

对金伯利岩测年方法和测年样品的探讨

吕青,葛跃进

(山东省第七地质矿产勘查院,山东临沂 276006)

摘要:金伯利岩是化学成分、矿物组成和结构多变的混杂岩,极易发生蚀变。因此,采用单一的年龄测定方法很难确定金伯利岩的侵位年龄,数据结果差别很大。该文以山东蒙阴地区金伯利岩应用的测年方法为例,对比分析了K-Ar法、Ar-Ar法、Rb-Sr法、Sm-Nd法、U-Pb法的年龄数据,探讨了不同测年方法及其选取的岩石、矿物样品的适用性。认为在符合地层对金伯利岩侵位时间约束的前提下,采用多种同位素测年方法相互印证,深入研究矿物、岩石及岩浆成因是必不可少的。

关键词:金伯利岩;形成时代;年龄测定方法

中图分类号:P533

文献标识码:A

引文格式:吕青,葛跃进.对金伯利岩测年方法和测年样品的探讨[J].山东国土资源,2016,32(10):12-15. LV Qing, GE Yuejin. Study on Age Dating Methods and Age Dating Samples of Kimberlite[J]. Shandong Land and Resources, 2016, 32(10):12-15.

金伯利岩石中具有一定数量的围岩碎块和深源捕虏体。由于金伯利岩往往赋存在断裂构造和密集节理带中,使岩石极易发生速蚀变作用,导致矿物的沉淀。前人采用多种同位素测年方法,但所得山东蒙阴地区金伯利岩侵位年龄的数据结果往往差别很大。同位素地质年龄数据的可靠性,既取决于测试技术的准确度,也取决于被测样品是否具有代表性。因此,选择适合的测年方法,选择有代表性的岩石矿物样品尤为重要。该文以山东蒙阴地区金伯利岩测年数据为例,以该区地质特征为基础,分析总结了同位素测年方法和被测样品对金伯利岩侵位年龄的适用性。

1 山东蒙阴金伯利岩地质背景

山东蒙阴金伯利岩带位于鲁西地区的中部,在NW向的蒙山、新泰-垛庄、铜冶店-蔡庄等断裂与NNE向的上五井断裂交会处东侧的断块隆起区。岩带分布区断续长达55 km,由南向北分成常马庄、西峪和坡里3个岩带,金伯利岩绝大多数侵入到太古界泰山岩群花岗岩片麻岩中,少数侵入到古生代石

灰岩中(图1)^[1-2]。

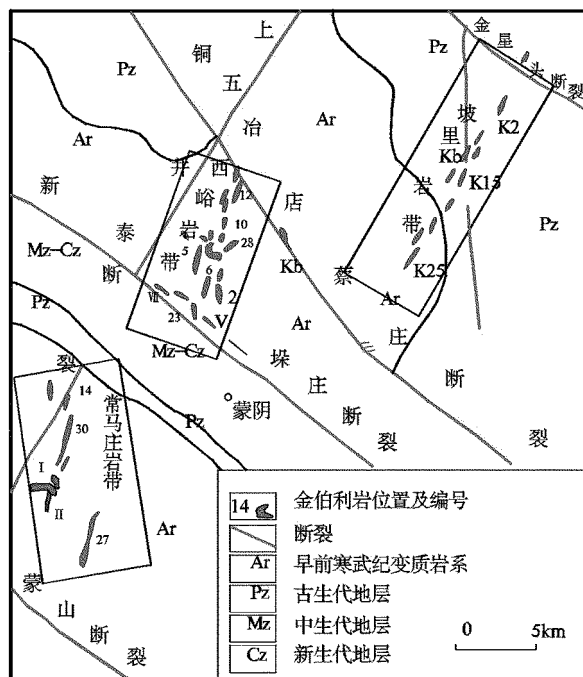


图1 山东蒙阴金伯利岩区地质简图

山东蒙阴地区金伯利岩的最高侵入地层层位为奥陶纪马家沟群五阳山组灰岩中。胜利I号和红旗

收稿日期:2016-04-05;修订日期:2016-05-08;编辑:曹丽丽

科研项目:2013年度山东省地矿局地质科技攻关项目;山东省蒙阴地区金刚石原生矿成矿规律及深部找矿方法技术(KY201306)

作者简介:吕青(1985—),女,山东临沂人,工程师,主要从事地质矿产勘查工作;E-mail:lq18660977876@163.com

6 号、22 号等岩管中,常见寒武-奥陶系泥质条带灰岩、鲕粒灰岩、泥晶灰岩或钙质页岩、红色泥质岩等角砾,表明侵位时该套奥陶纪地层已经成岩,并且其侵位应为该套地层沉积成岩之后。根据国际地科联对于地层年代的划分,五阳山组的沉积年龄为 467.3 Ma 的达瑞威尔阶,因此该区金伯利岩的侵位年龄为 467 Ma 之后。

2 金伯利岩测年方法与样品的选择

2.1 K - Ar 法/Ar - Ar 法

表 1 蒙阴地区金伯利岩 K - Ar 法同位素年龄

序号	岩石名称	样品名	年龄值(Ma)	测试单位及时间
1	红旗 1 号细粒金云母金伯利岩	全岩	1584	中科院贵阳地化所,1968 年
2	红旗 1 号细粒金云母金伯利岩	全岩	1554	中科院贵阳地化所,1968 年
3	红旗 1 号细粒金云母金伯利岩	全岩	1015	中科院贵阳地化所,1968 年
4	胜利 I 号斑状镁铝榴石金伯利岩	全岩	716	天津地矿所,1980 年
5	胜利 I 号斑状镁铝榴石金伯利岩	全岩	634	成都地质学院,1968 年
6	红旗 1 号斑状镁铝榴石金伯利岩	金云母	554	中科院贵阳地化所,1968 年
7	红旗 1 号斑状镁铝榴石金伯利岩	金云母	530	中科院贵阳地化所,1968 年
8	红旗 1 号斑状镁铝榴石金伯利岩	金云母	476	中科院贵阳地化所,1968 年
9	红旗 1 号斑状镁铝榴石金伯利岩	金云母	455	中科院贵阳地化所,1968 年
10	红旗 6 号斑状金云母金伯利岩	全岩	81	中科院贵阳地化所,1968 年
11	红旗 6 号斑状金云母金伯利岩	全岩	88	中科院贵阳地化所,1968 年
12	红旗 6 号斑状金云母金伯利岩	全岩	77	中科院贵阳地化所,1968 年
13	红旗 6 号斑状金云母金伯利岩	棕色金云母,稀释法	484.6	地矿部宜昌地研所,1988 年
14	坡里斑状富金云母金伯利岩	全岩	371.8	中科院贵阳地化所,1968 年
15	坡里斑状富金云母金伯利岩	全岩	233.8	成都地质学院,1988 年
16	坡里 6 号异常富金云母金伯利岩	全岩,体积法	379	地矿部宜昌地研所,1988 年

金云母矿物测试结果偏大的原因,可能是来自地幔的异常大年龄的云母捕虏晶的影响。金伯利岩中的云母包括地幔岩解体和岩浆结晶两种成因类型,后者以巨晶(或较粗的斑晶)和基质形式出现。

2.1.2 Ar - Ar 法

Ar - Ar 法克服了 K - Ar 法过剩 Ar 常会使年龄偏老或偏新的问题。张宏福^[3]等利用蒙阴金伯利岩岩区胜利 I 号岩管中的金云母巨晶,Ar - Ar 法同位素测年分析结果得出了(466.3±0.3) Ma 的坪年龄和(464.9±2.7) Ma 的³⁹Ar - ⁴⁰Ar 等时线年龄。

2.1.1 K - Ar 法

K - Ar 法主要采用金伯利全岩和金云母矿物。1988 年山东地矿局第七地质队开展蒙阴金伯利岩同位素测年研究,采用全岩 K - Ar 法同位素测年的结果相差很大(表 1)。在同一岩体也相差数倍,据地质观察红旗 1 号岩脉,斑状镁铝榴石金伯利岩呈中心相,细粒金云母金伯利岩呈边缘相产出,即使同一岩体存在中心相和边缘相成岩时间差异,但是绝对时间相差 1 000 Ma 也是不符合实际的。金伯利岩具有多元混合特征,所以全岩 K - Ar 法测年结果往往带有混合特点,具有一定的不确定性^①。

2.2 Rb - Sr 法

选择 Rb - Sr 法测定对象时往往寻找含 K 的矿物,因此一般适用 K - Ar, Ar - Ar 法测定的对象也适用于 Rb - Sr 年龄测定。从收集到的蒙阴地区金伯利岩 Rb - Sr 测年样品采用全岩、金云母,其中获得 1 个全岩测年数据在 1.5 亿年,7 个金云母测年数据结果在 4.94 亿~4.74 亿年之间^[4],大于金伯利岩侵位的地层沉积年龄。1997 年王瑛等^[5]将基质金云母、蛇纹石、石榴子石作为样品测试,测得全岩年龄

① 山东省地矿局第七地质队,朱源、毛志海,山东金伯利岩同位素地质学研究,1989 年。

值(616±32)Ma,全岩+金云母巨晶 Rb - Sr 等时线年龄为(573±16)Ma,全岩+基质金云母 Rb - Sr 等时线年龄为(560±10)Ma,石榴子石年龄值为(651±24)Ma,蛇纹石年龄值为(605±30)Ma,得出侵位年代为(560±10)Ma。

金伯利岩全岩等时线年龄值因岩石矿物来源具混杂性而使其结果常具不确定性^[6]。石榴子石、蛇纹石矿物的多成因性使测得年龄值有混合特点。云母的 Rb - Sr 法测年相对简单可靠,但金伯利岩中蚀变云母或污染物的存在可能是一个复杂因素,使测年结果与地质实际情况不符。多数人认为金伯利岩巨晶金云母可代表金伯利岩岩浆侵位活动期,而 Allsopp 和 Roddick^[7-8]以及王瑛等开展研究后认为,基质金云母的岩浆成因较巨晶金云母更易得到证实,从矿物成因上看,基质金云母年龄更适合代表金伯利岩岩浆侵位时代。金伯利岩中的石榴子石、蛇纹石物质来源中因含有古老地幔的捕虏晶,测年结果往往偏老。

2.3 Sm - Nd 法

Sm - Nd 法金伯利岩测年采用过金伯利全岩、磷灰石和石榴子石矿物,测定结果及模式年龄值见表 2。

表 2 蒙阴地区 Sm - Nd 法模式年龄测定结果

序号	岩体及样品名	Sm (10 ⁻⁶)	Nd (10 ⁻⁶)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	模式年龄 (Ma)
1	红旗 1 号细粒金伯利岩	8.2091	65.573	0.07536	0.512187±37	567±46
2	红旗 1 号细粒金伯利岩	8.5935	70.088	0.07381	0.512072±48	702±60
3	红旗 1 号细粒金伯利岩	8.9386	75.090	0.07166	0.512401±48	486±49
4	红旗 6 号斑状金伯利岩	7.5938	62.937	0.07263	0.512408±37	455±46
5	红旗 6 号斑状金伯利岩	6.2904	56.242	0.06733	0.512320±23	375±47
6	坡里金伯利岩	28.447	215.618	0.0794	0.512270±25	479±32
7	红旗 6 号磷灰石	15.799	554.509	0.1343	0.511501±40	2759±96
8	红旗 6 号磷灰石	191.955	443.744	0.2604	0.513663±17	2481±40
9	红旗 6 号磷灰石	57.343	290.336	0.1189	0.511567±22	2091±43
10	红旗 1 号磷灰石	87.181	339.502	0.1546	0.512056±25	2099±90
11	红旗 6 号磷灰石	47.652	166.963	0.1718	0.512335±56	1849±279
12	胜利 I 号镁铝榴石	1.031	4.065	0.1528	0.512456±24	633±83
13	红旗 1 号镁铝榴石	1.171	5.023	0.1403	0.512407±15	625±41
14	红旗 28 号镁铝榴石	2.517	8.624	0.1757	0.512461±20	1283±144
15	红旗 2 号镁铝榴石	0.533	1.295	0.2570	0.512820±47	461±119
16	胜利 I 号纯橄榄岩中镁铝榴石	1.355	11.703	0.0697	0.512180±10	550±12

测试单位及时间:地矿部宜昌地研所,1988 年。

金伯利岩全岩模式年龄值范围从 702~375 Ma,金伯利岩的多来源使其测年结果差别较大。

磷灰石是金伯利岩基质中常见的矿物,磷灰石 Sm - Nd 法测年得出模式年龄值范围 2 759~2 091 Ma,这个年龄值蒙阴地区太古宙花岗岩质岩石的年龄(2 457.3±47)Ma 相近。

金伯利岩中的石榴子石依成因可分为捕虏晶和斑晶,两种成因类型的石榴子石分别代表了金伯利岩岩浆结晶前和结晶过程中的产物,但从收集的资料来看,目前不能区分出两种不同来源的石榴子石。石榴子石 Sm - Nd 法年龄值为 1 283~461 Ma,数据值差别很大,而且测年数据一般都偏老。说明样品带有混杂的特点,有捕虏成因的石榴子石存在^[8]。

2.4 U - Pb 法

U - Pb 法金伯利岩测年采用过金伯利岩中的锆石、斜锆石和钙钛矿。

锆石 U - Pb 法测年的结果均较高,锆石 206/238 组表面年龄 45.2~1 328.3 Ma,207/235 组表面年龄 1 452.8~1 902.2 Ma,同位素年龄结果均较高。尹作为^[9]选择胜利 I 号岩管中的 10 颗锆石进行 SHRIMP 年龄测试,测年结果为(2 589±8.7)Ma;采用胜利 I 号金伯利岩中的 33 颗锆石(淡紫色,细小的自形锥状晶体,环带发育)LAMICPMS 测得年龄值(2 596±11)Ma。锆石年龄值与蒙阴地区老变质岩相近(表 3)^[9-10]。

表 3 山东蒙阴地区 U - Pb 法年龄测定结果

序号	岩性	测试矿物	测定方法	表面年龄值(Ma)		年龄(Ma)	测试单位及时间
				206/238	207/235		
1	S1 斑状金伯利岩	锆石	U - Pb	1260.2	1793.1		地矿部宜昌地质矿产研究所 1989 年
2	H1 斑状金伯利岩	锆石	U - Pb	1275	1855.6		
3	H6 斑状金伯利岩	锆石	U - Pb	1230.1	1808.9		
4	H6 斑状金伯利岩	锆石	U - Pb	745.2	1265.7		
5	H6 金伯利角砾岩	锆石	U - Pb	1435	1902.2		
6	H2 斑状金伯利岩	锆石	U - Pb	1328.3	1789.4		
7	H5 斑状金伯利岩	锆石	U - Pb	932.8	1456.4		
8	坡里斑状金伯利岩	锆石	U - Pb	907.5	1452.8		
9	S1 斑状金伯利岩	钙钛矿	U - Pb SHRIMP			457±7	J.W.Bristow, 1988 年
10	S1 斑状金伯利岩	锆石	U - Pb LA - ICPMS			2596±11	中国冶金地质总局山东测试中心,2014
11	胜利 I 号斑状金伯利岩	钙钛矿	U - Th - Pb SIMS			480.6 ±2.9	中科院,李秋立, 2011
12		钙钛矿	Th - Pb SIMS			478.9 ±3.913	
13		斜锆石	Pb - Pb SIMS			480.4 ±3.9	

李秋立等^[11-13]采用钙钛矿、斜锆石进行二次离子质谱分析(SIMS)获得数据年龄为 478.9~480.6 Ma。1988 年 J.W.Bristow 用采自胜利 I 号岩管钙钛矿做 U - Pb 法高灵敏度离子探针分析(SHRIMP)测

定的年龄值为 $(457 \pm 7) \text{Ma}$ 。钙钛矿是基质中细小的矿物,是金伯利岩岩浆早期结晶的矿物。

2.5 被测样品的适用性

金伯利岩侵位年龄研究中,测年样品的选择十分重要。

(1) 金伯利岩是多源混杂岩(包括捕虏晶、斑晶、基质矿物和蚀变矿物),其全岩测年结果是多源矿物年龄的平均值,带有混合特点,不宜代表金伯利岩的侵位年龄。

(2) 采用金伯利岩中的锆石测定年龄结果多在十几亿年到二十几亿年,锆石可能来源于捕虏晶,不宜代表金伯利岩的侵位年龄。

(3) 金伯利岩中的石榴子石、蛇纹石、磷灰石等矿物具有多成因的特点,目前不能区分出金伯利岩中的不同成因的同种矿物,测年结果存在不确定性。

(4) 金伯利岩中的金云母测年与金伯利岩的侵位的地质事实基本相符,但样品质量要求较高,选择巨晶金云母的同时,需区分出岩浆结晶的金云母还是捕虏晶云母;而选择基质金云母做测年样品,可能测得年龄更适合代表金伯利岩岩浆侵位时代,但样品处理难度更大,样品质量要求更高。

(5) 钙钛矿是金伯利岩岩浆早期结晶的基质矿物,保存性良好,是对金伯利岩定年的良好对象,其分析结果比较可信。但可能受到后期蚀变作用影响(如边部可能蜕变为楣石)而导致放射成因 Pb 丢失,但是,钙钛矿具有高普通 Pb 特点,不能获得可靠的 Pb-Pb 年龄,同时,钙钛矿可能受到后期蚀变作用影响而导致放射成因 Pb 丢失,因此,各种方法获得的钙钛矿 U-Pb 年龄只是表现年龄,需要一定的判据来判别其有效性^[11-13]。

3 测年数据误差分析

笔者分析认为,同位素测年对金伯利岩侵位年龄误差主要来源于以下几种:一是标样年龄的误差;二是选用测年方法的准确度和测年方法自身存在的局限性;三是所选的岩石、矿物样品对金伯利岩侵位年龄的代表性;四是分析处理样品的质量;分析仪器的性能等。其中,仪器性能造成的误差取决于技术的进步发展;年代学家们多年来致力于第一种和第二种误差的减小,而选取的岩石、矿物样品是否能代

表金伯利岩侵位年龄,需要对矿物、岩石及岩浆成因进行深入认识。

4 结论

通过对多种测年方法、被测岩石矿物样品的代表性的分析,多种方法的全岩结果认为山东蒙阴金伯利岩侵位年龄大概在 4.5 亿~4.6 亿年之间。对金伯利岩年代学研究及同位素地质学的研究中存在的许多问题研究尚待深入,在符合地层对于金伯利岩侵位时间约束的前提下,采用多种同位素测年方法相互印证,深入研究矿物、岩石及岩浆成因是必不可缺少的。

参考文献:

- [1] 罗声宣,任喜荣,朱源,等.山东金刚石地质[M].济南:山东科技出版社,1999.
- [2] 孔庆友,张天祯,于学峰,等.山东矿床[M].济南:山东科学技术出版社,2006.
- [3] 张宏福,杨岳衡.华北板块东部含金金刚石金伯利岩的侵位年龄和 Sr-Nd-Hf 同位素地球化学特征[J].岩石学报,2007,23(2):285-29.
- [4] 池际尚,路凤香.华北地台金伯利岩及古生代岩石圈地幔特征[M].北京:科学出版社,1996.
- [5] 王瑛,凌文黎,路凤香.山东蒙阴金伯利岩侵位年代研究新成果[J].地质科技情报,1997,(3):8-12.
- [6] 路凤香,赵磊,邓晋福,等.华北地台金伯利岩岩浆活动时代讨论[J].岩石学报,1995,(4):365-374.
- [7] H.L.Allsopp,郑建平.对金伯利岩及有关岩石适用的放射性年龄测定法的回顾[J].地质地球化学,1987,(11):45-46.
- [8] H.L.Allsopp,J.W.Bristow.金伯利岩及有关岩石放射性测定年龄方法总结[J].地质地球化学,1991,(5):40-47.
- [9] 尹作为.山东蒙阴金伯利岩中锆石的成因研究[J].宝石和宝石学杂志,2004,6(4):19-21.
- [10] 尹作为,路凤香,陈美华.蒙阴金伯利岩中外来锆石的 SHRIMP 定年及其意义[J].地质学报,2005,79(5):689-689.
- [11] Li et al. Precise U-Pb and Th-Pb age determination of kimberlitic perovskites by secondary ion mass spectrometry[J]. Chemical Geology, 2010, (269): 396-405.
- [12] Yang Y.H., Wu F.Y., Wilde S.A., et al. In situ perovskite Sr-Nd isotopic constraints on the petrogenesis of the Ordovician Mengyin kimberlites in the North China Craton. Chemical [J] Geology, 2009, (264): 24-42.
- [13] 陈文,万渝生,李华芹,等.同位素地质年龄测定技术及应用[J].地质学报,2011,85(11):1917-1947.

Study on Age Dating Methods and Age Dating Samples of Kimberlite

LV Qing, GE Yuejin

(No.7 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Linyi 276006, China)

Abstract: Kimberlite is complex rock with changeful chemical composition, mineral composition and structures. Alteration also easily happened. Therefore, the age of kimberlite is difficult to be determined by using a single age determination method, and the results are very different. In this paper, setting the age determination methods of kimberlite applied in Mengyin area of Shandong province as an example, through comparison and analysis of the K - Ar method, Ar - Ar method, Rb - Sr method, Sm - Nd method, U - Pb method, different age determination method and applicability of rock and mineral samples have been studied. It is regarded that in line with the formation of kimberlite emplacement under the premise of time constraints, it is very essential to confirm with each other, to study minerals, rocks and magmatic in deep part by using a variety of dating methods.

Key words: Kimberlite; ore - forming age; age dating methods