

宁芜火山岩的锆石 SHRIMP 定年及其意义*

张旗^{①**} 简平^② 刘敦一^② 王元龙^① 钱青^①
王焰^① 薛怀民^④

(^①中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; ^②中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;
^③西北大学地质系, 西安 710069; ^④南京地质矿产研究所, 南京 210016)

摘要 应用 SHRIMP 方法对宁芜火山岩龙王山组和大王山组各一个样品进行了精确的 SHRIMP 定年研究. 大王山组(NB-01)火山岩锆石年龄为 (127 ± 3) Ma, 龙王山组(NL-01)火山岩锆石年龄为 (131 ± 4) Ma, 它们记录了火山岩的形成年龄. 这一研究还在龙王山组中发现了太古代锆石, 提供了宁芜地区可能存在太古代基底的信息.

关键词 宁芜火山岩 SHRIMP 锆石 早白垩世 太古代

火山岩的精确定年是理解盆地地质演化的一项重要基础地质工作. 在火山岩, 特别是中基性火山岩中, 锆石组成往往比较复杂, 除岩浆成因的锆石外, 还可能存在继承性的锆石(或晶核)或喷发过程中捕获的锆石. 因而火山岩锆石年代学研究的关键是区分这些不同成因或来源的锆石. 阴极发光(Cathodoluminescence, 以下简称 CL)引导下的 SHRIMP 测年是解决这一问题的最佳方法.

宁芜火山岩主要由中基性火山岩组成, 大多属于橄榄玄粗岩系, 少量属于高钾钙碱性岩系^[1-7]. 对宁芜盆地火山岩的时代存在不同的认识, 早期通常把大部分火山岩都归于晚侏罗世, 目前在 1:5 万地质测量中大都将火山岩系下部的龙王山组划归晚侏罗世, 其余划归白垩系^[6,8]. 为了进一步精确地测定宁芜火山岩的时代, 我们采集了大王山组和龙王山组各一个大样, 挑选锆石进行 SHRIMP 定年研究, 确证宁芜火山岩形成于早白垩世.

1 地质背景和样品描述

宁芜火山盆地位于南京(宁)和芜湖(芜)之间, 火山岩出露面积约 1000 km²(图 1), 发育在震旦纪以来的拗陷带中, 属于继承式的中生代陆相盆地. 出露的地层为上三叠统黄马青组, 下侏罗统象山群和上侏罗统西横山组, 有少量上白垩统浦口组及第三纪的砂砾岩覆盖在火山岩之上. 宁芜火山岩以龙王山组(占 20%)和大王山组(75%)为主^[9], 姑山组和娘娘山组很少(不到 5%). 龙王山组下部主要由浅灰色的沉凝灰岩、粉砂质泥岩、火山集块岩等组成, 上部以熔岩为主, 主要为歪长粗面岩、橄榄粗安岩和角闪石安粗岩, 夹火山角砾岩. 大王山组厚达 3000 余米, 下部以辉石安粗岩为主, 含一些火山集块岩、角砾岩、凝灰岩、沉凝灰岩、凝灰质粉砂

2002-09-25 收稿, 2002-12-17 收修改稿

* 国家重点基础研究发展规划项目(编号: G1999043206-05), 中国科学院知识创新工程项目(编号: KZCX 1-07)及国家自然科学基金项目(批准号: 49902005)资助

** E-mail: zq1937@hotmail.com

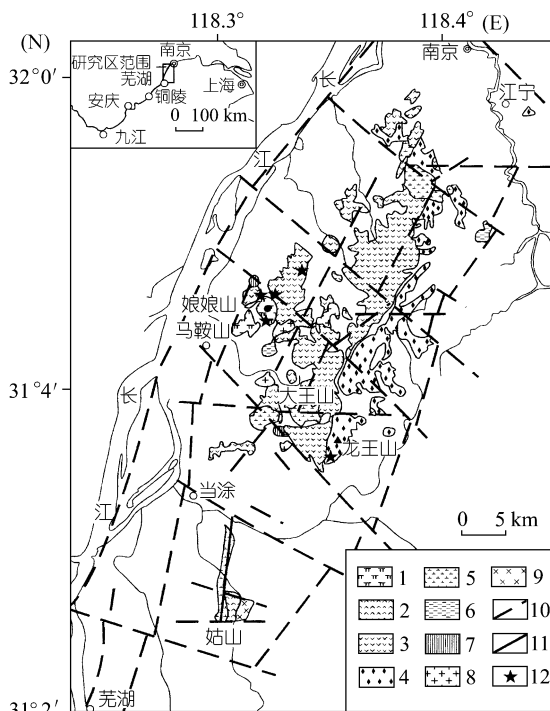


图 1 宁芜地区火山岩地质图(据宁芜研究项目编写小组资料^[10]简化)

1. 娘娘山组; 2. 姑山组; 3. 大王山组; 4. 龙王山组; 5. 辉长-闪长玢岩; 6. 安山玢岩、粗安玢岩、粗面斑岩; 7. 二长岩、石英闪长岩; 8. 花岗岩; 9. 辉长岩; 10. 推测断层; 11. 实测断层; 12. 采样位置

呈半自形至它形, 内部发育裂隙, 晶面园化, 这些锆石在外形上与主锆石群体存在明显的区别。

NL-01, 龙王山组安粗岩, SiO_2 含量 56%, 总碱量高(9.75%), $\text{K}_2\text{O} = 5.30\%$, $\text{Na}_2\text{O} = 4.45\%$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 1.2$ (见王元龙等^[7]表 2 中的 NL-11 样品)。斑状结构, 斑晶由斜长石、钾长石、角闪石和少量磁铁矿组成, 角闪石具暗化边。基质主要由微晶斜长石组成, 具粗玄结构。碳酸盐化和绿泥石化较普遍。样品重约 10 kg。样品中锆石含量低, 仅选出约 20 粒锆石。锆石粒度变化大, 从约 30~200 μm 。大部分锆石呈它形, 有明显的园化现象。只有少量锆石呈自形, 可观察到清晰的锥面和柱面。锆石组成显示出极不均匀的特点, 反映了锆石来源的复杂性。

2 分析方法

锆石按常规方法分选, 最后在双目镜下挑纯。将锆石与一片 RSES 参考样 SL13 及数粒 Temrra 置于环氧树脂中, 然后磨至约一半, 使锆石内部暴露, 用于 CL 研究及随后的 SHRIMP U-Pb 分析。锆石 SHRIMP 分析选点是以阴极发光图象为依据的。CL 图象在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针室完成。

SHRIMP U-Pb 分析在中国地质科学院地质研究所新安装的 SHRIMP II 上完成, 详细分析流程和原理参考 Compston 等^[11]及 Williams 等^[12]。分析时, 采用跳峰扫描, 记录 Zr_2O^+ , $^{204}\text{Pb}^+$, 背景值, $^{207}\text{Pb}^+$, $^{208}\text{Pb}^+$, U^+ , Th^+ , ThO^+ 和 UO^+ 9 个离子束峰, 每 7 次扫描记录一次平均值。一次

岩; 中部为紫红色的安山岩, 局部见有凝灰质粉砂岩透镜体; 上部主要为灰红色、浅灰色粗面岩和粗面质熔接凝灰岩。姑山组分布范围小, 上部为灰黑色安山岩和英安岩, 下部为火山碎屑岩和沉积岩。娘娘山组仅见于盆地西侧的娘娘山一带, 下部主要为集块岩、角砾岩和假白榴石响岩及熔接凝灰岩; 上部为响岩质熔接角砾岩、蓝方石响岩等。本次研究分别在龙王山组中部(样品号: NL-01)和大王山组顶部(样品号: NB-01)采集了 SHRIMP 定年的样品, 采样位置见图 1。

NB-01, 大王山组安粗岩, $\text{SiO}_2 = 56.33\%$, 总碱量较低(5.3%), $\text{K}_2\text{O} = 3.02\%$, $\text{Na}_2\text{O} = 2.30\%$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 1.3$ (详细数据见王元龙等^[7]表 2 的 NB-6 样品)。斑状结构, 斑晶由单斜辉石、斜长石、钾长石组成, 基质为交织结构, 斜长石微晶针状, 其间充填辉石颗粒, 基质辉石大部分蚀变为绿泥石。样品重约 10 kg。锆石粒径约 100~200 μm 。大部分锆石呈浅黄色, 清晰透明, 自形, 主要为长柱状-等粒状, 四方柱、四方双锥发育, 晶面平直, 反映出岩浆结晶锆石的一般特点。少部分锆石

离子为约 4.5 nA, 10 kV 的 O⁻², 靶径约 25~30 μm. 质量分辨率约 5400(1%峰高). 应用 RSES 参考锆石进行元素间的分馏校正(interelement fractionation), 即用 SL13(572 Ma, 238 × 10⁻⁶)做初次校正, Temrra(417 Ma)做二次校正. 测定的 Temrra 重现性为 2%. 数据处理采用 Ludwig SQUID1.0^[13]及 ISOPLT^[14]程序. 年龄计算常数采用 IUGS(1977)推荐值. 表 1 中所列单个数据点的误差均为 1σ. 加权平均年龄具 95%的置信度.

表 1 宁芜火山岩锆石 SHRIMP 分析数据^{a)}

点号	Pb _c / %	U/10 ⁻⁶	Th/ 10 ⁻⁶	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb*/ 10 ⁻⁶	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U/Ma	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb/Ma	²⁰⁷ Pb* ²⁰⁶ Pb*	±%	²⁰⁷ Pb* ²³⁵ U	±%	²⁰⁶ Pb* ²³⁸ U	±%
NB-01													
1.1	7.05	68	39	0.59	1.20	121 ± 4	-1650 ± 2900	0.0260	85	0.0680	85	0.0191	3.6
2.2	2.01	134	72	0.55	4.65	251 ± 5	-198 ± 230	0.0425	9.0	0.2320	9.3	0.0397	2.1
3.1	2.00	167	123	0.76	2.93	128 ± 3	-325 ± 320	0.0404	13	0.1110	13	0.0200	2.2
4.1	1.76	111	75	0.70	3.38	220 ± 5	-271 ± 410	0.0413	16	0.1970	16	0.0347	2.4
4.2	2.72	98	82	0.86	2.89	212 ± 5	-339 ± 660	0.0400	26	0.1850	26	0.0335	2.5
5.1	2.45	104	71	0.71	1.73	120 ± 4	-327 ± 680	0.0400	26	0.1050	26	0.0188	3.2
6.1	2.35	126	78	0.63	2.13	123 ± 3	-346 ± 690	0.0400	27	0.1060	27	0.0192	2.8
7.1	2.23	120	78	0.67	2.13	129 ± 4	-248 ± 480	0.0416	19	0.1160	19	0.0202	3.1
8.1	1.95	120	122	1.06	2.06	125 ± 3	195 ± 550	0.0500	24	0.1350	24	0.0197	2.6
9.1	3.14	126	96	0.79	2.23	127 ± 4	-453 ± 460	0.0385	17	0.1060	18	0.0200	2.7
10.1	1.23	266	216	0.84	4.55	126 ± 3	-211 ± 360	0.0423	14	0.1150	14	0.0197	2.2
11.1	4.01	124	88	0.73	2.08	120 ± 3	-1490 ± 1500	0.0270	46	0.0700	46	0.0189	2.7
12.1	0.13	182	125	0.71	3.11	127 ± 3	539 ± 170	0.0582	7.9	0.1590	8.2	0.0199	2.2
13.1	1.10	163	108	0.69	2.92	132 ± 3	-247 ± 200	0.0417	7.8	0.1190	8.1	0.0207	2.2
15.1	1.09	96	71	0.76	1.71	131 ± 3	219 ± 130	0.0505	5.6	0.1440	6.0	0.0205	2.3
15.2	2.28	225	175	0.80	3.94	127 ± 3	-829 ± 420	0.0335	15	0.0920	15	0.0199	2.2
16.1	3.61	124	90	0.75	2.19	126 ± 3	-535 ± 580	0.0373	22	0.1020	22	0.0198	2.4
NL-01													
1-1	4.61	201	170	0.88	12.1	430 ± 14	630 ± 120	0.0605	5.7	0.5780	6.5	0.0690	3.4
1-2	9.89	58	27	0.48	4.55	507 ± 19	-111 ± 850	0.0420	37	0.5000	35	0.0819	4.0
3-1	0.03	182	58	0.33	72.8	2458 ± 65	2485 ± 9.1	0.1628	0.54	10.42	3.2	0.4640	3.2
4-1	0.60	461	232	0.52	15.8	248 ± 8	-240 ± 180	0.0415	7.3	0.2260	7.7	0.0393	3.2
5-1	1.79	314	212	0.70	5.77	129 ± 4	-1251 ± 730	0.0284	24	0.0810	23	0.0202	3.3
5-2	0.39	1449	859	0.61	25.6	131 ± 4	108 ± 63	0.0481	2.7	0.1363	4.1	0.0205	3.1
5-3	0.39	1287	847	0.68	23.2	133 ± 4	-102 ± 81	0.0440	3.4	0.1266	4.6	0.0208	3.2
6-1	-	138	130	0.98	77.5	3232 ± 80	3098 ± 1	0.2366	0.43	21.24	3.2	0.6510	3.1
7-1	0.07	634	87	0.14	190	1929 ± 52	1839 ± 6	0.1124	0.35	5.410	3.1	0.3490	3.1
8-1	0.72	276	127	0.47	13.8	360 ± 11	396 ± 100	0.0544	4.7	0.4330	5.6	0.0575	3.2
8-2	3.86	162	57	0.37	8.92	372 ± 12	-1038 ± 910	0.0299	33	0.2560	31	0.0594	3.4
9-1	-	99	63	0.66	38.6	2403 ± 63	2421 ± 22	0.1567	1.3	9.760	3.4	0.4520	3.2
9-2	0.02	179	90	0.52	77.4	2621 ± 67	2592 ± 10	0.1735	0.59	12.01	3.2	0.5020	3.1
11-1	1.15	1877	1827	1.01	34.0	132 ± 4	-103 ± 120	0.0438	5.0	0.1257	5.8	0.0207	3.1
12-1	12.63	155	106	0.70	2.98	125 ± 5	-510 ± 1400	0.035	60	0.1010	54	0.0196	4.0
12-2	11.13	176	114	0.67	3.46	131 ± 5	445 ± 710	0.0540	34	0.1580	32	0.0205	3.9
13-1	1.50	1248	888	0.73	23.0	134 ± 4	-11 ± 150	0.0455	6.5	0.1315	7.2	0.0210	3.2

a) 表内误差是 1σ-; Pb_c和 Pb*分别表示普通铅和放射性成因铅; 标准校正值的误差, NB-01 为 0.79%. NL-01 为 1.07%; 应用实测的 ²⁰⁴Pb 进行普通铅校正

3 分析结果和解释

表 1 列出了 NB-01 和 NL-01 的 SHRIMP U-Pb 分析结果. NB-01 的测定年龄值标于 CL 图象(图 2-(a)~(h))中, NL-01 的部分年龄值标于代表性 CL 图象中(图 2-(i)~(l)).

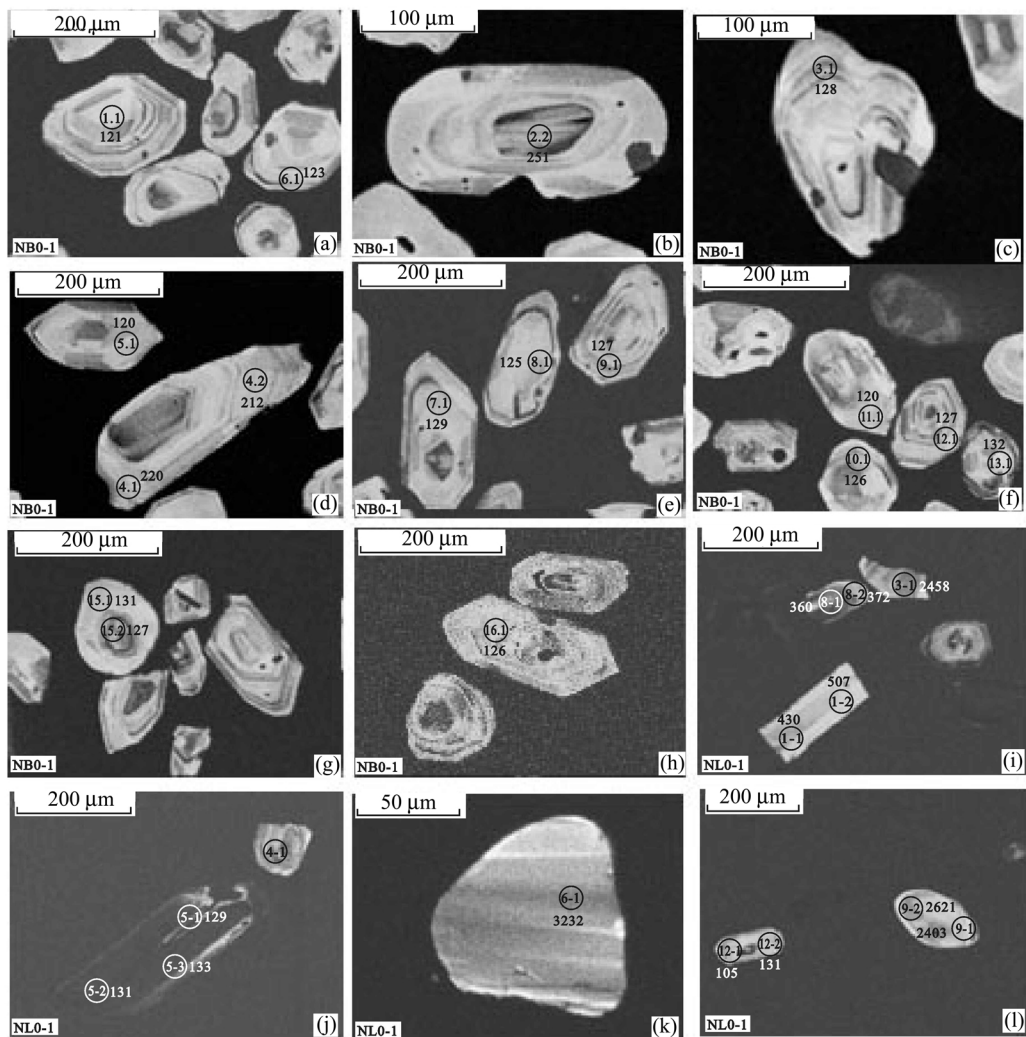


图 2 宁芜火山岩锆石 CL 图象

(a)~(h)为 NB-01, (i)~(l)为 NL-01; 图中所标数值分别为分析点号及 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄(Ma)

3.1 大王山组(样品号: NB-01)

NB-01 由相对均一的锆石组成. CL 图象表明测定的大部分锆石发育韵律环带结构(如图 2(c)中的 3 号颗粒, 图 2-(a)中的 1 号和 6 号颗粒, 图 2-(e)中的 7, 8, 9 号颗粒, 图 2-(f)中的 10, 11, 12 和 13 号颗粒, 图 2-(g)中的 15 号颗粒, 图 2-(h)中的 16 号颗粒), 清楚地指示了其岩浆成因. 这些锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 120~132 Ma(表 1). 14 个分析在一致曲线图中成群分布(图 3), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均为 (127 ± 3) Ma, 解释为这一火山岩的形成年龄.

一些锆石发育明显的核——增生结构(如图 2-(b)中的 2 号颗粒), 核的年龄为 251 Ma. 一个它形颗粒(图 2-(d)中的 4 号颗粒), 发育韵律环带, 但其上的两次分析分别给出了 217 和 209 Ma 的年龄. 这类锆石可能是继承性的或在火山喷发过程中捕获的.

3.2 龙王山组(样品号: NL-01)

NL-01 锆石的 CL 图象较为复杂. 少数锆石呈自形(如图 2-(l)中的 12 号颗粒), 或较自形, 可见锥面发育, 柱面平直(如图 2-(j)中的 5 号颗粒). 这些锆石与 NB-01 相比, 韵律环带不发育或不明显, 可能与火山喷发并快速冷却有关. 这类锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 125~134 Ma, 大部分集中在 129~134Ma 的狭小范围内, 在图 4 中, 数据点集中分布. 7 个分析的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均值(131 ± 4) Ma, 解释为 NL-01 火山岩的形成年龄.

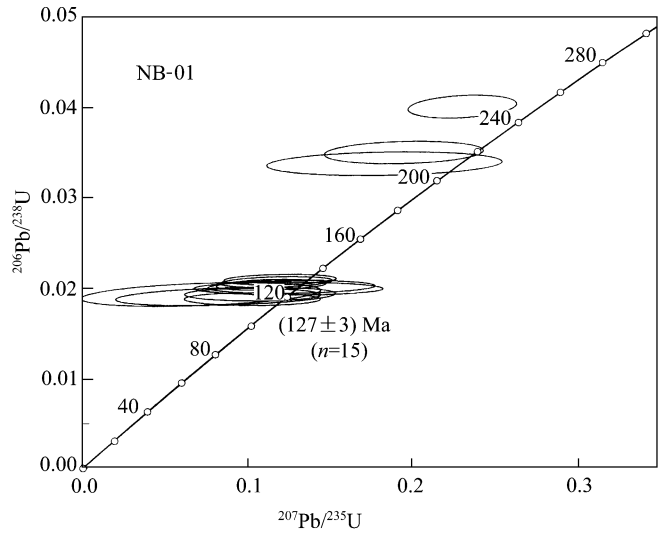


图 3 NB-01 锆石 U-Pb 一致曲线图

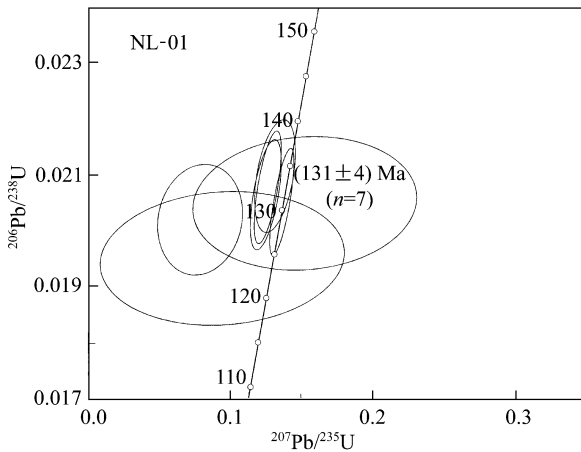


图 4 NL-01 中早白垩世火山岩锆石一致曲线图

在 NL-01 中, 大部分锆石的年龄为晚古生代至太古代(表 1). 这些锆石的晶形不规则, 表现出各种不同内部结构. 其中 4 个颗粒给出太古代或早元古代的年龄, 为 2403~3232 Ma(表 1, 图 2-(l)中的 9 号颗粒, 图 2-(i)中的 3 号颗粒, 图 2-(k)中的 6 号颗粒). 3 个颗粒给出古生代的年龄(表 1, 图 2-(j)中的 4 号颗粒(248 Ma), 图 2-(i)中的 1 号颗粒和 8 号颗粒), 为 248~427 Ma. 这些锆石有些无明显的内部结构, 有些有韵律环带, 说明锆石组成具有不均匀性, 暗示其来源不同, 一个可能的解释是这些锆石是火山喷发过程中的捕获晶.

4 讨论

4.1 宁芜火山岩的形成时代

下扬子地区发育一系列中生代火山岩盆地, 如繁昌、庐枞、宁芜、溧水、溧阳等, 对其时代存在不同的意见. 早期通常把大部分火山岩系地层归属晚侏罗世, 目前在各火山盆地 1:5 万地质填图工作中, 大都将火山岩系下部(如宁芜和溧阳盆地的龙王山组和大王山组, 溧水的龙王山组和东芦山组, 庐枞的龙门院旋回和砖桥旋回)划归晚侏罗世, 其余则归属早白垩世^[8].

而据已经发表的火山岩同位素定年资料, 龙王山组在 136~125 Ma 之间, 大王山组(125~120 Ma)、姑山组(117~110 Ma)、娘娘山组年龄较新(106~91 Ma), 均属于早白垩世^[8,10]. 这些年龄主要是 K-Ar 或 Ar-Ar 法的分析结果, 应解释为火山岩冷却至 Ar 封闭温度的年龄.

本次研究获得宁芜火山岩下部龙王山组的锆石 SHRIMP 年龄为(131 ± 4) Ma, 大王山组顶部锆石年龄为(127 ± 3) Ma, 记录了火山岩的形成年龄, 表明宁芜火山岩是早白垩世喷出的, 持续的时间很短暂. 看来, 下扬子地区各火山岩盆地是早白垩世时期开始喷发的, 晚侏罗世的地层时代可能偏老了.

4.2 宁芜地区太古代基底的信息

在龙王山组火山岩的锆石中保存有太古宙和早元古宙的信息, 有 3 个颗粒集中在 2403~2621 Ma 之间, 一个颗粒为 3232 Ma. 宁芜位于扬子地块东部, 高山等^[15]在扬子地块的崆岭高级变质地体获得 2.9 Ga 的奥长花岗岩的侵位年龄, 在变质沉积岩中发现了 3.3 Ga 的碎屑锆石, 指出扬子地块存在太古宙陆壳基底. 我们在龙王山组火山岩中也获得 3.2 和 2.4~2.6 Ga 的碎屑锆石年龄, 说明在宁芜地区也可能存在太古宙的下地壳基底.

5 结论

1. 宁芜火山岩的锆石 SHRIMP 年龄在(131 ± 4) Ma 至(127 ± 3) Ma 之间, 说明宁芜火山岩及下扬子火山岩是早白垩世喷出的. 宁芜火山岩属于橄榄玄粗岩系和高钾钙碱性岩系, 源于受交代的富集地幔^[7], 推测该区在早白垩世存在一次明显的玄武岩岩浆的底侵事件, 这也许与长江中下游一带的中酸性侵入岩的活动有关.

2. 宁芜火山岩中捕获的 3.2 和 2.4~2.6 Ga 的锆石年龄, 与高山等^[15]报道的扬子陆块最老的年龄吻合, 可能指示在宁芜地区也存在太古宙的下地壳基底.

参 考 文 献

- 1 于学元. 中国东南部中生代火山岩地球化学及成因. 岩石学报, 1986, 2(1): 15~25
- 2 薛怀民, 陶奎元. 宁芜地区中生代火山岩系列的新认识及其地质意义. 江苏地质, 1989, (11): 9~14
- 3 王德滋, 任启江, 邱检生, 等. 中国东部橄榄安粗岩省的火山岩特征及其成矿作用. 地质学报, 1996, 70: 23~34
- 4 邢凤鸣. 宁芜地区中生代岩浆岩的成因——岩石学与 Nd, Sr, Pb 同位素证据. 岩石矿物学杂志, 1996, 15: 126~137
- 5 邢凤鸣, 徐 祥. 安徽沿江地区橄榄安粗岩系的特点和成因: 大陆橄榄安粗岩系一例. 安徽地质, 1998, 8(2): 8~20
- 6 邓晋福, 叶德隆, 赵海玲, 等. 下扬子地区火山作用深部过程与盆地形成. 北京: 中国地质大学出版社, 1992
- 7 王元龙, 张 旗, 王 焰. 宁芜火山岩的地球化学特征及其意义. 岩石学报, 2001, 17: 565~575
- 8 倪若水, 吴其切, 岳文浙, 等. 长江中下游中生代陆相盆地演化与成矿作用. 上海: 上海科学技术文献出版社. 1998. 1~118
- 9 徐志刚, 盛继福, 孙善平. 关于“橄榄玄粗岩系列(组合)”特征及某些问题的讨论. 地质论评, 1999, 45(增刊): 43~62
- 10 宁芜研究项目编写小组. 宁芜玢岩铁矿. 北京: 地质出版社, 1978
- 11 Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. Zircon U-Pb ages of early Cambrian time-scale. J Geol Soc, 1992, 149: 171~184
- 12 Williams I S, Claesson S. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneiss from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides, II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb. Contrib Mineral Petrol, 1987, 97: 205~217
- 13 Ludwig K R. Squid 1.02: A user manual. Berkeley Geochronological Center Special Publication, 2001. 219
- 14 Ludwig K R. Using Isoplot/EX, version 2.0, a geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronological Center Special Publication 1a, 1999. 47
- 15 高 山, Qiu Y, 凌文黎, 等. 崆岭高级变质地体单颗粒锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究——扬子克拉通大于 3.2 Ga 陆壳物质的发现. 中国科学, D 辑, 2001, 31: 27~35