

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

豫西小秦岭金矿区的一组 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年数据

徐启东 钟增球 周汉文

杨发城 唐学超

(中国地质大学, 武汉, 430074) (武警黄金九支队, 河南三门峡市, 472000)

内容提要 本文提供了一组小秦岭金矿区的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年数据。根据地质体的形成温度和被测定矿物封闭温度之间的关系, 讨论了各个年龄的地质含义。认为东闯钾长花岗岩墙和文峪二长花岗岩体分别形成于印支期和燕山早期, 主要金矿化发生在文峪二长花岗岩体已固结之后(132 Ma)。自1.3 Ga以来, 本区遭受过的区域性热事件温度不会超过350°C。

关键词 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄 金矿化 花岗岩 小秦岭地区

小秦岭金矿区是中国主要的黄金产地之一, 众多的研究已成共识: 本区石英脉型和蚀变—石英脉型金矿化主要形成于中生代。但金矿化主要产于距中生代花岗岩类与围岩接触带之外2—7 km的范围内, 矿化围岩主要为新太古界太华杂岩中的各种片麻岩。这些事实客观上造成确定金矿化形成时限及与花岗岩类关系方面的直接地质证据较少, 更多地需求助于各类间接依据。本区各类地质体中已有了一系列K-Ar, Rb-Sr同位素定年数据, 例如钾长花岗岩墙的K-Ar法年龄197Ma^[1], 文峪二长花岗岩体的K-Ar法年龄108~130Ma^[1~3], Rb-Sr等时线年龄173~177Ma, 主成矿期石英脉的流体包裹体Rb-Sr等时线年龄162Ma^[4]。由于K-Ar体系中Ar丢失和Rb-Sr等时线样品初始值不均匀程度等问题, 定年数据存在某些不确定性。而 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法具有测定精度高、可以判定热扰动对定年的影响、数据的多解性较少的优点, 因此, 本文提供的一组 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年数据结果, 可能有助于解决本区中生代地质热事件的时间序列等问题。

1 样品的地质情况简述

本次研究选取了4个样品中的黑云母和绢云母进行测定。95D1采自东闯钾长花岗岩墙, 这是一条NWW向在地表断续延伸3~5 km、出露宽度数十米至数百米的地质体; 文峪二长花岗岩是两次侵入形成的复式岩体, 95C9采自侵入主体—第二次粗粒、中粗粒黑云母二长花岗岩; 95E44为太华杂岩中的二长质片麻岩, 采自杨柴峪矿区远离石英脉的部位; DC404为东闯507号脉下盘黄铁绢云岩化蚀变岩, 代表金矿化主期—第二成矿阶段成矿流体的产物。

样品破碎后通过漂浮法收集云母, 电磁选分离除去含包裹体的黑云母和其它杂质, 再在镜下进一步挑纯待用。DC404中的绢云母非常细小, 全部小于200目, 电磁选后的样品经人工精淘得到测定之用的绢云母。样品由中国科学院广州地球化学研究所测定, 分析结果见表1,

分析的基本原理和方法见有关报道^[5]。

2 结果与讨论

这组⁴⁰Ar/³⁹Ar定年数据的基本特征是每个样品的年龄坪相当稳定(图1),指示样品形成后,几乎未受到超过其封闭温度的热事件干扰。用不同加热温度点数据(⁴⁰Ar/³⁶Ar—³⁹Ar/³⁶Ar)拟合的等时线年龄也与坪年龄有较好的一致性(表2),说明这组数据具有较高的可靠性。

表1 小秦岭金矿区云母⁴⁰Ar/³⁹Ar分析结果

Table 1 Ar isotope data of micas from Xiaoqinling gold area

样号	温度(°C)	³⁹ Ar(%)	⁴⁰ Ar(%)	⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar	³⁹ Ar/ ³⁶ Ar	³⁷ Ar/ ³⁶ Ar	表面年龄(Ma)
黑	320	1.42	4.88	1001.517	22.315	0.071	649.83 ± 2.74
	440	3.50	2.99	1779.781	188.848	0.156	184.84 ± 1.21
	600	9.52	9.07	3821.926	402.787	0.057	204.75 ± 0.82
云	750	19.46	20.07	18572.19	1926.636	0.145	220.84 ± 1.44
	810	16.84	16.87	6727.0	698.082	0.156	214.84 ± 1.37
母	920	8.10	8.31	8018.097	818.672	0.287	219.67 ± 2.58
	1030	26.71	24.13	24644.42	2931.417	0.026	194.80 ± 1.02
95D1	1130	12.30	11.42	3044.994	322.258	0.057	199.81 ± 0.87
	1320	2.14	2.25	1324.057	106.341	0.330	224.91 ± 2.25
黑	320	1.83	1.46	1072.891	206.4035	0.05155	90.78 ± 1.12
	440	3.10	2.88	1085.55	179.526	0.23309	105.63 ± 0.61
	600	9.42	9.54	4470.529	871.0406	0.05966	114.76 ± 0.68
云	750	19.38	19.98	12834.13	2571.496	0.07571	116.68 ± 0.58
	810	16.67	16.31	9223.318	1929.094	0.072244	110.92 ± 0.73
母	920	8.42	8.53	21107.04	4341.571	0.12515	114.77 ± 0.70
	1030	26.70	26.59	22701.07	4756.774	0.02149	112.83 ± 0.58
95C9	1130	12.54	12.82	5122.547	998.4783	0.03762	115.71 ± 0.73
	1320	1.94	1.90	2192.079	409.7506	0.19658	110.94 ± 1.19
绢	320	2.61	2.77	876.9112	163.5529	0.056563	140.17 ± 0.98
	440	5.87	5.60	1685.469	434.8791	0.956222	126.51 ± 0.56
	600	6.34	6.46	2295.234	585.5317	0.106154	134.87 ± 0.44
云	750	11.37	11.23	2545.416	679.8364	0.075255	130.84 ± 0.52
	810	26.24	26.45	4001.707	1097.725	0.034511	133.38 ± 0.47
母	920	13.48	13.46	3065.009	827.9162	0.064447	132.20 ± 0.50
	1030	10.72	10.55	2424.723	645.9301	0.075048	130.34 ± 0.84
DC404	1130	20.57	20.58	2930.004	786.2317	0.042071	132.41 ± 0.27
	1320	2.80	2.90	2280.918	573.1296	0.198073	136.73 ± 0.65
黑	320	0.84	0.74	3010.368	36.454	8.664	1267.22 ± 15.55
	440	3.42	3.35	8984.409	105.253	1.442	1363.36 ± 10.58
	600	9.38	9.33	19765.63	232.414	0.622	1377.45 ± 7.38
云	750	20.10	20.27	21214.58	246.280	0.95	1390.82 ± 8.32
	810	16.57	16.62	24802.3	289.944	1.157	1386 ± 7.93
母	920	8.38	8.32	43031.82	510.58	1.681	1376.64 ± 6.81
	1030	25.53	25.69	42316.79	496.1569	0.221	1388.00 ± 5.13
95E44	1130	13.24	13.14	22780.58	269.032	0.402	1375.20 ± 6.44
	1320	2.54	2.54	18607.39	216.831	1.726	1385.25 ± 46.67

表 2 样品的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄和等时线年龄
Table 2 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ plateau age and isochron age of the samples

样品	坪年龄(Ma)	等时线年龄(Ma)
二长质片麻岩中黑云母	1383.66 ± 27.67	1388.36 ± 27.77
钾长花岗岩墙中黑云母	207.29 ± 4.15	200.13 ± 4.00
文峪岩体第二次侵入体中黑云母	113.72 ± 2.27	114.26 ± 2.29
第二阶段石英脉旁蚀变绢云母	132.16 ± 2.64	132.55 ± 2.65

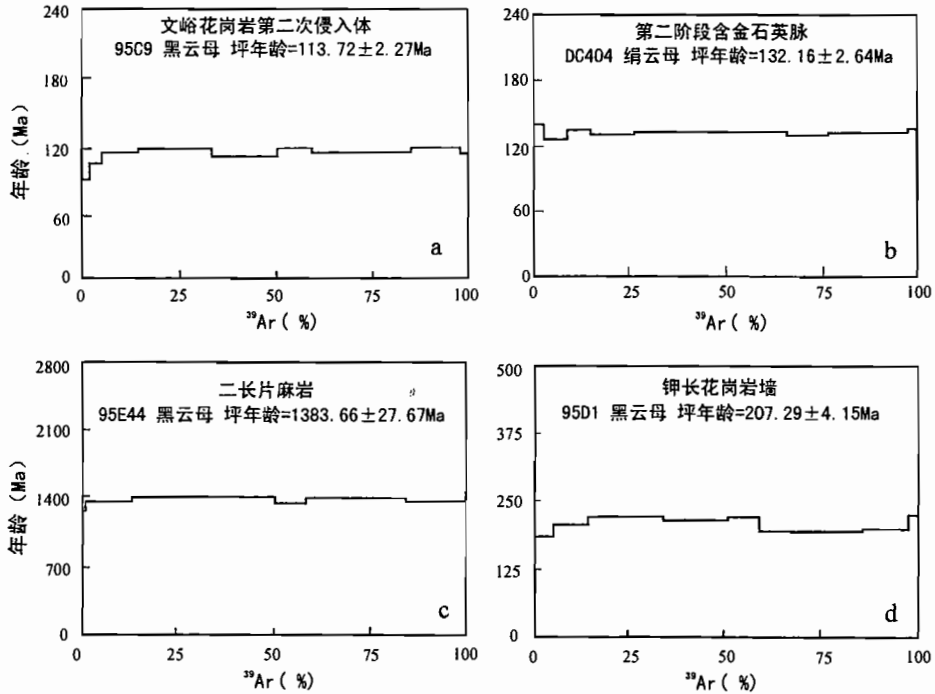


图 1 小秦岭地区云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄谱

Fig. 1 Heating age spectrum of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ stage of micas from Xiaojingling gold area

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄记录的是所测定矿物的冷却年龄,其地质意义取决于地质体的形成温度与被测定矿物封闭温度之间的关系。就本区而言,由于黑云母的 K—Ar 体系封闭温度约为 300°C ,绢云母约为 350°C ^[6],因此,当地质体的形成温度高于 $300\text{—}350^{\circ}\text{C}$ 时,云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄小于云母形成年龄,也就小于地质体形成年龄,其差值取决于地质体的冷却速率。当地质体中云母的形成温度相当或小于 $300\text{—}350^{\circ}\text{C}$ 时,则云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄就相当于地质体的形成年龄;当地质体为火山岩及浅成侵入体时,由于地质体冷却速率很快,云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄就相当于侵位年龄^[7,8]。

东闯钾长花岗岩墙为一浅成侵入体,黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄应小于岩墙的侵位年龄,但由于浅成侵入体具有较快的冷却速率,因而,岩墙中黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄与其侵位年龄应比较接近,207Ma 的坪年龄(图 1d)可代表岩墙侵位年龄的下限,应属于印支期产物。

文峪岩体第二次侵入体(主体)黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 114 Ma(图 1a)代表了这一侵入体冷却至 300°C 左右时的时间,已有的 K—Ar 法年龄 108 Ma ^[1]与其接近。已知该岩体 Rb—Sr

等时线年龄 172 Ma^[4]可代表岩浆侵位年龄,如果这个年龄可靠的话,则文峪岩体的主体从花岗岩浆侵位结晶冷却至黑云母的封闭年龄(300℃),大致持续了 60 Ma。大陆碰撞造山带花岗岩类主要是陆壳岩石缺乏流体熔融过程形成的岩浆结晶而成,岩浆形成温度大多在 850—950℃范围内形成^[9~11];岩浆上侵速率较之冷却速率快得多,例如基性岩浆上侵速率可达 1.8 km/h^[12],计算北京周口店花岗岩体的最小上侵速率 12 m/h,花岗岩浆从 30 km 上升到 6 km 处,只需要约 100 d^[13]。因而岩浆侵位时的温度与岩浆的形成温度相差不大。取文峪花岗岩浆侵位温度约为 800℃计算,在 60 Ma 内,从 800℃至 300℃,冷却的平均速率约为 8℃/Ma。则从岩浆侵位(800℃)至全部固结(660℃,固相线温度,见下),粗略估算结晶所需时间约为 17.5 Ma。计算北京周口店花岗岩体岩浆对流与不对流冷却到固相线温度的时间分别为 33 Ma 和 1.3 Ma^[14]。实际的岩浆冷却状态是在两种情况之间,与此类比,在相似的岩体出露状况和中等侵位深度范围内(5~10 km 左右),17.5 Ma 的冷却时间似乎可以接受。文峪岩体第一次侵入体与第二次侵入体是同源相继侵入的产物,其侵位时间稍早于第二次侵入体。因此,文峪岩体的侵位定在燕山早期^[4]是合适的。

笔者选取的主要金成矿期定年样品相当于第二矿化阶段的产物。由于含金石英脉的形成温度不会超过 350℃^[1,3,4],其 132 Ma 的⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄(图 1b)就代表了成矿流体蚀变—沉淀的时间。本区与文峪岩体相似的老牛山花岗岩的熔融实验确定其初熔温度(固相线温度)在 $1.5 \times 10^8 \sim 2.0 \times 10^8$ Pa 时,等于或大于 660℃^[14]。按 8℃/Ma 的平均冷却速率计算,从 172 Ma 到 132 Ma,文峪岩体已从约 800℃冷却至约 480℃,远低于上述花岗岩的最低固相线温度(660℃)。因此,金成矿流体的定位、沉淀是在文峪岩体完全结晶之后。

二长质片麻岩样品采自杨柴峪矿区远离含矿石英脉的部位,目的之一是要确定小秦岭太华杂岩目前的地表出露面是在何时抬升进入上地壳深度范围的。由于包括本区在内的华北陆块在古生代长期处于相对稳定状态,以地热增温率为正常的 30℃/km 计算,则片麻岩中黑云母的冷却温度 300℃大约相当于上地壳 10 km 的深度。由此可见,在约 1384 Ma,太华杂岩目前的地表出露面位于上地壳范围约 10 km 的深度,已经处在地壳脆性变形域范围。分段加热测定的⁴⁰Ar/³⁹Ar 表面年龄相当稳定(图 1c),表明自 1.3Ga 以来,在目前出露的太华杂岩范围内没有高于黑云母封闭温度(约 300℃)的区域性热事件全面影响地体,换句话说,高于 300℃的热事件主要是一些局部的热事件。例如,花岗岩体侵入结晶过程中热扩散仅在有限的范围内造成先成围岩经历了大于 300℃的热效应。

区域性发育的金成矿流体在 132Ma 左右进入目前地表出露面深度范围内时,成矿流体温度肯定小于白云母的封闭温度(350℃)。这与已知含金石英脉的形成温度不会超过 350℃的结果也是一致的。

上述讨论得到的基本时间序列信息是:东闯钾长花岗岩墙和文峪复式二长花岗岩体分别形成于印支期和燕山早期,主要金成矿阶段的矿化流体是在文峪花岗岩体固结后才开始在断裂系统中定位、沉淀。132 Ma 时,进入目前太华杂岩地表出露面深度范围内的成矿流体温度不会超过 350℃。这一时间序列的确定为小秦岭地区中温热液金矿化的成因研究提供了一个方面的限制。

感谢任迎新老师帮助精淘了绢云母样品。

参 考 文 献

- 1 栾世伟,曹殿春,方耀奎等. 小秦岭金矿床地球化学. 矿物岩石, 1985, 5(2): 1~118.

- 2 晁援. 关于小秦岭金矿的成矿时代探讨. 陕西地质, 1989, 7: 52~55.
- 3 林宝钦, 王定国, 晁援等. 中国金矿主要类型区域成矿条件文集. 3. 豫陕小秦岭地区. 北京: 地质出版社, 1989. 1~140页.
- 4 李华芹, 刘家齐, 魏林. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质意义. 北京: 地质出版社, 1993. 92~105页.
- 5 戴潼谟, 洪阿实. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 计时及西藏南部喜马拉雅期几个黑云母年龄测定. 地球化学, 1982, (1): 48~55.
- 6 Wijbrans J R, McDougall I. $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ dating of white micas from an Alpine high pressure metamorphic belt on Naxos (Greece): the resetting of the Argon isotopic system. Contrib. Mineral. Petrol., 1986, 93: 187~194.
- 7 Miller L D, Goldfarb R J, Gehrels G E, et al. Genetic links among fluid cycling, vein formation, regional deformation, and plutonism in the Juncau gold belt, Southeastern Alaska. Geology, 1994, 22: 203~206.
- 8 Heizler M T, Lux D R, Decker E R. The age and cooling history of the Chain of Ponds and Big Island Pond plutons and the Spider Lake Granite, west-central Maine and Quebec. Amer. J. Sci., 1988, 925~952.
- 9 Clemens J D, Vielzeuf D. Constraints on melting and magma production in the crust. Earth Planet. Sci. Lett., 1987, 86: 287~306.
- 10 Brown M. The generation, segregation, ascent and emplacement of granite magma: the migmatite- to crustally-derived granite connection in thickened orogens. Earth Sci. Rev., 1994, 36: 83~130.
- 11 徐启东. 国外陆壳岩石缺乏流体熔融实验和模拟的主要成果. 地球科学进展, 1997, 12(2): 144~151.
- 12 Hargraves R B. Physics of magmatic processes. Princeton: Princeton University Press, 1980. 285.
- 13 马昌前. 热力学、动力学计算在岩浆岩研究中的应用. 见: 邱家骧主编, 应用岩浆岩岩石学. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991. 293~295页.
- 14 尚瑞钧, 严阵. 秦巴花岗岩. 武汉: 中国地质大学出版社, 1988. 141~143页.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Dating of the Xiaoqinling Gold Area in Henan Province

Xu Qidong, Zhong Zengqiu, Zhou Hanwen

(China University of Geosciences, Wuhan, 430074)

Yang Facheng and Tang Xuechao

(No. 9 Detachment of Gold Exploration, Ministry of Metallurgical Industry, Sanmenxia, 472000)

Abstract

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating has been conducted in the Xiaoqinling gold area. According to the relationship between the formation temperatures of geological bodies and the sealing temperature of Ar in minerals, the geological implications of various ages are discussed. The Dongchuang moyite dike and Wenyu monzogranite separately formed in the Indosinian and early Yanshanian. Major gold mineralization occurred after the Wenyu monzogranite was solidified (132 Ma age). No regional heat events with temperatures above the Ar sealing temperature of biotite (about 350 °C) have affected the terrain since 1300 Ma B. P. .

Key words: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age; gold mineralization; granite; Xiaoqinling area

作者简介

徐启东,男,副教授,1957年3月生。1982年初毕业于长春地质学院,1994年获中国地质大学(武汉)博士学位,主要从事矿床学、区域地球化学和流体地质方面的教学和研究。通讯地址:430074,湖北武汉喻家山中国地质大学矿床教研室。