

文章编号: 0258-7106 (2002) 02-0129-08

东川式层状铜矿⁴⁰Ar-³⁹Ar成矿年龄研究: 华南地区晋宁-澄江期成矿作用新证据*

邱华宁^{1,2} J. R. Wijbrans² 李献华¹ 朱炳泉¹ 朱崇林³ 曾保成³

(1 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2 荷兰阿姆斯特丹自由大学; 3 东川矿务局, 云南 东川 654101)

摘 要 本文采用⁴⁰Ar-³⁹Ar真空击碎技术和阶段加热技术,测定了采自落雪矿的“东川式”层状铜矿之两个石英样品的年龄,获得了 810 ~ 770 Ma 的⁴⁰Ar-³⁹Ar等时线年龄,这是首次获得的“东川式”铜矿的成矿年龄。这些年龄与作者以前获得的脉状铜矿石英的年龄范围一致,远远小于赋矿围岩落雪组的年龄。研究结果表明“东川式”层状铜矿并非沉积成因,与脉状铜矿一样,也是热液成因,并且再次证实晋宁-澄江期是东川铜矿的主要成矿期。

关键词 ⁴⁰Ar-³⁹Ar法 流体包裹体 东川铜矿 晋宁 澄江期

中图分类号: P597+.1

文献标识码: A

引 言

有关东川铜矿的成因观点很多,主要有:20 世纪 50 年代前苏联专家的岩浆热液成矿,20 世纪 60 年代孟宪民等提出的沉积-变质成矿,龚琳等(1981)提出的多阶段多成因成矿,冉崇英(1983)提出的红层汲取-藻控成矿-构造富集,沈苏等(1988)提出的萨布哈成矿,杨应选等(1988)提出的成岩卤水成矿,华仁民(1989)提出的沉积-改造成矿,段嘉瑞等^①提出的裂谷-喷流沉积成矿,吴健民等(1995)提出的深源含铜富硅混合热液海底喷流-生物富集的沉积成岩成矿。这些成因观点一方面反映了矿床研究程度的不断提高和成矿理论的发展,另一方面也表明只有获得有说服力的成岩成矿同位素年龄数据,才能更好地认识东川铜矿的成因。

前人测得的东川铜矿成矿年龄数据很少。杨应选等(1988)采用矿石铅同位素模式年龄方法获得落雪组东川式铜矿年龄为 1 672 Ma,认为东川式铜矿属于同生或早期成岩阶段成矿。陈好寿等(1992, 1993)采用 Pb-Pb 等时线法获得因民铜矿脉状硫化物年龄为 ~ 530 Ma,这一年龄可能代表了东川多期

成矿的较晚一期成矿作用发生的时间。最近几年,我们采用新建立的⁴⁰Ar-³⁹Ar流体包裹体定年技术和传统的阶段加热技术,测定了汤丹落雪组层位中脉状铜矿中的石英(邱华宁等,1998)和稀矿山硅质角砾状铜矿之硅质角砾(邱华宁等,2000),获得了脉状铜矿 780 ~ 700 Ma 的成矿年龄。

“东川式”层状铜矿是否与地层的沉积-成岩作用有关,抑或与形成脉状铜矿的热液成矿作用有关?层状铜矿的形成年龄乃是研究东川铜矿成因的重要地球化学依据。笔者用醋酸浸泡溶去层状铜矿石中的碳酸盐后,发现残留物中除硫化物外,还含有一定量的石英。本文从落雪矿老山矿段层状铜矿中选出 2 个石英样品(编号为 98-4aQ 和 98-4fQ)进行⁴⁰Ar-³⁹Ar定年分析,希望由此得到东川式层状铜矿的成矿年龄。

1 实验技术

样品采自落雪矿老山 9 号硐(2 872 中段)采场。矿石经破碎筛选,用醋酸浸泡 15 d 溶去白云岩,经重液分离硫化物和石英,再用浓硝酸浸泡 12 h 除去硫化物连晶,最后在双目镜下选出石英单矿物。

* 本文得到国家自然科学基金(编号: 49972033)、国家 973 项目(编号: G1999043201)、国家攀登预选项目(编号: 95-YU-25)和中国科学院大型仪器功能开发项目(编号: 9804A-077)的联合资助

第一作者简介 邱华宁,男,1963 年生,博士,从事同位素年代学研究。电话: (020) 85290696,传真: (020) 85290130,Email: qiuhn@gig.ac.cn

收稿日期 2001-10-19; 改回日期 2002-01-03。李 岩编辑。

① 段嘉瑞,刘继顺,胡祥昭. 1994. 云南东川铜矿区 1:5 万地质图修编及成矿预测研究. 中南工业大学科研报告。

氩同位素组成质谱分析是在阿姆斯特丹自由大学 MAP-215 质谱仪上进行的。笔者特别设计加工了一套全金属提取流体包裹体的装置,采用外置电磁铁提起碎样管内的磁性不锈钢杆,钢杆自由落下击碎样品;电磁铁电源为脉冲式,脉冲频率可自由调节,通常设置为 1 次/s。该装置与纯化系统直接连接,为提高工作效率,该装置单独安装了隔膜泵和涡轮分子泵。

样品装入碎样管后,在对膜式泵和涡轮分子泵抽真空的同时,用外置电炉对样品进行 250 ~ 300 °C 加热去气达 12 h 左右,以除弃部分次生包裹体。定年实验释出的气体经 Zr-Al 泵和 Fe-V-Zr 泵纯化 5 ~ 10 min 后,送入质谱计进行氩同位素分析。纯化系统的排气阀门、进样阀门和质谱计内的离子泵排气阀门都采用气控(pneumatic actuator)阀门,样品纯化过程和氩同位素测量过程均由计算机自动控制。为了准确扣除系统本底,每隔 2 ~ 3 个阶段做一次空白,空白流程与样品流程保持一致。实验数据采用 Anthony Koppers 编写的基于微软 Excel 之下的 ArArCALC 软件(版本 2.1)进行年龄计算和作图。

采用外置电炉直接加热碎样管内破碎后的粉末

样品进行阶段加热实验,为保证碎样管和系统的安全,加热温度控制在 800 °C 以下。

2 实验结果与讨论

2 个石英样品的⁴⁰Ar-³⁹Ar 定年数据汇总于表 1。

2.1 样品 98-4fQ

2.1.1 真空击碎分析

98-4fQ 样品真空击碎分析形成了逐渐下降的年龄谱(图 1a),第 8 阶段以后表观年龄值很稳定,形成年龄坪,坪年龄为(871 ± 5) Ma(2σ,以下所标误差均为 2σ)。因流体包裹体中含过剩⁴⁰Ar(下述),故此坪年龄偏高。

在⁴⁰Ar-³⁹Ar 等时线图解上,数据点构成了一条线性关系极好的等时线(图 1b),对应的等时线年龄 $t = (807 \pm 25) \text{ Ma}$,⁴⁰Ar/³⁶Ar 初始比值 $I_0 = 651.4 \pm 46.7$ 。此初始比值明显高于现代大气氩比值,故流体包裹体含有过剩⁴⁰Ar,采用此初始比值来扣除流体包裹体的非放射成因⁴⁰Ar,重新计算样品各阶段的年龄,获得了图 1a 中虚线对应的平坦年龄谱,坪年龄为(807 ± 16) Ma,与等时线年龄完全一致。

表 1 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 定年实验数据表
Table 1 ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating results
(a) 98-4fQ 样品 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 真空击碎分析结果
(a) Dating results of 98-4fQ by crushing in vacuum

测试阶段 (击碎次数)	³⁶ Ar(A)	³⁷ Ar(Ca)	³⁸ Ar(Cl)	³⁹ Ar(K)	⁴⁰ Ar(R)	t/Ma	⁴⁰ Ar(R)/%	³⁹ Ar(K)/%
01 (20)	0.76727	0.30729	0.00627	0.13024	84.00102	2405.94 ± 21.40	27.03	1.52
02 (40)	0.19167	0.13200	0.00571	0.25891	80.59723	1540.54 ± 7.16	58.73	3.03
03 (40)	0.08249	0.06905	0.00198	0.24320	59.18153	1298.92 ± 6.84	70.83	2.85
04 (60)	0.08520	0.12509	0.00272	0.38207	82.42599	1190.67 ± 5.08	76.60	4.47
05 (80)	0.05938	0.11494	0.00324	0.48098	88.70787	1059.55 ± 3.92	83.49	5.63
06 (100)	0.04908	0.00000	0.00113	0.59969	98.38061	968.76 ± 2.46	87.15	7.02
07 (100)	0.06470	0.03562	0.00063	0.64715	99.48196	920.94 ± 3.65	83.88	7.58
08 (100)	0.02773	0.00000	0.00000	0.66263	95.75295	877.16 ± 2.72	92.12	7.76
09 (100)	0.02465	0.00000	0.00049	0.66612	95.34564	870.57 ± 2.69	92.90	7.80
10 (100)	0.02443	0.00000	0.00014	0.62632	89.78810	871.64 ± 2.59	92.56	7.33
11 (100)	0.03306	0.09299	0.00034	0.5325	81.10553	862.57 ± 6.54	89.25	6.71
12 (100)	0.01831	0.06193	0.00039	0.54555	76.57061	857.09 ± 6.92	93.40	6.39
13 (100)	0.02024	0.11543	0.00069	0.52559	74.22845	861.34 ± 7.94	92.54	6.15
14 (100)	0.01631	0.15244	0.00048	0.46965	66.65368	864.69 ± 8.22	93.26	5.50
15 (150)	0.02027	0.23780	0.00038	0.64145	91.62949	869.17 ± 3.76	93.86	7.51
16 (150)	0.02132	0.21364	0.00048	0.58096	82.90372	868.47 ± 4.00	92.94	6.80
17 (150)	0.01978	0.20666	0.00088	0.50692	73.20201	1876.68 ± 4.34	92.61	5.94

注: Ca, Cl 和 K 分别表示元素钙、氯和钾; A—空气; R—放射成因。下同。

(b) 98-4fQ 样品 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 阶段加热分析

(b) Dating results of 98-4fQ by stepped heating of the crushed powders

$\theta/^\circ\text{C}$	³⁶ Ar(A)	³⁷ Ar(Ca)	³⁸ Ar(Cl)	³⁹ Ar(K)	⁴⁰ Ar(R)	t/ Ma	⁴⁰ Ar(R) / %	³⁹ Ar(K) / %
450	0.05199	1.52104	0.00237	5.02520	622.61841	775.28 ± 1.80	97.59	36.02
500	0.03887	1.01516	0.00214	3.62255	453.77771	782.21 ± 1.74	97.53	25.97
550	0.02736	0.32635	0.00055	2.09799	263.02837	782.75 ± 2.45	97.02	15.04
550	0.02312	0.07689	0.00052	1.37792	172.22610	780.82 ± 2.32	96.18	9.88
610	0.02252	0.01196	0.00089	0.84898	106.57258	783.56 ± 2.24	94.12	6.09
640	0.02422	0.00000	0.00128	0.49998	62.22904	778.14 ± 2.56	89.68	3.58
670	0.05260	0.17197	0.00035	0.32024	38.90438	762.95 ± 3.73	71.45	2.30
700	0.03689	0.17680	0.00000	0.15679	19.08185	764.09 ± 5.29	63.64	1.12

(c) 98-4aQ 样品 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 真空击碎分析

(c) Dating results of 98-4aQ by crushing in vacuum

测试阶段 (击碎次数)	³⁶ Ar(A)	³⁷ Ar(Ca)	³⁸ Ar(Cl)	³⁹ Ar(K)	⁴⁰ Ar(R)	t/ Ma	⁴⁰ Ar(R) / %	³⁹ Ar(K) / %
01 (15)	0.02895	0.00000	0.00080	0.00391	20.71949	5737.83 ± 171.85	70.78	1.51
02 (30)	0.01040	0.00000	0.00025	0.00450	12.54057	4642.26 ± 120.84	80.32	1.74
03 (50)	0.00693	0.00000	0.00014	0.00700	10.50624	3641.41 ± 80.70	83.69	2.70
04 (100)	0.00774	0.00000	0.00008	0.01535	12.10127	2683.72 ± 29.05	84.11	5.92
05 (100)	0.00551	0.00000	0.00008	0.01625	8.40717	2125.77 ± 26.09	83.78	6.26
06 (100)	0.00562	0.00601	0.00047	0.01704	7.46149	1923.00 ± 27.48	81.79	6.57
07 (130)	0.00511	0.00000	0.00024	0.02292	7.86254	1646.65 ± 21.05	83.89	8.84
08 (160)	0.00494	0.00000	0.00040	0.02451	7.19142	1483.17 ± 9.75	83.13	9.45
09 (200)	0.00826	0.00000	0.00023	0.02575	7.03250	1411.9 ± 9.84	74.24	9.92
10 (200)	0.01085	0.00000	0.00057	0.02072	5.83585	1442.30 ± 12.63	64.53	7.99
11 (200)	0.00375	0.00000	0.00014	0.01612	4.70219	1477.11 ± 15.73	80.92	6.22
12 (200)	0.00426	0.00000	0.00106	0.01288	3.97481	1535.22 ± 23.67	75.93	4.96
13 (200)	0.00458	0.00791	0.00022	0.01177	3.42555	1474.85 ± 51.19	71.69	4.54
14 (200)	0.00439	0.00000	0.00068	0.01053	3.18302	1513.41 ± 43.58	71.05	4.06
15 (200)	0.00494	0.00204	0.00006	0.00918	2.76471	1509.70 ± 55.94	65.45	3.54
16 (300)	0.00869	0.00000	0.00036	0.01259	3.86836	1530.15 ± 36.22	60.11	4.85
17 (300)	0.00461	0.00004	0.00054	0.01114	3.22026	1468.63 ± 43.90	70.27	4.29
18 (300)	0.00599	0.00000	0.00075	0.00897	2.72931	1520.77 ± 47.96	60.65	3.46
19 (300)	0.00414	0.01608	0.00029	0.00830	2.49276	1507.11 ± 55.29	67.10	3.20

(d) 98-4aQ 样品 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 阶段加热分析

(d) Dating results of 98-4aQ by stepped heating of the crushed powders

$\theta/^\circ\text{C}$	³⁶ Ar(A)	³⁷ Ar(Ca)	³⁸ Ar(Cl)	³⁹ Ar(K)	⁴⁰ Ar(R)	t/ Ma	⁴⁰ Ar(R) / %	³⁹ Ar(K) / %
350	0.00079	0.00000	0.00000	0.01330	1.73639	811.01 ± 52.91	88.13	4.93
380	0.00138	0.00000	0.00000	0.02167	2.73044	788.05 ± 33.31	86.99	8.04
420	0.00246	0.00000	0.00000	0.02963	3.56930	759.66 ± 24.31	83.10	10.99
450	0.00387	0.06767	0.00024	0.03013	3.40758	721.34 ± 21.22	74.86	11.18
480	0.00361	0.16586	0.00029	0.02488	2.77657	713.42 ± 24.66	72.24	9.23
520	0.00350	0.11163	0.00000	0.03371	3.85774	728.51 ± 11.77	78.87	12.51
560	0.00283	0.18595	0.00000	0.02833	3.28908	737.18 ± 17.38	79.72	10.51
600	0.00407	0.03569	0.00000	0.02367	2.61132	706.75 ± 16.58	68.45	8.78
650	0.00586	0.00010	0.00024	0.02864	2.99628	676.20 ± 20.97	63.37	10.63
700	0.00344	0.00000	0.00004	0.01559	1.62711	674.81 ± 38.88	61.52	5.79
750	0.00406	0.00000	0.00003	0.01183	1.13085	626.95 ± 49.88	48.53	4.39
800	0.00420	0.00000	0.00000	0.00813	0.96059	748.01 ± 74.09	43.60	3.02

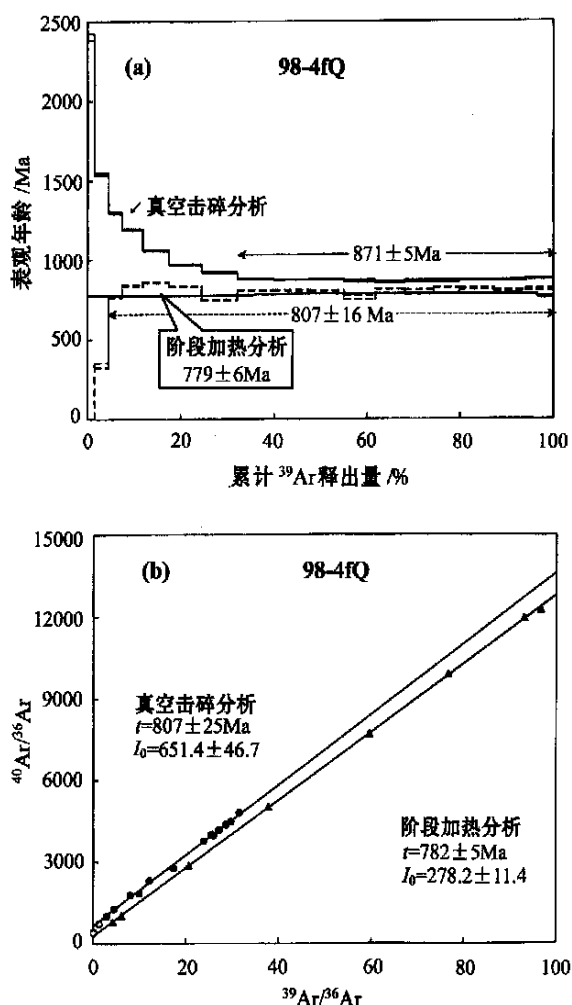


图1 样品 98-4fQ 的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄谱与等时线图

(a) ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄谱图。上实线和虚线为真空击碎分析年龄谱：前者以现代大气氩的比值(295.5)扣除非放射成因 ^{40}Ar ，后者以等时线之 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值(651.4)扣除非放射成因 ^{40}Ar ；下实线为粉末样品阶段加热分析年龄谱。(b) ^{40}Ar - ^{39}Ar 等时线图

Fig. 1 Age spectra and normal isochron diagram based on the ^{40}Ar - ^{39}Ar analytical data for quartz 98-4fQ

(a) Age spectra: (i) the falling spectrum (upper solid line), obtained by excluding the contribution of the non-radiogenic ^{40}Ar using the modern atmospheric $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ratio of 295.5 for the crushing experiment, shows the presence of excess ^{40}Ar within the fluid inclusions; (ii) a flat age spectrum (dot line) is obtained by using the initial $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ratio of 651.4 in the isochron plot (Fig. 1b) to exclude the contribution of the non-radiogenic ^{40}Ar for the crushing experiment, whose plateau age of $(807 \pm 16) \text{ Ma}$ is quite concordant with its isochron age; (iii) the heating experiment yields a flat age spectrum (lower solid line) with a plateau age of $(779 \pm 6) \text{ Ma}$ which is concordant with its corresponding isochron age shown in (b). (b) Normal ^{40}Ar - ^{39}Ar isochron lines: the upper line is based on the data by crushing and the lower line on those by heating

样品 98-4fQ 的年龄谱形状和等时线图数据点的分布状态,与以前测定的东川铜矿脉状矿石中石英 DC-50-3 Q (邱华宁,1998)和 DC-51-1 Q (邱华宁等,1997)的结果很相似,表明 98-4fQ 样品的流体包裹体几乎都是成矿期形成的原生包裹体,具有一致的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值。

2.1.2 阶段加热分析

对 98-4fQ 提取流体包裹体后的粉末样品进行阶段加热分析,获得了很平坦的年龄谱(图 1a),坪年龄为 $(779 \pm 6) \text{ Ma}$ 。数据点构成了一条线性相关极好的等时线(图 1b),对应的等时线年龄 $t = (782 \pm 5) \text{ Ma}$,初始比值 $I_0 = 278.2 \pm 11.4$ 。初始比值表明粉末样品不含过剩 ^{40}Ar ,等时线年龄与坪年龄一致。

真空击碎分析获得的流体包裹体等时线年龄 $(807 \pm 25) \text{ Ma}$ 与阶段加热分析获得的矿物粉末的等时线年龄 $(782 \pm 5) \text{ Ma}$ 相差 25 Ma,前者代表了石英的结晶年龄,后者可能代表了稍晚结晶的一些含钾矿物的年龄(加热温度仅达 700°C ,矿物粉末加热释出的 $^{39}\text{Ar}_K$ 总量已是流体包裹体释出 ^{39}Ar 总量的 1.6 倍,据此推测样品中应存在含钾矿物。因该样品在荷兰遗失,无法继续进行电子探针分析,故未能查明钾在样品中的赋存状态)。

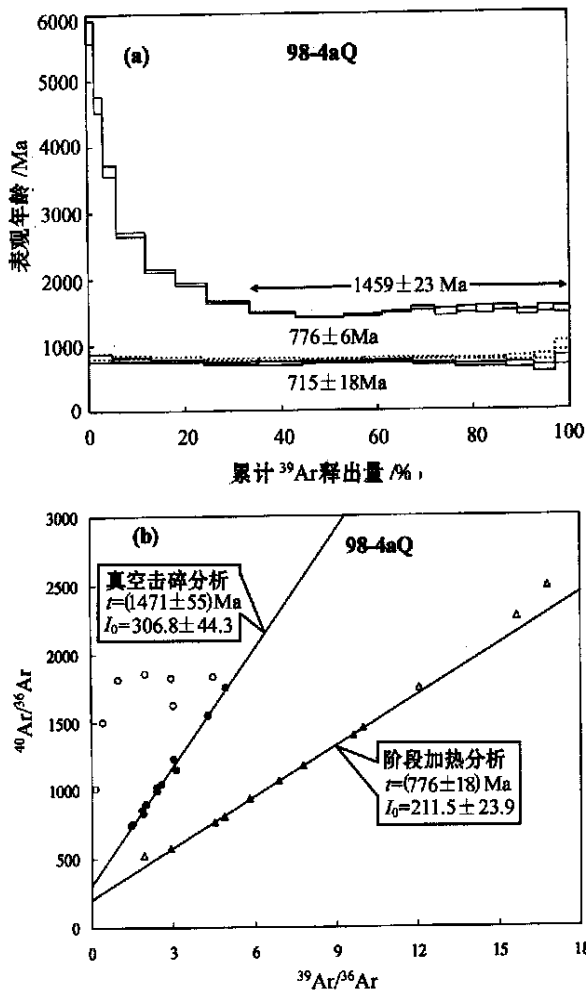
2.2 样品 98-4aQ

2.2.1 真空击碎分析

样品 98-4aQ 真空击碎分析也形成逐渐下降的年龄谱(图 2a),第 8 阶段以后形成年龄为 $(1459 \pm 23) \text{ Ma}$ 的年龄坪。

该样品的等时线图(图 2b)与东川铜矿的其他石英样品(98-4fQ、DC50-3 Q、DC-51-1 Q)和以往所得到的其他矿床(Qiu,1996)的石英样品的等时线完全不同——开始 7 个阶段的数据点(空心圆点)偏离等时线,并以曲线轨迹趋近等时线。第 8~19 阶段数据点(实心圆点)构成很好的等时线, $t = (1471 \pm 55) \text{ Ma}$, $I_0 = 306.8 \pm 44.3$,此等时线年龄可能代表了一期热液活动的时间,初始比值稍高于现代大气氩比值,表明第 8 阶段以后释出的石英的原生流体包裹体仅含有微量的过剩 ^{40}Ar ,亦即形成这期石英的流体含过剩 ^{40}Ar 很低,这表明那时的形成环境相对开放,可能有较多的地表水加入。这种现象与主成矿期形成的石英(98-4fQ、DC-51-1 Q 和 DC-50-3 Q)之流体包裹体富含过剩 ^{40}Ar 的情况完全不同。目前尚无证据阐明这期热液活动是否与成矿作用有关。

前 7 个阶段的数据点可能是成矿期形成的含过

图 2 样品 98-4aQ 的 ^{40}Ar - ^{39}Ar Ar 年龄谱与等时线图

(a) ^{40}Ar - ^{39}Ar Ar 年龄谱图。真空击碎分析得到逐渐下降的年龄谱,第 8 阶段以后形成年龄坪;阶段加热分析获得平坦的年龄谱;(b) ^{40}Ar - ^{39}Ar Ar 等时线:真空击碎分析第 8 阶段以后数据点(实心圆点)构成等时线,等时线年龄(1471 ± 55) Ma 可能代表了一期热液活动的时间;阶段加热分析得到矿物粉末的年龄为(776 ± 18) Ma,此年龄代表了一期成矿作用的年龄

Fig. 2 Age spectra and normal isochron diagram based on the ^{40}Ar - ^{39}Ar Ar analytical data for quartz 98-4aQ

(a) Age spectra: (i) The crushing experiment forms a falling age spectrum (upper solid line) at the first seven stages, showing the presence of excess ^{40}Ar within the larger fluid inclusions in sizes, and then an age plateau appears with age of (1459 ± 23) Ma from stages 8 to the last stage; (ii) The heating experiment yields a flat age spectrum (lower solid line). The dotted line is drawn by using the initial ^{40}Ar - ^{36}Ar ratio of 211.5 in the isochron plot (Fig. 2b) to exclude the contribution of the non-radiogenic ^{40}Ar , which corresponds to a plateau age of (776 ± 6) Ma that is in good concordance with its isochron age (Fig. 2b, lower line); (b) Normal ^{40}Ar - ^{39}Ar Ar isochron lines: (i) The upper line is based on the data of stages 8 ~ 19 by crushing with an isochron age of (1471 ± 55) Ma and initial ^{40}Ar - ^{36}Ar ratio of 306.8 ± 44.3 , which shows that only a little excess ^{40}Ar exists within the smaller inclusion sizes, while the gases released from the larger inclusion sizes of the first seven stages (vacant circles) contain much more excess ^{40}Ar ; (ii) The heating experiment forms an isochron line (lower one) corresponding to an isochron age of (776 ± 18) Ma and an initial ratio of 211.5 ± 23.9

剩 ^{40}Ar 的较大次生包裹体与石英本身较小的原生包裹体以不同比例混合的结果。这些点在 ^{40}Ar - ^{39}Ar Ar 等时线图解上,沿曲线趋近等时线,这种分布状态与变化轨迹完全不同于以前所分析的石英流体包裹体 ^{40}Ar - ^{39}Ar Ar 定年结果。

2.2.2 阶段加热分析

98-4aQ 阶段加热分析获得了一条平坦的年龄谱,坪年龄为(715 ± 18) Ma (图 2a)。第 4 ~ 11 阶段数据点构成线性关系很好的等时线(图 2b 之实心三角形点), $t = (776 \pm 18)$ Ma, $I_0 = 211.5 \pm 23.9$ 。因初始比值明显低于现代大气氩比值,故坪年龄偏低,若以此比值扣除非放射成因 ^{40}Ar ,则得坪年龄为(776 ± 31) Ma。此坪年龄与其等时线年龄完全一致,也与 98-4fQ 粉末样品阶段加热分析等时线年龄(782 ± 5 Ma)和脉状铜矿之石英 DC-50-3Q 真空击碎分析等时线年龄[(778 ± 31) Ma]很一致,故 ~ 780 Ma 代表了东川铜矿一期重要的成矿活动。

2.3 讨论

现将近年来获得的东川铜矿的有关成矿年龄数据汇总于下:

- (1) 汤丹矿 1 号矿体 2038 中段脉状铜矿的石英 DC-51-1 Q 流体包裹体 ^{40}Ar - ^{39}Ar Ar 等时线年龄为(712 ± 33) Ma (邱华宁等, 1997);
- (2) 落雪矿稀矿山矿段落雪组角砾状铜矿的硅质角砾富钾矿物微晶的 ^{40}Ar - ^{39}Ar Ar 反等时线年龄为(696 ± 57) Ma (邱华宁等, 2000);
- (3) 汤丹矿 1 号矿体 2060 中段采场脉状铜矿的石英 DC-50-3 Q 流体包裹体 ^{40}Ar - ^{39}Ar Ar 等时线年龄为(778 ± 31) Ma (邱华宁, 1998);
- (4) 汤丹矿落雪组铜矿 Pb-Pb 等时线年龄为(794 ± 73) Ma (邱华宁等, 1997) (以上年龄误差为 1σ);
- (5) 落雪矿老山 9 号硐(2872 中段)采场层状铜矿的石英 98-4fQ 流体包裹体 ^{40}Ar - ^{39}Ar Ar 等时线年龄为(807 ± 25) Ma (2σ , 下同), 样品粉末 ^{40}Ar - ^{39}Ar Ar 等时线

年龄为(782±5) Ma (本文);

(6) 落雪矿老山 9 号硐(2872 中段) 采场层状铜矿的石英 98-4aQ 样品粉末⁴⁰Ar-³⁹Ar 等时线年龄为(776±18) Ma (本文)。

以上成矿年龄数据表明,东川铜矿之层状铜矿形成于 810~770 Ma,脉状铜矿形成于 780~700 Ma。这是从几个样品的年龄数据得到的初步认识,随着研究程度的深入和年龄数据的积累,可能获得更详细的东川铜矿成矿期次的信息。

东川铜矿的赋矿地层昆阳群中亚群属于晚古元古代(常向阳等,1997),其同位素年龄见表 2。

表 2 昆阳群地层同位素年龄
Table 2 Isotopic ages of the Kunyang Group

亚群和组	主要岩性	矿床类型	t/ Ma
上亚群			
麻地组	叠层石白云岩		
小河口组	绢云板岩、石英砂岩		
大营盘组	绢云板岩夹碳质板岩	Pb-Pb 法: 1 258±70*	
中亚群			
青龙山组	藻礁、泥质白云岩夹板岩		
黑山组	碳质板岩、绢云板岩	桃园式铜矿	Pb-Pb 法: 1 607±128*
落雪组	含藻白云岩、泥砂质白云岩	东川式铜矿	Pb-Pb 法: 1 716±56*
团民组	紫红泥砂白云岩夹板岩、角砾岩	稀矿山式铁铜矿	Sm-Nd 法: 1 931±183 2 098±23 [●]

* 常向阳等, 1997。

矿区中有许多基性岩脉产出,在一些科研报告中见到的 K-Ar 年龄数据变化很大,从 1 059 Ma 到 700 Ma (无法找到原始出处)。小溜口岩组 Rb-Sr 等时线年龄为 808 Ma (华仁民,1990),Sm-Nd 等时线年龄为 927 Ma (段嘉瑞等,1994)。

由此可见,“东川式”层状铜矿的成矿年龄明显小于赋矿地层落雪组,与脉状铜矿的成矿年龄接近。从年龄来看,东川铜矿的形成可能与岩浆活动有关。

3 结 论

本文采用⁴⁰Ar-³⁹Ar 真空击碎和阶段加热技术测定了东川式层状矿石的 2 个石英样品,结果如下:

(1) ⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄解释。本文获得了 2 组年龄:

1 470 Ma 和 810~770 Ma,前者被初步解释为一期热液活动的时间,后者被解释为狭义“东川式”层状铜矿的成矿年龄。

(2) ⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄的地质意义。层状铜矿的成矿年龄范围与我们以前获得的脉状铜矿石英的⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄范围部分重叠,说明“东川式”层状铜矿不是沉积-成岩作用形成的,而是热液成矿。东川铜矿是多期成矿作用形成的,时间从 810 Ma 至 700 Ma,甚至延伸至 500 Ma (陈好寿等,1992;1993;邱华宁等,未发表资料)。这些年龄结果再次表明晋宁-澄江期是东川铜矿的重要成矿期。

(3) ⁴⁰Ar-³⁹Ar 真空击碎分析和阶段加热分析可能获得不同的结果,前者代表了流体包裹体的年龄,后者代表了钾矿物的年龄。两种技术结合进行石英定年,可以获得更全面的矿床年代学信息。本文工作再次表明,石英流体包裹体⁴⁰Ar-³⁹Ar 定年技术是解决矿床成矿年龄的行之有效的方法。

References

- Chang X Y, Zhu B Q, Sun D Z, et al. 1997. Isotope geochemistry study of Dongchuan copper deposits in middle Yunnan Province, S W China: I. Stratigraphic chronology and application of geochemical exploration by lead isotopes[J]. Geochimica, 26: 32~38 (in Chinese with English abstract).
- Chen H S, Ran C Y and Liu W H. 1993. Isotopic geochemistry and mineralization chronology of the copper deposits in the Kangdian Axis[A]. In: Chen H S, ed. Isotopic geochemistry [C]. Hangzhou: Zhejiang Uni. Press. 28~41 (in Chinese).
- Chen H S and Ran C Y. 1992. Isotope geochemistry of copper deposits in Kangdian Axis[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 33~40 (in Chinese).
- Gong L and Wang C Y. 1981. On the origin of “Dongchuan type” copper deposit[J]. Scientia Geologica Sinica, (3): 203~211 (in Chinese with English abstract).
- Hua R M. 1989. On the Middle Proterozoic rifting in China and its control over stratabound copper deposits[J]. Geotectonica et Metallor-genia, 13(2): 150~160 (in Chinese with English abstract).
- Hua R M, Ruan H C and Ni P. 1990. A preliminary study on the character of Chengjiang period alkali-mafic rocks in Dongchuan area, and its relation to palaeo-rifting[J]. J. of Nanjing Uni. (Earth Sci.), (1): 85~91 (in Chinese with English abstract).
- Qiu H N. 1996. ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating of the quartz samples from two mineral deposits in western Yunnan (S W China) by crushing in vacuum[J]. Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.), 127: 211~222.

- Qiu H N, Sun D Z, Zhu B Q, et al. 1997. Isotope geochemistry study of Dongchuan copper deposits in middle Yunnan Province, S W China: II. Dating the ages of mineralizations by Pb-Pb and ^{40}Ar - ^{39}Ar methods[J]. *Geochimica*, 26: 39 ~ 45 (in Chinese with English abstract).
- Qiu H N. 1998. Petrogenetic chronologic framework and ore-forming ages of the Dongchuan Copper Deposits, Yunnan, S W China [Ph. D dissertation] [D]. Promoter: Sun D Z, Zhu B Q. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences (in Chinese with English Abstract).
- Qiu H N, Sun D Z, Zhu B Q, et al. 1998. ^{40}Ar - ^{39}Ar dating for a quartz sample from the Tangdan copper deposit, Dongchuan, Yunnan, by crushing in vacuum and by incremental heating on its powder[J]. *Geochimica*, 27: 335 ~ 343 (in Chinese with English abstract).
- Qiu H N, Zhu B Q and Sun D Z. 2000. ^{40}Ar - ^{39}Ar dating techniques for a hydrothermal siliceous breccia sample from the Luoxue Mine, Dongchuan Copper Deposits, Yunnan, by crushing in vacuum and then by stepped heating on its powders[J]. *Geochimica*, 29(1): 21 ~ 27 (in Chinese with English abstract).
- Ran C Y. 1983. Genetic model of Dongchuan-type stratbound Cu deposit [t]. *Scientia Sinica (series B)*, (3): 249 ~ 257 (in Chinese).
- Shen S, Jin M X and Lu Y F. 1988. Mineralization laws and prospect for main ore deposits in the Xichang Central Yunnan area [M]. Chongqing: Chongqing Pub. House (in Chinese).
- Wu J M and Huang Y P. 1995. Copper-bearing "reef-silicilith association" and sea-floor spouting hydrothermal mineralization of the Dongchuan Luoxue type of copper deposit[J]. *Mineral Resources and Geology*, 9(3): 168 ~ 173 (in Chinese with English abstract).
- Yang Y X, Qiu D M, Que M Y, et al. 1988. Precambrian stratabound copper deposits in Xichang Central Yunnan region[M]. Chongqing: Chongqing Pub. House. 1 ~ 382 (in Chinese).
- 陈好寿, 冉崇英. 1992. 康滇地轴铜矿床同位素地球化学[M]. 北京: 地质出版社. 33 ~ 40.
- 陈好寿, 冉崇英, 刘卫华. 1993. 康滇地轴铜矿床同位素地球化学及成矿作用年代学[A]. 见: 陈好寿, 主编. 同位素地球化学研究[C]. 杭州: 浙江大学出版社. 28 ~ 41.
- 龚琳, 王承尧. 1981. 论“东川式铜矿”的成因[J]. *地质科学*, (3): 203 ~ 211.
- 华仁民. 1989. 中国中元古代裂谷作用及其对层控铜矿床的控制[J]. *大地构造与成矿学*, 13(2): 150 ~ 160.
- 华仁民, 阮惠础, 倪培. 1990. 东川地区澄江期碱性火成岩的特征及其与裂谷作用关系的初步研究[J]. *南京大学学报(地球科学)*, (1): 85 ~ 91.
- 邱华宁, 孙大中, 朱炳泉, 等. 1997. 东川铜矿床同位素地球化学研究: II. Pb-Pb, ^{40}Ar - ^{39}Ar 法成矿年龄测定[J]. *地球化学*, 26(2): 39 ~ 45.
- 邱华宁. 1988. ^{39}Ar - ^{40}Ar 矿床定年方法与东川铜矿成矿成矿年代格架[博士论文][D]. 导师: 孙大中, 朱炳泉. 中国科学院广州地球化学研究所. 87 页.
- 邱华宁, 孙大中, 朱炳泉, 等. 1998. 东川汤丹铜矿床石英真空击碎及其粉末加热 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄谱的含义[J]. *地球化学*, 27(4): 335 ~ 343.
- 邱华宁, 朱炳泉, 孙大中. 2000. 东川铜矿硅质角砾 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年探讨[J]. *地球化学*, 29(1): 21 ~ 27.
- 冉崇英. 1983. 东川式层状铜矿的成矿模式[J]. *中国科学(B辑)*, (3): 249 ~ 257.
- 沈苏, 金明霞, 陆元法. 1988. 西昌-滇中地区主要矿产成矿规律及找矿方向(西昌-滇中地区地质矿产科研丛书)[M]. 重庆: 重庆出版社.
- 吴健民, 黄永平. 1995. 东川落雪式铜矿的含铜“礁-硅岩组合”与海底喷流热液成矿[J]. *矿产与地质*, 9(3): 168 ~ 173.
- 杨应选, 仇定茂, 阙梅英, 等. 1988. 西昌-滇中前寒武系层控铜矿(西昌-滇中地区地质矿产科研丛书)[M]. 重庆: 重庆出版社. 1 ~ 382.

附中文参考文献

常向阳, 朱炳泉, 孙大中, 等. 1997. 东川铜矿床同位素地球化学研究: I. 地层年代与铅同位素化探应用[J]. *地球化学*, 26(2): 32

New ^{40}Ar - ^{39}Ar Evidence for Ore-forming Process During Jinning-Chengjiang Period in Dongchuan Type Copper Deposits, Yunnan

Qiu Huaning^{1,2}, J. R. Wijbrans², Li Xianhua, Zhu Bingquan¹, Zhu Chonglin³, Zeng Baocheng³

(1 Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China; 2 Department of Isotope Geochemistry, Vrije Universiteit Amsterdam, Netherlands; 3 Dongchuan Bureau of Mines, Dongchuan 654101, Yunnan, China)

Abstract

Two quartz samples from the Dongchuan-type layered copper deposits in the Luoxue Mine were dated by ^{40}Ar - ^{39}Ar crushing and heating techniques. Two age groups of ~1 470 Ma and 810 ~ 770 Ma are recognized

from the ^{40}Ar - ^{39}Ar isochron plots. The age of ~ 1470 Ma, obtained from the isochron of the quartz 98-4aQ by vacuo crushing technique, is interpreted as the crystallization age of 98-4aQ from the hydrothermal fluid. The ages of 810 ~ 770 Ma, obtained from the ^{40}Ar - ^{39}Ar isochrons of 98-4aQ by stepped heating and of 98-4fQ by crushing and stepped heating, seem quite in agreement with the ^{40}Ar - ^{39}Ar isochron ages of the quartz samples DC-50-3Q and DC-51-1Q by crushing and siliceous breccia DC-5-2 by heating selected from the quartz-vein ores, and are interpreted as the copper mineralization ages. These ore-forming ages further indicate that the major ore-forming process in the Dongchuan copper deposits took place in the Jinning-Chengjiang period.

Key words: ^{40}Ar - ^{39}Ar techniques, fluid inclusions, Jinning period, Chengjiang period, Dongchuan copper deposits

(上接第 120 页)(Continued from p.120)

of mineral deposits is not only widely distributed and quite unique in mineral paragenesis but also contains much complicated genetic information of endogenous mineralization. Therefore, investigation on skarn deposits has been continued without interruption for more than one century, constantly bringing forth new ideas. Especially in the past two decades, the research of skarn deposits has made much important progress in such aspects as tectonic settings of skarn mineralization, multigenesis of skarn and skarn deposits, skarn of magmatic stage and magmatic skarn, alkali metasomatism and skarn mineralization, metasomatic zoning, Ag-Pb-Zn-bearing manganoan skarn formation, Au-bearing skarns, and ore-bearing skarn evaluation criteria. The above-mentioned new important progress in the skarn deposit studies has important theoretical significance in further understanding their petrogenic and metallogenic mechanism and practical applied value and hence in prospecting for more concealed skarn deposits.

Key words: skarn deposits, new advances in studies

地幔深部过程与金富集成矿研究取得重要进展

国家 305 项目“大规模成矿作用与大型矿集区预测”研究人员在对“地幔深部过程与金富集成矿”研究中取得了重要进展。

金大规模富集成矿与深部地质过程的关系是当今矿床学研究中最具探索性的一个科学问题之一。课题组通过对中国东部 65 件地幔岩包体及其寄主岩石中的金含量进行的系统测试分析,获得了重要发现。

分析结果表明,中国东部地幔岩中包体比寄主岩含金略高,两者间未表现出明显的相关性,反映前者是地幔部分熔融的残留体,而后者则主要由地幔熔体演化而来。

在冀西北、胶东半岛及海南地区,地幔流体活动对于大型金矿集区可能有重要贡献,地幔岩高金含量与大型矿集区在空间上有清楚的耦合关系。山东一些金伯利岩筒中的地幔岩包体有异常高的金含量,可能指示出“在金伯利岩筒和碱性玄武岩火山口附近找寻金矿床”是一个新的找矿方向。另一个值得注意的异常是海南岛,包体中的金含量较高,且与寄主玄武岩的金含量没有相关性。鉴于 90 年代以来在海南岛发现了冈瓦纳大陆属性的古地磁、古生物和地层证据,海南岛岩石圈地幔中的一些地块可能继承了西澳大利亚富金古老岩石圈地幔的特点,暗示海南岛将有可能成为我国最重要的金矿矿集区之一。

(赫 英 供稿 李 岩 编辑)