6.2.3 大坪金矿 Re-Os 同位素体系

6.2.3.1 引言

Re-Os 同位素体系可用于金属矿床中矿石矿物的直接定年和成矿物质示踪，已被广泛用于矿床地球化学的研究，如杜安道等（ 1994）、Lambert et al.（2000）、 蒋少涌等（ 2000）、毛景文等（2001, 2002, 2004）、杨刚等（2005）、董方浏等（2005）、石贵勇等（ 2006）对不同矿床应用 Re-Os 同位素体系均取得了较好的效果[250~259]，本文较系统地分析了大坪金矿床主要金矿石的 Re-Os 同位素组成，并据此讨论了矿床成因和物质来源。

6.2.3.2 样品和分析方法

本次测试所用样品均为采自大坪金矿主要金矿脉(如三号、五号、六号和八号脉)的黄铁矿和白钨矿。 首先将手标本样品破碎到粒径 0.1~0.25cm，双目镜下手工挑选黄铁矿和白钨矿单矿物样品至纯度 99.9%以上，并在玛瑙研钵中研磨至 75μm 粒度.

样品测试工作在国家地质实验测试中心进行。具体分析流程如下：样品中的 Re 和 Os 含量均采用同位素稀释法(ID-ICP-MS)完成。^{185}Re 和 ^{190}Os 稀释剂购买于美国橡树岭国家实验室(Oak Ridge National Laboratory)，并在国家地质实验测试中心标定。将准确称取的分析样品通过长细颈漏斗加入到 Carius 管底部，缓慢加液氮到有半杯乙醇的保温杯中，调节温度到-50～-80℃。将放装好样的 Carius 管到该保温杯中，通过长细颈漏斗把准确称取的 ^{185}Re 和 ^{190}Os 混合稀释剂加入到 Carius 管底部，再加入 4 mL 10 mol/L HCl， 4mL 16 mol/L HNO_3。当管底溶液冰冻后，用丙烷氧气火焰加热封好 carius 管的细颈部分。放入不锈钢套管内。轻轻放套管入鼓风烘箱内，待回到室温后，逐渐升温到 230 ℃， 保温 12*h*。在底部冷冻的情况下，打开 Carius 管，并用 40 mL 水将管中溶液转入蒸馏瓶中。于 105~110℃ 蒸馏 50 min，用 10 mL 水吸收蒸出的 OsO_4。用于 ICPMS（等离子体质谱仪测定）测定 Os 同位素比值。将蒸馏残液倒入 150 mL Teflon 烧杯中待分离 Re。将第一次蒸馏残液置于电热板上，加热近干。加少量水，加热近干。重复两次以降低酸度。加入 10 ml 5 mol/L NaOH， 稍微加热，转为碱性介质。转入 50mL 聚丙烯离心管中，离心，取上清液转入 120 mLTeflon 分液漏斗中。加入 10 mL 丙酮，振荡 5min.萃取 Re。静止分相，弃去水相。加 2 mL 5 mol/L NaOH 溶液到分

液漏斗中，振荡 2 min，洗去丙酮相中的杂质。弃去水相，排丙酮到 150 mL 已加有 2mL 水的 Teflon 烧杯中。在电热板上 50°C 加热以蒸发丙酮。加热溶液至干。加数滴浓硝酸和 30%过氧化氢，加热蒸干以除去残存的 Os。用数毫升稀 HNO_3 溶解残渣，稀释到硝酸浓度为 2%。采用美国 TJA 公司生产的 TJA X-series ICP-MS 测定同位素比值。对于 Re：选择质量数 185、 187，用 190 监测 Os。对于 Os：选择质量数为 186、187、188 、189、190、192。用 185 监测 Re。

6.2.3.3 测试结果与讨论

大坪金矿主要矿石矿物黄铁矿和白钨矿的 Re 和 Os 含量以及 $^{187}Re/^{188}Os$ 和 $^{187}Os/^{188}Os$ 比值见表 6-3. 表 6-3 中还给出了 $^{187}Os/^{188}Os$ 的质谱测定精度和由稀释法误差传递公式计算得到的含量测定精度。所测 $^{187}Re/^{188}Os$ 和 $^{187}Os/^{188}Os$ 比值均扣除了全流程空白。

Re-Os 同位素体系是成矿过程地壳物质混入程度高灵敏的指示剂。在镁铁-超镁铁岩浆上涌过程中及其在地壳岩浆房中与地壳物质，尤其是与含硫化物地壳发生反应，可使其组份发生变化。由于地壳相对富 Re，混入越多地壳物质产生放射成因 ^{187}Os 含量越高，相应 $^{187}Os/^{188}Re$ 初始比值也越高[254]。表 6-3 可见，虽然大坪金矿样品中的 Re 和 Os 含量均不高，但 Re/Os 比值均>1，含金黄铁矿 Re/Os 为 6.36~74.07，而白钨矿为 121.67，显示其中有地壳物质的加入，尤其是白钨矿的高 Re/Os 比值可能因为其主要组分 Ca^{2+}和 $WO4^{2-}$大量来自于深源的富 CO_2 流体从途经的围岩中萃取的 Ca^{2+}和 $WO4^{2-}$。

为探讨 Os 同位素组成随地质时代的变化规律，Walker 等(1989, 1994)提出利用参数γOs(t)来进行对比研究。一般说来，由于地壳物质 Re/Os 的比值较高，地壳物质的加入会使地质体γOs(t)趋向高正值，而 Re 的亏损会导致γOs(t)趋向低值甚至负值[261~262]。表 6-3 可见，大坪金矿 33.55Ma 时的γOs 值均为高正值，为 290.21~810.24，平均 492.92。同时，计算显示大坪金矿石在 33.55Ma 时的 $^{187}Os/^{188}Os$ (t)为 0.495~1.154，远高于相应地质时期的球粒陨石 $^{187}Os/^{188}Os$ 初始比值(0.12679)，均显示大坪金矿在成矿过程中有来自地壳的高放射性成因 ^{187}Os 的加入。图 6-10 也显示大坪金矿样品落在地幔和地壳演化线之间，说明其中有地壳组分的加入，结合本文分析的该矿其它同位素特征，这些地壳组分应来自下地壳。

表 6-3 大坪金矿黄铁矿和白钨矿 Re-Os 同位素组成*

			Re ng/g		普 Os ng/g		Os^{187}ng/g		Re^{187}/Os^{188}		Os^{187}/Os^{188}		$\gamma Os(t)$*
矿 物	样 号	样重（g）	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	
黄铁矿	04102	1.205	0.0406	0.0029	0.0064	0.0003	0.0005	0.0001	30.41	2.63	0.62	0.11	377.62
黄铁矿	04103	1.200	0.0736	0.0038	0.0052	0.0006	0.0005	0.0002	67.73	8.95	0.68	0.27	409.45
黄铁矿	04113	1.199	0.0655	0.0016	0.0028	0.0002	0.0003	0.0001	113.02	8.67	0.89	0.20	552.53
黄铁矿	04114	1.202	0.0277	0.0026	0.0017	0.0002	0.0002	0.0001	79.71	14.04	1.01	0.34	658.86
黄铁矿	04115	1.201	0.1414	0.0035	0.0022	0.0003	0.0002	0.0001	310.50	46.12	0.79	0.33	384.83
黄铁矿	04120	1.205	0.2118	0.0314	0.0029	0.0006	0.0003	0.0002	354.23	86.28	0.91	0.44	459.64
黄铁矿	04120-1	0.404	0.1719	0.0071	0.0048	0.0015	0.0008	0.0004	171.80	52.90	1.25	0.72	810.24
白钨矿	4107	0.399	0.0876	0.0046	0.0007	0.0002	0.0001	0.0025	528.88	153.10	0.79	26.06	290.21

*$\gamma_{Os}(t) = [\frac{(^{187}Os/^{188}Os)_{样品(t)}}{(^{187}Os/^{188}Os)_{球粒陨石(t)}} - 1] \times 100$; 其中$(\frac{^{187}Os}{^{188}Os})_{球粒陨石(t)} = (\frac{^{187}Os}{^{188}Os})_{初始值} + (\frac{^{187}Re}{^{188}Os})(e^{\lambda T} - e^{\lambda t})$，式中，$(^{187}Os/^{188}Os)_{初始值}$=0.09531，$^{187}Re/^{188}Os$ =0.40186，地球形成年龄 T= 4.558×10^{9}a，^{187}Re 的衰变常数 λ 取 $1.666\times10^{-11}a^{-1}$.

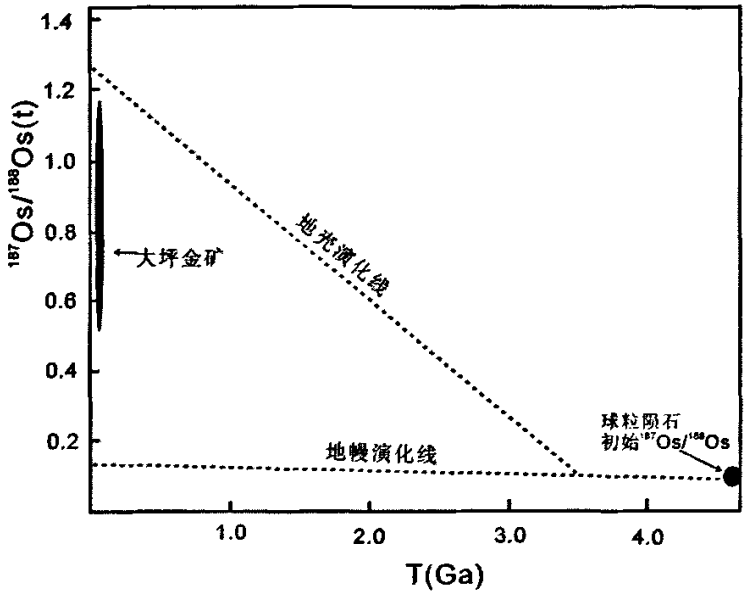


图 6-10. 大坪金矿 $^{187}Os/^{188}Os$ (t)组成与地质时间(T)关系图

(据文献［260］ 改编).

6.2.4 成矿物质来源

关于大坪金矿的成矿物质来源，前文关于该矿的围岩和矿石的地球化学、PGE 地球化学、同位素地球化学示踪研究已经表明，该矿的成矿流体主要为地幔排气形成的深源地幔流体和下地壳脱水形成的富 CO_2 流体组成的混合流体，其形成可能与同期哀牢山金矿带的强烈壳幔相互作用有关，该矿属于剪切带控矿的深源热液型金矿。

关于墨江金厂金矿床的成矿物质来源，以往的研究有多种观点，可从矿质来源和流体来源两方面进行归纳: (1)矿质来源：主要有超基性岩体说[36, 69, 72~77]、硅质岩或金厂组地层说[55~58, 63~65.]、热液从各种地层中萃取金说[34,35]、金主要源于地层且部分源于深源流体[23~26]等四种观点; (2)成矿热液来源：以岩浆热液（超基性岩浆或中酸性岩浆）、 大气降水或地下水或二者的混合流体说为主导[34,36, 69, 72~77]，尚有热卤水说[34]、新生代喜山期深部富含矿化剂的深源流体加入原生哀牢山浅成断层系统中循环的贫矿化剂流体(主要为大气降水)后形成的富含矿化剂流体说[23,24,25]、热水沉积说[55~58, 63~65.]。而关于老王寨金矿床的成矿物质来源的观点，与上述对墨江金矿的观点类似，一般认为成