2012 年 5 月　　地　球　学　报　　May 2012
第 33 卷 第 3 期: 295-304　　Acta Geoscientica Sinica　　Vol.33 No.3: 295-304
www.cagsbulletin.com　www.地球学报.com

庐山箬箕洼组与星子岩群年代地层关系及 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄的制约

高林志[1)]，黄志忠[2)]，丁孝忠[1)]，刘燕学[1)]，张传恒[3)]，王自强[3)]，庞健峰[1)]，韩坤英[1)]

1)中国地质科学院地质研究所，北京 100037;
2)江西省地质调查研究院，江西南昌 330201;
3)中国地质大学(北京)，北京 100083

摘　要：本文报道在庐山箬箕洼组中获得细碧岩 SHIRMP 锆石 U-Pb 年龄(840±6) Ma, MSWD=1.3，流纹岩锆石 U-Pb 年龄(833±4) Ma, MSWD=1.4，和流纹岩锆石 U-Pb 年龄(831±3) Ma，对应的 MSWD=1.47。而在星子群流纹岩中获得 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄为(825±5) Ma，对应的 MSWD=0.46。笔者依据上述精确锆石年龄，首次提出将箬箕洼组明确定位于星子岩群之下。本文结合“江南造山带”锆石 U-Pb 年龄：东部变质基底的双桥山群，西部变质基底梵净山群和似盖层下江群以及中部变质基底冷家溪群和似盖层板溪群的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄，将箬箕洼组定位于“武陵运动”之下的新元古代地层。依据星子岩群年龄数据，首次将星子岩群明确定位于箬箕洼组之上与双桥山群为同期的深变质岩。该年龄对限定区域地层对比和构造演化都有着重要意义。上述锆石 U-Pb 年龄标示了赣西北地区同样存在 820 Ma 界面上下的新元古代地层，为江南古陆变质地层的对比提供了新的年代学数据。

关键词：箬箕洼组；星子岩群；锆石 SHRIMP 定年；“江南造山带”；赣西北地区
中图分类号：P534.3; P597.1　　文献标志码：A　　**doi**: 10.3975/cagsb.2012.03.03

CAGS

The Geochronological Relationship between the Shaojiwa Formation and the Xingzi Complex Group in Northwestern Jiangxi and the Constraints on Zircon SHRIMP U-Pb Age

GAO Lin-zhi[1)], HUANG Zhi-zhong[2)], DING Xiao-zhong[1)], LIU Yan-xue[1)], ZHANG Chuan-heng[3)], WANG Zi-qiang[3)], PANG Jian-feng[1)], HAN Kun-ying[1)]

1) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100037;
2) *Jiangxi Institute of Geological Survey, Nanchang, Jiangxi* 330201;
3) *China University of Geosciences, Beijing* 100083

Abstract: Ages of (840±6) Ma (MSWD=1.3), (833±4) Ma (MSWD=1.4) and (831±3) Ma (MSWD =1.47) were obtained for spilite and rhyolite from the Shaojiwa Formation. The Xingzi Complex Group has the age of $^{206}Pb/^{238}U$ (825±5) Ma (MSWD =0.46). In combination of the SHRIMP U-Pb dating of the spilite and rhyolite of the Shaojiwa Formation in the Jiangnan oregen, the authors have determined for the first time that the Xingzi Complex Group is of Neoproterozoic period and lies below the Shaojiwa Formation. These isotopic data from the Shaojiwa Formation are very important for regional correlation of the strata of the corresponding period and tectonic evolution. The zircon U-Pb ages mentioned above determine that Neoproterozoic strata around the age of 820 Ma are developed in northwestern Jiangxi Province. These data contribute to the stratigraphic subdivision and

本文由中国地质调查局地质大调查项目“中国新元古代年代地层格架及其全球对比”(编号: 121201011120131)和科技部科技基础性工作专项“中国地质志欧亚大陆大地构造图编制”(编号: 2011FY120100)联合资助。
收稿日期: 2012-03-24；改回日期: 2012-04-13。责任编辑：张改侠。
第一作者简介：高林志，男，1955 生。研究员。主要从事生物地层、层序地层、灾变事件地层研究。通讯地址: 100037，北京市西城区百万庄大街 26 号。电话: 010-68999690。E-mail: gaolzh@cags.net.cn。

correlation of the metamorphosed rocks in whole Jiangnan old land and help geologists investigate the geological background and ore-forming conditions of the Jiangnan Orogen.

Key words: Shaojiwa Formation; Xingzi Complex Group; zircon SHRIMP dating; Jiangnan orogen; northeastern Jiangxi

在庐山南麓发育一套中深变质岩(星子群)和一套浅变质火山岩系，根据星子群岩石组合及其构造变形特征和单颗粒 U-Pb 锆石年龄，将其时代定为新太古代(项新葵等，1993)。随后，依据斜长角闪片岩 TIMS U-Pb 年龄将星子群归属古元古代(谢国刚等，1997)，而与星子群连续沉积的浅变质火山岩系，通过 1∶5 万地质填图及区域对比后，正式创建了庐山垄群，创名标准地点在庐山南麓箬箕洼—庐山垄—汉阳峰一带(谢国刚等，1996)。在区域地层序列上，传统认识庐山垄群置于双桥山群之上，南华系之下。20 世纪 90 年代，双桥山群已被重新厘定为(由下而上)横涌组、计林组、安乐林组、修水组(杨明桂等，1998)，由于 SHRIMP 锆石 U-Pb 微区测年技术引进，分别获得双桥山群横涌组和安乐林组斑脱岩锆石 U-Pb 年龄((831±6) Ma 和(829±6) Ma，高林志等，2008，2009)将其修订为新元古代地层；最新的修水组凝灰岩中锆石 U-Pb(824±6) Ma，从而结束了解体双桥山群之争。另外，江南造山带南端桂北四堡群顶部获得斑脱岩的锆石 U-Pb 年龄(841±8) Ma(高林志等，2010a)和江南造山带中段冷家溪群斑脱岩锆石 U-Pb 年龄(834~822 Ma)，最大程度地限定了江南造山带变质基底的年代学标定(高林志等，2010b)。然而，赣西北庐山地区元古代地层存在两大未解之谜，①双桥山群之下有无更老变质基底地层，特别是庐山地区星子岩群与双桥山群的关系？②箬箕洼组与双桥山群关系？因此，对箬箕洼组和星子岩群的关系和同位素年龄重新测定(薛怀民等，2010；关俊朋等，2010；徐有华等，2008)，将是我们重塑“江南造山带”中部地质背景、成矿条件，以及解决整个江南造山带的地层划分和地层对比的关键(李江海等，1999)。董树文等(2010)在庐山垄群中的箬箕洼组英安岩中获得 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年(840±7) Ma，而庐山地区星子岩群碎屑锆石 SIMS 锆石 U-Pb 年龄(834±4) Ma，将星子岩群定位于新元古界。本文将进一步提供赣西北地区箬箕洼组细碧岩和流纹岩以及星子岩群的高精度锆石 U-Pb 定年结果，对于该地区的地层定位和与周边地层对比尤为重要。

1 地层序列及采样层位

赣西北庐山脚下桃花源剖面，汉阳峰组之下

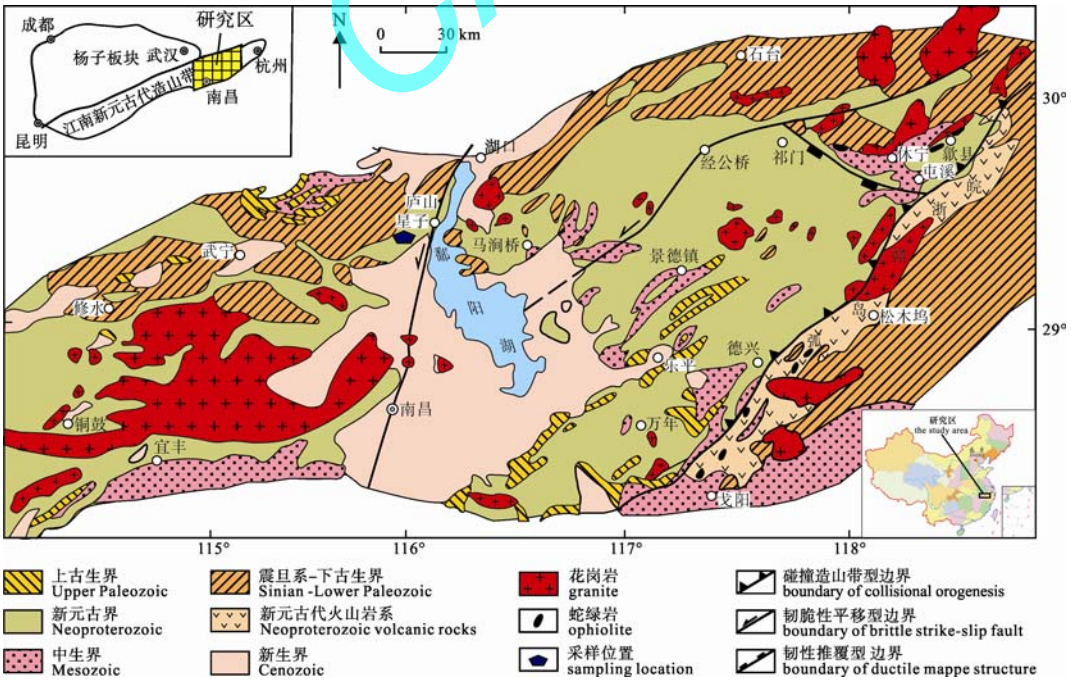


图 1 扬子地台新元古代地层分布和同位素采样点(据徐备等，1990 修改)

Fig. 1 Distribution of Neoproterozoic strata and sequences in Yangtze plate and sampling sites in Jiangxi Province (modified after XU Bei et al., 1990)

CAGS

发育了一套低变质的火山岩夹碎屑岩地层(箬箕洼组), 与星子杂岩连续沉积(谢国刚等, 1996), 对其年代学研究始终是中国地质学家探索的目标。其争论焦点是江南造山带元古代地层之下是否存在更老的变质岩基底。

本文年龄样品分别采自桃花源箬箕洼组剖面(图 1, 图 2a、c、d)和庐山星子岩群剖面(图 2e)。

D20101112-2a,b(箬箕洼组细碧岩), 采样坐标: N29°30.198′; E115°55.855′。该样品由斑晶和基质组成。斑晶由钠长石构成, 半自形-近自形板状, 0.4~0.5 mm, 轻微绿帘石化和次闪石化。基质主要由钠长石(60%)、暗色矿物(40%)构成。暗色矿物被次闪石和绿帘石交代无残留, 杂乱填隙于斜长石粒间。岩石被石英、绿帘石、黑云母及少量绿泥石等呈堆状星散交代。岩石内具少量气孔、杏仁体。

LXC20101112-3(箬箕洼组, 黑云绢云变质流纹岩), 采样坐标: N29°28.476′; E115°54.279′。该样品由斑晶、基质变质矿物组成。斑晶由斜长石(5%)、石英(5%)构成, 大小一般为 0.2~2.0 mm, 零散定向分布。斜长石半自形-近半自形板状, 具绢云母化、黝帘石化、鳞片状黑云母化等。石英近半自形粒状, 有的为溶蚀状。具波状、带状消光。基质(90%)由长英质构成, 具霏细-微晶结构, 定向分布。变质矿物包括绢云母、黑云母、黝帘石, 以绢云母为主, 定向分布, 部分集合体呈条纹状。

Z20101112-4(箬箕洼组, 黑云绢云变质流纹岩), 采样坐标: N29°27.640′; E116°53.702′。该样品由斑晶、基质变质矿物组成。斑晶由斜长石(10%~15%)、石英(10%)构成, 大小一般 0.2~3.0 mm, 零散定向分布。斜长石半自形-近半自形板状, 具绢云母化、黝帘石化、鳞片状黑云母化等假像。石英近半自形粒状, 有的溶蚀状。具波状、带状消光。基质(75%~80%)由长英质构成, 具霏细-微晶结构, 定向分布。变质矿物包括绢云母、黑云母、黝帘石, 以绢云母为主, 定向分布, 部分集合体呈条纹状。

C20101113-4(星子岩群, 黑云绢云变质流纹岩), 采样坐标: N29°26.929′; E115°56.211′。该样品由斑晶、基质变质矿物组成。斑晶由斜长石(10%)、石英(10%)构成, 大小一般 0.2~3.0 mm, 零散定向分布。斜长石半自形-近半自形板状, 具绢云母化、黝帘石化、鳞片状黑云母化等假像。石英近半自形粒状, 有的溶蚀状。具波状、带状消光。部分斑晶两段见有石英、绢云母构成的压力影。基质(80%)有长英质构成, 具霏细-微晶结构, 定向分布, 部分集合体呈似透镜状、堆状等零星分布。变质矿物包括绢云母、黑云母、黝帘石, 以绢云母为主, 直径一般<0.1 mm, 定向分布, 部分集合体呈条纹状。

本文所采集的锆石年龄样品, 对星子岩群的限定和与双桥山群对比关系的年代地层学标定有着重要的年代学意义。

2　分析方法

锆石 U-Pb 年龄测定在西澳大利亚佩斯理工大学的 SHRIMP-II 上进行, 详细分析流程见刘敦一等(2003)、Black 等(2003a, b)。原始数据的处理和锆石 U-Pb 谐和图的绘制采用 Ludwig 博士编写的 Squid 和 Isoplot 程序(Black et al., 2003a; Ludwig, 2002)。普通铅校正根据 Stacey & Kramers 给出的模式计算得到(Stacey et al., 1975)。数据表中, 年龄的误差为 1σ 绝对误差, 同位素比值的误差为 1σ相对误差; 文中所使用的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄加权平均值和谐和年龄计算值为 95%的置信度误差。

3　分析结果

锆石的阴极发光图象 Cathodoluminescence (CL) 特征: 所采锆石虽形态不相同, 但是 CL 图像显示出典型的岩浆生长振荡环带和韵律结构, 均属于岩浆结晶的产物(图 3)。靶台上锆石样品在锆石的 CL 图像显示下, 对照可见光下的特征进行选样, 排除裂隙发育和较多包裹体的颗粒的锆石。全部样品的锆石晶型完好, 为浅黄色-无色透明钝圆形晶体。锆石粒度多在 100~200 μm 之间。

锆石的 U、Th 含量及 Th/U 比值: 大量的研究表明, 岩浆锆石的 U、Th 含量较高, Th/U 比值较大(一般大于 0.4。①箬箕洼组(细碧岩)样品(D20101112-2a,b)16 个测点中 U 含量变化范围为 154×10^{-6}~757×10^{-6}, 个别样品偏高; Th 含量变化范围为 51×10^{-6}~422×10^{-6}, 个别样品偏高; Th/U 值变化范围为 0.38~1.32(表 1)。②箬箕洼组(流纹岩)样品(LXC20101112-3)20 个测点中 U 含量变化范围为 53×10^{-6}~293×10^{-6}; Th 含量变化范围为 36×10^{-6}~289×10^{-6}; Th/U 值变化范围为 0.53~1.27(表 2)。③箬箕洼组(流纹岩)样品(Z20101112-4)17 个测点中 U 含量变化范围为 70×10^{-6}~721×10^{-6}; Th 含量变化范围为 41×10^{-6}~772×10^{-6}; Th/U 值变化范围为 0.43~1.11(表 3)。④星子岩群(流纹岩)样品(C20101113-4)8 个测点中 U 含量变化范围为 94×10^{-6}~315×10^{-6}; Th 含量变化范围为 48×10^{-6}~293×10^{-6}; Th/U 值变化范围为 0.46~0.96(表 4)。上述这些分析点均位于明显的岩浆环带部位。

CAGS



CAGS

图 2 筲箕洼组及星子岩群流纹岩野外照片

Fig. 2 Field photographs of Shaojiwa Formation and Xingzi Complex Group

A-桃花源杜村筲箕洼组细碧岩; B-桃花源楼下村箕洼组流纹岩; C-桃花源张家潭村箕洼组流纹岩; D-庐山茶园星子岩群流纹岩; E-庐山茶园星子岩群二云二长变粒岩

A-spilite from Shaojiwa Formation at Ducun village; B-rhyolite from Shaojiwa Formation at Louxia village; C-rhyolite from Shaojiwa Formation at Zhangjiatan village; D-rhyolite from Xingzi Complex Group at Chayuan, Lushan area; E-two mica, two feldspar leptynite from Xingzi Complex Group at Chayuan, Lushan area



图 3　箬箕洼组及星子岩群凝灰岩锆石特征

Fig. 3　Cathodoluminescence (CL) images of zircons from Shaojiwa Formation and Xingzi Complex Group

表 1　箬箕洼组样品(D20101112-2a,b)SHRIMP U-Pb 年龄测定结果

Table 1　SHRIMP dating results of zircons of D20101112-2a,b sample from Shaojiwa Formation

测点	$^{206}Pb_c$ /%	U /10^{-6}	Th /10^{-6}	$^{232}Th/^{238}U$	$^{206}Pb^*$ /10^{-6}	$^{206}Pb/^{238}U$ /Ma	$^{207}Pb/^{206}Pb$ /Ma	不谐和性/%	$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$ 比值	±1σ /%	$^{207}Pb^*/^{235}U$ 比值	±1σ /%	$^{206}Pb^*/^{238}U$ 比值	±1σ /%	误差相关系数
1.1	0.59	106	51	0.49	4.81	330± 6	429±250	23	0.0554	11	0.401	11	0.05245	1.9	0.165
2.1	0.30	152	82	0.56	18.2	839±12	804±72	–4	0.0659	3.4	1.263	3.7	0.1390	1.5	0.402
3.1	0.25	140	77	0.57	17.0	847±12	848±78	0	0.0673	3.8	1.304	4.1	0.1405	1.5	0.376
4.1	0.05	635	234	0.38	76.2	842±10	824±16	–2	0.06657	0.77	1.281	1.5	0.1395	1.3	0.863
5.1	0.10	323	160	0.51	38.4	834±14	793±31	–5	0.06559	1.5	1.249	2.4	0.1381	1.8	0.780
6.1	0.09	317	209	0.68	38.7	855±11	842±34	–2	0.0671	1.6	1.313	2.1	0.1419	1.4	0.646
7.1	0.09	113	72	0.66	13.5	836±18	876±74	5	0.0682	3.6	1.302	4.2	0.1384	2.3	0.532
8.1	0.56	199	133	0.69	24.7	865±12	731±73	–18	0.0637	3.4	1.262	3.7	0.1437	1.5	0.391
9.1	0.05	231	150	0.67	27.9	846±12	881±34	4	0.0684	1.7	1.323	2.3	0.1402	1.6	0.686
10.1	0.24	1824	178	0.10	147	578±7	721±20	20	0.06338	0.92	0.819	1.6	0.0938	1.3	0.818
11.1	0.28	928	1183	1.32	111	840±11	814±23	–3	0.06624	1.1	1.271	1.7	0.1391	1.3	0.775
12.1	0.13	174	101	0.60	20.6	831±11	875±44	5	0.0682	2.1	1.295	2.6	0.1377	1.5	0.566
13.1	0.79	136	79	0.60	15.7	807±11	827±91	2	0.0667	4.4	1.225	4.6	0.1333	1.5	0.325
14.1	—	331	315	0.98	39.7	844±11	883±30	4	0.06849	1.4	1.321	2.0	0.1399	1.4	0.690
15.1	0.19	466	422	0.94	55.3	832±10	829±21	0	0.06672	0.99	1.268	1.7	0.1378	1.3	0.804
16.1	0.17	170	85	0.52	20.3	838±11	853±36	2	0.0675	1.7	1.292	2.3	0.1389	1.5	0.649

注: Pb_c 为普通铅的 ^{206}Pb 占全部 ^{206}Pb 的百分比, Pb^*代表放射成因铅, 用于校正待测样品的并与之同时测定的标准样品的误差在 0.38%(1σ), 普通铅校正采用实测的 ^{204}Pb。

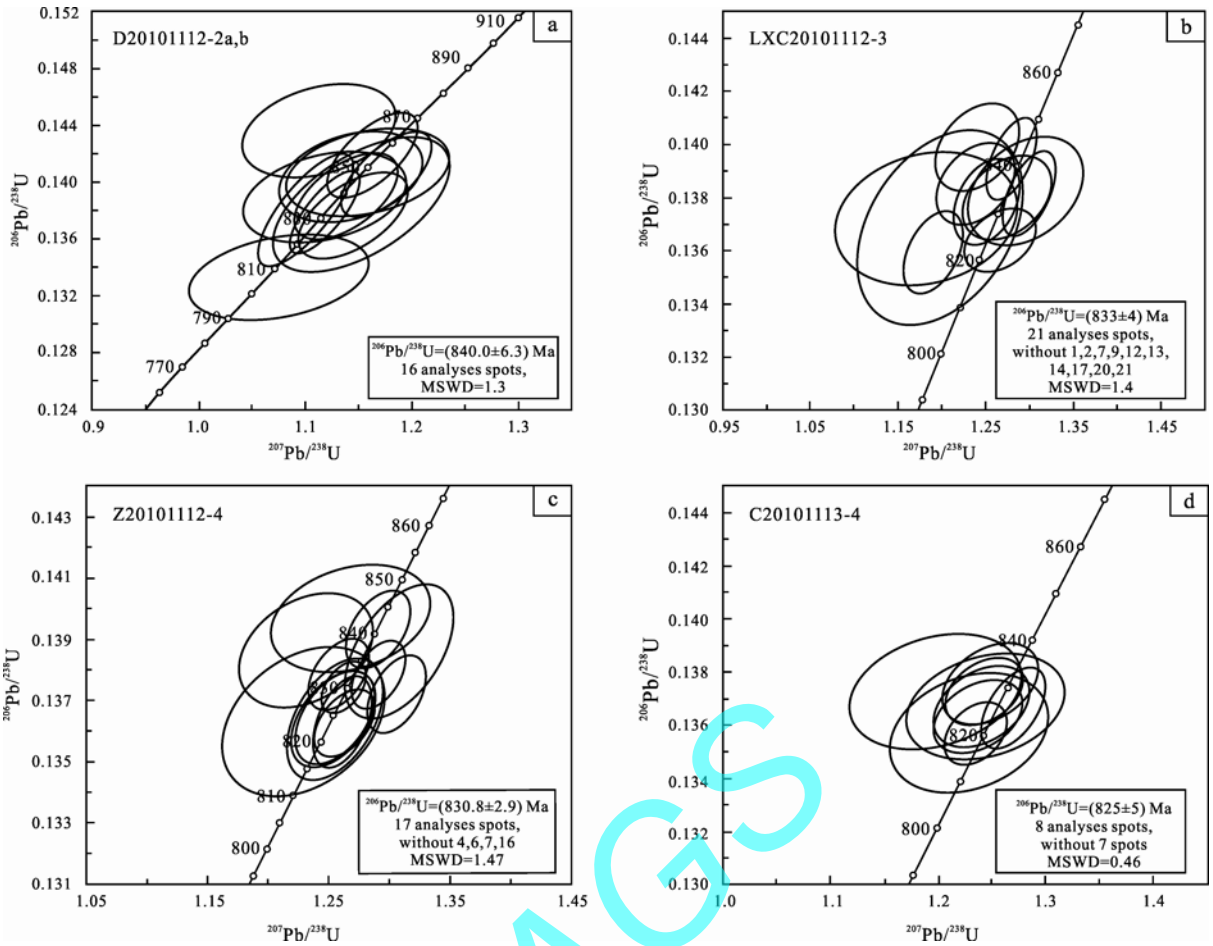


图 4 筲箕洼组及星子岩群凝灰岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 Zircon U-Pb concordant diagram of tuff bed in Xingzi Complex Group

锆石 U-Pb 年龄：①筲箕洼组(细碧岩)样品(D20101112-2a,b)共测试了 16 个数据点。其中 2 个数据点与主群不一致，其中数据点 1.1 可能为选矿分析混入锆石；数据点 10.1 为 U 偏高，铅丢失。其余 14 个数据点均位于谐和线或位于谐和线附近(图 4a)，14 个数据点的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄为(840±6) Ma，对应的 MSWD=1.3。$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄代表细碧岩的形成时代。②筲箕洼组(流纹岩)样品(LXC20101112-3)共测试了 21 个数据点，其中 11 个数据点均位于谐和线上(图 4b)；获得年龄(833±4) Ma，对应的 MSWD=1.4 (表 2)。$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄代表流纹岩的形成时代。③筲箕洼组(流纹岩)样品(Z20101112-4)共测试了 17 个数据点。其中 4 个数据点与主群不一致；数据点 7.1 为 U 偏高，铅丢失。其余 14 个数据点均位于谐和线或位于谐和线附近(图 4c)，13 个数据点的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄为(831±3) Ma，对应的 MSWD=1.47。$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄代表流纹岩的形成时代。④星子岩群(流纹岩)样品(C20101113-4)共测试了 8 个数据点。其中数据点 7.1 与主群不一致。其余 7 个数据点均位于谐和线或位于谐和线附近(图 4d)，7 个数据点的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄为(825±5) Ma，对应的 MSWD=0.46。$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄代表流纹岩的形成时代。

4 构造地层意义

筲箕洼组细碧岩锆石 U-Pb 年龄为(840±6) Ma (MSWD=1.3)，结合以上锆石的 CL 图像(图 3)和 Th/U 值(表 1)所显示的岩浆成因的特征，该定年结果应代表了筲箕洼组同沉积喷发的火山岩年龄。而桃花源楼下村筲箕洼组流纹岩中锆石 U-Pb 年龄(833±4) Ma (MSWD=1.4)；桃花源张家潭村筲箕洼组流纹岩中锆石 U-Pb 年龄(831±3) Ma，对应的 MSWD=1.47；庐山茶园星子岩群中流纹岩(C20101113-4)$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄为(825±5) Ma，对应的 MSWD=0.46。上述年龄基本限定了筲箕洼组和星子岩群均归属新元古代地层的沉积范畴，并提供了一个系列的锆石年龄谱系，即筲箕洼组年龄比星子岩群的年龄要更老一些。上述 4 个的锆石 U-Pb 年龄的报道将进一步为江南造山带新元古代地层划分和对比及构造古地理格局提供有力的同位素年代学证

GAGS

表 2　箬箕洼组样品(LXC20101112-3)SHRIMP U-Pb 年龄测定结果

Table 2　SHRIMP dating results of zircons of LXC20101112-3 sample from Shaojiwa Formation

测点	$^{206}Pb_c$ /%	U /10^{-6}	Th /10^{-6}	$^{232}Th/^{238}U$	$^{206}Pb^*$ /10^{-6}	$^{206}Pb/^{238}U$ /Ma	$^{207}Pb/^{206}Pb$ /Ma	不谐和性/%	$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$		$^{207}Pb^*/^{235}U$		$^{206}Pb^*/^{238}U$		误差相关系数
									比值	±1σ /%	比值	±1σ /%	比值	±1σ /%	
1.1	—	395	485	1.27	49.4	876.0± 4.2	855±19	−2	0.06755	0.90	1.356	1.0	0.14556	0.52	0.500
2.1	0.39	205	157	0.79	23.8	813.7± 5.3	767±54	−6	0.0648	2.6	1.202	2.6	0.13454	0.69	0.261
4.1	0.39	179	136	0.79	21.3	836.0± 5.8	771±48	−8	0.0649	2.3	1.239	2.4	0.1385	0.74	0.307
5.1	0.72	53	36	0.69	6.33	827±14	726±100	−14	0.0635	4.9	1.198	5.2	0.1368	1.8	0.337
6.1	0.09	210	152	0.75	25.2	841.5±5.7	823± 27	−2	0.06654	1.3	1.279	1.5	0.1394	0.73	0.494
7.1	0.37	156	82	0.54	4.59	216.2±3.0	198±140	−9	0.0501	6.0	0.235	6.2	0.03410	1.4	0.233
8.1	0.34	293	286	1.01	34.4	824.2±4.4	850± 42	3	0.0674	2.0	1.268	2.1	0.13639	0.57	0.271
9.1	—	204	144	0.73	23.4	808.8±8.4	841±24	4	0.06711	1.2	1.237	1.6	0.1337	1.1	0.688
10.1	0.65	161	105	0.68	18.5	804.3±6.1	742±87	−8	0.0640	4.1	1.173	4.2	0.1329	0.81	0.192
11.1	—	146	98	0.69	17.3	834.3±6.0	875±28	5	0.06823	1.3	1.300	1.5	0.1382	0.76	0.497
12.1	0.23	145	82	0.58	17.2	832.7±6.0	800±38	−4	0.0658	1.8	1.251	2.0	0.1379	0.77	0.389
13.1	0.19	168	130	0.80	20.5	853.8±5.9	868±34	2	0.0680	1.7	1.327	1.8	0.1416	0.74	0.408
14.1	—	294	309	1.09	35.4	846.5±4.4	859±20	1	0.06769	0.95	1.310	1.1	0.14032	0.56	0.508
15.1	0.43	150	102	0.70	18.2	843.9±6.2	753±52	−12	0.0643	2.4	1.241	2.6	0.1399	0.78	0.306
16.1	0.39	98	73	0.77	11.7	834.6±7.6	867±68	4	0.0680	3.3	1.295	3.4	0.1382	0.97	0.284
17.1	—	312	289	0.96	35.4	800.4±4.1	875±22	8	0.06820	1.1	1.243	1.2	0.13221	0.55	0.454
18.1	1.13	69	36	0.53	8.27	828.6±9.4	689±120	−20	0.0624	5.6	1.181	5.8	0.1372	1.2	0.210
19.1	0.31	162	95	0.61	19.2	833.1±6.0	840±53	1	0.0671	2.6	1.276	2.7	0.1380	0.77	0.287
20.1	0.43	158	98	0.64	18.5	821.6±5.8	728±36	−13	0.0636	1.7	1.192	1.9	0.1359	0.76	0.403
21.1	0.46	246	184	0.77	30.1	855.1±5.6	686±46	−25	0.0623	2.1	1.219	2.3	0.1418	0.71	0.313

注: Pb_c 为普通铅的 ^{206}Pb 占全部 ^{206}Pb 的百分比, Pb^*代表放射成因铅, 用于校正待测样品的并与之同时测定的标准样品的误差在 0.15%(1σ), 普通铅校正采用实测的 ^{204}Pb。

表 3　箬箕洼组样品(Z20101112-4)SHRIMP U-Pb 年龄测定结果

Table 3　SHRIMP dating results of zircons of Z20101112-4 sample from Shaojiwa Formation

测点	$^{206}Pb_c$ /%	U /10^{-6}	Th /10^{-6}	$^{232}Th/^{238}U$	$^{206}Pb^*$ /10^{-6}	$^{206}Pb/^{238}U$ /Ma	$^{207}Pb/^{206}Pb$ /Ma	不谐和性/%	$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$		$^{207}Pb^*/^{235}U$		$^{206}Pb^*/^{238}U$		误差相关系数
									比值	±1σ /%	比值	±1σ /%	比值	±1σ /%	
1.1	0.22	129	125	1.00	15.2	822.6±6.5	830± 38	1	0.0668	1.8	1.253	2.0	0.1361	0.84	±0.421
2.1	—	109	76	0.72	12.8	825.8±7.0	822±34	0	0.0665	1.6	1.253	1.9	0.1367	0.90	±0.487
3.1	0.02	200	84	0.43	23.5	824.9±5.1	844±27	2	0.06722	1.3	1.265	1.5	0.13651	0.65	±0.448
4.1	0.19	160	134	0.87	19.5	852.4±6.3	797±58	−7	0.0657	2.8	1.280	2.9	0.14149	0.7	±0.274
5.1	0.18	115	67	0.60	13.7	836.9±7.0	755±60	−11	0.0644	2.9	1.231	3.0	0.1386	0.89	±0.298
6.1	0.53	116	103	0.92	14.1	846.9±7.2	941±72	10	0.0704	3.5	1.363	3.7	0.1404	0.91	±0.251
7.1	1.75	96	55	0.59	11.2	808.0±9.4	679±180	−19	0.0621	8.4	1.144	8.5	0.1335	1.2	±0.146
8.1	—	251	181	0.75	29.4	822.6±4.9	846±25	3	0.06727	1.2	1.262	1.4	0.13611	0.63	±0.466
9.1	0.22	70	41	0.61	8.23	823.5±9.1	789±72	−4	0.0655	3.4	1.230	3.6	0.1363	1.2	±0.322
10.1	0.08	721	772	1.11	85.2	830.0±3.2	825±19	−1	0.06658	0.89	1.261	0.98	0.13741	0.41	±0.415
11.1	0.11	106	79	0.77	12.6	836.8±8.2	882±41	5	0.0684	2.0	1.308	2.2	0.1386	1.0	±0.468
12.1	0.03	258	232	0.93	30.9	840.9±4.8	843±25	0	0.06718	1.2	1.291	1.4	0.13933	0.61	±0.446
13.1	—	235	195	0.86	27.7	828.8±4.8	899±22	8	0.06901	1.0	1.305	1.2	0.13719	0.62	±0.508
15.1	0.02	370	346	0.97	43.8	832.6±4.2	865±21	4	0.06788	1.0	1.290	1.2	0.13786	0.53	±0.459
16.1	0.88	173	133	0.79	21.0	842.4±6.7	800±70	−5	0.0658	3.3	1.267	3.4	0.1396	0.85	±0.246
17.1	0.18	325	251	0.80	38.5	832.4±4.5	812±24	−3	0.06617	1.1	1.258	1.3	0.13783	0.58	±0.454

注: Pb_c 为普通铅的 ^{206}Pb 占全部 ^{206}Pb 的百分比, Pb^*代表放射成因铅, 用于校正待测样品的并与之同时测定的标准样品的误差在 0.15%(1σ), 普通铅校正采用实测的 ^{204}Pb。

CAGS

表 4 星子岩群流纹岩样品(C20101113-4)SHRIMP U-Pb 年龄测定结果

Table 4 SHRIMP dating results of zircons of C20101113-4 samples from Xingzi Complex Group

测点	$^{206}Pb_c$ /%	U /10^{-6}	Th /10^{-6}	$^{232}Th/^{238}U$	$^{206}Pb^*$ /10^{-6}	$^{206}Pb/^{238}U$ /Ma	$^{207}Pb/^{206}Pb$ /Ma	不谐和性/%	$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$ 比值	±1σ /%	$^{207}Pb^*/^{235}U$ 比值	±1σ /%	$^{206}Pb^*/^{238}U$ 比值	±1σ /%	误差相关系数
1.1	0.04	179	143	0.82	21.2	830.8±5.8	802±47	–4	0.0659	2.2	1.249	2.3	0.1376	0.75	0.319
2.1	0.43	94	48	0.52	11.2	829.1±8.1	717±92	–16	0.0633	4.3	1.197	4.4	0.1373	1.0	0.235
3.1	0.21	111	50	0.46	13.1	825.7±7.4	807±79	–2	0.0660	3.8	1.244	3.9	0.1367	0.96	0.245
4.1	0.23	315	293	0.96	36.7	820.2±4.4	807±30	–2	0.06602	1.5	1.235	1.6	0.13568	0.57	0.366
5.1	0.01	180	90	0.52	21.1	825.5±5.7	851±28	3	0.06742	1.3	1.270	1.5	0.1366	0.73	0.479
6.1	0.35	120	75	0.65	14.1	826.2±6.8	798±46	–4	0.0657	2.2	1.239	2.3	0.1367	0.87	0.373
7.1	—	139	79	0.59	16.8	845.9±6.6	860±32	2	0.0677	1.5	1.309	1.8	0.1402	0.83	0.475
8.1	0.21	101	69	0.70	11.8	820.4±8.5	795±79	–3	0.0657	3.7	1.229	3.9	0.1357	1.1	0.284

注: Pb_c 为普通铅的 ^{206}Pb 占全部 ^{206}Pb 的百分比, Pb^*代表放射成因铅, 用于校正待测样品的并与之同时测定的标准样品的误差在0.15%(1σ), 普通铅校正采用实测的 ^{204}Pb。

据。近年来, 随着“江南造山带”西部提供了仓溪岩群(宜丰岩群)的 SHRIMP 锆石 U-Pb 的年龄(855±7) Ma(高林志等, 2011a, b, c), 以及双桥山群的沉积下限的东部双桥山群凝灰岩(斑脱岩)SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄(831~829 Ma)和江西省庐山垄地区箬箕洼组英安岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄(840±5) Ma(董树文等, 2011), 以及星子岩群的碎屑锆石的获得, 限定了该群沉积应小于 835 Ma(关俊朋等, 2010; 王勇等, 2002)。本文报道的箬箕洼组和星子岩群锆石 U-Pb 年龄, 对江南古陆变质基底下限做了进一步的标定, 也把从前整个江南造山带中传统划分的古元古代地层和中元古代地层都重新厘定为新元古代地层。

5 结论

1)本文报道的箬箕洼组细碧岩和流纹岩高精度 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄((840±6) Ma、(833±4) Ma 和(831±3) Ma)来自地层中箬箕洼组火山岩, 该年龄应代表了同沉积地层的年龄;

2)确定了星子岩群流纹岩((825±5) Ma)从时代上应相当于 820 Ma 构造转换面之下双桥山群上部修水群;

3)本文通过箬箕洼组流纹岩和星子岩群 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄限定星子岩群应归属新元古代地层的范畴, 而不是中古元代地层;

4)通过同位素年代地层学研究, 确认在江南造山带中变质程度深的地层不代表是最老的地层。

致谢: 感谢中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心刘敦一和张玉海的支持, 董春燕博士和张维博士在测试期间的技术保障及杨淳女士样品制靶和阴极发光照相。

参考文献:

董树文, 薛怀民, 项新葵, 马立成. 2010. 赣北庐山地区新元古代细碧-角斑岩系枕状熔岩的发现及其地质意义[J]. 中国地质, 37(4): 1021-1033.

高林志, 陈峻, 丁孝忠, 刘耀荣, 张传恒, 张恒, 刘燕学, 庞维华, 张玉海. 2011a. 湘东北岳阳地区冷家溪群和板溪群凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄——对武陵运动的制约[J]. 地质通报, 30(7): 1001-1008.

高林志, 戴传固, 刘燕学, 王敏, 王雪华, 陈建书, 丁孝忠, 张传恒, 曹茜, 刘建辉. 2010a. 黔东南—桂北地区四堡群凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地层学意义[J]. 地质通报, 29(9): 1259-1267.

高林志, 丁孝忠, 曹茜, 张传恒. 2010b. 中国晚前寒武纪年表和年代地层序列[J]. 中国地质, 37(4): 1014-1020.

高林志, 丁孝忠, 庞维华, 刘燕学, 陆松年, 刘耀荣, 陈峻, 张玉海. 2011b. 湘东北前寒武纪仓溪岩群变凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 30(10): 1479-1484.

高林志, 丁孝忠, 庞维华, 张传恒. 2011c. 中国中-新元古代地层年表的修正——锆石 U-Pb 年龄对年代地层的制约[J]. 地层学杂志, 35(1): 1-7.

高林志, 杨明桂, 丁孝忠, 刘燕学, 刘训, 凌联海, 张传恒. 2008. 华南双桥山群和河上镇群凝灰岩中的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄——对江南新元古代造山带演化的制约[J]. 地质通报, 27(10): 1744-1751.

高林志, 张传恒, 刘鹏举, 丁孝忠, 王自强, 张彦杰. 2009. 华北-江南地区中、新元古代地层格架的再认识[J]. 地球学报, 30(4): 433-446.

关俊朋, 何斌, 李德威. 2010. 庐山地区星子群碎屑锆石 SIMS

CAGS

U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 34(3): 402-407.

李江海, 穆剑. 1999. 我国境内格林威尔期造山带的存在及其对中元古代末期超大陆再造的制约[J]. 地质科学, 34(3): 259-272.

刘敦一, 简平, 张旗, 张福勤, 石玉若, 施光海, 张履桥, 陶华. 2003. 内蒙古图林凯蛇绿岩中埃达克岩 SHRIMP 测年: 早古生代洋壳消减的证据[J]. 地质学报, 77(3): 317-327.

王勇, 管太阳, 黄国夫, 余达淦. 陈丛林. 2002. 赣东北地区燕山晚期火山岩同位素年代学研究[J]. 地球学报, 23(3): 233-236.

项新葵, 许建华, 赖国安. 1993. 庐山前震旦纪变质基底的特征[J]. 江西地质, 7(2): 103-114.

谢国刚, 邓必荣. 1996. 江西庐山新元古代庐山垄群的建立[J]. 江西地质科技, 23(4): 167-171.

谢国刚, 李军辉, 李武显, 唐红峰, 李惠民, 周新民. 1997. 庐山前震旦纪岩石中锆石 U-Pb 法定年与其地质意义[J]. 地质科学, 32(1): 110-115.

徐备, 郭令智, 施央申. 1990. 皖浙赣地区元古代地体和多期碰撞造山带[M]. 北京: 地质出版社.

徐有华, 吴新华, 楼法生. 2008. 江南古陆中元古代地层的划分与对比[J]. 资源调查与环境, 29(1): 1-11.

薛怀民, 马芳, 宋永勤, 谢亚平. 2010. 江南造山带东段新元古代花岗岩组合的年代学和地球化学: 对扬子与华夏地块拼合时间与过程的约束[J]. 岩石学报, 26(11): 3215-3244.

杨明桂, 廖瑞君, 刘亚光. 1998. 江西变质基底类型及变质地层的划分对比[J]. 江西地质, 12(3): 201-208.

References:

BLACK L P, KAMO S L, ALLEN C M, ALEINIKOFF J N, DAVIS D W, KORSCH R J, FOUDOULIS C. 2003a. TEMORA 1: a new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology[J]. Chemical Geology, 200(1-2): 155-170.

BLACK L P, KAMO S L, WILLIAMS I S, MUNDIL R, DAVIS D W, KORSCH R J, FOUDOULIS C. 2003b. The Application of SHRIMP to Phanerozoic geochronology; a critical appraisal of four zircon standards[J]. Chemical Geology, 200(1-2): 171-188.

DONG Shu-wen, XUE Huai-min, XIANG Xin-kui, MA Li-cheng. 2010. The discovery of Neoproterozoic pillow lava in spilite-ceratophyre of Lushan area, northern Jiangxi Province, and its geological significance[J]. Geology in China, 37(4): 1021-1033(in Chinese with English abstract).

GAO Lin-zhi, CHEN Jun, DING Xiao-zhong, LIU Yao-rong, ZHANG Chuan-heng, ZHANG Heng, LIU Yan-xue, PANG Wei-hua, ZHANG Yu-hai. 2011a. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the tuff bed of Lengjiaxi and Banxi groups, northeastern Hunan: constraints on the Wuling Movement[J]. Geological Bulletin of China, 30(7): 1001-1008(in Chinese with English abstract).

GAO Lin-zhi, DAI Chuan-gu, LIU Yan-xue, WANG Min, WANG Xue-hua, CHEN Jian-shu, DING Xiao-zhong, ZHANG Chuan-heng, CAO Qian, LIU Jian-hui. 2010a. Zircon SHRIMP U-Pb dating of tuff bed of the Sibao Group in southeastern Guizhou-northern Guangxi area, China and its stratigraphic implication[J]. Geological Bulletin of China, 29(9): 1259–1267(in Chinese with English abstract).

GAO Lin-zhi, DING Xiao-zhong, CAO Qian, ZHANG Chuan-heng. 2010b. New geological time scale of Late Precambrian in China and geochronology[J]. Geology in China, 37(4): 1014-1020(in Chinese with English abstract).

GAO Lin-zhi, DING Xiao-zhong, PANG Wei-hua, LIU Yan-xue, LU Song-nian, LIU Yao-rong, CHEN Jun, ZHANG Yu-hai. 2011b. SHRIMP zircon U-Pb dating of metamorphic tuff from the Precambrian Cangxi Complex-Group in northeastern Hunan[J]. Geological Bulletin of China, 30(10): 1479-1484(in Chinese with English abstract).

GAO Lin-zhi, DING Xiao-zhong, PANG Wei-hua, ZHANG Chuan-heng. 2011c. New geologic time scale of Meso-and Neoproterozoic of China and geochronologic constraint by SHRIMP zircon U-Pb dating[J]. Journal of Stratigraphy, 35(1): 1-7(in Chinese with English abstract).

GAO Lin-zhi, YANG Ming-gui, DING Xiao-zhong, LIU Yan-xue, LIU Xun, LING Lian-hai, ZHANG Chuan-heng. 2008. SHRIMP U-Pb zircon dating of tuff in the Shuangqiaoshan and Heshangzhen groups in South China—constraints on the evolution of the Jiangnan Neoproterozoic orogenic belt[J]. Geological Bulletin of China, 27(10): 1744-1751(in Chinese with English abstract).

GAO Lin-zhi, ZHANG Chuan-heng, LIU Peng-ju, DING Xiao-zhong, WANG Zi-qiang, ZHANG Yan-jie. 2009. Recognition of Meso-and Neoproterozoic Stratigraphic Framework in North and South China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 30(4):

CAGS

433-446(in Chinese with English abstract).

GUAN Jun-peng, HE Bin, LI De-wei. 2010. SIMS U-Pb dating of the detrital zircons from the Xingzi group in Lushan area and its geological significance[J]. Geotectonica et Metallogenia, 34(3): 402-407(in Chinese with English abstract).

LI Jiang-hai, MU Jian. 1999. Tectonic Onstraints from Chinese Cratonic Blocks for the Reconstruction of Rodinia[J]. Chinese Journal of Geology, 34(3): 259-272(in Chinese with English abstract).

LIU Dun-yi, JIAN Ping, ZHANG Qi, ZHANG Fu-qin, SHI Yu-ruo, SHI Guang-hai, ZHANG lü-qiao, TAO Hua. 2003. SHRIMP Dating of Adakites in the Tulingkai Ophiolite, Inner Mongolia: Evidence for the Early Paleozoic Subduction[J]. Acta Geologica Sinica, 77(3): 317-327(in Chinese with English abstract).

LIU Xiao-ming, GAO Shan, DIWU Chun-rong, LING Wen-li. 2008. Precambrian crustal growth of Yangtze craton as revealed by detrital zircon studies[J]. American Journal of Science, 308(4): 421-468.

LUDWIG K R. 2002. SQUID 1.02—a user's manual[J]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, (2): 2455.

STACEY J S, KRAMERS J D. 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model[J]. Earth and Planetary Science Letters, 26(2): 207-221.

WANG Yong, GUAN Tai-yang, HUANG Guo-fu, YU Da-gan, CHEN Cong-lin. 2002. Isotope Chronological Studies of Late Yanshanian Volcanic Rocks in Northeast Jiangxi Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 23(3): 233-236(in Chinese with English abstract).

XIANG Xin-kui, XU Jian-hua, LAI Guo-an. 1993. Characteristics of the Pre-Sinian Metamorphic Basement in Lushan and Its Geotectonic Significance[J]. Geology of Jiangxi, 7(2): 103-114 (in Chinese with English abstract).

XIE Guo-gang, DENG Bi-rong. 1996. Founding of Neoproterozoic Lushanlong in Lushan, Jiangxi Province[J]. Geological Science and Technology of Jiangxi, 23(3): 167-171(in Chinese).

XIE Guo-gang, LI Jun-hui, LI Wu-xian, TANG Hong-feng, LI Hui-min, ZHOU Xin-min. 1997. U-Pb zircon dating of presinian rocks at Lushan Mt. and its geological implication[J]. Scientia Geologica Sinica, 32(1): 110-115(in Chinese with English abstract).

XU Bei, GUO Ling-zhi, SHI Yang-shen. 1990. Proterozoic Terranes and Poly-Stages collisional orogey in Anhui- Zhejiang- Jiangxi area[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).

XU You-hua, WU Xin-hua, LOU Fa-sheng. 2008. Division and correlation of the Middle Proterozoic strata in Jiangnan Old Land[J]. Resources Survey and Environment, 29(1): 1-11(in Chinese with English abstract).

XUE Huai-min, MA Fang, SONG Yong-qin, XIE Ya-ping. 2010. Geochronology and geochemisty of the Neoproterozoic granitoid association from eastern segment of the Jiangnan orogen, China: Constraints on the timing and process of amalgamation between the Yangtze and cathaysia blocks[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(11): 3215-3244(in Chinese with English abstract).

YANG Ming-gui, LIAO Rui-jun, LIU Ya-guang. 1998. The metamorphic basement types and the division and correlation of metamorphosed strata in Jiangxi[J]. Jiangxi Geology, 12(3): 201-208(in Chinese with English abstract).

CAGS