

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

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

王志良¹⁾ 毛景文^{1,2)} 吴淦国²⁾ 杨建民¹⁾ 韩春明³⁾ 马天林⁴⁾ 张作衡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,北京,100083

3) 中国科学院高能物理研究所,北京,100039;4) 中国地质科学院地质力学研究所,北京,100081

内容提要 康古尔金矿位于塔里木板块北部被动大陆边缘阿奇山—雅满苏裂谷带之北侧,是一个典型的韧性剪切带型(造山型)金矿,成矿作用表现为含金石英脉和石英碳酸盐脉两个阶段。本文对矿石中的碳酸盐脉和矿床周围地层中的碳酸盐岩进行了C、H、O同位素测试。通过研究初步认为:矿床周围地层石炭纪干墩组和雅满苏组中大理岩的C、O同位素组成与世界上其他地区的海相碳酸盐基本相同,以富¹³C和¹⁸O为特征,明显有别于矿石中碳酸盐脉;后者的C、H、O同位素组成与地幔多相体系中的原始碳酸岩基本相似,暗示在康古尔金矿成矿晚阶段有地幔流体参与成矿作用。

关键词 地幔流体 碳氢氧同位素 康古尔金矿 东天山

康古尔金矿床位于鄯善县南部,系新疆地勘局第一地质大队于20世纪80年代末发现,是一个高品位金矿床,含金品位在 $3 \times 10^{-6} \sim 50 \times 10^{-6}$ 之间,平均 $8 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$,目前已探明Au储量40余吨,并且仍有很好的找矿前景。矿床成因类型为韧性剪切带型(姬金生等,1994;蔡仲举,1998;韩春明等,2002)或Groves等(1998)定义的造山型(毛景文等,2002b)。以往研究分析样品比较零散,主要集中在含金石英脉阶段(姬金生等^①;蔡仲举,1998;李华芹等,1998;张连昌等,1998a,1998b,1999,2000;王志良等,2002)。本文首次以矿区广泛发育的碳酸盐脉为研究对象,从C、H、O同位素研究入手,并与周围地层中的碳酸盐岩进行对比,尝试探讨在成矿晚阶段地幔流体参与成矿作用的证据。

1 矿床地质概况

康古尔金矿床位于塔里木板块北部被动大陆边缘阿奇山—雅满苏裂谷带(李锦轶等^②)之北缘,与北侧的康古尔缝合—剪切带(张良臣等,1985)相距2~3km。矿区出露地层主要为下石炭统雅满苏组火山岩夹碎屑岩(图1),其北侧的康古尔缝合—剪切带主要由下石炭统干墩组浊积岩(变质后为砂质糜棱

岩)组成,出露的侵入岩主要有海西期石英正长斑岩和流纹斑岩等(图1),矿区西北部还有一面积为60 km²的海西期英云闪长岩体。

矿区内有3条EW—NEE向韧性剪切带,剪切带内安山岩、安山质凝灰角砾岩和英安质凝灰角砾岩均发生了糜棱岩化,矿体就赋存在这些剪切带中(图1)。该矿床主要由Ⅵ号和Ⅷ号两个矿体近10条矿脉组成(Ⅶ矿体规模小,品位低,没有开采价值),矿脉长200~1000 m,宽1~20 m,个别矿脉的控制深度已达600 m。矿体形态呈板状和透镜状,总体走向80°,倾向北,倾角70°~80°。

矿石中主要金属矿物为黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、赤铁矿。脉石矿物主要为石英、绿泥石、绢云母、白云母、方解石、白云石、重晶石、菱铁矿。矿石结构为粒状结构、交代结构和填隙结构,矿石构造为细脉—网脉状构造、浸染状构造、条带状构造、角砾状构造和团块状构造。成矿作用分两个阶段,即富硫化物含金石英脉阶段(主成矿阶段)和石英碳酸盐脉或碳酸盐脉阶段(晚成矿阶段)。在主成矿阶段,富硫化物含金石英脉抑或呈大脉群产出,抑或呈微细网脉出现于破碎带内构成破碎蚀变岩型矿化。晚成矿阶段的石英碳酸盐脉或碳

注:本文为国土资源大调查项目(编号200310200001-3和DKD9902001)及国家重点基础研究项目(编号G1999043216)资助的成果。

收稿日期:2003-03-25;改回日期:2003-11-21;责任编辑:章雨旭。

作者简介:王志良,男,1964生,1985年7月毕业于南京大学地质系,2003年7月于中国地质大学(北京)获博士学位。现为地质科学院矿产资源研究所副研究员,主要从事矿床地质研究工作。通讯地址:100037,北京市西城区百万庄大街26号;电话:010-68999061;Email:wzl0813@yahoo.com.cn。

酸盐脉虽然有零星的黄铁矿,但金含量较低,不构成工业性矿化。围岩蚀变发育,主要有黄铁绢英岩化、绢云母化、绿泥石化、黄铁矿化、硅化和碳酸盐化等。

2 样品特征、分析方法和测试结果

2.1 样品特征

本次工作所采的样品为康古尔金矿床晚成矿阶段石英碳酸盐脉和碳酸盐脉、康古尔缝合—剪切带内干墩组中大理岩和雅满苏—阿齐山裂谷带内雅满苏组中大理岩。康古尔金矿床晚成矿阶段的石英碳酸盐脉和碳酸盐脉分别

采自Ⅷ号和Ⅵ号两个矿体,它们宽几个毫米至几个厘米,多为白云石和方解石,一般叠加在石英脉之上,偶尔穿插于周围蚀变火山岩之中。干墩组中大理岩采自康古尔金矿西北约3km处的上岩性段浊积岩,雅满苏组中的大理岩采自Ⅵ号矿体南侧约2km处的下岩性段碎屑岩。

2.2 分析方法

首先在双目镜下挑选大理岩2g,方解石和白云石单矿物各5g,纯度达99%以上。大理岩和方解石的碳氧同位素分析是在25℃条件下,使其与磷酸反应释放CO₂(McCrea, 1950),白云石则是在50℃下与磷酸反应释放CO₂。用中国国家一级碳酸盐碳、氧同位素参考物质GBW04416和GBW04417作为工作标准(Mao et al., 2002b)。GBW04416的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值分别为1.61‰和-11.59‰,GBW04417的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 分别为-6.06‰和-24.12‰。3种样品的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 、大理岩和方解石的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值直接从CO₂测得,而白云石的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 为经过了温度(50℃→25℃)和矿种(白云石→方解石)校正的值。在把 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 转变为 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 时,使用Friedman等(1977)方程:

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = 1.03086 \cdot \delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} + 30.86$$

对于氢同位素分析,首先使用压碎法把水从流体包裹体中释放出来,然后在400℃条件下使水与锌反应产生氢气(Coleman et al., 1982),然后用液氮冷冻,收集到有活性炭的样品瓶中。碳氧氢同位素分

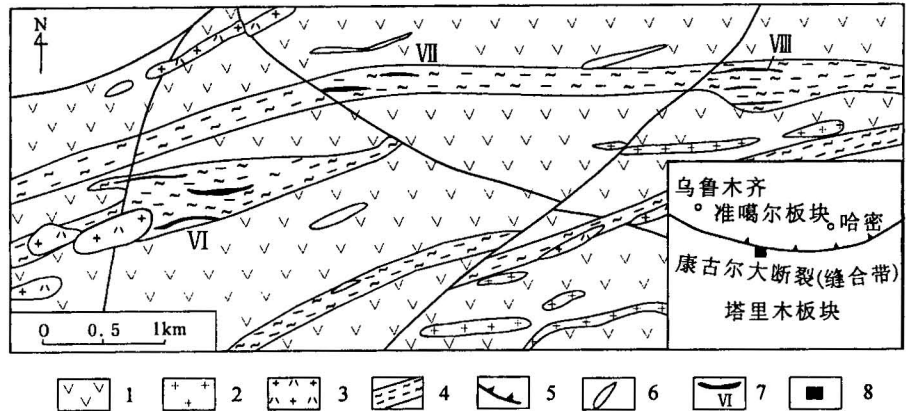


图1 康古尔金矿床地质略图(据张连昌等,1998c 改编)

Fig. 1 Simplified geological map of the Kanggur gold deposit

(modified from Zhang Lianchang et al., 1998c)

- 1—下石炭统雅满苏组火山岩夹碎屑岩;2—海西期石英正长斑岩;3—海西期流纹斑岩;4—韧—脆性剪切带;5—断裂(板块缝合带);6—石英脉;7—金矿体及编号;8—金矿位置
1—Lower Carboniferous Yamansu Formation, volcanic rock and detrital rock; 2—Hercynian quartzite porphyry; 3—Hercynian rhyolite porphyry; 4—ductile—brittle shear zone; 5—suture zone of plates; 6—quartz vein; 7—gold orebody and No.; 8—location of the Kanggur gold deposit

析均在国土资源部同位素地质重点实验室 Finningan MAT 251 质谱仪进行,碳和氧同位素的分析误差为 $\pm 0.2\%$,氢同位素误差为 $\pm 2\%$ 。

2.3 测试结果

康古尔金矿床碳氢氧同位素测试结果列于表1。Ⅷ号矿体4件白云石的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为 -6.2% ~ -4.7% ,平均为 -5.5% ; $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 为 $+8.5\%$ ~ $+10.0\%$,平均为 $+9.3\%$; $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 为 -56% ~ -42% ,平均为 -51% 。Ⅵ号矿体10件白云石和1件方解石的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为 -5.3% ~ -2.4% ,平均为 -4.6% ; $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 为 $+9.5\%$ ~ $+10.8\%$,平均为 $+9.8\%$; $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 为 -61% ~ -45% ,平均为 -51% 。干墩组中的4件大理岩的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为 $+3.9\%$ ~ $+4.0\%$,平均为 $+3.9\%$; $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值为 $+24.4\%$ ~ $+25.5\%$,平均为 $+24.8\%$ 。雅满苏组下岩性段中8件大理岩的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 -0.2% ~ $+1.5\%$,平均为 $+1.1\%$; $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值为 $+14.2\%$ ~ $+21.0\%$,平均为 $+17.0\%$ 。由上述结果可以看出Ⅷ号和Ⅵ号两个矿体的碳氢氧同位素值基本相同。干墩组和雅满苏组中大理岩的碳氧同位素组成与康古尔金矿床碳酸盐脉截然不同。

康古尔金矿床矿化流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值是通过同位素分馏公式 $1000\ln\alpha_{\text{白云石(方解石)-水}} = 2.78 \times 10^6 T^{-2} - 2.89$ (O'Neil et al., 1969)求得,其中 T 分别用Ⅷ号和Ⅵ号两个矿体中白云石(方解石)流体包裹体均一

温度的平均值 282℃ 和 291℃, 计算得出的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值为 +2.33‰ ~ +4.90‰, 平均为 +3.67‰ (表 1)。

3 讨论与结论

3.1 成矿流体中 CO_2 的指示

随着分析测试技术的迅速发展, 人们对 CO_2 在地幔中的含量和赋存状态有了越来越深刻的了解。Trull 等 (1993) 估计地幔中的 C 含量约为 50×10^{-6} ~ 250×10^{-6} , 这表明地幔是一个大的 CO_2 储层。肖化云等 (2001) 通过统计发现世界各地金刚石流体包裹体中 H_2O 和 CO_2 占 40% 左右, 其变化范围分别为 118×10^{-6} ~ 294×10^{-6} 和 44×10^{-6} ~ 107×10^{-6} 。郑建平 (1994) 对我国辽宁复州金刚石流体包裹体气相成分进行了测定, 结果表明 CO_2 为主要成分, 其次为 H_2O 、 CH_4 和 H_2S 。Schiano 等 (1994) 在 Kerguelen 岛的橄榄岩包体中发现了碳酸盐熔体包裹体, 表明地幔局部可能经过熔体或流体的交代。Lowenstern (2001) 发现许多玄武岩中橄榄石斑晶含有以 CO_2 为主的高密度流体包裹体, 指示出岩浆在深部具有饱和的富 CO_2 流体。Moore 等 (1977) 发现海底玄武岩的气泡中含 > 95% 的 CO_2 。Marinelli 等 (1999) 分析了意大利 Vesuvius 碱玄岩中的玻璃包裹体, 确定其含有多达 3% 的溶解水和 0.3% 可溶解 CO_2 。夏林圻 (1984) 通过研究发现我国江苏六合和河北张家口碱性玄武岩内橄榄石包体中含有高密度的 CO_2 流体包裹体。Lowenstern (1994) 在研究美国犹他州 Pine Grove 斑岩钼矿床时, 发现熔体包裹体含有 6% ~ 8% H_2O 和 960×10^{-6} CO_2 。Lowenstern 等 (1997) 对 Eritrea 的 Afar 裂谷 A 型流纹岩进行研究, 测出 CO_2 含量为 40×10^{-6} ~ 60×10^{-6} 和 H_2O 2% ~ 3.5%。孙丰月等 (1995b) 认为幔源 C—H—O 流体是一种高温高密度的超临界流体, 其中的挥发分主要为 CO_2 和 H_2O 。通过以上讨论可以认为地幔流体是以 CO_2 或

CO_2 — H_2O — NaCl 或 CO_2 — H_2O — CH_4 为主, 是一种 C—H—O 流体。由于国际上关于韧性剪切带型 (造山型) 金矿研究主要集中在太古宙绿岩地体中, 因而变质流体成矿比较流行 (Phillips et al., 1988; Barnicoat et al., 1991; Kerrich et al., 1998; Jia et al., 1999, 2000), 相应地, 成矿流体中 CO_2 的来源也被认为与变质作用有关。中国华北克拉通周缘的一系列金矿床虽然主要赋矿地层为太古宙基底角闪岩相变质岩, 区域变质作用也不晚于古元古代 (毛景文等, 2002a), 但是这些金矿的成矿时代基本上在 123 ~ 112Ma, 明显与中生代岩浆—火山活动有关的热事件具有时空一致性 (张德全等, 1995; 骆辉等, 1997; Yang et al., 2001; 王义天等, 2001, 2002; 魏俊浩等, 2001), 成矿作用与变质流体没有直接的关系。最近几年, 关于 CO_2 与造山型金矿成矿作用的关系、 CO_2 的来源越来越受到大家的关注, Kerrich 等

表 1 东天山康古尔金矿床碳氢氧同位素测试结果

Table 1 Carbon, oxygen and hydrogen isotope data of the Kanggur gold deposit, eastern Tianshan Mountains

样品编号	样品名称	样品来源	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (‰)	$\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ (‰)	t (°C)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ (‰)
MT2	白云石	康古尔 VIII 号矿体	-6.0	-55	-21.7	+8.5	282	2.33
MT3	白云石	康古尔 VIII 号矿体	-4.9		-20.2	+10.0	282	3.82
MT14	白云石	康古尔 VIII 号矿体	-6.2	-42	-21.6	+8.6	282	2.43
MT35	白云石	康古尔 VIII 号矿体	-4.7	-56	-20.3	+9.9	282	3.72
KG1	白云石	康古尔 VI 号矿体	-4.8	-46	-20.5	+9.7	291	3.81
KG2	白云石	康古尔 VI 号矿体	-4.8	-48	-20.5	+9.7	291	3.81
KG3	白云石	康古尔 VI 号矿体	-5.1	-54	-20.5	+9.8	291	3.91
KG4	白云石	康古尔 VI 号矿体	-4.7	-51	-20.6	+9.6	291	3.71
KG6	白云石	康古尔 VI 号矿体	-4.8		-20.6	+9.6	291	3.71
KG7	白云石	康古尔 VI 号矿体	-4.9	-51	-20.5	+9.7	291	3.81
KG9	白云石	康古尔 VI 号矿体	-4.8	-55	-20.7	+9.5	291	3.61
KG10	白云石	康古尔 VI 号矿体	-4.9	-47	-20.3	+9.9	291	4.01
KG11	白云石	康古尔 VI 号矿体	-5.3	-45	-20.7	+9.5	291	3.61
KG12	方解石	康古尔 VI 号矿体	-2.4	-61	-19.5	+10.8	291	4.90
KG15	白云石	康古尔 VI 号矿体	-3.9	-50	-20.5	+9.8	291	3.91
GD1	大理岩	干墩组	4.0		-5.2	+25.5		
GD2	大理岩	干墩组	3.9		-6.0	+24.6		
GD3	大理岩	干墩组	3.9		-5.9	+24.8		
GD4	大理岩	干墩组	3.9		-6.3	+24.4		
YMS1-1	大理岩	雅满苏组	1.5		-12.0	+18.5		
YMS1-2	大理岩	雅满苏组	0.2		-9.6	+21.0		
YMS1-3	大理岩	雅满苏组	-0.2		-14.7	+15.7		
YMS1-4	大理岩	雅满苏组	0.7		-16.2	+14.2		
YMS2-1	大理岩	雅满苏组	1.2		-13.4	+17.1		
YMS2-2	大理岩	雅满苏组	1.1		-13.4	+17.0		
YMS2-3	大理岩	雅满苏组	1.0		-14.0	+16.4		
YMS2-4	大理岩	雅满苏组	1.3		-14.6	+15.8		

注: 碳氧同位素分析均在国土资源部同位素地质重点实验室 Finningan MAT 251 质谱仪进行, 碳和氧同位素的分析误差为 $\pm 0.2\%$, 氢同位素误差为 $\pm 2\%$ 。

(2001)和毛景文等(2002a)通过总结得出所有造山型金矿的共同特点是在成矿晚阶段普遍出现大量石英碳酸盐脉或碳酸盐脉,这表明在成矿晚期有大量CO₂的存在。Lu等(1996)对国外一些著名韧性剪切带型金矿的成矿流体进行了总结,发现多为CO₂-H₂O体系,并提出流体中的高含量CO₂可作为找矿的一种标志;胡文瑄等(2001)对国内21个金矿(多为造山型金矿)的成矿流体成分进行了总结,认为成矿流体主要为H₂O-CO₂或H₂O-CO₂-NaCl体系;陈毓川等(1996)和Mao等(2002b)在四川大水沟(金)矿床中发现了大量气相和液相CO₂包裹体,测试结果表明H₂O、CO₂和CH₄为主要的成分;孙丰月等(1995a)、徐九华等(1997)和毛景文等(2002a)研究胶东地区金矿时发现流体包裹体中含有相当量的CO₂,成矿流体为CO₂-H₂O-NaCl体系;毛景文等(2001)通过研究认为河北东坪金矿流体包裹体主要为CO₂-NaCl-H₂O和H₂O-NaCl体系,整体以CO₂广泛发育为特征;毛景文等,1997a,b)和Mao等(2002a)在湖南万古金矿中发现含CO₂的气相包裹体,测得CO₂、CH₄和H₂O为成矿流体主要的气相成分。以上这些金矿床中的CO₂基本上被上述作者认为是来自于地幔流体。东天山康古尔金矿床在镜下观察到的流体包裹体类型主要为

气液两相H₂O包裹体、气液两相CO₂-H₂O包裹体和三相CO₂-H₂O包裹体,流体包裹体气相成分分析(群体和拉曼单体)以H₂O和CO₂为主,成矿流体为H₂O-CO₂-NaCl体系(张连昌等,1999),具有与上述矿床相似的富CO₂流体包裹体,这可能反映出地幔流体参与了成矿作用(成矿晚阶段)。

3.2 碳氧同位素对成矿物源的指示

康古尔金矿床碳酸盐脉的δ¹³C_{PDB}值为-6.2‰~-2.4‰,与Hoefs(1987)界定的地幔来源碳同位素值(-5‰±2‰)相当接近,把δ¹³C_{PDB}值放到Rollinson(1993)的同位素对比图解(图2)中,其值域位于地幔区间,与岩浆碳酸岩相当,显示出地幔来源的特征;康古尔金矿床碳酸盐脉的δ¹⁸O_{SMOW}为+8.5‰~+10.8‰,在图2中可以看到,碳酸盐脉的δ¹⁸O_{SMOW}值域与正常的安山岩、流纹岩、岩浆水相当,接近于地幔均值(+5.7‰±0.3‰),显示出深部流体来源的特征。干墩组中大理岩的δ¹³C_{PDB}值(+3.9‰~+4.0‰)和雅满苏组中大理岩的δ¹³C_{PDB}值(-0.2‰~+1.5‰)虽有些不同,但均与海相碳酸盐岩的δ¹³C_{PDB}值(0±4‰,Ohmoto,1986)相当,在图2中,δ¹³C_{PDB}值域与海相碳酸盐和大理岩相当。干墩组中大理岩的δ¹⁸O_{SMOW}值(+24.4‰~+25.5‰)和雅满苏组中大理岩的δ¹⁸O_{SMOW}值

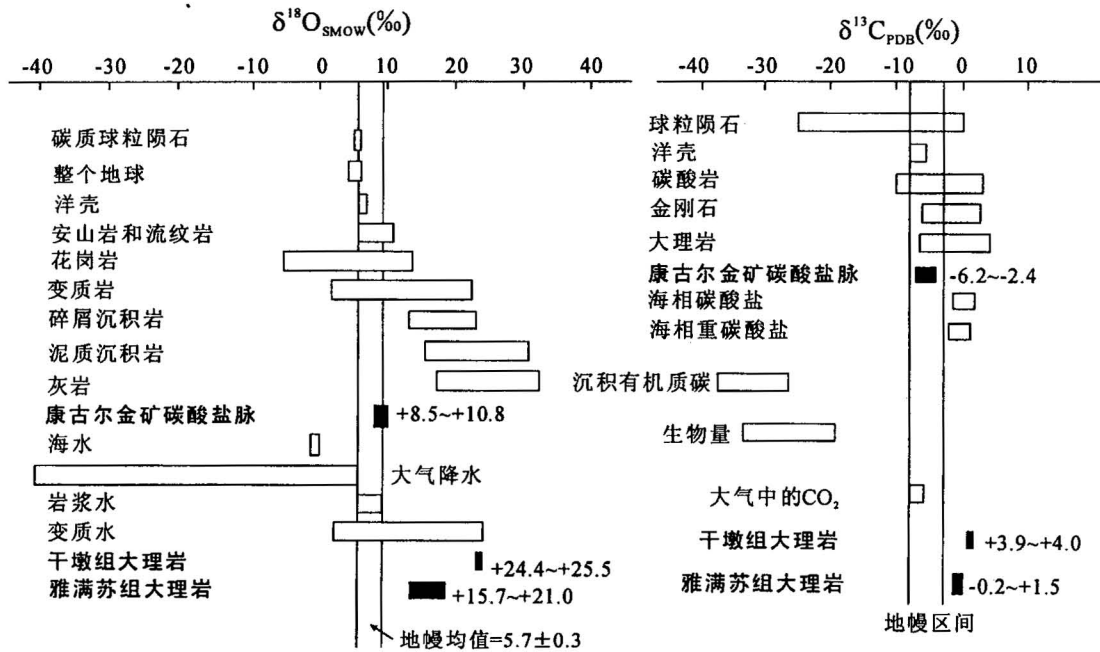


图2 康古尔金矿床碳酸盐脉和周围地层中大理岩的δ¹⁸O_{SMOW}和δ¹³C_{PDB}同位素含量对比图解 (原图据 Rollinson, 1993)

Fig. 2 Comparative diagram of δ¹⁸O_{SMOW} and δ¹³C_{PDB} isotope composition of carbonates from the Kanggur gold deposit and marbles from the lower Carboniferous Yamansu and Gandun Formations(after Rollinson, 1993)

(+15.7‰ ~ +21.0‰)均与变质岩、泥质沉积岩、碎屑沉积岩和灰岩接近(图2)。干墩组和雅满苏组中大理岩的碳氧同位素组成与世界上其他地区的海相碳酸盐岩基本相同(Keith et al., 1964; 陈毓川等, 1996),以富¹³C和¹⁸O为特征。从以上分析可以得出结论,康古尔金矿床中碳酸盐脉主要来自地幔深部流体,与周围地层干墩组和雅满苏组中海相碳酸盐没有明显的关系。

在 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 对 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 图解中(图3),康古尔金矿床中碳酸盐脉的15个样品的投影点中,2~3个投影点落在地幔多相体系流体演化的沉积岩混染/高温效应的趋势线上,这可能反映在成矿过程中流体与围岩中的沉积岩发生了反应;大部分投影点落在地幔多相体系的沉积岩混染/高温效应趋势线和原始碳酸岩的低温蚀变趋势线之间,偏前者的一侧,反映出高温效应到低温蚀变的特征,这一现象与该金矿床形成过程中温度由高到低的变化是一致的;14个投影点落在地幔多相体系中 Taylor 等(1967)界定的原始碳酸岩区,这进一步说明康古尔金矿床中碳酸盐脉的形成与地幔深部流体有密切关系。

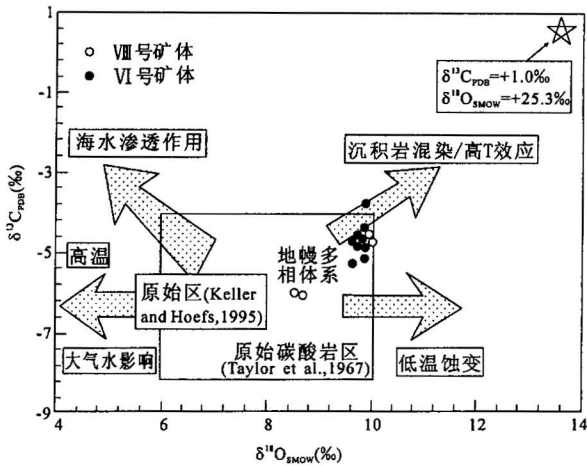


图 3 康古尔金矿床碳酸盐脉的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 对 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 图解 [原图为孙景贵等(2001)]

Fig. 3 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ versus $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ diagram of carbonates from the Kanggur gold deposit [After Sun Jingui et al. (2001)]

3.3 氢氧同位素对成矿物源的指示

康古尔金矿床Ⅷ号和Ⅵ号两个矿体中矿石的氢同位素组成十分类似, $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 值分别为 $-56\text{‰} \sim -42\text{‰}$ (平均为 -51‰)和 $-61\text{‰} \sim -45\text{‰}$ (平均为 -51‰),与 Ohmoto(1986)和 Sheppard(1986)界定的岩浆水氢同位素值($-40\text{‰} \sim -80\text{‰}$)一致。

利用分析直接得到的 $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 和计算得到的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 进行 $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 对 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 投图(图4),该金矿床矿石中碳酸盐脉投点位于原始岩浆水组成区域的左侧,这表明成矿流体主要来自岩浆水。由于岩浆与地幔作用密切相关,在目前条件下尚不能有效区分岩浆流体与地幔流体,一般来说,两者比较相似或者在地质作用过程中往往混合在一起。康古尔金矿床矿石硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 为 $-2.4\text{‰} \sim 4.1\text{‰}$ (平均为 0.61‰),明显为地幔来源(张连昌等,1998b;毛景文等^②);矿石铅同位素组成位于地幔演化线与造山带演化线之间,反映出矿石铅为经历造山作用改造的幔源铅(张连昌等,1998b);总之,康古尔金矿床矿石氢氧、硫和铅同位素组成比较一致地反映出地幔物质对成矿作用的贡献。

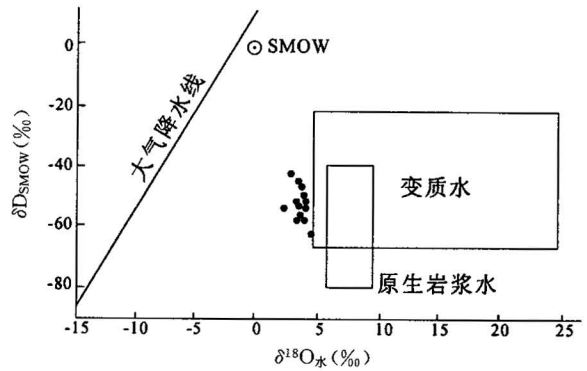


图 4 康古尔金矿床成矿流体 $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 图解

Fig. 4 $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{water}}$ diagram of ore-forming fluids from the Kanggur gold deposit

3.4 康古尔金矿的成矿过程

康古尔金矿的赋矿地层为下石炭统雅满苏组火山岩。矿区英云闪长岩体的侵位时代为 $275 \pm 7\text{Ma} \sim 248 \pm 1\text{Ma}$ (李华芹等,1998)。塔里木板块与准噶尔板块碰撞对接以及随后发生的大型走滑—剪切作用时间段约为 $280 \sim 240\text{Ma}$ (李锦轶等^②)。主成矿时代为 $258 \pm 21 \sim 254 \pm 7\text{Ma}$ (李华芹等,1998),这表明花岗质岩石、大型走滑—剪切和金矿化在时间和空间上具有一致性。李锦轶等^②研究认为在奥陶纪时康古尔塔格洋板块沿康古尔断裂向土鲁番—哈密地块(属于准噶尔板块)之下俯冲,早石炭世在塔里木板块北部被动陆缘形成阿齐山—雅满苏裂谷式火山岩,中石炭世康古尔洋盆经过深海槽演化阶段并逐渐闭合,塔里木板块与准噶尔板块碰撞对接,由于受力面互相不垂直而出现大型走滑—剪切作用。石炭纪末期—二叠纪期间,由于下地壳拆沉或地

幔岩浆上涌,形成大量地壳重熔型花岗质岩浆及其伴随的安山质—流纹质火山岩浆,然后上升侵位到下石炭统雅满苏组火山岩中,逐渐与浅部少量的大气降水混合形成对流循环成矿系统,最终在糜棱岩带微裂隙中卸载沉淀形成金矿体。

致谢 在野外工作期间,新疆地勘局王福同总工和董连慧总工,新疆地勘局一大队王磊总工,康古尔金矿陆学良高工、吴礼斌高工和李红斌高工给予了大量支持和帮助,在此一并表示热忱谢意。

注 释

- ① 姬金生,曾章仁,杨兴科,等. 1995. 康古尔塔格金矿带控矿规律及靶区优选评价研究. 305项目“八五”报告.
- ② 李锦轶,王克卓,李文铅,等. 2002. 东天山地区构造格架. 国土资源大调查项目“DKD9902002”研究报告.
- ③ 毛景文,杨建民,王志良,等. 2002. 东天山成矿地质背景和成矿过程研究. 国土资源大调查项目“DKD9902001”研究报告.

参 考 文 献

- 蔡仲举. 1998. 康古尔韧性剪切带金矿床成矿特征及成因. 新疆地质, 16(2):163~178.
- 陈毓川,毛景文,骆耀南,魏家秀,曹志敏,银剑钊,周剑雄. 1996. 四川大水沟碛(金)矿床地质和地球化学. 北京:原子能出版社, 1~146.
- 韩春明,毛景文,杨建民,王志良,崔彬. 2002. 东天山晚古生代内生金属矿床类型和成矿作用的动力学演化规律. 地质学报, 76(2):222~234.
- 胡文瑄,孙睿,张文兰,孙国曦. 2001. 金矿成矿流体特点及深—浅部流体相互作用成矿机制. 地学前缘, 8(4):281~287.
- 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. 北京:地质出版社, 1~204.
- 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. 北京:地质出版社, 1~264.
- 骆辉,赵运超. 1997. 辽宁排山楼金矿地质和成矿作用. 前寒武纪研究进展, 20(4): 13~24.
- 毛景文,李延河,李红艳,王登红,宋鹤彬. 1997a. 湖南万古金矿床地幔流体成矿的氮同位素证据. 地质论评, 43(6): 646~649.
- 毛景文,李红艳,徐珏,罗富廷. 1997b. 湖南万古地区金矿地质与成因. 北京:原子能出版社, 1~133.
- 毛景文,李荫清. 2001. 河北省东坪碛化物金矿床流体包裹体研究. 矿床地质, 20(1):23~36.
- 毛景文,赫英,丁梯平. 2002a. 胶东金矿形成期间地幔流体参与成矿过程的碳氧氢同位素证据. 矿床地质, 21(2):121~128.
- 毛景文,杨建民,韩春明,王志良. 2002b. 东天山铜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):413~424.
- 孙丰月,石准立,冯本智. 1995a. 胶东金矿地质及幔源 C—H—O 流体分异成岩成矿. 长春:吉林人民出版社, 1~170.
- 孙丰月,石准立. 1995b. 试论幔源 C—H—O 流体与大陆板内某些地质作用. 地学前缘, 2(1~2): 167~174.
- 孙景贵,胡受奚,沈昆,姚凤良. 2001. 胶东金矿区矿田体系中基性—中酸性脉岩的碳、氧同位素地球化学研究. 岩石矿物学杂志, 20(1):47~56.
- 王义天,毛景文,卢欣祥,叶安旺. 2002. 河南小秦岭金矿区 Q875 脉中深部矿化蚀变岩的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其意义. 科学通报, 47(18):1427~1431.

- 王义天,毛景文,卢欣祥. 2001. 嵩县祁雨沟金矿成矿时代的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代学证据. 地质论评, 47(5):551~555.
- 王志良,毛景文,杨建民,马天林,韩春明. 2002. 东天山马头滩金矿成矿流体稀土元素特征. 新疆地质, 20(4): 367~370.
- 魏俊浩,刘丛强,赵永鑫. 2001. 辽宁五龙金矿主成矿阶段成矿持续时间. 地质论评, 47(4):433~437.
- 夏林圻. 1984. 我国六合、张家口碱性玄武岩内橄榄石包体中的高密度 CO_2 流体包裹体. 矿物学报, (2):133~142.
- 肖化云,刘丛强,黄智龙. 2001. 金刚石包裹体中的古地幔信息. 地球科学进展, 16(2):244~250.
- 徐九华,谢玉玲,申世亮. 1997. 小秦岭与胶东金矿床的成矿流体特征对比. 矿床地质, 16(2):151~162.
- 张德全,徐洪林,孙桂英. 1995. 山东邓格庄金矿与昆崙山花岗岩的定位时代及其地质意义. 地质论评, 41(5):415~425.
- 张连昌,姬金生,杨兴科,薛春纪,韩照信. 1998a. 马头滩韧性剪切带型金矿地质特征及成因. 西安工程学院学报, 20(4):15~19.
- 张连昌,姬金生,曾章仁,韩照信. 1998b. 东天山康古尔金矿床成矿物源的同位素地球化学特征. 现代地质, 12(3):380~387.
- 张连昌,姬金生,曾章仁,李华芹. 1998c. 康古尔金矿区次火山岩同位素年龄学及其意义. 新疆地质, 16(2):158~162.
- 张连昌,姬金生,曾章仁. 1999. 东天山康古尔金矿床成矿流体地球化学特征及其来源. 地球化学, 28(1):18~25.
- 张连昌,姬金生,李华芹,沈运超. 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):535~541.
- 张良臣,吴乃元. 1985. 天山地质构造及演化史. 新疆地质, 3(3):1~14.
- 郑建平,路凤香. 1994. 金刚石中的流体包裹体研究. 科学通报, 39(3):253~256.

References

- Barnicoat A C, Fare R J, Groves D L. 1991. Synmetamorphic lode-gold deposits in high-grade Archean setting. *Geology*, 19: 921~924.
- Cai Zhongju. 1998. Metallogenic characteristics and origin of Kanggur gold deposit of ductile shear zone type. *Xinjiang Geology*, 16(2): 163~178(in Chinese with English abstract).
- Coleman M L, Sheppard T J, Durham. 1982. Reduction of water with zinc for hydrogen isotope analysis. *Anal. Chem.*, 54: 993~995.
- Friedman I, O'Neil J R. 1977. Complication of stable isotope fractionation factors of geochemical interest. In: Fleischer M, ed. *Data of Geochemistry*, 6th edition. U. S. Geological Professional Paper.
- Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Mariam S G, Hagemann S G, Robert F. 1998. Orogenic gold deposits; proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to the other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*, 13:7~27.
- Han Chunming, Mao Jingwen, Yang Jianmin, Wang Zhiliang, Cui Bin. 2002. Types of late Palaeozoic endogenetic metal deposits and related geodynamical evolution in the East Tianshan Mountains. *Acta Geologica Sinica*, 76(2):222~234(in Chinese with English abstract).
- Hoefs J. 1987. *Stable isotope geochemistry*, 3rd edition. Berlin: Springer-Verlag.
- Hu Wenxuan, Sun Rui, Zhang Wenlan, Sun Guoxi. 2001. Characteristics of gold ore-forming fluids and metallogenic process by mutual mixing and acting of deep-derived fluids and shallow-

- seeped ones. *Earth Science Frontiers*, 8(4): 281~287 (in Chinese with English abstract).
- Ji Jinsheng, Tao Hongxiang, Zeng Zhangren, Yang Xingke, Zhang Lianchang. 1994. *Geology and metallogeny of Kanggurtag gold mineralization belt, eastern Tianshan Mountains*. Beijing: Geological Publishing House. 1~204 (in Chinese with English abstract).
- Jia Y, Kerrich R. 1999. Nitrogen isotope systematics of mesothermal lode deposits: Metamorphic, granitic, meteoric water, or mantle origin? *Geology*, 27:1051~1054.
- Jia Y, Kerrich R. 2000. Giant quartz vein systems in accretionary orogenic belts: The evidence for a metamorphic fluids origin from $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ studies. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 184: 211~224.
- Keith M L, Weber J N. 1964. Carbon and oxygen isotopic composition of selected limestones and fossils. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28: 1787~1816.
- Kerrick D M, Cladeira K. 1998. Metamorphic CO_2 degassing from orogenic belts. *Chemical Geology*, 45: 213~232.
- Kerrick R, Goldfarb R, Groves D, Garwin S, Jia Y. 2001. The characteristics, origins and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces. *Science in China (series D)*, 43(supp.): 1~68.
- Li Huaqin, Xie Caifu, Chang Hailiang. 1998. Study on metallogenetic chronology of nonferrous and precious metallic ore deposits in North Xinjiang, China. Beijing: Geological Publishing House, 1~264 (in Chinese with English abstract).
- Lowenstern J B. 1994. Dissolved volatile concentrations in an ore-forming magma. *Geology*, 22: 893~896.
- Lowenstern J B, Clynne M A, Bullen T D. 1997. Comagmatic A-type granophyre and rhyolite from the Alid volcanic center, Eritrea, northeast Africa. *J. Petrol.*, 38: 1707~1721.
- Lowenstern J B. 2001. Carbon dioxide in magmas and implications for hydrothermal systems. *Mineralium Deposita*, 36: 490~502.
- Lu H Z, Chi G X. 1996. Geochemical characteristics of ore forming fluids in shear zone hosted Archean gold deposits. *Earth Science Frontiers*, 3(3~4): 19~38 (in English).
- Luo Hui, Zhao Yunqi. 1997. Geology and mineralization of paishanlou gold deposit in Fuxin, Liaoning province. *Progress in Precambrian Research*, 20(4): 13~24 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Li Hongyan, Xu Jue, Luo Futing. 1997a. Geology and genesis of the Wangu gold deposit in Hunan province, China. Beijing: Atomic Energy Press, 1~133 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Li Yanhe, Li Hongyan, Wang Denghong, Song Hebin. 1997b. Helium isotopic evidence on ore-forming of mantle fluids in the Wangu gold deposit, Hunan Province. *Geological Review*, 43(6): 646~649 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Li Yinqing. 2001. Fluid inclusions of the Dongping gold Telluride deposit in Hebei Province, China; involvement of mantle fluid in metallogenesis. *Mineral Deposits*, 20(1): 23~36 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, He Ying, Ding Tiping. 2002a. Mantle fluids involved in metallogenesis of Jiaodong (East Shandong) gold district: evidences of C, O and H isotopes. *Mineral Deposits*, 21(2): 121~128 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Yang Jianmin, Han Chunming, Wang Zhiliang. 2002b. Metallogenic systems of polymetallic copper and gold deposits and related metallogenic geodynamic model in eastern Tianshan Mountains, Xinjiang. *Earth Science*, 27(4): 413~424 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Kerrich R, Li H Y, Li Y H. 2002c. High $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios in the Wangu gold deposit, Hunan province, China; Implications for mantle fluids along the Tancheng—Lujiang deep fault zone. *Geochemical Journal*, 36(3): 197~208.
- Mao J W, Wang Y T, Ding T P, Chen Y C, Wei J S, Yin J Z. 2002d. Dashuigou tellurium deposit in Sichuan Province, China; S, C, O, and H isotope data and their implications on hydrothermal mineralization. *Resource Geology*, 52(1): 15~23.
- Marinelli P, Metrich N, Sbrana A. 1999. Shallow and deep reservoirs involved in magma supply of the 1994 eruption of Vesuvius. *Bull. Volcanol.*, 61: 48~63.
- McCrea M. 1950. The isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale. *J. Chem. Phys.*, 18: 849~857.
- Moore J G, Batchelder J N, Cunningham C G. 1977. CO_2 -filled vesicles in mid-ocean basalt. *J. Volcanol Geotherm Res.*, 2: 309~327.
- Ohmoto H. 1986. Stable isotope geochemistry of ore deposits. In: Valley J W, Taylor H P and O'Neil J R, eds. *Stable isotopes and high temperature geological processes*. Reviews in Mineralogy 16, Mineral. Soc. Amer., 460~491.
- O'Neil J R, Clayton R N, Mayeda T K. 1969. Oxygen isotope fractionation in divalent metal carbonates. *J. Chem. Phys.*, 51: 5547~5558.
- Phillips C N, DeNooy D. 1988. High grade metamorphic processes within influence Archean gold deposits with particular reference to Big Bell, Australia. *J. Metamorphic Geol.*, 6: 95~114.
- Rollinson H R. 1993. Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation. New York: Longman Science and Technical, Copublished in the United States with John Wiley and Sons. Inc., 1~343.
- Schiano P, Clocchiatti R, Shimizu N. 1994. Cogenetic silica-rich and carbonate-rich melts trapped in mantle minerals in Kerguelen ultramafic xenoliths; implications for metasomatism in the oceanic upper mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 123: 167~178.
- Sheppard S M F. 1986. Characterization and isotopic variations in natural waters. *Rev. in Mineral.*, 16: 165~183.
- Sun Fengyue, Shi Zhunli. 1995b. Discussion on the mantle-derived C—H—O fluid system and its significance to some geologic processes within continental plate. *Earth Science Frontiers*, 2(1~2): 167~174 (in Chinese with English abstract).
- Sun Jinggui, Hu Shouxi, Shen Kun, Yao Fengliang. 2001. Research on C, O isotopic geochemistry of intermediate—basic and intermediate—acid dykes in gold fields of Jiaodong Peninsula. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(1): 47~56 (in Chinese with English abstract).
- Taylor H P, Frechen J, Degens E T. 1967. Oxygen and Carbon isotope studies of carbonatites from the Laacher see District, West Germany and the Alno District Sweden. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 31: 407~431.
- Trull T, Nadeau S, Pineau F. 1993. C—He systematics in hotspot xenoliths: implications for mantle carbon content and recycling. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 118: 43~64.
- Wang Yitian, Mao Jingwen, Lu Xinxiang. 2001. Ar—Ar dating and geochronological constraints on the ore-forming epoch of the Qiyugou gold deposit in Songxian County, Henan Province. *Geological Review*, 47(5): 551~555 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yitian, Mao Jingwen, Lu Xinxiang, Ye Anwang. 2002.

- ^{40}Ar - ^{39}Ar dating and geological implication of auriferous altered rocks from the middle—deep section of Q875 gold—quartz vein in Xiaoqinling area, Henan, China. *Chinese Science Bulletin*, 47 (20): 1750~1755 (in English).
- Wang Zhiliang, Mao Jingwen, Yang Jianmin, Ma Tianlin, Han Chunming. 2002. Characteristics of rare earth elements in ore-forming fluid from the Matoutan gold deposit in eastern Tianshan Mountains. *Xinjiang Geology*, 20(4): 367~370 (in Chinese with English abstract).
- Wei Junhao, Liu Congqiang, Zhao Yongxin. 2001. Time Span of the Major ore forming stages of the Wulong gold deposit, Liaoning. *Geological Review*, 47(4): 433~437 (in Chinese with English abstract).
- Xia Linqi. 1984. Highly dense CO_2 fluid inclusions in peridotitic inclusions in some alkali-basalts from East China. *Acta Mineralogica Sinica*, (2): 133~142 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Huayun, Liu Congqiang, Huang Zhilong. 2001. Information of old mantle from inclusions in diamonds. *Advance in Earth Sciences*, 16(2): 244~250 (in Chinese with English abstract).
- Xu Jiuhua, Xie Yuling, Shen Shiliang. 1997. A comparison of ore-forming fluids between gold deposits in Xiaoqinling Mountains and those in Jiaodong Peninsula. *Mineral Deposits*, 16(2): 151~162 (in Chinese with English abstract).
- Yang J H, Zhou X H. 2001. Rb-Sr, Sm-Nd, and Pb isotope systematics of pyrite: implications for the age and genesis of lode gold deposits. *Geology*, 29: 711~714.
- Zhang Dequan, Xu Honglin, Sun Guiying. 1995. Emplacement ages of the Denggezhuang gold deposit and the Kunyushan granite and their geological implication. *Geological Review*, 41(5): 415~425 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Lianchang, Ji Jinsheng, Yang Xingke, Xue Chunji, Han Zhaoxin. 1998a. Geological characteristics and genesis of the Matoutan ductile shear zone-type gold deposit in eastern Tianshan Mountains. *Journal of Xi'an Engineering University*, 20(4): 15~19 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Lianchang, Ji Jinsheng, Zeng Zhangren, Han Zhaoxin. 1998b. Studies of isotope geochemistry for ore-forming material origin of Kanggur gold deposit, East Tianshan Mountains. *Geoscience*, 12 (3): 380~387 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Lianchang, Ji Jinsheng, Zeng Zhangren, Li Huaqin. 1998c. Isotopic chronology and significance of subvolcanics in Kanggur gold district of East Tianshan Mountains. *Xinjiang Geology*, 16 (2): 158~162 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Lianchang, Ji Jinsheng, Zeng Zhangren. 1999. Geochemical characteristics and source of mineralizing fluid of Kanggur gold deposit, eastern Tianshan Mountains. *Geochimica*, 28(1): 18~25 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Lianchang, Ji Jinsheng, Li Huaqin, Shen Yuanchao. 2002. Geochemical characteristics and source of two-type ore-forming fluids in Kanggurtag gold ore belt, eastern Tianshan Mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 16(4): 535~541 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Liangchen, Wu Naiyuan. 1985. The geotectonics and its evolution of Tianshan. *Xinjiang Geology*, 3(3): 1~14 (in Chinese with English abstract).
- Zhen Jianping, Lu Fengxiang. 1994. Study on fluid inclusion in diamonds. *Chinese Science Bulletin*, 39(3): 253~256 (in Chinese).

C, O and H Isotopic Evidences for Mantle Fluids Involved in the Late Ore-Forming Stage of the Kanggur Gold Deposit in Eastern Tianshan Mountains

WANG Zhiliang¹⁾, MAO Jingwen^{1,2)}, WU Ganguo²⁾, YANG Jianmin¹⁾,
HAN Chunming³⁾, MA Tianlin⁴⁾, ZHANG Zuoheng¹⁾

1) *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

2) *China University of Geosciences, Beijing, 100083*

3) *Institute of High-Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039*

4) *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100081*

Abstract

The Kanggur gold deposit, located in northern Aqishan—Yamansu rift zone, northern Tarim plate, is a typical ductile shear zone (orogenic) gold deposit. Its mineralization consists of gold-bearing quartz vein stage and quartz-carbonate vein stage. In this paper, C, H and O isotopes of the carbonate minerals from gold ores and C and O isotopes of the marbles from the lower Carboniferous Yamansu Formation and Gandun Formations were determined. The analytical results show that C and O isotopes of the marbles are featured with ^{13}C and ^{18}O in abundance, almost identical to those of marine carbonate rocks from many areas in the world and different from those of the carbonate minerals from gold ores; and C, H and O isotopes of the carbonate minerals from gold ores approximate to those of carbonatites in the mantle multiphase system, implying mantle fluids involved in the late ore-forming stage (quartz-carbonate vein stage) in the Kanggur gold deposit.

Key words: mantle fluids; C, H, O isotope evidences; Kanggur gold deposit; eastern Tianshan Mountains; Xinjiang