第三节　同位素地球化学

一、氢、氧和碳同位素

随着流体包裹体地球化学研究的深入以及同位素地球化学现代分析测试手段的不断发展，氢、氧和碳同位素资料在矿床学中得到了广泛应用，尤其是在研究矿床成因及成矿流体来源方面发挥着重要作用。我们本次主要对该地区造山带中的金（锑）矿床进行了氢、氧和碳同位素分析。由于成矿过程具有多期多阶段性，早期矿化形成的矿物往往受到后期矿化作用的叠加改造，从而给我们对成矿流体氢、氧、碳同位素组成的测试、计算和解释等带来了诸多麻烦。为了较准确地再造流体的形成、迁移、聚集等演化过程以及晚期流体的叠加改造，我们在详细的野外观察基础之上，分别对每个矿床挑选出不同成矿阶段的代表性石英样品用于同位素分析，另外，为了探讨水-岩相互作用及演化，还对五龙沟金矿和开荒北金矿的新鲜赋矿围岩样品进行了全岩氧同位素测试。

（一）氢、氧、碳同位素组成

4 个矿床的氢、氧、碳同位素分析结果列于表 3-12。表中的δD 为直接测定石英中包裹体水的值，$\delta^{13}C$ 为测定石英中包裹体 CO_2 的值，$\delta^{18}O_{H_2O}$ 是根据 Clayton et al（1972）有关石英-水体系中氧同位素分馏方程：$1000\ln\alpha_{石英-水}=3.38\times10^6T^{-2}-3.40$ 计算而来。从中可以看出，4 个矿床石英的$\delta^{18}O_{石英}$值均较高，五龙沟金矿的$\delta^{18}O_{石英}$为 9.1～13.6‰，开荒北金矿的$\delta^{18}O_{石英}$为 14.5～17.3‰，大场金锑矿$\delta^{18}O_{石英}$为 17.4～19.7‰，东大滩锑金矿$\delta^{18}O_{石英}$为 16.7～17.1‰，而且后三个矿床又比五龙沟金矿的高。经氧同位素平衡方程换算以后各矿床的氢、氧同位素组成分别为：五龙沟金矿的$\delta^{18}O_{H_2O}$＝2.48～4.56‰，δD＝-101～-85‰；开荒北金矿的$\delta^{18}O_{H_2O}$＝4.30～8.22‰，δD＝-95～-66‰；大场锑金矿$\delta^{18}O_{H_2O}$＝5.37～8.79‰，δD＝-106～-72‰；东大滩金锑矿$\delta^{18}O_{H_2O}$＝2.33～8.95‰，δD＝-100～-75‰，与包裹体均一温度相结合，各矿床均显示出从早到晚成矿流体的氢、氧同位素组成有规律性变化特征。

从表 3-12 和图 3-5 中可以看出，五龙沟金矿的$\delta^{13}C_{CO_2}$为-7.8～-6.8‰、开荒北金矿 1 件早期石英脉的$\delta^{13}C_{CO_2}$为-1.3‰、大场金锑矿的$\delta^{13}C_{CO_2}$为-4.9～1.0‰、东大滩锑金矿的$\delta^{13}C_{CO_2}$为-17.1～-7.7‰，显示出一部分碳源可能来自围岩地层，而大部分接近于大气 CO_2 的$\delta^{13}C_{CO_2}$值（－8‰±），反映成矿过程中大气降水的重要参与。

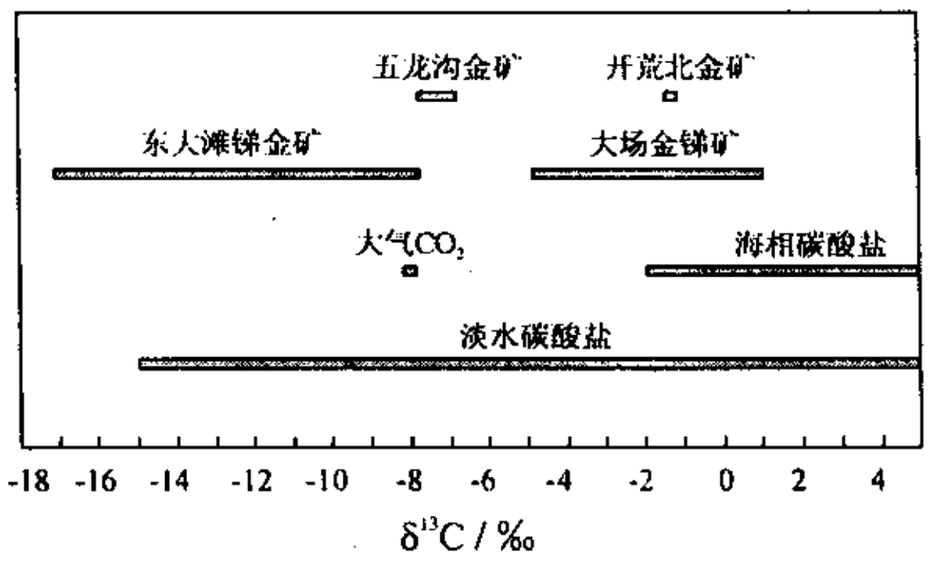


图 3-5　东昆仑地区金矿床碳同位素组成对比图

（二）水-岩交换作用

将表中各矿床氢、氧同位素数据投点到δD-$\delta^{18}O_{H_2O}$相关图解上（图 3-6），从中可以看出，除五龙沟金矿外，其它 3 个矿床都有部分数据点落在岩浆水范围内，其余的数据点则位于岩浆水与大气降水线之间，且有向大气降水演化的趋势，那么是否就可以认为这些矿床的成矿流体主要由岩浆水和/或变质水与大气降水混合而成，成矿早期以岩浆水和/或变质水为主，成矿晚期则以大气降水为主呢？事实上，问题并没有这么简单。众所周知，我们目前所测的流体氢、氧同位素组成，实质上为不同来源的水与不同类型的岩石进行了水—岩交换后的结果，不同于原始水的同位素组成，除受原始热液氢、氧同位素组成影响外，