥石-石英阶段;含金黄铁矿-黄 铜矿-石英脉阶段 ;贫硫化物-碳酸盐石英脉阶段( 张 连昌 2000)。矿石中的金属矿物主要有自然金、闪 锌矿、黄铁矿(图 2e),及少量黄铜矿、赤铁矿、褐铁 矿、方铅矿、磁铁矿等;脉石矿物主要为石英、绿泥 石 次为白云母、绢云母等。 矿化主要呈脉状、浸染 状产出。围岩蚀变自矿体向外具有硅化、黄铁绢英 岩化→绢云母化、青磐岩化的分带特征。

上述地质特征表明,红石、康古尔和马头滩金矿 床附近均有早二叠世花岗岩体(脉)产出;花岗岩体 (脉)和赋矿围岩明显受到康古尔剪切带韧性剪切变 形作用的影响和控制。

# 2 成矿流体特征

在红石、康古尔和马头滩金矿床地质特征研究 的基础上,本文对其内的含矿石英脉分别进行了采 样,样品均采自主矿体的采坑内。所采样品的矿物 组合类似,主要为石英-黄铜矿-自然金-黄铁矿组合、 石英-方铅矿-黄铁矿-黄铜矿组合等(图 2a、c、e)。这 些样品可代表各矿床主矿化阶段的产物。

在岩相学特征研究的基础上,分别选取红石(2 件)、马头滩(1件)和康古尔(2件)矿床共5件含矿 性最好的矿化石英脉样品进行了石英内流体包裹体 的显微测温,以及H、O同位素测试。流体包裹体显 微测温在合肥工业大学资源与环境工程学院流体包 裹体实验室完成,测试仪器为 Linkam-T600型显微 冷热台,精度为0.1℃。H、O同位素测试在国土资 源部同位素地质开放研究实验室完成,测试仪器为 MAT-251EM型质谱仪,采用的国际标准为 SMOW, δD和δ<sup>18</sup>O的分析精度分别为 2‰和0.2‰。

2.1 流体包裹体特征

红石、康古尔和马头滩金矿床内矿化石英脉中 的原生流体包裹体具有较为相似的特征:发育广泛, 大小为 3~25 μm,大多大于 5 μm,呈浑圆状或椭圆 状,单独分布(图 2b、d、f)。其中的次生包裹体呈线 状分布,指示出受到后期热液的影响。本文测试的 原生包裹体主要为气液两相包裹体,气相分数为 5% ~30%。在这 3 个矿床的含矿石英脉样品中未见到 含子矿物的原生流体包裹体,也未发现具有典型"双 眼皮"特征的富 CO<sub>2</sub> 流体包裹体。

红石、康古尔和马头滩金矿床的气液包裹体的 显微测温结果如表 2 和图 3 所示。由表 2 和图 3 可 见,流体包裹体的均一温度范围分别为:294.4~ 468.0℃(红石),峰值为 320~ 340℃;236.9~ 441.0℃(康古尔),峰值为 260~ 280℃;150.9~ 444.7℃(马头滩),其 2 个峰值分别为 200~220℃和 310~330℃。由于康古尔矿床样品内的包裹体较小 (5  $\mu$ m 左右,图 2b),故未测出其富 CO<sub>2</sub> 包裹体的均 一温度。这 3 个矿床流体包裹体的冰点温度分别为 -7.0~-1.6℃(红石),-5.9~-2.5℃(康古尔) 和-5.4~-4.0℃(马头滩)。根据 Potter 等(1978) 的盐度计算公式:

Table 2 Thermometric results of fidul inclusions in quartz of inineralized											
veinsfrom Hongshi, Kangguer and Matoutan Au deposits											
样品号 主矿		<u>→</u> ,7,亡,⊮///	包裹体	气相分数	大小	均一温度	₹/℃	冰点/	″°C	w <b>(</b> NaCl	<sub>eq</sub> )/%
	土训初	》 类型	/%	$/\mu { m m}$	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	
MTT-01D	石英	气液二相	5~25	5~23	155.2~238.7	207.3(18)					
MTT-01E	石英	气液二相	5 - 30	5~25	150.9 - 421.2	278.7(37)	-5.4 - 3.9	-4.4(6)	8.4~6.3	7.0(6)	
MTT-01F	石英	气液二相	$10 \sim 15$	$4 \sim 10$	165.4 - 444.7	319.6(19)					
KGE-01	石英	气液二相	5~25	$7 \sim 20$	$252.7 \sim 441.0$	326.9(11)	-5.7 - 5.9	-5.8(2)	8.8~9.1	8.9(2)	
KGE-02	石英	气液二相	8~30	$4 \sim 20$	236.9~291.5	269.4(13)	-5.7 - 2.5	-4.1(3)	4.2~8.8	6.6(3)	
HS-03	石英	气液二相	5~25	6~15	$298.0 \sim 403.7$	331.1(21)	$-7.0 \sim -1.6$	-5.0(3)	2.7~10.5	7.6(3)	
HS-04	石英	气液二相	5 - 30	5 - 20	294.4 - 468	342.7(20)					

表 2 红石、康古尔和马头滩金矿床内流体包裹体显微测温结果 Table 2 Thermometric results of fluid inclusions in quartz of mineralize veinsfrom Hongshi, Kangguer and Matoutan Au deposits

注:空白为未获得测试数据;括号内数字为样品数。



图 3 0红石、康古尔和马头滩金矿床的均一温度分布图

Fig. 3 Histogram showing homogenization temperatures of Hongshi, Kangguer and Matoutan Au deposits

盐度 w(NaCl<sub>eq</sub>)=1,76958×T-4.2384×10<sup>-2</sup> × T<sup>2</sup> + 5.2778 × 10<sup>-4</sup> × T<sup>3</sup>(T 为冰点温度,单 位℃)

计算得到对应的盐度 ∞( NaCl<sub>eq</sub> ) 分别为 2.7% ~10.5%( 红石 ) 4.2% ~9.1%( 康古尔 )和 6.4% ~ 8.4%( 马头滩 ) 均属低盐度流体。

均一温度-盐度-密度判别图(图4)显示,这3个 金矿床流体的密度分别为0.54~0.83 g/cm<sup>3</sup>(红 石)0.80~0.86 g/cm<sup>3</sup>(康古尔)和0.57~0.80 g/ cm<sup>3</sup>(马头滩)均具有低密度流体的特点。上述流体 包裹体特征表明,红石、康古尔和马头滩金矿床的成 矿流体为中-高温、低盐度和低密度的流体,密度大 小顺序为康古尔金矿床>马头滩金矿床>红石金 矿床,其中,康古尔和马头滩矿床的密度变化较小, 而红石金矿床成矿流体的密度变化较大(图4)。

## 2.2 氢、氧同位素特征

红石、康古尔和马头滩金矿床的氢、氧同位素测 试结果如表 3 所示。本文及前人测试数据表明,红 石矿床流体包裹体的  $\delta^{18}$  O<sub>SMOW</sub> 值为 6.1% ~ 15.2‰  $\delta D_{SMOW}$ 为 -104% ~ -63%;康古尔矿床流 体包裹体的  $\delta^{18}$  O<sub>SMOW</sub> 值为 9.9% ~ 13.2%,  $\delta D_{SMOW}$ 为 -72% ~ -45%;马头滩矿床流体包裹体的  $\delta^{18}$  O<sub>SMOW</sub> 值为 10.2% ~ 11.3%,  $\delta D_{SMOW}$  值为 -55%~ -45%。根据石英-水同位素分馏方程(Clayton et al., 1972),应用流体包裹体的均一温度作为石英-水分馏方程的测算温度:

$$\delta^{18}O_{\Xi\Xi} - \delta^{18}O_{\pi} = \frac{3.38 \times 10^6}{T^2} - 3.40$$



图 4 红石、康古尔和马头滩金矿床的均一温度-盐度-密度相图(底图据 Bodnar,1983) Fig. 4 Phase diagram of homogenization temperature-salinity-density from Hongshi, Kangguer and Matoutan Au deposits

(base map after Bodnar, 1983)

	Table 5 11 all	u O isotope compo	sitions of fioligsin	Rangguer and Mau	utan Au ucposita	5
矿床	样品编号	δ <sup>18</sup> O <sub>SMOW</sub> /‰	δD <sub>SMOW</sub> ∕‰	$\delta{}^{18}\mathrm{O}_{\mathrm{H_{2}O}} / \%$	温度/℃	参考文献
	HS-03	9.4	- 86	3.6	331.1	* *
	HS-04	12.9	- 76	7.4	342.7	4义
	HS-3	14.6	- 104	4.4	225	
	HS-5	14.4	- 90	4.4	230	
4T <del>Z</del>	HS-7	14.8	- 95	3.1	200	
红白	HS-8	15.2	-80	-0.3	150	工业工学 2007
	HS-17	15.1	-81	4.9	225	工文入寺,2007
	HS-19	13.8	- 86	-1.7	150	
	HS-20	14	- 91	4	230	
	HS-30	6.1	- 63	6.1	240	
	KGE-01	11	- 72	5.0	326.9	* *
	KGE-02	9.9	- 62	1.9	269.4	华文
	K2-3	11.9	- 54	2.96	250	
唐十夕	3404-2	12.8	- 45	2.98	250	
康百小	2608-6	12.8	- 66	2.98	250	水本日 2000
	2616-7	11.7	- 63	-2.51	187	派连首,2000
	K3-2	13.2	- 57	-3.79	153	
	K4-l	11.5	- 61	-8.34	125	
口心油	MTT-01	10.2	- 55	2.5	278.7	本文
<b>与</b> 大,唯	MTT	11.3	- 45	2.64	278.7	张连昌 ,2000
计林立的复数	同位表测试工作力	国土次源如同位表地	全工物研究实际安全	'ct;		

表 3 红石、康古尔和马头滩金矿床石英流体包裹体氢、氧同位素组成 Table 3 H and O isotope compositions of Hongshi, Kangguer and Matoutan Au deposits

注:本文的氢、氧同位素测试工作在国土资源部同位素地质开放研究实验室完成。

(其中 T 为绝对温度)

计算得到:红石矿床与石英相平衡的水的  $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值为-1.7‰~7.4‰;康古尔矿床的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值为-8.3‰~5.0‰;马头滩矿床的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值为 2.5‰~2.6‰。

综合本文及前人的氢、氧同位素资料表明,红 石、康古尔和马头滩金矿床的 ∂<sup>18</sup>O<sub>SMOW</sub>值具有一致 的变化范围 ;∂D<sub>SMOW</sub>具有红石矿床→康古尔矿床→ 马头滩矿床逐渐增高的趋势,其中,红石矿床的 ∂D<sub>SMOW</sub>值低于其他 2 个矿床;康古尔矿床氧同位素 组成的变化范围较大,从大气降水区到岩浆水(变质 水)区都有分布(图 5)。由氢、氧同位素组成图(图 5)可见,与康古尔韧性剪切带相关的金矿床成矿流 体的 H、O 同位素数据均投点于岩浆水区和(或)变 质水区与大气降水区之间的范围内。

4 讨 论

### 4.1 成矿流体

本文的流体包裹体温压测算结果表明,红石、康 古尔和马头滩3个金矿床主成矿期成矿热液的性质 相类似,均为中-高温、气相分数较低(5%~30%)。



## 图 5 红石、康古尔和马头滩金矿床氢、氧同位素组成图 (据 Scheppard, 1986 和郑永飞等, 2000 修改) SMOW 为现代平均海水、数据来源:本文:张连昌, 2000 汪义天 等, 2007

Fig. 5  $~\delta~^{18}\,O_{H_2O}$  and  $\delta D$  diagram of Au deposits along Kangguer shear zone ( base map modified after Scheppard , 1986 and Zheng et al. , 2000 )

SMOW—Standard modern ocean water ; isotopic data from this study , Zhang ( 2000 ) and Wang et al. ( 2007 )

低盐度和低密度的成矿流体,指示出这 3 个矿床具 有相似的成矿流体组成 ,与前人的研究成果(张连 昌 2000 ;Wang et al., 2004 ; 王莉娟等, 2006 ;王义 天等 2007)较为一致。本文因样品所限 ,未观察到 富二氧化碳包裹体,但前人的大量研究均指出这 3 个金矿床的流体包裹体具有富 CO<sub>2</sub> 的特征(张连昌, 2000 ;王义天等 ,2007 )。陈衍景等( 2007 )将金矿床 的成矿流体分为改造热液、变质热液和岩浆热液 3 个端元性成分,并指出,改造热液以低温、低盐度、低 CO2 含量为特征,主要来自大气降水;变质热液以中 温、低盐度、高 CO。含量为特征 岩浆热液以高温、高 盐度、高CO2含量为特征。《红石、康古尔和马头滩金 矿床的氢、氧同位素组成投落于岩浆水(变质水)与 大气降水的混合区域内,也指示了这些矿床的成矿 流体并非单一组成 ,而显示出混合性质成矿热液的 特点。红石、康古尔和马头滩矿床成矿流体的总体 特征表明,其具有中-高温、低盐度、CO,含量较高的 特点 指示其为岩浆( 变质 )热液与大气降水热液混 合而形成。○

进一步分析表明:红石、康古尔和马头滩矿床 成矿流体的均一温度峰值具有红石(320 ~ 340°C)> 康古尔(260 ~ 280°C)和马头滩(200 ~ 220°C)的特 点;成矿流体的密度具有康古尔(0.80 ~ 0.86 g/ cm<sup>3</sup>)>马头滩(0.57 ~ 0.80 g/cm<sup>3</sup>)>红石(0.54 ~0.83 g/cm<sup>3</sup>)的特征,其中,康古尔和马头滩矿床的 流体密度变化较小,而红石矿床成矿流体的密度变 化较大(图4)这3个矿床的 $\delta^{18}$ O值较为相似,大多 为正值,指示出成矿流体组成应以岩浆水或变质水 ( $\delta^{18}$ O>0)为主(张理刚,1985); $\delta$ D<sub>SMOW</sub>值具有红石 (-104% ~ -63%)<康古尔(-72% ~ -45%)< 马头滩(-55% ~ -45%)的特点(图5),红石矿床的  $\delta$ D<sub>SMOW</sub>低于其他2个矿床。

以上特征表明,康古尔与马头滩矿床的成矿流 体较为一致,而红石矿床的成矿流体则具有更高的 成矿温度和密度,指示出其成矿热液中岩浆水的比 例可能相对较大。

前人对沿康古尔剪切带分布的矿床的成矿流体 进行了较多的测试(表4)。张连昌(2000)的研究表 明,康古尔和马头滩矿床的成矿流体具有多源性,具 有变质水、大气降水和岩浆水混合组成的特点。王 义天等(2007)通过 H-O-C-S 同位素研究表明,红石 矿床的成矿流体主要来源于岩浆水,后期有大气降 水的加入。王志良等(2004)根据碳酸盐脉的碳、氧

表 4	东天山沿康古尔剪切带分布金矿床的成矿流体特	征

Table 4	Ore-forming hydrothermal	characteristics of	Au deposits	along	Kangguer	shear	zone	, Eastern	Tianshan
---------	--------------------------	--------------------	-------------	-------	----------	-------	------	-----------	----------

	红石	康古尔	马头滩	石英滩	西凤山	马庄山
<i>t</i> <sub>h</sub> /℃	331.1~342.7	269.4~326.9	207.3~278.7	137~250	200~250	220~270
τe( NaCl <sub>eq</sub> γ%	$2.7 \sim 10.5$	4.2~9.1	8.4~6.3	1.5~2.5	15.5 - 20.5	7.5~16.2
$\rho/(g/cm^3)$	.50~0.83	$0.80 \sim 0.86$	$0.57 \sim 0.80$	0.85~0.96	$0.85 \sim 1.0$	
δD <b>/</b> ‰	$-104 \sim -63$	$-62 \sim -72$	- 55	$-119 \sim -81.7$		$-93 \sim -106$
δ <sup>18</sup> O <b>⁄</b> ‰	-1.7 - 7.4	9.9~11	10.2	$-2.74 \sim -1.65$		1.1~2.4
δ <sup>34</sup> S/‰	0.4~3.8	$-0.66 \sim -2.19$		2.31 - 0.11		4.5~5.3
δ <sup>13</sup> C <b>/</b> ‰	$-3.5 \sim -2.7$	$-2.12 \sim -25.94$				
资料来源	本文 王义天等(2007)	本文 王志良等(2004)	本文	张连昌(2000)	张连昌(2000)	李新俊等(2002)

同位素总体特征认为,康古尔矿床的成矿流体来源 于深部(包括幔源),成矿流体在演化过程中具有与 围岩发生混染蚀变的趋势。王莉娟等(2006)经研究 S、Pb同位素表明,康古尔和红石矿床的成矿流体具 有地幔来源的深源特征。此外,张连昌(2000)指出, 西滩和西凤山金矿床的H、O同位素特征分别指示 了大气降水和岩浆水成因的特点。李新俊等(2002) 的研究表明,马庄山金矿床的成矿流体具有岩浆水 与大气降水混合的成因。本文及前人研究成果表 明,沿康古尔剪切带分布的金矿床的成矿流体可能 具有相似的特征,具有来自地幔的演化岩浆水与大 气降水共同作用的混合成因。

大量研究表明,产于韧性剪切带内的金矿床的 成矿流体具有岩浆水、变质水和大气降水等多种来 源(Groves et al., 1998; 2000; Neumayr et al., 2002)。De Ronde等(2000)研究了新西兰剪切带的 Macreas金矿床,认为其成矿流体具有岩浆水、变质 水混合的特点。王莉娟等(2006)也指出,在动力变 质作用形成的剪切带内存在大量的流体,这种流体 主要是由含水矿物在剪切带形成过程中释放出来的 变质水、花岗岩体分异演化过程中释放出来的岩浆 水及沿裂隙渗入的地下水组成的混合流体。王义天 等(2007)和李新俊等(2002)分别对红石和马庄山金 矿床的成矿流体进行研究后表明,其成矿流体并非 岩浆水与大气降水的简单混合,而是多种来源的混 合产物。

综合本文数据和前人研究成果表明,红石、康古 尔和马头滩金矿床的成矿流体具有中-高温、低盐 度、低密度的特征;沿康古尔剪切带分布的金矿床的 成矿流体具有一致的温度和盐度等物理化学特征和 同位素特征(表4),指示出这些金矿床的成矿流体具 有相似的组成。

#### 4.2 成岩成矿年代

红石、康古尔和马头滩矿区内均有花岗岩产出。 地质特征研究表明 ,这些矿床的成矿作用除了受韧 性剪切作用的控制之外,与这些花岗岩体有十分密 切的成因联系。本文对红石、康古尔和马头滩金矿 床及与之其相关的花岗岩的成岩成矿年代学数据 (表5)进行了分析,分析表明:与红石金矿床成矿有 关的花岗岩的年龄为 282.7 Ma( 周涛发等 ,2010 ), 与矿化同期的绢云母的氩-氩年龄为 253.9~258.7 Ma(陈文等,2007);康古尔矿区内花岗斑岩的年龄 为 300~282 Ma( 李华芹等 ,1998 ,张连昌 ,2000 ) 其 成矿年龄为 282~241 Ma(张连昌 ,2000 ;陈文等 , 2007);马头滩矿床的矿化蚀变岩的年龄为290~282 Ma(张连昌,2000)。综上所述,尽管不同的测年方 法对测试样品的要求及测试精度都存在差异(包括 锆石原位 LA-ICP-MS 法、单颗粒锆石 U-Pb 法和全 岩 Rb-Sr 等时线等)但所获得的红石和康古尔矿区 内花岗岩体以及马头滩矿化蚀变岩的年龄值均为 300~280 Ma,与周涛发等(2010)对沿康古尔韧性剪 切带自西向东分布的迪坎、管道、红石、陇东、黄山和 白山东等花岗岩体的岩浆锆石高精度定年结果(290  $\sim 280 \text{ Ma}$ 相吻合。红石、康古尔和马头滩金矿床的 成矿年龄为 282~241 Ma 分别集中在 295~280 Ma 和 260~240 Ma 的 2 个时期内。

为了进一步探讨与康古尔韧性剪切带相关的金 矿床的成岩成矿年代,除了本文研究的红石、康古尔 和马头滩矿床外,还对沿康古尔韧性剪切带分布的 其他4个金矿床(自西向东分别为石英滩、西凤山、 红山和马庄山)及与金矿化相关的花岗岩体(脉)已 有的成岩成矿年代学数据进行了搜集、整理和综合 (表5)结果表明,它们的成岩年龄为 303~266 Ma, 集中于 280~295 Ma 金矿床的成矿年代主要集中在

#### 表 5 东天山沿康古尔剪切带分布的金矿床的成岩成矿年代表

Table 5	Petrologic and	metallogenic da	ating results	s of Au	deposits along	Kangguer	shear zone	e, Eastern	Tianshan
		8				<u> </u>			

矿床名称	测年样品	测年方法	年龄/Ma	资料来源
红石	花岗岩	锆石 LA-ICPMS U-Pb	$282.7\pm4.2$	周涛发等 2010
红石	金矿石共生绢云母	Ar-Ar 坪年龄	$253.9 \pm 1.8$	陈文等 2007
红石	金矿石共生绢云母	Ar-Ar 坪年龄	$258.7\pm1.7$	陈文等 2007
康古尔	花岗斑岩	Rb-Sr	$282\pm16$	李华芹等 ,1998
康古尔	流纹斑岩全岩	Rb-Sr 等时线	$300\pm13$	张连昌 2000
康古尔	石英正长斑岩	单粒锆石蒸发铅	$299 \pm 18$	张连昌 2000
康古尔	含矿石英脉流体包裹体	Rb-Sr 等时线	$282.34\pm5$	张连昌 2000
康古尔	含矿石英脉流体包裹体	Rb-Sr 等时线	$258\pm21$	张连昌 2000
康古尔	含矿石英脉流体包裹体	Rb-Sr 等时线	$254\pm7$	张连昌 2000
康古尔	含矿石英脉流体包裹体	Rb-Sr 等时线	$248\pm1$	张连昌 2000
康古尔	磁铁矿	Ar-Ar 法	$267.6 \pm 3.1$	张连昌 2000
康古尔	黄铁矿	Ar-Ar 法	$254.7\pm0.2$	张连昌 2000
康古尔	含矿石英脉流体包裹体	Rb-Sr 等时线	241±5	张连昌 2000
康古尔	含矿石英脉流体包裹体	Rb-Sr 等时线	$282.3 \pm 5$	张连昌 2000
康古尔	磁铁矿-黄铁矿	Sm-Nd 等时线	$290.4 \pm 7.2$	张连昌 2000
康古尔	含矿石英脉流体包裹体	Rb-Sr 等时线	$258\pm21$	张连昌 2000
康古尔	含矿石英脉流体包裹体	Rb-Sr 等时线	$254\pm7$	张连昌 2000
康古尔	金矿石绢云母	Ar-Ar 坪年龄	$252.5\pm1.7$	陈文等 2007
康古尔	金矿石绢云母	Ar-Ar 坪年龄	$261.0\pm1.0$	陈文等 2007
马头滩	磁铁绿泥蚀变岩全岩	Rb-Sr 等时线	282.34±5	张连昌 2000
马头滩	磁铁绿泥蚀变岩全岩	Sm-Nd 等时线	$290.4\pm7$	张连昌 2000
石英滩	钾长花岗岩	Rb-Sr 等时线	$293\pm1$	李华芹等 ,1998
石英滩	钾长花岗岩	单颗粒锆石 U-Pb	$287\pm3$	李华芹等 ,1998
石英滩	英云闪长岩全岩	Rb-Sr 等时线	$293\pm1$	张连昌 2000
石英滩	花岗斑岩全岩	Rb-Sr 等时线	$266\pm3$	张连昌 2000
石英滩	含矿石英脉流体包裹体	Rb-Sr 等时线	$288\pm7$	张连昌 2000
石英滩	含矿石英脉流体包裹体	Rb-Sr 等时线	$276\pm7$	张连昌 2000
石英滩	含矿石英脉流体包裹体	Rb-Sr 等时线	$244\pm9$	张连昌 2000
西凤山	黑云母花岗岩	Rb-Sr 等时线	$284\pm13$	张连昌 2000
西凤山	含矿石英脉流体包裹体	Rb-Sr 等时线	$272\pm3$	张连昌 2000
红山	金矿石中绢云母	Ar-Ar 坪年龄	$246.9\pm1.4$	陈文等 2007
红山	金矿石中绢云母	Ar-Ar 坪年龄	$246.5\pm1.1$	陈文等 2007
马庄山	次流纹斑岩	Rb-Sr <b>等时线</b>	301	李华芹等 ,1998
马庄山	次英安斑岩	Rb-Sr <b>等时线</b>	303	李华芹等 ,1998
马庄山	含矿石英脉流体包裹体	Rb-Sr <b>等时线</b>	298	李华芹等 ,1998

295~280 Ma和 260~240 Ma的 2个时期内(图 6)。 295~280 Ma的成矿年龄峰期(红石、康古尔、马头 滩、石英滩、西凤山、马庄山),与沿韧性剪切带分布 的花岗岩侵入体的成岩年龄(300~280 Ma)相吻合 (周涛发等,2010)。指示出沿剪切带分布的金矿床 有如下特征:①产于花岗岩体周围,具有多期矿化 的特点;② 含矿热液以岩浆水为主的地质和流体特 征表明,这些金矿区内存在与花岗岩侵入相关的同 期成矿作用。260~240 Ma的成矿年龄峰期(红石、 康古尔、石英滩、红山),与康古尔韧性剪切带在 262.9~241.7 Ma 发生强烈的韧性剪切变形和抬升 作用的时限相对应(陈文等,2007),金矿床具有明显 的糜棱岩化以及矿脉定向构造明显等地质特征也表 明其受到了韧性剪切作用的影响。

综上年代学数据显示 紅石、康古尔和马头滩金 矿床的形成时代与沿康古尔剪切带分布的其他金矿 床相一致,可能是 295~280 Ma和 260~240 Ma两 个成矿期成矿作用叠加的产物,分别对应于早二叠 世花岗岩侵入作用及晚二叠世—早-中三叠世的韧 性剪切变形作用。



图 6 东天山沿康古尔剪切带分布的金矿床及与其相关的花岗岩侵入体成岩成矿年代分布图 数据来源于表 3



## 4.3 矿床成因及成矿背景

前人对沿康古尔韧性剪切带分布的金矿床的成 因做了很多研究工作( 姬金生等,1994;张连昌, 2000 毛景文等,2002;Wang et al.,2004;陈文等, 2005;2007;Yang et al.,2009;Chen Y J et al., 2011)。研究表明,这些金矿床的形成大多与邻近的 二叠纪花岗岩侵入体( 303~266 Ma )相关( 姬金生 等,1994;张连昌,2000;毛景文等,2002),在此基础 上,将金矿床分为浅成低温热液型、韧性剪切蚀变岩 型和岩浆热液石英脉型等3种类型( 张连昌,2000)。 此外,也有学者认为,康古尔、红石和红山等金矿床 的形成是受控于晚二叠世( 260~240 Ma )康古尔剪 切带的韧性剪切作用,而与早二叠世侵入的花岗岩 无直接联系( 陈文等,2005,2007)。

康古尔金矿带内的金矿床分布在沿韧性剪切带 展布的花岗岩侵入体的周围,均具有多期成矿的特 点,并且,矿体和赋矿围岩都因受到强烈的韧性剪切 而发生了变形和变质。流体分析表明,这些金矿床 的成矿流体具有岩浆水(变质水)和大气降水混合来 源的特点。成矿年代学数据显示,这些金矿床的成 矿时代明显地分为295~280 Ma和260~240 Ma两 个成矿期,分别对应于花岗岩侵入时期和韧性剪切 带作用时期。综合上述证据表明,红石、康古尔和马 头滩等沿韧性剪切带分布的金矿床很可能是早二叠 世花岗岩侵入以及晚二叠世—早-中三叠世韧性剪 切变形作用综合作用的产物。结合区域地质演化研 穷(王京彬等,2006;顾连兴等,2006;韩宝福等, 2006;张遵忠等,2006;袁峰等,2007;周涛发等, 2010),这2个成矿期分别对应于早二叠世(295~ 280 Ma)后碰撞伸展环境下的花岗岩浆侵入作用,以 及晚二叠世—早三叠世(260~240 Ma)挤压环境下 康古尔剪切带的变形抬升作用。其中,早期的花岗 岩侵入作用为金矿床的形成带来了主要的成矿物质 和岩浆热液,晚期的韧性剪切和抬升等改造作用为 含矿热液提供了有利的运移通道和容矿构造,并导 致其进一步富集、成矿。

## 5 结 论

红石、康古尔和马头滩金矿床的成矿流体总体 具有中-高温、低盐度的特点,指示为岩浆水和大气 降水组成的混合热液。红石金矿床的成矿流体中, 岩浆水的比例高于康古尔和马头滩2个矿床。

综合地质、流体和年代学特征表明,沿康古尔韧 性剪切带分布的金矿床可能具有较为一致的成因, 可能是 295~280 Ma和 260~240 Ma两个成矿期成 矿作用叠加的产物,分别与早二叠世拉张背景下的 中-酸性岩浆的侵入,以及晚二叠世—早三叠世(260 志 谢 本文的研究工作得到了新疆"305"项 目办公室、新疆第一地质大队、中国地质科学院矿产 资源研究所和西澳大学 Centre for Exploration Targeting 的支持,得到王京彬研究员、肖文交研究员、马 映军研究员、王宝林研究员、王玉往研究员等的指 导。野外工作中得到了彭明兴、邓刚、张建滇等工程 师的支持。H、O 同位素测试工作得到了中国地质科 学院罗续荣老师、万德芳老师和秦燕博士的帮助。 在成文过程中得到了西澳大学 Marco Fiorentini 博 士、Richard Goldfarb 教授、Franco Pirajno 教授、吕勇 军博士、曾庆涛博士、应立娟博士和张刚阳博士的有 益讨论。文章在审稿过程中得到了三位匿名审稿人 的学术指导和中肯建议,在此一并表示诚挚的谢意。

#### 参考文献/References

- 蔡仲举. 1998. 康古尔韧性剪切带金矿床成矿特征及成因[J]. 新疆 地质,16(2):163-178.
- 曹 洁 邱 斌 , 晁会霞 , 马立成 杨兴科 , 孙继东. 2010. 新疆红石金
   矿床原生晕特征与隐伏矿预测[J]. 地球学报 , 31(1) 83-89.
- 陈 文 孙 枢 涨 彦,肖文交,王义天,王清利,姜立丰,杨俊涛. 2005. 新疆东天山秋格明塔什-黄山韧性剪切带<sup>40</sup>Ar<sup>239</sup>Ar 年代 学研究 J]. 地质学报,79(6).790-804.
- 陈 文,张 彦,秦克章,王清利,王义天,刘新宇.2007.新疆东 天山剪切带型金矿床时代研究[J].岩石学报,23(8):2007-2016.
- 陈衍景,倪 培,范宏瑞,Pirojno F,赖 勇,苏文超,张 辉. 2007. 不同类型热液金矿系统的流体包裹体特征[J].岩石学报,23 (9):2085-2108.
- 顾连兴,张遵忠,吴昌志,王银喜,唐俊华,汪传胜,郗爱华,郑远川. 2006.关于东天山花岗岩与陆壳垂向增生的若干认识[]].岩石 学报(5):1103-1122.
- 韩宝福,季建清,宋 彪,陈立辉,张 磊. 2006.新疆准噶尔晚古生 代陆壳垂向生长(I):后碰撞深成岩浆活动的时限[J],岩石学 报 22(5):1077-1086.
- 姬金生 陶洪祥 ,曾章仁 ,杨兴科 ,张连昌 . 1994 . 东天山康古尔塔格 金矿带地质与成矿 M ]. 北京 地质出版社.
- 李华芹,谢才富,常海亮. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用 年代学[M]. 北京 地质出版社. 264 页.
- 李新俊,刘 伟.2002.东天山马庄山金矿床流体包裹体和同位素地 球化学研究及其对矿床成因的制约[J].地质学报,18(4):551-558.

- 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[J]. 地球科学 27(4):413-424.
- 王京彬 徐 新. 2006. 新疆北部后碰撞构造演化与成矿[J]. 地质学 报 80(1) 23-31.
- 王莉娟,王京彬,王玉往,朱和平.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,张文智,王 磊,毛景文,杨富全,陈 文. 2007.新疆东 天山红石金矿床成矿流体和成矿物质来源示踪[J].岩石学报, 23(8):1998-2006.
- 王志良,毛景文,吴淦国.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[J].地质学报,78(2): 195-202.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质 志[M].北京 地质出版社. 841页.
- 袁 峰 周涛发,范 裕,谭绿贵、David C ,Sebastien M ,王庆民,王卫 江. 2007. 新疆东天山十里坡自然铜矿化区马头滩组玄武岩锆 石 LA-ICPMS U-Pb 年龄及其意义[J]. 岩石学报,23(8):1973-1980.
- 张连昌 姬金生 杨兴科,薛春纪,韩照信. 1998. 东天山马头滩韧性 剪切带型金矿地质特征及成因[J]. 西安工程学院学报,20(4): 15-19.
- 张连昌 姬金生 杨兴科,薛春纪,韩照信. 1998. 东天山马头滩韧性 剪切带型金矿地质特征及成因[J]. 西安工程学院学报,20(4): 15-19.
- 张连昌. 2000. 东天山康古尔塔格金铜矿带成矿地质地球化学动力 学研究及预测(博士论文 [D]. 导师:赵伦山,姬金生. 北京:中 国地质大学. 76页.
- 张理刚. 1985. 稳定同位素在地质科学中的应用 金属活化热液成矿 作用及找矿 M]. 西安 陕西科学技术出版社. 267 页.
- 张遵忠,顾连兴,吴昌志,濯建平,李伟强,唐俊华. 2006. 东天山印支 早期尾亚石英正长岩:成岩作用及成岩意义[J].岩石学报,22 (5):1135-1149.
- 郑永飞 徐宝龙 周根陶. 2000. 矿物稳定同位素地球化学研究[J]. 地学前缘(2)298-320.
- 周涛发 袁 峰, 涨达玉,范 裕,刘 帅,彭明兴,张建滇,2010.新 疆东天山觉罗塔格地区花岗岩类年代学、构造背景及其成矿作 用研究[J]. 岩石学报,26(2):478-502.
- Bodnar R J. 1983. A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and PVTX properties of inclusion fluids [J]. Econ. Geol. , 78:535-542.
- Chen H Y , Chen Y J and Baker M J. 2011. Evolution of ore-forming fluids in the Sawayaerdun gold depositin the Southwestern Chinese Tianshan metallogenic belt , Northwest China [ J ]. Journal of Asian Earth Sciences , DOI : 10. 1016/j. jseaes. 05. 011.
- Chen Y J , Pirajno F , Wu G , Qi J P and Xiong X L. 2011. Epithermal deposits in North Xinjiang , NW Chind J ]. Int J Earth Sci. , DOI

10. 1007/s 00531-011-0689-4.

- Clayton R N, O 'Neil J R and Mayeda T K. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water [ J ]. Geophys. Res. , B77:3057-3067.
- De Ronde C E J , Faure K , Bray C J , et al. 2000. Round Hill shear zonehosted gold deposit, Macraes flat, Otago, New Zealand: Evidence of a magmatic ore fluid J ]. Econ. Geol. , 95:1025-1048.
- Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Mariam H, Hagemann S G and Robert F. 1998. Orogenic gold deposits-a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit type J]. Ore Geology Reviews , 13:7-27.
- Groves D I, Goldfarb R J, Knox-Robinson C M, Ojala J, Gardoll S, Yun G and Holyland P. 2000. Late-kinematic timing of orogenic gold deposits and significance for computer-based exploration techniques with emphasis on the Yilgarn block , Western Australia [J]. Ore Geology Reviews, 17:1-38.
- Neumayr P and Hagemann S G. 2002. Hydrothermal fluid evolution within the Cadillac tectonic zone , Abitibi greenstone belt , Canada :

Relationship to auriferous fluids in adjacent second- and third-order shear zones J]. Econ. Geol. , 97:1203-1225.

- Potter R W, Clynne M A and Brown D L. 1978. Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions[J] Econ. Geol., 73: 284-285.
- Scheppard S M F. 1986. Characterization and isotope variation in natural waters [A]. In : Valley JW, Taylor HP Jr, O'Neil JR. eds. Stable isotopes in high temperature geological processes [ J ]. Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America, 16:165-184.
- Wang Z L , Jiang N , Wang Y T , Mao J W and Yang J M. 2004. Genesis of Kanggur gold deposit in Eastern Tianshan orogenic belt , NW China : Fluid inclusion and oxygen and hydrogen isotope constraints [J]. Resource Geology, 54(2); 177-185.
- Yang F Q , Mao J W , Bierlein F P , Pirajno F , Zhao C S , Ye H S and evi initian di i Liu F. 2009. A review of the geological characteristics and geodynamic mechanisms of Late Paleozoic epithermal gold deposits in North Xinjiang , China J. Ore Geology Reviews , 35:217-234.