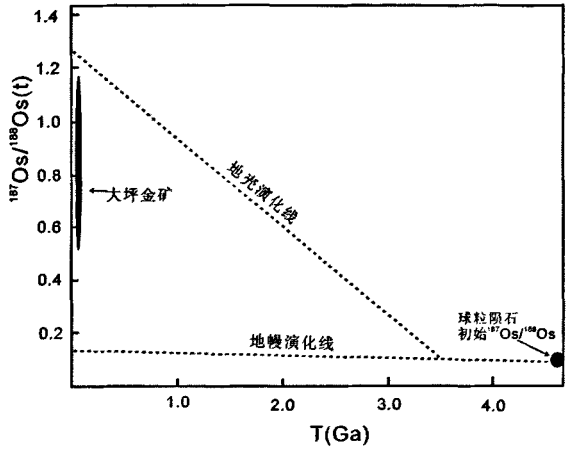


图 6-10. 大坪金矿 $^{187}Os/^{188}Os$ (t)组成与地质时间(T)关系图
(据文献［260］ 改编).

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

矿物质来源于地层（蛇绿岩带或浅变质岩），而成矿流体则来源于岩浆热液，可能混合有大气降水或地下水[3,4,15, 34~36]，黄智龙等（1999）提出了“与煌斑岩成因相关的地幔去气作用形成的流体”观点[15]，胡瑞忠(1998，1999)、毕献武（1996，1997）、何明友（1997）等学者提出了深源流体的观点[21~26]。总之，目前关于哀牢山金矿带矿质来源方面的研究大都认为矿质来源于地层，其证据主要来源于各金矿床矿石与围岩的稳定同位素和金背景值的对比，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。而关于成矿流体来源的研究大都认为源于中酸性岩浆热液，并可能混合有大气降水或地下水，然而迄今为止，还没有确切的证据表明成矿流体与矿区附近的中酸性岩浆岩有亲缘关系。空间上，金矿体的定位未显示与这些中酸性岩浆岩有明显的亲近性；时间上，如下文所述金矿带的大规模成矿时代在 30~50Ma，而发生大规模构造－岩浆活动的时间至少在 200Ma 以上，成矿成岩时差大于 150Ma，因此成矿流体由矿区岩浆提供难以解释[15]，而本文已通过长安、大坪金矿矿石的 PGE 地球化学研究表明，矿石 PGE 与中酸性岩浆无亲缘关系。实际上近年来岩浆热液说已逐渐为多个学者所怀疑，而逐渐兴起的观点即是上述深源流体的观点，本文的研究进一步论证了哀牢山金矿带的成矿流体主体为深源的壳（下地壳）幔混合的富 CO_2 流体。

本文认为，鉴于金矿带四个主要金矿床在成矿特征上的共性以及区域喜山期大型韧性剪切造山的背景，本区大规模成矿可能受统一的构造－热事件所控制，在成矿流体来源方面可能存在一致性，即本区成矿作用主要受深源的壳幔混合的富 CO_2 流体所控制，主要证据有：

⑴本文的研究表明大坪金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。

⑵本文的研究还表明长安金矿石的 PGE 直接源于地幔，而不是源于地层。

⑶其它学者的研究也证实了各金矿床也存在幔源流体的作用。

如：胡瑞忠等[21, 23]、Burnard 等[6]还测定了老王寨金矿、墨江金矿和大坪金矿流体包裹体 He 同位素组成，得出其 $N(^3He)/N(^4He)$ 值分别为 0.17～0.73Ra，0.02～0.26Ra，0.78～1.31Ra 和 0.03～0.05Ra。结合 Ar 同位素分析结果,认为地幔流体参与了前 3 个矿床的成矿作用，计算出成矿流体中地幔氦分别为 11%～52%、2%～23%和 52%～95%，其中大坪金矿成矿流体的 He

主要源于地幔 He。许多学者对区域矿床矿石的 $\delta^{34}S$ 进行了测定，结果表明各矿床的 $\delta^{34}S$ 均接近于正常地幔硫（$\delta^{34}S\approx0$），如胡瑞忠等[23]测定结果为老王寨－1.03‰~－0.15‰，极差 0.88‰，平均－0.68‰; 大坪－1.67‰~6.55‰，极差 8.22‰，平均 2.29‰；墨江－8.35‰~－0.64‰，极差 8.99‰，平均－4.45‰，与矿区出露的超基性岩和煌斑岩中黄铁矿的硫同位素组成(-5.1‰～-2.9‰)一致。考虑在热液作用下或多或少地有地层（特别是超基性岩）硫的加入，同时结合上述其它幔源证据，可以认为矿石硫中含大量幔源硫。

可见深源流体对成矿作用的贡献在金矿带中不是在单一矿床中存在，而是普遍的规律。在喜山期扬子板块与印支板块碰撞造山的背景下，通过上地幔部分熔融产生的去气作用和与之相关的下地壳脱水可以产生大量富 CO_2 等挥发分的流体[145,214,215]，区域大型左旋走滑型韧性剪切带为这种深源流体提供上升的通道，由此可以解释本区金矿床在成矿条件和成矿特点上的许多共性及变化规律，例如：(1)在金源方面，由于 Au 与 PGE 的化学性质较亲近，它们均具有亲硫性，而本文的研究结果显示金矿带矿石中的 PGE 主要源于地幔也具有普遍性，因此认为深源成矿流体可能从地幔中携带了大量 Au 和 S，这些成矿物质可能沿剪切带搬运到任何适合的构造空间沉淀下来，这就容易解释本区出现大规模成矿但整体上围岩没有明显的成矿专属性；(2)深源流体可以为金矿带提供成矿所需的水源、热源和矿化剂。这些流体初始状态为高温高压的超临界流体，在沿剪切带从深部向地壳浅部运移过程中，温度压力逐渐下降，并与围岩产生水岩反应，产生强烈的碳酸盐化，同时自身的 CO_2 可能得到大量消耗、扩散和稀释，这可以解释本区矿床均伴随强烈的碳酸盐化，并随着成矿深度变浅流体组成中 CO_2 含量降低的事实，另一方面，富含 CO_2 和 S 等矿化剂的深源热流体沿韧性剪切形成的微裂隙上升，在流经金丰度较高的地层（如墨江超基性岩）时可使地层金得以活化进入流体，而脆性断裂的形成使得含矿流体的温压条件大大下降导致矿质沉淀。

同时，本文认为本区金矿床中相对深成的矿床其成矿流体以深源流体为主导，而在相对浅成的矿床中上升的深源流体则可能受到地壳浅部的大气降水或地下水的加入。上述关于 $^3He/^4He$ 的研究结果表明，相对浅成的老王寨、墨江金矿的成矿流体中幔源组分均比深成的大坪金矿明显减少，而对前二矿的成矿作用前人的观点也一般认为有大气降水的参与。本文第三章关于超基性岩和闪

长岩的蚀变地球化学研究结果表明，大坪金矿成矿作用是在低水岩比的情况下进行，而墨江金矿成矿作用是在高水岩比的情况下进行，可能意味着墨江金矿不仅成矿流体中水含量高，而且流体体积较大，这可能是由于有大量地下水的加入。从这个意义上看，大坪金矿的成矿流体相当于金矿带的初始成矿流体。

在金等金属矿质来源方面，正如上文所述，幔源成矿物质可能是金矿带的主要成矿物质来源，大坪和长安金矿即是如此；而本文已从岩、矿的岩石地球化学和 PGE 地球化学对比角度确认墨江金矿含金石英脉的矿质来源主要源于超基性岩而不是源于含金硅质岩，说明哀牢山蛇绿岩中的高金丰度的超基性岩对金矿带的成矿物质来源有重要贡献，其中的 Au 可能在深源的热流体作用下得以活化，从而叠加到深源含矿流体中。而由热水沉积成岩成矿作用形成的含金硅质岩，由于在地壳浅部的剪切应力相对较弱，因此相比这些超基性岩表现出抗剪抗蚀变，其中的 Au 难以活化，可以认为墨江含金硅质岩型金矿体为成岩作用形成，而不是热液成因，在金矿带中这类矿体是个特例。

6.3 同位素地质年代学

6.3.1 大坪金矿 ^{40}Ar-^{39}Ar 定年

6.3.1.1 引言

关于成矿时代，毕献武等（1996）利用电子自旋共振（ESR）法估算了大坪金矿成矿年龄约为 50Ma[24]，但一直没有没有精确的同位素定年数据。本文对大坪金矿含金硫化物石英脉周围绢英岩化蚀变岩中的绢云母进行了 ^{40}Ar-^{39}Ar 定年，得出其成矿年代为 33.76±0.65Ma。

6. 3.1.2 样品和分析方法

本次测定的样品为井下采集的大坪金矿 8 号矿脉近矿围岩，样号 04125. 镜下可见其原岩为闪长岩，但经过了强烈的糜棱岩化和绢英岩化，石英出现明显的核幔构造等典型的韧性变形显微构造，而长石等绝大多数已蚀变为绢云母。其中主要组成矿物为石英(约 60%)、绢云母（约 30%）、碳酸盐矿物（约 5%）和黄铁矿等硫化物（约 5%）。绢云母多呈细粒鳞片状(图版 III-3，4)。