第 6 章 哀牢山金矿带成矿物质来源和成矿时代

6.1 引言

关于哀牢山金矿带矿床同位素示踪和定年工作，前人的研究已积累了不少分析数据，但同位素地球化学示踪方面多为稳定同位素数据，而缺少放射性同位素数据，并且对这些稳定同位素数据不同学者的解释有明显差异，这些数据明显存在多解性；同位素定年方面的数据主要集中在墨江金镍矿，所测年龄结果比较分散，研究者对此多理解为墨江金镍矿存在多期矿化事件；而对大坪金矿、老王寨金矿仅有个别定年数据。因此本文结合研究的实际条件，重点对大坪金矿含金石英脉开展了放射性同位素示踪和定年工作，具体目标为：利用含金石英脉中的白钨矿进行 Rb-Sr、Sm-Nd 同位素定年和示踪和惰性气体同位素示踪，利用含金石英脉中的硫化物、白钨矿、矿石进行 Re-Os 同位素定年和示踪，利用近矿围岩中的绢云母进行 Ar-Ar 定年。本章重点介绍本文在放射性同位素示踪和定年方面的测定数据，并结合前人的研究成果讨论哀牢山金矿带金矿床矿床的成矿物质来源和成矿时代。本文也曾对墨江金矿利用镍金矿石中的铬水云母单矿物样进行了 Ar-Ar 定年，结果不理想，作者认为该矿体本身是金、镍叠加成矿，矿石中的铬水云母不一定是同期的，故测定结果没有列出。

6.2 同位素地球化学示踪

6.2.1 大坪白钨矿的 Rb-Sr、Sm-Nd 同位素体系

6.2.1.1 引言

白钨矿的化学组成为 $CaWO_4$，是富 Ca 的矿物，因而富集 REE 和 Sr，这些元素是以类质同象的形式置换 Ca^{2+}进入白钨矿中。因此它具有高含量的 Sm/Nd 比值，可以用来 Sm-Nd 定年;同时具有很高的 Sr/Rb 比值，测试其 Sr 同位素组成就可以代表初始成矿流体的 Sr 同位素组成，可以用来示踪流体来源。在许多热液型钨矿、矽卡岩型钨矿及热液金矿中，白钨矿是常见的矿石矿

物，理论上它是很好的定年和示踪矿物。Bell et al. (1989) 最早用白钨矿的 Sm-Nd 和 Rb-Sr 体系对加拿大安大略湖金矿进行定年和示踪，获得一条 Sm-Nd 等时线年龄[129]。此后有许多利用白钨矿进行绿岩带金矿和或者钨矿进行同位素示踪和同位素定年的例子，应用范围扩展到 Nd-Sr-Pb 体系、Re-Os 体系等[128, 130, 133,145]。鉴于此，本文选择白钨矿尝试对大坪金矿进行 Sm-Nd 和 Rb-Sr 体系定年和示踪研究。

6.2. 1.2 样品和分析方法

白钨矿样品分别采集于大坪金矿 6 号、8 号和 51 号等主要含金石英脉中，其中白钨矿呈团块状或串珠状分布于矿脉边缘，是该矿床成矿早期较高温阶段的产物。白钨矿多为自形晶，呈四方双锥状，粒径为 5 ~ 20mm，黄褐色到褐红色。在阴极发光照射和透射电镜下均未发现明显的环带结构，表明晶体内部成分较均一。

将所挑选的含白钨矿石英脉岩样研碎至 40~60 目，接着用重液分选，将比重较轻的石英和硫化物等物质分离出来，将余样洗净，烘干，最后在双目镜下挑选白钨矿单矿物样品至纯度大于 99%用于送样分析。

Sm-Nd、Rb-Sr 同位素组成分析在北京中科院地质与地球物理研究所固体同位素实验室用 MAT262 热电离质谱计分析完成。 Sr、Nd 同位素分析流程相似: 首先将样品加入 HF+ $HClO_4$ 混合酸溶解，然后分别用 AGW50×12(100~200 目)阳离子交换柱将 Rb、Sr 分离，用萃淋树脂离子交换柱将 Sm 和 Nd 分离。化学分析在净化实验室的超净工作台内完成。实验全流程空白 $w(Rb)=50\times10^{-11}$、$w(Sr)=50\times10^{-11}$、$w(Sm)=7\times10^{-11}$、$w(Nd)=8\times10^{-11}$。分析标样 NBS987 的 $w(^{87}Sr)/w(^{86}Sr)=0.710234\pm7\times10^{-6}$，LA 的 $w(^{143}Nd)/w(^{144}Nd)=0.511838\pm8\times10^{-6}$。

6.2.1.3 结果与讨论

本次对大坪白钨矿的 Rb-Sr、Sm-Nd 同位素测定结果见表 6-1， 7 个样品在 Rb-Sr、Sm-Nd 等时线图上均不能构成等时线。前人研究显示大坪金矿成矿年龄为喜山早期，约在 50Ma 左右[24]，与本文的测定的 Ar-Ar 年龄（见后文及

文献［227］）类似，在这样的年龄下，由 ^{87}Rb 和 ^{147}Sm 衰变而引起的白钨矿中的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 和 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 值变化甚微，接近同位素比值测定误差范围，这应是影响等时线年龄测定的一个原因。同时，大坪白钨矿极低的 Rb 含量（均低于 1×10^{-6}）也使得由 ^{87}Rb 衰变而来的 ^{87}Sr 基本可以忽略不计，基于此，可以用测定的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 和 $\varepsilon Nd_{(0)}$ 近似代替 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_0$ 和 εNd 值参与讨论成矿流体的来源。

表 6-1　大坪金矿白钨矿的 Rb-Sr、Sm-Nd 同位素分析结果

样 号	04101	04107	04113	04114	04129	04130	04132
$^{87}Rb/^{86}Sr$	0.00067	0.00018	0.00023	0.00033	0.00022	0.00025	0.00122
$^{87}Sr/^{86}Sr$	0.7094	0.7088	0.7094	0.7097	0.7112	0.7108	0.7110
误差（2σ）	13	11	14	12	14	12	13
$^{147}Sm/^{144}Nd$	0.2162	0.2302	0.2182	0.2324	0.2435	0.2521	0.2435
$^{143}Nd/^{144}Nd$	0.512239	0.512206	0.512211	0.512228	0.51232	0.512292	0.512299
误差（2σ）	9	8	10	9	9	9	8
$\varepsilon Nd_{(0)}$	-7.78	-8.43	-8.33	-8.00	-6.20	-6.75	-6.61

本区白钨矿的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 在 0.7088～0.7112 之间，大于原始地幔值，但远低于大陆地壳平均值 0.719；$\varepsilon Nd(0)$为-8.43 ～ -6.20，远低于原始地幔值，说明成矿物质主要源于地壳。在$(^{87}Sr/^{86}Sr)_0$ - $\varepsilon Nd_{(0)}$关系图上（图 6－1），大坪白钨矿各数据点未落在壳幔混合的哀牢山－金沙江富碱斑岩、煌斑岩钕锶值范围内，说明相对于本区喜山期幔源煌斑岩等岩脉，金矿脉的形成过程中有较多的地壳物质加入；这些投点的 $\varepsilon Nd_{(0)}$均高于中新生代喜马拉雅造山带花岗岩，显示其物质来源较深。值得注意的是，大坪白钨矿投点全部落在下地壳范围，联系到大坪白钨矿中出现大量纯 CO_2 和含 CO_2 流体包裹体（图版 V-6），以及大坪金矿成矿流体中富含 CO_2[34]，因此，形成大坪白钨矿的成矿流体可能主要来自富含 CO_2 的下地壳麻粒岩相变质岩[217]。考虑到这些落点亦落在华南 I 型花岗岩和 S 型花岗岩交叉范围内，因此并不能排除幔源物质的加入。

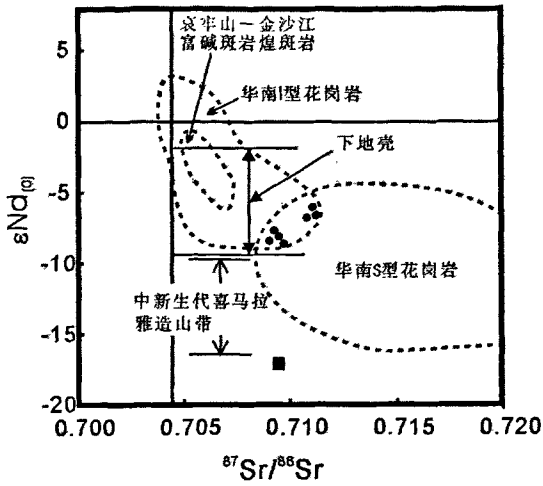


图 6－1　大坪金矿白钨矿的$(^{87}Sr/^{86}Sr)_0$ - ε $Nd_{(0)}$关系图.

图中华南花岗岩数据据文献［228]；哀牢山－金沙江富碱斑岩、煌斑岩数据据据文献[42]；中新生代喜马拉雅造山带 ε Nd 引自文献[229]；下地壳范围来自文献[230].

●为本次分析的大坪金矿白钨矿投影点。

6.2.2 大坪白钨矿的惰性气体同位素体系

6.2.2.1 引言

近年来，惰性气体同位素体系被广泛应用于成矿物质和成矿过程的示踪研究，取得了许多其他方法无法获得的重要信息[9,231~243]，其主要原因在于惰性气体同位素体系在水/岩反应中基本保持不变，同时不同来源的成矿流体惰性同位素组成差异甚大，因此可以反映成矿流体来源和演化过程的原始信息。本文以大坪金矿为典型矿例，采用超高真空气相质谱系统测定其中白钨矿惰性气体同位素组成，并据此初步讨论了大坪金矿的成因机制和流体来源。

6.2.2.2 样品和分析方法

鉴于白钨矿是大坪金矿中最早晶出的矿石矿物，其中流体包裹体可以在最大程度上反映成矿流体的原始信息，因此本文选择白钨矿进行测定。单矿物样