

扬子东南缘“南华纪”盆地演化 ——来自新元古代花岗岩的年龄约束

孙海清¹ 黄建中¹ 江新胜² 罗 来¹ 马慧英¹ 伍 皓²

(1.湖南省地质调查院,湖南长沙 410116;2.成都地质矿产研究所,四川成都 610081)

摘要:通过对湘西南地区主动侵位的岛弧型花岗闪长岩、二长花岗岩的锆石 LA-ICP-MS 与 SHRIMP U-Pb 同位素年代学研究,分别获得加权平均年龄为 (835.6 ± 6.7) Ma、 (840 ± 8) Ma,属新元古代。对岩体围岩钙质板岩夹灰岩建造的剖面研究和同位素年代学分析及区域对比,确认其属于新元古代“南华纪”板溪期沉积——高涧群,与下伏冷家溪群连续沉积,底界时限应大于 835 Ma。指出高涧群及其相当层位分布区在沉积盆地演化过程中,可能没有经历由俯冲造山—伸展裂谷盆地的完整演化过程,盆地从板片俯冲形成岩浆弧的初期演化即已停止,形成所谓的残余盆地,并沿从江—淑浦—双峰—衡阳—萍乡一线形成陡坡边缘盆地古地理格架,与北西侧伸展形成的断阶式陆坡相接,接受来自北西侧的陆缘碎屑及其改造型重力流沉积,完成这一转换过程的时间点在 830 Ma 左右。

关键词:新元古代花岗岩;盆地演化;南华纪;扬子东南缘

中图分类号: P588.12⁺1; P597 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)06-1725-11

近年来,随着江南造山带冷家溪群凝灰岩中大量新元古代锆石 U-Pb 年龄^[1-3]的报道,有关于扬子东南缘的武陵运动是否等同于格林威尔造山期的质疑,得到了充分肯定,几乎一致地将组成江南造山带褶皱基底的冷家溪群及其相当层位置于新元古代,江南造山带不等同于格林威尔造山带,二者不同期^[4-10]。尽管如此,王剑等^[11]通过对武陵运动上覆地层板溪群的研究和高精度同位素年代数据的获取,认为武陵运动仍不失为江南造山带中一个不可漠视的构造运动,是一个在地层划分和盆地演化研究中的重要界面,由此,命名武陵运动界面之上至南沱组之间的地层为“南华系”。并通过对上覆板溪群底部的火山岩的研究,认为盆地开启时间约为 814 Ma^[11],指出沉积盆地充填序列由南东向北西依次上超,构成“楔状地层体”^[12-14],其盆地相的高涧群、丹洲群的底界可能

略早于板溪群的底界,将其接受沉积的时间推定在 820 Ma^[15-16],而盆地边缘的张家湾组、莲沱组仅相当于板溪期上部沉积旋回,底界时间定在 800 Ma 左右^[17-19]。本文报道的湘西南城步地区与高涧群黄狮洞组呈侵入接触的花岗闪长岩、二长花岗岩年龄数据,为盆地开启时间提供了新的资料。

湘西南新元古代花岗岩分布于城步县东部,苗儿山花岗岩体的西部(图 1),总体上呈南北向分布,共圈定岩体 14 处,出露面积约 20 km²。岩性主要为花岗闪长岩、二长花岗岩。岩体内部多处见呈北东向带状展布的片麻状花岗岩,为后期变形产物。岩体侵入的最新地层为“南华纪”早期高涧群砖墙湾组和黄狮洞组,其中花岗闪长岩与地层呈交代型侵入关系(图 2),二者界线清楚,结构变化明显;二长花岗岩与围岩为整合型侵入关系,岩体边缘的片理与围岩

收稿日期:2013-02-04;改回日期:2013-10-28

基金项目:国家自然科学基金重点基金项目(41030315)及中国地质调查局项目(1212011121108)联合资助。

作者简介:孙海清,男,1956年生,高级工程师,主要从事地层岩相研究;E-mail:sunhq82@163.com。

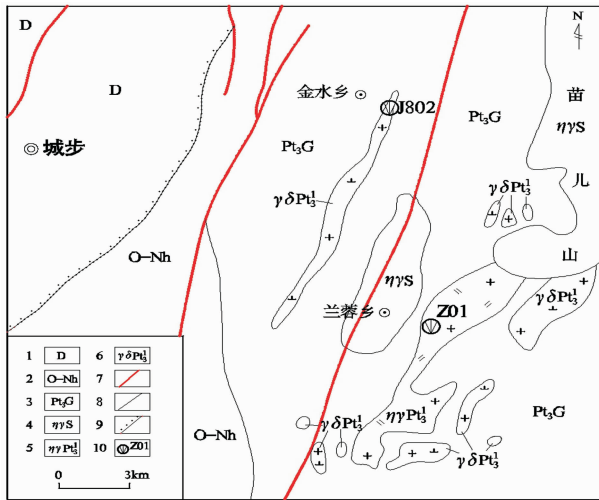


图 1 城步地区新元古代花岗岩分布略图

1—泥盆系;2—南华—奥陶系;3—高涧群;4—志留纪花岗岩;
5—新元古代二长花岗岩;6—新元古代花岗闪长岩;7—断层;
8—地质界线;9—不整合界线;10—采样点及编号

Fig.1 Map showing the distribution of Neoproterozoic granites in Chengbu area

1—Devonian; 2—Nanhuaian System—Ordovician; 3—Gaojian Group; 4—Silurian granite; 5—Neoproterozoic adamellite; 6—Neoproterozoic granodiorite; 7—Fault; 8—Geological boundary; 9—Unconformity; 10—Sampling point and its serial number

基本一致。岩体具岩浆结晶结构,为岩浆成因类型。岩石化学成分反映为过铝质钙碱性系列,大部分 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$,个别样品 $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$,局部见暗色微粒包体。在 $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ 图解上,多数样品位于 I 区,显示出 I 型花岗岩的特点。在 $\text{Hf}-\text{Rb}/30-3\text{Ta}$ 图上构造环境判别为火山弧型^[20]。故此曾有人认为岩体主要为挤压构造环境下主动侵位的岛弧型花岗岩,归属雪峰期产物^①。

然而,众所周知,扬子地块东南缘的“雪峰运动”属于伸展体制下的差异升降与断块旋转所致^[1]。其形成的较大规模的双峰式火山岩,以往研究者一般将其构造背景归属于板内环境^[20-24]。而形成如此规模的主动侵位的岛弧型花岗岩却较少见。而且,测年数据显示也与“雪峰运动”的时限差距甚远^①。而更让人难以理解的是它们与“南华纪”早期的高涧群砖墙湾组和黄狮洞组呈侵入关系。这就为我们提出了以下的问题:它是雪峰运动产物吗?被侵入的地层与武

陵运动界面之上的板溪群是否同期异相沉积?为此,笔者对该区新元古代花岗岩重新采集样品,挑选锆石进行 LA-ICP-MS 与 SHRIMP 年代学对比研究,并对被侵入地层进行建造分析,力图对上述疑问做出较为合理的解释。

1 新元古代花岗岩的锆石年代学研究

1.1 锆石 LA-ICP-MS 年代学研究

1.1.1 分析方法

样品采集点岩性为二长花岗岩。地理坐标: $\text{E}110^{\circ}26'30''$; $\text{N}28^{\circ}17'58''$ (图 1, 2),编号 Z01。锆石的挑选工作在湖南省地质调查院岩矿测试中心重砂实验室完成,在室内先将岩石样品粉碎至 60 目以下,经常规的人工粗淘洗—精淘洗和电磁选方法富集锆石,之后在双目显微镜下逐个手工精选锆石颗粒。锆石样品的制靶工作由西北大学大陆动力学国家重点实验室完成,样品靶打磨时,需要将大多数锆石颗粒中心部位暴露出来,然后抛光,待下一步的工作。锆石的阴极发光图像由西北大学大陆动力学国家重点实验室的 Quanta 400FEG 型阴极发光探头仪器取相处理。LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年测试分析在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。激光剥蚀系统为 GeoLas 200M,配置 193 nm 的 ArF 准分子激光器,测量系统为 Agilent 7500a ICP-MS。测量时采用的激光斑束为 $30 \mu\text{m}$,测量过程包括约 30 s 的背景信号采集和约 80 s 的样品信号采集^[25]。原始数据处理利用 ICPMSDataCal(ver 8.3)完成,表面年龄及不一致年龄采用 Isoplot(ver 3.23)的程序计算^[25-26]。单个分析值误差 1σ ,年龄平均值置信度为 95%。

1.1.2 分析结果

所采样品中锆石多呈透明—半透明的柱状自形晶,个别呈长柱状,部分锆石的中部具有不分带、浑圆状的核心。锆石颜色呈黄褐色或玫瑰色,晶体长 $180\sim 250 \mu\text{m}$,少数长者可达 $300 \mu\text{m}$,个别长柱状晶体长达 $320 \mu\text{m}$,长宽比为 $2:1\sim 3:1$ 。锆石的阴极发光图像(CL)均显示出岩浆结晶成分环带,色律强弱不等,部分呈黑色(图 3),这种差异可能反映了不同锆石之间 Th、U 等元素含量的不同。锆石晶体测点位

①湖南省地质调查院. 1:5 万城步地区区域地质调查报告,2009.

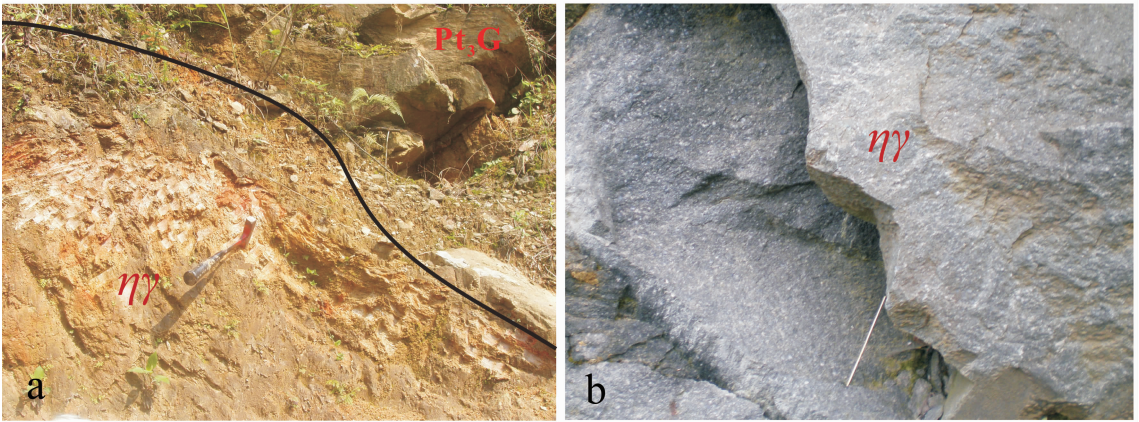


图 2 城步兰蓉 Z01 样品采集地侵入接触关系(a—Pt₃G/ηγ)及采样点岩石(b—二长花岗岩)
Fig.2 Intrusive contact relationships (a) and rock (b) of sampling point Z-01 in Lanrong of Chengbu area

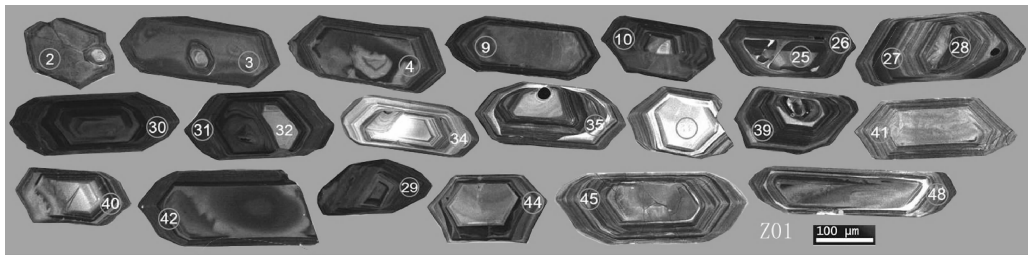


图 3 二长花岗岩样品 Z01 锆石阴极发光照片
Fig.3 Cathodoluminescence images of zircons of adamellite for sample Z01

置的选取, 结合了可见光和 CL 图像以避免锆石晶体中的裂纹和包裹体。其 U-Pb 年龄分析结果见表 1。锆石 23 个测点的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄值变化在(805±7)~(872±6) Ma, 其加权平均年龄为 (835.6 ±6.7) Ma, MSWD=4.5, 95% conf。这些分析点都分布于谐和线上或附近, 表明这些锆石几乎没有 U 或 Pb 的丢失或加入(图 4)。

1.2 锆石 SHRIMP 年代学研究

1.2.1 分析方法

样品采集点岩性为花岗闪长岩, 地理坐标: E110°26'00"; N28°23'00"(图 1), 编号 J802(图 5)。锆石的挑选工作在湖南省地质调查院岩矿测试中心重砂实验室完成, 在室内先将岩石样品粉碎至 60 目以下, 经常规的人工粗淘洗—精淘洗和电磁选方法富集锆石, 再在双目显微镜下从中挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒, 将其和标准锆石 TEM(年龄为 417 Ma)一起制作成样品靶, 将样品靶打磨并抛光至大多数锆石颗粒的中心暴露出来, 然后在光学显

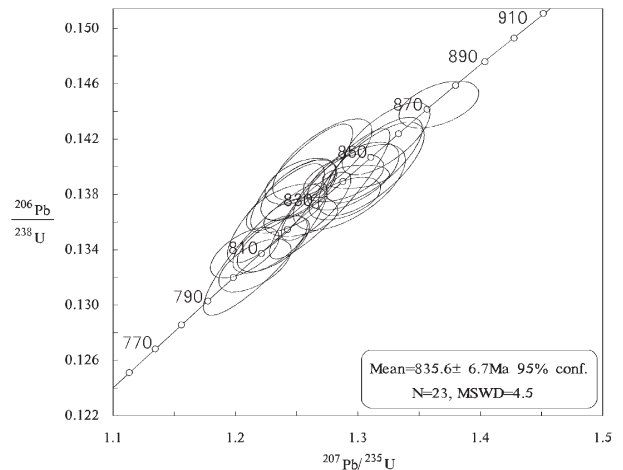


图 4 二长花岗岩样品 Z01 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 谐和图
Fig.4 Zircon LA-ICP-MS U-Pb concordia diagram of adamellite for sample Z01

显微镜下进行反射光和透射光照相, 以及使用扫描电镜进行阴极发光图像分析。锆石的阴极发光图像及

表 1 二长花岗岩样品 Z01 锆石 LA-ICP-MS U-Th-Pb 同位素分析结果
 Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb analytical data of adamellite for sample Z01

测点号	含量/ 10^{-6}			$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$			
	Pb	Th	U	比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	年龄 /Ma	1 σ	年龄 /Ma	1 σ	年龄 /Ma	1 σ	年龄 /Ma	1 σ		
Z01-02	50	36	288	0.0671	0.0016	1.292	0.03	0.1388	0.0021	0.0555	0.0045	843	55	842	13	838	12	1092	86
Z01-03	77	40	520	0.0661	0.0008	1.237	0.024	0.1356	0.002	0.0428	0.0009	809	23	817	11	820	11	846	18
Z01-04	102	64	649	0.0653	0.0008	1.208	0.019	0.1339	0.0012	0.0453	0.0012	783	21	804	9	810	7	895	24
Z01-09	78	62	450	0.0653	0.0008	1.241	0.021	0.1372	0.0012	0.0445	0.0008	784	24	819	10	829	7	879	16
Z01-10	82	64	501	0.0655	0.0009	1.233	0.026	0.1368	0.00234	0.0432	0.0009	790	27	816	12	827	14	855	18
Z01-25	97	85	504	0.0648	0.0006	1.253	0.019	0.1392	0.0011	0.0499	0.0009	768	20	825	9	840	6	984	18
Z01-26	113	119	566	0.065	0.0006	1.251	0.021	0.1386	0.0014	0.0436	0.0005	775	19	824	9	837	8	863	9
Z01-27	97	38	727	0.0649	0.0006	1.253	0.027	0.1395	0.0026	0.0441	0.0008	772	19	825	12	842	15	873	16
Z01-28	152	173	730	0.0674	0.0006	1.289	0.02	0.1379	0.001	0.0439	0.0004	849	23	841	9	833	6	868	8
Z01-29	101	57	640	0.0672	0.0006	1.322	0.024	0.1423	0.0018	0.0447	0.0007	842	17	856	10	858	10	883	13
Z01-30	127	61	889	0.0661	0.0006	1.229	0.021	0.1346	0.0014	0.0457	0.0006	809	17	814	9	814	8	902	12
Z01-31	96	44	659	0.0676	0.0007	1.31	0.029	0.1401	0.0022	0.0536	0.0018	857	20	850	13	845	13	1055	34
Z01-32	61	43	375	0.0665	0.0008	1.253	0.02	0.1365	0.0009	0.0437	0.0008	833	26	825	9	825	5	865	16
Z01-34	61	87	261	0.0669	0.0009	1.288	0.022	0.1395	0.0011	0.04	0.0005	835	28	840	10	842	6	793	9
Z01-35	136	61	1009	0.0668	0.0005	1.276	0.033	0.1383	0.0032	0.0423	0.0006	831	19	835	15	835	18	837	11
Z01-36	259	562	783	0.0668	0.0006	1.265	0.019	0.1374	0.0016	0.0371	0.0006	831	19	830	8	830	9	735	12
Z01-39	146	101	878	0.0674	0.0006	1.313	0.026	0.1407	0.0021	0.0455	0.0006	849	23	851	12	849	12	900	11
Z01-40	84	49	513	0.0673	0.0007	1.298	0.018	0.1395	0.0006	0.0463	0.0007	855	18	845	8	842	3	914	14
Z01-41	81	52	479	0.0682	0.0007	1.365	0.022	0.1448	0.0011	0.0426	0.0007	872	21	874	9	872	6	844	13
Z01-42	87	73	496	0.0672	0.0008	1.295	0.025	0.1396	0.0016	0.0414	0.0006	842	30	844	11	843	9	819	12
Z01-44	139	117	912	0.0661	0.0007	1.224	0.033	0.1342	0.0032	0.0405	0.0005	809	21	812	15	812	18	802	10
Z01-45	104	61	697	0.0661	0.0006	1.216	0.02	0.133	0.0013	0.0417	0.0006	809	18	808	9	805	7	827	12
Z01-48	82	56	511	0.0653	0.0008	1.271	0.026	0.1407	0.002	0.0425	0.0007	783	24	833	12	849	11	841	13



图 5 城步金水村 J802 样品采集地侵入接触(风化)关系(a—Pt₃G/ $\gamma\delta$)与取样点岩石(b—花岗闪长岩)
 Fig.5 Intrusive contact (weathering) relationships (a) and rock (b) of sampling point J802 in Jinshui Village of Chengbu area

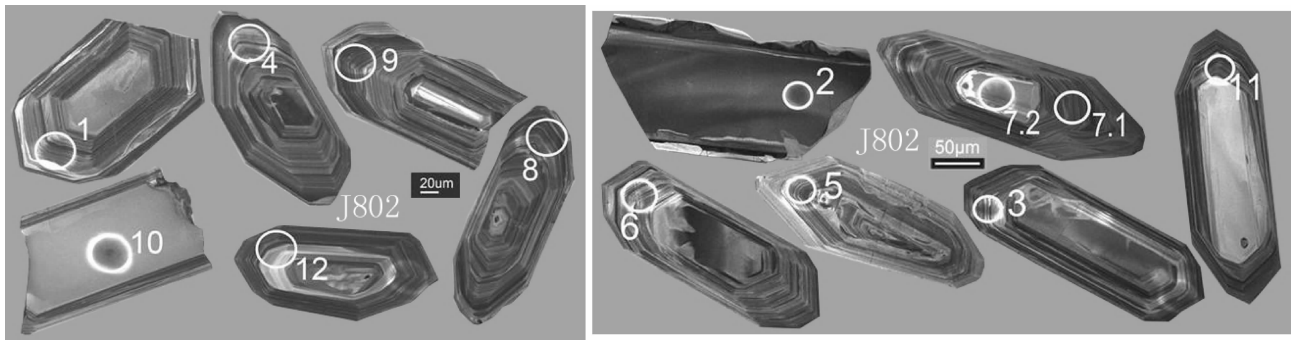


图 6 花岗闪长岩(J802)锆石阴极发光照片
 Fig.6 Cathodoluminescence images of zircons of sample J802

年龄测定(使用 SHRIMP II)均在北京离子探针中心完成。分析原理和流程见 Compston 等^[27]、Williams (1998)^[28]。一次离子流强度为 5~8 nA,一次离子流束斑直径为 25~30 μm 。样品点清洗时间为 120~180 s。每个数据点测定为 5 组扫描。使用标准锆石 SL13 和 TEM,分别用于校正 U 含量和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值。数据处理和 U-Pb 谐和图绘制采用 Ludwig 编写的 Squid 1.0 及 Isoplot 程序^[29-30]。单个点的同位素比值误差为 1σ 相对误差,年龄误差为 1σ 绝对误差,平均值对应的误差为 95%置信度误差。

1.2.2 分析结果

分析锆石以透明-半透明的柱状晶体为主,阴极发光图像均显示出岩浆结晶成分环带(图 6);晶体长为 180~250 μm ,长宽比为 2:1~4:1。其 U-Pb 年龄分析结果见表 2 和图 7。13 个锆石测试点的 $^{206}\text{Pb}/$

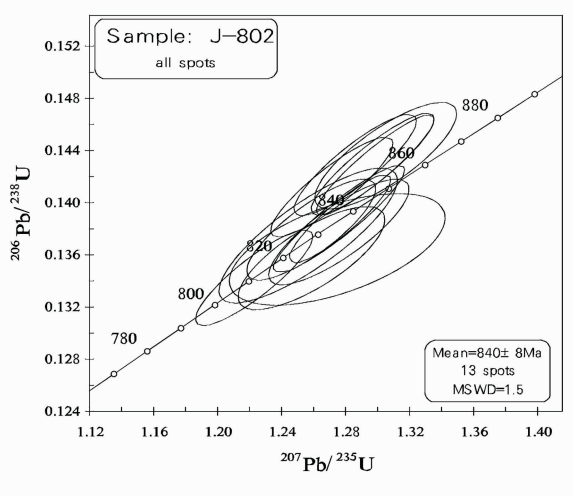


图 7 花岗闪长岩样品(J802)锆石 SHRIMP U-Pb 谐和图
 Fig.7 Zircon SHRIMP U-Pb Concordia diagram of granodiorite(sample J802)

表 2 花岗闪长岩 (J802) 锆石 SHRIMP U-Th-Pb 同位素分析结果
Table 2 SHRIMP zircon U-Th-Pb analytical data

测点号	含量/ 10^{-6}			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	
	Pb	U	Th	比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	年龄/Ma	1 σ	年龄/Ma	1 σ	年龄/Ma	1 σ
J802-1	0.1	655	64	0.0658	0.82	1.279	1.9	0.1410	1.8	791	20	850	14	834	31
J802-2	0.2	333	126	0.0665	1.1	1.315	2.2	0.1434	1.8	811	29	864	16	859	21
J802-3	0.1	310	56	0.0672	1.6	1.272	2.9	0.1374	2.4	822	36	830	19	806	27
J802-4	0.1	614	50	0.0656	0.85	1.29	2	0.1426	1.8	792	20	860	14	858	33
J802-5	0.1	756	61	0.0663	0.74	1.304	1.9	0.1427	1.7	811	16	860	14	852	22
J802-6	0.1	546	88	0.0672	0.89	1.244	2	0.1343	1.8	812	20	812	14	772	19
J802-7.1	0.1	821	85	0.0672	0.74	1.282	1.9	0.1383	1.8	833	17	835	14	808	24
J802-7.2	0.6	111	122	0.0693	2.3	1.303	3	0.1364	2.0	868	61	824	19	818	21
J802-8	0.2	522	57	0.0677	0.91	1.288	2	0.1380	1.8	817	26	833	14	755	43
J802-9	0.1	1459	86	0.0662	0.69	1.267	1.9	0.1388	1.7	838	15	838	14	934	32
J802-10	0.1	252	24	0.0669	1.3	1.269	2.3	0.1375	1.9	850	28	830	15	864	33
J802-11	0.1	508	53	0.0675	1.5	1.261	2.4	0.1356	1.8	851	34	820	14	819	31
J802-12	0.1	664	58	0.0661	0.81	1.301	1.9	0.1427	1.8	808	18	860	14	857	26

^{238}U 年龄值变化在 $(812\pm 14)\sim(864\pm 16)\text{Ma}$, 其加权平均年龄为 $(840\pm 8)\text{Ma}$, $\text{MSWD}=1.5$, 95% conf, 代表岩浆结晶时间。这些分析点都分布于谐和线上或附近, 表明这些锆石几乎没有 U 或 Pb 的丢失或加入(图 7)。

2 讨论和推论

2.1 湘西南新元古代花岗岩的时代

研究区内花岗岩类采用两种方法所获得的年龄数据均为可靠的, 应代表了岩体的形成时间, 属于新元古代。将其归属于雪峰运动^①产物显然是值得讨论的, 无论从岩体形成的构造环境、成因类型、侵位机制都难以做出合理的解释。

2.2 对侵入地层时代的认识

通过对湘中南地区高涧群的资料收集与综合分析, 认为岩体围岩沉积建造组合与湘中石桥铺地区、桂北地区基本相似。研究区内高涧群底界未出露, 无疑给地层划分带来了困难。一般在盆地相中, 对两个不同时代的地层进行划分时, 既要考虑沉积相和相

序组合, 又要考虑同位素年龄。

首先根据湘中隆回县石桥铺剖面^②及区域范围高涧群与冷家溪群分界线附近的沉积序列分析其沉积环境。隆回石桥铺剖面序列由上向下为:

⑤灰绿-深灰色钙泥质板岩夹薄层或透镜状灰岩。

④深灰色中-厚层状细粒钙质砂岩, 具有重力流沉积特征, 厚 100 m。

③青灰色薄层粉砂岩与板岩组成韵律层, 厚约 200 m。

②灰绿色中基性火山角砾岩夹薄层石英杂砂岩, 厚约 40 m。

①深灰色薄-中层状粉砂岩与板岩组成韵律层, 大于 200 m。

现在大多将高涧群与冷家溪群分界线放在火山角砾岩^②底部。但火山角砾岩显然属水下重力流沉积, 且不稳定。砾岩上下岩性岩相并无差别。当其缺失火山角砾岩时, 界线是划不出来的, 这说明火山角砾岩及其上下岩层同属浊流沉积, 砾岩是突发粗屑重力流。较明显的界线是第④层: 即灰色中厚层钙质细砂岩。虽厚度不大, 但区域稳定, 其沉积环境亦相对稳定, 与下伏复理石建造不同。而最明显的界线则

①湖南省地质调查院. 1:5 万城步地区区域地质调查报告, 2009.

②湖南省地质调查院. 1:5 万金石桥幅区域地质调查报告, 1989.

是第⑤层,即灰绿—深灰色钙质板岩夹薄层或透镜状灰岩。其代表较局限的滞留盆地沉积,区域岩性岩相特征稳定。

从上述沉积序列可以看出,高涧群底部向上从较开阔的深—半深水浊流相到陆棚钙质砂岩相,再到局限陆棚滞留盆地相。这是一个明显的连续的海退序列,不存在沉积间断。

据此认为,“高涧群”是武陵造山带外残余盆地沉积。在“高涧群”分布区,冷家溪群与高涧群的沉积应是连续的,它只存在相和建造上的差别。因此高涧群与板溪群在沉积时间起点上应该也是有差距的。

其次,在高涧群砖墙湾组上部、岩门寨组顶部的凝灰岩夹层中采集的同位素年龄样品,获得了锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 (793±9)Ma、(758±9)Ma 的数据(另文发表),较好地约束了高涧群的中间界线和顶界。而这组年龄与湘中地区、黔东南地区^[31]以及湘西北古丈五强溪组 809 Ma^[17]、杨家坪地区张家湾组 809 Ma^[18]、岳阳陆城张家湾组 802 Ma^[1]以及滇中澄江组^[32]等相当层位所获得的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄可以对比。

由此,推断研究区命名为黄狮洞组的钙质板岩夹灰岩的建造组合体应与上述地区的相当层位一致,属于“南华纪”板溪期沉积。其沉积环境可能属于武陵造山带外残余盆地。

2.3 高涧群沉积环境与武陵运动关系

武陵运动是华南确知最早的一次构造运动,以造山作用为主,是扬子地块东南缘弧—陆会聚的反映^[33],形成冷家溪群及其相当层位与“南华纪”地层间的不整合^[34]。由于所处构造位置不同,武陵运动所造成的变形及不整合效应横向上存在显著差异。湘西、湘北板溪群与冷家溪群多为高角度不整合,如芷江渔溪口、古丈沙鱼溪、永顺施容溪、沅陵齐眉界等地;湘中北部及湘东为中—低角度不整合—假整合,局部见高角度不整合,如宁乡夏铎铺金马桥。总的趋势是由西往东,由北而南褶皱变形由强到弱。到了从江—洪江—溁浦—双峰—衡阳—萍乡一线以南地区,高涧群与下伏地层间为假整合—整合接触,处于弧前盆地向岛弧发展的过渡区^[19]。主要物质记录有 840~835 Ma 源于洋壳俯冲形成的岛弧型花岗岩。

值得指出的是,由于各时期构造环境的差异,武

陵运动实际反映了扬子地块东南缘新元古代中期的岛弧增生过程,同时暗示武陵运动之后的沉积可能属于叠覆于华南残余盆地之上的沉积体系。在盆地构造背景上可能属于从弧前盆地向弧后残余盆地的过渡^[19]。

以上也说明湘中—湘南应属于武陵运动影响较弱或没有影响的区段,可能处于造山带的前缘残余盆地环境。这可能与弧—陆会聚的方式和过程有关。

王剑等^[35]研究表明,板溪群为一套侧向延伸不连续、地层厚度和沉积相变化大的“楔状地层”,属典型裂谷成因^[36]。其不同区位的沉积时限不一致,向北西具有变新趋势。本文所获得的年龄数据为这一模式提供了有力的约束性证据。

诚然,这毕竟是由岩浆岩年龄和与地层侵入关系进行间接推断得出的结论,其可靠性有待检验。尽管如此,仍然对以往提出的扬子地块东南缘陆间裂谷盆地演化及其开启时间为 820 Ma 的界线^[9-16]提出质疑。

2.4 推论

如果以上分析成立的话,那么,以往认定的高涧群与板溪群是同期异相和沉积体系向北西超覆变新形成“楔状地层”的陆间裂谷充填模式^[35]符合扬子东南缘盆地演化的实际的话,那么它的适用范围也可能只限于对从江—溁浦—双峰—衡阳—萍乡一线以北地区早期陆缘伸展构造盆地演化的解释。当然,也可能该区裂谷盆地开启的基础就是叠加在残余盆地上的,如此就形成对上述模式的补充。从江—溁浦—双峰—衡阳—萍乡一线之南东高涧群、丹洲群、神山群分布区在盆地演化过程中,有可能根本就没有经历由俯冲造山—伸展裂谷盆地的完整演化过程,不适用经典的板块构造演化模式。有可能沿前述边界在深大断裂作用下产生多向性逆掩、俯冲^[37-38]时,前缘岛弧(如益阳、梵净山)与扬子地块发生碰撞并强烈变形^[39],而弧前盆地从板片俯冲形成岩浆弧的初期演化即已停止,形成所谓的残余盆地,造就了研究区沿上述边界展布的盆地陡坡边缘古地理格架^[31],并与北西侧稍后伸展形成的断阶式陆坡相接^[40],接受来自北西侧的陆缘碎屑及其改造型重力流沉积,完成这一转换过程的时间点应该在 830 Ma 左右。以上分析提示:应当充分认识构造运动与盆地演化的复

①湖南省地质调查院. 1:5 万金石桥幅区域地质调查报告,1989.

杂性,也许新元古代时期的板块运动与中生代的板块构造演化本身就存在差距和不一致,况且其时的板块驱动力源和动力学机制我们所知甚少。

3 结论与认识

(1) 通过采用锆石 LA-ICP-MS 与 SHRIMP U-Pb 同位素年代学对比研究,确认湘西南地区与围岩呈侵入接触的花岗闪长岩、二长花岗岩的年龄为 835~840 Ma,属于新元古代武陵期的侵入体。这与张玉芝等(2010)对江南隆起带新元古代碰撞作用结束时间的研究结果((835±12)Ma)基本一致^[41]。

(2) 被侵入的地层建造组合为钙质板岩夹灰岩,通过沉积学研究和同位素年代学分析,认为其可以与区域上的高涧群、丹洲群、神山群^[42]的相当层位对比。由此确认岩体围岩属于新元古代板溪期沉积。其底界沉积时限应早于岩体侵入时间,至少应大于 835 Ma。

(3) 高涧群及其相当层位分布区在沉积盆地演化过程中,可能没有经历由俯冲造山-伸展裂谷盆地的完整演化过程,盆地从板片俯冲形成岩浆弧的初期演化即已停止,形成所谓的残余盆地,且在其西、北缘形成盆地陡坡边缘古地理格架,并与北西侧稍后伸展裂谷作用形成的断阶式陆坡环境相接,接受来自北西侧的陆缘碎屑及其改造型重力流沉积。完成这一转换过程的时间点在 830 Ma 左右。

致谢: 野外工作和成文过程中,先后得到了张晓阳、刘伟、马铁球等的协作与支持;岩矿鉴定与锆石挑选工作分别得到了刘南和杨茂群的帮助;阴极发光图像和 SHRIMP、LA-ICP-MS 同位素分析分别得到了北京离子探针中心、西北大学大陆动力学国家重点实验室有关人士以及汪正江教授的帮助;编辑对文中的观点和表述进行了认真审查并给予了悉心指导,谨致诚挚谢意!

参考文献 (References):

[1] 高林志,陈峻,丁孝忠,等. 湘东北岳阳地区冷家溪群和板溪群凝灰岩 SHRIMP 锆石年龄——对武陵运动的制约 [J]. 地质通报, 2011, 30(7): 1001-1008.
Gao Linzhi, Chen Jun, Ding Xiaozhong, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the tuff bed of Lengjiayi and Banxi groups, northeastern Hunan: Constraints on the Wuling movement [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30 (7): 1001-1008 (in Chinese with English abstract).

[2] 孙海清, 黄建中, 郭乐群, 等. 湖南冷家溪群划分及同位素年龄约束 [J]. 华南地质与矿产, 2012, 28(1): 20-26.
Sun Haiqing, Huang Jianzhong, Guo Lequn, et al. Subdivision and isotopic age of Lengjiayi group in Hunan province [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2012, 28(1): 20-26 (in Chinese with English abstract).

[3] 高林志, 戴传固, 刘燕学, 等. 四堡群凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地层意义 [J]. 地质通报, 2010, 29 (9): 1259-1268 (in Chinese with English abstract).
Gao Linzhi, Dai Chuangu, Liu Yanxue, et al. 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, 2010, 29 (9): 1259-1267 (in Chinese with English abstract).

[4] 周金城, 王孝磊, 邱检生. 江南造山带是否格林威尔期造山带? ——关于华南前寒武纪地质的几个问题 [J]. 高校地质学报, 2008, 14 (1): 64-72.
Zhou Jincheng, Wang Xiaolei, Qiu Jiansheng. Is the Jiangnan orogenic belt a Grenvillian orogenic belt: Some problems about the Precambrian geology of South China [J]. Geological Journal of China Universities, 2008, 14 (1): 64-72 (in Chinese with English abstract).

[5] 李献华. 广西北部新元古代花岗岩的锆石 U-Pb 年代学及其构造意义 [J]. 地球化学, 1999, 28(4): 1-9.
Li Xianhua. U-Pb zircon ages of granites from Northern Guangxi and their tectonic Significance [J]. Geochimica, 1999, 28(4): 1-9 (in Chinese with English abstract).

[6] 李献华, 李正祥, 葛文春, 等. 华南新元古代花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及其构造意义 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20(4): 271-273.
Li Xianhua, Li Zhengxiang, Ge Wenchun, et al. U-Pb Zircon ages of the neoproterozoic granitoids in south China and their tectonic implications [J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 2001, 20(4): 271-273 (in Chinese with English abstract).

[7] Wang Xiaolei, Zhao Guochun, Qiu Jianshen, et al. LA-ICP MS U-Pb zircon geochronology of the Neoproterozoic igneous rocks from Northern Guangxi, South China: Implications for petrogenesis and tectonic evolution [J]. Precambrian Research, 2006, 145: 111-130.

[8] Zhou Jincheng, Wang Xiaolei, Qiu Jiansheng, Geochronology of Neoproterozoic mafic rocks and sandstones from northeastern Guizhou, South China: Coeval arc magmatism and sedimentation [J]. Precambrian Research, 2009, 170: 27-42.

[9] 高林志, 丁孝忠, 曹茜, 等. 中国晚前寒武纪年表和年代地层序列 [J]. 中国地质, 2010, 37(4): 1014-1019
Gao Linzhi, Ding Xiaozhong, Cao Qian, et al. New geological time scale of Late Precambrian in China and geochronology [J]. Geology in China, 2010, 37(4): 1014-1019 (in Chinese with English abstract).

[10] 陆松年, 李怀坤, 相振群. 中国中元古代同位素地质年代学研究进展述评 [J]. 中国地质, 2010, 37(4): 1002-1013.

- Lu Songnian, Li Huaikun, Xiang Zhenqun. Advances in the study of Mesoproterozoic geochronology in China: a review [J]. *Geology in China*, 2010, 37(4): 1002–1013(in Chinese with English abstract).
- [11] 王剑. 华南“南华系”研究新进展——论“南华系”地层划分对比[J]. *地质通报*, 2005, 24(6): 491–495.
Wang Jian. New advances in the study of “the Nanhuaan System”——with particular reference to the stratigraphic division and correlation of the Nanhuaan System in South China [J]. *Regional Geology of China*, 2005, 24(6): 491–495(in Chinese with English abstract).
- [12] 王剑, 李献华, Duan T Z, 等. 沧水铺火山岩锆石 SHRIMP U–Pb 年龄及“南华系”底界新证据 [J]. *科学通报*, 2003, 48(16): 1726–1731.
Wang Jian, Li Xianhua, Duan T Z, et al. New evidence on Cangshuipu volcanic rocks zircon SHRIMP U–Pb age and the Nanhua System lower boundary[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(16): 1726–1731(in Chinese with English abstract).
- [13] 高林志, 刘燕学, 丁孝忠, 等. 江南古陆中段沧水铺群锆石 U–Pb 年龄和构造演化意义[J]. *中国地质*, 2012, 39(1): 12–20.
Gao Linzhi, Liu Yanxue, Ding Xiaozhong, et al. SHRIMP dating of Cangshuipu Group in the middle part of the Jiangnan Orogen and its implications for tectonic evolutions [J]. *Geology in China*, 2012, 39(1): 12–20(in Chinese with English abstract).
- [14] 王剑, 潘桂堂. 中国南方古大陆研究进展与问题评述[J]. *沉积学报* 2009, 27(5): 818–825.
Wang Jian, Pan Guitang. Neoproterozoic South China Palaeocontinents: An overview [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(5): 818–825(in Chinese with English abstract).
- [15] 高林志, 戴传固, 丁孝忠, 等. 侵入梵净山群白岗岩锆石 U–Pb 年龄及白岗岩底砾岩对下江群沉积的制约 [J]. *中国地质*, 2011, 38(6): 1413–1420.
Gao Linzhi, Dai Chuangu, Ding Xiaozhong, et al. SHRIMP U–Pb dating of intrusive alaskite in the Fanjigshan Group and alaskite basal conglomerates: Constraints on the deposition of the Xiajiang Group[J]. *Geology in China*, 2011, 38(6): 1413–1420 (in Chinese with English abstract).
- [16] 汪正江, 王剑, 谢渊, 等. 重庆秀山凉桥板溪群红子溪组凝灰岩 SHRIMP 锆石测年及其意义 [J]. *中国地质*, 2009, 36(4): 761–768.
Wang Zhengjiang, Wang Jian, Xie Yuan, et al. SHRIMP zircon U–Pb dating for crystal tuff from Hongzixi Formation of Banxi Group in Xiushan area, Chongqing, and its significance [J]. *Geology in China*, 2009, 36(4): 761–768(in Chinese with English abstract).
- [17] 张世红, 蒋干清, 董进, 等. 华南板溪群五强溪组 SHRIMP 锆石 U–Pb 年代学新结果及其构造地层学意义[J]. *中国科学(D辑)*, 2008, 38(12): 1496–1503.
The new results of zircon SHRIMP U–Pb dating from Wuqiangxi Formation of Banxi Group in South China, and its tectonic stratigraphy significance [J]. *Science in China (Series D)*, 2008, 38(12): 1496–1503(in Chinese).
- [18] 尹崇玉, 刘敦一, 高林志, 等. 南华系底界与古城冰期的年龄 SHRIMP II 定年证据[J]. *科学通报*, 2003, 48(16): 1721–1725.
Yin Chongyu, Liu Dunyi, Gao Linzhi, et al. SHRIMP II dating evidence of Nanhua System bottom boundary of the ancient glacial [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(16): 1721–1725(in Chinese with English abstract).
- [19] 柏道远, 贾宝华, 刘伟, 等. 湖南城步火成岩锆石 SHRIMP U–Pb 年龄及其对江南造山带新元古代构造演化的约束[J]. *地质学报*, 2010, 84(12): 1715–1726.
Bai Daoyuan, Jia Baohua, Liu Wei, et al. Zircon SHRIMP U–Pb dating of the igneous rocks from Chengbu, Hunan: Constraint on the Neoproterozoic tectonic evolution of the Jiangnan Orogenic Belt [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2010, 84 (12): 1715–1726 (in Chinese with English abstract).
- [20] 金鹤生, 傅良文. 湖南火山岩的时空演化及其板块构造意义[J]. *地质论评*, 1986, 3: 225–235.
Jin Hesheng, Fu Liangwen. The evolution of volcanic rocks in Hunan Province and their implications in plate tectonics [J]. *Geological Review*, 1986, 3: 225–235 (in Chinese with English abstract).
- [21] 葛文春, 李献华, 李正祥, 等. 龙胜地区镁铁质侵入体: 年龄及其地质意义[J]. *地质科学*, 2001, 36(1): 112–118.
Ge Wenchun, Li Xianhua, Li Zhengxiang, et al. Mafic intrusions in Longsheng area: Age and its geological implications [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 2001, 36 (1): 112–118 (in Chinese with English abstract).
- [22] 贺安生. 黔阳隘口基性超基性岩地球化学特征[J]. *大地构造与成矿学*, 1995, 64(19): 239–247.
He Ansheng. Geochemical characteristics of Qianyang Pass mafic and ultramafic rocks [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 1995, 64 (19): 239–247(in Chinese with English abstract).
- [23] 郑基俭, 贾宝华, 刘耀荣, 等. 湘西安江地区镁铁质—超镁铁质岩形成时代、岩浆来源和形成环境[J]. *中国区域地质*, 2001, 20(2): 164–169.
Zheng Jijian, Jia Baohua, Liu Yaorong, et al. Age magma source and formation environment of mafic–ultramafic rocks in the Anjiang area, western Hunan[J]. *Regional Geology of China*, 2001, 20(2): 164–169(in Chinese with English abstract).
- [24] Liu Y S, Gao S, Hu Z C, et al. 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 from mantle xenoliths [J]. *Journal of Petrology*, 51 (1–2): 537–571.
- [25] Ludwig K R. *Isoplot 3: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel* [M]. Geochronology Centre Special Publication, Berkeley, 2003, 4: 74.
- [26] Yuan H L, Gao S, Liu X M, et al. Accurate U–Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation–inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Geostand NewsL.*, 2004, 28: 353–370.

- [27] Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. Zircon U-Pb ages of Early Cambrian time-scale [J]. *J. Geol. Soc.*, 1992, 149: 171-184.
- [28] 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 [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1987, 97: 205-217
- [29] Ludwig K R. Using Isoplot/EX, version 2, A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley Geochronological Center Special Publication 1, 1999: 47.
- [30] Ludwig K R. Squid 1.02: A User Manual [M]. Berkeley Geochronological Center Special Publication, 2001.2.
- [31] 高林志, 戴传固, 刘燕学, 等. 黔东南地区下江群凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. *中国地质*, 2010, 37(4): 1071-1080.
Gao Linzhi, Dai Chuangu, Liu Yanxue, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the tuffaceous bed of Xiajiang Group in Guizhou Province and its stratigraphic implication [J]. *Geology in China*, 2010, 37(4): 1071-1080 (in Chinese with English abstract).
- [32] 江新胜, 王剑, 崔晓庄, 等. 滇中新元古代澄江组锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究及其地质意义 [J]. *地球科学*, 2012, 42(10): 1496-1507.
Jiang Xinsheng, Wang Jian, Cui Xiaozhuang, et al. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology and geological significance of the Neoproterozoic Chengjiang group in Central Yunnan [J]. *Earth Science*, 2012, 42(10): 1496-1507 (in Chinese with English abstract).
- [33] 周金城, 王孝磊, 邱检生. 江南造山带形成过程中若干新元古代地质事件 [J]. *高校地质学报*, 2009, 15(4): 453-459
Zhou Jincheng, Wang Xiaolei, Qiu Jiansheng. Some Neoproterozoic geological events involved in the development of the Jiangnan Orogen [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2009, 15(4): 453-459 (in Chinese with English abstract).
- [34] 湖南省地质矿产局. 湖南省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1987, 14-24.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Hunan Province. Regional geology of Hunan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987, 14-24 (in Chinese with English abstract).
- [35] 王剑. 华南新元古代裂谷盆地沉积演化——兼论与 Rodinia 解体的关系 [M]. 北京: 地质出版社, 2000, 1-146.
Wang Jian. Neoproterozoic Rifting History of South China: Significance to Rodinia Breakup [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000: 1-146 (in Chinese with English abstract).
- [36] 王剑, 刘宝珺, 潘桂荣. 华南新元古代裂谷盆地演化——Rodinia 超大陆解体的前奏 [J]. *矿物岩石*, 2001, 21(3): 135-145.
Wang Jian, Liu Baojun, Pan Guitang. Neoproterozoic rifting history of south China significance to Rodinia breakup [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2001, 21 (3): 135-145 (in Chinese with English abstract).
- [37] 饶家荣. 桃江—城步壳下岩石圈碰撞断裂带及其地质意义 [C]// 湖南地质新进展, 献给第三十届国际地质大会. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1996: 144-148.
Rao Jiarong. Collisional fault zone of subcrustal lithosphere along Taojiang -Chengbu and its geological significance [C]// New Achievements of Hunan in earth science. Changsha: Hunan Sci. and Tech. Press, 1996: 144-148 (in Chinese with English abstract).
- [38] 饶家荣, 王纪恒, 曹一中. 湖南深部构造 [J]. *湖南地质*, 1993, 7 (增刊): 1-100.
Rao Jiarong, Wang Jiheng, Cao Yizhong. Deep structure in Hunan [J]. *Hunan Geology*, 1993, 7(supp.): 1-100 (in Chinese with English abstract).
- [39] 饶家荣, 肖海云, 刘耀荣, 等. 扬子华夏古板块汇聚在湖南的位置 [J]. *地球物理学报*, 2012, 55(2): 484-502.
Rao Jiarong, Xiao Haiyun, Liu Yaorong, et al. Location of the Yangtze-Cathaysia plate convergence zone in Hunan [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2012, 55 (2): 484-502 (in Chinese with English abstract).
- [40] 程裕琪. 中国区域地质概论 [M]. 北京: 地质出版社, 1994: 159.
Cheng Yuqi. Brief Introduction to Regional Geological Tectonic of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 159 (in Chinese with English abstract).
- [41] 张玉芝, 王岳军, 范蔚茗, 等. 江南隆起带新元古代碰撞结束时间: 冷水铺砾岩上下层位的 U-Pb 年代学证据 [J]. *大地构造与成矿学*, 2010, 35(1): 32-46.
Zhang Yuzhi, Wang Yuejun, Fan Weiming, et al. Geochronological constraints on the Neoproterozoic collision along the Jiangnan uplift: Evidence from studies on the Neoproterozoic basal conglomerates at the Cangshuipu area, Hunan Province [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2010, 35(1): 32-46 (in Chinese with English abstract).
- [42] 杨明桂, 刘亚光, 黄志忠, 等. 江西中新元古代地层的划分及其与邻区对比 [J]. *中国地质*, 2012, 39(1): 43-53.
Yang Minggui, Liu Yaguang, Huang Zhizhong, et al. Subdivision of Meso-Neoproterozoic strata in Jiangxi and a correlation with the neighboring areas [J]. *Geology in China*, 2012, 39(1): 43-53 (in Chinese with English abstract).

The evolution of "Nanhuaian" rift basin on the southeastern margin of Yangtze platform: Age constraints from the Neoproterozoic granites

SUN Hai-qing¹, HUANG Jian-zhong¹, JIANG Xin-sheng²,
LUO Lai¹, MA Hui-ying¹, WU Hao²

(1. Hunan Institute of Geological Survey, Changsha 410116, Hunan, China; 2. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: Through zircon LA-ICP-MS and SHRIMP U-Pb isotopic dating of positively emplaced-island-arc granodiorite-adamellite in southwest Hunan, the authors obtained weighted average ages of 835.6 ± 6.7 Ma and 840 ± 8 Ma, suggesting Neoproterozoic. Based on profiling and isotopic geochronologic studies as well as regional correlation of surrounding calcareous slates intercalated with limestone, it is confirmed that the intrusive body should belong to Proterozoic "Nanhuaian" Banxi period sediments - Gaojian Group, which continually deposited with underlying Lengjiaxi Group, with the age of bottom boundary earlier than 835 Ma. It is indicated that during the process of sedimentary basin evolution, the distribution area of Gaojian Group and its equivalent horizons might have not experienced the complete evolution process of island arc-foreland basin intermountain basins-extensive rift basin. Instead, its activity probably stopped in the early phase of the evolution from the island arc to the foreland basin, forming so-called residual basin formation and steep slope marginal paleogeographic framework along the Congjiang-Xupu-Shuangfeng-Hengyang-Pinxiang line. It was connected with the fault-block continental slope formed by stretching on the northwestern side, and the sediments were composed of terrigenous detrital sediments and reworked gravity flow deposits from northwest. This conversion was completed at around 830 Ma.

Key words: Neoproterozoic granites; evolution of the basin; "Nanhuaian" System; southeastern margin of Yangtze platform

About the first author: SUN Hai-qing, male, born in 1956, senior engineer, engages in the study of stratigraphy and lithofacies; E-mail: sunhq82@163.com.