

# 华北克拉通东南缘古元古代变质和岩浆事件的 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄

郭素淑, 李曙光\*

中国科学院壳幔物质与环境重点实验室, 中国科学技术大学地球和空间科学学院, 合肥 230026

\* 联系人, E-mail: [lsg@ustc.edu.cn](mailto:lsg@ustc.edu.cn)

收稿日期: 2008-10-23; 接受日期: 2009-05-18

国家自然科学基金重点项目(批准号: 40634023)资助

**摘要** 用锆石 SHRIMP U-Pb 法测定了徐宿地区中生代岩浆岩携带的深源石榴辉石角闪岩包体的变质年龄为 $(1918 \pm 56)$  Ma, 蚌埠隆起区五河群大理岩层所夹的榴闪岩透镜体变质年龄为 $(1857 \pm 19)$  Ma, 蚌埠隆起东端石门山变形花岗岩的岩浆结晶年龄为 $(2054 \pm 22)$  Ma. 徐宿地区和蚌埠隆起都位于华北克拉通东南缘, 因此这些年代学结果指出华北陆块东南缘也存在一古元古代活动带, 它的变质和岩浆事件发生时代与华北克拉通其他 3 个古元古代活动带一致. 考虑到郟庐断裂带中生代曾发生过大规模的左行走滑, 将胶东地区(胶-辽-吉古元古代活动带的南段)恢复到断裂带活动以前的位置, 恰可与徐宿-蚌埠地区对应, 说明徐宿-蚌埠古元古代活动带很可能是胶-辽-吉古元古代活动带的西南延伸.

**关键词**

SHRIMP U-Pb 定年  
华北克拉通  
古元古代

华北克拉通古元古代变质、岩浆事件的发生地质背景是华北地区前寒武纪演化研究的一项重要并存在争议的关键课题. Zhao等<sup>[1-3]</sup>认为华北克拉通古元古代变质-岩浆事件是全球古-中Columbia超级大陆拼合事件的记录之一, 统一的华北克拉通基底是~1.85 Ga时由东部和西部两个陆块沿“中部碰撞带”拼合而成. Zhai和Liu<sup>[4]</sup>、翟明国<sup>[5]</sup>则认为华北克拉通广泛出露的 1.85 Ga麻粒岩-角闪岩相高级变质作用与古元古-中元古代地幔柱驱动的地幔上涌事件有关, 它导致的变质基底抬升和麻粒岩出露, 随后转换为 1.8~1.7 Ga的大陆裂解事件. 1.9~1.8 Ga高级变质事件在华北克拉通的分布范围是造成这一认识分歧的主要原因之一. 后者指出这一时期变质事件不仅局限于华北克拉通中部(山西省及其相邻地区)<sup>[6-8]</sup>, 而是

在其周缘部位(如北部丰镇地区和东部胶-辽-吉地区)也保留了大量该时间段的变质和岩浆事件记录<sup>[9,10]</sup>. 此外, 华北克拉通西南缘也有~1.9 Ga变质事件的记录, 如陇山杂岩<sup>[11]</sup>.

本文报道了华北克拉通东南缘徐宿-蚌埠地区一批精确的古元古代变质和岩浆事件的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄, 它进一步扩大了古元古代变质、岩浆事件在华北克拉通的分布范围, 这有助于更为全面地理解华北克拉通早期形成与演化历史.

## 1 地质背景及样品

研究区地质简图及采样点位置如图 1 所示. 徐宿地区位于华北陆块东南缘, 郟庐断裂带西侧. 区内出露多个中生代闪长岩体, 岩体含大量深源性

岩包体, 前人曾就这些包体的类型和年龄开展过工作<sup>[12]</sup>, 识别出石榴辉石岩和榴辉岩两个类型, 但认为它们具有相同的锆石 U-Pb 年龄谱(即 2350~2550, 210~260 和 125~136 Ma 三个年龄峰), 并忽略了石榴辉石岩给出的 1.9~1.8 Ga 年龄信息的意义, 对此本文有不同认识(详见讨论 4.2). 由于这些榴辉岩或石榴辉石岩包体较小, 因而能分选出的锆石颗粒较少, 我们有必要采集较大的包体, 分选出足够多的锆石颗粒以获得较精确年龄. 本文定年样品 05JG-6 包裹于宿州夹沟闪长玢岩中, 为一较大块的新鲜石榴辉石角闪岩, 并获得了 25 颗锆石颗粒. 该石榴辉石角闪岩具典型高压麻粒岩相矿物组合, 主要包括石榴石、斜长石、角闪石和单斜辉石, 含少量楣石、金红石等副矿物.

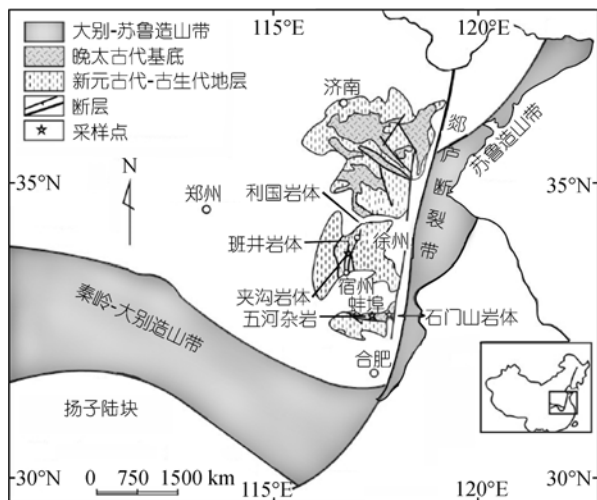


图 1 研究区地质简图与采样点  
据文献[12]修改

蚌埠隆起位于徐宿地区南侧, 华北陆块南缘. 区内出露的华北克拉通基底岩系主要为五河群变质杂岩. 前人曾对五河杂岩中的石榴斜长辉石岩进行过锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年, 划分出 3 种不同 CL 结构特征的锆石<sup>[13]</sup>. 该工作虽然也获得了变质锆石边的单点年龄, 但在数据处理时却未将具岩浆成因特征的锆石与具变质成因特征的锆石定年结果分别统计, 而是将所有 49 个测点一次求加权平均值, 所获

得的(1833±8) Ma 代表的只能是一个混合年龄. 因此, 五河杂岩尚缺乏精确的年龄数据. 本文定年样品 04FY-3 为赋存于五河群变质大理岩中的角闪岩相退变质榴闪岩透镜体, 矿物相与 05JG-6 类似, 主要矿物为石榴石、角闪石、单斜辉石和斜长石等.

石门山位于蚌埠隆起东端. 定年样品 05SMS-1 采自石门山花岗岩采石场, 样品为新鲜、块状、肉红色花岗岩. 该岩体靠近郯庐断裂带, 受其影响矿物颗粒有拉长变形现象. 前人曾对蚌埠地区磨盘山钾长花岗岩(即本文的石门山变形花岗岩)做过主量元素测试<sup>[14]</sup>, 本文作者对定年样品 05SMS-1 所做的主量元素测试结果(表 1)基本与之一致, 属于钙碱性花岗岩类. 石门山花岗岩的白云母 Ar-Ar 平均坪年龄为 (1734±3) Ma<sup>[14]</sup>, 尚没有岩浆侵位结晶年龄的报道.

## 2 分析方法

所需定年锆石的分选工作由河北省区域地质矿产调查研究所廊坊实验室完成. 将重液和磁选法分选提纯的锆石置于双目显微镜下手工挑选, 将待测的锆石颗粒与标样(TEM)一起置于环氧树脂样品台中, 打磨抛光至露出锆石中心部位, 制成样靶. 详细制靶流程见宋彪等<sup>[15]</sup>. 上机测试前先对锆石进行透射光、反射光及阴极发光(CL)显微照相, 选择没有裂隙及包裹体的颗粒或视域进行 SHRIMP 分析. 锆石的透、反射光和 CL 照相在北京离子探针中心和北京地质科学院矿产资源研究所电子探针研究室完成, 锆石 U-Th-Pb 分析在北京离子探针中心的 SHRIMP II 型离子探针仪器上完成. 测试样品前先用标准锆石 SL13(年龄 572 Ma, U 含量 238 μg/g)标定样品的 U, Th 和 Pb 含量. 测试过程中每测定 3 个样品点, 分析 1 次标准锆石 TEM(417 Ma)进行元素间的分馏校正. 测点直径约 25 μm, 且测前剥蚀 150 s. 每个样品点测定统计量为 5 次扫描, 每个样品测定 10~15 个点. 分析流程和标样校正参见文献[15~17], 普通 Pb 校正采用实测 <sup>204</sup>Pb 值, 使用 Stacey 和 Kramer<sup>[18]</sup> 的两阶段模式进行扣除, 数据处理采用 Ludwig<sup>[19]</sup> SQUID 1.0 和 Ludwig<sup>[20]</sup> Isoplot 程序, 同位素比值和单个年龄

表 1 石门山花岗岩主量元素测试结果(单位: wt%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	灼失量	总和
79.26	11.01	0.17	0.59	0.12	0.04	0.24	4.74	3.06	0.008	0.03	0.31	0.13	0.58	99.85

表 2 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄结果<sup>a)</sup>

测点	普通 Pb/%	U / $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Th / $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Th/U	Pb* / $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ ( $\pm\%$ )	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ ( $\pm\%$ )	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ ( $\pm\%$ )	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ 年龄/Ma
05JG-6										
JG-6-1	0.49	59	2	0.04	20.0	6.62 $\pm$ 6.4	0.393 $\pm$ 5.9	0.1222 $\pm$ 2.5	2137 $\pm$ 110	1989 $\pm$ 45
JG-6-2	0.74	25	1	0.02	7.95	6.30 $\pm$ 8.9	0.373 $\pm$ 6.3	0.1225 $\pm$ 6.2	2044 $\pm$ 110	1992 $\pm$ 110
JG-6-3	1.04	36	4	0.11	8.18	4.20 $\pm$ 8.8	0.264 $\pm$ 7.4	0.1153 $\pm$ 4.7	1511 $\pm$ 100	1884 $\pm$ 86
JG-6-4	0.00	37	1	0.04	10.7	5.57 $\pm$ 6.7	0.339 $\pm$ 6.1	0.1190 $\pm$ 2.9	1884 $\pm$ 99	1941 $\pm$ 51
JG-6-5	0.12	54	3	0.06	17.6	6.37 $\pm$ 8.1	0.376 $\pm$ 7.9	0.1230 $\pm$ 2.1	2057 $\pm$ 140	2000 $\pm$ 38
JG-6-6	0.00	44	1	0.03	13.2	5.58 $\pm$ 6.5	0.349 $\pm$ 6.0	0.1159 $\pm$ 2.6	1930 $\pm$ 100	1894 $\pm$ 47
JG-6-7	0.44	33	4	0.12	9.74	5.30 $\pm$ 6.9	0.337 $\pm$ 6.1	0.1142 $\pm$ 3.3	1871 $\pm$ 98	1867 $\pm$ 59
JG-6-8	0.09	104	4	0.04	27.9	4.86 $\pm$ 6.1	0.311 $\pm$ 5.8	0.1133 $\pm$ 1.8	1747 $\pm$ 89	1853 $\pm$ 33
JG-6-9	1.10	23	2	0.10	6.66	5.56 $\pm$ 8.1	0.337 $\pm$ 6.8	0.1197 $\pm$ 4.4	1872 $\pm$ 110	1951 $\pm$ 79
JG-6-10	0.65	31	2	0.06	9.86	5.60 $\pm$ 7.6	0.373 $\pm$ 6.2	0.1090 $\pm$ 4.3	2041 $\pm$ 110	1783 $\pm$ 78
JG-6-15	0.11	117	42	0.37	29.9	4.57 $\pm$ 6.1	0.297 $\pm$ 5.8	0.1118 $\pm$ 2.0	1675 $\pm$ 85	1828 $\pm$ 37
JG-6-16	0.91	38	2	0.05	10.4	4.69 $\pm$ 7.4	0.313 $\pm$ 6.0	0.1085 $\pm$ 4.2	1757 $\pm$ 93	1774 $\pm$ 78
04FY-3										
FY-3-1	0.19	126	7	0.05	35.6	5.23 $\pm$ 3.0	0.3267 $\pm$ 2.9	0.1160 $\pm$ 0.92	1822 $\pm$ 45	1896 $\pm$ 17
FY-3-2	0.10	251	11	0.04	74.5	5.49 $\pm$ 2.9	0.3452 $\pm$ 2.8	0.11539 $\pm$ 0.69	1912 $\pm$ 46	1886 $\pm$ 12
FY-3-3	0.05	284	14	0.05	75.5	4.68 $\pm$ 2.9	0.3095 $\pm$ 2.8	0.10963 $\pm$ 0.62	1738 $\pm$ 43	1793 $\pm$ 11
FY-3-4	0.04	482	72	0.15	125	4.70 $\pm$ 2.8	0.3017 $\pm$ 2.8	0.11291 $\pm$ 0.47	1700 $\pm$ 42	1847 $\pm$ 9
FY-3-5	0.27	89	11	0.13	26.0	5.42 $\pm$ 3.2	0.3382 $\pm$ 2.9	0.1161 $\pm$ 1.4	1878 $\pm$ 47	1898 $\pm$ 24
FY-3-6	0.40	89	11	0.13	24.7	5.05 $\pm$ 3.5	0.3223 $\pm$ 3.1	0.1135 $\pm$ 1.7	1801 $\pm$ 48	1857 $\pm$ 31
FY-3-7	0.33	88	11	0.13	26.3	5.42 $\pm$ 3.8	0.347 $\pm$ 2.9	0.1132 $\pm$ 2.4	1921 $\pm$ 48	1852 $\pm$ 44
FY-3-8	0.16	80	7	0.09	24.3	5.58 $\pm$ 3.2	0.353 $\pm$ 2.9	0.1146 $\pm$ 1.2	1951 $\pm$ 49	1874 $\pm$ 23
FY-3-9	0.23	150	19	0.13	45.1	5.45 $\pm$ 3.0	0.3487 $\pm$ 2.8	0.1135 $\pm$ 0.89	1928 $\pm$ 47	1856 $\pm$ 16
FY-3-10	0.23	88	10	0.12	27.2	5.72 $\pm$ 3.3	0.360 $\pm$ 3.0	0.1152 $\pm$ 1.3	1982 $\pm$ 51	1883 $\pm$ 24
FY-3-11	0.09	236	8	0.03	70.7	5.44 $\pm$ 2.9	0.3488 $\pm$ 2.8	0.11312 $\pm$ 0.66	1929 $\pm$ 47	1850 $\pm$ 12
FY-3-12	0.21	128	22	0.18	38.5	5.49 $\pm$ 3.2	0.350 $\pm$ 3.0	0.1137 $\pm$ 1.3	1936 $\pm$ 50	1859 $\pm$ 23
FY-3-13	0.01	175	24	0.14	54.6	5.71 $\pm$ 2.9	0.362 $\pm$ 2.8	0.11443 $\pm$ 0.61	1991 $\pm$ 48	1871 $\pm$ 11
FY-3-14	0.14	73	9	0.12	22.9	5.69 $\pm$ 3.1	0.363 $\pm$ 2.9	0.1135 $\pm$ 1.2	1999 $\pm$ 50	1856 $\pm$ 21
FY-3-15	0.17	110	16	0.15	34.2	5.56 $\pm$ 3.0	0.363 $\pm$ 2.9	0.11111 $\pm$ 0.86	1997 $\pm$ 50	1818 $\pm$ 16
05SMS-1										
SMS-1-1	0.00	165	85	0.53	57.3	7.14 $\pm$ 2.9	0.4046 $\pm$ 2.5	0.1281 $\pm$ 1.4	2190 $\pm$ 47	2072 $\pm$ 13
SMS-1-2	0.00	77	55	0.74	26.9	7.05 $\pm$ 3.6	0.4052 $\pm$ 2.9	0.1262 $\pm$ 2.1	2193 $\pm$ 54	2045 $\pm$ 18
SMS-1-3	0.18	187	138	0.76	56.2	6.05 $\pm$ 2.9	0.3487 $\pm$ 2.5	0.1257 $\pm$ 1.6	1928 $\pm$ 41	2039 $\pm$ 14
SMS-1-4	0.30	113	75	0.69	39.3	7.13 $\pm$ 3.3	0.4052 $\pm$ 2.7	0.1277 $\pm$ 2.0	2193 $\pm$ 50	2066 $\pm$ 17
SMS-1-5	0.29	57	37	0.68	20.0	7.12 $\pm$ 4.2	0.4094 $\pm$ 3.2	0.1261 $\pm$ 2.7	2212 $\pm$ 59	2044 $\pm$ 24
SMS-1-6	0.30	259	196	0.78	79.4	6.18 $\pm$ 2.8	0.3560 $\pm$ 2.4	0.1260 $\pm$ 1.4	1963 $\pm$ 40	2043 $\pm$ 13
SMS-1-7	0.19	55	47	0.88	18.9	7.02 $\pm$ 4.0	0.3981 $\pm$ 3.0	0.1278 $\pm$ 2.5	2160 $\pm$ 56	2068 $\pm$ 22
SMS-1-8	0.17	254	178	0.73	81.8	6.65 $\pm$ 2.7	0.3750 $\pm$ 2.4	0.1286 $\pm$ 1.3	2053 $\pm$ 42	2079 $\pm$ 11
SMS-1-9	0.14	105	54	0.53	37.6	7.46 $\pm$ 3.4	0.4154 $\pm$ 2.7	0.1303 $\pm$ 2.0	2240 $\pm$ 52	2102 $\pm$ 17
SMS-1-10	0.72	180	130	0.75	58.4	6.51 $\pm$ 3.4	0.3754 $\pm$ 2.6	0.1258 $\pm$ 2.3	2055 $\pm$ 45	2040 $\pm$ 20
SMS-1-11	1.37	83	35	0.44	26.3	6.10 $\pm$ 5.2	0.3646 $\pm$ 3.0	0.1213 $\pm$ 4.3	2004 $\pm$ 51	1975 $\pm$ 38
SMS-1-12	0.11	187	120	0.66	63.6	7.00 $\pm$ 2.9	0.3949 $\pm$ 2.5	0.1286 $\pm$ 1.5	2146 $\pm$ 46	2079 $\pm$ 13
SMS-1-13	0.35	543	273	0.52	134.3	4.58 $\pm$ 2.6	0.2869 $\pm$ 2.3	0.1158 $\pm$ 1.2	1626 $\pm$ 33	1893 $\pm$ 11

a) Pb\*为放射成因 Pb, 普通 Pb 校正采用实测  $^{204}\text{Pb}$  值, 误差为  $1\sigma$ 

实测误差为  $1\sigma$ . 加权平均年龄数据和上交点年龄数据误差为  $2\sigma$ .

### 3 分析结果

#### 3.1 徐宿夹石榴辉石角闪岩包体(05JG-6)

锆石颗粒为无色透明浑圆状, 粒径 80~150  $\mu\text{m}$ ,

CL 阴极显微图像显示中等发光, 内部结构均匀, 无核边结构及韵律环带, 表明它们是变质成因锆石(图 2(a)). 样品分析了 12 个点, 分析结果见表 2. 除 JG-6-15 具有较暗的 CL 阴极发光特征和相应较高的比值(0.37)外, 其他 11 个点的 Th/U 比值为 0.02~0.12, 均为典型变质锆石的比值. 该组变质锆石的

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄较  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄分散, 在谐和图上少量数据向下偏离谐和线, 表现有较轻微的 Pb 丢失(图 3(a)). 如果古老锆石仅在近期遭受一次 Pb 丢失, 可以通过计算一致线与谐和线上交点年龄获得锆石结晶时代, 且它不会影响其  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄. 全部数据计算的上交点年龄为  $(1918\pm 56)$  Ma. 若剔除两个明显偏离谐和线的点, JG-6-3 和 JG-6-10 ( $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄分别为  $(1884\pm 86)$  和  $(1783\pm 78)$  Ma), 其余 10 个测点给出的  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄的加权平均值为  $(1904\pm 53)$  Ma,  $\text{MSWD}=2.4$ , 与上交点年龄一致. 此锆石年龄记录表明徐宿地区下地壳古元古代曾发生过一次变质事件.

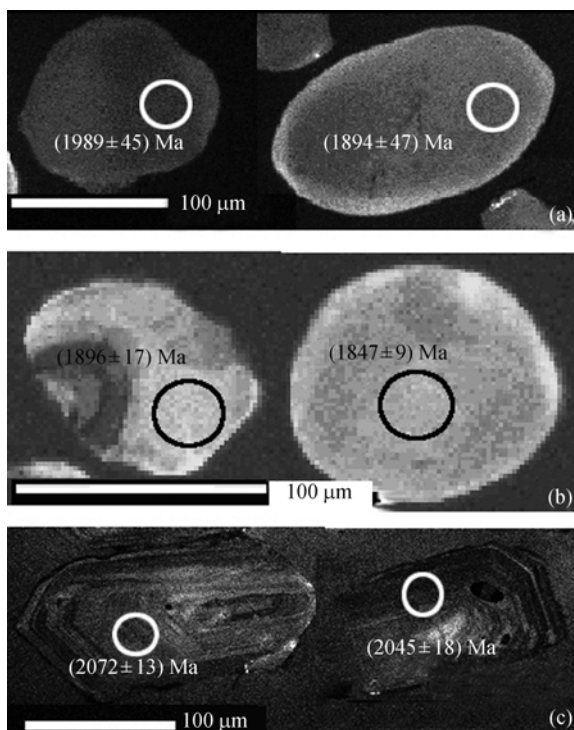


图 2 典型锆石 CL 图像

### 3.2 蚌埠五河群退变质榴闪岩透镜体(04FY-3)

锆石颗粒为无色透明的浑圆状或椭圆状, 粒径  $100\sim 200\ \mu\text{m}$ , CL 阴极显微图像均匀、无韵律环带, 显示为变质锆石的特点(图 2(b)), 大多数颗粒无明显核-边结构, 个别颗粒有具韵律环带的岩浆锆石核残留. 该样品分析了 15 个点, 分析结果见表 2. Th/U 比值为  $0.03\sim 0.18$ , 为典型的变质锆石比值. 该组变质锆石的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄同样较  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄分散, 在谐和图上所有数据点密集在谐和线附近并呈较好的线性

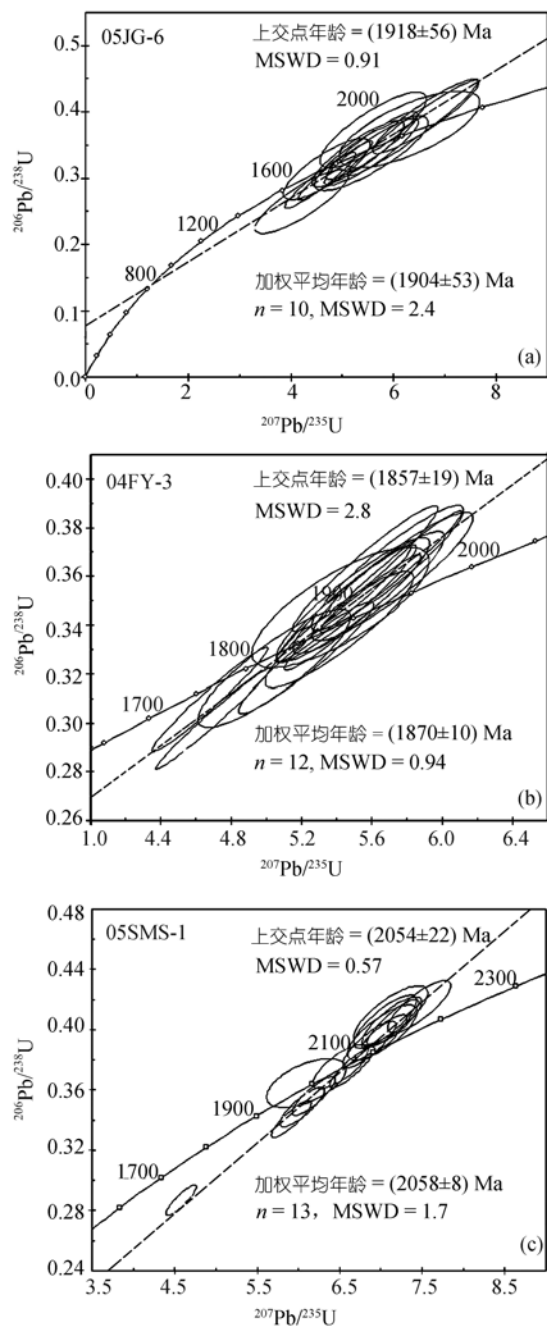


图 3 锆石 U-Pb 年龄谐和图

排列(图 3(b)), 它给出精确的上交点年龄为  $(1857\pm 19)$  Ma. 若剔除 3 个偏离谐和线较远的点, FY-3-3, FY-3-4 和 FY-3-15 ( $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄分别为  $(1793\pm 11)$ ,  $(1847\pm 9)$  和  $(1818\pm 16)$  Ma), 剩余 12 个较谐和的测点给出的  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄加权平均值为  $(1870\pm 10)$  Ma,  $\text{MSWD}=0.94$ , 与上交点年龄在误差范围内一致. 此

定年结果说明五河群变质杂岩麻粒岩相变质作用发生在古元古代。

### 3.3 蚌埠石门山变形花岗岩(05SMS-1)

锆石晶形基本完整, 短柱状(长:宽 $\approx$ 2:1), 粒径100~200  $\mu\text{m}$ , 晶面较平直, 晶棱较锐利, 岩浆韵律环带清晰(图 2(c)). 该样品分析了 15 个点, 分析结果见表 2. Th/U 比值为 0.44~1.00, 为典型的岩浆锆石比值. 该组变质锆石的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄同样较  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄分散, 全部数据点在谐和线附近呈良好线性排列并给出上交点年龄(2054 $\pm$ 22) Ma(图 3(c)). 若剔除两个偏离谐和线较远的点, SMS-1-9 和 SMS-1-13 ( $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄分别为 (2102 $\pm$ 17) 和 (1893 $\pm$ 11) Ma), 剩余 13 个测点给出的  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄加权平均值为 (2058 $\pm$ 8) Ma, MSWD=1.7, 与上交点年龄一致. 定年结果显示石门山变形花岗岩的形成时代为古元古代. 这个年龄与五台山滹沱群火山作用时间(2087 $\pm$ 9) Ma<sup>[6]</sup>和阜平湾子表壳岩中火山成因片麻岩的年龄(2051 $\pm$ 18) Ma<sup>[21]</sup>一致, 同时老于其白云母 Ar-Ar 法确定的晚期冷却事件年龄(1734 $\pm$ 3) Ma<sup>[41]</sup>. 石门山花岗岩未见有更晚时代的变质年龄记录, 可能是该岩体当时侵位较浅, 因而后期遭受的变质改造程度较低, 并不足以引起锆石变质增生的结果.

## 4 讨论

### 4.1 徐宿-蚌埠地区古元古代岩浆-变质事件与胶-辽-吉古元古代活动带的关系

翟明国<sup>[5]</sup>指出华北克拉通古元古代活动带主要分布在 3 个地区, 即北部丰镇活动带、中部晋豫活动带和东部胶-辽-吉活动带, 但对于胶-辽-吉活动带向

西南部延伸向何处却一直未有结论. 从地理位置上分析, 徐宿-蚌埠地区与遭郯庐断裂带错动前的胶东地区对应, 本文报道的 3 个年龄说明徐宿-蚌埠地区曾在约 2.0 Ga 发生过一期花岗岩浆作用, 随后在 1.9~1.8 Ga 经历了强烈的麻粒岩相变质作用, 这与胶-辽-吉古元古代活动带的特征一致, 因此徐宿-蚌埠地区古元古代变质-岩浆活动带很可能是胶-辽-吉古元古代活动带的西南延伸. 本文的发现对解决胶-辽-吉活动带的西南部空间展布具有重要的地质意义, 提示学者在今后的研究中应对此地区给以充分考虑.

### 4.2 徐宿-蚌埠地区中生代高镁岩浆岩中石榴辉石岩和榴辉岩包体的年代学差异

Xu 等<sup>[12]</sup>在徐宿-蚌埠地区中生代高镁岩浆岩中采集到石榴辉石岩和榴辉岩两类包体, 从榴辉岩包体中选出的 4 颗锆石表现为具有 2350~2550, 210~260 和 125~136 Ma 三个年龄峰为特征的年龄谱, 并认为它们与石榴辉石岩的年龄谱类似, 认定它们是同一类岩石. 需要指出的是, 该榴辉岩包体锆石没有给出本文测定的 1870~1904 Ma 的古元古代年龄, 而该文提供的榴辉岩和石榴辉石岩锆石年龄比较图谱中却清楚显示石榴辉石岩有明显的 1800 Ma 年龄峰而榴辉岩没有<sup>[12]</sup>. 实际上该文提供的石榴辉石岩锆石年龄谱中除 1800 和 130 Ma 两个显著的峰值外, 其他年龄峰并不显著. 因此, 已有的年代学数据并不支持徐宿-蚌埠地区中生代高镁岩浆岩中石榴辉石岩和榴辉岩包体是同一类岩石的结论. 该区石榴辉石岩包体代表了仅经历了古元古代麻粒岩相变质的下地壳岩石, 而榴辉岩包体可能是该区已拆沉的榴辉岩相加厚下地壳的残留物.

**致谢** 中国科学技术大学刘贻灿教授参加了野外工作, 北京离子探针中心王彦斌研究员、宋彪研究员和石玉若博士在锆石 SHRIMP U-Pb 定年中给以协助, 审稿人提出了宝贵的修改意见, 在此一并表示感谢.

## 参考文献

- 1 Zhao G C, Wilde S A, Cawood P A, et al. Archean blocks and their boundaries in the North China Craton: lithological, geochemical, structural and *P-T* path constrains and tectonic evolution. *Precambrian Res*, 2001, 107: 45—73[[doi](#)]
- 2 Zhao G C, Cawood P A, Wilde S A, et al. Review of global 2.1—1.8 Ga orogens: implication for a pre-Rodinia supercontinent. *Earth-Sci Rev*, 2002, 59: 125—162[[doi](#)]



- 3 Zhao G C, Sun M, Wilde S A, et al. Late Archean to Paleoproterozoic evolution of the North China Craton: key issues revisited. *Precambrian Res*, 2005, 136: 177—202[[doi](#)]
- 4 Zhai M G, Liu W J. Palaeoproterozoic tectonic history of the North China craton: a review. *Precambrian Res*, 2003, 122: 183—199[[doi](#)]
- 5 翟明国. 华北克拉通 2.1~1.7 Ga 地质事件群的分解和构造意义探讨. *岩石学报*, 2004, 20(6): 1343—1354
- 6 Liu S W, Zhao G C, Wilde S A, et al. Th-U-Pb monazite geochronology of the Lüliang and Wutai Complexes: constraints on the tectonothermal evolution of the Trans-North China Orogen. *Precambrian Res*, 2006, 148: 205—224[[doi](#)]
- 7 Wilde S A, 赵国春, 王凯怡, 等. 五台山滹沱群 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄: 华北克拉通早元古代拼合新证据. *科学通报*, 2003, 48(20): 2180—2186
- 8 田伟, 刘树文, 刘超辉, 等. 中条山涑水杂岩中 TTG 系列岩石的锆石 SHRIMP 年代学和地球化学及其地质意义. *自然科学进展*, 2005, 15(12): 1476—1484
- 9 张华锋, 翟明国, 彭澎. 华北克拉通桑干地区高压麻粒岩的锆石 SHRIMP 年龄及其地质含义. *地学前缘*, 2006, 13(3): 190—199
- 10 Luo Y, Sun M, Zhao G C, et al. LA-ICP-MS U-Pb zircon ages of the Liaohé Group in the Eastern Block of the North China Craton: constraints on the evolution of the Jiao-Liao-Ji Belt. *Precambrian Res*, 2004, 134(3-4): 349—371[[doi](#)]
- 11 何艳红, 孙勇, 陈亮, 等. 陇山杂岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. *岩石学报*, 2005, 21(1): 125—134
- 12 Xu W L, Gao S, Wang Q H, et al. Mesozoic crustal thickening of the eastern North China craton: evidence From eclogite xenoliths and petrologic implications. *Geology*, 2006, 34(9): 721—724[[doi](#)]
- 13 许文良, 杨德彬, 裴福萍, 等. 蚌埠隆起区五河杂岩的形成时代: 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年证据. *中国地质*, 2006, 33(1): 132—137
- 14 徐祥, 侯明金, 邱瑞龙, 等. 华北陆块东南缘蚌埠地区花岗岩与相关脉岩  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  定年. *中国地质*, 2005, 32(4): 588—595
- 15 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. *地质论评*, 2002, 48(增刊): 26—30
- 16 Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. Zircon U-Pb ages for the early Cambrian time-scale. *J Geol Soc (London)*, 1992, 149(2): 171—184[[doi](#)]
- 17 Williams I S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. In: McKibben M A, Shanks III W C, Ridley W I, eds. *Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Process*. *Rev Econ Geol*, 1998, 7: 1—35
- 18 Stacey J S, Kramer J D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth Planet Sci Lett*, 1975, 26(2): 207—221[[doi](#)]
- 19 Ludwig K R. *Squid 1.02: a user manual*. Berkeley Geochron Center Spec Publ, 2001, 2: 19
- 20 Ludwig K R. *Users Manual for Isoplot/Ex (rev. 2. 49): a geochronology toolkit for microsoft Excel*. Berkeley Geochron Center Spec Publ, 2001, 1: 55
- 21 Guan H, Sun M, Wilde S A, et al. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Fuping Complex: implications for formation and assembly of the North China Craton. *Precambrian Res*, 2002, 113: 1—18[[doi](#)]