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)。

将经破碎和手选纯度达99 %以上的绢云母样品在北京原子能研究院反应堆H8 通道内进行中子照射，中子通量检测标准样品为国际标样85G003 (透长石)，年龄28. 34 ±0. 28 Ma。照射后的绢云母样品在中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室$^{40}Ar/^{39}Ar$ 同位素实验室MM5400 惰性气体质谱仪上进行测试，测定结果经过系统空白、质量歧视校正、^{37}Ar放射性衰变校正和Ca 、K 同位素反应校正。采用CaF2 和K2 SO4 确定Ca 、K 同位素反应的校正参数: $(^{36}Ar/^{37}Ar)_{Ca} = 2.609 \times 10^{-4} \pm 1.418 \times 10^{-5}$, $(^{39}Ar/^{37}Ar)_{Ca} = 7.236 \times 10^{-4} \pm 2.814 \times 10^{-5}$, $(^{40}Ar/^{39}Ar)_{K} = 2.648 \times 10^{-2} \pm 2.254 \times 10^{-4}$，年龄计算中的衰变常数取$\lambda = 5.543 \times 10^{-10} a^{-1}$ 。详细分析流程参见王非等[263]。

6. 3.1.3 测试结果和讨论

大坪金矿绢云母样品的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 测定结果见表 6-4，表中所有误差置信区间为2σ。绢云母样品经过 12 个阶段的分步加热,加热区间为 700～1450 ℃，其中 700～940 ℃的温度范围即第 1 至第 94 加热阶段内，样品的年龄谱形成较平坦的年龄坪，其累积 ^{39}Ar 占总释放量的52.33 %，所获得的坪年龄为 33.76 ±0. 65 Ma，权重均差（MSWD）为 4.91 (图 6-11a)。在反等时线图上，截距年龄为 33.55 ±0.74 Ma (图 6-11b), MSWD=4.68，正等时线图上截距年龄为 33.57 ±0.74 Ma (图 6-11c) , MSWD=4.66，与反等时线年龄非常接近，且等时线年龄和坪年龄非常一致. 初始 Ar 同位素组成为 301. 3 ±12.0，在误差范围内与大气 Ar 比值(295. 5 ±0. 5) 基本一致，说明绢云母测试样品冷却生成时没有捕获过剩 Ar。

正如前文所述，作为哀牢山金矿带最重要金矿之一的大坪金矿长期以来缺少精确的成矿年龄数据。系统的矿床地球化学研究显示大坪金矿的成因与韧性剪切变形及其伴生的强烈水/岩反应有关，因此是一个典型的韧性剪切带型金矿[264]。 本次测定的热液绢云母直接来自最主要金矿脉的糜棱岩化和绢英岩化的围岩，因此其 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄完全可以代表金矿主要成矿期时代，即大坪金矿应主要是在距今约 33.76 ±0. 65 Ma 形成的，属喜山早期金矿。

如第一章所述，本区新生代处于强烈的壳幔相互作用时期，而大量新生代煌斑岩脉的出现表明上地幔物质的上涌。这些煌斑岩脉多呈数十 cm 的脉体出现，具明显的斑状构造，镜下观察显示斑晶主要为金云母，而基质主要组成矿

表 6-4 大坪剪切带型金矿绢英岩化蚀变围岩绢云母加热过程中 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 释放结果和表面年龄*

θ / ℃)	$(^{40}Ar/^{39}Ar)_m$	$(^{37}Ar/^{39}Ar)_m$	$(^{36}Ar/^{39}Ar)_m$	$(^{40}Ar^*/^{39}Ar)_k$	$^{40}Ar_r$(%)	^{39}Ar 累计释放量/%	t/Ma	± 2σ/Ma
700	21.30930	0.00528	0.06032	3.50584	16.61	1.26	32.94	3.87
800	9.94738	0.01275	0.02130	3.85419	38.90	7.23	36.18	1.31
880	4.33116	0.00788	0.00295	3.58959	83.16	31.67	33.72	0.33
940	4.36484	0.00672	0.00304	3.57392	82.20	52.33	33.57	0.42
1000	4.85451	0.00053	0.00209	4.22888	88.62	55.43	39.66	0.60
1060	5.07875	0.00075	0.00315	4.14358	82.74	59.19	38.87	1.40
1120	5.27591	0.00029	0.00323	4.30624	82.10	72.38	40.38	0.34
1150	5.87893	0.00047	0.00477	4.45617	76.25	83.70	41.77	0.41
1180	6.00701	0.00060	0.00517	4.46798	74.87	93.10	41.88	0.99
1220	8.18527	0.00177	0.00314	7.26560	90.19	95.05	67.61	1.87
1300	8.11730	0.00182	0.00682	6.10930	76.22	97.66	57.02	2.16
1450	13.71513	0.00250	0.01027	10.68626	78.62	100.00	98.59	0.96

*$\lambda = 5.543 \times 10^{-10} a^{-1}$, J=0.005256.

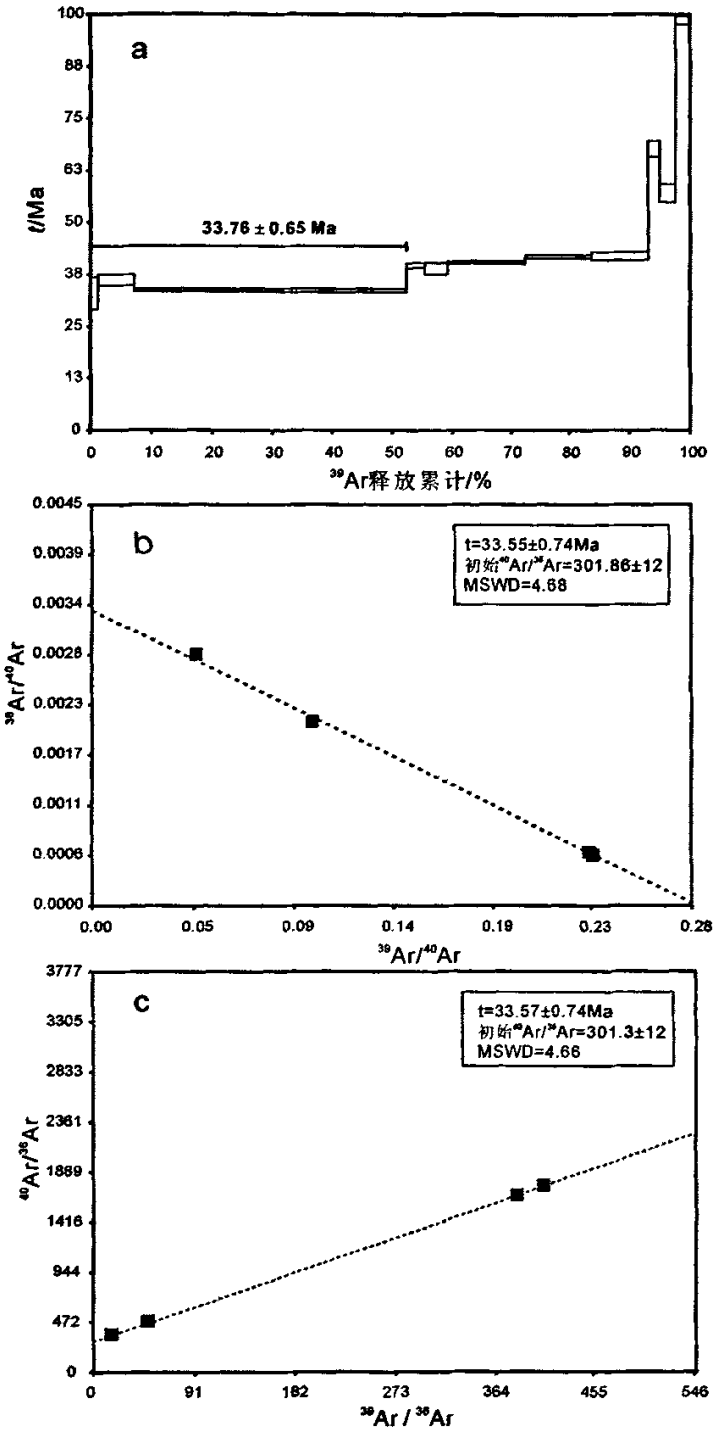


图6-12 大坪金矿绢英岩化蚀变岩中绢云母样品 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄谱(a)、反等时线图(b) 及正等时线图(c)。

物为金云母，钠长石和透辉石等。局部煌斑岩脉体也受到韧性变形影响而出现片理化，其中矿物大多数蚀变为绿泥石和绢云母等。从区域上看，这些煌斑岩脉属于哀牢山金矿带中普遍出现的新生代煌斑岩脉体群的一部分，其形成时代多为 30～34Ma[19]。因此，大坪金矿与该区广泛出现的煌斑岩脉基本同时形成。由于大坪和长安金矿矿石的 PGE 组成显示其成矿与上地幔熔融成因的煌斑岩等基性岩脉有关，因此认为大坪金矿和哀牢山金矿带与喜山期煌斑岩等基性岩脉之间均可能存在成因上的联系：喜山早期，本区在板块碰撞和强烈韧性剪切作用下，地幔物质部分熔融并上涌，不仅形成了煌斑岩的原始岩浆，同时发生强烈排气作用，对下地壳进行热烘烤，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 流体混合，沿韧性剪切带上升，从而形成了与区域大规模成矿相关的深源流体。

6.3.2 哀牢山金矿带成矿时代探讨

将本文及文献中各金矿床的定年结果总结于表 6-5。

表 6-5 哀牢山金矿带成矿年龄一览表

金矿床	定年方法	样品	赋存岩石	测定结果	作者及引用文献
老王寨	Rb-Sr	铬水云母	超基性岩	32.8 Ma	唐尚鹑等（1991）据文献[15]
	Rb-Sr	铬水云母	超基性岩	39.6 Ma	
	Rb-Sr	全岩	矿化煌斑岩	28.2 Ma	
	ESR	石英	金矿石	46.5 Ma,	毕献武等（1996）据文献[24]
墨江	Rb-Sr	铬水云母	金矿石	220-260 Ma	云南省地矿局据文献[3]
	K-Ar	铬水云母	金矿石	114.64 Ma	李元等（1992）据文献[55]
	K-Ar	铬水云母	金矿石	61 Ma	胡云中等（1995）据文献[3]
	ESR	石英	金矿石	46.5 Ma,	毕献武等（1996）据文献[24]
	Ar-Ar	石英	金矿石	91 Ma	应汉龙等（2002）据文献[55]
	Ar-Ar	铬水云母	镍矿石	61. 55～63. 09Ma	应汉龙等（2005）据文献[56]
大坪	Ar-Ar	绢云母	蚀变闪长岩	33.76 Ma	本文
	ESR	石英	金矿石	46.5 Ma,	毕献武等（1996）据文献[24]