

庐山星子变质穹窿中变形花岗伟晶岩脉中多期 不同成因锆石的发现及意义

王继林^{1,2}, 何斌³, 靳立杰^{2,4}

(1.中国冶金地质总局 山东局测试中心, 山东 济南 250014; 2.中国地质大学(武汉) 地球科学学院, 湖北 武汉 430074; 3.中国科学院 广州地球化学研究所, 同位素地球化学国家重点实验室, 广东 广州 510640; 4.山东省第一地质矿产勘查院, 山东 济南 250014)

摘要:江西庐山地区星子变质穹窿核部出露有一套星子群中深变质岩系, 其中片岩的峰期变质作用发生于 142.6 ± 1.5 Ma, 结合其变质分带和点变质的特征推测星子群角闪岩相的变质可能与研究区中生代广泛的岩浆活动有关。然而, 研究区出露的中生代岩体及岩脉侵位时间均晚于星子群中高级变质作用的峰期时间, 故推测星子群的变质热源不是上述岩体, 而可能来自更早期的侵入体。为了获得星子群中高级变质作用的热源信息, 本文对星子变质穹窿中大量发育的变形花岗质伟晶岩脉进行了较为系统的锆石 U-Pb 年代学研究, 发现其中存在有三期不同成因的锆石: (1) 加权平均年龄为 824 ± 13 Ma 的继承岩浆锆石核, 其母岩可能为星子变质穹窿核部出露的新元古代观音桥片麻状花岗岩, 这一年龄为该岩体的侵位时间提供了更加精确的限定; (2) 加权平均年龄为 140.5 ± 1.7 Ma (MSWD=2.3) 的简单岩浆锆石及相应同期形成的变质增生锆石, 这一年龄代表了这期花岗伟晶岩脉的侵位时间, 表明研究区确实存在与星子群变质时代同期的岩浆活动, 这期岩浆活动直接导致了星子群的变质。另外, 由于这期伟晶岩脉发生了强烈的韧性变形, 研究区的构造变形事件应不早于岩脉的侵位, 综合已有成果认为研究区的变形事件与岩浆活动同步; (3) 得到大量年龄为 ~ 123 Ma 的海绵状结构热液锆石, 由于此类锆石是原生锆石经后期热液改造而成, 因此其锆石形成年龄应早于实验得到的 ~ 123 Ma, 可能也形成于 ~ 140 Ma 岩浆活动期间。

关键词: 星子变质穹窿; 花岗伟晶岩脉; 锆石 U-Pb 定年; 岩浆活动; 构造变形事件

中图分类号: P597 文献标志码: A 文章编号: 1001-1552(2015)04-0729-014

0 引言

江西庐山星子变质穹窿地处扬子板块南缘中下扬子交接部位, 北侧为大别山中生代碰撞造山带, 南侧为扬子板块江南隆起带。穹窿核部出露有一套中深变质岩系, 即星子群, 关俊朋等(2010)及高林志等(2012)将其地层时代划定为新元古代。笔者曾对其变质时代进行了研究, 通过对混合岩浅色体进行

锆石 U-Pb 定年, 并结合片岩的白云母 Ar-Ar 定年结果, 认为星子群的峰期变质作用发生于 142.6 ± 1.5 Ma。根据星子群变质分带和点变质的特征, 推测星子群的变质可能为岩浆热接触动力变质。然而星子地区出露的中生代岩体均晚于星子群的峰期变质作用时间, 因此推测星子变质穹窿核部可能存在 ~ 142 Ma 的大型隐伏岩体(王继林等, 2013)。为了验证上述结论的可能性, 在星子地区开展了详细的野外地质调

收稿日期: 2013-07-10; 改回日期: 2013-09-10

项目资助: 中国科学院知识创新项目(KZCXZYW128, KZCX1YW151)和国家自然科学基金(41173037)联合资助。

第一作者简介: 王继林(1988-), 女, 硕士, 构造地质学专业。Email: wangjilin22126@126.com

通信作者: 何斌(1963-), 男, 研究员, 主要从事区域地质、构造地质、沉积和岩相古地理等方面研究。Email: hebin@gig.ac.cn

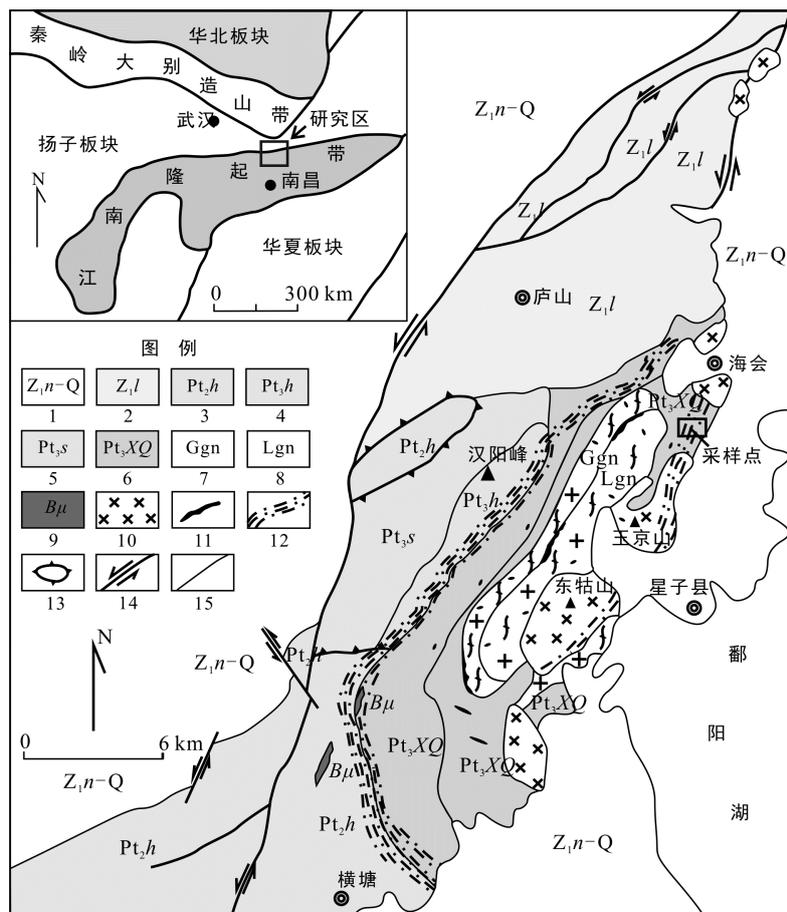
查。在野外,观察到星子变质穹窿核部出露的新元古代观音桥片麻状花岗岩顶部及其上覆的星子群片麻岩中均发育有大量不同产状不同规模的伟晶岩脉,局部达到露头面积的 30%~50%,分布如此之多的伟晶岩脉暗示其下部可能存在一个未出露的大型岩体。由于伟晶岩脉多是晚期岩浆沿构造裂隙上升侵位形成的,其中可能含有未出露母岩的一些信息。因此本次研究选择了 2 条具有代表性的变形花岗岩伟晶岩脉作为研究对象,对其进行详细的锆石年代学研究,发现存在有 824 ± 13 Ma、 140.5 ± 1.7 Ma、 ~ 123 Ma 三期不同成因的锆石,分别对其意义进行了讨论。

1 区域地质概况

星子杂岩主要分布在扬子板块南缘赣北庐山东南麓栖贤寺-归宗寺一带,出露面积约 220 km^2 ,呈 NE-SW 向展布,由新元古代星子群中深变质岩系

(关俊朋等, 2010)、晋宁期观音桥片麻状花岗岩及燕山期花岗岩(海会岩体、玉京山岩体、东牯山岩体)构成。穹窿两侧分别是九江凹陷和鄱阳凹陷,北东一侧由于遭受北东向走滑剪切构造及赣江断裂的切割改造而被破坏,故其平面上呈半环状(图 1)。

新元古代星子群是一套原岩为砂岩、杂砂岩夹拉斑玄武岩(张海祥和张伯友, 2003)的中深变质岩系,主要岩石类型有:石榴石二云母片岩、石榴石变粒岩、石英片岩夹斜长角闪岩,平行片理方向发育有较多小型透镜体状、扁豆状的同变质石英脉,核部被晋宁期观音桥片麻状花岗岩及中生代岩体侵入(李武显等, 1998; 张海祥等, 1999)。其上覆地层有三套:北东侧为下震旦统莲沱组(Z_1l),西侧为新元古界汉阳峰组(Pt_3h)和筲箕洼组(Pt_3s),南西侧为中元古界双桥山群横涌组(Pt_2h),均为不整合接触(图 1)。



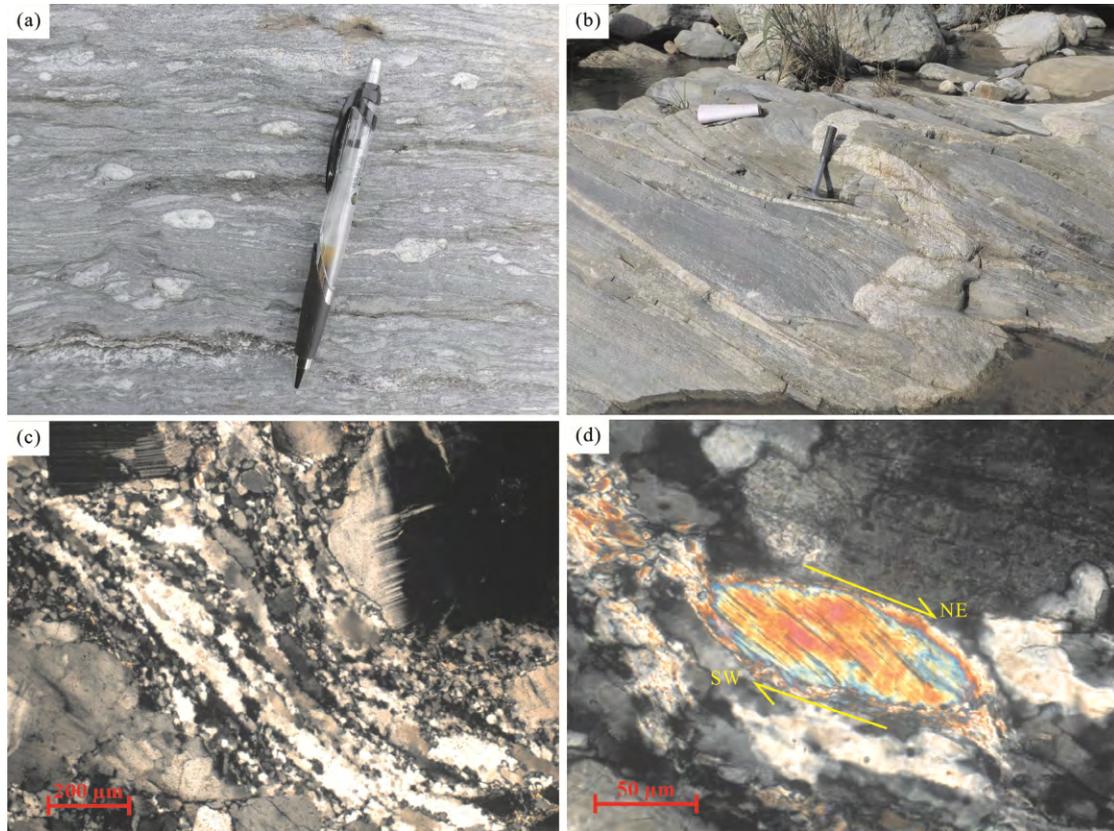
1. 下震旦统-第四系; 2. 下震旦统莲沱组; 3. 中元古界横涌组; 4. 新元古界汉阳峰组; 5. 上元古界筲箕洼组; 6. 上元古界星子群; 7. 观音桥片麻岩套; 8. 高家岭片麻岩; 9. 辉绿岩脉; 10. 花岗岩; 11. 伟晶岩脉; 12. 韧性剪切带; 13. 拆离断层; 14. 走滑断层; 15. 地质界线。

图 1 江西庐山星子变质穹窿地质略图

Fig.1 Geological map of the Xingzi metamorphic dome in the Lushan area, Jiangxi province

观音桥岩体顶部及星子群片岩中发育大量不同产状不同规模的变形花岗质伟晶岩脉(图 2), 主要有透镜-扁豆状、脉状、网状等, 与星子群片理平行或

近于垂直(图 2a), 规模从几厘米到几十米不等, 多期脉体互相穿插, 部分伟晶岩脉变形强烈(图 2b), 形成石香肠构造及固态流变褶皱且发生糜棱岩化。



(a) 透镜状-扁豆状的变形花岗质脉体; (b) 变形花岗伟晶岩脉野外照片; (c) 糜棱岩化伟晶岩的正交镜下特征, 石英强烈动态重结晶; (d) 糜棱岩化伟晶岩脉中的云母鱼构造, 指示 NE-SW 向剪切。

图 2 样品野外及镜下特征

Fig.2 Photos showing the characteristics of the rocks in field and under the microscope

2 样品特征及分析方法

本次采样的两条伟晶岩脉(LS-9 和 LS-12)位于海会岩体附近, 产状与星子群片理产状($125^{\circ} \angle 41^{\circ}$) 近于平行, 采样点地理坐标为 $29^{\circ}30'42.9''N$, $116^{\circ}02'49.5''E$ (见图 1)。样品 LS-9 代表的岩脉发生强烈褶皱变形, 样品 LS-12 代表的岩脉变形较弱。

镜下观察样品 LS-9 为糜棱结构(图 2c), 弱定向构造, 轻微绿泥石化, 主要组成矿物为长石+石英+白云母, 碎斑含量约 70%, 主要由钾长石(45%)+斜长石(20%)+白云母(5%)组成, 发育扭折、书斜构造、云母鱼等晶内晶界塑性变形结构(图 2d), 碎斑颗粒周围开始发生动态重结晶; 基质主要为石英动态重结晶颗粒, 含少量白云母、绿帘石、绿泥石, 含量约

30%, 部分石英重结晶颗粒被拉长呈丝状, 波状消光现象普遍。样品 LS-12 矿物组成与 LS-9 类似, 但糜棱岩化较弱, 块状构造, 仅石英、长石碎斑边缘开始出现动态重结晶。

对侵位于星子群中的花岗伟晶岩脉(LS-9 和 LS-12)进行了锆石 U-Pb 年代学研究, 锆石挑选工作由河北省廊坊市诚信地质服务公司完成, 利用磁法和重液法进行分选。锆石的阴极发光(CL)成像、微量元素含量及 U-Pb 同位素定年分别在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室电子探针显微分析系统(JXA-8100)和激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)上完成。激光剥蚀系统为 GeoLas2005, ICP-MS 为 Agilent7500a, 采用 91500 标准锆石作为外标进行同位素分馏校正, 锆石标样与锆石样品以 2:5 的比例交替测试; 锆石微量元素

含量利用多个 USGS 参考玻璃(BCR-2G, BIR-1G)作为多外标、Si 作为单内标进行定量计算,详细的仪器操作条件见 Liu et al. (2008, 2010a, 2010b)。对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算)采用软件 ICPMSDataCal 完成,具体处理方法同 Liu et al. (2008, 2010a)。锆石样品 U-Pb 年龄谱和图绘制和加权平均年龄计算均采用 Isoplot/Ex_ver3(Ludwig, 2003)完成。

3 分析结果

3.1 锆石矿物学及微量元素特征

对挑选出的锆石进行透射光、反射光及阴极发光观察,发现样品 LS-9 和 LS-12 两个花岗伟晶岩脉样品中分选出的锆石主要有 3 种类型,LS-9 中的锆石以海绵状结构为主,LS-12 中有核边结构锆石和简单岩浆锆石两种。

(1) 海绵状结构锆石

样品 LS-9 以海绵状结构锆石为主,相比岩浆锆石,海绵状结构锆石颗粒较小,粒径约 50~100 μm ,形态不规则,呈短柱状或棱角状-次棱角状;透射镜下锆石表面浑浊,呈褐黑色,几乎不透明;SEI 图像显示锆石表面存在大量孔洞及包裹体,CL 图像较暗,显示为海绵状结构(图 3),以上特征指示其为热液成因。锆石表面孔洞的产生可能是由于原生锆石在外界流体作用下遭受淋滤、溶解所致(张必龙等, 2011),锆石中的包裹体矿物可能是流体作用过程中圈闭的

流体包裹体或结晶出来的磷酸盐/硅酸盐矿物(吴元保和郑永飞, 2004)。海绵状结构锆石与典型岩浆锆石在稀土配分模式、微量元素特征等方面存在明显差异(表 1, 图 4b): 海绵状结构锆石 Th/U=0.01~0.04, REE 富集, 稀土配分曲线较平缓($(\text{Sm}/\text{La})_N=5.62\sim 104.64$), 极低 Ce 异常($\delta\text{Ce}=0.62\sim 1.39$)和 Eu 负异常($\delta\text{Eu}=0.06\sim 0.26$), 普通 Pb、U、Hf、Nb、Ta 含量较岩浆锆石均富集。利用 Hoskin (2005)提出的 Ce/Ce^* - $(\text{Sm}/\text{La})_N$ 及 $(\text{Sm}/\text{La})_N$ -La 图解(图 5), 进一步确定海绵状结构锆石为热液成因。

(2) 简单岩浆锆石

LS-12 中的简单岩浆锆石为半自形-自形短柱状,无色透明,锆石表面干净,不含包裹体,CL 图像显示其发育有扇形分带或弱岩浆振荡环带(图 6)。锆石总体普通铅含量较低,普通 Pb 和 U 含量明显低于海绵状结构锆石, Th/U=0.12~1.27, 稀土元素特征显示 LREE 亏损, HREE 富集, 从 LREE 陡倾至 HREE, $(\text{Sm}/\text{La})_N=73.32\sim 4238.06$, 具高 Ce 正异常和 Eu 负异常($\delta\text{Ce}=9.29\sim 49.29$, $\delta\text{Eu}=0.12\sim 0.37$), 这些特征均显示其为岩浆成因(表 1, 图 4a)。

(3) 核边结构锆石

LS-12 中发育大量核边结构锆石, 锆石颗粒较大, 粒径约 100~200 μm 。核部锆石发育弱岩浆环带(图 6), Th/U=0.25~0.86, ΣREE 较高且稀土配分曲线较平缓, Ce 正异常和 Eu 负异常均较小($\delta\text{Ce}=2.33\sim 23.87$, $\delta\text{Eu}=0.04\sim 0.21$)(表 1, 图 4a), 上述特征也显示其为岩浆成因。但与简单岩浆锆石相比特征区别明显: 变质增生区域形状不规则, 部分切割核

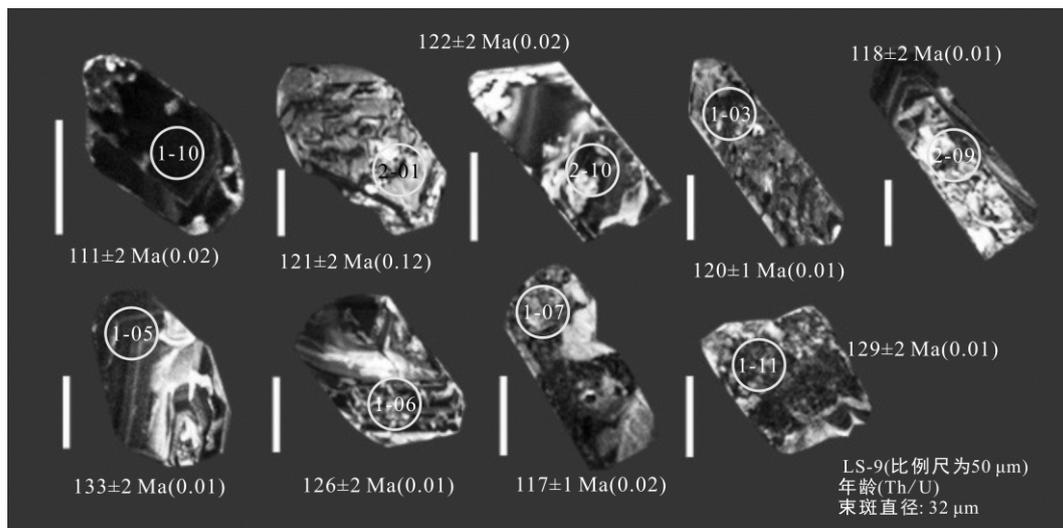


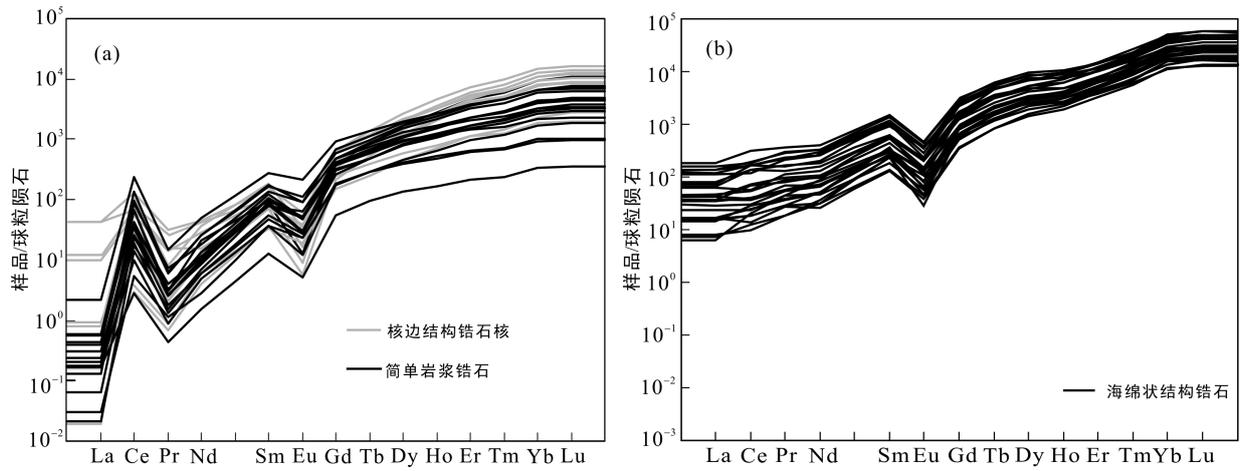
图 3 花岗伟晶岩脉(样品 LS-9)中海绵状结构锆石 CL 图像特征
Fig.3 CL images of zircons with spongy structure from sample LS-9

表 1 庐山地区花岗伟晶岩脉中不同成因锆石的稀土元素 ($\times 10^{-6}$) 含量特征
Table 1 Rare earth element ($\times 10^{-6}$) concentrations of zircons with different origin

分析点	LS-9(海绵状结构锆石)														δEu	δCe	$(\text{Sm}/\text{La})_N$			
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				Y	ΣREE	LREE/HREE
1-02	6.9	17.8	5.1	31.5	48.8	7.8	160	64.4	662	186	896	244	3514	684	6951	65297	0.02	0.24	0.70	10.89
1-03	4.0	14.8	3.4	23.3	51.8	4.7	191	74.4	823	236	1179	323	4590	847	9002	83657	0.01	0.13	0.91	19.97
1-04	8.1	24.0	5.3	38.7	47.4	4.7	133	49.8	577	155	808	230	3436	613	6144	61297	0.02	0.17	0.87	9.02
1-05	4.2	8.4	2.6	11.7	20.1	2.2	70.4	31.6	416	126	656	183	2636	465	4952	46327	0.01	0.16	0.62	7.50
1-06	10.3	44.3	9.1	48.8	66.0	7.9	205	83.2	870	223	1051	266	3520	597	9281	7001	0.03	0.19	1.04	9.97
1-07	14.5	33.7	10.5	64.6	87.6	11.8	268	104	1084	286	1349	342	4544	780	10294	8999	0.03	0.22	0.64	9.35
1-09	27.1	76.7	19.8	124	160	16.6	509	216	2190	497	1945	414	4515	603	22540	11313	0.04	0.16	0.78	9.16
1-10	17.5	103	16.0	99.6	154	13.5	455	179	1872	516	2512	641	8665	1527	20002	16770	0.02	0.14	1.39	13.63
1-11	1.7	7.4	1.8	15.0	36.0	1.7	134	57.9	640	164	737	194	2648	432	6624	5069	0.01	0.06	0.91	32.51
2-01	28.5	106	22.1	125	144	20.7	366	136	1281	289	1133	276	3032	4452	8597	7403	0.06	0.26	0.99	7.81
2-03	36.8	115	28.4	163	215	25.0	600	240	2423	603	2536	644	7935	13152	21816	16878	0.04	0.20	0.82	9.06
2-05	3.6	18.1	3.5	24.1	41.3	3.7	166	67.9	762	220	1022	283	3686	663	7714	6963	0.01	0.12	1.14	17.97
2-06	15.7	81.1	12.7	71.8	94.3	11.7	298	130	1467	432	2089	576	7357	1337	15097	13973	0.02	0.20	1.33	9.30
2-07	3.8	11.7	2.8	14.9	20.8	2.6	72.8	31.1	383	115	553	154	2023	355	4065	3742	0.02	0.18	0.84	8.47
2-09	2.0	5.7	1.7	16.8	34.7	2.7	140	61.0	712	206	1042	310	4217	812	7392	7562	0.01	0.10	0.70	26.91
2-10	8.7	43.3	7.9	50.3	82.1	8.7	265	119	1256	369	1775	483	6256	1130	12509	11854	0.02	0.16	1.18	14.64
2-11	10.2	24.7	6.3	32.8	37.1	6.0	123	62.7	798	248	1298	393	5178	964	8500	9182	0.01	0.25	0.74	5.62
2-13	18.3	86.8	16.1	90.6	98.3	12.8	330	125	1345	376	1732	474	6145	1121	14347	11970	0.03	0.20	1.15	8.32
2-15	5.5	14.9	4.3	22.6	29.7	3.3	107	47.7	599	175	851	239	3089	530	6284	5718	0.01	0.16	0.71	8.32
2-17	9.2	23.4	5.3	34.3	37.5	4.9	114	46.6	517	143	671	193	2468	4578	4832	4724	0.02	0.21	0.81	6.34
2-18	10.6	32.3	8.3	45.8	50.0	7.1	188	75.5	863	245	1139	319	4134	779	8425	7897	0.02	0.20	0.80	7.29

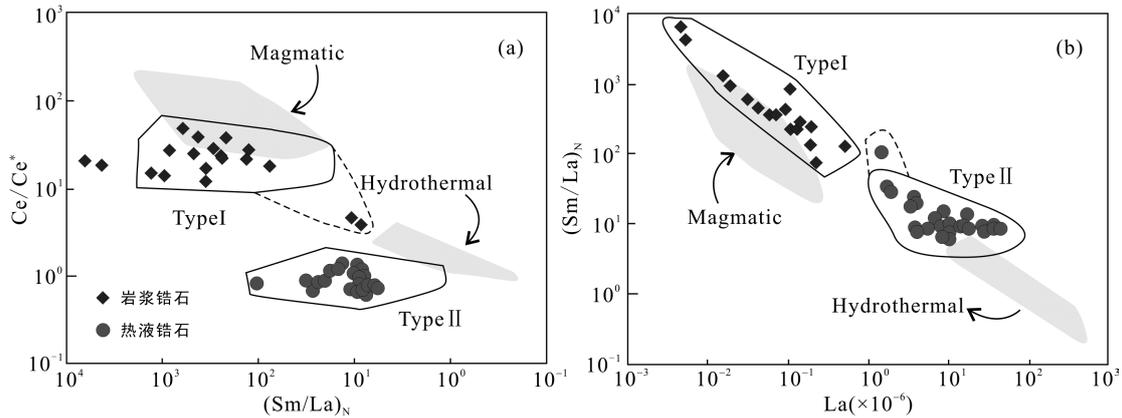
续表 1:

分析点	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	LREE/HREE	δEu	δCe	(Sm/La) _N
LS-12 核边结构锆石核部																				
1-10	0.2	64.5	0.8	16.8	28.8	1.9	142	44.8	541	189	893	181	1808	301	6097	4212	0.03	0.07	23.87	239.27
1-12	0.0	17.5	0.3	5.4	18.4	0.9	134	51.4	665	257	1199	248	2571	410	7660	5579	0.01	0.04	20.11	6372.81
1-19	10.0	79.1	3.0	21.0	24.2	3.5	126	42.6	526	187	848	163	1608	259	5749	3900	0.04	0.15	3.48	3.75
1-21	2.9	44.8	2.4	20.0	16.3	2.8	75.6	24.9	323.	121	590	126	1303	222	3858	2876	0.03	0.21	3.85	8.60
1-24	10.4	42.2	1.5	7.2	12.2	2.2	69.2	27.6	371	152	775	173	1819	325	4930	3786.	0.02	0.18	2.33	1.82
1-25	2.3	33.6	1.3	13.1	15.9	1.6	90.9	31.6	393	144	681	132	1348	219	4426	3107	0.02	0.10	4.60	10.59
1-27	0.2	16.6	0.2	4.6	10.9	0.5	90.2	36.0	530	203	988	210	2142	348	6528	4580	0.01	0.04	18.15	75.55
1-28	0.1	10.4	0.2	4.3	13.4	0.7	84.1	31.8	420	162	771	155	1579	279	5228	3510	0.01	0.05	12.25	356.82
1-30	0.0	2.3	0.1	2.8	5.0	1.1	30.3	9.4	118	40.7	190	37.1	397	69.4	13238	904	0.01	0.21	8.30	Error
2-05	0.1	1.8	0.1	1.9	5.6	0.3	43.1	19.9	294	119	605	127	1344	228	38158	2790	0.00	0.05	6.54	178.22
LS-12 简单岩浆锆石																				
1-02	0.1	52.5	0.7	8.6	20.4	5.3	98.2	32.7	379	125	538	104	988	161	4198	2513	0.04	0.30	22.15	231.84
1-04	0.5	145	1.4	23.1	41.6	12.7	189	50.6	491	150	641	117	1129	190	4807	3180	0.08	0.37	27.27	123.82
1-05	0.1	41.2	0.3	9.9	14.7	3.1	82.8	26.0	278	89.8	382	73.2	738	117	2940	1856	0.04	0.21	37.83	218.09
1-06	0.0	26.3	0.3	5.4	12.3	2.9	64.4	17.9	199	65.3	280	55.5	551	95.6	2151	1375	0.04	0.25	24.87	463.46
1-08	0.0	8.9	0.2	3.3	13.9	1.8	76.1	23.5	241	66.1	241	41.9	375	57.3	2237	1150	0.02	0.13	18.32	4238.06
1-13	0.1	82.0	0.6	11.8	25.3	6.3	118	36.9	423	139	603	115	1109	192	4629.	2862	0.05	0.30	39.11	423.40
1-14	0.0	14.6	0.3	6.4	12.7	1.6	62.8	18.2	201	61.6	256	48.9	455	74.1	2063	1213	0.03	0.15	14.88	1277.31
1-16	0.1	22.8	0.4	5.3	16.4	2.9	78.5	22.2	229	71.6	279	54.5	512	83.2	2303	1378	0.04	0.21	16.90	355.57
1-17	0.0	41.4	0.3	4.8	12.2	3.8	81.8	24.5	276	86.5	374	70.6	725	125	3008	1825	0.04	0.27	49.29	603.36
1-18	0.1	59.7	0.6	11.9	26.6	5.4	139	41.9	464	149	627	116	1099	178	5013	2918	0.04	0.22	28.93	288.46
1-20	0.0	15.7	0.3	6.2	19.3	2.9	98.4	28.4	293	89.7	334	60.0	553	88.2	2882	1589	0.03	0.16	16.89	Error
2-03	0.0	16.4	0.2	6.5	11.0	2.1	52.5	14.7	151	45.8	183	32.0	310	50.5	1477	875	0.04	0.22	23.94	457.92
2-04	0.0	6.0	0.1	2.3	5.7	1.4	36.4	10.9	98.1	26.9	101	17.7	158	24.7	890	489	0.03	0.22	18.55	210.50
2-06	0.0	3.4	0.1	1.3	5.6	0.7	35.6	10.8	107	29.8	109	18.4	171	25.9	988	518	0.02	0.12	9.43	1199.26
2-08	0.0	1.7	0.0	0.7	1.9	0.3	11.4	3.7	35.3	9.4	35.3	6.2	58.5	9.2	332	174	0.03	0.15	9.29	73.32
2-09	0.1	15.8	0.2	2.8	8.3	1.6	53.8	18.2	208	69.0	287	53.9	511	81.1	2247	1310	0.02	0.17	24.27	180.43
2-10	0.1	11.8	0.1	2.8	7.3	1.4	38.5	10.9	117	36.7	158	29.8	294	48.7	1220	757	0.03	0.20	25.01	233.17



(a) 样品 LS-12 中简单岩浆锆石和核边结构锆石核; (b) 样品 LS-9 中海绵状结构锆石。

图 4 花岗伟晶岩脉中不同成因锆石球粒陨石标准化稀土元素配分模式图
Fig.4 Chondrite-normalized REE patterns of zircons with different genesis



图中阴影区域参考自 Hoskin (2005); Type I 为岩浆成因; Type II 为热液成因。

图 5 Ce/Ce^* - $(Sm/La)_N$ (a)及 $(Sm/La)_N$ - La (b) 锆石成因判别图(据 Hoskin, 2005 修改)
Fig.5 Ce/Ce^* vs. $(Sm/La)_N$ (a) and $(Sm/La)_N$ vs. La (b) discrimination diagrams for zircons

部岩浆锆石环带(图 6), U 含量相对简单岩浆锆石较高, $Th/U=0.01\sim 0.13$, 暗示二者可能为不同期次产物。

3.2 锆石 U-Pb 测年结果

对 LS-9 中的 29 颗锆石进行了测试, 有效测点 26 个; 对 LS-12 中的 38 颗锆石(20 颗简单岩浆锆石和 18 颗核边结构锆石)的 40 个点位进行了分析, 其中有效测点 35 个(简单岩浆锆石 17 个, 核边结构锆石 18 个), 测年结果列于表 2。

(1) 热液锆石

为确保热液锆石定年数据有效, 选择样品 LS-9 中富含孔洞、海绵状结构明显、不含包裹体且重结晶彻底的典型热液锆石进行测定, 并选择 21 个稀土配分曲线呈典型热液锆石特征的点位进行分析, 确

保年龄数据的可靠与有效(Hoskin, 2005)。实验得到的锆石年龄均位于谐和线上及附近, Tera-Wasserburg 图上得到不一致曲线的交点年龄为 123.9 ± 8.2 Ma (MSWD=1.6)(图 7a)。

(2) 简单岩浆锆石

测得 17 颗简单岩浆锆石的年龄谐和度较高, 得到年龄较集中且均位于 U-Pb 谐和线上及附近(图 7c), 计算其加权平均年龄为 140.5 ± 1.7 Ma (MSWD=2.3) (图 7d)。

(3) 核边结构锆石

核边结构锆石中核边有效测点 10 个, 边部有效测点 8 个, 测点均位于谐和线上及附近(图 7e、g)。计算核部锆石的加权平均年龄为 824 ± 13 Ma (MSWD=2.2)(图 7f), 边部测点与不一致线的下交点



图 6 花岗伟晶岩脉(样品 LS-12)中简单岩浆锆石和核边结构锆石 CL 图像特征

Fig.6 CL images of zircons from sample LS-12

年龄为 144.5 ± 3.6 Ma (MSWD=1.3) (图 7g), 加权平均年龄为 140.4 ± 3.7 Ma (MSWD=3.4) (图 7h)。

4 讨论

表 3 中列出了侵位于星子群中的花岗伟晶岩脉中不同成因的锆石矿物学特征、稀土元素特征与定年结果的对应关系。

4.1 岩浆活动时间

研究区发育的大量伟晶岩脉产状及规模差异较大, 江西省地质矿产勘查开发局调查研究大队(1994)在 1/5 万海会幅地质调查中根据脉体的产状与星子群片岩片理产状平行或高角度相交将伟晶岩脉分为了早晚两期。沈廷远(1988)最早报道这些伟晶岩脉形成于 127~169 Ma; 李武显等(2001)对产状近于直立的

伟晶岩脉进行单颗粒锆石 U-Pb 同位素分析, 得到 4 颗锆石的年龄分别为 136.9 ± 0.4 Ma、 125.7 ± 0.9 Ma、 128.5 ± 0.4 Ma、 443.4 ± 0.4 Ma, 并通过年龄相近的 2 颗锆石加权平均年龄将伟晶岩脉的侵位时代确定为 127 ± 2 Ma。由于过去定年手段的局限性及伟晶岩脉的期次性, 认为 127 ± 2 Ma (李武显等, 2001) 可能仅代表了其中一期伟晶岩脉的形成时间。

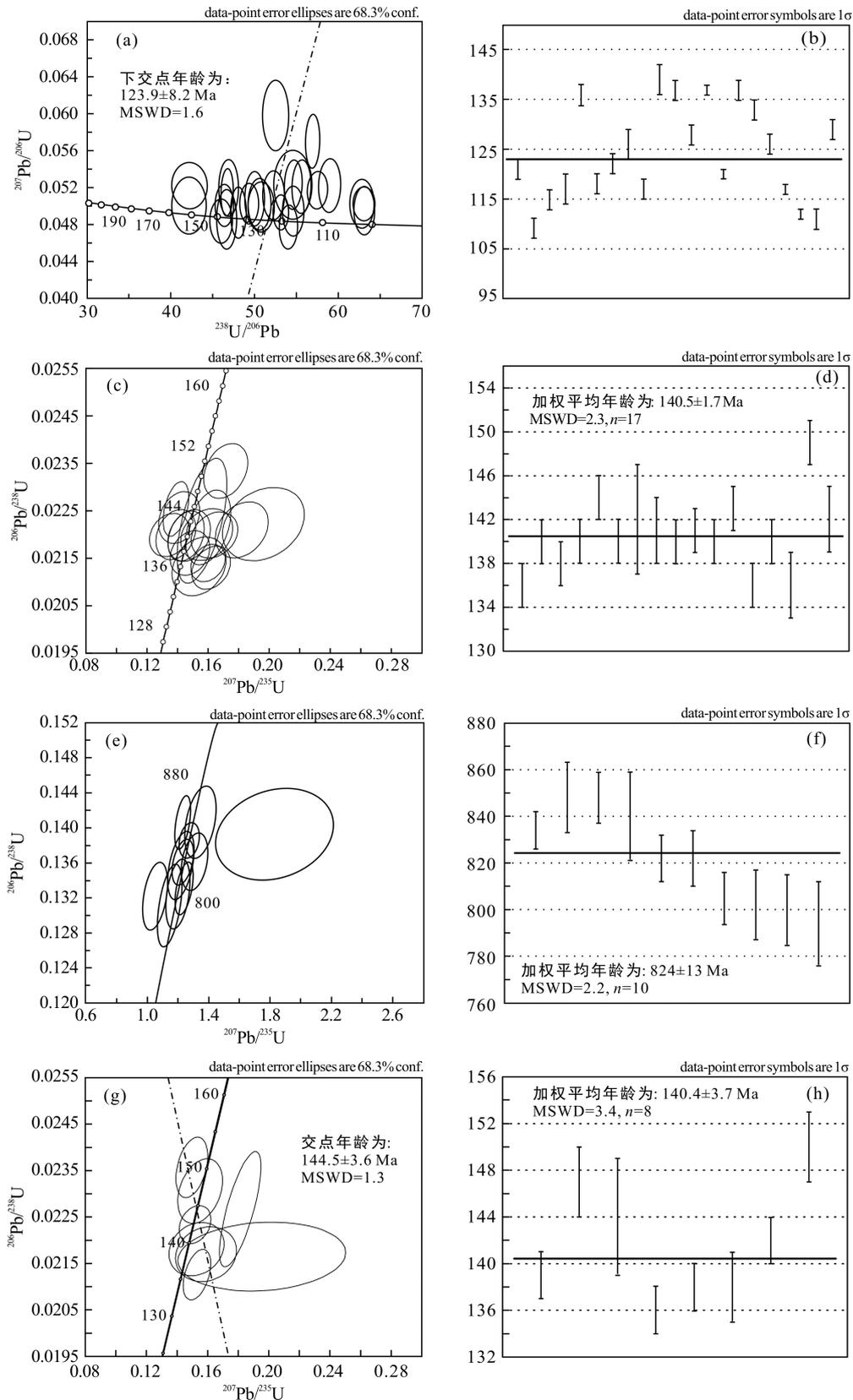
本次对研究区出露的变形花岗伟晶岩脉进行锆石 U-Pb 定年, 样品 LS-12 中大量核边结构锆石的矿物学特征、Th/U 及稀土配分曲线特征指示其核部锆石的岩浆成因和边部锆石的变质成因, 简单岩浆锆石的矿物学特征、Th/U 及稀土配分曲线均显示其典型岩浆成因。实验得到 10 颗核部岩浆锆石的加权平均年龄为 824 ± 13 Ma (MSWD=2.2), 8 颗边部变质增

表 2 庐山地区花岗伟晶岩脉锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果
Table 2 LA-ICP-MS U-Pb isotopic data of zircons from pegmatite dikes in the Lushan area

分析点	含量(μg/g)				同位素比值				年龄(Ma)						
	Pb	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	
LS-9(热液锆石)															
1-02	240	368	10854	0.03	0.051	0.002	0.152	0.005	0.021	0.000	260	86	143	5	137
1-03	465	350	28235	0.01	0.049	0.001	0.128	0.004	0.019	0.000	148	61	122	3	120
1-04	262	109	14307	0.01	0.05	0.002	0.149	0.005	0.022	0.000	191	73	141	5	137
1-05	262	91	11757	0.01	0.049	0.002	0.141	0.005	0.021	0.000	162	95	134	5	133
1-06	324	184	16953	0.01	0.05	0.002	0.137	0.006	0.02	0.000	201	104	130	5	126
1-07	359	349	19783	0.02	0.052	0.002	0.132	0.005	0.018	0.000	299	88	126	4	117
1-09	419	803	20749	0.04	0.057	0.002	0.138	0.005	0.018	0.000	491	80	131	4	112
1-10	555	703	33551	0.02	0.052	0.002	0.124	0.004	0.017	0.000	272	75	119	3	111
1-11	278	140	16143	0.01	0.05	0.002	0.14	0.005	0.02	0.000	176	70	133	4	129
2-01	183	948	8213	0.12	0.059	0.003	0.157	0.007	0.019	0.000	571	94	148	6	121
2-03	437	662	24968	0.03	0.052	0.002	0.122	0.005	0.017	0.000	294	97	117	4	109
2-05	304	177	21370	0.01	0.051	0.002	0.129	0.005	0.018	0.000	224	87	123	5	115
2-06	679	585	40585	0.01	0.052	0.003	0.132	0.007	0.018	0.001	297	141	126	6	117
2-07	145	102	8264	0.01	0.051	0.002	0.153	0.007	0.021	0.000	231	100	145	6	136
2-09	277	185	19784	0.01	0.047	0.002	0.122	0.004	0.019	0.000	31	71	117	4	118
2-10	334	393	22336	0.02	0.05	0.002	0.135	0.005	0.019	0.000	194	82	129	5	122
2-11	302	157	20720	0.01	0.049	0.002	0.136	0.006	0.02	0.000	151	86	129	5	126
2-13	642	452	45309	0.01	0.049	0.002	0.125	0.005	0.018	0.000	129	84	119	4	117
2-15	231	222	13740	0.02	0.048	0.002	0.145	0.006	0.022	0.000	108	76	137	5	139
2-17	247	523	12656	0.04	0.049	0.002	0.143	0.007	0.021	0.000	126	112	136	6	137
2-18	272	288	16888	0.02	0.05	0.002	0.14	0.006	0.02	0.000	180	92	133	5	128
LS-12(简单岩浆锆石)															
1-02	118	930	1584	0.59	0.052	0.004	0.157	0.011	0.022	0.001	291	129	148	9	142
1-04	185	1552	1225	1.27	0.053	0.004	0.155	0.012	0.021	0.000	338	167	147	10	136
1-05	69	513	904	0.57	0.065	0.006	0.197	0.018	0.022	0.001	764	188	183	15	142
1-06	45	331	612	0.54	0.06	0.004	0.183	0.011	0.022	0.000	613	132	171	10	141
1-08	46	242	1052	0.23	0.053	0.003	0.161	0.01	0.022	0.001	338	128	152	8	141
1-13	124	988	1302	0.76	0.049	0.003	0.147	0.008	0.022	0.000	144	115	139	7	140

续表 2:

分析点	含量(μg/g)			Th/U	同位素比值				年龄(Ma)							
	Pb	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ		
LS-12(简单岩浆锆石)																
1-14	70	429	1085	0.4	0.054	0.003	0.173	0.009	0.023	0.000	358	120	162	8	149	2
1-16	63	437	997	0.44	0.047	0.003	0.14	0.008	0.022	0.000	47	128	133	8	140	2
1-17	66	413	1209	0.34	0.046	0.003	0.142	0.009	0.022	0.000	10	130	135	8	143	2
1-18	136	1018	1778	0.57	0.055	0.003	0.163	0.008	0.021	0.000	415	111	154	7	136	2
1-20	66	415	1168	0.35	0.049	0.003	0.149	0.009	0.022	0.000	157	135	141	8	140	2
2-03	50	418	818	0.51	0.054	0.002	0.161	0.007	0.021	0.000	385	102	152	6	136	2
2-04	27	200	429	0.47	0.054	0.004	0.16	0.011	0.022	0.000	354	156	151	10	140	2
2-06	20	126	519	0.24	0.049	0.003	0.149	0.009	0.022	0.000	170	126	141	8	138	2
2-08	10	38	313	0.12	0.055	0.003	0.165	0.01	0.022	0.000	394	135	155	9	140	2
2-09	55	363	1471	0.25	0.045	0.002	0.14	0.005	0.023	0.000	-30	73	133	5	144	2
2-10	27	227	500	0.45	0.045	0.003	0.136	0.008	0.022	0.000	-39	133	130	8	140	2
LS-12(核边结构锆石)																
1-01	25	11	1271	0.01	0.053	0.005	0.159	0.013	0.022	0.000	334	195	150	12	138	2
1-03	173	636	7772	0.08	0.051	0.002	0.153	0.006	0.021	0.000	240	82	145	5	136	2
1-07	88	151	2400	0.06	0.066	0.012	0.195	0.036	0.022	0.000	793	411	181	31	138	3
1-09	52	92	2253	0.04	0.049	0.003	0.155	0.01	0.023	0.000	127	133	146	8	147	3
1-10	1565	2047	2478	0.83	0.066	0.002	0.241	0.041	0.133	0.002	819	63	819	19	805	11
1-12	363	429	856	0.5	0.069	0.003	0.145	0.067	0.141	0.003	884	98	865	29	848	15
1-19	1134	1440	1677	0.86	0.062	0.003	0.145	0.052	0.131	0.003	679	84	775	24	794	18
1-21	393	489	760	0.64	0.057	0.003	0.153	0.052	0.132	0.003	495	102	731	26	800	15
1-22	364	816	6300	0.13	0.058	0.002	0.181	0.009	0.023	0.001	543	74	169	8	144	5
1-23	75	230	1801	0.13	0.051	0.004	0.153	0.012	0.022	0.000	231	183	144	10	139	2
1-24	745	629	1113	0.56	0.081	0.007	0.1828	0.253	0.139	0.003	1223	283	1056	91	840	19
1-25	271	304	688	0.44	0.065	0.003	0.202	0.052	0.132	0.003	759	84	801	24	802	15
1-26	49	147	1800	0.08	0.05	0.002	0.152	0.007	0.022	0.000	174	101	144	6	142	2
1-27	333	322	991	0.32	0.063	0.002	0.231	0.038	0.141	0.002	711	59	815	17	848	11
1-28	212	240	433	0.55	0.066	0.003	0.233	0.045	0.136	0.002	801	74	816	21	822	10
1-29	35	75	876	0.09	0.046	0.002	0.15	0.007	0.024	0.000	905	106	142	6	150	3
1-30	101	111	198	0.56	0.069	0.003	0.304	0.062	0.136	0.002	905	95	847	27	822	12
2-05	67	68	274	0.25	0.066	0.002	0.278	0.041	0.138	0.001	819	66	836	18	834	8



(a), (b) 样品 LS-9 中热液锆石 U-Pb 谐和图及加权平均年龄图; (c), (d) 样品 LS-12 中简单岩浆锆石 U-Pb 谐和图及加权平均年龄图; (e), (f) 样品 LS-12 中核边结构锆石核部岩浆锆石 U-Pb 谐和图及加权平均年龄图; (g), (h) 样品 LS-12 中核边结构锆石边部变质增生锆石 U-Pb 谐和图及加权平均年龄图。

图 7 庐山地区花岗伟晶岩脉不同成因锆石 U-Pb 谐和图及加权平均年龄图

Fig.7 Diagrams of U-Pb concordia and weighted average age of zircons with different origin

表 3 庐山地区花岗伟晶岩脉中多期不同成因锆石矿物学、地球化学、年代学特征汇总
Table 3 Characteristics of multi-period zircons from pegmatite dikes in the Lushan area

样号	锆石类型	矿物学特征	Th/U	稀土元素特征	年龄(Ma)	解释
LS-9	热液锆石	颗粒较小, 他形粒状, 褐黑色, 几乎不透明, 表面发育大量孔洞且有包裹体, 海绵状结构	0.01~0.04	REE富集, 稀土配分曲线较平缓($(Sm/La)_N=5.62\sim 104.64$, 极低Ce异常($\delta Ce=0.62\sim 1.39$)和Eu负异常($\delta Eu=0.06\sim 0.26$), U、Hf、Nb、Ta含量较岩浆锆石均富集	123.0 \pm 4.4	原生锆石形成时间早于~123 Ma
	简单岩浆锆石	半自形-自形短柱状, 发育有扇形分带或弱岩浆振荡环带	0.12~1.27	普通铅含量较低, LREE亏损, HREE富集, 从LREE陡倾至HREE, ($(Sm/La)_N=73.32\sim 4238.06$, 具高Ce正异常和Eu负异常($\delta Ce=9.29\sim 49.29$, $\delta Eu=0.12\sim 0.37$))	140.5 \pm 1.7	研究区岩浆活动发生时间
LS-12	核边结构锆石	核部: 部分核部发育有弱岩浆振荡环带	0.25~0.86	Σ REE较高且稀土配分曲线较平缓, Ce正异常和Eu负异常均较小($\delta Ce=2.33\sim 23.87$, $\delta Eu=0.04\sim 0.21$)	824 \pm 13	观音桥片麻状花岗岩发生重熔被继承而来的老锆石
		边部: 变质增生区域形状不规则, 部分切割核部锆石振荡环带	0.01~0.13	稀土配分曲线分布变化较大, 无明显规律	140.4 \pm 3.7	老的继承锆石在中生代岩浆活动中发生变质增生

生锆石的加权平均年龄为 140.4 \pm 3.7 Ma (MSWD=3.4), 简单岩浆锆石的加权平均年龄为 140.5 \pm 1.7 Ma (MSWD=2.3)。核部锆石的年龄与观音桥岩体的形成时代(823 \pm 64 Ma)在误差范围内一致(李武显等, 1998)。结合前人研究认为赣北地区燕山期花岗岩属陆壳重熔型(马长信和项新葵, 1999; 张海祥等, 1999), 因此推测花岗伟晶岩脉中老的岩浆锆石是燕山期岩浆活动期间观音桥岩体发生重熔被继承而来; 变质增生边锆石与简单岩浆锆石的年龄高度一致, 且年龄与星子群中高级变质作用的峰期变质年龄 142.6 \pm 1.5 Ma 高度吻合, 这一结果表明研究区的岩浆活动发生于 140 Ma 左右, 这期岩浆活动导致了星子群的中低压中高温变质。

样品 LS-9 中锆石发育典型的海绵状结构, Th/U=0.01~0.04, 普通 Pb 和 U 含量偏高, 稀土配分曲线平缓, 显示典型的热液锆石特征。热液锆石的发现及报道在星子地区多年的研究中属首次, 具有重要意义。热液成因锆石近年来成为国内外研究的热点之一, 关于热液锆石的分类及成因已取得了一些成果(Tomaschek et al., 2003; Hoskin, 2005; Pettke et al., 2005; 朱永峰和宋彪, 2006; Geisler et al., 2007; 张必龙等, 2011)。海绵状结构热液锆石是典型的流体溶解-再沉淀的结果, Tomaschek et al. (2003)认为这种作用发生于高压低温变质环境下, 但 Pelleter et al. (2007)、包志伟等(2009)及张必龙等(2011)报道在岩浆热液环境中也能形成这类锆石。实验得到 LS-9 中热液锆石 Tera-Wasserburg 图上得到不一致曲线的交点年龄为 123.9 \pm 8.2 Ma。由于海绵状结构锆石是原生锆石经岩浆演化后期的热液淋滤、溶解改造而

成(张必龙等, 2011), 将得到的锆石年龄与其 U 含量进行相关性分析, 发现二者间呈负相关, 表明其原生锆石的 U-Pb 体系在后期改造中遭到了破坏, 其原生锆石的形成年龄应早于实验得到的~123 Ma, 可能也形成于~140 Ma 岩浆活动期间。综合得到的年龄信息, 认为研究区在 140 Ma 左右发生过一次较为强烈的岩浆活动。

4.2 变形时代

星子群顶部及上覆新元古代盖层中变形构造发育, 由星子群顶部向盖层方向依次发育顺层韧性剪切变形带和顺层韧性剪切固态流变褶皱变形带(顺层流褶带)(任升莲等, 2014), 总体表现为从星子群顶部向上由结晶塑性向韧性-脆性过渡(尹国胜和谢国刚, 1996; 任升莲等, 2014)。关于强烈构造变形事件的时代, 尹国胜和谢国刚(1996)等对处于变形带中的伟晶岩和石英脉进行 K-Ar 年代学研究, 白云母 K-Ar 给出了 130 Ma 左右的年龄, 全岩 K-Ar 年龄给出 100~120 Ma 及 <100 Ma 两个年龄段; Lin et al. (2000)分别对星子群与上覆震旦系接合面石英砂岩和星子群顶部韧性剪切带中的同构造白云母进行 Ar-Ar 定年, 得到 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄变化范围分别为 113.4~125.7 Ma 和 125.6 \pm 1.2 Ma; 朱清波等(2010)得到星子群顶部韧性剪切带内同构造白云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 140.4 \pm 1.7 Ma。

本次对变形花岗伟晶岩脉进行锆石 U-Pb 定年, 得到其侵位时代为 140.5 \pm 1.7 Ma, 指示研究区构造变形事件的发生应不早于这一年龄, 结合前人的研究成果认为研究区的构造变形事件发生在 140 Ma 左右, 与研究区中生代的岩浆活动同步。

5 结 论

本次研究对侵位于星子群片岩中的糜棱岩化变形花岗伟晶岩脉进行了详细的锆石年代学研究, 发现岩脉中存在有3期不同成因的锆石:

(1) 加权平均年龄为 824 ± 13 Ma 的继承岩浆锆石, 这些锆石是星子变质穹窿核部的新元古代观音桥岩体发生部分熔融时被新形成的岩浆房继承而来, 这一年龄为该岩体的侵位时间提供了更加精确的限定;

(2) 加权平均年龄为 140.5 ± 1.7 Ma 的大量简单岩浆锆石及相应同时形成的变质增生锆石, 这一年龄与星子群中高级变质作用的峰期变质时代高度吻合, 不仅表明研究区的岩浆活动发生于 140 Ma 左右, 而且指示正是这期岩浆活动导致了星子群的中低压中高温变质作用。另外, 由于伟晶岩脉发生了较为强烈的韧性变形, 认为研究区的构造变形事件应不早于岩脉的侵位, 综合已有研究成果认为研究区的构造变形事件与中生代的岩浆活动同步。

(3) 得到大量年龄在 ~ 123 Ma 左右的海绵状结构热液锆石, 由于此类锆石是由原生锆石经岩浆演化后期热液淋滤、溶解作用改造而成, 其原有的 U-Pb 体系已发生破坏, 认为其锆石形成年龄应早于 ~ 123 Ma, 可能也形成于 ~ 140 Ma 岩浆活动期间。

致谢: 本次实验工作得到了中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室电子探针室郑曙老师和激光剥蚀电感耦合等离子体质谱实验室实验人员的大力协助, 此外, 两位审稿专家对本文的修改和完善提出了许多宝贵的意见和建议, 在此一并表示感谢!

参考文献(References):

包志伟, 王强, 白国典, 赵振华. 2009. 糜棱岩化-绢云母化对东秦岭方城正长岩中锆石 U-Pb 体系的影响. 地球化学, 38(1): 27-36.

高林志, 黄志忠, 丁孝忠, 刘燕学, 张传恒, 王自强, 庞健峰, 韩坤英. 2012. 庐山筲箕洼组与星子岩群地层关系及 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄的制约. 地球学报, 33(3): 295-304.

关俊朋, 何斌, 李德威. 2010. 庐山地区星子群碎屑锆石 SIMS U-Pb 年龄及其地质意义. 大地构造与成矿学, 34(3): 402-407.

江西省地质矿产勘查开发局调查研究大队. 1994. 海会幅 H-50-89-A 1/5 万地质图说明书.

李武显, 徐夕生, 周新民, 谢国刚, 李均辉, 李惠民. 1998.

庐山“星子杂岩”中绿帘石花岗岩的定年和成因. 大地构造与成矿学, 44(2): 143-148.

李武显, 周新民, 李献华, 谢国刚, 李均辉. 2001. 庐山“星子变质核杂岩”中伟晶岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地球科学——中国地质大学学报, 26(5): 491-495.

马长信, 项新葵. 1999. 赣北燕山期花岗岩浆的底辟伸展造山作用. 华东地质学院学报, 1: 1-10.

任升莲, 张妍, 杨帆, 胡达, 黄鹏, 王微, 张俊杰. 2014. 庐山变质核杂岩基底拆离的变形特征及形成条件. 地质科学, 2(49): 529-541.

沈廷远. 1988. 关于星子混合杂岩形成时代及地质背景的分析.

王继林, 何斌, 关俊朋. 2013. 江西庐山地区星子群变质时代及变质机制探讨. 大地构造与成矿学, 37(3): 493-502.

吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. 科学通报, 49(16): 1589-1604.

尹国胜, 谢国刚. 1996. 江西庐山地区伸展构造与星子变质核杂岩. 中国区域地质, 1: 17-26.

张必龙, 朱光, 谢成龙, 陈印, 鞠林雪, 王浩乾. 2011. 辽西医巫闾山地区晚侏罗世花岗岩脉中热液锆石的成因与定年. 地质科学, 46(2): 483-509.

张海祥, 张伯友. 2003. 赣北星子群变质岩的原岩恢复及其形成构造环境判别. 中国地质, 30(3): 254-260.

张海祥, 朱炳泉, 涂湘林, 孙大中. 1999. 庐山“星子变质核杂岩”中海会花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及大地构造意义. 矿物岩石, 19(3): 69-72.

朱清波, 杨坤光, 王艳. 2010. 庐山变质核杂岩伸展拆离和岩浆作用的年代学约束. 大地构造与成矿学, 34(3): 391-401.

朱永峰, 宋彪. 2006. 新疆天格尔糜棱岩化花岗岩的岩石学及其 SHRIMP 年代学研究: 兼论花岗岩中热液锆石边的定年. 岩石学报, 22(1): 135-144.

Geisler T, Schaltegger U and Tomaschek F. 2007. Re-equilibration of zircon in aqueous fluid and melts. *Element*, 3: 43-50.

Hoskin P W O. 2005. Trace-element composition of hydrothermal zircon and the alteration of Hadean zircon from the Jack Hills, Australia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69(3): 637-648.

Lin W, Faure M, Monié P, Schärer U, Zhang L S and Sun Y. 2000. Tectonics of SE China: New insight from the Lushan massif (Jiangxi Province). *Tectonics*, 19(5): 852-871.

Liu Y S, Gao S, Hu Z C, Gao C G, Zong K Q and Wang D.

- 2010a. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths. *Journal of Petrology*, 51: 537–571.
- Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q, Gao C G, Gao S, Xu J and Chen H H. 2010b. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 55(15): 1536–1546.
- Liu Y S, Hu Z C, Gao S, Günther D, Xu J, Gao C G and Chen H H. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. *Chemical Geology*, 257: 34–43.
- Ludwig K R. 2003. ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, California.
- Pelletier E, Cheilletz A, Gasquet D, Mouttaqi A, Annich M, Hakour A E, Deloule E and Feraud G. 2007. Hydrothermal zircons: A tool for ion microprobe U-Pb dating of gold mineralization (Tamlalt-Menhouhou gold deposit-morocco). *Chemical Geology*, 245: 135–161.
- Pettke T, Audetat A, Schaltegger U and Heinrich C A. 2005. Magmatic-to-hydrothermal crystallization in the W-Sn mineralized Mole granite (NSW, Australia) part II: Evolving zircon and thorite trace element chemistry. *Chemical Geology*, 220: 191–213.
- Tomaschek F, Kennedy A K, Villa I M, Lagos M and Ballhaus C. 2003. Zircons from Syros, Cyclades, Greece—Recrystallization and mobilization of zircon during high-pressure metamorphism. *Journal of Petrology*, 44(11): 1977–2002.

Types and Genesis of Zircons from Deformational Pegmatite Dikes in Xingzi Metamorphic Dome, Lushan Area

WANG Jilin^{1,2}, HE Bin³ and JIN Lijie^{2,4}

(1. Shandong Bureau Testing Center of China Metallurgical Geology Bureau, Jinan 250014, Shandong, China; 2. Faculty of Earth Science, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 3. State Key Laboratory of Isotope Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guangzhou 510640, Guangdong, China; 4. No.1 Institute of Geology and Mineral Resource Exploration of Shandong Province, Ji'nan 250014, Shandong China)

Abstract: The Xingzi Group is located in the core of the Xingzi metamorphic dome, which experienced multistage metamorphism within which an amphibolites facies metamorphism was dated at 142.6 ± 1.5 Ma. Field observations show that the metamorphism may have been related to the Mesozoic magmatism in the study area, but the available ages of the Mesozoic intrusions are all later than that of the Xingzi Group's peak metamorphic time. In order to locate the possible the heat source for the metamorphism, we analyzed the zircons from the deformed pegmatite dikes that emplaced at the end of the Mesozoic magmatism. There are three kinds of zircons in the pegmatite dikes. The first kind of zircons show core-rim structure. The cores of the zircons are magmatic origin with weighted average age of 824 ± 13 Ma, and were likely inherited from the Neoproterozoic Guanyinqiao granite, whereas the rims are metamorphic overgrowth which were dated at about 142 Ma. The second kind of zircons are magmatic origin showing simple internal structure, and are dated at 140.5 ± 1.7 Ma. The age of the magmatic zircons indicates that the Mesozoic magmatic activity in the study area should not be latter than 140.5 ± 1.7 Ma. Moreover, this age is consistent with the peak metamorphic time of the Xingzi Group. We thus consider that the Mesozoic magmatism caused the metamorphism of the Xingzi Group. In addition, the deformation of the pegmatite should be postdate its emplacement, we propose the deformation event in the study area maybe take place simultaneously with the magmatism. The third kind of zircons are hydrothermal in origin, commonly characterized by sponge texture, high content of U, and yielding U-Pb ages of about 123 Ma.

Keywords: Xingzi metamorphic dome; deformational pegmatite dikes; zircon U-Pb dating; magmatism; deformation event