大别山西部熊店加里东期榴辉岩锆石离子探针测年

简 平① 刘敦一①* 杨巍然② I. S. Williams③

(①中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; ②中国地质大学, 武汉 430074; ③ The Australian National University, G. P. O. Box 4, Canberra, A. C. T., 2601, Australia. * 联系人, Email: liudunyi@public.bta.net.cn)

摘要 对大别山西部加里东期熊店榴辉岩进行了离子探针(SHRIMP)U-Pb 测年. 熊店榴辉岩中锆石主要赋存于石榴石等变质矿物内, 界面平直, 发育变质条件下形成的结构. 7 个锆石颗粒的分析给出 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄为 335~424 Ma, 表现出一定程度的放射成因 Pb 丢失. 这一研究表明熊店榴辉岩的变质锆石及高压变质事件的最小年龄为(424±5)Ma. 另一个锆石的外部环状层给出 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄为(301±13) Ma. 结合 Sm-Nd, ^{40}Ar-^{39}Ar, U-Pb 和 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 分析资料综合判断, 熊店榴辉岩的峰变质年龄可厘定在 424~480 Ma 之间.

关键词 大别山 加里东期 榴辉岩 离子探针测年

大别山榴辉岩高压-超高压变质事件的时代是近年大别山区最富争议的同位素地质年代学问题之一, 目前在大别山东部地区, 印支期的观点占主流地位[1]. 但是, 现有的资料表明, 大别山地区也存在加里东期的榴辉岩相变质事件, 如大别山西部的熊店榴辉岩. 这一岩石已系统地积累了 Sm-Nd, Ar-Ar 以及单颗粒锆石的 U-Pb 和 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 年龄资料[2~4].

高压-超高压变质事件定年中面临的主要难题是理解同位素体系和复杂地质作用之间的关系. 本文报道熊店榴辉岩的锆石离子探针分析结果, 及锆石在岩石中的赋存状态、边界和内部结构特征, 并论证了所分析的锆石形成于高压变质条件下. 这一研究进一步说明熊店榴辉岩的高压变质时代为加里东期. 阴极发光下的离子探针分析由刘敦一和 I. S. Williams 在澳大利亚国立大学 SHRIMP Ⅱ 上完成. 详细的分析方法参见文献[5].

1 采样位置

熊店榴辉岩产于苏家河构造混杂岩带内[6], 该带是大别山西部的一个富含榴辉岩的构造地层单元, 向西延入东秦岭-桐柏地区[7]. 同位素分析样品采于河南省罗山县熊店村南, 与以往测定的锆石为同一样品[2~4]. 野外地质、岩石学特征和锆石的外形、背散射电子相等研究参见文献[2~4].

2 熊店榴辉岩锆石离子探针分析结果

在熊店榴辉岩中, 锆石主要赋存于石榴石等变质矿物内, 边界平直(图 1(a)), 因而是与榴辉岩相变质矿物同世代的变质矿物. 锆石呈多晶面形态, 表面有凹坑, 具有固态介质中晶出的变质锆石的典型形貌特征[8]. 在阴极发光下, 锆石中常见有贝壳纹状结构(图 1(b)和(c)), 以及宽度有变化的环状边缘层(图 1(d)和(e)). 前者与 Vavra 等人[9]描述的南阿尔卑斯地区麻粒岩相岩石中锆石的变质生长结构可类比; 后者是后期流体改造和/或蚀变的结果. 在一些受强烈流体改造锆石中, 外部边缘层环绕锆石产出, 并穿插至锆石内部(如图 1(d), 照片中上部), 局部还见有蚕食结构(图 1(d)照片左侧), 锆石内部主体形状不规则, 常呈港湾状(图 1(d)和(e)).

7 个锆石颗粒的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄范围为 335~424 Ma(表 1). 给出(424±5) Ma 年龄值的锆石为一个发育贝壳纹结构的碎片(图 1(c)), 分析点位于锆石边部, 这一部分有明显的重结晶现

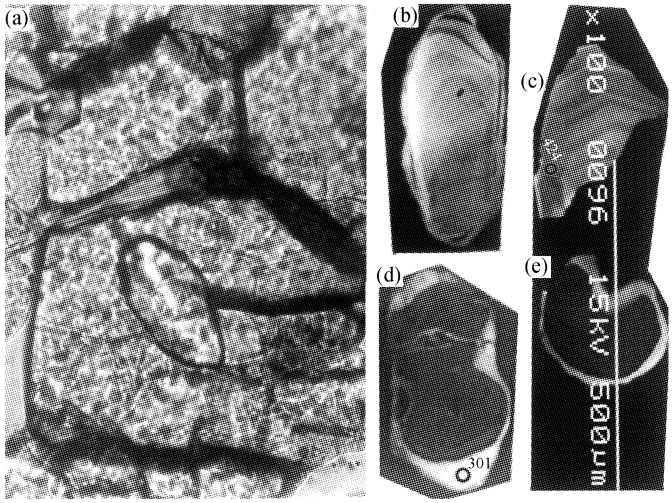

图 1 熊店榴辉岩锆石显微镜下特征和阴极发光照片

(a) 锆石产于石榴石内，边界清晰、平直，单偏光，锆石长约 150 μm; (b)~(e) 锆石的阴极发光照片. (c)和(e)中标出了工作状态和标尺; (b) 锆石的贝壳纹状结构; (c) 具贝壳纹状结构的锆石碎片，图中圆圈为测点位置，数值为 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值; (d) 锆石的环状边缘层(较亮)，它穿插锆石(上部)，并见蚕食结构(左)，图中圆圈为测点位置，数值为 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值; (e) 锆石外部有环状边(较亮)，注意其形态

象，其他被分析的锆石结构不明显，仅隐约可见，测点位于内部. 在阴极发光下，这些锆石中均未见有核与增生的关系.

表 1 熊店榴辉岩同位素分析结果

地质演化阶段	同位素体系和测定方法	测定对象	年龄/Ma	资料来源
原岩（基性火山岩）	Sm-Nd	7 个全岩	1 523 ± 263	文献[2,3]
高压-超高压变质事件	Sm-Nd	3 个石榴石 + 2 个绿辉石	544 ± 23	文献[3]
		3 个石榴石 + 全岩	409 ± 82	文献[4]
	$^{207}Pb/^{206}Pb$	单颗长柱状锆石	479 ± 29	文献[4]
		单颗短柱状锆石	460 ± 17	文献[4]
		多粒碎片锆石	436 ± 41	文献[4]
	U-Pb：$^{206}Pb/^{238}U$	4 个颗粒，柱状浅黄色锆石	373~400	文献[3]
	SHRIMP：$^{206}Pb/^{238}U$	7 个颗粒，发育变质结构的锆石	335~424	本文
冷却	^{40}Ar-^{39}Ar	冻蓝闪石	400	文献[2, 3]
流体改造	SHRIMP: $^{206}Pb/^{238}U$	锆石环状层边部	301 ± 13	本文

在和谐图中所有的数据均近于和谐，但少数略具反向不和谐性(图 2). 其数据特征与单颗粒锆石 U-Pb[3]相似(表 1)，但低于直接蒸发法测得的 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 年龄(表 1). 这一现象可能有两种解释，一是用于蒸发法测定的锆石中存在继承性的 Pb 组成，使年龄偏大. 二是存在放射性成因 Pb 丢失，使 U-Pb 年龄值偏低. 考虑到熊店榴辉岩中的锆石受到了后期流体作用和重结晶的影响，且所测锆石中无继承性晶核，我们倾向于后一种解释. 因此，最大且最和谐的年龄，即(424 ± 5) Ma 代表锆石形成的最小年龄，亦即高压变质的最小年龄.

另一个锆石的分析点位于环状边部(图 1(d)), 给出((301 ± 13) Ma)的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄(表 1 和图 2)属海西期的范畴, 其地质意义有待于进一步研究.

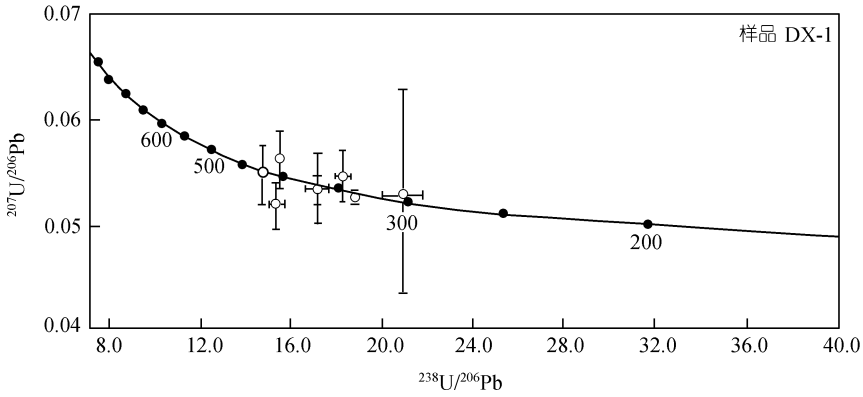

图 2 熊店榴辉岩一致曲线图

3 熊店榴辉岩峰变质年龄的厘定和区域地质意义

表 1 列出了熊店榴辉岩的全部同位素数据, 包括 Sm-Nd, Ar-Ar, U-Pb 和 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 年龄及 SHRIMP 分析结果.

熊店榴辉岩的同位素体系较为复杂, 因而年龄有变化. 从理论上讲, Sm-Nd 内部等时线和锆石 U-Pb 方法都具备测定其峰期变质年龄的封闭温度条件, 但是, 榴辉岩多阶段地质演化也对这些同位素体系产生了各种影响, 包括 Sm-Nd 体系受破坏和锆石放射性成因 Pb 丢失等. 因此, 在厘定其峰期变质年龄时有必要综合分析和对比不同方法的测定结果.

由于角闪石封闭温度约 500℃, 约 400 Ma 的角闪石 ^{40}Ar-^{39}Ar 年龄代表角闪石冷却至其封闭温度的年龄, 因而限定了榴辉岩峰变质年代的下限, Sm-Nd 石榴石等时线、锆石 U-Pb 和 $^{207}Pb/^{206}Pb$ 方法测定的年龄约在 400~480 Ma 的范围内(表 1). 这次研究表明熊店榴辉岩的最小峰变质年龄为(424 ± 5) Ma. 因此, 可以得出熊店榴辉岩的高压变质时代可限定于 424~480 Ma 之间的结论.

东秦岭-桐柏地区存在加里东期麻粒岩岩相[10,11]和榴辉岩相变质事件[12]. 近期, 在苏家河构造混杂岩带的西延部分桐柏地区, 也发现了与熊店类似成分和变质条件的榴辉岩[6]. 熊店榴辉岩所在的苏家河构造混杂岩带可能与东秦岭加里东变质带具有对比性.

致谢 程裕淇先生指导了本文的研究工作. 本工作为原地质矿产部重大基础项目(9501102-2)、国土资源部同位素地质开放实验室及中国博士后基金资助项目.

参 考 文 献

1 李曙光. 大陆俯冲化学动力学. 地学前缘, 1998, 5(4): 211~233
2 简 平, 叶伯丹, 李志昌, 等. 大别山榴辉岩同位素地质年代学、*PTt* 轨迹及其构造意义. 见: 陈好寿主编. 同位素地球化学研究. 杭州: 浙江大学出版社, 1994. 205~213
3 简 平, 杨巍然, 李志昌, 等. 大别山西部熊店加里东期榴辉岩——同位素年代学的证据. 地质学报, 1997, 71(2): 133~140

4 简 平, 杨巍然, 张自超. 大别山加里东期高压-超高压榴辉岩锆石年代学研究. 地球学报, 1998, 19: 61~67
5 Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. Zircon U-Pb ages for the early Cambrian time-scale. J Geol Soc, 1992, 149: 171~184
6 叶伯丹, 简 平, 许俊文, 等. 桐柏-大别造山带北坡苏家河地体拼接带及其构成和演化. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993. 1~81
7 魏春景, 吴玉新, 倪云燕, 等. 河南桐柏地区榴辉岩的特征及其地质意义. 科学通报, 1999, 44(17): 1882~1885
8 程裕淇, 万渝生, 高吉凤. 河北平山小觉地区阜平群变质作用和深熔作用同位素年代研究的初步报道. 地质学报, 2000, 74(1): 31~38
9 Vavra G, Gebauer D, Schmid R. Multiple zircon growth and recrystallization during polyphase late Carboniferous to Triassic metamorphism in granulites of the Ivrea zone (Southern Alps): An ionprobe (SHRIMP) study. Contrib Mineral Petro, 1996, 122: 337~358
10 孙 勇, 于在平. 东秦岭深源麻粒岩包体的性质及其构造意义. 地球化学, 1993, (3): 227~235
11 Zhai X, Day H W, Harker B R. Paleozoic metamorphism in the Qinling Orogen, Tongbai Mountains, central China. Geology, 1998, 26(4): 371~374
12 胡能高, 赵东林, 徐伯青, 等. 北秦岭官坡地区高压-超高压榴辉岩岩相学及变质作用研究. 矿物岩石, 1995, 5(2): 1~9

(2000-03-06 收稿, 2000-06-01 收修改稿)