

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

激光显微探针 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年进入了 人类历史领域

——评美国伯克莱地质年代学中心最新研究成果和年轻火山岩的定年极限

穆治国

(北京大学地质学系, 100871)

内容提要 美国伯克莱地质年代学中心 P. R. Renne 等(1997)对采自意大利维苏威火山公元 79 年爆发喷出物中的透长石, 进行了激光显微探针 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年, 从 46 个分析数据中得到了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 等时线年龄为 $1925 \pm 94 \text{ a}$, 接近于与现今使用的格里历 1918 年前一致。这证明激光显微探针 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年法的可信度已扩展到记录人类历史的时间范畴。Renne 等的最新研究成果把 30 多年来 K-Ar 地质年代学者对特别年轻火山岩的定年研究带入了一个新阶段, 它为与晚新生代地质年代学有关的各种研究提供了一有力工具。

关键词 激光显微探针 K-Ar 年代学 全新世

1997 年《科学》发表了美国伯克莱地质年代学中心 Renne 等人^[1]利用激光显微探针分步加热定年技术对公元 79 年维苏威火山 Plinian 喷发沉淀浮岩中的透长石进行了定年, 得到了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 等时线年龄为 $1925 \pm 94 \text{ a}$, 其值近于与格里历(Gregorian Calendar——现今使用的阳历)1918(1997-79=1918)年一致。这证明激光显微探针 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年法真正能扩展到记录人类历史的时间范畴, 这是地质年代学的一个飞跃。在透长石中存在着过剩 ^{40}Ar , 如果在测定全新世样品中忽略了, 将引起明显的误差。

测定第四纪晚更新世(1.8 Ma)以来近期地质事件的年龄, 在地球科学的许多领域中越来越重要。测定这样特别年轻火山岩样品的地质年龄, 不仅对地质年表的确立和矿产资源的寻找有直接关系, 而且因为这类火山岩石在空间分布上多与活动板块有关, 出露于活动构造带上, 所以对其年龄的测定, 对研究板块运动, 恢复新构造活动历史, 对地震规律的探讨, 对地热资源的寻找和评价, 对核电站址的选择等等许多地质问题和工程问题的解决都有重要意义。近年来, 还有人把年轻火山岩的定年结果应用于火山灾害预测和古人类学的研究上。因此, 可以说能精确测定特别年轻火山岩的年龄, 不仅在理论上, 而且对许多社会生产实践方面都具有重要意义。

自 60 年代以来, 一些地质年代学者一直致力于年轻(这里系指 $<0.1 \text{ Ma}$, 下同)火山岩的定年研究, 他们测定了美国的加利福尼亚^[2~6]、阿拉斯加^[7]、南非和意大利^[3,8]等地的晚新生代和现代火山岩石的年龄。年龄范围自几个百万年至几千年。80 年代后, 我国学者也开始了对特别年轻火山岩石的定年研究^[9~11]。

特别年轻的火山岩石, 同位素定年比较困难。一方面是由于这些岩石中放射成因 ^{40}Ar 的

含量很低,故精确测定难度大;另一方面,由于老围岩对年轻岩石的混染,外来 ^{40}Ar 的混入问题严重,要求实验条件更加严格。为能得到较满意的测定结果,地质年代学者进行了多方探索。30多年来的努力表明:①测定的样品以新鲜的高含K的矿物和岩石为宜,通常含K低于2%的样品,则因放射成因 ^{40}Ar 含量甚低,致使表观年龄误差较大。比如万年级的样品,表观年龄的误差都在100%以上。透长石、白榴石和霞石等单矿物是理想的定年对象,含K量高的细粒火山岩全岩样品也适用。②释Ar样品用量以大剂量为宜。在超高真空条件下,萃取Ar的样品用量原则上取决于样品含K的高低和年龄的新老。但是10 ka以新的特别年轻岩石的样品用量,即使是高含K的透长石,只有>20 g的样量才能使表观年龄的误差<100%。③长时间的烘烤才能把混入的大气Ar驱除干净。一般情况下,10 g以下样品需烘烤1~2天,20 g以上样品则需要烘烤1个星期左右。除此以外,在样品的颗粒度、清洗的方法和稀释剂的标定等方面,都做了反复深入的研究。表1列出的是30年来特别年轻火山岩K-Ar定年的部分成果。

从表1可以看出,尽管中外地质年代学者做了30多年的探索,利用高含K的火山物质,常规的K-Ar($^{40}\text{Ar}/^{40}\text{K}$)定年法测定全新世样品的年龄,其精度仍低于 ^{14}C 、铀系和其他方法报道的结果,不过可以测定10 ka以新的年龄。这种方法的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 变种代替 ^{40}Ar 的测量,在辐射过的样品中测定 ^{39}Ar ,能够识别斑晶的混染、非大气的初始Ar和Ar的丢失,而其能测定最年轻年龄的极限并未有本质区别。

火山喷出物中的矿物,例如透长石,是富钾的,在岩浆温度范围可以认为是不含初始Ar的。虽然斑晶的混染影响可能还存在,但一般地说定年是最好的。用微区微量激光显微熔样,单个晶体的分析能避免混染,不过单

个晶体很少能大到对全新世年龄的样品得到可信的放射成因 ^{40}Ar 量。例如,直径2 mm大小球形的透长石晶体,含K 10%,在5000 a间只能产生 2×10^{-18} mol的 ^{40}Ar ,这个量要比目前可达

表1 世界上某些特别年轻火山岩(<0.1 Ma)的K-Ar定年汇总

Table 1 A summary of K-Ar datings from some very young volcanic rocks in the world

样品产地	样品	K ₂ O (%)	样量 (g)	^{40}Ar (%)	表观年龄 (Ma)	引用文献
Sierra Nevada, America	玄武岩	1.37	13.33	0.6	0.06 ± 0.05	[2]
Mono Craters, Italy	透长石	9.18	15	135	0.049	[3]
	透长石	9.18	14.5	6	0.005	
	透长石	9.18	14.3	3	0.072	
	白榴石	15.62	9.53		0.095	
Mono and Inyo Craters, Italy	透长石	10.73	20.986	1.0	0.0029 ± 0.0028	[4]
	透长石	10.61	22.084	1.8	0.0037 ± 0.0030	
	透长石	10.93	24.29	2.0	0.0047 ± 0.0034	
	透长石	10.90	22.485	8.4	0.0087 ± 0.0014	
	透长石	10.81	22.997	3.8	0.0109 ± 0.0042	
Alaska, America	正长石	3.30	12.487	2.3	0.03 ± 0.02	[7]
Coso Range, America	透长石	9.75	5.559	13.2	0.077 ± 0.008	[5]
	玄武岩	1.473	5.347	1.8	0.038 ± 0.032	
	黑曜岩	4.48	3.745	4.3	0.070 ± 0.030	
	黑曜岩	4.33	4.972	5.2	0.056 ± 0.016	
Sawmill Canyon, America	玄武岩	1.653	13.33	0.6	0.058 ± 0.073	[6]
	玄武岩	1.422	30.069	1.0	0.030 ± 0.030	
Olby and Laschamp, France	玄武岩	1.77			0.0376 ± 0.0075	[8]
	玄武岩	1.67			0.038 ± 0.01	
云南腾冲, 中国	玄武岩	3.111	5.099	1.4	0.061 ± 0.042	[9]
	玄武岩	2.864	2.710	1.2	0.05 ± 0.05	
黑龙江镜泊湖, 中国	橄玄岩	1.69	9.001	2	0.068 ± 0.029	[10]
黑龙江科洛, 中国	白榴石	3.691	4.6394	2	0.06 ± 0.01	[11]
	玄武岩	5.275	3.1060	1	0.03 ± 0.03	
	玄武岩	4.928	3.1076	1.5	0.05 ± 0.02	

到的 ^{40}Ar 最好的背景值还要小一到二个数量级。

P. R. Renne 等从维苏威火山公元 79 年(1918 年前)8 月 24 日下午摧毁庞培等罗马古城爆发喷出物中,收集到高碱性透长石, K_2O 含量 13.7%~15.7%,总重量 0.43 g。样品经辐射分成 12 份,用 CO_2 激光器进行显微探针分步加热定年。在激光加热初级阶段(1~2 W),得到的是不精确和分散表观年龄(24~521 ka);加热激光功率达到 4~6 W 时,表观年龄下降,但比较一致(2~26 ka);最后激光能量到 7~20 W,得到一致表观年龄(2~3 ka)。1~2 W 初级阶段,只含全部释出 ^{39}Ar 的 0.1%以下,得到 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 为 298~323,在可信度 95%条件下,不能与大气 Ar 的 296 区分开。在同位素关系图解上,资料点定义了一条等时线,截距 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}=0.07551 \pm 0.0037$,对应的等时线年龄为 1925 ± 94 a,等时线定义的初始 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}=306.9 \pm 1.3$,明显高于大气的值,表明有外来 ^{40}Ar 加入。尽管有过剩 Ar 的存在,但是<2000 a 的样品能够进行精度好于 5%的定年,证实了激光显微探针 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年法作为一种可信赖的地质定年计能应用到全新世地质时期。结果还证明,在火山喷出的透长石中能识别出过剩的 ^{40}Ar ,如果说前全新世同名样品中可以忽略的话,那么全新世的样品,特别是历史样品则必须考虑。

特别可喜的是,P. R. Renne 等总结了利用激光显微探针精确解决罗马时代样品定年的实验经验。比如宽束 CO_2 激光器的使用,质量歧视和本底的校正;样品短期辐照和镉屏的使用;以及中子流监测器等等。同时作者通过实验、计算和分析后指出:过剩 Ar 是透长石从岩浆囊中带来的、还是外来的 ^{40}Ar 落入准显微包体造成的,目前尚不能判别。质谱精度校正的不确定性、样品重量和 K 含量的限定造成的总误差约为 $\pm 10\%$,明显大于高质量的分析误差,有待改进。不管怎样,P. R. Renne 等人的研究结果表明,全自动、高精度、微区和微量的激光显微探针 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年技术,已把 K-Ar 法的定年范围推进到人类历史的领域。这是地质年代学的一个跃进,它为全新世的定年提供了一种可广泛应用的强有力的工具。

参 考 文 献

- 1 Renne P R, Shorp W D, Deino A L, Orsi G, Civetta L. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Dating into the Historical Realm: Calibration Against Plinian the Younger. *Science*, 1997, 277(5330): 1279~1280.
- 2 Dalrymple G B. Potassium-argon dates of three Pleistocene interglacial basalt flows from the Sierra Nevada, California. *Geological Society of America Bulletin*, 1964, 75: 753~758.
- 3 Curtis G H. The potassium-argon dating of the Late Cenozoic rocks in East Africa and Italy. *Current Anthropology*, 1965, 6 (4): 343~385.
- 4 Dalrymple G B, Cox A, Doell R R, Gromme C S. Pliocene geomagnetic polarity epochs, *Earth Planet. Sci. Letters*, 1967, 2: 163~173.
- 5 Lanphere M A. K-Ar ages of Pleistocene rhyolitic volcanism in the Coso Range, California. *Geology*, 1975, 3: 339~342.
- 6 Dalrymple G B, Burke R M, Birkeland P W. The concerning K-Ar dating of a basalt flow from the Tahoe-Tioga interglaciation, Sawmill Canyon, Southeastern Sierra Nevada, California. *Quaternary Research*, 1982, 17: 120~122.
- 7 Hoare J M, Condon W H, Cox A, Dalrymple G B. Geology, Paleomagnetism, and potassium-argon ages of basalts from Nunivak Island, Alaska, studies in volcanology. *The Geological Society of America Bulletin*, 1968, 386~387.
- 8 Pierre Yves Gillot, Yves Cornette. The Cassinelli Technique for potassium-argon dating, precision and accuracy: examples from the Late Pleistocene to recent volcanics from Southern Italy. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, 1986, 59: 205~222.
- 9 穆治国, 佟伟, Curtis G H. 腾冲火山活动的时代和岩浆来源问题. *地球物理学报*, 1987, 30(3): 261~270.
- 10 刘嘉麒. 中国东北地区新生代火山岩年代学研究. *岩石学报*, 1987, (4): 21~31.
- 11 穆治国, 刘池, 黄宝玲, 郑庆道, 崔建伟, 刘世伟. 黑龙江科洛晚新生代火山岩 K-Ar 定年和地球化学. *北京大学学报(自然科学版)*, 1992, 28(6): 733~744.

Laser Microprobe $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Dating into the Realm of the Human History

—A Review of the Latest Result of the Berkeley Geochronology Center
and a dating limit of K-Ar geochronology

Mu Zhiguo

(Department of Geology, Peking University, Beijing, 100871)

Abstract

Sanidines collected from the pumice deposited by the Plinian eruption of Vesuvius in A. D. 79 were dated by P. R. Renne et al. (1997) using the laser incremental heating method, and a $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isochron age of 1925 ± 94 a were obtained from 46 data, which is in good Agreement with the Gregorian calendar-based age of 1918 a BP. This demonstrates that the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method can be reliably extended into the range of the recorded history. The latest results contributed by P. R. Renne and his colleagues bring the geochronology into a new stage. It has provided a powerful potential tool for the study of the Late Cenozoic volcanic rocks.

Key words: laser microprobe; K-Ar geochronology; Holocene

作者简介

穆治国,男,1939年生。1964年毕业于北京大学地球化学专业。现为北京大学地质学系教授,长期从事同位素地球化学和地质年代学的教学和科研工作。通讯地址:100871,北京大学地质学系。

中国地质学会举办“百千万人才工程”首届地学高级研修班

受人事部和中国科学技术协会的委托,中国地质学会于1999年5月24日—28日在中国地质大学(北京)学术交流中心举办了“百千万人才工程”首届地学高级研修班。

国土资源部部长周永康、中国科学技术协会书记处第一书记张玉台和老一辈地质学家代表王鸿祯院士等参加了开学典礼,并作了重要讲话。中国地质学会常务副理事长陈毓川院士在开学典礼上致词。

本届高级研修班由中国地质学会秘书长王弼力和常务副秘书长艾永德主持,参加学员主要为国家或省部级“百千万人才工程”入选者、近年来国家青年科技奖或中国地质学会青年地质科技奖获奖者,以及在学术上确有造诣、实际工作成绩突出的中青年技术骨干。95%以上学员已获博士学位,全部具有高级职称。

马宗晋院士、陈运泰院士、石玉林院士等为高研班授课,其内容具有系统性、前瞻性和学科交叉性。学员们围绕固体地球科学的新动向、地球科学家面临的挑战和对策等作了学术交流,进行了热烈的讨论。

研修班期间,还召开了由人才培养和选拔部门、科技管理部门领导和研修班学员共同参加的“地学发展与跨世纪人才成长”座谈会,提出了许多合理建议,受到了有关部门的重视。

《光明日报》、《科技日报》、《科学时报》、《中国青年报》、《国土资源报》、《中国科协报》等报社都派记者参加,并且以不同形式进行了报道。《科学时报》还计划出专版报道本届高级研修班的成果。《地质学报》、《Acta Geologica Sinica (English edition)》和《地质论评》编辑部也派编辑参加了本届高级研修班。