甘肃塔儿沟石英脉型钨矿床流体及氢、氧、硫同位素研究

张作衡* 毛景文 杨建民 王志良 张招崇
（中国地质科学院矿床地质研究所，北京） （中国地质科学院地质研究所，北京）

提 要：塔儿沟钨矿床位于北祁连山加里东造山带的西南边缘，产出于距野牛滩岩体 300～500 m 的外接触带中，主要由夕卡岩型和石英脉型两类矿体组成。石英脉型矿体流体包裹体的研究表明其为中温热液矿床，成矿流体以 NaCl-H_2O 低盐度体系为主，氢氧同位素研究说明成矿热液为岩浆水＋大气降水的混合体；硫同位素研究反映了部分地层物质可能加入成矿系统。

关键词：石英脉型矿床 成矿流体 氢、氧、硫同位素 成矿机制 塔儿沟

塔儿沟钨矿床位于北祁连山加里东造山带的西段，它与加里东期碰撞前花岗质岩石——野牛滩岩体有成因联系，是我国西北地区最大的钨矿床之一，储量可达 20 万吨。本文对塔儿沟矿区石英脉型钨矿床的流体包裹体地球化学和氢、氧、硫等稳定同位素地球化学进行了研究，以探讨成矿流体的性质和成矿物质来源。

1 区域地质背景

塔儿沟矿区及其外围出露的地层有：古元古代北大河群片岩及大理岩夹层，斜长角闪岩和长石石英黑云母片岩；中元古代蛇绿岩；中新元古代镜铁山群千枚岩；新元古代大柳沟群灰岩和白杨河群砾岩以及奥陶纪玄武岩和灰岩等。北祁连造山运动导致塔儿沟矿区外围出现了一系列呈东西向及北西-南东向的褶皱、断层及复合断裂带。与成矿最密切的构造运动当属起因于中祁连地块陆壳向北俯冲的加里东期肃南运动，该运动使得俯冲带的上盘孕育了一条长达 180 km 的深成构造岩浆岩带，在其演化过程中，形成了塔儿沟等矿床。区内岩浆活动强烈，最典型的是早古生代中期野牛滩花岗闪长岩-黑云母花岗岩的侵入。毛景文等❶通过对野牛滩岩体的岩石学、岩石化学和微量元素等的研究认为，野牛滩岩体为一种介于 I 型和 S 型花岗岩之间的花岗岩类。

2 矿区地质及矿床特征

塔儿沟矿区出露的地层为古元古代北大河群第二岩组的片岩段，它是钨矿床的主要赋矿层位，广泛分布于矿区内，组成背斜构造，其轴部地层以角闪石片岩、条带状大理岩为主，其次有绢云石英片岩、黑云母石英片岩、千枚岩和石英岩等。矿区位于野牛滩岩体南侧塔儿

* 张作衡，男，1971 年生，从事金属矿床和地球化学研究。邮政编码：100037

❶ 毛景文等，1998，北祁连西段镜铁山式铁铜矿床成矿规律和成矿预测

http://www.kcdz.ac.cn/

沟和窑洞沟之间的由北大河群组成的塔儿沟背斜，背斜上叠加以同地层走向一致的断裂及发育不完全、延伸不长的小型层间褶皱，构造线总的方向为 310°～330°。矿区南部为 F_1 压扭性走向断层，中部发育有为数不多的南北向、北北东向等成矿后小型断裂。

矿床按矿体的产出特征、矿石的矿物组合及成矿作用方式的不同，可以分为夕卡岩型和石英黑钨矿脉型两种主要类型。石英脉型矿床是本研究的对象。

石英脉型矿床产于塔儿沟背斜的轴部及靠近轴部的两翼地段，矿体产于绢云石英片岩、角闪石英片岩和斜长角闪片岩中。矿化范围东西长 2900 m，南北宽 600～800 m，矿带走向 310°左右，矿脉倾角 50°～80°，延深 200～600 m。单矿体呈脉状，脉体形态复杂，具尖灭再现，分枝复合和膨胀收缩等特征。矿石的有用组分为黑钨矿、白钨矿及毒砂、黄铁矿等金属硫化物。

3 矿床流体包裹体地球化学

本次研究采集了 50 件含钨石英脉样品，开展了以石英为测试对象的流体包裹体研究。

石英脉型钨矿床的流体包裹体以气液两相包裹体为主，还有部分含 L_{CO_2} 及少量含 NaCl 子晶的多相包裹体。包裹体比较细小，一般为 2～10 μm，气液比为 5%～20%，均一温度的范围从 140℃到 380℃，但大多集中于 240～320℃，成矿温度的高峰值为 270℃。

不同类型的包裹体其所含流体的成分和性质有所不同，依据这些特点可以将该矿床的成矿流体分为 3 种类型：即 NaCl-H_2O 低盐度体系，CO_2-NaCl-H_2O 体系和 NaCl-H_2O 高盐度体系。通过测定各类包裹体的冰点所获得的相应流体的盐度分别为 2.6%～17.4%、1.1%～4.6%和 30%左右。其中 NaCl-H_2O 低盐度体系是矿床的主要成矿流体类型，主要的盐度范围为 8.3%～12%，为中等盐度流体。通过温度、密度和盐度之间的关系（Ahamd and Rose，1986）[2]计算出的流体密度为 0.75～1.01 g/cm^3。由于成矿流体以 NaCl-H_2O 低盐度体系为主导，利用均一温度、盐度和密度等数据，经查 Roedder 等的不同密度的 NaCl-H_2O 溶液等容线图[3]，估测出成矿的压力范围为 30～80MPa。

由激光拉曼光谱分析结果（表 1）可知，无论是气相还是液相，其中 CO_2 的含量均为最高，分别为 62.1 mol%～78.9 mol%和 24.8 mol%～65.2 mol%，其次为 H_2O，分别可达 16.2 mol%和 62.0 mol%。另外还含有少量的 CH_4、N_2、H_2 和 H_2 等。这与本区发育含 L_{CO_2} 多相包裹体的事实相符合，CO_2/H_2O 比值大于 1，说明可能有地幔流体参与成矿。

表 1 石英黑钨矿中石英包裹体气液相成分分析

样品编号	气相/mol%						液相/mol%			
	CO_2	N_2	H_2S	CH_4	H_2O	H_2	H_2O	CO_2	H_2S	CH_4
T-8	62.1	—	4.1	3.8	1	3.4	62.0	4.6	—	
T-10	78.9	—	3.7	17.4	—	—	56.1	24.8	6.3	12.8
T-11	76.6	6.5	—	—	11.2	5.7	41.3	50.5	—	8.2
T4-1-i	63.0	4.6	4.5	27.9	—	—	36.9	43.4	11.9	7.8
T5-2	67.6	—	—	13.1	16.2	3.1		65.2	15.1	19.7

注：由中国地质科学院西安地质矿产研究所王志海测试

4 矿床氢、氧和硫同位素地球化学

4.1 氢氧同位素组成和热液来源

本次工作共测试了石英黑钨矿脉中 23 件氧同位素数据，其中石英 14 件，黑钨矿 9 件。石英中氧同位素的值域为 10.5‰～13.3‰，黑钨矿为 3.4‰～5.1‰，利用均一温度的平均值，代入分馏方程所获 $\delta^{18}O_{H_2O}$的值为 2.7‰～5.5‰（表 2）。由于未挑到足够的单矿物，故未测得氢同位素数据。由 $\delta D = 1.27\delta^{18}O_{H_2O} - 74.2$❶计算所得的 δD 值也一并列于表 2 中，其值域为 −67‰～−71‰，在 δD-δ^{18}O 图解（图 1）上投影可知：投影点均落在了岩浆水的边缘及大气降水的区域。由此可知，石英黑钨矿脉型矿床的成矿流体由岩浆水向岩浆水加大气降水演化。最新的研究成果表明，热液矿床的成矿溶液主要来源是大气降水和海水，而非岩浆水[1]。

表 2　石英脉型矿床氢氧同位素组成

样　号	矿 物	$\delta^{18}O_{SMOW}$ /‰	$\delta^{18}O_{H_2O}$ /‰	δD/‰	样号	矿物	$\delta^{18}O_{SMOW}$ /‰	$\delta^{18}O_{H_2O}$ /‰	δD/‰
TE1-3-1	石英	11.4	3.6	−70	T5-2-1	石英	12.2	4.4	−69
	黑钨矿	4.6	4.7	−68		黑钨矿	4.8	4.9	−68
TE1-3	石英	10.5	2.7	−71	T4-1-1	石英	11.6	3.8	−69
	黑钨矿	5.1	5.2	−68		黑钨矿	5.0	5.1	−68
TE2-6	石英	11.2	3.4	−70	TE	石英	11.6	3.8	−69
	黑钨矿	4.7	4.7	−68					
TE2-6-1	石英	12.2	4.4	−69	TE-1	石英	12.7	4.9	−68
	黑钨矿	4.6	4.7	−68	TE-1-1	石英	13.3	5.5	−67
TE2-10	石英	11.6	3.8	−69	T5-1-2	石英	13.0	5.2	−68
	黑钨矿	3.4	3.5	−70					
TE2-10-1	黑钨矿	4.3	—	—	T4-1	石英	12.5	4.7	−68
T5-2	石英	11.5	3.7	−69	T5-1	石英	12.1	4.3	−69
	黑钨矿	4.0	5.0	−68					

注：由中国地质科学院矿床地质研究所白瑞梅；分馏方程据文献测试［4］和［5］

4.2 硫同位素地球化学

共测得石英脉型矿床硫同位素 17 件，结合已有资料，共获得 46 件硫同位素数据，其中黄铁矿 27 件，黄铜矿 6 件，磁黄铁矿 2 件，钾长石 7 件，方铅矿 2 件，闪锌矿和水绿矾各 1 件，它们的 $\delta^{34}S$ 值分别为 9.7‰～15.9‰，10.9‰～14.4‰，11.9‰～12.2‰，9.3‰～13.2‰，11.1‰～12.2‰，11.8‰和 12.6‰，全部硫同位素组成极差为 16.00‰。由不同矿物中 $\delta^{34}S$ 的值可知，硫同位素未达到平衡，说明了硫的来源可能具有多样性或硫进入系统

❶ 邹治平等，1988，甘肃省肃北蒙古族自治县塔儿沟钨矿矿床特征

http://www.kcdz.ac.cn/

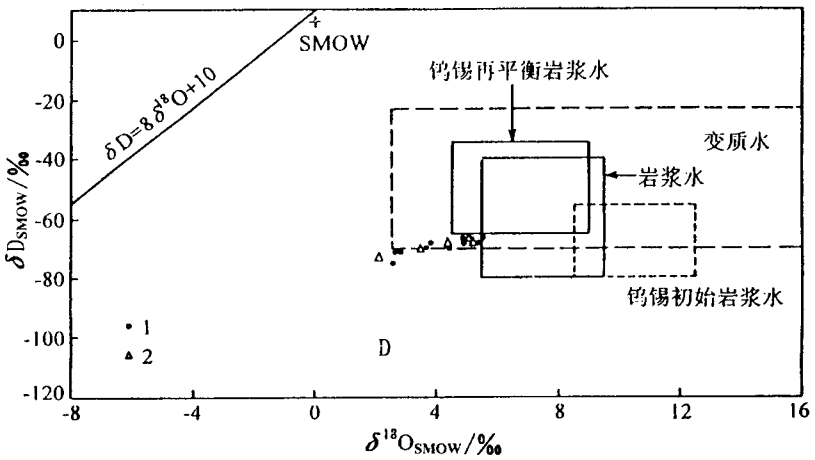

图 1 塔儿沟石英脉型钨矿床成矿流体 δD-$\delta^{18}O$ 图解

1—石英黑钨矿脉中的石英；2—石英黑钨矿脉中的黑钨矿

后未达到均匀，但是硫同位素组成直方图塔式效应比较明显，又说明均一化程度较高，这可能与地层中有^{34}S的加入或成矿环境 f_{O_2} 的变化有关。

5 石英脉型钨矿床形成机制探讨

Lehmann (1994)[6]认为，在地球历史演化过程中，由于稀有金属（国际上将 W 列为稀有金属）的低挥发性或难熔性而趋向地壳，导致在局部地层中含量增加。花岗质岩浆的形成和运移主导着这些稀有元素的分散和富集。野牛滩花岗闪长岩体经历了比较好的分异演化作用，这无疑将硅质、碱质、挥发分及不相容元素和钨等成矿元素富集到岩体的隆起部位，通过交代或沉积作用而成矿。在岩浆的分异演化过程中，越来越多的大气降水加入到了成矿热液中，同时可能将部分地层物质带入了成矿热液。当成矿热液与钙质围岩发生交代形成钙质夕卡岩和白钨矿之后，岩体的冷凝作用使得岩体隆起部位产生了直通围岩的裂隙系统，原聚集在岩隆部位的成矿流体开始沸腾，沿裂隙向减压方向运移，经过与围岩的水岩反应，逐渐交代和沉淀成矿，形成石英黑钨矿脉型矿床。

http://www.kcdz.ac.cn/

参 考 文 献

1 李延河. 同位素示踪技术在地质研究中的某些应用. 地学前缘，1998，5 (1～2)：275～278.

2 Ahamad S N, Rose A W. Fluid Inclusions in Porphyry and Skarn Ore at Santa Rita, New. Mexico. Econ. Geol. 1980, 75 (2): 229～250.

3 Roedder E. Fluid in clusions. America Reviews in Mineralogy. 1984, 12: 25～35.

4 Clayton R N, O'Neil J R and Mayeda T K. Oxygen isotope exchang between quartz and water Jour. Geophys. Res., 1972, 77: 3057～3067.

5 Lands G P and Rye R O. Geologic, fluid inclusion and stable isotope studies of the Pasta Bueno tungstenbase metal ore deposits, Northern Peru. Econ. Geol., 1974, 69 (7): 1025～1059.

6 Lehmann B. Granite-related rare-metal mineralization: a general geochemical framework. In: Seltmann, R. Kampf, H. and Moller P. eds., Metallogeny of collisional orogens. Czech Geological survey. Prague, 1994, 342～349.